

8^ο ΕΘΝΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ



ΕΔΑΦΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ, ΤΟΥ Ρ, ΤΟΥ Ν ΚΑΙ ΖΙΖΑΝΙΟΚΤΟΝΟΥ ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΦΥΚΩΝ ΟΡΥΖΩΝΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΦΥΚΩΝ ΣΤΗ ΓΟΝΙΜΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Σωτηρία Κουκούλη¹, Νικολέτα Πετρίδου², Αθηνά Παυλάτου-Βε¹ και Σωτήριος Τσιούρης²

¹ Εργαστήριο Εδαφολογίας, Γεωπονική Σχολή, Α.Π.Θ

² Εργαστήριο Οικολογίας και Προστασίας Περιβάλλοντος, Γεωπονική Σχολή, Α.Π.Θ

Για τη μελέτη της επίδρασης του εδάφους, των λιπασμάτων και των ζιζανιοκτόνων στην ανάπτυξη των φυκών και τη μελέτη της επίδρασης των φυκών στη γονιμότητα του εδάφους, φύκη και νερό άρδευσης από την περιοχή των ορυζώνων του Ν. Θεσσαλονίκης τοποθετήθηκαν σε 16 δοχεία τα οποία διατηρήθηκαν σε εξωτερικό χώρο κοντά στους ορυζώνες. Στα δοχεία αυτά έγιναν τέσσερις μεταχειρίσεις. Ως Μάρτυρας φυκών θεωρήθηκε η ποσότητα των φυκών που προστέθηκε στα δοχεία και ως Μάρτυρας εδάφους το αρχικό έδαφος το οποίο προστέθηκε στα δοχεία. Κάθε μεταχείριση αποτελούνταν από 4 δοχεία δύο εκ των οποίων περιείχαν έδαφος. Η πρώτη μεταχείριση αποτελούνταν από φύκη και νερό άρδευσης (Α) και φύκη, νερό άρδευσης και έδαφος (ΕΑ). Στην δεύτερη μεταχείριση έγινε προσθήκη αζώτου (ΑΝ, ΕΑΝ), στην τρίτη μεταχείριση έγινε προσθήκη φωσφόρου (ΑΡ, ΕΑΡ) και στην τέταρτη μεταχείριση έγινε προσθήκη ζιζανιοκτόνου (ΑΖ, ΕΑΖ). Στο τέλος του πειράματος παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση της βιομάζας των φυκών στις μεταχειρίσεις ΑΝ, ΕΑΝ, ΑΡ και ΕΑΖ. Η προσθήκη εδάφους έπαιξε ρυθμιστικό ρόλο τόσο στην ανάπτυξη των φυκών όσο και στην ποιότητα του νερού κατάκλυσης. Στο έδαφος μετά το τέλος του πειράματος το pH ελαττώθηκε σε όλες τις μεταχειρίσεις σε σχέση με το pH του αρχικού εδάφους από 8,3 σε 7,7 ενώ η οργανική ουσία αυξήθηκε σε όλες της μεταχειρίσεις κατά 100% σε σχέση με το αρχικό έδαφος (1,5%). Η συγκέντρωση των NO₃⁻ και των NH₄⁺ του εδάφους αυξήθηκε κατά 50% σε όλες τις μεταχειρίσεις. Αύξηση παρατηρήθηκε στον διαθέσιμο Ρ στην μεταχείριση που είχε προστεθεί Ρ.

Λέξεις κλειδιά: φύκη ορυζώνων, βιομάζα φυκών, ανάπτυξη φυκών, γονιμότητα εδάφους

STUDY OF THE EFFECT OF SOIL, P, N AND HERBICIDES ON THE ALGAL GROWTH OF RICE FIELDS AND THE EFFECT OF ALGAE ON SOIL FERTILITY

Sotiria Koukoulis¹, Nicoleta Petridou², Athena Pavlatou-Ve¹ and Sotirios Tsiouris²

¹ Soil Science Laboratory, Agricultural School, AUTH, 541 24 Thessaloniki, ave@agro.auth.gr

² Laboratory of Ecology and Environment Protection, Agricultural School, AUTH, 541 24 Thessaloniki, stsiouri@agro.auth.gr

For the study of the effect of soil, fertilizers and herbicides on algal growth and the study of the effect of algae on soil fertility, algae and irrigation water from rice fields of the prefecture of Thessaloniki were placed in 16 containers which were maintained outdoors in close proximity to the rice fields. The containers were subjected to four treatments. As Control of algae was considered the amount of algae added in the containers and as Control of soil the initial soil added in the containers. Each treatment consisted of 4 containers 2 of which contained soil. The first treatment consisted of algae and irrigation water (A) and algae, irrigation water and soil (EA). For the second treatment nitrogen was added (AN, EAN), for the third treatment phosphorus (AP, EAP) and for the fourth treatment herbicide was applied (AZ, EAZ). At the end of the experiments the results showed that the dry weight of algae in the irrigation water was increased statistically in treatments AN, EAN, AP and EAZ. The addition of soil had an important role in algal growth as well as in the irrigation water quality. The pH of the soil was decreased in all treatments compared to the pH of the initial soil from 8,3 to 7,7 while organic matter was increased by 100% in all treatments compared to the initial soil (1.5%). NO₃⁻ and NH₄⁺ concentration of the soil was increased by 50% in all treatments. An increase was also observed in the available P upon P addition.

Keywords: rice field algae, algal biomass, algal growth, soil fertility

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ανάπτυξη των φυκών εξαρτάται από τη συγκέντρωση των θρεπτικών στοιχείων στο νερό κατάκλυσης, από το φως και από τη θερμοκρασία του νερού (Bowie et al, 1985; Anastacio et al., 1999; Ασχονίτης, 2007; Antonopoulos, 2010). Η παρουσία των φυκών στην καλλιέργεια του ρυζιού έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Ένα από τα μειονεκτήματα είναι ότι ενίοτε τα φύκη σχηματίζουν ένα πυκνό στρώμα στην επιφάνεια του νερού το οποίο αποτρέπει τη δίοδο του φωτός στο νερό του ορυζώνα, μειώνοντας έτσι την φωτοσύνθεση των νεαρών φυταρίων του ρυζιού. Το γεγονός αυτό

οδηγεί τους γεωργούς στην εφαρμογή κατάλληλων ζιζανιοκτόνων για την καταπολέμηση όχι μόνο των υδρόβιων μακρόφυτων ζιζανίων του ορυζώνα αλλά και των φυκών.

Η παρούσα μελέτη αποτελεί ένα προκαταρκτικό πείραμα ανάπτυξης των φυκών στους ορυζώνες του Δέλτα του Αξιού στη Β. Ελλάδα. Ο σκοπός της μελέτης ήταν η επίδραση του εδάφους, των λιπασμάτων και των ζιζανιοκτόνων στην ανάπτυξη των φυκών και η επίδραση των φυκών στις ιδιότητες του εδάφους σε ελεγχόμενες συνθήκες.

2.ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Για τη μελέτη αυτή, 40 g φυκών και νερό άρδευσης από την περιοχή των ορυζώνων της Χαλάστρας του Ν. Θεσσαλονίκης τοποθετήθηκαν σε 16 δοχεία των 2L. Στα δοχεία αυτά έγιναν τέσσερις μεταχειρίσεις. Κάθε μεταχείριση αποτελούνταν από 4 δοχεία, τα δύο εκ των οποίων περιείχαν έδαφος (70g). Η πρώτη μεταχείριση αποτελούνταν από φύκη (40 g) και νερό άρδευσης (1,5 L) (Α) και έδαφος, φύκη και νερό άρδευσης (ΕΑ). Οι υπόλοιπες μεταχειρίσεις είχαν την ίδια διάταξη με την πρώτη αλλά στη δεύτερη μεταχείριση έγινε προσθήκη 10 ppm αζώτου (ΑΝ, ΕΑΝ), στην τρίτη μεταχείριση έγινε προσθήκη 10 ppm φωσφόρου (ΑΡ, ΕΑΡ) και στην τέταρτη μεταχείριση έγινε προσθήκη 2mL ζιζανιοκτόνου (ΑΖ, ΕΑΖ). Τα δοχεία διατηρήθηκαν σε εξωτερικό χώρο κοντά στους ορυζώνες. Ως Μάρτυρας φυκών θεωρήθηκε η ποσότητα των φυκών που προστέθηκε στα δοχεία και ως Μάρτυρας εδάφους το αρχικό έδαφος το οποίο προστέθηκε στα δοχεία.

Τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του εδάφους που χρησιμοποιήθηκε παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

Το πείραμα διήρκεσε 15 ημέρες και στο τέλος της επώασης πραγματοποιήθηκαν οι εξής προσδιορισμοί:

Στη βιομάζα των φυκών προσδιορίστηκαν η υγρασία, το βάρος της ξηρής βιομάζας, το ολικό άζωτο με τη μέθοδο Kjeldahl και τα P, K, Mg, Na και Ca μετά από καύση (Jones and Case, 1990).

Στο νερό κατάκλυσης προσδιορίστηκαν το pH, η $EC_{25^{\circ}C}$, τα στοιχεία K^{+} , Na^{+} , Ca^{+2} και Mg^{+2} , το NO_3-N (Norman et al., 1985), το NH_4-N (Mulvaney, 1996) και ο P (μέθοδος του ασκορβικού οξέος) χρωματομετρικά.

Στο έδαφος έγινε προσδιορισμός του pH (H_2O 1:2,5), του διαθέσιμου P (Olsen et al., 1954), των ανταλλάξιμων κατιόντων K^{+} , Ca^{+2} , Mg^{+2} και Na^{+} με τη μέθοδο του οξικού αμμωνίου (Thomas, 1982), του NO_3-N (Norman et al., 1985) και του NH_4-N (Mulvaney, 1996), της οργανικής ουσίας με τη μέθοδο της υγρής οξείδωσης (Walkley and Black, 1934) και του $CaCO_3$ με τη μέθοδο του ασβεστομέτρου (Allison and Moodie, 1965).

Στα πειραματικά αποτελέσματα εφαρμόσθηκε ANOVA με κριτήριο (LSD) σε $P < 0,05$ για την εύρεση στατιστικά σημαντικών διαφορών μεταξύ των πειραματικών δεδομένων.

Πίνακας 1. Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του εδάφους.

Μηχανική Σύσταση Εδάφους			pH (H_2O)	$CaCO_3$	Οργ. ουσ.	Ανταλ. κατιόντα. (cmolc/kg)				P	NO_3^{-}	NH_4^{+}
άμμος %	ιλύς %	αργιλ %.		(%)	(%)	K^{+}	Na^{+}	Ca^{+2}	Mg^{+2}	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
37,7	35,4	26,9	8,3	6,16	1,49	1,15	0,71	27,5	4,55	35,74	90,57	14,03

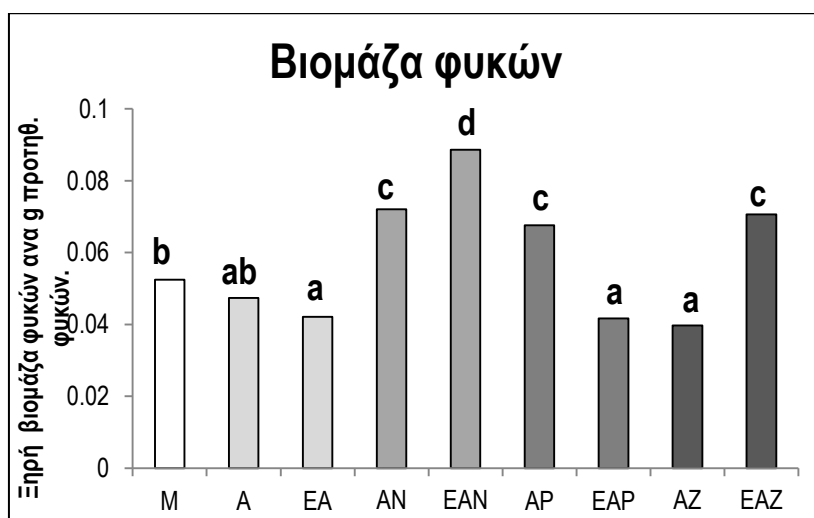
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Από το Σχήμα 1 φαίνεται ότι η βιομάζα των φυκών αυξήθηκε στις μεταχειρίσεις ΑΝ, ΕΑΝ, ΑΡ και ΕΑΖ σε σχέση με το αρχικό προστιθέμενο βάρος (Μ) των φυκών στα δοχεία. Μεταξύ των μεταχειρίσεων η προσθήκη 10 ppm Ν (ΑΝ) και Ρ (ΑΡ) στο νερό κατάκλυσης αύξησε τη βιομάζα των φυκών κατά 38% και 31% αντίστοιχα σε σχέση με τον Μάρτυρα (Μ) ενώ η προσθήκη ζιζανιοκτόνου (ΑΖ) μείωσε την ανάπτυξη της βιομάζας των φυκών. Η παρουσία εδάφους επηρέασε την ανάπτυξη της βιομάζας στις μεταχειρίσεις ΕΑΝ, ΕΑΡ και ΕΑΖ. Στη μεταχείριση ΕΑΝ το έδαφος φαίνεται ότι αύξησε, όχι στατιστικά σημαντικά, επιπλέον τη συγκέντρωση των NO_3^{-} του νερού κατάκλυσης (Πίνακας 2) με αποτέλεσμα την αύξηση της βιομάζας κατά 71 % σε σχέση με τον Μάρτυρα (Μ). Στην μεταχείριση ΕΑΡ το έδαφος προσρόφησε τον προστιθέμενο Ρ (Πίνακας 3) με αποτέλεσμα η συγκέντρωση του εναπομείναντα Ρ στο νερό κατάκλυσης να μην είναι αρκετή για την αύξηση της βιομάζας των φυκών. Στην μεταχείριση

ΕΑΖ το έδαφος προσρόφησε το προστιθέμενο ζιζανιοκτόνο κάνοντάς το ανενεργό για τα φύκη τα οποία αύξησαν κατά 36 % τη βιομάζα τους.

Στο νερό κατάκλυσης (Πίνακας 2), το έδαφος έπαιξε ρυθμιστικό ρόλο στο pH του νερού διατηρώντας το στα ίδια σχεδόν επίπεδα με την μεταχείριση Α. Παρατηρήθηκε αύξηση της θολότητας στις μεταχειρίσεις ΕΑΡ και ΕΑΖ που πιθανόν να οφείλεται στην αύξηση της EC στις μεταχειρίσεις αυτές.

Στον Πίνακα 3 φαίνονται τα χημικά χαρακτηριστικά του εδάφους στο τέλος του πειράματος. Παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση της οργανικής ουσίας σε όλες τις μεταχειρίσεις σε σχέση με τον Μάρτυρα (Μ). Επίσης αυξήθηκαν σημαντικά τα NO_3^{-} και τα NH_4^{+} σε όλες τις μεταχειρίσεις. Ο διαθέσιμος Ρ αυξήθηκε σημαντικά στις ΕΑ και ΕΑΡ μεταχειρίσεις. Αύξηση στατιστικά σημαντική παρατηρήθηκε και στα ανταλλάξιμα ιόντα του Na στις ΕΑΝ, ΕΑΡ και ΕΑΖ μεταχειρίσεις (Πίνακας 3).



Σχήμα 1. Βιομάζα των φυκών μετά το τέλος του πειράματος για τις 8 μεταχειρίσεις.

Πίνακας 2. Τιμές χημικών χαρακτηριστικών του νερού για τις 8 μεταχειρίσεις.

Μεταχειρίσεις	pH	EC (mS/cm)	NO ₃ ⁻ (meq/L)	NH ₄ ⁺ (meq/L)	CO ₃ ⁻² (meq/L)	HCO ₃ ⁻¹ (meq/L)	Cl ⁻ (meq/L)	Θολότητα (%)
A	8,7c	521ab	0,125a	0,040a	0,40ab	2,7ab	2,50a	7,00a
EA	8,4bc	530ab	0,142a	0,041a	0,25a	1,8a	2,35a	5,65a
AN	8,9d	612ab	0,119a	0,045a	0,45ab	3,0b	2,45a	3,05a
EAN	8,5c	515a	0,191a	0,043a	0,40a	1,8a	2,65a	5,25a
AP	9,6e	642ab	0,132a	0,091c	0,50ab	3,7bc	2,55a	3,70a
EAP	8,1ab	875cd	0,239a	0,070b	0,55ab	3,5bc	4,35b	25,75c
AZ	9,0d	718bc	1,158b	0,077bc	0,50ab	3,9bc	2,90a	15,65b
EAZ	7,9a	1040d	0,260a	0,093c	0,80a	4,3c	4,85b	27,50c

*Τιμές μέσα στην ίδια ιδιότητα που χαρακτηρίζονται με το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά

Πίνακας 3. Τιμές χημικών χαρακτηριστικών του εδάφους για τις 4 μεταχειρίσεις.

Μεταχειρίσεις	pH (H ₂ O)	Ανταλλάξιμα κατίοντα (cmol/Kg)				NO ₃ ⁻ (mg/kg)	NH ₄ ⁺ (mg/kg)	P (mg/kg)	Οργ. ουσία (% κ.β.)
		K ⁺	Na ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²				
M-Εδαφος	8,3b	1,15a	0,71a	27,50a	4,55a	90,6a	14,0a	35,7a	1,49a
EA	7,8a	1,30a	1,30ab	21,68a	3,99a	145,4b	23,8b	42,5b	3,00b
EAN	7,7a	1,95a	2,09c	27,69a	4,84a	188,8c	37,4c	39,8ab	3,13b
EAP	7,7a	1,74a	1,76bc	23,11a	4,31a	148,0b	23,8b	88,6c	3,99c
EAZ	7,5a	1,97a	1,96bc	23,55a	4,47a	138,6b	21,7b	40,2ab	3,06b

*Τιμές μέσα στην ίδια ιδιότητα που χαρακτηρίζονται με το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η βιομάζα των φυκών αυξήθηκε με την προσθήκη N και P στο νερό κατάκλυσης κατά 38% και 31% αντίστοιχα σε σχέση με τον Μάρτυρα (Μ). Αύξηση της βιομάζας των φυκών παρατήρησαν και οι Πετρίδου κ.α. (2012) σε ορυζώνες του Ν. Θεσσαλονίκης και βρήκαν στενή σχέση μεταξύ της αύξησης των φυκών και της συγκέντρωσης των NO_3^- του νερού κατάκλυσης ενώ ο Kimura (2005) βρήκε πως το N ως λίπανση δεν είχε ξεκάθαρη επίδραση στην αύξηση της βιομάζας των φυκών. Στην παρούσα μελέτη αύξηση της βιομάζας των φυκών παρατηρήθηκε με την προσθήκη P στο νερό κατάκλυσης ενώ δεν παρατηρήθηκε αύξηση παρουσία εδάφους (P-Olsen) όπως αναφέρουν και οι Πετρίδου κ.α. (2012) και ο Kimura (2005). Η παρουσία ζιζανιοκτόνου στο έδαφος αύξησε σημαντικά την βιομάζα των φυκών.

Στο έδαφος η οργανική ουσία αυξήθηκε από 1,49% σε 3 % περίπου σε όλες τις μεταχειρίσεις (Πίνακας 3). Αυτό οφείλεται στον μικρότερο ρυθμό αποσύνθεσής της λόγω αναγωγικών συνθηκών αλλά και στην αύξηση της νεκρής βιομάζας των φυκών. Στα ίδια συμπεράσματα κατέληξε και η Αλαμάνου (2008) όταν μελέτησε την μικροβιακή δραστηριότητα του εδάφους των ορυζώνων κατά την περίοδο κατάκλυσης. Αύξηση των NO_3^- και NH_4^+ στο έδαφος παρατηρήθηκε σε όλες τις μεταχειρίσεις με μεγαλύτερη αύξηση στην μεταχείριση EAN. Αύξηση των NO_3^- και NH_4^+ στο έδαφος βρήκε και ο Bilal (1977) σε πειράματα που έκανε στο εργαστήριο την οποία απέδωσε στην μεταβολή του οξειδοαναγωγικού δυναμικού που επικρατεί στα υπό κατάκλυση εδάφη. Παρατηρήθηκε μικρή μη σημαντική αύξηση του διαθέσιμου P στις EAN και EAZ και σημαντική αύξηση στις EA και EAP μεταχειρίσεις. Οι Πετρίδου κ.α. (2012) και ο Kimura (2005) βρήκαν σε πειράματα που έκαναν σε συνθήκες αγρού ότι η συγκέντρωση του P της βιομάζας των φυκών είχε ισχυρή γραμμική συσχέτιση ($P < 0,05$) με την συγκέντρωση του διαθέσιμου P του εδάφους (P-Olsen). Στην παρούσα μελέτη δεν φαίνεται να υπάρχει σχέση μεταξύ του διαθέσιμου P και της βιομάζας των φυκών.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Η βιομάζα των φυκών αυξήθηκε με αύξηση της συγκέντρωσης N, P στο νερό κατάκλυσης (δίχως έδαφος). Παρουσία εδάφους, μόνο η αύξηση της συγκέντρωσης του N προκάλεσε αύξηση της βιομάζας των φυκών.
- Η προσθήκη ζιζανιοκτόνου στο νερό κατάκλυσης ελάττωσε την βιομάζα των φυκών ενώ η παρουσία εδάφους αύξησε την βιομάζα.
- Το έδαφος έπαιξε ρυθμιστικό ρόλο στο pH του νερού κατάκλυσης αλλά και το έδαφος διατήρησε το ίδιο pH σε όλες τις μεταχειρίσεις.
- Η παρουσία των φυκών αύξησε την οργανική ουσία του εδάφους. Η αύξηση

αυτή ήταν μεγαλύτερη όταν ο διαθέσιμος P ήταν αρκετά υψηλός.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Anastasio, P.M., Nielsen, S.N., Frias, A.F., Marques, J.C., 1999. CRISP crayfish and rice integrated system of production, 4. Modelling water algae and oxygen dynamics.. *Ecol. Model.*, 123: 29-40
- Antonopoulos, V., 2010. Modelling of water and nitrogen balances in ponded water and soil profile of rice fields in Northern Greece. *Agricultural Water management*, 98: 321-330
- Bilal, I., 1977. Transformations and Trasport of $\text{NH}_4\text{-N}$ in a Flooded Soil. *Z.Pflanzenernaehr. Bodenkd.*, 140:199-207.
- Kimura M., 2005. Populations, Community Composition and Biomass of Aquatic Organismms in the Floodwater of Rice Fields and Effects of Field Management. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 51:159-181.
- Norman, R.J., Edberg, J.C., Stucki, J.W., 1985. Determination of Nitrate in Soil Extracts by Dual-wavelength Ultraviolet Spectrophotometry. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49: 1182-1185
- Walkley, A., and Black, I. A.. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37: 29-38.
- Allison, L. E., and Moodie, C. D., 1965. Carbonate. pp. 1379-1396. *In* Black et al. (ed) *Methods of soil analysis Part 2 -Chemical and microbiological properties*. Agronomy 9. ASA, SSSA, Madison, WI.
- Ασχονίτης, Β., 2007. Τροποποίηση του Μοντέλου GLEAMS V3.0 για την εκτίμηση του ισοζυγίου νερού και Αζώτου σε ορυζώνες. Μεταπτυχιακή διατριβή Γεωπονική Σχολή ΑΠΘ
- Bowie, G., Mills, W., Porcella, D., Campbell, C., Pagenkop, J., Rupp, G., Johnson, K., Chan, P., Gherini, S., 1985. Rates, constants, and Kinetics formulations in surface water Quality Modeling. Tetra Tech, Incorporated Lafayette, California 94549.
- Jones Benton, J. Jr., and Case, V. W., 1990. Sampling, handling and analyzing plant tissue samples. *In* Soil testing and plant analysis. 3rd ed. R. L. Westerman (ed) *Soil Sci. Soc. Am.* Madison, WI, USA
- Mulvaney, R.L., 1996. Nitrogen-Inorganic forms. p. 1123-1184. *In* D. L. Sparks et. Al. (ed) *Methods of soil analysis. Part 3. SSSA Book. Ser. 5.* SSSA. Madison, WI.
- Olsen, S. R., Cole, C. V., Watanabe, F. S., Dean, L. A., 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *U. S. Dept. Agr. Circ.*
- Thomas, G. W., 1982. Exchangeable cations. pp 159-164. *In* D. R. Keeney (ed.) *Methods of soil analysis. 2nd ed.* SSSA, Madison, WI.
- Αλαμάνου, Μ., 2008. Η διακύμανση της μικροβιακής δραστηριότητας σε ορυζώνες κατά τη διάρκεια

της καλλιεργητικής περιόδου. Μεταπτυχιακή
διατριβή Γεωπονική Σχολή ΑΠΘ..
Πετρίδου, Ν., Κουκούλη, Σ., Παυλάτου-Βε, Α.,
Τσιούρης, Σ., 2012 Μελέτη της ανάπτυξης των

φυκών σε έναν ορυζώνα και η επίδρασή τους
στη γονιμότητα του εδάφους. 1/2-11-2012. 14^ο
Πανελλήνιο εδαφολογικό συνέδριο. Τελλόγλειο
ίδρυμα Τεχνών Α.Π.Θ. Θεσσαλονίκη.

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΙΛΥΟΣ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΑΝΟΡΓΑΝΗΣ ΛΙΠΑΝΣΗΣ ΣΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΙΑΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΥ

I. Διαμαντούλης και Β. Αντωνιάδης

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Οδός Φυτόκου, 384 46, Ν. Ιωνία, Μαγνησία. Email. antoniadis@uth.gr

Η ιλύς βιολογικού καθαρισμού (IBK) μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υποκατάστατο του συμβατικού ανόργανου λιπάσματος (Λ) ακόμα και σε καλλιέργειες υψηλών αποδόσεων, όπως είναι ο αραβόσιτος (*Zea mays*). Για αυτό το λόγο σε περιοχή της Λάρισας έγινε πείραμα με μεταχειρίσεις IBK (δόση 20 t ha^{-1} , σύμφωνα με τις προδιαγραφές της ΔΕΥΑ Λάρισας) και Λ (χορήγηση 164 kg N και $40 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$). Μετρήθηκε η δυναμική του αζώτου στο έδαφος, όπως και τα μακρο- και ιχνοστοιχεία σε έδαφος και φυτό. Βρέθηκε ότι το $\text{NO}_3\text{-N}$ του εδάφους δεν είχε σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων, ενώ το $\text{NH}_4\text{-N}$ ήταν σημαντικά υψηλότερο στο Λ, κάτι που δείχνει ότι έγινε καλύτερη οικονομία N στην IBK. Τα υπόλοιπα χημικά χαρακτηριστικά σε έδαφος και φυτό (περιεκτικότητα σε μακρο- και μικροθρεπτικά) δεν διέφεραν σημαντικά, αλλά ούτε και τα φυτοκομικά χαρακτηριστικά (ξηρό βάρος σπόρων, ύψος φυτών κτλ.). Αξίζει να σημειωθεί ότι με τις σχετικά χαμηλές χορηγήσεις του N σε IBK και Λ, οι αποδόσεις σπόρου ήταν χαμηλές (της τάξης των 1450 kg στρ^{-1}) σε σχέση με τις αναμενόμενες σοδειές σε παρόμοιες συνθήκες.

Λέξεις κλειδιά: λίπανση, θρεπτικά, απόδοση αραβόσιτου

COMPARISON BETWEEN THE EFFECTS OF APPLICATION OF SEWAGE SLUDGE AND INORGANIC FERTILIZER IN MAIZE CHARACTERISTICS

I. Diamantoulis and V. Antoniadis

Laboratory of Soil Science, Department of Agriculture Crop Production and Rural Environment, University of Thessaly, Fytokou Street, N. Ionia, GR-38446, Volos, Greece.

Sewage sludge (SS) may substitute conventional inorganic fertilizers (IF) even in high-yield crops, such as maize (*Zea mays*). For this reason in the Larissa area we conducted an experiment with SS (applied at a low rate of 20 t ha^{-1}) and IF (applied at 164 kg N ha^{-1} and $40 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$), where we measured soil N dynamics, as well as macro- and micronutrient levels in soil and plant. We found that soil $\text{NO}_3\text{-N}$ did not differ significantly between the two treatments, while $\text{NH}_4\text{-N}$ was significantly higher at IF. This indicates that N was better utilized at SS. None of the other chemical soil and plant properties differed significantly between the two treatments, neither did we find any differences between treatments in other studied physical plant characteristics (dry seed weight, plant height etc.). It should also be mentioned that we obtained relatively low yields with the specific N application in this experiment at both SS and IF (1.45 t ha^{-1}) compared to the expected yield in the same area.

Key words: Fertilization, nutrients, maize yield

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ιλύς βιολογικού καθαρισμού (IBK) έχει χρησιμοποιηθεί πολλές φορές ως οργανικό λίπασμα, γιατί αποτελεί πηγή θρεπτικών στοιχείων και οργανικής ουσίας. Έχει όμως κυρίως χρησιμοποιηθεί σε πειράματα, καθώς η ευρεία της χρήση θεωρείται προβληματική, λόγω της ύπαρξης παθογόνων μικροοργανισμών και της πιθανής περιεκτικότητάς της σε βάρεια μέταλλα (Sukreeyapongse *et al.*, 2002).

Ο αραβόσιτος (*Zea mays*) είναι μια καλλιέργεια υψηλών αποδόσεων, με μεγάλες απαιτήσεις σε θρεπτικά στοιχεία. Για αυτό τυχόν αντικατάσταση μέρους των συμβατικών ανόργανων λιπασμάτων (Λ) που απαιτούνται, με οργανικά υλικά, όπως η IBK, θα είναι ιδιαίτερα επωφελής για τους παραγωγούς. Ενώ η IBK έχει χρησιμοποιηθεί σε πειράματα με αραβόσιτο, οι δόσεις εφαρμογής της στον αγρό είναι ιδιαίτερα υψηλές, σε σχέση με τις πραγματικές ανάγκες σε N και λοιπά θρεπτικά (Samaras *et al.*, 2008).

Σκοπός της εργασίας ήταν η σύγκριση δύο πηγών θρεπτικών στοιχείων σε καλλιέργεια αραβόσιτου, IBK και ανόργανου λιπάσματος, τα οποία προστέθηκαν έτσι ώστε να χορηγήσουν ίσες ποσότητες N, στη δυναμική N και λοιπών θρεπτικών στο έδαφος και στο φυτό, καθώς και στα φυτοκομικά χαρακτηριστικά της καλλιέργειας.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

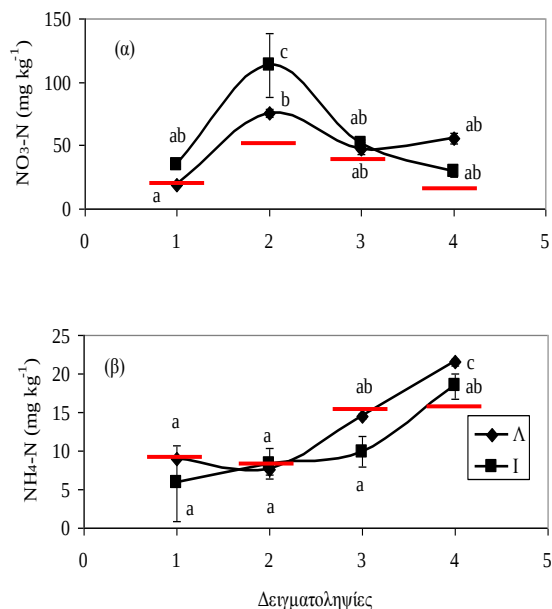
Σε αγρό στη Γιάννουλη Λάρισας εγκαταστάθηκε καλλιέργεια αραβόσιτου. Στον αγρό έγιναν αναλύσεις χαρακτηρισμού του εδάφους (Πίνακας 1). Κατόπιν ο αγρός χωρίστηκε σε 3 μεγάλα κομμάτια ενός στρέμματος έκαστο. Στο πρώτο (Λ) εφαρμόστηκαν $16,4 \text{ kg N στρ}^{-1}$ (12 kg N στρ^{-1} βασική λίπανση με χορήγηση λιπάσματος με τίτλο 30-10-0, και $4,6 \text{ kg N στρ}^{-1}$ με υδρολίπανση με ουρία, 46-0-0). Επίσης εφαρμόστηκαν και $4 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ στρ}^{-1}$ με το μικτό λίπασμα 30-10-0 που προαναφέρθηκε, ενώ K δεν προστέθηκε γιατί βρέθηκε ότι το έδαφος είχε επαρκή επίπεδα.

Πίνακας 1. Χαρακτηριστικές φυσικές και χημικές ιδιότητες εδαφών και ιλύος βιολογικού καθαρισμού του πειράματος.

