



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος

**ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΖΕΟΛΙΘΟΥ, ΤΟΥ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ
ΖΕΟΛΙΘΟΥ, ΤΗΣ ΜΑΡΜΑΡΟΣΚΟΝΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΚΟΠΡΙΑΣ ΣΤΗ
ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΤΟΥ ΕΞΑΣΘΕΝΟΥΣ ΧΡΩΜΙΟΥ ΣΤΗΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ
ΤΟΥ ΚΡΕΜΜΥΔΙΟΥ ΣΕ ΟΞΙΝΑ ΕΛΑΦΗ**

Μεταπτυχιακή διατριβή

Βασιλεία Χ. Τσιαλτζούδη

Βόλος, 2015

Επίδραση του ζεόλιθου, του τροποποιημένου ζεόλιθου, της μαρμαρόσκονης και της κοπριάς στη δυναμική του εξασθενούς χρωμίου στην καλλιέργεια του κρεμμυδιού σε όξινα εδάφη.

Εξεταστική Επιτροπή:

Καθηγήτρια Δημήρκου Ανθούλα, Επιβλέπουσα

Επίκουρος Καθηγητής Αντωνιάδης Βασίλειος, Μέλος Τριμελούς Επιτροπής

Επίκουρος Καθηγητής Πετρόπουλος Σπυρίδων, Μέλος Τριμελούς Επιτροπής

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα από καρδιάς να ευχαριστήσω την κα Δημήρκου Ανθούλα, Καθηγήτρια του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος Π.Θ. για τη συνεχή καθοδήγηση και την αμέριστη ηθική συμπαράσταση που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια των σπουδών μου. Η συμβολή της υπήρξε καθοριστική για την επιτυχή ολοκλήρωση της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής. Επίσης, ευχαριστώ τον κο Αντωνιάδη Βασίλειο, Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος Π.Θ. για το ταξίδι που μου χάρισε κατά τη διαδικασία δειγματοληψίας και συλλογής κατάλληλου εδάφους, καθώς επίσης για τις εργαστηριακές συμβουλές και εποικοδομητικές υποδείξεις, αλλά και για το χρόνο που διέθεσε στη διόρθωση της διατριβής μου. Ακόμη, ευχαριστώ τον κο Πετρόπουλο Σπυρίδωνα, Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος Π.Θ. για την προσφορά των κοκκαριών κρεμμυδιού, για τις χρήσιμες υποδείξεις του κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου και το χρόνο που διέθεσε για τη διόρθωση της διατριβής μου.

Επιπλέον, ευχαριστώ την Δρ. Γκόλια Ευαγγελία για την καταλυτική βοήθειά της από την εργαστηριακή ανάλυση των δειγμάτων ως και τη διεξαγωγή των αποτελεσμάτων. Ακόμη, ευχαριστώ τον κο Παπαχαράλαμπο Χαράλαμπο για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε στη δειγματοληψία και συλλογή του εδάφους, καθώς επίσης και στην εργαστηριακή ανάλυση, την κα Μπρόζου Ευαγγελία για την εργαστηριακή βοήθεια και την προσφορά ζεόλιθου και τροποποιημένου ζεόλιθου, τον κο Κούντρια Γεώργιο για την προσφορά κοπριάς και την κα Ζάννη Άννα για την εργαστηριακή βοήθεια και ηθική συμπαράσταση καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος. Ευχαριστώ θερμά και τον καθένα ξεχωριστά για την υπέροχη συνεργασία. Θα ήθελα τέλος να εκφράσω ένα μεγάλο ευχαριστώ στα μέλη της οικογένειά μου, καθώς επίσης και σε όλες εκείνες τις παρουσίες ανθρώπων που ομορφαίνουν τη ζωή μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Εξαιτίας της εκτενούς βιομηχανικής του χρήσης και απόθεσής του στο περιβάλλον, το εξασθενές χρώμιο (Cr^{6+}) θεωρείται ένας επικίνδυνος ρύπος. Στην παρούσα διατριβή μελετάται η δυναμική του σε 2 kg όξινο έδαφος με pH 6,2 και EC 658,6 $\mu\text{S cm}^{-1}$ υπό την επίδραση εδαφοβελτιωτικών στις εξής αναλογίες: 5 g ζεόλιθος kg^{-1} , 5 g τροποποιημένος ζεόλιθος (3:25) kg^{-1} , 20 g μαρμαρόσκονη kg^{-1} και 90 g κοπριά kg^{-1} . Ακόμη, για την εκτίμηση της φυτοτοξικότητάς του καλλιεργήθηκαν στο θερμοκήπιο κρεμμύδια (*Allium cepa* L.), στα οποία χορηγήθηκε διάλυμα Cr^{6+} υπό μορφή CrO_3 συγκέντρωσης 30 ppm. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η παρουσία Cr^{6+} σε συνδυασμό με τα εδαφοβελτιωτικά επέφερε μορφολογικές διαφορές σε σχέση με τον μάρτυρα, ενώ η συσσώρευσή του έγινε στο βολβό των κρεμμυδιών. Η προσθήκη των υπό μελέτη εδαφοβελτιωτικών επέφερε μεταβολή σε όλες τις φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους και στις συγκεντρώσεις των μικρο- και μακροθρεπτικών του κρεμμυδιού. Η προσθήκη του Cr^{6+} επέφερε μεταβολές θετικές και αρνητικές στο ύψος και βάρος του φυτού, στις συγκεντρώσεις των μικρο- και μακροθρεπτικών στοιχείων του φυτού και στις φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους.

Λέξεις κλειδιά: όξινο έδαφος, εδαφοβελτιωτικά, Cr^{6+} , *Allium cepa*, τοξικότητα.

ABSTRACT

Because of its extensive industrial use, hexavalent chromium (Cr^{6+}) is considered a dangerous environmental pollutant. The aim of this research is to study the accumulation of Cr^{6+} and its toxicity to acidic soils and onion plants. The experiment was conducted by using 2 kg acidic soil with pH 6,2 and EC 658,6 mS cm^{-1} and the following soil improvement materials: 5 g zeolite kg^{-1} , 5 g modified zeolite (3:25) kg^{-1} , 20 g marble dust kg^{-1} and 90 g manure kg^{-1} . Furthermore, onions (*Allium cepa L.*) were cultivated in the greenhouse and were supplied with 30 ppm of Cr^{6+} as CrO_3 . The results indicated that Cr^{6+} in combination with soil improvement materials caused morphological differences compared to the control plants, while its accumulation was detected only in the bulb. The soil improvement materials affected all the physicochemical properties of the soil and the concentration of micro and macronutrients of the plant. Cr^{6+} caused positive and negative variations on height and weight of the plants. It also had impact on the concentration of micro and macronutrients of the plant and on the physicochemical properties of the soil.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΖΕΟΛΙΘΟΥ, ΤΟΥ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΖΕΟΛΙΘΟΥ, ΤΗΣ ΜΑΡΜΑΡΟΣΚΟΝΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΚΟΠΡΙΑΣ ΣΤΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΤΟΥ ΕΞΑΣΘΕΝΟΥΣ ΧΡΩΜΙΟΥ ΣΤΗΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΟΥ ΚΡΕΜΜΥΔΙΟΥ ΣΕ ΘΕΙΝΑ ΕΛΑΦΗ

| | |
|---|----|
| ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ | 1 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ | 2 |
| Χρώμιο και περιβάλλον | 2 |
| Το χρώμιο στο έδαφος και συμβολή εδαφοβελτιωτικών | 3 |
| Πρόσληψη χρωμίου | 4 |
| Τοξικότητα χρωμίου στα φυτά | 5 |
| Σκοπός | 7 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ | 8 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ | 11 |
| Επίδραση εξασθενούς χρωμίου και των εδαφοβελτιωτικών στο pH και στην ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους | 11 |
| Επίδραση εξασθενούς χρωμίου και εδαφοβελτιωτικών στις συγκεντρώσεις των στοιχείων του εδάφους | 13 |
| Επίδραση εξασθενούς χρωμίου και εδαφοβελτιωτικών στην ανάπτυξη του κρεμμυδιού | 21 |
| Επίδραση εξασθενούς χρωμίου και εδαφοβελτιωτικών στις συγκεντρώσεις των στοιχείων του κρεμμυδιού | 25 |
| Συζήτηση | 36 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ | 41 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ | 42 |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ | 45 |
| I. Εργαστηριακές μέθοδοι και υπολογισμοί | 45 |
| II. Χαρακτηριστικά εδαφοβελτιωτικών | 50 |
| III. Απαιτήσεις καλλιέργειας κρεμμυδιού | 51 |
| IV. Πειραματικός σχεδιασμός | 52 |
| V. Φωτογραφίες καλλιέργειας κρεμμυδιού | 54 |
| VI. Πίνακες | 56 |

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

| | | |
|------------------------|-------------------------|----------------------|
| Cr | Χρώμιο | Chromium |
| Cr³⁺ | Τρισθενές χρώμιο | Trivalent chromium |
| Cr⁶⁺ | Εξασθενές χρώμιο | Hexavalent chromium |
| E | Έδαφος | Soil |
| Z | Ζεόλιθος | Zeolite |
| TZ | Τροποποιημένος ζεόλιθος | Modified zeolite |
| M | Μαρμαρόσκονη | Marble dust |
| K | Κοπριά | Manure |
| NB | Νωπό βάρος φυτού | Fresh matter/ weight |
| EB | Ξηρό βάρος φυτού | Dry matter/ weight |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

– ΕΙΣΑΓΩΓΗ –

Χρόμιο και περιβάλλον

Το Cr είναι το έβδομο αφθονότερο στοιχείο στο φλοιό της γης (Katz & Salem, 1994) και κατατάσσεται στην ομάδα των βαρέων μετάλλων (Μήτσιος, 2004). Η προσθήκη του στο περιβάλλον μπορεί να είναι είτε φυσική είτε ανθρωπογενής. Στην πρώτη κατηγορία συγκαταλέγονται κυρίως η αποσάθρωση πετρωμάτων, η ηφαιστειακή δραστηριότητα και οι δασικές πυρκαγιές, ενώ στη δεύτερη νοούνται οι βιομηχανικές του χρήσεις. Ως μέταλλο, βρίσκει εκτενή εφαρμογή κυρίως στη χαλυβουργία. Τα χρωμικά άλατα χρησιμοποιούνται σε πολλά προϊόντα χημικών βιομηχανιών όπως στο μαύρισμα του δέρματος, στην παραγωγή χρωστικών ουσιών και συντηρητικών ξύλου, στην ηλεκτρολυτική επιμετάλλωση και ως οξειδωτικό, στα πετρελαιοειδή, στη δημιουργία κραμάτων και ηλεκτρονικών συστημάτων. Επιπροσθέτως, ποσοστά Cr υπάρχουν στα αστικά, γεωργικά και βιομηχανικά λύματα (Adriano, 2001; Zayed and Terry, 2003; Μήτσιος, 2004; Shanker et al., 2005, Cansever, 2011).

Το Cr συναντάται σε μια σειρά από σθένη που κυμαίνονται από -2 μέχρι +6, με πιο σταθερές και κοινές στο περιβάλλον τις μορφές Cr^{3+} και Cr^{6+} (Zayed et al., 1998; Μήτσιος, 2004; Cansever, 2011). Το Cr^{3+} και Cr^{6+} διαφέρουν ως προς την κινητικότητα, τη βιοδιαθεσιμότητα και την τοξικότητα (Hayat et al., 2012). Το Cr^{6+} θεωρείται εξαιρετικά τοξικό και ευκίνητο στο υδάτινο περιβάλλον που συχνά ενώνεται με το οξυγόνο σχηματίζοντας χρωμικά (CrO_4^{2-}) και διχρωμικά ($Cr_2O_7^{2-}$) ανιόντα. Από την άλλη πλευρά, το Cr^{3+} είναι λιγότερο τοξικό και ευκίνητο και συνήθως δημιουργεί σταθερά σύμπλοκα με την οργανική ουσία του εδάφους και ανόργανους δέκτες (Becquer et al., 2003; Panda and Choudhury, 2005; Cansever, 2011).

Η αύξηση της διαθεσιμότητας του Cr στο περιβάλλον λόγω της συνεχούς ανθρωπογενούς δραστηριότητας, σε συνδυασμό με τις ιδιότητές του, έχει ως αποτέλεσμα την ταυτόχρονη αύξηση της επικινδυνότητας έκθεσης σε τοξικές συγκεντρώσεις, γεγονός που το καθιστά έναν επικίνδυνο περιβαλλοντικό ρύπο (Shanker et al., 2005; Cansever, 2011; Hayat et al., 2012).

Το χρώμιο στο έδαφος και συμβολή εδαφοβελτιωτικών

Η εδαφική διαθεσιμότητα του Cr εξαρτάται από τις φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους, όπως είναι η σύσταση και η οξύτητα (Μήτσιος, 2004; Μόλλα, 2012). Τα αλκαλικά εδάφη ευνοούν τη σταθερότητα του Cr^{6+} , ενώ τα όξινα την αναγωγή του σε Cr^{3+} (Παντέλογλου, 2007). Ο μετασχηματισμός επιτελείται στις επιφανειακές στρώσεις, γίνεται ευκολότερα σε όξινα εδάφη και ταχύτερα παρουσία οργανικής ουσίας (Μήτσιος, 2004). Επιπλέον, τα ελαφριά και μέσης σύστασης εδάφη συντελούν στη μετατροπή σε Cr^{3+} λόγω καλύτερων αναγωγικών συνθηκών, όπως ο αερισμός και η υδατοϊκανότητα (Srivastava et al., 1994; Παντέλογλου, 2007).

Για τη βελτίωση των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του εδάφους χρησιμοποιούνται διάφορα εδαφοβελτιωτικά, τα οποία προσδίδουν σε αυτό τα χαρακτηριστικά τους. Ένα παράδειγμα αποτελεί η κοπριά που διατηρεί την οργανική ουσία σε ικανοποιητικά επίπεδα και βελτιώνει τις φυσικές ιδιότητες όπως η δομή, η υδατοϊκανότητα και ο αερισμός (Τσελές κ.ά., 2011). Επιπροσθέτως, ενισχύει τη ρυθμιστική ικανότητα του εδάφους να αντιστέκεται στις απότομες μεταβολές του pH, που προκαλούνται από εξωτερικούς παράγοντες (Χουλιάρης, 2002), όπως κατά την παρουσία βαρέων μετάλλων (Μαντζώρου, 2007). Η μείωση του επιπέδου τοξικότητας επιτυγχάνεται με τη δημιουργία αδιάλυτων οργανομεταλλικών συμπλόκων (Αλιφραγκής, 2008) μορφές που είναι δύσκολο να προσληφθούν από τα φυτά (Becquer et al., 2003). Μία ακόμη μέθοδος είναι η ασβέστωση με προσθήκη υλικών στο έδαφος που περιέχουν CaCO_3 , όπως η μαρμαρόσκονη. Στοχεύει κυρίως στην αύξηση του pH του όξινου εδάφους, ενώ ταυτόχρονα ρυθμίζει την υγρασία του (Μισοπολινός, 1991).

Ένα ακόμη εδαφοβελτιωτικό μέσο είναι ο φυσικός ζεόλιθος, ο οποίος χρησιμοποιείται ευρέως λόγω της υψηλής ιοντοεναλλακτικής και ροφητικής του ικανότητας (Abdi et al., 2006; Μπουλούμπαση, 2007). Βελτιώνει τον αερισμό και τη διαθεσιμότητα του νερού, απελευθερώνει σταδιακά θρεπτικές ουσίες στο ριζικό σύστημα αποδίδοντάς τες στο φυτό μέσω της ώσμωσης (Διονυσίου, 2010) και βοηθά στην εξισορρόπηση του εδαφικού pH εξουδετερώνοντας τα όξινα συστατικά του (Μπουλούμπαση, 2007). Αξιοσημείωτο γεγονός αποτελεί το αρνητικό φορτίο της επιφάνειάς του, το οποίο εξισορροπείται από κατιόντα (κυρίως Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) που μπορούν να ανταλλαχθούν με άλλα κατιόντα του εδαφικού διαλύματος, ενώ τα ανιόντα απωθούνται (Διονυσίου, 2010).

Για την αύξηση της προσροφητικότητάς του σε μεταλλικά ιόντα, όπως τα χρωμικά, απαιτείται η κατεργασία του με άλατα τεταρτογενών αμινών, όπως το HDTMA, με αλογόνα, τα οποία τροποποιούν το εξωτερικό αρνητικό φορτίο του φυσικού ζεόλιθου σε θετικό. Συγκεκριμένα, οι τεταρτοταγείς αμίνες είναι συνήθως ευδιάλυτα οργανικά μόρια με υδρόφιλες και υδρόφοβες ιδιότητες. Έχουν ένα θετικά φορτισμένο άκρο και μία μεγάλη ανθρακική αλυσίδα. Οι διαστάσεις τους είναι μεγαλύτερες από αυτές των καναλιών του ζεόλιθου με αποτέλεσμα να μην έχουν τη δυνατότητα να εισέλθουν στο εσωτερικό τους και η προσρόφησή τους να περιορίζεται μόνο στην εξωτερική επιφάνεια του ζεόλιθου. Συνήθως, για την τροποποίηση του εξωτερικού φορτίου, χρησιμοποιείται κυρίως άλας Br^- της τεταρτοταγούς αμίνης HDTMA (δεκαεξυλο-τριμεθυλ-αμίνη, $\text{C}_{19}\text{H}_{42}\text{N}^+$), της οποίας το θετικά φορτισμένο άκρο συνδέεται με 16 άτομα C σχηματίζοντας μία μακριά ανθρακική αλυσίδα (Μπουλούμπαση, 2007; Διονυσίου, 2010; Cansever, 2011). Ως εκ τούτου, η επιλεκτικότητα που παρουσιάζει σε ιόντα βαρέων μετάλλων καθιστά τον ζεόλιθο ένα μέσο απορρόπησης που χρησιμοποιείται επιτυχώς στην εξυγίανση υδατικών διαλυμάτων και μολυσμένων εδαφών (Brigatti et al., 1999; El-Bishtawi and Ali, 2001; Motsi et al., 2009).

Πρόσληψη χρωμίου

Η επίδραση του Cr στα φυτά μπορεί να είναι θρεπτική αλλά και τοξική, γεγονός που εξαρτάται από το βαθμό οξειδωσης και τη συγκέντρωσή του (Strivastava et al., 1994; Zayed et al., 1998; Kabata-Pendias and Pendias, 2001; Shanker et al., 2005). Συγκεκριμένα για το Cr^{6+} , δεν υπάρχει ακόμη καμία ένδειξη συμβολής του, καθώς εμφανίζεται ιδιαίτερα επιβλαβές επηρεάζοντας πολλές μεταβολικές και φυσιολογικές διεργασίες (Von Burg and Liu, 1993; Dixit et al, 2002; Panda and Choudhury, 2005; Hayat et al., 2012; Nematshahi et al., 2012).

Παρόλο που τα φυτά δε διαθέτουν στις ρίζες τους ειδικούς μηχανισμούς πρόσληψης Cr λόγω του μηδενικού του ρόλου, αυτή επιτυγχάνεται μέσω των διαδρομών που ακολουθούν τα μεταλλικά θρεπτικά συστατικά. Συγκεκριμένα, η πρόσληψη Cr^{6+} γίνεται κυρίως ενεργητικά ως CrO_4^{2-} μέσω μεταφορέων ανταγωνιστικών ιόντων, ενώ το Cr^{3+} συμπλοκοποιείται ισχυρά με οργανικά οξέα ριζικών εκκρίσεων, όπως το κιτρικό, και προσλαμβάνεται παθητικά με διάχυση (Zayed et al., 1998; Μήτσιος, 2004; Panda and Choudhury, 2005; Shanker et al., 2005; Zeng et al., 2010b; Hayat et al., 2012). Στο κρεμμύδι και σε υψηλές συγκεντρώσεις

Cr^{6+} (150-300 $\mu\text{g L}^{-1}$), το υδατοδιαλυτό $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ διεισδύει άμεσα στις κυτταρικές μεμβράνες των ριζών και καθίσταται έτοιμο για πρόσληψη (Srivastava et al., 1994).

Οι Zayed et al. (1998) σε πείραμα επιμόλυνσης Cr σε διάφορες συγκεντρώσεις βρήκαν ότι το *A. cera* παρουσίασε τη μικρότερη συσσώρευση στις ρίζες και ελάχιστη στα υπέργεια τμήματα συγκριτικά με άλλα λαχανικά, όπως αυτά της οικ. *Brassicaceae* όπου υπολογίστηκε η μεγαλύτερη. Ακόμη, σε πείραμα πρόσληψης Cr βρέθηκε ότι μόνο μία ελάχιστη ποσότητα Cr^{6+} μεταφέρθηκε στο υπέργειο τμήμα του κρεμμυδιού, ενώ το 70-90% παρέμεινε στις ρίζες. Η κατανομή του Cr^{6+} , ανεξαρτήτως της συγκέντρωσής του, βρέθηκε να γίνεται κατά τη σειρά: ρίζα \gg βολβός > φύλλα (Srivastava et al., 1994). Εφόσον το Cr^{6+} προσληφθεί, μετασχηματίζεται σε Cr^{3+} στα κύτταρα της ρίζας, όπου συνήθως συγκρατείται δημιουργώντας ισχυρά και αδιάλυτα σύμπλοκα με τα ριζικά οργανικά οξέα (Hayat et al., 2012). Η συσσώρευση οφείλεται στην ακινητοποίησή του στα κενοτόπια των ριζικών κυττάρων (Nematshahi et al., 2012) και μπορεί να θεωρηθεί ως μία φυσιολογική άμυνα του φυτού στην τοξικότητα Cr (Shanker et al., 2005). Η μετακίνησή του στα υπέργεια τμήματα γίνεται με πολύ αργούς ρυθμούς συναρτήσει της συγκέντρωσης (Panda and Choudhury, 2005).

Τοξικότητα χρωμίου στα φυτά

Η φυτοτοξικότητα του Cr στην ανάπτυξη και αύξηση, περιλαμβάνει μεταβολές στη διαδικασία εκβλάστησης και στην ανάπτυξη των φυτικών τμημάτων, με αποτέλεσμα τη μείωση της ξηρής μάζας και τελικά της συνολικής παραγωγής. Σημειώνεται ότι ο ρυθμός εκβλάστησης υποδηλώνει την ανθεκτικότητα του φυτού στην τοξικότητα του Cr. Επιπροσθέτως, επιφέρει προβλήματα στην πρόσληψη θρεπτικών συστατικών και νερού, στη διαδικασία της φωτοσύνθεσης, στη λειτουργία των ενζύμων και προκαλεί οξειδωτικό στρες (Panda, 2003; Zayed and Terry, 2003; Shanker et al., 2005; Hayat et al., 2012; Nematshahi et al., 2012).

Το Cr εμπλέκεται στις μεταβολικές διαδικασίες των φυτών επιφέροντας μεταβολές στην παραγωγή χρωστικών ουσιών, όπως οι χλωροφύλλες, και μεταβολιτών, όπως η απότομη αύξηση της γλουταθειόνης σαν αντίδραση άμυνας στην τοξικότητα γεγονός που μπορεί να προκαλέσει ζημιές, ενώ μπορεί να προκαλέσει τη δημιουργία νέων μεταβολιτών, όπως οι φυτοχηλατίνες που προσφέρουν ανθεκτικότητα στην τοξικότητα Cr (Shanker et al., 2005;

Hayat et al., 2012). Έχει αναφερθεί ότι η υψηλή συγκέντρωση Cr στο *A. ceras* επηρέασε την ενζυμική δραστηριότητα της νιτρικής ρεδοκτάσης, μειώνοντας την αφομοίωση και σταθεροποίηση του N. Η έλλειψη N είχε αρνητικές επιπτώσεις στη ριζική ανάπτυξη με άμεση συνέπεια τη μείωση του ύψους και της συνολικής παραγωγής (Nematshahi et al., 2012).

Σε πείραμα έκθεσης *A. ceras* σε υψηλές συγκεντρώσεις Cr⁶⁺ (150-300 μg L⁻¹), οι Srivastava et al. (1994) παρατήρησαν συμπτώματα νανισμού και μείωση στην παραγωγή νέων φύλλων. Συγκεκριμένα, τα φύλλα παρουσίαζαν αρχικά μία διαπλάτυνση που ακολουθήθηκε από λέπτυνση, κιτρίνισμα και τελικά ξήρανση. Η λέπτυνση μπορεί να οφείλεται στη γρήγορη πλασμόλυση των κυττάρων των φύλλων. Ως εκ τούτου, το Cr⁶⁺ επηρεάζει δραματικά τη φωτοσύνθεση (Zeid, 2001), η οποία μπορεί να αποδοθεί στις ανωμαλίες που προκαλούνται στη δομή των χλωροπλαστών. Το στρώμα τους αναπτύσσεται ανεπαρκώς με αραιά τοποθετημένα θυλακοειδή και λιγότερα grana, γεγονός που προκαλεί τη μείωση των φωτοσυνθετικών χρωστικών ουσιών (Sharma and Sharma, 2003). Επιπλέον, το οξειδωτικό δυναμικό του Cr⁶⁺ μπορεί να επιφέρει οξειδωτικό στρες παρεμβαίνοντας στον κύκλο του Calvin και εκτρέποντας την πορεία των ηλεκτρονίων κυρίως προς το φωτοσύστημα I, μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο το μοριακό οξυγόνο (Shanker et al., 2005).

