

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΚΑΙ
ΑΝΘΟΚΟΜΙΑΣ**

**ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΘΡΕΠΤΙΚΗΣ
ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΕΛΑΤΗΣ ΣΤΗΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΤΑΪΓΕΤΟΥ**

Πτυχιακή εργασία του σπουδαστή:
ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΠΟΥΛΟΥ ΑΘΑΝΑΣΙΟΥ

Υπεύθυνος καθηγητής : Δρ. ΚΑΒΒΑΔΙΑΣ ΒΙΚΤΩΡ

ΚΑΛΑΜΑΤΑ 2006

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Α΄ ΜΕΡΟΣ.....	5
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	6
1. ΒΟΤΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ - ΠΟΙΚΙΛΙΕΣ	6
1.1. Ελάτη, υβριδογενής (A. Borisii Regis Mattf)	6
1.2. Ελάτη, κεφαλληνιακή (Abies cephalonica Loud).....	7
1.3. Ελάτη, λευκή ή χτενοειδής (Abies alba Mill).....	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	11
2. ΓΕΩΧΗΜΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ.....	11
2.1. Εισροή θρεπτικών στοιχείων με την αποσάθρωση των πετρωμάτων.....	11
2.2 Είσοδος θρεπτικών στοιχείων με τα κατακρημνίσματα	12
2.3. Απομάκρυνση θρεπτικών στοιχείων από το οικοσύστημα.....	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	16
3. ΒΙΟΧΗΜΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ.....	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	18
4. ΦΥΤΙΚΑ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ ΚΑΙ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ	18
4.1 Έκπλυση θρεπτικών στοιχείων από την βιομάζα με τα κατακρημνίσματα.....	19
4.2 Έκπλυση θρεπτικών στοιχείων από το δασικό τάπητα.....	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	22
5. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΙΔΡΟΥΝ ΣΤΟ ΒΙΟΧΗΜΙΚΟ ΚΥΚΛΟ	22
5.1. Φυτικό είδος.....	22
5.2. Κλιματικές συνθήκες	22
5.3. Αποσύνθεση των φυτικών υπολειμμάτων και βιοχημικός κύκλος.....	23
5.4. Συσσώρευση θρεπτικών στοιχείων στο οικοσύστημα.....	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	28
6. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗ ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΤΟ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑ.....	28
6.1. Επίδραση της ποιότητας τόπου στη συσσώρευση θρεπτικών στοιχείων στο οικοσύστημα	28
6.2. Επίδραση του κλίματος στη συσσώρευση θρεπτικών στοιχείων.....	28
6.3. Εσωτερική μετακίνηση θρεπτικών στοιχείων και επίδρασή της στη συσσώρευση.....	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7	31
7. ΜΟΡΦΕΣ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΚΑΙ ΓΟΝΙΜΟΤΗΤΑ ΔΑΣΙΚΩΝ ΕΔΑΦΩΝ	31
7.1. Άζωτο (N).....	31

7.1.1. Μορφές αζώτου στο έδαφος.....	31
7.1.2. Παράγοντες που επηρεάζουν την περιεκτικότητα του εδάφους σε άζωτο	33
7.1.3. Απώλειες αζώτου	34
7.1.4. Πρόσληψη του αζώτου από τα φυτά.....	37
7.1.5. Συμπτώματα έλλειψης αζώτου.....	38
7.2 Φώσφορος (P).....	39
7.2.1. Προέλευση	39
7.2.2. Μορφές Φωσφόρου στο έδαφος	40
7.2.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την ποσότητα του οργανικού φωσφόρου στο έδαφος.	41
7.2.4 Διαθέσιμος φώσφορος του εδάφους	42
7.2.5. Ρόλος του φωσφόρου στην θρέψη των φυτών.....	43
7.2.6. Συμπτώματα έλλειψης φωσφόρου	44
7.2.7. Εδαφικές συνθήκες που ευνοούν την έλλειψη αφομοιώσιμου φωσφόρου.....	45
7.2.8. Πρόσληψη φωσφόρου από τα φυτά.....	45
7.3. Κάλιο (K).....	46
7.3.1. Προέλευση	46
7.3.2. Μορφές K στο έδαφος	47
7.3.3. Παράγοντες που επηρεάζουν την προσιτότητα του καλίου.....	48
7.3.4. Απώλειες K από το έδαφος.....	50
7.3.5. Πρόσληψη K από τα φυτά.	52
7.3.6. Ρόλος του K στη θρέψη των φυτών.....	52
7.3.7. Συμπτώματα έλλειψης K.....	54
7.3.8. Εδάφη με πιθανή έλλειψη Καλίου	55
7.4. Ασβέστιο (Ca).....	55
7.4.1. Προέλευση	55
7.4.2. Μορφές ασβεστίου στο έδαφος	56
7.4.3. Ρόλος του ασβεστίου στο έδαφος	57
7.4.4. Ρόλος του ασβεστίου στη θρέψη των φυτών	58
7.4.5. Πρόσληψη του ασβεστίου από τα φυτά.....	58
7.4.6. Συμπτώματα έλλειψης ασβεστίου.....	59
7.4.7. Εδάφη με πιθανή έλλειψη ασβεστίου	60
7.5. Μαγνήσιο (Mg).....	60
7.5.1. Προέλευση	60
7.5.2. Παράγοντες του εδάφους που επηρεάζουν τη διαλυτότητα των ορυκτών που περιέχουν μαγνήσιο	61
7.5.3. Μορφές μαγνησίου στο έδαφος	62
7.5.4. Παράγοντες που επηρεάζουν την ποσότητα του αφομοιώσιμου μαγνησίου.....	63

7.5.5. Ρόλος του Μαγνησίου στη θρέψη των φυτών	64
7.5.6. Πρόσληψη μαγνησίου από τα φυτά	64
7.5.7. Συμπτώματα έλλειψης μαγνησίου	64
7.5.8. Εδαφικές ιδιότητες που ευνοούν την έλλειψη μαγνησίου	65
7.6. Σίδηρος (Fe).....	66
7.6.1. Προέλευση	66
7.6.2. Ρόλος του σιδήρου στα φυτά	66
7.6.3. Εδάφη με έλλειψη αφομοιώσιμου και προσιτού σιδήρου	66
7.7. Χαλκός (Cu).....	67
7.7.1. Προέλευση	67
7.7.2. Πρόσληψη και ρόλος του χαλκού.....	67
7.7.3. Τοξικότητα του χαλκού	68
7.7.4. Έλλειψη χαλκού.....	69
7.7.5. Εδάφη με πιθανή έλλειψη χαλκού	69
7.8. Μαγγάνιο (Mn)	70
7.8.1. Προέλευση	70
7.8.2. Αφομοιώσιμες μορφές μαγγανίου.....	70
7.8.3. Ο ρόλος του μαγγανίου στα φυτά.....	72
7.8.4. Πρόσληψη του μαγγανίου από τα φυτά.....	72
7.8.5. Συνθήκες τοξικότητας μαγγανίου	72
7.8.6. Συνθήκες έλλειψης μαγγανίου	73
7.9. Ψευδάργυρος (Zn).....	74
7.9.1. Προέλευση	74
7.9.2. Εδάφη με πιθανή έλλειψη ψευδαργύρου	75
7.9.3. Εδάφη με πιθανή τοξικότητα ψευδαργύρου	75

Β΄ ΜΕΡΟΣ.....76

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8.....76

8. ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ.....76

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9.....79

9.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ- ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....79

9.1. Χαρακτηριστικά Δασικού Τάπητα.....79

9.1.1. Αποτελέσματα.....79

9.1.2. Συζήτηση.....79

9.2. Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του ανοργανου εδάφους.....84

9.2.1. Αποτελέσματα.....84

9.2.2. Συζήτηση.....	85
9.3. Χημική σύσταση βελόνων	90
9.3.1. Αποτελέσματα.....	90
9.3.2. Συζήτηση.....	90
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10	93
10.1. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	93
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	94

Α* ΜΕΡΟΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η περιοχή του Ταΰγετου καλύπτει μία έκταση 54.000 εκταρίων περίπου και παρουσιάζει μια μεγάλη εναλλαγή βιοτόπων με το μεγαλύτερο ποσοστό ενδημικών, προστατευόμενων και σπάνιων ειδών φυτών στην Ελλάδα (190 σχετικές καταχωρήσεις, περισσότερες από αυτές του Εθνικού Δρυμού στον Όλυμπο).

Τα δάση κωνοφόρων στο όρος Ταΰγετος καλύπτουν γεωγραφικά μεγάλες εκτάσεις με κυρίαρχα είδη την Κεφαλληνιακή ελάτη, την υβριδογενής ελάτη και τη μαύρη πεύκη. Το συγκεκριμένο οικοσύστημα παρουσιάζει ιδιαίτερη περιβαλλοντική και οικονομική σημασία, ενώ ιδιαίτερα ευάλωτο σε ανθρωπογενείς παρεμβάσεις, ρύπανση και πυρκαγιές. Η επιβίωσή τους σε σχετικά φτωχά εδάφη και σε ξηροθερμικές συνθήκες συνδέεται άρρηκτα με τις εξειδικευμένες συμβιωτικές σχέσεις που έχουν αναπτύξει με εκατομυκορριζικούς μύκητες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1. ΒΟΤΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ - ΠΟΙΚΙΛΙΕΣ

1.1.Ελάτη, υβριδογενής (A. Borisii Regis Mattf)

Βελόνες: Στα κατώτερα κλαδιά ελαφρά οξυκόρυφες ή με εντομή, μήκους ως 30 χιλ. και πλάτους 2- 3 χιλ. Στα ανώτερα κλαδιά είναι οξυκόρυφες και μεγαλύτερες. Στο Άγιο Όρος, ο Mattfeld διέκρινε (1930) την ποικιλία A. borisii regis var. pseudocilicica με μακριές και μαλακές βελόνες. Στο επάνω μέρος έχουν ρηχό αυλάκι και στο κάτω τρόπικδα (προεξοχή), με λευκή γραμμή και από τις δύο πλευρές της. Ουλές κυκλικές, δεν εξέχουν. Άλλα δέντρα έχουν παχύ και κλειστό υπόδερμα, άλλα λεπτό και διακεκομμένο.

Οφθαλμοί: Ωοειδείς, περιχυμένοι με λίγη ρητίνη, σχηματίζουν πραγματικούς σπονδύλους.

Κλαδίσκοι: Οι ετήσιοι κλαδίσκοι έχουν ελαφρύ πύλημα με ανοιχτοκίτρινο χρώμα.

Άνθη: Μονογενή. Τα αρσενικά είναι κυλινδρικοί, κιτρινοϊόχρωμοι ίουλοι, στο κάτω μέρος των ετήσιων βλαστών και στις μασχάλες των βελόνων. Τα θηλυκά στην άκρη των ετήσιων βλαστών και με μορφή όρθιων, κιτρινοπράσινων κωνίσκων. Άνθηση Απρίλιο- Μάιο.

Κώνιοι: Όρθιοι σαν κεριά, κυλινδρικοί, μήκους 15 εκ. περίπου, έχουν ποικίλα χρώματα, από ανοιχτό έως σκούρο καστανό, με ελαφρά κωνική κορυφή. Είναι περιχυμένοι με λίγη ρητίνη. Τα καρπόφυλλα και τα καλυπτήρια έχουν ενδιάμεση μορφή ανάμεσα στη λεκή και στην Κεφαλληνιακή ελάτη. Ωρίμαση Σεπτέμβριο- Οκτώβριο του χρόνου ανθήσεως.

Σπόροι: Τριγωνικά ωοειδείς, ανοιχτά καστανόχρωμοι, με κύστεις αιθέριων ελαίων και πτερύγιο που τα περιβάλλει σαν γλαμύδα (μανδύας).

Κοτυληδόνας: 4- 8, συνήθως 5, σε σπόνδυλο, με οριζόντια διεύθυνση, επίπεδες, οξυκόρυφες, με δύο λευκές γραμμές στην πάνω επιφάνεια. Οι πρώτες βελόνες που αναπτύσσονται σχεδόν ανάμεσά τους, σε πολύ βραχύ βλαστό, είναι μικρότερες και έχουν δύο λευκές γραμμές στην κάτω επιφάνεια.

Γενική περιγραφή: Η ελάτη αυτή θεωρείται ότι δεν είναι ένα ορισμένο είδος αλλά πληθυσμός υβριδίων που προήλθε από διασταύρωση μεταξύ λευκής και κεφαλληνιακής ελάτης την εποχή των παγετώνων. Είναι δέντρο ύψους 20- 35 μ. και

διαμέτρου 0,70- 1 μ., με κόμη πλατιά κωνική και κλαδιά λιγότερο πυκνά από την κεφαλληνιακή ελάτη. Φλοιός σε νεαρή ηλικία καστανόχρωμος, σε μεγάλη ηλικία με σταχτόλευκο ξηρόφλοιο. Σε ελεύθερο χώρο καρποφορεί από ηλικία 20- 30 χρόνων, σε συστάδες από 30- 40 και πληροκαρπεί κάθε 3- 4 χρόνια.

Ξύλο: Ανοιχτό καστανοκίτρινο. Το εγκάρδιο δεν έχει διαφορετικό χρώμα από το σομό, αλλά παρουσιάζεται υγρό εγκάρδιο (καστανόχρωμο με μεγάλη υγρασία). Ελαφρό ως μέτριο σε βάρος (ε.β. 0,31- 0,61), μαλακό ως μέτριο σε σκληρότητα. Χρήσεις: οικοδομική ξυλεία, κατάρτια πλοίων, στύλοι, μουσικά όργανα, κιβώτια, βαρέλια, μοριοπλάκες, ινόπλακες, ξυλοποτός και χαρτί. Εκτός από το ξύλο η ελάτη έχει αξία ως χριστουγεννιάτικο δέντρο.

Βιολογικές απαιτήσεις: Επειδή είναι υβριδογενής πληθυσμός, οι βιολογικές απαιτήσεις άλλοτε πλησιάζουν προς τη λευκή και άλλοτε προς την κεφαλληνιακή ελάτη. Είναι σκιανθεκτικό είδος.

Γεωγραφική εξάπλωση: Στη Ν. Βουλγαρία και στη Ν. Γιουγκοσλαβία. Στην Ελλάδα, σποραδικά στην Πελοπόννησο, στον Τυμφορηστό και στην Οξιά και από εκεί βορειότερα ως τα σύνορα, αμιγής ή σε μικρές συστάδες με άλλα ψυχρόβια κωνοφόρα ή πλατύφυλλα.

1.2. Ελάτη, κεφαλληνιακή (*Abies cephalonica* Loud)

Βελόνες: Έντονα ή ελαφρά οξυκόρυφες, μήκους 15-28 χιλ. κα πλάτους 2 χιλ., στιλπνές, έχουν στο επάνω μέρος ρηχό αυλακι και στο κάτω τρίπαιδα (προεξοχή) με λευκή γραμμή και από τις δύο πλευρές της. Πολλές φορές, οι γραμμές αυτές εκτείνονται ως την άκρη της πάνω επιφάνειας. Έχουν σπειροειδή διάταξη και μόνο σε κλαδιά που σκιαζονται και σε νεαρά φυτά είναι δίσειρες. Διάρκεια ζωής 10-12 χρόνια.

Οφθαλμοί: Ωοειδείς με πολλή ρητίνη, συνήθως ανά τέσσερις, σχηματίζουν πραγματικούς σπονδύλους. Σκεπάζονται από αδρά λέπια με καστανωπό χρώμα.

Κλαδίσκοι: Οι ετήσιοι είναι τελείως γυμνοί, στιλπνοί, καστανωποί.

Άνθη: Μονογενή. Φυτόμόνοικο. Τα αρσενικά είναι κόκκινοι ίουλοι, στο κάτω μέρος των ετήσιων βλαστών και στις μασχάλες των βελονών. Τα θηλυκά στην άκρη των

ετήσιων βλαστών, με μορφή όρθιων, κιτρινοπράσινων κωνίσκων. Άνθηση Μάιο-Ιούνιο.

Κώνιοι: Όρθιοι σαν κεριά, κυλινδρικοί, πρασινοκαστανοί, μέ κορυφή κωνική (οξεία) μήκους 12- 20 εκ. περιχυνόμενοι με πολύ ρητίνη. Ωρίμαση Σεπτέμβριο- Οκτώβριο του χρόνου ανθήσεως.

Σπόροι: Τριγωνικά ωοειδείς, ανοιχτά καστανόχρωμοι, με κύστεις αιθέριων ελαίων και ξανθόχρωμο πτερύγιο πού τούς περιβάλλει σαν χλαμύδα (μανδύας).

Γενική Περιγραφή: Δέντρο ύψους 15-30 μ. και διαμέτρου 0,80 μ., με οριζόντια κλαδιά. Φλοιός με ρητινοκύστεις, στην αρχή λείος, καστανωπός, αργότερα σταχτόλευκος. Το ξηρόφλοιο απολεπίζεται σε γωνιώδη λέπια. Ριζικό σύστημα καρδιόρριζα. Σε ελεύθερο χώρο καρποφορεί από ηλικία 25- 40 χρόνων, σε συστάδες από 40-50, και πληροκαρπεί κάθε 2-4 χρόνια. Φυτρωτική ικανότητα των σπόρων σχετικά μικρή (60-70%), διατηρείται 6 μήνες. Μετά από σπορά, η φύτευση γίνεται σε 2-3 εβδομάδες. Τα μονοετή φυτάρια έχουν τις κοτυληδόνες και τις πρώτες βελόνες, και καταλήγουν σε ένα οφθαλμό. Το δεύτερο χρόνο σχηματίζεται ένας βραχύς βλαστός με δύο οφθαλμούς στην άκρη. Τον τρίτο χρόνο σχηματίζεται ένας πλάγιος και ένας επικόρυφος βλαστός πού καταλήγουν σε τρεις οφθαλμούς. Ο πλάγιος βλαστός είναι μακρύτερος από τον επικόρυφο.

Βιολογικές απαιτήσεις: Απαιτεί βαθύ, γόνιμο, χαλαρό και σχετικά υγρό έδαφος, μπορεί όμως να αναπτυχθεί και σε αβαθή και ξηρότερα εδάφη, Ιδίως σε ασβεστολιθικά πετρώματα, γιατί οι ρίζες εισχωρούν βαθιά μέσα στις ρωγμές και εξασφαλίζουν τις απαραίτητες θρεπτικές ουσίες. Είναι σκιανθεκτικό είδος, αλλά λιγότερο από τον ίταμο.

Γεωγραφική εξέλιξη: Είδος της ελληνικής χλωρίδας, σχηματίζει αμιγείς συστάδες από τον Ταύγετο ως τον Τυμφρηστό και την Οξιά, ενώ βορειότερα, μέχρι τον Όλυμπο και τον Άθωνα, μικτές με την υβριδογενή ελάτη.

1.3. Ελάτη, λευκή ή χτενοειδής (*Abies alba* Mill)

Βελόνες: Ακρόκοιλες μήκους 15-30 χιλ. και πλάτους 2-3 χιλ.. στιλπνές, έχουν στο πάνω μέρος ρηχό αυλάκι και στο κάτω τρίτιδα (προεξοχή), με λευκή γραμμή και από

τις δύο πλευρές της. Στα πλευρικά κλαδιά και στα κλαδιά που σκιάζονται, οι βελόνες είναι τοποθετημένες σε δύο σειρές σαν χτένα ενώ στα κλαδιά της κορυφής έχουν σπειροειδή διάταξη. Διάρκεια ζωής 8-11 χρόνια.

Οφθαλμοί: Ωοειδείς, χωρίς ρητίνη, εκτός από τους οφθαλμούς της κορυφής που έχουν λίγη. Σκεπάζονται με αδρά κοκκινοσταχτόχρωμα λέπια, είναι τοποθετημένοι ανά τρεις, σπάνια ανά τέσσερις, και σχηματίζουν πραγματικούς σπονδύλους. Πολλοί οφθαλμοί μένουν κοιμώμενοι.

Κλαδίσκοι: Οι ετήσιοι έχουν σταχτί χρώμα και καστανωπά τριχίδια.

Άνθη: Μονογενή. Τα αρσενικά είναι κυλινδρικοί κίτρινοι ίουλοι, στο κάτω μέρος των ετήσιων βλαστών και στις μασχάλες των βελονών. Τα θηλυκά στην άκρη των ετήσιων βλαστών, με μορφή όρθιων, ωχροπράσινων κωνίσκων. Άνθηση Απρίλιο-Μάιο.

Κώνοι: Όρθιοι σαν κεριά, κυλινδρικοί, ανοιχτοκαστανοί με μήκος 10-16 εκ. και κορυφή ελαφρώς κωνική, δεν είναι περιχυμένοι με ρητίνη. Καρπόφυλλα με σφηνοειδή βάση και πλατιά στρογγυλεμένη κορυφή, έχουν πλάτος 20-30 χιλ. Καλυπτήρια ταινιοειδή, λεπταίνουν στην κορυφή τους σε ακίδα που προεξέχει από το καρπόφυλλο. Ωρίμαση Σεπτέμβριο-Οκτώβριο του χρόνου ανθήσεως.

Σπόροι: Τριγωνικοί, με κύστεις αιθέριων ελαίων και καστανοϊώδες πτερύγιο που το περιβάλλει σαν γλαμύδα (μανδύας)

Γενική περιγραφή: Δέντρο ύψους 30-40 μ., σπάνια 50 μ., και διαμέτρου 1 μ., όμοιο με την κεφαλληνιακή ελάτη. Το όνομα «λευκή» ελάτη προέρχεται από το σταχτόλευκο χρώμα του φλοιού. Σε ελεύθερο χώρο καρποφορεί από ηλικία 30 χρόνων, σε συστάδες από 60 και πλεοκαρπεί κάθε 2-6 χρόνια. Οι σπόροι φυτρώνουν μετά 4 εβδομάδες. Μεγαλώνει σε ύψος πολύ αργά ως μια ηλικία 15 χρόνων περίπου, ύστερα η αύξηση επιταχύνεται ως τα 100 χρόνια, και τελικά παύει - εξακολουθεί όμως η αύξηση των πλάγιων κλαδιών

Βιολογικές απαιτήσεις: Χρειάζεται βαθύ, γόνιμο, χαλαρό, υγρό έδαφος και μεγάλη υγρασία στον αέρα. Είναι σκιανθεκτικό είδος και σε νεαρή ηλικία πολύ ευαίσθητο σε όψιμους παγετούς.

Γεωγραφική εξάπλωση: Σχηματίζει δάση στη Γαλλία, Ιταλία, Αυστρία, Γερμανία, Βαλκανική χερσόνησο κ.ά. Στην Ελλάδα, υπάρχει κοντά στα βόρεια σύνορα σε

μικτές συστάδες με άλλα ψυχρόβια κωνοφόρα ή πλατύφυλλα (ερυθρελάτη, δασική και λευκόδερμη πεύκη, όξια, απόδισκο δρυ κ.ά.).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2. ΓΕΩΧΗΜΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ

Ο γεωχημικός κύκλος είναι ένας ανοικτός κύκλος που αντιπροσωπεύει τη διαδικασία μετακίνησης των θρεπτικών συστατικών στο οικοσύστημα. Σε αυτή την μετακίνηση μπορούμε να έχουμε εισροή ή απώλειες θρεπτικών στοιχείων για το οικοσύστημα. Η εισροή θρεπτικών στοιχείων επιτυγχάνεται με την αποσάθρωση του μητρικού υλικού, με την βιολογική δέσμευση του ατμοσφαιρικού αζώτου και του θείου καθώς και με τα κατακρημνίσματα. Αντιθέτως οι λόγοι που οδηγούν στις απώλειες θρεπτικών στοιχείων στο οικοσύστημα είναι η επιφανειακή απορροή, η αποστράγγιση και έκπλυση προς τα βαθύτερα στρώματα, η διάβρωση του εδάφους, η απομάκρυνση ενός λεπτού στρώματος επιφανειακού εδάφους που προκαλείται από ισχυρούς ανέμους και τέλος με απώλειες προς την ατμόσφαιρα σε αέρια μορφή.

2.1. Εισροή θρεπτικών στοιχείων με την αποσάθρωση των πετρωμάτων

Η αποσάθρωση των πετρωμάτων είναι η κύρια πηγή των περισσότερων θρεπτικών στοιχείων σε ένα οικοσύστημα. Αν και δεν μπορούμε να υπολογίσουμε με ακρίβεια την ποσότητα των θρεπτικών στοιχείων του οικοσυστήματος που προέρχονται από την αποσάθρωση εκτιμάται ότι το ποσοστό που προέρχεται από αυτή την πηγή όσο αναφορά τις εισροές σε K, P, Ca, Mg και Fe φτάνει το 80 έως και το 100%. Δεν συμβαίνει όμως και το ίδιο με το N, S, και Cl τα οποία έχουν σαν κύρια πηγή προέλευσης την ατμόσφαιρα.

Η αποσάθρωση των εδαφών διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες :

- 1)Την φυσική αποσάθρωση
- 2)Την χημική αποσάθρωση
- 3)Την βιολογική αποσάθρωση

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι ποσότητες των θρεπτικών στοιχείων που προέρχονται από την αποσάθρωση των πετρωμάτων σε διάφορα οικοσυστήματα.

Πίνακας 2.1: Ποσότητες θρεπτικών στοιχείων που προέρχονται από την αποσάθρωση ετησίως (Kg/ha)

Ορυκτά	Βλάστηση	P	K	Ca	Mg	Na	Πηγή
Αστρίοι	Πλατύφυλλα	-	7,10	21,10	3,50	5,80	Likens και συν (1977)
Ανδραίτης	Ψευδοτσούγκα	0,20	4,70	118,90	5,20	47,00	Sollins και συν (1980)
Αστρίοι	Κωνοφόρα	-	23,00	26,00	10,00	-	Clayton (1976)
Δαμίτης	Ευκάλυπτος	-	7,00	21,00	4,00	-	Feller (1981)

2.2 Είσοδος θρεπτικών στοιχείων με τα κατακρημνίσματα

Τα κατακρημνίσματα είναι μια αναγνωρισμένη και σπουδαία πηγή θρεπτικών στοιχείων στα δασικά οικοσυστήματα. Η προσθήκη θρεπτικών στοιχείων με αυτόν τον τρόπο μπορεί να γίνεται με αργούς ρυθμούς όμως οι συνολικές ποσότητες που εισρέουν κατά τη διάρκεια ενός χρόνου είναι πολύ σημαντικές και αποκτούν ιδιαίτερη σπουδαιότητα για τα δάση που βρίσκονται σε φτωχές θέσεις. Ο Παπαμίχος (1990α) αναφέρει ότι ο Onigton (1968) βρήκε για την εύκρατη ζώνη ότι οι ποσότητες των θρεπτικών στοιχείων που φτάνουν στο έδαφος κάθε χρόνο σε Kg/ha είναι: Άζωτο: 0,8 – 4,9, Κάλιο: 1 – 10, Ασβέστιο: 3 – 19, Μαγνήσιο: 4 – 11, Φώσφορο: 0,2 – 0,6. Οι Lux και Bortitz (1990) βρήκαν ότι οι ετήσιες εισροές από την ατμόσφαιρα στη Γερμανία ήταν: 75 Kg/ha Ca, 40 Kg/ha N, 25 Kg/ha Cl, 11 Kg/ha Na, 8 Kg/ha Mg και 150 Kg/ha SO₄-S.

Ο Goaster και συν. (1991) βρήκαν ότι σε οικοσύστημα ερυθρελάτης (*Picea abies*) σε ορεινές περιοχές της Γαλλίας, το ατμοσφαιρικό άζωτο που προστίθεται στο έδαφος ανέρχεται σε 16 Kg/ha το χρόνο. Ο Stevens και συν. (1990) αναφέρουν ότι οι ετήσιες εισροές αζώτου από τη βροχή ήταν 6 – 14 Kg/ha.

Η βροχή περιέχει θρεπτικά συστατικά διαλυμένα σε αυτήν ή σαν αιωρούμενα σωματίδια. Στην ατμόσφαιρα οι σταγόνες της βροχής αρχίζουν και σχηματίζονται γύρω από πυρήνες. Καθώς οι σταγόνες πέφτουν προς το έδαφος μεγαλώνουν και συγχρόνως συγκρατούν και άλλα σωματίδια (μόρια σκόνης ή οργανικά υλικά) καθώς και αέρια, κυρίως οξειδωμένες μορφές αζώτου και θείου (Lerman και Darley 1975,

Καϊλίδης 1985). Το 99 % της καθαρής ατμόσφαιρας αποτελείται από N (78%) και O (21%). Το 1% που απομένει συμπληρώνουν αδρανή αέρια (κυρίως αργόν) μικρές ποσότητες CO₂ (≈0.03%) και CO, O₃, H₂S, οξείδια του S, οξείδια του N και διάφορες οργανικές ουσίες (Delwiche 1970, Bennett και Hill 1975).

Η συγκέντρωση ενός στοιχείου στη βροχή εξαρτάται από τη διάρκεια και την ένταση της βροχής και από το αν το στοιχείο ανήκει στα συστατικά της βροχής ή σε αυτά που εκπλένονται από την ατμόσφαιρα, Στα πρώτα λεπτά της βροχής η συγκέντρωση είναι μεγαλύτερη ενώ με το πέρασ του χρόνου καθώς η ατμόσφαιρα γίνεται όλο και καθαρότερη η συγκέντρωση μειώνεται.

Η βροχή δεν είναι ο μόνος τρόπος μεταφοράς θρεπτικών στοιχείων αφού μικρές ποσότητες μπορούν να μεταφερθούν και με το χαλάζι, το χιόνι, την ομίχλη και την πάχνη αλλά η σημασία τους στην παροχή θρεπτικών στοιχείων θεωρείται μικρότερη (Leyton και συν. 1968).

Οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών στοιχείων στη βροχή συνήθως ακολουθούν τη σειρά N>Ca>K>Mg>P (Ma 1989). Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι ετήσιες εισροές με το νερό της βροχής όπως αναφέρονται στη διεθνή βιβλιογραφία.

Πίνακας 2.2: Ετήσιες εισροές με το νερό της βροχής (Kg/ha)

Περιοχή	N	P	K	Ca	Mg	Na	Πηγή
Σκωτία	2,60	0,40	4,30	7,60	1,40	-	Lim και Cousens (1986α)
Νέα Γουϊνέα	6,50	0,53	7,30	3,60	1,30	-	Edwards (1982)
Νέα Ζηλανδία	3,31	-	3,87	3,51	4,86	42,20	Baker και συν. (1985)
Ανατ. Τέξας	4,10	-	3,30	5,00	1,10	9,90	Pehl και Ray (1983)
Βικτώρια	3,10	-	3,70	8,10	5,60	20,00	Attiwill και συν. (1987)
Ταξιάρχης Χαλκ.	6,08	3,80	4,50	17,20	2,44	7,94	Αλιφραγκής (1984)
Βελβενδός Κοζ.	4,70	0,10	2,00	11,90	3,00	5,40	Τσιόντσης (1991)

2.3. Απομάκρυνση θρεπτικών στοιχείων από το οικοσύστημα.

Η απομάκρυνση θρεπτικών στοιχείων από το έδαφος μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους. Για παράδειγμα απομακρύνεται το άζωτο σε αέρια μορφή. Το νιτρικό άζωτο σε αναερόβιες συνθήκες (υγρό έδαφος) διασπάται σε οξειδία του αζώτου (NO, NO₂) ή και αμμωνία και τελικά σε αέριο άζωτο που διαφεύγει στην ατμόσφαιρα, ενώ σε αλκαλικές συνθήκες απώλεια αζώτου παρατηρείται υπό μορφή αμμωνιάς. Με την απομάκρυνση επιφανειακού εδάφους χάνονται αρκετές ποσότητες θρεπτικών στοιχείων. Έτσι με τις πυρκαγιές, που γίνεται το κάψιμο των φύλλων, των κλαδιών και του δασικού τάπητα, συντελείται απώλεια μεγάλων ποσοτήτων σε θρεπτικά στοιχεία και κυρίως N, S και P. Συγχρόνως επηρεάζονται και οι φυσικές, χημικές και οι βιολογικές ιδιότητες. Οι μεταβολές των ιδιοτήτων που παρατηρούνται συνδέονται με την ποσότητα της οργανικής ουσίας στα δασικά εδάφη, τη δομή του επιφανειακού στρώματος του εδάφους, τα θρεπτικά στοιχεία, την εναλλακτική ικανότητα και τους μικροοργανισμούς. Το άζωτο και το θείο και λιγότερο ο φώσφορος μειώνονται δραστικά με τις πυρκαγιές (Παιταμ 1990β). Οι συνολικές απώλειες του αζώτου είναι πολύ μεγάλες, γιατί απομακρύνεται όλο σχεδόν το άζωτο της ζώσας βιομάζας και του δασικού τάπητα (Σειλοπουλος,1992).

