

**“Η επίδραση των εδαφοβελτιωτικών σε φυτά που
καλλιεργήθηκαν σε εδάφη επιβαρυμένα με φώσφορο”**

Μεταπτυχιακή Διατριβή

Ευαγγελία Δ. Μπρόζου

Γεωπόνος

Βόλος, 2010

**“Η επίδραση των εδαφοβελτιωτικών σε φυτά που
καλλιεργήθηκαν σε εδάφη επιβαρυμένα με φώσφορο”**

Μεταπτυχιακή Διατριβή

Ευαγγελία Δ. Μπρόζου

Γεωπόνος

Εξεταστική επιτροπή

Δημήρκου Α. – Αναπληρώτρια Καθηγήτρια (Επιβλέπουσα)

Δαναάτος Ν. – Καθηγητής (Μέλος)

Τσιρόπουλος Ν. – Αναπληρωτής Καθηγητής (Μέλος)

Βόλος, 2010

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Τις θερμές μου ευχαριστίες εκφράζω στην επιβλέπουσα Καθηγήτριά μου κ. Ανθούλα Δημήρκου, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος και διευθύντρια του Εργαστηρίου Εδαφολογίας για τη συνεχή καθοδήγησή της στο σχεδιασμό και εφαρμογή του πειράματος και την πολύτιμη συμβολή της στην εκπόνηση και συγγραφή της μεταπτυχιακής μου διατριβής. Η συμβολή της υπήρξε καθοριστική στην επιτυχή ολοκλήρωση της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής.

Την εκτίμησή μου και τις ευχαριστίες μου θα ήθελα να εκφράσω επίσης στους καθηγητές μου κ. Δαναλάτο Ν., Καθηγητή του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος και κ. Τσιρόπουλο Ν., Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, οι οποίοι ήταν μέλη της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής για τις σημαντικές παρατηρήσεις και συμβουλές κατά τη διάρκεια της συγγραφής της μεταπτυχιακής μου διατριβής.

Θερμά θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω την κ. Τσακμάκη Φωτεινή και την κ. Γκόλια Ευαγγελία για τις χρήσιμες συμβουλές τους και υποδείξεις αλλά και για το χρόνο που αφιέρωσαν κατά τη διάρκεια πραγματοποίησης της διατριβής μου.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ θα ήθελα να εκφράσω και στην οικογένειά μου για την πολύτιμη ηθική υποστήριξη που μου προσέφεραν και όχι μόνο σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου έτσι ώστε να περατωθούν με τον καλύτερο δυνατό τρόπο.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους μου για την συμπαράστασή τους κατά τη διάρκεια διεξαγωγής αυτής της ερευνητικής εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής είναι α) η μελέτη της προσρόφησης του φωσφόρου από τα εδαφοβελτιωτικά γκαϊτίτη (G), ζεόλιθο-γκαιτίτη κίτρινο (Z-G κίτρ. ή Z-GY) , ζεόλιθο-γκαιτίτη κόκκινο (Z-G κοκ. ή Z-GR), μπεντονίτη (B) και ζεόλιθο (Z) β) η χρήση αυτών στην αποκατάσταση επιβαρυσμένων εδαφών με υψηλές συγκεντρώσεις φωσφόρου και γ) η μελέτη της συμπεριφοράς τους στα φυτά μαρουλιού που καλλιεργήθηκαν σε εδάφη επιβαρυσμένα με φώσφορο.

Για την επίτευξη του σκοπού της μεταπτυχιακής διατριβής πραγματοποιήθηκαν τρία πειράματα, τα δύο εκ των οποίων στο εργαστήριο ενώ το τρίτο στο θερμοκήπιο.

Στο πρώτο εργαστηριακό πείραμα μελετήθηκε η επίδραση των εδαφοβελτιωτικών στην αποκατάσταση υδάτων επιβαρυσμένων με φώσφορο. Χρησιμοποιήθηκαν πλαστικά φιαλίδια των 50 mL στα οποία και προστέθηκαν 0,2g εδαφοβελτιωτικού (Z, B, G, Z-G κίτρ, Z-G κοκ) και δέκα διαφορετικές συγκεντρώσεις φωσφόρου (0,2ppm, 0,4ppm, 0,8ppm, 1ppm, 1,2ppm, 1,6ppm, 2ppm, 2,4ppm, 3,2ppm, 4ppm P). Στη συνέχεια τα πλαστικά φιαλίδια με το περιεχόμενό τους ανακινήθηκαν περιοδικά για 48 ώρες. Ακολούθησε διήθηση του περιεχομένου τους και η περιεκτικότητα του φωσφόρου στο διήθημα προσδιορίστηκε με τη μέθοδο Olsen. Από τη διαφορά της συγκέντρωσης του φωσφόρου στο διάλυμα που προστέθηκε και αυτής που βρέθηκε στο διήθημα υπολογίστηκε η ποσότητα του φωσφόρου που προσροφήθηκε από κάθε εδαφοβελτιωτικό (μg P/g εδαφοβελτιωτικού).

Για το δεύτερο και το τρίτο πείραμα χρησιμοποιήθηκαν τρεις τύποι εδαφών Clay Loam με pH= 8, Sandy Loam με pH= 8, και Loamy Sand με pH= 8,8.

Στο δεύτερο εργαστηριακό πείραμα μελετήθηκε η επίδραση των εδαφοβελτιωτικών στην αποκατάσταση εδαφών επιβαρυσμένων με φώσφορο. Πραγματοποιήθηκε σε πλαστικά φιαλίδια των 100 mL στα οποία προστέθηκαν από τους τρεις τύπους εδάφους 2, 4, 10 και 20 g αντίστοιχα. Στη συνέχεια προστέθηκαν 0,2 g από κάθε εδαφοβελτιωτικό και 20 ml διαλύματος φωσφόρου 10 ppm. Τα φιαλίδια τοποθετήθηκαν για ανακίνηση επί τρεις ημέρες επί 8 ώρες την ημέρα και στη συνέχεια διηθήθηκαν και στο διήθημα προσδιορίστηκε η συγκέντρωση του φωσφόρου με τη μέθοδο Olsen. Από τη διαφορά της συγκέντρωσης του φωσφόρου

του διαλύματος που προστέθηκε και αυτής που βρέθηκε στο διήθημα υπολογίστηκε η ποσότητα του φωσφόρου σε μg που προσροφήθηκε ανά 0,2 g εδαφοβελτιωτικού αλλά και ανά 2, 4, 10 και 20 g χώματος.

Στο τρίτο πείραμα μελετήθηκε η επίδραση των εδαφοβελτιωτικών στα φυτά μαρουλιού τα οποία καλλιεργήθηκαν σε εδάφη επιβαρυνμένα με φώσφορο. Πραγματοποιήθηκε σε φυτοδοχεία στο θερμοκήπιο. Σε κάθε φυτοδοχείο προστέθηκε ένα φυτό μαρουλιού, 1 kg χώμα, 1 g εδαφοβελτιωτικού (G ή Z-GY ή Z-GR) ή 10 g εδαφοβελτιωτικού B ή Z και 1,1 g από την ένωση KH_2PO_4 .

Από το πρώτο εργαστηριακό πείραμα προέκυψε ότι τη μεγαλύτερη προσρόφηση καθώς και τον ταχύτερο ρυθμό προσρόφησης φωσφόρου έχει το εδαφοβελτιωτικό γκαιίτης. Ακολουθούν κατά φθίνουσα σειρά τα εδαφοβελτιωτικά ζεόλιθος-γκαιίτης κόκκινος, ζεόλιθος-γκαιίτης κίτρινος, ζεόλιθος και μπεντονίτης.

Από το δεύτερο εργαστηριακό πείραμα προέκυψε ότι όσο μειώνεται η αναλογία P/χώμα τόσο μειώνεται και η προσρόφηση φωσφόρου ανά g χώματος. Επίσης σε όλους τους τύπους εδάφους τη μεγαλύτερη προσρόφηση φωσφόρου έχουμε όταν χρησιμοποιούμε το εδαφοβελτιωτικό γκαιίτης σε αναλογία εδάφους/εδαφοβελτιωτικού 10/1.

Από το τρίτο πείραμα προέκυψε ότι αν σε έδαφος επιβαρυνμένο με υψηλές συγκεντρώσεις φωσφόρου καλλιεργείται το φυτό μαρούλι τότε γνωρίζουμε ότι θα πρέπει να προσδιορίσουμε την μηχανική σύσταση του εδάφους και ανάλογα να κάνουμε τις παρακάτω προτάσεις

Αν το έδαφός μας ανήκει στην κατηγορία Clay Loam τότε προτείνουμε τον γκαιίτη για την κατακράτηση φωσφόρου από το έδαφος και την μη μεταφορά του στο φυτό και τα υπόγεια νερά ή τα υπόλοιπα εδαφοβελτιωτικά τα οποία είναι κατά φθίνουσα σειρά ο ζεόλιθος-γκαιίτης κόκκινος, ο ζεόλιθος, ο ζεόλιθος-γκαιίτης κίτρινος και ο μπεντονίτης αν επιθυμείται η αποδέσμευση του φωσφόρου από το έδαφος και μεταφορά του στα φυτά που θα αναπτυχθούν στο έδαφος αυτό οπότε τα φυτά αυτά στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν ως χλωρή λίπανση σε εδάφη φτωχά σε φώσφορο.

Αν το έδαφός μας ανήκει στην κατηγορία Sandy Loam τότε προτείνουμε κατά φθίνουσα σειρά τα εδαφοβελτιωτικά ζεόλιθος-γκαιίτης κίτρινος, γκαιίτης και ζεόλιθος για την κατακράτηση φωσφόρου από το έδαφος και την μη μεταφορά του στο φυτό και τα υπόγεια νερά ή τα υπόλοιπα εδαφοβελτιωτικά τα οποία είναι κατά φθίνουσα σειρά ο μπεντονίτης και ο ζεόλιθος-γκαιίτης κόκκινος αν

επιθυμείται η αποδέσμευση του φωσφόρου από το έδαφος και μεταφορά του στα φυτά που θα αναπτυχθούν στο έδαφος αυτό οπότε τα φυτά αυτά στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν ως χλωρή λίπανση σε εδάφη φτωχά σε φώσφορο.

Αν το εδάφος μας ανήκει στην κατηγορία Loamy Sand τότε προτείνουμε κατά φθίνουσα σειρά τα εδαφοβελτιωτικά ζεόλιθος και ζεόλιθος-γκαιίτης κόκκινος για την κατακράτηση φωσφόρου από το έδαφος και την μη μεταφορά του στο φυτό και τα υπόγεια νερά ή τα υπόλοιπα εδαφοβελτιωτικά τα οποία είναι κατά φθίνουσα σειρά ο ζεόλιθος-γκαιίτης κίτρινος, ο γκαιίτης και ο μπεντονίτης αν επιθυμείται η αποδέσμευση του φωσφόρου από το έδαφος και μεταφορά του στα φυτά που θα αναπτυχθούν στο έδαφος αυτό οπότε τα φυτά αυτά στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν ως χλωρή λίπανση σε εδάφη φτωχά σε φώσφορο.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	Σελ.
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
2. ΦΩΣΦΟΡΟΣ	2
2.1 Εισαγωγή.....	2
2.2 Προέλευση.....	3
2.3 Παρασκευή.....	3
2.4 Είδη φωσφόρου και οι ιδιότητές τους.....	4
2.4.1 Λευκός φώσφορος.....	4
2.4.2 Ερυθρός φώσφορος.....	5
2.4.3 Πορφυρός φώσφορος.....	5
2.4.4 Μεταλλικός φώσφορος.....	5
2.5 Μορφές του φωσφόρου στο έδαφος.....	6
2.6. Παράγοντες που επηρεάζουν τη διαθεσιμότητα φωσφόρου του εδάφους.....	7
2.7 Πρόσληψη φωσφόρου από τα φυτά.....	7
2.8 Η διαθεσιμότητα του φωσφόρου στα όξινα εδάφη.....	8
2.9 Η διαθεσιμότητα του φωσφόρου στα ασβεστούχα εδάφη.....	8
2.10 Εφαρμογές.....	9
2.11 Συμπτώματα τροφοπενίας φωσφόρου.....	10
2.12 Περίσσεια φωσφόρου.....	10
3. ΓΚΑΙΤΙΤΗΣ	12
4. ΖΕΟΛΙΘΟΣ	15
4.1 Δομή.....	15
4.2 Φυσικές και χημικές ιδιότητες.....	16
4.3 Χημισμός.....	17
4.4 Ζεόλιθοι ανά τον κόσμο.....	19
4.5 Ζεόλιθοι στην Ελλάδα.....	19
4.6 Χρήσεις ζεόλιθων.....	22
5. ΜΠΕΝΤΟΝΙΤΗΣ	28
5.1 Χρήσεις.....	31
6. ΜΑΡΟΥΛΙ	35
6.1 Γενικά για το φυτό.....	35
6.2 Βοτανικοί χαρακτήρες.....	36

6.3 Ποικιλίες του μαρουλιού.....	37
6.4 Καλλιεργητικές απαιτήσεις.....	40
7. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	42
7.1 Πείραμα προσρόφησης φωσφόρου με τη χρήση εδαφοβελτιωτικών.....	42
7.2 Πείραμα προσρόφησης φωσφόρου από εδάφη επιβαρυμένα με φώσφορο με τη χρήση εδαφοβελτιωτικών.....	42
7.3 Πείραμα προσρόφησης φωσφόρου από εδάφη με εδαφοβελτιωτικά με καλλιέργεια μαρουλιού.....	43
7.4 Υλικά προσρόφησης.....	47
7.4.1 Γκαιτίτης.....	47
7.4.1.1 Παρασκευή γκαιτίτη.....	47
7.4.2 Ζεόλιθος.....	47
7.4.3 Μπεντονίτης.....	48
7.4.4 Ζεόλιθος-Γκαιτίτης κόκκινος.....	48
7.4.5 Ζεόλιθος-Γκαιτίτης κίτρινος.....	48
7.5 Προετοιμασία του εδάφους.....	48
7.6 Ενσωμάτωση των εδαφοβελτιωτικών και του φωσφόρου στο έδαφος.....	49
7.7 Μεταφύτευση	50
7.8 Μετρήσεις	50
7.8.1 Μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια ανάπτυξης των φυτών μας.....	50
7.8.2 Μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν μετά την εξαγωγή τους από τα φυτοδοχεία.....	50
7.9 Καθαρισμός των υάλινων σκευών.....	51
7.10 Εκχύλιση – πέψη φυτικών δειγμάτων	51
7.11 Μέτρηση του διαθέσιμου φωσφόρου- Μέθοδος Olsen.....	52
7.11.1 Για την ανάπτυξη χρώματος.....	52
7.11.2 Για την πρότυπη καμπύλη.....	53
7.11.3 Ανάπτυξη χρώματος-Πρότυπη καμπύλη.....	53
7.12 Προσδιορισμός ολικού P.....	54
8. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	55
8.1 Η μελέτη της προσρόφησης του φωσφόρου από τα εδαφοβελτιωτικά.....	55
8.2 Η επίδραση της ποσότητας χρώματος στην προσρόφηση του φωσφόρου.....	61
8.3 Η επίδραση των εδαφοβελτιωτικών στην προσρόφηση φωσφόρου.....	63

8.3.1 Η επίδραση του εδαφοβελτιωτικού ζεόλιθου-γκαιίτη κόκκινου στην προσρόφιση φωσφόρου.....	63
8.3.2 Η επίδραση του εδαφοβελτιωτικού ζεόλιθου στην προσρόφιση φωσφόρου.....	63
8.3.3 Η επίδραση του εδαφοβελτιωτικού μπεντονίτη στην προσρόφιση φωσφόρου.....	64
8.3.4 Η επίδραση του εδαφοβελτιωτικού γκαίίτη στην προσρόφιση φωσφόρου...	64
8.3.5 Η επίδραση του εδαφοβελτιωτικού ζεόλιθου-γκαιίτη κίτρινου στην προσρόφιση φωσφόρου.....	64
8.4 Η επίδραση των διαφόρων εδαφοβελτιωτικών στο βάρος φύλλων.....	65
8.5 Η επίδραση των διαφόρων εδαφοβελτιωτικών στο βάρος ρίζας	69
8.6 Η επίδραση των διαφόρων εδαφοβελτιωτικών στο βάρος των φυτών.....	73
8.7 Η επίδραση των διαφόρων εδαφοβελτιωτικών στο μήκος ρίζας.....	77
8.8 Η προσρόφιση του φωσφόρου από τα φυτά σε συνάρτηση με τα διάφορα εδαφοβελτιωτικά	81
8.9 Η επίδραση των διαφόρων εδαφοβελτιωτικών στην προσρόφιση του φωσφόρου από το έδαφος.....	85
9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ- ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	90
9.1 Η επίδραση των εδαφοβελτιωτικών που χρησιμοποιήσαμε στη μέγιστη προσρόφιση, το ρυθμό προσρόφισης και το συντελεστή συµµεταβολής.....	90
9.2 Συµπεράσµατα που προκύπτουν για το έδαφος Clay Loam.....	90
9.3 Συµπεράσµατα που προκύπτουν για το έδαφος Sandy Loam.....	91
9.4 Συµπεράσµατα που προκύπτουν για το έδαφος Loam Sandy.....	91
9.5 Συµπεράσµατα που προκύπτουν για τα χαρακτηριστικά του µαρουλιού.....	92
9.6 Η επίδραση των εδαφοβελτιωτικών στην προσρόφιση φωσφόρου από τα φυτά, τα οποία καλλιεργήθηκαν στο έδαφος Clay Loam.....	93
9.7 Η επίδραση των εδαφοβελτιωτικών στην προσρόφιση φωσφόρου από τα φυτά, τα οποία καλλιεργήθηκαν στο έδαφος Sandy Loam.....	93
9.8 Η επίδραση των εδαφοβελτιωτικών στην προσρόφιση φωσφόρου από τα φυτά, τα οποία καλλιεργήθηκαν σε έδαφος Loam Sandy.....	94
9.9 Επισηµάνσεις.....	94
10. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	97

11. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....103

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο γκαιίτης και ο ζεόλιθος είναι φυσικά υλικά τα οποία απαντώνται σε μεγάλη συχνότητα στη φύση τόσο ως ορυκτά όσο και σαν συστατικά των εδαφών. Ο γκαιίτης στα εδάφη προκύπτει σαν δευτερογενές υλικό της αποσάθρωσης. Μέσω των εδαφογενετικών διεργασιών ο γκαιίτης μπορεί να σχηματιστεί πάνω στο ζεόλιθο που υπάρχει στο έδαφος με αποτέλεσμα το σχηματισμό ενός συστήματος των δύο υλικών.

Σκοπός της παρούσας διατριβής:

Σκοπός της παρούσας διατριβής ήταν η εύρεση μεθόδων, φιλικών προς το περιβάλλον, αποκατάστασης εδαφών και υδάτων επιβαρυνμένων με φώσφορο. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκαν τρία πειράματα

1. Στο πρώτο πείραμα μελετήθηκε η προσρόφηση του φωσφόρου από τα εδαφοβελτιωτικά γκαιίτη (G), ζεόλιθο-γκαιίτη κίτρινο (Z-G κιτρ. ή Z-GY) , ζεόλιθο-γκαιίτη κόκκινο (Z-G κοκ. ή Z-GR), μπεντονίτη (B) και ζεόλιθο (Z).

2. Στο δεύτερο πείραμα μελετήθηκε η χρήση των εδαφοβελτιωτικών γκαιίτη (G), ζεόλιθο-γκαιίτη κίτρινο (Z-G κιτρ. ή Z-GY) , ζεόλιθο-γκαιίτη κόκκινο (Z-G κοκ. ή Z-GR), μπεντονίτη (B) και ζεόλιθο (Z) στην αποκατάσταση επιβαρυνμένων εδαφών με υψηλές συγκεντρώσεις φωσφόρου (P) και

3. Στο τρίτο πείραμα μελετήθηκε η συμπεριφορά των εδαφοβελτιωτικών γκαιίτη (G), ζεόλιθο-γκαιίτη κίτρινο (Z-G κιτρ. ή Z-GY) , ζεόλιθο-γκαιίτη κόκκινο (Z-G κοκ. ή Z-GR), μπεντονίτη (B) και ζεόλιθο (Z) στο φυτό μαρούλι που καλλιεργήθηκε σε εδάφη επιβαρυνμένα με υψηλές συγκεντρώσεις φωσφόρου (P).

2.ΦΩΣΦΟΡΟΣ

2.1 Εισαγωγή

Ο φώσφορος είναι αμέταλλο χημικό στοιχείο με ατομικό αριθμό 15 και ατομικό βάρος 30,97376. Έχει θερμοκρασία τήξης 44,1 C° και θερμοκρασία βρασμού 280 C°. Το σύμβολό του είναι P.

Ανακαλύφθηκε το 1669 από τον αλχημιστή Μπραντ που αναζητώντας την φιλοσοφική λίθο έλαβε δια ξηράς απόσταξης από υπολείμματα ούρων, μια ουσία η οποία παρουσίαζε την περίεργη ιδιότητα να εκπέμπει φως στο σκοτάδι. Εξ αυτής ακριβώς της ιδιότητας την ονόμασε (φως + φέρον) φώσφορο. Αυτόν τον πρωτογενή τρόπο παρασκευής προσπάθησε να κρατήσει επτασφράγιστο μυστικό μέχρι που δεν άντεξε και ο ίδιος ο Μπραντ το εκμυστηρεύθηκε στον Κραφτ όπου και εκείνος με την σειρά του τελικά επέδειξε το "περίεργο" αυτό στοιχείο στην Αυλή του Βασιλέως της Αγγλίας Καρόλου τον Β΄ το 1677.

Παράλληλα όμως και ο Κούνκελ εργαζόμενος ανεξάρτητα παρήγαγε ίδια ουσία το 1676, ενώ ο μέγας Άγγλος φυσικός και χημικός Μπούλ μελέτησε τη νέα αυτή φωτοβόλο ουσία την οποία και ονόμασε *noctiluca*. Έτσι το σύνηθες πλέον όνομα που καθιερώθηκε τότε για το στοιχείο αυτό ήταν ο *αγγλικός φώσφορος* ή *φώσφορος του Μπούλ* σε διάκριση από τον *φώσφορο της Μπολόνιας* ή *Βολωνίας* που ήταν θειούχο βάριο με κάποιες άλλες προσμίξεις που εξέπεμπε όμως φως μόνο μετά από έκθεση στον Ήλιο.

Ένα αιώνα αργότερα το 1770 ο Γκαν ανακάλυψε ότι το κυριότερο στοιχείο των οστών είναι το φωσφορικό ασβέστιο και ο Σέελε εξ αυτού καταφέρνει το 1777 να κατασκευάσει φώσφορο από την τέφρα οστών. Το ίδιο δε έτος ο Λαβουαζιέ διαπίστωσε και την πραγματική φύση του φωσφόρου ως χημικό στοιχείο όπου και μελέτησε τις ιδιότητές του.

2.2 Προέλευση

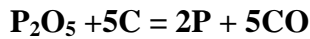
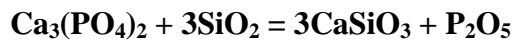
Ο φώσφορος δεν απαντάται ελεύθερος στη φύση αλλά μόνο ενωμένος με άλλα στοιχεία. Το κυριότερο ορυκτό του είναι ο απατίτης που αποτελείται από φωσφορικό ασβέστιο συγκρυσταλλωμένο με φθοριούχο ή χλωριούχο ασβέστιο επονομαζόμενος χλωραπατίτης. Ο λεγόμενος φωσφορίτης είναι στην πραγματικότητα προϊόν αποσάθρωσης του απατίτη (φωσφορικό ασβέστιο). Άλλα ορυκτά του φωσφόρου είναι: ο μοναζίτης (πρόκειται για φωσφορικό άλας μετάλλων σπανίων γαιών), ο βιβιανίτης (φωσφορικός δισθενής σίδηρος) κ.ά. Ειδικότερα όμως ο φώσφορος αποτελεί βασικό συστατικό των φυτικών και ζωικών κυττάρων. Απαντάται ιδίως στα οστά, τα ούρα, τα νεύρα, στους μύες, στον εγκέφαλο, στο νωτιαίο μυελό, στ' αυγά, στους σπόρους κ.λπ. Η συνήθης μορφή με την οποία βρίσκεται στον οργανισμό είναι η λεκιθίνη (ένας μικτός οργανικός εστέρας γλυκερίνης με φωσφορικό οξύ). Κατά τη πορεία του μεταβολισμού οι λεκιθίνες διασπώνται και το φωσφορικό οξύ αποβάλλεται δια των νεφρών μαζί με τα ούρα. Επειδή δε το στοιχείο αυτό θεωρείται απαραίτητο στην ανάπτυξη του οργανισμού θα πρέπει οι απώλειές του να αναπληρώνονται με λήψη φωσφορούχων τροφών. Τα φυτά λαμβάνουν το στοιχείο αυτό από το έδαφος (φωσφορικό ασβέστιο) που είναι διαλυτό στο νερό περιέχοντας ανθρακικό οξύ. Στα οστά ο φώσφορος βρίσκεται σε αναλογία 12% ως φωσφορικό ασβέστιο και γι' αυτό αποτέλεσε παλαιότερα την μοναδική πηγή παρασκευής του.

2.3 Παρασκευή

Πρώτη παρασκευή φωσφόρου ήταν η αποτέφρωση οστών. Ο λαμβανόμενος οστεάνθρακας χρησιμοποιείτο ως αποχρωστικό μέσο στη βιομηχανία σακχάρους. Η τέφρα αυτή των οστών που περιείχε 80% φωσφορικό ασβέστιο και μικρότερα ποσά ανθρακικού και φθοριούχου ασβεστίου, προσβαλλόταν από πυκνό και θερμό θειικό οξύ και το ελευθερούμενο φωσφορικό οξύ θερμαινόταν σε κλειστά αποστακτικά κεράτια σε ανάμιξη με κωκ οπότε και σχηματιζόταν φώσφορος ο οποίος και απέσταζε.

Σήμερα όμως ο φώσφορος παρασκευάζεται κατά τη μέθοδο που ανακαλύφθηκε το 1829 από τον Βαίλερ με άμεση αναγωγή του φωσφορικού ασβεστίου από άνθρακα με την παρουσία διοξειδίου του πυριτίου με την επίδραση

του οποίου ελευθερώνεται πεντοξείδιο του φωσφόρου το οποίο στη συνέχεια ανάγεται από άνθρακα σε φώσφορο.



Η μέθοδος αυτή απαιτεί υψηλή θερμοκρασία γι' αυτό και κατέστη δυνατή η εφαρμογή της μετά την εμφάνιση των ηλεκτρικών καμίνων που σήμερα λειτουργούν με βολταϊκό τόξο κονιοποιουμένου μίγματος φωσφορικού ασβεστίου (φωσφορίτη ή απατίτη) μαζί με κωκ σε θερμοκρασία περίπου 1500 βαθμούς Κελσίου. Το σχηματιζόμενο έτσι πυριτικό ασβέστιο σχηματίζει σε τέτοια θερμοκρασία τήγμα που απομακρύνεται από υφιστάμενη έξοδο στη βάση της καμίνου. Η δε κατανάλωση ρεύματος φθάνει τις 5Wh ανά kg παραγόμενου φωσφόρου. Η μέθοδος αυτή ονομάζεται μέθοδος Βαίλερ.

2.4 Είδη φωσφόρου και οι ιδιότητές τους

Ο φώσφορος εμφανίζεται με πολλές αλλοτροπικές μορφές των οποίων βασικότερες είναι ο λευκός φώσφορος, ο ερυθρός φώσφορος, ο πορφυρούς φώσφορος και ο μεταλλικός φώσφορος. Οι τέσσερις αυτές μορφές παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές τόσο στις φυσικές όσο και στις χημικές ιδιότητες. Όλες δε οι άλλες μορφές του, αποτελούν (θεωρούνται) παραλλαγές των τεσσάρων βασικών μορφών.

- Πολλοί θεωρούν τον πορφυρούν παραλλαγή του ερυθρού θεωρώντας έτσι τρεις βασικές μορφές.

2.4.1 Λευκός φώσφορος

Ο λευκός φώσφορος είναι σώμα λευκό που μοιάζει με το κερί. Εκτιθέμενος στον Ήλιο καθίσταται κίτρινος. Λαμβάνεται κατά τη συνήθη παρασκευή του φωσφόρου. Διακρίνεται σε δύο τύπους: **α** και **β**.

1. Λευκός φώσφορος **α**: Ειδικό βάρος: 1,83. Σημείο τήξης: 44,1. Σημείο ζέσεως: 287° C περίπου (σε απουσία αέρος ή οξυγόνου). Είναι σώμα μαλακό που μπορεί εύκολα να κοπεί με μαχαίρι. Σε θερμοκρασίες κατώτερες των 5° C γίνεται

στιλπνός και κρυσταλλικός. Διαλύεται ελάχιστα στο νερό (ένα προς 300.000 μέρη νερού), πολύ όμως εύκολα σε οργανικούς διαλύτες και ιδίως σε διθειάνθρακα σε αναλογία 9:1, μέχρι ακόμη και σε ελαιόλαδο. Από την εξάτμιση των διθειανθρακικών διαλυμάτων του "φωσφόρου α" λαμβάνεται αυτός σε κρυσταλλική μορφή (ρομβικά δεκάεδρα).

2. Λευκός φώσφορος **β**: Ο τύπου *β* λαμβάνεται δια ψύξεως του *α* τύπου στους -77°C ή με άσκηση επί αυτού πίεσης 12.000 atm όπου και κρυσταλλούται στο εξαγωγικό σύστημα.

2.4.2 Ερυθρός φώσφορος

Ο ερυθρός φώσφορος είναι ένα ερυθροϊώδες μικροκρυσταλλικό στερεό με Ειδικό βάρος: 2,1. Σημείο τήξεως: $500-600^{\circ}\text{C}$. Λαμβάνεται με πύρωση του λευκού για λίγες ώρες στους 240°C σε αδρανή ατμόσφαιρα (αζώτου). Το σημείο μετατροπής του είναι μεταξύ $230-250^{\circ}\text{C}$ ενώ σε μεγαλύτερη θερμοκρασία το φαινόμενο αυτό γίνεται αντιστρεπτό. Ατμοί ερυθρού φωσφόρου αν ψυχθούν αποθέτουν λευκό φώσφορο. Η αντίδραση μετατροπής του λευκού σε ερυθρό είναι εξώθερμη παρουσιάζοντας έκλυση 3,7 χιλιοθερμίδες ανά γραμμομόριο.

2.4.3 Πορφυρός φώσφορος

Ο πορφυρός φώσφορος λαμβάνεται υπό μορφή άμορφης πορφυράς σκόνης με Ειδικό βάρος: 1,87, δια βρασμού διαλύματος 10% λευκού φωσφόρου σε τριβρωμίδιο του φωσφόρου επί 10 ώρες περίπου, ή δια θερμάνσεως του τριβρωμιδίου με υδράργυρο στους 240°C . Είναι περισσότερο δραστικός από τον ερυθρό, διαφέρει δε από το λευκό στο ότι οξειδώνεται βραδύτερα στον αέρα και δεν παρουσιάζει τοξικές ιδιότητες. Διαλύεται στα αλκάλια με έκλυση φωσφίνης. Στο μόριο του πορφυρού φωσφόρου αποδίδεται ο τύπος **P₂**.

2.4.4 Μεταλλικός φώσφορος

Ο Μεταλλικός φώσφορος ή μέλας φώσφορος είναι η τέταρτη αλλοτροπική μορφή του φωσφόρου που όπως ο λευκός έτσι και ο μεταλλικός εμφανίζεται υπό δύο μορφές **α** και **β** μεταλλικός φώσφορος.

1. Μεταλλικός φώσφορος **α**: Ο τύπου α μεταλλικός λαμβάνεται με θέρμανση του ερυθρού στους 530° C ή με διάλυση λευκού φωσφόρου σε μόλυβδο στους 400° C μέσα σε κλειστό σωλήνα και μετά την κρυστάλλωση του μίγματος διάλυσης του μολύβδου σε αραιό νιτρικό οξύ. Είναι σώμα κρυσταλλικό σε μονοκλινικούς ή ρομβοεδρικούς κρυστάλλους με Ειδικό βάρος: 2,32. Κατά την εξάχνωσή του δεν οξειδώνεται. Είναι ηλεκτρομονωτικό.

2. Μεταλλικός φώσφορος **β**: Ο τύπου β μεταλλικός λαμβάνεται από τον λευκό φώσφορο με θέρμανση στους 200° C και υπό πίεση 12.000 atm. Είναι σώμα κρυσταλλικό με Ειδικό βάρος: 2,7 και Σημείο τήξεως: 587,5° C. Παρουσιάζει λίαν σταθερή μορφή και δεν αναφλέγεται στον αέρα ακόμη και αν θερμανθεί στους 400° C. Είναι καλός αγωγός του ηλεκτρισμού.

(<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A6%CF%89%CF%83%CF%86%CF%8C%CF%81%CE%BF%CF%82>).

2.5 Μορφές του φωσφόρου στο έδαφος

Ο φώσφορος είναι ένα από τα βασικά θρεπτικά στοιχεία και βρίσκεται στο έδαφος σε δυο μορφές:

1. Οργανικός φώσφορος (εστέρες φωσφορικών, εστέρες φωσφορολιπιδίων, νουκλεϊκών οξέων, φώσφορος συνδεδεμένος με το άμυλο)

2. Ανόργανος φώσφορος

Ενώσεις με ασβέστιο (φθοριοαπατίτης, ανθρακικός απατίτης υδροξυαπατίτης, οξυαπατίτης)

Ενώσεις με σίδηρο και αργίλιο (στρεγκίτης, βιβιανίτης, βαρισκίτης, ταρανακίτης)

Τα κύρια χαρακτηριστικά του είναι:

1. η μικρή διαλυτότητα των φωσφορικών ορυκτών και

2. η δέσμευσή του στις επιφάνειες των ορυκτών του εδάφους το οποίο συνεπάγεται σε χαμηλές συγκεντρώσεις του φωσφόρου στο εδαφικό διάλυμα (Μήτσιος, 2004).

2.6 Παράγοντες που επηρεάζουν τη διαθεσιμότητα φωσφόρου του εδάφους

Η ποσότητα του διαθέσιμου P εξαρτάται από:

1. το pH του εδάφους
2. τη ρυθμιστική ικανότητα
3. τη συγκέντρωση του P στο εδαφικό διάλυμα
4. το πορώδες και την υγρασία του εδάφους
5. το ρυθμό διάλυσης των φωσφορικών ενώσεων και της εκρόφησης του P από τα φωσφορικά σύμπλοκα
6. τη διάχυση του P μέσα στο έδαφος
7. από την περιεκτικότητα του εδάφους σε σίδηρο, σε ανθρακικά, σε άργιλο, σε οργανικό P καθώς και από την ενεργό επιφάνεια των ανθρακικών (Α. Δημήρκου, Π. Παπαδόπουλος, 1989, Α. Δημήρκου-Ιωάννου, Α. Ιωάννου, Π. Παπαδόπουλος, Μ. Ντούλα 1992, Α. Δημήρκου, Α. Ιωάννου, Μ. Ντούλα, Χ. Δεληγιάννη, 1994, Α. Δημήρκου, Α. Ιωάννου, Ε. Λουκάκης, 1994, Α. Dimirkou, Ch Kallianou, Α. Ioannou 1996, Μ. Doula, Α. Ioannou, Α. Dimirkou, 1996, Α. Ioannou, Α. Dimirkou, Ρ. Papadopoulos, G. Füleky, 1999.)

2.7 Πρόσληψη φωσφόρου από τα φυτά

Ο φώσφορος του εδάφους μετακινείται προς τις ρίζες κυρίως με διάχυση και λιγότερο με μαζική ροή, 1% της συνολικής προσλαμβανόμενης ποσότητας. Η μετακίνηση του φωσφόρου προς τις ρίζες των φυτών με διάχυση επηρεάζεται από την ηλικία, το βάθος, το μήκος και την πυκνότητα των ριζών, από τη συγκέντρωση του φωσφόρου στο εδαφικό διάλυμα, από την υγρασία και το πορώδες του

εδάφους, από τη δαιδαλώδη διαδρομή του εδάφους και γενικά από όσους παράγοντες επιδρούν στη διάχυση. Επειδή ο φώσφορος έχει μικρό συντελεστή διάχυσης στο έδαφος η πρόσληψή του από τα φυτά εξαρτάται από το μήκος του ριζικού συστήματος. Επομένως κάθε αιτία που εμποδίζει την αύξηση των ριζών θα προκαλέσει μείωση των ποσοτήτων του φωσφόρου που τα φυτά προσλαμβάνουν. Οι ρίζες των φυτών προσλαμβάνουν φώσφορο μόνο από την περιοχή που βρίσκεται κοντά στη ρίζα. Η μεγαλύτερη ποσότητα που εφοδιάζονται τα σιτηρά συμβαίνει κατά την έντονη περίοδο ανάπτυξης αυτών, η δε ζώνη εξάντλησης του φωσφόρου έχει ακτίνα 2-3mm γύρω από τις ρίζες. Επομένως το εκτεταμένο ριζικό σύστημα έχει μεγάλη σημασία για τον επαρκή εφοδιασμό των φυτών με φώσφορο.

Η πρόσληψη του φωσφόρου από τα φυτά επηρεάζεται από:

- Τη συγκέντρωση του φωσφόρου στο εδαφικό διάλυμα
- Την ποσότητα του εκχυλιζόμενου φωσφόρου
- Τη μεταβολή της ρυθμιστικής ικανότητας του εδάφους
- Τις χημικές μεταβολές που πραγματοποιούνται στη ριζόσφαιρα
- Την ανοργανοποίηση του οργανικού φωσφόρου (Μήτσιος, 2004)

2.8 Η διαθεσιμότητα του φωσφόρου στα όξινα εδάφη

Στα όξινα εδάφη τα φωσφορικά ιόντα σχηματίζουν ισχυρούς χημικούς δεσμούς με τη στερεά φάση του εδάφους με αποτέλεσμα η διαθεσιμότητα του φωσφόρου να είναι πολύ μικρή. Ειδικότερα τα φωσφορικά ιόντα προσροφώνται στις επιφάνειες των ελεύθερων οξειδίων του Fe και Al.

Το αργίλιο δημιουργεί δεσμούς με το φώσφορο στις επιφάνειες των ριζών, στα κυτταρικά τοιχώματα και στους μεσοκυττάριους χώρους των ριζών με αποτέλεσμα να μειώνεται πολύ η διαθεσιμότητα του φωσφόρου (Μήτσιος, 2001).