Επιπλέον, η παρουσία Cr μπορεί να προκαλέσει ξήρανση διαταράσσοντας το υδατικό δυναμικό των φυτών, το οποίο σχετίζεται με την ισορροπία πρόσληψης νερού και διαπνοής. Η συμπλοκοποιημένη συσσώρευσή του, κυρίως στις ρίζες, παρεμποδίζει τη μεταφορά του νερού προς τα υπέργεια τμήματα. Ακόμη, μπορεί να επιφέρει προβλήματα στην ανάπτυξη του ριζικού συστήματος, να μειώσει την ικανότητα διάτρησης του εδάφους και επομένως την ικανότητα εύρεσης νερού. Επιπροσθέτως, το υψηλό οξειδωτικό δυναμικό του Cr⁶⁺ επηρεάζει τη στοματική αγωγιμότητα και προκαλεί βλάβη στις μεμβράνες των καταφρακτικών κυττάρων των στομάτων (Shanker et al., 2005; Hayat et al., 2012). Οι Liu et al. (1992) μελέτησαν τις επιπτώσεις Cr⁶⁺ στη ριζική ανάπτυξη του *A. ceras* και διαπίστωσαν μορφολογικές ανωμαλίες ανάλογες της συγκέντρωσης, όπως συστροφή και πλήρης αναστολή ανάπτυξης. Ακόμη, οι Nematshahi et al. (2012) κατέληξαν στο ότι η μείωση του συνολικού ύψους του *A. ceras cv. Hybrid* οφείλεται κυρίως στη μείωση ανάπτυξης του ριζικού συστήματος που έχει αρνητικές επιπτώσεις στην πρόσληψη θρεπτικών και νερού.

Όσον αφορά στην πρόσληψη θρεπτικών, η τοξικότητα του Cr αποδίδεται κυρίως στην παρόμοια δομή του με ορισμένα στοιχεία όπως Fe, Mn, P, S με τα οποία ανταγωνίζεται για

δέσμευση στους μηχανισμούς μεταφοράς. Η αρνητική πρόσληψη Fe και Zn έχει συσχετιστεί με απώλεια φωτοσυνθετικών χρωστικών, ενώ N, P, K με μεταβολές στην ανάπτυξη της ρίζας. Επιπλέον, έχουν μελετηθεί και άλλες ανταγωνιστικές σχέσεις με θρεπτικά όπως Mg, Mo, Cu, Ca, B. Σημειώνεται ότι ο βαθμός της επίδρασης του Cr στην πρόσληψη των θρεπτικών διαφέρει μεταξύ των φυτικών ειδών αλλά και των διαφορετικών γενοτύπων των καλλιεργειών και μπορεί ακόμη να επηρεάζεται από τις καλλιεργητικές μεθόδους, τη θερμοκρασία, το στάδιο ανάπτυξης του φυτού, τη συγκέντρωση του Cr, αλλά και εξαιτίας της ικανότητάς του να μετασχηματίζεται (Khan et al., 2000; Shanker et al., 2005; Zeng et al., 2008; Zeng et al., 2010a; Zeng et al., 2010b; Hayat et al., 2012).

Συνοψίζοντας, παρά τις αρνητικές επιπτώσεις του Cr στο *Allium cepa*, όπως η ανώμαλη ανάπτυξη της ρίζας και μείωση της συνολικής ξηρής μάζας, το κρεμμύδι παρουσιάζει ανθεκτικότητα στην τοξικότητά του συσσωρεύοντας μεγάλες ποσότητες κυρίως στις ρίζες του και επομένως μπορεί να θεωρηθεί υπερσυσσωρευτής Cr (Nematshahi et al., 2012).

Σκοπός

Σκοπός του πειράματος ήταν η μελέτη της επίδρασης του ζεόλιθου, του τροποποιημένου ζεόλιθου, της μαρμαρόσκονης και της κοπριάς στη δυναμική του εξασθενούς χρωμίου στην καλλιέργεια του κρεμμυδιού σε όξινα εδάφη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

– ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ –

Περιγραφή πειράματος

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε 20 μεταχειρίσεις των 4 επαναλήψεων. Συγκεκριμένα, περιελάμβανε 2 kg έδαφος ίδιας σύστασης και οξύτητας, τέσσερα εδαφοβελτιωτικά (ζεόλιθος: 5 g kg⁻¹ εδάφους, τροποποιημένος ζεόλιθος (3:25): 5 g kg⁻¹ εδάφους, μαρμαρόσκονη: 20 g kg⁻¹ εδάφους, κοπριά: 9% του εδάφους), 30 mg Cr⁶⁺ kg⁻¹ εδάφους και κοκκάρι κρεμμυδιού ποικιλίας STURON των 21 mm. Η καλλιέργεια εγκαταστάθηκε σε φυτοδοχεία στο θερμοκήπιο. Στην παράγραφο IV του Παραρτήματος παρουσιάζονται αναλυτικά οι μεταχειρίσεις του πειράματος, καθώς επίσης ο πειραματικός σχεδιασμός και η τοποθέτηση των φυτοδοχείων στο θερμοκήπιο (Σχέδιο I).

A. Εδαφικά δείγματα

Το έδαφος που χρησιμοποιήθηκε για την πραγματοποίηση του πειράματος συλλέχθηκε από την Ευξεινούπολη Μαγνησίας. Στη συνέχεια, το εδαφικό δείγμα αεροξηράνθηκε, διήλθε από κόσκινο με ανοίγματα 2 mm και χρησιμοποιήθηκε για τις παρακάτω αναλύσεις:

Μέτρηση pH και EC: Ο υπολογισμός τους έγινε με πεχάμετρο και αγωγιμόμετρο σε διάλυμα εδάφους:απιονισμένου ύδατος 1:5.

Μηχανική ανάλυση: Έγινε με τη μέθοδο του πυκνομέτρου Βουγιούκου, η οποία στηρίζεται στην αρχή της καθίζησης της άμμου και της ιλύος.

Στον Πίνακα 2.1 δίνονται συγκεντρωτικά οι φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους.

Διαθέσιμα ιχνοστοιχεία (Mn, Fe, Zn, Cr³⁺): Η εκχύλιση αυτών από το έδαφος πραγματοποιήθηκε με διάλυμα DTPA και η συγκέντρωση αυτών στο εκχύλισμα προσδιορίστηκε σε φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης.

Ανταλλάξιμα κατιόντα (K, Na, Ca, Mg): Η εκχύλιση αυτών από το έδαφος πραγματοποιήθηκε με διάλυμα CH₃COONH₄ και οι συγκεντρώσεις του K και Na έγιναν στο φλογοφωτόμετρο, ενώ του Ca και Mg στο φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης.

Ανταλλάξιμο εξασθενές χρώμιο (Cr^{6+}): Ο προσδιορισμός έγινε με τη μέθοδο του διφαινυλοκαρβαζιδίου στο φασματοφωτόμετρο.

Οργανική ουσία (OO): Προσδιορίστηκε με τη μέθοδο της υγρής οξείδωσης.

Ανθρακικό ασβέστιο ($CaCO_3$): Ο υπολογισμός του στηρίχθηκε στην αντίδραση έκλυσης CO_2 . Η ποσότητα CO_2 μετρήθηκε με ασβεστόμετρο, το οποίο παγιδεύει το εκλυόμενο αέριο και συμπιέζει μια βαθμονομημένη στήλη νερού.

Στον Πίνακα 2.2 δίνονται οι φυσικοχημικές ιδιότητες των εδαφοβελτιωτικών.

Πίνακας 2.1. Φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους.

| pH | EC ($\mu S\ cm^{-1}$) | % OO | Μηχανική ανάλυση | | |
|-----|-------------------------|------|------------------|---------|---------|
| | | | % αργίλου | % ιλύος | % άμμου |
| 6,2 | 658,6 | 3,23 | 32 | 31 | 37 |
| | | | Αργιλοπηλώδες | | |

Πίνακας 2.2. Φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους με την προσθήκη των εδαφοβελτιωτικών.

| Εδαφοβελτιωτικό | pH | EC ($\mu S\ cm^{-1}$) | % OO | % $CaCO_3$ |
|--------------------------------|------|-------------------------|------|------------|
| Ζεόλιθος | 6,37 | 192,6 | 2,56 | |
| Τροποποιημένος ζεόλιθος | 6,63 | 259,1 | 1,95 | |
| Μαρμαρόσκονη | 7,34 | 434,3 | 1,75 | |
| Κοπριά | 7,19 | 2491 | 4,24 | |

B. Φυτικά δείγματα

Για την εγκατάσταση της καλλιέργειας επιλέχθηκε κοκκάρι κρεμμυδιού της ποικιλίας STURON των 21 mm. Η φύτευση έγινε στις 25 Νοεμβρίου 2014 σε φυτοδοχεία όγκου 3 L, τα οποία τοποθετήθηκαν στο θερμοκήπιο. Κατά την καλλιεργητική περίοδο, έγινε λίπανση και επιμόλυνση των φυτών με εξασθενές χρώμιο συγκέντρωσης 30 ppm. Επιπλέον, έγινε υποστύλωση των κρεμμυδιών, ενώ το πότισμα γινόταν κάθε 7-10 ημέρες, ανάλογα με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Η συγκομιδή έγινε στις 4 Ιουνίου 2015. Έπειτα, το υπέργειο τμήμα των φυτών κόπηκε στη βάση των φύλλων, ενώ το υπόγειο αφαιρέθηκε προσεκτικά από το έδαφος. Ακολούθησε πλύσιμο και στέγνωμα. Κατόπιν, ελήφθησαν τα νωπά βάρη και τα ύψη των φυτών καθώς και η περίμετρος των κεφαλών των υπόγειων τμημάτων. Έπειτα έγινε η ξήρανσή τους στο φούρνο μέχρι τη μη περαιτέρω απώλεια βάρους και ελήφθησαν τα ξηρά βάρη όλων των φυτικών δειγμάτων. Στη συνέχεια, κονιοροποιήθηκαν σε μύλο άλεσης και αποθηκεύτηκαν σε πλαστικές σακούλες. Ο προσδιορισμός των συγκεντρώσεων των στοιχείων επετεύχθη με τη μέθοδο της ξηρής καύσης και την παραλαβή εκχυλίσματος, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για όλες τις φυτοκομικές αναλύσεις όπως περιγράφονται παρακάτω:

Ιχνοστοιχεία (Mn, Fe, Zn, Cr³⁺): Ο προσδιορισμός έγινε στο φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης με τη χρήση του πυκνού εκχυλίσματος.

Μακροστοιχεία (Ca, Mg, K, Na): Χρησιμοποιήθηκε αραιωμένο κατά 100 φορές εκχύλισμα για τον προσδιορισμό όλων των μακροστοιχείων. Τα Ca και Mg μετρήθηκαν στο φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης, ενώ τα K και Ca στο φλογοφωτόμετρο.

Ανταλλάξιμο εξασθενές χρώμιο (Cr⁶⁺): Προσδιορίστηκε στο φασματοφωτόμετρο με τη μέθοδο του διφαινυλοκαρβαζιδίου.

Στατιστική ανάλυση

Η επεξεργασία των δεδομένων και η στατιστική ανάλυση έγιναν στο Microsoft Office Excel 2007. Η παρουσίαση των δεδομένων έγινε με πίνακες και διαγράμματα.

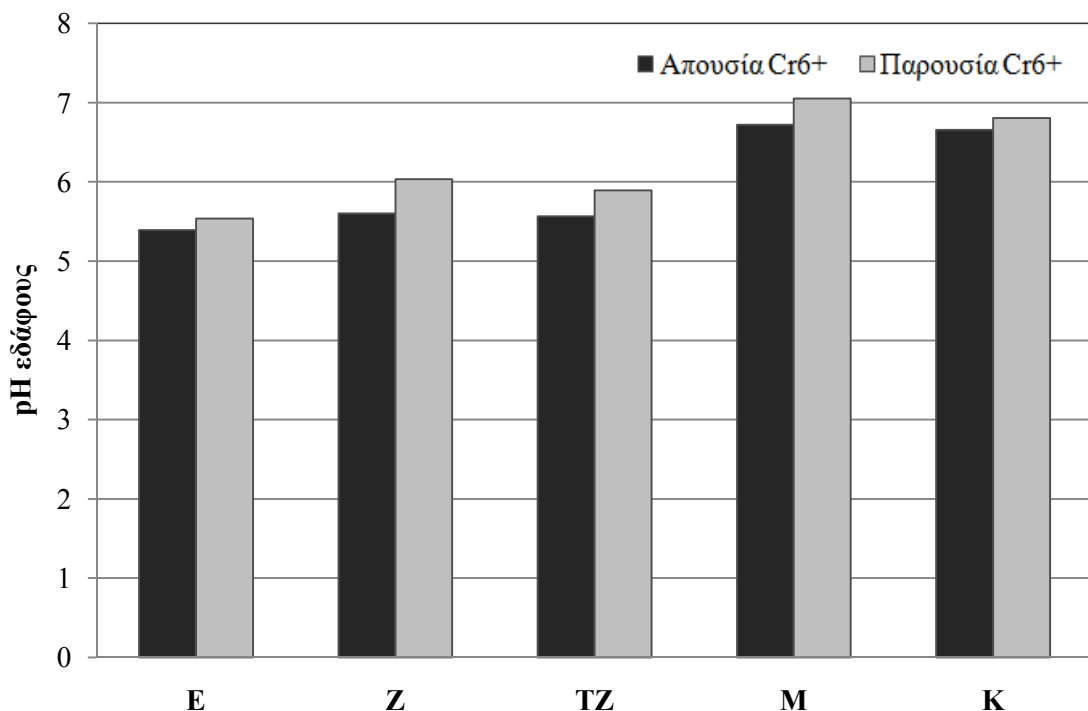
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

– ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ –

1. Αποτελέσματα

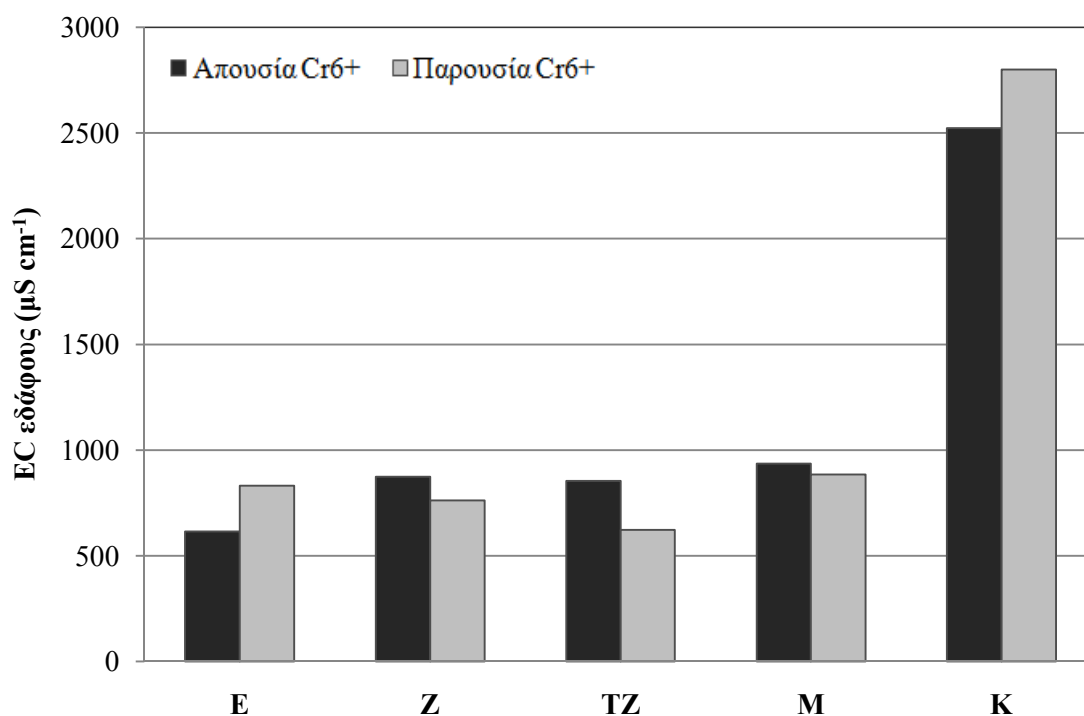
Α. Εδαφικά δείγματα

Επίδραση του εξασθενούς χρωμίου και των εδαφοβελτιωτικών στο pH και στην ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους.



Διάγραμμα 4.1. Η επίδραση του ζεόλιθου, του τροποποιημένου ζεόλιθου, της μαρμαρόσκονης και της κοπριάς στο pH του εδαφικού δείγματος συναρτήσει της προσθήκης ή μη εξασθενούς χρωμίου.

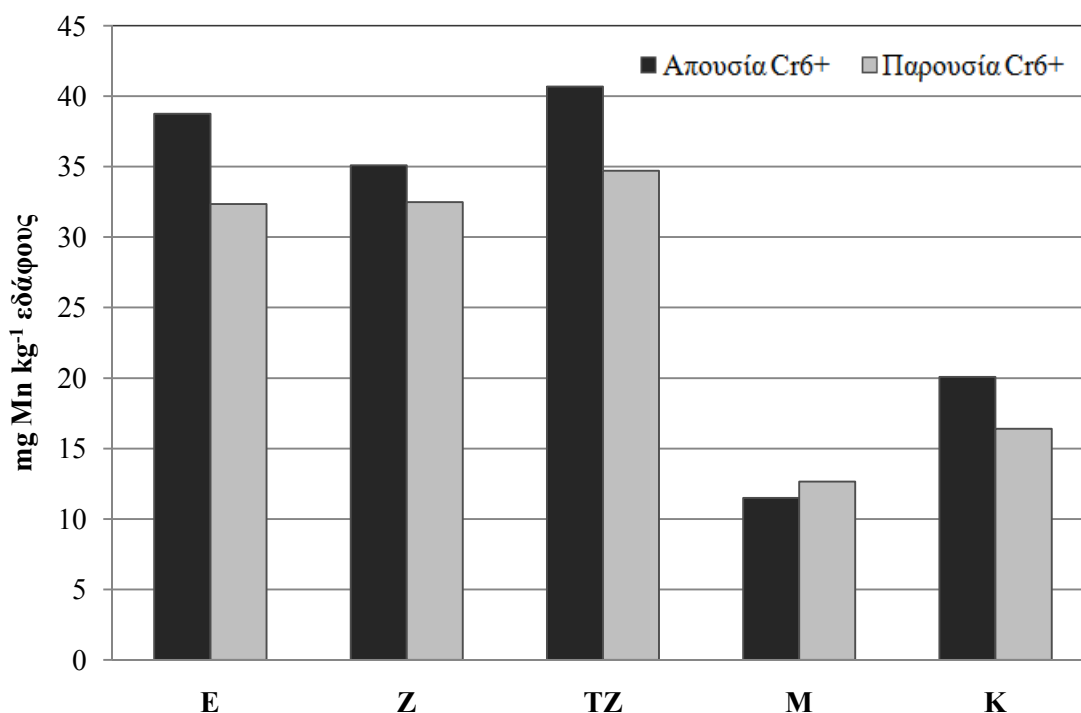
Το pH του E, όπως παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 4.1, αυξάνεται με την προσθήκη όλων των εδαφοβελτιωτικών στο E. Συγκεκριμένα, σημειώνεται αύξηση κατά 3,9%, 3,2%, 24,7% και 23,5% με την προσθήκη Z, TZ, M και K αντίστοιχα. Σχετικά με το Cr⁶⁺, η παρουσία του φαίνεται να αυξάνει το pH του E κατά 2,7%. Ακόμη, αύξηση παρατηρείται στο E με Z, TZ, M και K κατά 7,7%, 5,9%, 4,9% και 2,2% αντίστοιχα.



Διάγραμμα 4.2. Η επίδραση του ζεόλιθου, του τροποποιημένου ζεόλιθου, της μαρμαρόσκονης και της κοπριάς στην ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδαφικού δείγματος ($\mu\text{S cm}^{-1}$) συναρτήσει της προσθήκης ή μη εξασθενούς χρωμίου.

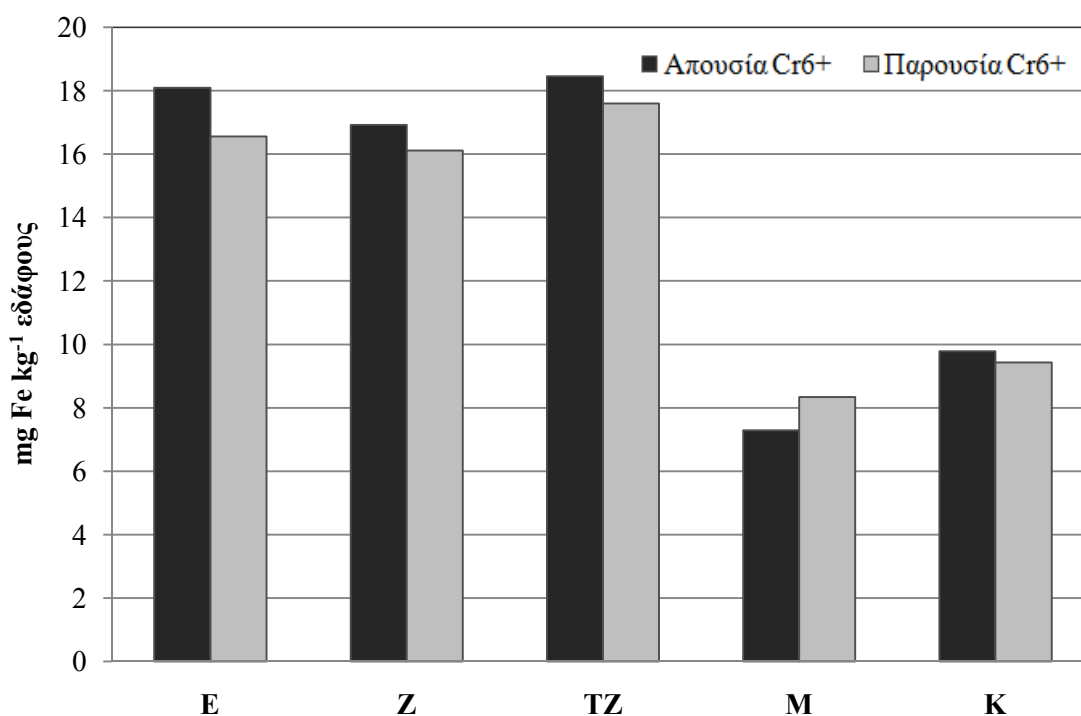
Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 4.2, η EC του E αυξάνεται με την προσθήκη όλων των βελτιωτικών. Συγκεκριμένα, αυξάνεται με την προσθήκη Z, TZ, M και K κατά 42,1%, 39%, 52,1% και 310,4% αντίστοιχα. Το Cr⁶⁺ αυξάνει την EC του E κατά 35,1% και κατά 11% στο E που περιέχει K. Αντίθετα, μείωση λόγω παρουσίας Cr⁶⁺ εμφανίζεται στο E με Z, TZ και M κατά 12,7%, 27,1% και 5,5% αντίστοιχα.

Επίδραση του εξασθενούς χρωμίου και των εδαφοβελτιωτικών στις συγκεντρώσεις των στοιχείων του εδάφους.



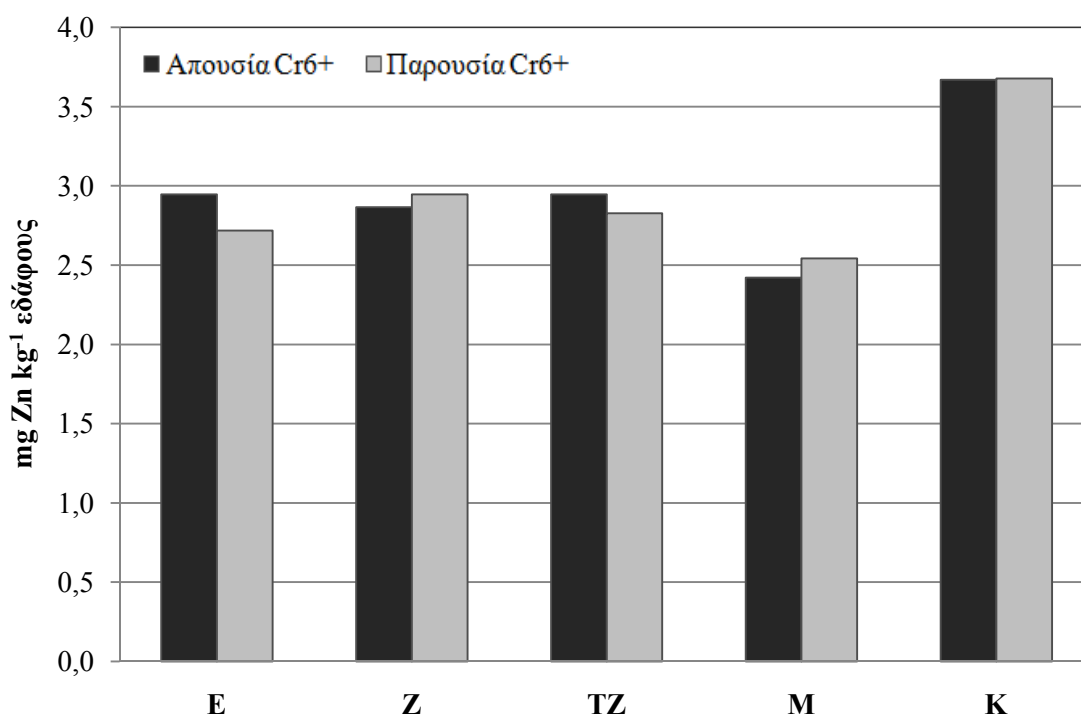
Διάγραμμα 4.3. Η επίδραση του ζεόλιθου, του τροποποιημένου ζεόλιθου, της μαρμαρόσκονης και της κοπριάς στη συγκέντρωση του μαγγανίου στο εδαφικό δείγμα (mg Mn kg⁻¹) συναρτήσει της προσθήκης ή μη εξασθενούς χρωμίου.

Στο Διάγραμμα 4.3 η συγκέντρωση του Mn μειώνεται κατά 9,5% με την προσθήκη Z στο E, ενώ αυξάνεται με την προσθήκη TZ κατά 4,9%. Μείωση εμφανίζεται με την προσθήκη M και K κατά 70,4% και 48,2% αντίστοιχα. Η παρουσία Cr⁶⁺ μειώνει τη συγκέντρωση του Mn στο E κατά 16,6%. Επιπροσθέτως, μείωση συγκέντρωσης Mn λόγω παρουσίας Cr⁶⁺ εμφανίζεται στο E με Z, TZ και K κατά 7,4%, 14,7% και 18,4% αντίστοιχα, ενώ αυξάνεται παρουσία M κατά 10,2%.