Οι έντονες δασικές πυρκαγιές όταν πλήττουν ολόκληρες λεκάνες απορροής ή και μεγάλες περιοχές αυτών, δημιουργούν πρόσφορες συνθήκες για ισχυρή διάβρωση του επιφανειακού εδάφους και σοβαρή υποβάθμιση των εδαφικών πόρων (Παπαμιχος 1990β).

Η επιφανειακή απορροή, η αποστράγγιση στα βαθύτερα στρώματα και κυρίως η διάβρωση του εδάφους προκαλούν μεγάλες απώλειες θρεπτικών στοιχείων από το οικοσύστημα (Παπαμίχος 1990α). Οι απώλειες αυτές είναι άμεσα συνδεδεμένες με την τοπογραφική διαμόρφωση, τις κλιματικές συνθήκες και περισσότερο με την κατάσταση της βλάστησης και την προστασία του εδάφους. Συχνές πυρκαγιές, αποψιλωτικές υλοτομίες και υπερβόσκηση εδαφών με μεγάλες κλίσεις έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση της διάβρωσης και την απομάκρυνση μεγάλης ποσότητας θρεπτικών στοιχείων (Νταφής 1975 Pesson 1980, Tubarhitak και συν 1985).

Με τις υλοτομίες παρατηρείται χάνονται σημαντικές ποσότητες θρεπτικών στοιχείων και μειώνεται η παραγωγικότητα του σταθμού (Χατζηστάθης 1986). Όσον αφορά τα κωνοφόρα ελαττώνεται η ποσότητα του αζώτου και της οργανικής ουσίας

του δασικού τύπητα τουλάχιστον για τα επόμενα 15-30 χρόνια ενώ για να επανέλθουν χρειάζονται 60 έως 80 χρόνια (Aber και συν. 1978). Όταν μάλιστα γίνει απομάκρυνση όλης της υπέργειας βιομάζας (κόμη κλαδιά, κορμός) και ταυτόχρονα χρησιμοποιείται μικρός περίτροπος χρόνος, τότε παρατηρείται επικίνδυνη μείωση θρεπτικών στοιχείων στο σύστημα έδαφος- δάσος (Παπαμίχος 1990α). Από την απόληψη μόνο του ξύλου του κορμού οι απώλειες των θρεπτικών στοιχείων σε οικοσύστημα πλατύφυλλων ήταν 103% N, 10,6% P, 324% K, 4,4% O και 12,2% M (O και 8 1987). Οι Αλιφραγκής και Τσιόντσης (1994) αναφέρουν ότι με την υλοτομία και απομάκρυνση ολόκληρων των δένδρων σε δάσος δρυός η βιομάζα που συγκομίζεται είναι αυξημένη κατά 30% ενώ η απώλεια σε θρεπτικά στοιχεία αυξανόμενη κυμαίνεται στο 37% για το O και 85% για το M ενώ σε δάσος πεύκης η αύξηση της βιομάζας είναι 19% και η απώλεια σε θρεπτικά στοιχεία αυξανόμενη κυμαίνεται στο 20% για το O έως 119% για το K.

Η υπερβόσκηση είναι ένας άλλος δυσμενής παράγοντας που υποβαθμίζει το δάσος και το έδαφος, ενώ αυξάνει την επιφανειακή διάβρωση και επηρεάζει σημαντικά την απώλεια θρεπτικών στοιχείων και την ανάπτυξη και επιβίωση των δενδρυλλίων της ελάτης (Απατσιδής 1987).

Η διάβρωση του εδάφους από το νερό της βροχής εξαρτάται από τη διαβρωτικότητα της βροχής, τη διαβρωσιμότητα του εδάφους, το μήκος και την κλίση της πλαγιάς, τη φυτοκάλυψη και την ανθρώπινη επίδραση. Διαβαθμίζοντας τους παραπάνω παράγοντες, σε σχέση με τον κίνδυνο απώλειας εδάφους, κατατάσσουμε τις περιοχές ανάλογα με τον κίνδυνο υποβάθμισης κατά φθίνουσα σειρά :

- 1) Ζώνη ελάτης, ψευδοαλπική ζώνη > ζώνη φυλλοβόλων δρυών > ζώνη αείφυλλων πλατύφυλλων.
- 2) Απότομες και μέτριες κλίσεις (ελαφρές κλίσεις (18%-40%)> ήπιες κλίσεις και επίπεδα (0-18%).
- 3) Αδιαπέρατο μητρικό υλικό εδάφους > διαπερατό μητρικό υλικό εδάφους.
- 4) Αβαθή και βραχώδη εδάφη > βαθιά εδάφη

(Οικονόμου και Νάκος 1990).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3. ΒΙΟΧΗΜΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ

Ο βιοχημικός κύκλος είναι ένας κλειστός κύκλος που σχετίζεται με τη μετακίνηση των θρεπτικών στοιχείων από ένα μέρος του φυτού σε ένα άλλο. Κυρίως μετακινούνται θρεπτικά στοιχεία από ιστούς μεγαλύτερης ηλικίας σε αναπτυσσόμενα μέρη του φυτού. Θρεπτικά στοιχεία που βρίσκονται κατά την αυξητική περίοδο στα φύλλα φεύγουν από αυτά πριν από την πτώση των φύλλων έτσι ώστε να μη χαθούν και να χρησιμοποιηθούν ξανά από το δέντρο τον επόμενο χρόνο. Η μειωμένη συγκέντρωση των θρεπτικών στοιχείων στο εγκάρδιο ξύλο αποδίδεται στην εσωτερική μετακίνηση ενώ η εσωτερική μετακίνηση στις ρίζες θεωρείται αμελητέα. (Nambiar 1987)

Η εσωτερική μετακίνηση των θρεπτικών στοιχείων καθορίζεται γενετικά και βασίζεται στη μετακίνηση σακχάρων από τα φύλλα. Ιδιαίτερα η μετακίνηση του N συνδέεται με τη διάσπαση της χλωροφύλλης (Ostman και Weaver 1982). Οι διάφορες ουσίες μετακινούνται με διαφορετική ευκολία. Θρεπτικά στοιχεία, όπως το N, P, S, Cl, μετακινούνται εύκολα σε αντίθεση με άλλα όπως τα βαριά μέταλλα, το Mg, Na και το Ca το οποίο είναι ακινητοποιημένο στο κυτταρικό τοίχωμα (Larcher 1980, Ostman και Weaver 1982, Waring και Schlesinger 1985, Nambiar 1987). Η διαφορά ανάμεσα στις δύο ομάδες οφείλεται σε χαρακτηριστικά των θρεπτικών στοιχείων, αλλά και στο ότι τα εδάφη σπάνια είναι ελλειμματικά σε Ca, Mg και Na, αλλά είναι συχνά σε N, P και K (Sollins και συν. 1980). Η μετακίνηση είναι μεγαλύτερη σε φτωχά εδάφη ή σε δασικά είδη προσαρμοσμένα σε φτωχές θέσεις. Το μέγεθος της εσωτερικής μετακίνησης των θρεπτικών στοιχείων φαίνεται ότι εξαρτάται από κάποιο στοιχείο που δεν είναι ακόμα γνωστό, υποτίθεται όμως ότι είναι το K. Επίσης ο P μπορεί να εξηγήσει το μέγεθος της μετακίνησης καθώς αυτή είναι μία διαδικασία ενεργοβόρα (Ostman και Weaver 1982).

Η εσωτερική μετακίνηση είναι μικρή στη νεαρή ηλικία, αλλά γίνεται σημαντική καθώς η ηλικία των δέντρων αυξάνει. Μετά τη συγκόμωση η συστάδα εξαρτάται όλο και περισσότερο από θρεπτικά στοιχεία που προέρχονται από τις ποσότητες που είναι συσσωρευμένες στη βιομάζα, γεγονός που εξηγεί τη μικρότερη αντίδραση των

συστάδων στη λίπανση σε προχωρημένη ηλικία (Miller και συν. 1979, Lim και Cousens 1986α).

Ο βιοχημικός κύκλος συντελεί στη σωστή χρήση των θρεπτικών στοιχείων γιατί αυτά παραμένουν περισσότερο μέσα στη βιομάζα, οι απώλειες από την έκπλυσή τους μειώνονται και ένα ελάχιστο ανάπτυξης μπορεί να διατηρηθεί ανεξάρτητα από τα διαθέσιμα θρεπτικά στοιχεία του εδάφους (Whittaker 1970, Lim και Cousens 1986β). Έτσι η εσωτερική μετακίνηση των θρεπτικών στοιχείων μπορεί να είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα σε φτωχές θέσεις ή όταν ο βιογεωχημικός κύκλος διακόπτεται, όπως στην περίπτωση απομάκρυνσης του δασικού τύπτηα (Ostman και Weaver 1982). Για τη σπουδαιότητα του βιοχημικού κύκλου στην κυκλοφορία των θρεπτικών στοιχείων συμφωνούν οι περισσότεροι από τους ερευνητές που ασχολήθηκαν με αυτό το θέμα. Οι Sollins και συν. (1980) βρήκαν ότι σε συστάδες *Pseudotsuga menziesii* από τις ανάγκες του φυτού για την παραγωγή νέου φυλλώματος το 56 % του N, το 31 % του P και το 30 % του K προέρχονται από το παλαιότερο φύλλωμα. Αναφέρουν επίσης ότι ο Cole και συν. (1977) σε συστάδες του ίδιου είδους υπολόγισαν ότι η εσωτερική μετακίνηση κυμαίνεται από 43 – 47 % για το N, από 46 – 95 % για το P και 2 – 25 % για το K. Οι Switzer και Nelson (1972) δέχονται ότι σε συστάδες *Pinus teada*, το 45 % του N και το 66 % από το P που βρίσκεται στο φύλλωμα, προέρχεται από τη μετακίνηση των θρεπτικών στοιχείων από τις βελόνες πριν πέσουν. Τη μικρότερη μετακίνηση παρουσιάζει το Ca για το οποίο συνήθως παρουσιάζονται αρνητικές τιμές, δηλαδή παρατηρείται μετακίνηση Ca από τους νεότερους στους γηραιότερους ιστούς (Sollins και συν. 1980, Lim και Cousens 1986β). Την ιδιότητα αυτή του Ca χρησιμοποιεί ο Nambiar (1987) για να εξετάσει τις σχέσεις του Ca προς το N, P και K με σκοπό να μελετήσει τη μετακίνηση των θρεπτικών στοιχείων στις ρίζες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4. ΦΥΤΙΚΑ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ ΚΑΙ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ

Τα φυτικά υπολείμματα αποτελούνται από φύλλα, καρπούς, κλαδιά, φλοιό, λέπια, οφθαλμούς, ρίζες κ.α, που πέφτουν συνεχώς στο έδαφος των δασικών οικοσυστημάτων.

Τα φύλλα αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος των φυτικών υπολειμμάτων ενός δασικού οικοσυστήματος. Συγκεκριμένα οι βελόνες αποτελούν το 68,9% στην *Pinus teada* (Gresham 1982), το 78% στην *Pinus sylvestris* (Lim και Cousens 1986α) και το 88% στην *Pinus nigra* (Τσιόντσης 1991).

Όλα τα φυτικά υπολείμματα συσσωρεύονται στην επιφάνεια του εδάφους, γιατί η αποσύνθεση τους δεν είναι άμεση, αλλά ολοκληρώνεται συνήθως σε αρκετά χρόνια. Η συνολική ποσότητα των φυτικών υπολειμμάτων κυμαίνεται από 0,5 t/ha/έτος σε αλπικά και αρκτικά οικοσυστήματα, 2,5-3,5 t/ha/έτος για δασικά οικοσυστήματα της εύκρατης περιοχής έως 5,5-15 t/ha/έτος για τα τροπικά δάση (Laud lout και Meyer 1955, Bray και Gorham 1964, Edwarfs και συν. 1973, Lear και συν. 1976, Artnson 1977, Edwards 1982, Α.λιφραγκής 1984, Lockaby και Taylor - Boyr 1986, Τσιόντσης 1991, Παπαιωάννου 1993).

Η ποσότητα των φυτικών υπολειμμάτων που επιστρέφει στο έδαφος ετησίως εξαρτάται από το δασοπονικό είδος, την ηλικία, την πυκνότητα και την κατάσταση της συστάδας, την γονιμότητα του εδάφους, το υψόμετρο και το κλίμα (θερμοκρασία-υγρασία) ιδιαίτερα του προηγούμενου και του τρέχοντος έτους (Αλιφραγκής 1984, Παπαμίχος 1990α). Στον Πίνακα 3.1 δίνονται τα στοιχεία για την ετήσια παραγωγή φυτικών υπολειμμάτων σε διάφορα οικοσυστήματα

Πίνακας 4.1: Ετήσια παραγωγή φυτικών υπολειμμάτων σε διάφορα οικοσυστήματα.

Δασοπονικό είδος	Περιοχή	Φύλλα		Κλαδιά		Σύνολο t/ha	Πηγή
		t/ha	%	t/ha	%		
Quercus conferta	Χολομώντα	3,30	80,10	0,80	19,90	4,1	Αλιφραγκής (1984)
Pinus sylvestris	Σκωτία	3,50	78,00	1,00	22,00	4,5	Lim και Cousins (1986)
Pinus nigra	Περία	2,40	88,00	0,34	12,00	2,7	Τσιόντσης (1991)
Pinus radiata	Χιλή	-	-	-	-	3,9	Huber και συν. (1986)
Pinus taeda	Λουζιάνα	-	-	-	-	5,74	Lockaby και Taylor-Boyr (1986)
Pinus radiata	N. Αφρική	2,83	86,40	0,44	13,60	3,27	Versfeld και Donld (1991)
Alnus Rubra	Ουάσινγκτον	4,44	86,20	0,71	13,80	5,15	Randwan και συν. (1984)
Μικτό πλατύφυλλων	Βέλγιο	3,16	60,00	2,08	40,00	5,24	Duvigneaud και συν. (1973)

4.1 Έκπλυση θρεπτικών στοιχείων από την βιομάζα με τα κατακρημνίσματα.

Πολλοί παράγοντες επηρεάζουν την έκπλυση των θρεπτικών στοιχείων από την υπέργεια βιομάζα. Μεταξύ αυτών οι σπουδαιότεροι παράγοντες είναι το δασοπονικό είδος (Alcock και Morton 1985), η ηλικία του φυλλώματος (Freedman και Prager 1986, Potter 1992), η θερμοκρασία του περιβάλλοντος και της βροχής, η οξύτητα και η ένταση της βροχής, η εποχή του έτους, η γονιμότητα του εδάφους, η πυκνότητα της κομοστέγης καθώς και η ποσότητα των θρεπτικών στοιχείων που βρίσκονται συσσωρευμένα στα φύλλα ή στις βελόνες της κομοστέγης (Peterson και Rolfe 1982, Arthur και Fahey 1993, Αλιφραγκής και Σεϊλόπουλος 1995).

Ο Αλιφραγκής (1984) αναφέρει ότι ο Tukey και οι συνεργάτες του ανακάλυψαν ότι παρατηρείται μεγαλύτερη έκπλυση θρεπτικών στοιχείων σε φυτά που αυξάνονται σε κακές ποιότητες τόπου σε σχέση με αυτά που εκπλύνονται από φυτά που βρίσκονται σε γόνιμα εδάφη και την δικαιολογεί ως μια πρόνοια της φύσης με την εντατικοποίηση της διαδικασίας της ανακύκλωσης και αποτελεσματικότερης χρήσης των θρεπτικών στοιχείων σε σταθμούς με μικρή διαθεσιμότητα θρεπτικών στοιχείων.

Οι ποσότητες των θρεπτικών στοιχείων που εκπλύνονται από την κομοστέγη θεωρούνται σημαντικές ιδιαίτερα στις κακές ποιότητες τόπου, γιατί φθάνουν στο έδαφος σε μορφές άμεσα προσλήψιμες από τα φυτά, επιτρέποντας έτσι άμεσα την επαναχρησιμοποίησή τους από αυτά (Αλιφραγκής και Σεϊλόπουλος 1995).

4.2 Έκπλυση θρεπτικών στοιχείων από το δασικό τάπητα

Η έκπλυση θρεπτικών στοιχείων από το δασικό τάπητα προς το ανόργανο έδαφος είναι μάλλον μια ενεργός διαδικασία ανταλλαγής ιόντων, δηλαδή ιόντα H^+ που περιέχονται στο νερό αντικαθιστούν κατιόντα, όπως είναι τα K, Ca, Na, Mg, που περιέχονται στο δασικό τάπητα και λιγότερο παθητική διαδικασία απομάκρυνσης των βάσεων. Με αυτό τον τρόπο μεγάλες ποσότητες θρεπτικών στοιχείων εκλύονται από το δασικό τάπητα προς το έδαφος. (Αλιφραγκής 1990).

Οι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η ταχύτητα έκπλυσης των θρεπτικών στοιχείων από το δασικό τάπητα είναι οι κλιματικές συνθήκες (θερμοκρασία του νερού και του περιβάλλοντος), οι μικροοργανισμοί, η μορφή και η ποσότητα με την οποία βρίσκονται τα θρεπτικά στοιχεία στο δασικό τάπητα, η διάρκεια και η οξύτητα της διαβροχής, ο δασικός τάπητας (είδος και μορφή), το δασοπονικό είδος και η ποσότητα του νερού. Επομένως η έκπλυση των θρεπτικών στοιχείων του δασικού τάπητα κάτω από φυσικές συνθήκες δεν γίνεται με την ίδια ταχύτητα.

Όταν αυξάνεται η διάρκεια και η οξύτητα της διαβροχής, παρατηρείται αύξηση της ποσότητας των θρεπτικών στοιχείων που εκπλύνονται από το δασικό τάπητα. Στην περίπτωση δε που οι εδαφικές συνθήκες, όπως η διαπερατότητα του εδάφους, η μηχανική σύσταση και η μικρή εναλλακτική ικανότητα ευνοούν την έκπλυση των θρεπτικών στοιχείων και από το έδαφος τότε είναι δυνατόν να προκληθεί και υποβάθμιση της γονιμότητας (Αλιφραγκής, 1990). Τα ευκίνητα στοιχεία Na και K

ελευθερώνονται γρήγορα από το δασικό τάπητα, το Ca και το Mg σχεδόν με τον ίδιο ρυθμό μείωσης του ξηρού βάρους των φυτικών υπολειμμάτων και τέλος για τα στοιχεία N, P και S, αρχικά παρατηρείται μια σχετική αύξηση λόγω συσσώρευσής τους στη βιομάζα των μικροοργανισμών και μετά το θάνατό τους, απελευθερώνονται αργά από το δασικό τάπητα (O' Connell, 1989).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΙΔΡΟΥΝ ΣΤΟ ΒΙΟΧΗΜΙΚΟ ΚΥΚΛΟ

5.1. Φυτικό είδος

Το φυτικό είδος επηρεάζει τις ποσότητες των θρεπτικών στοιχείων που προσλαμβάνονται από το έδαφος καθώς και το βαθμό έκπλυσης τους από τη διαπερώσα βροχή. Μεγαλύτερες ποσότητες θρεπτικών στοιχείων εκπλύνονται από τα πλατύφυλλα από ότι τα κωνοφόρα (Παπαμίχος και Αλιφραγκής, 1990).

Από το φυτικό είδος εξαρτάται και η ποσότητα και το είδος των φυτικών υπολειμμάτων καθώς και η ταχύτητα αποσύνθεσής τους, με αποτέλεσμα πολλές φορές να παρατηρούνται αλλαγές στο έδαφος με την αλλαγή του δασοπονικού είδους. Ακόμα από το φυτικό είδος εξαρτάται η κατανομή της οργανικής ουσίας και των θρεπτικών στοιχείων στα διάφορα μέρη του οικοσυστήματος καθώς και ο βαθμός έκπλυσης των θρεπτικών στοιχείων με τη διαπερώσα βροχή και η ποσότητα της κορμοαπορροής (Αλιφραγκής, 1984).

Οι ποσότητες των θρεπτικών στοιχείων που προσλαμβάνονται από τα διάφορα δασοπονικά είδη είναι διαφορετικές από είδος σε είδος και οι διαφορές αυτές διαπιστώνονται και στη συγκέντρωση των θρεπτικών στοιχείων στα διάφορα μέρη των φυτών (Παπαμίχος και Αλιφραγκής, 1990).

5.2. Κλιματικές συνθήκες

Η έννοια του κλίματος, κατά τους μετεωρολόγους, είναι δυναμική. Το κλίμα επηρεάζει το βιοχημικό κύκλο τόσο με την ποσότητα των φυτικών υπολειμμάτων επηρεάζοντας την ανάπτυξη της βλάστησης, όσο και με το είδος και τη χημική σύσταση αυτών.

Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που καθορίζουν τις ετήσιες ποσότητες των φυτικών υπολειμμάτων που παράγονται στα δασικά οικοσυστήματα, είναι το κλίμα όπως βέβαια διαμορφώνεται και από τις επιδράσεις του υψομέτρου και της έκθεσης. Ο Jensen (1974) αναφέρει ότι οι Bray και Gorham μελέτησαν την

επίδραση του κλίματος συγκρίνοντας δεδομένα από κύριες κλιματικές ζώνες και βρήκαν ότι η ολική παραγωγή φυτικών υπολειμμάτων κυμαίνεται από 1 t/ha/yr στα αρκτικά – αλπικά δάση, 3,5 t/ha/yr στα ψυχρά εύκρατα δάση και 11 t/ha/yr στα δάση του Ισημερινού.

5.3. Αποσύνθεση των φυτικών υπολειμμάτων και βιοχημικός κύκλος

Σημαντικό ρόλο στη διαδικασία της ανακύκλωσης των θρεπτικών στοιχείων παίζει και ο ρυθμός αποσύνθεσης των φυτικών υπολειμμάτων. Ο ρυθμός αποσύνθεσης των φυτικών υπολειμμάτων στα δασικά οικοσυστήματα καθορίζεται από:

- 1) Το μικροκλίμα του δασικού τάπητα, που είναι βασικά το τοπικό κλίμα τροποποιημένο από την παρουσία της κομοστέγης και ποικίλει ανάλογα με το είδος, την πυκνότητα, το ρυθμό ανάπτυξης και τη διαχείριση του οικοσυστήματος.
- 2) Το έδαφος πάνω στο οποίο αναπτύσσεται ο δασικός τάπητας και ιδιαίτερα το pH και η γονιμότητά του, καθώς και την υγρασία και τον αερισμό του.
- 3) Τη χημική και φυσική σύνθεση των φυτικών υπολειμμάτων.

Η αποσύνθεση των φυτικών υπολειμμάτων είναι το αποτέλεσμα πολύπλοκων διαδικασιών ανάμεσα σε βιοτικούς παράγοντες όπως είναι η εδαφική μικροχλωρίδα (μύκητες, βακτήρια), η εδαφική πανίδα (τερμίτες, μυρμήγκια κ.τ.λ.), τα θρεπτικά στοιχεία και ιδιαίτερα, το N και ο C καθώς και η σχέση N/C των υπολειμμάτων, η παρουσία οργανικών ενώσεων φαινολικού τύπου και σε αβιοτικούς παράγοντες όπως είναι η θερμοκρασία και η υγρασία (Fogel και Cromack 1977, Stevenson 1982, Edmonds 1991). Η αποσύνθεση αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας έως και 35°C. Με την αύξηση της υγρασίας αυξάνεται η ταχύτητα αποσύνθεσης των φυτικών υπολειμμάτων έως ενός ορισμένου σημείου (Παπαμίχος και Αλιφραγκής, 1990). Φυτικά υπολείμματα πλούσια σε θρεπτικά στοιχεία αποσυνθέτονται γρηγορότερα, ενώ αντίθετα τα φτωχά σε θρεπτικά στοιχεία αποσυνθέτονται αργά.

Ο ρυθμός απελευθέρωσης των θρεπτικών στοιχείων από τα φυτικά υπολείμματα είναι ο παράγοντας εκείνος ο οποίος κυρίως επηρεάζει τη διαδικασία της ανακύκλωσης των θρεπτικών στοιχείων στα δασικά οικοσυστήματα. Η σειρά απελευθέρωσης των θρεπτικών στοιχείων στα φύλλα των φυτικών υπολειμμάτων σε

οικοσύστημα *Pinus resinosa* ήταν $K > Mg > P, S > N > Ca$ (Bockheim και Leide, 1986).

Τα υπολείμματα των νεαρών συστάδων αποσυντίθενται γρηγορότερα από τα υπολείμματα των ώριμων συστάδων γιατί περιέχουν σε μεγαλύτερη αναλογία φύλλα και σε μικρότερη λιγνίτη, ρητίνες και κηρούς (Παπαμίχος 1990). Η ποσότητα των θρεπτικών στοιχείων που ανακυκλώνονται στο οικοσύστημα με τα φυτικά υπολείμματα εξαρτάται από τη χημική σύσταση και την ποσότητα τους (Αλιφραγκής 1984).

Οι ποσότητες των κυριότερων θρεπτικών στοιχείων στα φυτικά υπολείμματα ακολουθούν τη σειρά $C > N > Ca > K > Mg > S > P > Na$ (Cox 1973, Maclean και Wein 1978, Johansson 1993). Μεγαλύτερες ποσότητες θρεπτικών στοιχείων επιστρέφουν στο έδαφος με τα φυτικά υπολείμματα παρά με τη διαπερώσα βροχή και με την κορμοαπορροή (ίσως εκτός από το K) (Bockheim και συν. 1983, Jasbir και Singh 1986). Στον πίνακα που ακολουθεί από τη διεθνή βιβλιογραφία αναφέρονται οι ποσότητες των θρεπτικών στοιχείων που επιστρέφουν με τα φυτικά υπολείμματα στο έδαφος ορισμένων οικοσυστημάτων.

Πίνακας 5.1: Ετήσια παραγωγή θρεπτικών στοιχείων με τα φυτικά υπολείμματα (Kg/ha)

Δασοπονικό Είδος	N	P	K	Ca	Mg	Πηγή
<i>Fagus sylvatica</i>	49,00	4,00	16,00	16,20	1,60	Miller(1960)
<i>Pinus nigra</i>	12,20	1,50	4,80	14,00	2,60	Τσιόντσης(1991)
<i>Pinus taeda</i>	41,40	5,60	5,50	42,30	3,00	Lockaby και Taylor-Boyr (1991)
<i>Pinus radiata</i>	26,10	1,50	10,50	-	-	Verfaeld και Donald (1991)
<i>Pinus banksiana</i>	30,00	2,00	19,30	22,00	3,00	Foster (1974)
<i>Pinus sylvestris</i>	36,60	2,20	7,60	12,10	2,00	Lim και Causens (1986)
<i>Quercus conferta</i>	45,90	2,40	13,90	46,70	9,20	Αλιφραγκής (1984)
Τροπικά πλατύφυλλα	93,10	2,80	69,10	47,60	42,30	Rajvanshi και Gupta (1985)
<i>Alnus rubra</i>	82,00	4,00	19,00	41,00	9,00	Radwan και συν. (1984)
<i>Acer saccharum</i>	40,60	1,80	9,10	37,60	3,00	Morrison(1991)

Η θερμοκρασία και η υγρασία παίζουν καθοριστικό ρόλο στη διαδικασία αποσύνθεσης. Η αποσύνθεση είναι γενικά ταχύτερη σε δροσερές και υγρές περιοχές και πιο αργή σε ζεστές και ξηρές περιοχές (Inogawa 1972, Edwards και συν. 1973, Powers 1990, Edmonds 1991).

5.4. Συσσώρευση θρεπτικών στοιχείων στο οικοσύστημα

Σε ένα δασικό οικοσύστημα, η βλάστηση (υπέργεια και υπόγεια), ο δασικός τάπητας και το έδαφος αποτελούν τα σημεία εκείνα στα οποία συσσωρεύονται η οργανική ουσία, η ενέργεια και τα θρεπτικά στοιχεία. Η διαδικασία αποτελεί το βασικό μηχανισμό διατήρησης της γονιμότητας των δασικών εδαφών και διακρίνει κυρίως τα δασικά από τα γεωργικά εδάφη (Παπαμίχος 1990).

Η υπέργεια βιομάζα, η οποία αποτελείται από φύλλα, κλαδιά διαφόρων μεγεθών, φλοιό και ξύλο, μπορεί να φτάσει έως και 80% της συνολικής βιομάζας ενός οικοσυστήματος (Pehl και συν. 1984, Borgetti και συν. 1988, George και Varghese 1990). Η κατανομή της οργανικής ουσίας και των θρεπτικών στοιχείων στα διάφορα τμήματα της βλάστησης εξαρτάται από το δασοπονικό είδος, το κλίμα (θερμοκρασία και υγρασία), την ηλικία της συστάδας, την ποιότητα τόπου και τις συνθήκες εκμετάλλευσης (Αλιφραγκής 1984). Στον παρακάτω πίνακα δίνονται μερικά στοιχεία για την κατανομή της βιομάζας στα διάφορα μέρη της βλάστησης.

Η κατανομή των θρεπτικών στοιχείων στα διάφορα τμήματα της βιομάζας στα οικοσυστήματα πλατύφυλλων είναι:

Φύλλα > Κλαδιά > Κορμός (Katagiri και συν. 1986),

Ενώ στα οικοσυστήματα κωνοφόρων είναι:

Φύλλα > Φλοιός > Κλαδιά > Ξύλο (Kubin 1977, Turner 1981, Bockheim και συν. 1983). Στην *Picea abies*, στις βελόνες συγκεντρώνονται 1 – 4 φορές περισσότερα θρεπτικά στοιχεία από ότι στα κλαδιά (Nys και συν. 1983). Οι συνολικές ποσότητες των θρεπτικών στοιχείων που υπάρχουν στη βιομάζα (υπέργεια και υπόγεια) ακολουθούν τη σειρά:
N > Ca > K > Mg > S > P (Bockheim και συν. 1983).

Πίνακας 5.2: Κατανομή της βιομάζας στα διάφορα μέρη της φυτοκοινότητας (t/ha)

Δασοπονικό Είδος	Ηλικία (έτη)	Φύλλα	Κλαδιά	Κορμός	Ρίζες	Πηγή
Pinus sylvestris	46	11,2	20,70	87,30	-	Lim και Cousens(1986)
Pinus radiata	25	4,60	17,20	147,50	35,40	Pehl και συν. (1984)
Pinus menziesii	26	14,60	39,40	142,90	45,70	Borgetti και συν.(1988)
Quercus conferta	38	3,40	21,50	82,50	21,60	Αλιφραγκής (1984)
Abies amabilis	23	13,64	7,70	27,66	24,74	Grier και συν (1980)
Abies balsamea	-	15,00	17,00	86,00	-	Sprugel (1984)
Eucalyptus globulus	17	11,50	39,10	409,70	-	George και Varghese(1990)
Eucalyptus regmans						Frederick και συν. (1985)

Ο ρυθμός συσσώρευσης θρεπτικών στοιχείων στα φύλλα και στις λεπτές ρίζες είναι μεγαλύτερος κατά τα πρώτα στάδια της ζωής μιας συστάδας. Όταν η κομοστέγη της συστάδας κλείσει, τότε η βιομάζα και τα θρεπτικά στοιχεία που βρίσκονται στα φύλλα παίρνουν τη μεγαλύτερη τιμή. Στη συνέχεια, παρατηρείται περιορισμός της παραγωγής των φύλλων και συνέχιση της αύξησης των ξυλωδών μερών του φυτού (κορμός, κλαδιά, χονδρές ρίζες) (Miller και συν. 1980, Sprugel 1984, Χατζηστάθης 1986). Στον παρακάτω πίνακα δίνονται η συσσώρευση της οργανικής ουσίας και των θρεπτικών στοιχείων στο υπέργειο τμήμα της βλάστησης διαφόρων οικοσυστημάτων όπως εμφανίζονται στη βιβλιογραφία.