2.9 Η διαθεσιμότητα του φωσφόρου στα ασβεστούχα εδάφη

Στα ασβεστούχα εδάφη η διαθεσιμότητα του φωσφόρου είναι συνήθως μικρή. Σε $pH > 7$ το εδαφικό διάλυμα βρίσκεται σε χημική ισορροπία με το φωσφορικό οκτασβέστιο. Οι Webber and Mattingly (1970) διαπίστωσαν ότι το δυναμικό του φωσφορικού ασβεστίου μειώνεται, καθώς το ποσοστό του $CaCO_3$ και

το pH υψώνεται και ότι η συγκέντρωση του H_2PO_4 στο εδαφικό διάλυμα μειώθηκε από 10^{-5} M σε 10^{-6} M όταν το έδαφος περιείχε 70 mg P kg^{-1} εδάφους (Μέθοδος Olsen). Επειδή τα ασβεστούχα εδάφη περιέχουν μεγάλο ποσοστό $CaCO_3$ τα εδάφη αυτά δε δεσμεύουν μεγάλες ποσότητες φωσφόρου. Αυτό συμβαίνει γιατί οι επιφάνειες προσρόφησης του $CaCO_3$ δεν έχουν μεγάλη προσροφητική ικανότητα και γιατί τα ένυδρα οξείδια διαλύονται και καταστρέφονται με αυτόν τον τρόπο οι επιφάνειες προσρόφησης.

Ο συντελεστής διάχυσης του φωσφόρου στη ριζόσφαιρα θα αυξηθεί με τη μείωση της ρυθμιστικής ικανότητας του εδάφους στη ριζόσφαιρα με αποτέλεσμα την αύξηση της διαθεσιμότητας του φωσφόρου. Η δέσμευση των φωσφορικών λιπασμάτων στα ασβεστούχα εδάφη εξαρτάται από τον αριθμό των επιφανειών που διαθέτουν μεγάλες δυνάμεις προσρόφησης ή από τον αριθμό των επιφανειών που διαθέτουν μικρές δυνάμεις προσρόφησης καθώς και από τον βαθμό που οι επιφάνειες αυτές έχουν κορεσθεί με φωσφορικά ιόντα πριν τη φωσφορική λίπανση. Η αξιοποίηση των φωσφορικών λιπασμάτων στα ασβεστούχα εδάφη εξαρτάται από την ανθεκτικότητα των φυτών στα εδάφη αυτά.

Το σιτάρι είναι ανθεκτικό στο ασβέστιο και δεν παρατηρούνται στα φυτά σιταριού δυσμενείς επιδράσεις από την μεγάλη περιεκτικότητα των εδαφών σε $CaCO_3$. Στα ασβεστούχα εδάφη το σιτάρι αξιοποιεί σημαντικές ποσότητες εδαφικού φωσφόρου. Αντίθετα, η τομάτα είναι φυτό ευαίσθητο στα ασβεστούχα εδάφη και αδυνατεί να αξιοποιήσει το φώσφορο του εδάφους, ακόμη κι αν προστεθούν σε αυτό άφθονες ποσότητες φωσφορικών λιπασμάτων. Η μεγάλη συγκέντρωση των όξινων ανθρακικών ιόντων επιδρά άμεσα στην πρόσληψη του φωσφόρου από τα φυτά ή επιδρά έμμεσα εξαιτίας των τροφοπενιών του σιδήρου και μαγγανίου. Μεγάλες ποσότητες φωσφορικών λιπασμάτων επιτείνουν τα συμπτώματα της χλώρωσης στα φυτά (Μήτσιος, 2004).

2.10 Εφαρμογές

Ο φωσφόρος χρησιμοποιείται κυρίως στη βιομηχανία πυρείων (σπίρτων), στη μεταλλουργία για την παρασκευή φωσφορούχων ορειχάλκων, στη βιομηχανία χημικών προϊόντων για την παρασκευή πεντοξειδίου, πεντοχλωριδίου και τριχλωριδίου του φωσφόρου κυρίως ως μωκτόνο αλλά και στη βιομηχανία

χρωμάτων. Ο φώσφορος ενώνεται άμεσα ή έμμεσα με μεγάλο αριθμό χημικών στοιχείων (με μέταλλα ή αμέταλλα)

(<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A6%CF%89%CF%83%CF%86%CF%8C%CF%81%CE%BF%CF%82>).

2.11 Συμπτώματα τροφοπενίας φωσφόρου

Συμπτώματα έλλειψης φωσφόρου είναι ο σκούρος αποχρωματισμός των παλαιότερων χαμηλών φύλλων. Το φυτό έχει καθυστερημένη ανάπτυξη, γίνεται νάνο με αδύναμο στέλεχος, έχει μειωμένη ανθοφορία και το ριζικό σύστημα παραμένει φτωχό. Έλλειψη φωσφόρου προκαλεί σε πολλά είδη καρπών σχίσσιμο π.χ. κεράσια και αποτελεί μία αιτία για εμφάνιση ασθενειών κυρίως στα γιγαρτόκαρπα.



2.12 Περίσσεια φωσφόρου

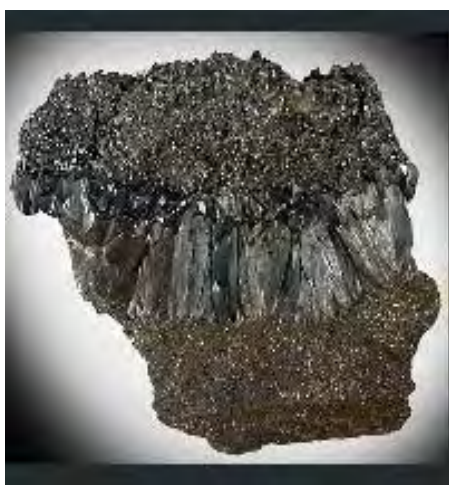
Οι υπερβολικές ποσότητες P μπορεί να προκαλέσουν τροφοπενία σιδήρου, μαγγανίου ή ψευδαργύρου εξαιτίας της αδιαλυτοποίησης των στοιχείων αυτών (Μήτσιος 2004). Υπερβολική φωσφορική λίπανση σε καλλιέργεια πατάτας μπορεί να προκαλέσει έλλειψη ψευδαργύρου.

Επίσης μεγάλες περιεκτικότητες P μπορούν να οδηγήσουν στο φαινόμενο του ευτροφισμού των λιμναίων συστημάτων γλυκών νερών. Έχει καθοριστεί ως μέση περιεκτικότητα του ολικού φωσφόρου στους σχηματισμούς γλυκού νερού για τη δημιουργία του φαινομένου του ευτροφισμού τα 90 μg ολικού φωσφόρου στο λίτρο. Η ευρωπαϊκή ένωση έχει θεσπίσει ποιοτικά κριτήρια του ύδατος για οικιακή χρήση με την οδηγία «πόσιμου ύδατος» (Drinking water Directive 80/778/EEC) με

την οποία καθορίζεται ως ανώτατο αποδεκτό όριο τα 5000 $\mu\text{g P}_2\text{O}_5$ με συνιστώμενη τιμή τα 400 $\mu\text{g P}_2\text{O}_5$ (Μήτσιος, 2004).

3. ΓΚΑΙΤΙΤΗΣ

Ο γκαιτίτης (εικόνα 3.1, 3.2) είναι το ορυκτό που έχει χημικό τύπο $\alpha\text{-FeOOH}$ ανήκει στην κατηγορία των υδροξειδίων και κρυσταλλώνεται στο ρομβικό σύστημα. Πήρε το όνομα του προς τιμήν του Γερμανού ποιητή, συγγραφέα και φιλόσοφο Johann Wolfgang von Goethe (1749-1832). Το ορυκτό ανακαλύφθηκε το 1806 σε περιοχές της Γερμανίας (<http://www.mindat.org>).



Εικόνες 3.1, 3.2: Ορυκτό του γκαιτίτη

Έχει λάμψη αδαμαντώδη, μεταλλική, ημιμεταλλική, μεταξώδη ή θαμπή. Το χρώμα του διαφέρει και μπορεί να πάρει πολλές αποχρώσεις του καστανού μέχρι του μαύρου, του ωχροκίτρινου ή του καστανοκίτρινου. Η σκληρότητά του κυμαίνεται από 5 – 5,5 Mohs ενώ το ειδικό του βάρος από 3,3 - 4,3 g/cm³. Μπορεί να είναι ημιδιαφανής ή αδιαφανής. Οι κρύσταλλοί του είναι σπάνιοι, πρισματικοί με κατακόρυφες γραμμώσεις. Είναι προϊόν αποσάθρωσης των σιδηρούχων ορυκτών ενώ αποτελεί μέταλλευμα σιδήρου. Συναφή ορυκτά με τον γκαιτίτη βάση της κατάταξης του Strunz (<http://www.mindat.org>) είναι τα παρακάτω:

4/F.06-10	Diaspore	AlO (OH)
4/F.06-20	Böhmite	AlO (OH)
4/F.06-25	Tsumgallite	GaO (OH)
4/F.06-40	Lepidocrocite	Fe ^{γ-3+} O(OH)
4/F.06-50	Akaganéite	Fe ^{β-3+} O(OH, Cl)
4/F.06-60	Feroxyhyte	Fe ³⁺ O(OH)
4/F.06-70	Manganite	Mn ³⁺ O(OH)
4/F.06-80	Groutite	Mn ³⁺ O(OH)
4/F.06-90	Feitknechtite	Mn ³⁺ O(OH)

Η ύπαρξη γκαιίτη στο περιβάλλον είναι περιορισμένη όχι όμως στα εδάφη, όπου το ορυκτό αυτό είναι το πιο κοινό οξείδιο του σιδήρου, αλλά επίσης απαντάται σε αποθέσεις μεταλλευμάτων, σε θαλάσσια ιζήματα και σε βιολογικούς ιστούς. Από τα τέσσερα οξείδια του σιδήρου, ο αιματίτης και κυρίως ο λειμωνίτης βρίσκονται σε μεγαλύτερες ποσότητες από τον γκαιίτη και τον μαγνητίτη. Τα ορυκτά αυτά απελευθερώνουν σίδηρο και προσδίδουν στο έδαφος χαρακτηριστικές κοκκινοκίτρινες αποχρώσεις (κοκκινόχωμα).

Ο φυσικός γκαιίτης που υπάρχει στο περιβάλλον συνήθως δεν βρίσκεται σε καθαρή μορφή (α -FeOOH) ενώ περιέχει προσμίξεις από διάφορα ξένα στοιχεία όπως είναι το Mn και το H₂O. Για τις περισσότερες προσμίξεις δεν έχει γίνει συστηματική έρευνα και δεν είναι γνωστό για τα περισσότερα στοιχεία με ποιο ακριβώς τρόπο συγκρατούνται στο κρυσταλλικό πλέγμα του γκαιίτη. Το αργίλιο μπορεί να προσροφηθεί σε αρκετά μεγάλο ποσοστό (περισσότερο από 33%) με ισόμορφη αντικατάσταση του καλίου.

Δεν υπάρχουν συγκεκριμένα δεδομένα σε σχέση με την επικινδυνότητα για την υγεία ή πιθανή τοξικότητά του, παρόλα αυτά δείγματα του ορυκτού θα πρέπει πάντα να μεταχειρίζονται ως πιθανώς τοξικά ή επικίνδυνα και να παίρνονται τα κατάλληλα μέτρα.

Μετά από έρευνες έχει βρεθεί ότι στα εδάφη το πλήρως οξειδωμένο σελήνιο αντιδρά κατά προτίμηση με τα οξείδια και υδροξείδια του σιδήρου άρα και τον γκαιίτη. Η προσρόφηση του σεληνίου από τον γκαιίτη είναι ιδιαίτερα σημαντική καθώς, όταν τα επίπεδα του σεληνίου στο έδαφος είναι υψηλά, συχνά

συσσωρεύεται στα φυτά με αποτέλεσμα να δρα τοξικά στα ζώα που θα τα καταναλώσουν.

Στον ελλαδικό χώρο γκαιτίτης έχει βρεθεί σε ασβεστόλιθους στην Κρήτη. Τα πετρώματα της περιοχής αυτής περιέχουν ασβεστίτη σε ποσοστό που κυμαίνεται από 80% έως 84% ενώ σε μικρότερες αναλογίες περιέχονται ιλλίτης, χαλαζίας, αλβίτης και γκαιτίτης.

Ο γκαιτίτης αποτελεί ένα παραπροϊόν της υδρομεταλλουργικής διαδικασίας για την παρασκευή μεταλλικού ψευδαργύρου. Εξαιτίας της παρουσίας προσμίξεων (Zn, Pb, Ni, Cd, Cu, κ.λ.π.) και της μεγάλης ποσότητας που παράγεται ετησίως, η διάθεση του γκαιτίτη αποτελεί ένα σοβαρό περιβαλλοντικό πρόβλημα που ανεγείρει κοινωνικές και οικονομικές δυσκολίες για τις βιομηχανίες παρασκευής ψευδαργύρου. Μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση για την ανακύκλωση του γκαιτίτη σε συνδυασμό με άλλα βιομηχανικά κατάλοιπα και την παρασκευή υλικών υαλουργίας.

4. ΖΕΟΛΙΘΟΣ

Οι ζεόλιθοι (εικόνα 4.1) είναι αργιλλοπυριτικά ορυκτά μιας ευρείας ομάδας ένυδρων αργιλλοπυριτικών ορυκτών με στενές ομοιότητες στη χημική σύνθεση και τη βασική κρυσταλλική δομή. Χαρακτηρίζονται από ένα τρισδιάστατο αργιλλοπυριτικό πλέγμα, όπου υπάρχουν κατιόντα αλκαλίων και αλκαλικών γαιών κυρίως Na^+ και Ca^{2+} καθώς και μεγάλες ποσότητες H_2O που εισέρχονται στα κενά του πλέγματος. Πολλοί ζεόλιθοι τήκονται με ταυτόχρονη αύξηση του όγκου τους. Η ιδιότητα αυτή έγινε γνωστή από τον Σουηδό ορυκτολόγο Barol Axel Fredrick Cronstedt, ο οποίος ανακάλυψε το 1756 καλά σχηματισμένους κρυστάλλους και τους ονόμασε ζεόλιθους από τις ελληνικές λέξεις «ζέω» και «λίθος», δηλαδή αναβράσουσες πέτρες. Κι αυτό γιατί όταν θερμαίνεται χάνει άμεσα όλο το νερό του υπό μορφή φυσαλίδων, δίνοντας έτσι την εντύπωση ότι βράζει.



Εικόνα 4.1. Το ορυκτό ζεόλιθος (υπό μορφή πούδρας)

4.1 Δομή

Το κύριο δομικό στοιχείο των ζεόλιθων είναι ένα τετράεδρο από τέσσερα οξυγόνα που περιστοιχίζουν ένα μικρό άτομο πυριτίου ή αργιλίου. Το δομικό πλέγμα των ζεόλιθων συνίσταται από τετράεδρα SiO_4 και AlO_4 έτσι ώστε κάθε οξυγόνο να βρίσκεται μεταξύ δύο τετραέδρων.

Η ατομική αναλογία του οξυγόνου προς τα άτομα του αργιλίου και του πυριτίου είναι ίση με δύο. Επειδή το αργίλιο έχει ένα λιγότερο αρνητικό φορτίο απ' ό,τι το πυρίτιο το πλέγμα έχει ένα αρνητικό σθένος το οποίο εξισορροπείται από την ιονική ανταλλαγή. Κάθε ιόν K^+ και Na^+ μπορεί να εξισορροπήσει ένα Al αλλά κάθε ιόν Ca^{2+} με δύο θετικά σθένη μπορεί να εξισορροπήσει δύο Al. Άστριοι και αστριοειδή έχουν παρόμοια δομικά πλέγματα αλλά η δομή τους είναι πιο συμπαγής από αυτή των ζεόλιθων (Gottardi G., 1985).

Οι δομές των ζεόλιθων ομαδοποιούνται ανάλογα με το είδος των συνδέσεων μεταξύ των τετραέδρων σε:

- Συνδέσεις που είναι σχεδόν συγκεντρωμένες σε μια κρυσταλλογραφική διεύθυνση.
- Συνδέσεις συγκεντρωμένες σε ένα επίπεδο.
- Συνδέσεις ομοιόμορφα κατανεμημένες προς τις τρεις κρυσταλλογραφικές διευθύνσεις.

Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν ο νατρόλιθος, ο mesolite, ο σολεσίτης και ο τομσονίτης.

Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν οι ευλανδίτης, ο σωλβίτης και ο brewsterite.

Πρέπει επίσης, να αναφερθεί ότι στο πλέγμα των ζεόλιθων υπάρχουν κενοί χώροι, «κανάλια», μέσα στα οποία εισέρχονται τα μόρια νερού και τα κατιόντα που συγκρατούνται ασθενώς στο πλέγμα με αποτέλεσμα να μπορούν να αποσπασθούν και να αντικατασταθούν από άλλα ιόντα, χωρίς διάρρηξη των δεσμών του πλέγματος (Gottardi G., 1985).

4.2 Φυσικές και χημικές ιδιότητες

Οι ζεόλιθοι όταν είναι καθαροί είναι άχρωμοι ή λευκοί. Συχνά όμως λόγω της παρουσίας σε λεπτομερή διασπορά οξειδίων του σιδήρου και άλλων προσμίξεων παρουσιάζονται έγχρωμοι. Η πυκνότητά τους ποικίλει από 2 έως 2,3 $gr\ cm^{-3}$ εκτός των πλουσίων σε Ba ζεόλιθων στους οποίους η πυκνότητα κυμαίνεται μεταξύ 2,5 και 2,8 $gr\ cm^{-3}$. Ο δείκτης διάθλασης των διαφόρων μελών της ομάδας κυμαίνεται μεταξύ 1,47 και 1,52.

Ο ζεόλιθος είναι ένα πορώδες ορυκτό με τεράστια ιοντοανταλλακτική ικανότητα και λόγω αυτής, μπορεί να φιλτράρει το νερό δεσμεύοντας μέταλλα και οργανικές ενώσεις.

Μεγάλο ενδιαφέρον προκάλεσε η παρουσία μεγάλων κενών χώρων και καναλιών στο πλέγμα των ζεόλιθων. Όταν το νερό αποβληθεί, οι χώροι αυτοί είναι δυνατόν να πληρωθούν με διάφορες αερίωδεις ουσίες, όπως αμμωνία, ατμούς ιωδίου ή ακόμα και ατμούς υδραργύρου, π.χ. ο τοσμονίτης απορροφά την αιθυλική αλκοόλη και την ισοπροπυλική αλκοόλη. Η διεργασία αυτή εξαρτάται από το εκάστοτε είδος ζεόλιθου. Ειδικότερα μόρια που έχουν μεγαλύτερη διάμετρο από αυτή των καναλιών δε μπορούν να μπουν στα κοιλώματα της δομής των ζεόλιθων και έτσι είναι αδύνατον να προσροφηθούν. Σε αυτή την απλή αρχή βασίζεται η γνωστή εφαρμογή πολλών ζεόλιθων ως «μοριακά κόσκινα» που χρησιμοποιούνται κυρίως για το διαχωρισμό αέριων μειγμάτων (Gottardi G., 1985).

Το εύρος των καναλιών όμως δεν είναι η μόνη προϋπόθεση για τη διαπερατότητα αφού η παρουσία πολλών κατιόντων μπορεί να φράξει τα κανάλια ενώ η μοριακή και η ιοντική διάχυση επηρεάζονται από το προσροφημένο νερό. Γενικά η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων ελαττώνεται με την απώλεια νερού.

Με εξαίρεση τον ανάλκιμο και τον νατρόλιθο στους περισσότερους πυριτικούς ζεόλιθους το K^+ και Na^+ τείνουν να είναι πιο εύκολα ανταλλάξιμα από το Ca^{2+} αφού είναι μονοσθενή και έτσι συγκρατούνται με ασθενέστερο ηλεκτροστατικό φορτίο.

Στους περισσότερους ζεόλιθους σε κάθε μόριο νερού αντιστοιχεί ένας αριθμός από πιθανές θέσεις στο εσωτερικό του πλέγματος και αυτό μπορεί να μετακινείται από τη μία στην άλλη. Γενικά, οι ασβεστούχοι ζεόλιθοι απορροφούν περισσότερο νερό. Στον χαβαζίτη, τον ευλανδίτη και τον στυλβίτη το νερό συγκρατείται ευκολότερα όταν αυτοί έχουν στο πλέγμα τους Ca^{2+} και όχι K^+ (Gottardi G., 1985).

4.3 Χημισμός

Οι περισσότεροι ζεόλιθοι δείχνουν μια θεωρητική διαφοροποίηση στη χημική σύνθεση συμπεριλαμβανομένης και της διαφοροποίησης στην περιεκτικότητα σε νερό, την περιεκτικότητα των κατιόντων και το λόγο Si/Al. Τα περισσότερα συνηθισμένα κατιόντα στους φυσικούς ζεόλιθους είναι το K^+ , το Na^+

και το Ca^{2+} . Το βάριο, το στρόντιο και το μαγνήσιο βρίσκονται εντούτοις σε μερικούς ζεόλιθους. Το βάριο είναι υψηλής ενέργειας κατιόν στο Harmotone των ζεόλιθων (Kuzvart M., 1984).

Αν και το κάλιο περιέχεται σε πολλούς ζεόλιθους γενικά δεν είναι υψηλής ενέργειας κατιόν ίσως λόγω του μεγάλου σχετικά μεγέθους του.

Ο κανονικός αριθμός των K^+ , Na^+ , Ca^{2+} ατόμων στο σχηματισμό των ζεόλιθων πρέπει να σχετίζεται με το λόγο Si/Al και προκύπτει από τη σχέση: $\text{K} + \text{Na} + \text{Ca} = \text{Al}$.

Οι αντικαταστάτες των Al^{3+} από Si^{4+} στο πλέγμα του ζεόλιθου απαιτούν την παρουσία ενός κατιόντος το οποίο θα διατηρήσει την ισορροπία. Η μεγαλύτερη αντικατάσταση Al για Si γίνεται όταν ο λόγος Si/Al τείνει στο ένα. Ο tomondine και ο Gonnadite είναι οι μόνοι φυσικοί ζεόλιθοι που έχουν Si/Al που τείνει στη μονάδα. Ένας εμπορικής σημασίας ζεόλιθος που ονομάζεται Type A έχει συντεθεί με λόγο Si/Al = 1 (Kuzvart M., 1984).

Η μικρότερη αντικατάσταση Al^{3+} από Si^{4+} είναι στον mordenite ο οποίος έχει λόγο Si/Al περίπου 5. Όπως και οι άστριοι έτσι και οι ζεόλιθοι δίνουν αντικατάσταση του Ca^{2+} και Al^{3+} από K^+ , Na^+ και Si. Γίνεται αντικατάσταση, επίσης, Ca^{2+} από Na^+ και K^+ χωρίς να αλλάζει η δομή του πλέγματος. Αυτή η τελευταία αντικατάσταση μπορεί να υπάρξει στους ζεόλιθους κάθε στιγμή μετά την κρυστάλλωσή τους.

Ο λόγος Si/Al ενός ζεόλιθου είναι σχεδόν καθορισμένος από τη στιγμή της κρυστάλλωσης και δεν διαμορφώνεται περιστασιακά ανάλογα με τη δυσκολία της κίνησης του Si και Al στο πλέγμα.

Μερικοί ερευνητές έχουν βρει μια σχέση μεταξύ της περιεκτικότητας σε νερό των ζεόλιθων και το είδος του εναλλασσόμενου κατιόντος στη δομή. Γενικά μπορεί να λεχθεί ότι η περιεκτικότητα σε νερό των ζεόλιθων μεγαλώνει καθώς μειώνεται η ακτίνα του κατιόντος (Kuzvart M., 1984).

Η περιεκτικότητα σε νερό είναι επίσης μεγαλύτερη για ένα δισθενές κατιόν από ότι για ένα μονοσθενές κατιόν με την ίδια ακτίνα.

Όσον αφορά, τα περιβάλλοντα πετρώματα πιστεύεται ότι οι ζεόλιθοι, είναι μεταξύ των πλέον πυριτικών ορυκτών που απαντούν στα ιζηματογενή κοιτάσματα του τύπου αυτού και είναι τα μεγαλύτερα και τα πλέον ενδιαφέροντα από οικονομικής άποψης. Σχηματίζονται σε διάφορα από άποψη ηλικίας, λιθολογίας και

αποθέσεως περιβάλλοντα κατά τη διεργασία της διαγενετικής εξαλλοιώσεως των ιζηματογενών πετρωμάτων.

4.4 Ζεόλιθοι ανά τον κόσμο

Ιαπωνία: για πρώτη φορά το 1949 ανακαλύφθηκε κοιτάσμα ζεόλιθων με μεγάλη περιεκτικότητα σε κλινοπτινόλιθο μέσα σε συμπαγείς πράσινους τόφφους καθώς και κοιτάσματα μορντενίτη μέσα σε μειοκενικούς μπεντονίτες. Τώρα, στην Ιαπωνία υπάρχουν 14 εταιρείες που εκμεταλλεύονται τα κοιτάσματα ζεόλιθων. Δύο από αυτές παράγουν ποσότητες μεγαλύτερες από 10.000 τόνους το χρόνο. Μαζί με τους ζεόλιθους εξορύσσεται και μοντμοριλονίτης (Kuzvart M., 1984).

Η.Π.Α.: η παραγωγή ζεόλιθων είναι πολύ μικρή παρότι έγιναν σημαντικές επενδύσεις σε αυτόν τον τομέα. Υπάρχουν τρία κοιτάσματα στην Αριζόνα, στην Καλιφόρνια και στη Νεβάδα. Το μέταλλευμα αποτελείται από χαβαζίτη, κλινοπτινόλιθο, εριονίτη. Τελευταία, έχει ξεκινήσει η χρήση των ζεόλιθων σε εμπορικές εφαρμογές (Kuzvart M., 1984).

Κούβα: έχουν βρεθεί μεγάλα αποθέματα ζεόλιθων. Το μέταλλευμα αποτελείται από κλινοπτινόλιθο, ευλανδίτη, μορντενίτη, ανάκλιμο. Τα στρώματα μεταλλεύματος έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε Ca και χαμηλή περιεκτικότητα σε Na. Στην Κούβα οι ζεόλιθοι χρησιμοποιούνται στη γεωργία και στην κτηνοτροφία (Kuzvart M., 1984).

Στον υπόλοιπο κόσμο αποθέματα ζεόλιθων πλούσια σε κλινοπτινόλιθο, εργονίτη, μορντενίτη έχουν βρεθεί στην Α. Ευρώπη, στη Γερμανία, στην Τουρκία και στην Ιταλία. Στην Τουρκία και στην Ελλάδα δεν έχει αναπτυχθεί η εκμετάλλευση των ζεόλιθων, αφού χρησιμοποιούνται κυρίως σαν συστατικό στα τσιμέντα.

4.5 Ζεόλιθοι στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα η συστηματική κοιτασματολογική έρευνα για ανεύρεση ζεόλιθων άρχισε να εκτελείται από το ΙΓΜΕ περίπου πριν μια δεκαετία. Η έρευνα αυτή είναι αποτέλεσμα του γεγονότος ότι οι ζεόλιθοι βρίσκουν εφαρμογές σε πολυάριθμους τομείς που καθημερινά αυξάνουν και έχουν καταστεί από τα πολυτιμότερα μη μεταλλικά ορυκτά (Κοσιάρης Γ., 1991).

Οι ζεόλιθοι στον ελλαδικό χώρο υποδιαιρούνται:

- Με βάση τα πετρώματα που συναντώνται.
- Με βάση τον τρόπο γέννησής τους.

Οι ζεόλιθοι στον ελλαδικό χώρο διακρίνονται:

1. **Ζεόλιθοι μέσα σε βαλσατικά πετρώματα.** Μέσα σε αμυγδαλοειδή και διάκενα βαλσατικών και ανδρεσιτικών λαβών αναπτύσσονται καλοσχηματισμένοι κρύσταλλοι φυσικών ζεόλιθων. Οι γνωστότερες περιοχές εύρεσης ζεόλιθων σε ανδρεσιτικές λαβές είναι:

- Το όρος Όρθρυς, όπου απαντώνται τα ορυκτά λομοντίνης, στυλβίτης και νατρόλιθος.
- Η Δυτική Θράκη (Βυρίνη), όπου βρέθηκαν κρύσταλλοι στυλβίτη και λαβμονίτη.
- Η Λήμνος, όπου απαντώνται κρύσταλλοι νατρόλιθου και δομσονίτη.
- Η Μυτιλήνη και
- Η Σάμος, όπου βρέθηκαν κρύσταλλοι νατρόλιθου και αναλκίμου.

2. **Ζεόλιθοι σε τοφφικά υλικά.** Μόλις στα μέσα της δεκαετίας του 1970 άρχισαν να μελετώνται οι ζεόλιθοι των τοφφών με βάση διαφορετικά μοντέλα σχηματισμού. Για την Ελλάδα ισχύουν τέσσερα μοντέλα δημιουργίας:

- Ζεόλιθοι που οφείλουν τη γένεσή τους σε περιβάλλον αβαθούς θάλασσας (ανοιχτού υδρολογικού συστήματος). Σε αυτό το μοντέλο ανήκουν οι περιοχές: Δυτική Θράκη, Μεταξάδες, Πεντάλοφος, Λευκίμη, Κίρκη και Φερρές όπου τα κύρια ζεολιθικά ορυκτά είναι ο κλινοπτινόλιθος και ο μορδενίτης. Αυτά τα ορυκτά περιέχουν σε μικρές ποσότητες καλιούχους αστρίους, χαλαζίες, βιοτίτες και σε ασήμαντη αναλογία αργιλικά ορυκτά (χλωρίτες, ιλλίτες, βερμικουλίτη).

- Ζεόλιθοι ανοιχτού υδρολογικού συστήματος. Απαντώνται στα νησιά Μήλος, Κίμωλος, Σαντορίνη, Πολύαιγος. Σε αυτές τις περιοχές έχουμε όξινης σύστασης τοφφίτες πράσινου χρώματος. Τα τοφφικά υλικά εμφανίζονται πάρα πολύ λεπτομερή με αποτέλεσμα η μικροκρυσταλλική τους μάζα μερικές φορές στο μικροσκόπιο να φαίνεται άμορφη. Το μέγεθός της είναι μικρότερο από 0,02 mm. Τα κύρια ζεολιθικά ορυκτά είναι ο μορντενίτης και ο κλινοπτινόλιθος που συνοδεύονται από σμεκτίτη.

- Αποθέσεις αλκαλικών αλμυρών λιμνών. Το μοντέλο αυτό συναντάται στη δυτική λεκάνη της Σάμου, στο Καρλόβασι, όπου έχουμε τραχειτικής σύστασης πετρώματα με χρώματα γκρι, καφέ, πράσινα πολύ

λεπτομερή, τα οποία κατατάσσονται στην ηφαιστειακή στάχτη. Τα πετρώματα αυτά έχει βρεθεί ότι περιέχουν κλινοπτινόλιθο, ανάλκιμο καθώς και σε μικρότερες ποσότητες μορντενίτη, οπάλιο C, χριστοβαλίτη, τριδυμίτη και μεγάλες ποσότητες αυθιγενούς K – άστριου και σμεκτίτη.

- Ζεόλιθοι που οφείλουν τη γένεσή τους σε υδροθερμική εξαλλοίωση. Τέτοιο μοντέλο συναντάμε στα ερείπια της Βυρίνης και στα «άσπρα χώματα» Φερρών. Τα ζεολιθικά ορυκτά που συναντάμε είναι μορδενίτης, στιλβίτης και κλινοπτινόλιθος, τα οποία περιέχουν σε μικρότερες ποσότητες χαλαζία, άστριους και θραύσματα ασβεστίτη. Η υδροθερμική ζεολιθίωση στις περιοχές αυτές είναι νεότερη του Πριαμπονίου γιατί τα φλεβίδια του στιλβίτη διαπερνούν τους ηφαιστειοϊζηματογενείς σχηματισμούς Πριαμπονίου.

- Ζεόλιθοι σε ιζηματογενή πετρώματα. Μοντέλο σχηματισμού είναι σε λιμναίο ή θαλάσσιο περιβάλλον χωρίς απευθείας μαρτύριο για ύπαρξη αρχικού ηφαιστειακού υλικού. Οι περιοχές που ισχύει αυτό το μοντέλο είναι: η Λευκάδα, η Ζάκυνθος και η Κεφαλονιά. Το μοναδικό ζεολιθικό ορυκτό, το οποίο προσδιορίζεται μετά την απομάκρυνση των ανθρακικών ορυκτών των δειγμάτων είναι ο κλινοπτινόλιθος. Τα πετρώματα στα οποία φιλοξενείται είναι μάργες πορσελανίτες (πλούσια σε χαλκηδόνιο και οπάλιο CT). Ο κλινοπτινόλιθος προκύπτει από την υδρόλυση του βιογενούς πυριτίου. Με τον όρο βιογενές πυρίτιο εννοούμε το πυρίτιο που προέκυψε στη φύση από την αποσύνθεση των ζωντανών οργανισμών όπως είναι τα ακτινόζωα, τα διάτομα, οι βελόνες και οι σπόγγοι.

Από άποψη αποθεμάτων η περίπτωση αυτή είναι μη επιθυμητή γιατί ο ζεόλιθος αποτελεί μικρό ποσοστό του πετρώματος.

Συμπερασματικά, οι φυσικοί ζεόλιθοι παρουσιάζονται μέσα σε ηφαιστειακούς τοφφούς στο προσκήνιο σαν ένα δυναμικό κομμάτι του ορυκτού πλούτου της χώρας μας. Γι' αυτό χρειάζεται η δημιουργία όλων των προϋποθέσεων για την ολοκληρωμένη έρευνά τους.

Οι σχηματισμοί που φιλοξενούνται είναι ηφαιστειακοί τοφφοί. Η εξόρυξη και η κατεργασία τους είναι απλή και δεν απαιτεί μεγάλες δαπάνες ενώ από την άλλη πλευρά οι τομείς εφαρμογών έχουν ευρύ φάσμα με μεγάλες δυνατότητες αξιοποίησής τους προς όφελος της βιομηχανικής και οικονομικής ανάπτυξης της χώρας.

4.6 Χρήσεις ζεόλιθων

Σκοπός κάθε επιστημονικής έρευνας είναι η άντληση χρήσιμων για τον άνθρωπο πληροφοριών. Χρήσιμο λοιπόν είναι να αναφερθούμε λεπτομερώς στη χρήση των ζεόλιθων. Οι ζεόλιθοι χρησιμοποιούνται σύμφωνα με τον Dyer A. (1984),:

- **Ως προσθετικά χορτομάζας.** Οι ζεόλιθοι χρησιμεύουν σαν προσθετικά μάζας στην Ιαπωνία γιατί δεν υπάρχουν στη χώρα άλλα πληρωτικά όπως π.χ. ο καολίνης. Στην αγορά της Ιαπωνίας χρησιμοποιείται η μεγαλύτερη ποσότητα φυσικών ζεόλιθων. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιούνται περίπου 44.000 τόνοι το χρόνο. Η ποιότητα που χρησιμοποιείται είναι τοφφοί με κλινοπτινόλιθο. Αυτό το υλικό επεξεργασμένο αυξάνει και το πάχος του χαρτιού.

- **Ως εδαφοβελτιωτικό.** Περίπου 5.000 – 6.000 τόνοι ζεόλιθων χρησιμοποιούνται σαν βελτιωτικά εδαφών στην Ιαπωνία. Η χρήση αυτών των ζεόλιθων και κυρίως του κλινοπτινόλιθου είναι πολλαπλή. Συγκεκριμένα, οι ζεόλιθοι με σωστό μέγεθος δεν χρησιμοποιούνται μόνο για τον αερισμό των εδαφών και για την εξουδετέρωση των όξινων εδαφών αλλά ελέγχουν αποτελεσματικά την ελευθέρωση του αμμωνίου, του αζώτου και του καλίου από τα λιπάσματα. Έτσι, η λίπανση που συνήθως ξεπλένεται από τα επιφανειακά νερά ή από τον ήλιο παραμένει για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα μέσα στο έδαφος. Ο ζεόλιθος βρίσκεται στα λιπάσματα είτε ακατέργαστος είτε εμπλουτισμένος από ιόντα αμμωνίου και καλίου. Επίσης, είναι δυνατόν με τη βοήθεια του ζεόλιθου να απομακρυνθούν και κάποια άλλα στοιχεία – βαρέα μέταλλα από το έδαφος όπως π.χ. το κάδμιο, ο χαλκός, το μαγγάνιο και ο ψευδάργυρος. Η χρήση του ακατέργαστου ζεόλιθου προτιμάται λόγω χαμηλότερου κόστους.

- **Ως αποσκληρυντικό στα απορρυπαντικά.** Η χρήση του ζεόλιθου στον τομέα των απορρυπαντικών έχει συζητηθεί πολύ τα τελευταία χρόνια όχι μόνο ως αποσκληρυντικό του νερού αλλά και ως απορροφητικό των βαφών των χρωστικών ουσιών. Επίσης, ο ζεόλιθος χρησιμοποιείται και ως υπόστρωμα για την απόθεση των ελάχιστα διαλυτών αλάτων. Η κύρια τάση σε αυτή την εφαρμογή αφορά την αντικατάσταση του νατρίουχου τριφωσφορικού άλατος το οποίο χρησιμοποιείται ως αποσκληρυντικό του νερού. Οι υπερβολικές ποσότητες όμως του φωσφορικού άλατος προκαλούν σημαντική ρύπανση με αποτέλεσμα την

ανάγκη αντικατάστασής του από άλλο συστατικό. Ο ζεόλιθος παρουσιάζει το μειονέκτημα ότι δεν προσδίδει λευκό χρώμα στα απορρυπαντικά όπως το φωσφορικό άλας. Αν όμως μελλοντικά υπάρξει κάποια νομοθετική ρύθμιση τότε οι ζεόλιθοι θα είναι αυτοί που θα αντικαταστήσουν το φωσφορικό άλας. Βέβαια πρέπει να γίνει μελέτη για το μέγεθος και το μοριακό σχήμα που θα πρέπει να έχουν οι ζεόλιθοι ώστε να μην δημιουργούν πρόβλημα στην πλύση των ρούχων. Έτσι, οι ζεόλιθοι μπορούν να αποτελέσουν μια πολύ επικερδή αγορά.

- Με την προσθήκη του ζεόλιθου στο πλύσιμο - σε κατάλληλη μορφή - μπορεί να μειώσει την ποσότητα του απορρυπαντικού έως και 70 % και να εξαλείψει την ανάγκη μαλακτικού (Herries et al., 1992).