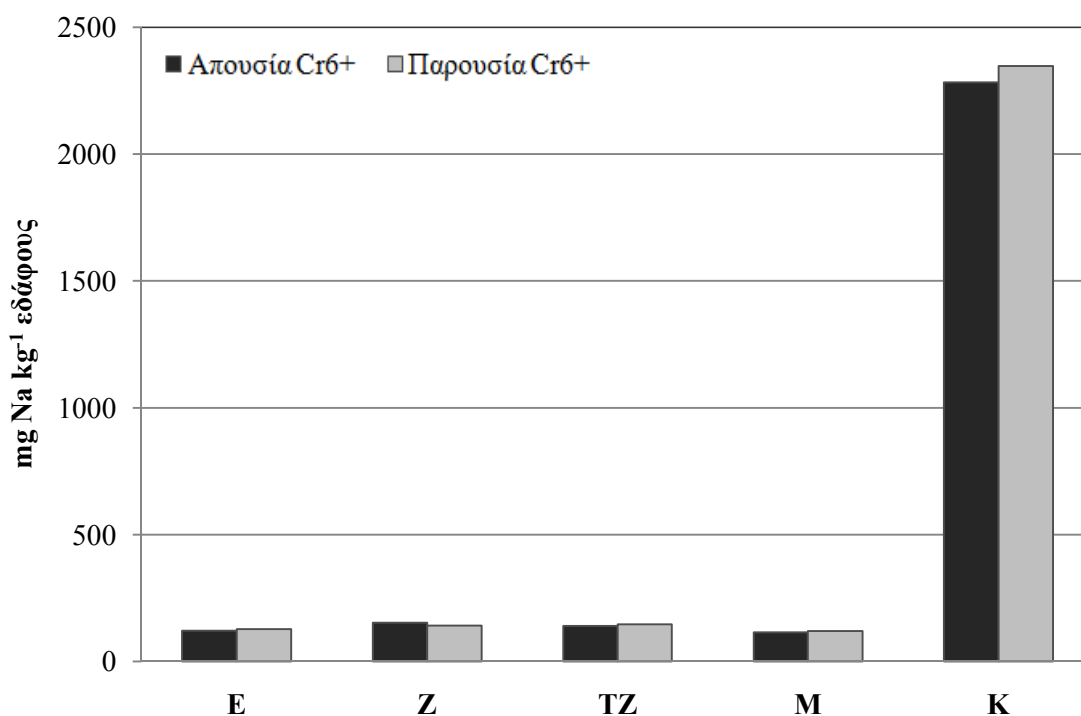
Διάγραμμα 4.4. Η επίδραση του ζεόλιθου, του τροποποιημένου ζεόλιθου, της μαρμαρόσκονης και της κοπριάς στη συγκέντρωση του σιδήρου στο εδαφικό δείγμα (mg Fe kg^{-1}) συναρτήσει της προσθήκης ή μη εξασθενούς χρωμίου.

Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 4.4, η συγκέντρωση του Fe μειώνεται κατά 6,5% με την προσθήκη Z στο E, ενώ αυξάνεται με την προσθήκη TZ κατά 2%. Μείωση παρουσιάζεται με την προσθήκη M και K κατά 59,7% και 46% αντίστοιχα. Η παρουσία Cr^{6+} μειώνει τη συγκέντρωση του Fe στο E κατά 8,5%. Ακόμη, μικρή μείωση λόγω παρουσίας Cr^{6+} εμφανίζεται στο E με Z, TZ και K κατά 4,7%, 4,6% και 3,6% αντίστοιχα, ενώ αυξάνεται παρουσία M κατά 14,4%.



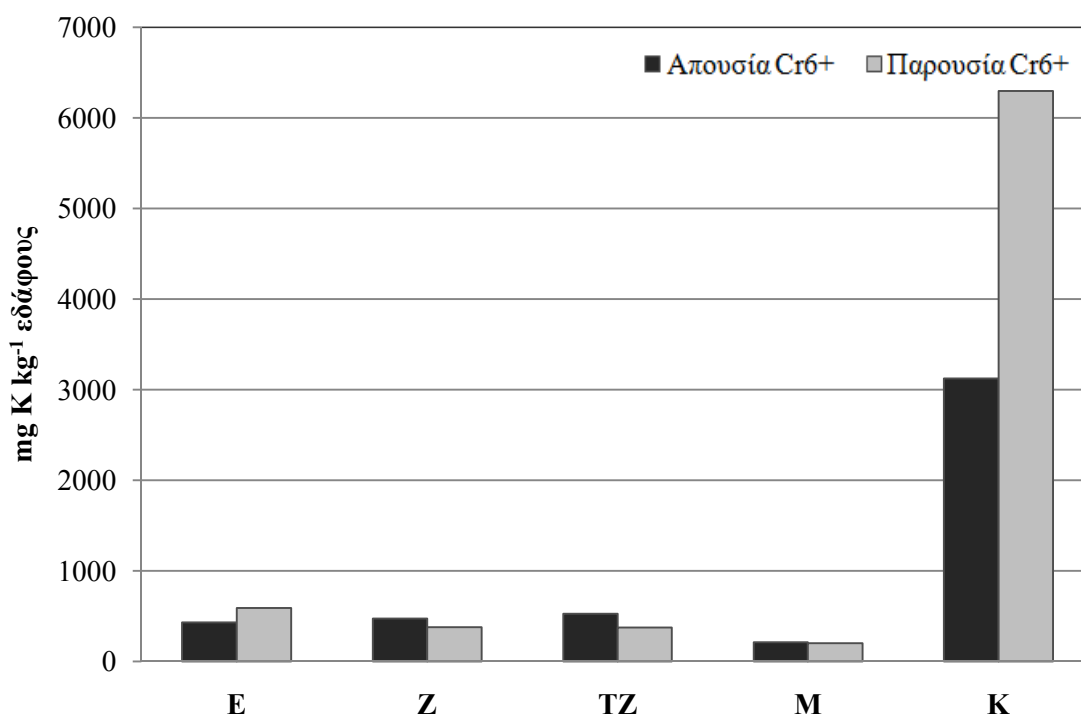
Διάγραμμα 4.5. Η επίδραση του ζεόλιθου, του τροποποιημένου ζεόλιθου, της μαρμαρόσκονης και της κοπριάς στη συγκέντρωση του ψευδαργύρου στο εδαφικό δείγμα (mg Zn kg⁻¹) συναρτήσει της προσθήκης ή μη εξασθενούς χρωμίου.

Η συγκέντρωση του Zn στο E, όπως παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 4.5, μειώνεται κατά 2,7% και 17,8% με την προσθήκη Z και M αντίστοιχα, ενώ αυξάνεται με την προσθήκη K κατά 24,5%. Η συγκέντρωση δεν επηρεάζεται με την προσθήκη TZ στο E. Σχετικά με το Cr⁶⁺, η παρουσία του μειώνει τη συγκέντρωση του Zn στο E κατά 7,7%. Μείωση λόγω παρουσίας Cr⁶⁺ εμφανίζεται στο E με TZ κατά 4,1%, ενώ αύξηση παρατηρείται στο E με Z, M και K κατά 2,8%, 5% και 0,3% αντίστοιχα.



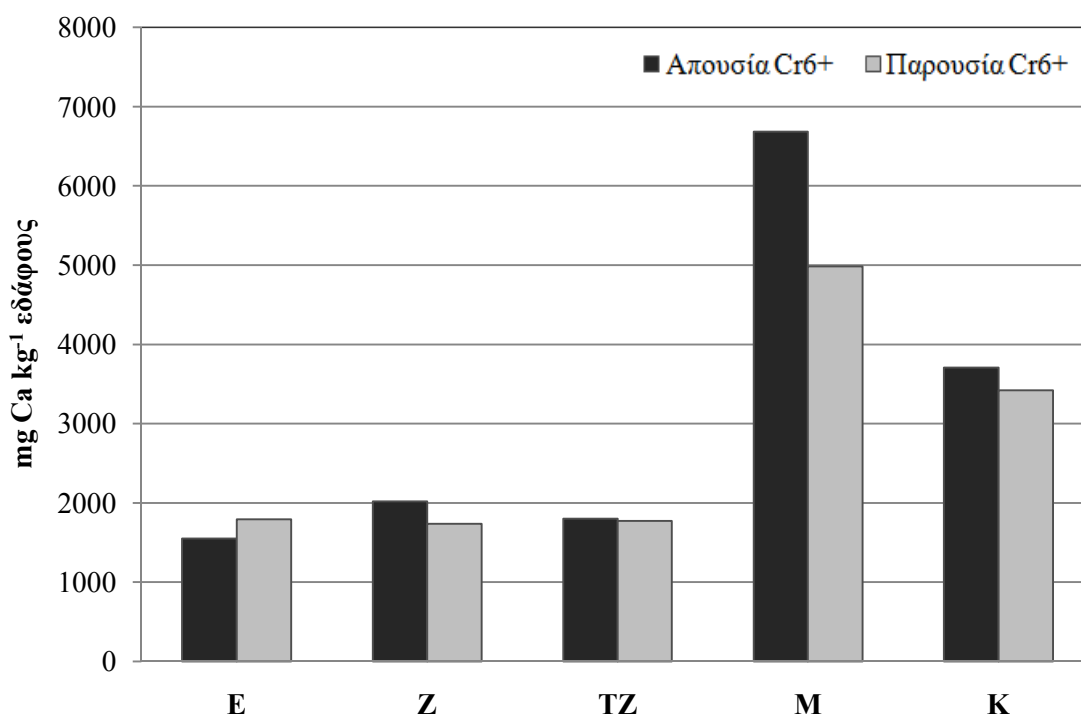
Διάγραμμα 4.6. Η επίδραση του ζεόλιθου, του τροποποιημένου ζεόλιθου, της μαρμαρόσκονης και της κοπριάς στη συγκέντρωση του νατρίου στο εδαφικό δείγμα (mg Na kg^{-1}) συναρτήσει της προσθήκης ή μη εξασθενούς χρωμίου.

Όπως παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 4.6, η συγκέντρωση του Na στο E, αυξάνεται με την προσθήκη Z, TZ και K κατά 25,1%, 15,5% και 1777,3% αντίστοιχα, ενώ μειώνεται κατά 5,4% με προσθήκη M. Σχετικά με το Cr^{6+} , η παρουσία του αυξάνει τη συγκέντρωση του Na στο E κατά 5% και μειώνεται κατά 7,5% με την προσθήκη Z στο E. Αύξηση συγκέντρωσης σημειώνει και στην προσθήκη K κατά 2,8% καθώς επίσης στην προσθήκη TZ και M κατά 3,8% και για τα δύο εδαφοβελτιωτικά.



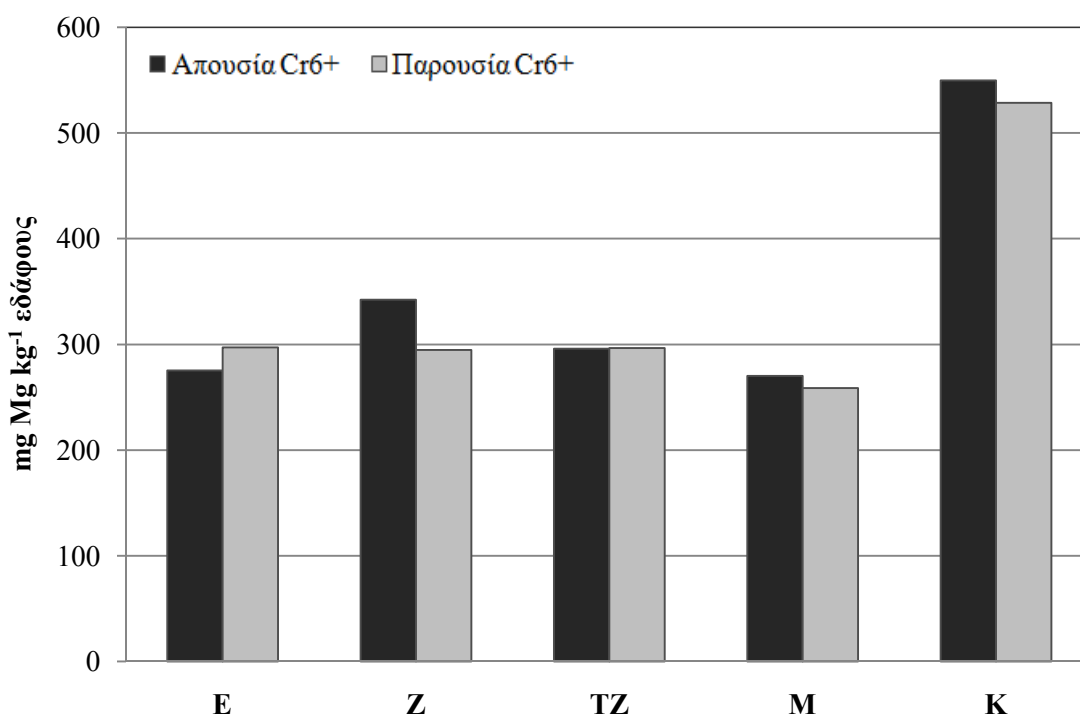
Διάγραμμα 4.7. Η επίδραση του ζεόλιθου, του τροποποιημένου ζεόλιθου, της μαρμαρόσκονης και της κοπριάς στη συγκέντρωση του καλίου στο εδαφικό δείγμα (mg K kg^{-1}) συναρτήσει της προσθήκης ή μη εξασθενούς χρωμίου.

Στο Διάγραμμα 4.7, η συγκέντρωση του K αυξάνεται κατά 10,5% και 22,4% με την προσθήκη στο E, Z και TZ αντίστοιχα, ενώ μειώνεται με την προσθήκη M κατά 50,8% σε σχέση με το μάρτυρα. Αξιοσημείωτη είναι η αύξηση της συγκέντρωσης K με την προσθήκη K κατά 626,4%. Όσον αφορά στην παρουσία Cr^{6+} , η συγκέντρωση K στο E αυξάνεται κατά 37,1% και κατά 101,5% στη μεταχείριση της K. Αντίθετα, μείωση συγκέντρωσης λόγω παρουσίας Cr^{6+} εμφανίζεται στο E με Z, TZ και M κατά 20,1%, 28,6% και 4,7% αντίστοιχα.



Διάγραμμα 4.8. Η επίδραση του ζεόλιθου, του τροποποιημένου ζεόλιθου, της μαρμαρόσκονης και της κοπριάς στη συγκέντρωση του ασβεστίου στο εδαφικό δείγμα (mg Ca kg⁻¹) συναρτήσει της προσθήκης ή μη εξασθενούς χρωμίου.

Σύμφωνα με το Διάγραμμα 4.8, η συγκέντρωση του Ca στο E αυξάνεται σε όλες τις μεταχειρίσεις εδαφοβελτιωτικών σε σχέση με το μάρτυρα. Συγκεκριμένα, αύξηση κατά 16,1% σημειώνεται με την προσθήκη TZ και 30,3% με Z. Μεγάλη αύξηση της συγκέντρωσης ασβεστίου παρουσιάζεται με την προσθήκη K και ακόμη μεγαλύτερη με τη M, κατά 139% και 331% αντίστοιχα. Η παρουσία του Cr⁶⁺, αυξάνει τη συγκέντρωση του Ca στο E κατά 15,5%, ενώ τη μειώνει όταν προστίθενται σε αυτό τα εδαφοβελτιωτικά. Η συγκέντρωση στον E με TZ και K μειώνεται κατά 1,5% και 7,7 αντίστοιχα, ενώ στο E με Z και M παρουσιάζει μία μεγαλύτερη μείωση κατά 14% και 25,4% αντίστοιχα.



Διάγραμμα 4.9. Η επίδραση του ζεόλιθου, του τροποποιημένου ζεόλιθου, της μαρμαρόσκονης και της κοπριάς στη συγκέντρωση του μαγνησίου στο εδαφικό δείγμα (mg Mg kg^{-1}) συναρτήσει της προσθήκης ή μη εξασθενούς χρωμίου.

Όπως προκύπτει από το Διάγραμμα 4.9, η συγκέντρωση του Mg στο E αυξάνεται κατά 7,6%, 24,4% και 99,8% με την προσθήκη TZ, Z και K αντίστοιχα, ενώ μειώνεται με την προσθήκη M κατά 1,8%. Σχετικά με το Cr^{6+} , η παρουσία του αυξάνει τη συγκέντρωση του Mg στο E κατά 7,9%. Ελάχιστη αύξηση λόγω παρουσίας Cr^{6+} παρατηρείται στη μεταχείριση TZ κατά 0,2%, ενώ μείωση εμφανίζεται στο E με K, M και Z κατά 3,8%, 4,3% και 13,9% αντίστοιχα.

Παρακάτω παρουσιάζονται συγκεντρωτικά η επίδραση της προσθήκης του ζεόλιθου, του τροποποιημένου ζεόλιθου, της μαρμαρόσκονης και της κοπριάς (Πίνακας 4.1) και η επίδραση της προσθήκης εξασθενούς χρωμίου (Πίνακας 4.2) στη συγκέντρωση των θρεπτικών στοιχείων, στο pH και στην EC του εδάφους σε σχέση με το μάρτυρα (σε ποσοστό %).

Πίνακας 4.1. Επίδραση της προσθήκης ζεόλιθου, τροποποιημένου ζεόλιθου, μαρμαρόσκονης και κοπριάς στη συγκέντρωση θρεπτικών στοιχείων, στο pH και στην EC του εδάφους σε σχέση με το μάρτυρα. Η θετική τιμή δηλώνει αύξηση, ενώ η αρνητική τιμή μείωση σε ποσοστό (%).

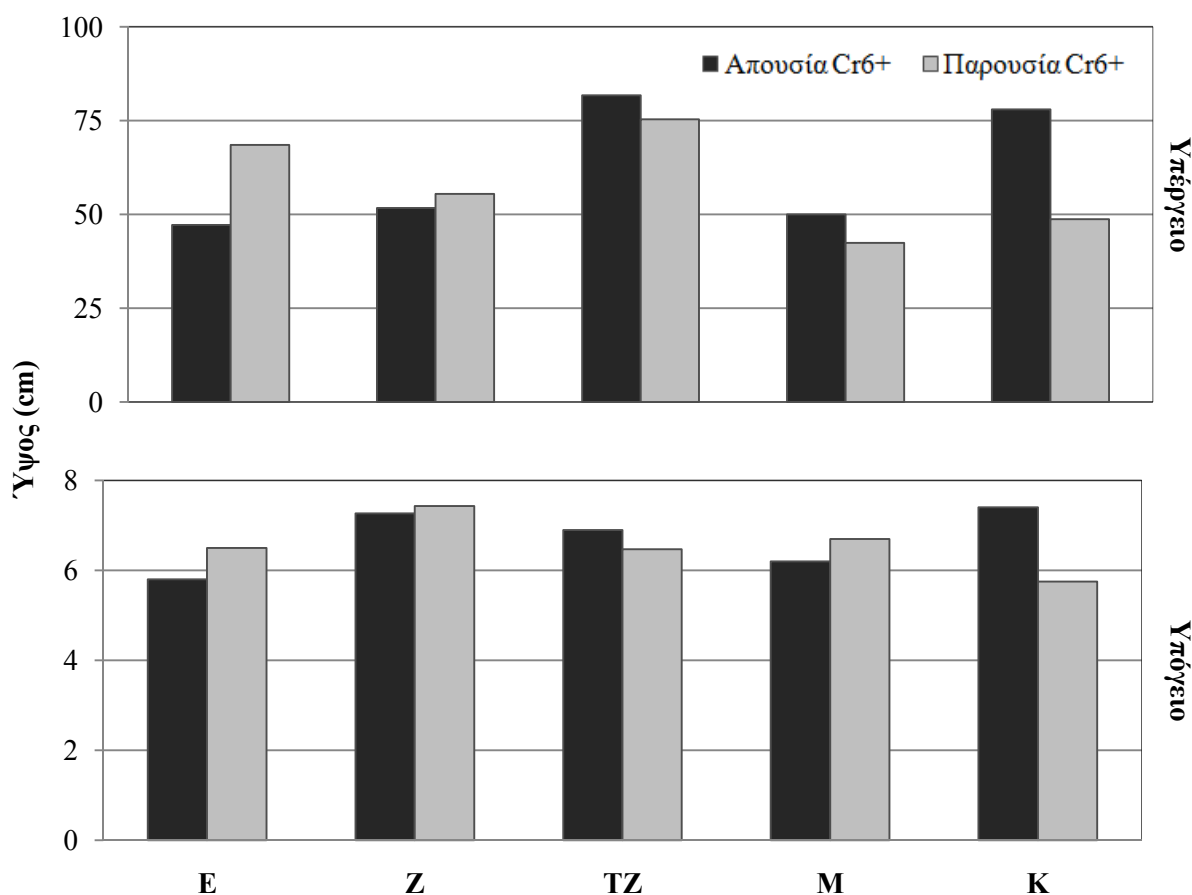
| | Cr³⁺ | Mn | Fe | Zn | Na | K | Ca | Mg | Cr⁶⁺ | pH | EC |
|-----------|------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|------------------------|-----------|-----------|
| E | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Z | - | -9,5 | -6,5 | -2,7 | +25,1 | +10,5 | +30,3 | +24,4 | - | +3,9 | +42,1 |
| TZ | - | +4,9 | +2,0 | 0 | +15,5 | +22,4 | +16,1 | +7,6 | - | +3,2 | +39,0 |
| M | - | -70,4 | -59,7 | -17,8 | -5,4 | -50,8 | +331,0 | -1,8 | - | +24,7 | +52,1 |
| K | - | -48,2 | -46,0 | +24,5 | +1777,3 | +626,4 | +139,0 | +99,8 | - | +23,5 | +310,4 |

Πίνακας 4.2. Επίδραση της προσθήκης εξασθενούς χρωμίου στη συγκέντρωση θρεπτικών στοιχείων, στο pH και στην EC του εδάφους. Η θετική τιμή δηλώνει αύξηση, ενώ η αρνητική τιμή μείωση σε ποσοστό (%).

| | Cr³⁺ | Mn | Fe | Zn | Na | K | Ca | Mg | Cr⁶⁺ | pH | EC |
|-----------|------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|------------------------|-----------|-----------|
| E | - | -16,6 | -8,5 | -7,7 | +5,0 | +37,1 | +15,5 | +7,9 | - | +2,7 | +35,1 |
| Z | - | -7,4 | -4,7 | +2,8 | -7,5 | -20,1 | -14,0 | -13,9 | - | +7,7 | -12,7 |
| TZ | - | -14,7 | -4,6 | -4,1 | +3,8 | -28,6 | -1,5 | +0,2 | - | +5,9 | -27,1 |
| M | - | +10,2 | +14,4 | +5,0 | +3,8 | -4,7 | -25,4 | -4,3 | - | +4,9 | -5,5 |
| K | - | -18,4 | -3,6 | +0,3 | +2,8 | +101,5 | -7,7 | -3,8 | - | +2,2 | +11,0 |

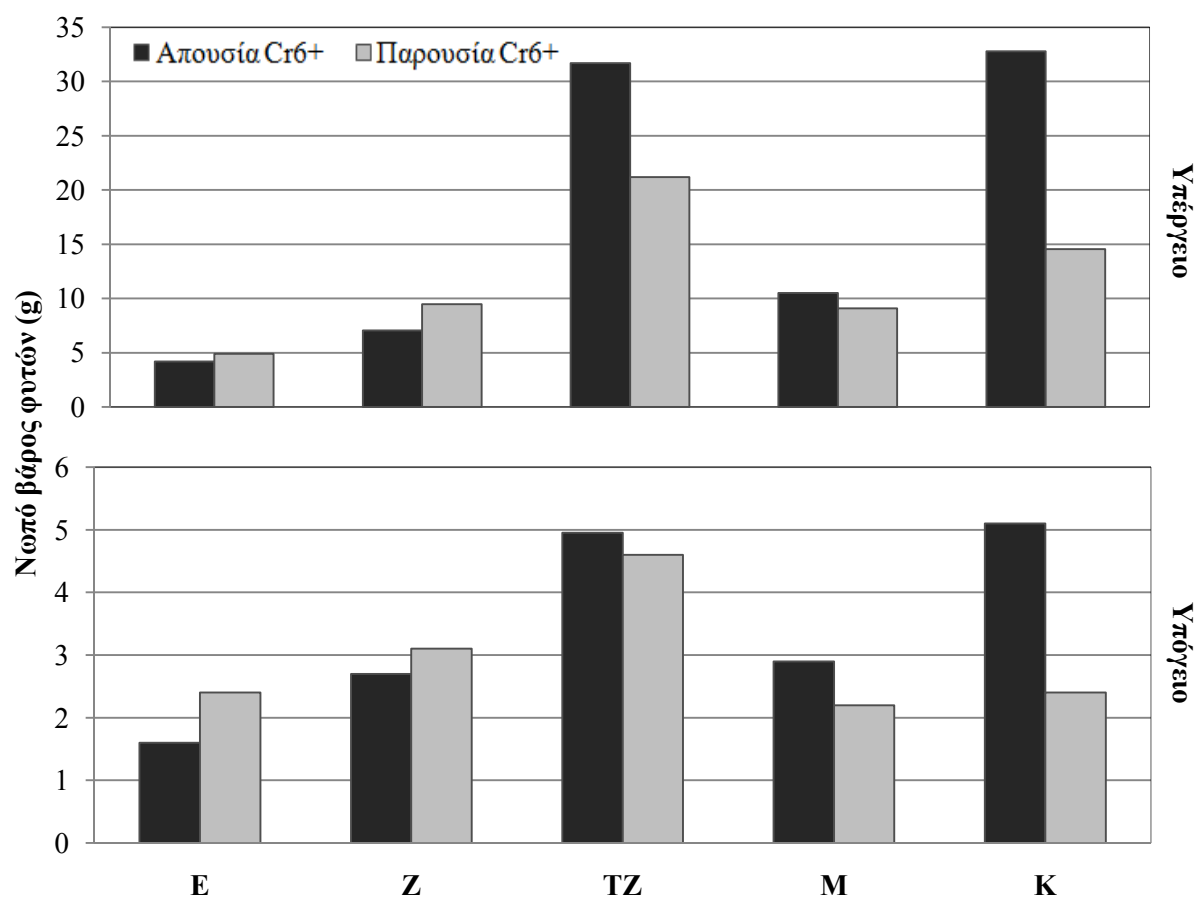
Β. Φυτικά δείγματα

Επίδραση του εξασθενούς χρωμίου και των εδαφοβελτιωτικών ανάπτυξη του κρεμμυδιού.