Πίνακας 5.3: Συσσωρευση οργανικής ουσίας (t/ha) στο υπέργειο τμήμα της βλάστησης διαφόρων οικοσυστημάτων

Δασοπονικό Είδος	Οργ. ουσία	N	P	K	Ca	Mg	Πηγή
<i>Pinus sylvestris</i>	121	332	35	212	139	46	Lim και Cousins(1986)
<i>Pinus radiata</i>	270	340	41	260	270	14	Baker και Attiwill (1985)
<i>Pinus nigra</i>	186	237	31	130	951	63	Τσιόντσης(1991)
<i>Abies balsamea</i>	118	477	-	181	304	46	Sprungel (1984)
<i>Quercus conferta</i>	118	576	33	231	1202	64	Αλιφραγκής (1984)
<i>Eucalyptus globulus</i>	77	474	32	386	-	-	George και Varghese(1990)
<i>Eucalyptus obliqua</i>	330	350	21	150	200	90	Baker και Attiwill (1985)
<i>Eucalyptus regmans</i>	460	555	76	601	574	150	Frederick και συν. (1985)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗ ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΤΟ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑ

6.1. Επίδραση της ποιότητας τόπου στη συσσώρευση θρεπτικών στοιχείων στο οικοσύστημα

Η ποιότητα τόπου επηρεάζει τη διαδικασία της συσσώρευσης θρεπτικών στοιχείων στο οικοσύστημα και ιδιαίτερα:

1. Την ταχύτητα αποσύνθεσης των φυτικών υπολειμμάτων. Η ανάμιξη των φυτικών υπολειμμάτων με το ανόργανο έδαφος είναι μεγαλύτερη όσο ανώτερη είναι η ποιότητα τόπου.
2. Τις ποσότητες των θρεπτικών στοιχείων που εκπλύνονται από το δασικό τάπητα. (Αλιφραγκής 1990, Παπαϊωάννου 1993)
3. Την έκπλυση του K και Mg από την κομοστέγη.
4. Τη χημική σύσταση της παρεδαφιαίας βλάστησης.
5. Την κατανομή των θρεπτικών στοιχείων στα διάφορα μέρη του οικοσυστήματος (Αλιφραγκής 1984)

Γενικά η κακή ποιότητα τόπου τείνει να συγκεντρώσει μεγάλο ποσοστό θρεπτικών στοιχείων που είναι συσσωρευμένα στο δασικό τάπητα του οικοσυστήματος.

6.2. Επίδραση του κλίματος στη συσσώρευση θρεπτικών στοιχείων

Η συσσώρευση θρεπτικών στοιχείων στο οικοσύστημα εξαρτάται από όλους εκείνους τους κλιματικούς παράγοντες που ευνοούν τις προσθήκες και περιορίζουν την απομάκρυνση θρεπτικών στοιχείων από το οικοσύστημα. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει η επίδραση του κλίματος στη συσσώρευση θρεπτικών στοιχείων στα διάφορα μέρη του οικοσυστήματος, η οποία και καθορίζει την όλη λειτουργία και ανάπτυξη του οικοσυστήματος.

Σε περιοχές που έχουν ομοιόμορφη θερμοκρασία οι εναλλασσόμενες εποχές με πολύ διαφορετικό ποσοστό υγρασίας αυξάνουν την ταχύτητα αποσύνθεσης της οργανικής ουσίας. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο στα κλίματα μεσογειακού τύπου παρουσιάζεται σχετικά ταχεία αποσύνθεση των φυτικών υπολειμμάτων, έτσι ώστε είναι πρακτικά αδύνατο να βρεθεί χούμος τύπου Μορ ακόμα και στα πιο φτωχά όξινα περιβάλλοντα. Η επίδραση των γρήγορων μεταβολών του μικροκλίματος με το χρόνο είναι σημαντική. Οι εναλλαγές σκιάς και φωτός προκαλούν επίσης εναλλαγή στις διαδικασίες συσσώρευσης και ανοργανοποίησης της οργανικής ουσίας και με αυτό τον τρόπο ο χούμος μπορεί να απελευθερώσει τα ακινητοποιημένα θρεπτικά στοιχεία του αμέσως και ο φυσιολογικά αργός κύκλος να επιταχυνθεί (Duchaufour, 1982).

6.3. Εσωτερική μετακίνηση θρεπτικών στοιχείων και επίδρασή της στη συσσώρευση

Για να εκτιμηθεί η αποτελεσματική χρήση των θρεπτικών στοιχείων από τα φυτά είναι απαραίτητο να εξετάζεται η ανακύκλωσή τους μέσα στο οικοσύστημα. Οι Αλιφραγκής και Τσιόντσης (1995) αναφέρουν ότι ο Vitousek πρότεινε, για τα ώριμα δάση την έννοια της αποτελεσματικής χρήσης των θρεπτικών στοιχείων. Αποτελεσματική δε χρήση θεωρούν τη σχέση της ποσότητας των θρεπτικών στοιχείων που είναι συσσωρευμένα στη βιομάζα και της ποσότητας αυτών που επιστρέφουν στο έδαφος με τα φυτικά υπολείμματα και την έκλυση.

Η αποτελεσματική χρήση των θρεπτικών στοιχείων εξαρτάται από την ποιότητα τύπου, την ηλικία της συστάδας (Bockein και συν. 1983), το δασοπονικό είδος (Lim και Causens 1986) και την αναπαραγωγική κατάσταση των δένδρων. Επίσης σημαντικότερα επηρεάζεται η αποτελεσματική χρήση των θρεπτικών στοιχείων από την εσωτερική μετακίνηση των θρεπτικών στοιχείων από γηραιότερους ιστούς, πριν τη νέκρωσή τους, προς τους νεότερους ιστούς (Millard και Proe 1982). Αυτό βέβαια αφορά την πτώση των φύλλων οπότε γίνεται ιδιαίτερα αντιληπτό. Γενικά η αποτελεσματική χρήση των θρεπτικών στοιχείων επηρεάζεται από όλους εκείνους τους παράγοντες που ευνοούν την ανακύκλωση των θρεπτικών στοιχείων στα οικοσυστήματα.

Η εσωτερική μετακίνηση των θρεπτικών στοιχείων αναφέρεται κυρίως στη μετακίνηση σακχάρων και αμινοξέων από τα φύλλα προς τους διάφορους ιστούς, έχει

σχέση με τη διάσπαση της χλωροφύλλης, καθορίζεται γενετικά και η ένταση της επηρεάζεται από τη φύση κάθε θρεπτικού στοιχείου. Τα N, P, S, Cl, μετακινούνται εύκολα ενώ τα Mg, Ca και τα βαρέα μέταλλα μετακινούνται αργά. Το Ca παρουσιάζει τη μικρότερη μετακίνηση και συνήθως παρουσιάζονται αρνητικές τιμές εσωτερικής μετακίνησης, δηλαδή παρουσιάζεται συνεχής απόθεση Ca στους γηραιότερους ιστούς (Larcher 1980, Lim και Causens 1986, Τσιόντσης 1991).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

7. ΜΟΡΦΕΣ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΚΑΙ ΓΟΝΙΜΟΤΗΤΑ ΔΑΣΙΚΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

7.1. Αζώτο (N)

Το άζωτο είναι ένα από τα τρία θρεπτικά στοιχεία των φυτών του οποίου έχουμε συχνά έλλειψη στο έδαφος (τα άλλα δυο είναι το K και ο P). Έλλειψη του αζώτου σε αφομοιώσιμη μορφή έχει ως συνέπεια τον περιορισμό της ανάπτυξης του φυτού.

Η κύρια πηγή N για το έδαφος είναι η ατμόσφαιρα. Οι κυριότερες αζωτούχες ενώσεις στην ατμόσφαιρα είναι τα NO, NO₂, N₂O και NH₃, N₂ καθώς και μικρές ποσότητες NO₃ και NH₄ τα οποία περιέχονται σε ορισμένα αεροζόλ. Το N της ατμόσφαιρας σύμφωνα με μια γεωχημική θεωρία (Stevenson 1965) υπάρχει με την μορφή αμμωνιακών και νιτρικών αλάτων στο στερεό φλοιό της γης. Με την αύξηση της θερμοκρασίας το άζωτο απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα κυρίως με την μορφή της αμμωνίας. Όταν δημιουργηθεί κατάλληλο περιβάλλον για την ανάπτυξη πλούσιας βλάστησης η ατμόσφαιρα εμπλουτίζεται με οξυγόνο. Ο εμπλουτισμός αυτός έχει ως αποτέλεσμα την οξείδωση της αμμωνίας και την μετατροπή της σε άζωτο . Με τον τρόπο αυτό συσσωρεύτηκαν στην ατμόσφαιρα μεγάλες ποσότητες αζώτου. Εκτιμάται ότι το N στην ατμόσφαιρα είναι 2.500 φορές περισσότερο σε σχέση με αυτό που ήταν δεσμευμένο στο έδαφος και τα πετρώματα (Rosswall,1980).

Η διαδικασία της συσσώρευσης του αζώτου στο έδαφος γίνεται με δύο τρόπους :

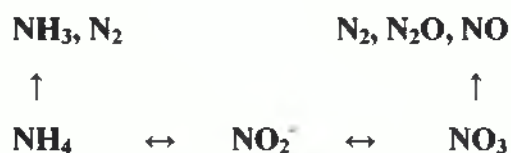
1. Τον εμπλουτισμό του εδάφους με αζωτούχες ενώσεις που φτάνουν σε αυτό μαζί με τα διάφορα κατακρημνίσματα.
2. Την βιολογική δέσμευση του ατμοσφαιρικού αζώτου που γίνεται από διάφορους μικροοργανισμούς που βρίσκονται στο έδαφος είτε μεμονωμένοι, είτε σε συμβίωση με ορισμένα φυτά.

7.1.1. Μορφές αζώτου στο έδαφος

Α. Ανόργανες μορφές. Στο έδαφος συναντώνται διάφορες μορφές ανόργανου αζώτου. Οι μορφές αυτές είναι το υποξείδιο (N₂O), το μονοξείδιο (NO), το διοξείδιο (NO₂) του αζώτου, η αμμωνία (NH₃), τα ιόντα αμμώνιο (NH₄⁺), νιτρώδη (NO₂⁻) και

νιτρικά (NO_3^-) καθώς και το μοριακό άζωτο (N_2). Τα τρία πρώτα οξειδία βρίσκονται σε πολύ μικρές ποσότητες στον εδαφικό αέρα, το NH_4^+ βρίσκεται τόσο στο εδαφικό διάλυμα όσο και ως εναλλακτικό ή δεσμευμένο ιόν (αμμώνιο – ταρακανίτης, ιλλίτης, βερμικουλίτης κ.λ.π.). Το μοριακό άζωτο βρίσκεται στον εδαφικό αέρα υπό μορφή αερίου καθώς και διαλυμένο στο εδαφικό διάλυμα. Τέλος τα νιτρικά και νιτρώδη ανιόντα βρίσκονται στο εδαφικό διάλυμα. Στο εδαφικό διάλυμα σύμφωνα με τον Black (1986) βρίσκεται λιγότερο από το 2 % της ολικής ποσότητας του N με τις μορφές NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ .

Το άζωτο είναι από τα περισσότερο πολύπλοκα και ταυτόχρονα ευκίνητα θρεπτικά στοιχεία των φυσικών οικοσυστημάτων. Στο εδαφικό περιβάλλον παρατηρούνται συνεχώς αλλαγές της μιας μορφής σε άλλη. Σχηματικά οι αλλαγές αυτές εκφράζονται ως εξής:



B. Οργανικές μορφές. Το άζωτο των επιφανειακών στρωμάτων των δασικών εδαφών βρίσκεται κυρίως υπό οργανική μορφή. Υπολογίζεται ότι το 90-95 % του αζώτου στους επιφανειακούς ορίζοντες βρίσκεται με αυτή τη μορφή. Οι αζωτούχες οργανικές ενώσεις του εδάφους είναι κυρίως διάφορα ελεύθερα αμινοξέα και αμινοσάκχαρα καθώς και πεπτίδια, πρωτεΐνες, ενώ σε πολύ μικρές ποσότητες, ίχνη θα μπορούσε να πει κανείς, συναντώνται νουκλεϊνικά οξέα, χλωροφύλλη, φωσφολιπίδια, αμίνες, βιταμίνες καθώς και προϊόντα μετασχηματισμού των παραπάνω ενώσεων. Η ακριβής μορφή και σύσταση των περισσότερων αζωτούχων ενώσεων του εδάφους παραμένει ακόμα άγνωστη.

Η διάκριση των διαφόρων αζωτούχων οργανικών ουσιών του εδάφους στηρίζεται στην υδρόλυσή τους εν θερμώ με ισχυρά ανόργανα οξέα και σπανιότερα με βάσεις. Στην υδρόλυση με οξέα χρησιμοποιείται HCl 3N ή 6N η οποία διαρκεί 12-24 ώρες (Stevenson 1982).

7.1.2. Παράγοντες που επηρεάζουν την περιεκτικότητα του εδάφους σε άζωτο

Η μέση περιεκτικότητα σε N των επιφανειακών στρωμάτων ενός δασικού εδάφους κυμαίνεται από 0,1-0,5 %. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την περιεκτικότητα αυτή είναι:

- **Κλιματολογικές συνθήκες**

Το κλίμα και ιδιαίτερα η θερμοκρασία και η υγρασία παίζουν καθοριστικό ρόλο στην περιεκτικότητα του εδάφους σε N, γιατί επηρεάζουν τόσο τη βλάστηση όσο και τη φύση των μικροοργανισμών.

Καθώς η υγρασία αυξάνεται, αυξάνεται και η περιεκτικότητα του εδάφους σε N. Αυτό οφείλεται στην αύξηση της παραγωγής οργανικής ουσίας που συνοδεύεται από παράλληλη αύξηση της βιολογικής δέσμευσης του N. Αύξηση της υγρασίας πέραν από τις άριστες συνθήκες παραγωγής οργανικής ουσίας, έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της περιεκτικότητας του εδάφους σε N (κυρίως των επιφανειακών οριζόντων) που προκαλείται από τη μείωση της ταχύτητας αποσύνθεσης των οργανικών υπολειμμάτων.

Αντίθετα, με την αύξηση της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας έχουμε γενικότερα μείωση της περιεκτικότητας του εδάφους σε N, λόγω της εντονότερης δραστηριότητας των μικροοργανισμών που αποσυνθέτουν την οργανική ουσία του εδάφους και αυξάνουν την ένταση της ορυκτοποίησης του οργανικού N. Αυτό όμως δεν ισχύει πάντοτε, γιατί είναι δυνατόν, με την αύξηση της θερμοκρασίας μέχρι ενός σημείου, να παρατηρηθεί και ακριβώς το αντίθετο φαινόμενο δηλαδή αύξηση της βιολογικής δέσμευσης του αζώτου που προκαλείται από την άνοδο της θερμοκρασίας και την αύξηση της παραγωγής οργανικής ουσίας.

- **Τοπογραφικές συνθήκες**

Οι τοπογραφικές συνθήκες επηρεάζουν την περιεκτικότητα του εδάφους σε N, κυρίως έμμεσα με την επίδραση που ασκούν αυτές στις κλιματολογικές συνθήκες και ιδιαίτερα στην υγρασία και τη θερμοκρασία καθώς και στη διάβρωση του εδάφους. Έτσι απότομες κλίσεις είναι σχετικά ξηρές λόγω της απορροής του νερού. Κάτω από τέτοιες συνθήκες δεν αναπτύσσεται πλούσια βλάστηση και συνεπώς δεν εφοδιάζεται το έδαφος με N. Επίσης η διάβρωση έχει ως αποτέλεσμα την απομάκρυνση του επιφανειακού εδάφους που στις περισσότερες περιπτώσεις είναι πλούσιο σε N.

Επίσης η τοπογραφική θέση επηρεάζει την περιεκτικότητα του εδάφους σε N, γιατί με τη σειρά της επηρεάζει και τις συνθήκες υγρασίας του τόπου.

- **Είδος βλάστησης**

Η ικανότητα των διαφόρων δασοπονικών ειδών να δεσμεύουν με συμβιωτική διαδικασία N δεν είναι η ίδια, με αποτέλεσμα και τα φυτικά υπολείμματα με τα οποία εφαρμόζεται το δασικό έδαφος να μεταφέρουν λιγότερες ή περισσότερες ποσότητες αζώτου σε αυτό.

- **Εδαφικές συνθήκες**

Οι εδαφικές συνθήκες επηρεάζουν έμμεσα κυρίως την ποσότητα του αζώτου λόγω της επίδρασής τους στο είδος, την ποσότητα της παραγόμενης οργανικής ουσίας και στην ταχύτητα αποσύνθεσης αυτής καθώς και στο είδος και τον αριθμό των μικροοργανισμών που δεσμεύουν N ή ορυκτοποιούν τις αζωτούχες οργανικές ενώσεις.

7.1.3. Απώλειες αζώτου

1. Πυρκαγιές

Οι πυρκαγιές επηρεάζουν τον κύκλο του αζώτου άμεσα γιατί μεγάλες ποσότητες αζώτου χάνονται με την αποτέφρωση μεγάλων ποσοτήτων οργανικής ουσίας και έμμεσα λόγω των μεταβολών στις φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους που προκαλούνται από αυτές και οι οποίες επηρεάζουν τις μορφές του αζώτου στο έδαφος (Mroz και συν. 1980).

Κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς παράγονται μικρές ποσότητες αμμωνίας και μεγάλες ποσότητες μοριακού αζώτου (N_2) και οξειδίων του αζώτου από την καύση της υπέργειας βιομάζας, οι οποίες και χάνονται στην ατμόσφαιρα. Οι Crutzen και συν 1979 υπολόγισαν ότι σε παγκόσμια κλίμακα οι απώλειες αζώτου από τις πυρκαγιές ανέρχονται ετησίως σε $20-100 \cdot 10^6$ t, από τις οποίες το N_2O ανέρχεται σε $13 \cdot 10^6$ t. Οι πυρκαγιές επίσης επηρεάζουν την ποσότητα του ορυκτού αζώτου στο έδαφος. Μετά από πυρκαγιές παρατηρείται μεγαλύτερη ταχύτητα νιτροποίησης με αποτέλεσμα να αυξάνονται οι απώλειες αζώτου είτε λόγω της μεγαλύτερης ταχύτητας έκπλυσης των νιτρικών είτε λόγω της αύξησης της ταχύτητας απονιτροποίησης. Οι Παπαμίχος και συν. 1993 αναφέρουν ότι οι απώλειες αζώτου με την πυρκαγιά από την καταστροφή

της κόμης και του δασικού τάπητα ανήλθαν στις πυρκαγιές της Θάσου του έτους 1985 και 1989 σε 550 σε οικοσύστημα τραχείας πεύκης, σε 516 kg/ha σε οικοσύστημα χαλεπίου πέυκη στην Κασσάνδρα Χαλκιδικής και σε 402 kg/ha σε οικοσυστήματα αείφυλλων πλατύφυλλων.

2. Υλοτομίες – απόληψη προϊόντων

Οι υλοτομίες επιταχύνουν τη διαδικασία της νιτροποίησης (Tamm 1979). Ιδιαίτερα οι αποψιλωτικές υλοτομίες αυξάνουν τη συγκέντρωση νιτρικών στο έδαφος (Hornbeck και συν. 1975). Οι αιτίες της αύξησης αυτής είναι:

- a. Η αύξηση της νιτροποίησης
- b. Η αύξηση της θερμοκρασίας και της υγρασίας του εδάφους με αποτέλεσμα την αύξηση της αποσύνθεσης της οργανικής ουσίας
- c. Η μείωση της πρόσληψης των νιτρικών από τα φυτά.

Πολλές φορές επειδή μειώνεται η ποσότητα των εκπλυομένων από την κομοστέγη νιτρικών και επειδή αυξάνεται η έκπλυση του εδάφους μετά από αποψιλωτικές υλοτομίες, περιορίζεται προσωρινά η ποσότητα των νιτρικών στο εδαφικό διάλυμα. Γενικά όμως υπάρχει τάση να αυξάνονται οι ποσότητες των νιτρικών μετά από αποψιλωτικές υλοτομίες. Αυτές τελικά έχουν ως αποτέλεσμα εκτός από την απομάκρυνση ποσοτήτων αζώτου λόγω της απόληξης προϊόντων και παραπέρα μείωσής του λόγω της αύξησης της έντασης της νιτροποίησης και απονιτροποίησης.

3. Απώλεια αζώτου με τη μορφή αερίου

Η απώλεια αζώτου με τη μορφή αερίου αναφέρεται κυρίως στην απώλεια αμμωνίας καθώς και στην απώλεια οξειδίων του αζώτου και μοριακού αζώτου που εκπλύονται προς την ατμόσφαιρα με τη διαδικασία της απονιτροποίησης.

Κάτω από ορισμένες εδαφικές συνθήκες (υψηλό pH, μικρή εναλλακτική ικανότητα του εδάφους) είναι δυνατόν με την ανοργανοποίηση ορισμένων αζωτούχων ουσιών να σχηματιστεί αέριος αμμωνία η οποία διαφεύγει στην ατμόσφαιρα με αποτέλεσμα να έχουμε απώλεια αζώτου. Ο σχηματισμός αμμωνίας και στην συνέχεια η διάχυση της στην ατμόσφαιρα γίνεται εντονότερη όταν χρησιμοποιούμε σε παρόμοια εδάφη ως αζωτούχο λίπανση, την ουρία. Σχετικές έρευνες πάνω στις απώλειες αζώτου μετά από λίπανση δασικών εδαφών με ουρία έδειξαν μεγάλη απώλεια αζώτου. Οι απώλειες αυτές ποικίλουν από 3,5% έως 48% της προστιθέμενης ουρίας (Freney 1981). Για περιορισμό την απωλειών αυτών η ουρία παρασκευάζεται σε χόνδρους κόκκους

(pellet) και παράλληλα προστίθεται σε αυτή φωσφορικό οξύ βορικό οξύ το οποίο περιορίζουν την απώλεια αμμωνίας (Nommik 1973), ή χρησιμοποιούνται άλλες μορφές αζωτούχων λιπασμάτων.

4. Απώλειες αζώτου με την έκπλυση

Από τις αζωτούχες ενώσεις αυτές που χάνονται με την έκπλυση είναι κυρίως τα νιτρικά ιόντα τα οποία δεν συγκρατούνται από τα κολλοειδή του εδάφους. Σύμφωνα με τους Collison και Mensching 1930 το 99 % του αζώτου που χάνεται με την έκπλυση βρίσκεται με τη μορφή νιτρικών ανιόντων. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την έκπλυση των νιτρικών συνδέονται περισσότερο με την ποσότητα του νερού που διηθείται καθώς και με τους παράγοντες του εδάφους που επηρεάζουν την ποσότητα αυτή. Ειδικότερα οι παράγοντες αυτοί είναι:

1. Η μηχανική σύσταση του εδάφους.
2. Η δομή του εδάφους.
3. Η ποσότητα των κατακρημνισμάτων.
4. Το είδος και η πυκνότητα της βλάστησης.
5. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την νιτροποίηση.

5. Απώλειες αζώτου από τη διάβρωση του εδάφους

Η διάβρωση του εδάφους έχει ως αποτέλεσμα την απομάκρυνση εδαφικού υλικού. Μαζί με το εδαφικό αυτό υλικό απομακρύνονται και σημαντικές ποσότητες αζώτου. Έτσι ο Lal (1980) αναφέρει ότι με τη διάβρωση ενός γυμνού από βλάστηση εδάφους με κλίση μικρότερη από 15% οι απώλειες αυτές αζώτου ανέρχονται κατά μέσο όρο ετησίως σε 210 kg/ha. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η επιφανειακή διάβρωση στα δασικά εδάφη της Ελλάδας και γενικότερα στα ορεινά εδάφη είναι έντονη και το γεγονός ότι οι μεγαλύτερες ποσότητες αζώτου βρίσκονται στους επιφανειακούς ορίζοντες που είναι πλούσιοι σε οργανική ουσία, η διάβρωση του εδάφους έχει ως αποτέλεσμα την απώλεια σημαντικών ποσοτήτων αζώτου που πιθανότατα είναι πολύ μεγαλύτερες από όλες τις άλλες απώλειες μαζί. Οι Παπαμίχος και συν. (1993) αναφέρουν μεγάλες απώλειες αζώτου με την διάβρωση του εδάφους μετά από πυρκαγιές. Συγκεκριμένα αναφέρουν απώλειες που φθάνουν και τα 1204 kg/ha μέσα σε χρονικό διάστημα 7 ετών μετά από πυρκαγιά σε ένα οικοσύστημα χαλεπίου πεύκης στην Κασσάνδρα Χαλκιδικής.

7.1.4. Πρόσληψη του αζώτου από τα φυτά

Τα φυτά προσλαμβάνουν το N κυρίως με τη μορφή των νιτρικών ανιόντων (NO_3^-) και λιγότερο με τη μορφή αμμωνιακών κατιόντων (NH_4^+) και αμμωνίας (NH_3) (Lawlor 1991) από το έδαφος. Το NO_3^- που προσλαμβάνεται από τα φυτά ανάγεται μέσα σ' αυτά και ενσωματώνεται στους ιστούς σχηματίζοντας αμινοξέα και αμίδια. Η αναγωγή αυτή των NO_3^- , γίνεται είτε στις ρίζες είτε στα φύλλα και τους βλαστούς είτε και στα δύο μέρη (Smirnoff και Stewart 1986). Ως πρόσφατα πιστευόταν ότι στα διάφορα δασοπονικά είδη η αναγωγή γίνονταν στις ρίζες (Bray 1983). Τελευταίες όμως έρευνες έδειξαν ότι η αναγωγική αυτή διαδικασία γίνεται περισσότερο στα φύλλα (Smirnoff και συν. 1984). Έρευνες έδειξαν ότι ορισμένα φυτά μπορούν να προσλάβουν απ' ευθείας από την ατμόσφαιρα αέριο αμμωνίας (Porter και συν. 1972, Hutchinson και συν. 1972, Borman και συν. 1977). Πολλά δασικά είδη όπως π.χ. η δρυς και η οξυά μπορούν να χρησιμοποιήσουν κάτω από συνθήκες έλλειψης νιτρικού αζώτου, αμμωνιακό άζωτο, αν και οι άριστες συνθήκες θρέψης απαιτούν την παρουσία και του πρώτου. Αντίθετα ορισμένα ταχυνωτή είδη όπως η λεύκη και η φλαμουριά απαιτούν μεγάλη ποσότητα νιτρικού αζώτου στο έδαφος. Μεγάλες σχετικά ποσότητες αμμωνιακού N προσλαμβάνονται και χρησιμοποιούνται από τα κωνοφόρα ιδιαίτερα σε όξινα εδάφη.

Η πρόσληψη NO_3^- -N φαίνεται ότι είναι βασική στην επιβίωση των φυταρίων που αναπτύσσονται σε πολύ όξινα εδάφη. Πράγματι ο Gijman 1990 έδειξε ότι η πρόσληψη NO_3^- -N είναι βασική για την επιβίωση των φυταρίων ερυθρελάτης σε πολύ όξινα εδάφη. Στην περίπτωση αυτή τα φυτά ξηραίνονται κυρίως γιατί όταν το NO_3^- -N που προσλαμβάνουν είναι λιγότερο από 20% της ολικής πρόσληψης αζώτου, τα φυτά δεν παράγουν τις απαραίτητες ποσότητες καρβοξυλίων που χρησιμοποιούνται στον εσωτερικό έλεγχο της οξύτητας, ενώ όταν το NO_3^- -N είναι περισσότερο από 65% του ολικού αζώτου τότε προκαλείται μια αύξηση της αλκαλικότητας της ριζόσφαιρας η οποία βελτιώνει την ανάπτυξη των ριζών.

Τα δασοπονικά είδη φαίνεται να προτιμούν τα αμμωνιακής μορφής άζωτο παρά το γεγονός ότι οι υψηλότερες συγκεντρώσεις νιτρικού αζώτου καθώς και η ευκινησία των νιτρικών στο εδαφικό περιβάλλον πολλές φορές βοηθούν την πρόσληψη NO_3^- -N με συνέπεια να παρατηρείται μια αύξηση του pH της ριζόσφαιρας.

Οι ποσότητες του αζώτου που προσλαμβάνονται κάθε χρόνο από τα δασικά οικοσυστήματα κυμαίνονται πάρα πολύ. Χαρακτηριστικά είναι τα στοιχεία του πίνακα 7.1 που δίνει τις ποσότητες αυτές.

Πίνακας 7.1: Ετήσια πρόσληψη αζώτου από διάφορα δασικά οικοσυστήματα

Δασικό οικοσύστημα	Περιοχή	Ποσότητα kg/ha	Πηγή
Μικτό πλατύφυλλων	Βέλγιο	92	Duvigneaud και συν (1973)
Μικτό δρυός	Οκλαχόμα ΗΠΑ	101	Johnson και Risser (1974)
Πλατύφυλλα	ΗΠΑ	70	Cole (1981)
Ερυθρελάτη	ΗΠΑ	32	Turner (1975)
Πλατύφυλλου δρυός	Ταξιάρχης	73,3	Αλιφραγκής (1983)

Μέρος της ποσότητας αυτής επανέρχεται με τη διαδικασία της ανακύκλωσης πάλι στο έδαφος, ενώ ένα μικρό μέρος παραμένει στα φυτά για τη σύνθεση των πρωτεϊνών, νουκλεϊνικών οξέων κλπ. Υπολογίζεται ότι για το οικοσύστημα της πλατυφύλλου δρυός του Ταξιάρχη Χαλκιδικής, η μέση ετήσια δέσμευση αζώτου από την βλάστηση ανέρχεται σε 14,7 kg/ha ενώ το υπόλοιπο επιστρέφει στο έδαφος (Αλιφραγκής 1983).

7.1.5. Συμπτώματα έλλειψης αζώτου

Τα φυτά χρησιμοποιούν το άζωτο που προσλαμβάνουν για τη σύνθεση των πρωτεϊνών. Παράλληλα το στοιχείο αυτό συμμετέχει ως συστατικό ορισμένων άλλων ουσιών των φυτών όπως ενζύμων, νουκλεϊνικών οξέων, χλωροφύλλης, δηλαδή αποτελεί βασικότατο θρεπτικό στοιχείο, προσθήκη δε αζώτου επιτείνει την αύξηση των δένδρων περισσότερο από κάθε άλλο στοιχείο.

Σε περιπτώσεις κατά τις οποίες δεν είναι δυνατός ο εφοδιασμός των φυτών με τις απαραίτητες ποσότητες αζώτου, τότε τα φύλλα παρουσιάζουν κιτρινοπράσινο μέχρι κιτρινωπό χρώμα, μικρότερο μέγεθος, μικρή περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη. Οι κλαδίσκοι γίνονται λεπτοί και παράλληλα παρατηρείται μείωση της φωτοσύνθεσης

και της παραγωγής οργανικής ουσίας, ενώ αυξάνεται το ριζικά σύστημα σε σύγκριση με το υπέργειο τμήμα και μειώνεται η διάρκεια της αυξητικής περιόδου.

Τα συμπτώματα αυτά συνοδεύονται από ξήρανση ή και πτώση των παλαιότερων φύλλων. Στις περιπτώσεις έλλειψης αφομοιώσιμου αζώτου τα φυτά παρουσιάζουν ένα ομοιόμορφο κιτρινωπό χρώμα το οποίο είναι και το χαρακτηριστικό σύμπτωμα της έλλειψης αυτής.

Ο κανονικός εφοδιασμός των φυτών σε άζωτο αντανακλά και τη συγκέντρωση του σε ορισμένα σχετικώς ευαίσθητα τμήματά τους, όπως π.χ. στα φύλλα. Στον πίνακα 6.2 δίνονται, ενδεικτικά ορισμένες συγκεντρώσεις στα φύλλα ορισμένων δασοπονικών ειδών της χώρας μας (Αλιφραγκής και συν. 1985).

7.2 Φώσφορος (P)

7.2.1. Προέλευση

Στο έδαφος ο P βρίσκεται υπό οργανική και υπό ανόργανη μορφή. Και για τις δύο μορφές κύρια και σχεδόν αποκλειστική θα μπορούσε να πει κανείς αρχική προέλευση του φωσφόρου είναι τα διάφορα πρωτογενή και δευτερογενή ορυκτά που περιέχουν το στοιχείο αυτό. Μερικά από τα ορυκτά αυτά τα συναντά κανείς κυρίως στα πυριγενή πετρώματα, ενώ άλλα στα δευτερογενή ιζηματογενή πετρώματα. Τα ορυκτά που περιέχουν φώσφορο μπορούν να διακριθούν σε δύο μεγάλες ομάδες, δηλαδή (1) σ' αυτά που περιέχουν ασβέστιο και (2) στα άλατα του H_3PO_4 που περιέχουν Al και Fe. Στη φύση όσο προχωρεί η αποσάθρωση τόσο αυξάνεται η περιεκτικότητα του εδάφους σε φωσφορικές ενώσεις του Al και Fe αν και τα ορυκτά που περιέχουν Ca είναι τα σημαντικότερα γιατί είναι η κυριότερη πηγή P τόσο για το έδαφος, όσο και για τα φυτά. Όπως δε αναφέρουν οι Conesa και συν. (1982) οι μεγαλύτερες ποσότητες P στο έδαφος βρίσκονται ενωμένες με Al, Fe, Ca και Mg.

Στη φύση έχουν αναγνωρισθεί κρυσταλλογραφικώς 200 περίπου ορυκτά που περιέχουν P. Απ' αυτά μόνο λίγα φαίνεται να έχουν σημασία για το έδαφος.