- **Ο ζεόλιθος αυξάνει τη διάρκεια ζωής των υφασμάτων και μειώνει τις πιθανές αλλεργίες που προκαλούν οι χημικές ουσίες των απορρυπαντικών.**

- **Στην κτηνοτροφία.** Οι Ιάπωνες χρησιμοποίησαν φυσικούς ζεόλιθους (κλινοπτινόλιθο, μορντενίτη) ως προσθετικό στην τροφή για τις κότες, τα χοιρινά και τα βοοειδή. Με τη χρήση του ζεόλιθου ως προσθετικό στην τροφή παρατηρήθηκε ότι ο ρυθμός ανάπτυξης των ζώων αυξήθηκε, η αξία των ζωοτροφών μειώθηκε, τα περιστατικά νόσων των πεπτικών οργάνων ελαττώθηκαν ενώ η ίδια η ζωοτροφή προστατεύεται από το μούχλιασμα. Σε γενικές γραμμές, ο ζεόλιθος, εμφανίζεται να λειτουργεί ως προστατευτική ασπίδα στο στομάχι των μηρυκαστικών, όπου εξαιτίας της εκλεκτικότητας στο ιόν του αμμωνίου, το άζωτο συγκεντρώνεται στο πεπτικό σύστημα του ζώου και απελευθερώνεται μόνο σταδιακά διαμέσου της ανταλλαγής ιόντων Na^+ και K^+ που προέρχονται από το σάλιο που εισέρχεται στο στομάχι. Έτσι, το όφελος είναι μεγαλύτερο λόγω της συγκράτησης των θρεπτικών συστατικών για μεγαλύτερο διάστημα στον οργανισμό του ζώου. Πρέπει βέβαια να μελετηθεί η αναλογία των ζεόλιθων στις ζωοτροφές για τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα. Τέλος, στις κτηνοτροφικές μονάδες εφαρμόζοντας το ζεόλιθο στο δάπεδο σε ποσότητες 2 - 3 κιλά ανά τ.μ., αφενός απορροφά την αμμωνία μειώνοντας και τις επιβλαβείς αναθυμιάσεις και αφετέρου μετά μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως λίπασμα (Willis M., 2002).

- **Στις ιχθυοκαλλιέργειες.** Κυρίως ο κλινοπτινόλιθος και λιγότερο ο μοντερνίτης χρησιμοποιούνται στον χώρο της ιχθυοκαλλιέργειας. Στα ιχθυοτροφεία, όπου ο χώρος είναι κλειστός και δεν υπάρχει παρατεταμένη

ανανέωση των υδάτων η αποβολή αμμωνίας από το ίδιο το ψάρι μπορεί να φτάσει σε τοξικά επίπεδα. Η παρουσία του ζεόλιθου στο νερό μειώνει την περιεκτικότητα της αμμωνίας και έτσι μειώνεται η θνησιμότητα των ιχθύων. Η εφαρμογή αυτή παρουσιάζει ένα αδύνατο σημείο γιατί ο ζεόλιθος στο θαλάσσιο νερό έχει την προτίμηση να συγκρατεί τα ιόντα Na^+ αντί του αμμωνίου. Αυτή η δυσκολία μπορεί να ξεπεραστεί με τη χρήση μεμβράνης «φίλτρου» που θα επιτρέπει στα ιόντα του αμμωνίου να διαπερνούν μέσα από αυτή, σε καθαρό νερό χαμηλότερου pH, αφήνοντας πίσω τα ιόντα του Na^+ . Επίσης, ο ζεόλιθος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα σημαντικό στοιχείο διατροφής που θα βοηθήσει την ανάπτυξη των φυτών.

- **Στον έλεγχο της ρύπανσης.** Πρόσφατες μελέτες έδειξαν ότι οι ζεόλιθοι σε πολλές εφαρμογές μπορούν να περιορίσουν τη ρύπανση. Οι περισσότερες από αυτές βασίζονται στην ικανότητα συγκεκριμένων ζεόλιθων να ανταλλάσσουν εκλεκτικά κατιόντα σε ένυδρα διαλύματα. Σημαντικά πεδία εφαρμογών αποτελούν τα ραδιενεργά κατάλοιπα, οι ακαθαρσίες των υπονόμων, τα απόβλητα από τις γεωργικές εργασίες, η απομάκρυνση του SO_2 από συγκεντρώσεις αερίων, η παραγωγή οξυγόνου και τέλος οι εργασίες καθαρισμού και διάλυσης των πετρελαιοκηλίδων. Ο κλινοπτινόλιθος είναι εκλεκτικός στην απομάκρυνση των ραδιενεργών καισίου και στροντίου από τα χαμηλού βαθμού απόβλητα των πυρηνικών εγκαταστάσεων. Μετά την απομάκρυνση, τα ιόντα μπορούν να αποθηκευτούν στο ζεόλιθο ή να απομακρυνθούν με χημικά μέσα. Πολλοί προβλέπουν ότι οι ζεόλιθοι θα παίξουν σημαντικό ρόλο στην ασφαλή ανάπτυξη της χρήσης της ραδιενέργειας μιας και είναι φθηνότεροι από τις ρυτίνες που χρησιμοποιούνται ως τώρα. Επίσης, η απομάκρυνση του SO_2 και άλλων αερίων θα αποτελέσει μια πολύ σημαντική εφαρμογή για τους φυτικούς ζεόλιθους. Αν και το κόστος τους είναι υψηλό μερικοί μοντερνίτες και κλινοπτινόλιθοι είναι ικανοί να απορροφήσουν περισσότερα από 200 mg SO_2 /gr ζεόλιθου διευκολύνοντας έτσι την απομάκρυνση του SO_2 . Η χρήση των ζεόλιθων σε αυτή την εφαρμογή είναι πολύ σημαντική γιατί επιτρέπει σε γαιάνθρακες με υψηλό περιεχόμενο σε S να χρησιμοποιηθούν στην παραγωγή ηλεκτρισμού. Τέλος, στη βιομηχανία ο ζεόλιθος χρησιμοποιείται στα φίλτρα για την δέσμευση του διοξειδίου του άνθρακα και άλλων βλαβερών ενώσεων. Ακόμα, ο ζεόλιθος χρησιμοποιείται στο φιλτράρισμα των υγρών βιομηχανικών αποβλήτων δεσμεύοντας διάφορα τοξικά και ραδιενεργά ιόντα και στην ανακύκλωση των νερών που προέρχονται από την βιομηχανική δραστηριότητα.

- **Για τον καθαρισμό των υγρών.** Οι φυσικοί ζεόλιθοι και κυρίως ο κλινοπτινόλιθος χρησιμοποιήθηκαν για τον καθαρισμό και την επεξεργασία των λυμάτων από τις βιομηχανίες και τα ξενοδοχεία στην Ιαπωνία και τις Η.Π.Α. με εντυπωσιακά αποτελέσματα.

- **Στα οικοδομικά υλικά.** Οι ζεόλιθοι χρησιμοποιούνται ως συστατικό στο τσιμέντο και ως συστατικό χαμηλής αντοχής στα μονωτικά υλικά. Επίσης, οι φυσικοί ζεόλιθοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την απομάκρυνση του πλεονάζοντος διοξειδίου του άνθρακα από ορισμένα φυσικά αέρια για την παραγωγή μεγαλύτερης θερμότητας κατά τη καύση τους. Ακόμα, οι ζεόλιθοι χρησιμοποιούνται για το διαχωρισμό του αζώτου και του οξυγόνου στον αέρα. Ο αέρας μετά από το διαχωρισμό αυτό περιέχει 95 % οξυγόνο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στα νοσοκομεία, στην επεξεργασία του νερού που θα χρησιμοποιηθεί για τον καθαρισμό των μετάλλων και στον αποχρωματισμό του χαρτοπολτού.

- **Οι φυσικοί ζεόλιθοι μπορούν να δεσμεύουν με ιονταλλαγή τα ιόντα των βαρέων μετάλλων** όπως π.χ. του μόλυβδου, του χρωμίου, του χαλκού, του καδμίου, του μαγγανίου και να απομακρύνουν τους ρυπαντές αυτούς από βιομηχανικά και μεταλλευτικά απόβλητα. Μπορούν, επίσης, να δεσμεύουν πολύτιμα και ημιπολύτιμα μέταλλα όπως ο χρυσός και ο άργυρος.

- **Βοηθάει στη συγκράτηση της υγρασίας ιδιαίτερα στα αμμώδη εδάφη.** Ο ζεόλιθος χρησιμοποιείται σε ποσότητες από 500 έως 1.000 κιλά το στρέμμα στις υπαίθριες καλλιέργειες και σε ποσοστό 5 % έως 10% στα μείγματα της ανθοκομίας.

- **Ως συνεργηστικό υλικό των χημικών λιπασμάτων** για την βραδεία αποδέσμευσή τους.

- Αναμεμειγμένος με άμμο στα δοχεία των μικρών κατοικίδιων ο ζεόλιθος **απορροφά τις οσμές.**

- Η προσθήκη ζεόλιθου σε λίμνες αλλά και σε άλλους υδάτινους όγκους μπορεί να εμπλουτίσει το νερό σε οξυγόνο και **μειώνει το φαινόμενο του ευτροφισμού.**

- **Ως βελτιωτικό της διαύγειας του νερού.**

- **Στην ανάπτυξη και τον πολλαπλασιασμό πολλών υδρόβιων οργανισμών** (Εφημερίδα Καθημερινή, 08/04/06).

Να σημειωθεί ότι μελέτες που πραγματοποιήθηκαν από τον καθηγητή Γεωλογίας του Α.Π.Θ. Ανέστη Φιλιππίδη έδειξαν ότι η εφαρμογή του ορυκτού ζεόλιθου στον αγροτικό κάμπο της Θεσσαλονίκης είχε ευεργετικές ιδιότητες. Και αυτό γιατί τα αποτελέσματα έδειξαν ότι με την προσθήκη του Ελληνικού Φυσικού Ζεόλιθου (ΕΛΦΥΖΕ) στα γεωργικά εδάφη βελτιώνεται το ριζικό σύστημα των φυτών και αυξάνεται η παραγωγή κατά 29 έως 57 % στο σιτάρι, κατά 34 % στο ρύζι, κατά 50 % στο καλαμπόκι και κατά 52 % στην ντομάτα. Μάλιστα, στην ντομάτα βελτιώθηκαν και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της κατά 4 % στα διαλυτά στερεά, κατά 26 % στη βιταμίνη C και κατά 46 % στη συνεκτικότητα.

Ακόμη, με τη χρήση του ζεόλιθου παρατηρήθηκε ότι μειώθηκε η χρήση λιπασμάτων κατά 56 έως 100 % και η χρήση ύδατος άρδευσης κατά 33 έως 67%. Επίσης, αποτράπηκε η έκπλυση επιβλαβών ουσιών από το χερσαίο στο υδάτινο περιβάλλον, μειώθηκε ο ευτροφισμός των υδάτων και προστατεύτηκε η ποιότητα των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων.

Στην Ελλάδα, σε αντίθεση με άλλες χώρες όπως ΗΠΑ, Καναδάς, Ρουμανία, υπολογίζεται ότι χρησιμοποιούνται μόνο περί 20.000 τόνους ζεόλιθου το χρόνο ως εδαφοβελτιωτικό για γεωργική χρήση. Ο ζεόλιθος, σύμφωνα με τους επιστήμονες, είναι ένα πορώδες ορυκτό με τεράστια ιοντοανταλλακτική ικανότητα. Εξαιτίας της ιοντοανταλλακτικής του ικανότητας έχει τη δυνατότητα να φιλτράρει το νερό «κρατώντας» μέταλλα και οργανικές ενώσεις γι' αυτό και τοποθετείται ευρέως σε φίλτρα καθαρισμού νερού.

Να σημειωθεί ότι αν ο ζεόλιθος βρεθεί σε υδάτινο περιβάλλον, μπορεί μέσα σε λίγο χρονικό διάστημα να μετατρέψει το pH σε ουδέτερο. Σε πειράματα που έγιναν στο παρελθόν διαπιστώθηκε ότι εάν ο ζεόλιθος είχε χρησιμοποιηθεί στην περίπτωση της Κορώνειας τότε η λίμνη θα σωζόταν. Μεταξύ άλλων η έρευνα κατέληξε ότι με τη χρήση του ζεόλιθου θα δεσμεύονταν οι επιβλαβείς ουσίες, οι αέριες φάσεις και τα βακτηρίδια. Επιπλέον θα βελτιωνόταν η διαύγεια του νερού, θα ρυθμιζόταν η τιμή του pH του νερού σε ουδέτερο, θα εμπλουτιζόταν σε οξυγόνο το νερό και θα βελτιωνόταν κατά συνέπεια η διαβίωση των οργανισμών στο υδάτινο οικοσύστημα. Ο ζεόλιθος θα μπορούσε να επαναφέρει στο φυσιολογικό την οξύτητα του νερού της λίμνης, η οποία είναι πλέον έντονα αλκαλική.

Σε ό,τι αφορά την παραλίμνια ζώνη επρόκειτο να επέλθει βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης και ανάπτυξης των οργανισμών και φυτών της ενώ σε περίπτωση που γινόταν κατεργασία των αστικών λυμάτων και των υγρών

αποβλήτων με ζεόλιθο τότε τα νερά θα ήταν καθαρότερα πριν εισρεύσουν στη λίμνη.

Όπως διαπιστώνει κανείς οι εφαρμογές των φυσικών ζεόλιθων είναι ενδιαφέρουσες. Συνεπώς, οι επενδύσεις είναι απαραίτητες και η ευκαιρία εδραίωσης των ζεόλιθων στο εμπόριο δεν πρέπει να χαθεί.

5. ΜΠΕΝΤΟΝΙΤΗΣ

Ο μπεντονίτης (εικόνα 5.1) είναι πλαστική άργιλος που προέρχεται από την in situ μετατροπή ηφαιστειακής τέφρας.

Ο μπεντονίτης είναι ένα αργιλικό πέτρωμα με κύριο συστατικό το ορυκτό μοντμοριλλονίτη ($\text{AlO}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) σε ποσοστό μεγαλύτερο από 80 %.

Όταν η περιεκτικότητα σε μοντμοριλλονίτη είναι μικρότερη (60–80 %), το υλικό χαρακτηρίζεται ως μπεντονιτική άργιλος. Ο μπεντονίτης πήρε το όνομά του από την τοποθεσία Fort Benton της πολιτείας Yoming των Η.Π.Α., όπου πρωτοανακαλύφθηκε και άρχισε να εξορύσσεται.



Εικόνα 5.1. Το ορυκτό μπεντονίτης

Η ευρεία χρήση του ακατέργαστου ή κατεργασμένου μπεντονίτη οφείλεται στις παρακάτω χαρακτηριστικές του ιδιότητες:

- μεγάλη προσροφητική ικανότητα,
- υψηλή πλαστικότητα,
- δυνατότητα ιοντοανταλλαγής,
- θιξοτροπία σε ιξώδη αιωρήματα,
- δυνατότητα να δρα σαν συνδετικό υλικό, κ.λ.π.

(<http://www.isocon.gr/showprod.php?id=45>).

Τις ιδιότητες του αυτές τις οφείλει κύρια στο βασικό ορυκτολογικό του συστατικό τον μοντμοριλλονίτη όπως και στα άλλα συνυπάρχοντα ορυκτά της ομάδας των σμεκτιτών μπαϊντελλίτη (beidellite), νοντρονίτη (nontronite), εκτορίτη (Li-hectorite) και σαπονίτη (saponite).

Ο μοντμοριλλονίτης και τα ορυκτά της ομάδας του χαρακτηρίζονται ως ορυκτά δομής 2:1. Αποτελούνται δηλαδή από δύο φύλλα τετραέδρων $[\text{SiO}_4]^{4-}$ τα οποία εμπεριέχουν μια στρώση κατιόντων Al^{3+} , Mg^{2+} ή Fe^{2+} σε οκταεδρική διάταξη.

Όταν το Si^{4+} του κέντρου των τετραέδρων υποκατασταθεί από ιόντα μικρότερου σθένους π.χ. από Al^{3+} ή όταν το Al^{3+} των οκταέδρων υποκατασταθεί από δισθενή κατιόντα π.χ. Mg^{2+} , Fe^{2+} , τότε δημιουργείται περίσσεια αρνητικών φορτίων τα οποία εξουδετερώνονται με δέσμευση άλλων κατιόντων υπό ανταλλάξιμη μορφή προκειμένου να επέλθει ηλεκτροστατική ισορροπία (California Earth Minerals Corp., 2003).

Έτσι, ο μοντμοριλλονίτης αποκτά την τάση να προσροφά και να συγκρατεί κατιόντα (κυρίως Na^+ , Ca^{2+}), ανάλογα με την παρουσία τους στο περιβάλλον του.

Ο μοντμοριλλονίτης προσροφά πολλά μόρια νερού τόσο στην επιφάνειά του όσο κυρίως και στο διαστρωματικό του χώρο (interlayer space) λόγω των ασθενών δυνάμεων που αναπτύσσονται μεταξύ των κρυστάλλων του. Έτσι, τα μόρια του νερού τα οποία εισδύουν μεταξύ των κρυστάλλων προκαλούν την απομάκρυνση των κρυστάλλων αυτών μέχρι την πλήρη διασπορά τους σε ιξώδες αιώρημα.

Πίνακας 5.1. Χημικές αναλύσεις μοντμοριλλονίτη.

	1	2	3	4	5	6
SiO₂	53.98	51.14	51.52	49.90	51.90	59.75
TiO₂	0.08	-	0.48	-	0.23	-
Al₂O₃	15.97	19.76	17.15	20.23	18.61	24.41
Fe₂O₃	0.95	0.83	5.65	1.23	2.81	3.73
FeO	0.19	-	0.32	0.21	0.95	-
MnO	0.06	-	-	-	0.03	-
MgO	4.47	3.22	2.80	2.20	3.29	3.10
CaO	2.30	1.62	1.72	2.41	3.52	3.36
Na₂O	0.13	0.11	0.15	0.25	0.64	-
K₂O	0.12	0.04	0.85	0.06	1.59	1.44
H₂O⁺	9.12	7.99	8.55	8.84	6.05	3.93
H₂O⁻	13.06	14.81	11.22	14.58	10.40	-
Total	100.43	99.52	100.41	99.91	100.02	99.82

Όπως φαίνεται από διάφορες χημικές αναλύσεις (πίνακας 5.1), ο μοντμοριλλονίτης εκτός από το Al_2O_3 και το SiO_2 , περιέχει Fe_2O_3 και MgO , εξ' αιτίας των υποκαταστάσεων που συμβαίνουν στο πλέγμα του. Περιέχει επίσης και K_2O , Na_2O και CaO , δεδομένου ότι προσροφά τα αντίστοιχα κατιόντα

προκειμένου να εξουδετερωθεί η περίσσεια των αρνητικών φορτίων και να επέλθει ηλεκτροστατική ισορροπία (Mitchell and Soga, 2005).

Οι φυσικοί μπεντονίτες ανάλογα με το εάν το υπό ανταλλάξιμη μορφή επικρατούν κατιόν στο μοντμοριλλονίτη είναι το Ca^{2+} ή το Na^+ χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες:

- Τους νατριούχους μπεντονίτες ή ισχυρά διογκούμενους μπεντονίτες ή «Wyoming type», οι οποίοι προσροφούν ικανές ποσότητες νερού και διογκώνονται μέχρι και το 20-πλάσιο του αρχικού ξηρού όγκου τους. Σε περίσσεια H_2O οι μπεντονίτες αυτοί παραμένουν ως αιωρήματα.
- Τους ασβεστούχους μπεντονίτες (εδώ ανήκουν και οι καλιούχοι μπεντονίτες) ή «μη διογκούμενους μπεντονίτες» ή «μεταμπεντονίτες», οι οποίοι προσροφούν περισσότερο νερό από άλλες αργίλους. Δε διογκώνονται όμως σε αξιόλογο βαθμό και καθιζάνουν γρήγορα στο H_2O .

Πίνακας 5.2. Χημικές αναλύσεις φυσικών μπεντονιτών διαφόρων προελεύσεων

Σε ξηρό δείγμα	Η.Π.Α. Wyoming	Η.Π.Α. Mississippi	Ιταλία Ponze	Γερμανία Mossburg	Μήλος (Κώμια)	Μήλος (Τρογαλάς)
SiO_2	64.32	64.00	67.42	59.42	67.46	69.68
Al_2O_3	20.74	17.10	15.83	19.08	16.10	17.09
$\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$	3.49	4.70	0.88	4.64	3.60	2.16
TiO_2	0.14	-	-	0.26	0.26	0.20
CaO	0.52	1.50	2.64	2.14	2.62	0.96
MgO	2.30	3.80	1.09	4.72	1.40	2.18
Na_2O	2.59	0.20	0.30	0.08	0.72	0.44
H_2O	0.39	0.50	0.79	0.36	0.87	0.44
P_2O_4	0.01	-	-	ίχνη	ίχνη	ίχνη
SO_3	0.35	-	0.01	ίχνη	0.32	0.87
Απώλεια Πύρωσης	5.14	8.00	10.88	9.04	6.40	5.05
Σύνολο	99.99	99.80	99.84	99.74	99.75	100.09

Στον πίνακα 5.2 δίνονται οι χημικές αναλύσεις διαφόρων τύπων μπεντονίτη. Ο πρώτος τύπος, μπεντονίτης «Wyoming» των Η.Π.Α. χαρακτηρίζεται ως νατριούχος μπεντονίτης ($\text{Na}_2\text{O}=2.59\%$, $\text{CaO}=0.52\%$) ενώ όλοι οι άλλοι είναι ασβεστούχοι μπεντονίτες ($\text{CaO}: 0.96-2.64\%$, $\text{Na}_2\text{O}: 0.08-0.72\%$).

Οι μπεντονίτες των οποίων η περιεκτικότητα σε Ca , κυρίως, αλλά και σε ανταλλάξιμο Mg , είναι υψηλή ενώ αντίθετα η περιεκτικότητά τους σε Na είναι

χαμηλή χαρακτηρίζονται ως «μπεντονίτες κατώτερης ποιότητας» (low-grade bentonites).

Η ορυκτολογική σύσταση του μπεντονίτη προσδιορίζεται με πολωτικό μικροσκόπιο, με μεθόδους ακτίνων X, με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, με διαφορική θερμική ανάλυση (D.T.A.), με χρωματογραφικές μεθόδους, κ.λ.π..

Ο βαθμός διόγκωσης εκτιμάται βάζοντας 2 g ξηρού και κονιοποιημένου μπεντονίτη σε 100 ml H₂O σε ένα ειδικά βαθμολογημένο σωλήνα και διαβάζοντας τον όγκο μετά τη διόγκωση.

Το χρώμα του μπεντονίτη είναι συνήθως κιτρινοπράσινο ή γκρι κοντά στην επιφάνεια του εδάφους και οφείλεται στην ύπαρξη τρισθενούς σιδήρου (Fe³⁺) ενώ σε βάθος μεγαλύτερο από δέκα μέτρα το χρώμα γίνεται μπλε ή πράσινο και οφείλεται στο γεγονός ότι στα βαθύτερα στρώματα ο σίδηρος εμφανίζεται ως δισθενής (Fe²⁺). Επειδή η οξείδωση προχωρεί μέσω των ραγμών του εδάφους είναι δυνατόν να συναντήσουμε και στα βαθύτερα στρώματα μπεντονίτη με κίτρινο ή πράσινο χρώμα.

Η αναλογία των ιοντοανταλλακτικών κατιόντων Na/Ca αυξάνεται από τον μπλε προς τον κίτρινο μπεντονίτη όπως επίσης και η ποιότητά του.

Ο μπεντονίτης συνήθως εξορύσσεται από υπαίθρια λατομεία. Αρκετές φορές εξορύσσεται και με υπόγεια έργα όπως στις Η.Π.Α, στην Αγγλία, κ.λ.π..

Στη συνέχεια, υφίσταται φρύξη στους 80 °C και κονιοποίηση. Ο κονιοποιημένος μπεντονίτης μεταφέρεται σε πλαστικούς σάκους για να αποφευχθεί η απορρόφηση υγρασίας.

Η μεταφορά δια θαλάσσης του ελληνικού μπεντονίτη στον ανατολικό Καναδά, όπου χρησιμοποιείται για τη μετατροπή του σιδηρομεταλλεύματος σε «pellets» είναι οικονομικά περισσότερο συμφέρουσα από τη μεταφορά του σιδηροδρομικά από το πολύ πιο κοντινό Wyoming των Η.Π.Α.. Γι' αυτό σήμερα οι έρευνες για μπεντονίτη γίνονται κοντά σε λιμάνια σε όλες τις ηπείρους.

5.1 Χρήσεις

Ο μπεντονίτης είναι γνωστός από τις αρχές του αιώνα μας. Από το 1930 χρησιμοποιήθηκε ευρέως στη διύλιση, στη διήθηση, στον καθαρισμό και στον αποχρωματισμό του πετρελαίου.

Κύρια εφαρμογή βρίσκεται στις γεωτρήσεις πετρελαίου, ειδικά ο νατριούχος μπεντονίτης, ο οποίος αποτελείται κατά 70-90 % από υλικό με διάμετρο κόκκων μικρότερο των 0.0005 mm (0.5 μm). Αυτό το υλικό δημιουργεί με το νερό σταθερό αιώρημα με υψηλό ιξώδες και μεγάλη θιξοτροπία, εξ αιτίας του ότι σπάνε οι ασθενείς ηλεκτρικοί δεσμοί και δημιουργείται διασπορά. Το αιώρημα αυτό δρα σαν λειαντικό στα γεωτρήματα και στεγανοποιεί τα τοιχώματα της γεώτρησης.

Στις Η.Π.Α. το 1/3 της κατανάλωσης του νατριούχου μπεντονίτη και το 10% του ασβεστούχου μπεντονίτη χρησιμοποιούνται γι' αυτό το σκοπό. Το είδος του υλικού που χρησιμοποιείται για τον πολφό της γεώτρησης (drilling mud) εξαρτάται από το βάθος, τη γεωγραφική θέση όπως και το είδος του πετρώματος που συναντά η γεώτρηση. Σε ορισμένες περιπτώσεις χρησιμοποιείται και βαρύτης προκειμένου να αυξηθεί το ειδικό βάρος του πολφού ενώ σε πολύ βαθιές γεωτρήσεις ή σε γεωτρήσεις γεωθερμίας χρησιμοποιείται ο σηπιόλιθος ($2\text{H}_2\text{O} \cdot 2\text{MgO} \cdot 3\text{SiO}_2$) επειδή το ορυκτό αυτό είναι σταθερό σε μεγάλες θερμοκρασίες.

Επίσης, το ορυκτό μπεντονίτης χρησιμοποιείται ευρέως και στη γεωργία για την αποκατάσταση των επιβαρυσμένων εδαφών με βαρέα μέταλλα (Cu, Zn, Cr, Cd, Mn, κ.α.). Ο μπεντονίτης παρουσιάζει υψηλή εκλεκτικότητα για τη δέσμευση βαρέων μετάλλων λόγω της ιδιότητάς του να παρουσιάζει ενεργή επιφάνεια και πορώδες στο οποίο μπορούν να προσροφηθούν κατιόντα και ανιόντα. Ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά του μπεντονίτη είναι τα εναλλάξιμα κατιόντα τα οποία μπορούν να αντικατασταθούν με άλλα κατιόντα όπως βαρέα μέταλλα με ιοντοεναλλαγή.

Ο μπεντονίτης χρησιμοποιείται και σε υδρογεωτρήσεις όπου εκτός από τη στεγανοποίηση συντελεί και στον καθαρισμό των τοιχωμάτων της γεώτρησης λόγω της θιξοτροπίας του.

Ακόμα, ο μπεντονίτης χρησιμοποιείται ευρέως ως συνδετικό υλικό στη σφαιροποίηση κονιοποιημένου σιδηρομεταλλεύματος (τακονιτικού σιδηρομεταλλεύματος).

Επίσης, στη βιομηχανία χυτηρίων ο μπεντονίτης χρησιμοποιείται σαν συνδετική ύλη για να προσδίδει πλαστικότητα σε άμμους χυτηρίων. Σ' αυτές τις περιπτώσεις πρέπει να πληρεί ορισμένες προδιαγραφές όσον αφορά την αντοχή στη συμπίεση καθώς και τη ρευστότητα και τη διαπερατότητα

(<http://www.tovima.gr/default.asp?pid=2&ct=33&artId=278211&dt=12/07/2009>).

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η χρήση του μπεντονίτη στην απομάκρυνση των ραδιενεργών αποβλήτων (removal of radioactive waste). Λόγω της πυροσυσσωμάτωσης (sintering) που παρουσιάζει ο μοντμοριλλονίτης κατά την πύρωση στους 900 °C – 1000 °C χάνει την ιοντοανταλλακτική του ικανότητα και έτσι συγκρατεί σταθερά τα ραδιενεργά κατιόντα, τα οποία έχει προσλάβει λόγω ιοντοανταλλαγής σε χαμηλές θερμοκρασίες.

Επιπλέον, ο μπεντονίτης χρησιμοποιείται στην ταφή των ραδιενεργών αποβλήτων. Αυτή η χρήση του μπεντονίτη οφείλεται κυρίως:

1. Στην πλαστική παραμόρφωση την οποία παρουσιάζει με την οποία εμποδίζεται η μετάδοση υπερβολικών πιέσεων στα δοχεία με τα ραδιενεργά απόβλητα.
2. Στην υδατοστεγανότητά του. Η υδατοστεγανότητα του μπεντονίτη περιορίζει την προσβολή των δοχείων που περιέχουν τα ραδιενεργά απόβλητα από το νερό για πάνω από 1000 χρόνια (η τοξικότητα των αποβλήτων ελαττώνεται στο 1 % της αρχικής τους τιμής).
3. Στην ιοντοανταλλακτική του ικανότητα. Λόγω της ιοντοανταλλακτικής του ικανότητας αυξάνεται ο χρόνος που απαιτείται ώστε οι ραδιενεργές ουσίες να διασχίσουν το στρώμα του μπεντονίτη (από 10⁴ χρόνια σε 10⁶ χρόνια). Έτσι, η τοξικότητα των περιεχομένων αποβλήτων μετά παρέλευση χρονικού διαστήματος 10000 ετών αντιστοιχεί σ' αυτή των φυσικών κοιτασμάτων.

Ο μπεντονίτης επίσης χρησιμοποιείται:

- Στη στεγανοποίηση φραγμάτων με στεγανοποιητικές τσιμεντενέσεις.
- Στην παρασκευή διαυγαστικών και αποχρωστικών γαιών προκειμένου να προσροφά λίπη, έλαια και χρωστικές ουσίες με βάση την ικανότητα του μοντμοριλλονίτη να προσροφά οργανικά μόρια μεταξύ των στρωμάτων του.
- Στη χαρτοποιία.
- Στη σταθεροποίηση γαλακτωμάτων στα καλλυντικά και σε προϊόντα οικιακής χρήσης, σε ηλεκτρικά κεραμικά.
- Ως μαλακτικό σε απολυμαντικά.
- Στην κεραμική δε μπορούν να κατασκευαστούν προϊόντα με υψηλή περιεκτικότητα σε μπεντονίτη λόγω της μεγάλης του πλαστικότητας. Σε ορισμένα ειδικά κεραμικά είναι δυνατόν η περιεκτικότητα σε μπεντονίτη να φτάσει το 5 % προκειμένου να βελτιστοποιηθούν ορισμένες ιδιότητές τους.

Ένα ποσοστό μπεντονίτη περίπου 0,5% προστιθέμενος σε βιοκεραμικά βελτιστοποιεί σημαντικά την πλαστικότητα και την αντοχή αυτών. Ακόμα, η μεγαλύτερη περιεκτικότητα του κεραμικού σε μπεντονίτη αλλοιώνει το χρώμα του δεδομένου ότι ο μπεντονίτης περιέχει σίδηρο, ο οποίος σε υψηλή θερμοκρασία σχηματίζει σκούρα καφέ υαλώματα.

- Ως προσροφητικό για την απομάκρυνση των ανεπιθύμητων ουσιών σε διάφορες διεργασίες και για την προσρόφηση των προσθέτων στα προϊόντα.
- Ως καταλύτης σε χημικές αντιδράσεις.
- Ως σταθεροποιητικό του αναμορφωμένου εδάφους και ως πηγή αποθήκευσης των θρεπτικών συστατικών και της υγρασίας

(<http://www.tovima.gr/default.asp?pid=2&ct=33&artId=278211&dt=12/07/2009>).

Η παγκόσμια παραγωγή του μπεντονίτη το 2003 ήταν 12.000.000 τόνοι. Η χώρα με τη μεγαλύτερη παραγωγή μπεντονίτη είναι οι Η.Π.Α. με την Ελλάδα να ακολουθεί. Η Ευρώπη έχει το 30,7 % της παγκόσμιας παραγωγής μπεντονίτη με την Ελλάδα να παράγει το 32,5 % της συνολικής παραγωγής στην Ευρωπαϊκή Ένωση.

6.ΜΑΡΟΥΛΙ

6.1 Γενικά για το φυτό

Το μαρούλι (*Lactuca sativa*) είναι ετήσιο, ποώδες φυτό. Είναι φυτό γρήγορης ανάπτυξης. Ανήκει στην υποοικογένεια *Lactucoideae* της μεγάλης οικογένειας των *Σύνθετων* (*Compositae*). Καλλιεργείται από τους Ρωμαϊκούς χρόνους και η προέλευσή του δεν είναι γνωστή. Το μαρούλι, με τη μορφή που καλλιεργείται σήμερα, θεωρείται ότι προέρχεται από το άγριο μαρούλι που απαντάται σε πολλές περιοχές της Ευρώπης.

Στην Ελλάδα το μαρούλι καλλιεργείται όλο το χρόνο αλλά κυρίως από νωρίς το φθινόπωρο μέχρι αργά την άνοιξη. Η ρίζα του είναι πασσαλώδης με μήκος έως μισό μέτρο. Τα φύλλα του βγαίνουν από το βλαστό που είναι κοντός χρώματος ανοιχτοπράσινου ή βαθυπράσινου. Η άνθιση του μαρουλιού γίνεται σταδιακά και οι καρποί του βγαίνουν 10-15 μέρες μετά την άνθιση. Τα μαρούλια πολλαπλασιάζονται με σπόρο. Η σπορά γίνεται σε φυτώρια ή σπορεία και σε 15 περίπου μέρες τα φυτάρια είναι έτοιμα για μεταφύτευση.

Ευδοκίμει σε δροσερές θερμοκρασίες και δεν αντέχει στη ζέστη. Στην Ελλάδα καλλιεργείται από το φθινόπωρο μέχρι την άνοιξη. Το καλοκαίρι καλλιεργείται σε ψυχρότερα κλίματα. Για την επιτυχία στην καλλιέργεια πρέπει να υπάρχει αρκετή εδαφική υγρασία, καλός φωτισμός και δροσερές νύχτες.

Το μαρούλι περιέχει διάφορες βιταμίνες (A, B, C και E) αλλά και υψηλά ποσοστά ασβεστίου που είναι απαραίτητα για τον ανθρώπινο οργανισμό. Ακόμα, θεωρείται ότι τα φύλλα και οι βλαστοί του μαρουλιού περιέχουν ένα γαλακτώδη χυμό που έχει φαρμακευτικές ιδιότητες (παυσίπονες αλλά και ναρκωτικές).

Το μαρούλι τρώγεται ωμό, σκέτο ή σε σαλάτες αλλά και μαγειρεμένο με κρέας (φρικασέ).

- Οι Η.Π.Α έχουν τη μεγαλύτερη παραγωγή στον κόσμο, ακολουθούν η Κίνα, η Ισπανία και ο Καναδάς. Στην Ελλάδα καλλιεργούνται 19.000 στρέμματα περίπου και η ετήσια παραγωγή φτάνει τους 25.000 τόνους (<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B1%CF%81%CE%BF%CF%8D%CE%BB%CE%B9>).

6.2 Βοτανικοί χαρακτήρες

Βλαστός

Πολύ κοντός κατά τη διάρκεια της βλαστικής φάσης και φέρει τα φύλλα πολύ πυκνά και αναπτύσσεται σημαντικά κατά τη φάση της αναπαραγωγής, δηλ. όταν σχηματίζεται ο ανθοφόρος βλαστός.

Φύλλα:

Τα φύλλα που είναι λεία, πλατειά, διαφόρου μεγέθους και σχήματος, ωοειδή, καρδιοειδή, επιμήκη, εμφανίζονται πάνω στον κοντό βλαστό κατά σπειροειδή διάταξη, είναι ακέραια ή κυματοειδή ή ακανόνιστα οδοντωτά. Τα πρώτα φύλλα είναι σχεδόν επίπεδα, ενώ τα επόμενα φύλλα εμφανίζουν διαφόρου βαθμού κύρτωση, ανάλογα με τύπο και την ποικιλία, και καλύπτει το ένα το άλλο σχηματίζοντας κεφάλι. Το χρώμα, ανάλογα με τον τύπο και την ποικιλία, κυμαίνεται από βαθύ πράσινο ή πρασινοκίτρινο ως με κοκκινωπή απόχρωση. Οι ποικιλίες που μπορούν να μεταχρωματίζονται σε κοκκινωπές όταν οι θερμοκρασίες είναι χαμηλές περιέχουν τη χρωστική ουσία ανθοκυανίνη.

Ανθικό στέλεχος- Άνθη:

Κατά την εποχή της αναπαραγωγής σχηματίζεται ανθικό στέλεχος (ανθοφόρος βλαστός) ύψους 60-120cm, όρθιο, λείο, χωρίς άκανθες, διακλαδιζόμενο και πολύφυλλο.

Τα άνθη είναι ερμαφρόδιτα και φέρονται σε ταξιανθίες – κεφαλές γύρω από τον ανθοφόρο βλαστό σε διακλαδώσεις, υπό μορφή κορυμβόμορφου βότρου ή φόβης και κάθε κεφαλή φέρει 15-25 άνθη. Τα άνθη (ανθίδια) είναι μικρά, κίτρινα, με στεφάνη που αποτελείται από 5 πέταλα ενωμένα μεταξύ τους, 5 στήμονες επίσης ενωμένους που σχηματίζουν σωλήνα γύρω από το στύλο, ο οποίος φέρει λεπτές τρίχες και καταλήγει σε δίλοβο στίγμα. Τα άνθη επί της ταξιανθίας ανοίγουν σχεδόν ταυτόχρονα και τα στίγματα είναι επιδεικτικά επικονίασης μόνο για μερικές ώρες το πρωί. Το μαρούλι αυτογονιμοποιείται. Όταν το άνθος είναι ώριμο και έτοιμο να ανοίξει, ο στύλος μεγαλώνει, οι ανθήρες ανοίγουν και ελευθερώνουν τη γύρη, η οποία πέφτει μέσα στον κώνο που σχηματίζουν και που βρίσκεται το στίγμα, με αποτέλεσμα να λάβει χώρα αυτεπικονίαση μόλις ανοίξει το άνθος. Η σταυρεπικονίαση είναι δύσκολο να γίνει, αφενός γιατί τα έντομα δεν ελκύονται από

τα άνθη του μαρουλιού, αφετέρου λόγω της ιδιαίτερης κατασκευής και λειτουργίας του άνθους. Πολύ σπάνια, και σε μικρό ποσοστό, μπορεί να λάβει χώρα σταυρεπικονίαση στο μαρούλι. Η παραγωγή υβριδισμένου σπόρου στο μαρούλι δεν είναι εύκολη και γι αυτό δεν κυκλοφορούν πολλά υβρίδια στην αγορά. Οι δυσκολίες για παραγωγή σπόρου υβριδίων οφείλεται στην αυτογονιμοποίηση του μαρουλιού, στη δυσκολία τεχνητής επικονίασης, λόγω της κατασκευής του άνθους και στη δυσκολία πρόκλησης αρρενοστεριότητας με χημικά ή γενετικά μέσα.