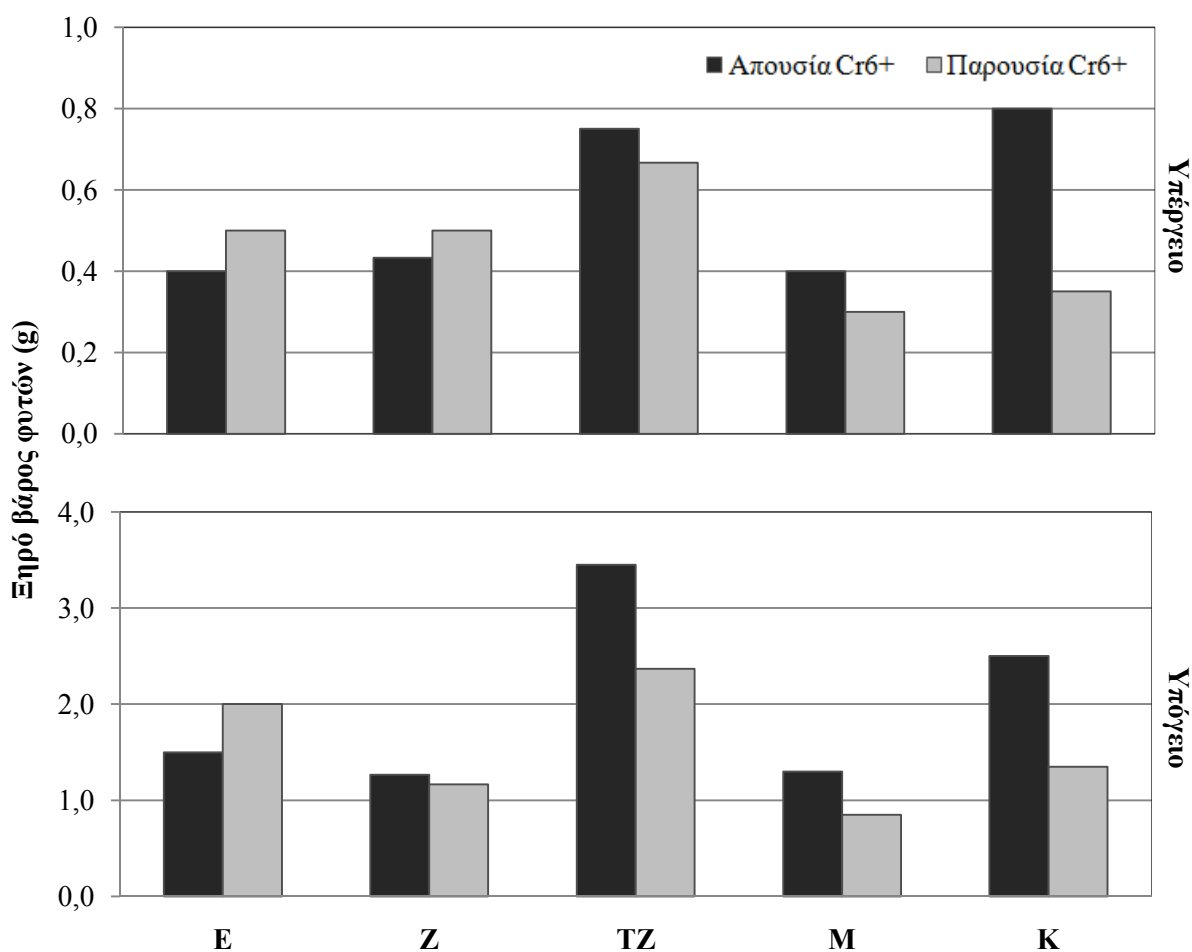
Διάγραμμα 4.10. Η επίδραση του ζεόλιθου, του τροποποιημένου ζεόλιθου, της μαρμαρόσκονης και της κοπριάς στο ύψος (cm) του υπέργειου και του υπόγειου τμήματος του κρεμμυδιού συναρτήσει της προσθήκης ή μη εξασθενούς χρωμίου.

Όπως προκύπτει από το Διάγραμμα 4.10, το ύψος του **υπέργειου τμήματος** αυξάνεται κατά 9,5%, 73,2%, 5,9% και 65,3% με την προσθήκη Z, TZ, M και K αντίστοιχα. Το Cr⁶⁺ αυξάνει το ύψος στο E κατά 45,1% και κατά 7,4% στο E με Z, ενώ το μειώνει στο E με TZ, M και K κατά 7,8%, 15,2% και 37,5% αντίστοιχα. Το ύψος του **υπόγειου τμήματος** αυξάνεται κατά 25,3%, 19%, 6,9% και 27,6% με την προσθήκη Z, TZ, M και K αντίστοιχα. Το Cr⁶⁺ αυξάνει το ύψος στο E κατά 12,1%, κατά 2,3% και 8,1% στο E με Z και M αντίστοιχα, ενώ το μειώνει στο E με TZ και K κατά 6,3% και 22,3% αντίστοιχα.



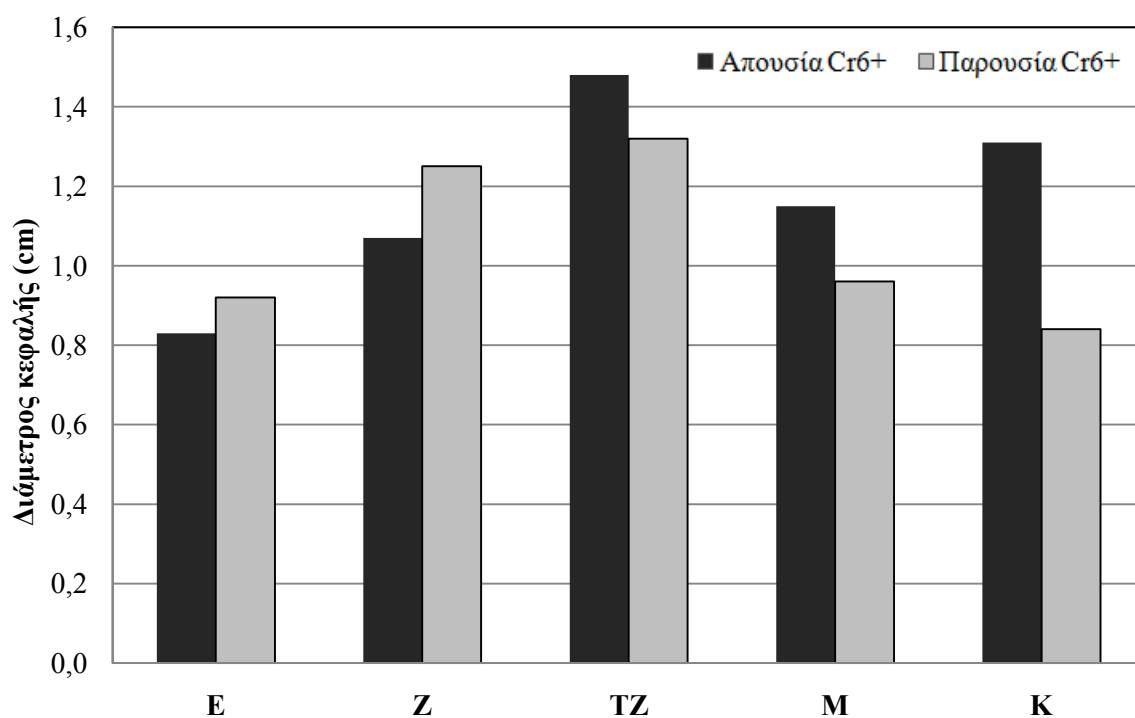
Διάγραμμα 4.11. Η επίδραση του ζεόλιθου, του τροποποιημένου ζεόλιθου, της μαρμαρόσκονης και της κοπριάς στο νωπό βάρος (g) του υπέργειου και του υπόγειου τμήματος του κρεμμυδιού συναρτήσει της προσθήκης ή μη εξασθενούς χρωμίου.

Από το Διάγραμμα 4.11 προκύπτει ότι το NB του **υπέργειου τμήματος** αυξάνεται κατά 68,3%, 654,8%, 150% και 681% με την προσθήκη Z, TZ, M και K αντίστοιχα. Το Cr⁶⁺ αυξάνει το NB στο E κατά 16,7% και κατά 34% στο E με Z, ενώ το μειώνει στο E με TZ, M και K κατά 33,1%, 13,3% και 55,6% αντίστοιχα. Το NB του **υπόγειου τμήματος** αυξάνεται κατά 68,6%, 209,4%, 81,3% και 218,8% με την προσθήκη Z, TZ, M και K αντίστοιχα. Το Cr⁶⁺ αυξάνει το NB στο E κατά 50% και κατά 14,8% στο E με Z, ενώ το μειώνει στο E με TZ, M και K κατά 7,1%, 24,1% και 52,9% αντίστοιχα.



Διάγραμμα 4.12. Η επίδραση του ζεόλιθου, του τροποποιημένου ζεόλιθου, της μαρμαρόσκονης και της κοπριάς στο ξηρό βάρος (g) του υπέργειου και του υπόγειου τμήματος του κρεμμυδιού συναρτήσει της προσθήκης ή μη εξασθενούς χρωμίου.

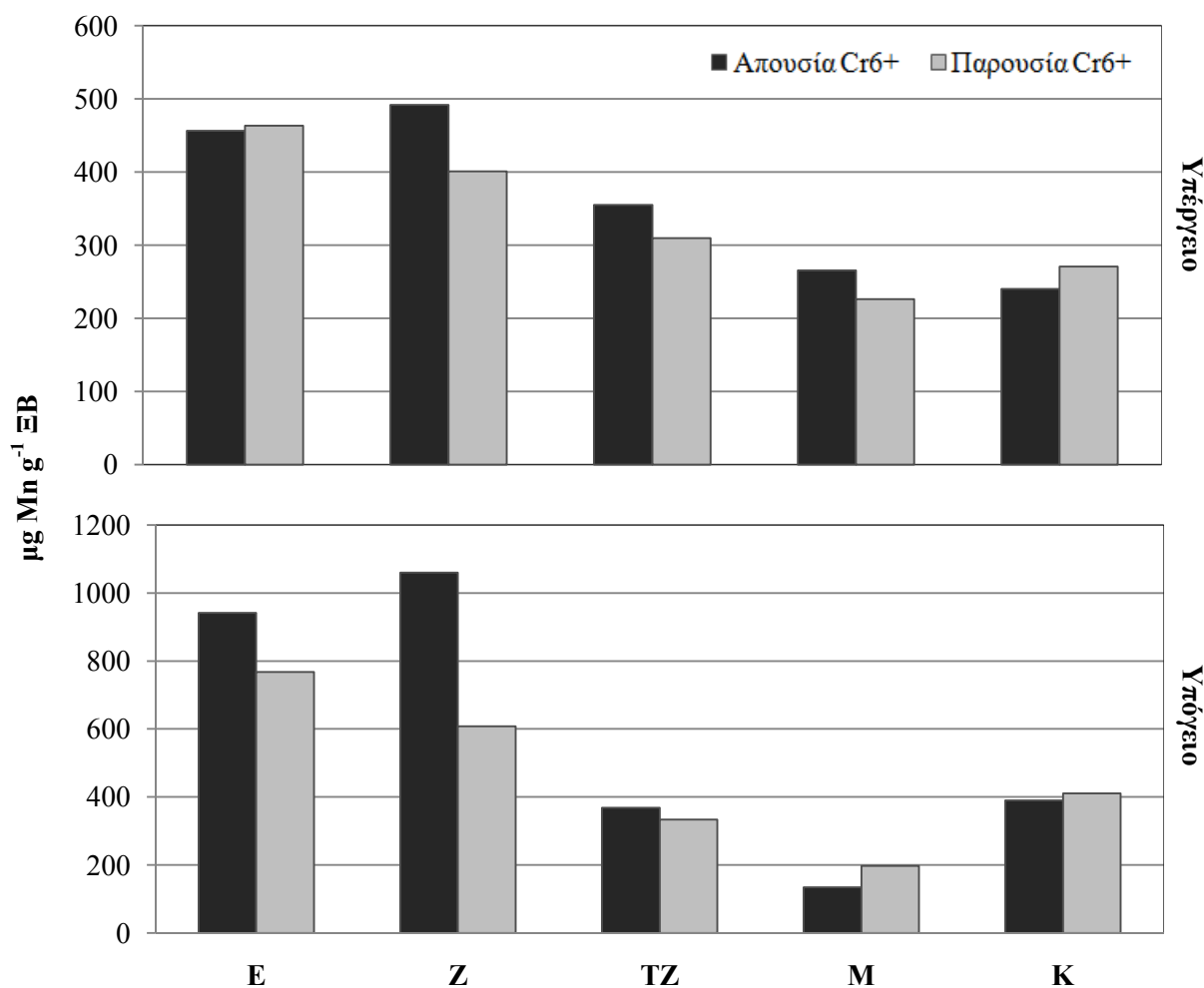
Από το Διάγραμμα 4.12 φαίνεται ότι το ΞΒ του **υπέργειου τμήματος** μειώνεται με την προσθήκη Z και M κατά 15,6% και 13,3% αντίστοιχα, ενώ αυξάνεται κατά 130% και 66,7% με την προσθήκη TZ και K αντίστοιχα. Το Cr⁶⁺ αυξάνει το ΞΒ στο E κατά 33,3%, ενώ το μειώνει στο E με Z, TZ, M και K κατά 7,9%, 31,4%, 34,6% και 46% αντίστοιχα. Το ΞΒ του **υπόγειου τμήματος** αυξάνεται κατά 8,3%, 87,5% και 100% με την προσθήκη Z, TZ και K αντίστοιχα, ενώ δεν παρουσιάζει καμία μεταβολή κατά την προσθήκη M. Η παρουσία Cr⁶⁺ αυξάνει το ΞΒ του φυτού στο E κατά 25% και κατά 15,4% στο E με Z, ενώ το μειώνει στο E με TZ, M και K κατά 11,1%, 25% και 56,3% αντίστοιχα.



Διάγραμμα 4.13. Η επίδραση του ζεόλιθου, του τροποποιημένου ζεόλιθου, της μαρμαρόσκονης και της κοπριάς στη διάμετρο της κεφαλής (cm) (υπόγειο τμήμα) του κρεμμυδιού συναρτήσεως της προσθήκης ή μη εξασθενούς χρωμίου.

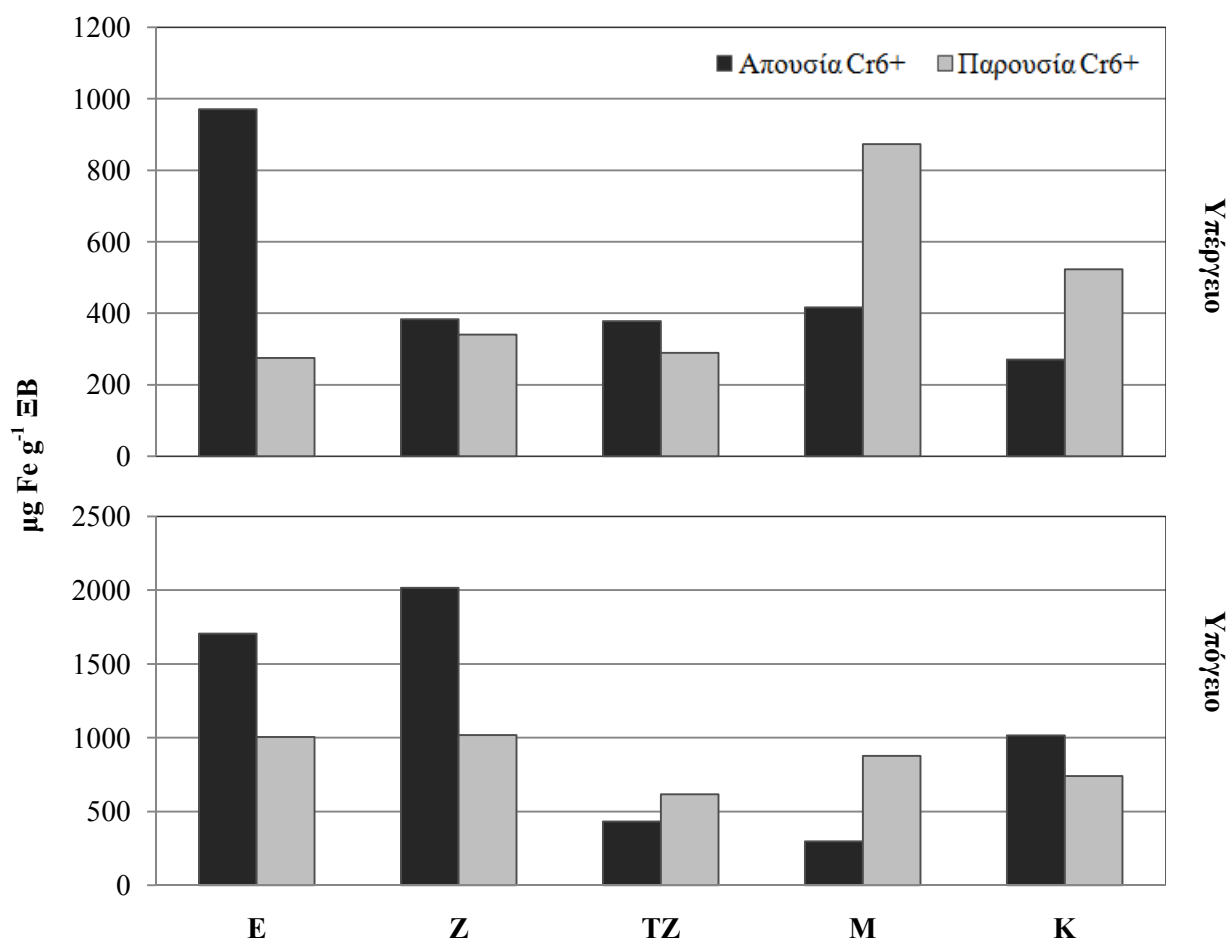
Όπως παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 4.13 φαίνεται ότι η διάμετρος των κεφαλών αυξάνεται με την προσθήκη όλων των εδαφοβελτιωτικών. Συγκεκριμένα, με προσθήκη Z, TZ, M και K σημειώνεται αύξηση 28,9%, 78,3%, 38,6% και 57,8% αντίστοιχα. Η παρουσία Cr⁶⁺ φαίνεται αυξάνει τη διάμετρο των κεφαλών στη μεταχείριση του E κατά 10,8% και κατά 16,8% στο E με Z, ενώ τη μειώνει στο E με TZ, M και K κατά 10,8%, 16,5% και 35,9% αντίστοιχα.

Επίδραση του εξασθενούς χρωμίου και των εδαφοβελτιωτικών στις συγκεντρώσεις των στοιχείων του υπέργειου και υπόγειου τμήματος του κρεμμυδιού.



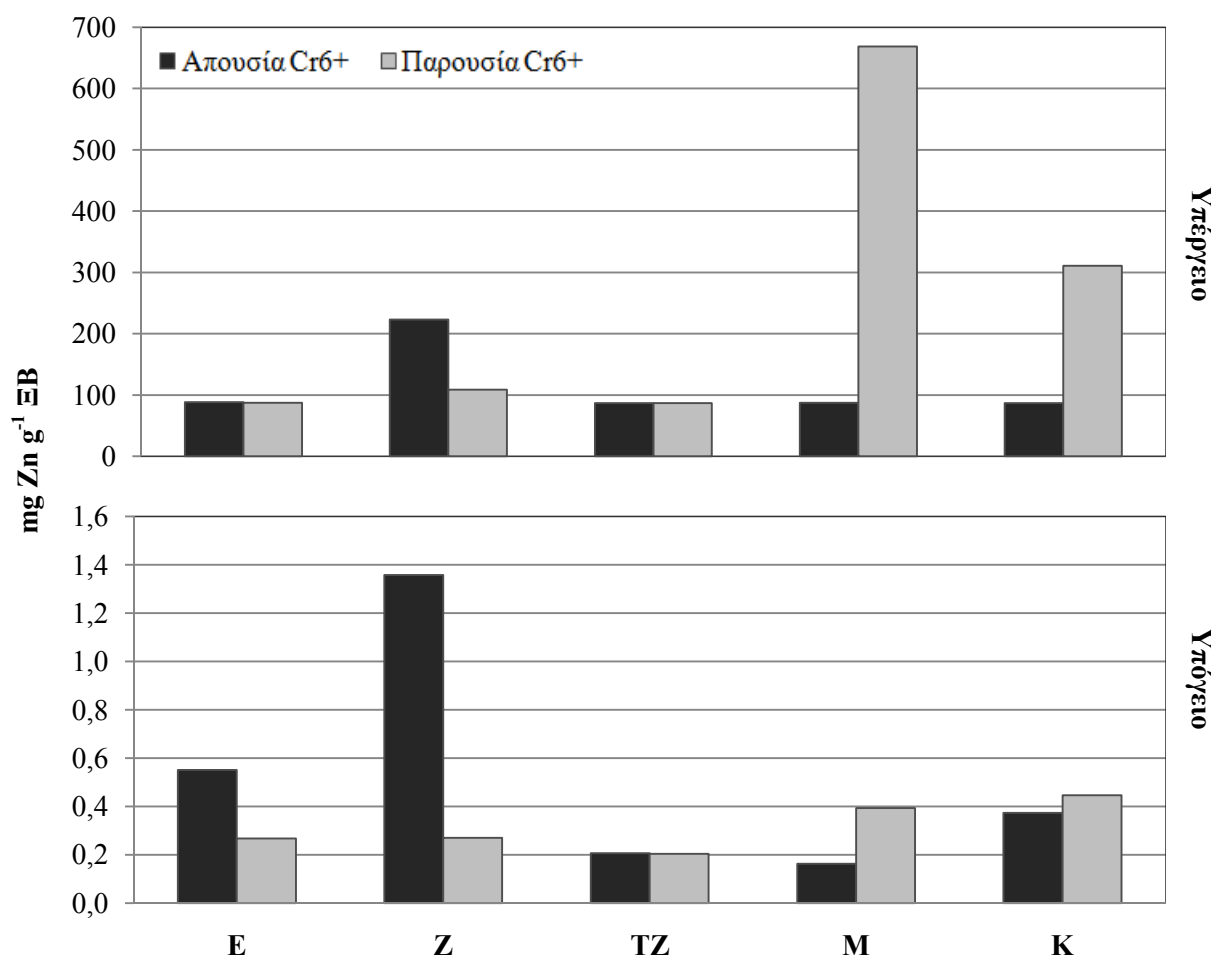
Διάγραμμα 4.14. Η επίδραση του ζεόλιθου, του τροποποιημένου ζεόλιθου, της μαρμαρόσκονης και της κοπριάς στη συγκέντρωση του μαγγανίου στο υπέργειο και υπόγειο τμήμα του κρεμμυδιού ($\mu\text{g Mn g}^{-1}$ ξηρού φυτικού βάρους) συναρτήσει της προσθήκης ή μη εξασθενούς χρωμίου.

Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 4.14, η συγκέντρωση Mn στο **υπέργειο τμήμα** αυξάνεται με την προσθήκη Z κατά 7,8%, ενώ μειώνεται με TZ, M και K κατά 22,2%, 41,8% και 47,4% αντίστοιχα. Η προσθήκη Cr^{6+} αυξάνει τη συγκέντρωση κατά 1,5% στο E και 12,7% στην K, ενώ μειώνει κατά 18,5%, 12,7% και 14,8% στις μεταχειρίσεις με Z, TZ και M αντίστοιχα. Στο **υπόγειο τμήμα** μείωση προκαλούν TZ και M κατά 60,8% και 85,8%, ενώ αύξηση ο Z κατά 12,6%. Το Cr^{6+} μειώνει τη συγκέντρωση κατά 18,5% στο E, καθώς επίσης κατά 9,5% και 42,6% στις μεταχειρίσεις TZ και Z αντίστοιχα, ενώ την αυξάνει κατά 47,4% στη M.