	Έδαφος	IBK
Άργιλος (%)	39	-
Ιλύς (%)	2	-
Άμμος (%)	60	-
Υφή	SC ^a	-
pH ^b	7,98	6,76
pH ^c	7,40	-
EC (μS cm ⁻¹)	554	-
CaCO ₃ (%)	0,26	-
OM ^b (%)	0,98	36,65
OM ^c (%)	2,00	-
Ολικός Cu ^b (mg kg ⁻¹)	49,81	-
Ολικός Cu ^c (mg kg ⁻¹)	13,57	157,63
Ολικό Cr ^b (mg kg ⁻¹)	83,38	42,86
Ολικό Cr ^c (mg kg ⁻¹)	109,67	-
Ολικό Ni ^b (mg kg ⁻¹)	116,95	274,73
Ολικό Ni ^c (mg kg ⁻¹)	163,52	-
Ολικός Zn ^b (mg kg ⁻¹)	55,92	112,48
Ολικός Zn ^c (mg kg ⁻¹)	62,97	-
Ολικός Fe ^b (mg kg ⁻¹)	10079	9444
Ολικός Fe ^c (mg kg ⁻¹)	8612	-
Ολικό Mn ^b (mg kg ⁻¹)	856,91	177,98
Ολικό Mn ^c (mg kg ⁻¹)	800,53	-
Ολικό N (%)	-	0,935
NH ₄ -N (mg kg ⁻¹)	-	728

a: Sandy clay, αμμο-αργιλώδες. b: Πριν από την εφαρμογή IBK. c: Μετά από την εφαρμογή IBK.

Στο δεύτερο εφαρμόστηκε IBK (στο εξής ονομάζεται Ι) σε 2 t στρ⁻¹ ξηρής ουσίας, προερχόμενη από το βιολογικό καθαρισμό Λάρισας. Η εφαρμογή έγινε αφού προηγήθηκε ανάλυση δείγματος IBK για N κατά Kjeldahl, οργανικό C, υγρασία, και επίπεδα ιχνοστοιχείων (Πίνακας 1). Το τρίτο ήταν ο μάρτυρας όπου δεν προστέθηκε κανένα υλικό. Κατόπιν ο αγρός σπάρθηκε με αραβόσιτο, σύμφωνα με τις συνήθειες προδιαγραφές, στις 26-3-2012. Έγιναν 4 δειγματοληψίες. Τα εδαφικά και φυτικά δείγματα λαμβάνονταν από 3 καθορισμένα σημεία σε κάθε μεταχείριση που απείχαν μεταξύ τους ικανή απόσταση, έτσι ώστε να διασφαλίζεται η αντιπροσωπευτικότητα. Η πρώτη δειγματοληψία (Δ1) έγινε στις 22-3-2012, η δεύτερη (Δ2) στις 4-6-2012, η τρίτη (Δ3) στις 10-7-12 και η τέταρτη (Δ4) στις 23-9-2012, ημέρα της συγκομιδής της καλλιέργειας. Στην Δ1 έγιναν εδαφικές αναλύσεις για ανόργανο N (NH₄- και NO₃-N), Olsen-P, ανταλλάξιμο K, ιχνοστοιχεία με DTPA και ιχνοστοιχεία με *aqua regia*. Στην Δ2 ελήφθησαν φυτικά δείγματα για αναλύσεις φυλλοδιαγνωστικής (N, P, K, Ca, Mg, Zn, Cu, Fe και Mn), ενώ στο έδαφος μετρήθηκε ανόργανο N. Στην Δ3 μετρήθηκε ανόργανο N, ενώ στην Δ4 μετρήθηκαν τα φυτοκομικά χαρακτηριστικά του αραβόσιτου, έγιναν οι αναλύσεις των παραπάνω θρεπτικών σε όλα τα υπέργεια τμήματα του φυτού ξεχωριστά (φύλλα, στελέχη, σπOROΙ) και στο έδαφος έγιναν αναλύσεις ίδιες με αυτές στην Δ1.



Σχήμα 1. Δυναμική (α) NO₃-N και (β) NH₄-N του εδάφους κατά τις 4 δειγματοληψίες στις μεταχειρίσεις της συμβατικής λίπανσης (Λ) και της ιλύος βιολογικού καθαρισμού (Ι). Οι οριζόντιες γραμμές αντιπροσωπεύουν το μάρτυρα (περιοχή χωρίς καμία προσθήκη).

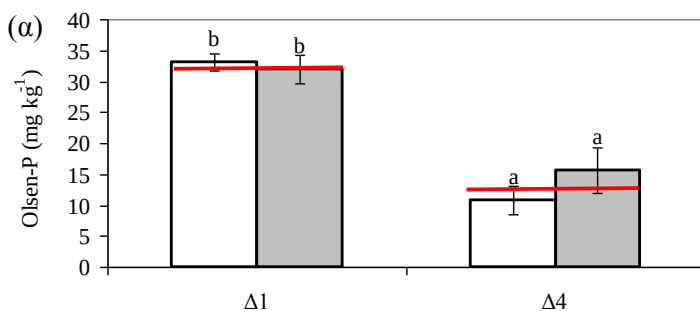
Όλα τα εδαφικά δείγματα αεροξηραίνονταν (εκτός από ένα τμήμα δείγματος που προορίζονταν για την εκχύλιση NH₄- και NO₃-N, η οποία γίνονταν σε υγρό δείγμα και τα αποτελέσματα ανάγονταν σε ξηρό βάρος εδάφους μετά την αεροξήρανση), λειοτριβούνταν και περνούσαν από κόσκινο με ανοίγματα 2 mm. Οι αναλύσεις κατόπιν γίνονταν σύμφωνα με τον Rowell (1994). Τα φυτικά δείγματα πλένονταν με απιονισμένο H₂O, ξηραίνονταν στους 70 °C έως σταθερού βάρους, κονιορτοποιούνταν σε μύλο άλεσης και αποτεφρώνονταν σύμφωνα με τη μέθοδο dry ashing κατά Jones *et al.* (1990) (εν συντομία, 0.5 g υλικού στους 500 °C για 5 ώρες και παραλαβή της τέφρας με 20 mL 20% v/v HCl), μέθοδο με την οποία μετρούνταν όλα τα υπόλοιπα στοιχεία εκτός από N. Το N μετρούνταν κατά Kjeldahl (Rowell, 1994).

Τα δεδομένα αναλύθηκαν στατιστικά με ANOVA και οι ελάχιστες σημαντικές διαφορές (LSD) μεταξύ μέσων όρων υπολογίστηκαν για επίπεδο σημαντικότητα μεγαλύτερο του 95% ($p < 0.05$) με το στατιστικό πακέτο Statgraphics 2.1.

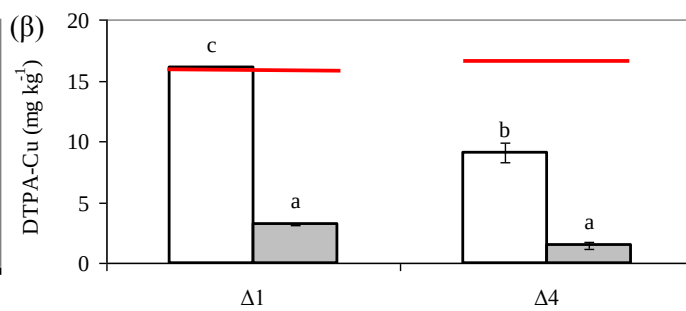
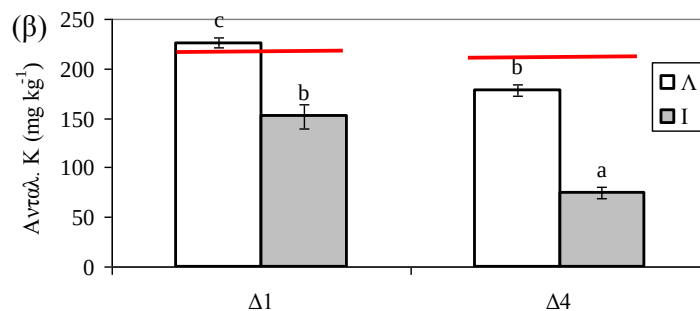
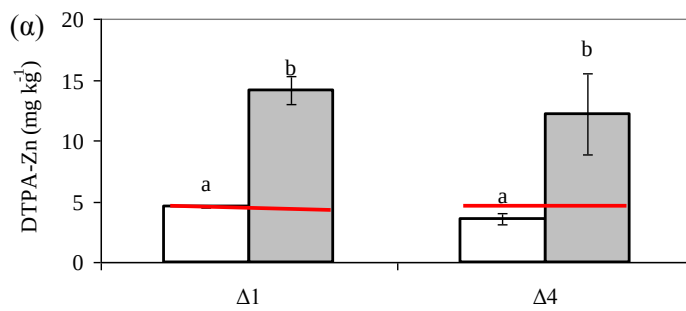
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Το έδαφος στον αγρό του αραβόσιτου ήταν βαρύ (αργιλοπηλώδες), αλκαλικό, με φυσιολογικά χαμηλά ποσοστά οργανικής ουσίας, και χωρίς κάποιον ιδιαίτερο επιβαρυντικό παράγοντα (Πίνακας 1). Πρέπει να τονιστεί ότι η καλλιέργεια των φυτών στο μάρτυρα απέτυχε, λόγω ανεπαρκούς φυτρώματος. Αποτέλεσμα αυτού ήταν ότι ενώ παρουσιάζουμε δεδομένα εδαφολογικά, δεν διαθέτουμε στοιχεία φυτοκομικά. Παρατηρούμε ότι τα

NO₃-N στην πρώτη δειγματοληψία (Δ1) είχαν



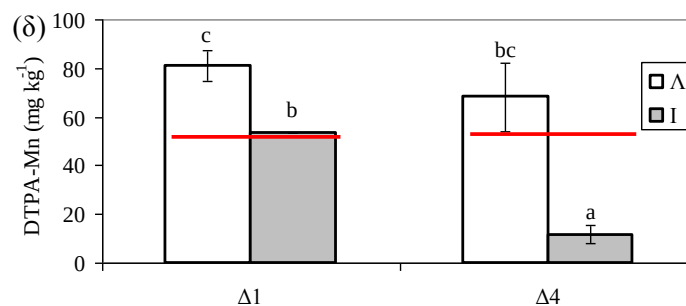
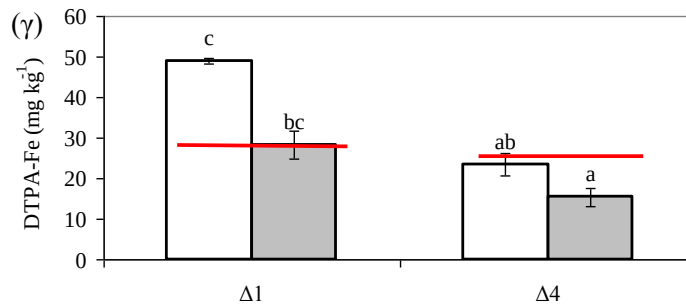
λόγω πρόσληψης από την καλλιέργεια, γιατί ο



Σχήμα 2. Εκχυλίσιμες συγκεντρώσεις στο έδαφος (α) P (κατά Olsen) και (β) K (ανταλλάξιμο) στην αρχή (Δ1, 22-3-2012) και στο τέλος (Δ4, 23-9-2012) του πειράματος στις μεταχειρίσεις της συμβατικής λίπανσης (Λ) και της ιλύος βιολογικού καθαρισμού (Ι). Οι οριζόντιες γραμμές αντιπροσωπεύουν το μάρτυρα (περιοχή χωρίς καμία προσθήκη).

στη δεύτερη δειγματοληψία που έγινε τον Ιούνιο, με την αύξηση της θερμοκρασίας, παρατηρούμε και στις τρεις μεταχειρίσεις σημαντική αύξηση των συγκεντρώσεων. Πρόκειται για αποτέλεσμα νιτροποίησης που γίνεται από νιτροποιητικά βακτήρια, τα οποία ευνοούνται από την αύξηση της θερμοκρασίας. Η νιτροποίηση λαμβάνει χώρα όταν το εδαφικό pH είναι ουδέτερο προς αλκαλικό, υπάρχει επαρκής αερισμός εδάφους, υπάρχει αφθονία αμμωνιακών, και ικανοποιητική για την ανάπτυξη των βακτηρίων θερμοκρασία (Sahrawat, 2008). Οι δύο τελευταίες παράμετροι αυξήθηκαν στην Δ2. Παρατηρούμε όμως ότι δεν υπάρχουν στο τέλος του πειράματος διαφορές στην υπολειμματικότητα του N. Με τα NH₄-N ότι με το χρόνο ακόμα και οι τιμές του μάρτυρα αυξάνονται. Για αυτό το λόγο πιθανολογούμε ότι η αύξηση της Λ οφείλεται σε μια γενική τάση ανοργανοποίησης στον αγρό, και όχι λόγω προσθήκης επιπλέον N προερχόμενο από την ανοργανοποίηση της προστιθέμενης οργανικής ουσίας στην Ι (Σχήμα 1β).

Ο εκχυλίσιμος P μειώθηκε σημαντικά στην Δ4 από την Δ1, αν και μεταξύ μεταχειρίσεων σε κάθε δειγματοληψία δεν υπήρχαν διαφορές (Σχήμα 2α). Αυτή η ραγδαία μείωση είναι δύσκολο να εξηγηθεί, γιατί αφορά και το μάρτυρα. Όσο αφορά το K, αυτό ήταν σταθερά υψηλότερο στην Ι σε σχέση με την Λ, αν και παρατηρείται και εδώ μείωση με το χρόνο και στις δύο μεταχειρίσεις (Σχήμα 2β). Εδώ είναι πιθανό η μείωση να οφείλεται σε εξάλειψη του εδαφικού K



Σχήμα 3. Εκχυλίσιμες με DTPA συγκεντρώσεις στο έδαφος (α) Zn, (β) Cu, (γ) Fe και (δ) Mn στην αρχή (Δ1, 22-3-2012) και στο τέλος (Δ4, 23-9-2012) του πειράματος στις μεταχειρίσεις της συμβατικής λίπανσης (Λ) και της ιλύος βιολογικού καθαρισμού (Ι). Οι οριζόντιες κόκκινες γραμμές αντιπροσωπεύουν το μάρτυρα (περιοχή χωρίς καμία προσθήκη).

ο Zn είναι σημαντικά υψηλότερος από ό,τι στην Λ (Σχήμα 3α), αλλά στα υπόλοιπα 3 στοιχεία (Σχήμα 3β για Cu, Σχήμα 3γ για Fe και Σχήμα 3δ για Mn) στη Λ εκχυλίζονται υψηλότερες συγκεντρώσεις σε σχέση με αυτές στην Ι. Αυτό δείχνει καταρχήν ότι δεν υφίσταται ορατός κίνδυνος τοξικότητας ιχνοστοιχείων από την εφαρμογή της IBK, όταν αυτή

ακολουθεί τις χαμηλές δόσεις εφαρμογής σύμφωνα με τις προδιαγραφές της ΕΕ. Για παράδειγμα οι Sivapatham *et al.* (2012) βρήκαν ότι σε δόση εφαρμογής IBK έως και 100 t_h ha⁻¹ (πενταπλάσια από τη δική μας) η συγκέντρωση ιχνοστοιχείων δεν

Πίνακας 2. Συγκέντρωση θρεπτικών στα στελέχη και στους καρπούς του αραβοσίτου στο τέλος (23-9-2012) του πειράματος στις μεταχειρίσεις της συμβατικής λίπανσης (Λ) και της ιλύος βιολογικού καθαρισμού (Ι). Όλα τα θρεπτικά εκτός του Ν (σε %) εκφράζονται σε mg kg⁻¹.

	Στελέχη			Καρποί		
	Λ	Ι		Λ	Ι	
N	0,930	1,284	NS	1,694	1,617	NS
P	2178	1451	*	1718	1785	NS
K	4649	4512	NS	3282	3351	NS
Mg	3164	4354	*	1677	1734	NS
Ca	4909	8307	*	1699	1558	NS
Fe	40,97	42,43	NS	52,67	61,45	NS
Mn	1,57	1,78	NS	7,27	2,04	*
Cu	6,77	6,77	NS	5,08	6,77	NS
Zn	18,64	15,98	NS	37,29	35,56	NS

NS = Μη στατιστικά σημαντική διαφορά. *Στατιστικά σημαντική διαφορά στο επίπεδο του $p < 0.05$.

Πίνακας 3. Φυτοκομικά χαρακτηριστικά του αραβοσίτου στο τέλος (23-9-2012) του πειράματος στις μεταχειρίσεις της συμβατικής λίπανσης (Λ) και της ιλύος βιολογικού καθαρισμού (Ι). Καμία από τις διαφορές μεταξύ Λ και Ι δεν είναι στατιστικά σημαντική.

	Λ	Ι
Ύψος φυτού (m)	2,747	2,608
Φύλλα (kg στρ ⁻¹)	446	467
Στελέχη (kg στρ ⁻¹)	503	489
Ρόκες (kg στρ ⁻¹)	207	218
Καρποί (kg στρ ⁻¹)	1440	1454
Συνολική βιομάζα (kg στρ ⁻¹)	2596	2629
1000 σπόροι (g)	340,83	356,87

αυξήθηκε στη φυτομάζα σημαντικά. Δεύτερο, η διαθεσιμότητα του Cu, του Fe και του Mn εξαρτώνται σημαντικά από την οργανική ουσία. Με τη χορήγηση μεγάλου μοριακού βάρους μη-επαρκώς χουμοποιημένων οργανικών ενώσεων, τα κατιόντα αυτά οδηγούνται σε μείωση της διαθεσιμότητάς τους, γιατί δημιουργούνται χηλικές ενώσεις, οι οποίες λόγω μεγάλου μεγέθους είναι αδιάλυτες και μη αφομοιώσιμες από τα φυτά. Πράγματι, οι Achiba *et al.* (2009) βρήκαν ότι οι μορφές των ιχνοστοιχείων που δεσμεύονται ως μη-διαθέσιμες μορφές σε οργανικά σύμπλοκα αυξάνονται με τη δόση της εφαρμογής τα IBK στο έδαφος.

Δεν βρέθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των θρεπτικών στοιχείων στον αραβόσιτο στις δύο

μεταχειρίσεις, παρά μόνο στον P, το Mg και το Ca στα στελέχη και μόνο στο Mn στους καρπούς (Πίνακας 2). Μάλιστα η Λ υπερέχει δύο φορές (στον P και το Mn) και άλλες δύο η Ι (στο Mg και το Ca), κάτι που φανερώνει ότι μάλλον δεν υπάρχει μια ξεκάθαρη τάση μεταξύ των μεταχειρίσεων, αλλά μόνο κάποιες μεταβολές χωρίς επιπλέον σημασία.

Πίνακας 4. Συνολική επιστροφή N, P και K στο έδαφος στην περίπτωση που η βιομάζα του αραβόσιτου μετά τη συγκομιδή του καρπού ενσωματωθεί στο έδαφος.

		Λ	Ι
N	Σ(AN) ^a (mg kg ⁻¹)	70,03	48,30
	Σ(AN) ^b (kg στρ ⁻¹)	5,25	3,62
	Φύλλα	4,05	4,96
	Φύλλα (x 30%) ^c	1,22	1,49
	Στελέχη	4,57	6,32
	Στελέχη (x 30%) ^c	1,37	1,90
Σ =		7,84	7,01
P	Φύλλα	0,25	0,68
	Φύλλα (x 30%) ^γ	0,08	0,20
	Στελέχη	1,11	0,71
	Στελέχη (x 30%) ^γ	0,33	0,21
	Σ (ως P) =	0,41	0,42
	Σ (ως P ₂ O ₅) =	0,94	0,96
K	Φύλλα	1,06	1,00
	Φύλλα (x 30%) ^γ	0,32	0,30
	Στελέχη	2,30	2,22
	Στελέχη (x 30%) ^γ	0,69	0,67
	Σ (ως K) =	1,01	0,97
	Σ (ως K ₂ O) =	1,21	1,16

a: Άθροισμα NO₃⁻ και NH₄-N στην Δ4. b: Θεωρούμε ενεργό βάθος 10 cm και φαινόμενο ειδικό βάρος 1,33 g cm⁻³. c: Το ποσοστό ανοργανοποίησης της προστιθέμενης βιομάζας (στελέχη και φύλλα) σε διάρκεια ενός έτους θεωρείται ίσο με 30%.

Τα φυτοκομικά χαρακτηριστικά των φυτών στις δύο μεταχειρίσεις, φαίνεται ότι ακολουθούσαν την ίδια τάση με τα θρεπτικά στοιχεία: Δεν βρέθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων (Πίνακας 3). Αυτό δείχνει ότι η IBK, ακόμα και εφαρμοζόμενη σε μικρές δόσεις χορήγησης, μπορεί να αντικαταστήσει το ανόργανο λίπασμα χωρίς επιπτώσεις σε μείωση παραγωγής. Αξίζει δε να τονιστεί ότι η σοδειά σε καρπό (στο επίπεδο των 1450 kg ξηρής ουσίας ανά στρέμμα), αν και ήταν χαμηλότερα του αναμενόμενου, ήταν σημαντική.

Τέλος για την πληρέστερη εικόνα της διαχείρισης του αγρού, διερευνήθηκε το σενάριο της ενσωμάτωσης των μη συγκομιζόμενων φυτικών μερών, δηλαδή φύλλων και στελεχών, στο έδαφος (Πίνακας 4). Κάνοντας μια προσπάθεια να υπολογισθεί η εισροή N, P και K (ο υπολογισμός έγινε για λόγους ευκολίας μόνο για αυτά τα 3 στοιχεία), ανάχθηκε το διαθέσιμο N (NH₄⁻ και NO₃⁻

N) σε επίπεδο αγρού, σε kg N στρ⁻¹. Κατόπιν αθροίσθηκε το συνολικό N φύλλων και των στελεχών και εκτιμήθηκε ότι το 30% του N θα κατασταθεί διαθέσιμο κατά την πρώτη χρονιά (εκτίμηση σύμφωνα με τους Gil *et al.* (2011), οι οποίοι βρήκαν ότι εδάφη που δέχονται IBK ανοργανοποιούν το οργανικό N σε ποσοστά που κυμαίνονται από 10% έως 40%, ποσοστά που εξαρτώνται από τις εδαφικές ιδιότητες). Ίδια διερεύνηση έγινε και για το P και για το K, και καταλήξαμε στις συνολικές εισροές σε kg P₂O₅ και K₂O στρ⁻¹. Βρέθηκε ότι μεταξύ των μεταχειρίσεων δεν υπήρξαν διαφορές στις εισροές αυτών των κύριων θρεπτικών. Κάνοντας την διαχείριση της ενσωμάτωσης μετά το πέρας της καλλιεργητικής περιόδου, εμπλουτίσθηκε το έδαφος με 7-8 kg N στρ⁻¹, όπως επίσης και με περίπου 1 kg P₂O₅ και K₂O στρ⁻¹. Αυτές οι εισροές, ιδιαίτερα σημαντικές για το N, αλλά μικρές--αν όχι ευκαταφρόνητες--για P και K, και εξοικονομούν πόρους για τη χρήση της επόμενης καλλιεργητικής περιόδου.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Σε χρόνο ενός έτους η επίδραση της προστιθέμενης IBK σε αγρό ετήσιας υψηλής στρεμματικής απόδοσης καλλιέργειας δεν επιφέρει αρνητικές επιδράσεις, και άρα η IBK μπορεί να αντικαταστήσει την συμβατική (και πολυδάπανη) ανόργανη λίπανση.
- Στο σενάριο της ενσωμάτωσης των μη συγκομιζόμενων φυτικών υλικών (στελέχη και φύλλα) ο εμπλουτισμός του εδάφους σε N (π. 7-8 kg N στρ⁻¹), σε P (π. 1 kg P₂O₅ στρ⁻¹) και σε K (π. 1 kg K₂O στρ⁻¹) ήταν παρόμοιος στις δύο μεταχειρίσεις.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Achiba, W.B., Gabteni, N., Lakhdar, A., Laing, G.D., Verloo, M., Jedidi, N., Gallali, T. 2009. Effects of 5-year application of municipal solid waste compost on the distribution and mobility of heavy metals in a Tunisian calcareous soil. *Agric. Ecos. Environ.* 130:156-163.
- Gil, M.V., Garbalo, M.T., Calvo, L.F. 2011. Modelling N mineralization from bovine manure and sewage sludge. *Biores. Technol.* 102:863-871.
- Jones, J., Case, J.B., Case, V.W. 1990. Sampling, handing, and analyzing plant tissue samples. In: *Soil Testing and Plant Analysis*, 3rd edition, Madison: SSSA, pp. 389-427.
- Rowell, D.L. 1994. *Soil Science: Methods and Applications*. Prentice Hall, Harlow, UK.
- Sahrawat, K.L. 2008. Factors affecting nitrification in soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 39:1436-1446.
- Samaras, V., Tsadilas, C.D., Stamatiadis, S., 2008. Effects of repeated application of municipal sewage sludge on soil fertility, cotton yield, and nitrate leaching. *Agron. J.* 100:477-483.
- Sivapatham, P., Potts, M.C., Delice, A., Sajwan, K.S., Alva, A.K., Jayaraman, K., Chakraborty, P. 2012. Evaluation of wastewater treatment by-products as soil amendments: Growth of sorghum-sudan grass and trace elements concentrations. *J. Environ. Sci. Health A: Toxic Haz. Subst. Environ. Engin.* 47:1678-1686.
- Sukreeyapongse, O., Holm, P.E., Strobel, B.W., Panichsakpatana, S., Magid, J., Hansen, H.C.B. 2002. pH-dependent release of cadmium, copper, and lead from natural and sludge-amended soils. *J. Environ. Qual.* 31:1901-1909.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΛΙΠΑΝΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΣΤΑ ΒΑΣΙΚΑ ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΤΟΜΑΤΑΣ ΣΤΗΝ ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΕΛΛΑΔΑ

**Δημήτριος Καλφούντζος, Νικόλαος Γκουγκουλιάς, Χρυσούλα Παπαϊωάννου, Παναγιώτης Βύρλας,
Δημήτριος Ζέρβας, Μαρία Κόκκορα και Δημήτριος Πατέρας**
Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα (Τ.Ε.Ι.) Λάρισας, Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας, Τμήμα Μηχανικής
Βιοσυστημάτων, Τ.Κ. 41110 Λάρισα, e-mail: dkalf@teilar.gr

Σε πείραμα αγρού που εγκαταστάθηκε στο αγρόκτημα του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Λάρισας κατά τα έτη 2011 και 2012, αξιολογήθηκε η επίδραση της λίπανσης στην παραγωγή και στα βασικά χαρακτηριστικά της βιομηχανικής τομάτας. Εφαρμόστηκαν τέσσερα επίπεδα λίπανσης, ήτοι: (α) κοινή λίπανση όπως αναφέρει το πρακτικό λίπανσης των καλλιεργειών για το Ν. Λάρισας, (β) βιολογική καλλιέργεια χωρίς τη χρήση λιπασμάτων και κοινών φυτοπροστατευτικών προϊόντων, (γ) 80% της κοινής λίπανσης και (δ) 60% της κοινής λίπανσης. Τα φυτά βιομηχανικής τομάτας μεταφυτεύτηκαν στο στάδιο των 6-7 πραγματικών φύλλων στο έδαφος, στις αρχές Μαΐου. Από τα πειραματικά δεδομένα προκύπτει θετική συσχέτιση της λίπανσης με ορισμένα από τα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά τα οποία εξετάστηκαν. Η εφαρμογή διαφορετικών επιπέδων λίπανσης επηρεάζει τα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά της καλλιέργειας βιομηχανικής τομάτας, με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση λιπάσματος κατά 20%. Η βιολογική καλλιέργεια βιομηχανικής τομάτας μπορεί να διαδοθεί χωρίς ιδιαίτερα προβλήματα στην περιοχή της Κεντρικής Ελλάδας.

Λέξεις κλειδιά: βιομηχανική τομάτα, λίπανση, βιολογική καλλιέργεια, διαλυτά στερεά συστατικά.

EFFECTS OF FERTILIZATION IN PRODUCTION AND QUALITY IN BASIC CHARACTERISTICS OF INDUSTRIAL TOMATO IN CENTRAL GREECE

**Dimitrios Kalfountzos, Nikolaos Gougoulas, Chrysoula Papaioannou, Panagiotis Vyrilas,
Dimitrios Zervas, Maria Kokkora and Dimitrios Pateras**
Technological Educational Institute of Larissa, School of Agricultural Technology,
Department of Biosystems Engineering, Zip. 411 10, Larissa, e-mail: dkalf@teilar.gr

In a field experiment, established on the farm of the Technological Educational Institute of Larissa in 2011 and 2012, the effects of fertilization on the production and the basic characteristics of industrial tomatoes were evaluated. Four fertilization levels were applied, namely: (a) Common fertilization, normally practiced in Larissa, (b) organic farming, with no use of fertilizers or other conventional plant protection products, (c) 80% of the common fertilizer application, and (d) 60% of the common fertilizer application. Plants of the industrial tomato (hybrid Heinz S3402) were transplanted at the stage of 6-7 true leaves in early May. The experimental data show a positive correlation of fertilization with some of the quantity and quality characteristics examined. The application of different levels of fertilization affect the quantitative and qualitative characteristics of the farming of industrial tomato, a saving of 20% fertilizer. Organic farming of industrial tomatoes can be spread without major problems in Central Greece.

Keywords: industrial tomato, fertilization, organic farming, total soluble solids.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η καλλιέργεια της βιομηχανικής τομάτας, θεωρείται ως μία από τις πλέον εντατικές χρήσεις γεωργικής γης από την άποψη της άρδευσης, της χρήσης λιπασμάτων και της φυτοπροστασίας (Rinaldi et al., 2003). Ο Αγγίδης (1995) αναφέρει ότι για την παραγωγή 8 τόνων τομάτας ανά στρέμμα σε χωράφι με 3% οργανική ουσία απαιτούνται συνολικές λιπαντικές μονάδες των βασικών στοιχείων ως εξής: άζωτο (N) 20-25, φώσφορο (P_2O_5) 10-12, κάλιο (K_2O) 30-35. Το μεγαλύτερο μέρος της παραγωγής και της μεταποίησης της βιομηχανικής τομάτας στη χώρα μας εντοπίζεται στις εξής τρεις γεωγραφικές περιοχές: τη βόρεια περιοχή (Μακεδονία – Θράκη) με το 25% της παραγωγής, τη κεντρική περιοχή (Θεσσαλία – Βοιωτία) υπεύθυνη για το 60% της παραγωγής και την Πελοπόννησο με το 15% της εγχώριας παραγωγής. Οι γεωργικές εκμεταλλεύσεις παραμένουν μικρές στη χώρα μας και είναι οικογενειακής μορφής με έκταση που κυμαίνεται από

50 έως 200 στρέμματα. Η απευθείας σπορά με υβρίδια βιομηχανικής τομάτας χρησιμοποιείται σε μικρό ποσοστό σήμερα, ενώ τα έτοιμα φυτά που μεταφυτεύονται στο χωράφι προτιμώνται σε περιοχές που στοχεύουν στην πρώιμη παραγωγή.

Η βιομηχανική τομάτα είναι μία από τις πολλές συμβολαϊκές καλλιέργειες. Οργανώσεις παραγωγών, ομάδες παραγωγών ή και μεμονωμένοι παραγωγοί υπογράφουν συμβόλαια με μονάδες μεταποίησης, βιομηχανίες τροφίμων που επεξεργάζονται την τομάτα και παράγουν διάφορα προϊόντα (όπως τοματοπολτό, τοματοχυμό, αποφλοιωμένες ή τεμαχισμένες τομάτες κ.α.) στοχεύοντας στην εγχώρια αγορά και σε εξαγωγές.

Η αλόγιστη χρήση λιπασμάτων και συμβατικών φυτοπροστατευτικών προϊόντων στη γεωργία οδηγεί παραγωγούς και καταναλωτές με όλο και πιο γρήγορο ρυθμό στη βιολογική γεωργία. Η καλλιέργεια της βιομηχανικής τομάτας, στην Ελλάδα, με βάση τους κανόνες της βιολογικής γεωργίας

βρίσκει πρόσφορο έδαφος. Απομένει να απαντηθούν δύο βασικά ερωτήματα: α) αν είναι εφικτή η καλλιέργεια της με βάση τους κανόνες της βιολογικής γεωργίας και β) αν είναι συμφέρον για τον παραγωγό αλλά και την ελληνική οικονομία, το οικονομικό αποτέλεσμα που θα προκύψει.

Κατά συνέπεια η βελτιστοποίηση των συνθηκών λίπανσης της καλλιέργειας βιομηχανικής τομάτας δεν θα πάψει να απασχολεί τους ερευνητές εφόσον η παγκόσμια παραγωγή της βαίνει αυξανόμενη. Επομένως είναι σκόπιμο η Ελλάδα, βελτιστοποιώντας τις συνθήκες παραγωγής της εν λόγω καλλιέργειας, να γίνει πιο ανταγωνιστική σε ένα προϊόν του οποίου η ζήτηση αυξάνεται παγκόσμια.

Όσον αφορά στην ποιότητα της βιομηχανικής τομάτας, μεταξύ των κυριότερων επιθυμητών χαρακτηριστικών τα οποία θα πρέπει να χαρακτηρίζουν την παραγωγή της είναι η υψηλή περιεκτικότητα σε διαλυτά στερεά συστατικά, η χαμηλή οξύτητα, η αντοχή στη μεταφορά, η υψηλή παραγωγικότητα και το υψηλό ποσοστό καρπών 1^{ης} κατηγορίας (Goose and Binsted, 1964).

Η παρούσα εργασία διερευνά την επίδραση της λίπανσης στην ποιότητα της βιομηχανικής τομάτας στη κεντρική Ελλάδα. Διερευνήθηκαν τρία επίπεδα λίπανσης και η εφαρμογή της βιολογικής καλλιέργειας στη βιομηχανική τομάτα.