Καρπός:

Ο καρπός (σπόρος) είναι αχαίνιο, μικρός, επιμήκης (3-4 χλστ.), χρώματος πρασινωπού ή λευκωπού ή γκριζωπού, λείος με 5-7 ραβδώσεις και φέρει πάππο από λεπτές λευκές τρίχες, το χαρακτηριστικό των συνθέτων. Παλαιότερα, από τα σπέρματα γίνονταν εξαγωγή λαδιού μόνο από συμπίεση, το οποίο χρησιμοποιείτο για διατροφή και για φωτιστικούς σκοπούς (Αίγυπτος).

Ρίζα:

Το μαρούλι σχηματίζει ρίζα πασσαλώδη, όμως με τη διαδικασία της μιας ή περισσοτέρων μεταφυτεύσεων που ακολουθούνται, η κεντρική ρίζα του φυτού καταστρέφεται και αναπτύσσει θυσσανώδες επιφανειακό ριζικό σύστημα (Ολυμπίου Μ. Χρίστου, 2001).

6.3 Ποικιλίες του μαρουλιού

Τα μαρούλια είναι λεία, στρογγυλά ή κατσαρά. Υπάρχουν πάρα πολλές ποικιλίες μαρουλιού που μπορούν να διακριθούν σε τέσσερις βοτανικές ποικιλίες, τις παρακάτω:

- Ο φυλλώδης τύπος, στον οποίο τα φύλλα σχηματίζονται σαν ρόδα και δεν έχουν κεφαλή. Φύονται κατά δεκάδες και ανανεώνονται όταν τα πρώτα φύλλα κοπούν. Είναι κατσαρά ή μοιάζουν με της βελανιδιάς. Το χρώμα τους είναι πράσινο, ανοιχτό πράσινο ή και κόκκινο. Στον τύπο αυτό ανήκουν οι ποικιλίες σαλάτες Νεαπόλεως, αντιδομάρουλα και τα κοινά μαρούλια.

- Ο κεφαλωτός τύπος, με παχιά, μαλακά φύλλα που σχηματίζουν μία συμπαγή κεφαλή. Οι ποικιλίες εδώ είναι τα κόκκινα κλειστά μαρούλια, Μπατάβια, Σαλαμάνδρα, Νιού Γιορκ Ιμπέριαλ και άλλες.
- Ο τύπος μαρουλιού-σπαραγγιού με στενά φύλλα και παχύ σαρκώδη βλαστό. Οι ποικιλίες αυτού του τύπου καλλιεργούνται στην Ασία κυρίως για τους βλαστούς τους.
- Ο τύπος ρωμάνα με λεία σκληρά και ανορθωμένα φύλλα που σχηματίζουν ψηλή κεφαλή. Έχουν πολύ λεπτή γεύση και η υφή τους είναι τραγανή. Εδώ έχουμε τις ποικιλίες Σκουροπράσινο, λευκό Παρισιού και Κωνσταντινούπολης.
(<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B1%CF%81%CE%BF%CF%8D%CE%BB%CE%B9>).



Εικόνα 6.1 Σγουρό μαρούλι



Εικόνα 6.2 Κεφαλωτός τύπος μαρουλιού



Εικόνα 6.3 Μαρούλι τύπου ρωμάνα

Εικόνα 6.4 Μαρούλι iceberg



Εικόνα 6.5 Κόκκινο μαρούλι

Εικόνα 6.6. Πράσινο μαρούλι

6.4 Καλλιεργητικές απαιτήσεις

Θερμοκρασία – Φωτισμός. Η άριστη θερμοκρασία για τη βλάστηση των σπόρων είναι μεταξύ 15 – 21 °C. Το μαρούλι γενικά είναι φυτό ψυχρής εποχής και μπορεί να αντέξει και σε χαμηλές θερμοκρασίες, δηλαδή έως -5 °C. Ο φωτισμός είναι πολύ σημαντικός παράγοντας για τη βλάστηση των σπόρων καθώς και για την περαιτέρω ανάπτυξή του. Στην Ελλάδα, ο φωτισμός δεν αποτελεί περιοριστικό παράγοντα ανάπτυξης του φυτού λόγω της μεγάλης ηλιοφάνειας καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου, γι' αυτό και δεν χρειάζεται επιπλέον τεχνητός φωτισμός.



Έδαφος – Πότισμα. Το μαρούλι έχει υψηλές απαιτήσεις στο έδαφος. Επομένως, χρειάζεται εδάφη πολύ γόνιμα, πλούσια σε θρεπτικά στοιχεία, με καλή αποστράγγιση και πλούσια σε οργανική ουσία. Τα πιο κατάλληλα εδάφη για την καλλιέργεια του μαρουλιού είναι τα αμμοπηλώδη. Το λαχανικό αυτό δεν ανέχεται τα εδάφη με μεγάλες συγκεντρώσεις αλάτων γιατί προκαλεί καθυστέρηση στην ανάπτυξη του φυτού και υποβάθμιση της ποιότητας των φύλλων. Λόγω του επιφανειακού ριζώματος του μαρουλιού η συχνότητα των ποτισμάτων του πρέπει να είναι τακτική με μικρές ποσότητες νερού. Με αυτό τον τρόπο παραμένει συνεχώς υγρό το επιφανειακό έδαφος που είναι αναγκαίο για την καλύτερη ανάπτυξη του φυτού.

Λίπανση. Το μαρούλι, όπως έχει ήδη αναφερθεί παραπάνω, έχει μεγάλες απαιτήσεις σε θρεπτικά στοιχεία. Προτεινόμενο λίπασμα για την καλλιέργεια του μαρουλιού είναι το «Οικολογικό λίπασμα» της εταιρείας ΒΙΟΦΥΤ.

Εχθροί – Ασθένειες. Οι σημαντικότερες ασθένειες που προσβάλουν το μαρούλι είναι ο περονόσπορος, το ωίδιο, η αλτερναρίωση και οι σήψεις λαιμού. Τα κυριότερα έντομα που προκαλούν προβλήματα στην καλλιέργεια είναι: οι αφίδες, ο αλευρώδης, οι θρίπες, τα σαλιγκάρια, κ.α.

(<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B1%CF%81%CE%BF%CF%8D%CE%BB%CE%B9>).

7. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

7.1 Πείραμα προσρόφησης φωσφόρου με τη χρήση εδαφοβελτιωτικών

Το πρώτο πείραμα στο εργαστήριο πραγματοποιήθηκε το έτος 2008 στο εργαστήριο Εδαφολογίας της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Σκοπός αυτού του πειράματος ήταν η μελέτη της προσρόφησης του φωσφόρου από τα εδαφοβελτιωτικά γκαϊτίτη (G), ζεόλιθο-γκαϊτίτη κίτρινο (Z-G κίτρ. ή Z-GY) , ζεόλιθο-γκαϊτίτη κόκκινο (Z-G κοκ. ή Z-GR), μπεντονίτη (B) και ζεόλιθο (Z).

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε ως εξής:

Σε πλαστικά φιαλίδια των 50 mL προστέθηκαν 0,2g εδαφοβελτιωτικού (Z, B, G, Z-G κίτρ, Z-G κοκ) και δέκα διαφορετικές συγκεντρώσεις φωσφόρου (0,2ppm, 0,4ppm, 0,8ppm, 1ppm, 1,2ppm, 1,6ppm, 2ppm, 2,4ppm, 3,2ppm, 4ppm P). Στο σύνολο χρησιμοποιήθηκαν 180 φιαλίδια καθώς το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε τρεις επαναλήψεις και περιελάμβανε και τα φιαλίδια μάρτυρες στα οποία είχαν προστεθεί οι συγκεντρώσεις φωσφόρου άλλα δεν είχαν προστεθεί τα εδαφοβελτιωτικά.

Στη συνέχεια τα πλαστικά φιαλίδια με το περιεχόμενό τους ανακινήθηκαν περιοδικά για 48 ώρες. Ακολούθησε διήθηση του περιεχομένου τους και η περιεκτικότητα του φωσφόρου στο διήθημα προσδιορίστηκε με τη μέθοδο Olsen. Από τη διαφορά της συγκέντρωσης του φωσφόρου που προστέθηκε και αυτής που βρέθηκε στο διήθημα υπολογίστηκε η ποσότητα του φωσφόρου που προσροφήθηκε από κάθε εδαφοβελτιωτικό (μg P/g εδαφοβελτιωτικού).

7.2 Πείραμα προσρόφησης φωσφόρου από εδάφη επιβαρυσμένα με φώσφορο με τη χρήση εδαφοβελτιωτικών

Το δεύτερο πείραμα στο εργαστήριο πραγματοποιήθηκε το έτος 2008 στο εργαστήριο Εδαφολογίας της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Σκοπός αυτού του πειράματος ήταν η μελέτη χρήσης των εδαφοβελτιωτικών γκαιίτη (G), ζεόλιθο-γκαιίτη κίτρινο (Z-G κίτρ. ή Z-GY) , ζεόλιθο-γκαιίτη κόκκινο (Z-G κοκ. ή Z-GR), μπεντονίτη (B) και ζεόλιθο (Z) στην αποκατάσταση επιβαρυσμένων εδαφών με υψηλές συγκεντρώσεις φωσφόρου (P).

Τα εδάφη προερχόταν από περιοχές των Τρικάλων και ήταν αλκαλικά. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν εδάφη Clay Loam pH=8,0 , Sandy Loam pH=8,0, Loamy Sand pH=8,8.

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε ως εξής:

Από κάθε κατηγορία εδάφους προστέθηκαν σε πλαστικά φιαλίδια των 100 ml, 2, 4, 10 και 20 g εδάφους αντίστοιχα. Στη συνέχεια προστέθηκαν 0,2 g από το κάθε εδαφοβελτιωτικό (τα εδαφοβελτιωτικά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν πέντε). Τέλος, προστέθηκαν 20 ml διαλύματος φωσφόρου 10 ppm. Ο τελικός όγκος του διαλύματος σε κάθε πλαστικό φιαλίδιο ήταν 100 ml. Στο σύνολο χρησιμοποιήθηκαν 216 πλαστικά φιαλίδια αφού το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε τρεις επαναλήψεις και περιελάμβανε και τα φιαλίδια μάρτυρες τα οποία περιείχαν τις τέσσερις διαφορετικές ποσότητες εδάφους και την ποσότητα φωσφόρου, αλλά δεν περιείχαν τα εδαφοβελτιωτικά.

Τα φιαλίδια τοποθετήθηκαν για ανακίνηση επί τρεις ημέρες επί 8 ώρες την ημέρα και στη συνέχεια διηθήθηκαν και στο διήθημα προσδιορίστηκε η συγκέντρωση του φωσφόρου με τη μέθοδο Olsen.

Από τη διαφορά της συγκέντρωσης του φωσφόρου που προστέθηκε και αυτής που βρέθηκε στο διήθημα υπολογίστηκε η ποσότητα του φωσφόρου σε μg που προσροφήθηκε ανά 0,2 g εδαφοβελτιωτικού αλλά και ανά 2, 4, 10 και 20 g χώματος.

7.3 Πείραμα προσρόφησης φωσφόρου από εδάφη με εδαφοβελτιωτικά με καλλιέργεια μαρουλιού

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε τα έτη 2008 και 2009 στο θερμοκήπιο της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Σκοπός του πειράματος του θερμοκηπίου ήταν η μελέτη της συμπεριφοράς των εδαφοβελτιωτικών γκαιίτη, ζεόλιθο-γκαιίτη κίτρινο, ζεόλιθο-γκαιίτη κόκκινο, μπεντονίτη και ζεόλιθο στο φυτό μαρούλι το οποίο καλλιεργήθηκε σε εδάφη επιβαρυσμένα με υψηλές συγκεντρώσεις φωσφόρου.

Το πείραμα στο θερμοκήπιο πραγματοποιήθηκε και στους τρεις τύπους εδαφών Clay Loam pH=8,0 , Sandy Loam pH=8,0 , Loamy Sand pH=8,8.

- Στα φυτοδοχεία που χρησιμοποιήθηκαν τα εδαφοβελτιωτικά γκαιίτης, ζεόλιθος-γκαιίτης κίτρινος και ζεόλιθος-γκαιίτης κόκκινος εφαρμόστηκε η συγκέντρωση των 250735,294 $\mu\text{g P/ kg}$ εδάφους και ποσότητα από τα παραπάνω εδαφοβελτιωτικά 1 g.

- Στα φυτοδοχεία που χρησιμοποιήθηκαν τα εδαφοβελτιωτικά ζεόλιθος και μπεντονίτης εφαρμόστηκε η συγκέντρωση των 250735,294 $\mu\text{g P/ kg}$ εδάφους και ποσότητα από τα παραπάνω εδαφοβελτιωτικά 10 g.

Το πείραμα στο θερμοκήπιο πραγματοποιήθηκε σε δύο επαναλήψεις. Το πειραματικό σχέδιο της μελέτης στο θερμοκήπιο φαίνεται στους παρακάτω πίνακες 7.3.1 και 7.3.2.

Πίνακας 7.3.1. Πειραματικό σχέδιο του πειράματος στο θερμοκήπιο
(1^η επανάληψη)

1 ^η ΕΠΑΝΑΛΗΨΗ		
1 g Z- G κλπ 1 kg Clay Loam 1,1 g KH ₂ PO ₄ Φυτό μαρουλιού	1 g Z- G κλπ 1 kg Sandy Loam 1,1 g KH ₂ PO ₄ Φυτό μαρουλιού	1 g Z- G κλπ 1 kg Loamy Sand 1,1 g KH ₂ PO ₄ Φυτό μαρουλιού
1 g Z- G κοκ 1 kg Clay Loam 1,1 g KH ₂ PO ₄ Φυτό μαρουλιού	1 g Z- G κοκ 1 kg Sandy Loam 1,1 g KH ₂ PO ₄ Φυτό μαρουλιού	1 g Z- G κοκ 1 kg Loamy Sand 1,1 g KH ₂ PO ₄ Φυτό μαρουλιού
1 g G 1 kg Clay Loam 1,1 g KH ₂ PO ₄ Φυτό μαρουλιού	1 g G 1 kg Sandy Loam 1,1 g KH ₂ PO ₄ Φυτό μαρουλιού	1 g G 1 kg Loamy Sand 1,1 g KH ₂ PO ₄ Φυτό μαρουλιού
1 kg Clay Loam 1,1 g KH ₂ PO ₄ Φυτό μαρουλιού	1 kg Sandy Loam 1,1 g KH ₂ PO ₄ Φυτό μαρουλιού	1 kg Loamy Sand 1,1 g KH ₂ PO ₄ Φυτό μαρουλιού
10 g Z 1 kg Clay Loam 1,1 g KH ₂ PO ₄ Φυτό μαρουλιού	10 g Z 1 kg Sandy Loam 1,1 g KH ₂ PO ₄ Φυτό μαρουλιού	10 g Z 1 kg Loamy Sand 1,1 g KH ₂ PO ₄ Φυτό μαρουλιού
10 g μπεντονίτης 1 kg Clay Loam 1,1 g KH ₂ PO ₄ Φυτό μαρουλιού	10 g μπεντονίτης 1 kg Sandy Loam 1,1 g KH ₂ PO ₄ Φυτό μαρουλιού	10 g μπεντονίτης 1 kg Loamy Sand 1,1 g KH ₂ PO ₄ Φυτό μαρουλιού
1 kg Clay Loam Φυτό μαρουλιού	1 kg Sandy Loam Φυτό μαρουλιού	1 kg Loamy Sand Φυτό μαρουλιού

Πίνακας 7.3.2. Πειραματικό σχέδιο του πειράματος στο θερμοκήπιο
(2^η επανάληψη)

2 ^η ΕΠΑΝΑΛΗΨΗ		
1 g Z- G κιτρ 1 kg Clay Loam 1,1 g KH ₂ PO ₄ Φυτό μαρουλιού	1 g Z- G κιτρ 1 kg Sandy Loam 1,1 g KH ₂ PO ₄ Φυτό μαρουλιού	1 g Z- G κιτρ 1 kg Loamy Sand 1,1 g KH ₂ PO ₄ Φυτό μαρουλιού
1 g Z- G κοκ 1 kg Clay Loam 1,1 g KH ₂ PO ₄ Φυτό μαρουλιού	1 g Z- G κοκ 1 kg Sandy Loam 1,1 g KH ₂ PO ₄ Φυτό μαρουλιού	1 g Z- G κοκ 1 kg Loamy Sand 1,1 g KH ₂ PO ₄ Φυτό μαρουλιού
1 g G 1 kg Clay Loam 1,1 g KH ₂ PO ₄ Φυτό μαρουλιού	1 g G 1 kg Sandy Loam 1,1 g KH ₂ PO ₄ Φυτό μαρουλιού	1 g G 1 kg Loamy Sand 1,1 g KH ₂ PO ₄ Φυτό μαρουλιού
1 kg Clay Loam 1,1 g KH ₂ PO ₄ Φυτό μαρουλιού	1 kg Sandy Loam 1,1 g KH ₂ PO ₄ Φυτό μαρουλιού	1 kg Loamy Sand 1,1 g KH ₂ PO ₄ Φυτό μαρουλιού
10 g Z 1 kg Clay Loam 1,1 g KH ₂ PO ₄ Φυτό μαρουλιού	10 g Z 1 kg Sandy Loam 1,1 g KH ₂ PO ₄ Φυτό μαρουλιού	10 g Z 1 kg Loamy Sand 1,1 g KH ₂ PO ₄ Φυτό μαρουλιού
10 g μπεντονίτης 1 kg Clay Loam 1,1 g KH ₂ PO ₄ Φυτό μαρουλιού	10 g μπεντονίτης 1 kg Sandy Loam 1,1 g KH ₂ PO ₄ Φυτό μαρουλιού	10 g μπεντονίτης 1 kg Loamy Sand 1,1 g KH ₂ PO ₄ Φυτό μαρουλιού
1 kg Clay Loam Φυτό μαρουλιού	1 kg Sandy Loam Φυτό μαρουλιού	1 kg Loamy Sand Φυτό μαρουλιού

7.4 Υλικά προσρόφησης

7.4.1. Γκαιτίτης

7.4.1.1. Παρασκευή γκαιτίτη

Για την παρασκευή του γκαιτίτη χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω μέθοδος. Αρχικά παρασκευάστηκαν τα παρακάτω διαλύματα:

- A) 1 M νιτρικού σιδήρου, το οποίο παρασκευάζεται διαλύοντας ένυδρο νιτρικό σίδηρο, $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, σε δισαπεσταγμένο νερό.
- B) 5 M ΚΟΗ.

Από το διάλυμα Α λαμβάνονται 50 ml και τοποθετούνται σε φιάλη από πολυαιθυλένιο χωρητικότητας ενός λίτρου και εν συνεχεία προστίθενται γρήγορα 90 ml από το διάλυμα Β. Αμέσως εμφανίζεται κεραμέρυθρο ίζημα. Η φιάλη συμπληρώνεται με δισαπεσταγμένο νερό μέχρι τη χαραγή (συμπλήρωση του ενός λίτρου) και αφήνεται στους 70 °C για εξήντα ώρες. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου το καστανέρυθρο ίζημα του σιδηρο-υδρίτη μετατρέπεται σε ένα συμπαγές ωχροκίτρινο ίζημα οξειδίου του σιδήρου.

Στη συνέχεια, το ίζημα αυτό διηθείται και στη συνέχεια ξεπλένεται με δισαπεσταγμένο νερό μέχρις ότου το νερό που διηθείται να είναι εντελώς καθαρό. Το στερεό που προκύπτει από τη διήθηση αφήνεται να στεγνώσει και στη συνέχεια ομογενοποιείται με τη χρήση γουδιού. Το τελικό προϊόν είναι ένα λεπτόκοκκο υλικό με ωχροκίτρινο χρώμα.

7.4.2 Ζεόλιθος

Ο ζεόλιθος που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα αγοράσθηκε έτοιμος και προήλθε από το ορυκτό κλινοπτινόλιθο. Είχε χρώμα γκρι – γαλάζιο και ήταν σε μορφή πούδρας.

7.4.3 Μπεντονίτης

Ο μπεντονίτης που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα αγοράστηκε έτοιμος. Είχε χρώμα λευκό και ήταν σε μορφή πούδρας.

7.4.4 Ζεόλιθος-Γκαιίτης κόκκινος

Για την παρασκευή του ζεόλιθου-γκαιίτη κόκκινου αρχικά ζυγίστηκαν 20gr ζεόλιθου τα οποία τοποθετήθηκαν σε φιάλη 1 λίτρου μαζί με 50ml $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 1M και 80ml KOH 5M. Η φιάλη συμπληρώνεται με δισαπεσταγμένο νερό μέχρι την συμπλήρωση όγκου ενός λίτρου. Αφήνεται στους 70 °C για 310 ώρες. Μετά το πέρας του καθορισμένου χρονικού διαστήματος το διάλυμα διηθείται και καθαρίζεται με δισαπεσταγμένο νερό μέχρι τελικής διαύγειας του διηθούμενου νερού. Τέλος το διήθημα αφήνεται να στεγνώσει για τρεις ημέρες στους 40 °C και στη συνέχεια παραλαμβάνεται το στερεό σύστημα. Ο ζεόλιθος-γκαιίτης κόκκινος έχει χρώμα καστανέρυθρο.

7.4.5 Ζεόλιθος-γκαιίτης κίτρινος

Για την παρασκευή του ζεόλιθου-γκαιίτη κίτρινου αρχικά προστίθεται σε φιάλη ενός λίτρου 50ml $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ και 90ml KOH και συμπληρώνουμε με δισαπεσταγμένο νερό μέχρι συμπλήρωσης ενός λίτρου. Το μείγμα αφήνεται στους 70°C για 92 ώρες. Στη συνέχεια αφαιρούνται 100ml από την φιάλη και προστίθενται 20gr ζεόλιθου. Το μείγμα αφήνεται για άλλες 100 ώρες στην ίδια θερμοκρασία και στη συνέχεια διηθείται. Το διήθημα ξεπλένεται καλά για δύο μέρες και στη συνέχεια αφήνεται στο πυριαντήριο για άλλες δύο μέρες στους 40°C. Το διήθημα που προκύπτει είναι χρώματος κίτρινου.

7.5 Προετοιμασία του εδάφους

Το χώμα συλλέχθηκε από τα χωριά Διαλεχτό και Περδικοράχη Τρικάλων, με διαφορετική κοκκομετρική σύσταση (μηχανική σύσταση) για την κάλυψη των αναγκών του πειράματος. Δεν πραγματοποιήθηκε καμία λίπανση διότι όπως

προέκυψε από την εδαφολογική ανάλυση τα κύρια θρεπτικά στοιχεία (N, P, K) βρισκόταν σε επάρκεια για την ανάπτυξη των καλλιεργειών. Μερικά εδαφολογικά χαρακτηριστικά των τριών εδαφών φαίνονται στον πίνακα 7.5.1.

Πίνακας 7.5.1. Μερικά εδαφολογικά χαρακτηριστικά των εδαφών που χρησιμοποιήθηκαν

Μηχανική Σύσταση	Clay Loam	Sandy Loam	Loam Sandy
pH	8	8	8,8
Αγωγιμότητα (ms/cm)	101,2	70,78	83,2
P (mg/kgεδάφους)	261,2	130,9	214,4
Cu (mg/kgεδάφους)	180,3	129,9	81,7
Mn (mg/kgεδάφους)	24	23,43	29,75

7.6 Ενσωμάτωση των εδαφοβελτιωτικών και του φωσφόρου στο έδαφος

Η απαιτούμενη ποσότητα εδαφοβελτιωτικών προστέθηκε στο έδαφος με τη στερεή μορφή τους. Η ενσωμάτωση των εδαφοβελτιωτικών και του φωσφόρου στο έδαφος γινόταν σύμφωνα με τη διαδικασία που περιγράφεται παρακάτω. Αρχικά ζυγίσαμε τις ποσότητες των εδαφοβελτιωτικών. Σε όποια φυτοδοχεία τοποθετήσαμε τα εδαφοβελτιωτικά γκαϊτίτη, ζεόλιθο-γκαιτίτη κίτρινο και ζεόλιθο-γκαιτίτη κόκκινο ζυγίσαμε και τοποθετήσαμε σ' αυτά 1 g από τις ουσίες αυτές. Αντίθετα, σε όποια φυτοδοχεία τοποθετήσαμε τα εδαφοβελτιωτικά ζεόλιθο και μπεντονίτη ζυγίσαμε και τοποθετήσαμε σ' αυτά 10 g από τις ουσίες αυτές. Έπειτα ζυγίσαμε και τοποθετήσαμε στα φυτοδοχεία 1,1 g από την ένωση KH_2PO_4

Στη συνέχεια, η ποσότητα χόματος κάθε φυτοδοχείου (περίπου 1 kg) με το εδαφοβελτιωτικό και την ένωση KH_2PO_4 απλωνόταν πάνω σε φύλλο πλαστικού και μεταφερόταν με προσοχή (για τον περιορισμό στο ελάχιστο των απωλειών) σε πλαστική σακούλα και ακολουθούσε ανακίνηση για πέντε λεπτά της ώρας ώστε να

επιτευχθεί ομοιόμορφη ενσωμάτωση του εδαφοβελτιωτικού και της ένωσης KH_2PO_4 . Τέλος, το χώμα μεταφερόταν στο φυτοδοχείο με κατάλληλο κωδικό για την παρακολούθησή του.

7.7 Μεταφύτευση

Η μεταφύτευση έγινε στις 25/11/2009. Σε κάθε φυτοδοχείο μεταφυτεύτηκε ένα φυτό μαρουλιού. Τα φυτοδοχεία ήταν χωρητικότητας ενός κιλού χώματος.

7.8 Μετρήσεις

7.8.1 Μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια ανάπτυξης των φυτών μας

Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν μέχρι την εξαγωγή των μαρουλιών από τα φυτοδοχεία αφορούσαν:

Το ύψος των φυτών: Η μέτρηση του ύψους των φυτών αφορούσε την απόσταση του φυτού από το σημείο εξόδου από το έδαφος ως το ακραίο μερίστωμά του. Οι μετρήσεις γίνονταν με εκατοστόμετρο κάθε εβδομάδα.

Τον αριθμό των φύλλων του μαρουλιού: Οι μετρήσεις του αριθμού των φύλλων γίνονταν κάθε εβδομάδα.

7.8.2 Μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν μετά την εξαγωγή τους από τα φυτοδοχεία

Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν μετά την εξαγωγή των φυτών από τα φυτοδοχεία αφορούσαν:

Το χλωρό βάρος των φυτών (υπέργειου και υπόγειου φυτικού τμήματος): Αρχικά γινόταν εξαγωγή του φυτού από το φυτοδοχείο. Αυτό πραγματοποιούνταν με συνεχή ροή απιονισμένου νερού ώστε να απομακρυνθεί το χώμα και στη συνέχεια ακολουθούσε προσεκτικά η εξαγωγή του ριζικού συστήματος. Έπειτα, τα φυτά τοποθετούνταν σε χάρτινη επιφάνεια προκειμένου να απομακρυνθεί η περίσσεια υγρασίας. Τέλος, γίνονταν η ζύγισή τους σε ζυγό ακριβείας τριών δεκαδικών ψηφίων του γραμμαρίου (g).

Το χλωρό βάρος των φύλλων: Η ζύγισή τους γινόταν σε ζυγό ακριβείας τριών δεκαδικών ψηφίων του γραμμαρίου (g).

Το βάρος της ρίζας των φυτών: Η ζύγισή τους γινόταν σε ζυγό ακριβείας τριών δεκαδικών ψηφίων του γραμμαρίου (g).

Το μήκος της ρίζας των φυτών: Η μέτρηση του μήκους της ρίζας των φυτών γινόταν με εκατοστόμετρο.

Το ξηρό βάρος των φυτών (υπέργειου και υπόγειου φυτικού τμήματος): Τα χλωρά τμήματα μετά τη ζύγισή τους τοποθετούνταν σε χαρτοσακούλες οι οποίες με τη σειρά τους τοποθετούνταν σε πυριαντήριο στους 70 °C για 24 ώρες προκειμένου να απομακρυνθεί η υγρασία. Μετά το πέρας της διαδικασίας της ξήρανσης ακολουθούσε η ζύγισή τους σε ζυγό ακριβείας τριών δεκαδικών ψηφίων του γραμμαρίου (g).

Τη συγκέντρωση φωσφόρου στο φυτό: Για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης του φωσφόρου στο φυτό χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της ξηράς διπλής καύσης αφού πρώτα έγινε η άλεση του δείγματος (των φύλλων) με τη χρήση ειδικού μύλου προς αποφυγή οποιαδήποτε επιβάρυνσης του δείγματος και η συγκέντρωση του φωσφόρου προσδιορίστηκε με τη μέθοδο Olsen.

Άλεση των φύλλων: Η άλεση των φύλλων γίνεται με ειδικούς μύλους, από ανοξείδωτο υλικό.

7.9 Καθαρισμός των υάλινων σκευών

Όσον αφορά τον καθαρισμό των υάλινων σκευών, όλα τα υάλινα σκεύη τα οποία χρησιμοποιούνται για τις αναλύσεις πλένονται αρχικά με ύδωρ από το δίκτυο ύδρευσης. Κατόπιν, παραμένουν για τουλάχιστον 6 ώρες σε διάλυμα HNO₃ συγκέντρωσης 0,5 M και στην συνέχεια ξεπλένονται για μισή ώρα με απεσταγμένο νερό.

7.10 Εκχύλιση – πέψη φυτικών δειγμάτων

Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της ξηράς διπλής καύσης στους 520 °C (DRY ASHING PROSEDURE). Λόγω της μικρής βιομάζας των φυτών του μαρουλιού, τοποθετήθηκε ολόκληρη η ποσότητα του φυτού σε χωνευτήριο από πορσελάνη. Κατόπιν, τα χωνευτήρια τοποθετήθηκαν για 24 ώρες στο φούρνο στους 520 °C. Η

καύση έγινε σταδιακά, για δυο ώρες στους 250 °C, για άλλες δύο ώρες στους 370 °C και για τις υπόλοιπες 20 ώρες στους 520 °C. Μετά τη συμπλήρωση του χρόνου καύσης των φυτικών δειγμάτων στους 520°C, τα χωνευτήρια παρέμειναν στο φούρνο για να κρυσώσουν και αφού κρυσώσαν, προστέθηκε ελάχιστη ποσότητα απεσταγμένου νερού για να εμποδιστεί η διαφυγή της φυτικής ύλης που βρισκόταν με τη μορφή σκόνης. Κατόπιν, μεταφέρθηκαν τα χωνευτήρια στον απαγωγό και προστέθηκαν 5 ml διαλύματος 2 N HCl. Ακολούθησε διήθηση σε ογκομετρικές φιάλες των 50 ml με ηθμό SS (N589⁰, 125 mm ashless – blue ribbon) και ξέπλυμα κάθε χωνευτηρίου δύο φορές με απεσταγμένο νερό. Αφού οι ηθμοί στέγνωσαν, διπλώθηκαν και μεταφέρθηκαν στα αντίστοιχα χωνευτήρια τα οποία τοποθετήθηκαν στο πυριαντήριο στους 105 °C για 24 ώρες. Όταν συμπληρώθηκε ο χρόνος καύσης των δειγμάτων επαναλήφθηκαν οι διαδικασίες της πρώτης καύσης (ελάχιστο απεσταγμένο νερό, υδροχλωρικό οξύ) και διηθήθηκαν με καινούριο ηθμό στις ίδιες φιάλες ξεπλένοντας καλά τα χωνευτήρια με απεσταγμένο νερό.

Στη συνέχεια, συμπληρώθηκαν οι ογκομετρικές φιάλες με απεσταγμένο νερό μέχρι τη χαραγή. Εκτός από τα χωνευτήρια που περιείχαν φυτικό δείγμα, υπήρχε και το τυφλό. Το τυφλό περιείχε μόνο τον ηθμό SS (N589⁰, 125 mm ashless – blue ribbon). Τέλος, το διήθημα χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης του φωσφόρου με την μέθοδο Olsen.

7.11 Μέτρηση του διαθέσιμου φωσφόρου- Μέθοδος Olsen

7.11.1 Για την ανάπτυξη χρώματος

Το μολυβδαινικό-φωσφορικό σύμπλοκο δημιουργείται πάνω σε μήτρα θειικού οξέος και ανάγεται με ασκορβικό οξύ. Σε φασματοφωτόμετρο μετράται η απορρόφηση, σε μήκος κύματος 880 nm. Το χρώμα είναι σταθερό από 10 min έως 24h μετά από τη δημιουργία του.

1. 5N H₂SO₄: 141 mL π. H₂SO₄ 96% προστίθενται σε 800 mL απεσταγμένου νερού και το διάλυμα μετά από ψύξη, συμπληρώνεται μέχρις όγκου 1000 mL.

2. Αντιδραστήριο A: 12g (NH₄)₆Mo₇O₂₄·4H₂O διαλύονται σε 250 mL απεσταγμένο νερό (θέρμανση) και 0,2908g KSbOC₄H₄O₆ σε 100 mL απεσταγμένο νερό. Τα παραπάνω διαλύματα μεταφέρονται σε ογκομετρική φιάλη των 2000 mL που

περιέχει 1000 mL διαλύματος H_2SO_4 5N, αναμιγνύονται καλά και προστίθεται νερό μέχρις όγκου 2000 mL. Το διάλυμα διατηρείται σε σκοτεινό και ψυχρό μέρος.

3. Αντιδραστήριο B: 0,528g ασκορβικό οξύ (L(+)-Ascorbic acid) διαλύονται σε 100 mL από το αντιδραστήριο A (διατηρείται μόνο 24h).

4. Δείκτης p-νιτροφαινόλη: Σε 100 mL αποσταγμένο νερό διαλύονται 0,25g p-νιτροφαινόλη.

7.11.2 Για την πρότυπη καμπύλη

1. Stock διάλυμα P (1 mg P/ ml): Ζυγίζονται 1,099g KH_2PO_4 (105 °C, 1h), διαλύονται σε 250 ml απεσταγμένο νερό και στη συνέχεια προστίθενται 2 ml πυκνό H_2SO_4 .

2. Πρότυπο διάλυμα I (100μg P/ml): Παρασκευάζεται με αραιώση 10ml από το Stock διάλυμα (1 mg P/ ml) μέχρις όγκου 100 ml.

3. Πρότυπο διάλυμα II (1 μg P/ ml): Παρασκευάζεται με αραιώση 10 ml από το πρότυπο διάλυμα I (100μg P/ml) μέχρις όγκου 1000 ml.

7.11.3 Ανάπτυξη χρώματος-Πρότυπη καμπύλη

1. Λαμβάνεται δείγμα 10 mL από το τυφλό διάλυμα στο οποίο προστίθενται 5 σταγόνες από το διάλυμα 0,25% p-νιτροφαινόλη. Προσδιορίζεται το pH και στη συνέχεια ρυθμίζεται στην τιμή 5 (όπου συμβαίνει αποχρωματισμός) με την προσθήκη 5N H_2SO_4 .

2. Σε 6 ογκομετρικές φιάλες των 50 mL τοποθετούνται 10 mL από το τυφλό διάλυμα και η ίδια ποσότητα 5N H_2SO_4 , όπως παραπάνω. Επίσης, σε κάθε φιάλη τοποθετούνται αντίστοιχα 0, 5, 10, 15, 20 και 30 mL από το Πρότυπο διάλυμα II (1μg/ mL). Έτσι, δημιουργήθηκαν πρότυπα διαλύματα που έχουν συγκέντρωση 0 ppm, 0,1 ppm, 0,2 ppm, 0,3 ppm, 0,4 ppm και 0,6 ppm P, αντίστοιχα.

3. Σε κάθε φιάλη προστίθενται 8 mL από το αντιδραστήριο B και απεσταγμένο νερό μέχρι όγκου 50 mL. Το διάλυμα ποματίζεται και ανακινείται.

4. Μετά από 1 h μετράται η απορρόφηση στα 880nm, με κυψελίδα 1cm. Πρώτα μετράται η απορρόφηση των 6 πρότυπων διαλυμάτων για την κατασκευή της πρότυπης καμπύλης: το όργανο μηδενίζεται με το τυφλό πρότυπο (0 mL πρότυπου διαλύματος P) και στη συνέχεια μετρούνται τα υπόλοιπα 5 με τη σειρά

περιεκτικότητας σε πρότυπο διάλυμα P. Στη συνέχεια ακολουθεί η μέτρηση της απορρόφησης των φυτικών εκχυλισμάτων.

5. Κατασκευάζεται η πρότυπη καμπύλη με την περιεκτικότητα σε P των 6 πρότυπων διαλυμάτων στον άξονα των X και την αντίστοιχη απορρόφηση στον άξονα των Y. Με βάση την εξίσωση που προκύπτει οι τιμές της απορρόφησης των φυτικών εκχυλισμάτων μετατρέπονται στις αντίστοιχες συγκεντρώσεις P.