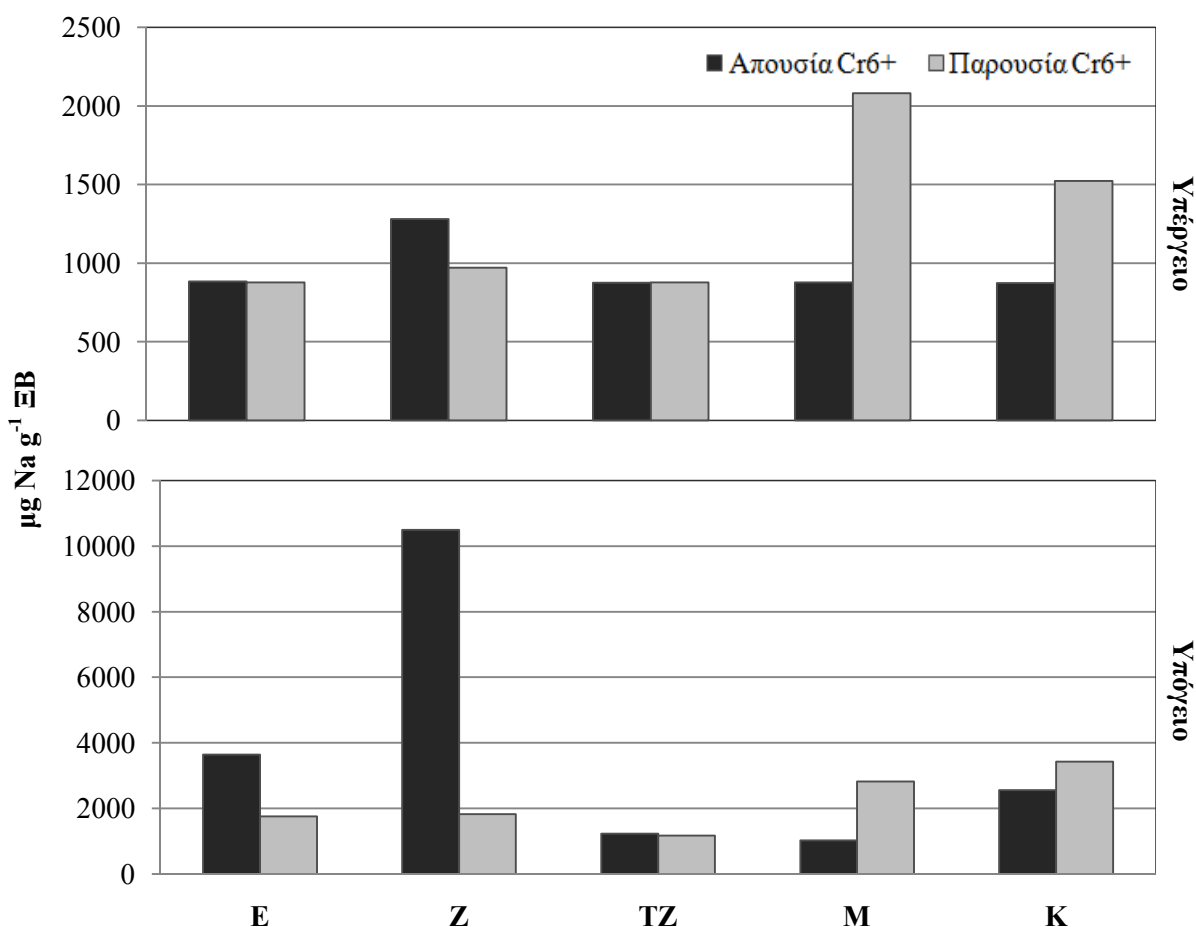
Διάγραμμα 4.15. Η επίδραση του ζεόλιθου, του τροποποιημένου ζεόλιθου, της μαρμαρόσκονης και της κοπριάς στη συγκέντρωση του σιδήρου στο υπέργειο και υπόγειο τμήμα του κρεμμυδιού ($\mu\text{g Fe g}^{-1}$ ξηρού φυτικού βάρους) συναρτήσει της προσθήκης ή μη εξασθενούς χρωμίου.

Από το Διάγραμμα 4.15 προκύπτει ότι η συγκέντρωση Fe στο **υπέργειο τμήμα** μειώνεται με την προσθήκη των εδαφοβελτιωτικών. Συγκεκριμένα, μειώνεται κατά 57,1%, 60,5%, 61% και 72,1% με την προσθήκη M, Z, TZ και K αντίστοιχα. Όταν προστίθεται Cr^{6+} , η συγκέντρωση μειώνεται στις μεταχειρίσεις Z, TZ και E κατά 11,2%, 23,6% και 71,7% αντίστοιχα, ενώ αυξάνεται κατά 93,1% και 109,8% στις μεταχειρίσεις M και K αντίστοιχα. Στο **υπόγειο τμήμα** μείωση προκαλεί η προσθήκη K, TZ και M κατά 40,4%, 74,7% και 82,6% αντίστοιχα, ενώ αύξηση κατά 18,2% η προσθήκη Z. Το Cr^{6+} φαίνεται να μειώνει τη συγκέντρωση κατά 41% στο E σε σχέση με τον μάρτυρα, καθώς επίσης κατά 27,1% και 49,5% στις μεταχειρίσεις K και Z αντίστοιχα, ενώ την αυξάνει στις μεταχειρίσεις TZ και M κατά 42,7% και 195,9% αντίστοιχα.



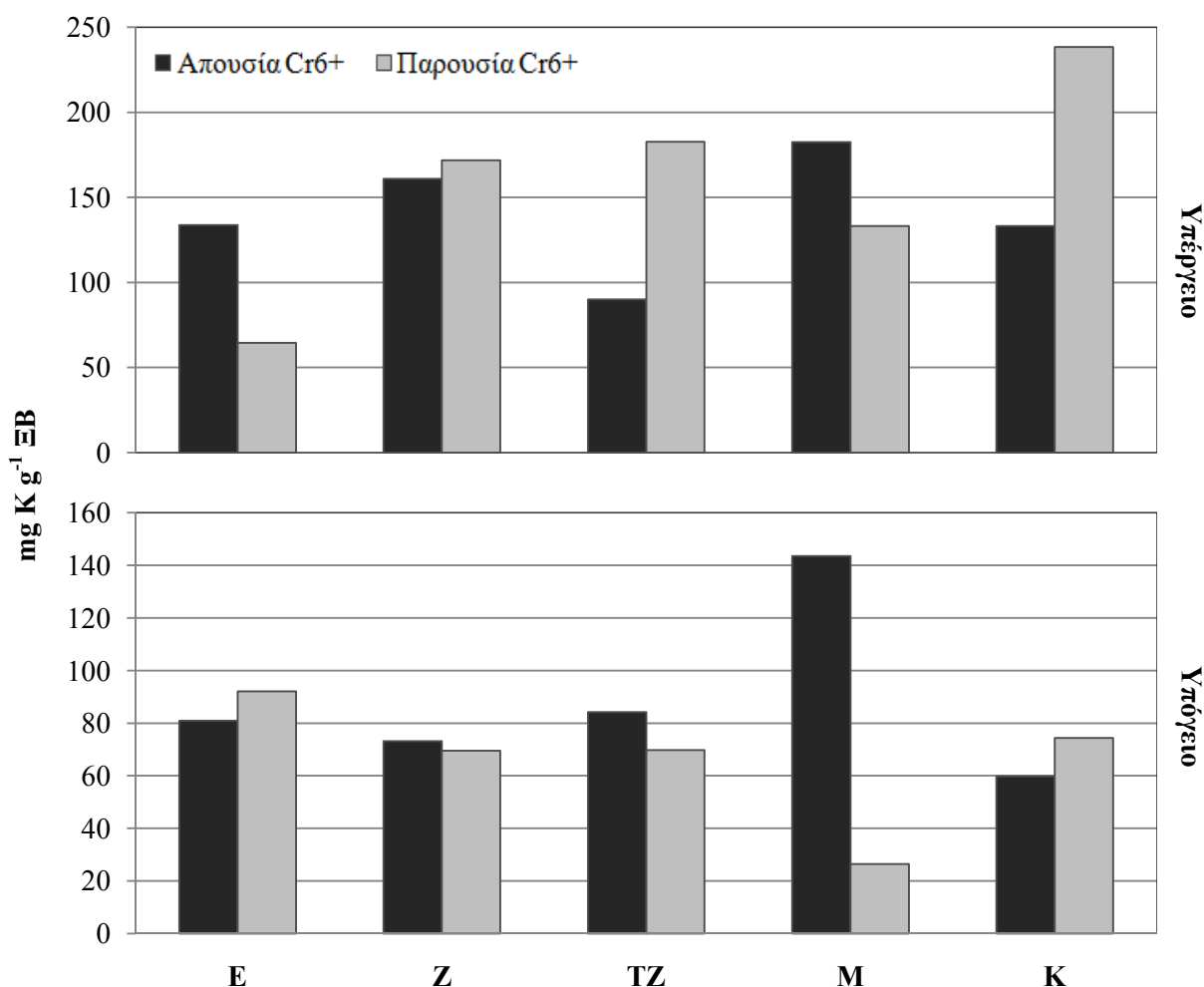
Διάγραμμα 4.16. Η επίδραση του ζεόλιθου, του τροποποιημένου ζεόλιθου, της μαρμαρόσκονης και της κοπριάς στη συγκέντρωση του ψευδαργύρου στο υπέργειο και υπόγειο τμήμα του κρεμμυδιού (mg Zn g^{-1} ξηρού φυτικού βάρους) συναρτήσει της προσθήκης ή μη εξασθενούς χρωμίου.

Στο Διάγραμμα 4.16 φαίνεται ότι στο **υπέργειο τμήμα**, η συγκέντρωση του Zn μειώνεται ελάχιστα με την προσθήκη M, TZ και K κατά 1,4%, 2%, και 2,1% αντίστοιχα, ενώ αυξάνεται σημαντικά κατά 152,4% με την προσθήκη Z. Η προσθήκη Cr^{6+} στη μεταχείριση Z μειώνει τη συγκέντρωση στον φυτικό ιστό κατά 51,3%, ενώ φαίνεται να την αυξάνεται στις μεταχειρίσεις K και M κατά 259,4% και 667,2% αντίστοιχα. Μείωση παρουσιάζεται στη μεταχείριση E κατά 1,3%, ενώ αύξηση κατά 0,4% σε αυτή του TZ. Στο **υπόγειο τμήμα** μείωση συγκέντρωσης προκαλεί η προσθήκη K, TZ και M κατά 32,4%, 62,6% και 70,5% αντίστοιχα, ενώ αύξηση κατά 146,3% η προσθήκη Z. Η παρουσία Cr^{6+} μειώνει τη συγκέντρωση κατά 0,8%, 51,6% και 80,1% στις μεταχειρίσεις TZ, E και Z αντίστοιχα, ενώ την αυξάνει στις μεταχειρίσεις K και M κατά 19,7% και 141,9% αντίστοιχα.



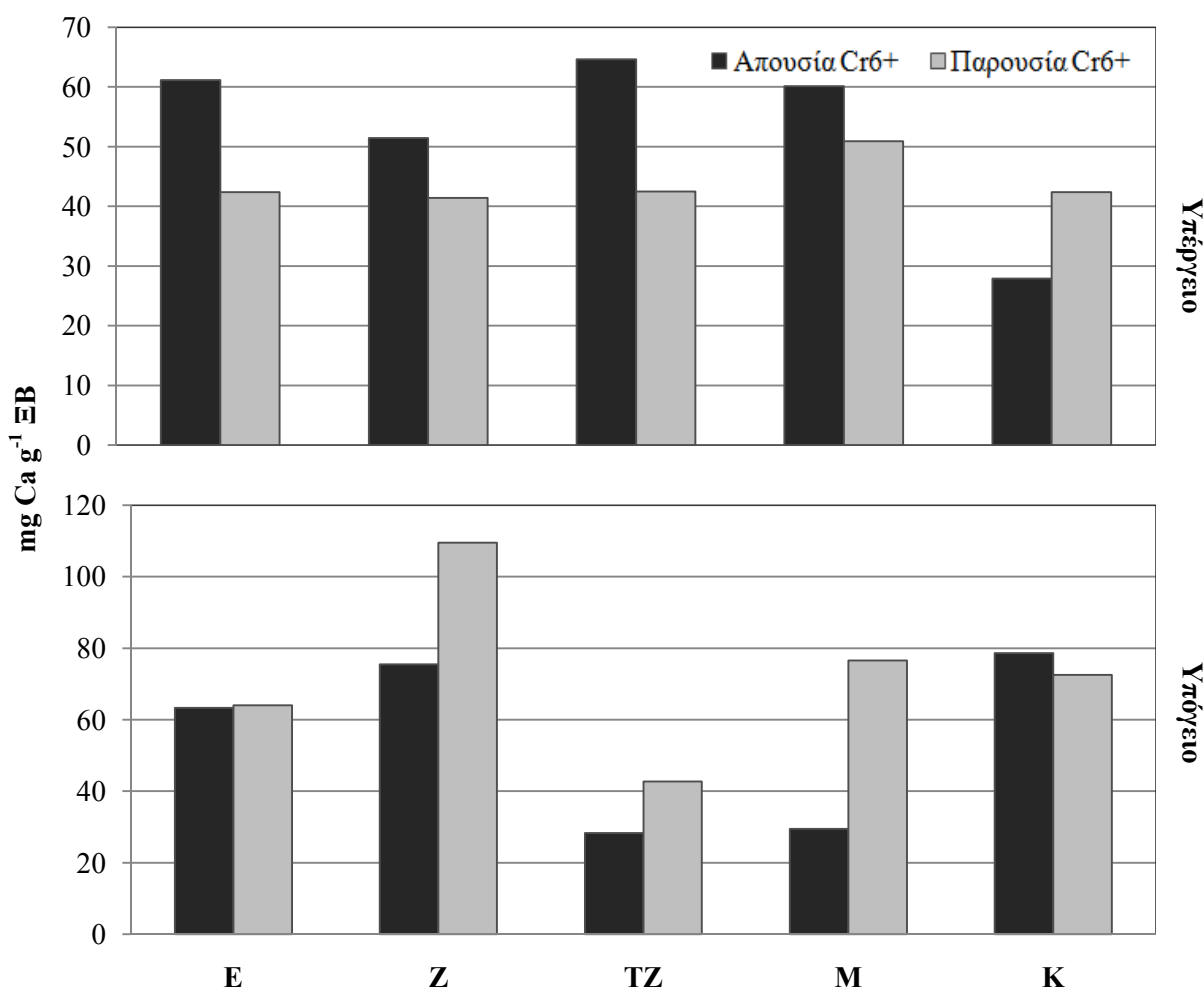
Διάγραμμα 4.17. Η επίδραση του ζεόλιθου, του τροποποιημένου ζεόλιθου, της μαρμαρόσκονης και της κοπριάς στη συγκέντρωση του νατρίου στο υπέργειο και υπόγειο τμήμα του κρεμμυδιού ($\mu\text{g Na g}^{-1}$ ξηρού φυτικού βάρους) συναρτήσει της προσθήκης ή μη εξασθενούς χρωμίου.

Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 4.17, η συγκέντρωση του Na στο **υπέργειο τμήμα** μειώνεται ελάχιστα με την προσθήκη M, TZ και K κατά 0,7%, 1%, και 1,1% αντίστοιχα, ενώ αυξάνεται σημαντικά κατά 44,8% με την προσθήκη Z. Η προσθήκη Cr^{6+} στη μεταχείριση Z μειώνει τη συγκέντρωση στον φυτικό ιστό κατά 24,1%, ενώ φαίνεται να την αυξάνει στις μεταχειρίσεις K και M κατά 74,3% και 137% αντίστοιχα. Μείωση παρουσιάζεται στη μεταχείριση E κατά 0,7%, ενώ αύξηση κατά 0,2% σε αυτή του TZ. Στο **υπόγειο τμήμα** μείωση συγκέντρωσης νατρίου προκαλεί η προσθήκη K, TZ και M κατά 29,6%, 66,2% και 71,8% αντίστοιχα, ενώ αύξηση κατά 188,5% η προσθήκη Z. Η παρουσία Cr^{6+} μειώνει τη συγκέντρωση κατά 4,8%, 51,6% και 82,6% στις μεταχειρίσεις TZ, E και Z αντίστοιχα, ενώ την αυξάνει στις μεταχειρίσεις K και M κατά 33,8% και 175,9% αντίστοιχα.



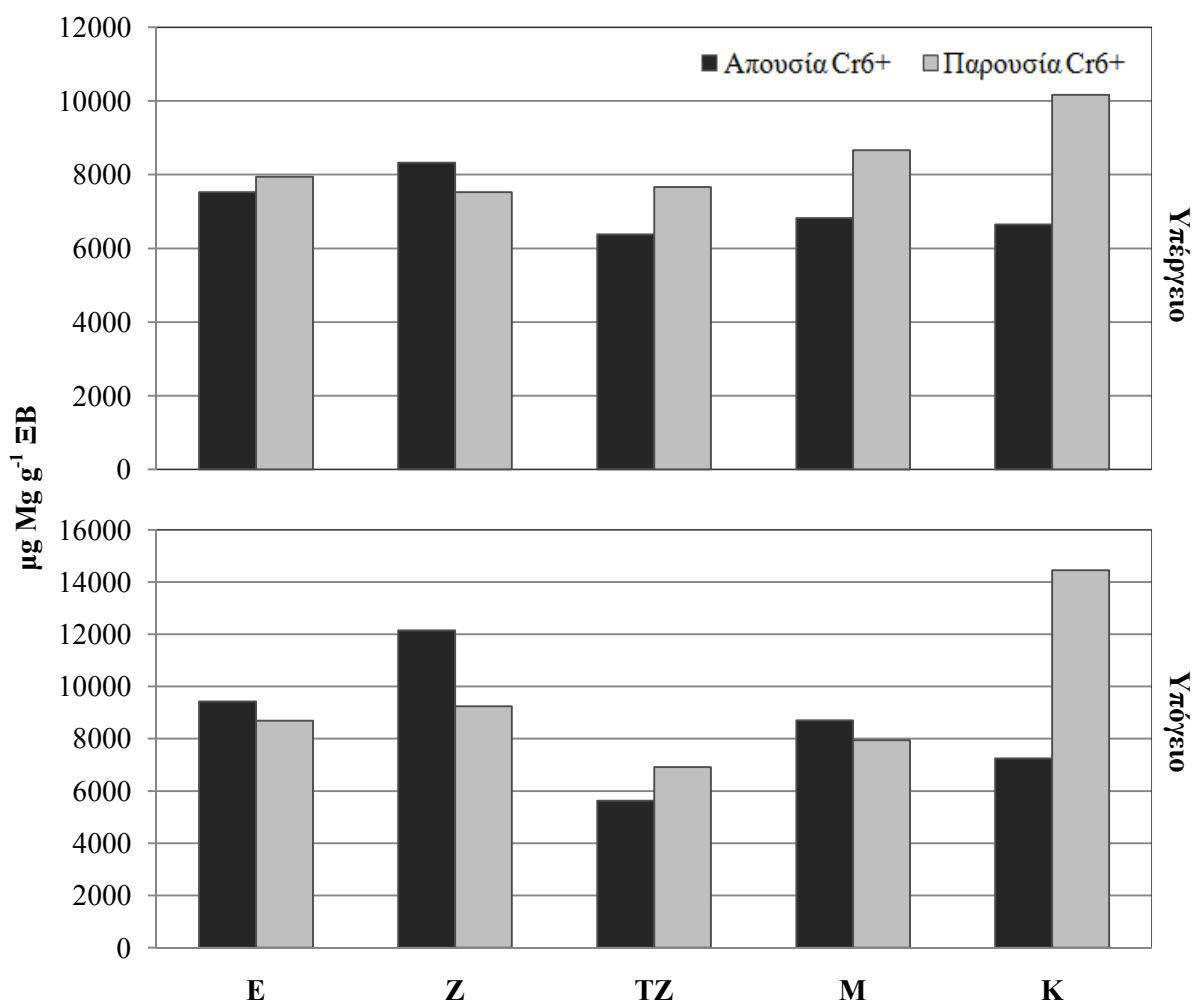
Διάγραμμα 4.18. Η επίδραση του ζεόλιθου, του τροποποιημένου ζεόλιθου, της μαρμαρόσκονης και της κοπριάς στη συγκέντρωση του καλίου στο υπέργειο και υπόγειο τμήμα του κρεμμυδιού (mg K g^{-1} ξηρού φυτικού βάρους) συναρτήσει της προσθήκης ή μη εξασθενούς χρωμίου.

Από το Διάγραμμα 4.18 προκύπτει ότι η συγκέντρωση του K στο **υπέργειο τμήμα** μειώνεται με την προσθήκη K και TZ κατά 0,3% και 32,7% αντίστοιχα, ενώ αυξάνεται κατά 20,4% και 36,5% με την προσθήκη Z και M αντίστοιχα σε σχέση με τον μάρτυρα. Η προσθήκη Cr⁶⁺ μειώνει τη συγκέντρωση στον φυτικό ιστό στις μεταχειρίσεις M και E κατά 27% και 51,8% αντίστοιχα, ενώ την αυξάνει στις μεταχειρίσεις Z, K και TZ κατά 6,7%, 79% και 103% αντίστοιχα. Στο **υπόγειο τμήμα**, τη συγκέντρωση καλίου μειώνει η προσθήκη Z και K κατά 9,5% και 26% αντίστοιχα, ενώ αύξηση προκαλεί η προσθήκη TZ και M κατά 4,1% και 77,4% αντίστοιχα. Η παρουσία Cr⁶⁺ αυξάνει τη συγκέντρωση καλίου στις μεταχειρίσεις Z, TZ και M κατά 5,1%, 17,2% και 81,6% αντίστοιχα, ενώ τη μειώνει στις μεταχειρίσεις E και K κατά 13,8% και 24,3% αντίστοιχα.



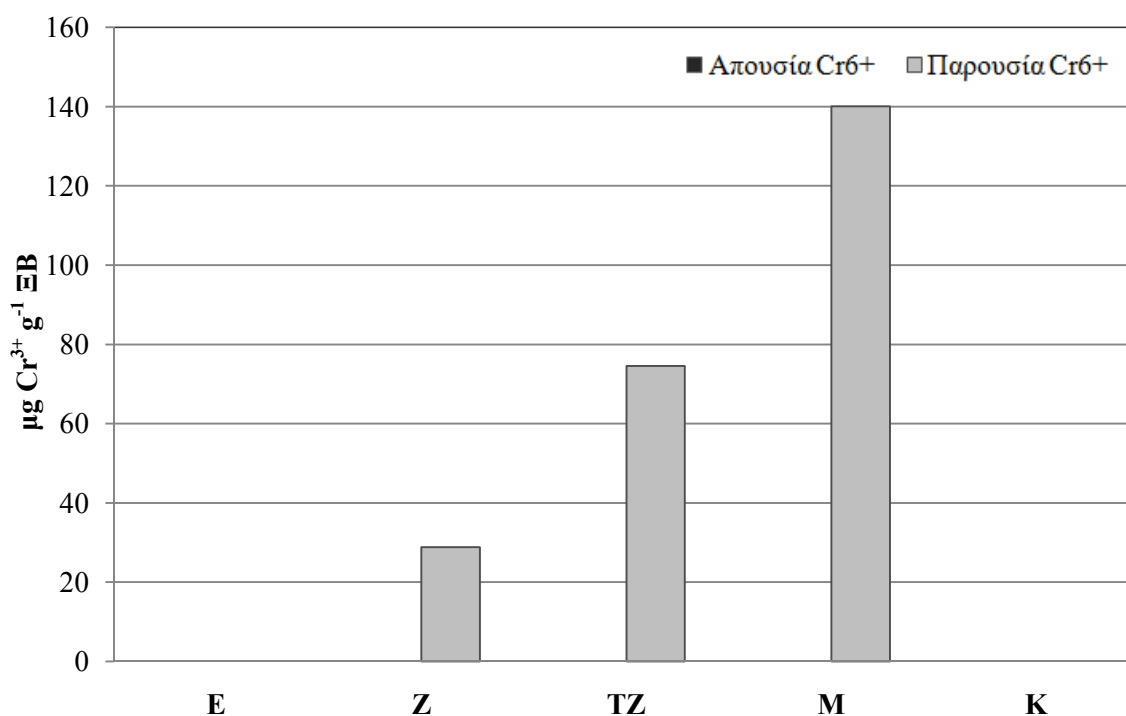
Διάγραμμα 4.19. Η επίδραση του ζεόλιθου, του τροποποιημένου ζεόλιθου, της μαρμαρόσκονης και της κοπριάς στη συγκέντρωση του ασβεστίου στο υπέργειο και υπόγειο τμήμα του κρεμμυδιού (mg Ca g⁻¹ ξηρού φυτικού βάρους) συναρτήσει της προσθήκης ή μη εξασθενούς χρωμίου.

Στο Διάγραμμα 4.19 φαίνεται ότι η συγκέντρωση του Ca στο **υπέργειο τμήμα** αυξάνεται κατά 5,7% με την προσθήκη TZ, ενώ μειώνεται κατά 1,7%, 15,9% και 54,4% με την προσθήκη M, Z και K αντίστοιχα. Η προσθήκη Cr⁶⁺ αυξάνει τη συγκέντρωση στον φυτικό ιστό κατά 52% στη μεταχείριση K, ενώ τη μειώνει στις μεταχειρίσεις M, Z, E και TZ κατά 15,3%, 19,5%, 30,7% και 34,3% αντίστοιχα σε σχέση με τον μάρτυρα. Στο **υπόγειο τμήμα**, η συγκέντρωση ασβεστίου μειώνεται με την προσθήκη TZ και M κατά 53,5% και 55,3% αντίστοιχα, ενώ αυξάνεται με την προσθήκη Z και K κατά 19,3% και 24,2% αντίστοιχα σε σχέση με τον μάρτυρα. Το Cr⁶⁺ φαίνεται να αυξάνει τη συγκέντρωση στις μεταχειρίσεις E, Z, TZ και M κατά 1,1%, 45,1%, 51% και 160% αντίστοιχα, ενώ τη μειώνει στη μεταχείριση K και K κατά 7,7%.