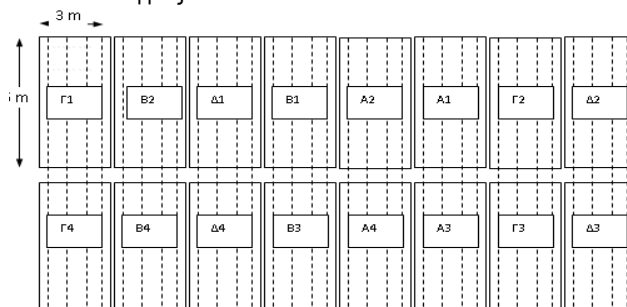
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Περιγραφή της εγκατάστασης

Το αρδευτικό δίκτυο αποτελούνταν από τον κύριο αγωγό μεταφοράς από PE Φ32/6 Atm και από δευτερεύοντες αγωγούς PE Φ20/6 Atm. Οι σταλακτηφόροι σωλήνες της επιφανειακής στάγδην άρδευσης είχαν ισαποχή 1.5 m, μήκος 5 m και ήταν τύπου PC/Φ16 με ενσωματωμένους σταλάκτες. Οι σταλάκτες ήταν αυτορυθμιζόμενοι και αυτοκαθαριζόμενοι ισαποχής 0.70 m, παροχής 2.2 Lh⁻¹ σε πίεση λειτουργίας από 0.5 έως 3.5 Atm, με διπλό μηχανισμό αυτοκαθαρισμού, και δύο κανάλια

εξόδου ώστε να αποφεύγεται η έμφραξη. Εφαρμόστηκαν τέσσερις επεμβάσεις λίπανσης:

Η εφαρμόζομενη κοινή λίπανση (Α) όπως αναφέρεται στο πρακτικό λίπανσης των καλλιεργειών της Αγροτικής Ανάπτυξης του Νομού Λάρισας, βιολογική καλλιέργεια χωρίς λίπανση και φυτοφάρμακα (Β), λίπανση με το 80% της κοινής λίπανσης (Γ) και λίπανση με το 60% (Δ). Οι επιφανειακές λιπάνσεις έγιναν με τη βοήθεια συστήματος Venturi (υδρολίπανση) που εγκαταστάθηκε στην κεφαλή του συστήματος. Τα πειραματικά τεμάχια (Σχήμα 1) χαρακτηρίζονται από ένα γράμμα και έναν αριθμό. Το πρώτο γράμμα χαρακτηρίζει το επίπεδο λίπανσης και ο αριθμός την επανάληψη. Οι διαστάσεις κάθε πειραματικού τεμαχίου ήταν 5 x 3 = 15 m². Το πειραματικό σχέδιο περιλάμβανε τυχαιοποιημένες ομάδες με τέσσερις επαναλήψεις.



Σχήμα 1. Σχηματική διάταξη πειραματικών τεμαχίων καλλιέργειας βιομηχανικής τομάτας αγροκτήματος Λάρισας.

2.2 Περιγραφή του πειράματος

Για την υλοποίηση του ερευνητικού προγράμματος εγκαταστάθηκε πειραματικός αγρός βιομηχανικής τομάτας στη Λάρισα (αγρόκτημα TEI) που αρδεύεται με στάγδην άρδευση και εφαρμόζονται διάφορα επίπεδα λίπανσης στα πειραματικά τεμάχια. Από τις αναλύσεις των δειγμάτων εδάφους (Πίνακας 1.) και την ταξινόμησή του προέκυψε ότι είναι αμμοαργιλοπηλώδες και ανήκει στην υποομάδα των Vertic Xerochrept των Inceptisols, (Καλφούντζος κ.α. 2012).

Πίνακας 1. Φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους

Βάθος (cm)	Μηχανική σύσταση				Οργανική Οσία %	ΦΕΒ g/cm ³	Υδατοικανότητα % κ.ο	Σημείο Μόνιμης Μάρανσης % κ.ο
	Άμμος %	Ιλύς %	Άργιλος %	Χαρμός				
0-30	52,56	22,72	24,70	SCL	1,80	1,51	27,81	16,35
30-60	54,56	28,72	16,70	SCL	1,02	1,53	22,50	11,20
60-90	48,56	20,72	30,70	SCL	0,24	1,56	29,18	19,10

Βάθος (cm)	CaCO ₃ %	pH 1:5 H ₂ O	ECe 25 °C	N-Ανόργ. (mg/kg)	P-Olsen (mg/kg)	K-Eναλ. cmol kg ⁻¹	DTPA-Cu (mg/kg)	DTPA-Zn (mg/kg)	DTPA-Mn (mg/kg)	CEC (cmol kg ⁻¹)
0-30	1,30	7,6	0,121	93,31	20,83	1,1	0,980	0,725	16,65	35,87
30-60	0,16	7,7	0,154	121,32	6,55	0,78	1,205	0,495	15,02	37,07
60-90	0,90	8,1	0,264	107,18	8,85	0,78	1,135	0,605	13,36	36,49

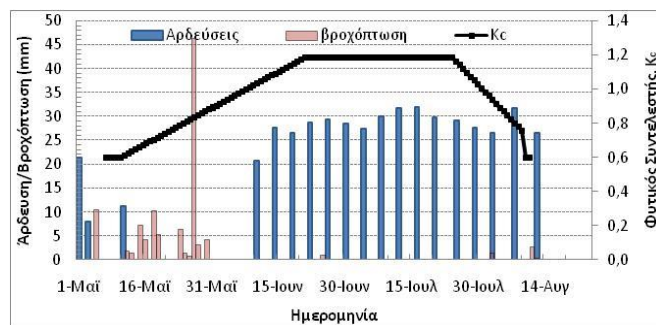
Έγιναν δύο εφαρμογές του οικολογικού μυκητοκτόνου Vacciplant, σε δοσολογία 50 mL/100 L νερού και του οικολογικού εντομοκτόνου Belthirul (3200 wp) σε δοσολογία 50 g/100 L νερού.

Η συγκομιδή πραγματοποιήθηκε στο κόκκινο στάδιο ωρίμανσης σύμφωνα με την κατάταξη του USDA (1997), την 25η Αυγούστου χειρωνακτικά. Από κάθε επανάληψη του πειράματος συλλέχθηκε και ζυγίστηκε χωριστά για κάθε γραμμή η παραγωγή 10 φυτών. Για κάθε πειραματικό τεμάχιο και κάθε επανάληψη εξετάστηκαν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της βιομηχανικής τομάτας στο Εργαστήριο Ποιότητας Γεωργικών Προϊόντων του Τμήματος Μηχανικής Βιοσυστημάτων του ΤΕΙ Λάρισας.

Για την εύρεση της εμπορεύσιμης και μη (πράσινη-σάπια) παραγωγής ανά πειραματικό τεμάχιο και μεταχείριση συγκομίστηκε μόνο η παραγωγή των 10 μεσαίων φυτών των δύο μεσαίων γραμμών φύτευσης, ενώ για την ανάλυση των δεδομένων που αφορούν στη σύσταση των καρπών (οργανοληπτικά χαρακτηριστικά) χρησιμοποιήθηκε το πλήρως τυχαποιημένο σχέδιο, με τέσσερις επαναλήψεις ανά μεταχείριση και πέντε όμοιους καρπούς ανά επανάληψη. Η σύγκριση των μέσων όρων έγινε με τεστ πολλαπλών ευρών Duncan, σε επίπεδο σημαντικότητας 0.05 (στατιστικό πακέτο SPSS 10).

2.3 Υδατοκατανάλωση

Η εφαρμοζόμενη ποσότητα νερού σε κάθε άρδευση υπολογίζονταν από κλιματικά δεδομένα του αυτόματου τηλεμετρικού μετεωρολογικού σταθμού που υπήρχε στη θέση του πειράματος με τη μέθοδο Penman-Moethieth FAO 56. Για τον προσδιορισμό της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας αναφοράς χρησιμοποιείται η τροποποιημένη μέθοδος Penman-Monteith όπως αυτή περιγράφεται από τον FAO-56 (Allen et al., 1998). Οι μετρήσεις αναφέρονται στην περίοδο Μαΐου - Αυγούστου 2012. Μετά τη μεταφύτευση της βιομηχανικής τομάτας έγινε άρδευση για το φύτευμα της καλλιέργειας, με απλούς εκτοξευτήρες και δόση άρδευσης 15 mm. Η συνολική βροχόπτωση κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου ανήλθε σε 110,4 mm (Σχήμα 2). Το συνολικό ύψος άρδευσης σε όλες τις μεταχειρίσεις ανήλθε σε 508,48 mm.

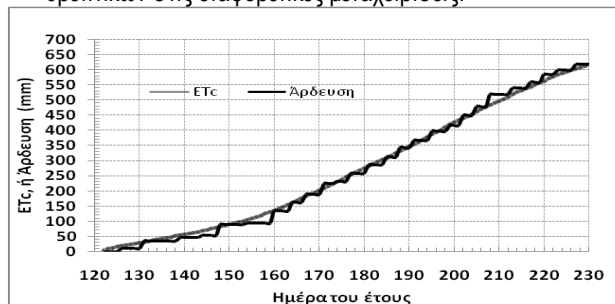


Σχήμα 2. Αρδεύσεις υπολογισμένες από το πρόγραμμα FAO 56

2.3. Λίπανση

Η θρέψη περιελάμβανε την βασική λίπανση ($N-P_2O_5-K_2O$ λιπαντικές μον.): Α) 4,92-4,92-6,97, Γ) 4,92-3,94-6,97, Δ) 4,92-2,95-6,97 επί της γραμμής στις 8-6-2012 στις επεμβάσεις Α, Γ, Δ) και 5300 kg κοπριάς στη βιολογική καλλιέργεια (Β). Η κοπριά περιείχε οργανική ουσία 16,39% ξηρού βάρους, 541 mg kg^{-1} νιτρικού και αμμωνιακού αζώτου, 418,6 mg kg^{-1} φωσφόρου αφομοιώσιμου και 9941,0 mg kg^{-1} εναλλακτικό κάλιο. Έγιναν 3 επεμβάσεις υδρολίπανσης με εφαρμογή του λιπάσματος 34,5-0-0 και 3 επεμβάσεις υδρολίπανσης με εφαρμογή του λιπάσματος 13,5-0-46,2. Συνολικά στην μεταχείριση Α προστέθηκαν 24,49-4,92-20,83 μονάδες, στη μεταχείριση Γ 19,59-3,94-16,66 και στη Δ 14,69-2,95-12,50.

Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται τα ισοζύγια θρεπτικών στις διαφορετικές μεταχειρίσεις.



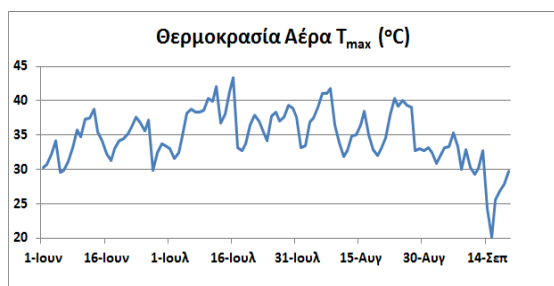
Σχήμα 3. Συνολικό ύψος άρδευσης σε όλες τις μεταχειρίσεις σε σχέση με την εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας

Πίνακας. 2. Ανόργανα διαθέσιμα στοιχεία.

	Μεταχείριση	Λιπαντικές Μονάδες		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Έναρξη καλλιεργητικής περιόδου	A, B, Γ, Δ	39,19	20,04	217,14
Προσθήκη Λίπανσης Βασική+Υδρολίπανση (B:προσθήκη κοπριάς 5,3 ton/στρ.)	A	24,49	4,92	20,83
	B	2,87	5,08	63,49
	Γ	19,59	3,94	16,66
	Δ	14,69	2,95	12,50
Τέλος καλλιεργητικής περιόδου	A	33,10	20,31	209,37
	B	29,63	21,78	209,40
	Γ	40,94	10,9	203,18
	Δ	46,34	6,38	216,41

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η καλλιέργεια της βιομηχανικής τομάτας αναπτύσσεται κανονικά σε θερμοκρασίες από 18 έως 28 °C, (Αγγίδης 1995). Η ύπαρξη κατά το έτος 2012 θερμοκρασιών μεγαλύτερων των 28 °C (Σχήμα 4.) συνετέλεσε στη μείωση της παραγωγής σε σχέση με το έτος 2011 λόγω της αυξημένης προσβολής των καρπών από ηλιοεγκαύματα.



Σχήμα 4. Μέγιστη θερμοκρασία του αέρα κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου.

Η μεταχείριση με τη μικρότερη ποσότητα λιπάσματος (Δ), παρουσίασε τη μεγαλύτερη εμπορεύσιμη παραγωγή (5,55 kg m⁻²), πράγμα που σημαίνει ότι μπορούμε να κάνουμε εξοικονόμηση λιπάσματος. Η βιολογική καλλιέργεια έδωσε την μικρότερη παραγωγή (4,09 kg m⁻²), αλλά δεν διέφερε στατιστικώς σημαντικά μεταξύ των άλλων μεταχειρίσεων. Η βιολογική καλλιέργεια βιομηχανικής τομάτας μπορεί να διαδοθεί χωρίς ιδιαίτερα προβλήματα στην περιοχή της Κεντρικής Ελλάδας. Το μεγαλύτερο βάρος καρπού (50,10 g) το έδωσε η μεταχείριση Α αλλά δεν διαφέρει στατιστικώς σημαντικά με την μεταχείριση Β και Δ. Το γεγονός ότι η μεταχείριση Β έδωσε την μικρότερη απορριπτόμενη παραγωγή (πράσινη = 1,20 kg m⁻² και σάπια = 1,28 kg m⁻²) αποβαίνει τελικά υπέρ της βιολογικής καλλιέργειας.

Πίνακας 2. Συνολική εμπορεύσιμη παραγωγή, απορριπτόμενη παραγωγή (kg m⁻²) τομάτας, αναλογία κόκκινης /πράσινης και βάρος καρπού

Μετα- χείριση	Αριθμ. Επαναλ. (# καρπών)	Συνολική εμπορεύσιμη παραγωγή (kg m ⁻²)	Απορριπτόμενη παραγωγή (kg m ⁻²)		Αναλογία κόκκινης /πράσινης	Βάρος κ (g)
			πράσινη	σάπια		
A	4 (161)	4,71ab	1,11a	1,60bc	4,24	50,1
B	4 (160)	4,09b	1,20a	1,28c	3,40	49,8
Γ	4 (140)	4,57ab	1,20a	2,22a	3,80	47,0
Δ	4 (160)	5,55a	1,15a	2,04ab	4,82	49,5
Sig.		<0,267	<0,573	<0,219		<0,0

Τα διαφορετικά γράμματα δηλώνουν ότι υπάρχουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές (για p<0,1)

Επειδή η τιμή της βιομηχανικής τομάτας εξαρτάται από το ποσοστό της κόκκινης παραγωγής δηλαδή την αναλογία κόκκινων/πράσινες, έγινε στατιστική επεξεργασία των δειγμάτων ως προς αυτή την παράμετρο (Πίνακας 2) από την οποία δεν προέκυψαν διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων (p = 0,077). Επομένως οι διαφορετικές δόσεις λίπανσης δεν βελτιστοποιούν την καλλιέργεια ως προς αυτή την ποιοτική παράμετρο της παραγωγής.

Άλλη ποιοτική παράμετρος της παραγωγής που εξετάστηκε ήταν τα διαλυτά στερεά συστατικά (ΔΣΣ) και βρέθηκε ότι οι μεταχειρίσεις δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά (Πίνακας 3). Την υψηλότερη τιμή παρουσίασαν οι καρποί της μεταχείρισης Α με (4,88%) και η Β (4,86%). Η τιμή αυτής της ποιοτικής παραμέτρου επηρεάζει επίσης την τιμή της βιομηχανικής τομάτας. Όταν κυμαίνεται μεταξύ 4.0 και 4.6% η τιμή για τον παραγωγό είναι 0.04 € kg⁻¹, μεταξύ 4.7 και 5.0% η τιμή αυξάνεται σε 0.06 € kg⁻¹ ενώ όταν είναι μεγαλύτερα από 5.1% η τιμή γίνεται 0.07 € kg⁻¹ (Πίνακας 3).

Πίνακας 3. Νωπό βάρος της φυτικής κόμης ανά φυτό (kg), τιμές των διαλυτών στερεών συστατικών των καρπών (%) και τιμή πώλησης της βιομηχανικής τομάτας (€ kg⁻¹)

Μετα- χείριση	Αριθμ. Επαναλ. (# καρπών)	Νωπό βάρος φυτικής μάζας (kg φυτό ⁻¹)	Αριθμ. Επαναλ. (# καρπών)	ΔΣΣ (%)	Τιμή πώλησης (€ kg ⁻¹)
A	4 (16)	1,47a	4 (20)	4,88 ^a	0.06
B	4 (16)	1,55a	4 (20)	4,86 ^a	0.06
Γ	4 (16)	1,55a	4 (20)	4,78 ^a	0.06
Δ	4 (16)	1,64a	4 (20)	4,52 ^a	0.04
Sig.		0.300		<0,061	

Τα διαφορετικά γράμματα δηλώνουν ότι υπάρχουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές (για p<0,05).

Η μικρότερη τιμή (0,04 € kg⁻¹) βρέθηκε στη μεταχείριση Δ η οποία αν και έδωσε τη μεγαλύτερη παραγωγή, δεν καλύπτει το όφελος που είχε από την μειωμένη λίπανση. Επομένως με τη μεταχείριση Δ επιτυγχάνεται οικονομία λιπάσματος κατά 20%.

Πίνακας 4. Τιμές του pH και της ογκομετρούμενης οξύτητας των καρπών (% περιεκτικότητα των καρπών σε κιτρικό οξύ)

Μεταχείριση	Αριθμ. Επαναλ. (# καρπών)	pH	Οξύτητα (%)
A	4 (8)	4,58	0,64
B	4 (8)	4,57	0,55
Γ	4 (7)	4,58	0,77
Δ	4 (8)	4,58	0,58
Sig		=0,78	=0,173

Τα διαφορετικά γράμματα δηλώνουν ότι υπάρχουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές (για p<0,05).

Σχετικά με άλλες ποιοτικές παραμέτρους των καρπών όπως το pH και την ογκομετρούμενη οξύτητα, στη βιβλιογραφία αναφέρονται τιμές για το pH από 4,26 έως 4,82 και για την οξύτητα από 0,40 έως 0,91% (Stevens et al., 1986). Οι τιμές αυτές επηρεάζονται από τον γενότυπο, την ηλικία ακτινοβολία, την καλιούχο λίπανση και τη θερμοκρασία κατά την ωρίμανση. Επίσης έχει διατυπωθεί ότι κάθε παράγοντας ο οποίος συντελεί στην αύξηση του περιεχόμενου Κ στον καρπό προκαλεί συγχρόνως και μια αντίστοιχη αύξηση σε οργανικά οξέα με αποτέλεσμα η τιμή του pH του καρπού να παραμένει σταθερή (Καραουλάνης, 2003). Στη συγκεκριμένη εργασία δεν βρέθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές στην ογκομετρούμενη οξύτητα. Οι τιμές του pH κυμάνθηκαν από 4.57 έως 4.58 και της

ογκομετρούμενης οξύτητας από 0.55 έως 0.77%, εντός των προαναφερθέντων ορίων.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συμπεραίνεται ότι η εφαρμογή διαφορετικών επιπέδων λίπανσης επηρεάζει τα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά της καλλιέργειας βιομηχανικής τομάτας, με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση λιπάσματος κατά 20%. Η βιολογική καλλιέργεια έδωσε την μικρότερη παραγωγή ($4,09 \text{ kg m}^{-2}$), αλλά δεν διέφερε στατιστικώς σημαντικά μεταξύ των άλλων μεταχειρίσεων. Η βιολογική καλλιέργεια βιομηχανικής τομάτας μπορεί να διαδοθεί χωρίς ιδιαίτερα προβλήματα στην περιοχή της Κεντρικής Ελλάδας. Η διαφορετική λίπανση δεν επηρέασε τα υπόλοιπα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά που εξετάστηκαν όπως το μέσο βάρος καρπών, το pH και την ογκομετρούμενη οξύτητα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Κεφάλαια βιβλίων

Αγγίδης Α., 1995. Τομάτα Υπαίθρια – Επιτραπέζια- Βιομηχανική- Καλλιέργεια-Αξιοποίηση. Εκδόσεις Παπασωτηρίου, σελ. 263.

Καραουλάνης Γ. 2003. Τεχνολογία επεξεργασίας οπωροκηπευτικών. Εκδόσεις Art of Text.

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. and Smith, M., 1998. Crop Evapotranspiration: Guidelines for

computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No 56, FAO, Rome.

Goose, P.G. and Binsted, R. 1964. Tomato Paste, Puree, Juice and Powder, 1st ed Great Britain: Food Trade Press Ltd.

Rinaldi M., G. Trotta, G. Convertini, A.V. Vonella and A. Elia, 2003. Impiego su pomodoro da industria di fertilizzanti azotati alternativi L'Informatore Agrario, **11** pp 75–78.

Stevens M. A., Rick C.M. 1986. Genetics and breeding In: Atherton J.G and Rudich J. (Editors) The Tomato Crop Chapman and Hall New York pp 35-109.

United States Department of Agriculture (USDA) 1997. Agricultural Marketing Service. Fruit and Vegetable Division. Fresh Products Branch. United States Standards for Grades of Fresh Tomatoes. Effective October 1, 1991 (Reprinted - January 1997).

Πρακτικά συνεδρίων

Καλφούντζος Δ., Γκουγκουλιάς Ν., Παπαϊωάννου Χ., Βύρλας Π., Κόκκορα Μ., Κουτσιανόπουλος Ε. και Μάντζιος Ν. 2012. Σχέση λίπανσης και ποιοτικών χαρακτηριστικών βιομηχανικής τομάτας. 1^ο Περιβαλλοντικό Συνέδριο Θεσσαλίας, Σκιάθος.

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΜΕ ΤΗΝ ΒΟΗΘΕΙΑ ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ

Κάργας Γ., Κερκίδης Π.

Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργ. Μηχανικής

Τομέας Διαχείρισης Υδατικών Πόρων, Ιερά Οδός 75, 118 55 Αθήνα

kargas@aua.gr

Ο προσδιορισμός της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδαφικού διαλύματος (σ_p) μπορεί να γίνει με άμεσες και έμμεσες μεθόδους. Στις άμεσες μεθόδους περιλαμβάνεται η μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας εκχυλίσματος το οποίο λαμβάνεται από πάντα κορεσμένου εδάφους ή από κάποια αναλογία μείγματος εδάφους/νερού. Οι έμμεσες μέθοδοι προσδιορισμού της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδαφικού διαλύματος βασίζονται στην μέτρηση της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας (σ_b) του εδάφους. Η σ_b αποτελεί την συνολική αγωγιμότητα του εδάφους και είναι συνάρτηση της σ_p , της εδαφικής υγρασίας (θ), της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των στερεών συστατικών (σ_s) και της υψής του εδάφους. Η μέτρηση της σ_b μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους αλλά σήμερα κυρίως γίνεται με την βοήθεια διηλεκτρικών αισθητήρων, οι οποίοι επιτρέπουν την ταυτόχρονη μέτρηση της διηλεκτρικής σταθεράς (ϵ_r) και της σ_b στον ίδιο εδαφικό όγκο. Η σχέση μεταξύ της σ_b και της σ_p έχει διερευνηθεί από τα μέσα της προηγούμενης εκατονταετίας και έχουν προταθεί μοντέλα που στηρίζονται σε διαφορετικές υποθέσεις. Στην παρούσα εργασία συγκρίνονται δύο διαφορετικές μέθοδοι προσδιορισμού της σχέσης σ_b και σ_p . Η εμπειρική εξίσωση του Archie (1942) και το γραμμικό μοντέλο (Hilhorst, 2000) βασισμένο σε δεδομένα της σ_b από την διηλεκτρική συσκευή WET. Η αξιολόγηση των μεθόδων έγινε σε τρία πορώδη μέσα (αμμώδεις, αμμοπηλώδεις, αργιλοπηλώδεις) και σε τρία διαφορετικά επίπεδα αλατότητας ($\sigma_p=1.20, 3.4$ και 6 dS/m). Από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι στο αμμώδες μέσο το μοντέλο του Archie δίνει πολύ καλά αποτελέσματα σε όλα τα επίπεδα EC για $\theta > 0.2$ cm³/cm³. Το γραμμικό μοντέλο δίνει καλά αποτελέσματα μόνο στην EC=1.2 dS/m ενώ υποεκτιμά σοβαρά την σ_p στις μεγαλύτερες τιμές EC. Στο αμμοπηλώδες μέσο το μοντέλο του Archie υπερεκτιμά την σ_p για EC=1.2 dS/m και δίνει αποδεκτά αποτελέσματα για τις μεγαλύτερες τιμές. Το γραμμικό μοντέλο υποεκτιμά την σ_p εκτός από την EC=1.2 dS/m. Στο αργιλοπηλώδες μέσο και τα δύο μοντέλα αποτυγχάνουν σε όλα τα επίπεδα EC εκτός από το μοντέλο του Archie στην EC=6 dS/m.

Λέξεις-κλειδιά: Ηλεκτρική αγωγιμότητα, διηλεκτρική σταθερά, γραμμικό μοντέλο.

SOIL SALINITY DETERMINATION WITH DIELECTRIC SENSORS

Kargas G. and P. Kerkides

Agricultural University of Athens

Sector of water resources management

kargas@aua.gr

The soil pore water electrical conductivity (σ_p) determination could be achieved by direct or indirect methods. In the first category the electrical conductivity is measured in the soil water extract from saturated paste or from various soil/water ratios. The indirect methods determined σ_p through the measurement of bulk soil electrical conductivity (σ_b). σ_b represents the overall electrical conductivity of the soil and as such is a function of σ_p , the volumetric soil moisture (θ), the solid surface conductivity (σ_s) and depends also on the soil type. σ_b measurement can be obtained by a variety of methods. Nowadays, dielectric sensors allow the simultaneous determination of the relative dielectric constant of the soil (ϵ_r) and σ_b at the same soil volume. The σ_b - σ_p relationship has been investigated 1/2 century before and a number of conceptual empirical models have been proposed. In the present work two different such models are investigated. These are, the empirical model of Archie (1942) as it has been modified by Keller (1964) and the linear model of Hilhorst (2000), based on the σ_b measurements, as these are obtained by the WET dielectric sensor. The comparative evaluation has been performed in three different soils (sand (S), sandy loam (SL) and clay (C) for three different salinity levels ($\sigma_p=1.2, 3.4$ and 6 dS/m). From the results it is shown that Archie's model performs very satisfactorily in the S for all salinity levels and $\theta > 0.2$ cm³/cm³. The Hilhorst model gives good results only for value 1.2 dS/m, while it underestimates σ_p in larger values. For the SL soil, Archie's model overestimates σ_p for value 1.2 dS/m and gives satisfactory results for larger values. The Hilhorst model underestimate σ_p except for the value 1.2 dS/m. For the C soil both models fail in all σ_p levels except the model of Archie for the largest σ_p value.

Key words: Electrical conductivity, linear model, dielectric constant

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εδαφική αλατότητα αποτελεί σημαντικό παράγοντα που επηρεάζει την ανάπτυξη και την παραγωγή των καλλιεργειών. Η συνηθισμένη

διαδικασία για την άμεση εκτίμηση της εδαφικής αλατότητας είναι η λήψη εδαφικών δειγμάτων, η δημιουργία κορεσμένης εδαφικής πάστας, η λήψη του εκχυλίσματος κορεσμού και η μέτρηση της

ηλεκτρικής αγωγιμότητας αυτού (U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954). Όμως, η μέθοδος αυτή είναι κοπιαστική και χρονοβόρα όταν πρόκειται για μεγάλο αριθμό δειγμάτων. Επιπλέον, τα δείγματα πρέπει να μεταφερθούν στο εργαστήριο για να μετρηθεί η ηλεκτρική αγωγιμότητά τους και να εκτιμηθεί η αλατότητα. Επίσης και άλλες μεθοδολογίες προσδιορισμού που στηρίζονται στην απευθείας απόκτηση εκχυλίσματος του εδαφικού διαλύματος στον αγρό είναι πολύ δύσκολο να εφαρμοστούν, κυρίως γιατί απαιτούν ιδιαίτερο εξοπλισμό αλλά και γιατί η υγρασία του εδάφους πρέπει να είναι υψηλή για την απόκτηση ικανής ποσότητας διαλύματος για τον προσδιορισμό της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (σ_p).

Για το ξεπέρασμα αυτής της δυσκολίας προσδιορισμού της σ_p αναπτύχθηκαν έμμεσες μέθοδοι προσδιορισμού της από την φαινόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα (σ_b). Η σ_b αποτελεί ένα μέτρο της αγωγιμότητας του εδάφους διαμέσου τριών συνιστωσών, της υγρής, της στερεάς και της αλληλεπίδρασης της στερεάς και της υγρής φάσης. Η αέρια φάση δεν συμβάλει στη αγωγιμότητα και αγνοείται. Η σ_b εξαρτάται από τη σ_p , την κατ' όγκο υγρασία θ και τα χαρακτηριστικά του εδάφους. Για την μέτρηση της σ_b μέχρι πριν 25 χρόνια περίπου χρησιμοποιείτο η μέθοδος της ηλεκτρικής αντίστασης με δύο εκδοχές, την συσκευή Wenner και την μέθοδο των τεσσάρων ηλεκτροδίων (Corwin and Hendrickx, 2002; Corwin, 2002). Η ανάπτυξη της μεθόδου TDR (Time Domain Reflectometry) η οποία παρέχει τη δυνατότητα για αυτόματες και επί τόπου μετρήσεις ταυτόχρονα και στον ίδιο εδαφικό όγκο της σ_b και της θ συνέβαλε σημαντικά στη χρονική ανάλυση της συγκέντρωσης και της κίνησης των αλάτων στην εδαφική κατατομή και διευκόλυνε σημαντικά την όλη διαδικασία μέτρησης της σ_b .

Παρόλα αυτά, η εκτίμηση της συγκέντρωσης των αλάτων από τη σ_b απαιτεί είτε καθορισμό σχέσης που να συνδέει απευθείας τη σ_b και τη συγκέντρωση των αλάτων είτε ένα ενδιάμεσο βήμα ώστε η συγκέντρωση να μπορεί να καθοριστεί από την ηλεκτρική αγωγιμότητα σ_p του νερού του εδαφικού πορώδους, (Amente et. al., 2000).

Έχουν προταθεί διάφορα μοντέλα για τη συσχέτιση της σ_b και της σ_p (Archie (1942); Rhoades et. al., 1976; Rhoades et. al., 1989; Muallem and Friedman 1991; Malicki et. al., 1994; Malicki and Walczak 1999; Hilhorst 2000; Amente et. al., 2000). Ο Hilhorst (2000) παρουσίασε ένα γραμμικό μοντέλο που συνδέει τη διηλεκτρική σταθερά (ϵ) του εδάφους με τη σ_b και τη σ_p . Ο Persson (2002), χρησιμοποιώντας μετρήσεις TDR, έδειξε ότι πράγματι η συνάρτηση $\epsilon = f(\sigma_b)$ είναι γραμμική, αλλά η μέση κλίση ήταν μικρότερη από ότι αναμενόταν. Οι Hamed et. al., (2003) συνέκριναν το γραμμικό μοντέλο και το μοντέλο Rhoades et. al., (1976) με μετρήσεις των συσκευών Sigma Probe και TDR, καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι, αν και η σχέση $\epsilon - \sigma_b$ ήταν γραμμική, το γραμμικό μοντέλο δε δίνει ικανοποιητικές προβλέψεις της σ_p . Οι Regalado et. al., (2007) έδειξαν ότι οι τιμές της σ_b που

υπολογίστηκαν από τη συσκευή WET και από τη TDR συμπίπτουν, ενώ η σχέση $\epsilon - \sigma_b$ ήταν γραμμική για δύο εδαφικούς τύπους. Όμως, το μοντέλο Hilhorst (2000) απέτυχε να προβλέψει τη σ_p και με τα δεδομένα των δύο συσκευών. Οι Kargas & Kerkides (2010), χρησιμοποιώντας μετρήσεις από τον WET έδειξαν ότι το γραμμικό μοντέλο μπορεί να προβλέψει τη σ_p με κάποια ακρίβεια στα χονδρόκοκκα πορώδη μέσα. Επίσης οι Kargas & Kerkides (2012) σύγκριναν το γραμμικό μοντέλο με το μοντέλο του Rhoades (1976), αξιοποιώντας δεδομένα δύο διηλεκτρικών συσκευών. Το μοντέλο Rhoades et.al., (1976) αποδείχτηκε πιο αξιόπιστο δίνοντας καλύτερα αποτελέσματα και με τις δύο συσκευές σε διαφορετικά εδάφη και επίπεδα αλατότητας.

Στόχος αυτής της μελέτης είναι η σύγκριση των μοντέλων Archie (1942) και Hilhorst ως προς την πρόβλεψη της σ_p .