7.12 Προσδιορισμός ολικού P

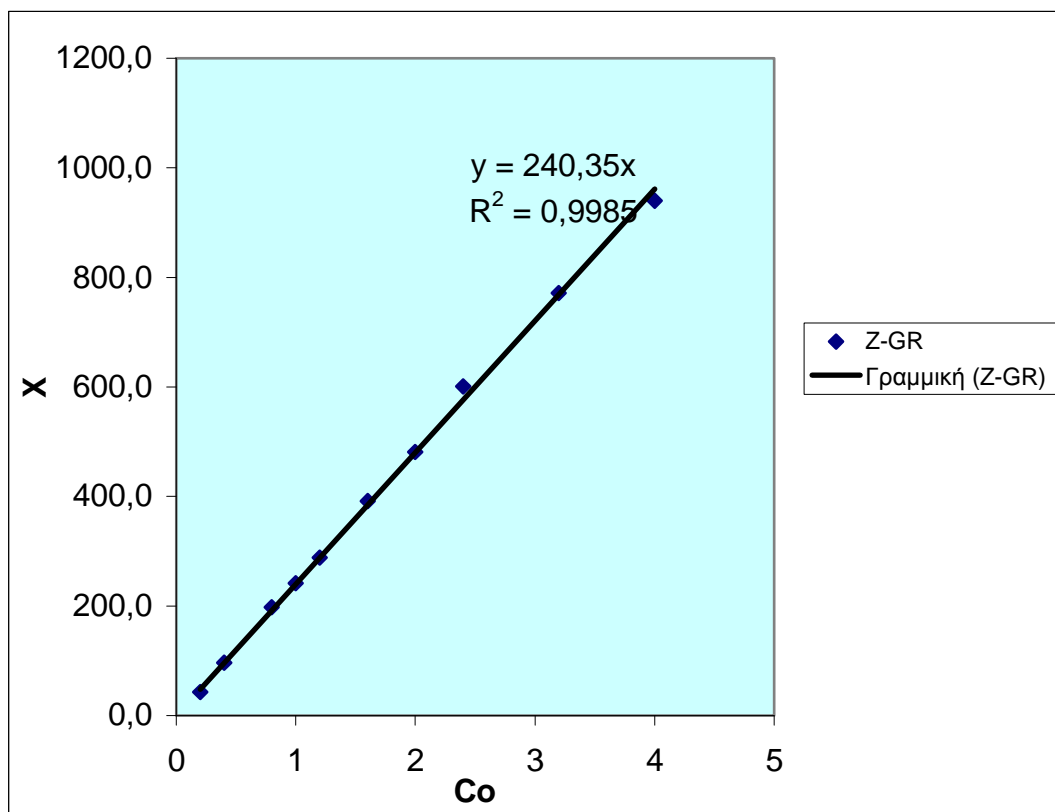
1. Η ανάπτυξη του χρώματος για τα φυτικά δείγματα γίνεται σε ογκομετρικές φιάλες των 25 mL, χρησιμοποιώντας 5 mL από το φυτικό εκχύλισμα μετά από τις απαραίτητες αραιώσεις και 4 mL από το αντιδραστήριο B. Οι αραιώσεις είναι αναγκαίες για να είναι εφαρμόσιμη η φωσφορο-μολυβδαινική μέθοδος, που έχει συγκεκριμένο εύρος μέτρησης. Έτσι, 1 mL από το αρχικό φυτικό εκχύλισμα μεταφέρεται σε ογκομετρική των 25 mL και αραιώνεται μέχρι όγκου. Από το αραιωμένο φυτικό εκχύλισμα λαμβάνονται 5 mL και χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη του χρώματος και τον προσδιορισμό του ολικού φωσφόρου.

2. Το τυφλό δείγμα δημιουργείται από τα αντιδραστήρια που χρησιμοποιούνται για την εκχύλιση των φυτικών δειγμάτων.

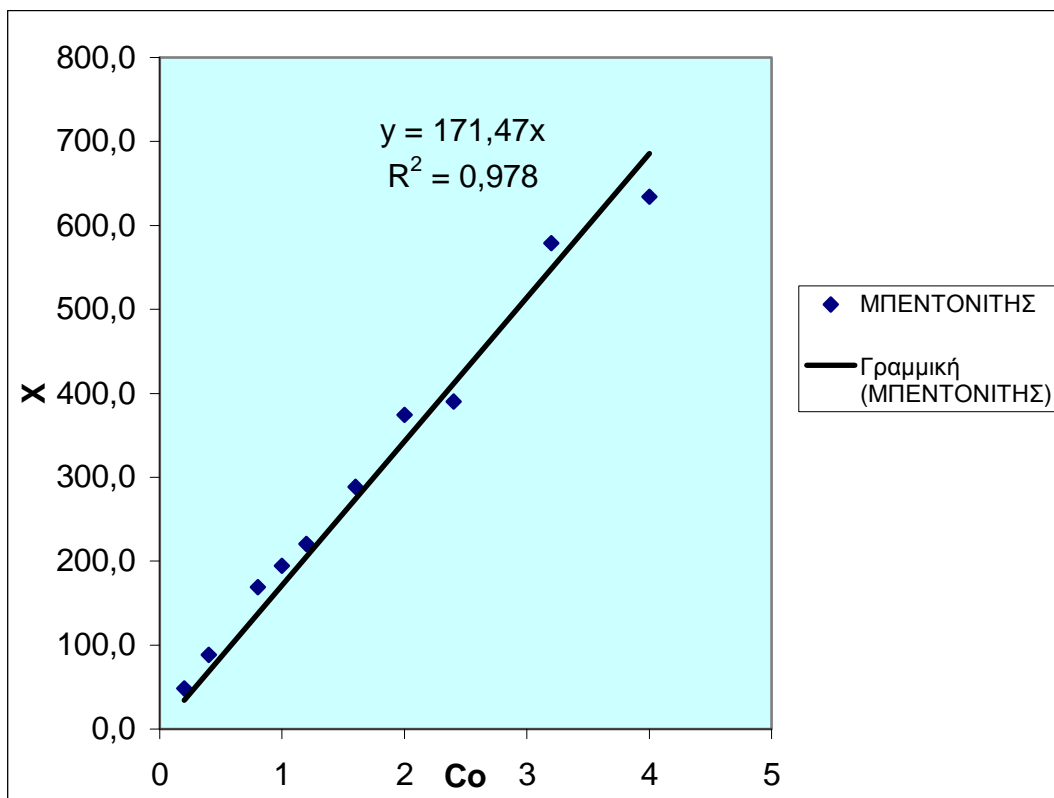
8. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ- ΣΥΖΗΤΗΣΗ

8.1 Η μελέτη της προσρόφησης του φωσφόρου από τα εδαφοβελτιωτικά.

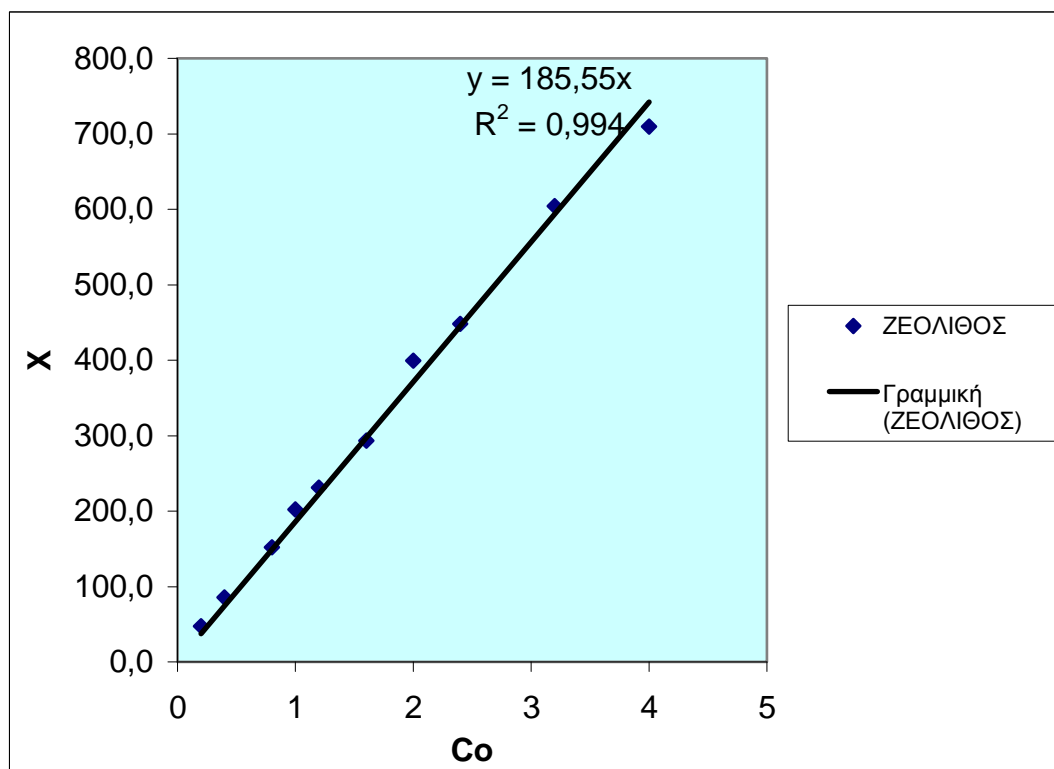
Τα διαγράμματα 1-5 παριστάνουν την προσρόφηση του φωσφόρου από τα εδαφοβελτιωτικά ($\mu\text{g P/ g}$ εδαφοβελτιωτικού), σε συνάρτηση με την αρχική ποσότητα φωσφόρου στο διάλυμα ($\mu\text{g P / ml}$)



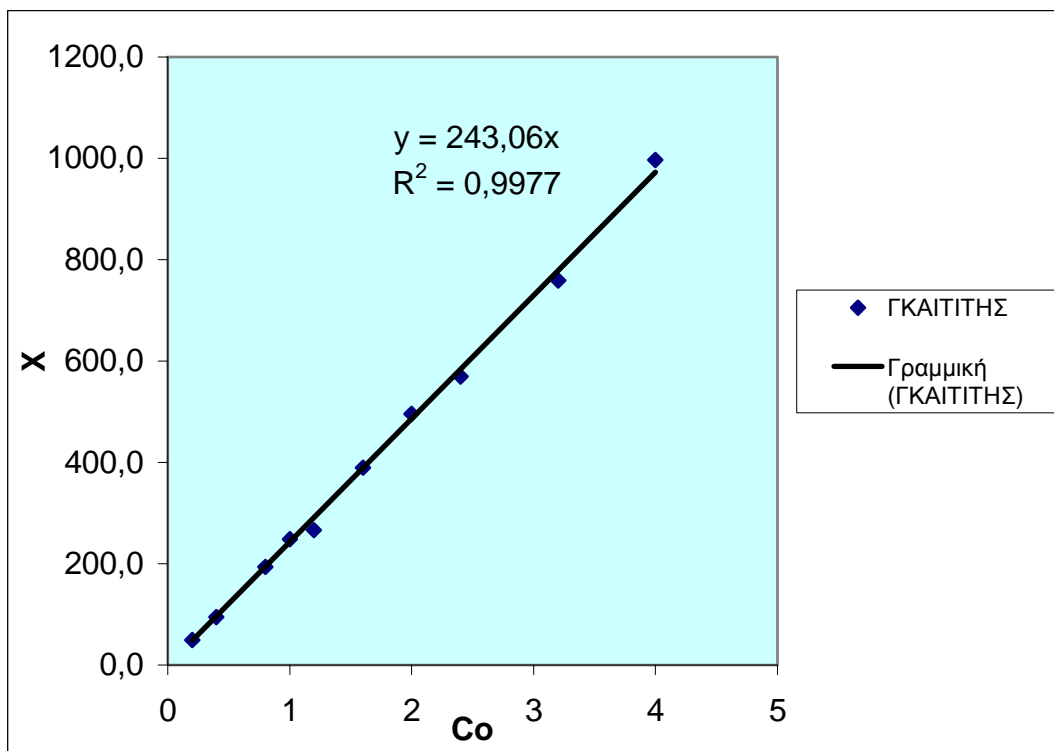
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1: Η προσρόφηση του φωσφόρου ($X= \mu\text{g P/g Z-GR}$) σε συνάρτηση με την αρχική ποσότητα του φωσφόρου στο διάλυμα ($Co=\mu\text{g P/ml}$)



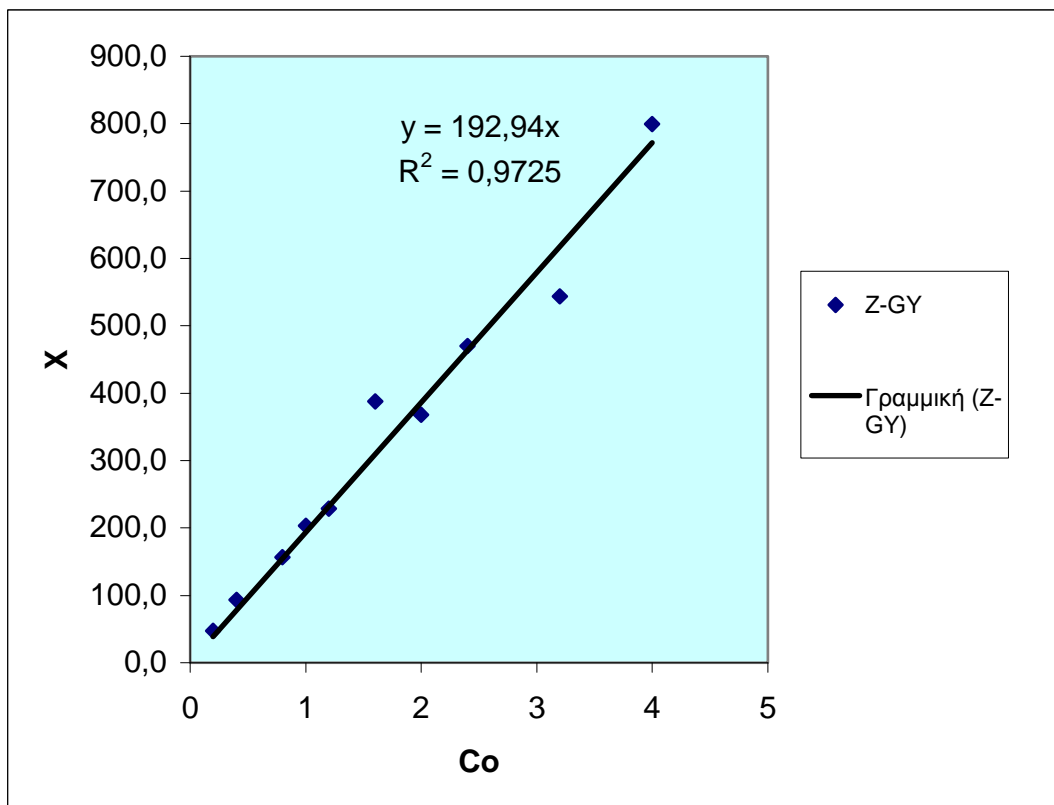
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2: Η προσρόφηση του φωσφόρου ($X = \mu\text{g P/g}$ μπεντονίτη) σε συνάρτηση με την αρχική ποσότητα του φωσφόρου στο διάλυμα ($C_o = \mu\text{g P/ml}$)



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3: Η προσρόφηση του φωσφόρου ($X = \mu\text{g P/g}$ ζεόλιθος) σε συνάρτηση με την αρχική ποσότητα του φωσφόρου στο διάλυμα ($C_o = \mu\text{g P/ml}$)



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4: Η προσρόφηση του φωσφόρου ($X = \mu\text{g P/g}$ γκαϊτίτη) σε συνάρτηση με την αρχική ποσότητα του φωσφόρου στο διάλυμα ($C_o = \mu\text{g P/ml}$)



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5: Η προσρόφηση του φωσφόρου ($X = \mu\text{g P/g}$ Z-GY) σε συνάρτηση με την αρχική ποσότητα του φωσφόρου στο διάλυμα ($C_o = \mu\text{g P/ml}$)

Από τα παραπάνω διαγράμματα (1-5) προκύπτουν τα κάτωθι:

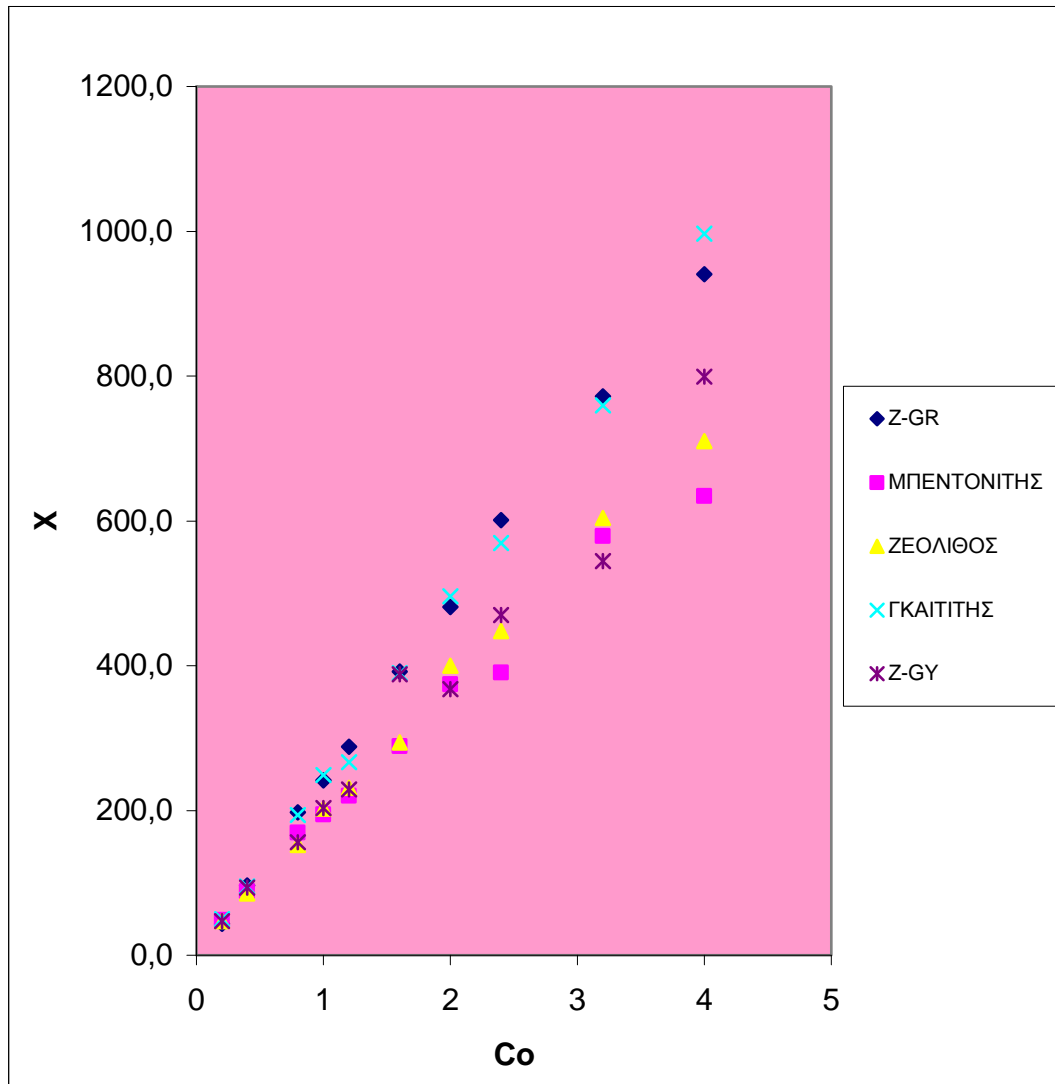
Όσο αυξάνει η αρχική συγκέντρωση φωσφόρου στο διάλυμα, αυξάνει και η ποσότητα προσρόφησης φωσφόρου από κάθε εδαφοβελτιωτικό.

Η υψηλότερη προσρόφηση φωσφόρου παρατηρείται από το εδαφοβελτιωτικό γκαιίτης και ακολουθούν κατά φθίνουσα σειρά, ο ζεόλιθος-γκαιίτης κόκκινος, ο ζεόλιθος-γκαιίτης κίτρινος, ο ζεόλιθος και τέλος ο μπεντονίτης.

Ο υψηλότερος ρυθμός προσρόφησης φωσφόρου όπως φαίνεται από την κλίση της ευθείας κάθε διαγράμματος παρατηρείται από το γκαιίτη και ακολουθούν ο ζεόλιθος-γκαιίτης κόκκινος, ο ζεόλιθος-γκαιίτης κίτρινος, ο ζεόλιθος και τέλος ο μπεντονίτης.

Τέλος την καλύτερη προσαρμογή των πειραματικών δεδομένων στη συνάρτηση $X = f(C_0)$ όπως προκύπτει από τον συντελεστή συμμεταβολής (R^2), έχει το εδαφοβελτιωτικό ζεόλιθος-γκαιίτης κόκκινος, ακολουθεί ο γκαιίτης, ο ζεόλιθος, ο μπεντονίτης και τέλος ο ζεόλιθος-γκαιίτης κίτρινος.

Το διάγραμμα 6 που ακολουθεί είναι ένα συγκεντρωτικό διάγραμμα στο οποίο φαίνεται τι ισχύει για την προσρόφηση φωσφόρου από κάθε ένα εδαφοβελτιωτικό καθώς αυξάνουν τα $\mu\text{g P}$ που έχουν προστεθεί στο διάλυμα.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6: Η προσρόφηση του φωσφόρου (σε μg ανά g εδαφοβελτιωτικού) για όλα τα εδαφοβελτιωτικά σε συνάρτηση με την αρχική συγκέντρωση του φωσφόρου στο διάλυμα (σε $\mu\text{g P/ml}$)

Από το διάγραμμα 6 φαίνεται ότι για αρχική συγκέντρωση φωσφόρου 0,2 $\mu\text{g P/ml}$ διαλύματος παρουσιάζεται η μικρότερη και παρόμοια προσρόφηση για όλα τα εδαφοβελτιωτικά.

Καθώς η αρχική συγκέντρωση του φωσφόρου αυξάνει από 0,2 σε 0,4 $\mu\text{g P/ml}$ διαλύματος παρατηρείται ότι την μεγαλύτερη και παρόμοια προσρόφηση έχουν τα εδαφοβελτιωτικά ζεόλιθος-γκαιτίτης κόκκινος, γκαιτίτης και ζεόλιθος-

γκαιίτης κίτρινος και ακολουθούν με επίσης παρόμοια προσρόφηση τα εδαφοβελτιωτικά μπεντονίτης και ζεόλιθος.

Καθώς η αρχική συγκέντρωση του φωσφόρου συνεχίζει να αυξάνει από 0,4 σε 0,8 $\mu\text{g P/ml}$ την μεγαλύτερη και παρόμοια προσρόφηση έχει το εδαφοβελτιωτικό ζεόλιθος-γκαιίτης κόκκινος και γκαιίτης, ακολουθεί ο μπεντονίτης και τέλος με παρόμοια προσρόφηση έρχονται ο ζεόλιθος-γκαιίτης κίτρινος και ο ζεόλιθος.

Για αρχική συγκέντρωση από 0,8 σε 1 $\mu\text{g P/ml}$ τη μεγαλύτερη και παρόμοια προσρόφηση έχει το εδαφοβελτιωτικό γκαιίτης και ζεόλιθος-γκαιίτης κόκκινος, ακολουθούν με παρόμοια προσρόφηση τα εδαφοβελτιωτικά ζεόλιθος-γκαιίτης κίτρινος και ζεόλιθος και τελευταίος έρχεται ο μπεντονίτης.

Όταν η αρχική συγκέντρωση αυξάνει από 1 σε 1,2 $\mu\text{g P/ml}$ τη μεγαλύτερη προσρόφηση έχει το εδαφοβελτιωτικό ζεόλιθος-γκαιίτης κόκκινος και ακολουθούν κατά φθίνουσα σειρά τα εδαφοβελτιωτικά γκαιίτης, ζεόλιθος και ζεόλιθος-γκαιίτης κίτρινος τα οποία παρουσιάζουν παρόμοια προσρόφηση και τέλος ο μπεντονίτης.

Καθώς η αρχική συγκέντρωση του φωσφόρου αυξάνει από 1,2 σε 1,6 $\mu\text{g P/ml}$ διαλύματος παρατηρείται ότι τη μεγαλύτερη και παρόμοια προσρόφηση έχουν τα εδαφοβελτιωτικά ζεόλιθος-γκαιίτης κόκκινος, γκαιίτης και ζεόλιθος-γκαιίτης κίτρινος και ακολουθούν τα εδαφοβελτιωτικά ζεόλιθος και μπεντονίτης κατά φθίνουσα σειρά.

Με την αύξηση της συγκέντρωσης από 1,6 σε 2 $\mu\text{g P/ml}$ τη μεγαλύτερη προσρόφηση έχει το εδαφοβελτιωτικό γκαιίτης και ακολουθούν τα εδαφοβελτιωτικά ζεόλιθος-γκαιίτης κόκκινος, ζεόλιθος, μπεντονίτης και ζεόλιθος-γκαιίτης κίτρινος, μόνο που για το εδαφοβελτιωτικό ζεόλιθος-γκαιίτης κίτρινος η προσρόφηση για $C_0=2$ είναι μικρότερη από αυτή για $C_0=1,6$.

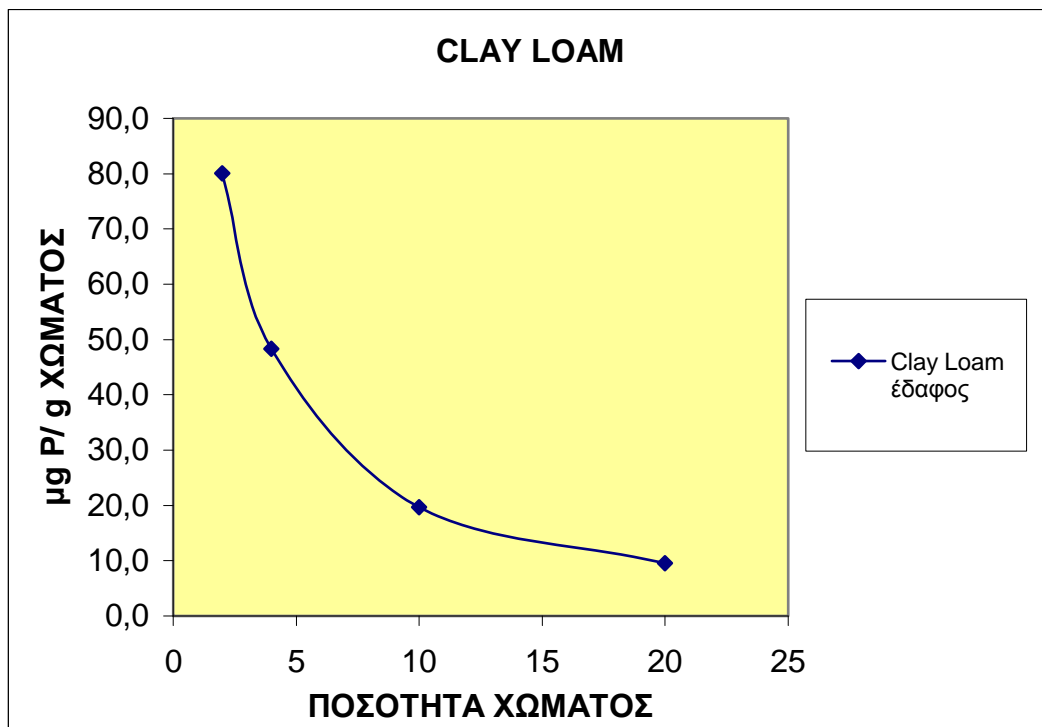
Καθώς η αρχική συγκέντρωση του φωσφόρου συνεχίζει να αυξάνει από 2 σε 2,4 $\mu\text{g P/ml}$ παρατηρείται ότι τη μεγαλύτερη προσρόφηση έχει το εδαφοβελτιωτικό ζεόλιθος-γκαιίτης κόκκινος, ακολουθεί ο γκαιίτης, ο ζεόλιθος-γκαιίτης κίτρινος, ο ζεόλιθος και τέλος ο μπεντονίτης.

Με την αύξηση της συγκέντρωσης από 2,4 σε 3,2 $\mu\text{g P/ml}$ τη μεγαλύτερη προσρόφηση παρατηρείται να την έχει το εδαφοβελτιωτικό ζεόλιθος-γκαιίτης κόκκινος, ακολουθεί ο γκαιίτης και έπειτα ο ζεόλιθος, ο μπεντονίτης και ο ζεόλιθος-γκαιίτης κίτρινος.

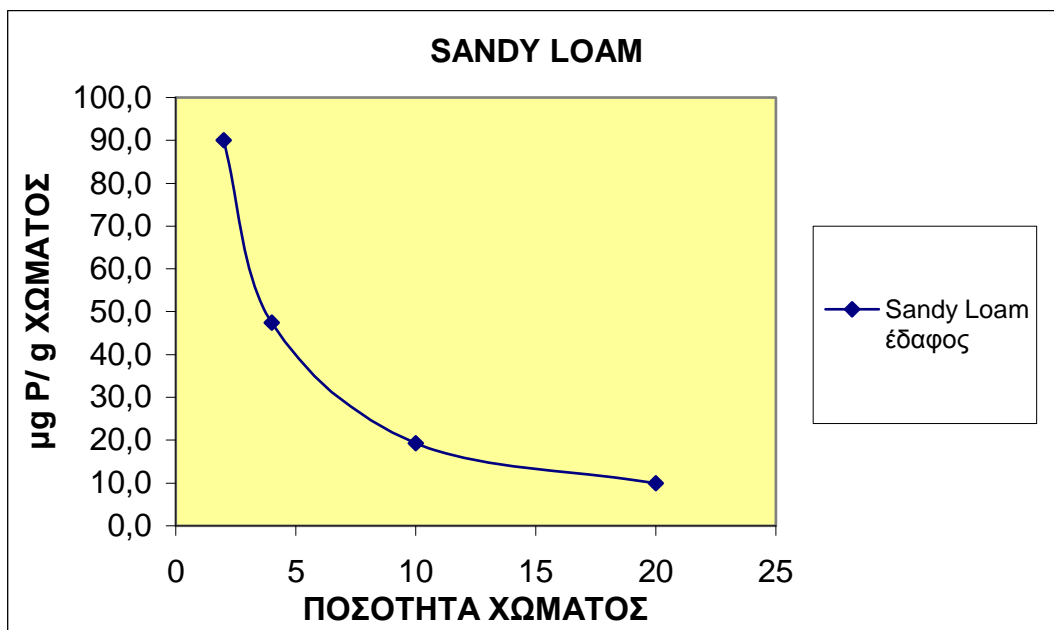
Με την τελική αύξηση της συγκέντρωσης από 3,2 σε 4 $\mu\text{g P/ml}$ παρατηρείται η μεγαλύτερη προσρόφηση φωσφόρου για όλα τα εδαφοβελτιωτικά με τη μεγαλύτερη τιμή να την έχει το εδαφοβελτιωτικό γκαιτίτης και να ακολουθούν κατά φθίνουσα σειρά τα εδαφοβελτιωτικά ζεόλιθος-γκαιτίτης κόκκινος, ζεόλιθος-γκαιτίτης κίτρινος, ζεόλιθος και μπεντονίτης.

8.2 Η επίδραση της ποσότητας χώματος στην προσρόφηση του φωσφόρου

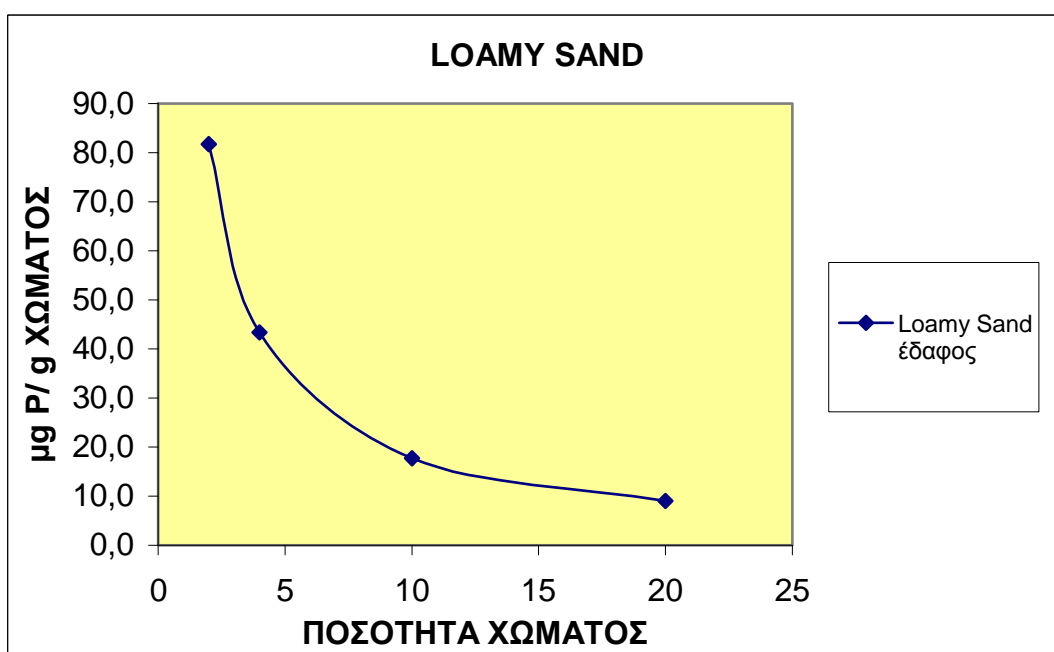
Τα διαγράμματα 7, 8 και 9 παριστάνουν τη προσρόφηση φωσφόρου ανά g χώματος σε συνάρτηση με την ποσότητα χώματος που προστέθηκε.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 7: Η προσρόφηση του φωσφόρου ανά g χώματος (Clay Loam) σε συνάρτηση με την ποσότητα του χώματος



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8: Η προσρόφηση του φωσφόρου ανά g χώματος (Sandy Loam) σε συνάρτηση με την ποσότητα του χώματος



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 9: Η προσρόφηση του φωσφόρου ανά g χώματος (Loamy Sand) σε συνάρτηση με την ποσότητα του χώματος

Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρείται ότι και για τα τους τρεις τύπους εδάφους όσο μειώνεται η αναλογία P/χώματος τόσο μειώνονται τα μg P που προσροφώνται ανά g χώματος.

8.3 Η επίδραση των εδαφοβελτιωτικών στην προσρόφηση φωσφόρου

8.3.1 Η επίδραση του εδαφοβελτιωτικού ζεόλιθου-γκαιίτη κόκκινου στην προσρόφηση φωσφόρου

Από τον πείραμά μας προέκυψε ότι ο ζεόλιθος-γκαιίτης κόκκινος στο έδαφος Clay Loam συνεισφέρει στην προσρόφηση φωσφόρου (98,2 μg P/ g εδαφοβελτιωτικού) μόνο στη μικρότερη αναλογία χώματος/ εδαφοβελτιωτικού, η οποία είναι 10/1.

Στο έδαφος Loamy Sand σε όλες τις αναλογίες χώματος/ εδαφοβελτιωτικού έχουμε προσρόφηση φωσφόρου, με τη μεγαλύτερη προσρόφηση να παρουσιάζεται στην αναλογία 10/1 (116,2 μg P/ g εδαφοβελτιωτικού). Την επόμενη καλύτερη προσρόφηση φωσφόρου την έχουμε στην αναλογία 100/1 (83 μg P/ g εδαφοβελτιωτικού). Έπειτα ακολουθεί με μικρή απόκλιση η προσρόφηση στην αναλογία 20/1 (82,2 μg P/ g εδαφοβελτιωτικού), ενώ την μικρότερη προσρόφηση σε αυτό τον τύπο εδάφους την έχουμε στην αναλογία 50/1 (49 μg P/ g εδαφοβελτιωτικού).

8.3.2 Η επίδραση του εδαφοβελτιωτικού ζεόλιθου στην προσρόφηση φωσφόρου

Από το πείραμά μας προέκυψε ότι ο ζεόλιθος στο έδαφος Clay Loam συνεισφέρει στην προσρόφηση φωσφόρου (49,9 μg P/ g εδαφοβελτιωτικού) μόνο στη μικρότερη αναλογία χώματος/ εδαφοβελτιωτικού, η οποία είναι 10/1.

Στο έδαφος Sandy Loam, μια μικρή προσρόφηση φωσφόρου (16,3 μg P/ g εδαφοβελτιωτικού) έχουμε στην αναλογία χώματος/ εδαφοβελτιωτικού 50/1.

Στο έδαφος Loamy Sand, η μεγαλύτερη προσρόφηση φωσφόρου (66,1 μg P/ g εδαφοβελτιωτικού) παρουσιάζεται στη μεγαλύτερη αναλογία χώματος/ εδαφοβελτιωτικού, η οποία είναι 100/1, ενώ προσρόφηση φωσφόρου (49,6 μg P/ g εδαφοβελτιωτικού) παρουσιάζεται και στη μικρότερη αναλογία χώματος/ εδαφοβελτιωτικού.

8.3.3 Η επίδραση του εδαφοβελτιωτικού μπεντονίτη στην προσρόφηση φωσφόρου

Όσον αφορά στη συμπεριφορά του εδαφοβελτιωτικού μπεντονίτη στο έδαφος Clay Loam, μικρή προσρόφηση φωσφόρου (12,9 $\mu\text{g P/g}$ εδαφοβελτιωτικού) παρουσιάζεται στη μεγαλύτερη αναλογία χώματος/εδαφοβελτιωτικού, ενώ στο έδαφος Sandy Loam προσρόφηση φωσφόρου (82,3 $\mu\text{g P/g}$ εδαφοβελτιωτικού) παρουσιάζεται στην αναλογία χώματος/εδαφοβελτιωτικού 50/1.

8.3.4 Η επίδραση του εδαφοβελτιωτικού γκαιίτη στην προσρόφηση φωσφόρου

Ο γκαιίτης, στο έδαφος Clay Loam προσροφά τη μεγαλύτερη ποσότητα φωσφόρου (198,7 $\mu\text{g P/g}$ εδαφοβελτιωτικού) στην μικρότερη αναλογία χώματος/εδαφοβελτιωτικού. Προσρόφηση φωσφόρου (33,3 $\mu\text{g P/g}$ εδαφοβελτιωτικού) παρουσιάζεται επίσης και στην αναλογία 20/1.

Στο έδαφος Sandy Loam, η μεγαλύτερη προσρόφηση φωσφόρου (97,7 $\mu\text{g P/g}$ εδαφοβελτιωτικού) παρατηρείται στη μικρότερη αναλογία χώματος/εδαφοβελτιωτικού και ακολουθούν κατά φθίνουσα σειρά οι αναλογίες 20/1 και 50/1, στις οποίες η προσρόφηση φωσφόρου είναι 48,8 μg και 16 μg ανά g εδαφοβελτιωτικού αντίστοιχα.

Στο έδαφος Loamy Sand παρατηρείται προσρόφηση φωσφόρου σε όλες τις αναλογίες χώματος/εδαφοβελτιωτικού. Η μεγαλύτερη προσρόφηση παρουσιάζεται στην αναλογία 10/1 (180,4 $\mu\text{g P/g}$ εδαφοβελτιωτικού) και ακολουθούν κατά φθίνουσα σειρά οι αναλογίες 20/1 (127,9 $\mu\text{g P/g}$ εδαφοβελτιωτικού), 100/1 (99,6 $\mu\text{g P/g}$ εδαφοβελτιωτικού) και 50/1 (80,1 $\mu\text{g P/g}$ εδαφοβελτιωτικού).