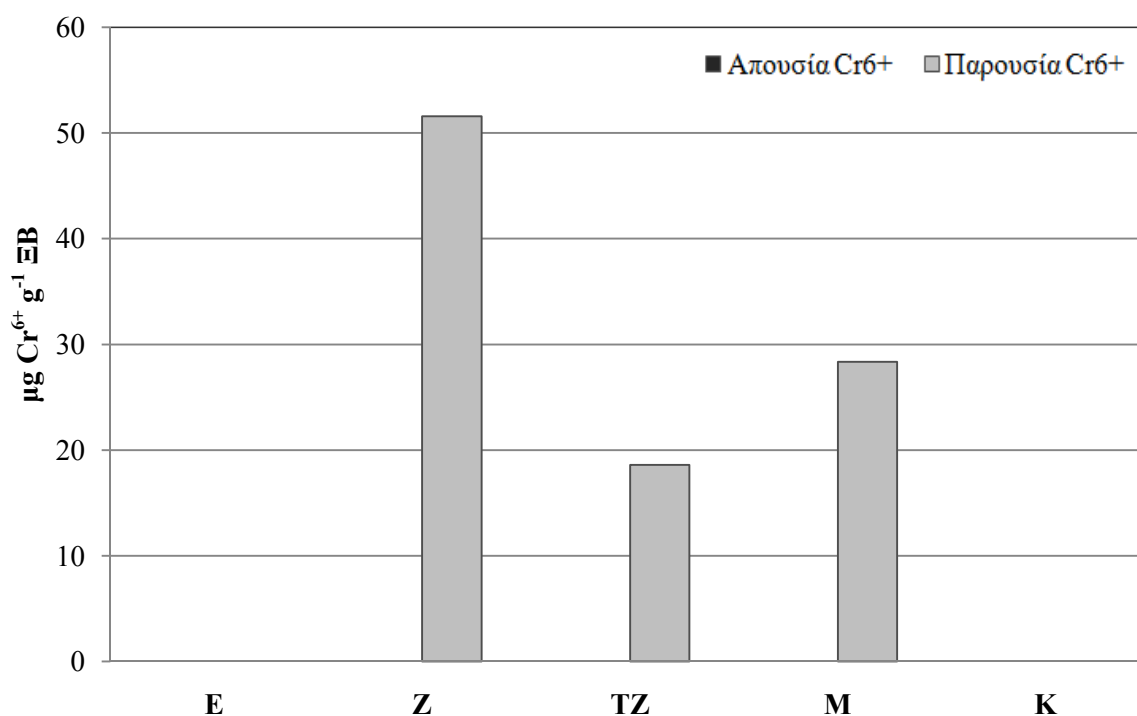
Διάγραμμα 4.20. Η επίδραση του ζεόλιθου, του τροποποιημένου ζεόλιθου, της μαρμαρόσκονης και της κοπριάς στη συγκέντρωση του μαγνησίου στο υπέργειο και υπόγειο τμήμα του κρεμμυδιού ($\mu\text{g Mg g}^{-1}$ ξηρού φυτικού βάρους) συναρτήσει της προσθήκης ή μη εξασθενούς χρωμίου.

Από το Διάγραμμα 4.20 προκύπτει ότι η συγκέντρωση του Mg στο **υπέργειο τμήμα** αυξάνεται κατά 10,6% με την προσθήκη Z, ενώ μειώνεται κατά 9,4%, 11,7% και 15,2% με την προσθήκη M, K και TZ αντίστοιχα. Η προσθήκη Cr^{6+} μειώνει τη συγκέντρωση στον φυτικό ιστό κατά 9,6% στη μεταχείριση Z, ενώ την αυξάνει στις μεταχειρίσεις E, TZ, M, και K κατά 5,5%, 20,1%, 27% και 52,9% αντίστοιχα. Στο **υπόγειο τμήμα**, η συγκέντρωση Mg αυξάνεται με την προσθήκη Z κατά 29%, ενώ μειώνεται με την προσθήκη M, K και TZ κατά 7,7%, 23,1% και 40,3% αντίστοιχα σε σχέση με τον μάρτυρα. Το Cr^{6+} μειώνει τη συγκέντρωση του Mg στις μεταχειρίσεις E, M και Z κατά 7,8%, 8,6% και 24% αντίστοιχα, ενώ την αυξάνει στις μεταχειρίσεις TZ και K κατά 23% και 99,5% αντίστοιχα.



Διάγραμμα 4.21. Η επίδραση του ζεόλιθου, του τροποποιημένου ζεόλιθου, της μαρμαρόσκονης και της κοπριάς στη συγκέντρωση του τρισθενούς χρωμίου στο υπόγειο τμήμα του κρεμμυδιού ($\mu\text{g Cr}^{3+} \text{ g}^{-1} \text{ ΞΒ}$ ξηρού φυτικού βάρους) συναρτήσει της προσθήκης ή μη εξασθενούς χρωμίου.

Από το Διάγραμμα 4.21 προκύπτει ότι η συγκέντρωση του Cr^{3+} εντοπίζεται **μόνο στο υπόγειο τμήμα** του φυτού και όπου έχει προστεθεί Z, TZ και M. Η μεγαλύτερη συγκέντρωση παρατηρείται στο έδαφος που έχει προστεθεί M ($140,07 \mu\text{g Cr}^{3+} \text{ g}^{-1} \text{ ΞΒ}$) και η μικρότερη στο Z ($28,83 \mu\text{g Cr}^{3+} \text{ g}^{-1} \text{ ΞΒ}$).



Διάγραμμα 4.22. Η επίδραση του ζεόλιθου, του τροποποιημένου ζεόλιθου, της μαρμαρόσκονης και της κοπριάς στη συγκέντρωση του εξασθενούς χρωμίου στο υπόγειο τμήμα του κρεμμυδιού ($\mu\text{g Cr}^{6+} \text{g}^{-1}$ ξηρού φυτικού βάρους) συναρτήσει της προσθήκης ή μη εξασθενούς χρωμίου.

Από το Διάγραμμα 4.22 προκύπτει ότι η συγκέντρωση του Cr^{6+} εντοπίζεται **μόνο στο υπόγειο τμήμα** του φυτού. και όπου έχει προστεθεί Z, TZ και M. Η μεγαλύτερη συγκέντρωση παρατηρείται στο έδαφος που έχει προστεθεί Z ($51,59 \mu\text{g Cr}^{6+} \text{g}^{-1}$ ΞΒ) και μικρότερη στο TZ ($18,58 \mu\text{g Cr}^{6+} \text{g}^{-1}$ ΞΒ).

Παρακάτω παρουσιάζονται συγκεντρωτικά η επίδραση της προσθήκης του ζεόλιθου, του τροποποιημένου ζεόλιθου, της μαρμαρόσκονης και της κοπριάς (Πίνακα 4.3) σε σχέση με τον μάρτυρα και η επίδραση της προσθήκης εξασθενούς χρωμίου (Πίνακα 4.4) στη συγκέντρωση των θρεπτικών στοιχείων, στο ύψος των φυτών, στο NB, στο ΞΒ και στη διάμετρο των βολβών (σε ποσοστό %).

Πίνακας 4.3. Επίδραση της προσθήκης ζεόλιθου, τροποποιημένου ζεόλιθου, μαρμαρόσκονης και κοπριάς στη συγκέντρωση θρεπτικών στοιχείων, στο ύψος, στο νωπό και ξηρό βάρος και στη διάμετρο βολβών σε σχέση με το μάρτυρα. Η θετική τιμή δηλώνει αύξηση, ενώ η αρνητική τιμή μείωση σε ποσοστό (%).

| Υπέργειο τμήμα κρεμμυδιού | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|------------------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|------------------|-------|--------|--------|
| | Cr ³⁺ | Mn | Fe | Zn | Na | K | Ca | Mg | Cr ⁶⁺ | Ύψος | N.B. | Ξ.Β. |
| E | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Z | - | +7,8 | -60,5 | +152,4 | +44,8 | +20,4 | -15,9 | +10,6 | - | +9,5 | +68,3 | -15,6 |
| TZ | - | -22,2 | -61,0 | -2,0 | -1,0 | -32,7 | +5,7 | -15,2 | - | +73,2 | +654,8 | +130,0 |
| M | - | -41,8 | -57,1 | -1,4 | -0,7 | +36,5 | -1,7 | -9,4 | - | +5,9 | +150,0 | -13,3 |
| K | - | -47,4 | -72,1 | -2,1 | -1,1 | -0,3 | -54,4 | -11,7 | - | +65,3 | +680,9 | +66,7 |

| Υπόγειο τμήμα κρεμμυδιού | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|------------------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|------------------|-------|-------|--------|-------|
| | Cr ³⁺ | Mn | Fe | Zn | Na | K | Ca | Mg | Cr ⁶⁺ | Ύψος | Διάμ. | N.B. | Ξ.Β. |
| E | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Z | - | +12,6 | +18,2 | +146,3 | +188,5 | -9,5 | +19,3 | +29,0 | - | +25,3 | +28,9 | +68,8 | +8,3 |
| TZ | - | -60,8 | -74,7 | -62,6 | -66,2 | +4,1 | -55,3 | -40,3 | - | +18,9 | +78,3 | +209,4 | +87,5 |
| M | - | -85,8 | -82,6 | -70,5 | -71,8 | +77,4 | -53,5 | -7,7 | - | +6,9 | +38,6 | +81,3 | 0 |
| K | - | -58,6 | -40,4 | -32,4 | -29,6 | -26,0 | +24,2 | -23,1 | - | +27,6 | +57,8 | +218,8 | +100 |

Πίνακας 4.4. Επίδραση της προσθήκης εξασθενούς χρωμίου στη συγκέντρωση θρεπτικών στοιχείων, στο ύψος, στο νωπό και ξηρό βάρος και στη διάμετρο βολβών. Η θετική τιμή δηλώνει αύξηση, ενώ η αρνητική τιμή μείωση σε ποσοστό (%).

| Υπέργειο τμήμα κρεμμυδιού | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|------------------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|------------------|-------|-------|-------|
| | Cr ³⁺ | Mn | Fe | Zn | Na | K | Ca | Mg | Cr ⁶⁺ | Ύψος | N.B. | Ξ.B. |
| E | - | +1,5 | -71,7 | -1,3 | -0,7 | -51,8 | -30,7 | +5,5 | - | +45,1 | +16,7 | +33,3 |
| Z | - | -18,5 | -11,2 | -51,3 | -24,1 | +6,7 | -19,5 | -9,6 | - | +7,4 | +34,0 | -7,9 |
| TZ | - | -12,7 | -23,6 | +0,4 | +0,2 | +103,0 | -34,3 | +20,1 | - | -7,8 | -33,1 | -31,4 |
| M | - | -14,8 | +109,8 | +667,2 | +137,0 | -27,0 | -15,3 | +27,0 | - | -15,2 | -13,3 | -34,6 |
| K | - | +12,7 | +93,1 | +259,4 | +74,3 | +79,0 | +52,0 | +52,9 | - | -37,5 | -55,6 | -46,0 |

| Υπόγειο τμήμα κρεμμυδιού | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|------------------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|------------------|-------|-------|-------|-------|
| | Cr ³⁺ | Mn | Fe | Zn | Na | K | Ca | Mg | Cr ⁶⁺ | Ύψος | Διάμ. | N.B. | Ξ.B. |
| E | - | -18,5 | -41,0 | -51,6 | -51,6 | +13,8 | +1,1 | -7,8 | - | +12,1 | +10,8 | +50,0 | +25,0 |
| Z | - | -42,6 | -49,5 | -80,1 | -82,6 | -5,1 | +45,1 | -24,0 | - | +2,3 | +16,8 | +14,8 | +15,4 |
| TZ | - | -9,5 | +42,7 | -0,8 | -4,8 | -17,2 | +51,0 | +23,0 | - | -6,3 | -10,8 | -7,1 | -11,1 |
| M | - | +47,4 | +195,9 | +141,9 | +175,9 | -81,6 | +160,0 | -8,6 | - | +8,1 | -16,5 | -24,1 | -25,0 |
| K | - | +5,2 | -27,1 | +19,7 | +33,8 | +24,3 | -7,7 | +99,5 | - | -22,3 | -35,9 | -52,9 | -56,3 |

2. Συζήτηση

A. Προσθήκη βελτιωτικών στο έδαφος:

Ο ζεόλιθος αυξάνει το pH, την EC και τη συγκέντρωση του Na, K, Ca και Mg κατά 3,9%, 42,1%, 25,1%, 10,5% 30,3% και 24,4% αντίστοιχα, ενώ μειώνει τη συγκέντρωση του Mn, Fe και Zn κατά 9,5%, 6,5% και 2,7% αντίστοιχα.

Στο **υπέργειο τμήμα** του κρεμμυδιού, αυξάνει το ύψος, το νωπό βάρος και τη συγκέντρωση του Mn, Zn, Na, K και Mg κατά 9,5%, 68,3%, 7,8%, 152,4%, 44,8%, 20,4% και 10,6% αντίστοιχα, ενώ μειώνει το ξηρό βάρος και τη συγκέντρωση του Fe και Ca κατά 15,6%, 60,5% και 15,9% αντίστοιχα.

Στο **υπόγειο τμήμα** του κρεμμυδιού, αυξάνει το ύψος του βολβού, το νωπό και ξηρό βάρος, και τη διάμετρο κεφαλών κατά 25,3%, 68,8%, 8,3% και 28,9% αντίστοιχα, όπως επίσης και τη συγκέντρωση του Mn, Fe, Zn, Na, Ca και Mg κατά 12,6%, 18,2%, 146,3%, 188,5%, 19,3% και 29% αντίστοιχα. Αντίθετα μειώνει τη συγκέντρωση του K κατά 9,5%.

Ο τροποποιημένος ζεόλιθος αυξάνει το pH, την EC και τη συγκέντρωση του Mn, Fe, Na, K, Ca και Mg κατά 3,2%, 39%, 4,9%, 2%, 15,5%, 22,4%, 16,1% και 7,6% αντίστοιχα, ενώ δε μεταβάλλει τη συγκέντρωση του Zn.

Στο **υπέργειο τμήμα** του κρεμμυδιού, αυξάνει το ύψος, το νωπό και ξηρό βάρος και τη συγκέντρωση του Ca κατά 73,2%, 654,8%, 130% και 5,7% αντίστοιχα, ενώ μειώνει τη συγκέντρωση του Mn, Fe, Zn, Na, K και Mg κατά 22,2%, 61%, 2%, 1%, 32,7% και 15,2% αντίστοιχα.

Στο **υπόγειο τμήμα** του κρεμμυδιού, αυξάνει το ύψος του βολβού, το νωπό και ξηρό βάρος και τη διάμετρο κεφαλών κατά 18,9%, 209,4%, 87,5% και 78,3% αντίστοιχα, όπως επίσης και τη συγκέντρωση του K κατά 4,1%. Αντίθετα μειώνει τη συγκέντρωση του Mn, Fe, Zn, Na, Ca και Mg κατά 60,8%, 74,7% 62,6%, 66,2%, 55,3% και 40,3% αντίστοιχα.

Η **μαρμαρόσκονη** αυξάνει το pH και την EC κατά 24,7% και 52,1% αντίστοιχα, ενώ μειώνει τη συγκέντρωση του Mn, Fe, Zn, Na, K και Mg κατά 70,4%, 59,7%, 17,8%, 5,4%, 50,8% και 1,8% αντίστοιχα.

Στο **υπέργειο τμήμα** του κρεμμυδιού, αυξάνει το ύψος, το νωπό βάρος και τη συγκέντρωση του K κατά 5,9%, 150% και 36,5% αντίστοιχα, ενώ μειώνει το ξηρό βάρος και τη συγκέντρωση του Mn, Fe, Zn, Na, Ca και Mg μειώνονται κατά 13,3%, 41,8%, 57,1%, 1,4%, 0,7%, 1,7% και 9,4% αντίστοιχα.

Στο **υπόγειο τμήμα** του κρεμμυδιού, αυξάνει το ύψος του βολβού, το νωπό βάρος και τη διάμετρο κεφαλών κατά 6,9%, 81,3% και 38,6% αντίστοιχα, όπως επίσης και τη συγκέντρωση του K κατά 77,4%. Αντίθετα, μειώνει τη συγκέντρωση του Mn, Fe, Zn, Na, Ca και Mg κατά 85,8%, 82,6%, 70,5%, 71,8% 53,5% και 7,7% αντίστοιχα. Δεν είχε καμία επίδραση στο ξηρό βάρος.

Η **κοπριά** αυξάνει το pH, την EC και τη συγκέντρωση του Zn, Na, K, Ca και Mg κατά 23,5%, 310,4%, 24,5%, 1777,3%, 626,4%, 139% και 99,8% αντίστοιχα, ενώ μειώνει τη συγκέντρωση του Mn και Fe κατά 48,2% και 46% αντίστοιχα.

Στο **υπέργειο τμήμα** του κρεμμυδιού, αυξάνει το ύψος, το νωπό και ξηρό βάρος κατά 65,3%, 681% και 66,7% αντίστοιχα, ενώ μειώνει τη συγκέντρωση του Mn, Fe, Zn, Na, K, Ca και Mg κατά 47,4%, 72,1%, 2,1%, 1,1% και 0,3%, 54,4% και 11,7% αντίστοιχα.

Στο **υπόγειο τμήμα** του κρεμμυδιού, αυξάνει το ύψος του βολβού, το νωπό και ξηρό βάρος και τη διάμετρο κεφαλών κατά 27,6%, 218,8%, 100% και 57,8% αντίστοιχα, όπως επίσης και τη συγκέντρωση του Ca κατά 24,2%. Αντίθετα, μειώνει τη συγκέντρωση του Mn, Fe, Zn, Na, K και Mg κατά 58,6%, 40,4%, 32,4%, 29,6% και 26% και 23,1% αντίστοιχα.

B. Προσθήκη Cr⁶⁺ στο έδαφος:

Στο έδαφος αυξάνει το pH, την EC και τη συγκέντρωση του Na, K, Ca και Mg 2,7%, 35,1%, 5%, 37,1%, 15,5% και 7,9% αντίστοιχα, ενώ μειώνει τη συγκέντρωση του Mn, Fe και Zn κατά 16,6%, 8,5% και 7,7% αντίστοιχα.

Στο υπέργειο τμήμα του κρεμμυδιού, αυξάνει το ύψος, το νωπό και ξηρό βάρος και τη συγκέντρωση του Mn και Mg κατά 45,1%, 16,7%, 33,3% 1,5% και 5,5% αντίστοιχα, ενώ μειώνει τη συγκέντρωση του Fe, Zn, Na, K και Ca κατά 71,7%, 1,3%, 0,7%, 51,8%, και 30,7% αντίστοιχα.

Στο υπόγειο τμήμα του κρεμμυδιού, αυξάνει το ύψος του βολβού, το νωπό και ξηρό βάρος και τη διάμετρο κεφαλών κατά 12,1%, 50%, 25% και 10,8% αντίστοιχα, όπως επίσης και τη συγκέντρωση του K και Ca κατά 13,8% και 1,1% αντίστοιχα. Αντίθετα, μειώνει τη συγκέντρωση του Mn, Fe, Zn, Na και Mg κατά 18,5%, 41%, 51,6%, 51,6% και 7,8% αντίστοιχα.

Στο έδαφος με ζεόλιθο μειώνει την EC και τη συγκέντρωση του Mn, Fe, Na, K, Ca και Mg κατά 35,1%, 7,4%, 4,7%, 7,5%, 20,1%, 14% και 13,9% αντίστοιχα, ενώ αυξάνει το pH και τη συγκέντρωση του Zn κατά 7,7% και 2,8% αντίστοιχα.

Στο υπέργειο τμήμα του κρεμμυδιού, αυξάνει το ύψος, το νωπό βάρος και τη συγκέντρωση του K κατά 7,4%, 34% και 6,7% αντίστοιχα ενώ μειώνει το ξηρό βάρος και τη συγκέντρωση του Mn, Fe, Zn, Na, Ca και Mg κατά 7,9%, 18,5%, 11,2%, 51,3%, 24,1%, 19,5% και 9,6% αντίστοιχα.

Στο υπόγειο τμήμα του κρεμμυδιού, αυξάνει το ύψος του βολβού, το νωπό και ξηρό βάρος και τη διάμετρο κεφαλών κατά 2,3%, 14,8%, 15,4% και 16,8% αντίστοιχα, όπως επίσης και τη συγκέντρωση του Ca κατά 45,1%. Αντίθετα, μειώνει τη συγκέντρωση του Mn, Fe, Zn, Na, K και Mg κατά 42,6%, 49,5%, 80,1%, 82,6%, 5,1% και 24% αντίστοιχα.

Στο **έδαφος με τροποποιημένο ζεόλιθο** αυξάνει το pH και τη συγκέντρωση του Na και Mg κατά 5,9%, 3,8% και 0,2% αντίστοιχα, ενώ μειώνει την EC και τη συγκέντρωση του Mn, Fe, Zn, K και Ca κατά 27,1%, 14,7%, 4,6%, 4,1%, 28,6% και 1,5% αντίστοιχα.

Στο **υπέργειο τμήμα** του κρεμμυδιού, αυξάνει τη συγκέντρωση του Zn, Na, K και Mg κατά 0,4%, 0,2%, 103% και 20,1% αντίστοιχα, ενώ μειώνει το ύψος, το νωπό και ξηρό βάρος και τη συγκέντρωση του Mn, Fe και Ca κατά 7,8%, 33,1%, 31,4%, 12,7%, 23,6% και 34,3% αντίστοιχα.

Στο **υπόγειο τμήμα** του κρεμμυδιού, αυξάνει τη συγκέντρωση του Fe, Ca και Mg κατά 42,7%, 51% και 23% αντίστοιχα, ενώ μειώνει το ύψος, το νωπό και ξηρό βάρος και τη διάμετρο κεφαλών κατά 6,3%, 7,1%, 11,1% και 10,8% αντίστοιχα, όπως επίσης και τη συγκέντρωση του Mn, Zn, Na και K κατά 9,5%, 0,8%, 4,8% και 17,2% αντίστοιχα.

Στο **έδαφος με μαρμαρόσκονη** αυξάνει το pH και τη συγκέντρωση του Mn, Fe, Zn και Na κατά 4,9%, 10,2%, 14,4%, 5% και 3,8% αντίστοιχα, ενώ μειώνει την EC και τη συγκέντρωση του K, Ca και Mg κατά 5,5%, 4,7%, 25,4% και 4,3% αντίστοιχα.

Στο **υπέργειο τμήμα** του κρεμμυδιού, αυξάνει τη συγκέντρωση του Fe, Zn, Na και Mg κατά 109,8%, 667,2%, 137% και 27% αντίστοιχα, ενώ το ύψος, το νωπό και ξηρό βάρος του βολβού και τη συγκέντρωση του Mn, K και Ca κατά 15,2%, 13,3%, 34,6%, 14,8%, 27% και 15,3% αντίστοιχα.

Στο **υπόγειο τμήμα** του κρεμμυδιού, αυξάνει το ύψος του βολβού και τη συγκέντρωση του Mn, Fe, Zn, Na και Ca κατά 8,1%, 47,4%, 195,9%, 141,9%, 175,9% και 160% αντίστοιχα, ενώ μειώνει το νωπό και ξηρό βάρος, τη διάμετρο κεφαλών και τη συγκέντρωση του K και Mg κατά 24,1%, 25%, 16,5%, 81,6% και 8,6% αντίστοιχα.

Στο **έδαφος με κοπριά** αυξάνει το pH, την EC και τη συγκέντρωση του Zn, Na και K κατά 2,2%, 11%, 0,3%, 2,8% και 101,5%, ενώ μειώνει τη συγκέντρωση του Mn, Fe, Ca και Mg κατά 18,4%, 3,6%, 7,7% και 3,8% αντίστοιχα.

Στο **υπέργειο τμήμα** του κρεμμυδιού, αυξάνει τη συγκέντρωση του Mn, Fe, Zn, Na, K, Ca και Mg κατά 12,7%, 93,1%, 259,4%, 74,3%, 79%, 52% και 52,9% αντίστοιχα, ενώ μειώνει το ύψος, το νωπό και ξηρό βάρος κατά 37,5%, 55,6% και 46% αντίστοιχα.

Στο **υπόγειο τμήμα** του κρεμμυδιού, αυξάνει τη συγκέντρωση του Mn, Zn, Na, K και Mg κατά 5,2%, 19,7%, 33,8%, 24,3% και 99,5% αντίστοιχα, ενώ μειώνει το ύψος, το νωπό και ξηρό βάρος, τη διάμετρο κεφαλών και τη συγκέντρωση του Fe και Ca κατά 22,3%, 52,9%, 56,3%, 35,9%, 27,1% και 7,7% αντίστοιχα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

– ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ –

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Η προσθήκη των βελτιωτικών επέφερε μεταβολή σε όλες τις φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους και στις συγκεντρώσεις των μακρο- και μικροθρεπτικών στοιχείων του φυτού.
- Η προσθήκη του εξασθενούς χρωμίου επέφερε μεταβολές θετικές και αρνητικές στα φυτοκομικά χαρακτηριστικά και στις συγκεντρώσεις των μακρο- και μικροθρεπτικών στοιχείων του φυτού, αλλά και στις φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους.
- Η παρουσία εξασθενούς χρωμίου σε συνδυασμό με τα βελτιωτικά επέφερε μορφολογικές διαφορές στα φυτά σε σχέση με το μάρτυρα.
- Η συσσώρευση του εξασθενούς χρωμίου έγινε μόνο στο βολβό του κρεμμυδιού και στις μεταχειρίσεις του εδάφους με ζεόλιθο, τροποποιημένο ζεόλιθο και μαρμαρόσκονη.
- Το συγκεκριμένο έδαφος φαίνεται να απαγορεύει τη μεταφορά του εξασθενούς χρωμίου στο υπόγειο και υπέργειο τμήμα του συγκεκριμένου φυτού και το φυτό να αναπτύσσει μηχανισμούς που απαγορεύουν την πρόσληψή του.
- Η προσθήκη της συγκεκριμένης κοπριάς σε ποσοστό 9% του εδάφους είναι αρκετή για τη δέσμευση εξασθενούς χρωμίου συγκέντρωσης 30 ppm και την εξασφάλιση κρεμμυδιού απαλλαγμένου από την τοξική παρουσία του.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abdi, G. H., Khui, M. K. and Eshghi, S. 2006. Effects on natural zeolite on growth and flowering on strawberry. *Int J of Agricul Research* 1: 384-389.
- Ackay, H. and Ynan, Z. 2002. Chromium studies of natural and chemically modified gorges clinoptilolites. P. Misaelides. *Zeolite '02, 6th Int. Conf. Occurrence, Properties and Utilisation of Natural Zeolites*, Thessaloniki, Greece, June 3-7, 2002.
- Adriano, D. C. 2001. *Trace elements in terrestrial environments: biochemistry, bioavailability and risks of metals*. Springer-Verlag. New York.
- Becquer, T., Quantin, C., Sicot, M. and Boudot, J. P. 2003. Chromium availability in ultramafic soil from New Caledonia. *Sci Total Environ* 301: 251-261.
- Brigatti, M. F., Franchini, G., Frigieri, P., Gardinali, C., Medici, L. and Poppi, L. 1999. Treatment of industrial wastewater using eolite and sepiolite, natural microporous materials. *Can J Chem Eng* 77: 163-168.
- Cansever, B. 2011. Cr(IV) removal with natural, surfactant modified bacteria loaded zeolites. Izmir Institute of Technology. Izmir.
- Dixit, V., Pandey, V. and Shyam R. 2002. Chromium ions inactivate electron transport and enhance superoxide generation in vivo in pea (*Pisum sativum L. cv. Azad*) root mitochondria. *Plant Cell Environ* 25: 687-690.
- El-Bishtawi, R. F. and Ali, A. A. 2001. Soption kinetics of lead ions by zeolite tuff. *J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng* 36 (6): 1055-72.
- Hayat, S., Khalique, G., Irfan, M., Wani, A. S., Tripathi, B. N. and Ahmad A. 2012. Physiological changes induced by chromium stress in plants: an overview. *Protoplasma* 249: 599-611.
- Katz, S. A. and Salem, H. 1994. *The biological and environmental chemistry of chromium*. Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, Pappelallee 3, Postfach.
- Kabata-Pendias, A. and Pendias, H. 2001. *Trace elements in soils and plants*. 3rd ed. CRC Press Inc. Boca Raton, FL.
- Khan, A. G., Kuek, C., Chaudhry, T. M., Khoo, C. S. and Hayes, W. J. 2000. Role of plants, mycorrhizae and phytochelators in heavy metal contaminated land remediation. *Chemosphere* 41: 197-207.
- Li, Z. and Bowman, R. 1997. Counterion effects on the sorption of cationic surfactant and chromate an natural clinoptilolite. *Environ Sci Technol* 31: 2407-2412.