2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΕΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ

2.1. Μοντέλο του Archie (1942)

Η σχέση μεταξύ της σ_p και της σ_b διερευνήθηκε από τα μέσα του προηγούμενου αιώνα. Η πιο γνωστή σχέση είναι η εμπειρική εξίσωση του Archie's η οποία προτάθηκε κυρίως για αμμώδη εδάφη.

$$\sigma_b = a \sigma_p \phi^m \quad (1)$$

όπου a και m είναι εμπειρικοί παράμετροι και ϕ το πορώδες. Για τις άμμους με πορώδες από 0.25 έως 0.45 cm³/cm³ οι τιμές των παραμέτρων a και m είναι 0.88 και 1.37 αντίστοιχα (Keller, 1994). Για την ακόρεστη κατάσταση η παραπάνω εξίσωση (1) παίρνει την μορφή (Keller, 1994)

$$\sigma_b = a \sigma_p S^n \phi^m \quad (2)$$

όπου S είναι το ποσοστό κορεσμού. Η εμπειρική παράμετρος n παίρνει την τιμή 2 η οποία απεικονίζει την μεγάλη μείωση της σ_b με την μείωση της θ . Διάφοροι ερευνητές αναφέρουν ότι στην περίπτωση πορώδων μέσων τα οποία περιέχουν άργιλο οι γραμμικές εξισώσεις (1) και (2) οδηγούν σε υπερεκτίμηση της σ_p . Αυτό προφανώς θα οφείλεται στο ότι στην περίπτωση αυτή υπάρχουν και άλλοι παράγοντες (προσροφημένα ιόντα στις επιφάνειες των αργιλικών ορυκτών) εκτός της υγρής φάσης του διαλύματος οι οποίοι συμβάλουν στην αύξηση της σ_b και συνεπώς της σ_p .

2.2. Γραμμικό μοντέλο του Hilhorst (2000)

Ο Hilhorst (2000), στηριζόμενος στις εργασίες των Malicki et. al., (1994) και Malicki & Walczak (1999), σύμφωνα με τις οποίες η σ_b κι η ϵ σχετίζονται σε μεγάλο βαθμό γραμμικά για ένα ευρύ φάσμα εδαφικών τύπων, παρουσίασε μία σχέση των

$\sigma_p - \sigma_b - \varepsilon$. Η σχέση $\sigma_p = f(\sigma_b; \varepsilon)$ είναι:

$$\sigma_p = \frac{\varepsilon_p}{\varepsilon - \varepsilon_0} \sigma_b \quad (3)$$

όπου ε_p είναι η διηλεκτρική σταθερά του εδαφικού νερού, που μπορεί να υποτεθεί ότι είναι ίση με αυτή του νερού ($\varepsilon_p = 80$), και ε_0 είναι η τιμή της ε όταν $\sigma_b = 0$. Κατ' αυτό τον τρόπο η (3) μπορεί να λυθεί ως προς $\varepsilon = f(\sigma_b; \sigma_p)$

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_p}{\sigma_p} \sigma_b + \varepsilon_0 \quad (4)$$

και έτσι $\frac{\partial \varepsilon}{\partial \sigma_b} = \frac{\varepsilon_p}{\sigma_p}$

όπου η κλίση είναι αντιστρόφως ανάλογη της σ_p του εδαφικού νερού. Από τη γραμμική σχέση $\varepsilon = f(\sigma_b)$, μπορεί να βρεθεί η κλίση $\partial \varepsilon / \partial \sigma_b$ και ο σταθερός όρος (ε_0).

Ο Hilhorst βρήκε ότι η ε_0 παίρνει τιμές από 1.9 ως 7.6. Αν και η ε_0 μπορεί να βρεθεί πειραματικά για κάθε εδαφικό τύπο, προτάθηκε ως αντιπροσωπευτική τιμή για όλους τους τύπους εδαφών η τιμή 4.1. Η (3) μπορεί να εφαρμοστεί στις περιπτώσεις όπου $\theta > 0.1 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$. Το μοντέλο του Hilhorst φαίνεται να είναι μια απλουστευμένη ειδική περίπτωση του μοντέλου των Rhoades et. al. (1976), με την έννοια ότι δεν λαμβάνει υπόψη ότι η σ_p μπορεί να επηρεαστεί από την αγωγιμότητα της επιφάνειας των στερεών του εδάφους την οποία θεωρεί 0 (Regalado et. al., 2007).

3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

3.1. Αισθητήρας WET

Πρόκειται για έναν καινούριο διηλεκτρικό αισθητήρα, που εκτιμά τη διηλεκτρική σταθερά με

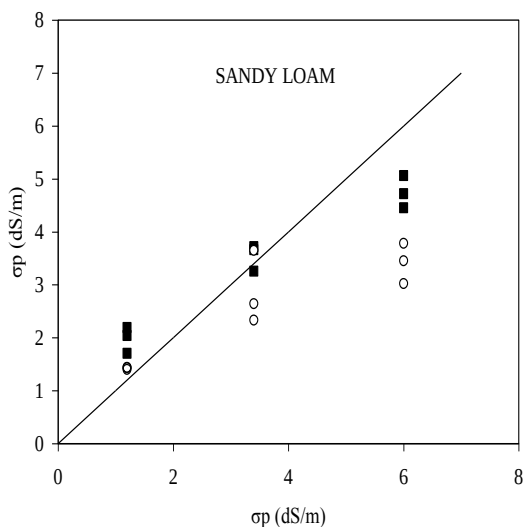
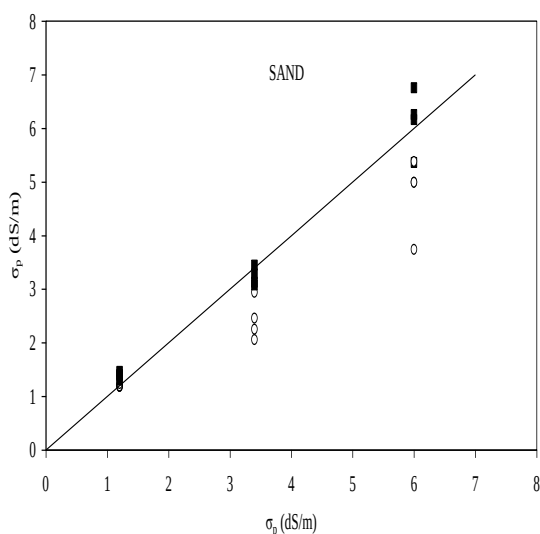
ηλεκτρομαγνητικό κύμα συχνότητας 20MHz. Ο αισθητήρας ανιχνεύει τις μεταβολές στο ηλεκτρομαγνητικό κύμα και στέλνει την πληροφορία αυτή στο μετρητή υγρασίας HH2, με τον οποίο είναι συνδεδεμένος (Delta –T Devices Ltd, 2005). Η ε_0 έχει την προεπιλεγμένη τιμή 4.1. Η σ_p υπολογίζεται από το γραμμικό μοντέλο το οποίο εφαρμόζεται για $\theta > 0.1 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$. Οι προβλέψεις του αισθητήρα WET για την σ_b μπορούν να θεωρηθούν εξίσου καλές με αυτές της μεθόδου TDR, σύμφωνα με τους Regalado et. al., (2007).

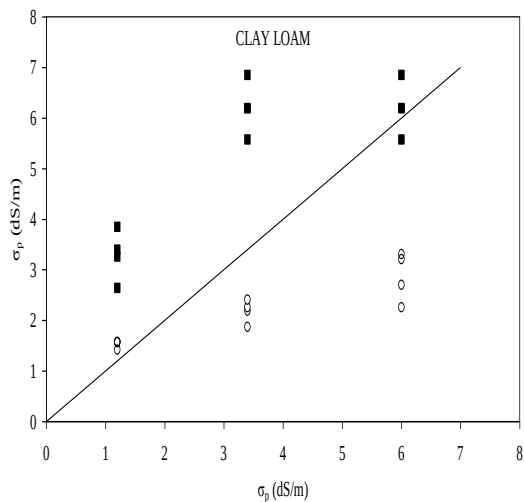
3.2 Μετρήσεις στα εδάφη

Χρησιμοποιήθηκαν τρία πορώδη μέσα (αμμώδες, αμμοπηλώδες και αργιλοπηλώδες έδαφος). Τα πορώδη μέσα ξηράθηκαν σε φούρνο στους 105°C για 24 ώρες. Έπειτα, συσκευάστηκε συγκεκριμένη μάζα κάθε ξηρού πορώδους μέσου σε PVC κατασκευές διαστάσεων 25*15*10 cm, προκειμένου να έχουμε σταθερή φαινόμενη πυκνότητα για το κάθε πορώδες μέσο. Στα ξηρά δείγματα, προστίθετο διάλυμα KCl γνωστής συγκέντρωσης, ώστε να επιτευχθεί η προκαθορισμένη υγρασία, από μηδενική ως σχεδόν τον κορεσμό, με σταθερά βήματα $\Delta\theta = 0.05 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$. Ο αισθητήρας τοποθετήθηκε κάθετα στη μέση του κυλίνδρου. Οι μετρήσεις πάρθηκαν με τη συσκευή ανάγνωσης δεδομένων HH2. Για κάθε τύπο εδάφους και για κάθε επίπεδο υγρασίας και αλατότητας, εκτός από την ε και τη θ , προσδιορίστηκε η σ_b και υπολογίστηκε άμεσα η σ_p με το γραμμικό μοντέλο Hilhorst (2000). Επίσης με τη βοήθεια των δεδομένων των σ_b και θ υπολογίστηκε η σ_p με βάση το μοντέλο του Archie's.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι στην άμμο το μοντέλο Archie δίνει σε όλα τα επίπεδα αλατότητας πολύ καλές προσεγγίσεις με τις πραγματικές τιμές της σ_p για όλες





Σχήμα 1: Σύγκριση μεταξύ των τιμών της σ_p από το μοντέλο Archie και το γραμμικό μοντέλο (κατακόρυφος άξονας) με τις προκαθορισμένες τιμές της σ_b (1.25, 3.4 και 6 dS/m) (οριζόντιος άξονας). Τα αποτελέσματα του μοντέλου Archie παριστάνονται με μαύρα τετράγωνα ενώ του γραμμικού μοντέλου με κύκλο. Η ευθεία αναπαριστά την σχέση 1:1.

τις τιμές θ μεγαλύτερες από 0.2 cm³/cm³. Αφού οι εμπειρικοί συντελεστές του μοντέλου αναφέρονται κυρίως στην άμμο, από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι οι τιμές της σ_b που προσδιορίζονται από τον WET είναι ακριβείς. Στα υπόλοιπα εδάφη φαίνεται ότι το μοντέλο αποτυγχάνει στην χαμηλή αλατότητα (1.2 dS/m) και μάλιστα η απόκλιση είναι αυξανόμενη με την αύξηση της περιεκτικότητας σε άργιλο. Το φαινόμενο αυτό είναι αναμενόμενο αφού στα εδάφη η σ_b δεν προκύπτει μόνο από την αλατότητα του διαλύματος που χορηγείται αλλά και από την συνεισφορά των ιόντων που υπάρχουν στην επιφάνεια των αργίλων. Έτσι λόγω της αυξανόμενης σ_b θα προκύπτει από το μοντέλο και αυξανόμενη σ_p . Προφανώς με την αύξηση της αλατότητας των διαλυμάτων (6 dS/m) η συνεισφορά σαν ποσοστό των επιφανειακών ιόντων θα μειώνεται με αποτέλεσμα η σ_b να καθορίζεται κυρίως από την αλατότητα του διαλύματος. Έτσι το μοντέλο θα προβλέπει γενικά σωστά τις τιμές της σ_p . Ανεξήγητη είναι η αποτυχία του μοντέλου στην αλατότητα 6 dS/m στο αμμοπηλώδες έδαφος.

Το γραμμικό μοντέλο δείχνει να υποεκτιμά την αλατότητα όσο αυξάνεται η αλατότητα του διαλύματος [3.4 και 6 (dS/m)] ενώ δίνει αρκετά ικανοποιητικές τιμές στην μικρότερη τιμή. Αυτό σημαίνει ότι για μικρές τιμές της αλατότητας μπορεί να δώσει ικανοποιητικές προβλέψεις της σ_p ανεξάρτητα από το είδος του εδάφους. Οι προβλέψεις αυτές είναι καλύτερες όσο πιο αμμώδες είναι το έδαφος.

Πρέπει να υπενθυμίζουμε ότι αυτές οι εκτιμήσεις ισχύουν για τιμές θ μεγαλύτερες από 0.20 cm³/cm³. Ο τιμή αυτή της θ δεν είναι ιδιαίτερα περιοριστική αφού στην αρδευόμενη γεωργία οι τιμές της θ είναι συνήθως μεγαλύτερες.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα φαίνεται ότι οι δύο μέθοδοι με δεδομένα από τον αισθητήρα WET μπορούν να αξιοποιηθούν συμπληρωματικά. Για

μικρές τιμές αλατότητας $\sigma_b < 1.2$ dS/m μπορεί να χρησιμοποιηθεί το γραμμικό μοντέλο ενώ για μεγαλύτερες τιμές το μοντέλο του Archie. Στα λεπτόκοκκα εδάφη αν επιζητούμε μεγάλη ακρίβεια είμαστε αναγκασμένοι να καταφύγουμε σε πιο σύνθετα μοντέλα π.χ Rhoades et.al., 1976; Κάργας κ.α. 2012.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα πειραματικά δεδομένα προέκυψε ότι ο αισθητήρας προσεγγίζει σωστά την τιμή της σ_b . Εάν αυτά τα δεδομένα χρησιμοποιηθούν στα μοντέλα του Archie και το γραμμικό τότε προκύπτει ότι όσο πιο πολύ άργιλο περιέχει ένα μέσο τόσο μεγαλύτερη απόκλιση θα εμφανίζεται με το μοντέλο του Archie στις χαμηλές τιμές της σ_p . Αντίθετα στις μεγάλες τιμές της σ_p τα αποτελέσματα μπορεί να είναι αποδεκτά. Αντίθετα το γραμμικό μοντέλο δίνει σχετικά καλά αποτελέσματα στις χαμηλές σ_p ενώ υποεκτιμά σοβαρά στις μεγαλύτερες τιμές. Αποτέλεσμα των παραπάνω είναι η δυνατότητα τα δύο μοντέλα να μπορούν χρησιμοποιηθούν συμπληρωματικά.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

- Amente G, Baker M and C. Reece 2000. Estimation of soil electrical conductivity from bulk soil electrical conductivity in sandy soil. Soil Sci. Soc. Amer. Journal 64:1931-1939.
- Archie G.E.1942. The electric resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics, Trans. Am. Inst. Min. Metall. Pet. Eng. 146:54-62.
- Corwin D 2002. In Methods of soil analysis, Part 4-Physical Methods. Published by Soil Science Society of America, pp1287-1289
- Corwin D.and Hendrickx J. 2002. In Methods of soil analysis, Part 4-Physical Methods. Published by Soil Science Society of America, pp1282-1287.

- Decagon devices, Inc. 2008. Operator's Manual Version 3.
- Delta –T Devices Ltd. 128. Low road Burwell CAMBRIDGE CB5 0EJ. UK. [www:http://www.delta-t.co.uk](http://www.delta-t.co.uk). User manual for the WET sensor (type WET-2),2005.
- Hamed Y, M. Persson and R. Berndtsson, 2003. Soil solution electrical conductivity measurements using different dielectric techniques. *Soil Sci. Soc. Amer. Journal* 67: 1071-1077.
- Hilhorst M.A. 2000. A pore water conductivity sensor. *Soil Sci. Soc. Amer. Journal* 64: 1922-1925.
- Kargas G. and Kerkides p. 2010. Evaluation of a dielectric sensor for measurements of soil water electrical conductivity. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 136(8):553-558.
- Kargas, G., P. Kerkides. 2012. Comparison of two models in predicting pore water electrical conductivity in different porous media. *Geoderma* 189:563-573.
- Keller G.V. 1994. Rock and Mineral properties. In M.N. Nabighian (ed). *Electromagnetic methods in applied geophysics* pp 13-52. In *Theory* vol.1. *Investigation in Geophysics 3*. Society of Exploration Geophysists, Tulsa, OK.
- Malicki M. and R. Walczak, 1999. Evaluating soil salinity status from electrical conductivity and permittivity. *Eur. Journal soil science* 50:505-514.
- Malicki M., Walczak R, Koch S and Fluhler H. 1994. Determining soil salinity from simultaneous readings of its electrical conductivity and permittivity using TDR. In :*Proceedings of the symposium on Time Domain Reflectometry in Environmental, Infrastructure and Mining Applications* (Evanston, Illinois, 7-9 September, 1994),328-336. US Bureau of Mines, special publication SP 19-94, NTIS PB-105789.
- Mualem Y. and S. Friedman, 1991. Theoretical prediction of electrical conductivity in saturated and unsaturated soil. *Water Resour. Res.* 27:2771-2777.
- Persson M., 2002. Evaluating the linear dielectric constant – electrical conductivity model using time domain reflectometry. *Hydrological Sciences* 47: 269-277.
- Regalado C., A. Ritter and R. M. Rodriguez-Gonzalez, 2007. Performance of the commercial WET capacitance sensor as compared with Time domain reflectometry in volcanic soils. *Vadoze zone Journal* 6:244-254.
- Rhoades J, P. Ratts and R. Prather, 1976. Effects of liquid-phase electrical conductivity, water content, and surface conductivity on bulk soil electrical conductivity. *Soil Sci. Soc. Amer. Journal* 40:651-655.
- Rhoades J.D., Manteghi N.A, Shouse P.J., Alves W.J. 1989. Soil electrical conductivity and soil salinity: new formulations and calibrations. *Soil Sci. Soc. Amer. Journal* 53:433-439.
- U.S. Salinity Laboratory Staff. 1954. *Diagnosis and Improvement of saline and alkali soils*. USDA Handb. 60. U.S. Gov. Print. Office, Washington, DC.

Ελληνική βιβλιογραφία

- Κάργας Γ., Χριστοφίδου Δ., Κερκίδης Π. 2012. Σύγκριση δύο μοντέλων πρόβλεψης της αλατότητας του εδαφικού διαλύματος από δεδομένα διηλεκτρικών συσκευών. 2ο Κοινό Συνέδριο ΕΥΕ-ΕΕΔΥΠ, σελ. 858-869, Πάτρα 11-13/10/2012

ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ ΦΩΣΦΟΡΟΥ ΣΕ *LOLIUM PERENNE* L. ΣΕ ΕΔΑΦΗ ΟΞΙΝΑ ΠΟΥ ΕΧΟΥΝ ΒΕΛΤΙΩΘΕΙ ΜΕ ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΑΝΘΡΑΚΙΚΟΥ ΑΣΒΕΣΤΙΟΥ

Β. Αντωνιάδης¹, Π. Μαλέζος², Χ. Χούμος² και Κουτρούμπας, Σ.²

¹Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Οδός Φυτόκου, 384 46, Ν. Ιωνία, Μαγνησία. Email: vasilisrev@yahoo.com.

²Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Τμήμα Αγροτικής Ανάπτυξης, Πανταζίδου 193, 682 00, Ορεστιάδα,

Σε όξινα εδάφη η διαθεσιμότητα του φωσφόρου είναι ιδιαίτερα χαμηλή. Η ασβέστωση του εδάφους εκτός από την αύξηση του pH προκαλεί και αύξηση της κινητικότητας του φωσφόρου, κάτι που συμβαίνει και με γενναίες λιπάνσεις των όξινων εδαφών. Ωστόσο δεν είναι γνωστό ποια από τις δύο πρακτικές (ασβέστωση ή λίπανση) φέρνει καλύτερα και μονιμότερα αποτελέσματα. Για αυτό σε όξινο έδαφος (pH 4,57) έγινε βελτίωση σε pH 6,5, προστέθηκε P και στα εδάφη αυτά καλλιεργήθηκε *Lolium perenne* L. σε γλάστρες. Στην καλλιέργεια έγιναν 3 κοπές (κατά τις Ημέρες 40, 80 και 120) για να αξιολογηθεί η δυναμική του P σε καθεμιά από τις μεταχειρίσεις. Όπως ήταν αναμενόμενο, βρέθηκε ότι η βιομάζα αυξήθηκε σημαντικά με την ασβέστωση. Επίσης βρέθηκε ότι η συγκέντρωση του P στη βιομάζα αυξήθηκε στη μεταχείριση της ασβέστωσης αλλά όχι σε εκείνη της λίπανσης, αν και η διαφορά μετριάστηκε την Ημέρα 120. Αυτό δείχνει ότι σε εδάφη έντονα όξινα είναι προτιμότερη η ασβέστωση, αν και τα ευεργετικά αποτελέσματα της ασβέστωσης διήρκεσαν μόνο 4 μήνες. Ίδια εικόνα παρουσίασαν και οι εκχυλίσες του P στο έδαφος.

Λέξεις κλειδιά: διαθεσιμότητα φωσφόρου, όξινο έδαφος, ασβέστωση.

PHOSPHORUS AVAILABILITY IN *LOLIUM PERENNE* L. IN ACIDIC AND LIMED SOILS

V. Antoniadis¹, P. Maltezos², H. Houmos², and S.D. Koutroubas

¹Laboratory of Soil Science, Department of Agriculture Crop Production and Rural Environment, University of Thessaly, Fytokou Street, N. Ionia, GR-38446, Volos, Greece. antoniadis@uth.gr

²Democritus University of Thrace, Department of Agricultural Development, Pantazidou 193, 682 00, Orestiada, Greece

In acidic soils P availability is very low. Soil liming may increase P mobility, but this increase may also be achieved with generous P fertilizer applications. However, it is not well known which of the two practice have better and longer-term effects. Thus in a pot experiment, an acidic soil (pH 4.57), limed to pH 6.5, was added with P and sown with *Lolium perenne* L. We conducted 3 cuttings (on Days 40, 80 and 120) in order to evaluate P dynamics in each of the treatments. As expected, biomass increased significantly with liming. We also found that plant P concentration increased in the liming treatment, but not in the P-added treatment, although the difference was reduced on Day 120. This shows that in low pH soils, liming should be preferred over P addition, although the beneficial effects may not last for a very long time (in this experiment, they lasted for 4 months). Same conclusions were drawn from P extractions in soil.

Key words: Phosphorus availability, acidic soil, liming.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όξινα εδάφη είναι εκείνα με pH<7, αλλά σοβαρά προβλήματα εμφανίζονται όταν pH<5,5. Όξινα εδάφη δημιουργούνται όταν οι βάσεις του εδάφους (δηλαδή τα ανταλλάξιμα «βασικού χαρακτήρα» κατιόντα Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ και Na⁺) εκπλένονται λόγω υψηλών βροχοπτώσεων ή όταν οξινοποιές δραστηριότητες, φυσικές ή ανθρωπογενείς εισάγουν στο έδαφος περισσότερη οξύτητα από όση αυτό μπορεί να απορροφήσει (Essington, 2004). Σε τέτοια εδάφη τα «οξίνου χαρακτήρα» κατιόντα Al³⁺ και Fe³⁺ έχουν υψηλή ενεργότητα στο εδαφικό διάλυμα, και η διαλυτότητά τους ρυθμίζεται από στερεές κolloειδείς επιφάνειες οξειδίων των στοιχείων αυτών, επειδή τα οξείδια είναι σε υψηλότερη περιεκτικότητα σε όξινα (και άρα περισσότερο αποσασθρωμένα) εδάφη (Igwe et al., 2010). Τα οξείδια Al και Fe δεσμεύουν ικανές ποσότητες P, και άρα σε όξινα εδάφη αναμένουμε

χαμηλή διαθεσιμότητα P (Molina et al., 2012). Η ασβέστωση του εδάφους εκτός από την αύξηση του pH προκαλεί δραστική μείωση των ενεργοτήτων των Fe³⁺ και Al³⁺, και άρα αύξηση της κινητικότητας του φωσφόρου. Αύξηση της κινητικότητας του P μπορεί επίσης να επιτευχθεί σε όξινα εδάφη και με γενναίες και τακτικές P λιπάνσεις (Brady and Weil, 2007). Ωστόσο δεν είναι γνωστό ποια πρακτική από τις δύο (ασβέστωση ή P-λίπανση) φέρνει τα καλύτερα και μονιμότερα αποτελέσματα. Η πρώτη λύση (ασβέστωση) αντιμετωπίζει την «ασθένεια», ενώ η δεύτερη λύση μάλλον το «σύμπτωμα». Σκοπός της εργασίας ήταν να αξιολογηθούν η ασβέστωση και η P-λίπανση ως τρόποι αντιμετώπισης της χαμηλής διαθεσιμότητας P σε ένα όξινο έδαφος σε καλλιέργεια *Lolium perenne* L.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Δείγμα 100 kg όξινου εδάφους ελήφθη από την Λεπτή Έβρου. Αεροξηράνθηκε, πέρασε από κόσκινο 2 mm, κρατήθηκαν 60 kg εδάφους για τις ανάγκες του βιολογικού πειράματος και περίπου 1 kg για τις αναλύσεις χαρακτηρισμού (pH 4,57, άργιλος 12,9%, άμμος 73,7%, υφή πηλοαμμώδης, IAK 15,5 cmol_c kg⁻¹, και οργανικός C 1,18%), σύμφωνα με τον Rowell (1994). Τα 60 kg εδάφους χωρίστηκαν σε δύο μέρη των 30 kg. Το ένα μισό έμεινε ως ήταν, και η μεταχείριση αυτή ονομάζεται στο εξής L0 (χωρίς προσθήκη ασβέστωσης, *lime*). Το δεύτερο μισό αναμίχθηκε με 300 g κοσκινισμένης από κόσκινο 1 mm μαρμαρόσκονης (περιείχε 70% ισοδύναμου καθαρού CaCO₃), προσθήκη που είχε υπολογιστεί σε προηγούμενη εργασία ότι βελτιώνει το pH σε μια τιμή-στόχο ίση με 6,5. Η μεταχείριση αυτή ονομάζεται στο εξής L1. Επίσης παρασκευάστηκαν διαλύματα P1 και P2, ως εξής: Το διάλυμα P1 αποτελούνταν από 0,528 g KH₂PO₄ L⁻¹ και το διάλυμα P2 από 1,056 g KH₂PO₄ L⁻¹. Κατόπιν σε 9 γλάστρες ζυγίστηκαν 3 kg δείγματος L0 και σε άλλες 9 γλάστρες από 3 kg δείγματος L1. Έγιναν οι εξής μεταχειρίσεις:

- L0P0: Χορήγηση μόνο H₂O στο L0
- L0P1: Χορήγηση «διάλυματος P1» στο L0 (αντιστοιχεί με προσθήκη 40 mg P kg⁻¹ εδάφους ή 37 kg P₂O₅ ανά στρέμμα, υπολογισμένο για βάθος ενσωμάτωσης 30 cm και ΦΕΒ = 1,33 g cm⁻³)
- L0P2: Χορήγηση «διάλυματος P2» στο L0 (αντιστοιχεί με προσθήκη 80 mg P kg⁻¹ εδάφους ή 74 kg P₂O₅ ανά στρέμμα)
- L1P0: Χορήγηση μόνο H₂O στο L1
- L1P1: Χορήγηση «διάλυματος P1» στο L1 (προσθήκη P όπως στο L0P1)
- L1P2: Χορήγηση «διάλυματος P2» στο L2 (προσθήκη P όπως στο L0P2)

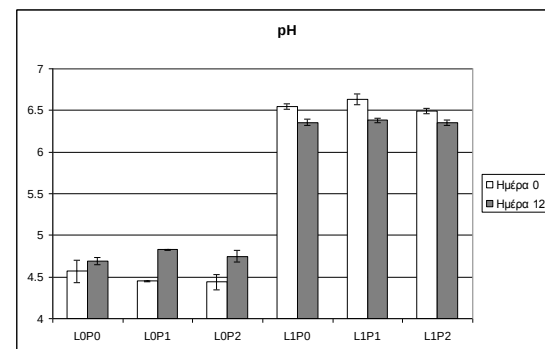
Με τον σχεδιασμό αυτόν είχαμε 18 γλάστρες ως εξής: 2 τιμές pH (L0 και L1) x 3 επίπεδα P (P0, P1 και P2) x 3 επαναλήψεις. Οι γλάστρες διυγράνθηκαν στα 2/3 της εκτιμώμενης υδατοϊκανότητας του συγκεκριμένου εδάφους (για πηλοαμμώδες έδαφος ελήφθη ίση με 25%, άρα τα 2/3 αυτής είναι 17% ή 500 mL H₂O ανά 3 kg εδάφους) με H₂O (στο P0) ή με θρεπτικά διαλύματα (στα P1 και P2), αφέθηκαν να ισορροπήσουν για μία εβδομάδα, και κατόπιν φυτεύθηκαν με 2 g σπόρων *Lolium perenne* ανά γλάστρα. Το πείραμα διήρκεσε 120 ημέρες, από τον Φεβρουάριο έως τον Ιούνιο 2010. Κατά τη διάρκεια του πειράματος οι γλάστρες μετακινούνταν τυχαία μία φορά την εβδομάδα για να αποτραπούν τυχόν επιδράσεις θερμοκρασίας ή σκιασμού μέσα στο θερμοκήπιο. Η υγρασία των γλαστρών διατηρούνταν στο 17% v/w ανά γλάστρα με τακτική ζύγιση των γλαστρών και αναπλήρωση της ποσότητας νερού που είχε εξατμιστεί με απιονισμένο H₂O.

Κατά τη διάρκεια του πειράματος ελήφθησαν εδαφικά δείγματα από 3 διαφορετικά σημεία από τις γλάστρες, τα οποία ενσωματώνονταν σε ένα δείγμα, κατά τις Ημέρες 1 (έναρξη πειράματος που συμπίπτει με την ημέρα της φύτευσης), 40, 80 και 120. Στα

δείγματα (αφού αυτά αεροξηράνθηκαν και κοσκινίστηκαν σε κόσκινο 2 mm) μετρήθηκε ο εκχυλίσματος κατά Olsen P. Επίσης στην αρχή και στο τέλος του πειράματος (Ημέρες 1 και 120 μόνο) μετρήθηκε το pH, για να ελεγχθεί η βελτίωσή του εδάφους. Η υπέργεια βιομάζα της καλλιέργειας συγκομίστηκε με μεταλλικό ψαλίδι σε ύψος 1 cm πάνω από την επιφάνεια του εδάφους κατά τις Ημέρες 40, 80 και 120. Μετά τις Ημέρες 40 και 80 η βιομάζα αφήνονταν να αναπτυχθεί εκ νέου. Τα φυτικά δείγματα πλένονταν με απιονισμένο νερό, τοποθετούνταν σε χάρτινες προζυγισμένες σακούλες σε φούρνο με θερμοκρασία 70 °C μέχρι την μη περαιτέρω μείωση του βάρους τους, ζυγίζονταν για την εκτίμηση της ξηρής υπέργειας βιομάζας, εκχυλίζονταν με τη μέθοδο dry ashing κατά Jones *et al.* (1990) (εν συντομία, 0,5 g φυτικού υλικού αποτεφρώνονταν στους 500 °C για 5 ώρες και η τέφρα παραλαμβάνονταν με 20 mL 20% HCl σε ογκομετρική φιάλη των 50 mL) και μετριούνταν για την περιεκτικότητά τους σε P.

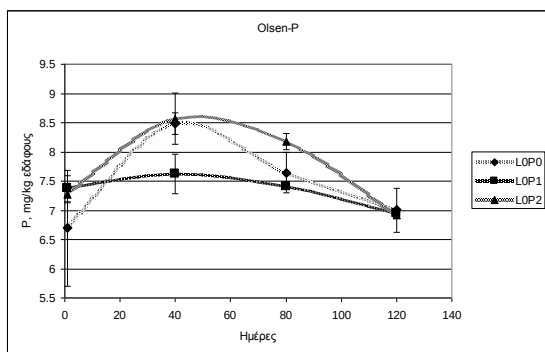
Τα δεδομένα αναλύθηκαν στατιστικά με ANOVA και οι ελάχιστες σημαντικές διαφορές (LSD) μεταξύ μέσων όρων υπολογίστηκαν για επίπεδο σημαντικότητα μεγαλύτερο του 95% ($p < 0.05$) με το στατιστικό πακέτο Statgraphics 2.1.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

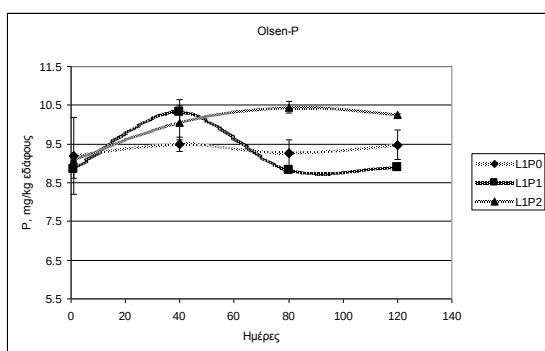


Σχήμα 1. Το pH των εδαφικών δειγμάτων.