Η μέση περιεκτικότητα σε P του στερεού φλοιού της γης ανέρχεται σύμφωνα με τους Conesa και συν. (1982) σε 0,05%. Τα πρωτογενή πετρώματα γενικά είναι

πλουσιότερα σε P απ' ό τι τα δευτερογενή ιζηματογενή πετρώματα. Η μέση περιεκτικότητα φωσφόρου των εδαφών που προέρχονται από αποσάθρωση ιζηματογενών πετρωμάτων ανέρχεται σε 0,03-0,15%, αυτών που προέρχονται από κρυσταλλοσχιτώδη σε 0,10-0,30% και αυτών που προέρχονται από εκρηξιγενή πετρώματα σε 0,15-0,30%. Κατά τον Lidsay (1979) η μέση περιεκτικότητα της λιθόσφαιρας σε P ανέρχεται σε 0,12%, ενώ στο έδαφος αυτή κυμαίνεται από 0,02%-0,5% με μέση περιεκτικότητα 0,06%. Η απελευθέρωση φωσφόρου κατά την αποσάθρωση των πετρωμάτων και ορυκτών ανέρχεται από ίχνη έως και 1,0 kg/ha ετησίως.

Αντίθετα με ότι συμβαίνει σε άλλα στοιχεία, οι ποσότητες του P που εισάγονται στο έδαφος με τον ανοιχτό γεωχημικό κύκλο είναι πολύ μικρές και ανέρχονται ετησίως από ίχνη έως και 3,8 kg/ha (Duvigneaud και συν. 1973, Rolfe και συν., 1978, Αλιφραγκής, 1983).

Τέλος τα δασικά εδάφη εφοδιάζονται με μεγάλες ποσότητες P με τη διαδικασία της ανακύκλωσης. Ο κύριος φορέας της ανακύκλωσης του P είναι τα φυτικά υπολείμματα με τα οποία επαναφέρεται στο έδαφος ποσότητα 2,5-12 kg/ha ετησίως (Αλιφραγκής, 1983).

7.2.2. Μορφές Φωσφόρου στο έδαφος

α. Ανόργανος Φώσφορος. Ο ανόργανος P στο έδαφος βρίσκεται είτε στο εδαφικό διάλυμα είτε στην στερεά φάση του εδάφους.

1) **Φώσφορος στερεάς φάσης.** Η δυναμική ισορροπία μεταξύ του P του εδαφικού διαλύματος και αυτού της στερεάς φάσης επηρεάζεται κυρίως από τη διαλυτότητα των διαφόρων ορυκτών και ενώσεων που περιέχουν P, καθώς και υπό όλους εκείνους τους παράγοντες που επηρεάζουν τη διαλυτότητα αυτή. Είναι γνωστό ότι η διαλυτότητα των ορυκτών αυτών κυμαίνεται μεταξύ ευρέων ορίων. Έτσι υπάρχουν στο έδαφος δυσδιάλυτα ορυκτά όπως π.χ. είναι ο φθοριοαπατίτης καθώς και ευκολοδιάλυτα ορυκτά όπως είναι ο μονετίτης.

Γενικά μπορούμε να πούμε ότι οι κύριες μορφές φωσφορικών ενώσεων στο έδαφος είναι αυτές που σχηματίζονται με τα Al, Fe, Ca, Mg, Mn.

2) **Φώσφορος εδαφικού διαλύματος.** Οι κύριες μορφές P που συναντά κανείς στο εδαφικό διάλυμα είναι τα ιόντα HPO_4^{-2} , H_2PO_4 και PO_4^{-3} καθώς και το ορθοφωσφορικό οξύ H_3PO_4 αν και τα περισσότερα κοινά στο εδαφικό διάλυμα είναι τα δύο πρώτα. Η συγκέντρωση των φωσφορικών αυτών ανιόντων στο εδαφικό διάλυμα είναι πολύ μικρή και ανέρχεται από 0,1 έως 1 ppm. Εκτός όμως από τα παραπάνω αναφερόμενα ιόντα στο εδαφικό διάλυμα συναντάμε και διάφορα σύμπλοκα του ορθοφωσφορικού οξέως κυρίως με Fe, Ca και Mg.

β. Οργανικός φώσφορος του εδάφους. Ο οργανικός P αντιπροσωπεύει Το 20-60% του ολικού P του εδάφους. Στο έδαφος ο οργανικός φώσφορος βρίσκεται σε διάφορες ενώσεις. Οι κυριότερες απ' αυτές είναι η φωσφορική ινοσιτόλη, οι φωσφοριακοί εστέρες, τα φωσφολιπίδια, τα φωσφατίδια και τα νουκλειικά οξέα. Ορισμένες από τις παραπάνω ενώσεις, όπως είναι η φυτίνη μπορούν να προσληφθούν απ' ευθείας από τα φυτά, ενώ άλλες πρέπει να διασπασθούν στο έδαφος για να προσληφθεί ο P που περιέχουν. Παρ' όλα αυτά και η φυτίνη μπορεί να σχηματίσει στο έδαφος αδιάλυτες ενώσεις με τα Fe, Al και Ca υπό μορφή οργανομεταλλικών συμπλόκων (Conesa και συν. 1982). Η ικανότητα σχηματισμού συμπλόκων και η συγκράτηση P αυξάνεται από το Al προς το Ca (Fares, 1976).

7.2.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την ποσότητα του οργανικού φωσφόρου στο έδαφος.

Οι παράγοντες αυτοί σύμφωνα με τον Anderson (1975) είναι:

1) Ποσότητα της οργανικής ουσίας. Υπάρχει στενή συσχέτιση μεταξύ

της ποσότητας του οργανικού P και της περιεκτικότητας του εδάφους σε οργανική ουσία (Williams και συν., 1960), όσο δε περισσότερη είναι η οργανική ουσία του εδάφους τόσο περισσότερος είναι ο οργανικός φώσφορος. Η σχέση όμως C/P στο έδαφος κυμαίνεται πάρα πολύ. Οι Williams και συν. (1960), Walker και Adams (1958) υπολόγισαν για ορισμένα εδάφη της Βρετανίας και της Νέας Ζηλανδίας ότι ο λόγος αυτός είναι γύρω στο 60, ενώ αντίθετα ορισμένοι άλλοι ερευνητές υποστηρίζουν ότι η σχέση αυτή είναι πολύ μεγαλύτερη (100).

2) Ανόργανος P. Η ποσότητα του οργανικού P στο έδαφος είναι στενά συνδεδεμένη με την ολική περιεκτικότητα του εδάφους σε ανόργανο P (Kaila 1963).

3) Θερμοκρασία του εδάφους. Σε θερμοκρασίες εδάφους που κυμαίνονται από -14 έως 30° C η μετατροπή και ορυκτοποίηση των οργανικών ενώσεων που περιέχουν P είναι πολύ μικρή ενώ αντίθετα σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες οι μεταβολές αυτές επιταχύνονται. Παράλληλα τα φυτά όταν βρίσκονται κάτω από χαμηλές θερμοκρασίες εδάφους έχουν μικρότερη ικανότητα πρόσληψης του φωσφόρου από το έδαφος.

4) Καλλιέργεια του εδάφους. Με τις συνεχείς καλλιέργειες η ποσότητα του οργανικού P μειώνεται βαθμιαία. Αποτέλεσμα της μείωσης αυτής είναι τα καλλιεργούμενα εδάφη να έχουν πολύ λιγότερο οργανικό P απ' ό τι τα δασικά εδάφη.

5) Ασβέστωση του εδάφους. Αυτή οδηγεί σε μείωση του οργανικού P. Η μείωση αυτή αποδίδεται στην αύξηση της διαλυτότητας των ενώσεων αυτών καθώς και στην αύξηση της μικροβιακής δραστηριότητας στο έδαφος. Αυτή παρατηρείται σε περιπτώσεις ασβέστωσης όξινων εδαφών.

6) Ενεργότητα ιόντων υδρογόνου. Υπάρχει στενή συσχέτιση μεταξύ του pH του εδάφους και της περιεκτικότητας αυτού σε οργανικό P (Thomson και συν., 1954) αν και ορισμένοι άλλοι ερευνητές δεν βρήκαν σημαντική συσχέτιση (Kaila 1963).

7) CaCO₃. Σε ασβεστούχα εδάφη η ποσότητα του οργανικού φωσφόρου επηρεάζεται από την ποσότητα του CaCO₃

8) Μηχανική σύσταση. Τα βαριά αργιλώδη εδάφη έχουν περισσότερο οργανικό P απ' ό τι τα ελαφρότερα αμμώδη.

9) Αποστράγγιση του εδάφους. Τα καλώς αποστραγγιζόμενα εδάφη έχουν περισσότερο οργανικό P.

10) Τύπος του εδάφους. Ο τύπος του εδάφους φαίνεται ότι επηρεάζει την ποσότητα του οργανικού P.

7.2.4 Διαθέσιμος φώσφορος του εδάφους

Τα φυτά προσλαμβάνουν το P από το εδαφικό διάλυμα. Όπως είδαμε όμως προηγουμένως, ένα μικρό μόνο μέρος του P βρίσκεται στο εδαφικό διάλυμα ενώ το υπόλοιπο ακινητοποιείται με διάφορους τρόπους, με αποτέλεσμα να μην είναι άμεσα προσιτό στα φυτά που χρησιμοποιούν συνήθως τα H₂PO₄ του εδαφικού διαλύματος.

Η συγκέντρωση του P στο εδαφικό διάλυμα είναι χαμηλή. Αναφέρεται ότι το εδαφικό διάλυμα περιέχει μόνο 5-10% των ετησίων απαιτήσεων των φυτών σε P. Το υπόλοιπο σταδιακά απελευθερώνεται από τη στερεά φάση του εδάφους.

Για την εκτίμηση του P που είναι διαθέσιμος στα φυτά έχουν προταθεί πολλές μέθοδοι. Τρεις όμως είναι οι κυριότερες. Η πρώτη που είναι και παλαιότερη και ταυτόχρονα απλούστερη συνίσταται στη χρησιμοποίηση χημικών εκχυλιστικών διαλυμάτων για την παραλαβή του εκχυλίσμου P. Η δεύτερη συνίσταται στην προσπάθεια να υπολογισθεί ο διαθέσιμος και προσιτός P με τη χρησιμοποίηση της κινητικής μεταφοράς του P από τη στερεά φάση του εδάφους στο εδαφικό διάλυμα και τέλος η τρίτη συνίσταται στη χρησιμοποίηση ανιονικών εναλλακτικών ρητινών οι οποίες παίζουν κατά κάποιο τρόπο παρόμοιο ρόλο με αυτό των ριζών. Η ταχύτητα μεταφοράς του P από την στερεά φάση του εδάφους στη ρητίνη είναι συνάρτηση της προσροφητικής ικανότητας του εδάφους και της ρητίνης καθώς και της ευκολίας διάχυσης των ιόντων.

7.2.5. Ρόλος του φωσφόρου στην θρέψη των φυτών

Οι απαιτήσεις των διαφόρων δασοπονικών ειδών σε P κυμαίνονται μεταξύ ευρέων ορίων. Εκτιμάται ότι η μέση ετήσια πρόσληψη του στοιχείου αυτού από τα διάφορα δασοπονικά είδη ανέρχεται σε 3-11 kg/ha. Χαρακτηριστικά είναι τα στοιχεία του πίνακα 7.3. στον οποίο εμφανίζεται η ετήσια πρόσληψη του P από διάφορα δασικά οικοσυστήματα.

Πίνακας 7.3: Ετήσια πρόσληψη P από ορισμένα δασικά οικοσυστήματα (kg/ha).

Δασοπονικά είδη	Περιοχή	Ποσότητα	Πηγή
Πλατύφυλλος δρυός	Ταξίαρχης	3,1	Αλιφραγκής (1983)
Μικτό δρυός	Oklahoma ΗΠΑ	11	Johnson and Risser (1974)
Μικτό πλατυφύλλων	Αγγλία	3-6	Brown (1974)
Μικτό πλατυφύλλων	Βέλγιο	7	Duvigneaud και συν. (1973)
Μικτό δρυός	Misouri ΗΠΑ	6	Rochow (1975)
Πλατύφυλλα	ΗΠΑ	6	Cole (1981)

Κατά τον wilde (1958) ο διαθέσιμος P στα δασικά εδάφη κυμαίνεται από 10-200 ppm P_2O_5 . Περιεκτικότητα μεγαλύτερη από 50 ppm διαθέσιμου P P_2O_5 θεωρείται ικανοποιητική για τα Περισσότερα είδη δένδρων. Λαμβάνοντας υπόψη ότι οι ανάγκες του δάσους σε P είναι σχετικά μεγάλες και ότι η διαλυτότητα και διαθεσιμότητα του P είναι σχετικά μικρή, οι απώλειες του P από τα δασικά εδάφη μπορούν να θεωρηθούν σχετικά μικρές. Ακόμα και όταν η πρόσληψη από τα δένδρα είναι μικρή, οι γεωχημικές διαδικασίες που παρατηρούνται στο έδαφος έχουν ως αποτέλεσμα τη δέσμευση του διαθέσιμου φωσφόρου. Για Παράδειγμα αναφέρεται ότι σ' ένα μικτό δασικό οικοσύστημα στο New Hampshire των ΗΠΑ, η ετήσια πρόσληψη ανέρχεται σε 12,5 kg/ha. Απ' αυτά το 1,5 kg/ha δεσμεύεται στην παραγόμενη βιομάζα και 11,0 kg/ha επιστρέφουν στο έδαφος με τα φυτικά υπολείμματα και μόνον το 0,007 kg/ha εκπλύνεται από το οικοσύστημα. Στη μικρή έκπλυση του P συμβάλλουν βιολογικοί και γεωχημικοί παράγοντες. Στο επιφανειακό έδαφος οι ρίζες των φυτών και οι μικροοργανισμοί δεσμεύουν κάθε διαθέσιμη ποσότητα P, ενώ όσες ποσότητες φθάνουν στον B ορίζοντα δεσμεύονται από το AL και το Fe

Ο P αποτελεί ουσιώδες συστατικό των φυτών γιατί συμμετέχει στη δομή των νουκλεϊνικών οξέων, τα οποία αποτελούν βασικά στοιχεία των χρωματοσωμάτων. Επίσης βρίσκεται στα φωσφατίδια και τις φυτίνες. Τα νουκλεϊνικά οξέα παίζουν σπουδαίο ρόλο στο μεταβολισμό των φυτών. Όπως είναι γνωστό η ενέργεια του μεταβολισμού ρυθμίζεται από το συνδυασμό των ADP (Adenosine diphosphate) και ATP (Adenosine triphosphate) τα οποία και ενεργούν ως μεταφορείς ενέργειας.

Η ανθοφορία και η ανάπτυξη των καρπών επηρεάζονται από την περιεκτικότητα του εδάφους σε αφομοιώσιμες μορφές P.

Η συγκέντρωση του P στα φύλλα δεν παραμένει σταθερή. Με την πάροδο της ηλικίας μειώνεται. Η κύρια αιτία της μείωσης αυτής είναι η εσωτερική μετατόπιση του P από ένα μέρος του φυτού σε άλλο.

7.2.6. Συμπτώματα έλλειψης φωσφόρου

Όταν υπάρχει έλλειψη P στα πεύκα και στην ερυθρελάτη τότε οι βελόνες εμφανίζουν χρώμα ιώδες ή ορφνοϊώδες. Στη λάρικα και στην ελάτη οι βελόνες παρουσιάζουν βαθύ κυανοπράσινο χρώμα. Η αλλαγή του χρώματος παρουσιάζεται

κατά το τέλος του καλοκαιριού και στα άκρα των βελονών. Στην αρχή προσβάλλονται οι παλαιότερες βελόνες. Στα πλατύφυλλα τα φύλλα αποκτούν σκοτεινό πράσινο χρώμα με κοκκινωπή χροιά, η αύξηση περιορίζεται, τα κλαδιά και τα φύλλα ελαττώνονται και η παραγωγή ανθέων και καρπών περιορίζεται, ενώ το ριζικό σύστημα ατονεί και περιορίζεται.

7.2.7. Εδαφικές συνθήκες που ευνοούν την έλλειψη αφομοιωσίμου φωσφόρου

Έλλειψη P είναι πιθανόν να παρατηρηθεί σε αμμώδη όξινα εδάφη ή υγρά αργιλώδη με μεγάλη περιεκτικότητα σε ενεργό Fe και AL καθώς και σε πλούσια σε οξειδία και υδροξειδία εδάφη. Επίσης έλλειψη P μπορεί να παρατηρηθεί σε εδάφη των παραπάνω περιοχών όταν αυτά διαχειρίζονται έντονα με μικρούς περίτροπους χρόνους, με την απόληψη ολόκληρης της υπέργειας βιομάζας καθώς και τη χρησιμοποίηση απαιτητικών ταχουαυζών και γενετικώς βελτιωμένων ειδών σε εδάφη με μεγάλη δεσμευτική σε P ικανότητα.

7.2.8. Πρόσληψη φωσφόρου από τα φυτά

Τα φυτά προσλαμβάνουν το φώσφορο από το εδαφικό διάλυμα με τη μορφή κυρίως του ορθοφωσφορικού ανιόντος H_2PO_4 ενώ μικρότερες ποσότητες μπορούν να παραληφθούν από τις ρίζες με μορφή HPO_4^{2-} . Κατά τους Duchaufour και Bonneau (1960) τα δασικά δένδρα με τη βοήθεια της μυκόρριζας μπορούν να προσλάβουν P και από δυσδιάλυτες ενώσεις αυτού με Fe AL κλπ.

Ο οργανικός φώσφορος στη ριζόσφαιρα υδρολύεται σχετικά εύκολα με τη βοήθεια ορισμένων εκτοενζύμων όπως είναι η όξινη φωσφατάση (Tarafdar και Jungk 1987) ή η αλκαλική φωσφατάση (Tarafdar και Claassen 1988, Haubning και Marschner 1989). Η ύπαρξη των ενζύμων αυτών στη ριζόσφαιρα αποκτά σημαντική σημασία για την πρόσληψη του φωσφόρου ιδιαίτερα σε εδάφη τα οποία περιέχουν σημαντικές ποσότητες οργανικού φωσφόρου και κατά συνέπεια για τα δασικά εδάφη στα οποία ο οργανικός φώσφορος των επιφανειακών στρωμάτων αποτελεί το 80-95% της ολικής ποσότητας του φωσφόρου του εδάφους (Zech και συν. 1987).

Τα διάφορα μέρη του φυτού περιέχουν διάφορες ποσότητες P. Οι μεγαλύτερες όμως συγκεντρώσεις P παρατηρούνται πάντα στα φύλλα. Χαρακτηριστικά είναι τα στοιχεία του πίνακα 6.5 στον οποίο δίνεται η μέση συγκέντρωση P στα φύλλα και στις βελόνες ορισμένων δασοπονικών ειδών της χώρας μας.

7.3. Κάλιο (K)

7.3.1. Προέλευση

Είναι ένα από τα τρία κύρια θρεπτικά στοιχεία που έχουν ανάγκη σε μεγάλες ποσότητες τα φυτά.

Το K του εδάφους προέρχεται από την αποσάθρωση των καλιούχων ορυκτών. Η μέση περιεκτικότητα της λιθόσφαιρας σε K ανέρχεται σε 2,6% περίπου ενώ η μέση περιεκτικότητα του εδάφους σε 0,83% (Lindsay, 1979). Όπως συμβαίνει και για τα άλλα θρεπτικά στοιχεία που προέρχονται κυρίως από την αποσάθρωση των αντίστοιχων ορυκτών, στο έδαφος κατά τη διάρκεια των διαφόρων διεργασιών εδαφογένεσης, παρατηρείται απώλεια K κυρίως με τη διήθηση και αποστράγγιση του νερού. Αυτό δείχνει και η διαφορά μεταξύ της περιεκτικότητας σε K της λιθόσφαιρας και του εδάφους. Από την αποσάθρωση υπολογίζεται ότι ελευθερώνονται κάθε χρόνο 2-10 kg/ha καλίου.

Μικρές ποσότητες K εισέρχονται στο έδαφος και με τον ανοικτό γεωχημικό κύκλο. Η ποσότητα αυτή ανέρχεται ετησίως σε 3-12 kg/ha (Peterson και Rolfe 1982, Foster και Morrison 1976, Duvigneaud και συν. 1973, Αλιφραγκής 1983) και εξαρτάται κυρίως από τη γειτνίαση της περιοχής με Θάλασσα, την επικρατούσα κατεύθυνση των ανέμων καθώς και από τον τύπο του κλίματος της περιοχής.

Τέλος σημαντικές ποσότητες K εισέρχονται στο έδαφος των δασικών οικοσυστημάτων με τη διαδικασία της ανακύκλωσης. Ο κύριος φορέας επιστροφής του K στο έδαφος είναι η βροχή η οποία εκπλύνει το στοιχείο αυτό εύκολα από την κομοστέγη επειδή το K βρίσκεται στην βιομάζα υπό ιονική μορφή. Στον πίνακα 7.5 δίνονται οι ποσότητες του K που επανέρχονται στο έδαφος με την διαδικασία της ανακύκλωσης.

Πίνακας 7.5: Ετήσια επαναφορά Κ στο έδαφος με τη διαδικασία της ανακύκλωσης (kg/ha)

Δασοπονικό είδος	Ποσότητα	Πηγή
<i>Quercus conferta</i>	32.3	Αλιφραγκής (1983)
<i>Quercus ilex</i>	44.9-67.2	Rapp (1969)
<i>Quercus petraea</i>	35.6	Carlisle (1966)
Μικτό δρυός	52.9	Peterson και Rolfe (1982)

7.3.2. Μορφές Κ στο έδαφος

Το Κ βρίσκεται στο έδαφος με τις παρακάτω μορφές:

(1) Εναλλακτικό: Είναι η ποσότητα του Κ που είναι προσροφημένη από τα κολλοειδή του εδάφους. Όπως συμβαίνει με όλα τα προσροφημένα κατιόντα, το εναλλακτικό Κ βρίσκεται σε ισορροπία με το Κ του εδαφικού διαλύματος. Η μορφή αυτή είναι προσιτή στα φυτά.

(2) Δομικά: Είναι το Κ το οποίο συμμετέχει στη δομή των κρυστάλλων πρωτογενών και δευτερογενών ορυκτών του εδάφους. Το Κ αυτό με την διαδικασία της αποσάθρωσης απελευθερώνεται και μπορεί με τον τρόπο αυτό να καταστεί προσιτό στα φυτά.

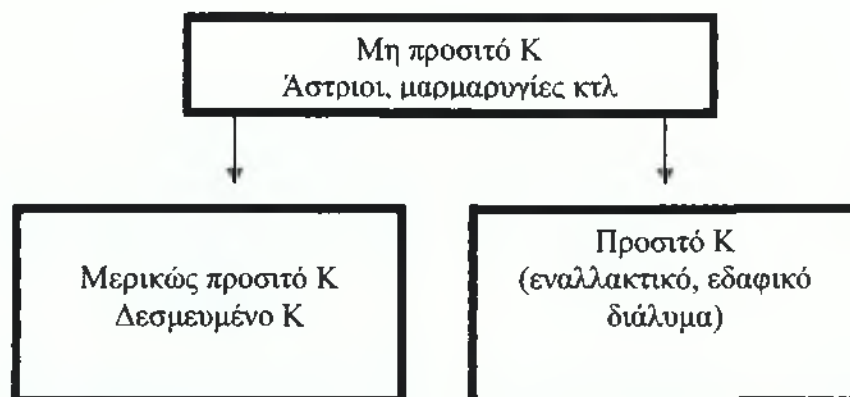
(3) Δεσμευμένο: Ορισμένα ορυκτά της αργίλου του τύπου 2:1 όπως π.χ. ο ιλλίτης, και ο μοτμοριλλονίτης έχουν την ικανότητα να δεσμεύουν Κ στους διαστιβαδικούς χώρους υπό μη εναλλακτική μορφή. Το Κ της μορφής αυτής δεν είναι προσιτό στα φυτά. Αποτέλεσμα της δέσμευσης αυτής είναι η μείωση του εναλλακτικού και αυτού του εδαφικού διαλύματος δηλαδή των διαθέσιμων για την ανάπτυξη των φυτών μορφών.

(4) Στο εδαφικό διάλυμα. Στο εδαφικό διάλυμα το Κ βρίσκεται με τη μορφή διαφόρων συμπλόκων, όπως KCL, K₂CO₃, KOH, KSO₄ καθώς και υπό μορφή ιόντος Κ Σε καλώς αεριζόμενα και αποστραγγιζόμενα εδάφη οι ποσότητες των διαφόρων συμπλόκων του Κ είναι μικρές και κυμαίνονται πολύ. Η κύρια αιτία της μεγάλης διακύμανσης είναι οι πολλοί παράγοντες που επηρεάζουν τόσο τη διαλυτότητα των

ενώσεων αυτών όσο και την έκπλυση του στοιχείου αυτού. Η μορφή αυτή είναι προσιτή στα φυτά.

(5) K στην οργανική ουσία. Η ποσότητα του K της οργανικής ουσίας του εδάφους είναι πολύ μικρή Κυρίως λόγω της μεγάλης ευκινησίας του.

Το K των διαφόρων μορφών που αναφέρονται παραπάνω διακρίνεται από άποψη αφομοιωσιμότητας σε τρεις ομάδες, δηλαδή σε εύκολα προσιτό (αφομοιώσιμο), σε μερικώς προσιτό και σε μη προσιτό. Οι μεγάλες ποσότητες του K του εδάφους (80-90% του συνόλου) ανήκουν στο μη προσιτό. Η δυναμική του K μεταξύ των τριών αυτών μορφών εκφράζεται με το σχήμα



Σχήμα 7.1: Δυναμική του καλίου

Από το προσιτό για τα φυτά K, η μεγαλύτερη ποσότητα είναι αυτή που βρίσκεται υπό εναλλακτική μορφή (>90%) ενώ το υπόλοιπο είναι το K του εδαφικού διαλύματος.

7.3.3. Παράγοντες που επηρεάζουν την προσιτότητα του καλίου

Οι παράγοντες του εδάφους που επηρεάζουν την προσιτότητα του K είναι οι ίδιοι που επηρεάζουν τη δεσμευτική ικανότητα του εδάφους σε K και είναι: 1) ο τύπος των ορυκτών της αργίλου, 2) το pH του εδάφους, 3) η διαβροχή και ξήρανση του εδάφους, 4) η θερμοκρασία και 5) το NH₄ ιόν.

1) Ο τύπος των ορυκτών της αργίλου: Ορισμένα δευτερογενή ορυκτά της αργίλου έχουν την τάση να συγκρατούν το K υπό μη εναλλακτική μορφή και με τον τρόπο αυτό το δεσμεύουν.

Τα ορυκτά αυτά είναι του τύπου πλέγματος 2:1 (ορυκτά εκτατού πλέγματος) και είναι κυρίως ο βερμικιουλίτης, ο ιλλίτης και λιγότερο ο μοντμοριλλονίτης. Στην περίπτωση αυτή το K εισέρχεται στους διαστιβαδικούς χώρους όπου δεσμεύεται στις εξαγωνικές κοιλότητες δύο γειτονικών στιβάδων, επιφέροντας ταυτόχρονα μείωση της απόστασης μεταξύ των δομικών μονάδων (από 14 °Å σε 10 °Å). Η μετατροπή αυτή θεωρείται αντιστρεπτή και ο μηχανισμός της δεν είναι ακόμη πλήρως γνωστός. Η παρουσία μεταξύ των στιβάδων περιορίζει την είσοδο και τη δέσμευση του K από τα ορυκτά αυτά.

2) Το pH του εδάφους: Η επίδραση του pH του εδάφους στην προσιτότητα K είναι έμμεση και συνίσταται στην επίδραση που ασκεί αυτό τόσο στο είδος των προσροφημένων από τα κολλοειδή του εδάφους κατιόντων, όσο και στο βαθμό κορεσμού των κολλοειδών από βάσεις (BKB). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός κορεσμού των κολλοειδών με Ca τόσο μεγαλύτερη και ισχυρότερη είναι η προσρόφηση του K απ αυτά. Με τον τρόπο αυτό επηρεάζεται και η έκπλυση του στοιχείου αυτού από το εδαφικό περιβάλλον.

3) Η διαβρογή και ξήρανση του εδάφους: Σε έδαφος που διαβρέχεται και ξηραίνεται συνεχώς παρατηρείται μια μετατροπή του εναλλακτικού K σε λιγότερο προσιτές μορφές. Μια πιθανή αιτία του φαινομένου αυτού είναι η επίδραση που ασκεί η διαδικασία αυτή στη δέσμευση του K από τα δευτερογενή ορυκτά, διαδικασία για την οποία έγινε λόγος παραπάνω. Οι Robert και Trocme (1982) αναφέρουν ότι η μετατροπή αυτή μπορεί να φθάσει και στο 60% του K με το οποίο είναι κορεσμένος ένας μοντμοριλλονίτης. Μια πιθανή αιτία του φαινομένου αυτού είναι η μείωση της βασικής απόστασης μεταξύ δύο στιβάδων των φυλλοπιριτικών ορυκτών.

4) Η θερμοκρασία του εδάφους: Έχει παρατηρηθεί αύξηση της δεσμευτικής ικανότητας του εδάφους σε K με την αύξηση της θερμοκρασίας. Επίσης η πήξη και η τήξη του εδάφους επηρεάζει την απελευθέρωση του δεσμευμένου K.

5) Το NH₄: Το ιόν αυτό, όπως και το K, είναι δυνατόν να δεσμευθεί από τα ίδια ορυκτά. Αυτό σημαίνει ότι η ύπαρξη NH₄ περιορίζει και τη δεσμευτική ικανότητα

του εδάφους σε K αφού αυτά δεσμεύονται στις ίδιες θέσεις και με τον ίδιο τρόπο, άρα δεσμεύονται ανταγωνιστικά.

Η ικανότητα ενός εδάφους να εφοδιάζει τα φυτά με K εξαρτάται κυρίως από:

- 1) την ποσότητα του προσροφημένου καλίου υπό εναλλακτική μορφή.
- 2) την ποσότητα του K που είναι δεσμευμένο από τα κολλοειδή του εδάφους, τύπου πλέγματος 2:1 και το οποίο είναι σχετικά ευκολοκινητοποιήσιμο.
- 3) το ρυθμό μετατροπής από τη μία μορφή στην άλλη και
- 4) το ρυθμό διάχυσης των K στο εδαφικό περιβάλλον.

7.3.4. Απώλειες K από το έδαφος

Οι κύριες απώλειες K από το έδαφος προκαλούνται 1) από την έκπλυση του στοιχείου αυτού που γίνεται με την αποστράγγιση του εδάφους, 2) από τη διάβρωση του εδάφους και 3) την απόληψη βιομάζας από τα δασικά οικοσυστήματα.

α. Απώλεια K με την έκπλυση: Οι παράγοντες που επηρεάζουν την έκπλυση του K από το έδαφος είναι:

1) Τα κατακρημνίσματα: Όσο περισσότερα είναι τα κατακρημνίσματα τόσο μεγαλύτερες απώλειες K από το εδαφικό διάλυμα έχουμε.

2) Η μηχανική σύσταση του εδάφους: Μεγάλες σχετικά ποσότητες K συγκρατούνται από τα κολλοειδή του εδάφους υπό εναλλακτική μορφή. Είναι δε γνωστό ότι η μηχανική σύσταση του εδάφους επηρεάζει την εναλλακτική ικανότητα αυτού. Έτσι σε αμμώδη εδάφη η εναλλακτική ικανότητα είναι μικρή με αποτέλεσμα και η συγκράτηση του K να είναι μικρή. Εκτός όμως από την άμεση αυτή επίδραση της μηχανικής σύστασης στη συγκράτηση του K, αυτή δρα και έμμεσα, γιατί σε αμμώδη εδάφη μεγαλύτερες ποσότητες νερού διηθούνται με αποτέλεσμα και η έκπλυση να είναι μεγάλη.

3) Η εναλλακτική ικανότητα του εδάφους: Τα εδάφη με μικρή εναλλακτική ικανότητα χάνουν το K γρήγορα. Στην περίπτωση αυτή δεν μπορεί να προστατευθεί από την έκπλυση.

4) Το είδος των ορυκτών της αργίλου: Τα ορυκτά της αργίλου έχουν διαφορετική εναλλακτική ικανότητα. Έτσι ορυκτά της αργίλου με μεγάλη εναλλακτική ικανότητα συγκρατούν το K υπό εναλλακτική μορφή.

5) Η περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανική ουσία: Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση η οργανική ουσία έχει υψηλή εναλλακτική ικανότητα με αποτέλεσμα Το κ να προστατεύεται από την έκπλυση.