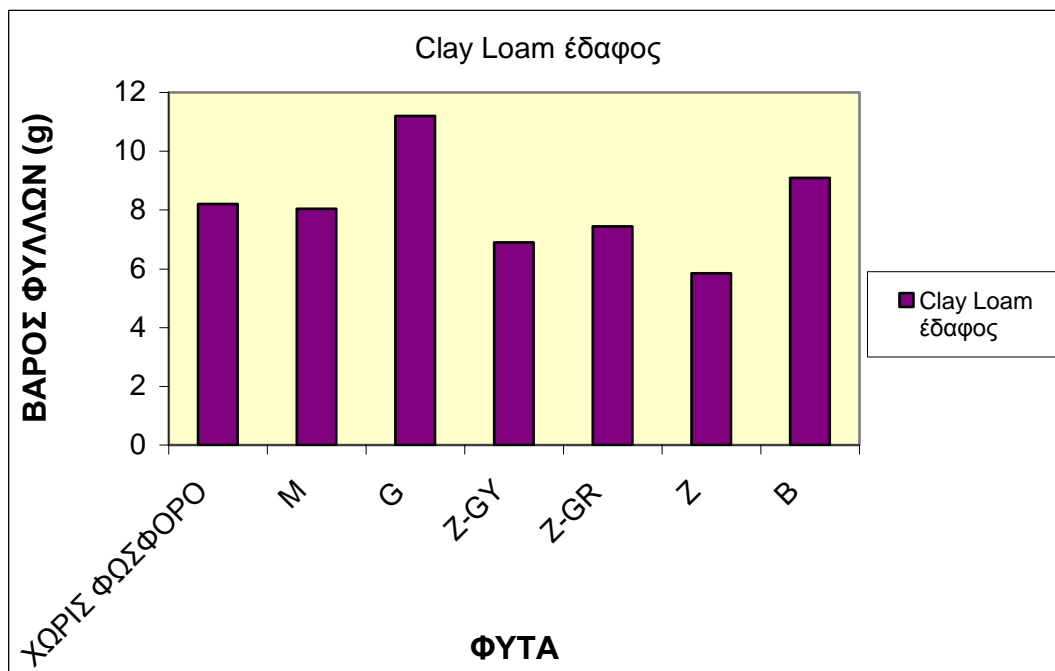
8.3.5 Η επίδραση του εδαφοβελτιωτικού ζεόλιθου-γκαιίτη κίτρινου στην προσρόφηση φωσφόρου

Ο ζεόλιθος-γκαιίτης κίτρινος, στο έδαφος Clay Loam, προσροφά τη μεγαλύτερη ποσότητα φωσφόρου στην αναλογία χώματος/εδαφοβελτιωτικού 10/1 (32 $\mu\text{g P/g}$ εδαφοβελτιωτικού). Προσρόφηση φωσφόρου παρατηρείται επίσης και

στη μεγαλύτερη αναλογία χώματος/ εδαφοβελτιωτικού (29,4 $\mu\text{g P/g}$ εδαφοβελτιωτικού).

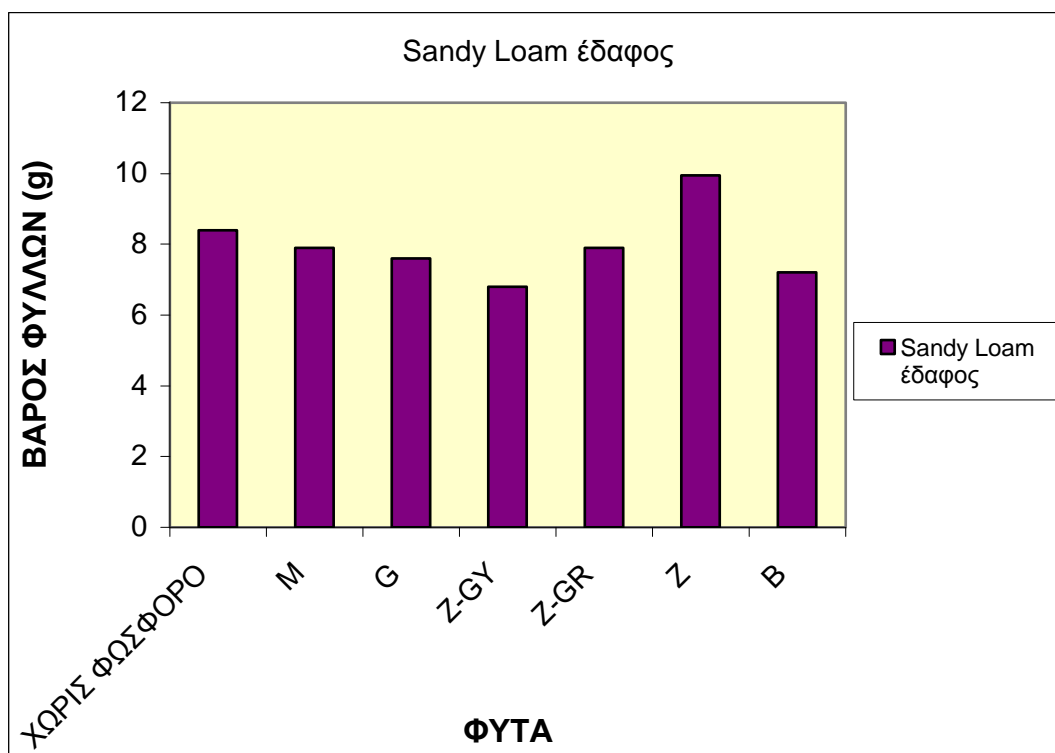
Στο έδαφος Loamy Sand προσρόφηση φωσφόρου παρατηρείται μόνο στη μεγαλύτερη αναλογία χώματος/ εδαφοβελτιωτικού (65,9 $\mu\text{g P/g}$ εδαφοβελτιωτικού).

8.4 Η επίδραση των διαφόρων εδαφοβελτιωτικών στο βάρος φύλλων



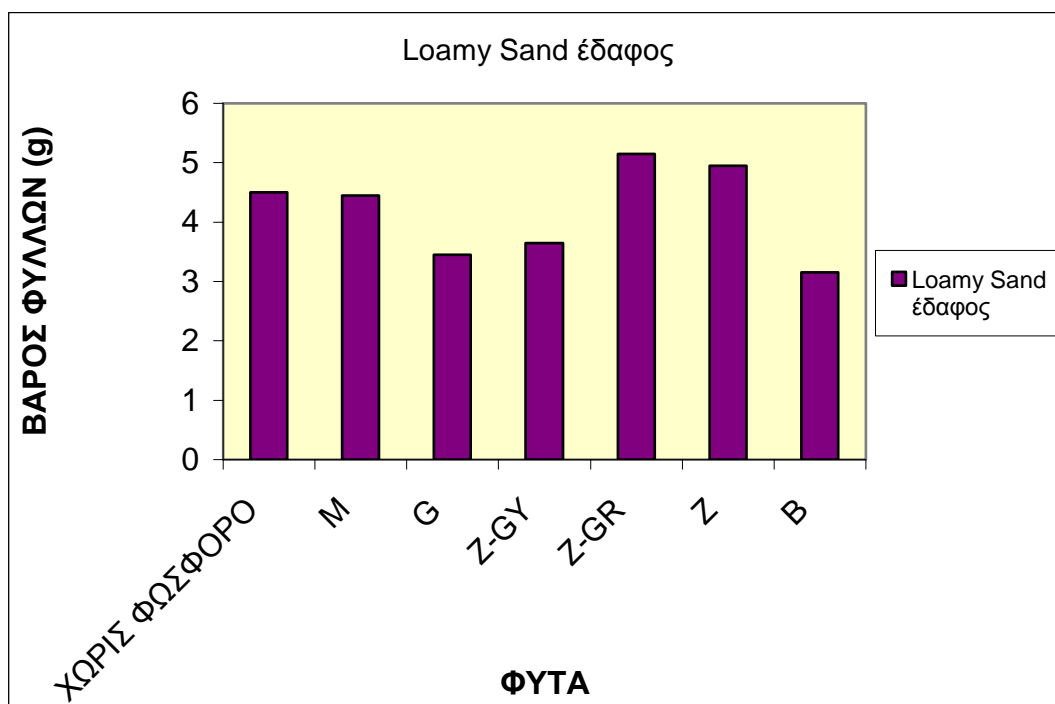
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 10: Η επίδραση των διαφόρων εδαφοβελτιωτικών στο βάρος φύλλων για το χόμα Clay Loam

Από το διάγραμμα 10 φαίνεται ότι για το χόμα Clay Loam το φυτό με το μεγαλύτερο βάρος φύλλων είναι αυτό στο φυτοδοχείο με το εδαφοβελτιωτικό γκαϊτίτης και ακολουθεί αυτό με το εδαφοβελτιωτικό μπεντονίτης. Έπεται το φυτό στο φυτοδοχείο του οποίου δεν έχει προστεθεί φώσφορος και το φυτό μάρτυρας. Τέλος ακολουθούν κατά φθίνουσα σειρά τα φυτά στα φυτοδοχεία με τα εδαφοβελτιωτικά ζεόλιθος-γκαϊτίτης κόκκινος, ζεόλιθος-γκαϊτίτης κίτρινος και ζεόλιθος.



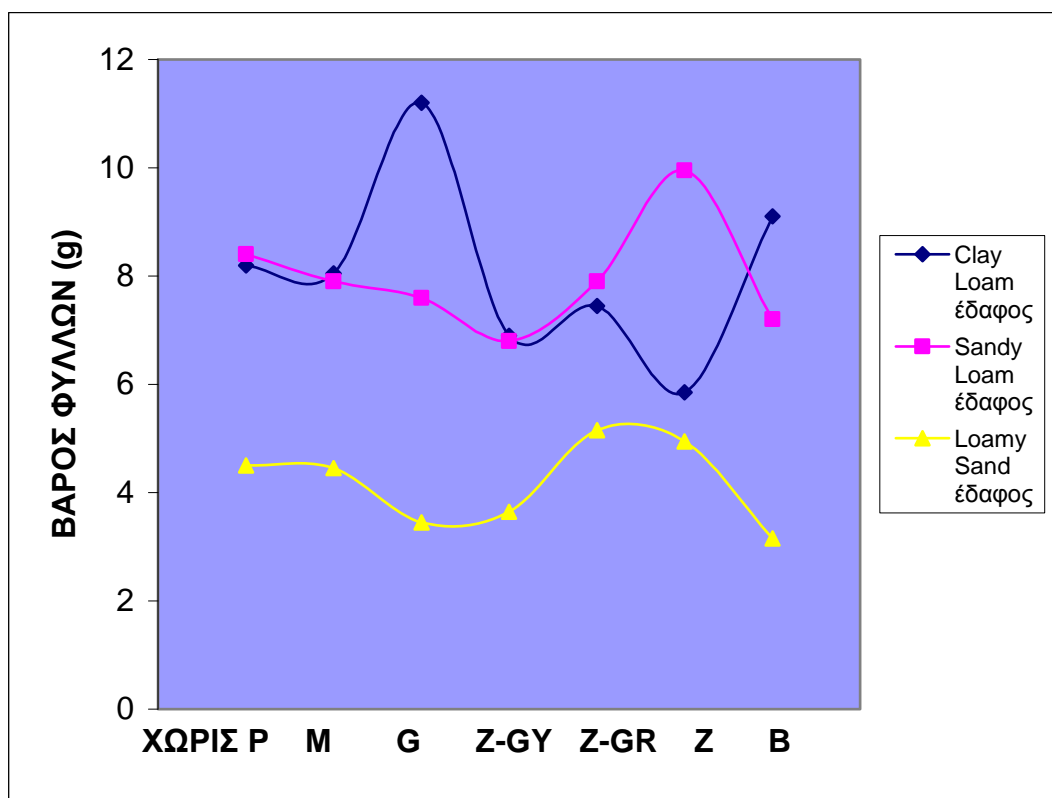
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 11: Η επίδραση των διαφόρων εδαφοβελτιωτικών στο βάρος φύλλων για το χώμα Sandy Loam

Από το διάγραμμα 11 φαίνεται ότι για το χώμα Sandy Loam το μεγαλύτερο βάρος φύλλων παρουσιάζεται στο φυτό του φυτοδοχείου με το εδαφοβελτιωτικό ζεόλιθος. Έπειτα ακολουθεί το φυτό στο φυτοδοχείο του οποίου δεν έχει προστεθεί φώσφορος. Το φυτό μάρτυρας και το φυτό στο φυτοδοχείο του οποίου έχει προστεθεί το εδαφοβελτιωτικό ζεόλιθος-γκαιίτης κόκκινος παρουσιάζουν παρόμοιο βάρος φύλλων. Τέλος ακολουθούν κατά φθίνουσα σειρά τα φυτά στα φυτοδοχεία με τα εδαφοβελτιωτικά γκαιίτης, μπεντονίτης και ζεόλιθος-γκαιίτης κίτρινος.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12: Η επίδραση των διαφόρων εδαφοβελτιωτικών στο βάρος φύλλων για το χόμα Loamy Sand

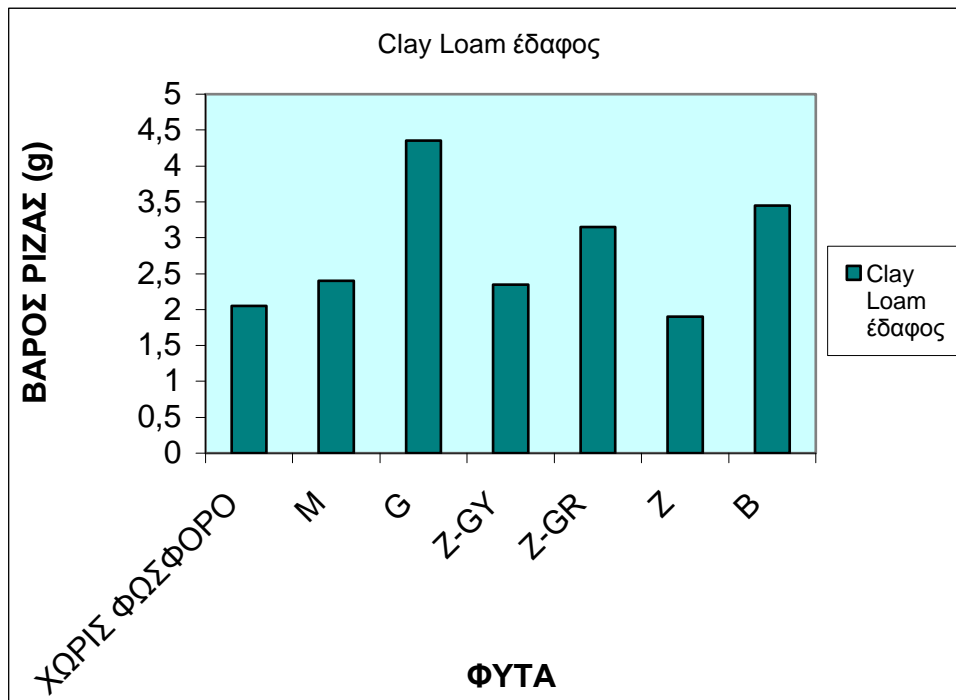
Από το διάγραμμα 12 φαίνεται ότι για το χόμα Loamy Sand το μεγαλύτερο βάρος φύλλων παρουσιάζει το φυτό στο φυτοδοχείο με το εδαφοβελτιωτικό ζεόλιθος-γκαιίτης κόκκινος και ακολουθεί αυτό με το εδαφοβελτιωτικό ζεόλιθος. Έπεται το φυτό μάρτυρας και το φυτό στο φυτοδοχείο του οποίου δεν έχει προστεθεί φώσφορος με παρόμοιο βάρος φύλλων. Τέλος ακολουθούν κατά φθίνουσα σειρά τα φυτά στα φυτοδοχεία με τα εδαφοβελτιωτικά ζεόλιθος-γκαιίτης κίτρινος, γκαϊίτης και μπεντονίτης.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 13: Η επίδραση των διαφόρων εδαφοβελτιωτικών στο βάρος φύλλων και για τα τρία χώματα

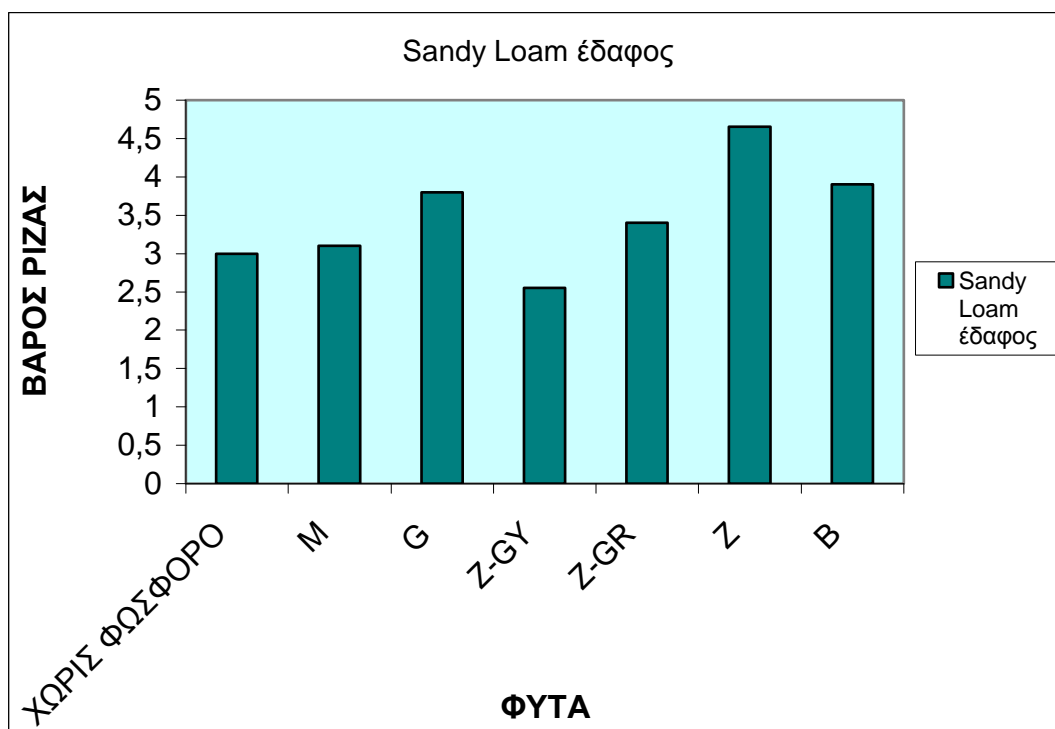
Από το διάγραμμα 13 προκύπτει ότι τα φυτά που αναπτύχθηκαν στο χώμα Loamy Sand έχουν τα μικρότερα βάρη φύλλων έναντι όλων των φυτών που αναπτύχθηκαν στα δύο άλλα εδάφη. Το μεγαλύτερο βάρος φύλλων έχει το φυτό στο φυτοδοχείο του οποίου έχει προστεθεί το εδαφοβελτιωτικό γκαϊτίτης στο χώμα Clay Loam. Το επόμενο μεγαλύτερο βάρος φύλλων έχει το φυτό στο φυτοδοχείο με το εδαφοβελτιωτικό ζεόλιθος στο χώμα Sandy Loam ενώ το αντίστοιχο φυτό στο χώμα Clay Loam παρουσιάζει την μικρότερη τιμή βάρους φύλλων σε σχέση με τα υπόλοιπα εδαφοβελτιωτικά και στα δύο χώματα. Τα φυτά μάρτυρες έχουν παρόμοια τιμή και στα δύο χώματα. Το ίδιο ισχύει και για τα φυτά στα φυτοδοχεία των οποίων δεν έχει προστεθεί φώσφορος καθώς επίσης και με τα φυτά στα φυτοδοχεία των οποίων έχουν προστεθεί τα εδαφοβελτιωτικά ζεόλιθος-γκαϊτίτης κίτρινος και ζεόλιθος-γκαϊτίτης κόκκινος. Τέλος το φυτό στο φυτοδοχείο με το εδαφοβελτιωτικό μπεντονίτης παρουσιάζει μεγαλύτερη τιμή στο χώμα Clay Loam σε σχέση με το Sandy Loam.

8.5 Η επίδραση των διαφόρων εδαφοβελτιωτικών στο βάρος ρίζας



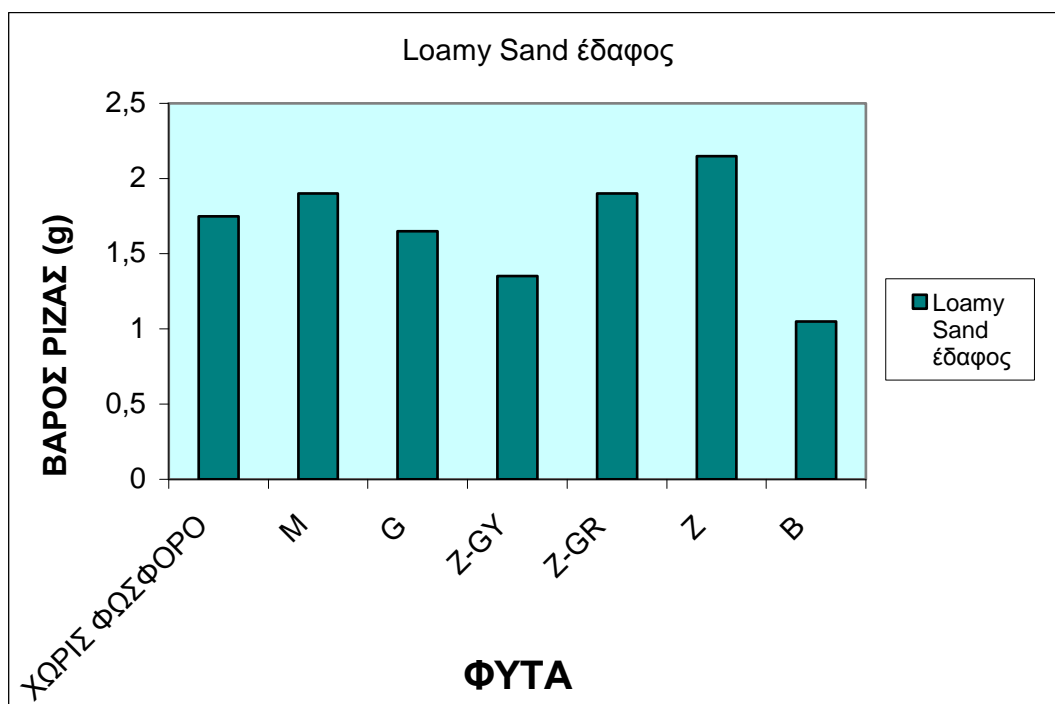
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 14: Η επίδραση των διαφόρων εδαφοβελτιωτικών στο βάρος ρίζας για το χώμα Clay Loam

Από το διάγραμμα 14 φαίνεται ότι το μεγαλύτερο βάρος ρίζας έχει το φυτό στο φυτοδοχείο με το εδαφοβελτιωτικό γκαϊτίτης και ακολουθούν κατά φθίνουσα σειρά ο μπεντονίτης, ο ζεόλιθος-γκαϊτίτης κόκκινος, το φυτό μάρτυρας, ο ζεόλιθος-γκαϊτίτης κίτρινος, το φυτό στο φυτοδοχείο του οποίου δεν έχει προστεθεί φώσφορος και τέλος ο ζεόλιθος.



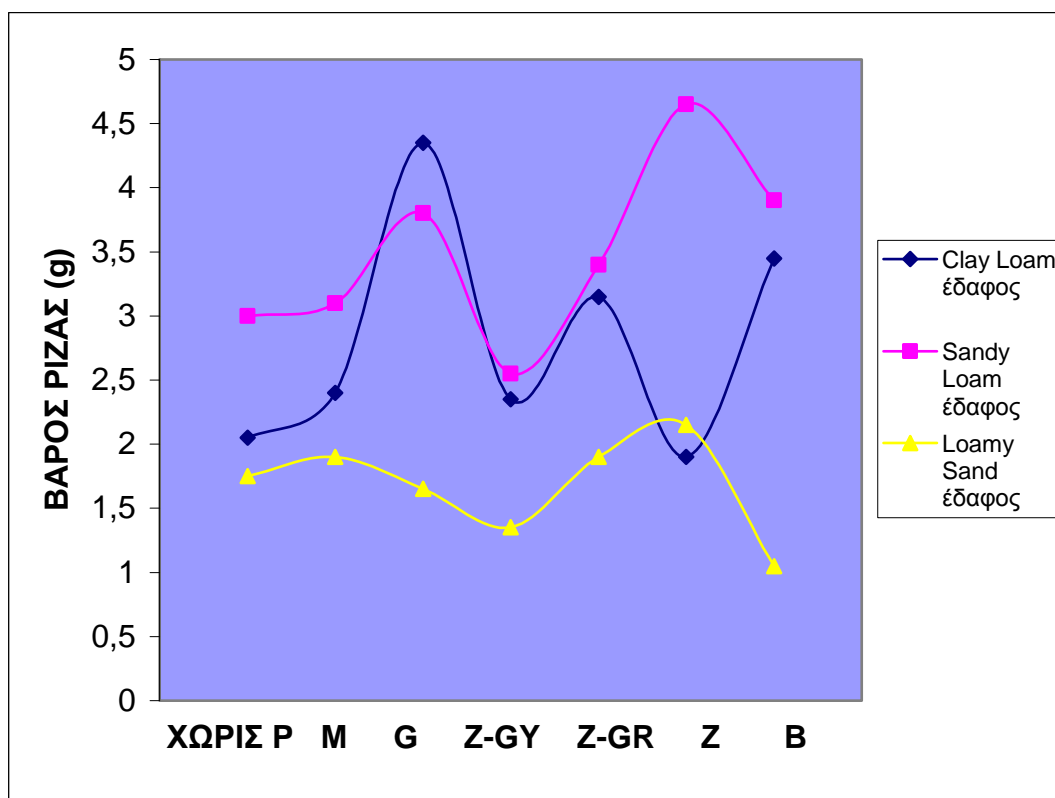
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 15: Η επίδραση των διαφόρων εδαφοβελτιωτικών στο βάρος ρίζας για το χώμα Sandy Loam

Από το διάγραμμα 15 παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο βάρος ρίζας στο χώμα Sandy Loam παρουσιάζει το φυτό στο φυτοδοχείο με το εδαφοβελτιωτικό ζεόλιθος και ακολουθούν κατά φθίνουσα σειρά ο μπεντονίτης, ο γκαιτίτης και ο ζεόλιθος-γκαιτίτης κόκκινος. Έπεται το φυτό μάρτυρας και το φυτό στο φυτοδοχείο του οποίου δεν έχει προστεθεί φώσφορος. Το μικρότερο βάρος ρίζας παρουσιάζει το φυτό του φυτοδοχείου με το εδαφοβελτιωτικό ζεόλιθος-γκαιτίτης κίτρινος.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 16: Η επίδραση των διαφόρων εδαφοβελτιωτικών στο βάρος ρίζας για το χώμα Loamy Sand

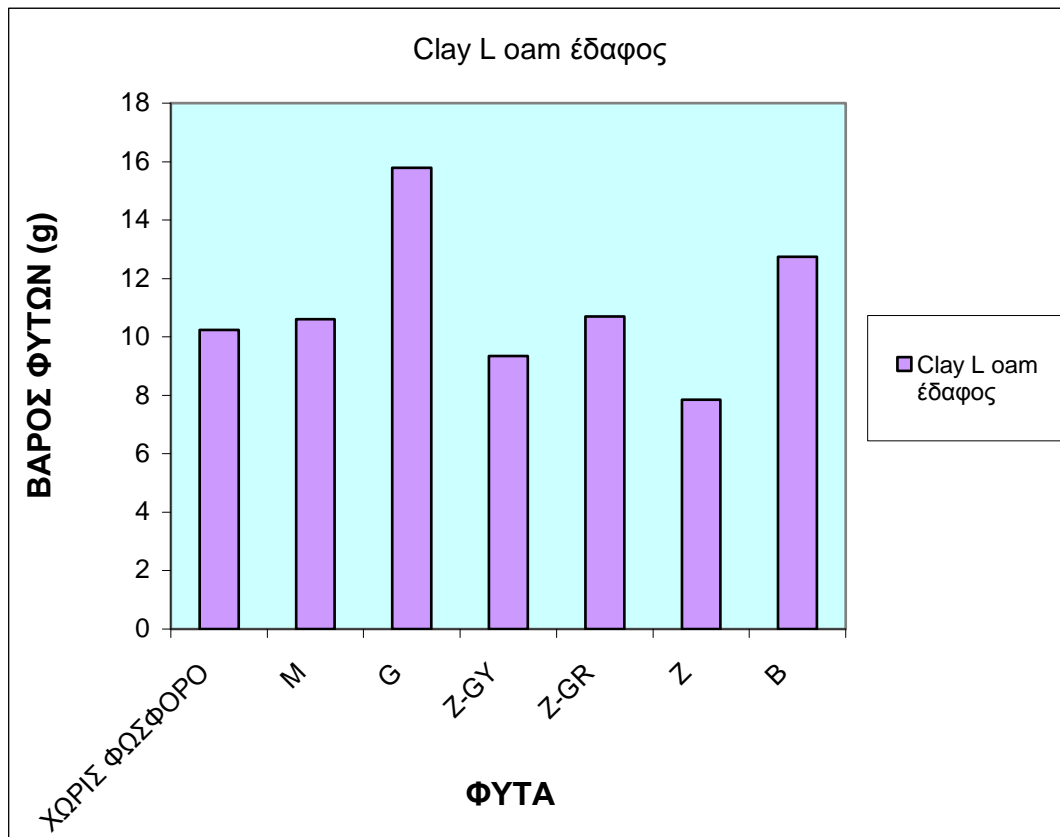
Από το διάγραμμα 16 παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο βάρος ρίζας στο χώμα Loamy Sand έχει το φυτό στο φυτοδοχείο με το εδαφοβελτιωτικό ζεόλιθος, ακολουθούν το φυτό μάρτυρας και το φυτό με το εδαφοβελτιωτικό ζεόλιθος-γκαιίτης κόκκινος τα οποία έχουν παρόμοιο βάρος ρίζας. Στην συνέχεια ακολουθούν κατά φθίνουσα σειρά, το φυτό στο φυτοδοχείο του οποίου δεν έχει προστεθεί φώσφορος, το φυτό με το εδαφοβελτιωτικό γκαϊίτης, ζεόλιθος-γκαιίτης κίτρινος και μπεντονίτης.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 17: Η επίδραση των διαφόρων εδαφοβελτιωτικών στο βάρος ρίζας και για τα τρία χώματα

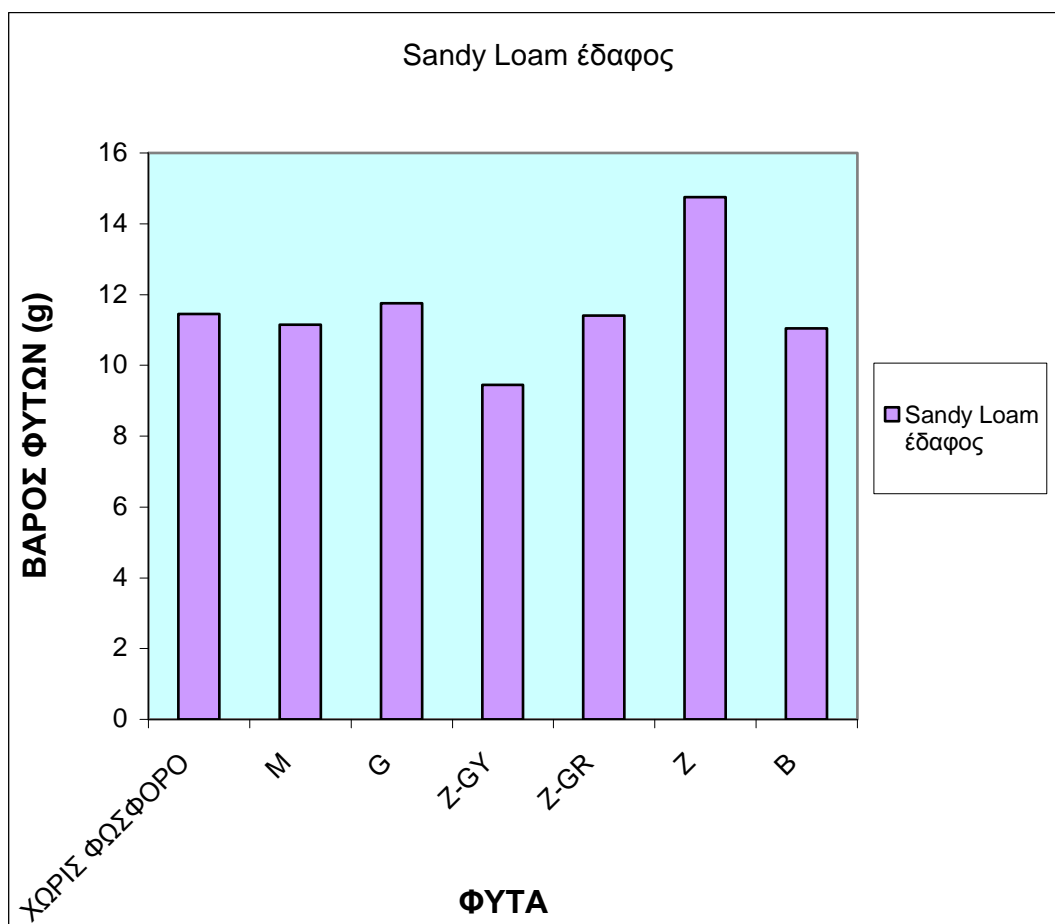
Από το διάγραμμα 17 φαίνεται ότι τα φυτά που αναπτύχθηκαν στο έδαφος Loamy Sand παρουσιάζουν τα μικρότερα βάρη ρίζας σε όλα τα εδαφοβελτιωτικά εκτός από το εδαφοβελτιωτικό ζεόλιθος που στο χώμα Loamy Sand παρουσιάζει μεγαλύτερο βάρος ρίζας σε σχέση με το χώμα Clay Loam. Το μεγαλύτερο βάρος ρίζας παρουσιάζει το φυτό στο φυτοδοχείο με το εδαφοβελτιωτικό ζεόλιθος στο χώμα Sandy Loam ενώ το επόμενο μεγαλύτερο βάρος ρίζας παρουσιάζει το φυτό με το εδαφοβελτιωτικό γκαιίτης του χώματος Clay Loam και ακολουθεί το φυτό στο φυτοδοχείο με το εδαφοβελτιωτικό μπεντονίτης του χώματος Sandy Loam. Το φυτό στο φυτοδοχείο που δεν έχει προστεθεί φώσφορος παρουσιάζει μεγαλύτερο βάρος ρίζας στο χώμα Sandy Loam σε σχέση με το χώμα Clay Loam. Το ίδιο ισχύει και για τα φυτά μάρτυρες των δύο χωμάτων, με βάρος ρίζας όμως μεγαλύτερο των φυτών στα φυτοδοχεία που δεν έχει προστεθεί φώσφορος. Τα φυτά στα φυτοδοχεία με τα εδαφοβελτιωτικά ζεόλιθος-γκαιίτης κίτρινος και ζεόλιθος-γκαιίτης κόκκινος παρουσιάζουν παρόμοια βάρη ρίζας και στα δύο χώματα.

8.6 Η επίδραση των διαφόρων εδαφοβελτιωτικών στο βάρος των φυτών



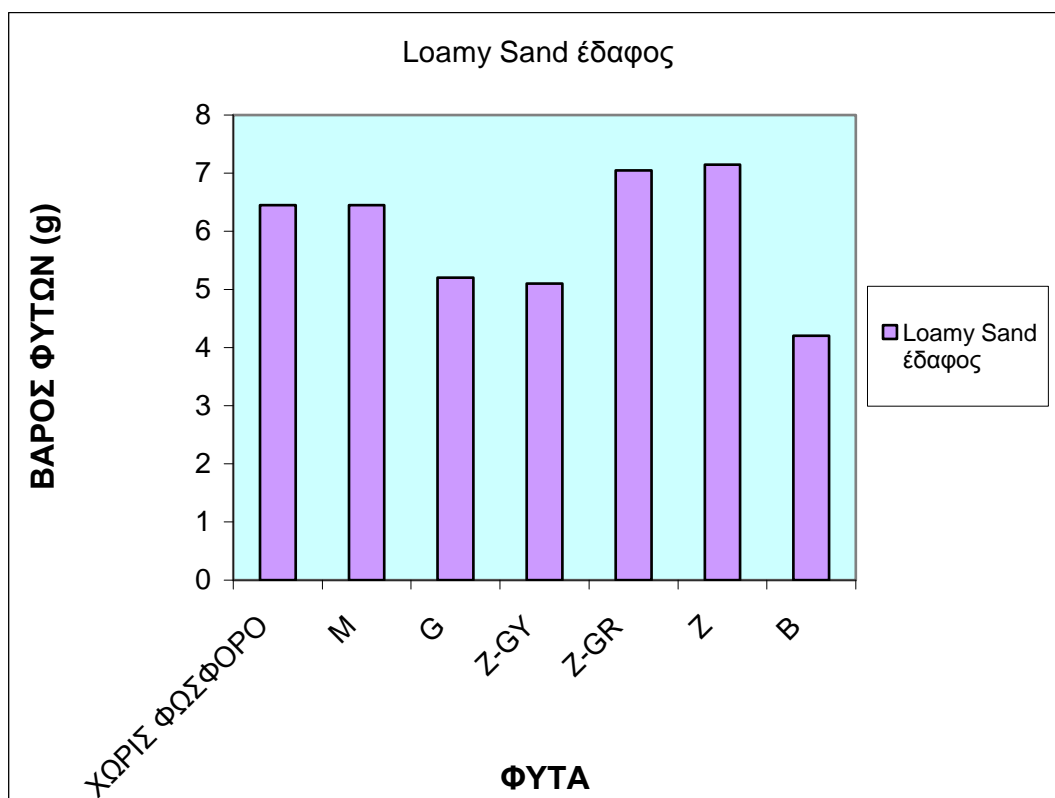
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 18: Η επίδραση των διαφόρων εδαφοβελτιωτικών στο βάρος των φυτών για το χώμα Clay Loam

Από το διάγραμμα 18 φαίνεται ότι για το χώμα Clay Loam το μεγαλύτερο βάρος φυτού παρουσιάζει το φυτό στο φυτοδοχείο του οποίου έχει προστεθεί το εδαφοβελτιωτικό γκαιίτης και ακολουθεί αυτό με το εδαφοβελτιωτικό μπεντονίτης. Έπεται το φυτό του φυτοδοχείου με το εδαφοβελτιωτικό ζεόλιθος-γκαιίτης κόκκινος το οποίο έχει παρόμοιο βάρος με το φυτό-μάρτυρα και στη συνέχεια ακολουθεί το φυτό στο φυτοδοχείο του οποίου δεν έχει προστεθεί φώσφορος. Το φυτό, στο φυτοδοχείο του οποίου έχει προστεθεί το εδαφοβελτιωτικό ζεόλιθος-γκαιίτης κίτρινος, έχει μικρότερο βάρος σε σχέση με αυτό του φυτού μάρτυρα και τέλος το μικρότερο βάρος φυτού έναντι όλων των φυτών παρατηρείται στο φυτό του φυτοδοχείου στο οποίο έχει προστεθεί ζεόλιθος.