Το pH των εδαφών βελτιώθηκε με επιτυχία με την προσθήκη του υλικού ασβέστωσης στην τιμή – στόχο του pH 6,5 στην μεταχείριση L1 (Σχήμα 1). Ωστόσο στην μέτρηση που έγινε για λόγους ελέγχου στο τέλος του πειράματος, την Ημέρα 120, βρέθηκε ότι το pH μεταχείρισης L1 μειώθηκε σημαντικά, κατά ένα σταθερό βαθμό και στις 3 μεταχειρίσεις του L1. Αυτό ήταν κάτι αναμενόμενο καθώς τα όξινα εδάφη μετά την αρχική βελτίωσή τους με τα υλικά ασβέστωσης, σημειώνουν μια βαθμιαία μείωση του pH, η οποία θα επανέλθει στην αρχική όξινη τιμή μετά την παρέλευση κάποιων μηνών ή ίσως και ετών. Το χρονικό διάστημα που θα χρειαστεί για να υποβιβαστεί το pH εξαρτάται από τη ρυθμιστική ικανότητα του εδάφους, η οποία με τη σειρά της εξαρτάται ευθέως ανάλογα από την περιεκτικότητα σε άργιλο (da Silva *et al.*, 2008). Στο δικό μας πείραμα, όπου η περιεκτικότητα σε άργιλο είναι χαμηλή (12,9%), φαίνεται ότι η ρυθμιστική ικανότητα του εδάφους είναι τόσο μικρή ώστε η μείωση του pH να γίνεται ορατή και μετρήσιμη ακόμα και 4 μήνες



Σχήμα 2. Η δυναμική του εκχυλίσμου P κατά Olsen κατά τη διάρκεια του πειράματος (Ημέρες 0 έως 120) στις μεταχειρίσεις των L0 (όξινο έδαφος).

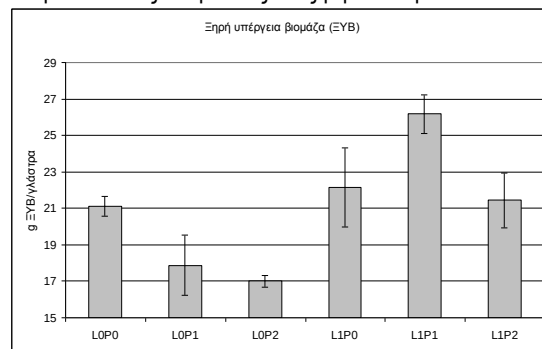


Σχήμα 3. Η δυναμική του εκχυλίσμου P κατά Olsen κατά τη διάρκεια του πειράματος (Ημέρες 0 έως 120) στις μεταχειρίσεις των L1 (βελτιωμένο έδαφος).

μετά τη βελτίωσή του. Σε αντίθεση με τις μεταχειρίσεις του L1, εκείνες του LOP1 και LOP2 σημείωσαν σημαντική αύξηση ως προς το pH με το χρόνο. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε αυτές τις μεταχειρίσεις προστέθηκε και K. Άρα η αύξηση του pH είναι πιθανό να οφείλεται σε αυτό το βασικού χαρακτήρα κατίον, το οποίο αυξάνει το βαθμό κορεσμού σε βάσεις του εδάφους, και άρα και το pH του. Είναι χαρακτηριστικό ότι στο L1P0 τέτοια αύξηση δεν παρατηρήθηκε (η τιμή pH παρέμεινε σταθερή την Ημέρα 120 σε σχέση με αυτήν της Ημέρας 1), λόγω της μη προσθήκης K.

Όσο αφορά την εκχύλιση P στο έδαφος (κατά Olsen), φαίνεται ότι οι τιμές είναι από 6,5 έως 7,5 mg kg⁻¹ στα όξινα εδάφη, χωρίς σημαντική τάση επιπλέον αύξησης με την προσθήκη P (δηλαδή οι μεταχειρίσεις LOP0, LOP1 και LOP2 δεν φαίνεται να διαφέρουν σημαντικά, Σχήμα 2). Ωστόσο, στα βελτιωμένα εδάφη ο εκχυλίσμος P είναι σημαντικά αυξημένος σε σχέση με τα όξινα (με τιμές από 8,5 έως 9,5 mg kg⁻¹). Αυτό δείχνει τη σημαντική επίδραση της ασβέστωσης του εδάφους, η οποία από μόνη της, χωρίς την επιπλέον προσθήκη P αυξάνει την εκχυλισσιμότητα του P από το έδαφος. Όπως και στο L0, οι 3 μεταχειρίσεις του L1 δεν διέφεραν σημαντικά. Η μη αύξηση του εκχυλίσμου P, παρόλη την προσθήκη γενναιών ποσοτήτων P (37 λιπαντικές μονάδες φωσφόρου ανά στρέμμα στο P1 και 74 στο P2), είναι κάτι που δεν το αναμέναμε, και ενδέχεται να οφείλεται στην κυριαρχία των οξειδίων

του Fe και του Al στα εδάφη, τα οποία τείνουν να δεσμεύουν στις επιφάνειές τους μη αντιστρεπτά το P



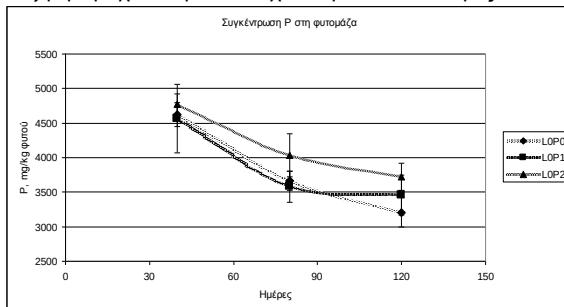
Σχήμα 4. Αθροιστικό βάρος (σε g ανά γλάστρα) ξηρής υπέργειας βιομάζας που συγκομίστηκε κατά τη διάρκεια του πειράματος (κατά τις Ημέρες 40, 80 και 120).

(Alleoni et al., 2012). Από ό,τι φαίνεται, ακόμα και στα βελτιωμένα εδάφη, τα οξείδια απορρόφησαν σε πολύ μεγάλο βαθμό την προσθήκη P, έτσι ώστε να μην εκδηλωθεί αύξηση της εκχυλισσιμότητας του P. Η δυναμική του εκχυλίσμου P στο έδαφος στις μεταχειρίσεις του L0 δείχνει ότι το έδαφος «αντέδρασε» στην προσθήκη P 40 ημέρες μετά την προσθήκη του (γιατί η Ημέρα 40 είναι σημαντικά αυξημένη σε σχέση με την Ημέρα 1), αλλά ότι κατόπιν οι τιμές μειώθηκαν και εξισώθηκαν με τον μάρτυρα (LOP0, Σχήμα 2). Αυτό σημαίνει ότι προσθήκη P ακόμα και σε εξαιρετικά μεγάλες συγκεντρώσεις σε όξινο έδαφος ενδέχεται να μην έχει τα αναμενόμενα αποτελέσματα, αν υπάρχουν άλλοι σημαντικοί εδαφικοί λόγοι που δρουν περιοριστικά (εδώ, οι επιφάνειες των οξειδίων στο όξινο έδαφος). Στις μεταχειρίσεις του L1, το L1P2 κρατήθηκε υψηλά, σε τιμές σημαντικά μεγαλύτερες από εκείνες των L1P0 και L1P1 (Σχήμα 3), κάτι που καταδεικνύει την αναγκαιότητα βελτίωσης των δυσμενών συνθηκών ενός εδάφους (εδώ του όξινου χαρακτήρα του) πριν προβούμε σε βελτίωση του επιπέδου της γονιμότητά του.

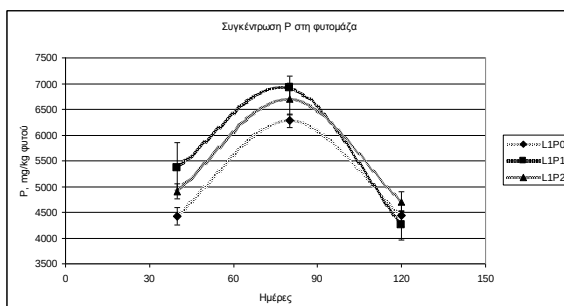
Με την προσθήκη υλικού ασβέστωσης η καλλιέργεια αύξησε την παραγωγικότητά της (ξηρή υπέργεια βιομάζα), αλλά, αντίθετα, η προσθήκη P δεν είχε καμία επιπλέον θετική επίδραση (Σχήμα 4). Σε αντίθεση με αυτό, φαίνεται ότι η προσθήκη μείωση σημαντικά την βιομάζα. Ίσως αυτό να οφείλεται σε αύξηση της αλατότητας των μιγμάτων λόγω της προσθήκης ιδιαίτερα υψηλών συγκεντρώσεων P και K με τη μορφή του ανόργανου άλατος KH₂PO₄.

Η συγκέντρωση P στη φυτομάζα επηρεάστηκε σημαντικά από την βελτίωση του εδάφους με υλικό ασβέστωσης, και όχι τόσο πολύ από την προσθήκη P, κάτι που φαίνεται στις 2 πρώτες κοπές της βιομάζας (Ημέρες 40 και 80, Σχήματα 5 και 6). Στην τελευταία κοπή της Ημέρας 120, φαίνονται κάποιες διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων προσθήκης κλιμακούμενων δόσεων P, αλλά είναι φανερό ότι πολύ πιο δραματική διαφορά είναι εκείνη μεταξύ όξινου και βελτιωμένου εδάφους (προσέξτε τη διαφορά της κλίμακας των αξόνων γ στα Σχήματα 5

και 6). Αυτό, όπως φάνηκε και πιο πάνω στη συζήτηση σχετικά με τον εκχυλίσμο P στο έδαφος,



Σχήμα 5. Η δυναμική της συγκέντρωσης φωσφόρου στην φυτομάζα κατά τη διάρκεια του πειράματος (Ημέρα 0 έως 120) για τις μεταχειρίσεις των L0 (όξινο έδαφος).

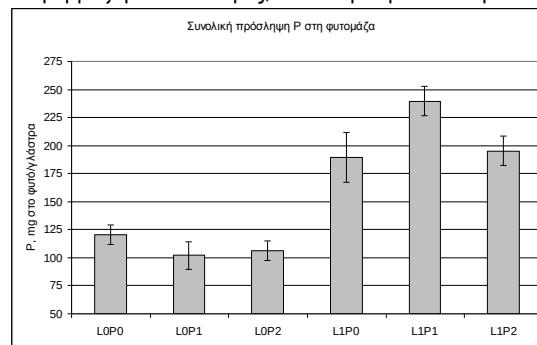


Σχήμα 6. Η δυναμική της συγκέντρωσης φωσφόρου στην φυτομάζα κατά τη διάρκεια του πειράματος (Ημέρα 0 έως 120) για τις μεταχειρίσεις των L1 (βελτιωμένο έδαφος).

καταδεικνύει την αναγκαιότητα βελτίωσης του εδάφους όταν πρόκειται για ισχυρά όξινο (όπως αυτό που μελετήσαμε εδώ) πριν γίνει προσπάθεια βελτίωσης του επιπέδου της γονιμότητάς του. Στην καταγραφή της δυναμικής του P της φυτομάζας με το χρόνο φαίνεται η τάση μείωσης με το χρόνο στη μεταχείριση L0, πιθανόν λόγω της ελάττωσης της δεξαμενής του διαθέσιμου P, εξαιτίας της ισχυρής του δέσμευσης από τα οξείδια του εδάφους που συζητήθηκε παραπάνω. Στην μεταχείριση L1 διαγράφεται παρόμοια εικόνα μείωσης της συγκέντρωσης P στη φυτομάζα στο τέλος του πειράματος, αφού όμως κατά την Ημέρα 80 παρατηρείται μια σημαντική αύξηση. Αυτή η αύξηση ενδέχεται να οφείλεται στην εξισορρόπηση των μιγμάτων στις γλάστρες (η οποία φαίνεται ότι πραγματοποιήθηκε μεταξύ πρώτης και δεύτερης κοπής) και στην βελτίωση των αγρονομικών συνθηκών ανάπτυξης της καλλιέργειας που ήταν αποτέλεσμα αυτής.

Η συνολική πρόσληψη P από τη φυτομάζα (που ισούται με τη συγκέντρωση του P στη φυτομάζα x την απόδοση της φυτομάζας ανά γλάστρα) και στις 3 κοπές της φαίνεται στο Σχήμα 7. Εκεί παρατηρούμε ότι η πρόσληψη ήταν κατά πολύ μεγαλύτερη στο βελτιωμένο έδαφος σε σχέση με το όξινο, κάτι που δείχνει την κεφαλαιώδη σημασία της βελτίωσης του pH του εδάφους πριν γίνει προσπάθεια βελτίωσης της παραγωγικότητάς του με προσθήκη λιπασμάτων. Επίσης στον Πίνακα 1 φαίνεται ότι η απόδοση

πρόσληψης μειώθηκε με την προσθήκη P, κάτι που ήταν μάλλον αναμενόμενο, δηλαδή όσο περισσότερο P εφαρμόζαμε στο έδαφος, τόσο λιγότερο αναλογικά



Σχήμα 7. Συνολική πρόσληψη P από τη φυτομάζα (σε mg P/γλάστρα) στην διάρκεια του πειράματος. Για σύγκριση, η προσθήκη P που έγινε στην αρχή του πειράματος ήταν 0 στην μεταχείριση P0, 120 mg P/γλάστρα στην μεταχείριση P1, και 240 mg P/γλάστρα στην μεταχείριση P2.

παρέλαβε η καλλιέργεια. Αυτό είναι κάτι που φαίνεται παραστατικά και στον L1 στο P2 η απόδοση πρόσληψης ήταν 31% ενώ στο P1 ήταν 99% (δηλαδή η καλλιέργεια αξιοποίησε σχεδόν όλο το προστιθέμενο από εδάφους P). Είναι πάντως χαρακτηριστικό ότι στις μεταχειρίσεις L0 η απόδοση πρόσληψης P είναι αρνητική, κάτι που σημαίνει ότι η καλλιέργεια πήρε πολύ περισσότερο P από ό,τι η ποσότητα που προστέθηκε, μια ανακολουθία που δεν παρατηρείται συνήθως στη βιβλιογραφία, και ενδέχεται να οφείλεται στην μείωση της βιομάζας, όπως αυτή καταγράφηκε στο Σχήμα 4.

Πίνακας 1. Αποδοτικότητα πρόσληψης (ΑΠ) P από την καλλιέργεια ως ποσοστό % της προστιθέμενης ποσότητας θρεπτικών στο πείραμα.

	Πρόσληψη P ^α mg/γλάστρα	Προσθήκη P ^β mg/γλάστρα	ΑΠ P ^γ %
L0P0	120	0	-
L0P1	102	120	-15%
L0P2	106	240	-6%
L1P0	190	0	-
L1P1	239	120	99%
L1P2	195	240	31%

α: Η συνολική πρόσληψη P και στις τρεις συγκομιδές του *L. perenne* L. β: Η προσθήκη P όπως φαίνεται στα Υλικά και Μέθοδοι. γ: % Αποδοτικότητα Πρόσληψης θρεπτικού = (Πρόσληψη θρεπτικού στη μεταχείριση - Πρόσληψη θρεπτικού στο μάρτυρα L0P0) / (Προσθήκη θρεπτικού στη μεταχείριση - Προσθήκη θρεπτικού στο μάρτυρα L0P0).

Για την πληρέστερη ερμηνεία των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκαν συσχετίσεις μεταξύ παραμέτρων του πειράματος που ήταν ενδεχόμενο να επηρεάζουν το ένα το άλλο. Από τις συσχετίσεις αυτές φαίνεται ότι η συγκέντρωση P στο φυτό έχει πολύ σημαντική σχέση ($r=0,555$, $p<0,001$) με τον εκχυλίσμο P στο έδαφος, αλλά δεν υπήρχε σημαντική σχέση μεταξύ P στο έδαφος και πρόσληψης P από τη βιομάζα, ενδεχομένως επειδή

στην πρόσληψη της βιομάζας υπεισέρχεται και η απόδοση της βιομάζας, για την οποία συζητήθηκε παραπάνω ότι δεν ακολούθησε την τάση της αύξησης που αναμένονταν. Όπως αναμένονταν με βάση την παραπάνω συζήτηση, ο P του εδάφους συσχετίστηκε σημαντικά ($r=0,791$, $p<0,001$) με το pH, όπως με το pH σε μεγάλο βαθμό σημαντικότητας ($r=0,828$, $p<0,001$) και η συγκέντρωση του P στο φυτό, όπως και η πρόσληψη του P από το φυτό ($r=0,877$, $p<0,001$). Η συσχέτιση μεταξύ απόδοσης ξηρής υπέργειας βιομάζας και P στο έδαφος δεν ήταν σημαντική, όπως διαφάνηκε και παραπάνω, ενώ η σχέση μεταξύ βιομάζας και συγκέντρωσης P στο φυτό ήταν σημαντική ($r=0,373$, $p<0,05$), όπως επίσης και βιομάζας και πρόσληψης P ($r=0,926$, $p<0,001$), κάτι που σημαίνει ότι αυξήθηκε με την αύξηση της συγκέντρωσης του θρεπτικού στην καλλιέργεια. Αυτό είναι κάτι που ήταν μάλλον αναμενόμενο (Zhang et al., 2013). Με την ανάλυση αυτή γίνεται επίσης σαφές ότι η βελτίωση του pH του εδάφους επηρέασε θετικά την ξηρή υπέργεια βιομάζα, καθώς οι 2 παράμετροι συσχετίστηκαν σημαντικά ($r=0,686$, $p<0,01$).

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Σε ισχυρά όξινα εδάφη έχουμε μεγαλύτερη ωφέλεια όσο αφορά τη δυναμική του P με τη βελτίωση του εδαφικού pH παρά με την προσθήκη P.
- Σε τέτοια εδάφη οι ευεργετικές επιδράσεις και της ασβέστωσης και της προσθήκης P είναι μικρής διάρκειας, καθώς και η διαθεσιμότητα P μειώνεται, και το pH του εδάφους υποχωρεί σημαντικά με το χρόνο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Alleoni, L.R.F., Fernandes, A.R., Correia, B.L. 2012. Sequential extraction of phosphorus in an Oxisol amended with biosolids in a long-term field experiment in Brazil. *Agr. Ecos. Environ.* 161:145-151.
- Brady, N.C., and Weil, R.R. 2007. *The Nature and Properties of Soils*. 14th Edition, CRC Press, Boca Raton, USA.
- da Silva, V., Motta, A.C.V., Melo, V.D., and Lima, V.C. 2008. Soil acidity parameters as related to clay mineralogy. *Revista Brasileira Ciencia Solo* 32:551-559.
- Essington, E.E. 2004. *Soil and Water Chemistry: An Integrative Approach*. CRC Press, Boca Raton, USA.
- Igwe, C.A., Zarei, M., and Stahr, K. 2010. Fe and Al oxides distribution in some ultisols and inceptisols of southeastern Nigeria in relation to soil total phosphorus. *Environ. Earth Sci.* 60:1103-1111.
- Jones, J., Case, J.B., Case, V.W. 1990. Sampling, handling, and analyzing plant tissue samples. In: *Soil Testing and Plant Analysis*, 3rd edition, Madison: SSSA, pp. 389-427.
- Molina, M., Ortega, R. and Escudey, M. 2012. Evaluation of the AB-DTPA multiextractant in Chilean soils of different origin with special regard to available phosphorus. *Arch. Agron. Soil Sci.* 58:789-803.
- Rowell, D.L. 1994. *Soil Science: Methods and Applications*. Prentice Hall, Harlow, UK.
- Zang, B.B., Liu, W.Z., Chang, S.X., and Anyia, A.O. 2013. Phosphorus fertilization and fungal inoculations affected the physiology, phosphorus uptake and growth of spring wheat under rainfed conditions on the Canadian prairies. *J. Agron. Crop Sci.* 119:85-93.

ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΩΝ ΒΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΕΝΟΣ ΙΛΥΟΠΗΛΩΔΟΥΣ ΕΔΑΦΟΥΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΚΑΤΑΚΛΥΣΗ ΚΑΙ ΟΡΥΖΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΣΤΗ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΔΟΜΗΣ

Χ. Καλλιτσάρη¹, Σ.Κ. Κωστοπούλου¹ και Β. Ασχονίτης²

¹Εργαστήριο Εδαφολογίας, Σχολή Γεωπονίας, Α.Π.Θ. 54114 Θεσσαλονίκη

²University of Ferrara, Dep. of Life Sciences and Biotechnology, 44121, Ferrara, Italy

Μελετήθηκε σε δύο βάθη (0-15 και 15-30cm), η μεταβολή ορισμένων βιολογικών ιδιοτήτων και η επίδρασή της στη σταθερότητα της δομής ενός ιλυοπηλώδους εδάφους μετά από: α) κατάκλυση, δίχως σπορά ρυζιού και β) ορυζοκαλλιέργεια με κατάκλυση. Μετά από δύο συνεχόμενα έτη, η ορυζοκαλλιέργεια και η κατάκλυση μείωσαν τη μικροβιακή βιομάζα, τη μικροβιακή δραστηριότητα και την οργανική ουσία του εδάφους. Όμως, η ύπαρξη του φυτού του ρυζιού γενικά συνέβαλε στον περιορισμό της μείωσης της τιμής τους. Η επίδραση της τιμής των βιολογικών ιδιοτήτων που μελετήθηκαν στη σταθερότητα της δομής αυτού του ιλυοπηλώδους εδάφους, εξαρτάται από το μέγεθος των δομικών μονάδων. Και στα δύο βάθη, η μείωση και των τριών βιολογικών ιδιοτήτων του εδάφους οδήγησε σε μείωση της σταθερότητας των μακρο-συσσωματωμάτων. Αντίθετα, σε επίπεδο μικρο-συσσωματωμάτων, ο βαθμός συσσωμάτωσης των τεμαχιδίων ιλύος και αργίλου (<50μm) επηρεάστηκε μόνο από τη μεταβολή του ποσοστού της οργανικής ουσίας του εδάφους.

Λέξεις κλειδιά: κατάκλυση, οργανική ουσία, μικροβιακή βιομάζα, συσσωμάτωση, δομή

BIOLOGICAL PROPERTIES CHANGE OF A SiL SOIL UNDER FLOODING AND RICE CULTIVATION AND ITS EFFECT ON STRUCTURAL STABILITY

Ch. Kallitsari¹, S.K. Kostopoulou¹ and V. Aschonitis²

¹Laboratory of Soil Science, Faculty of Agriculture, Aristotle University of Thessaloniki, 541 24 Thessaloniki, Greece

²University of Ferrara, Dep. of Life Sciences and Biotechnology, 44121, Ferrara, Italy

xkallit@yahoo.gr, skostop@agro.auth.gr, vaschoni@agro.auth.gr

The change of some biological properties and its effect on the structural stability of a SiL soil was studied in two depths after: a) flooding and b) rice cultivation under flooding condition. After two years in succession, flooding as well as rice cultivation decreased microbial biomass, microbial activity and soil organic matter. Rice plant growth restricted the decline of the above mentioned biological properties. It was found that the effect of the studied biological properties on the structural stability of this SiL soil, was depended on the size of the structural units. At both depths, the stability of the macro-aggregates followed the decrease of all three biological properties of the soil. In contrast, in the micro-aggregate scale, the degree of aggregation of the <50μm particles was influenced only by the change of the soil organic matter.

Key-words: flooding, organic matter, microbial biomass, aggregation, structure

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι αγροί που υποβάλλονται σε εποχιακή κατάκλυση ακολουθούμενη από ξηρά περίοδο υφίστανται δραστικές δομικές αλλαγές λόγω των διαδοχικών κύκλων διαβροχής/ξήρανσης (Igwe and Stahr, 2004). Η ορυζοκαλλιέργεια υπό κατάκλυση θεωρείται συχνά υπεύθυνη για την υποβάθμιση της ποιότητας του εδάφους καθώς η ετήσια αλλαγή των εδαφικών συνθηκών από αναερόβιες σε αερόβιες και ξανά σε αναερόβιες έχει σημαντική επίδραση στις βιολογικές ιδιότητες του εδάφους (Bandyopadhyay et al., 2011). Η μικροβιακή δραστηριότητα έχει ουσιαστικό ρόλο στις αλλαγές που συμβαίνουν στη δομή του εδάφους (Sarig et al., 1993), καθώς οι μικροοργανισμοί και η οργανική ουσία του εδάφους είναι στενά συνδεδεμένα με τη συσσωμάτωση των εδαφικών τεμαχιδίων και τη σταθερότητα των συσσωματωμάτων (Stott et al., 1999). Σε ένα αργιλώδες έδαφος παρατηρήθηκε ότι η ορυζοκαλλιέργεια μείωσε την οργανική ουσία και τη σταθερότητα των μακρο-συσσωματωμάτων στη διαβροχή. Η τιμή της σταθερότητας στη διαβροχή ήταν μεγαλύτερη στο επιφανειακό έδαφος σε σχέση

με τις υποκείμενες στρώσεις (Bandyopadhyay et al., 2011). Αντίθετα, σε ένα πηλώδες έδαφος μετά από κατάκλυση και ξήρανση βρέθηκε ότι η επιφανειακή κρούστα δεν ήταν αποτέλεσμα διασποράς του λεπτόκοκκου εδαφικού υλικού αλλά αποτελείτο από μικρο-συσσωματώματα πυκνά διατεταγμένα και ιδιαίτερα σταθερά στη διαβροχή (Janeau et al., 2003).

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη της μεταβολής ορισμένων βιολογικών ιδιοτήτων και η επίδρασή της στη σταθερότητα της δομής ενός ιλυοπηλώδους εδάφους μετά από α) κατάκλυση, δίχως σπορά ρυζιού και β) ορυζοκαλλιέργεια υπό κατάκλυση. Οι διαφοροποιήσεις των εδαφικών ιδιοτήτων διερευνήθηκαν στο επιφανειακό έδαφος (0-15cm) και σε βάθος 15-30cm.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Έδαφος και μεταχειρίσεις

Το 2008, σε πειραματικά λυσιμέτρα που βρίσκονται στο Αγρόκτημα του Α.Π.Θ. εγκαταστάθηκε ορυζοκαλλιέργεια υπό κατάκλυση. Το έδαφος των λυσιμέτρων ήταν ιλυοπηλώδες (SiL),

και τα κυριότερα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του ήταν: pH= 7.9, CaCO₃=5.7%, EC_{250C}=0.62mS/cm, SAR=1.88, IAK=22.9meq/100g, ESP=3.92%.

Το έδαφος ήταν ακαλλιέργητο για περισσότερα από 10 έτη. Τον καθαρισμό του επιφανειακού εδάφους από ανεπιθύμητη βλάστηση ακολούθησε τσάπισμα και στη συνέχεια θρυμματισμός και ισοπέδωση με τσουγκράνα με σκοπό την επίτευξη του ίδιου αποτελέσματος που επιτυγχάνεται με την άροση, το δισκοσβάρνισμα και τον ισοπεδωτή Laser στους ορυζώνες κατά την προετοιμασία της σποροκλίνης. Τον Μάιο γινόταν εισροή νερού στα λυσίμετρα για την επίτευξη κορεσμού του εδάφους και συνθηκών κατάκλυσης και ακολουθούσε σπορά της ποικιλίας Thaibonnet (*Oryza sativa* L. ssp. indica). Στο τέλος της καλλιεργητικής περιόδου (Οκτώβριος) γινόταν αποστράγγιση του εδάφους και ακολουθούσε η συγκομιδή. Όλη η υπέργεια φυτομάζα αφαιρείτο. Τον Νοέμβριο του 2009, μετά από δύο συνεχόμενα έτη ορυζοκαλλιέργειας (Ο), ελήφθησαν εδαφικά δείγματα από δύο βάθη (0-15 και 15-30cm). Δείγματα ελήφθησαν και από ακαλλιέργητα λυσίμετρα εκ των οποίων το ένα δεν είχε υποστεί κατάκλυση και χρησιμοποιήθηκε ως μάρτυρας (Μ) ενώ το άλλο είχε υποστεί κατάκλυση (Κ).

2.2. Προσδιορισμός ιδιοτήτων

Τα εδαφικά δείγματα αεροξηράνθηκαν, λειοτριβήθηκαν και στο <2mm έδαφος προσδιορίστηκαν με δύο επαναλήψεις οι εξής βιολογικές ιδιότητες: η οργανική ουσία (Ο.Ου.) (Nelson & Sommers, 1982), το Ν της μικροβιακής βιομάζας (Amato & Ladd, 1988) και η μικροβιακή δραστηριότητα όπως αυτή εκφράζεται από το συνολικό CO₂ που εκλύεται επί 15 ημέρες κατά την εδαφική αναπνοή (Rowell, 1994).

Η σταθερότητα της δομής προσδιορίστηκε με δύο επαναλήψεις, σε μικρο-συσσωματώματα μεγέθους <50μm και σε μακρο-συσσωματώματα μεγέθους 1-2mm. Ο βαθμός συσσωμάτωσης των <50μm εδαφικών τεμαχιδίων (Σ(ι+α)) εκτιμήθηκε από τη διαφορά του αθροίσματος (ιλύς+άργιλος) σε δείγματα στα οποία προσδιορίστηκε η κατανομή μεγέθους τεμαχιδίων με τη διεθνή μέθοδο του σιφωνιού (Day 1965), με και χωρίς τη χρήση διαμεριστικού (Piccolo and Mbagwu, 1989). Η σταθερότητα των μακρο-συσσωματωμάτων στη διαβροχή (Σ.Σ.) προσδιορίστηκε με υγρό κοσκίνισμα

σε συσσωματώματα μεγέθους 1-2mm.. Χρησιμοποιήθηκε ένα κόσκινο με διάμετρο οπών 250μm (Nimmo and Perkins, 2002).

2.3. Στατιστική επεργασία

Η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων έγινε με ανάλυση παραλλακτικότητας κατά ένα παράγοντα (ANOVA) σε επίπεδο σημαντικότητας α=0,05.

3.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στον Πίνακα 1 φαίνονται οι ιδιότητες που προσδιορίστηκαν στις διάφορες μεταχειρίσεις στα δύο βάθη. Σε κάθε μεταχείριση, παρατηρήθηκε μείωση της τιμής των υπό μελέτη ιδιοτήτων με την αύξηση του βάθους η οποία στις περισσότερες περιπτώσεις ήταν σημαντική. Παρόμοια αποτελέσματα, για ανάλογες καλλιεργητικές πρακτικές, αναφέρονται και από άλλους ερευνητές (Bhattacharyya et al., 2008; Bandyopadhyay et al., 2011).

Στο πρώτο βάθος, η κατάκλυση προκάλεσε στατιστικά σημαντική μείωση της Ο.Ου. σε σχέση με τον μάρτυρα. Υπό ορυζοκαλλιέργεια η μείωση ήταν μικρότερη. Μείωση της οργανικής ουσίας μετά από μονοκαλλιέργεια ρυζιού αναφέρουν επίσης οι Pardo et al. (2008) και Bandyopadhyay et al., (2011). Αντίθετα, στο δεύτερο βάθος, υπό συνθήκες κατάκλυσης υπήρξε μία τάση αύξησης της Ο.Ου. σε σχέση με τον μάρτυρα η οποία ήταν σημαντική στο καλλιεργούμενο έδαφος. Σύμφωνα με τους Kogel-Knabner et al. (2010) αυτό οφείλεται αφ' ενός στη μετακίνηση υδατοδιαλυτής Ο.Ου. από την επιφάνεια προς βαθύτερα στρώματα και αφ' ετέρου στον εφοδιασμό της ριζόσφαιρας από το φυτό του ρυζιού με C ο οποίος προέρχεται από φωτοσύνθεση.

Και στα δύο βάθη, βρέθηκε σημαντική μείωση της μικροβιακής βιομάζας των δύο μεταχειρίσεων υπό κατάκλυση σε σχέση με τον μάρτυρα ενώ δεν υπήρξε σημαντική διαφορά μεταξύ κατάκλυσης και ορυζοκαλλιέργειας. Οι Jiang et al. (2011) απέδωσαν τη μείωση της μικροβιακής βιομάζας που παρατήρησαν μετά από καλλιέργεια ή κατάκλυση, στην υποβάθμιση που προκαλούν οι διάφορες καλλιεργητικές πρακτικές στη δομή του εδάφους και κυρίως στη μεταβολή της κατανομής μεγέθους των συσσωματωμάτων. Σύμφωνα με τους ανωτέρω, το μέγεθος των συσσωματωμάτων είναι καθοριστικό για την τιμή της μικροβιακής βιομάζας καθώς οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις της παρατηρούνται στα μακρο-συσσωματώματα.

Πίνακας 1. Βιολογικές ιδιότητες, σταθερότητα μακρο-συσσωματωμάτων στη διαβροχή (ΣΣ) και βαθμός συσσωμάτωσης των <50μm τεμαχιδίων (Σ(ι+α)) του εδάφους, σε δύο βάθη, στις διάφορες μεταχειρίσεις (μάρτυρας-Μ, κατάκλυση-Κ, ορυζοκαλλιέργεια-Ο)

	Ο. Ου. %	Βιομάζα N (μg/g εδ.)	Εδ. Αναπνοή CO ₂ (mg/g εδ.)	ΣΣ %	Σ (ι+α) %
Μ (0-15)	3,08 e	131,79 d	2,32 e	82,98 f	61,74 bc
Μ (15-30)	1,22 a	37,47 b	1,33 bc	67,47 b	45,15 a
Κ (0-15)	2,02 c	46,01 bc	1,42 c	73,65 d	66,56 bcd
Κ (15-30)	1,42 ab	18,35 a	1,01 a	64,98 a	53,09 ab
Ο (0-15)	2,62 d	58,10 c	1,94 d	79,08 e	75,04 d
Ο (15-30)	1,66 b	20,19 a	1,26 b	70,00 c	61,17 bc

Τιμές με διαφορετικά γράμματα διαφέρουν στατιστικά σημαντικά με το κριτήριο LSD για p<0,05

Η εδαφική αναπνοή βρέθηκε ότι μεταβάλλεται θετικά και γραμμικά με την Ο.Ου. του εδάφους ($y=0.633x+0.278$, $p<0.01$). Η σημαντική μείωση της εδαφικής αναπνοής των δύο μεταχειρίσεων υπό κατάκλυση σε σχέση με τον μάρτυρα, η οποία παρατηρήθηκε στο επιφανειακό έδαφος (Πιν. 1) πιθανώς οφείλεται στην απώλεια υδατοδιαλυτών οργανικών ενώσεων με μικρό βαθμό σύνδεσης με την ανόργανη στερεά φάση του εδάφους (Pardo et al., 2008). Σε βάθος 15-30cm η μείωση ήταν σημαντική υπό κατάκλυση μόνον. Και στα δύο βάθη, η εδαφική αναπνοή ήταν αυξημένη παρουσία φυτού σε σχέση με την κατάκλυση μόνον.