6) Το pH του εδάφους: Σε όξινες συνθήκες τα καλιούχα ορυκτά είναι αρκετά διαλυτά. Από το απελευθερούμενο με την αποσάθρωση των ορυκτών K ένα μικρό μόνο μέρος συγκρατείται από τα κολλοειδή, ενώ το υπόλοιπο που βρίσκεται στο εδαφικό διάλυμα ή εκπλύνεται ή προσλαμβάνεται από τα φυτά. Επειδή δε όξινες συνθήκες παρατηρούνται σε εδάφη περιοχών με υψηλές βροχοπτώσεις οι απώλειες στις περιοχές αυτές είναι μεγάλες. Η ασβέστωση αυτών των εδαφών είναι δυνατόν να μειώσει την απώλεια αυτή του K. Στην περίπτωση αυτή το Ca^{2+} αντικαθιστά τα προσροφημένα από τα κολλοειδή του εδάφους Al^{3+} που σχηματίζονται κάτω απ' αυτές τις συνθήκες και ακολούθως το K του εδαφικού διαλύματος αντικαθιστά τα προσροφημένα περισσότερο εύκολα απ' ότι τα Al^{3+} . Επίσης η προσθήκη $CaCO_3$ οδηγεί στην αύξηση της εναλλακτικής ικανότητας του εδάφους άρα και στην προστασία του K.

7) Το εναλλακτικό Ca: Για το ρόλο που παίζει το Ca στην συγκράτηση του K του εδάφους αναφερθήκαμε προηγουμένως.

Απώλειες K

α. Απώλειες K με την έκπλυση. Οι ποσότητες του K που χάνονται από ένα γυμνό έδαφος με την έκπλυση ανέρχονται σύμφωνα με τον Lal (1976) σε 13,2 kg/ha κατά μέσο όρο ετησίως. Η ποσότητα όμως αυτή ποικίλλει πολύ και εξαρτάται όπως αναφέρθηκε από πολλούς παράγοντες.

β. Απώλεια K με τη διάβρωση. Όπως συμβαίνει και με όλα τα θρεπτικό στοιχεία σημαντικές ποσότητες K μπορούν να χαθούν από το εδαφικό περιβάλλον με τη διάβρωση των εδαφών. Οι Liptman και Conybeare (1936) εκτίμησαν ότι οι ετήσιες απώλειες από τη διάβρωση των καλλιεργούμενων εδαφών στις ΗΠΑ ανέρχεται σε 158 kg/ha. Επειδή δε η διάβρωση αρχίζει με την απομάκρυνση του περισσότερο ενεργού μέρους του εδάφους, την άργιλο, οι απώλειες αυτές είναι σημαντικές. Ο Lal (1976) αναφέρει συγκεκριμένα ότι με τη διάβρωση ενός γυμνού εδάφους κλίσης

<15% η απώλεια ανέρχεται έως και 29,4 kg/ha ετησίως. Καταστροφή της προστατευτικής βλάστησης και του δασικού τάπητα μετά από τις πυρκαγιές, σε συνδυασμό με τη χαλάρωση της δομής του επιφανειακού εδάφους, τις απότομες κλίσεις και τις έντονες και ραγδαίες βροχοπτώσεις στα μεσογειακού τύπου οικοσυστήματα προκαλούν Πάντοτε μεγάλες απώλειες Κ. Οι Παπαμίχος και συν. (1993) αναφέρουν ότι με την πρώτη καταιγίδα μετά από πυρκαγιές στην νήσο Θάσο απομακρύνθηκαν 117,8 kg/ha ενώ στην περιοχή της Κασσάνδρας Χαλκιδικής 7 χρόνια μετά την πυρκαγιά η απώλεια Κ ανήλθε σε 191,5 kg/ha.

γ. Απώλειες Κ με την απόληψη της βιομάζας. Σημαντικές ποσότητες Κ απομακρύνονται με την απόληψη της βιομάζας των δασικών οικοσυστημάτων. Όπως δε είναι φυσικό όσο εντατικότερη είναι η εκμετάλλευση αυτών τόσο μεγαλύτερη απώλεια έχουμε. Ο Αλιφραγκής και συν. (1994) αναφέρουν ότι με την απομάκρυνση ολόκληρης της υπέργειας βιομάζας ενός δασικού οικοσυστήματος πλατυφύλλου δρυός απομακρύνονται κατά μέσο όρο 194 kg/ha και μαύρης πεύκης 130 kg/ha

7.3.5. Πρόσληψη Κ από τα φυτά.

Τα φυτά προσλαμβάνουν το κάλιο υπό μορφή ιόντος (K^+) από το εδαφικό διάλυμα και με αντίδραση εναλλαγής απ' ευθείας από τα κολλοειδή του εδάφους. Επίσης ορισμένα είδη φαίνεται ότι μπορούν να απορροφήσουν Κ και από μη αποσαθρωμένα καλλιούχα πετρώματα με τη βοήθεια μυκορριζών (Voigt 1965).

Το K^+ που προσλαμβάνουν τα φυτά από το εδαφικό διάλυμα αναπληρώνεται με την απελευθέρωση προσροφημένων στα κολλοειδή ιόντων και με την απελευθέρωση δεσμευμένου και δομικού Κ. Από τους Baule και Fricker (1970) αναφέρεται ότι ως ελάχιστες ποσότητες Κ στο έδαφος για ικανοποιητική αύξηση, δίνονται από τον Van Goor 0,006-0,012% Κ μετά από εκχύλιση με 1% NH_4Cl .

7.3.6. Ρόλος του Κ στη θρέψη των φυτών

Το Κ είναι βασικό θρεπτικό στοιχείο των φυτών. Βρίσκεται στα φυτά με ιονική μορφή ως φορτισμένο σωματίδιο σε κολλοειδούς μεγέθους επιφάνειες, καθώς και σε ορισμένα άλατα ανόργανων και οργανικών οξέων και παίζει ρόλο στο μεταβολισμό

των φυτών. Και κυρίως ενεργοποιεί διάφορα ένζυμα που συμμετέχουν στο μεταβολισμό των υδατανθράκων και των αζωτούχων συστατικών, επηρεάζοντας τους πεπτιδικούς δεσμούς κατά τη σύνθεση των πρωτεϊνών. Κατά την διαδικασία της φωτοσύνθεσης, το K εμφανίζεται να επιδρά στην καλύτερη αξιοποίηση του φωτός κατά τη διάρκεια ψυχρού και συννεφιασμένου καιρού. Το γεγονός αυτό έχει αποδοθεί μάλλον στην αύξηση της φυλλικής επιφάνειας που αυτό προκαλεί παρά στην αύξηση της φωτοσυνθετικής ικανότητας του φυτού. Παράλληλα ρυθμίζει την οσμωτική ισορροπία των κυττάρων και ελέγχει την σπαργή των κυττάρων των στομάτων (Leigh και Storey 1991).

Η περιεκτικότητα σε K των φυτών είναι μεγάλη και εξαρτάται εκτός από τις εδαφικές και κλιματικές συνθήκες και από την ηλικία του φυτού, το τμήμα του φυτού καθώς και από την εποχή του έτους. Πολλές φορές η περιεκτικότητα του ανέρχεται έως και το 25% της τέφρας. Στον πίνακα 6.8 δίνονται οι μέσες συγκεντρώσεις K στα φύλλα ορισμένων δασοπονικών ειδών. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως η ηλικία του ιστού επηρεάζει και τη συγκέντρωση του στοιχείου σ' αυτόν. Αυτό συμβαίνει γιατί το K τείνει να συγκεντρώνεται στα αυξανόμενα μέρη του φυτού. Λαμβάνοντας υπόψη ότι το K είναι πολύ ευκίνητο μέσα στα φυτά, καθώς επίσης και το γεγονός ότι αυτό παρουσιάζει μεγάλη ταχύτητα έκπλυσης από τους φυτικούς ιστούς μπορεί να αντιληφθεί κανείς και τους λόγους για τους οποίους στα νέα αυξανόμενα μέρη του φυτού όπως στα νέα φύλλα και βελόνες η συγκέντρωση είναι τόσο μεγάλη.

Η περίοδος της μεγαλύτερης έκπλυσης K από τα φύλλα είναι αυτή του κτρινίσματός τους (Αλιφραγκής και συν. 1986). Ο Αλιφραγκής και συν. (1986) βρήκαν ότι κατά την περίοδο αυτή η συγκέντρωση K στα φύλλα της *Tilia tomentosa* πέφτει από 11,4 σε 3,0 mg/ha της *Fagus moesiaca* από 7,8 σε 4,9 mg/ha και στον *Platanus orientalis* από 6,4 σε 3,5 mg/ha

Το K παίζει σημαντικό επίσης ρόλο στην αποξύλωση των φυτών και αυξάνει την αντοχή τους στην ξηρασία και στους παγετούς. Αυτός είναι και ο λόγος της ισχυρής λίπανσης με K των φυταρίων λίγο πριν από την φύτευσή τους (Παπαμιχός και συν. 1987).

7.3.7. Συμπτώματα έλλειψης K

Δύο είναι τα κύρια συμπτώματα της έλλειψης K: 1) η μεταβολή του χρώματος των φύλλων και 2) ο περιορισμός του μήκους των κλαδιών και του κορμού με αποτέλεσμα τα δένδρα να γίνονται κοντόχονδρα.

Η μεταβολή του χρώματος των φύλλων, στην αρχή εμφανίζεται σε ώριμα φύλλα των φυτών και όχι στα νέα ή σε ανώριμα. Με την πάροδο του χρόνου και καθώς τα νέα φύλλα ωριμάζουν, αναπτύσσονται και σ' αυτά αντίστοιχα συμπτώματα έλλειψης. Το χαρακτηριστικό σύμπτωμα έλλειψης K που εμφανίζεται στα ώριμα φύλλα προέρχεται από το γεγονός ότι το K μετακινείται απ' ευθείας από το έδαφος προς τα αυξανόμενα μέρη του φυτού, ενώ παράλληλα παρατηρείται μια εσωτερική μετατόπιση του στοιχείου αυτού από τα παλαιότερα φύλλα προς τα νεότερα λόγω των προτεραιοτήτων που έχουν τα φυτά να καλύψουν τις ανάγκες των νέων φυτικών ιστών σε θρεπτικά στοιχεία.

Σε περιπτώσεις μεγάλης έλλειψης K όλο το φυτό παρουσιάζει παρόμοια συμπτώματα με τελική συνέπεια την ξήρανση της κορυφής. Από την στιγμή όμως που θα αρχίσουν να εμφανίζονται τα συμπτώματα στην περιφέρεια των φύλλων η διαδικασία είναι μη αντιστρέψιμη, έστω και αν με λίπανση ή με οποιοδήποτε άλλο τρόπο αυξήσουμε τις διαθέσιμες ποσότητες του K στο έδαφος. Το πρώτο σύμπτωμα έλλειψης K παρατηρείται σε φύλλα τα οποία έχουν ωριμάσει πρόσφατα. Στην αρχή εμφανίζεται μια μεσονεύρια περιφερειακή χλώρωση η οποία με την πάροδο του χρόνου αποκτά κιτρινόμαυρη απόχρωση και μετά ορφή.

Στα πεύκα οι βελόνες αποκτούν ένα κιτρινοπράσινο χρωματισμό και αργότερα αποκτούν το χρώμα του χαλκού (ορφνέρυθρο). Νέκρωση των βελονών παρατηρείται κυρίως στους βλαστούς της τελευταίας περιόδου, ενώ η νέκρωση ξεκινά από την κορυφή των βελονών. Η νέκρωση αυτή οδηγεί πολλές φορές στην νέκρωση και των μικρών κλαδιών. Το όριο μεταξύ του χλωρωτικού και κανονικού χρώματος των βελονών είναι πολύ ευδιάκριτο. Τα συμπτώματα εμφανίζονται περισσότερο χαρακτηριστικά και έντονα κατά την διάρκεια του φθινοπώρου και του χειμώνα καθώς και στις αρχές της άνοιξης, (Leaf 1968).

Τα αρχικά στάδια έλλειψης Κ δεν διαφέρουν και πολύ απ' αυτά της έλλειψης Mg. Η σκοτεινή κόκκινη πολλές φορές απόχρωση βοηθά τη διάκριση των συμπτωμάτων έλλειψης Ν ή Mg από τα συμπτώματα έλλειψης Κ.

Επίσης η έλλειψη Κ περιορίζει την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος, επιβραδύνει την αποξύλωση και τα φυτά γίνονται περισσότερο ευαίσθητα στην ξηρασία, τους παγετούς και τις ασθένειες.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων της ανάλυσης φυτικών ιστών για έλλειψη Κ λόγω της μεγάλης ευκινησίας του μέσα στο φυτό, της ανομοιόμορφης κατανομής του, της μεταβολής της περιεκτικότητας των ιστών κατά τη διάρκεια της αυξητικής περιόδου και της ευκολίας έκπλυσής του.

7.3.8. Εδάφη με πιθανή έλλειψη Καλίου

Πιθανή έλλειψη καλίου παρουσιάζουν τα παρακάτω είδη εδαφών

1. ελαφρά αμμώδη εδάφη τα οποία εκπλύνονται εύκολα,
2. ορισμένα οργανικά τυρφώδη εδάφη,
3. εδάφη τα οποία περιέχουν ορυκτά που δεσμεύουν το Κ υπό μη εναλλακτική μορφή,
4. εδάφη εκπλυμένα και διαβρωμένα που χρησιμοποιούνται πολύ εντατικά,
5. ισχυρώς εκπλυμένα λατεριτικά εδάφη.

7.4. Ασβέστιο (Ca)

7.4.1. Προέλευση

Το Ca του εδάφους προέρχεται από την αποσάθρωση και διάλυση των πρωτογενών και δευτερογενών ορυκτών που περιέχουν το στοιχείο αυτό. Η μέση περιεκτικότητα της λιθόσφαιρας σε Ca ανέρχεται σύμφωνα με τον Lindsay (1979) σε 3,6% ενώ η μέση περιεκτικότητα του εδάφους σε 1,37%. Όπως συμβαίνει και με όλα σχεδόν τα θρεπτικά στοιχεία εκτός ίσως από το Ν η περιεκτικότητα του εδάφους σε Ca ποικίλει

μεταξύ ευρέων ορίων. Η κύρια αιτία της μεγάλης αυτής διακύμανσης της περιεκτικότητας του σε Ca στο έδαφος αποδίδεται στη φύση του μητρικού υλικού, το ύψος των βροχοπτώσεων καθώς και στην ηλικία των εδαφών. Έτσι μπορούμε να πούμε ότι νέα εδάφη που προέρχονται από μητρικό υλικό πλούσιο σε CaCO_3 έχουν μεγάλη περιεκτικότητα σε Ca καθώς και τοπικές συγκεντρώσεις CaCO_3 που είναι γνωστές ως συγκρίματα ασβεστίου. Αντίθετα παλαιά εδάφη σε υγρές περιοχές έστω και αν προέρχονται από μητρικά υλικά πλούσια σε CaCO_3 δεν περιέχουν μεγάλες ποσότητες Ca.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω η κύρια πηγή σε Ca το έδαφος είναι τα διάφορα πρωτογενή και δευτερογενή ορυκτά.

Μικρότερες ποσότητες Ca στο έδαφος προέρχονται και από την είσοδο του στοιχείου αυτού στο έδαφος με τον ανοιχτό γεωχημικό κύκλο. Αναφέρονται ότι οι ποσότητες αυτές ετησίως ανέρχονται σε 5-19 Kg/ha (Duvigneaud και συν. 1973, Peterson και Rolfe 1982, Foster και Morrison 1976, Αλιφραγκής 1983).

Τέλος το Ca στα εδαφικά οικοσυστήματα με την διαδικασία της ανακύκλωσης επιστρέφει πάλι στο έδαφος. Ο κύριος φορέας επιστροφής είναι τα φυτικά υπολείμματα με τα οποία επανέρχονται στο έδαφος σημαντικές ποσότητες Ca.

7.4.2. Μορφές ασβεστίου στο έδαφος

Το Ca υπάρχει στο έδαφος με τις παρακάτω μορφές:

(1) CaCO_3 . Η μορφή αυτή είναι διαλυτή σε HCl και εύκολα αναγνωρίζεται από την απελευθέρωση CO_2 , κατά την επίδραση επί του εδάφους HCl.

(2) Εναλλακτικό Ca^{2+} . Η μορφή αυτή Ca αναφέρεται στα προσροφημένα από τα κolloειδή του εδάφους ιόντα του στοιχείου αυτού.

(3) Ολικό Ca Η συνολική ποσότητα Ca του εδάφους, δηλαδή το δομικό, το με μορφή ανθρακικών αλάτων, το εναλλακτικό, το Ca του εδαφικού διαλύματος και το Ca της οργανικής ουσίας.

(4) Δομικό. Είναι το Ca που συμμετέχει στην δομή των κρυστάλλων των διαφόρων ορυκτών του εδάφους.

(5) **Ευδιάλυτα ανθρακικά άλατα $[Ca(HCO_3)_2]$.** Είναι το μέρος των ανθρακικών αλάτων τα οποία διαλύονται εύκολα. Αυτά προσδιορίζονται με τη μέθοδο της καθίζησης ως οξαλικό Ca κατά την προσθήκη οξαλικού αμμωνίου στο έδαφος.

(6) **Ασβέστιο στην οργανική ουσία του εδάφους.** Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι ποσότητες του Ca που βρίσκονται στην οργανική ουσία των δασικών εδαφών και το οποίο σιγά-σιγά απελευθερώνεται με τη διαδικασία της ορυκτοποίησης. Μέρος του Ca της οργανικής ουσίας είναι δομικό των φυτικών υπολειμμάτων που βρίσκονται πάνω στην επιφάνεια του δασικού εδάφους. Ένα άλλο μέρος του Ca συμμετέχει σε διάφορες χηλικές ενώσεις του εδάφους (σύμπλοκα).

(7) **Ασβέστιο στο εδαφικό διάλυμα.** Στο εδαφικό διάλυμα εμφανίζονται διάφορες ιονικές μορφές ασβεστίου. Η ενεργότητα των ιονικών αυτών μορφών δεν είναι σταθερή αλλά επηρεάζεται από το pH του εδαφικού διαλύματος, την ενεργότητα των ανιόντων, την περιεκτικότητα του εδάφους σε CO_2 , καθώς και από την περιεκτικότητα του εδάφους σε Ca. Έτσι π.χ. σε όξινα εδάφη το $CaHCO_3$ βρίσκεται σε πολύ μικρές ποσότητες οι οποίες αυξάνονται σημαντικά με την αύξηση του pH καθώς και την αύξηση της μερικής πίεσης των ατμών του CO_2 στο έδαφος. Αποτέλεσμα της αύξησης των ποσοτήτων των ιονικών αυτών μορφών είναι η μείωση του Ca στο εδαφικό διάλυμα.

7.4.3. Ρόλος του ασβεστίου στο έδαφος

Το Ca παίζει σημαντικό ρόλο στις φυσικές, χημικές και βιολογικές ιδιότητες του εδάφους. Τα ιόντα του στοιχείου αυτού θρομβώνουν την άργιλο με αποτέλεσμα να βοηθά στον σχηματισμό καλής και σταθερής δομής. Παράλληλα επηρεάζει τη διαμόρφωση της αντίδρασης του εδάφους γιατί ένα πτωχό σε Ca έδαφος είναι όξινο και ένα πλούσιο αλκαλικό. Παράλληλα τα ιόντα Ca μειώνουν την τοξικότητα του B. Αυτό είναι σημαντικό όταν χρησιμοποιηθεί για την άρδευση νερό με συγκέντρωση B μεγαλύτερη από 6,9 ppm και όταν το εδαφικό διάλυμα κάτω από συνθήκες κορεσμού με νερό έχει συγκέντρωση βορίου μεγαλύτερη από 6,3 ppm. Στις περιπτώσεις αυτές, καλό είναι να χρησιμοποιούνται για τη λίπανση ασβεστούχα νιτρικά λιπάσματα τα οποία μειώνουν την πρόσληψη του στοιχείου αυτού από τα φυτά. Τέλος το Ca επηρεάζει τις βιολογικές ιδιότητες του εδάφους γιατί εξουδετερώνει την οξύτητα των

οργανικών οξέων που παράγονται κατά τη διάρκεια της χουμοποίησης της οργανικής ουσίας του εδάφους με αποτέλεσμα να αυξάνει τη δράση των μικροοργανισμών. Εκτός όμως από τις ευεργετικές αυτές επιδράσεις η παρουσία μεγάλων ποσοτήτων Ca στο έδαφος δημιουργεί ορισμένα προβλήματα στη διαλυτότητα ορισμένων θρεπτικών στοιχείων. Έτσι μειώνει τη διαλυτότητα των φωσφορικών ανιόντων με το σχηματισμό αδιάλυτου φωσφορικού ασβεστίου. Επίσης αδιαλυτοποιεί το βόριο, τον σίδηρο, τον αργίλιο και το μαγγάνιο με αποτέλεσμα να έχουμε αντίστοιχα συμπτώματα έλλειψης στα φυτά που αναπτύσσονται σε εδαφικό περιβάλλον πλούσιο σε ασβέστιο. Τέλος μεγάλες συγκεντρώσεις Ca στο έδαφος έχουν ως αποτέλεσμα την παρεμπόδιση της πρόσληψης K και τη διατάραξη στη μετακίνηση των διαφόρων ουσιών στο φυτό και αυτό γιατί είναι γνωστό ότι το Ca παρουσιάζει μεγάλη ανταγωνιστικότητα με το K.

7.4.4. Ρόλος του ασβεστίου στη θρέψη των φυτών

Οι απαιτήσεις των διαφόρων φυτών σε Ca κυμαίνονται μεταξύ ευρέων ορίων. Εκτιμάται ότι η ετήσια πρόσληψη του στοιχείου αυτού από τα φυτά στα διάφορα δασικά οικοσυστήματα κυμαίνεται από 50-300 kg/ha. Το Ca που προσλαμβάνουν τα φυτά βρίσκεται κυρίως στους μεσοκυττάριους χώρους καθώς και στον κυτταρικό χυμό (πρωτόπλασμα) με μορφή κρυστάλλων οξαλικού ασβεστίου. Ο ρόλος του στην αύξηση των φυτών δεν είναι απόλυτα γνωστός, αλλά θεωρείται βέβαιο ότι λαμβάνει μέρος στις φυσιολογικές διαδικασίες της λειτουργίας των κυττάρων. Επίσης περιορίζει την πρόσληψη του νερού από τα φυτά και αυξάνει τη διαπνοή τους. Έτσι μεγάλες ποσότητες Ca στο έδαφος επιτείνουν την επίδραση της ξηρασίας. Επίσης το Ca φαίνεται ότι παίζει έμμεσο ρόλο στην πρόσληψη των άλλων θρεπτικών στοιχείων, στη σύνθεση των πρωτεϊνών και στην αύξηση των κυττάρων.

7.4.5. Πρόσληψη του ασβεστίου από τα φυτά

Τα φυτά προσλαμβάνουν το ασβέστιο υπό μορφή κατιόντος Ca^{2+} από το εδαφικό διάλυμα, καθώς και με αντίδραση εναλλαγής από τα προσροφημένα επί των κολλοειδών ιόντα. Το Ca βρίσκεται σε μεγάλες ποσότητες στα φύλλα. Η μέση

περιεκτικότητα των φύλλων και των βελόνων συχνά υπερβαίνει το 3% της ξηρής ουσίας και σε ορισμένες περιπτώσεις είναι δυνατόν να φθάσει και στο 1/3 της τέφρας του ξύλου. Χαρακτηριστικά είναι τα στοιχεία του πίνακα 6.9 στον οποίο εμφανίζεται η μέση συγκέντρωση στα φύλλα και στις βελόνες ορισμένων δασοπονικών ειδών της χώρας μας.

Η συγκέντρωση όμως του Ca στα φύλλα δεν παραμένει σταθερή σ' όλη τη διάρκεια της αυξητικής περιόδου (για τα φυλλοβόλα) ή της ζωής των βελόνων (για τα κωνοφόρα). Γενικά μπορούμε να πούμε ότι παρατηρείται μια τάση συσσώρευσης του στοιχείου αυτού στις βελόνες και τα φύλλα με την πάροδο της αυξητικής περιόδου και της ηλικίας.

7.4.6. Συμπτώματα έλλειψης ασβεστίου

Συμπτώματα έλλειψης Ca σπάνια παρατηρούνται στα δασικά δένδρα (Baule και Fricker 1970). Μεγαλύτερες απαιτήσεις έχουν τα πλατύφυλλα σε σχέση με τα κωνοφόρα. Κατά τους Duchaufour και Bonneau (1960) η αύξηση των κωνοφόρων είναι ικανοποιητική ακόμη και όταν το εναλλακτικό Ca στο έδαφος είναι 0.1 me/100g.

Έλλειψη K στα κωνοφόρα εκδηλώνεται με το ορφνό χρώμα των άκρων των βελόνων που αργότερα ξηραίνονται. Επίσης νεκρώνεται ένα μέρος του ριζικού συστήματος, αναστέλλεται η ανάπτυξη των φυτών και τελικά τα φυτά γίνονται νάνα και καχεκτικά. Στα πλατύφυλλα τα νέα φύλλα εμφανίζονται νωρίτερα, είναι μικρότερα από τα κανονικά και στη συνέχεια εμφανίζονται ορφνέρυθρες ξηρές κηλίδες, ενώ σπανιότερα παρατηρείται ξήρανση των οφθαλμών.

Γενικά όμως μπορούμε να πούμε ότι έλλειψη σπανιότατα παρατηρείται στα ελληνικά δασικά εδάφη. Το γεγονός αυτό οφείλεται στις χαμηλές βροχοπτώσεις. Αντίθετα συχνά συναντούνται περιπτώσεις εδαφών με υπερβολικές ποσότητες Ca, ιδιαίτερα στις χαμηλότερες και ξηρότερες περιοχές, οι οποίες δημιουργούν προβλήματα στην κανονική θρέψη των φυτών και ιδιαίτερα των κωνοφόρων. Σχετικά μικρές ποσότητες Ca για κανονική αύξηση της ποώδους βλαστήσεως είναι δυνατόν να παρατηρηθούν στα ορεινά λιβάδια και επί εδαφών που σχηματίζονται από πετρώματα πτωχά σε Ca.

7.4.7. Εδάφη με πιθανή έλλειψη ασβεστίου

Τα εδάφη στα οποία είναι πιθανόν να παρατηρηθεί έλλειψη ασβεστίου είναι:

1. τα όξινα εδάφη, όταν ο βαθμός κορεσμού με ασβέστιο είναι μικρότερος από 25%.
2. τα αμμώδη εδάφη των υγρών περιοχών που προέρχονται από όξινα πυριγενή πετρώματα.
3. τα εδάφη που προέρχονται από περιδοτίτες και σερπεντίνες.
4. τα ισχυρώς όξινα τυρφώδη εδάφη.
5. τα εδάφη στα οποία Κυριαρχεί ο μοντμοριλλονίτης, γιατί στην περίπτωση αυτή προσροφούνται τα ιόντα Ca^{2+} και με τον τρόπο αυτό γίνονται λιγότερο προσιτά στα φυτά.

7.5. Μαγνήσιο (Mg)

7.5.1. Προέλευση

Όπως συμβαίνει και με το Ca το Mg του εδάφους προέρχεται από την αποσάθρωση και διάλυση ορισμένων πρωτογενών και δευτερογενών ορυκτών του εδάφους που περιέχουν το στοιχείο αυτό.

Η μέση περιεκτικότητα της λιθόσφαιρας σε Mg εκτιμάται ότι ανέρχεται σε 2,1%, ενώ στα εδάφη η μέση περιεκτικότητα ανέρχεται σε 0,5% (Lindsay 1979). Η διαφορά μεταξύ της μέσης περιεκτικότητας της λιθόσφαιρας και του εδάφους δείχνει μια διαδικασία μετακίνησης και απομάκρυνσης του στοιχείου αυτού από το εδαφικό περιβάλλον κατά τη διάρκεια της αποσάθρωσης και εδαφογένεσης.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω η κυριότερη πηγή Mg για το έδαφος είναι τα διάφορα πρωτογενή και δευτερογενή ορυκτά.

Μικρότερες ποσότητες Mg εισάγονται στο έδαφος με τον ανοιχτό γεωχημικό κύκλο. Οι ποσότητες αυτές ετησίως ανέρχονται από 0,8 έως 5,8 kg/ha Rolfe και συν. 1978, Foster και Morisson 1976, Αλφραγκής 1983).

Σημαντικές ποσότητες **Mg** ανακυκλώνονται στα δασικά οικοσυστήματα. Όπως συμβαίνει και στην περίπτωση του **Ca**. Ο κύριος φορέας της ανακύκλωσης του **Mg** είναι τα φυτικά υπολείμματα.

7.5.2. Παράγοντες του εδάφους που επηρεάζουν τη διαλυτότητα των ορυκτών που περιέχουν μαγνήσιο

Οι παράγοντες του εδάφους που επηρεάζουν γενικά τη διαλυτότητα των ορυκτών που περιέχουν **Mg** είναι κυρίως το pH του εδάφους και η περιεκτικότητα του εδάφους σε CO_2 (για τα ανθρακικά άλατα του **Mg**).

Σχετικά με την επίδραση του pH, πρέπει να τονισθεί ότι, όταν αυτό είναι μικρότερο από 7,5 τα περισσότερα μαγνησιούχα ορυκτά είναι αρκετά διαλυτά. Αντίθετα σε αλκαλικά περιβάλλοντα σχηματίζονται μερικά μαγνησιούχα πυριτικά ορυκτά όπως είναι ο τάλκης, ο σερπεντίνης, ο σεπολίτης και ο χρυσοτολίτης που είναι αρκετά ανθεκτικά.

Από τα οξείδια και υδροξείδια του **Mg** το περισσότερο διαλυτό είναι το περίκλαστο (MgO) το οποίο είτε υδρολύεται σε $\text{Mg}(\text{OH})_2$ (βρουσίτης), είτε καθιζάνει ως αδιάλυτη μορφή, είτε εισέρχεται μεταξύ των ενδοκρυσταλλικών χώρων ορισμένων δευτερογενών ορυκτών του εδάφους του τύπου 2:1 σχηματίζοντας τον δευτερογενή πεδογενή χλωρίτη.

Τα απλά ανθρακικά άλατα του **Mg** είναι μερικώς διαλυτά. Η διαλυτότητα μειώνεται σύμφωνα με τη σειρά

Λαντφορμίτης > νεσκεζονίτης > μαγνετίτης

Αντίθετα τα μίκτα άλατα **Ca, Mg** (δολομίτης) είναι πολύ λίγο διαλυτά με αποτέλεσμα να είναι αρκετά σταθερά στο εδαφικό περιβάλλον.

7.5.3. Μορφές μαγνησίου στο έδαφος

Το Mg υπάρχει στο έδαφος με τις παρακάτω μορφές:

(1) **Δομικό:** Είναι το Mg το οποίο συμμετέχει στη δομή των κρυστάλλων των διαφόρων ορυκτών του εδάφους και το οποίο με τη διαδικασία της αποσάθρωσης απελευθερώνεται σιγά-σιγά.

(2) **Εναλλακτικό:** Είναι το Mg το οποίο βρίσκεται προσροφημένο στα κolloειδή του εδάφους και σε ισορροπία με το Mg του εδαφικού διαλύματος.

(3) **Ανθρακικά άλατα:** Στο έδαφος απαντώνται ανθρακικά άλατα του Mg τα οποία σχηματίζονται δευτερογενώς με καθίζηση σε συνδυασμό με τα ανθρακικά άλατα του Ca.

(4) **Στην οργανική ουσία του εδάφους:** Ορισμένες ποσότητες Mg βρίσκονται στην οργανική ουσία του εδάφους. Το Mg αυτό απελευθερώνεται σιγά-σιγά με τη διαδικασία της ορυκτοποίησης. Μέρος του Mg της οργανικής ουσίας του εδάφους είναι δομικό συμμετέχοντας στο μόριο των χλωροφυλλούχων μερών των φυτών ενώ άλλο μέρος βρίσκεται στα οργανομεταλλικά σύμπλοκα του εδάφους που είναι γνωστά ως χηλικές ενώσεις.

(5) **Ολικό Mg:** Είναι οι συνολικές ποσότητες Mg στο έδαφος με διάφορες μορφές.

(6) **Στο εδαφικό διάλυμα:** Στο εδαφικό διάλυμα εμφανίζονται διάφορες μορφές Mg. Ο σχηματισμός των διαφόρων μορφών Mg που παρατηρούνται στο εδαφικό διάλυμα επηρεάζεται από την ενεργότητα των ανιόντων σ' αυτό, το pH του εδαφικού διαλύματος, καθώς και από τη μερική τάση του CO₂. Στην ουσία οι περισσότερες από τις μορφές αυτές είναι υπό μορφή συμπλόκων.

(7) **Στους διαστιβαδικούς χώρους των ορυκτών της αργίλου τύπος 2:1:** Σε μερικά από τα δευτερογενή ορυκτά της αργίλου είναι δυνατόν να εισέλθουν μεταξύ των διαστιβαδικών χώρων ορισμένα υδροξείδια του Mg μετατρέποντάς τα σε πεδογενή χλωρίτη. Η διαδικασία αυτή της πεδογένεσης είναι δυνατόν να παρατηρηθεί και με αντίθετη κατεύθυνση.