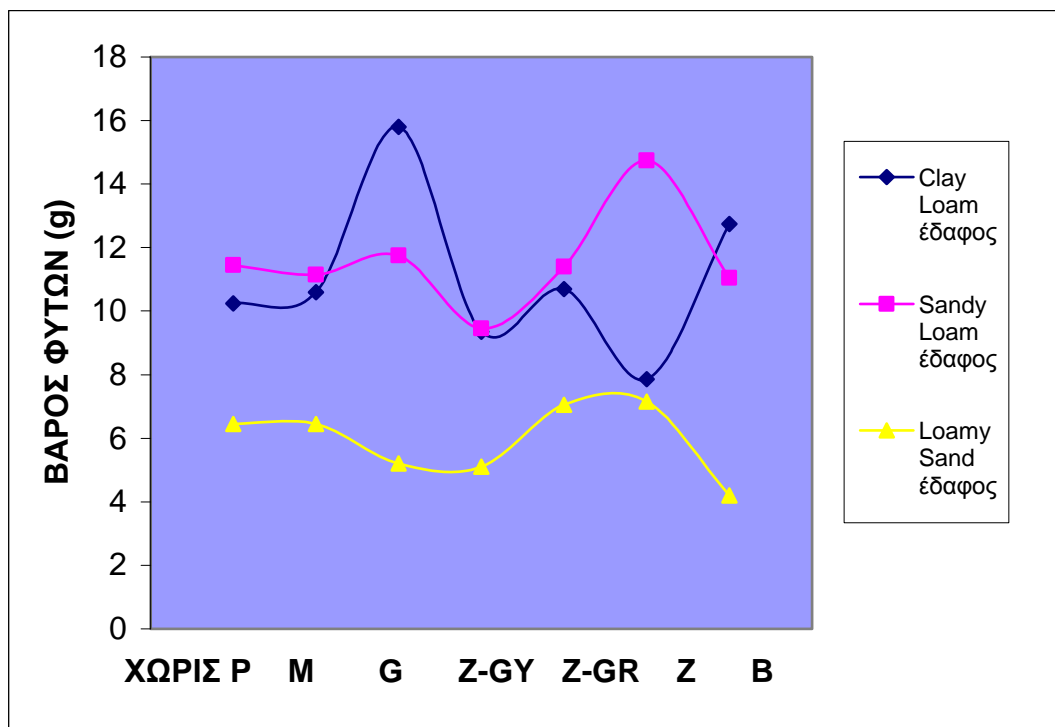
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 19: Η επίδραση των διαφόρων εδαφοβελτιωτικών στο βάρος των φυτών για το χόμα Sandy Loam

Από το διάγραμμα 19 φαίνεται ότι για το χόμα Sandy Loam το μεγαλύτερο βάρος φυτού παρουσιάζει το φυτό στο φυτοδοχείο του οποίου έχει προστεθεί ζεόλιθος και ακολουθεί το φυτό με το εδαφοβελτιωτικό γκαιίτης. Το φυτό, στο φυτοδοχείο του οποίου δεν έχει προστεθεί φώσφορος έχει παρόμοιο βάρος με αυτό στο φυτοδοχείο με το εδαφοβελτιωτικό ζεόλιθος-γκαιίτης κόκκινος. Επόμενο σε βάρος φυτό είναι το φυτό μάρτυρας και ακολουθεί το φυτό στο φυτοδοχείο με το εδαφοβελτιωτικό μπεντονίτης. Το μικρότερο σε βάρος φυτό είναι αυτό στο φυτοδοχείο με το εδαφοβελτιωτικό ζεόλιθος-γκαιίτης κίτρινος.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 20: Η επίδραση των διαφόρων εδαφοβελτιωτικών στο βάρος των φυτών για το χώμα Loamy Sand

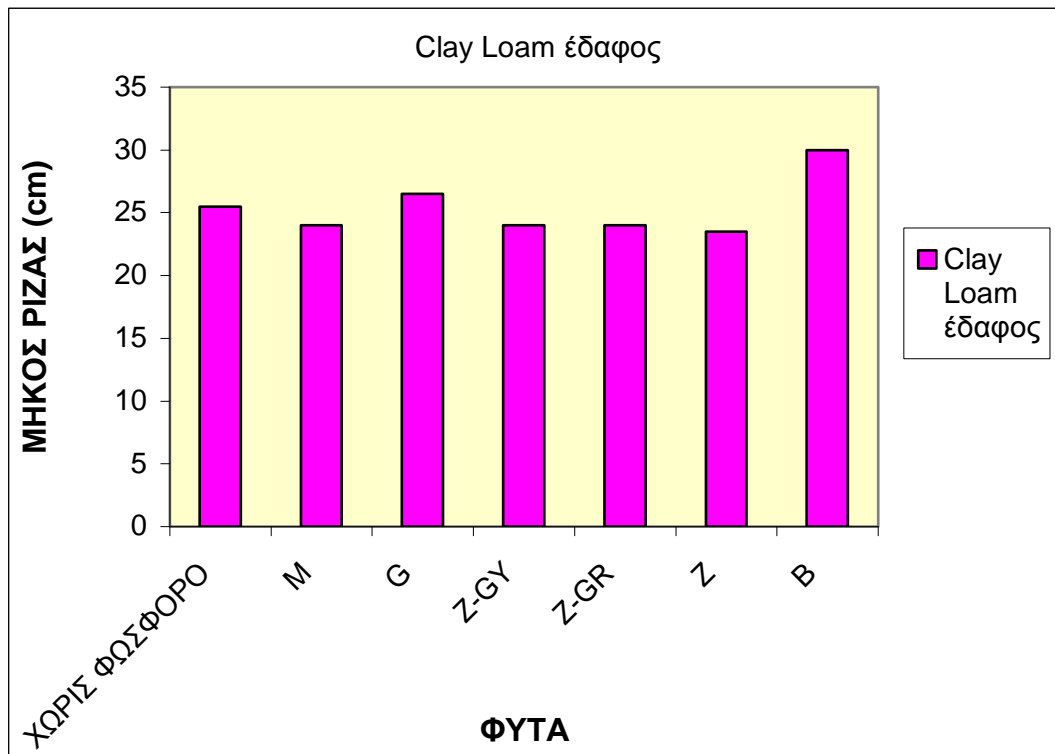
Από το διάγραμμα 20 φαίνεται ότι για το χώμα Loamy Sand τα φυτά στα φυτοδοχεία με τα εδαφοβελτιωτικά ζεόλιθος-γκαιίτης κόκκινος και ζεόλιθος έχουν το μεγαλύτερο και παρόμοιο βάρος. Στην συνέχεια ακολουθούν το φυτό μάρτυρας και το φυτό στο φυτοδοχείο του οποίου δεν έχει προστεθεί φώσφορος, τα οποία παρουσιάζουν παρόμοια τιμή και τα φυτά στα φυτοδοχεία με τα εδαφοβελτιωτικά γκαϊίτης και ζεόλιθος-γκαιίτης κίτρινος με παρόμοια τιμή επίσης. Την μικρότερη τιμή βάρους παρουσιάζει το φυτό στο φυτοδοχείο με το εδαφοβελτιωτικό μπεντονίτης.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 21: Η επίδραση των διαφόρων εδαφοβελτιωτικών στο βάρος των φυτών και για τα τρία χώματα

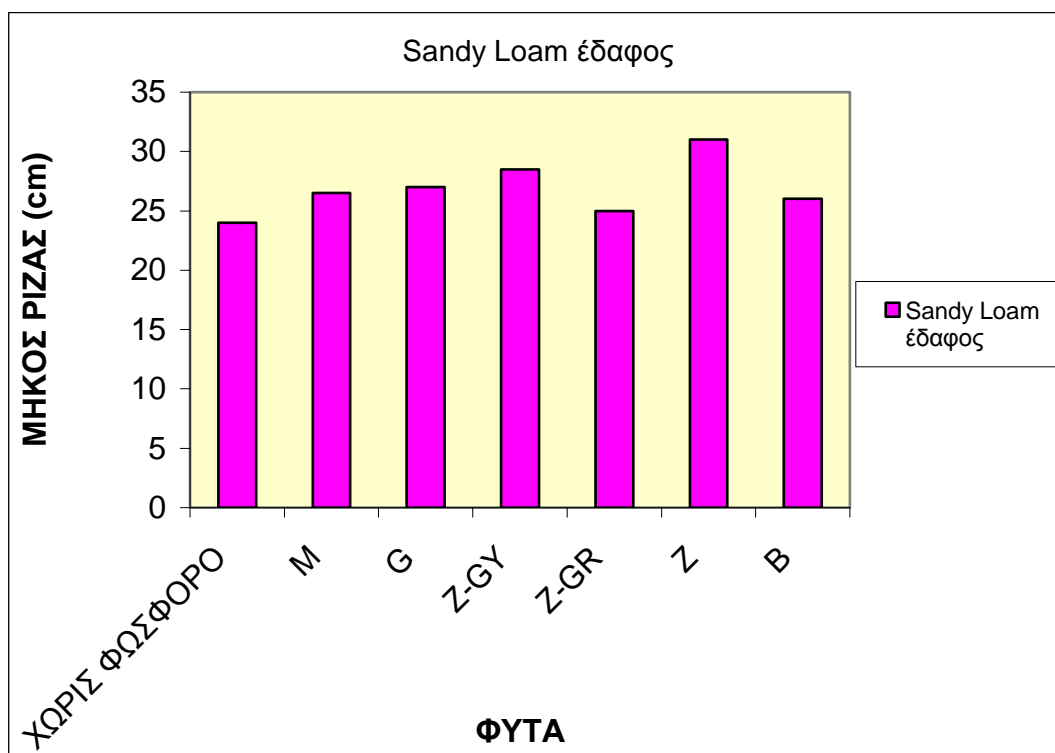
Από το διάγραμμα 21 προκύπτει ότι τα φυτά που αναπτύχθηκαν στο χώμα Loamy Sand έχουν το μικρότερο βάρος έναντι όλων των φυτών που αναπτύχθηκαν στα δύο άλλα εδάφη. Το φυτό στο φυτοδοχείο με το εδαφοβελτιωτικό γκαϊτίτης στο χώμα Clay Loam παρουσιάζει τη μεγαλύτερη τιμή βάρους. Τα φυτά στα φυτοδοχεία με το εδαφοβελτιωτικό ζεόλιθος-γκαϊτίτης κίτρινος στο Clay Loam και στο Sandy Loam χώμα παρουσιάζουν παρόμοια τιμή βάρους, ενώ το φυτό με το εδαφοβελτιωτικό ζεόλιθος στο χώμα Sandy Loam παρουσιάζει μεγαλύτερο βάρος σε σχέση με αυτό του χώματος Clay Loam που η τιμή του τείνει να είναι κοντά με την τιμή βάρους φυτού στο Loamy Sand χώμα. Οι τιμές βάρους του φυτού-μάρτυρα και του φυτού στο φυτοδοχείο με το εδαφοβελτιωτικό ζεόλιθος-γκαϊτίτης κόκκινος παρουσιάζουν παρόμοια τιμή και στα δύο χώματα. Η τιμή βάρους του φυτού στο φυτοδοχείο με τον μπεντονίτη ως εδαφοβελτιωτικό έχει μεγαλύτερη τιμή στο χώμα Clay Loam σε σχέση με το χώμα Sandy Loam, ενώ στα φυτοδοχεία που δεν έχει προστεθεί φώσφορος στα δύο αυτά χώματα συμβαίνει το αντίθετο.

8.7 Η επίδραση των διαφόρων εδαφοβελτιωτικών στο μήκος ρίζας



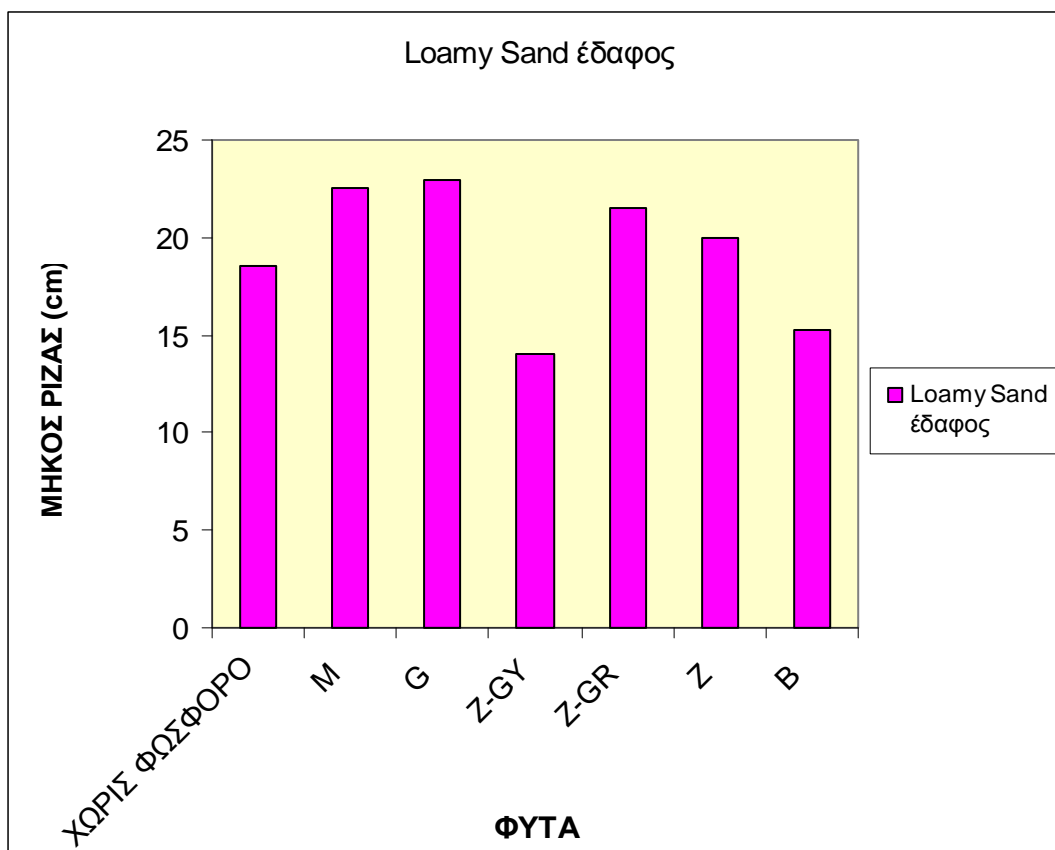
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 22: Η επίδραση των διαφόρων εδαφοβελτιωτικών στο μήκος ρίζας για το χόμα Clay Loam

Από το διάγραμμα 22 φαίνεται ότι το φυτό στο φυτοδοχείο με το εδαφοβελτιωτικό μπεντονίτης έχει το μεγαλύτερο μήκος ρίζας. Έπεται το μήκος ρίζας του φυτού με το εδαφοβελτιωτικό γκαιτίτης και εν συνεχεία το μήκος ρίζας του φυτού, στο φυτοδοχείο του οποίου, δεν έχει προστεθεί φώσφορος. Τα φυτά, στα φυτοδοχεία με τα εδαφοβελτιωτικά ζεόλιθος-γκαιτίτης κόκκινος και ζεόλιθος-γκαιτίτης κίτρινος, έχουν παρόμοιο μήκος ρίζας με το φυτό μάρτυρας. Το μικρότερο μήκος ρίζας παρουσιάζει το φυτό στο φυτοδοχείο με το εδαφοβελτιωτικό ζεόλιθος.



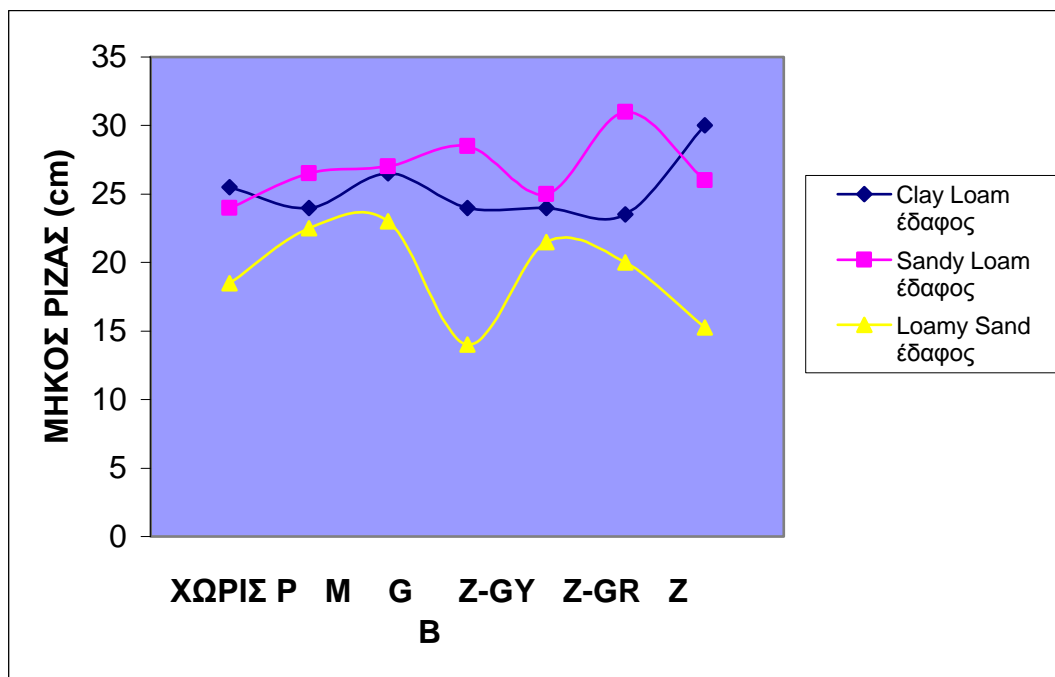
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 23: Η επίδραση των διαφόρων εδαφοβελτιωτικών στο μήκος ρίζας για το χώμα Sandy Loam

Από το διάγραμμα 23 παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο μήκος ρίζας έχει το φυτό στο φυτοδοχείο με το εδαφοβελτιωτικό ζεόλιθος και ακολουθεί κατά φθίνουσα σειρά το φυτό στο φυτοδοχείο με το εδαφοβελτιωτικό ζεόλιθος-γκαιίτης κίτρινος, γκαιίτης, το φυτό μάρτυρας, το φυτό στο φυτοδοχείο με το εδαφοβελτιωτικό μπεντονίτης και το φυτό με το εδαφοβελτιωτικό ζεόλιθος-γκαιίτης κόκκινος. Το μικρότερο μήκος ρίζας έχει το φυτό στο φυτοδοχείο του οποίου δεν έχει προστεθεί φώσφορος.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 24: Η επίδραση των διαφόρων εδαφοβελτιωτικών στο μήκος ρίζας για το χώμα Loam Sandy

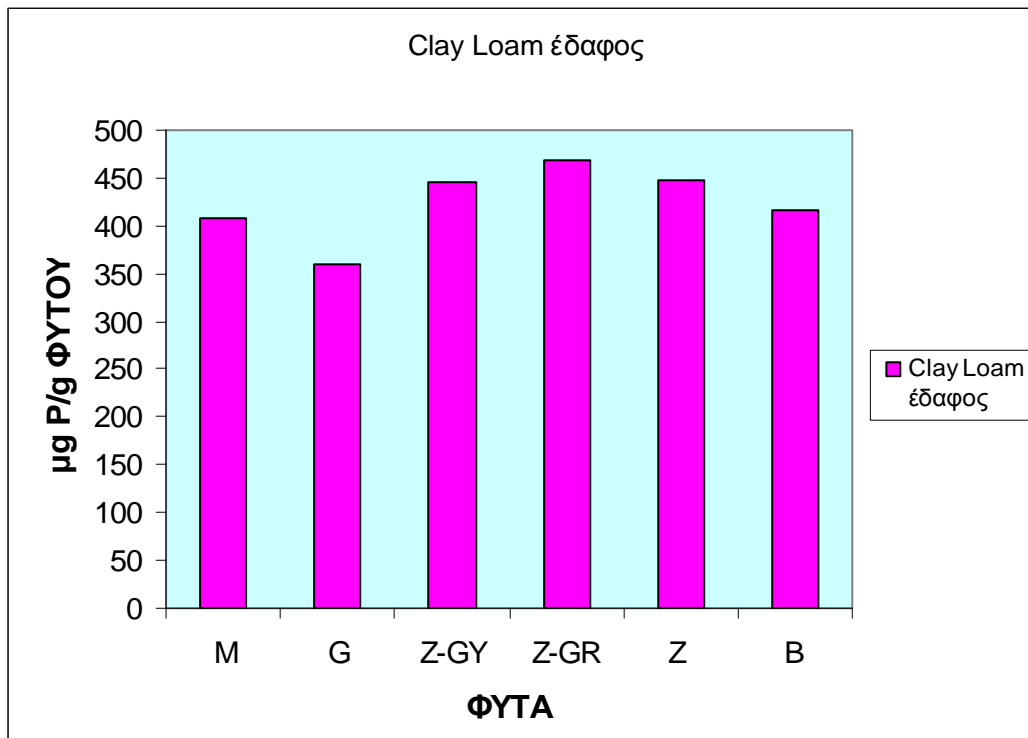
Από το διάγραμμα 24 φαίνεται ότι μεγαλύτερο μήκος ρίζας έχει το φυτό στο φυτοδοχείο με το εδαφοβελτιωτικό γκαϊτίτης, έπεται το μήκος ρίζας του φυτού-μάρτυρα και ακολουθεί το φυτό στο φυτοδοχείο με το εδαφοβελτιωτικό ζεόλιθος-γκαϊτίτης κόκκινος. Λίγο μικρότερο μήκος ρίζας έχει το φυτό στο φυτοδοχείο με το εδαφοβελτιωτικό ζεόλιθος, ακολουθεί το φυτό στο φυτοδοχείο του οποίου δεν έχει προστεθεί φώσφορος και το φυτό με το εδαφοβελτιωτικό μπεντονίτης. Το μικρότερο μήκος ρίζας έχει το φυτό στο φυτοδοχείο με το εδαφοβελτιωτικό ζεόλιθος-γκαϊτίτης κίτρινος.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 25: Η επίδραση των διαφόρων εδαφοβελτιωτικών στο μήκος ρίζας και για τα τρία χώματα

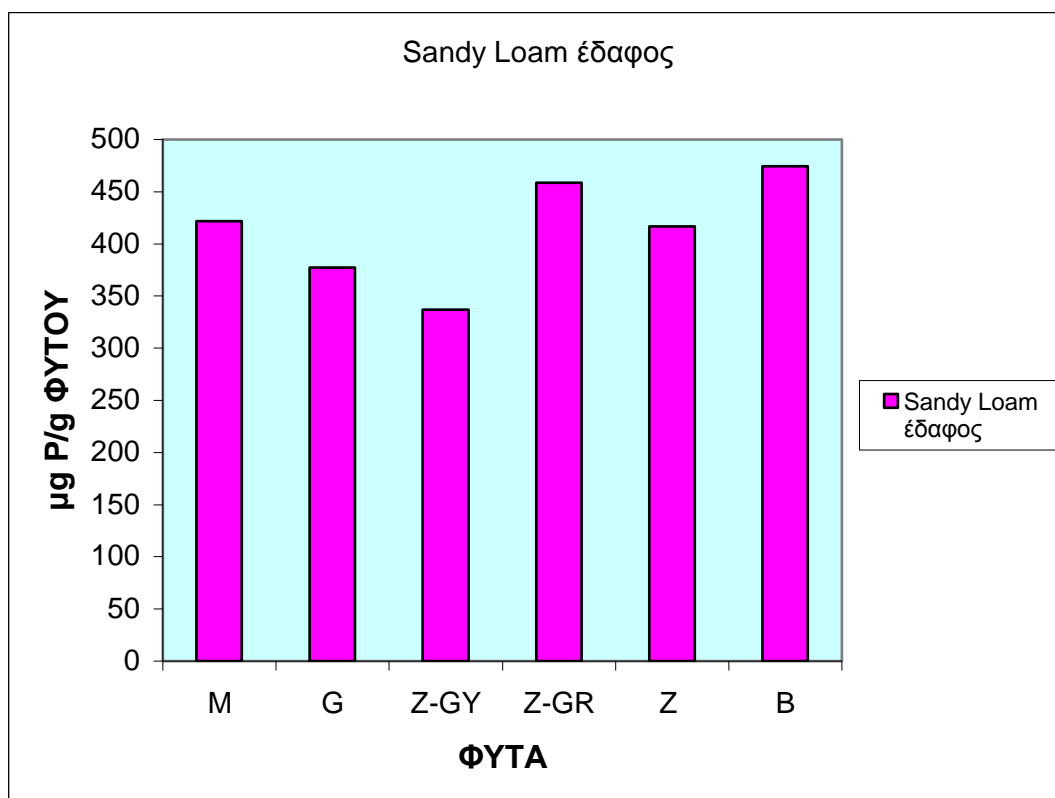
Από το διάγραμμα 25 προκύπτει ότι τα φυτά που αναπτύχθηκαν στο χώμα Loamy Sand έχουν τα μικρότερα μήκη ρίζας έναντι όλων των φυτών που αναπτύχθηκαν στα δύο άλλα εδάφη. Στο χώμα Clay Loam παρατηρούμε ότι έχουμε μικρότερα ή ίσα μήκη ρίζας σε σχέση με το χώμα Sandy Loam με μόνο δύο εξαιρέσεις οι οποίες είναι οι εξής: το φυτό που αναπτύχθηκε στο φυτοδοχείο με το εδαφοβελτιωτικό μπεντονίτης και αυτό στο φυτοδοχείο του οποίου δεν έχει προστεθεί φώσφορος.

8.8 Η προσρόφιση του φωσφόρου από τα φυτά σε συνάρτηση με τα διάφορα εδαφοβελτιωτικά



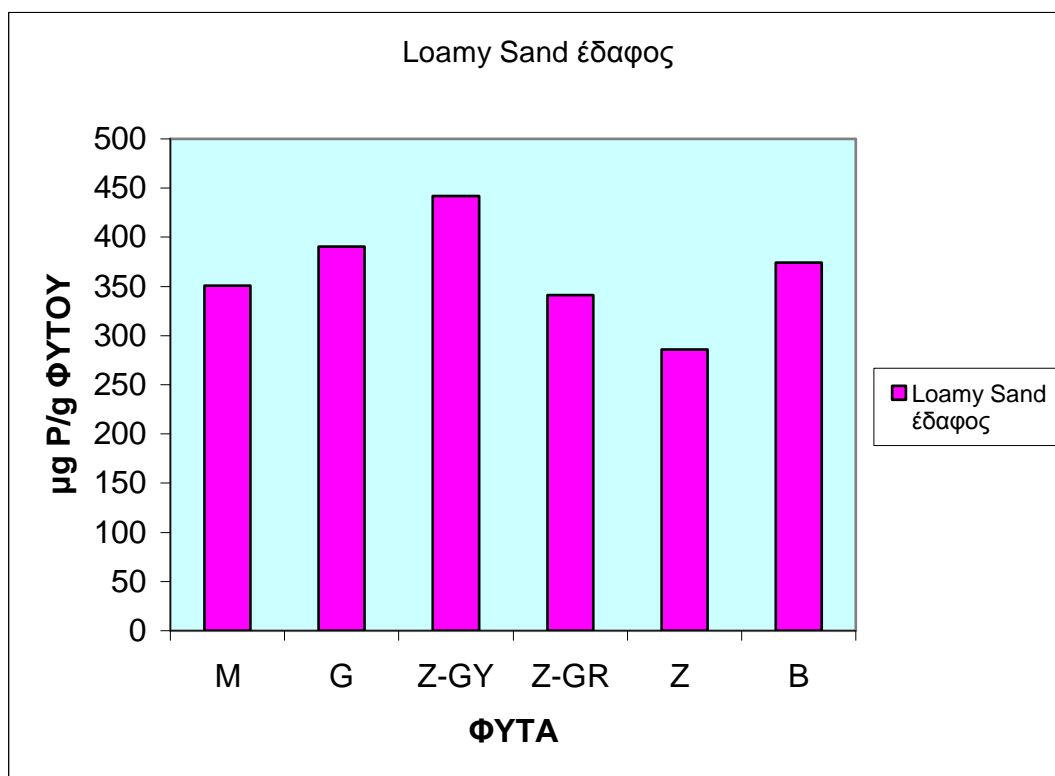
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 26: Η προσρόφιση του φωσφόρου από τα φυτά σε συνάρτηση με τα διάφορα εδαφοβελτιωτικά για το χρώμα Clay Loam

Από το διάγραμμα 26 προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα όσον αφορά στην προσρόφιση φωσφόρου από τα φυτά στο χρώμα Clay Loam. Στο φυτοδοχείο με το εδαφοβελτιωτικό ζεόλιθος-γκαιίτης κόκκινος το φυτό προσρόφησε την μεγαλύτερη ποσότητα φωσφόρου. Έπειτα ακολούθησαν τα φυτά στα φυτοδοχεία με τα εδαφοβελτιωτικά ζεόλιθος και ζεόλιθος-γκαιίτης κίτρινος, τα οποία συμπεριφέρθηκαν παρόμοια και κατόπιν ακολούθησε το φυτό στο φυτοδοχείο με το εδαφοβελτιωτικό μπεντονίτης. Και τα τέσσερα αυτά εδαφοβελτιωτικά συνετέλεσαν έτσι ώστε το φυτό να προσροφήσει μεγαλύτερη ποσότητα φωσφόρου σε σχέση με το φυτό-μάρτυρα, οπότε και τα τέσσερα αυτά εδαφοβελτιωτικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποκατάσταση του εδάφους από περίσσεια φωσφόρου. Το φυτό μάρτυρας περιέχει τα πάντα εκτός από εδαφοβελτιωτικό. Στο φυτοδοχείο με το εδαφοβελτιωτικό γκαϊίτης το φυτό προσρόφησε την μικρότερη ποσότητα φωσφόρου οπότε ο γκαϊίτης είναι το εδαφοβελτιωτικό που έχει την ικανότητα στον τύπο αυτό εδάφους, να κατακρατά μία ποσότητα φωσφόρου και να μην την επιτρέπει να προσροφηθεί από το φυτό.



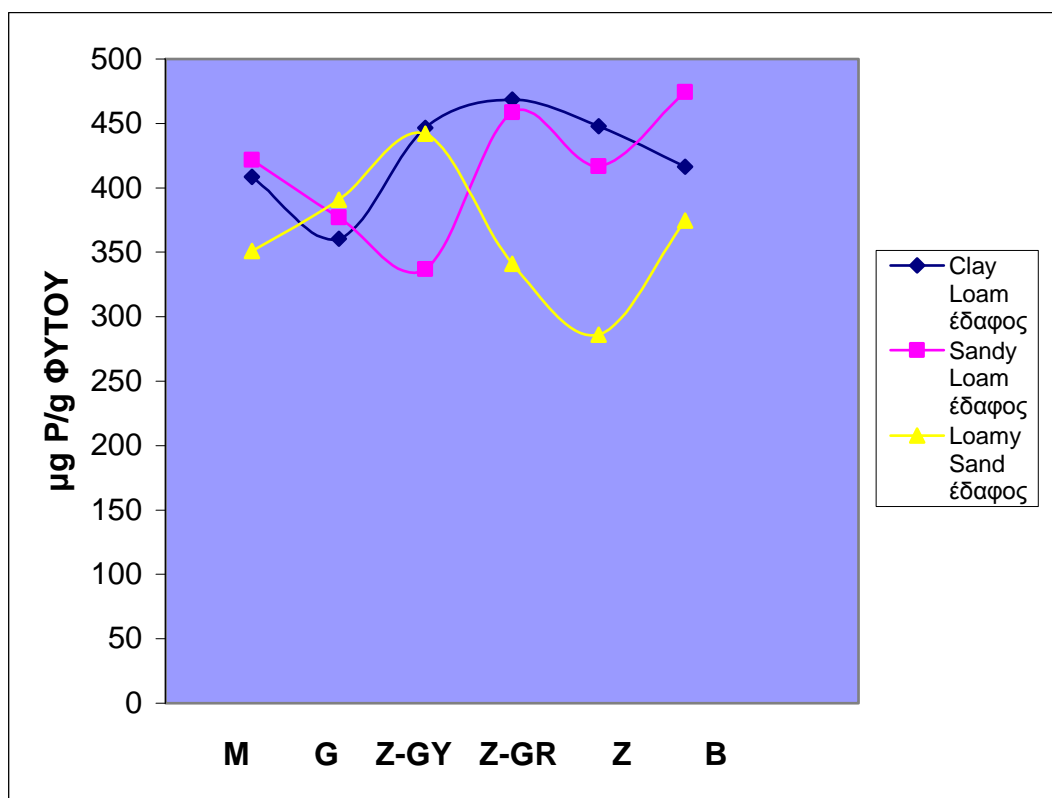
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 27: Η προσρόφηση του φωσφόρου από τα φυτά σε συνάρτηση με τα διάφορα εδαφοβελτιωτικά για το χώμα Sandy Loam

Από το διάγραμμα 27 προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα όσον αφορά στην προσρόφηση φωσφόρου από τα φυτά στο χώμα Sandy Loam. Στο φυτοδοχείο με το εδαφοβελτιωτικό μπεντονίτης το φυτό προσρόφησε τη μεγαλύτερη ποσότητα φωσφόρου και έπειτα ακολούθησε το φυτό στο φυτοδοχείο με το εδαφοβελτιωτικό ζεόλιθος-γκαιίτης κόκκινος. Και τα δύο αυτά εδαφοβελτιωτικά συνετέλεσαν έτσι ώστε το φυτό να προσροφήσει μεγαλύτερη ποσότητα φωσφόρου σε σχέση με το φυτό-μάρτυρα, οπότε και τα δύο αυτά εδαφοβελτιωτικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποκατάσταση του εδάφους από περίσσεια φωσφόρου. Το φυτό στο φυτοδοχείο με το εδαφοβελτιωτικό ζεόλιθος έχει προσροφήσει μικρότερη ποσότητα φωσφόρου σε σχέση με το φυτό-μάρτυρα. Ακόμα μικρότερη προσρόφηση φωσφόρου έχει το φυτό στο φυτοδοχείο με το εδαφοβελτιωτικό γκαιίτης, ενώ τη μικρότερη προσρόφηση έχει το φυτό στο φυτοδοχείο με το εδαφοβελτιωτικό ζεόλιθος-γκαιίτης κίτρινος. Οπότε και τα τρία αυτά εδαφοβελτιωτικά (ζεόλιθος, γκαιίτης, ζεόλιθος-γκαιίτης κίτρινος) έχουν την ικανότητα, στον τύπο αυτό εδάφους, να κατακρατούν μια ποσότητα φωσφόρου με αποτέλεσμα να μην προσροφάται από το φυτό.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 28: Η προσρόφηση του φωσφόρου από τα φυτά σε συνάρτηση με τα διάφορα εδαφοβελτιωτικά για το χρώμα Loamy Sand

Από το διάγραμμα 28 προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα όσον αφορά στην προσρόφηση φωσφόρου από τα φυτά στο χρώμα Loamy Sand. Στο φυτοδοχείο με το εδαφοβελτιωτικό ζεόλιθος-γκαιίτης κίτρινος το φυτό προσρόφησε τη μεγαλύτερη ποσότητα φωσφόρου, έπειτα ακολούθησε το φυτό στο φυτοδοχείο με το εδαφοβελτιωτικό γκαϊίτης και κατόπιν αυτό με το εδαφοβελτιωτικό μπεντονίτης. Και τα τρία αυτά εδαφοβελτιωτικά βοήθησαν το φυτό να προσροφήσει μεγαλύτερη ποσότητα φωσφόρου σε σχέση με το φυτό-μάρτυρα, οπότε και τα τρία αυτά εδαφοβελτιωτικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποκατάσταση του εδάφους από περίσσεια φωσφόρου. Το φυτό στο φυτοδοχείο με το εδαφοβελτιωτικό ζεόλιθος-γκαιίτης κόκκινος, προσρόφησε μικρότερη ποσότητα φωσφόρου σε σχέση με το φυτό-μάρτυρα. Ακόμα μικρότερη προσρόφηση φωσφόρου είχε το φυτό στο φυτοδοχείο με το εδαφοβελτιωτικό ζεόλιθος. Οπότε και τα δύο αυτά εδαφοβελτιωτικά (ζεόλιθος-γκαιίτης κόκκινος, ζεόλιθος) έχουν την ικανότητα, στον τύπο αυτό εδάφους, να κατακρατούν μια ποσότητα φωσφόρου με αποτέλεσμα να μην προσροφάται από το φυτό.

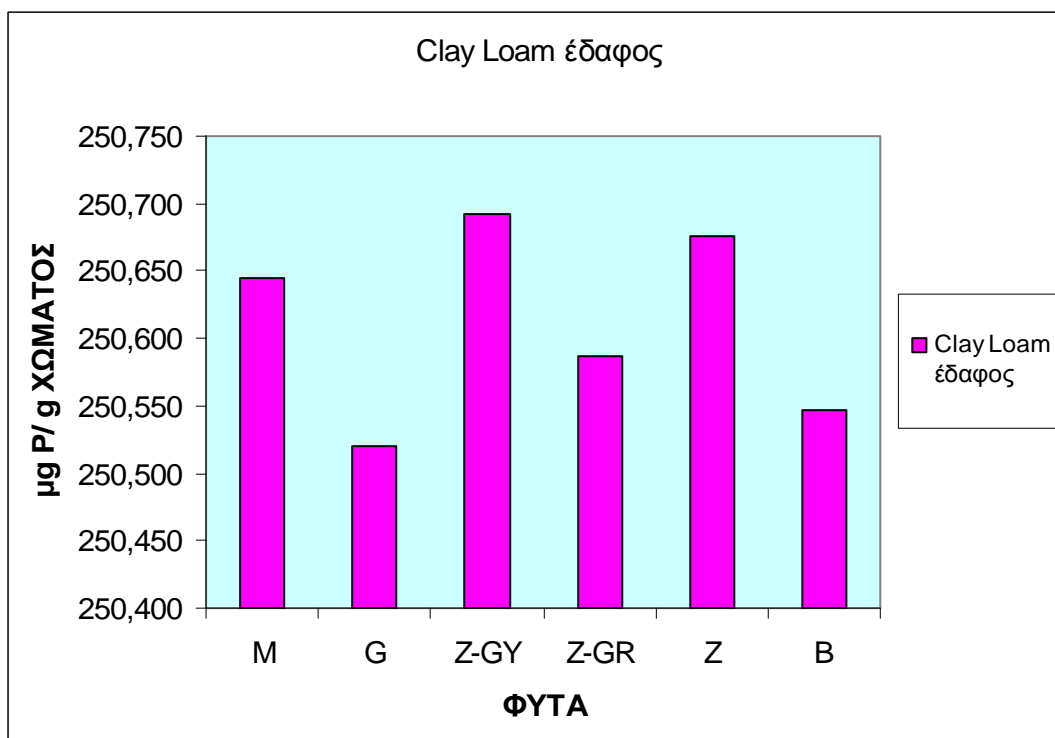


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 29: Η προσρόφηση του φωσφόρου από τα φυτά σε συνάρτηση με τα διάφορα εδαφοβελτιωτικά για τα τρία χόματα

Το φυτό μάρτυρας του χόματος Sandy Loam έχει τη μεγαλύτερη προσρόφηση φωσφόρου ενώ ακολουθούν κατά φθίνουσα σειρά τα φυτά μάρτυρες του χόματος Clay Loam και κατόπιν του χόματος Loamy Sand. Στο φυτοδοχείο με το εδαφοβελτιωτικό γκαϊτίτης για το χόμα Clay Loam το φυτό προσρόφησε τη μικρότερη ποσότητα φωσφόρου έπειτα ακολούθησε το Sandy Loam και μετά το Loamy Sand χόμα. Με τη χρήση του εδαφοβελτιωτικού γκαϊτίτης στα χόματα Clay Loam και Sandy Loam η προσρόφηση φωσφόρου στα φυτά ήταν μικρότερη σε σχέση με αυτή των φυτών μαρτύρων, ενώ παρατηρούμε ότι δεν ισχύει το ίδιο και για το χόμα Loamy Sand. Τα φυτά στα φυτοδοχεία με το εδαφοβελτιωτικό ζεόλιθος-γκαϊτίτης κίτρινος έχουν μεγαλύτερη προσρόφηση φωσφόρου σε σχέση με τα φυτά μάρτυρες για τα χόματα Clay Loam και Loamy Sand, ενώ για το χόμα Sandy Loam η προσρόφηση είναι μικρότερη σε σχέση με το φυτό-μάρτυρα. Τα φυτά στα φυτοδοχεία με το εδαφοβελτιωτικό ζεόλιθος-γκαϊτίτης κόκκινος έχουν μεγαλύτερη προσρόφηση φωσφόρου σε σχέση με τα φυτά μάρτυρες των χωμάτων Clay Loam και Sandy Loam, ενώ για το χόμα Loamy Sand η προσρόφηση είναι μικρότερη σε σχέση με τα φυτά μάρτυρες. Το φυτό στο φυτοδοχείο με το

εδαφοβελτιωτικό ζεόλιθος έχει μεγαλύτερη προσρόφηση φωσφόρου σε σχέση με το φυτό μάρτυρα για το Clay Loam χόμα, ενώ στα χόματα Sandy Loam και Loamy Sand η προσρόφηση ήταν μικρότερη σε σχέση με τα φυτά μάρτυρες. Τα φυτά στα φυτοδοχεία με το εδαφοβελτιωτικό μπεντονίτης είχαν και για τους τρεις τύπους εδάφους μεγαλύτερη προσρόφηση φωσφόρου σε σχέση με αυτή των φυτών μάρτυρες.