Και στα δύο βάθη, η κατάκλυση μείωσε σημαντικά τη ΣΣ σε σχέση με τον μάρτυρα. Υπό ορυζοκαλλιέργεια η μείωση ήταν μικρότερη. Έχει βρεθεί ότι οι διαδοχικοί κύκλοι διαβροχής και ξήρανσης, οι αναγωγικές συνθήκες που επικρατούν κατά την κατάκλυση και επηρεάζουν τις χημικές ιδιότητες του εδάφους και η απώλεια της υδατοδιαλυτής Ο.Ου. προς βαθύτερα στρώματα επηρεάζουν αρνητικά τη ΣΣ (Caron et al., 1992; De-Campos et al., 2009).

Ο βαθμός συσσωμάτωσης των <50μ τεμαχιδίων παρουσίασε αύξηση και στα δύο βάθη των μεταχειρίσεων υπό κατάκλυση σε σχέση με τον μάρτυρα, η οποία ήταν σημαντική υπό ορυζοκαλλιέργεια. Οι Janneau et al. (2003) αναφέρουν ότι η κρούστα που δημιουργήθηκε μετά την κατάκλυση στην επιφάνεια ενός πληθύνους εδάφους, δεν αποτελείτο από ασύνδετο λεπτόκοκκο υλικό αλλά από ιδιαίτερως σταθερά μικρο-συσσωματώματα.

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι η κατάκλυση και η ορυζοκαλλιέργεια επηρέασαν αρνητικά τις βιολογικές ιδιότητες του εδάφους. Η σταθερότητα των μακρο-συσσωματωμάτων στη διαβροχή και ο βαθμός συσσωμάτωσης των <50μ τεμαχιδίων συσχετίστηκαν με τις βιολογικές ιδιότητες του εδάφους. Όπου βρέθηκε σχέση, αυτή είναι θετική και περιγράφεται καλύτερα από λογαριθμική καμπύλη, δηλ. αυξανόμενης της τιμής των βιολογικών ιδιοτήτων αυξάνεται με ελαττούμενο ρυθμό και η σταθερότητα της δομής.

Πίνακας 2. Σημαντικότητα συντελεστών συσχέτισης της σταθερότητας μακρο-συσσωματωμάτων (ΣΣ) και του βαθμού συσσωμάτωσης <50μm τεμαχιδίων ($\Sigma(i+a)$) με τις βιολογικές ιδιότητες του εδάφους.

	Ο.Ου.	βιομάζα	αναπνοή
ΣΣ	p<0,001	p<0,01	p<0,001
$\Sigma(i+a)$	p<0,05	ns	ns

Από τη σημαντικότητα των συντελεστών συσχέτισης (Πιν. 2) φαίνεται ότι η ΣΣ επηρεάζεται ιδιαίτερα από το ποσοστό της Ο.Ου. και τη μικροβιακή δραστηριότητα ενώ η μικροβιακή βιομάζα είχε μικρότερη αρνητική επίδραση στη σταθερότητα των μακρο-συσσωματωμάτων. Αντίθετα, ο βαθμός συσσωμάτωσης των <50μm τεμαχιδίων επηρεάστηκε, με μικρό βαθμό σημαντικότητας, μόνο από το ποσοστό της Ο.Ου. Φαίνεται λοιπόν ότι οι βιολογικές ιδιότητες του εδάφους επηρεάζουν περισσότερο τη σταθερότητα της δομής σε επίπεδο μακρο-συσσωματωμάτων. Οι Igwe και Stahr (2004) υποστηρίζουν ότι ο ρόλος του οργανικού C είναι κυρίαρχος όσον αφορά τη σταθερότητα των μακρο-συσσωματωμάτων και υποβαθμισμένος όσον αφορά τη δημιουργία μικρο-συσσωματωμάτων. Επίσης, σύμφωνα με τους Jiang et al. (2011), η μέγιστη συγκέντρωση της μικροβιακής βιομάζας προσδιορίστηκε σε συσσωματώματα μεγέθους 2-1mm και η μικρότερη στο <50μm κλάσμα του εδάφους, ανεξαρτήτως καλλιεργητικής πρακτικής.

Η αύξηση του βαθμού συσσωμάτωσης των <50μm τεμαχιδίων που παρατηρήθηκε στο επιφανειακό έδαφος των μεταχειρίσεων υπό κατάκλυση οφείλεται μάλλον στη καθίζηση και τον παράλληλο προσανατολισμό του λεπτόκοκκου υλικού μετά το τέλος της κατάκλυσης (Janneau et al., 2003) και τη ξήρανση που φέρει σε στενή επαφή τα τεμαχίδια και ισχυροποιεί τους δεσμούς σύνδεσης. Σύμφωνα με τους Khan et al. (2008), κατά την

ξήρανση όλες οι συνιστώσες των δυνάμεων που αναπτύσσονται στο υδατικό υμένιο που περιβάλλει τα εδαφικά τεμαχίδια γίνονται αρνητικές, δηλ. μετατρέπονται σε ελκτικές δυνάμεις και ευνοείται η δημιουργία δομικών μονάδων σταθερών στη διαβροχή. Στο δεύτερο βάθος, η αύξηση του βαθμού συσσωμάτωσης των <50μm τεμαχιδίων πρέπει να οφείλεται στην αύξηση της οργανικής ουσίας των μεταχειρίσεων υπό κατάκλυση σε σχέση με τον μάρτυρα (Πιν. 1). Σύμφωνα με τους Khan et al. (2008) κατά την ξήρανση, οργανικές ενώσεις βιογενούς προέλευσης, προσροφημένες στην επιφάνεια των τεμαχιδίων της αργίλου έχουν κυρίαρχο συνδετικό ρόλο.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ορυζοκαλλιέργεια και η κατάκλυση μείωσαν τη μικροβιακή βιομάζα, τη μικροβιακή δραστηριότητα και την οργανική ουσία του εδάφους. Επίσης, οι παραπάνω ιδιότητες μειώθηκαν με την αύξηση του βάθους σε όλες τις μεταχειρίσεις. Όμως, η ύπαρξη του φυτού του ρυζιού γενικά συνέβαλε στον περιορισμό της μείωσης της τιμής τους.

Η επίδραση των βιολογικών ιδιοτήτων που μελετήθηκαν στη σταθερότητα της δομής, εξαρτάται από το μέγεθος των δομικών μονάδων. Και στα δύο βάθη, η μείωση της τιμής όλων των βιολογικών ιδιοτήτων του εδάφους οδήγησε σε μείωση της σταθερότητας των μακρο-συσσωματωμάτων. Αντίθετα, η συσσωμάτωση των <50μm τεμαχιδίων επηρεάστηκε μόνον από τη μεταβολή της οργανικής

ουσίας. Η αύξηση της σταθερότητας των μικρο-συσσωματωμάτων αυτού του μεγέθους, που παρατηρήθηκε στο επιφανειακό έδαφος, πιθανώς οφείλεται σε ελκτικές δυνάμεις που αναπτύσσονται μεταξύ των τεμαχιδίων κατά τη ξήρανση του λεπτόκοκκου εδαφικού υλικού.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Amato, M. and J.N. Ladd, 1988. Assay for microbial biomass based on ninhydrin-reactive nitrogen in extracts of fumigated soils. *Soil Biol. & Bioch.* 20, 107-114.
- Bandyopadhyay, P.K., Subita Saha, Mallick, 2011. Comparison of Soil Physical Properties between a Permanent Fallow and a Long-Term Rice–Wheat Cropping with Inorganic and Organic Inputs in the Humid Subtropics of Eastern India. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 42:435–449.
- Bhattacharyya R., Kundu S., Pandey S.C., Singh K.P., Gupta H.S., 2008. Tillage and irrigation effects on crop yields and soil properties under the rice–wheat system in the Indian Himalayas. *Agric. Water Manag.* 95: 993–1002.
- Caron J., Kay B.D. and Stone J.A., 1992. Improvement of structural stability of a clay loam with drying. *Soil Sci. Soc. of Am. J.* 56: 1583-1590.
- Day, P., 1965. Particle fractionation and particle size analysis. *In: Methods of Soil Analysis Part 1* (C.A. Black et al., ed.) Am. Soc. Agr., Madison, Wis. pp. 545-567.
- De-Campos A.B., Mamedov A.I. and Huang C., 2009. Short term reducing conditions decrease soil aggregation. *SSSJ* 73: 550-559.
- Janeau J.L., Bricquet J.P., Planchon O. and Valentin C., 2003. Soil crusting and infiltration on steep slopes in northern Thailand. *Eur. J. of Soil Sci.*, 54: 543-553.
- Jiang X., Wright A.L., Wang X. and Liang F., 2011. Tillage-induced changes in fungal and bacterial biomass associated with soil aggregates: a long-term field study in a subtropical rice soil in China. *Applied Soil Ecology*, 48: 168-173.
- Igwe C.A. and Stahr K., 2004. Water-stable aggregates of flooded Inceptisols from south-eastern Nigeria in relation to mineralogy and chemical properties. *Aust. J. of Soil Res.* 42: 171-179.
- Khan Y.K., Pozdnyakov A.I. and Son B.K., 2008. Fabric of soil aggregates and characterization of their structural and functional stability. *Euras. Soil Sci.*, 41: 1417-1423.
- Kogel-Knabner I., Amelung W., Cao Z., Fielder S., Frenzel P., Jahn R., Kalbitz K., Kolbl A. and Schloter M., 2010. Biogeochemistry of paddy soils. *Geoderma* 157: 1-14.
- Nelson, D.W. and L.E. Sommers., 1982. Total Carbon, Organic Carbon and Organic Matter. *In: Methods of Soil Analysis Part 2* (Ed. A.L. Page). Soil Sci. Soc. of Am. pp. 539-579.
- Nimmo, J.R., K.S. Perkins. 2002. Aggregate stability and size distribution. *SSSA. Methods of Soil Analysis, Part 4.* pp.317-328.
- Pardo M. T., Almendros G. , Kileo E., Maliondo S. & Msanya B., 2008. Cultivation-Induced Effects on the Soil Organomineral Matrix and Their Bearing on Crust Development on Two Soil Formations from Tanzania. *Com. in Soil Sci. and Plant Analysis*, 39: 65–81.
- Piccolo, A. and J. S. C. Mbagwu. 1989. Effects of Humic Substances and Surfactants on the Stability of Soil Aggregates. *Soil Sci.* 147:47-54.
- Rowell D.L., 1994. Air in soils-Supply and demand. *In: Soil Science. Methods and Applications.* Chap. 6. Addison Wesley Longman Lim., Engl. pp. 109-130.
- Sarig, S., E.B. Roberson, and M.K. Firestone 1993. Microbial Activity-Soil Structure: Response to Saline Water Irrigation. *Soil Biology and Biochemistry.* 25:663-697.
- Stott, D.E., A.C. Kennedy., and C.A Cambardella 1999. Impact of Soil Organisms and Organic Matter on Soil Structure. *In: Soil Quality and Soil Erosion* (Ed. R. Cal): pp57-74. Soil and Water Cons. Soc. Ankeny, Iowa.

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΖΕΟΛΙΘΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΓΚΑΙΤΙΤΗ ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΛΗΨΗ ΤΟΥ ΕΞΑΣΘΕΝΟΥΣ ΧΡΩΜΙΟΥ ΣΤΗΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΟΥ ΣΠΑΝΑΚΙΟΥ

Μόλλα Αικ.¹, Δημήτρου Α.¹, Αντωνιάδης Β.¹, Λιάκου Κ.¹, Μαρκοπούλου Αικ.¹, Ντόβας Αθ.¹ και Γεωργίου Κ.¹

¹Εργαστήριο Εδαφολογίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Φυτόκου, Ν. Ιωνία, 38446, Βόλος
email: adimirkou@uth.gr, katrinmol@yahoo.gr

Στην εργασία αυτή μελετήθηκε η προσρόφηση του εξασθενούς χρωμίου από φυσικά υλικά καθώς και η επίδραση αυτών στην καλλιέργεια του σπανακιού. Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν στο θερμοκήπιο της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας τις περιόδους Μάιο - Ιούνιο 2010 και Απρίλιο - Ιούλιο 2011. Χρησιμοποιήθηκε έδαφος το οποίο συλλέχθηκε από το Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας που βρίσκεται στο Βελεστίνο. Τα βελτιωτικά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ο ζεόλιθος (Z), ο γκαϊτίτης (G) και το σύστημα ζεόλιθου – γκαϊτίτη κίτρινου (Z-GY). Προστέθηκε δόση εξασθενούς χρωμίου 1 και 50 mg Cr(VI) L⁻¹ υπό μορφή CrO₃ στην πρώτη περίοδο και δεύτερη περίοδο, αντίστοιχα. Και στις δύο περιόδους είχαμε 5 μεταχειρίσεις, από τις οποίες στις 3 προστέθηκε βελτιωτικό. Κάθε μεταχείριση είχε 3 επαναλήψεις και στο θερμοκήπιο τοποθετήθηκαν 15 φυτοδοχεία σε κάθε περίοδο. Η θερμοκρασία κατά τη διάρκεια και των δύο κύκλων πειραμάτων κυμαινόταν μεταξύ 25 – 35°C. Τα αποτελέσματα της πρώτης περιόδου στην καλλιέργεια του σπανακιού έδειξαν μηδενικές τιμές για το ολικό χρώμιο στα φυτά. Ενώ σύμφωνα με τα αποτελέσματα της δεύτερης περιόδου τα βελτιωτικά δεν επέδρασαν θετικά στα αγρονομικά χαρακτηριστικά (ξηρό βάρος και ύψος) των φυτών σε όλες τις μεταχειρίσεις, εκτός από τον ζεόλιθο που αύξησε σημαντικά το ύψος των φυτών. Επίσης η προσθήκη των βελτιωτικών δεν κατάφερε να μειώσει στατιστικά σημαντικά το ολικό χρώμιο και το εξασθενές χρώμιο στα φυτά καθώς και το εκχυλίσμο τρισθενές χρώμιο στο έδαφος.

Λέξεις κλειδιά: προσρόφηση, εξασθενές χρώμιο, γκαϊτίτης, ζεόλιθος, σπανάκι

STUDY OF ZEOLITE AND GOETHITE BEHAVIOUR IN THE HEXAVALENT CHROMIUM ADSORPTION OF THE SPINACH CULTIVATION

Molla Aik.¹, Dimirkou A.¹, Antoniadis V.¹, Liakou K.¹, Markopoulou Aik.¹, Ntovas A.¹ and Georgiou K.¹

¹Laboratory of Soli Science, Faculty of Agricultural Sciences, Department of Agriculture Crop Production and Rural Environment, University of Thessaly, Fitokou, N. Ionia Magnesia, 38446 Volos
email: adimirkou@uth.gr, katrinmol@yahoo.gr

In this study examined the adsorption of hexavalent chromium from natural materials as well as the influence of them in spinach cultivation. The experiments were held in the greenhouse of the Department of Agriculture Crop Production and Rural Environment of University of Thessaly the periods of May – June 2010 and April – June 2011. The soil that was used was collected from the farm of University of Thessaly in Velesino. The improvements materials that were used were zeolite(Z), goethite(G) and the sustem zeolite – goethite yellow(Z-GY). Two doses of hexavalent chromium, 1 and 50 mg L⁻¹ in form of CrO₃ were used, in first and second period, respectively. In both periods were realized five treatments, three of which contained improvements. Each treatment consisted of three repetitions and in greenhouse placed 15 pots in each period. The temperature during both experimental cycles was ranging between 25 – 35°C. Considering the results of first period in the spinach cultivation, the total chromium in plants was zero. Instead, considering the results of second period, the improvements materials did not affected positively the agronomic characteristics of the plants (dry-weight and height) during all the treatments, except from zeolite, which contributed to the significant increase in plant height. Also, the improvements materials did not managed to reduce statistically significant the total and the hexavalent chromium in plants as well as the extractable trivalent chromium in soil.

Key words: adsorption, hexavalent chromium, goethite, zeolite, spinach

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ρύπανση των νερών και των εδαφών και κατά επέκταση των καλλιεργειών από βαρέα μέταλλα τα τελευταία χρόνια έχει οδηγήσει πολλούς επιστήμονες στην έρευνα τρόπων αντιμετώπισης του προβλήματος (Parafillipaki et al., 2007; Golten 2011; Zoffoli et al., 2012). Ένα από τα βαρέα μέταλλα που έχει προκαλέσει το ενδιαφέρον των ερευνητών είναι και το χρώμιο, το οποίο βρίσκεται κυρίως με δυο

σταθερές μορφές οξείδωσης, την τρισθενή και την εξασθενή. Το εξασθενές χρώμιο θεωρείται ότι είναι πολύ τοξικό, βιοδιαθέσιμο και καρκινογόνο (Donatella et al. 2012). Ειδικά τα λαχανοειδή με εδώδιμα μέρη είναι ευαίσθητα στο εξασθενές χρώμιο, και ο κίνδυνος μεταφορά των τοξικών μετάλλων στην ανθρώπινη τροφική αλυσίδα αυξάνει σημαντικά στην περίπτωση των φυλλώδων λαχανικών, τα οποία καταναλώνονται κυρίως ως

σαλάτες (Molla et al., 2012). Οι πιο κοινές μέθοδοι απομάκρυνσης του εξασθενούς χρωμίου από υδατικά διαλύματα είναι η αναγωγή του εξασθενούς χρωμίου σε τρισθενές, η ιοανταλλαγή και η προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα. Τα τελευταία όμως χρόνια η χρήση βελτιωτικών ως μέσο απορρύπανσης αποτελεί έναν από τους πιο αποτελεσματικούς τρόπους δέσμευσης του (Kesraouiouki, 1994; Kallo, 2001).

Οι ζεόλιθοι είναι τεκτοπυριτικά ορυκτά, είναι αρνητικά φορτισμένοι με αποτέλεσμα να έλκουν κατιόντα τα οποία και δεσμεύουν στο πλέγμα τους (Marcus and Cornier, 1999). Επίσης, θα πρέπει να αναφερθεί ότι στο πλέγμα των ζεόλιθων υπάρχουν κενοί χώροι (κοιλότητες ή κανάλια) οι οποίοι έχουν μέγεθος από 0,3 έως 0,8 nm. Οι μεγάλοι κενοί χώροι στη δομή των ζεόλιθων επιτρέπουν την είσοδο (αλλά και την εύκολη έξοδο και ανταλλαγή) κατιόντων μεγάλων διαστάσεων. Οι φυσικοί ζεόλιθοι μπορούν να δεσμεύουν με ιοανταλλαγή τα ιόντα των βαρέων μετάλλων όπως π.χ. του μόλυβδου, του χρωμίου, του χαλκού, του καδμίου, του μαγγανίου (Διονυσίου, 2010).

Ο γκαϊτίτης είναι το πιο κοινό οξείδιο του σιδήρου στα εδάφη (Schwertmann and Cornell, 2000). Η προσρόφηση επιβλαβών για την υγεία του ανθρώπου κατιόντων από τον γκαϊτίτη είναι σημαντική. Ο γκαϊτίτης έχει αναγνωριστεί ότι μπορεί και ελέγχει την διαθεσιμότητα των τοξικών ανιόντων και κατιόντων στα φυτά (Abdus-Salam and Adekola, 2005). Το σημαντικότερο χαρακτηριστικό του γκαϊτίτη είναι η επαμφοτερίζουσα συμπεριφορά όσο αφορά την προσρόφηση ιόντων. Στο έδαφος το PZC του γκαϊτίτη είναι περίπου 9 οπότε υπό φυσιολογικές συνθήκες ο γκαϊτίτης προσροφά ανιόντα και αποτελεί τον κυριότερο παρ'άγοντα του εδάφους που έχει αυτή την ικανότητα (Kosmulski et al., 2003).

Η προστασία των εδαφικών πόρων και κατ' επέκταση του περιβάλλοντος και της ανθρώπινης υγείας αποτελούν μια από τις κύριες προτεραιότητες του σύγχρονου ανθρώπου, για τον λόγο αυτό κρίνεται επιτακτική η ανάγκη χρήσης μεθόδων που συμβάλλουν προς την κατεύθυνση αυτή. Για τον σκοπό αυτό στην παρούσα έρευνα μελετήθηκε η χρήση υλικών φιλικών προς το περιβάλλον στην αποκατάσταση εδάφους επιβαρυμένο με εξασθενές χρώμιο και καθώς και η επίδραση του εξασθενούς χρωμίου και των βελτιωτικών στην καλλιέργεια του σπανακιού.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Έδαφος

Το έδαφος που χρησιμοποιήθηκε για την πραγματοποίηση όλων των πειραμάτων στο θερμοκήπιο συλλέχθηκε από το Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας του Βελεστίνο (αμμοαργιλοπηλώδες, pH=8.82 και οργανική ουσία 2.3).

2.2 Υλικά Προσρόφησης (Βελτιωτικά)

Ο ζεόλιθος (κλινοπτινόλιθος) (Z) που χρησιμοποιήθηκε ήταν της εταιρείας S&B Company (Ελλάδα). Ο γκαϊτίτης (FeOOH) (G) παρασκευάστηκε στο εργαστήριο Εδαφολογίας του Π.Θ. σύμφωνα με την μέθοδο των Schwertmann και Cornell (2000) ενώ το σύστημα ζεόλιθου - γκαϊτίτη (Z - G) με την μέθοδο των Dimirkou et al. (2009).

2.3 Πειραματικό μέρος

Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν τις περιόδους Μάιο - Ιούνιο 2010 και Απρίλιο - Ιούλιο 2011 σε θερμοκήπιο της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Προστέθηκε δόση εξασθενούς χρωμίου 1 και 50 mg Cr(VI) L⁻¹ υπό μορφή CrO₃ στην πρώτη περίοδο και δεύτερη περίοδο, αντίστοιχα. Και στις δύο περιόδους είχαμε 5 μεταχειρίσεις, από τις οποίες στις 3 προστέθηκε βελτιωτικό. Κάθε μεταχείριση είχε 3 επαναλήψεις και στο θερμοκήπιο τοποθετήθηκαν 15 φυτοδοχεία σε κάθε περίοδο. Η θερμοκρασία κατά τη διάρκεια και των δύο κύκλων πειραμάτων κυμαινόταν μεταξύ 25 – 35°C. Τα φυτά αρδεύονταν κανονικά ώστε να διατηρείται η υδατοικανότητα στο 65%. Στο κάτω μέρος των φυτοδοχείων τοποθετήθηκαν ειδικοί δίσκοι για την διατήρηση των απαραίτητων συνθηκών υγρασίας. Στην πρώτη περίοδο η εφαρμογή του εξασθενούς χρωμίου έγινε στις 3/5/2010, 10 mL σε κάθε φυτοδοχείο, η σπορά στις 6/5/2010 και η κοπή πραγματοποιήθηκε στις 30/6/10. Στην δεύτερη περίοδο η σπορά στο θερμοκήπιο πραγματοποιήθηκε στις 11/4/2011 και η εφαρμογή του χρωμίου έγινε σε 2 δόσεις. Η πρώτη στις 23/4/2011 (50 mL / φυτοδοχείο) και η δεύτερη στις 28/4/2011 (50 mL / φυτοδοχείο). Η κοπή πραγματοποιήθηκε στις 7/6/11. Μετρήθηκαν τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των φυτών (ύψος υπέργειου μέρους και ξηρό βάρος φυτού). Επίσης στο έδαφος προσδιορίστηκαν το ολικό χρώμιο κατόπιν πέψης των δειγμάτων σε βασιλικό νερό (aqua regia) (Μίγμα HCl – HNO₃ σε αναλογία 3:1) και η μέτρηση έγινε με την βοήθεια φασματομέτρου ατομικής απορρόφησης του οίκου Perkin Elmer 3300, το διαθέσιμο τρισθενές χρώμιο με την μέθοδο Lindsay and Norwell (1978) και ανταλλάξιμο εξασθενές χρώμιο με την μέθοδο του διφαινυλοκαρβαζιδίου (Gheju et al., 2009) ενώ στο φυτό προσδιορίστηκαν το ολικό χρώμιο με τη μέθοδο της ξηρής καύσης (Dry Ashing Procedure) (Jones and Case, 1990) και η μέτρηση έγινε με την βοήθεια φασματομέτρου ατομικής απορρόφησης του οίκου Perkin Elmer 3300 και στις δύο περιόδους και το εξασθενές χρώμιο με την μέθοδο του διφαινυλοκαρβαζιδίου.

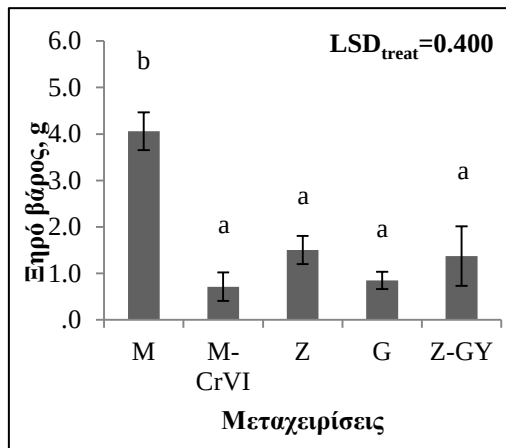
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1 Αποτελέσματα πρώτης περιόδου

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της πρώτης περιόδου το ολικό χρώμιο που μετρήθηκε στο φυτό του σπανακιού σε όλες τις μεταχειρίσεις ήταν μηδενικό. Αυτό πιθανόν οφείλεται είτε στο γεγονός

ότι η δόση του $1 \text{ mg CrVI kg}^{-1}$ δεν είναι αρκετή για να προκαλέσει φυτοτοξικότητα στο σπανάκι είτε ότι τα φυτά κατάφεραν να αναπτύξουν φυσιολογικούς μηχανισμούς άμυνας και να μην επηρεαστούν από την παρουσία του χρωμίου.

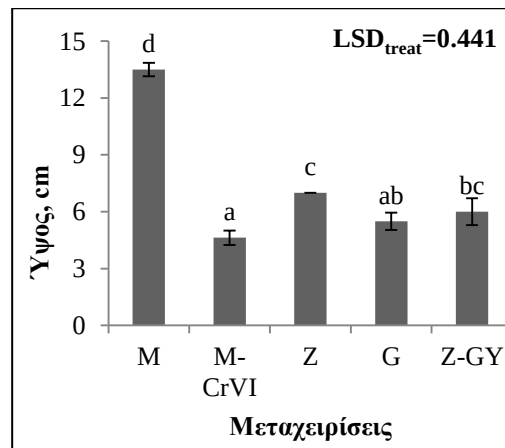
3.2 Αποτελέσματα δεύτερης περιόδου



Διάγραμμα 1. Ξηρό βάρος φυτών

Από το διάγραμμα 1 προκύπτει ότι η προσθήκη εξασθενούς χρωμίου (50 mg / kg) μείωσε το ξηρό βάρος των φυτών σε σχέση με τα φυτά του μάρτυρα M. Το αποτέλεσμα αυτό συμφωνεί με τα αποτελέσματα του Singh (2001) ο οποίος μελέτησε την επίδραση του εξασθενούς χρωμίου στο σπανάκι και διαπίστωσε ότι προκαλεί μείωση στο μέγεθος των φύλλων. Οι Gopal et al. (2009) μελέτησαν επίσης την επίδραση του εξασθενούς χρωμίου στην καλλιέργεια του σπανάκιου. Χρησιμοποίησαν δύο δόσεις χρωμίου, 5.2 και $20.8 \text{ mg CrVI kg}^{-1}$, και διαπίστωσαν ότι τις πρώτες δέκα μέρες η παραγωγή της βιομάζας μειώθηκε σε σχέση με τον μάρτυρα και στις δύο δόσεις. Συγκεκριμένα στην δόση των $20.8 \text{ mg CrVI kg}^{-1}$ η βιομάζα του φυτού τις πρώτες δέκα μέρες ήταν 1.88 g ανά φυτό και του μάρτυρα 2.88 g ανά φυτό. Ενώ μετά από σαράντα μέρες 3.47 και 8.08 g ανά φυτό φυτού και μάρτυρα, αντίστοιχα.

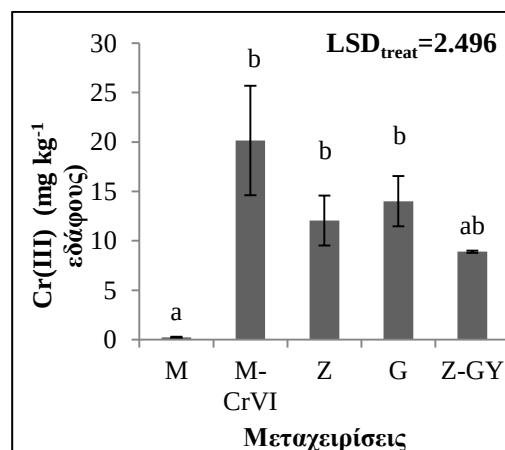
Από τα βελτιωτικά που χρησιμοποιήθηκαν κανένα δεν επέδρασε θετικά στην αύξηση του ξηρού βάρους σε σχέση με τα φυτά του μάρτυρα M. Σύμφωνα με τα δεδομένα της παρούσας εργασίας η μείωση του ξηρού βάρους βρέθηκε 83% στις μεταχειρίσεις που προστέθηκε CrVI. Οι Bolan et al. (2003) βρήκαν ότι το ξηρό βάρος του φυτού της Ινδικής μουστάρδας μειώθηκε κατά 15% στις μεταχειρίσεις στις οποίες προστέθηκε CrVI και βελτιωτικό.



Διάγραμμα 2. Ύψος φυτών

Από το διάγραμμα 2 προκύπτει ότι η προσθήκη εξασθενούς χρωμίου μείωσε σημαντικά το ύψος των φυτών σε σχέση με τα φυτά του μάρτυρα M. Τα βελτιωτικά που χρησιμοποιήθηκαν δεν κατάφεραν να επιδράσουν θετικά στην αύξηση του ύψους του φυτού σε σχέση με τα φυτά του μάρτυρα M. Σε σχέση όμως με τον M-CrVI ο ζεόλιθος και το σύστημα Z-GY προκάλεσαν στατιστικά σημαντική αύξηση στο ύψος των φυτών. Η μείωση του ύψους στον μάρτυρα στον οποίο προστέθηκε χρώμιο οφείλεται στην τοξική δράση του εξασθενούς χρωμίου. Ακόμα και η χρήση των βελτιωτικών δεν κατάφερε να αυξήσει το ύψος των φυτών στα επίπεδα του μάρτυρα M.

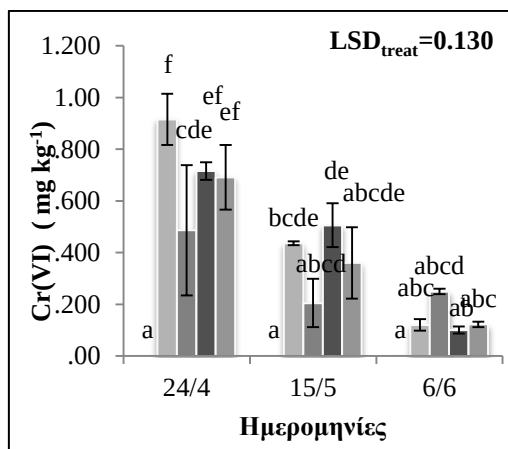
Τα διαγράμματα των φυτοκομικών χαρακτηριστικών (ύψος και ξηρό βάρος) δείχνουν καθαρά ότι η προσθήκη $50 \text{ mg CrVI kg}^{-1}$ είχε τοξική επίδραση, καθώς οι παράμετροι αυτοί μειώθηκαν σημαντικά σε σχέση με το M.



Διάγραμμα 3. Τρισθενές χρώμιο εδάφους

Από το διάγραμμα 3 προκύπτει ότι η προσθήκη εξασθενούς χρωμίου αύξησε σημαντικά το εκχυλίσμο τρισθενές χρώμιο στο έδαφος σε σχέση με το έδαφος του μάρτυρα M. Τα βελτιωτικά προκάλεσαν μια μικρή μείωση η οποία όμως δεν ήταν στατιστικά σημαντική σε σχέση με τον M-CrVI. Στο έδαφος το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τη διεξαγωγή του πειράματος τα επίπεδα του ολικού χρωμίου ήταν αρκετά υψηλά (περίπου 298 mg kg^{-1}).