Στα εδάφη η περιεκτικότητα Mg ποικίλει, ανάλογα με το είδος του μητρικού υλικού, την αποσάθρωση, την ταχύτητα έκπλυσης και το pH του εδάφους. Τα μαγνησιούχα

ορυκτά σε όξινα εδάφη είναι πολύ διαλυτά και αντίστοιχα η έκπλυση του Mg είναι μεγάλη σε εδάφη υγρών περιοχών.

7.5.4. Παράγοντες που επηρεάζουν την ποσότητα του αφομοιώσιμου μαγνησίου

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ποσότητα αφομοιώσιμου Mg στο έδαφος είναι:

1) Το εναλλακτικό K: Πολλές έρευνες έχουν δείξει ότι η προσθήκη K στο έδαφος προκαλεί μείωση της ποσότητας του Mg που προσλαμβάνεται από τα φυτά. Οι Mc Colloch και συν. (1957) έδειξαν ότι όταν η σχέση των εναλλακτικών K/Mg είναι μεγαλύτερη από 0,4-0,5 παρατηρείται έλλειψη αφομοιώσιμου Mg

2) Το άζωτο: Έχει παρατηρηθεί ότι η ένταση των συμπτωμάτων έλλειψης μαγνησίου μειώνεται και η περιεκτικότητα των φύλλων σε Mg αυξάνεται μετά από αζωτούχο λίπανση ή με αντίστοιχη αύξηση της συγκέντρωσης αζώτου στους φυτικούς ιστούς. Το γεγονός αυτό παρατηρείται μόνον όταν το άζωτο του λιπάσματος είναι υπό νιτρική μορφή ενώ όταν αυτό βρίσκεται υπό αμμωνιακή μορφή παρατηρείται μείωση της συγκέντρωσης στους φυτικούς ιστούς.

3) Φωσφορικά ανιόντα: Αυτά αυξάνουν την συγκέντρωση του Mg στα φύλλα. Το γεγονός αυτό αποδίδεται στον έμμεσο περιορισμό της έκπλυσής του λόγω σχηματισμού αδιαλύτων φωσφορικών ενώσεων του μαγνησίου. Οι μορφές αυτές ανθίστανται στην έκπλυση.

4) Ασβέστιο: Υψηλή συγκέντρωση Ca στο έδαφος περιορίζει την πρόσληψη του Mg γιατί τα δύο αυτά ιόντα δρουν στο εδαφικό περιβάλλον ανταγωνιστικά.

5) Ιόντα υδρογόνου, pH: Καθώς αυξάνεται η ποσότητα των ιόντων υδρογόνου (H^+) και μειώνεται το pH του εδάφους, αυξάνεται η ταχύτητα υδρόλυσης των ορυκτών που περιέχουν Mg. Επειδή δε οι συνθήκες αυτές συνδέονται με μεγάλες ποσότητες κατακρημνισμάτων οδηγούν σε παράλληλη αύξηση της έκπλυσής του.

6) Τα θειϊκά ανιόντα: Έχει παρατηρηθεί ότι η παρουσία στο έδαφος μεγάλων ποσοτήτων SO_4^{2-} οδηγεί στην αύξηση των συμπτωμάτων έλλειψης Mg

7.5.5. Ρόλος του Μαγνησίου στη θρέψη των φυτών

Οι απαιτήσεις των διαφόρων φυτών σε Mg κυμαίνονται μεταξύ ευρέων ορίων. Εκτιμάται ότι η ετήσια πρόσληψη του στοιχείου αυτού από τα διάφορα δασοπονικά είδη κυμαίνεται από 7-25 kg/ha

Το Mg που προσλαμβάνουν τα φυτά είναι δομικό συστατικό του μορίου της χλωροφύλλης. Οι μεγαλύτερες ποσότητες του στοιχείου αυτού συσσωρεύονται στα χλωροφυλλούχα μέρη των φυτών. Παράλληλα το Mg συμμετέχει στο μεταβολισμό και τη μεταφορά του P και τείνει να συσσωρεύεται σε σπόρους πλούσιους σε έλαια. Τέλος το Mg ενεργοποιεί διάφορα ένζυμα.

Το Mg έχει περιορισμένη ευκινησία στους φυτικούς ιστούς και ως εκ τούτου σ' όλη τη διάρκεια της ζωής του φύλλου η συγκέντρωση του Παραμένει σχεδόν σταθερή.

7.5.6. Πρόσληψη μαγνησίου από τα φυτά

Τα φυτά προσλαμβάνουν το Mg με μορφή κατιόντος είτε από το εδαφικό διάλυμα είτε με αντίδραση εναλλαγής από τα εναλλακτικά.

Το στοιχείο αυτό βρίσκεται σε σχετικά μεγάλες ποσότητες στα φύλλα, κυρίως συμμετέχοντας στην δομή του μορίου της χλωροφύλλης ενώ μικρότερες ποσότητες βρίσκονται υπό ιονική μορφή. Οι ποσότητες αυτές ρυθμίζουν την ενζυμική δραστηριότητα των κυττάρων (Lawlor & 1991).

7.5.7. Συμπτώματα έλλειψης μαγνησίου

Συμπτώματα έλλειψης Mg στα φυτά εμφανίζονται όταν στο έδαφος το εναλλακτικό Mg είναι λιγότερο από 6 mg/100g εδάφους. Στα κωνοφόρα η έλλειψη εκδηλώνεται με την εμφάνιση χλώρωσης στις άκρες των βελονών. Συνήθως δημιουργείται ένα έντονο κίτρινο, χρυσοκίτρινο, ερυθροκίτρινο ή πορτοκαλί χρώμα στην άκρη των βελονών το οποίο προχωρά σιγά-σιγά προς τη βάση τους και καθώς η έλλειψη Mg συνεχίζεται, οι βελόνες παίρνουν ορφνό χρώμα και ξηραίνονται. Η

7.6. Σίδηρος (Fe)

7.6.1. Προέλευση

Ο σίδηρος είναι το περισσότερο κοινό στοιχείο της λιθόσφαιρας αφού υπολογίζεται ότι η μέση περιεκτικότητα αυτής ανέρχεται σε 5,1%, ενώ στο έδαφος σε 3,8% (Lindsey 1979) και κυμαίνεται από 3-5% (Bohn και συν. 1979), σε σπάνιες δε περιπτώσεις η συγκέντρωση στο έδαφος είναι μικρότερη από 1 %.

7.6.2. Ρόλος του σιδήρου στα φυτά

Ο σίδηρος είναι υπεύθυνος για τη μεταφορά ηλεκτρονίων στο φυτό (Hewitt 1983). Ο σίδηρος συμμετέχει στη δομή του μορίου της χλωροφύλλης και έλλειψη αυτού περιορίζει την πρόσληψη του CO₂ της ατμόσφαιρας, τη φωτοσύνθεση και την παραγωγή χλωροφύλλης και ιδιαίτερα επηρεάζει τις μεμβράνες των θυλακοειδών των χλωροπλαστών (Terry και Rao 1991). Η μείωση δε αυτή των θυλακοειδών λόγω έλλειψης Fe περιορίζει τη μεταφορά ηλεκτρονίων και με αυτόν τον τρόπο μειώνεται ο αριθμός των φωτοσυνθετικών μονάδων ανά μονάδα επιφάνειας φύλλου. Επίσης ο Fe συμμετέχει σ' έναν μεγάλο αριθμό ενζύμων της διαπνοής όπως είναι η υπεροξειδάση, η καταλάση κλπ.

7.6.3. Εδάφη με έλλειψη αφομοιώσιμου και προσιτού σιδήρου

Τα εδάφη που παρουσιάζουν έλλειψη αφομοιώσιμου και προσιτού στα φυτά σιδήρου είναι:

- 1) ασβεστούχα εδάφη
- 2) εδάφη με υψηλό pH
- 3) εδάφη πλούσια σε Mn
- 4) όξινα εδάφη πλούσια σε βαρέα μέταλλα όπως Zn, Cu, Mn και Ni.

5) κακώς αεριζόμενα εδάφη.

Το CaCO_3 των ασβεστούχων εδαφών επιδρά στην πρόσληψη του Fe έμμεσα με την επίδραση που ασκεί αυτό στο pH του εδάφους.

7.7. Χαλκός (Cu)

7.7.1. Προέλευση

Ο χαλκός του εδάφους προέρχεται από τα διάφορα ορυκτά στα οποία περιέχεται το στοιχείο αυτό. Η μέση περιεκτικότητα σε Cu της λιθόσφαιρας ανέρχεται σε 70ppm (Lindsay 1979), ενώ σύμφωνα με τους Aubert και Pinta (1977) σε 10ppm πως συμβαίνει και με τα άλλα ιχνοστοιχεία η φύση του πετρώματος επηρεάζει την περιεκτικότητα αυτή. Σύμφωνα με Aubert και Pinta (1977) στα βασικά πυριγενή πετρώματα (βασάλτης, δολερίτης) η περιεκτικότητα κυμαίνεται από 100 έως 200 ppm, στα όξινα πυριγενή (γρανίτης, ρυόλιθος) από 10 έως 20 ppm, στα μεταμορφωσιγενή από 30 έως 40 ppm και στους αμμόλιθους και ασβεστόλιθους από 3 έως 15ppm.

Η περιεκτικότητα του εδάφους σε χαλκό κυμαίνεται από ίχνη (αμμώδη εδάφη) έως και 200-250ppm (Vertisols) Σύμφωνα με τον Lindsay (1979) η μέση περιεκτικότητα σε Cu των εδαφών είναι γύρω στα 30ppm, ενώ σύμφωνα με τους Aubert και Pinta (1977) αυτή κυμαίνεται από 15-40ppm.. Η μεγάλη διακύμανση της περιεκτικότητας αυτής οφείλεται κυρίως στη διαφορετική περιεκτικότητα των μητρικών πετρωμάτων και λιγότερο στις κλιματολογικές συνθήκες.

Ο Cu του εδάφους προέρχεται από την αποσάθρωση και διάλυση των ορυκτών που περιέχουν το στοιχείο αυτό

7.7.2. Πρόσληψη και ρόλος του χαλκού

Η πρόσληψη γίνεται από το εδαφικό διάλυμα και με απ' ευθείας ανταλλαγή από τα προσροφημένα στα κολλοειδή ιόντα. Οι μορφές πρόσληψης είναι κυρίως το ιόν Cu^{2+} καθώς και ορισμένες χηλικές ενώσεις Cu. Στην τελευταία περίπτωση οι χηλικές αυτές

ενώσεις Cu αποδιοργανώνονται πριν από την πρόσληψή τους (Goodman και Linehan 1979).

Η ποσότητα του αφομοιώσιμου Cu συνήθως βρίσκεται μετά από εκχύλιση του εδάφους με κατάλληλα εκχυλιστικά διαλύματα όπως π.χ. τα NH_4NO_3 ζεστό νερό, $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ αραιό HNO_3 . Στα φυτά ο Cu βρίσκεται ενωμένος με οργανικές ενώσεις σχηματίζοντας σύμπλοκα. Επίσης είναι στοιχείο ορισμένων ενζύμων όπως π.χ. της οξειδάσης του ασκορβικού οξέος και της τυροσινάσης. Τα ένζυμα αυτά παίζουν καθοριστικό ρόλο σε ορισμένες βασικές λειτουργίες του κυττάρου, όπως στο μεταβολισμό του CO_2 , (φωτοσύνθεση) και του N. Ο Cu συνήθως συσσωρεύεται κατά μήκος του ξυλλώδους άξονα της ρίζας και παρουσιάζει πολύ μικρή ευκινησία μέσα στο φυτό.

7.7.3. Τοξικότητα του χαλκού

Η κρίσιμη συγκέντρωση Cu στο έδαφος για την εμφάνιση τοξικών φαινομένων δεν είναι σταθερή για όλα τα δασοπονικά είδη. Τα επίπεδα της κρίσιμης αυτής συγκέντρωσης επηρεάζονται σημαντικά από το pH του εδάφους. Γενικά η τοξικότητα Cu αυξάνεται με τη μείωση του pH του εδάφους. Αυτό οφείλεται στην αύξηση της ενεργότητας των ιόντων Cu που παρατηρείται με την πτώση του pH.

Φαινόμενα τοξικότητας Cu δεν εμφανίζονται τακτικά. Συνήθως παρατηρούνται σε περιοχές με ισχυρή ρύπανση από εργοστάσια επεξεργασίας μεταλλευμάτων ή μετά από έντονη χρήση χαλκούχων γεωργικών παρασκευασμάτων (μυκητοκτόνα). Σύμφωνα με τον Chapman (1966) φαινόμενα τοξικότητας εμφανίζονται όταν η συγκέντρωση του Cu στο έδαφος υπερβεί τα 150 ppm.

Η τοξικότητα για την οποία έγινε λόγος παραπάνω διορθώνεται με την αύξηση της οργανικής ουσίας του εδάφους η οποία δεσμεύει τα Cu^{2+} σχηματίζοντας ισχυρά σύμπλοκα (χηλικές ενώσεις) ή με την αύξηση του pH του εδάφους. Η αύξηση αυτή έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της ενεργότητας των Cu^{2+} στο έδαφος.

7.7.4. Έλλειψη χαλκού

Έλλειψη Cu παρατηρείται συχνότερα σε πολλά οργανικά εδάφη στα οποία ο Cu δεσμεύεται ισχυρά, σχηματίζοντας οργανομεταλλικά σύμπλοκα καθώς και σε αμμώδη ποτσοδικά, ισχυρώς εκπλυμένα εδάφη των υγρών περιοχών. Η έλλειψη αυτή παρατηρείται κυρίως σε περιπτώσεις όπου το έδαφος προέρχεται από μητρικά υλικά που είναι πτωχά σε Cu όπως για παράδειγμα συμβαίνει στα όξινα πυριγενή, και τον ασβεστόλιθο (Ryan και συν., 1967).

Φαινόμενα έλλειψης Cu εμφανίζονται όταν η συγκέντρωση του εναλλακτικού Cu στο έδαφος πέσει κάτω από 0,5-3 ppm, αν και η μέθοδος εκχύλισης του αφομοιώσιμου Cu επηρεάζει την κρίσιμη αυτή συγκέντρωση και όταν η συγκέντρωση ολικού Cu στο έδαφος είναι μικρότερη από 7-8 ppm (Aubert και Pinta , 1977, Corpenet και Juste 1982). Η αντιμετώπιση των συνθηκών έλλειψης Cu γίνεται με την προσθήκη στο έδαφος CuSO_4 .

7.7.5. Εδάφη με πιθανή έλλειψη χαλκού

Εδάφη με πιθανή έλλειψη χαλκού είναι:

1. τα εκπλυμένα όξινα εδάφη
2. τα εκπλυμένα αμμώδη εδάφη
3. οι ασβεστούχοι άμμοι
4. τα αλκαλικά και ασβεστούχα εδάφη
5. τα τυρφώδη οργανικά εδάφη
6. τα εδάφη με ισχυρή αζωτούχο λίπανση.

7.8. Μαγγάνιο (Mn)

7.8.1. Προέλευση

Η μέση περιεκτικότητα της λιθόσφαιρας σε Mn ανέρχεται σε 900 ppm (Lindsay 1979). Η περιεκτικότητα των διαφόρων πετρωμάτων σε Mn ποικίλλει πολύ. Έτσι στα όξινα πετρώματα (γρανίτης, ρυόλιθος) καθώς και σε ορισμένα δευτερογενή ιζηματογενή και μεταμορφωσιγενή πετρώματα (σχιστόλιθοι) κυμαίνεται από 200 έως 1200 ppm. Στους ασβεστολίθους σε 400- 600 ppm, ενώ στους αμμολίθους σε 20-500 ppm (Aubert και Pinta , 1977).

Η μέση περιεκτικότητα του εδάφους σε Mn κυμαίνεται από 20 έως 3.000 ppm με μέσο όρο γύρω στα 600 ppm (Lindsay 1979). Η φύση του μητρικού πετρώματος είναι καθοριστική στην περιεκτικότητα αυτού σε Mn. Αναφέρεται από τους Aubert και Pinta (1977) ότι σε ορισμένα δασικά εδάφη που προέρχονται από ασβεστόλιθο η περιεκτικότητα αυτή ανέρχεται σε 250 ppm ενώ σε δασικά εδάφη που προέρχονται όμως από μητρικό πέτρωμα δολερίτη αυτή ανέρχεται σε 3150 ppm. Στο έδαφος το Mn προέρχεται Κυρίως από την αποσάθρωση διαφόρων σιδηρομαγνησιούχων πετρωμάτων.

Τα ορυκτά του εδάφους που περιέχουν Mn είναι διάφορα οξείδια, υδροξείδια, ανθρακικά, θειικά και πυριτικά άλατα.

7.8.2. Αφομοιώσιμες μορφές μαγγανίου

Οι αφομοιώσιμες μορφές Mn στο έδαφος είναι:

α. Υδατοδιαλυτό Mn. Βρίσκεται στο έδαφος με μορφές ευδιάλυτων αλάτων όπως είναι τα ανθρακικά, τα δισανθρακικά και τα θειικά

β. Εναλλακτικό Mn. Είναι το Mn που βρίσκεται προσροφημένο από τα κolloειδή του εδάφους και μπορεί να εκχυλισθεί με διάλυμα οξικού αμμωνίου pH 7.

γ. Διαλυτό σε διάλυμα οξέων (π.χ. σε 2.5% CH₃COOH διάλυμα H₂SO₄ και HCl). Στην ποσότητα αυτή περιλαμβάνονται οι δύο προηγούμενες μορφές, καθώς και οι αντίστοιχες ποσότητες των αλάτων που είναι διαλυτές σε pH μικρότερο από 6.

Η ποσότητα των παραπάνω αναφερομένων μορφών σε σχέση με την ολική περιεκτικότητα του εδάφους σε Μn είναι συνήθως μικρή και αντιπροσωπεύει λιγότερο από το 20% του ολικού Μn αν και υπάρχουν περιπτώσεις στις οποίες το ποσοστό αυτό είναι μεγαλύτερο.

Οι παράγοντες του εδάφους που επηρεάζουν την περιεκτικότητά του σε αφομοιώσιμες μορφές είναι:

1. Η οργανική ουσία του εδάφους με την οποία σχηματίζει διάφορα αδιάλυτα σύμπλοκα.
2. Η μηχανική σύσταση του εδάφους. Γιατί αυτή επηρεάζει την ταχύτητα έκπλυσης του εδάφους, αν και το Μn δεν εκπλύνεται εύκολα όταν το pH είναι ανώτερο από 7 και το έδαφος αερίζεται καλά. Κάτω όμως από αναερόβιες συνθήκες εκπλύνεται εύκολα.
3. Ο τύπος του εδάφους.
4. Το pH του εδάφους. Σε εδάφη με αλκαλικό pH οι προσιτές και αφομοιώσιμες μορφές είναι ελάχιστες γιατί σχηματίζονται πολύ σταθερά οξειδία τα οποία δύσκολα διαλύονται.
5. Οι κλιματολογικές συνθήκες και ιδίως η υγρασία και η θερμοκρασία.
6. Το δυναμικό οξειδοαναγωγής του εδάφους. Έτσι η αναγωγή της δυσκίνητης και μη αφομοιώσιμης μορφής του Mn^{4+} προς τη διαλυτή μορφή του Mn^{2+} παρατηρείται όταν το δυναμικό αναγωγής στο έδαφος είναι μικρότερο από +300mv, που είναι σχεδόν το ίδιο με αυτό της απονιτροποίησης (Grass και συν., 1973).
7. Οι μικροοργανισμοί του εδάφους. Η μορφή Mn^{2+} μπορεί να διαλυτοποιηθεί από ορισμένα βακτήρια του γένους *Thiobacillus*. Στην περίπτωση αυτή το Mn^{4+} χρησιμοποιείται ως ένας ενδιάμεσος δέκτης ηλεκτρονίων που παράγονται κατά την οξείδωση του S (Martin και Focht, 1977).
8. Η περιεκτικότητα του εδάφους σε φωσφορικά ανιόντα. Η επίδραση αυτή είναι σημαντική γιατί σχηματίζονται αδιάλυτες φωσφορικές ενώσεις του Μn.

7.8.3. Ο ρόλος του μαγγανίου στα φυτά

Το μαγγάνιο είναι συστατικό των χλωροπλαστών με αποτέλεσμα να παίζει σημαντικό ρόλο στη σύνθεση της χλωροφύλλης και στο μεταβολισμό του CO₂. Παράλληλα το Mn παίζει σημαντικό ρόλο στην ενεργοποίηση ενός αριθμού ενζύμων και πιθανόν επηρεάζει και την προσιτότητα του Fe

7.8.4. Πρόσληψη του μαγγανίου από τα φυτά

Η πρόσληψη του Mn από τα φυτά γίνεται με τη μορφή του Mn²⁺ από το εδαφικό διάλυμα καθώς και από ορισμένα ευδιάλυτα σύμπλοκα του Mn με οργανική ουσία. Η πρόσληψη αυτής της μορφής υποβοηθείται από την ύπαρξη μυκόρριζας. Η πρόσληψη αυτή εξαρτάται κυρίως από τις οξειδοαναγωγικές συνθήκες του εδάφους, από το pH του εδάφους καθώς και από το μηχανισμό κίνησης του Mn προς τις ρίζες. Ο τελευταίος εξαρτάται από τις ιδιότητες του εδάφους (Oliver και Barber 1966, Halstead και συν., 1968). Όταν η περιεκτικότητα σε Mn του εδαφικού διαλύματος είναι χαμηλή (<0.4μmolar Mn) στην κίνηση του Mn επικρατεί η κίνηση με διάχυση προς την επιφάνεια των ριζών. Όταν το εδαφικό διάλυμα περιέχει περισσότερο Mn (>14μmolar Mn) τότε η μεταφορά με το νερό είναι υπεύθυνη για τη μετακίνηση του Mn προς τις ρίζες.

7.8.5. Συνθήκες τοξικότητας μαγγανίου

Τοξικότητα Mn εμφανίζεται σε όξινα εδάφη (Ryan και Peebles 1967), ιδιαίτερα σε τροπικές υγρές περιοχές με pH εδάφους μικρότερο από 5. Η τοξικότητα αυτή περιορίζεται σημαντικά με την αύξηση της οργανικής ουσίας του εδάφους καθώς και με την προσθήκη CaCO₃. Με τα μέτρα αυτά βελτιώνεται η ακινητοποίηση των διαλυτών ενώσεων του Mn του εδαφικού διαλύματος (σχηματισμός οργανομεταλλικών ενώσεων, ακινητοποίηση με το σχηματισμό αδιάλυτων οξειδίων π.χ. MnO₂). Τα συμπτώματα τοξικότητας εμφανίζονται με μαύρες κηλίδες και γραμμές που εκτείνονται κατά μήκος των αγωγών ιστών στον κορμό, τα κύρια νεύρα των φύλλων και τους μίσχους. Αυτές οι σκούρες κηλίδες σχηματίζονται από τη

συσσώρευση ενώσεων του Μn, όπως ΜnO καθώς και οργανομεταλλικών συμπλοκών. Επειδή το Μn κινείται εύκολα προς το υπέργειο τμήμα των φυτών, είναι εύκολη η διάγνωση των συνθηκών τοξικότητας.

Η τοξικότητα παρατηρείται όπως αναφέρθηκε παραπάνω σε όξινα εδάφη και ιδιαίτερα όταν η ποσότητα της ανηγμένης μορφής Mn^{2+} είναι μεγαλύτερη από 100 mg/kg εδάφους (Corpenet και Juste, 1982).

7.8.6. Συνθήκες έλλειψης μαγγανίου

Όπως τονίστηκε προηγουμένως το μεγαλύτερο ποσό Μn του εδάφους βρίσκεται με τις μορφές οξειδίων του Mn^{4+} και λιγότερο του Mn^{3+} ενώ ένα μικρό μέρος βρίσκεται με τη μορφή Mn^{2+} που είναι και αφομοιώσιμο από τα φυτά. Όλες οι εδαφικές συνθήκες που μειώνουν τη διαλυτότητα του Μn του εδάφους δημιουργούν συνθήκες έλλειψης.

Ιδιαίτερα οι εδαφικές συνθήκες που ευνοούν την έλλειψη Μn είναι:

1. Αβαθή οργανικά εδάφη επί ασβεστούχων μητρικών υλικών.
2. Αλλουβιακά εδάφη που προέρχονται από την απόθεση ιλύος και αργίλου που είναι πλούσια σε ανθρακικό ασβέστιο.
3. Κακώς αποστραγγιζόμενα εδάφη με μεγάλη περιεκτικότητα σε οργανική ουσία.
4. Όξινα εδάφη στα οποία συνήθως καλύπτονται με Erica
5. Πολύ όξινα αμμώδη ορυκτά εδάφη τα οποία φυσικώς περιέχουν μικρές ποσότητες Μn.
6. Παλαιά όξινα εδάφη δασικών φυτωρίων και κήπων στα οποία προστίθενται για πολλά χρόνια οργανική ουσία και $CaCO_3$
7. Εδάφη τα οποία παρουσιάζουν εναλλαγές συνθηκών κορεσμού με νερό και ξήρανσης, Στην πρώτη περίπτωση το Μn μετατρέπεται με την αναγωγή σε διαλυτές μορφές, μετακινείται και εναποτίθεται κατά Θέσεις ενώ όταν επικρατούν συνθήκες ξηρασίας οι ενώσεις του Μn οξειδώνονται εκ νέου και το Μn ακινητοποιείται.

7.9. Ψευδάργυρος (Zn)

7.9.1. Προέλευση

Η περιεκτικότητα σε ψευδάργυρου του στερεού φλοιού της γης είναι μικρή και ανέρχεται σε 0,001%, ενώ ακόμη μικρότερη είναι η περιεκτικότητα του εδάφους. Αυτή κυμαίνεται από 0,0002% έως 0,0012%, ενώ η μέση περιεκτικότητα των εδαφών είναι 0,0005%.

Ο ψευδάργυρος στο έδαφος προέρχεται από την αποσάθρωση των πετρωμάτων στα ορυκτά των οποίων περιέχεται το στοιχείο αυτό. Τα διάφορα είδη πετρωμάτων περιέχουν διαφορετικές ποσότητες ψευδαργύρου. Αναφέρεται ότι στα βασικά πετρώματα η συγκέντρωση αυτού ανέρχεται σε 0,0013%, και στα όξινα πυριγενή 0,006%. Τα σπουδαιότερα ορυκτά που περιέχουν το στοιχείο αυτό είναι ο ζινκίτης ZnO , υδροξυζινκίτης $Zn_3(CO_3)_2(OH)$ και ο γιλλενίτης Zn_2SiO_4 .

Η περιεκτικότητα των εδαφών σε ψευδάργυρο εξαρτάται κυρίως:

- 1) Από τη φύση του μητρικού υλικού και του πετρώματος.
- 2) Από την οργανική ουσία του εδάφους η οποία σχηματίζει με τα ιόντα ψευδαργύρου οργανομεταλλικά σύμπλοκα με αποτέλεσμα να προστατεύονται από την έκπλυση.
- 3) την μηχανική σύσταση των εδαφών η οποία επηρεάζει την έκπλυση των ιόντων ψευδαργύρου.
- 4) την εναλλακτική ικανότητα του εδάφους.
- 5) Από το pH του εδάφους. Ο ψευδάργυρος είναι πολύ ευκίνητος σε όξινα εδάφη και ιδιαίτερα σ' αυτά που σχηματίζονται από γρανίτες, ενώ αντίθετα είναι λιγότερο ευκίνητος σε αλκαλικά εδάφη και ιδιαίτερα όταν προέρχονται αυτά από αποσάθρωση ασβεστολίθων. Ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο παίζει η οξύτητα του εδαφικού διαλύματος η οποία επηρεάζει την ποσότητα του Zn που εκχυλίζεται από το έδαφος.

Στο έδαφος μόνον ένα μικρό μέρος του ψευδαργύρου (<5%) βρίσκεται υπό εναλλακτική μορφή.

7.9.2. Εδάφη με πιθανή έλλειψη ψευδαργύρου

Πιθανή έλλειψη ψευδαργύρου παρουσιάζουν τα παρακάτω είδη εδαφών:

1. Όξινα, εκπλυμένα, αμμώδη εδάφη.
2. Αλκαλικά εδάφη στα οποία η ποσότητα του προσιτού ψευδαργύρου είναι μικρή.
3. Εδάφη που προέρχονται από γρανίτες και γνευσίους.
4. Εδάφη τα οποία περιέχουν άργιλο με χαμηλή σχέση Si/Mg Στην περίπτωση αυτή ο Zn δεσμεύεται υπό μη προσιτή μορφή.

7.9.3. Εδάφη με πιθανή τοξικότητα ψευδαργύρου

Πιθανή τοξικότητα ψευδαργύρου παρουσιάζεται στις εξής περιπτώσεις:

1. Σε εδάφη που προέρχονται από πλούσια σε Zn μητρικά υλικά.
2. Σε εδάφη που βρίσκονται κοντά σε βιομηχανίες επεξεργασίας μεταλλευμάτων.
3. Σε ορισμένα όξινα οργανικά εδάφη.
4. Σε εδάφη που βρίσκονται κοντά σε δρόμους μεγάλης κυκλοφορίας. Στην περίπτωση αυτή πρόκειται για ρύπανση των εδαφών με Zn που προέρχεται από την τριβή των ελαστικών.

Β' ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

8. Μέθοδοι και υλικά

Η παρούσα μελέτη παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον τόσο για τις συνθήκες θρέψης της ελάτης στο οικοσύστημα του Ταϋγέτου όσο και από το γεγονός ότι δεν έχει πραγματοποιηθεί παρόμοια μελέτη στο οικοσύστημα του Ταϋγέτου. Η έρευνα έχει ως αντικείμενο την μελέτη της χημικής σύστασης του δασικού τάπητα και των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του ορυκτού εδάφους όπου φύτεται η υβριδογενής ελάτη (*Abies borissii regis*, Matf.) στη περιοχή του ορεινού όγκου του Ταϋγέτου καθώς και τη μελέτη της θρεπτικής κατάστασης της ελάτης.

Για την έρευνα επιλέχθηκαν τρεις συστάδες Ελάτης στη περιοχή του βορείου Ταϋγέτου στις θέσεις Δυρράχιο με υψόμετρο 860 μ. (θέση ΒΤ1), Δυρράχιο-στροφή με υψόμετρο 1064 μ. (θέση ΒΤ2), Νεοχώριο με υψόμετρο 1330 μ. (θέση ΒΤ3). Η θέση αυτή (ΒΤ 3) αντιπροσωπεύει καλύτερη ποιότητα τόπου γιατί έχει βαθύτερο και πλουσιότερο σε θρεπτικά στοιχεία έδαφος από τις άλλες δυο θέσεις ενώ η ΒΤ2 αντιπροσωπεύει τη χειρότερη ποιότητα τόπου. Παράλληλα επιλέχθηκαν και άλλες τρεις θέσεις στη περιοχή του Νοτίου Ταϋγέτου στις περιοχές Πηγάδια με υψόμετρο 1045 μ. (θέση ΝΤ1), Ζέκια με υψόμετρο 1138 μ. (θέση ΝΤ2) και Μαυρόλογγος με υψόμετρο 1075 μ. (θέση ΝΤ3). Το μητρικό υλικό στο έδαφος όλων των θέσεων ήταν ασβεστόλιθος με εξαίρεση τη θέση Νεοχώριο (ΒΤ3) με μητρικό υλικό από φλύσχη..

Κάθε πειραματική επιφάνεια που επιλέχθηκε είχε έκταση περίπου 1,5 στρέμμα. Για την επιλογή των θέσεων των δειγματοληπτικών επιφανειών λάβαμε υπόψη μας ότι οι επιφάνειες αυτές πρέπει να αποτελούνται από αμιγείς συστάδες ελάτης σε ομοιογενή κατά το δυνατόν ποιότητα τόπου σε κάθε επιφάνεια.