- Liu, D., Jiang, W. and Li, M. 1992. Effects of trivalent and hexavalent chromium on root growth and cell division of *Allium cepa*. *Hereditas* 117: 23-29.
- Motsi, T., Rowson, N. A. and Simmons, M. J. H. 2009. Adsorption of heavy metals from acid mine drainage by natural zeolite. *International Journal of Mineral Processing* 92: 42-48.
- Nematshahi, N., Lahouti, M and Ganjeali, A. 2012. Accumulation of chromium and its effect on growth of *Allium cepa* cv. Hybrid. *Eur J Exp Biol* 2 (4): 969-974.
- Panda, S. K. 2003. Heavy metal phytotoxicity induces oxidative stress in *Taxithelium* sp. *Curr Sci* 84: 631-633.
- Panda, S. K. and Choudhury, S. 2005. Chromium stress in plants. *Braz J Plant Physiol.* 17: 95-102.
- Shanker, A. K., Cervantes, C., Loza-Tavera, H. and Avudainayagam, S. 2005. Chromium toxicity in plants. *Environ Int* 31: 739-753.
- Sharma, D. C. and Sharma, C. P. 2003. Chromium uptake and toxicity effects on growth and metabolic activities in wheat, *Triticum aestivum*. *Indian J Exp Biol* 34: 689-691.
- Srivastava, M. M., Juneja, A., Dass, S., Srivastava, R., Srivastava, S., Mishra, S., Srivastav, S., Singh, V. and Prakash, S. 1994. Studies on the uptake of trivalent and hexavalent chromium by onion (*Allium cepa*). *Chem Speciat Bioavailab* 6: 27-30.
- Von Burg, R. and Liu, D. 1993. Chromium and hexavalent chromium. *J Appl Toxicol* 13: 225-230.
- Zayed, A. C., Lytle, M., Qian, J. and Terry, N. 1998. Chromium accumulation, translocation and chemical speciation in vegetable crops. *Planta* 206: 293-299.
- Zayed, A. C. and Terry, N. 2003. Chromium in the environment: factors affecting biological remediation. *Plant Soil* 249: 139-156.
- Zeid, I. M. 2001. Responses of *Phaseolus vulgaris* to chromium and cobalt treatments. *Biol Plant* 44: 111-115.
- Zeng, F. R., Mao, Y., Cheng, W. D., Wu, F. B. and Zhang, G. P. 2008. Genotypic and environmental variation in chromium, cadmium and lead concentrations in rice. *Environ Poll* 153: 309-314.
- Zeng, F., Qui, B., Ali, S. and Zhang, G. 2010a. Genotypic differences in nutrient uptake and accumulation in rice under chromium stress. *J Plant Nutr* 33 (4): 518-528.
- Zeng, F., Ali, S., Qui, B., Wu, F. B. and Zhang, G. 2010b. Effects of chromium stress on the subcellular distribution and chemical form of Ca, Mg, Fe and Zn in two rice genotypes. *J Plant Nutr Soil Sci* 173: 135-148.

- Αλιφραγκής, Δ. 2008. Το έδαφος: γένεση, ιδιότητες, ταξινόμηση. Τόμος Ι. Εκδόσεις ΑΪΒΑΖΗ. Θεσσαλονίκη.
- Διονυσίου, Ο. Σ. 2010. Μελέτη της ικανότητας του τροποποιημένου ζεόλιθου ως μέσο απορρύπανσης υδάτων άρδευσης. Διδακτορική διατριβή Α. Π. Θ. Θεσσαλονίκη.
- Μαντζώρου, Α. 2007. Η λίπανση στη βιολογική καλλιέργεια. Πτυχιακή διατριβή, Τ. Ε. Ι. Κρήτης. Ηράκλειο.
- Μήτσιος, Ι. Κ. 2004. Θρεπτικά στοιχεία και γονιμότητα εδάφους, μέθοδοι και εφαρμογές. Zymel. Αθήνα.
- Μισοπολινός, Ν. Δ. 1991. Προβληματικά εδάφη: μελέτη, πρόληψη, βελτίωση. Εκδόσεις Γιαχούδη. Θεσσαλονίκη.
- Μόλλα, Α. Ι. 2012. Βελτίωση ρυπασμένων εδαφών και υδάτων από νιτρικά, αμμωνιακά και χρώμιο και αξιοποίηση αυτών στην καλλιέργεια φυτών. Διδακτορική διατριβή Π. Θ. Βόλος.
- Μπουλούμπαση, Δ. 2007. Ανάπτυξη εκλεκτικών ζεολιθικών προσροφητών για την αναβάθμιση του φυσικού αερίου, περιβαλλοντικές εφαρμογές φυσικού ζεόλιθου. Μεταπτυχιακή διατριβή, Πανεπιστήμιο Πειραιά. Αθήνα.
- Παντέλογλου, Α. Π. 2007. Εξασθενές χρώμιο και υγεία: τα δεδομένα. Έκδοση Ι.Τ.Α.Π. Βοιωτία.
- Τσελές, Δ., Ευθυμιάδου, Α. και Γκούλτα, Μ. 2011. Βιολογική γεωργία. Τ.Ε.Ι. Πειραιά. Πειραιάς.
- Χα, και Πετρόπουλος, Σ. 2014. Γενική λαχανοκομία και υπαίθρια καλλιέργεια λαχανικών, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας, Βόλος, σελ. 711.
- Χουλιάρης, Ν. 2002. Μαθήματα εφαρμοσμένης εδαφολογίας. Εκδόσεις ΙΩΝ. Αθήνα.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

I. Εργαστηριακές μέθοδοι και υπολογισμοί

A. Εδαφολογικές αναλύσεις

Μέτρηση pH και EC

Σε falcon των 50 ml τοποθετήθηκαν 10 g εδάφους και 50 ml H₂O. Έπειτα τα φιαλίδια ανακινήθηκαν για 20 min και στη συνέχεια αφέθηκαν σε ηρεμία με κάθετη τοποθέτηση για 30 min. Τέλος, ακολούθησε η πεχαμετρική ανάλυση και η μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των δειγμάτων.

Μηχανική ανάλυση

Για την παρασκευή διασπορικού διαλύματος διαλύθηκαν 50 g (NaPO₃)₆ και 7 g Na₂CO₃ σε 1 L H₂O (5%). Για την μέτρηση της κοκκομετρικής σύστασης ζυγίστηκαν 50,0015 g εδάφους σε ποτήρι των 250 ml. Έπειτα προστέθηκαν 50 ml διασπορικού διαλύματος και τα δείγματα αφέθηκαν σε ηρεμία για 16 h. Κατόπιν, το δείγμα μεταφέρθηκε ποσοτικά σε ηλεκτρικό μίξερ όπου έγινε ανάδευση για 10 min. Στη συνέχεια το δείγμα μεταφέρθηκε σε ογκομετρικό κύλινδρο του 1 L και έγινε πλήρωση με H₂O μέχρι τη χαραγή. Ακολούθησε ανάδευση με ειδική ράβδο και καταγραφή των μετρήσεων με το πυκνόμετρο του Βουγιούκου στα 40 sec (ένδειξη A), χρόνος κατά τον οποίο θεωρείται ότι η άμμος έχει ήδη καθιζάνει και στις 2 h (ένδειξη B), χρονική στιγμή κατά την οποία και η ιλύς έχει καθιζάνει. Επίσης, καταγράφηκε και η θερμοκρασία του αιωρήματος στους χρόνους A και B. Στον πίνακα 1 δίνονται οι ενδείξεις της μηχανικής ανάλυσης.

Πίνακας 1. Ενδείξεις της μηχανικής ανάλυσης.

| Ένδειξη | A | B |
|--|----|------|
| Πυκνόμετρου (g εδάφους L ⁻¹ αιωρήματος) | 31 | 16 |
| Θερμομέτρου (°C) | 21 | 20,3 |

Ο υπολογισμός των ποσοστών των κλασμάτων του εδάφους και ο προσδιορισμός της κατηγορίας του εδάφους, παρουσιάζονται παρακάτω.

Η διόρθωση των τιμών A και B γίνεται ως εξής:

$$A' = A + \Sigma\Theta_A \text{ και } B' = B + \Sigma\Theta_B \text{ με } \Sigma\Theta = ({}^{\circ}\text{C} - 20) / 2,5 \text{ και } \Gamma = 50,0015 \text{ g εδάφους}$$

Άρα

$$\Sigma\Theta_A = (21 - 20) / 2,5 = 0,4 \text{ και } A' = 31 + 0,4 = 31,4 \text{ g εδάφους L}^{-1} \text{ αιωρήματος}$$

$$\Sigma\Theta_B = (20,3 - 20) / 2,5 = 0,12 \text{ και } B' = 31 + 0,12 = 16,12 \text{ g εδάφους L}^{-1} \text{ αιωρήματος}$$

Επομένως, τα ποσοστά των εδαφικών κλασμάτων διαμορφώνονται ως εξής:

$$\text{Άργιλος \%} = 100 \times B' / \Gamma = 32,24\%$$

$$\text{Ιλύς \%} = (A' - B') * 100 / \Gamma = 30,56\%$$

$$\text{Άμμος \%} = 100 - (\text{Άργιλος \%} + \text{Ιλύς \%}) = 37,2\%$$

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των ποσοστών των εδαφικών κλασμάτων και το τρίγωνο κοκκομετρικής σύστασης κατά USDA συμπεραίνεται ότι το έδαφος είναι **Αργιλοπηλώδες** και ότι ανήκει στην κατηγορία των Αργιλωδών εδαφών.

Εκχύλιση Cr⁶⁺ με KH₂PO₄

Σε falcon των 50 ml ζυγίστηκαν 2,5 g εδάφους και προστέθηκαν 25 ml διαλύματος 0,01 M KH₂PO₄. Ακολούθησε ανακίνηση για 16 h, φυγοκέντρηση και διήθηση. Κατόπιν, σε falcon τοποθετήθηκαν 8 ml εκχυλίσματος και 1 ml χρωστικής ουσίας διφαινυλοκαρμπαζιδίου. Με τον ίδιο τρόπο, ετοιμάστηκαν και τα διαλύματα γνωστής συγκέντρωσης για τη χάραξη της καμπύλης βαθμονόμησης. Τέλος, τα μίγματα αφέθηκαν για 1 h ως την πλήρη ανάπτυξη χρώματος και κατόπιν μετρήθηκαν σε φασματοφωτόμετρο στα 540 nm. Η χρωστική παρασκευάστηκε με 0,05 g διφαινυλοκαρμπαζιδίου σε ποτήρι, όπου και προστέθηκαν 15 ml αιθανόλης και 15 ml πυκνού H₃PO₄. Κατόπιν το περιεχόμενο μεταφέρθηκε ποσοτικά σε ογκομετρική φιάλη των 50 ml και συμπληρώθηκε ο όγκος με H₂O μέχρι τη χαραγή. Η συγκέντρωση του Cr⁶⁺ στο εδαφικό διάλυμα υπολογίστηκε ως εξής:

$$\text{mg Cr}^{6+} \text{ kg}^{-1} \text{ εδάφους} = a \times \text{EO} \times (\text{ml διαλύματος εκχύλισης}) \times (\text{g}^{-1} \text{ εδάφους})$$

όπου α είναι ο συντελεστής της πρότυπης καμπύλης του Cr^{6+} , ΕΟ είναι η ένδειξη φασματοφωτομέτρου, ml διαλύματος εκχύλισης η ποσότητα KH_2PO_4 που χρησιμοποιήθηκε για το εκχύλισμα, g εδάφους η ποσότητα εδάφους που χρησιμοποιήθηκε για το εκχύλισμα.

Εκχύλιση διαθέσιμων ιχνοστοιχείων με DTPA - Mn, Fe, Zn, Cr³⁺

Το διάλυμα DTPA παρασκευάστηκε με την ανάμιξη 9,835 g DTPA, 7,4 g $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ και 74,5 g τριαιθανολαμίνης σε 5 L H_2O . Η εκχύλιση έγινε με ζύγιση 10 g εδάφους σε falcon των 30 ml και την ανάμιξή του με 20 ml DTPA. Ακολούθησε ανακίνηση για 2 h, φυγοκέντρηση για 20 min και διήθηση. Το εκχύλισμα μετρήθηκε στην ατομική απορρόφηση για ιχνοστοιχεία και τέλος υπολογίστηκε η κάθε συγκέντρωση στο εδαφικό διάλυμα ως εξής:

$$\text{mg M kg}^{-1} \text{ εδάφους} = \text{EO} \times (\text{ml διαλύματος εκχύλισης}) \times (\text{g}^{-1} \text{ εδάφους})$$

όπου M είναι το μετρούμενο ιχνοστοιχείο, ΕΟ η ένδειξη ατομικής απορρόφησης σε mg L^{-1} , ml διαλύματος εκχύλισης η ποσότητα DTPA που χρησιμοποιήθηκε για το εκχύλισμα, g εδάφους η ποσότητα εδάφους που χρησιμοποιήθηκε για το εκχύλισμα.

Ανταλλάξιμα κατιόντα - K, Na, Ca, Mg

Σε falcon των 50 ml ζυγίστηκαν 3 g εδάφους και προστέθηκαν 30 ml $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ 1 M pH 7. Έγινε ανακίνηση για 1 h και διήθηση σε falcon των 50 ml για παραλαβή του πυκνού εκχυλίσματος. Οι μετρήσεις του K και Na έγιναν στο φλογοφωτόμετρο με το πυκνό εκχύλισμα, ενώ το Ca και Mg στην ατομική απορρόφηση με εκχύλισμα κατά 100 φορές αραιωμένο. Η συγκέντρωση των ανταλλάξιμων κατιόντων που βρίσκονται στο εδαφικό διάλυμα υπολογίστηκε με εφαρμογή των ακόλουθων τύπων:

$$\text{mg K/Na kg}^{-1} \text{ εδάφους} = \alpha \times \text{EO} \times (\text{ml δ/τος εκχύλισης}) \times (\text{g}^{-1} \text{ εδάφους})$$

$$\text{mg Ca/Mg kg}^{-1} \text{ εδάφους} = \text{EO} \times \text{αραιώση} \times (\text{ml δ/τος εκχύλισης}) \times (\text{g}^{-1} \text{ εδάφους})$$

όπου α είναι ο συντελεστής των πρότυπων καμπυλών K/Na, ΕΟ η ένδειξη φλογοφωτόμετρου για K/Na και ατομικής απορρόφησης για Ca/Mg σε mg L^{-1} , ml δ/τος εκχύλισης η ποσότητα $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ που χρησιμοποιήθηκε για το εκχύλισμα, g εδάφους η ποσότητα εδάφους που χρησιμοποιήθηκε για το εκχύλισμα.

Οργανική ουσία με υγρή οξείδωση

Σε ποτήρι των 50 ml ζυγίστηκαν 0,5 g εδάφους. Έπειτα, προστέθηκαν 10 ml 0,166 M $K_2Cr_2O_7$ και 10 ml πυκνό H_2SO_4 και αφέθηκε σε ηρεμία για 30 min με σκοπό την οξείδωση της οργανικής ουσίας του εδάφους. Ακολούθησε διήθηση σε κωνική φιάλη των 500 ml με τη βοήθεια 200 ml H_2O . Μόλις τελείωσε η διήθηση, προστέθηκαν 10 ml H_3PO_4 στο διαυγές διήθημα. Στη συνέχεια έγινε ογκομέτρηση του $K_2Cr_2O_7$ που περίσσεψε από την οξείδωση της οργανικής ουσίας με 0,5 M $FeSO_4$, αφού πρώτα προστέθηκαν 5 σταγόνες δείκτη διφαινυλαμίνης στην κωνική φιάλη. Η ογκομέτρηση τελείωσε όταν το χρώμα του αρχικά διαυγούς διηθήματος έγινε πράσινο. Το ποσοστό της οργανικής ουσίας του εδάφους υπολογίστηκε με εφαρμογή του παρακάτω τύπου:

OO % = οργανικός άνθρακας % / 0,58 και

οργανικός άνθρακας % = ml $FeSO_4$ (τυφλό) - ml $FeSO_4$ (δ/τος) x 0,195 x (g^{-1} εδάφους)

όπου ml $FeSO_4$ είναι η ποσότητα $FeSO_4$ που καταναλώθηκε κατά την ογκομέτρηση του μάρτυρα και των εδαφικών δειγμάτων, g εδάφους η ποσότητα εδάφους που χρησιμοποιήθηκε για το διήθημα.

Ανθρακικό ασβέστιο

Σε κωνική φιάλη των 250 ml τοποθετήθηκαν 2 g εδάφους. Κατόπιν σε falcon των 30 ml προστέθηκε HCl 2% και τοποθετήθηκε στην κωνική φιάλη με τέτοιο τρόπο ώστε να μην έρθει σε επαφή με το έδαφος. Έπειτα η φιάλη πωματίστηκε και αναδεύτηκε με σκοπό τη συμπίεση της υδατικής στήλης. Στο τέλος της αντίδρασης σημειώθηκε η διαφορά στο μηνίσκο της υδατικής στήλης, που ισούται με τον όγκο του CO_2 που εκλύθηκε. Ο υπολογισμός του ποσοστού του ανθρακικού ασβεστίου υπολογίστηκε ως εξής:

$CaCO_3$ % = (0,445 x ml CO_2) / (g^{-1} εδάφους)

όπου ml CO_2 είναι διαφορά του μηνίσκου της υδατικής στήλης από το εκλυόμενο λόγω ανάδευσης CO_2 , g εδάφους η ποσότητα εδάφους που χρησιμοποιήθηκε.

Διαθέσιμη υγρασία κοπριάς

Σε ποτήρι των 100 ml ζυγίστηκαν 10 g νωπής κοπριάς, εφόσον προηγήθηκε σύνθλιψη και κοσκίνισμα με κόσκινο των 2 mm. Ακολούθησε τοποθέτηση στο φούρνο στους 100 °C για 2 ημέρες και ζύγιση του ξηρού πλέον βάρους της κοπριάς. Η διαδικασία έγινε συνολικά σε 3 επαναλήψεις. Ο υπολογισμός της διαθέσιμης υγρασία έγινε με εφαρμογή του τύπου:

$$\% \text{ Υγρασία} = [(g \text{ NB} - g \text{ ΞB}) / \text{NB}] \times 100$$

όπου NB και ΞB το βάρος σε g νωπής και ξηρής κοπριάς αντίστοιχα.

B. Φυτοκομικές αναλύσεις

Παραλαβή ξηρής φυτικής μάζας

Τα φυτικά δείγματα τοποθετήθηκαν σε χάρτινες σακούλες και έπειτα στο φούρνο στους 70 °C μέχρι τη μη περαιτέρω απώλεια βάρους για 2-3 ημέρες. Έπειτα κονιορτοποιήθηκαν σε μύλο άλεσης και αποθηκεύτηκαν σε πλαστικές σακούλες για τις εκχυλίσεις.

Διαδικασία αποτέφρωσης φυτικού ιστού, παραλαβή εκχυλίσματος και υπολογισμοί στοιχειακών συγκεντρώσεων

0,5 g κονιορτοποιημένου φυτικού ιστού τοποθετήθηκαν σε κάψες πορσελάνης και κάηκαν σε ηλεκτρικό φούρνο σε θερμοκρασία 500 °C για 16-24 h. Όταν οι κάψες κρύωσαν, έγινε παραλαβή της φυτικής τέφρας με 5 ml 20% HCl και διήθηση σε ογκομετρικές φιάλες των 50 ml. Το πυκνό εκχύλισμα χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση Cr⁶⁺, Cr³⁺, Mn, Fe, Zn, ενώ για τη μέτρηση Ca, Mg, Na, K το εκχύλισμα αραιώθηκε κατά 100 φορές.

Οι συγκεντρώσεις των στοιχείων στο φυτικό δείγμα υπολογίστηκαν ως εξής:

$$\text{mg Ca/Mg g}^{-1} \xi, \delta/\text{τος} = \text{EO} \times \text{αραιώση} \times (\text{ml ογκ. φιάλης}) \times (\text{g}^{-1} \xi, \delta/\text{τος})$$

$$\text{mg K/Na g}^{-1} \xi, \delta/\text{τος} = \alpha \times \text{EO} \times \text{αραιώση} \times (\text{ml ογκ. φιάλης}) \times (\text{g}^{-1} \xi, \delta/\text{τος})$$

$$\text{mg Cr}^{3+}/\text{Mn/Fe/Zn g}^{-1} \xi, \delta/\text{τος} = \text{EO} \times (\text{ml ογκ. φιάλης}) \times (\text{g}^{-1} \xi, \delta/\text{τος})$$

$$\text{mg Cr}^{6+} \text{ g}^{-1} \xi, \delta/\text{τος} = \alpha \times \text{EO} \times (\text{ml ογκ. φιάλης}) \times (\text{g}^{-1} \xi, \delta/\text{τος})$$

όπου α είναι ο συντελεστής των πρότυπων καμπυλών K/Na/Cr⁶⁺, EO η ένδειξη ατομικής απορρόφησης για Ca/Mg και Cr³⁺/Mn/Fe/Zn σε mg L⁻¹, φλογοφωτόμετρου για K/Na και φασματοφωτόμετρου για Cr⁶⁺, ml ογκ. φιάλης ο όγκος της ογκομετρικής φιάλης όπου έγινε η διήθηση, g ξ. δ/τος η ποσότητα ξηρού δείγματος που χρησιμοποιήθηκε για το εκχύλισμα.

Γ. Παρασκευή Cr⁶⁺ γνωστής συγκέντρωσης

Σε ποτήρι ζυγίστηκαν 3,0742 g CrO₃ και διαλύθηκαν σε H₂O. Έπειτα, το διάλυμα μεταφέρθηκε σε ογκομετρική φιάλη των 2 L και συμπληρώθηκε με H₂O ως τη χαραγή. Η συνολική ποσότητα ανά γλάστρα (2 kg έδαφος) ήταν τα 75 ml (των 800 μg ml⁻¹), η οποία χορηγήθηκε σε 3 δόσεις των 25 ml ανά γλάστρα κάθε 5 ημέρες. Άρα η συνολική ποσότητα Cr⁶⁺ ήταν 60000 μg σε 2 kg έδαφος ή 30 mg Cr⁶⁺ kg⁻¹ εδάφους.

II. Εδαφικά μίγματα

A. Χαρακτηριστικά εδαφοβελτιωτικών

Ζεόλιθος

Ειδικής επιφάνειας 29,3 m² g⁻¹ και συνολικού όγκου πόρων 0,061 cm³ g⁻¹ της εταιρίας S&B Βιομηχανικά ορυκτά Α.Ε. Για το πείραμα, σε κάθε μεταχείριση με Z προστέθηκαν και αναμίχθηκαν 10 g ζεόλιθου σε 2 kg έδαφος.

Τροποποιημένος ζεόλιθος (3:25)

Δημιουργήθηκε στις 21/2/2013 με 3 g ζεόλιθου και 25 ml επιφανειοδραστικού HDTMA-Br (Δεκαεξίλο-τριμεθυλ-αμμώνιο-βρωμίδιο). Για το πείραμα, σε κάθε μεταχείριση με TZ προστέθηκαν και αναμίχθηκαν 10 g τροποποιημένου ζεόλιθου (3:25) σε 2 kg έδαφος.

Μαρμαρόσκονη

Συλλέχθηκε από την ευρύτερη περιοχή της Ευξεινούπολης Ν. Μαγνησίας. Για το πείραμα, σε κάθε μεταχείριση με M προστέθηκαν και αναμίχθηκαν 40 g μαρμαρόσκονης σε 2 kg έδαφος.

Κοπριά

Αιγοπρόβεια κοπριά με υγρασία 6,4%. Για το πείραμα, σε κάθε μεταχείριση με K προστέθηκαν και αναμίχθηκαν 180 g κοπριάς σε 2 kg έδαφος.

B. Φυτοδοχεία

Το κάθε φυτοδοχείο συνολικού όγκου 3 L περιείχε 2 kg έδαφος ή μίγμα εδάφους με εδαφοβελτιωτικό αναλόγως τη μεταχείριση και ανάμιξη με 60 g περλίτη.