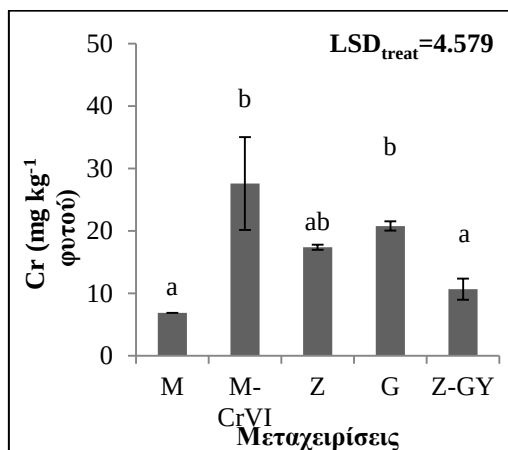
Η προσθήκη 50 mg CrVI kg⁻¹ αύξησε την συγκέντρωση του ολικού χρωμίου στο έδαφος, περίπου στα 350 mg kg⁻¹. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση του εκχυλίσμου τρισθενούς χρωμίου στο έδαφος μετά το πέρας του πειράματος.



Διάγραμμα 4. Ανταλλάξιμο εξασθενές χρώμιο εδάφους

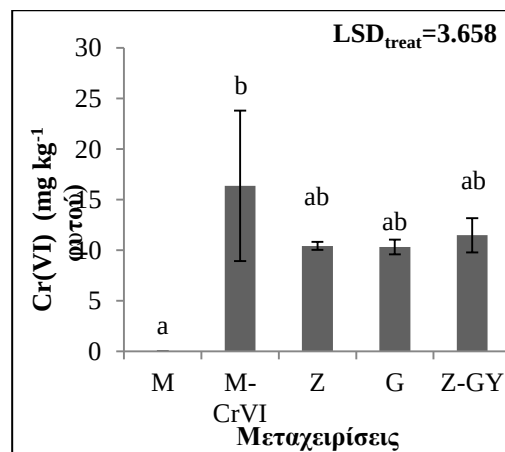
Ο προσδιορισμός του ανταλλάξιμου εξασθενούς χρωμίου σε νωπό δείγμα εδάφους έγινε σε τρεις ημερομηνίες στις 24/4/2011, στις 15/5/2011 και 6/6/2011.

Από το διάγραμμα 4 προκύπτει ότι το εξασθενές χρώμιο σε όλες τις μεταχειρίσεις είχε σταδιακή μείωση με την πάροδο του χρόνου. Οι Sharma and Foster (1993) έδειξαν η μέγιστη ικανότητα συγκράτησης ως προς το CrVI επετεύχθη σε τιμή pH 8.



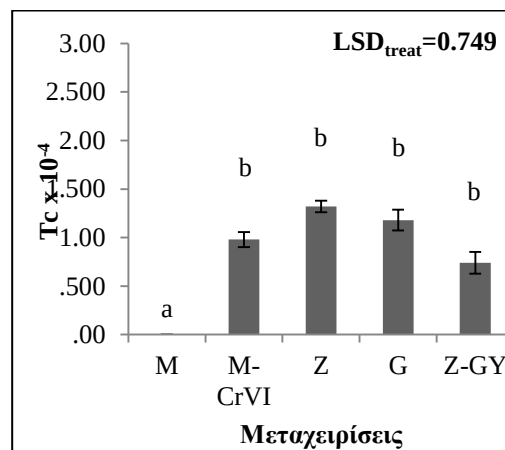
Διάγραμμα 5. Ολικό χρώμιο φυτών

Από το διάγραμμα 5 προκύπτει ότι από τα βελτιωτικά μόνο το σύστημα Z-GY μείωσε στατιστικά σημαντικά το ολικό χρώμιο στο φυτό σε σύγκριση με τον μάρτυρα M - CrVI.



Διάγραμμα 6. Εξασθενές χρώμιο φυτών

Από το διάγραμμα 6 προκύπτει ότι τα βελτιωτικά μείωσαν το εξασθενές χρώμιο στο φυτό αλλά η μείωση δεν ήταν στατιστικά σημαντική σε σύγκριση με τον μάρτυρα M. Οι Bank et al. (2006) όταν πρόσθεσαν οργανικά βελτιωτικά στο έδαφος βρήκαν ότι το η συγκέντρωση του CrVI στο φυτό μειώθηκε κατά 8% σε σύγκριση με τις μεταχειρίσεις στις οποίες δεν προστέθηκαν οργανικά βελτιωτικά. Σε αντίθεση τα δεδομένα της παρούσας εργασίας έδειξαν μια μείωση 31%. Επίσης, Οι Gopal et al. (2009) διαπίστωσαν ότι η ποσότητα του εξασθενούς χρωμίου που μεταφέρθηκε στο φυτό του σπανακιού σαράντα μέρες από την έναρξη του πειράματος στην δόση 20.8 mg CrVI kg⁻¹ ήταν 760 μg g⁻¹ ενώ στον μάρτυρα 1.06 μg g⁻¹. Σε αντίθεση οι δικές μας μετρήσεις έδειξαν τιμές μηδέν όσο αφορά την συγκέντρωση του εξασθενούς χρωμίου στο φυτό. Η διαφορά αυτή μεταξύ των εργασιών πιθανόν οφείλεται στις διαφορετικές δόσεις εξασθενούς χρωμίου που εφαρμόστηκαν.



Διάγραμμα 7. Συντελεστής μεταφοράς Tc

Από το διάγραμμα 7 προκύπτει ο συντελεστής μεταφοράς (Tc) δεν ήταν στατιστικά σημαντικός στα φυτοδοχεία στα οποία προστέθηκαν βελτιωτικά σε σύγκριση με τον μάρτυρα (M-CrVI).

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της πρώτης περιόδου η προσθήκη εξασθενούς χρωμίου στην καλλιέργεια του σπανάκιού έδειξε μηδενικές τιμές για το ολικό χρώμιο στα φυτά γεγονός που δείχνει ότι 1 mg CrVI kg⁻¹ δεν είναι αρκετό για να προκαλέσει φυτοτοξικότητα στο σπανάκι.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της δεύτερης περιόδου όταν προστέθηκαν 50 mg CrVI kg⁻¹ τα βελτιωτικά δεν επέδρασαν θετικά στα αγρονομικά χαρακτηριστικά (ξηρό βάρος και ύψος) των φυτών σε όλες τις μεταχειρίσεις με εξαίρεση τον ζεόλιθο ο οποίος αύξησε σημαντικά το ύψος των φυτών σε σύγκριση με τον μάρτυρα M-CrVI. Η προσθήκη μόνο εξασθενούς χρωμίου αύξησε σημαντικά την περιεκτικότητα του εκχυλίσματος με DTPA τρισθενούς χρωμίου. Το ανταλλάξιμο εξασθενές χρώμιο είχε σταδιακή μείωση με την πάροδο του χρόνου. Όσο αφορά την συγκέντρωση του ολικού χρωμίου στο φυτό μόνο το σύστημα Z-GY κατάφερε να την μειώσει σε σύγκριση με τον μάρτυρα M-CrVI. Τα βελτιωτικά δεν κατάφεραν να μειώσουν την συγκέντρωση του εξασθενούς χρωμίου στα φυτά και τον συντελεστή μεταφοράς Tc

Από όλα τα βελτιωτικά αυτά που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στην απομάκρυνση του εξασθενούς χρωμίου από την καλλιέργεια του σπανάκιού είναι ο ζεόλιθος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abdus-Salam, N. and Adekola, F. A., 2005. The influence of pH and adsorbent concentration on Adsorption of Lead and Zinc on a natural Goethite. *African Journal of Science Technology* 6: 55-66.
- Banks, M. K., Schwab, A. P., & Henderson, C., 2006. Leaching and reduction of chromium in soil as affected by soil organic content and plants. *Chemosphere* 62: 225-264.
- Bolan, N. S., Adriano, D. C., Natesan, R., & Koo, B. J. (2003). Effects of organic amendments on the reduction and phytoavailability of chromate in mineral soil. *Journal of Environmental Quality* 32: 120 - 128.
- Dimirkou, A., Ioannou, Z., Golia, E., Danalatos, N., & Mitsios, I. (2009). Sorption of cadmium and arsenic by goethite and clinoptilolite. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 40, 259-272.
- Donatella, F., Doumet, S., Lepri, L., Checchini, L., Gonnelli, C., Coppini, E., & Bubba, M. (2012). Distribution and mass balance of hexavalent and trivalent chromium in a subsurface, horizontal flow (SF-h) constructed wetland operating as post-treatment of textile wastewater for water reuse. *Journal of Hazardous Materials*, 199-200, 209-216.
- Gheju, M., Balcu, I., & Ciopec, M. (2009). Analysis of hexavalent chromium uptake by plants in polluted soils. *Ovidius University Annals of Chemistry* 20: 127-131.
- Golten, Y. A. (2011). Heavy metal contamination of surface soil around Gebze industrial area, Turkey. *Microchemical Journal*, 99, 82-92.
- Gopal, R., Rizvi, A.H. and Nautiyal, N., 2009. Chromium Alters Iron Nutrition and Water Relations of Spinach. *Journal of Plant Nutrition* 32: 1551 - 1559.
- Jones, J.B. and Case, V.W., 1990. Soil testing and plant analysis. Chapter 15. *Soil Science Society of America*. 3rd edition. SSSA.
- Kallo, D., 2001. Applications of natural zeolites in water and wastewater treatment, in: D.L. Bish, D.W.Ming (Eds.), *Natural Zeolites: Occurrence, Properties, Applications* 519 - 550.
- Kesraouiouki, S., Cheeseman, C.R. and Perry, R., 1994. Natural zeolite utilization in pollution-control—a review of applications to metals effluents, *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 59: 121 - 126.
- Kosmulski, M., Maczka, E., Jartych, E. and Rosenholm, J.B., 2003. Synthesis and characterization of goethite and goethite - hematite composite: experimental study and literature survey. *Advances in Colloid and Interface Science* 103: 57 - 76.
- Lindsay, W.L. and Norvell, W.A., 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society of America* 42: 421 - 428.
- Marcus, B. K. and Cornier, 1999. Going green with zeolites. *Chemical Engineering Progress*, June 1999. <http://www.aiche.org>.
- Molla, K., Dimirkou, A. and Antoniadis, V., 2012. Hexavalent Chromium Dynamics and Uptake in Manure-Added Soil. *Water Air Soil Pollut* 223: 6059-6067
- Schwertmann, U. and Cornell, R. M., 2000. *The Iron Oxides in the laboratory. Preparation and characterization. Second, Completely Revised and Extended Edition.* Weinheim: Wiley -VCH
- Sharma, D. C., & Forster, C. F., 1993. Removal of hexavalent chromium using sphagnum moss peat. *Water Research* 7: 1201-1208.
- Singh, A.K., 2001. Effect of trivalent and hexavalent chromium on spinach (*Spinacea oleracea* L). *Environmental Ecology* 19: 807 -810.
- Papafilippaki, A., Gasparatos, D., Haidouti, C., & Stavroulakis, G., 2007. Total and bioavailable forms of Cu, Zn, Pb and Cr in agricultural soils: a study from the hydrological basin of Keritis, Chania, Greece. *Global Nest Journal*, 9, 201-206.
- Zoffoli, H. J. O., do Amaral-Sobrinho, N. M. B., Zonta, E., Luisi, M. V., Marcon, G., & Tolón-Becerra, A., 2012. Inputs of heavy metals due to agrochemical use in tobacco fields in Brazil's Southern Region. *Environmental Monitoring and Assessment*. doi:10.1007/s10661-012-2721-y.
- Διονυσίου, Ο.Ν., 2010. Μελέτη της ικανότητας του τροποποιημένου ζεόλιθου ως μέσο απορρόπησης υδάτων άρδευσης. Διδακτορική διατριβή. Α.Π.Θ.

ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΑΡΑΛΛΑΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΑΠΟ ΜΗ ΕΠΑΝΔΡΩΜΕΝΟ ΕΛΙΚΟΠΤΕΡΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΟΡΘΟΛΟΓΙΚΗ ΛΙΠΑΝΣΗ ΤΟΥ ΚΑΛΑΜΠΟΚΙΟΥ

Μιλτιάδης Ιατρού¹, Αριστοτέλης Παπαδόπουλος¹, Φραντζής Παπαδόπουλος¹, Πολυξένη Ψωμά¹, Αρετή Μπούντλα¹, Σοφία Θεοδωρίδου², Κωνσταντίνος Καλογερόπουλος², Σταυρούλα Κυπαρίσση²

¹Ινστιτούτο Εδαφολογίας Θεσσαλονίκης, Ελληνική Γεωργική Σχολή, Θέρμη, Θεσσαλονίκη, Τ.Κ. 570 01

²Γεωανάλυση Α.Ε., Γεννηματά 54, Φοίνικας, Θεσσαλονίκη, Τ.Κ. 551 34

Στις σύγχρονες μεθόδους γεωργίας ακριβείας που στοχεύουν στην ορθολογική αζωτούχο λίπανση καλλιεργειών καλαμποκιού περιλαμβάνεται η τηλεπισκόπηση. Μια εξαιρετικά αποτελεσματική τεχνική για τη γρήγορη συλλογή δεδομένων από μεγάλες περιοχές είναι η τηλεπισκόπηση με τη χρήση μη επανδρωμένου ελικοπτερίου. Σε άλλες χώρες είναι διαδεδομένη η χρήση του αλγόριθμου που συσχετίζει το δείκτη επάρκειας αζώτου (SI) σε καλλιεργείες καλαμποκιού με τη δοσολογία αζωτούχου λίπανσης για την επίτευξη μέγιστης απόδοσης. Ο δείκτης SI υπολογίζεται από τον κανονικοποιημένο δείκτη βλάστησης (NDVI) με βάση κάποια περιοχή μέσα στην καλλιέργεια που είναι υπό εξέταση, η οποία έχει τροφοδοτηθεί επαρκώς με άζωτο (δεν υπάρχει η πιθανότητα μειωμένης απόδοσης). Στην Ελλάδα όμως, λόγω του μικρού μεγέθους του κλήρου, η κανονικοποίηση αυτή είναι αδύνατο να επιτευχθεί σε συνθήκες γεωργικής πρακτικής ρουτίνας. Έτσι, με τη διενέργεια ενός πειράματος καλαμποκιού τεσσάρων δόσεων αζώτου (N) προσδιορίσαμε δύο αλγόριθμους: α) αυτός που προσδιορίζει τη σχέση μεταξύ του δείκτη SI με τη δοσολογία αζωτούχου λίπανσης για την επίτευξη μέγιστης απόδοσης ($SI = 0,655 + 0,002 (\text{δόση N}) - 0,000003 (\text{δόση N})^2$, $R^2 = 0,60$) και β) αυτός που προσδιορίζει τη σχέση μεταξύ του νιτρικού αζώτου στο έδαφος και του SI ($\text{Soil NO}_3\text{-N} = 35,18 SI^{2,561}$, $R^2 = 0,51$). Ο τελευταίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό εμμέσως του SI με τη χρήση μόνο ενός δείγματος εδάφους (ομογενοποιημένο δείγμα πολλών υποδειγμάτων από μια περιοχή του αγρού) με σκοπό την παράλειψη του προσδιορισμού του SI με την τεχνική της χρήσης μιας περιοχής που έχει τροφοδοτηθεί επαρκώς με άζωτο μέσα στο τεμάχιο που γίνεται η λήψη των δεδομένων τηλεπισκόπησης.

Λέξεις κλειδιά: τηλεπισκόπηση, δείκτης επάρκειας αζώτου, αζωτούχος λίπανση, καλαμπόκι, νιτρικό άζωτο εδάφους, μη επανδρωμένο ελικοπτερο

DETERMINING NITROGEN VARIABILITY USING REMOTE SENSING FROM AN UNMANNED AERIAL VEHICLE FOR SOUND FERTILIZATION OF CORN

Miltiadis Iatrou¹, Aristotelis Papadopoulos¹, Frantzis Papadopoulos¹, Polyxeni Psoma¹, Areti Bountla¹, Sofia Theodoridou², Konstantinos Kalogeropoulos², Stauroula Kiparissi²

¹Soil Science Institute of Thessaloniki, 570 01, Thessaloniki, Greece

²Geoanalysis SA, 551 34, 54 Genimata, Thessaloniki, Greece

iatrou@ssi.gov.gr, director@ssi.gov.gr, tzeni@ssi.gov.gr, areti@ssi.gov.gr, sofia@geoanalysis.gr,

kkalogeropoulos@geoanalysis.gr, skiparissi@geoanalysis.gr

Remote sensing is included in the modern methods of precision agriculture aiming sound fertilization of crops. An excellent technique for rapid collection of data from large areas is remote sensing using an unmanned aerial vehicle. In other countries the use of an algorithm correlating the nitrogen Sufficiency Index (SI) with nitrogen application rates for the maximization of yield is well established. SI is calculated by using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) of the corn crop compared to NDVI data from a well-fertilized area within the field (non yield limiting). In Greece though, because of the small size of the field parcels, this standardization is not possible to be obtained under the routine agricultural practice. Thus, by conducting a corn experiment of four nitrogen (N) rates two algorithms were determined: a) one for determining the relationship between SI and nitrogen application rate for maximization of yield ($SI = 0,655 + 0,002 (\text{N rate}) - 0,000003 (\text{N rate})^2$, $R^2 = 0,60$) and b) a second one for determining the relationship between soil nitrate-N and SI ($\text{Soil NO}_3\text{-N} = 35,18 SI^{2,561}$, $R^2 = 0,51$). The latter can be used for determining SI indirectly by using a soil sample (a composite soil sample including several subsamples from an area within the field) in order to eliminate the determination of SI with the use of a well-fertilized area within the field parcel.

Key words: remote sensing, sufficiency index, nitrogen fertilization, corn, soil nitrate nitrogen, unmanned aerial vehicle

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η τηλεπισκόπηση παρέχει σημαντικά πλεονεκτήματα όσον αφορά την καταγραφή της θρεπτικής κατάστασης των φυτών σε N κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου σε σύγκριση με τις παραδοσιακές τεχνικές φυλλοδιαγνωστικής (ανάλυση ολικού αζώτου σε ολόκληρο φύλλο και μέτρηση της σχετικής συγκέντρωση της χλωροφύλλης με χλωροφυλλόμετρο). Έτσι, η τηλεπισκόπηση παρέχει τη δυνατότητα της γρήγορης συλλογής δεδομένων από μεγάλες περιοχές και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αναγνωρίσει τη διαφορά των χαρακτηριστικών των φυτών (το ποσοστό των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων που ανακλώνται στα διαφορετικά μήκη κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας) εντός ενός αγροτεμαχίου. Αυτή η καταγραφή της διαφοροποίησης της ανακλώμενης ακτινοβολίας από την καλλιέργεια μπορεί να βοηθήσει στην ανάληψη μιας ομογενούς διαχείρισης συγκεκριμένων τμημάτων του αγροτεμαχίου (Jones and Vaughan, 2010).

Αντιθέτως, η φυλλοδιαγνωστική (ανάλυση ολικού N σε φυτικό ιστό) είναι χρονοβόρα και απαιτεί την ιδιαίτερη πρόνοια του παραγωγού για πιστή τήρηση των πρωτοκόλλων δειγματοληψίας. Έτσι, απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή κατά την επιλογή και συλλογή των δειγμάτων, τη μεταχείριση, την προετοιμασία, την αποστολή, μεταφορά και ανάλυση τους στο εργαστήριο. Διαφορετικά αναξιόπιστα αποτελέσματα θα ληφθούν από την ανάλυση αυτών των δειγμάτων και η ερμηνεία τους θα οδηγήσει σε λαθεμένη σύσταση λίπανσης. Επιπλέον, η ανάλυση σε επίπεδο χωραφιού γίνεται σε ένα δείγμα που έχει ληφθεί από φύλλα που τυχαioποιημένα συλλέχθηκαν από το σύνολο του χωραφιού με αποτέλεσμα να μη προσφέρεται η δυνατότητα για διαφορετική διαχείριση συγκεκριμένων τμημάτων του αγροτεμαχίου ανάλογα με τη θρεπτική κατάσταση της καλλιέργειας (Jones and Vaughan, 2010). Το ίδιο μειονέκτημα εντοπίζεται και στην περίπτωση της χρήσης του χλωροφυλλόμετρου, με το οποίο γίνεται μέτρηση ορισμένων φύλλων από πολλά σημεία του αγροτεμαχίου και η σύσταση λίπανσης βασίζεται στο μέσο όρο των μετρήσεων αυτών.

Ωστόσο, η τηλεπισκόπηση και η χρήση του χλωροφυλλόμετρου για την καταγραφή της θρεπτικής κατάστασης των φυτών σε N απαιτούν το καθορισμό μέσα στο αγροτεμάχιο μιας ζώνης που έχει λιπανθεί επαρκώς με N, για τον προσδιορισμό του δείκτη επάρκειας N (Sufficiency Index, SI). Αυτό είναι απαραίτητο εξαιτίας του γεγονότος ότι η συγκέντρωση της χλωροφύλλης στον φυτικό ιστό είναι σχετιζόμενη με άλλους παράγοντες όπως ο τύπος του εδάφους, το κλίμα, ο φωτισμός, η υδατική κατάσταση του φυτικού ιστού, η εξαιρετική απόχρωση του πράσινου που μπορεί να έχει το κάθε υβρίδιο (συγκέντρωση χλωροφύλλης) και οι ασθένειες των φύλλων (Jones and Vaughan, 2010). Το SI είναι ο λόγος της μέτρησης του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης (NDVI) των φυτών (ο πιο γνωστός δείκτης που χρησιμοποιείται

στην τηλεπισκόπηση) που δεν έχουν λιπανθεί επαρκώς με N, προς τη μέτρηση του NDVI αυτών των φυτών που έχουν λιπανθεί επαρκώς με N (Varvel et al., 2007; Clay et al., 2012). Παρόλο όμως που είναι απαραίτητη αυτή η στανταροποίηση του NDVI ώστε να καταστεί εφικτός ο προσδιορισμός της θρεπτικής κατάστασης της καλλιέργειας σε N, σε συνθήκες γεωργικής πρακτικής ρουτίνας η διαδικασία αυτή δεν είναι εύκολη, πολύ δε περισσότερο στην Ελλάδα λόγω του σχετικά μικρού μεγέθους του κλήρου. Οι Clay et al. (2012) αναφέρουν ότι ακόμα δεν είναι σαφές πόσες θα πρέπει να είναι οι ζώνες μέσα στην καλλιέργεια που θα πρέπει να έχουν λιπανθεί επαρκώς με N (και άρα τι μέγεθος θα πρέπει να έχουν) και που ακριβώς θα πρέπει να βρίσκονται μέσα στο χωράφι. Επίσης, σύμφωνα με τους Fox et al. (2001), η απροθυμία των παραγωγών να εγκαταστήσουν αυτές τις ζώνες επάρκειας N μέσα στα χωράφια τους είναι η σημαντικότερη αιτία που περιορίζει τη χρήση του χλωροφυλλόμετρου στις Η.Π.Α.

Οι στόχοι της εργασίας αυτής ήταν: α) να εξεταστεί εάν η τηλεπισκόπηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την έγκαιρη διάγνωση της έλλειψης ή επάρκειας N με σκοπό την αύξηση της παραγωγικότητας και της ταυτόχρονης μείωσης N λίπανσης στην καλλιέργεια, β) να κατασκευαστεί ένα αλγόριθμος που να συνδέει την N λίπανση με το δείκτη βλάστησης της καλλιέργειας καλαμποκιού και γ) να συσχετιστεί η ανάλυση νιτρικών του εδάφους με το δείκτη βλάστησης της καλλιέργειας.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Διενεργήθηκε ένα πείραμα καλαμποκιού (*Zea mays* L., Pioneer G44) στην πειραματική περιοχή του Ινστιτούτου Εδαφολογίας Θεσσαλονίκης το καλοκαίρι του 2011 και εφαρμόστηκαν 4 μεταχειρίσεις N που εφαρμόστηκαν ως νιτρική αμμωνία: 0, 15, 25 και 35 kg N στρ.⁻¹. Το έδαφος στο οποίο πραγματοποιήθηκε το πείραμα ήταν μέσης μηχανικής σύστασης και είχε: pH 7,98, EC 0.406, CaCO₃ 2,2%, οργανική ουσία 0.98%, φώσφορο 17,9 mg kg⁻¹ εδάφους, κάλιο 162 mg kg⁻¹ εδάφους και μαγνήσιο 30,4 mg kg⁻¹ εδάφους. Η σπορά έγινε στις 2 Μαΐου 2011. Η λίπανση εφαρμόστηκε σε δύο δόσεις: μια εφαρμογή έγινε κατά τη σπορά με ενσωμάτωση και η επόμενη επιφανειακά 6 εβδομάδες αργότερα. Το σχέδιο του πειράματος ήταν πλήρως τυχαioποιημένο με 4 επαναλήψεις για κάθε μεταχείριση και το μέγεθος του κάθε πειραματικού τεμαχίου ήταν 144 m². Η απόσταση μεταξύ των γραμμών σποράς ήταν 80 cm. Οι ανάγκες της καλλιέργειας σε νερό καλύφθηκαν με καταιονισμό. Γενικά, μελετήθηκε η επίδραση των 4 δόσεων N λίπανσης στην απόδοση της καλλιέργειας του καλαμποκιού, στο δείκτη βλάστησης της καλλιέργειας, και τα επίπεδα των νιτρικών του εδάφους στο κάθε πειραματικό τεμάχιο.

Έγιναν δυο μετρήσεις με το ελικόπτερο: 31-05-2011 και 30-06-2011. Η πρώτη μέτρηση έγινε όταν τα περισσότερα φυτά είχαν εμφανίσει το 8^ο φύλλο (Εικόνα 1). Όταν έγινε η πρώτη πτήση με το

ελικόπτερο ελήφθησαν 13 δείγματα εδάφους ανά πειραματικό τεμάχιο και αναλύθηκαν για νιτρικά. Το βάθος δειγματοληψίας ήταν τα 30 cm. Ο δείκτης NDVI υπολογίστηκε από τα δεδομένα που ελήφθησαν από την κάμερα που προσαρτήθηκε στο ελικόπτερο και διαιρέθηκε από τη μέση τιμή NDVI που βρέθηκε στα πειραματικά τεμάχια που λιπάνθηκαν με τη μέγιστη δοσολογία N, ώστε να υπολογιστεί ο δείκτης επάρκειας N (SI). Η συγκέντρωση των νιτρικών προσδιορίστηκε με τη χρήση 0,5 M K₂SO₄ εκχυλιστικού και ενός φασματοφωτόμετρου UV-VIS (Hitachi, U-2900).

Τα φασματικά δεδομένα συλλέχθηκαν από την Γεωανάλυση Α.Ε. με τη χρήση μεθόδων τηλεπισκόπησης και μιας στάνταρτ πολυφασματικής κάμερας, η οποία προσαρμόστηκε σε ένα μη επανδρωμένο πτητικό μέσο (ελικόπτερο). Η χρήση του ελικοπτέρου επελέγη διότι οι πτήσεις που γίνονται από χαμηλό ύψος με τη χρήση μη επανδρωμένων μέσων αποτρέπουν τις σημαντικές αλληλεπιδράσεις του μετρούμενου ανακλώμενου φωτός που παρατηρούνται από την ανάκλαση του φωτός στην ατμόσφαιρα όταν οι εικόνες λαμβάνονται από αεροπλάνο ή δορυφόρο (Jones and Vaughan, 2010). Οι μετρήσεις του δείκτη βλάστησης έγιναν από πολυφασματική κάμερα στο ορατό, κοντά στο υπέρυθρο (near-infrared) και στο θερμικό υπέρυθρο φάσμα με 25° γωνία οπτικής παρατήρησης. Οι φασματικές περιοχές που κατέγραψε η κάμερα ήταν: 450, 550, 650, 700, 850 και 950 με ± 40 nm. Η χωρική διακριτική ικανότητα ήταν 2,6 cm. Οι μετρήσεις έγιναν με καθαρό ουρανό βαθμονομημένες με 99% Spectralon panel και 40-50° ηλιακό ζενίθ σε ναδίρ προσανατολισμό. Η καταγραφή των δεδομένων έγινε σε έξι φασματικά κανάλια των 10 bit SXGA και το κάθε φασματικό κανάλι είχε το δικό του φίλτρο (ένα τυπικό φίλτρο φασματοσκόπιου) για να παράγει συγχρονισμένες απεικονίσεις χωρίς λάθη μεταξύ των εικόνων. Τα φασματικά κανάλια είχαν ένα εύρος από 350-5500 nm με φασματική ανάλυση που κυμαινόταν μεταξύ 3,0 και 10 nm, βασισμένη στο μήκος κύματος. Για να καθοριστεί η συγκέντρωση της χλωροφύλλης στη βλάστηση (η οποία είναι εξαρτώμενη από τη συγκέντρωση N), καταγράφηκαν τα διακριτά χρώματα (μήκη κύματος) της ηλιακής ακτινοβολίας του ορατού και κοντά στο υπέρυθρο που αντανάκλαστηκε από τα φυτά.

Όταν γίνεται χρήση των αισθητήρων που είναι προσαρμοσμένες πάνω σε UAV, θα πρέπει να γίνεται διόρθωση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών, διόρθωση βινιέτας και βαθμονόμηση των δεδομένων που συλλέγονται. Μετά την προπαρασκευαστική ανάλυση, ακολούθησαν οι στάνταρτ διαδικασίες διόρθωσης. Αυτές οι διαδικασίες περιλάμβαναν ραδιομετρική διόρθωση ώστε να διορθωθούν οι εικόνες για τις ατμοσφαιρικές συνθήκες που επικράτησαν κατά τη στιγμή της λήψης και γεωμετρική διόρθωση ώστε να ληφθεί υπόψη η γεωμετρική παραμόρφωση εξαιτίας των φακών της κάμερας, αστάθειας του αεροσκάφους ή μη γραμμικής σάρωσης και άλλες συνθήκες λήψης των φωτογραφιών (όπως π.χ.

πλάγιες προβολές). Επίσης, έγινε γεωαναφορά των εικόνων και δημιουργήθηκαν μωσαϊκά ορθοεικόνων. Έγινε μετατροπή από τις τιμές DN στις ραδιομετρικές τιμές και η ανάλυση έγινε στις τιμές ανάκλασης.

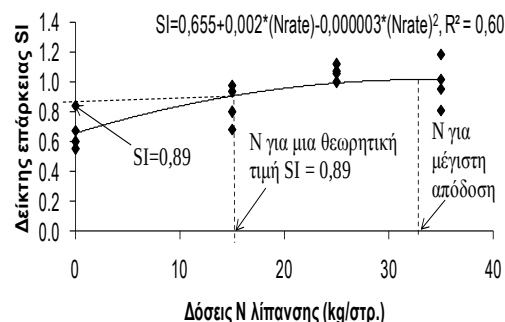


Εικόνα 1. Παράδειγμα λήψης φωτογραφίας από το ελικόπτερο όπως φαίνεται στις τρεις ορατές φασματικές ζώνες.

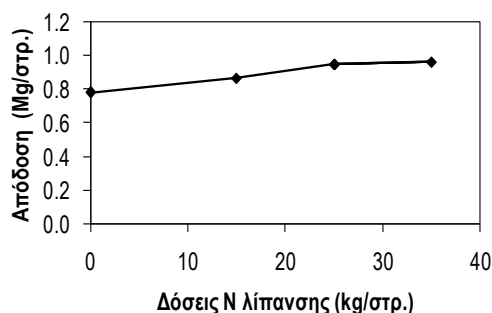
Τα δεδομένα που ελήφθησαν από το πείραμα χρησιμοποιήθηκαν για να εξαχθούν οι εξισώσεις παλινδρόμησης. Τα μοντέλα παλινδρόμησης προσαρμόστηκαν βασισμένα στις εξισώσεις που έδωσαν την καλύτερη συσχέτιση. Η επίδραση της N λίπανσης στις διάφορες παραμέτρους που μελετήθηκαν αναλύθηκε στατιστικά με τη χρήση της διαδικασίας ANOVA του στατιστικού πακέτου Genstat (version 11, VSN International Ltd, Oxford, UK) σε επίπεδο σημαντικότητας 0,05.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Το εύρος των τιμών NDVI κατά την πρώτη πτήση του ελικοπτέρου ήταν από -0,5596 έως 0,7866. Οι τιμές του δείκτη NDVI παρουσίασαν αύξηση με την αύξηση της δοσολογίας N ($p < 0,001$). Για το λόγο αυτό κατασκευάστηκε ένα αλγόριθμος, σύμφωνα με τη διαδικασία που ακολουθήθηκε από τους Varvel et al. (2007), ο οποίος συσχετίζει τη δοσολογία της N λίπανσης με το δείκτη επάρκειας N (SI) (Διάγραμμα 1). Σύμφωνα με τον αλγόριθμο αυτό υπολογίζεται ότι η απόδοση της καλλιέργειας καλαμποκιού μεγιστοποιήθηκε (όταν δηλαδή αποκτήθηκε η μέγιστη τιμή SI) σε μια δόση N που αντιστοιχούσε στα 33,3 kg στρ.⁻¹. Η απόδοση της καλλιέργειας του καλαμποκιού σε σχέση με τη δοσολογία της N λίπανσης παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 2. Στην εικόνα 2 φαίνεται ο χάρτης της διαφοροποίησης της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης στα διάφορα πειραματικά τεμάχια, όπως καθορίστηκε από το δείκτη NDVI.