8.1. Δειγματοληψία βιολογικού υλικού

Σε κάθε πειραματική επιφάνεια επιλέχθηκαν έξη υγιή δένδρα μέσης κυκλικής επιφάνειας και κόμης όπου συλλέχθηκαν βελόνες από τέσσερα εξωτερικά σημεία της

περιφέρειας του κάθε δένδρου και σε ύψος περίπου στα 2/3 του ύψους των δένδρων. Με συστηματική δειγματοληψία ελήφθησαν δείγματα δασικού τάπητα από κάθε πειραματική επιφάνεια για τον προσδιορισμό της βιομάζας και των θρεπτικών στοιχείων που συσσωρεύονται σε αυτόν. Η δειγματοληψία έγινε με τη βοήθεια ενός μεταλλικού πλαισίου διαστάσεων 30X30X10 cm. Το μεταλλικό πλαίσιο τοποθετούνταν πάνω στο δασικό τάπητα και πεζόμενο προσεκτικά, για να μη διαταραχθεί ο δασικός τάπητας, έφτανε μέχρι το έδαφος. Στη συνέχεια λήφθηκαν δείγματα απ τους οργανικούς οριζόντες O1 και O2 χωριστά. Τα δείγματα τοποθετούνταν σε πλαστικές σακούλες και μεταφέρονταν στο εργαστήριο, όπου ξηραίνονταν στους 80 °C για 48 ώρες και μετά ζυγίζονταν για τον υπολογισμό του ξηρού βάρους τους. Στη συνέχεια αντιπροσωπευτικό δείγμα αλέστηκε για τον προσδιορισμό της χημικής του σύστασης. Παράλληλα δείγματα ορυκτών οριζόντων συλλέχθηκαν κατά στρώματα πάχους (0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, και 20-30 cm) και αφού αεροξηράνθηκαν, λειοτριβήθηκαν προσδιορίστηκαν τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά τους.

8.2. Χημικές αναλύσεις δασικού τάπητα και βελονών.

Το ολικό N προσδιορίστηκε με την μέθοδο Kjeldahl. Για τον προσδιορισμό των υπόλοιπων μακροθρεπτικών (P, K, Ca, Mg, Na) και μικροθρεπτικών (Fe, Cu, Zn, Mn) χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της αποτέφρωσης (Dry ashing) με καύση των δειγμάτων στους 480° C για 5 ώρες και προσδιορίστηκαν τα παρακάτω:

Το ολικό K και Na προσδιορίστηκαν στο φλογωφότομετρο, ο ολικός P χρωματομετρικά με τη μέθοδο του μπλε του μολυβδαινικού αμμωνίου σε φασματοφωτόμετρο, και τα Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, και Mn σε φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης.

Η οργανική ουσία που συσσωρεύεται στο δασικό τάπητα υπολογίστηκε από την απώλεια βάρους λόγω καύσης (Loss on ignition).

8.3. Χημικές αναλύσεις εδάφους.

Στα δείγματα εδάφους προσδιορίστηκαν, το pH και η ηλεκτρική αγωγιμότητα σε αιώρημα εδάφους : νερού αναλογίας 1:1. Η κοκομετρική σύσταση του εδάφους βρέθηκε με τη μέθοδο του Bouyoukos. Η μέτρηση της οργανικής ουσίας με τη

μέθοδο της υγρής οξείδωσης με $K_2Cr_2O_7$. Ο διαθέσιμος P μετρήθηκε σύμφωνα με τη μέθοδο Olsen, τα ανταλλάξιμα K, Ca, Mg, Na με τη μέθοδο του CH_3COONH_4 1N pH 7. Τα ιχνοστοιχεία Mn, Zn, Cu, και Fe προσδιορίστηκαν με την μέθοδο του DTPA (Lindsay and Norvell, 1978). Τα μακροθρεπτικά K και Na προσδιορίστηκαν στο φλογοφωτόμετρο και τα Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, και Mn σε φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

9.Αποτελέσματα- Συζήτηση

9.1. Χαρακτηριστικά Δασικού Τάπητα

9.1.1. Αποτελέσματα

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζεται το βάρος οργανικών οριζόντων, του δασικού τάπητα (Kg/ha) σε οικοσύστημα υβριδογενούς ελάτης στη περιοχή του Ταυγέτου.

Στον Πίνακα 2 παρουσιάζεται η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία (%) και ποσότητα της (t/ha) στο δασικό τάπητα σε οικοσύστημα υβριδογενούς ελάτης στη περιοχή του Ταυγέτου

Στον Πίνακα 3 παρουσιάζεται η συγκέντρωση του P (mg/g) και η ποσότητα του (Kg/ha) στο δασικό τάπητα σε οικοσύστημα υβριδογενούς ελάτης στη περιοχή του Ταυγέτου

Στον Πίνακα 4 παρουσιάζεται η συγκέντρωση του K (mg/g) και η ποσότητα του (Kg/ha) στο δασικό τάπητα σε οικοσύστημα υβριδογενούς ελάτης στη περιοχή του Ταυγέτου

Στον Πίνακα 5 παρουσιάζεται η συγκέντρωση του Ca (mg/g) και η ποσότητα του (Kg/ha) στο δασικό τάπητα σε οικοσύστημα υβριδογενούς ελάτης στη περιοχή του Ταυγέτου

Στον Πίνακα 6 παρουσιάζεται η συγκέντρωση του Mg (mg/g) και η ποσότητα του (Kg/ha) στο δασικό τάπητα σε οικοσύστημα υβριδογενούς ελάτης στη περιοχή του Ταυγέτου

Στον Πίνακα 7 παρουσιάζεται η συγκέντρωση του Na (mg/g) και η ποσότητα του (Kg/ha) στο δασικό τάπητα σε οικοσύστημα υβριδογενούς ελάτης στη περιοχή του Ταυγέτου

9.1.2. Συζήτηση

Από τα στοιχεία του Πίνακα 1 προκύπτει ότι η μεγαλύτερη ποσότητα φυτικού υλικού που συσσωρεύεται στο δασικό τάπητα στο Βόρειο Ταυγέτο είναι στη θέση BT3 λόγω καλύτερης ποιότητας τόπου. Στη περιοχή του νοτίου Ταυγέτου φαίνεται

ότι η θέση NT3 έχει το μεγαλύτερο βάρος του δασικού τάπητα συγκριτικά με τις θέσεις NT1 και NT 2.

Ανάλογα συμπεράσματα προκύπτουν και για τη ποσότητα της οργανικής ουσίας στο δασικό τάπητα (Πίνακας 2).

Πίνακας 9.1. Βάρος οργανικών οριζόντων, του δασικού τάπητα (Kgr/ha) σε οικοσύστημα υβριδογενούς ελάτης στη περιοχή του Ταυγέτου.

ΒΟΡΕΙΟΣ ΤΑΥΓΕΤΟΣ			ΝΟΤΙΟΣ ΤΑΥΓΕΤΟΣ		
ΘΕΣΗ	Οριζοντας	t/ha	ΘΕΣΗ	Οριζοντας	t/ha
BT 1	O1	33,184	NT 1	O1	-
	O2	-		O2	15,876
BT 2	O1	21,448	NT 2	O1	-
	O2	24,448		O2	52,100
BT 3	O1	41,367	NT 3	O1	36,024
	O2	77,611		O2	41,244

Πίνακας 9.2. Περιεκτικότητα σε οργανική ουσία (%) και ποσότητα της (t/ha) στο δασικό τάπητα σε οικοσύστημα υβριδογενούς ελάτης στη περιοχή του Ταυγέτου

ΒΟΡΕΙΟΣ ΤΑΥΓΕΤΟΣ				ΝΟΤΙΟΣ ΤΑΥΓΕΤΟΣ			
ΘΕΣΗ	Οριζοντας	L.O.I. %	t/ha	ΘΕΣΗ	Οριζοντας	L.O.I. %	t/ha
BT 1	O1	56,00	14,07	NT 1	O1	-	-
	O2				O2	26,47	4,28
BT 2	O1	54,80	11,75	NT 2	O1	-	-
	O2	39,52	9,53		O2	18,91	9,61
BT 3	O1	53,33	20,20	NT 3	O1	49,07	18,06
	O2	30,78	23,88		O2	31,47	13,08

Πίνακας 9.3. Συγκέντρωση του P (mg/g) και η ποσότητα του (Kg/ha) στο δασικό τάπητα σε οικοσύστημα υβριδογενούς ελάτης στη περιοχή του Ταυγέτου

ΒΟΡΕΙΟΣ ΤΑΥΓΕΤΟΣ				ΝΟΤΙΟΣ ΤΑΥΓΕΤΟΣ			
ΘΕΣΗ	Ορίζοντας	P (mg/g)	P (Kg/ha)	ΘΕΣΗ	Ορίζοντας	P (mg/g)	P (Kg/ha)
BT 1	O1	0,61	15,388	NT 1	O1	-	-
	O2	-	-		O2	0,59	9,024
BT 2	O1	0,68	14,553	NT 2	O1	-	-
	O2	0,66	15,427		O2	0,49	25,309
BT 3	O1	0,87	35,023	NT 3	O1	0,64	23,512
	O2	1,04	81,027		O2	0,49	21,363

Η συγκέντρωση του P στο δασικό τάπητα κυμάνθηκε μεταξύ 0,61-1,04 mg/g και 0,49-0,64 mg/g στο βόρειο και νότιο Ταυγέτο αντίστοιχα (Πίνακας 3). Η συγκέντρωση και ποσότητα του P που συσσωρεύεται στο δασικό τάπητα είναι εμφανώς μεγαλύτερη στη καλύτερη ποιότητα τόπου (BT3) συγκριτικά με τις θέσεις BT 1 και BT 2. Στη περιοχή του Νοτίου Ταυγέτου οι παραπάνω παράμετροι φαίνεται να παρουσιάζουν μικρότερες τιμές στη θέση NT1. Ο δασικός τάπητας στη περιοχή του βόρειου Ταυγέτου φαίνεται να είναι πλουσιότερος σε φωσφόρο σε σύγκριση με αυτόν στο νότιο Ταυγέτο.

Πίνακας 9.4. Συγκέντρωση του K (mg/g) και η ποσότητα του (Kg/ha) στο δασικό τάπητα σε οικοσύστημα υβριδογενούς ελάτης στη περιοχή του Ταυγέτου

ΒΟΡΕΙΟΣ ΤΑΥΓΕΤΟΣ				ΝΟΤΙΟΣ ΤΑΥΓΕΤΟΣ			
ΘΕΣΗ	Ορίζοντας	K (mg/g)	K (Kg/ha)	ΘΕΣΗ	Ορίζοντας	K (mg/g)	K (Kg/ha)
BT 1	O1	2,05	40,349	NT 1	O1	-	-
	O2	-	-		O2	1,71	26,798
BT 2	O1	1,91	32,140	NT 2	O1	-	-
	O2	0,97	23,031		O2	2,68	135,438
BT 3	O1	0,80	32,233	NT 3	O1	1,77	62,649
	O2	0,70	53,983		O2	2,19	89,295

Η συγκέντρωση του K στο δασικό τάπητα κυμάνθηκε μεταξύ 0,70-2,05 mg/g και 1,71-2,68 mg/g στο βόρειο και νότιο Ταυγέτο αντίστοιχα (Πίνακας 4). Επίσης η

συγκέντρωση και ποσότητα του K που συσσωρεύεται στο δασικό τάπητα είναι εμφανώς μεγαλύτερη στη καλύτερη ποιότητα τόπου (BT3) συγκριτικά με τις θέσεις BT 1 και BT 2. Στη περιοχή του Νοτίου Ταΰγету οι παραπάνω παράμετροι φαίνεται να παρουσιάζουν μικρότερες τιμές στη θέση NT1. Σε αντίθεση με το P, ο δασικός τάπητας στη περιοχή του βόρειου Ταΰγету φαίνεται να είναι φτωχότερος σε K σε σύγκριση με αυτόν στο νότιο Ταΰγету.

Η συγκέντρωση του Ca στο δασικό τάπητα κυμάνθηκε μεταξύ 2,94-92,25 mg/g και 1,71-2,68 mg/g στο βόρειο και νότιο Ταΰγету αντίστοιχα (Πίνακας 5). Η μεγάλη διακύμανση των τιμών της συγκέντρωσης Ca και κατά επέκταση και της ποσότητας του Ca στο δασικό τάπητα στη περιοχή του βόρειου Ταΰγету προκύπτει από τη πολύ υψηλή συγκέντρωση Ca στη θέση BT 2. Στη περιοχή του Νοτίου Ταΰγету οι παραπάνω παράμετροι φαίνεται να παρουσιάζουν μικρότερες τιμές στη θέση NT1.

Πίνακας 9.5. Συγκέντρωση του Ca (mg/g) και η ποσότητα του (Kg/ha) στο δασικό τάπητα σε οικοσύστημα υβριδογενούς ελάτης στη περιοχή του Ταΰγету

ΒΟΡΕΙΟΣ ΤΑΨΓΕΤΟΣ				ΝΟΤΙΟΣ ΤΑΨΓΕΤΟΣ			
ΘΕΣΗ	Ορίζοντας	Ca (mg/g)	Ca (Kg/ha)	ΘΕΣΗ	Ορίζοντας	Ca (mg/g)	Ca (Kg/ha)
BT 1	O1	9,42	236,65	NT 1	O1	-	-
					O2	5,42	92,38
BT 2	O1	41,13	886,51	NT 2	O1	-	-
	O2	92,25	2284,35		O2	9,33	424,34
BT 3	O1	7,58	234,78	NT 3	O1	18,00	647,93
	O2	2,94	228,25		O2	9,71	416,37

Πίνακας 9.6. Συγκέντρωση του Mg (mg/g) και η ποσότητα του (Kg/ha) στο δασικό τάπητα σε οικοσύστημα υβριδογενούς ελάτης στη περιοχή του Ταΰγету.

ΒΟΡΕΙΟΣ ΤΑΨΓΕΤΟΣ				ΝΟΤΙΟΣ ΤΑΨΓΕΤΟΣ			
ΘΕΣΗ	Ορίζοντας	Mg (mg/g)	Mg (Kg/ha)	ΘΕΣΗ	Ορίζοντας	Mg (mg/g)	Mg (Kg/ha)
BT 1	O1	4,42	110,99	NT 1	O1	-	-
	O2	-	-		O2	3,83	65,11
BT 2	O1	20,08	430,74	NT 2	O1	-	-
	O2	32,25	809,14		O2	3,88	199,57
BT 3	O1	3,75	136,91	NT 3	O1	5,46	196,38
	O2	4,58	355,78		O2	5,38	250,78

Η συγκέντρωση του Mg στο δασικό τάπητα κυμάνθηκε μεταξύ 3,75-32,25 mg/g και 3,83-5,46 mg/g στο βόρειο και νότιο Ταΰγετο αντίστοιχα (Πίνακας 6). Η μεγάλη διακύμανση των τιμών της συγκέντρωσης Mg και κατά επέκταση και της ποσότητας του Mg στο δασικό τάπητα στη περιοχή του βορείου Ταΰγέτου προκύπτει από τη πολύ υψηλή συγκέντρωση Mg στη θέση ΒΤ 2. Στη περιοχή του Νοτίου Ταΰγέτου οι παραπάνω παράμετροι φαίνεται να παρουσιάζουν μικρότερες τιμές στη θέση ΝΤ1.

Η συγκέντρωση του Na στο δασικό τάπητα κυμάνθηκε μεταξύ 0,39-0,65 mg/g και 0,56-0,98 mg/g στο βόρειο και νότιο Ταΰγετο αντίστοιχα (Πίνακας 7). Σε αντίθεση με το P, ο δασικός τάπητας στη περιοχή του βορείου Ταΰγέτου φαίνεται να είναι φτωχότερος σε Na σε σύγκριση με αυτόν στο νότιο Ταΰγετο.

Πίνακας 9.7. Συγκέντρωση του Na (ppm) και η ποσότητα του (Kg/ha) στο δασικό τάπητα σε οικοσύστημα υβριδογενούς ελάτης στη περιοχή του Ταΰγέτου.

ΒΟΡΕΙΟΣ ΤΑΪΓΕΤΟΣ				ΝΟΤΙΟΣ ΤΑΪΓΕΤΟΣ			
ΘΕΣΗ	Ορίζοντας	Na (mg/g)	Na (Kg/ha)	ΘΕΣΗ	Ορίζοντας	Na (mg/g)	Na (Kg/ha)
ΒΤ 1	Ο1	0,65	16,36	ΝΤ 1	Ο1	-	-
	Ο2	-	-		Ο2	0,78	0,15
ΒΤ 2	Ο1	0,78	16,76	ΝΤ 2	Ο1	-	-
	Ο2	0,72	17,98		Ο2	0,98	0,59
ΒΤ 3	Ο1	0,39	16,16	ΝΤ 3	Ο1	0,56	20,71
	Ο2	0,52	40,42		Ο2	0,85	33,44

Τα επίπεδα των συγκεντρώσεων των μακροθρεπτικών στο δασικό τάπητα σε οικοσύστημα υβριδογενούς ελάτης στη περιοχή του Ταΰγέτου κυμαίνονται στα ίδια περίπου επίπεδα με αυτά που έχουν αναφερθεί από τον Τάντο (1997) σε αντίστοιχη μελέτη στη περιοχή Περτουλίου, Θεσσαλία εκτός από τις συγκεντρώσεις του Ca και Mg στη θέση ΒΤ3. Η μέση χημική σύσταση του δασικού τάπητα ήταν : 0,87-1,04 % N, 0,76-0,81 mg/g P, 1,40-2,37 mg/g K, 3,96-11,01 mg/g Ca, 2,46-4,20 mg/g Mg και 0,17-0,31 mg/g Na. Να σημειωθεί ότι οι υψηλότερες συγκεντρώσεις Na στη μελέτη μας μπορεί να είναι το αποτέλεσμα της μικρότερης απόστασης από τη θάλασσα.

9.2.2. Σοζήτηση

Πίνακας 9.8. Μηχανική σύσταση του εδάφους σε επιλεγμένες θέσεις του Νοτίου και Βορείου Ταΰγέτου

						ΝΟΤΙΟΣ ΤΑΪΓΕΤΟΣ					
ΘΕΣΗ	ΒΑΘΟΣ (cm)	ΑΡΓΙΛΙΟΣ %	ΥΛΙΣ %	ΑΜΜΟΣ %		ΘΕΣΗ	ΒΑΘΟΣ (cm)	ΑΡΓΙΛΙΟΣ %	ΥΛΙΣ %	ΑΜΜΟΣ %	
BT 1	0-5	10	38	52	SL	NT 1	0-5	37	24	39	CL
	5-10	8	38	54	SL		5-10	43	26	31	C
	10-20	-	-	-			10-20	51	22	27	C
	20-30	-	-	-			20-30	47	23	30	C
BT 2	0-5	61	9	30	C	NT 2	0-5	43	26	31	C
	5-10	57	2	41	C		5-10	48	33	19	C
	10-C	56	3	41	C		10-C	51	22	28	C
BT 3	0-5	29	22	49	CL	NT 3	0-5	47	22	31	C
	5-10	24	11	65	SCL		5-10	37	24	39	CL
	10-20	59	3	38	C		10-C	43	26	31	C
	20-30	25	20	55	SCL						
	30-C	26	20	54	SCL						

Από τα στοιχεία του πίνακα 8 προκύπτουν σημαντικές διαφορές ως προς τη μηχανική σύσταση μεταξύ των διαφόρων θέσεων και περιοχών δειγματοληψίας του εδάφους. Το έδαφος στη θέση BT 3 και στη περιοχή του νοτίου Ταΰγέτου έχει πολύ βαριά μηχανική σύσταση. Στη θέση BT 3 έχει βαριά μηχανική σύσταση και μέτρια στη θέση BT 1

Από τα στοιχεία του πίνακα 9 προκύπτει ότι όξινα εδάφη υπάρχουν μόνο στη περιοχή BT 3 και αυτό δικαιολογείται από το γεγονός ότι το μητρικό υλικό είναι φλύσσης . Στις θέσεις BT1 και BT2 καθώς και στη περιοχή του νοτίου Ταΰγέτου στη θέση NT3 τα εδάφη χαρακτηρίζονται ελαφρά αλκαλικά ως μέτρια αλκαλικά για το λόγω κυρίως ότι το μητρικό τους υλικό είναι ασβεστόλιθος. Στις υπόλοιπες δυο θέσεις τα εδάφη παρουσιάζουν σχεδόν ουδέτερη συμπεριφορά.

Πίνακας 9.9. pH εδάφους σε επιλεγμένες θέσεις του Νοτίου και Βορείου Ταύγετου.

ΒΟΡΕΙΟΣ ΤΑΥΓΕΤΟΣ			ΝΟΤΙΟΣ ΤΑΥΓΕΤΟΣ		
ΘΕΣΗ	ΒΑΘΟΣ (cm)	pH	ΘΕΣΗ	ΒΑΘΟΣ (cm)	pH
BT 1	0-5	7,73	NT 1	0-5	7,39
	5-10	7,93		5-10	6,73
	10-20	7,81		10-20	7,13
	20-30	7,65		20-30	7,23
BT 2	0-5	8,19	NT 2	0-5	7,58
	5-10	7,78		5-10	7,09
	10-C	7,35		10-C	7,23
BT 3	0-5	6,51	NT 3	0-5	7,74
	5-10	6,55		5-10	7,77
	10-20	6,14		10-C	7,67
	20-30	6,16			
	30-C	6,03			

Πίνακας 9.10. Ηλεκτρική αγωγιμότητα ($\mu\text{S/cm}$) του εδάφους σε επιλεγμένες θέσεις του Νοτίου και Βορείου Ταύγετου

ΒΟΡΕΙΟΣ ΤΑΥΓΕΤΟΣ			ΝΟΤΙΟΣ ΤΑΥΓΕΤΟΣ		
ΘΕΣΗ	ΒΑΘΟΣ (cm)	E.C. ($\mu\text{S/cm}$)	ΘΕΣΗ	ΒΑΘΟΣ (cm)	
BT 1	0-5	491	NT 1	0-5	183
	5-10	418		5-10	435
	10-20	410		10-20	156
	20-30	413		20-30	142
BT 2	0-5	699	NT 2	0-5	168
	5-10	584		5-10	112
	10-C	609		10-C	174
BT 3	0-5	217	NT 3	0-5	232
	5-10	287		5-10	133
	10-20	156		10-C	223
	20-30	169			
	30-C	158			

Με βάση την ηλεκτρική αγωγιμότητα τα εδάφη αξιολογούνται ως μη αλατούχα (Πίνακας 10).

Πίνακας 9.11. Περιεκτικότητα σε οργανική ουσία (%) του εδάφους σε επιλεγμένες θέσεις του Νοτίου και Βόρειου Ταΰγκετου.

ΒΟΡΕΙΟΣ ΤΑΪΓΕΤΟΣ			ΝΟΤΙΟΣ ΤΑΪΓΕΤΟΣ		
ΘΕΣΗ	ΒΑΘΟΣ (cm)	Οργ. ουσ. (%)	ΘΕΣΗ	ΒΑΘΟΣ (cm)	Οργ. ουσ. (%)
BT 1	0-5	11,01	NT 1	0-5	6,72
	5-10	6,66		5-10	4,39
	10-20	6,20		10-20	4,84
	20-30	2,45		20-30	1,61
BT 2	0-5	16,55	NT 2	0-5	4,39
	5-10	13,74		5-10	5,83
	10-C	12,80		10-C	5,38
BT 3	0-5	10,92	NT 3	0-5	10,31
	5-10	8,70		5-10	6,81
	10-20	6,83		10-C	8,07
	20-30	5,63			
	30-C	3,92			

Η μεγαλύτερη συγκέντρωση της οργανικής ουσίας βρίσκεται στα πρώτα 0-10 cm (πίνακας 11).

Πίνακας 9.12. Συγκεντρώσεις του διαθεσίμου P-Olsen (ppm), και των ανταλλάξιμων K, Ca, Mg, και Na (meq/100g) στο έδαφος στη περιοχή του Βόρειου Ταΰγκετου.

ΒΟΡΕΙΟΣ ΤΑΪΓΕΤΟΣ						
ΘΕΣΗ	ΒΑΘΟΣ (cm)	P (ppm)	K (meq/100g)	Ca (meq/100g)	Mg (meq/100g)	Na (meq/100g)
BT 1	0-5	39,3	0,63	32,4	1,09	1,77
	5-10	23,0	0,65	24,5	1,75	5,88
	10-20					
	20-30					
BT 2	0-5	31,1	0,63	33,0	2,33	3,23
	5-10	62,7	0,23	22,9	8,06	5,84
	10-C	97,9	0,90	43,5	1,13	5,78
BT 3	0-5	35,2	0,31	12,2	1,31	5,74
	5-10	22,7	0,38	13,2	1,46	5,82
	10-20	16,4	0,36	8,5	1,04	5,74
	20-30	21,6	0,42	9,9	1,71	5,11
	30-C	22,5	0,32	10,8	1,08	0,51

Πίνακας 9.13. Συγκεντρώσεις του διαθεσίμου P-Olsen (ppm), και των ανταλλάξιμων K, Ca, Mg, και Na (mg/g) στο έδαφος στο Νότιο Ταΰγετο.

ΝΟΤΙΟΣ ΤΑΪΓΕΤΟΣ						
ΘΕΣΗ	ΒΑΘΟΣ (cm)	P (ppm)	K (meq/100g)	Ca (meq/100g)	Mg (meq/100g)	Na (meq/100g)
NT 1	0-5	23,2	0,61	22,00	1,17	0,42
	5-10	21,8	0,52	28,25	1,06	0,29
	10-20	19,8	0,50	24,58	1,15	0,72
	20-30	37,6	0,41	22,50	0,73	0,27
NT 2	0-5	14,6	0,57	27,61	1,02	0,38
	5-10	39,4	0,57	33,13	1,17	0,75
	10-μητρ.	21,2	0,53	39,25	0,69	0,37
NT 3	0-5	48,2	0,84	55,00	2,69	0,59
	5-10	33,0	0,57	41,25	1,96	0,46
	10-μητρ.	25,4	0,57	44,88	1,21	0,53

Από τους πίνακες 13 και 14 φαίνεται ότι το έδαφος είναι γενικά επαρκώς εφοδιασμένο με P, K, Ca, Mg. Όμως στα εδάφη στη περιοχή του Βορείου Ταΰγετου υπάρχει κίνδυνος νατρίωσης τους λόγω της πολύ υψηλής συγκέντρωσης τους σε ανταλλάξιμο Na.

Πίνακας 9.14. Εύρος συγκεντρώσεων των εκχυλίσιμων με DTPA ιχνοστοιχείων Mn, Cu, Zn και Fe (ppm) στο έδαφος στο Βόρειο Ταΰγετο.

ΒΟΡΕΙΟΣ ΤΑΪΓΕΤΟΣ				
ΘΕΣΗ	Mn (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Fe (ppm)
BT 1	26,00 - 59,00	0,52 - 0,75	0,88 - 1,66	12,30 - 22,00
BT 2	10,50 - 11,80	0,28 - 0,44	1,00 - 2,48	18,00 - 48,00
BT 3	19,60 - 45,00	0,70 - 1,10	0,36 - 0,95	38,00 - 78,00

Πίνακας 9.15. Εύρος συγκεντρώσεων των εκχυλίσιμων με DTPA ιχνοστοιχείων Mn, Cu, Zn και Fe (ppm) στο έδαφος στο Νότιο Ταΰγετο.

	ΝΟΤΙΟΣ ΤΑΪΓΕΤΟΣ			
ΘΕΣΗ	Mn (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Fe (ppm)
NT 1	11,60 - 13,7	0,26 - 0,37	0,68 - 0,84	11,60 - 15,80
NT 2	11,00 - 23,00	0,39 - 0,83	1,06 - 1,17	9,20 - 16,90
NT 3	11,60 - 80,00	0,30 - 0,51	0,70 - 2,45	8,90 - 25,00

Η συγκέντρωση του διαθέσιμου Mn στο έδαφος ήταν επαρκής έως υπερεπαρκής. Ο εκχυλίσιμος Cu βρέθηκε σε χαμηλή συγκέντρωση στο σύνολο σχεδόν των δειγματοληπτικών επιφανειών. Το ίδιο ισχύει για τον Zn στη περιοχή του νοτίου Ταΰγету ενώ στο βόριο Ταΰγετο ο Zn κυμάνθηκε σε χαμηλά ως μέτρια επίπεδα. Τέλος τα εδάφη των πειραματικών επιφανειών ήταν μέτρια έως επαρκώς εφοδιασμένα σε Fe εκτός από τη θέση BT 3 όπου οι συγκεντρώσεις του στοιχείου αυτού κυμανθήκαν σε πολύ υψηλά επίπεδα.

9.3. Χημική σύσταση βελόνων

9.3.1. Αποτελέσματα

Στον Πίνακα 16 παρουσιάζεται η συγκέντρωση των N, P, K, Ca, Mg και Na (%) στις βελόνες ελάτης στη περιοχή του Βόρειου Ταΰγκετου

Στον Πίνακα 17 παρουσιάζεται η συγκέντρωση των N, P, K, Ca, Mg και Na (%) στις βελόνες ελάτης στη περιοχή του Νοτίου Ταΰγκετου

Στον Πίνακα 18 παρουσιάζεται η συγκέντρωση των Mn, Cu, Zn και Fe (ppm) στις βελόνες ελάτης στη περιοχή του Βόρειου Ταΰγκετου

Στον Πίνακα 19 παρουσιάζεται η συγκέντρωση των Mn, Cu, Zn και Fe (ppm) στις βελόνες ελάτης στη περιοχή του Νότιου Ταΰγκετου

9.3.2. Συζήτηση

Από τα στοιχεία του πίνακα 17 προκύπτει ότι οι βελόνες των δένδρων στη θέση BT2 είναι φτωχότερες σε θρεπτικά στοιχεία σε σχέση με τις άλλες δυο θέσεις. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται και από την κακή κατάσταση των δένδρων όπου τα περισσότερα από αυτά παρουσίαζαν μικρή ανάπτυξη και ήταν γενικά καχεκτικά. Η θέση αυτή χαρακτηρίζεται από μικρό βάθος εδάφους. Όμως παρά τη κακή ποιότητα τόπου της

Πίνακας 9.16. Συγκέντρωση των N, P, K, Ca, Mg και Na (%) στις βελόνες ελάτης στη περιοχή του Βόρειου Ταΰγκετου

ΒΟΡΕΙΟΣ ΤΑΪΓΕΤΟΣ						
ΘΕΣΗ	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Na (%)
BT 1	1,50	0,24	0,99	2,41	0,16	0,15
BT 2	1,39	0,10	0,56	2,35	0,50	0,08
BT 3	1,74	0,31	1,03	1,60	0,19	0,12

Πίνακας 9.17. Συγκέντρωση των N, P, K, Ca, Mg και Na (%) στις βελόνες ελάτης στη περιοχή του Νοτίου Ταΰγκετου

ΝΟΤΙΟΣ ΤΑΪΓΕΤΟΣ						
ΘΕΣΗ	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Na (%)
NT 1	2,00	0,33	1,11	2,18	0,19	0,17
NT 2	1,79	0,32	0,95	1,75	0,23	0,13
NT 3	1,72	0,19	0,96	2,19	0,18	0,15

Στη θέση BT2 οι συγκεντρώσεις των N, P, K περιλαμβάνονται μεταξύ των άριστων τιμών συγκέντρωσης μακροθρεπτικών για τα κωνοφόρα σύμφωνα με τον Ingestad, (1959) ενώ οι συγκεντρώσεις του Mg και ιδιαίτερα του Ca υπερέχουν κατά πολύ των άριστων επιπέδων συγκέντρωσης. Το γεγονός αυτό αποδίδεται στο ότι το έδαφος της θέσης αυτής ήταν πλούσια εφοδιασμένο σε ανταλλάξιμο Mg και Ca (Πίνακας 13). Οι άριστες τιμές συγκέντρωσης είναι. 1,5-2,3% για το N, 0,11-0,30 % για το P, 0,5-1,3 % για το K, 0,03-0,55 % για το Ca, και 0,09-0,17 % για το Mg. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η ανθεκτικότητα της ελάτης σε μεγάλο εύρος διαθεσίμου Ca για την ανάπτυξη της θεωρείται ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά του δασικού αυτού είδους. Ο Ingestad (1959) αναφέρει ότι σύμφωνα με τον Tampp 1953 ο λόγος K/Ca αποτελεί δείκτη τοξικότητας η τροφωπενίας του ενός η του άλλου στοιχείου θεωρώντας την άριστη σχέση K/Ca=0,5. Έτσι είναι πολύ πιθανό η τοξικότητα του Ca στη θέση BT2.

Οι Βελόνες των δένδρων στη θέση BT 3 είναι πλουσιότερες σε N και P αλλά φτωχότερες σε Ca σε σύγκριση με τη θέση BT 1 ενώ δεν παρατηρούνται μεγάλες διαφορές μεταξύ των άλλων στοιχείων. Οι διαφορές στη συγκέντρωση σε Ca οφείλονται στη φύση του μητρικού υλικού (φλύσχης και ασβεστόλιθος για τις θέσεις BT3 και BT1 αντίστοιχα)

Η συγκέντρωση των θρεπτικών στοιχείων ακολουθεί τη σειρά Ca>N>K>P>Mg>Na

Δεν παρατηρούνται συστηματικές διαφορές στη συγκέντρωση των μακροθρεπτικών των βελονών μεταξύ των θέσεων στη περιοχή του Νοτίου Ταΰγκετου (Πίνακας 18). Οι συγκεντρώσεις των μακροθρεπτικών N, P, K περιλαμβάνονται στα άριστα επίπεδα συγκέντρωσης σύμφωνα τον Ingestad (1959). Οι συγκεντρώσεις των Ca και Mg είναι κατά πολύ υψηλότερες των άριστων τιμών κυρίως λόγω της φύσης

του μητρικού υλικού. Η συγκέντρωση των θρεπτικών στοιχείων ακολουθεί τη ίδια σειρά Ca>N>K>P>Mg>Na με αυτή στο Βόρειο Ταΰγετο.