8.9 Η επίδραση των διαφόρων εδαφοβελτιωτικών στην προσρόφηση του φωσφόρου από το έδαφος

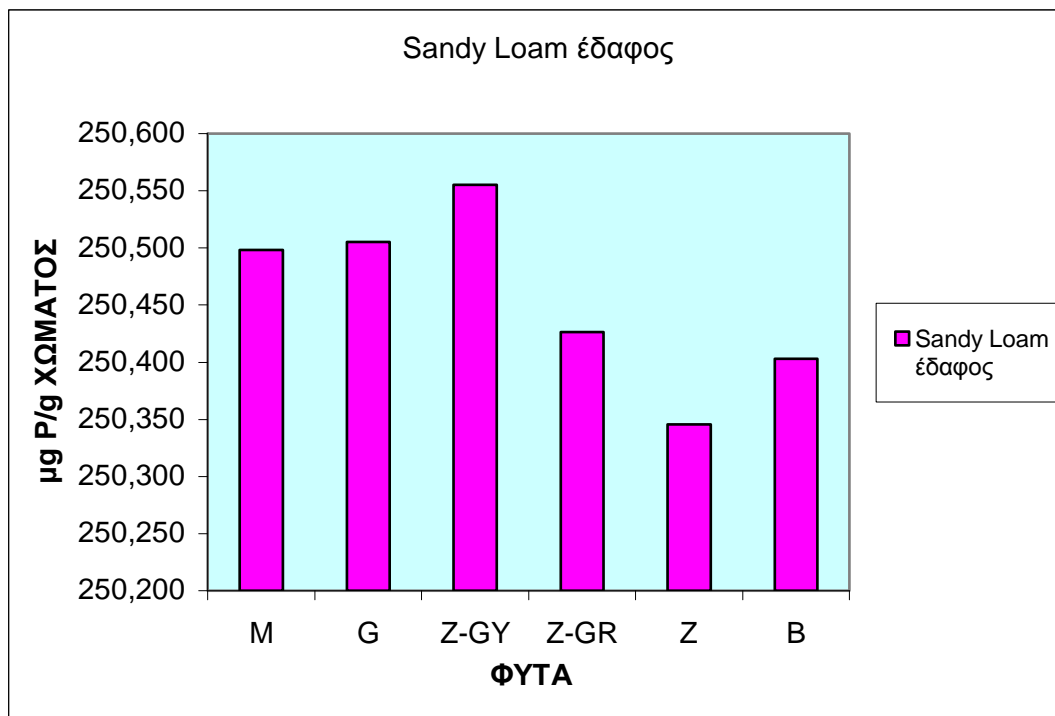


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 30: Η επίδραση των διαφόρων εδαφοβελτιωτικών στην κατακράτηση του φωσφόρου ανά g χόματος Clay Loam μετά την καλλιέργεια του μαρουλιού

Πίνακας 8.1: Η % προσρόφιση φωσφόρου από το έδαφος Clay Loam

ΕΔΑΦΟΣ CLAY LOAM		
ΕΔΑΦΟΒΕΛΤΙΩΤΙΚΑ	μg P/ g ΧΩΜΑΤΟΣ	% ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ P/ g ΧΩΜΑΤΟΣ
M	250,645	99,86%
G	250,520	99,81%
Z-GY	250,692	99,88%
Z-GR	250,587	99,86%
Z	250,675	99,87%
B	250,547	99,82%

Από το διάγραμμα 30 και το πίνακα 8.1 φαίνεται ότι για το χόμα Clay Loam τη μεγαλύτερη προσρόφιση φωσφόρου την έχουμε στο έδαφος όπου έχουμε προσθέσει το εδαφοβελτιωτικό ζεόλιθος-γκαιίτης κίτρινος (99,88%), έπειτα ακολουθούν κατά φθίνουσα σειρά το έδαφος με το εδαφοβελτιωτικό ζεόλιθος (99,87%), το έδαφος που δεν έχει προστεθεί κανένα εδαφοβελτιωτικό (99,86%) και τα εδάφη με τα εδαφοβελτιωτικά ζεόλιθος-γκαιίτης κόκκινος (99,86%), μπεντονίτης (99,82%) και γκαιίτης (99,81%).

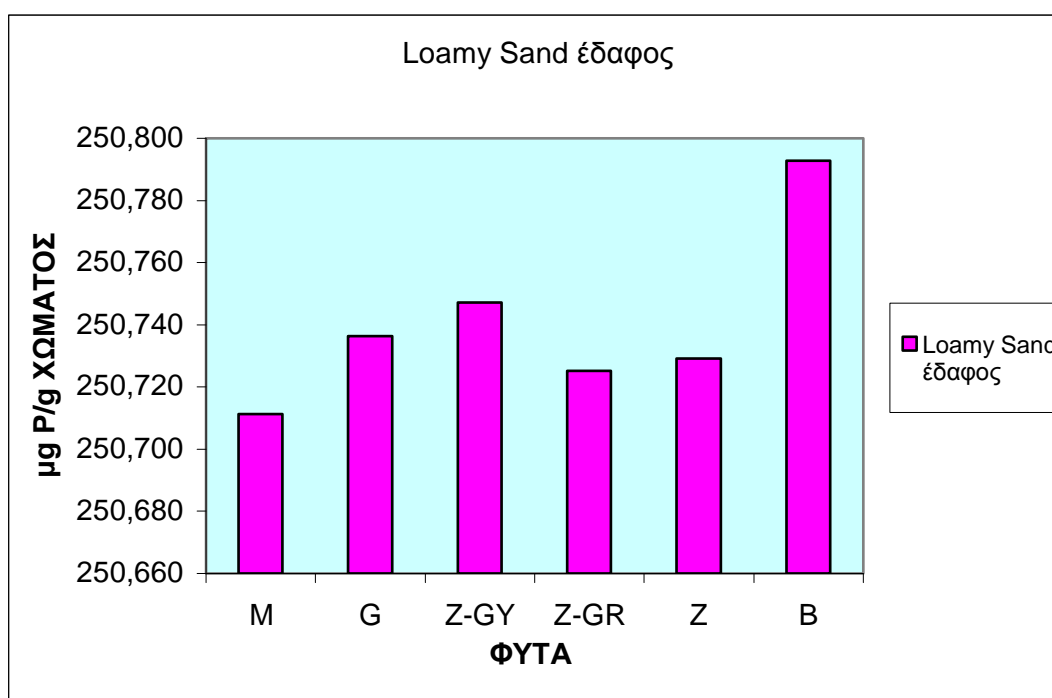


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 31: Η επίδραση των διαφόρων εδαφοβελτιωτικών στην κατακράτηση του φωσφόρου ανά g χόματος Sandy Loam μετά την καλλιέργεια του μαρουλιού

Πίνακας 8.2: Η % προσρόφηση φωσφόρου από το έδαφος Sandy Loam

ΕΔΑΦΟΣ SANDY LOAM		
ΕΔΑΦΟΒΕΛΤΙΩΤΙΚΑ	μg P/ g ΧΩΜΑΤΟΣ	% ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ P/ g ΧΩΜΑΤΟΣ
M	250,498	99,85%
G	250,505	99,86%
Z-GY	250,555	99,88%
Z-GR	250,426	99,82%
Z	250,346	99,79%
B	250,403	99,81%

Από το διάγραμμα 31 και το πίνακα 8.2 φαίνεται ότι για το χώμα Sandy Loam τη μεγαλύτερη προσρόφηση φωσφόρου την έχουμε στο έδαφος όπου έχουμε προσθέσει το εδαφοβελτιωτικό ζεόλιθος-γκαιίτης κίτρινος (99,88%), έπειτα ακολουθούν κατά φθίνουσα σειρά το έδαφος με το εδαφοβελτιωτικό γκαϊίτης (99,86%), το έδαφος που δεν έχουμε προσθέσει κανένα εδαφοβελτιωτικό (99,85%) και τα εδάφη με τα εδαφοβελτιωτικά, ζεόλιθος-γκαιίτης κόκκινος (99,82%), μπεντονίτης (99,81%) και ζεόλιθος (99,79%).

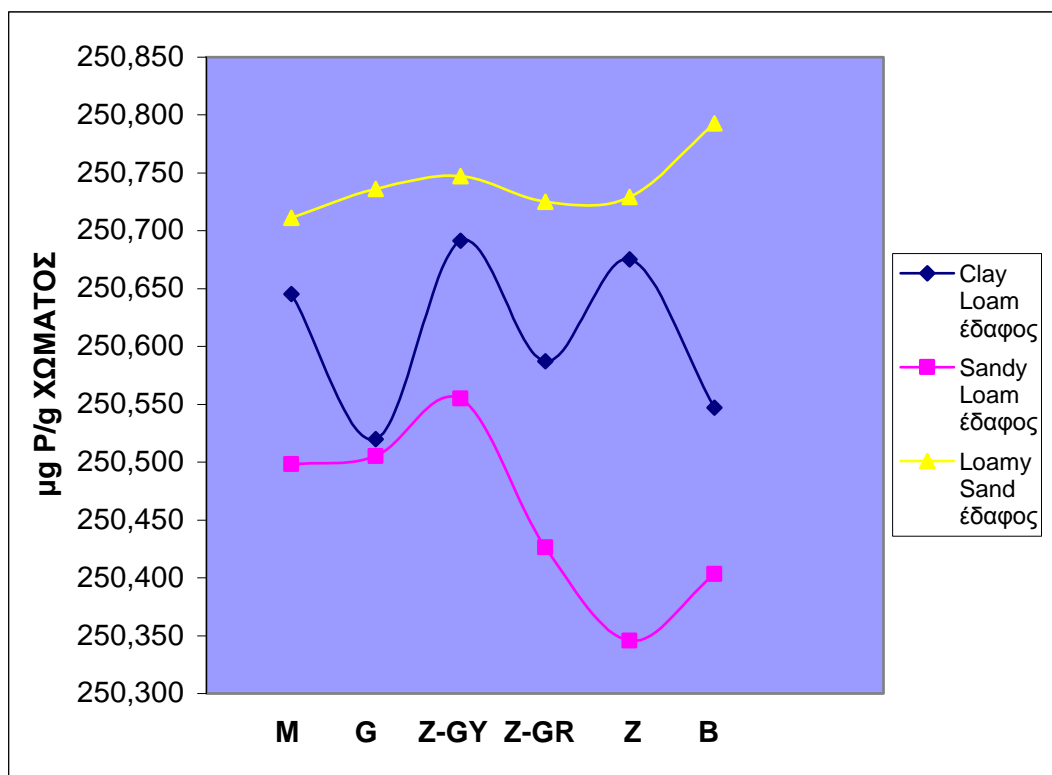


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 32: Η επίδραση των διαφόρων εδαφοβελτιωτικών στην κατακράτηση του φωσφόρου ανά g χώματος Loamy Sand μετά την καλλιέργεια του μαρουλιού

Πίνακας 8.3: Η % προσρόφηση φωσφόρου από το έδαφος Loamy Sand

ΕΔΑΦΟΣ LOAMY SAND		
ΕΔΑΦΟΒΕΛΤΙΩΤΙΚΑ	μg P/ g ΧΩΜΑΤΟΣ	% ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ P/ g ΧΩΜΑΤΟΣ
M	250,711	99,905%
G	250,736	99,915%
Z-GY	250,747	99,919%
Z-GR	250,725	99,910%
Z	250,729	99,912%
B	250,793	99,937%

Από το διάγραμμα 32 και τον πίνακα 8.3 φαίνεται ότι στο χώμα Loamy Sand τη μεγαλύτερη προσρόφηση φωσφόρου την έχουμε στο έδαφος με το εδαφοβελτιωτικό μπεντονίτης (99,937%). Έπειτα ακολουθούν τα εδάφη με τα εδαφοβελτιωτικά ζεόλιθος-γκαιίτης κίτρινος (99,919%), γκαιίτης (99,915%), ζεόλιθος (99,912%), ζεόλιθος-γκαιίτης κόκκινος (99,910%) και τέλος ακολουθεί το έδαφος στο οποίο δεν έχει προστεθεί κανένα εδαφοβελτιωτικό (99,905%).



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 33: Η επίδραση των διαφόρων εδαφοβελτιωτικών στην κατακράτηση του φωσφόρου ανά g χώματος για όλους τους τύπους εδαφών μετά την καλλιέργεια του μαρουλιού

Από το διάγραμμα 33 φαίνεται ότι το έδαφος Loamy Sand παρουσιάζει τη μεγαλύτερη κατακράτηση φωσφόρου. Έπειτα ακολουθεί το έδαφος Clay Loam ενώ τη μικρότερη κατακράτηση φωσφόρου έχει το Sandy Loam έδαφος.

9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

9.1 Η επίδραση των εδαφοβελτιωτικών που χρησιμοποιήσαμε στη μέγιστη προσρόφηση, το ρυθμό προσρόφησης και το συντελεστή συμμεταβολής

Πίνακας 9.1: Η επίδραση των εδαφοβελτιωτικών στην προσρόφηση του φωσφόρου, το ρυθμό προσρόφησης και το συντελεστή συμμεταβολής

ΕΔΑΦΟΒΕΛΤΙΩΤΙΚΑ	Z-GR	ΜΠΕΝΤΟΝΙΤΗΣ	ΖΕΟΛΙΘΟΣ	ΓΚΑΙΤΙΤΗΣ	Z-GY
Μέγιστη προσρόφηση	940,4	634	709,9	997	799,3
Ρυθμός προσρόφησης	240,35	171,47	185,55	243,06	192,94
Συντελεστής συμμεταβολής	0,9985	0,978	0,994	0,9977	0,9725

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα προκύπτουν τα εξής:

A. Αυξανόμενης της αρχικής συγκέντρωσης φωσφόρου από 0,2 μg P/ml σε 4 μg P/ml διαλύματος αυξάνει και προσρόφηση φωσφόρου από τα εδαφοβελτιωτικά.

B. Η μεγαλύτερη προσρόφηση καθώς και ο ταχύτερος ρυθμός προσρόφησης παρατηρείται από το εδαφοβελτιωτικό γκαιτίτης (997 μg P/g εδαφοβελτιωτικού) και ακολουθούν κατά φθίνουσα σειρά ο ζεόλιθος-γκαιτίτης κόκκινος (940,4 μg P/g εδαφοβελτιωτικού), ο ζεόλιθος-γκαιτίτης κίτρινος (799,3 μg P/g εδαφοβελτιωτικού), ο ζεόλιθος (709,9 μg P/g εδαφοβελτιωτικού) και ο μπεντονίτης (634 μg P/g εδαφοβελτιωτικού).

Γ. Τα πειραματικά δεδομένα προσρόφησης φωσφόρου από τα εδαφοβελτιωτικά που μελετήθηκαν, είχαν άριστη προσαρμογή.

9.2 Συμπεράσματα που προκύπτουν για το έδαφος Clay Loam

- ❖ Όσο μειώνεται η αναλογία P/χώρα τόσο μειώνονται και τα μg P/g χώρατος.
- ❖ Η μεγαλύτερη προσρόφηση φωσφόρου παρατηρείται στο έδαφος όπου έχει προστεθεί ως εδαφοβελτιωτικό ο γκαιτίτης (198,7 μg P/g εδαφοβελτιωτικού) σε αναλογία εδάφους/ εδαφοβελτιωτικού 10/1, ακολουθεί για την ίδια αναλογία πάντα, ο ζεόλιθος-γκαιτίτης κόκκινος (98,2 μg P/g εδαφοβελτιωτικού), ο ζεόλιθος (49,9 μg P/g εδαφοβελτιωτικού) και ο ζεόλιθος-γκαιτίτης κίτρινος (32 μg P/g εδαφοβελτιωτικού).

- ❖ Προσρόφηση παρατηρείται επίσης στην αναλογία 20/1 από το εδαφοβελτιωτικό γκαϊτίτης (33,3 μg P/ g εδαφοβελτιωτικού).
- ❖ Στην αναλογία 100/1, η μεγαλύτερη προσρόφηση φωσφόρου παρατηρείται στο έδαφος όπου έχει προστεθεί ως εδαφοβελτιωτικό ο ζεόλιθος-γκαϊτίτης κίτρινος (29,4 μg P/ g εδαφοβελτιωτικού), ακολουθεί ο ζεόλιθος-γκαϊτίτης κόκκινος (15,2 μg P/ g εδαφοβελτιωτικού) και ο μπεντονίτης (12,9 μg P/ g εδαφοβελτιωτικού).

9.3 Συμπεράσματα που προκύπτουν για το έδαφος Sandy Loam

- ❖ Όσο μειώνεται η αναλογία P/χώμα τόσο μειώνονται και τα μg P/g χώματος.
- ❖ Η μεγαλύτερη προσρόφηση φωσφόρου παρατηρείται στο έδαφος όπου έχει προστεθεί ως εδαφοβελτιωτικό ο γκαϊτίτης στην αναλογία 10/1 (97,7 μg P/ g εδαφοβελτιωτικού) και ακολουθούν κατά φθίνουσα σειρά οι αναλογίες 20/1 (48,8 μg P/ g εδαφοβελτιωτικού) και 50/1 (16 μg P/ g εδαφοβελτιωτικού).
- ❖ Μόνο στην αναλογία 50/1, παρατηρείται προσρόφηση φωσφόρου όταν προστεθεί ως εδαφοβελτιωτικό ο ζεόλιθος (16,3 μg P/ g εδαφοβελτιωτικού).

9.4 Συμπεράσματα που προκύπτουν για το έδαφος Loamy Sand

- ❖ Όσο μειώνεται η αναλογία P/χώμα τόσο μειώνονται και τα μg P/g χώματος.
- ❖ Για τα εδαφοβελτιωτικά ζεόλιθος-γκαϊτίτης κόκκινος και γκαϊτίτης προσρόφηση φωσφόρου έχουμε σε όλες τις αναλογίες εδάφους/εδαφοβελτιωτικού.
- ❖ Για το εδαφοβελτιωτικό μπεντονίτης προσρόφηση φωσφόρου έχουμε μόνο στην αναλογία 50/1.
- ❖ Για το εδαφοβελτιωτικό ζεόλιθος-γκαϊτίτης κίτρινος προσρόφηση φωσφόρου έχουμε μόνο στη μεγαλύτερη αναλογία εδάφους/εδαφοβελτιωτικού.
- ❖ Η μεγαλύτερη προσρόφηση φωσφόρου παρατηρείται στο έδαφος όπου έχει προστεθεί το εδαφοβελτιωτικό γκαϊτίτης στην αναλογία 10/1 (180,4 μg P/ g εδαφοβελτιωτικού) και ακολουθεί για την ίδια αναλογία ο ζεόλιθος-γκαϊτίτης κόκκινος (116,2 μg P/ g εδαφοβελτιωτικού) και έπεται ο ζεόλιθος (49,6 μg P/ g εδαφοβελτιωτικού).

- ❖ Προσρόφηση φωσφόρου στην αναλογία 20/1 παρουσιάζεται στα εδάφη όπου έχουν χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικά ο γκαιίτης (127,9 μg P/ g εδαφοβελτιωτικού) και ο ζεόλιθος-γκαιίτης κόκκινος (82,2 μg P/ g εδαφοβελτιωτικού).
- ❖ Η μεγαλύτερη προσρόφηση φωσφόρου στην αναλογία 50/1 παρατηρείται στο έδαφος όπου έχει προστεθεί το εδαφοβελτιωτικό μπεντονίτης (82,3 μg P/ g εδαφοβελτιωτικού) και ακολουθούν ο γκαιίτης (80,1 μg P/ g εδαφοβελτιωτικού) και ο ζεόλιθος-γκαιίτης κόκκινος (49 μg P/ g εδαφοβελτιωτικού).
- ❖ Προσρόφηση φωσφόρου στην αναλογία 100/1 παρουσιάζεται σε όλα τα εδαφοβελτιωτικά εκτός από το εδαφοβελτιωτικό μπεντονίτης. Την μεγαλύτερη προσρόφηση σε αυτή την αναλογία την έχουμε για το εδαφοβελτιωτικό γκαιίτης (99,6 μg P/ g εδαφοβελτιωτικού) και ακολουθούν ο ζεόλιθος-γκαιίτης κόκκινος (83 μg P/ g εδαφοβελτιωτικού), ο ζεόλιθος (66,1 μg P/ g εδαφοβελτιωτικού) και ο ζεόλιθος-γκαιίτης κίτρινος (65,9 μg P/ g εδαφοβελτιωτικού).
- ❖ Την καλύτερη προσρόφηση έχουμε όταν χρησιμοποιούμε το εδαφοβελτιωτικό γκαιίτης.

9.5 Συμπεράσματα που προκύπτουν για τα χαρακτηριστικά του μαρουλιού

- Τα φυτά μαρουλιού που αναπτύχθηκαν στο έδαφος Clay Loam στο οποίο είχε προστεθεί το εδαφοβελτιωτικό γκαιίτης παρουσίασαν μεγαλύτερο βάρος φυτού σε σχέση με αυτό που έδωσαν τα υπόλοιπα εδαφοβελτιωτικά.
- Τα φυτά μαρουλιού που αναπτύχθηκαν στο έδαφος Sandy Loam στο οποίο είχε προστεθεί το εδαφοβελτιωτικό ζεόλιθος παρουσίασαν μεγαλύτερο βάρος φυτού σε σχέση με αυτό που έδωσαν τα υπόλοιπα εδαφοβελτιωτικά.
- Τα φυτά μαρουλιού που αναπτύχθηκαν στο έδαφος Loamy Sand στο οποίο είχαν προστεθεί τα εδαφοβελτιωτικά ζεόλιθος και ζεόλιθος-γκαιίτης κόκκινος παρουσίασαν μεγαλύτερο βάρος φυτού σε σχέση με αυτό που έδωσαν τα υπόλοιπα εδαφοβελτιωτικά.

9.6 Η επίδραση των εδαφοβελτιωτικών στην προσρόφιση φωσφόρου από τα φυτά, τα οποία καλλιεργήθηκαν στο έδαφος Clay Loam

- Το εδαφοβελτιωτικό γκαιτίτης, είναι το μοναδικό το οποίο συνεισφέρει στο να προσροφήσει το φυτό μικρότερη ποσότητα φωσφόρου σε σχέση με αυτή που προσροφά το φυτό μάρτυρα.
- Τη μεγαλύτερη ποσότητα φωσφόρου σε σχέση με το φυτό-μάρτυρα, προσροφά το φυτό στο έδαφος του οποίου προστέθηκε ως εδαφοβελτιωτικό ο ζεόλιθος-γκαιτίτης κόκκινος.
- Μεγαλύτερη ποσότητα φωσφόρου σε σχέση με το φυτό μάρτυρα, προσροφούν επίσης και τα φυτά που καλλιεργήθηκαν στο έδαφος όπου προστέθηκαν ως εδαφοβελτιωτικά ο ζεόλιθος, ο ζεόλιθος-γκαιτίτης κίτρινος και ο μπεντονίτης κατά φθίνουσα σειρά.
- Οπότε τα εδαφοβελτιωτικά ζεόλιθος-γκαιτίτης κόκκινος, ζεόλιθος, ζεόλιθος-γκαιτίτης κίτρινος και μπεντονίτης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποκατάσταση του εδάφους από περίσσεια φωσφόρου.

9.7 Η επίδραση των εδαφοβελτιωτικών στην προσρόφιση φωσφόρου από τα φυτά, τα οποία καλλιεργήθηκαν στο έδαφος Sandy Loam

- Τη μικρότερη προσρόφιση φωσφόρου σε σχέση με το φυτό μάρτυρα, είχε το φυτό στο φυτοδοχείο του οποίου προστέθηκε ως εδαφοβελτιωτικό ο ζεόλιθος-γκαιτίτης κίτρινος.
- Μικρότερη προσρόφιση σε σχέση με το φυτό μάρτυρα είχαν επίσης και τα φυτά στα φυτοδοχεία των οποίων προστέθηκαν ως εδαφοβελτιωτικά ο ζεόλιθος και ο γκαιτίτης. Ο γκαιτίτης βοήθησε το φυτό να προσροφήσει μικρότερη ποσότητα φωσφόρου σε σχέση με το ζεόλιθο.
- Με τη χρήση των εδαφοβελτιωτικών, μπεντονίτη και ζεόλιθο-γκαιτίτη κόκκινο, τα φυτά προσρόφησαν μεγαλύτερη ποσότητα φωσφόρου σε σχέση με αυτή που προσρόφησε το φυτό μάρτυρα, οπότε στην περίπτωση αυτή, τα εδαφοβελτιωτικά αυτά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποκατάσταση του εδάφους από περίσσεια φωσφόρου. Με τη χρήση του μπεντονίτη το φυτό προσρόφησε μεγαλύτερη ποσότητα φωσφόρου σε σχέση με αυτή που προσρόφησε ο ζεόλιθος-γκαιτίτης κόκκινος.

9.8 Η επίδραση των εδαφοβελτιωτικών στην προσρόφιση φωσφόρου από τα φυτά, τα οποία καλλιεργήθηκαν στο έδαφος Loamy Sand

- Τη μικρότερη προσρόφιση φωσφόρου σε σχέση με το φυτό-μάρτυρα είχε το φυτό στο φυτοδοχείο του οποίου προστέθηκε ως εδαφοβελτιωτικό ο ζεόλιθος.
- Μικρότερη προσρόφιση σε σχέση με το φυτό-μάρτυρα είχε επίσης και το φυτό στο φυτοδοχείο του οποίου προστέθηκε ως εδαφοβελτιωτικό ο ζεόλιθος-γκαιίτης κόκκινος.
- Τη μεγαλύτερη προσρόφιση φωσφόρου σε σχέση με το φυτό μάρτυρα είχε το φυτό στο φυτοδοχείο με το εδαφοβελτιωτικό ζεόλιθος-γκαιίτης κίτρινος και ακολουθούν κατά φθίνουσα σειρά τα φυτά στα φυτοδοχεία με το εδαφοβελτιωτικό γκαιίτης και μπεντονίτης.
- Τα φυτά στα φυτοδοχεία με τα εδαφοβελτιωτικά ζεόλιθος-γκαιίτης κίτρινος, γκαιίτης και μπεντονίτης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αποκατάσταση του εδάφους από περίσσεια φωσφόρου.

9.9 Επισημάνσεις

- Αν υπάρχουν συγκεντρώσεις φωσφόρου από 0,2-0,4 μg P/ml ύδατος τότε από το πρώτο εργαστηριακό πείραμα συμπεραίνουμε ότι το καλύτερο εδαφοβελτιωτικό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποκατάστασή τους είναι ο γκαιίτης (997 μg P/g εδαφοβελτιωτικού). Ακολουθούν κατά φθίνουσα σειρά τα εδαφοβελτιωτικά ζεόλιθος-γκαιίτης κόκκινος (940,4 μg P/g εδαφοβελτιωτικού), ζεόλιθος-γκαιίτης κίτρινος (799,3 μg P/g εδαφοβελτιωτικού), ζεόλιθος (709,9 μg P/g εδαφοβελτιωτικού) και μπεντονίτης (634 μg P/g εδαφοβελτιωτικού).
- Για εδάφη επιβαρυμένα με υψηλές συγκεντρώσεις φωσφόρου το δεύτερο πείραμα προτείνει τις κάτωθι λύσεις:
 - 1) Αν το έδαφός μας ανήκει στην κατηγορία Clay Loam και Sandy Loam τότε για την αποκατάσταση του εδάφους προτείνεται ο γκαιίτης σε αναλογία εδάφους/εδαφοβελτιωτικού 10/1. Η προσρόφιση του εδαφοβελτιωτικού για το Clay Loam έδαφος τείνει στα 200 μg P/g

εδαφοβελτιωτικού ενώ για το Sandy Loam στα 100 μg P/g εδαφοβελτιωτικού.

2) Αν το έδαφός μας ανήκει στην κατηγορία Loamy Sand τότε για την αποκατάσταση του εδάφους προτείνεται ο γκαιτίτης σε αναλογία εδάφους/εδαφοβελτιωτικού 10/1 και 20/1 με προσρόφηση 180,4 μg P/g εδαφοβελτιωτικού και 127,9 μg P/g εδαφοβελτιωτικού αντίστοιχα και ακολουθεί ο ζεόλιθος-γκαιτίτης κόκκινος σε αναλογία 10/1 με προσρόφηση 116,2 μg P/g εδαφοβελτιωτικού.



Αν ένα έδαφος είναι επιβαρυνόμενο με υψηλές συγκεντρώσεις φωσφόρου και καλλιεργείται σε αυτό το φυτό μαρούλι τότε γνωρίζουμε από το τρίτο πείραμα ότι θα πρέπει να προσδιορίσουμε την μηχανική σύσταση του εδάφους και ανάλογα να κάνουμε τις παρακάτω προτάσεις

1) Αν το έδαφός μας ανήκει στην κατηγορία Clay Loam τότε προτείνουμε τον γκαιτίτη για την κατακράτηση φωσφόρου από το έδαφος και την μη μεταφορά του στο φυτό και τα υπόγεια νερά ή τα υπόλοιπα εδαφοβελτιωτικά τα οποία είναι κατά φθίνουσα σειρά ο ζεόλιθος-γκαιτίτης κόκκινος, ο ζεόλιθος, ο ζεόλιθος-γκαιτίτης κίτρινος και ο μπεντονίτης αν επιθυμείται η αποδέσμευση του φωσφόρου από το έδαφος και μεταφορά του στα φυτά που θα αναπτυχθούν στο έδαφος αυτό οπότε τα φυτά αυτά στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν ως χλωρή λίπανση σε εδάφη φτωχά σε φώσφορο.

2) Αν το έδαφός μας ανήκει στην κατηγορία Sandy Loam τότε προτείνουμε κατά φθίνουσα σειρά τα εδαφοβελτιωτικά ζεόλιθος-γκαιτίτης κίτρινος, γκαιτίτης και ζεόλιθος για την κατακράτηση φωσφόρου από το έδαφος και την μη μεταφορά του στο φυτό και τα υπόγεια νερά ή τα υπόλοιπα εδαφοβελτιωτικά τα οποία είναι κατά φθίνουσα σειρά ο μπεντονίτης και ο ζεόλιθος-γκαιτίτης κόκκινος αν επιθυμείται η αποδέσμευση του φωσφόρου από το έδαφος και μεταφορά του στα φυτά που θα αναπτυχθούν στο έδαφος αυτό οπότε τα φυτά αυτά στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν ως χλωρή λίπανση σε εδάφη φτωχά σε φώσφορο.

3) Αν το έδαφός μας ανήκει στην κατηγορία Loamy Sand τότε προτείνουμε κατά φθίνουσα σειρά τα εδαφοβελτιωτικά ζεόλιθος και ζεόλιθος-γκαιτίτης κόκκινος για την κατακράτηση φωσφόρου από το έδαφος και την μη μεταφορά του στο φυτό και τα υπόγεια νερά ή τα υπόλοιπα

εδαφοβελτιωτικά τα οποία είναι κατά φθίνουσα σειρά ο ζεόλιθος-γκαιίτης κίτρινος, ο γκαιίτης και ο μπεντονίτης αν επιθυμείται η αποδέσμευση του φωσφόρου από το έδαφος και μεταφορά του στα φυτά που θα αναπτυχθούν στο έδαφος αυτό οπότε τα φυτά αυτά στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν ως χλωρή λίπανση σε εδάφη φτωχά σε φώσφορο.

10. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΕΙΚΟΝΑ 10.1: Τα φυτά μαρουλιού στις 30 Νοεμβρίου



ΕΙΚΟΝΑ 10.2: Τα φυτά μαρουλιού στις 6 Δεκεμβρίου



ΕΙΚΟΝΑ 10.3: Τα φυτά μαρουλιού στις 14 Δεκεμβρίου



ΕΙΚΟΝΑ 10.4: Τα φυτά μαρουλιού στις 21 Δεκεμβρίου



ΕΙΚΟΝΑ 10.5: Τα φυτά μαρουλιού στις 29 Δεκεμβρίου



ΕΙΚΟΝΑ 10.6: Τα φυτά μαρουλιού στις 6 Ιανουαρίου



ΕΙΚΟΝΑ 10.7: Τα φυτά μαρουλιού στις 14 Ιανουαρίου



11. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Α. Δημήρκου, Π. Παπαδόπουλος, 1989. "Η κινητική της απελευθέρωσης του φωσφόρου σε δύο αντιπροσωπευτικούς τύπους Ελληνικών εδαφών", Πρακτικά 1ου Συνεδρίου Χημείας Κύπρου και Ελλάδας. Τόμος Ι, σελ. 439-445.
2. Α. Δημήρκου-Ιωάννου, Α. Ιωάννου, Π. Παπαδόπουλος, Μ. Ντούλα. 1992. "Μελέτη της κινητικής της εκρόφησης του φωσφόρου από ελληνικά εδάφη, τύπου Alfisol.1.Typic Rodoxeralf". Πρακτικά 3^{ου} Συνεδρίου Χημείας Ελλάδος-Κύπρου, σελ. 411-417. Λευκωσία, 30 Σεπτ.- 4 Οκτ. 1992.
3. Α. Δημήρκου-Ιωάννου, Α. Ιωάννου, Π. Παπαδόπουλος, Μ. Ντούλα 1992."Μελέτη της κινητικής της εκρόφησης του φωσφόρου από ελληνικά εδάφη, τύπου Alfisol. 1. Aquic Harloxeralf". Πρακτικά 3^{ου} Συνεδρίου Χημείας Ελλάδος-Κύπρου, σελ. 418-422. Λευκωσία, 30 Σεπτ.- 4 Οκτ. 1992.
4. Α. Δημήρκου, Α. Ιωάννου, Μ. Ντούλα, Χ. Δεληγιάννη, 1994. "Μελέτη της προσρόφησης και εκρόφησης του φωσφόρου από βασικές κατηγορίες ελληνικών εδαφών" Πρακτικά 5^{ου} Εδαφολογικού Συνεδρίου, σελ 856-874, Ξάνθη 25-27 Μαΐου.
5. Α. Δημήρκου, Α. Ιωάννου, Ε. Λουκάκης 1994."Ισόθερμες προσρόφησης φωσφόρου από τον ασβεστωμένο μπεντονίτη". 4^ο Συνέδριο Χημείας Ελλάδας-Κύπρου, Ιωάννινα 8-11 Σεπτεμβρίου 1994, σελ. 331-336.
6. Κοσιάρης Γ., 1991. Τα ορυκτά των φυσικών ζεόλιθων και προστασία του περιβάλλοντος. Ξάνθη Ι.Γ.Μ.Ε. 5p.
7. Μήτσιος, Ι., 2001. Εδαφολογία. Εκδόσεις Zymel, Αθήνα.
8. Μήτσιος, Ι., 2004. Γονιμότητα εδαφών. Θρεπτικά στοιχεία φυτών (μακροθρεπτικά, μικροθρεπτικά) και βαρέα μέταλλα. Μέθοδοι και Εφαρμογές. Εκδόσεις Zymel, Αθήνα.
9. Ολυμπίου Μ. Χρίστου, 2001. Η τεχνική της καλλιέργειας των κηπευτικών στα θερμοκήπια. Εκδόσεις Αθ. Σταμούλη, Αθήνα, 675-677.
10. California Earth Minerals Corp., 2003. California Earth Minerals, www.calearthminerals.com, 4p..
11. Α. Dimirkou, Ch Kallianou, Α. Ioannou. 1996 "Kinetics of phosphorous desorption in Red Mediterranean Soils (Alfisols)" *Agrochimica*, Vol. XL - N. 2-3, 103-113

12. A. Ioannou, A. Dimirkou, P. Papadopoulos, G. Füleky. 1999. "Phosphate sorption – desorption of characteristic Greek soils". *Acta Agronomica Hungarica*, 47(4), 413-427.
13. Dyer A., 1984. Uses of natural zeolites. *Chemistry and Industry*, 7: 241-245.
14. Herries - Rees K., 1992. Minerals in detergents. Forever blowing bubbles. *Ind. Miner.*, 11, 37-49.
15. Gottardi G., 1985. Natural zeolites. *Chemistry and Industry*, 7: 241-245.
16. Kuzvart M., 1984. *Industrial Minerals and Rocks. Developments in Economic Geology*. Elsevier. Amsterdam, 454 p.
17. M. Doula, A. Ioannou, A. Dimirkou. 1996. "Thermodynamics of phosphate adsorption-desorption by Alfisols, Entisols, Vertisols and Inceptisols". *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 27, 1749-1764.
18. Mitchell and Soga, 2005. *Fundamentals of Soil Behavior*. 3rd Ed..
19. Willis M., 2002. From the horse's mouth. *Ind. Miner.*, 11, 34-39.
20. <http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B1%CF%81%CE%BF%CF%8D%CE%BB%CE%B9>
21. <http://www.isocon.gr/showprod.php?id=45>.
22. <http://www.mindat.org>.
23. <http://www.tovima.gr/default.asp?pid=2&ct=33&artId=278211&dt=12/07/2009>