III. Απαιτήσεις καλλιέργειας

Το *A. cera* αναπτύσσεται επιτυχώς σε οποιοδήποτε έδαφος που είναι εύφορο και στραγγίζει καλά, ενώ προβλήματα δημιουργούνται σε εδάφη που σχηματίζουν εύκολα κρούστα. Καταλληλότερα είναι τα αργιλώδη, αργιλοαμμώδη, και οργανικά εδάφη με pH 6-7. Η καλλιέργεια παρουσιάζει ανεκτικότητα στα όξινα εδάφη, ενώ η παραγωγή μειώνεται σοβαρά στην αλατότητα. Η υγρασία θα πρέπει να βρίσκεται σε μέτρια επίπεδα για την αποφυγή εμφάνισης ασθενειών. Επιπροσθέτως, είναι απαιτητικό στη θρέψη, καθώς συνιστώνται 15-20 μονάδες N, 10-15 μονάδες P₂O₅ και 25-30 μονάδες K₂O. Η προσθήκη ιχνοστοιχείων αφορά συνήθως σε Zn και Cu. Ακόμη, γίνονται επιφανειακές λιπάνσεις για επιπλέον εφαρμογή N που δεν προστέθηκε με την βασική λίπανση και που χρειάζεται η καλλιέργεια για την κάλυψη των αναγκών της, όπως η βολβοποίηση. Συγκεκριμένα, η έλλειψη N επιταχύνει την έναρξή της, ενώ η περίσσεια την καθυστερεί. Η ποσότητα ανέρχεται σε 5-10 kg N στρ⁻¹ ανάλογα με τον εδαφικό τύπο και την εποχή (Χα και Πετρόπουλος, 2014).

Παρασκευή λιπάσματος

Σε 1 L H₂O διαλύθηκαν 30,02 g (NH₄)₂SO₄ και 17,002 g KH₂PO₄. Η λίπανση χορηγήθηκε σε 6 δόσεις των 5 ml ανά δύο ημέρες, εφόσον όμως το κοκκάρι είχε πρώτα βλαστήσει. Μέχρι το σημείο εκείνο, γινόταν πότισμα με νερό βρύσης. Συνολικά, η κάθε γλάστρα έλαβε 30 ml λιπάσματος. Ο τρόπος υπολογισμού λιπάσματος που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα περιγράφεται παρακάτω:

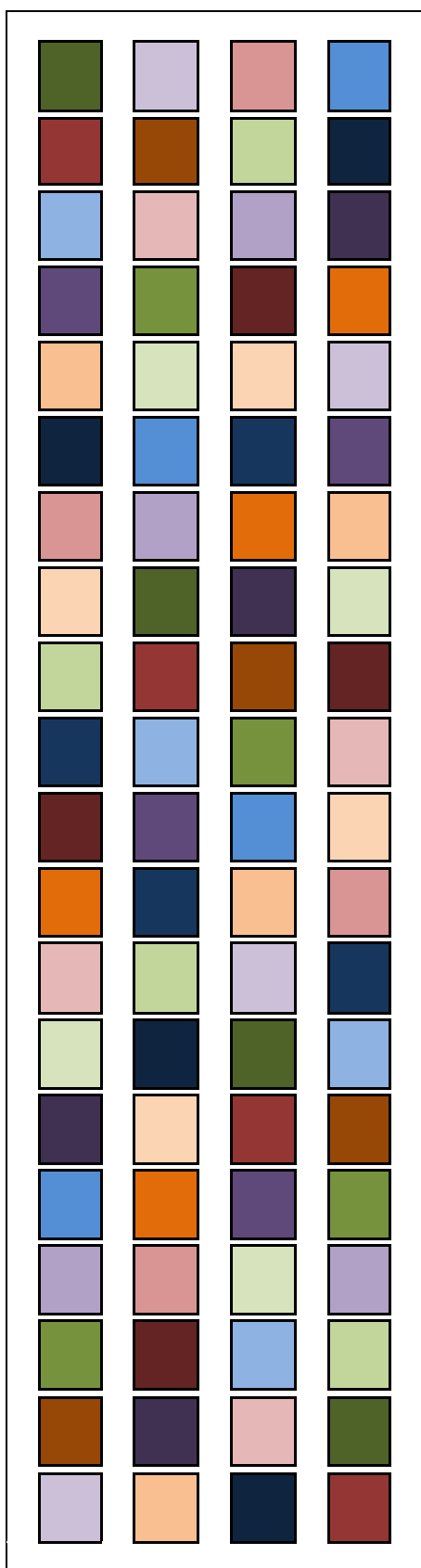
| Αζωτο | | Φώσφορος και Κάλιο | |
|-------|-----------------------|--------------------|--|
| 20 | ΛΜΑ | 30 | ΛΜΦ |
| 20 | kg N kg ⁻¹ | 30 | kg P ₂ O ₅ στρ ⁻¹ |
| 100 | mg N kg ⁻¹ | 12,92 | mg P στρ ⁻¹ |
| 200 | mg N / γλάστρα | 64,6 | mg P kg ⁻¹ |
| 444 | mg A / γλάστρα | 129,2 | mg P / γλάστρα |
| 29,26 | g ΘΑ στο πείραμα | 4005,2 | mg P στο πείραμα |
| | | 16,67 | g KH ₂ PO ₄ στο πείραμα |

IV. Πειραματικός σχεδιασμός

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά οι 20 μεταχειρίσεις του πειράματος. Η κάθε μεταχείριση επαναλήφθηκε 4 φορές. Συνολικά, το πείραμα αποτελείτο από 20 μεταχειρίσεις x 4 επαναλήψεις = 80 γλάστρες. Επιπροσθέτως, στο Σχέδιο Ι απεικονίζεται η τοποθέτηση των φυτοδοχείων στο θερμοκήπιο.





















Οι μεταχειρίσεις του πειράματος

1. 2 kg Έδαφος + 60 g Περλίτης + Κρεμμύδι
2. 2 kg Έδαφος + 60 g Περλίτης + ~~Κρεμμύδι~~
3. 2 kg Έδαφος + 60 g Περλίτης + Κρεμμύδι + Cr⁶⁺
4. 2 kg Έδαφος + 60 g Περλίτης + ~~Κρεμμύδι~~ + Cr⁶⁺
5. 2 kg Έδαφος + 60 g Περλίτης + 10 g Ζεόλιθος + Κρεμμύδι
6. 2 kg Έδαφος + 60 g Περλίτης + 10 g Ζεόλιθος + ~~Κρεμμύδι~~
7. 2 kg Έδαφος + 60 g Περλίτης + 10 g Ζεόλιθος + Κρεμμύδι + Cr⁶⁺
8. 2 kg Έδαφος + 60 g Περλίτης + 10 g Ζεόλιθος + ~~Κρεμμύδι~~ + Cr⁶⁺
9. 2 kg Έδαφος + 60 g Περλίτης + 10 g Τροποποιημένος Ζεόλιθος + Κρεμμύδι
10. 2 kg Έδαφος + 60 g Περλίτης + 10 g Τροποποιημένος Ζεόλιθος + ~~Κρεμμύδι~~
11. 2 kg Έδαφος + 60 g Περλίτης + 10 g Τροποποιημένος Ζεόλιθος + Κρεμμύδι + Cr⁶⁺
12. 2 kg Έδαφος + 60 g Περλίτης + 10 g Τροποποιημένος Ζεόλιθος + ~~Κρεμμύδι~~ + Cr⁶⁺
13. 2 kg Έδαφος + 60 g Περλίτης + 40,00 g Μαρμαρόσκονη + Κρεμμύδι
14. 2 kg Έδαφος + 60 g Περλίτης + 40,01 g Μαρμαρόσκονη + ~~Κρεμμύδι~~
15. 2 kg Έδαφος + 60 g Περλίτης + 40,01 g Μαρμαρόσκονη + Κρεμμύδι + Cr⁶⁺
16. 2 kg Έδαφος + 60 g Περλίτης + 40,00 g Μαρμαρόσκονη + ~~Κρεμμύδι~~ + Cr⁶⁺
17. 2 kg Έδαφος + 60 g Περλίτης + 180 g Κοπριά + Κρεμμύδι
18. 2 kg Έδαφος + 60 g Περλίτης + 180 g Κοπριά + ~~Κρεμμύδι~~
19. 2 kg Έδαφος + 60 g Περλίτης + 180 g Κοπριά + Κρεμμύδι + Cr⁶⁺
20. 2 kg Έδαφος + 60 g Περλίτης + 180 g Κοπριά + ~~Κρεμμύδι~~ + Cr⁶⁺

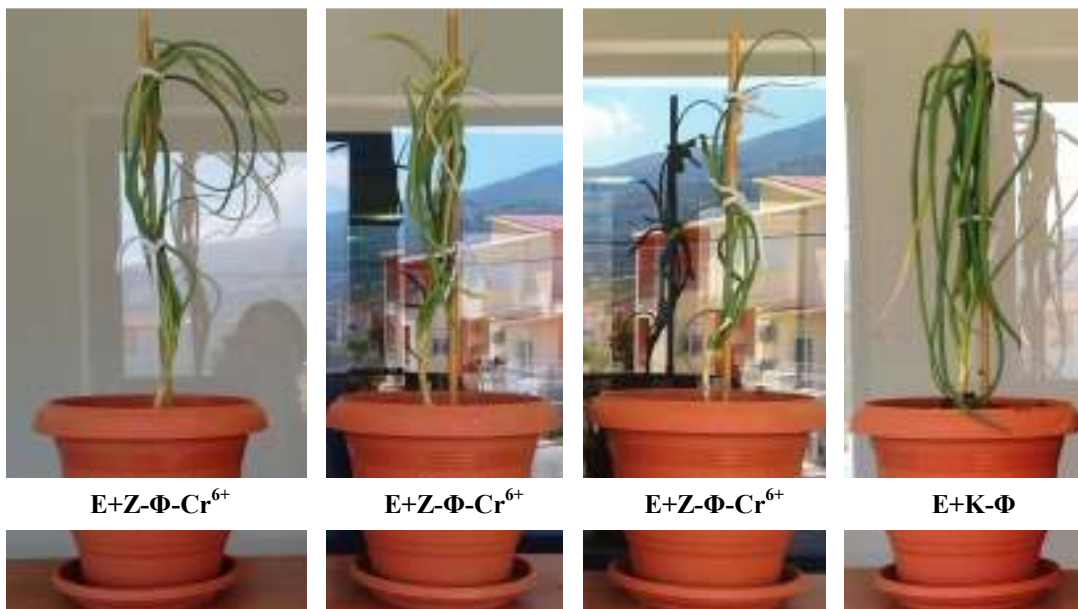
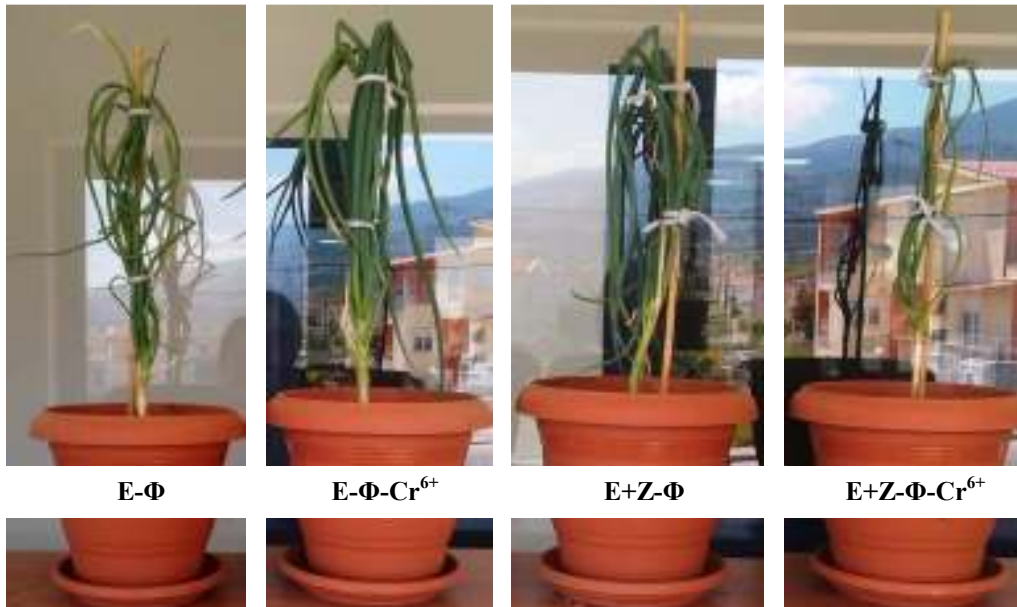


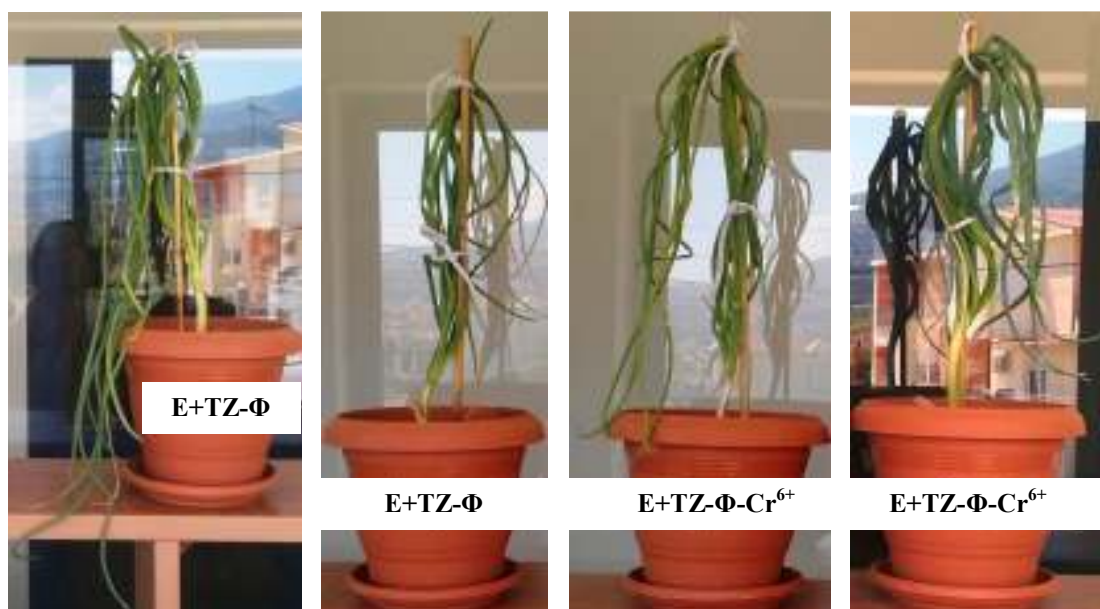
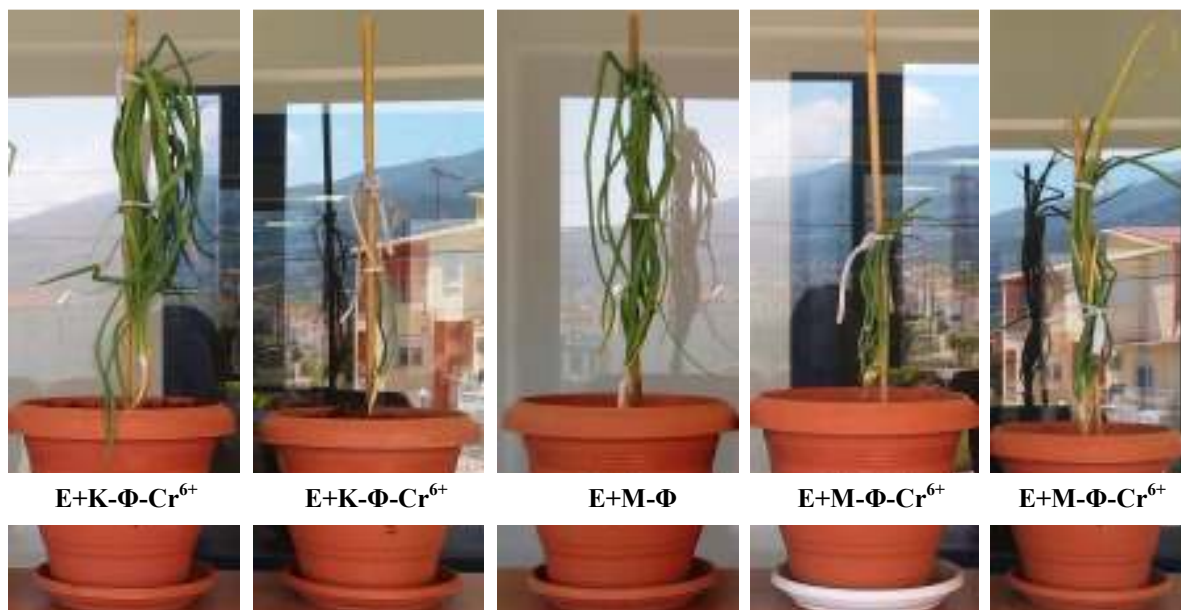
Σχέδιο Ι. Η τοποθέτηση των φυτοδοχείων στο θερμοκήπιο (αριστερά). Στο υπόμνημα παριστάνονται με διάφορα χρώματα οι 20 μεταχειρίσεις του πειράματος.

Υπόμνημα

| | |
|---|-----------|
|  | E |
|  | E-Φ |
|  | E-Cr |
|  | E-Cr-Φ |
|  | E+Z |
|  | E+Z-Φ |
|  | E+Z-Cr |
|  | E+Z-Cr-Φ |
|  | E+TZ |
|  | E+TZ-Φ |
|  | E+TZ-Cr |
|  | E+TZ-Cr-Φ |
|  | E+M |
|  | E+M-Φ |
|  | E+M-Cr |
|  | E+M-Cr-Φ |
|  | E+K |
|  | E+K-Φ |
|  | E+K-Cr |
|  | E+K-Cr-Φ |

V. Φωτογραφίες καλλιέργειας κρεμμυδιού





VI. Πίνακες

Πίνακας I. Μέσοι όροι των συγκεντρώσεων των στοιχείων (mg kg^{-1} εδάφους), του pH και της EC ($\mu\text{S cm}^{-1}$) του εδάφους και του εδάφους με εδαφοβελτιωτικό στις περιπτώσεις προσθήκης ή μη εξασθενούς χρωμίου.

| Απουσία Cr^{6+} | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|------------------|-------|-------|------|---------|---------|---------|--------|------------------|------|--------|
| | Cr^{3+} | Mn | Fe | Zn | Na | K | Ca | Mg | Cr^{6+} | pH | EC |
| E | 0 | 38,76 | 18,09 | 2,95 | 121,62 | 430,14 | 1550,66 | 275,17 | 0 | 5,39 | 614,7 |
| Z | 0 | 35,09 | 16,92 | 2,87 | 152,17 | 475,17 | 2021,03 | 342,24 | 0 | 5,60 | 873,3 |
| TZ | 0 | 40,68 | 18,45 | 2,95 | 140,50 | 526,33 | 1800,66 | 296,03 | 0 | 5,56 | 854,2 |
| M | 0 | 11,49 | 7,29 | 2,42 | 115,04 | 211,57 | 6684,11 | 270,20 | 0 | 6,72 | 935,2 |
| K | 0 | 20,08 | 9,78 | 3,67 | 2283,18 | 3124,77 | 3706,29 | 549,67 | 0 | 6,66 | 2523,0 |

| Παρουσία Cr^{6+} | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|------------------|-------|-------|------|---------|---------|---------|--------|------------------|------|--------|
| | Cr^{3+} | Mn | Fe | Zn | Na | K | Ca | Mg | Cr^{6+} | pH | EC |
| E | 0 | 32,35 | 16,56 | 2,72 | 127,74 | 589,80 | 1791,50 | 297,00 | 0 | 5,54 | 830,7 |
| Z | 0 | 32,48 | 16,12 | 2,95 | 140,78 | 379,48 | 1738,08 | 294,78 | 0 | 6,03 | 762,5 |
| TZ | 0 | 34,72 | 17,60 | 2,83 | 145,79 | 375,79 | 1774,23 | 296,47 | 0 | 5,89 | 622,3 |
| M | 0 | 12,66 | 8,34 | 2,54 | 119,37 | 201,65 | 4983,94 | 258,51 | 0 | 7,05 | 883,7 |
| K | 0 | 16,39 | 9,43 | 3,68 | 2347,38 | 6295,54 | 3420,38 | 528,66 | 0 | 6,80 | 2800,0 |

Πίνακας II. Μέσοι όροι των συγκεντρώσεων των στοιχείων ($\mu\text{g g}^{-1}$ ξηρού φυτικού δείγματος), του ύψους (cm), του νωπού και ξηρού βάρους (g) του υπέργειου τμήματος του κρεμμυδιού στις περιπτώσεις προσθήκης ή μη εξασθενούς χρωμίου στο έδαφος και στο έδαφος με εδαφοβελτιωτικό.

| Υπέργειο τμήμα κρεμμυδιού | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|------------------|--------|--------|-----------|---------|-----------|----------|---------|------------------|-------|-------|------|
| Απουσία Cr^{6+} | | | | | | | | | | | | |
| | Cr^{3+} | Mn | Fe | Zn | Na | K | Ca | Mg | Cr^{6+} | Ύψος | N.B. | Ξ.B. |
| E | 0 | 456,41 | 970,81 | 88364,65 | 883,82 | 133661,27 | 61167,77 | 7528,49 | 0 | 47,20 | 4,20 | 1,5 |
| Z | 0 | 491,83 | 383,00 | 223006,10 | 1279,66 | 160933,69 | 51438,12 | 8324,95 | 0 | 51,67 | 7,07 | 1,3 |
| TZ | 0 | 354,89 | 378,31 | 86624,12 | 875,08 | 89978,19 | 64662,17 | 6380,81 | 0 | 81,75 | 31,70 | 3,5 |
| M | 0 | 265,59 | 416,00 | 87140,66 | 877,68 | 182506,95 | 60146,94 | 6820,89 | 0 | 50,00 | 10,50 | 1,3 |
| K | 0 | 239,96 | 270,62 | 86486,82 | 874,38 | 133205,74 | 27883,28 | 6646,88 | 0 | 78,00 | 32,80 | 2,5 |

| Παρουσία Cr^{6+} | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|------------------|--------|--------|-----------|---------|-----------|----------|----------|------------------|-------|-------|------|
| | Cr^{3+} | Mn | Fe | Zn | Na | K | Ca | Mg | Cr^{6+} | Ύψος | N.B. | Ξ.B. |
| E | 0 | 463,45 | 274,73 | 87209,91 | 878,03 | 64439,81 | 42371,87 | 7945,97 | 0 | 68,50 | 4,90 | 2,0 |
| Z | 0 | 400,78 | 340,17 | 108647,09 | 971,41 | 171770,22 | 41388,75 | 7529,18 | 0 | 55,47 | 9,47 | 1,2 |
| TZ | 0 | 309,74 | 289,08 | 86959,51 | 876,76 | 182611,07 | 42476,68 | 7661,38 | 0 | 75,37 | 21,20 | 2,4 |
| M | 0 | 226,30 | 872,70 | 668519,06 | 2079,89 | 133175,85 | 50921,14 | 8659,27 | 0 | 42,40 | 9,10 | 0,9 |
| K | 0 | 270,54 | 522,68 | 310818,41 | 1523,77 | 238448,46 | 42391,93 | 10163,69 | 0 | 48,75 | 14,55 | 1,4 |

Πίνακας III. Μέσοι όροι των συγκεντρώσεων των στοιχείων ($\mu\text{g g}^{-1}$ ξηρού φυτικού δείγματος), της διαμέτρου (cm) και του μήκους (cm) των βολβών, του νωπού και ξηρού βάρους (g) του υπόγειου τμήματος του κρεμμυδιού στις περιπτώσεις προσθήκης ή μη εξασθενούς χρωμίου στο έδαφος και στο έδαφος με εδαφοβελτιωτικό.

| Υπόγειο τμήμα κρεμμυδιού | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|------------------|---------|---------|---------|----------|-----------|----------|----------|------------------|-----------|-------|------|------|
| Απουσία Cr^{6+} | | | | | | | | | | | | | |
| | Cr^{3+} | Mn | Fe | Zn | Na | K | Ca | Mg | Cr^{6+} | Διάμετρος | Μήκος | N.B. | Ξ.Β. |
| E | 0 | 941,56 | 1704,94 | 551,44 | 3637,86 | 80905,35 | 63292,18 | 9423,87 | 0 | 0,83 | 5,80 | 1,60 | 0,40 |
| Z | 0 | 1059,92 | 2015,33 | 1358,27 | 10494,52 | 73193,56 | 75491,25 | 12155,12 | 0 | 1,07 | 7,27 | 2,70 | 0,43 |
| TZ | 0 | 368,72 | 431,52 | 206,21 | 1228,23 | 84231,15 | 28315,71 | 5622,82 | 0 | 1,48 | 6,90 | 4,95 | 0,75 |
| M | 0 | 134,15 | 296,46 | 162,65 | 1024,10 | 143487,03 | 29436,98 | 8700,19 | 0 | 1,15 | 6,20 | 2,90 | 0,40 |
| K | 0 | 390,23 | 1015,65 | 373,04 | 2562,32 | 59834,78 | 78608,70 | 7246,38 | 0 | 1,31 | 7,40 | 5,10 | 0,80 |

| Παρουσία Cr^{6+} | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|------------------|--------|---------|--------|---------|----------|-----------|----------|------------------|-----------|-------|------|------|
| | Cr^{3+} | Mn | Fe | Zn | Na | K | Ca | Mg | Cr^{6+} | Διάμετρος | Μήκος | N.B. | Ξ.Β. |
| E | 0 | 767,44 | 1005,38 | 267,04 | 1761,66 | 92070,55 | 63989,64 | 8688,72 | 0 | 0,92 | 6,50 | 2,40 | 0,50 |
| Z | 28,83 | 608,12 | 1018,72 | 270,33 | 1825,25 | 69470,63 | 109533,39 | 9239,53 | 51,59 | 1,25 | 7,43 | 3,10 | 0,50 |
| TZ | 74,54 | 333,75 | 615,95 | 204,62 | 1169,66 | 69750,64 | 42757,47 | 6914,57 | 18,58 | 1,32 | 6,47 | 4,60 | 0,67 |
| M | 140,07 | 197,69 | 877,14 | 393,44 | 2825,50 | 26407,90 | 76535,68 | 7948,82 | 28,34 | 0,96 | 6,70 | 2,20 | 0,30 |
| K | 0 | 410,60 | 740,14 | 446,57 | 3428,91 | 74352,31 | 72573,88 | 14457,17 | 0 | 0,84 | 5,75 | 2,40 | 0,35 |