Πίνακας 9.18. Συγκέντρωση των Mn, Cu, Zn και Fe (ppm) στις βελόνες ελάτης στη περιοχή του Βόρειου Ταΰγετου

ΒΟΡΕΙΟΣ ΤΑΨΓΕΤΟΣ				
ΘΕΣΗ	Mn (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Fe (ppm)
BT 1	172,50	46,17	37,06	569,72
BT 2	20,55	22,76	44,60	235,48
BT 3	376,67	31,03	37,07	132,00

Πίνακας 9.19. Συγκέντρωση των Mn, Cu, Zn και Fe (ppm) στις βελόνες ελάτης στη περιοχή του Νότιου Ταΰγετου

ΝΟΤΙΟΣ ΤΑΨΓΕΤΟΣ				
ΘΕΣΗ	Mn (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Fe (ppm)
NT 1	108,67	24,02	36,32	220,33
NT 2	306,21	38,08	46,39	134,09
NT 3	469,44	26,23	34,13	231,81

Οι συγκεντρώσεις των μικροθρεπτικών στις βελόνες της ελάτης κυμάνθηκαν σε φυσιολογικά επίπεδα σύμφωνα με τον Stone 1968 με εξαίρεση τη συγκέντρωση του Mn στη θέση BT2 όπου η μέση συγκέντρωση των 20,55 ppm Mn αντιστοιχεί στο όριο έντονης τροφопενίας Mn στα κωνοφόρα (<20 ppm) ενώ τιμές συγκέντρωσης <40 ppm χαρακτηρίζονται ως έλλειψη Mn στο δένδρο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

10.1. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Η μεγαλύτερη ποσότητα φυτικού υλικού και οργανικής ουσίας που συσσωρεύεται στο δασικό τάπητα στο Βόρειο Ταϋγέτο είναι στη θέση ΒΤ3 λόγω καλύτερης ποιότητας τόπου. Στη περιοχή του νοτίου Ταϋγέτου φαίνεται ότι η θέση ΝΤ3 έχει το μεγαλύτερο βάρος του δασικού τάπητα και τη μεγαλύτερη ποσότητα οργανικής ουσίας συγκριτικά με τις θέσεις ΝΤ1 και ΝΤ 2.
2. Η συγκέντρωση των μακροθρεπτικών στο δασικό τάπητα στο βόρειο και νότιο Ταϋγέτο κυμάνθηκαν μεταξύ 0,61-1,04 mg/g και 0,49-0,64 mg/g για το P, 0,70-2,05 mg/g και 1,71-2,68 mg/g για το K, 2,94-92,25 mg/g και 1,71-2,68 mg/g για το Ca, 3,75-32,25 mg/g και 3,83-5,46 mg/g για το Mg και 0,39-0,65 mg/g και 0,56-0,98 mg/g για το Na αντίστοιχα
3. Στη περιοχή του βορείου Ταϋγέτου, η συγκέντρωση και ποσότητα του P και K που συσσωρεύεται στο δασικό τάπητα είναι εμφανώς μεγαλύτερη στη καλύτερη ποιότητα τόπου (ΒΤ3) συγκριτικά με τις θέσεις ΒΤ 1 και ΒΤ 2.
4. Η μεγάλη διακύμανση των τιμών της συγκέντρωσης του Ca και Mg και κατά επέκταση και της ποσότητας των στοιχείων αυτών στο δασικό τάπητα στη περιοχή του βορείου Ταϋγέτου προκύπτει από τη πολύ υψηλή συγκέντρωση του Ca και Mg στη θέση ΒΤ 2.
5. Στη περιοχή του Νοτίου Ταϋγέτου, η συγκέντρωση και ποσότητα των P,K,Ca και Mg στο δασικό τάπητα φαίνεται να παρουσιάζει μικρότερες τιμές στη θέση ΝΤ1
6. Το έδαφος στη θέση ΒΤ 3 και στη περιοχή του νοτίου Ταϋγέτου έχει πολύ βαριά μηχανική σύσταση. Στη θέση ΒΤ 3 το έδαφος έχει βαριά μηχανική σύσταση και μέτρια στη θέση ΒΤ 1
7. Όξινα εδάφη υπάρχουν μόνο στη περιοχή ΒΤ 3 ενώ στις θέσεις ΒΤ1 και ΒΤ2 καθώς και στη περιοχή του νοτίου Ταϋγέτου στη θέση ΝΤ3 τα εδάφη χαρακτηρίζονται ελαφρά αλκαλικά ως μέτρια αλκαλικά Στις υπόλοιπες δυο θέσεις του νοτίου Ταϋγέτου τα εδάφη παρουσιάζουν σχεδόν ουδέτερη συμπεριφορά.

8. Τα μελετώμενα εδάφη ήταν γενικά επαρκώς εφοδιασμένα με P, K, Ca, Mg. Όμως στα εδάφη στη περιοχή του Βορείου Ταΰγέτου υπάρχει κίνδυνος νατρίωσης τους λόγω της πολύ υψηλής συγκέντρωσης τους σε ανταλλάξιμο Na.
9. Η συγκέντρωση του διαθέσιμου Mn στο έδαφος ήταν επαρκής έως υπερεπαρκής. Ο εκχυλισμός Cu βρέθηκε σε χαμηλή συγκέντρωση στο σύνολο σχεδόν των δειγματοληπτικών επιφανειών. Το ίδιο ισχύει για τον Zn στη περιοχή του νοτίου Ταΰγέτου ενώ στο βόριο Ταΰγετο ο Zn κυμάνθηκε σε χαμηλά ως μέτρια επίπεδα. Τέλος τα εδάφη των πειραματικών επιφανειών ήταν μέτρια έως επαρκώς εφοδιασμένα σε Fe εκτός από τη θέση BT 3 όπου οι συγκεντρώσεις του στοιχείου αυτού κυμανθήκαν σε πολύ υψηλά επίπεδα.
10. Οι συγκεντρώσεις των μακροθρεπτικών στις βελόνες κυμάνθηκαν πολύ κοντά στα άριστα επίπεδα εκτός από τις συγκέντρωση του Ca. Το N βρέθηκε 1,39-2,00 %, ο P 0,10-0,33 %, το K 0,56-1,03 %, το Ca 1,60-2,41 %, το Mg 0,16-0,50 %, και το Na 0,08-0,15 %.
11. Οι συγκεντρώσεις των μικροθρεπτικών στις βελόνες της ελάτης κυμάνθηκαν σε φυσιολογικά επίπεδα με εξαίρεση τη συγκέντρωση του Mn στη θέση BT2 όπου η μέση συγκέντρωση των 20,55 ppm Mn αντιστοιχεί στο όριο έντονης τροφοπενίας Mn στα κωνοφόρα (<20 ppm) Το Mn βρέθηκε 20,55-469,44 ppm, το Cu 22,76-38,08 ppm, ο Zn 34,13-46,39 ppm και ο Fe 132,09-569,72 ppm

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Aber, J.D., D.B. Botkin, and J.M. Melillo. 1978. Predicting the effects of different harvesting regimes on forest floor dynamics in northern Hardwoods. *Can. J. For.*
- Alcock, M.R., and A.J. Morton. 1985. nutrient content of throughfall and stemflow in woodland recently established on heathland. *J. of Ecology*.
- Αλιφραγκής, Δ.Α. 1983. Δυναμική των θρεπτικών στοιχείων και παραγωγή οργανικής ουσίας σε οικοσυστήματα δρυός (*Q. conferta* Kit.). Διδακτορική Διατριβή, Επιστ. Επετηρίδα Τμήματος Δασολογίας και Φυσιικού Περιβάλλοντος Τόμος ΣΤ' Παράρτημα 2.
- Αλιφραγκής, Δ.Α. 1984. Δυναμική των θρεπτικών στοιχείων και παραγωγή οργανικής ουσίας σε οικοσύστημα δρυός (*Q. Conferta* Kit). Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Θεσσαλονίκη σελ. 162.
- Αλιφραγκής Δ.Α., Δ.Γ. Σεϊλόπουλος και Παπαμίχος, Ν.Θ. 1986. Διερεύνηση της θρέψης κλώνων μαύρης πεύκης με τη μέθοδο της φυλλοδιογνωστικής. Επιστημονική Επετηρίδα του Τμήματος Δασ. και Φυσ. Περ. Αλιφραγκή και συν. Για την περιεκτικότητα στη *P. nigra* σε *P.* σελ. 81.
- Αλιφραγκής, Δ.Α. 1990: Έκπλυση θρεπτικών στοιχείων από το δασικό τάπητα δύο φυσικών οικοσυστημάτων σε συνάρτηση με την οξύτητα, την ποσότητα και τη διάρκεια διαβροχής του. Πρακτικά 3^{ου} Πανελληνίου Εδαφολογικού Συνεδρίου, σελ. 115-123.
- Αλιφραγκής, Δ.Α. και Α.Ι. Τσιόντσης 1995. Αποτελεσματική χρήση των θρεπτικών στοιχείων από τα δασικά οικοσυστήματα. Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα. Τόμος 6, τεύχος 3: 21-26.
- Αλιφραγκής, Δ.Α. και Δ.Γ. Σεϊλόπουλος 1995. Χημική σύσταση της διαπερώσας βροχής σε ορισμένα δασικά οικοσυστήματα ης χώρας μας. Επιστ. Επετηρίδα του Τμήματος Δασ. και Φυσ. Περ. του Α.Π.Θ.
- Απατσιδής, Λ. 1987. Η επίδραση της βοσκής στα ελατοδάση μας και στη διάβρωση του εδάφους τους. δασική έρευνα, τόμος 8/1: 39-48.

- Armson, K.A. 1977. *Forest soils: Properties and Processes*. University of Toronto Press. Toronto and Buffalo
- Arthur, M.A., and T.J. Fahey. 1993. Throughfall chemistry in an Engelmann spruce-subalpine fir forest in north Central Colorado: *Can. J. For.*
- Attiwill, P.M and G.W. Leeper. 1987. Cycles of nutrients in forests. In <<Forest soils and nutrient cycles>>.
- Baker, T.G., and P.M. Attiwill. 1985. Above-ground nutrient distribution and cycling in *Pinus radiata* D.Don. and *Eucalyptus oblique* L'Herit. Forests in southeastern Australia. *Forest Ecology and Management*.
- Baker, T.G., P.D. Hodgkiss and G.R. Oliver. 1985. Accesion and cycling of elements in a coastal stand of *Pinus radiata* D.Don in New Zealand. *Plant Soil*.
- Baule and Fricker, C 1970. *The Fertilizer Treatment of Forest Trees*, BLV Munich
- Bennett, J.H. and A.C. Hill 1975. Interaction of Air Pollutants with Canopies of Vegetation. In J.B. Mudd, and T.T. Kozlowski (eds) "Physiological Ecology: A Series of Monographs, Texts, and Treatises". Academic Press N.Y. San Francisco London. pp. 273-306.
- Berg, B. 1986. The influence of experimental acidification of nutrient release and decomposition rates of needles and root litter in the forest floor. *For. Ecol. Manag.* 15:195-213.
- Bockein, J.G., S.W. Lee and J.E. Leide. 1983. Distribution and cycling of elements in a *Pinus resinosa* plantation ecosystem Wisconsin. *Can. J. of For. Res.* 13:4, 609-619.
- Bockeim, J.G. and J.E. Leide. 1986. Litter and forest-floor dynamics in a *Pinus resinosa* plantation in Wisconsin. *Plant and Soil*
- Borgetti M., Giannini R., Manolacu M. and G. G. Verdramin. 1988. Distribuzione della biomaza produzione de lettiera e contenuto di elementi minerali in una piantagione di douglasia. *Annali Academia Italiana di Scienze Forestali.* 37: 473-494.
- Bray J.R. and E. Gorham. 1964. Litter production in forests of the world.
- Chapman, H. D. 1966. *Diagnostic Criteria for Plants and Soils* pp. 487-99. University of California, Riverside, USA.

- Cole, D.W., J. Turner, and C. Bledsoe. 1977. Requirement and Uptake of Mineral Nutrients in Coniferous Ecosystems. In J.K. Marshall, (ed). "The belowground ecosystem: a synthesis of plant associated processes". Science Series 26, Range Science Department, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, USA. PP. 171-183.
- Coppenet M., and C. Juste. 1982. Trace elements effects to the growth of plants and toxicity phenomena. In "Constituents and Properties of Soils" p.458-465. M. Bonneau, and B. Souchier (eds). Academic Press. London
- Delwiche, C.C. 1970. The nitrogen cycle. Sci. Am. 223(3) : 136-146.
- Duchaufour, Ph., and Bonneau, M. 1960. Note sur la physiologie de la nutrition des resineux. Revue Forestiere Frans. 12:250-256
- Duchaufour, P. 1982. The dynamics of organic matter. Pedology
- Duvigneaud, P., and Denayer – De Smet. 1973. Biological cycling of minerals in temperate deciduous forest. Pp 199-225. In "Analysis of Temperate Forest Ecosystems". D. E., Reichle (ed). Springer Verlag. Berlin.
- Edmonds, R.L., 1991. Organic matter decomposition in Western United States Forests. In "Proceedings – management and productivity of Western – Montane forest soils" pp 118-128 USDA. Forest Serv. Intermountain Res Stn.
- Edwards, C.A., D.E. Reichle and D.A. Crossley. 1973. The role of soil invertebrates in turnover of organic matter and nutrients. In "Analysis of temperate forest ecosystems". D.E. Reichle ed Springer – Verlag, Berlin – Heidelberg – New York.
- Edwards, P.J. 1982. Studies of mineral cycling in a montane rain forest in New Guinea V. Rates of cycling in throughfall and litter fall. Journal of Ecology. 70:3, 807-827.
- Fogel R. and K. Cromack 1977. Effect of habitat and substrate quality on Douglas fir litter decomposition in western Oregon. Can. J. Bot. 55, 1632-1640.
- Foster, N.W. 1974. Annual macro-element transfer from *Pinus banksiana* Lam. Forest to soil. Can. J. of For. Res. 4:4, 470-476.
- Foster, N. W., and I. K. Morison 1976. Distribution and cycling of nutrients in a natural *Pinus banksiana* ecosystem. Ecology 57:1100-120.

- Frederick, D.J., H.A.I. Madgwick, M.F. Jurgensen and G.R. Oliver. 1985. Dry matter content and nutrient distribution in an age series of *Eucalyptus regnans* plantations in New Zealand Journal of Forestry Science. 15(2):158-179.
- Freedman, B. and U. Prager 1986. Ambient bulk deposition, through fall, and stem flow in a variety of forest stands in Nova Scotia. Can. J. For. Res. 16:854-860.
- George M. and G. Varghese 1990. Nutrient cycling in *Eucalyptus globules* plantation. I. Organic matter production in standing crop and nutrients removal through harvest. Indian Forester. 116:1, 42-48.
- Goaster, S., E. Dambrine, and J. Ranger. 1991. Croissance et nutrition minérale d'un peuplement d'épicéa sur sol pauvre. Evolution de la biomasse et dynamique d'incorporation d'éléments minéraux. Acta Oecologica. 12 :6, 771-789.
- Goodman B.A., and D.J. Linehan 1979. An electron paramagnetic resonance study of the uptake of Mn (II) and Cu (II) by wheat roots. P.67-82. In "The Soil – Root Interface". J.L. Harley and R. Scott Russel (eds). Academic Press.London.
- Grass, A., J. Mackenzie, B. D. Meek and W. F. Spenser. 1973. Manganese and iron solubility changes as a factor in tile drain clogging: II Observation during the growth of cotton. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 37:14-21.
- Gresham.C.A. 1982. Litter fall patterns in mature loblolly and longleaf pine stands in coastal South Carolina. For. Sci. 28(2):223-231.
- Grier, C.C., K.A. Vogt, M.R. Keyes and R.L. Edmonds 1980. Biomass distribution and above – and below – ground production in young and mature *Abies amabilis* zone ecosystems of the Washington Cascades. Can. J. For. Res. 11:155-167.
- Hewitt, E. J. 1983. Essential and functional metals in plants. In "Metals and Micronutrients. Uptake and Utilization by Plants." D.A. Robb and W.S. Pierpoint (eds). Academic Press N.Y. pp 277-323.
- Huber, A., J.E. Schlatter and C. Oyatzun 1986. Input of nutrient elements by the litter in a mature *Pinus radiata* stand. Bosque. 7:2, 59-64.

- Ingestand T., 1959. Studies on the nutrition of forest tree seedlings. I Mineral nutrition of Spruce. *Physiologia Plantarum*, vol 12, 568 – 593.
- Inogawa, G. 1972. Decomposition of leaf litter under closed forest condition in relation to altitude. An experiment on the southern slope of Mt Fuji. *Bulletin of the Faculty of Agriculture, Shizuoka University*. No 22, 25-32.
- Jensen, V. 1974. Decomposition of angiosperm tree leaf litter. In “Biology of plant litter decomposition”. Dickinson, C.H., and J.F.Pugh, eds. pp. 69-104. Academic Press, London and New York.
- Καϊλίδης, Δ.Σ. 1985. Ρύπανση του φυσικού περιβάλλοντος. Θεσσαλονίκη.
- Katagiri, S., N. Miyake, and H. Sakagoshi. 1986. Studies on mineral cycling in a deciduous broad-leaved forest at Sandle Forest of Shimane University (XII). The concentration and amount of nutrient elements in dominant trees. *Bulletin of the Faculty of Agriculture Shimane University*. 20, 67-74.
- Kilmer, V.J. 1979. Minerals and Agriculture. In P.A. Trudinger, D.J. Swaine, (eds) “Biogeochemical Cycling of Mineral – Forming Elements”. Elsevier, Scientific Publishing Company Amsterdam Oxford – New York, pp.515-558.
- Knighton, M.D. 1982. Sulphur content of upland and wetland vegetation in north central Minnesota. U.S.D.A. Forest Service. Research Note N.C. 277.
- Kubin, E. 1977. The effect of clear cutting upon the nutrient status of a spruce forest in northern Finland (64 deg 28' N). *Acta Forestalia Fennica*. 155:40 pp.
- Landon, J. R. 1984. Tropical Soil Manual. Booker Agriculture International Limited. p.450.
- Larcher, W. 1980. *Physiological plant Ecology*. 2nd edition. Springer – Varlog. Heidelberg N Y.
- Laudelout, H. and Meyer. 1955. Les cycles d' elements mineraux et de matiere organique en foret equatoriale congolaise. *Trans 5 th int Congr. Soil. Sci. Leopoldville*. Vol. 2, 267-272.
- Leaf A.L. 1968. K, Mg and S deficiencies in forest trees. In “Forest Fertilizations, Theory and Practice”. p.88-122. Tennessee Valley Authority. Muscle Shoals.
- Lear, D.H. and Goebel. 1976. Leaf fall and forest floor characteristics in Loblolly pine plantations in the South Carolina Piedmont. *Soil Science Society of America Journal*. 40: 1, 116-119.

- Leigh R. A. and R. και Storey 1991. Nutrient compartmentation in cells and its relevance to the nutrition of the whole plant. In "Plant Growth: Interactions with Nutrition and Environment". J. R. Porter and B. W. Lawlor (Eds). Cambridge University Press. Cambridge pp 33-54.
- Lerman, S.L., and E.F. Darley 1975. Particulates. In J.B. Mudd, and T.T. Kozlowski ((eds) "Physiological Ecology: A. Series Monographs, Texts, and Treatises". Academic Press N.Y. San Francisco London. pp. 141-158.
- Leyton, L., E.R.C. Reynolds, and F.B. Thomson. 1968. Interception of Rainfall by Trees AND Moorland Vegetation. In R.M.Wadsworth (ed). "The Measurements of Environmental Factors in Terrestrial Ecology". Blackwell scientific publications. Oxford and Edinburgh.
- Likens, G.E., F.H. Bormann, R.S. Pierce, J.S. Eaton, and N.M. Johnson. 1977. Biogeochemistry of Forested Ecosystems. Springer – Verlag N.V.
- Lim, M. T., and J.E. Causens 1986. The internal transfer of nutrients in a Scots pine stand II. The patterns of transfer and the effects of nitrogen availability. *Forestry*. 59(1) 17-27.
- Lindsay, W.L., 1979. Chemical Equilibria in Soils. John Wiley and Sons. New Yoek, p. 449.
- Lockaby, B.G. and J.E. Taylor-Boyr . 1986. Nutrient dynamics in the litterfall and forest floor of an 18 – years – old loblolly pine plantation. *Can. J. For. Res.* 16:1109-1112.
- Lux, H. and S. Bortitz. 1990. The ecological measurement area of the forestry Department of Dresden. Technical University. II Studies on atmospheric deposition 1985-1989. *Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Universitat Dresden*, 39: 6, 149-153; 10 ref. Architecture, Hydrology and Forestry Series 5, No 34.
- Ma, X H. 1989. Effects of rainfall on the nutrient cycling in plantations of *Cunninghamia lanceolata* and *Pinus massoniana*. *Forest Research*. 1:2, 123-131.
- Macias, E S., J.O. Zwicker, J.R. Ouimette, S.V. Hering, S.K. Friedland, T.A. Cahill, G.A. Kuhlmeyy, and L.W. Richards. 1981. Rezional haze case studies in the southwestern U.S.-I. Aerosol chemical composition. *Atmos. Envirom.* 15:1971-1986.

- Martin, J.P. and D.D. Focht, 1977. Biological properties of soils. In "Soils for Management of organic Wasters and Wastewater. Stevenson F.J. and L.E. Elijor (eds) pp. 115-169. Am. Soc. Agron., Crop. Sci. Soc. Am., Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin.
- Millard, P., and M.F. Proe. 1982. Storage and internal cycling of nitrogen in relation to seasonal growth of Sitka spruce. *Tree physiology*. 10:33-43.
- Miller, H.G., J.M. Cooper, J.D. Miller and Pauline 1979. Nutrient cycles in pine: their adaptation to poor soils. *Can. J. For. Res.* 9:19-26.
- Miller, H.G., J.D. Miller, and J.M. Cooper. 1980. Biomass and nutrients accumulation at different growth rates in thinned plantations of Corsican pine. *Forestry* 53: 23-39.
- Morrison, I.K. 1991. Addition of organic matter and elements to the forest floor of an old growth *Acer sacharum* forest in the annual litter fall. *Can. J. For. Res.* 21(4): 462-468.
- Mudd, J.B 1975. Sulfur Dioxide. In J.B. Mudd and T.T. Kozlowski (eds) "Physiological Ecology: A. Series of Monographs, Texts, and Treatises". Academic Press N.Y. San Francisco London. pp 9-22.
- Νάκος, Γ. 1980. Μόλυνση του εδάφους και της βλαστήσεως στο Θριάσιο Πεδίο. I. Περιοχή Ελευσίνας. *Δασική Έρευνα*. 1(2):173-208.
- Nambiar E.K.S. and D.N. Fife. 1987. Growth and nutrient translocation in needles of *Pinus radiata* pine in relation to nitrogen supply. *Ann. Bot.* 60:147-156.
- Nambiar E.K.S. 1987. Do nutrients retranslocate from fine roots? *Can. J. For. Res.* 17:913-918.
- Νταφής, Σ. 1975. Εφαρμοσμένη Δασοκομική. Θεσσαλονίκη.
- Nys, C., D. Ranger and J. Ranger. 1983. Etude comparative de deux ecosystems forestieres feuillus et regineux des Ardennes primaires francaises III. Minerolomasse et cycle biologique. *Annales des Sciences Forestieres* 40:1, 411-466.
- O'Connell, A.M. 1989. Nutrient accumulation in and release from the litter layer of Karri (*Eucalyptus Diversicolor*) forest of South western Australia. *Forest Ecology and Management*. 26:2,95-111.

- Ohta, S. and K. Kumada 1976. Studies on the humus forms of forest soil. I. Mikroskopical observation and elementary analysis of fractionated horizons of Higashiyama soil. *Soil Science and Plant Nutrition*. 22:1,15-22.
- Οικονόμου, Α. και Γ. Νάκος. 1990. Διάβρωση του εδάφους και ταξινόμηση γαιών. Πρακτικά 3^{ου} Πανελληνίου Εδαφολογικού Συνεδρίου. σελ. 25-36.
- Oliver, S. and S.A. Barber. 1966. Mechanisms for the movement of Mn, Fe, B, Cu, Zn, Al and Sr from one soil to the surface of soybean roots. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 30:468-470.
- Ostman, N.L., and G.T. Weaver. 1982. Autumnal nutrient transfer by retranslocation, leaching and litter fall in a chestnut oak forest in southern Illinois. *Can. J. For. Res.* 12:40-51.
- Ovington, J.D. 1962. Quantitative ecology and woodland ecosystem. In *Advance in Ecology Research* Vol. 1 Ed. J.B. Gragg. pp.103-192. Academic Press, London-New York.
- Ovington, J.D. 1968. Some factors affecting nutrient distribution within ecosystems. *UNESCO Natural Resources Research*, 5:95-105.
- Pandey, U. and J.S. Sing 1982. Leaf-litter decomposition in an oak-conifer forest in Himalaya: The effects of climate and chemical composition. *Forestry*. 55(1): 47-59.
- Παπαιωάννου, Α.Γ. 1993. Σχέσεις παραγωγικότητας με μορφές και χαρακτηριστικά του δασικού χούμου σε δάση Μαύρης Πεύκης και Οξυάς στη Βόρεια Ελλάδα. Διδακτορική Διατριβή. Θεσσαλονίκη.
- Παπαμίχος Ν., Δ. Αλιφραγκής και Δ. Σεϊλόπουλος. 1987. Παραγωγή φυταρίων κωνοφόρων σε χαρτογλαστρίδια (paper pots). *Γεωτεχνικά* 1: 86-95.
- Παπαμίχος, Ν.Θ. 1990. Δασικά εδάφη. Θεσσαλονίκη.
- Παπαμίχος, Ν.Θ. και Δ.Α. Αλιφραγκής, 1990. Συντήρηση της γονιμότητας των δασικών εδαφών. Πρακτικά 3^{ου} Πανελληνίου Εδαφολογικού Συνεδρίου, σελ. 187-195.
- Pase – Dumroese, D., A. Harvey, M. Jurgensen and R. Graham. 1991. Organic matter fraction in the Western-Montane forest soil system. In “Proceedings- Managements and productivity of Western-Montane forest soils”. pp. 95-100. U.S.D.A. Forest Service. Intermountain Res. Stn.

- Pehl, C.E., C.L. Tuttle, J.N. Houser, and D.M. Moehring. 1984. Total biomass and nutrient of 25-years-old loblolly pines (*Pinus taeda*). *For. Ecol. Manag.* 9:155-160.
- Pesson, P. 1980. Biogeographie et ecologie des conifères sur le pourtour méditerranéen. Recent research in forest ecology soilw, flora, fauna. *Actualités d'écologie forestière sol flore, faune.* 205-255.
- Peterson, D.L. and G.L. Rolfe. 1982. Precipitation components pathways in Floodplain and Upland forest of central Illinois. *Forest Sci.* 28:321-332.
- Potter, C.S. 1992. Stem flow nutrient inputs to soil in a successional hardwood forest. *Plant and Soil.* 140:2, 249-254.
- Powers, R.F. 1990. Nitrogen mineralization along an altitudinal gradient: interactions of soil temperature, moisture, and substrate quality. *Forest ecology and management* 30: 1-4, 19-29.
- Radwan, M.A., C.A. Hrrington and J.M. Kraft. 1984. Litterfall and nutrient returns in red alder stands in Western Washington. *Plant and soil* 79:3, 343-351.
- Rajnanshii, R. and S.R. Gupta 1985. Mineral cycling in a tropical deciduous *Dalbergia sissou* Rozb. *Forest. Acta Oecologica, Oecologia plantarum.* 6: 3, 247-262
- Ryan P., Lee, J. and Peebles, T.F. 1967. Trace element problems in relation to soil units in Europe. Working party on soil classification and survey of the European Commission on Agriculture. F.A.O. of the United Nations. Rome World Soil Resources, Reports31.
- Σειλοπουλος, Δ. 1992. Επίδραση των πυρκαγιών στα αποθέματα και τις μορφές αζώτου στα δασικά οικοσυστήματα. Πρακτικά 4^{ου} Πανελληνίου Εδαφολογικού Συνεδρίου. σελ. 611-625.
- Sollins, P., Grier, C.C., McCorison, F.M. Cromack, K.Jr., Fogel, R., and Frediksen. R.L. 1980. The internal element cycles of an old growth Douglas – fir ecosystem in western Oregon. *Ecological Monographs.* 59:261-285.
- Sprugel, D.G. 1984. Density, biomass, productivity, and nutrient-cycling changes during stand development in Wave-regenerater balsam fir forests. *Ecological Monographs.* 54:2,165-166.

- Stevens, P.A., J.K. Adamson, B. Reynolds and M. Hornung. 1990. Dissolved inorganic nitrogen concentrations and fluxes in three British Sitka spruce plantation. Proceedings of a workshop on Nitrogen Saturation in forest ecosystems, 21-23 September 1988. Aberdeen, United Kingdom (edited by Brandon, O, Hutti, R.F.). Plant and Soil 128:;1, 103-108.
- Stevenson, F.J. 1982. Humus Chemistry Genesis – Composition – Reaction. J. Wiley and Sons. N. York p. 443.
- Stone E.L. 1968. Microelement Nutrition of Forest Trees: A review. Forest Fertilization, Theory and practice, Tennessee Valley Authority, Muscle Shoals, Alabama. P. 132-174.
- Switzer, G.L., L.E. Nelson 1972. Nutrient accumulation and cycling in loblolly pine (*Pinus taeda* L.) plantation ecosystems: The first twenty years. Soil. Sci. Soc. Amer. Proc. 36:143-147.
- Terry N. and I.M. Rao 1991. Nutrients and photosynthesis: Iron and phosphorus as case studies. In " Plant Growth: Interaction with Nutrition and Environment". Porter J.P. and D.W. Lawlor (Eds). Cambridge University Press. Cambridge. Pp 33-55.
- Τάντος Β. 1997. Ανακύκλωση θρεπτικών στοιχείων σε οικοσύστημα υβριδογενούς ελάτης (*Abies borisii* Regis Matf). Διδακτορική διατριβή. Α.Π.Θ. σελ. 160.
- Τσιόντης, Α.Ι. 1991. Παραγωγή και κατανομή οργανικής ουσίας και δυναμική των θρεπτικών στοιχείων σε οικοσυστήματα Μαύρης Πεύκης (*Pinus nigra*). Διδακτορική διατριβή. Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Θεσσαλονίκη.
- Tubaphitak, T., G. Pairintra, and K. Kyuma. 1985. Changes in soil fertility and tilth under shifting cultivation II. Changes in soil nutrient status. Soil Science and Plant Nutrition. 31:2,239-249.
- Turner, J. 1981. Nutrient cycling in an age sequence of western Washington Douglas-fir stands. Annals of Botany. 48:2,159-169.
- Versfeld, D.B. and D.G.M. Donald. 1991. Litter fall and nutrient release in mature *Pinus rabiata* in the South – Western Cape. South African Forestry Journal. 156, 61-69.
- Vitousek, P., Gosz, J.P., Grier, C.C. Melillo, J.M., and Reiners, W.A. 1982. A comparative analysis of potential nitrification and nitrate mobility in forest ecosystems. Ecological Monographs, 52:;155-177.

- Voigt, G.K. 1965. Nitrogen recovery from decomposing tree leaf tissue and forest humus. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 29:756-759.
- Waring, R.H. and W.H. Schlesinger. 1985. *Forest Ecosystems. Concepts and Management.* Academic Press, Orlando, Florida.
- Whittaker, R.H. 1970. *Communities and Ecosystems.* Macmillan, New York.
- Χατζηστάθης, Α. 1986. Η επίδραση της ανακύκλωσης των συστατικών του εδάφους και των διαφόρων δασοκομικών χειρισμών στην προστασία των δασικών οικοσυστημάτων. Ανακοινώσεις και πορίσματα του συνεδρίου για την προστασία των δασών. Αθήνα Μάιος 1986.
- Zinke, P.J. 1980. *Influence of chronic air pollution on mineral cycling in forests.* Presented at the symposium on effects of air pollutants on Mediterranean and Temperate Forest Ecosystems, June 22-27 1980, Riverside, California, Berkeley, U S A.