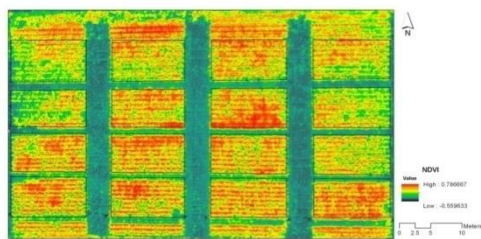


Διάγραμμα 1. Ο αλγόριθμος υπολογισμού της N λίπανσης του καλαμποκιού βασισμένος στο SI.

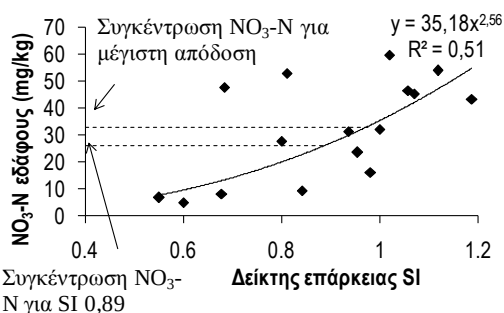


Διάγραμμα 2. Η απόδοση του καλαμποκιού σε σχέση με την N λίπανση.

Οι διαφορές μεταξύ των τεσσάρων μεταχειρίσεων N όσον αφορά τα επίπεδα νιτρικού-N στα πειραματικά τεμάχια ήταν στατιστικά σημαντικές όπως αναμενόταν ($p < 0,001$). Οι τιμές του νιτρικού-N έδωσαν καλή συσχέτιση ($r^2 = 0,51$) με το SI (Διάγραμμα 3). Άρα, από το Διάγραμμα 3 δείχνεται ότι εφόσον ένα δείγμα εδάφους αναλυθεί για νιτρικά, η τιμή SI μπορεί να προσδιοριστεί για φυτά καλαμποκιού που αναπτύσσονται στο συγκεκριμένο τμήμα εδάφους.



Εικόνα 2. Ο χάρτης της θρεπτικής κατάστασης των φυτών καλαμποκιού όπως καθορίστηκε από το δείκτη βλάστησης της καλλιέργειας.



Διάγραμμα 3. Η σχέση μεταξύ του SI και του νιτρικού-N (mg/kg) του εδάφους για καλλιέργεια καλαμποκιού. Οι μετρήσεις νιτρικού-N του εδάφους όπως φαίνονται στο διάγραμμα είναι ο μέσος όρος τιμών 13 δειγμάτων για κάθε πειραματικό τεμάχιο.

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Ο δείκτης NDVI έχει επί μακρόν αναγνωριστεί ότι έχει τη δυνατότητα να καθορίζει τη θρεπτική κατάσταση της καλλιέργειας σε N (Fox and Walthall, 2001). Η διαφοροποίηση στις τιμές του NDVI για τις διαφορετικές μεταχειρίσεις N στην παρούσα εργασία επιβεβαιώνει ότι ο δείκτης βλάστησης της καλλιέργειας καλαμποκιού μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης για την αποφυγή απωλειών απόδοσης. Ωστόσο, θα

πρέπει οι τιμές NDVI να μεταφραστούν σε κατάλληλες δόσεις λίπανσης N για να έχει νόημα η διαδικασία αυτή στην πράξη. Για το λόγο αυτό ένας αλγόριθμος κατασκευάστηκε ο οποίος συνδέει την N λίπανση του καλαμποκιού με το SI (Διάγραμμα 1). Η εξίσωση αυτή έδειξε ότι η απόδοση μεγιστοποιήθηκε (όταν μεγιστοποιήθηκε το SI) στα 33,3 kg N στρ.⁻¹. Αυτή η τιμή είναι αρκετά υψηλότερη από τα 17,9 kg N στρ.⁻¹ που έχουν προταθεί από τους Varvel et al. (2007) ως βέλτιστη δόση N για καλλιέργεια καλαμποκιού. Ωστόσο, η τιμή αυτή δεν ήταν μη αναμενόμενη, καθώς για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας ακολουθήθηκε η στάνταρ γεωργική πρακτική για τις Ελληνικές συνθήκες, που περιλαμβάνει μόνο δύο δόσεις N (μία κατά τη σπορά και μία ακόμη κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου). Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι στην περίπτωση των Varvel et al. (2007) χρησιμοποιήθηκαν 6 δόσεις N. Σύμφωνα με τους Karyotis et al. (2006), οι παραγωγοί καλαμποκιού στην Ελλάδα χρειάζεται να εφαρμόσουν 32-35 kg N στρ.⁻¹ και αυτή η δΟΣΟΛΟΓΙΑ μπορεί να μειωθεί στα 17-21 kg N στρ.⁻¹ εάν το N εφαρμοστεί σε 10-13 δόσεις μέσω συστήματος στάγδην άρδευσης. Όμως, θεωρητικά, ακόμη και εάν εφαρμοζόταν σύστημα στάγδην άρδευσης σε καλλιέργεια καλαμποκιού και λαμβάνονταν δεδομένα με τηλεπισκόπηση για το δείκτη βλάστησης της καλλιέργειας, η εξίσωση που παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 1 θα εξακολουθούσε να μπορεί να παρέχει τη δυνατότητα έγκαιρης διάγνωσης της θρεπτικής κατάστασης της καλλιέργειας καθώς οι ίδιες ποσότητες N αν δίνονταν σε μικρότερες δόσεις αλλά σε συχνότερα διαστήματα, θα είχαν ως αποτέλεσμα υψηλότερες τιμές SI και άρα η σύσταση λίπανσης για N θα ήταν μικρότερη. Αυτό όμως μένει να αποδειχτεί με επιπλέον πειράματα που θα πρέπει να γίνουν για να διαφωτίσουν το θέμα αυτό.

Ο αλγόριθμος του Διαγράμματος 1 δείχνει ότι η δόση N λίπανσης μπορεί να καθοριστεί ακολουθώντας την εξής διαδικασία: συλλέγονται τα δεδομένα της τηλεπισκόπησης κατά τη διάρκεια της βλαστικής ανάπτυξης της καλλιέργειας του καλαμποκιού (οι Varvel et al. (2007) έδειξαν ότι η εξίσωση δεν άλλαξε για τα στάδια ανάπτυξης από την εμφάνιση του 8^{ου} μέχρι την εμφάνιση του 12^{ου} φύλλου των φυτών του καλαμποκιού), και τα δεδομένα αυτά συγκρίνονται με δεδομένα από μια περιοχή του χωραφιού που έχει λιπανθεί επαρκώς με N ώστε να υπολογιστεί το SI. Εφόσον έχουμε τις τιμές SI, η εξίσωση λύνεται ως προς το N, και η τιμή για το N αντιπροσωπεύει τις απαιτήσεις της καλλιέργειας σε N. Εάν για παράδειγμα είχαμε μια τιμή SI που θα αντιστοιχούσε στο 0,89, η εξίσωση θα παρείχε μια εκτίμηση για τις ανάγκες της καλλιέργειας σε N που θα αντιστοιχούσε στα 15,3 kg N στρ.⁻¹ (τα οποία θεωρητικά έχουν ήδη εφοδιαστεί στα φυτά) και θα συνιστούσε 18 (33,3-15,3) kg N στρ.⁻¹, τα οποία θα έπρεπε επιπλέον να εφαρμοστούν για να αποκτηθεί ή μέγιστη τιμή SI (και άρα η μέγιστη απόδοση).

Η εξίσωση στο Διάγραμμα 3 δείχνει ότι εφόσον ένα δείγμα εδάφους αναλυθεί για νιτρικά, οι τιμές SI μπορούν να καθοριστούν. Έτσι για παράδειγμα εάν ληφθούν δεδομένα τηλεπισκόπισης από μια περιοχή του χωραφιού και γίνει από το τμήμα αυτό ανάλυση εδάφους για νιτρικό-N, τότε μπορεί να προσδιοριστεί μια τιμή αναφοράς NDVI_{αναφοράς} από τον εξής τύπο:

$$SI = \frac{NDVI}{NDVI_{\text{αναφοράς}}} \quad (1)$$

ή

$$NDVI_{\text{αναφοράς}} = \frac{NDVI}{SI} \quad (2)$$

όπου το SI υπολογίζεται από την εξίσωση του Διαγράμματος 3 και το NDVI δίνεται από τα δεδομένα της τηλεπισκόπισης. Η σημασία του προσδιορισμού του NDVI_{αναφοράς} είναι ιδιαίτερα μεγάλη, εάν σκεφτούμε ότι αυτό θα έδινε τη δυνατότητα να ληφθούν δεδομένα τηλεπισκόπισης από το υπόλοιπο του χωραφιού και έτσι να προσδιοριστούν ομοιογενείς ζώνες διαχείρισης της N λίπανσης εντός του χωραφιού, ενώ παράλληλα θα δινόταν η δυνατότητα παράλειψης της εγκατάστασης μιας ζώνης εντός του αγρού που έχει λιπανθεί επαρκώς με N. Οι περισσότερες εργασίες μέχρι τώρα έχουν χρησιμοποιήσει την τηλεπισκόπηση για τον προσδιορισμό της θρεπτικής κατάστασης σε N της καλλιέργειας. Απ' όσο γνωρίζουμε υπάρχει μόνο μια εργασία που δείχνει ότι η τηλεπισκόπηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το καθορισμό της διαθεσιμότητας του N στο έδαφος (Diker and Bausch, 1998). Στην παρούσα εργασία η αντίθετη διαδικασία προτείνεται ότι μπορεί να ακολουθηθεί. Δηλαδή, η ανάλυση του νιτρικού-N στο έδαφος να χρησιμοποιηθεί για γίνει εκτίμηση των τιμών SI. Άρα, η ανάλυση του νιτρικού-N στο έδαφος, καθώς είναι μια εύκολη και προσιτή από άποψη κόστους διαδικασία, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μια έμμεση διαδικασία στανταροποίησης των τιμών NDVI και έτσι σε συνδυασμό με την τηλεπισκόπηση, και τη βοήθεια ειδικών αλγορίθμων, μπορούν να παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες για καλύτερη διαχείριση του N. Αυτή η διαδικασία επιπλέον θα καθιστούσε σημαντική την ανάλυση του νιτρικού-N στο έδαφος εντός της καλλιεργητικής περιόδου, αφού σήμερα η ανάλυση του νιτρικού-N στο έδαφος χρησιμοποιείται μόνο προφυτρωτικά, καθώς η συγκέντρωση των νιτρικών στο έδαφος μεταβάλλεται γρήγορα κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης των φυτών λόγω της πρόσληψής τους από τις ρίζες.

Η εξίσωση του Διαγράμματος 3 δείχνει ότι εάν είχαμε μια θεωρητική τιμή SI = 0,89, αυτό θα αντιστοιχούσε σε μια τιμή νιτρικού-N 26 mg kg⁻¹ και θα χρειαζόταν για να επιτευχθεί η μέγιστη τιμή SI, και άρα η μέγιστη απόδοση, να φτάσουμε σε μια τιμή νιτρικού-N που θα αντιστοιχούσε στα 33 mg kg⁻¹. Εάν η καλλιέργεια ήταν πολύ ελλειμματική σε N και λαμβάναμε SI = 0,6, η εξίσωση του Διαγράμματος 3 θα μας έδειχνε ότι το επίπεδο νιτρικού-N στο έδαφος θα ήταν 9,5 mg kg⁻¹.

Σύμφωνα με τους Magdoff et al. (1990), εάν το επίπεδο νιτρικού-N στο έδαφος προφυτρωτικά για καλλιέργεια καλαμποκιού είναι μεταξύ 5 και 10 mg kg⁻¹, η συνιστώμενη δόση N για την επίτευξη μέγιστης απόδοσης είναι 15,7 kg N στρ.⁻¹. Αυτή η τιμή είναι πολύ κοντά στη συνιστώμενη δόση (18 kg N στρ.⁻¹) που προτείνεται από το μοντέλο του Διαγράμματος 1, λαμβάνοντας υπόψη ότι το N εφαρμόστηκε στο πείραμα αυτό σύμφωνα τις στάνταρ διαδικασίες γεωργικής πρακτικής που ακολουθούνται στην Ελλάδα (η εφαρμογή N έγινε μόνο σε 2 δόσεις).

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με τη συσχέτιση της ανάλυσης του νιτρικού-N στο έδαφος με το δείκτη επάρκειας N δίνεται η δυνατότητα για παράλειψη της εγκατάστασης μιας ζώνης μέσα τον αγρό που έχει λιπανθεί επαρκώς με N. Αυτή η δυνατότητα μπορεί να διευκολύνει την εφαρμογή της τηλεπισκόπισης στην πράξη καθιστώντας τη πιο εφικτή και αποτελεσματική.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους: Γιώργο Στρίκο, Χαράλαμπο Τσότρα, Κατερίνα Οικονόμου και Ηρακλή Παλαβάτσιο για την τεχνική και αναλυτική βοήθεια που παρείχαν.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Περιοδικά

- Clay, D.E., Prasad Kharel, T., Reese, C., Beck, D., Carlson, C.G., Clay A.S., Reicks, G., 2012. Winter wheat crop reflectance and nitrogen sufficiency index values are influenced by nitrogen and water stress. *Agron. J.*, 104: 1612-1617.
- Fox, R.H., Piekielek, W.P., Macneal, K.E., 2001. Comparison of late-season diagnostic tests for predicting nitrogen status of corn. *Agron. J.*, 93: 590-597.
- Karyotis, T., Panagopoulos, A., Alexiou, J., Kalfountzos, D., Pateras, D., Argyropoulos, G., Panoras, A., 2006. Nitrates pollution in a vulnerable zone of Greece. *Commun. Biom. Crop Sci.*, 1: 72-78.
- Magdoff, F.R., Jokela, W.E., Fox, R.H., Griffin, G.F. 1990. A soil test for nitrogen availability in the northeastern United States. *Commun. Soil Sci. Plant Anal. J.*, 21: 1103-1115.
- Varvel, G.E., Wilhelm, W.W., Shanahan, J.F., Schepers, J.S., 2007. An algorithm for corn nitrogen recommendations using a chlorophyll meter based sufficiency index. *Agron. J.*, 99: 701-706.
- Jones H. G., Vaughan R. A., 2010. Remote sensing of vegetation. Principles, techniques, and applications. Oxford University Press, Oxford, New York.
- Diker, K., Bausch, W.C., 1998. Mapping in-season nitrogen variability assessed through remote sensing. *Proceedings of IV International Conference on Precision Agriculture*. 19-22 July. St. Paul, MN. ASA, CSSA, SSSA, Madison, Wisconsin. pp. 1445-1455.

**ΟΣΜΩΤΙΚΗ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ ΦΥΤΩΝ ΚΑΛΑΜΠΟΚΙΟΥ.
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ.**

Εμμανουήλ Λεκάκης, Παρθένα Παμπουκίδου, Βασίλειος Αντωνόπουλος

Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής
Γεωπονική Σχολή Α.Π.Θ., 54124 Θεσσαλονίκη

Στην εργασία μελετήθηκε η επίδραση της υδατικής και ωσμωτικής καταπόνησης με εφαρμογή αλατούχου και καθαρού αρδευτικού νερού στην απόδοση καλλιέργειας καλαμποκιού, αλλά και στην κατανομή της περιεχόμενης υγρασίας και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο έδαφος κατά τη διάρκεια μιας καλλιεργητικής περιόδου. Με το μοντέλο SALTMED έγινε η προσομοίωση της κατανομής της εδαφικής υγρασίας και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο εδαφικό προφίλ υπό άρδευση με υφάλμυρο και καθαρό νερό. Επίσης, μελετήθηκε η επίδραση υδατικής και ωσμωτικής καταπόνησης στην απόδοση του καλαμποκιού. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για την κατανομή της εδαφικής υγρασίας και της αλατότητας στο έδαφος ήταν επαρκώς ικανοποιητικά για όλη την καλλιεργητική περίοδο. Σύμφωνα με τις μετρημένες και υπολογισμένες τιμές, η άρδευση με υφάλμυρα νερά προκαλεί την αύξηση της αγωγιμότητας σε υψηλά επίπεδα, στα πρώτα 30 cm του εδάφους. Από τις μετρήσεις της απόδοσης προέκυψε ότι η υδατική καταπόνηση προκαλεί μεγαλύτερη μείωση στην απόδοση σε σχέση με την ωσμωτική καταπόνηση.

Λέξεις κλειδιά: υδατική καταπόνηση, ωσμωτική καταπόνηση, μειωμένη άρδευση, αλατούχο νερό, SALTMED

**SALINITY DISTRIBUTION AND CORN YIELD ASSESSMENT IRRIGATED WITH SALINE AND NON SALINE
WATER. EXPERIMENTAL MEASUREMENTS AND SIMULATIONS.**

Emanuel Lekakis, Parthena Pampoukidou, Vassilis Antonopoulos

Department of Hydraulics, Soil Science and Agricultural Engineering,
School of Agriculture, Aristotle University, Thessaloniki 54124, Greece
elekakis@agro.auth.gr, ppampouk@agro.auth.gr, vasanton@agro.auth.gr

In this paper the effects of water and osmotic stress on corn yield, soil moisture and salinity distribution were studied during one growing season. SALTMED model was evaluated in the simulation of soil moisture and salinity distribution under irrigation with saline and non saline water. Furthermore, the effects of water and osmotic stress on corn yield were evaluated from measured values in field conditions. The results showed that the model describes adequately soil moisture and salt loading of soil. According to measured and computed values salt loading is mainly restricted in the top 30 cm of the soil profile. Measured corn yield indicated that the effects of water stress are more detrimental than the effects of osmotic stress.

Key words: water stress, osmotic stress, deficit irrigation, saline water, SALTMED

1. Εισαγωγή

Η ξηρασία και η αλατότητα είναι κατά μεγάλο μέρος υπεύθυνοι παράγοντες για τη μείωση των αποδόσεων των καλλιεργούμενων φυτών. Η εναλάτωση των καλλιεργησιμων εδαφών επεκτείνεται ευρέως, εξαιτίας των αρδευτικών πρακτικών που ακολουθούνται υποβαθμίζοντας την ποιότητα των εδαφών, μειώνοντας έτσι την έκταση της παραγωγικής γης. Εκτιμάται ότι περίπου 6% των εδαφών ανά τον κόσμο και 50% της αρδευόμενης γης, από την οποία παράγονται το ένα τρίτο της τροφής του ανθρώπινου πληθυσμού, υποφέρουν από προβλήματα αλατότητας (Hillel, 2000). Η ξηρασία σε συνδυασμό με την αύξηση του πληθυσμού της γης αναμένεται να οδηγήσει σε υπερεκμετάλλευση των υδατικών πόρων για γεωργικούς σκοπούς. Από την άλλη μεριά, η εξάπλωση της εναλάτωσης των εδαφών προκαλεί μείωση της ανάπτυξης των φυτών και της δυναμικής των καλλιεργειών (Demiral et al., 2011). Τα τελευταία 25 χρόνια η ανάπτυξη των μαθηματικών μοντέλων έχει δημιουργήσει ένα πολύτιμο εργαλείο για την πρόβλεψη και πρόληψη των επιδράσεων των καλλιεργητικών επεμβάσεων στην απόδοση των φυτών και την ποιότητα του εδάφους και την κατάσταση

διαχειριστικών πρακτικών για την αντιμετώπισή τους. Ανάμεσα σε αυτές είναι και η άρδευση με επιβαρυμένα – αλατούχα νερά.

Στην εργασία γίνεται η επιβεβαίωση και επαλήθευση του μαθηματικού μοντέλου SALTMED, στην δυνατότητα προσομοίωσης της υγρασίας, της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και της απόδοσης των φυτών σε συνθήκες καλλιέργειας καλαμποκιού υπό άρδευση με υφάλμυρο και καθαρό νερό.

2. Υλικά και Μέθοδοι

2.1 Πειραματικός σχεδιασμός

Τα απαραίτητα δεδομένα συγκεντρώθηκαν από πειραματικό αγρό του Αγροκτήματος του Α.Π.Θ., κατά την καλλιεργητική περίοδο 2011. Για τη μελέτη της συνδυασμένης επίδρασης ωσμωτικής και υδατικής καταπόνησης στα φυτά με εφαρμογή υφάλμυρου νερού και μειωμένων δόσεων αρδευτικού νερού, εγκαταστάθηκαν τέσσερις μεταχειρίσεις με καλλιέργεια καλαμποκιού. Το σχέδιο του πειράματος ήταν split plot, με δύο επίπεδα ηλεκτρικής αγωγιμότητας αρδευτικού νερού ($EC_w = 0.8 \text{ dS m}^{-1}$ και 6.4 dS m^{-1}) ως κύριες ομάδες και δύο επίπεδα ύψους αρδευτικού νερού (100% και

40%) ως υποομάδες, με δύο επαναλήψεις. Αναλυτικά οι μεταχειρίσεις περιελάμβαναν:

άρδευση με νερό γεώτρησης ύψους 40 mm και EC=0.8 dSm⁻¹ (AFI – μάρτυρας)

άρδευση με νερό γεώτρησης ύψους 24 mm και EC=0.8 dSm⁻¹ (ADI – υδατική καταπόνηση)

άρδευση με υφάλμυρο νερό ύψους 40 mm και EC=6.4 dSm⁻¹ (DFI – ωσμωτική καταπόνηση)

άρδευση με υφάλμυρο νερό ύψους 24 mm και EC=6.4 dSm⁻¹ (DDI – υδατική και ωσμωτική καταπόνηση).

Η σπορά έγινε στις 20 Μαΐου με το υβρίδιο καλαμποκιού PR31G98 σε αποστάσεις μεταξύ των γραμμών 0.80 m και 0.16 m επί των γραμμών. Κατά τη βασική λίπανση εφαρμόστηκαν 11 kg N/στρέμμα. Η άρδευση πραγματοποιούνταν με εφαρμογή του νερού στη βάση των φυτών. Πραγματοποιήθηκαν 8 αρδεύσεις ανά επτά περίπου ημέρες. Αναχώματα περιμετρικά των μεταχειρίσεων απέτρεπαν την επιφανειακή απορροή. Η συγκέντρωση των κατιόντων στο υφάλμυρο νερό διατηρήθηκε σε αναλογία Ca²⁺/Mg²⁺/Na⁺ =3/3/2, ίδια με του νερού γεώτρησης. Στις 04/10 πραγματοποιήθηκε η συγκομιδή.

Η βροχόπτωση για το διάστημα από τη σπορά έως τη συγκομιδή ανήλθε σε 90 mm. Η διάρκεια των τεσσάρων σταδίων ανάπτυξης της καλλιέργειας ορίστηκε σε 25/30/50/35 ημέρες. Ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI) των μεταχειρίσεων προσδιοριζόταν ανά 15 ημέρες με την καταστροφική μέθοδο και ο μέγιστος LAI προέκυψε ίσος προς 5.68, 5.33, 4.96 και 5.31 αντίστοιχα για τις μεταχειρίσεις AFI, ADI, DFI, DDI. Ο K_c για κάθε μεταχείριση προσδιορίστηκε από την εξίσωση που πρότειναν οι Kang et al. (2003), ως εξής:

$$K_c = \frac{0.382 + 3.692 \cdot LAI}{LAI + 12.561} \quad LAI < 3 \quad (1)$$

$$K_c = 1.10 + 0.095 \cdot LAI \quad LAI \geq 3$$

Οι K_c των σταδίων ανάπτυξης για τις τέσσερις

μεταχειρίσεις προέκυψαν ίσοι προς K_{cini} =0.322±0.073, K_{cmid} =1.594±0.045 και K_{cend} =0.319±0.076.

Οι αρχικές τιμές των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων του εδάφους δίνονται στον Πίνακα 1.

Η υγρασία στις μεταχειρίσεις καταγραφόταν από αισθητήρες καταγραφής της εδαφικής υγρασίας, PR-2, (Delta-T Devices Ltd) πάνω στη γραμμή των φυτών. Τα βάθη καταγραφής ήταν 10, 20, 30, 40, 60 και 100 cm. Η σχέση βαθμονόμησης που συνδέει την υγρασία, θ_v (cm³cm⁻³) με τον αδιάστατο δείκτη διάθλασης της υγρασίας του εδάφους, ε^{0.5}, έχει ως εξής:

$$\theta_v = (\varepsilon^{0.5} - 1.778) / 9.1 \quad (2)$$

Από παρατηρήσεις της μείωσης της υγρασίας στα βάθη μέτρησης των αισθητήρων εκτιμήθηκε το μέγιστο βάθος του ριζοστρώματος ίσο προς 0.75 m.

Οι παράμετροι της χαρακτηριστικής καμπύλης εκτιμήθηκαν λύνοντας αντίστροφο πρόβλημα με το πρόγραμμα HYDRUS 1-D v.4 (Šimůnek et al., 2008) από τις μετρήσεις της υγρασίας και δίνονται στον Πίνακα 1. Οι παράμετροι θ_r και θ_s είναι η υπολειμματική και η υγρασία κορεσμού αντίστοιχα, α, n και m (=1-1/n) είναι τρεις σταθερές προσαρμογής και K_s είναι η υδραυλική αγωγιμότητα κορεσμού.

Κατά την καλλιεργητική περίοδο λαμβάνονταν δείγματα εδάφους από κάθε μεταχείριση κάθε 7 ημέρες. Τα δείγματα ήταν αντιπροσωπευτικά των στρώσεων 0-20, 20-30, 30-40, 40-50 και 50-70 cm, για τον προσδιορισμό της υγρασίας εδάφους και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εκχυλίσματος κορεσμού (EC_e).

Πίνακας 1. Φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους

Παράμετρος	Εδαφική Στρώση cm							
	AFI - ADI				DFI - DDI			
	0-20	20-40	40-90	90-100	0-20	20-40	40-90	90-100
Κοκκομετρική Συστ.	SiCL	SiL	SiL	SL	SiCL	SiL	SiL	SL
ρ _b (g·cm ⁻³)	1.45	1.31	1.14	1.63	1.38	1.47	1.12	1.63
EC (dS·m ⁻¹)	0.54	1.02	3.74	3.74	0.60	1.49	3.14	3.57
θ _s (cm ³ cm ⁻³)	0.52	0.57	0.59	0.50	0.51	0.51	0.59	0.50
θ _r (cm ³ cm ⁻³)	0.09	0.09	0.07	0.07	0.09	0.09	0.07	0.07
α	0.030	0.004	0.015	0.002	0.054	0.019	0.008	0.001
n	1.35	1.23	1.22	2.38	1.37	1.26	1.21	1.83
K _s (cm·h ⁻¹)	3.03	1.41	3.72	0.03	3.85	15.48	2.01	0.04

2.2 Περιγραφή του μαθηματικού μοντέλου SALTMED

Το μοντέλο SALTMED (Ragab, 2002) είναι ένα γενικό μοντέλο για την προσομοίωση της ανάπτυξης και απόδοσης των καλλιεργειών λαμβάνοντας υπόψη την ποσότητα και ποιότητα του νερού άρδευσης, το είδος και την ανθεκτικότητα της καλλιέργειας στα άλατα σε διάφορα στάδια ανάπτυξης, τις εδαφικές και κλιματικές συνθήκες. Το μοντέλο λαμβάνει υπόψη μονοδιάστατη και διδιάστατη ροή ανάλογα με το είδος άρδευσης, υδρολίπανση, παρουσία χαμηλής υπόγειας στάθμης και τον κύκλο του αζώτου. Το μοντέλο έχει επιβεβαιωθεί

με επιτυχία στην προσομοίωση της εδαφικής υγρασίας, της αλατότητας του εδάφους και της απόδοσης των καλλιεργειών, σε συνθήκες αγρού, σε περιοχές με Μεσογειακό κλίμα. Ειδικότερα, έχει χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση της απόδοσης υπό συνθήκες υδατικής καταπόνησης (Pulvento et al., 2013; Καλφούντζος κ.α., 2009) αλλά και υπό άρδευση με υφάλμυρα νερά χαμηλής ποιότητας (Hirich et al., 2012; Plauborg et al., 2010).

Η εξατμισοδιαπνοή υπολογίζεται με την τροποποιημένη εξίσωση Penman-Monteith κατά FAO-

56 (Allen et al., 1998). Η εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας, ET_c , υπολογίζεται ως εξής:

$$ET_c = ET_o (K_{cb} + K_e) \quad (3)$$

όπου ο K_{cb} είναι ο συντελεστής διαπνοής της καλλιέργειας και K_e είναι ο συντελεστής εξάτμισης από το έδαφος (Georgiou et al., 2010). Η πρόσληψη του νερού από τα φυτά υπολογίζεται με την προσέγγιση των Cardon and Letey (1992), ως εξής:

$$S(z,t) = \frac{S_{max}(t)}{1 + \left(\frac{ah + h_0}{h_{o50}} \right)^3} \cdot \lambda(z,t) \quad (4)$$

όπου $S_{max}(t)$ είναι η μέγιστη πρόσληψη του νερού από τις ρίζες, z είναι το κατακόρυφο βάθος, $\lambda(z,t)$ είναι η κατανομή της μάζας των ριζών, h είναι το ύψος πίεσης του εδαφικού νερού, h_{50} είναι το ύψος πίεσης στο οποίο μειώνεται η πρόσληψη του νερού κατά 50%, h_0 είναι η οσμωτική πίεση, h_{o50} είναι η οσμωτική πίεση στην οποία μειώνεται η πρόσληψη του νερού κατά 50% και a είναι ένας συντελεστής βαρύτητας που εκφράζει την απόκριση της καλλιέργειας στην υδατική και ωσμωτική καταπόνηση και ισούται με το λόγο του h_{o50} προς το h_0 . Η μέγιστη πρόσληψη του νερού υπολογίζεται από τον τύπο:

$$S_{max}(t) = ET_o(t) \cdot K_{cb}(t) \quad (5)$$

Το βάθος του ριζοστρώματος στο μαθηματικό μοντέλο ακολουθεί τη διακύμανση του φυτικού συντελεστή K_c . Η σχετική απόδοση της καλλιέργειας, RY , εκτιμάται από το κλάσμα της αθροιστικής πραγματικής πρόσληψης νερού προς την αθροιστική δυναμική πρόσληψη νερού (συνθήκες χωρίς καταπόνηση) καθ' όλη τη βλαστική περίοδο, ως εξής:

$$RY = \sum S(x,z,t) / \sum S_{max}(x,z,t) \quad (6)$$

Η πραγματική απόδοση, AY , εκτιμάται από την εξίσωση:

$$AY = RY \cdot Y_{max} \quad (7)$$

όπου Y_{max} είναι η μέγιστη απόδοση της καλλιέργειας στην υπό μελέτη περιοχή υπό συνθήκες χωρίς καταπόνηση.

Στο μοντέλο, η μονοδιάστατη, κατακόρυφη κίνηση του νερού σε μεταβαλλόμενο βαθμό κορεσμού του πορώδους μέσου, περιγράφεται από τη διαφορική εξίσωση του Richards, που έχει ως εξής:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = - \frac{\partial}{\partial z} \left[K(\theta) \left(\frac{\partial h + z}{\partial z} \right) \right] - S_w \quad (8)$$

όπου h είναι το ύψος πίεσης του εδαφικού νερού, $K(\theta)$ η ακόρεστη υδραυλική αγωγιμότητα, θ είναι η εδαφική υγρασία, z είναι η απόσταση στην κατακόρυφη διεύθυνση, t είναι ο χρόνος και S_w είναι ο όρος της πρόσληψης του νερού από τα φυτά. Η μονοδιάστατη εξίσωση μεταφοράς μιας συντηρητικής ουσίας στο έδαφος περιγράφεται ως εξής:

$$\frac{\partial (\theta c)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(D_a \frac{\partial c}{\partial z} \right) - \frac{\partial (qc)}{\partial z} - S_s \quad (9)$$

όπου c είναι η συγκέντρωση της ουσίας στο εδαφικό διάλυμα, q είναι η ταχύτητα Darcy, D_a είναι ο συντελεστής υδροδυναμικής διασποράς και S_s είναι ο όρος της πρόσληψης – προσρόφησης της ουσίας από τα φυτά. Οι διαφορικές εξισώσεις της κίνησης του νερού

και της μεταφοράς των ουσιών επιλύονται αριθμητικά με τη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών. Η επίλυση της εξίσωσης κίνησης του νερού απαιτεί τον προσδιορισμό των συναρτησιακών σχέσεων της εδαφικής υγρασίας $\theta(h)$ και της υδραυλικής αγωγιμότητας $K(h)$. Στο μοντέλο SALTMED, η χαρακτηριστική καμπύλη (σχέση υγρασίας-ύψους πίεσης) περιγράφεται από την εξίσωση του van Genuchten (1980) και η υδραυλική αγωγιμότητα (σχέση υδραυλικής αγωγιμότητας-ύψους πίεσης) από τη συνδυαστική συνάρτηση των Mualem - van Genuchten (van Genuchten, 1980).

Δεδομένα εισόδου του μοντέλου αποτελούν η ημερομηνία, το βάθος άρδευσης, η διάρκεια των αρδεύσεων και η EC του αρδευτικού νερού.

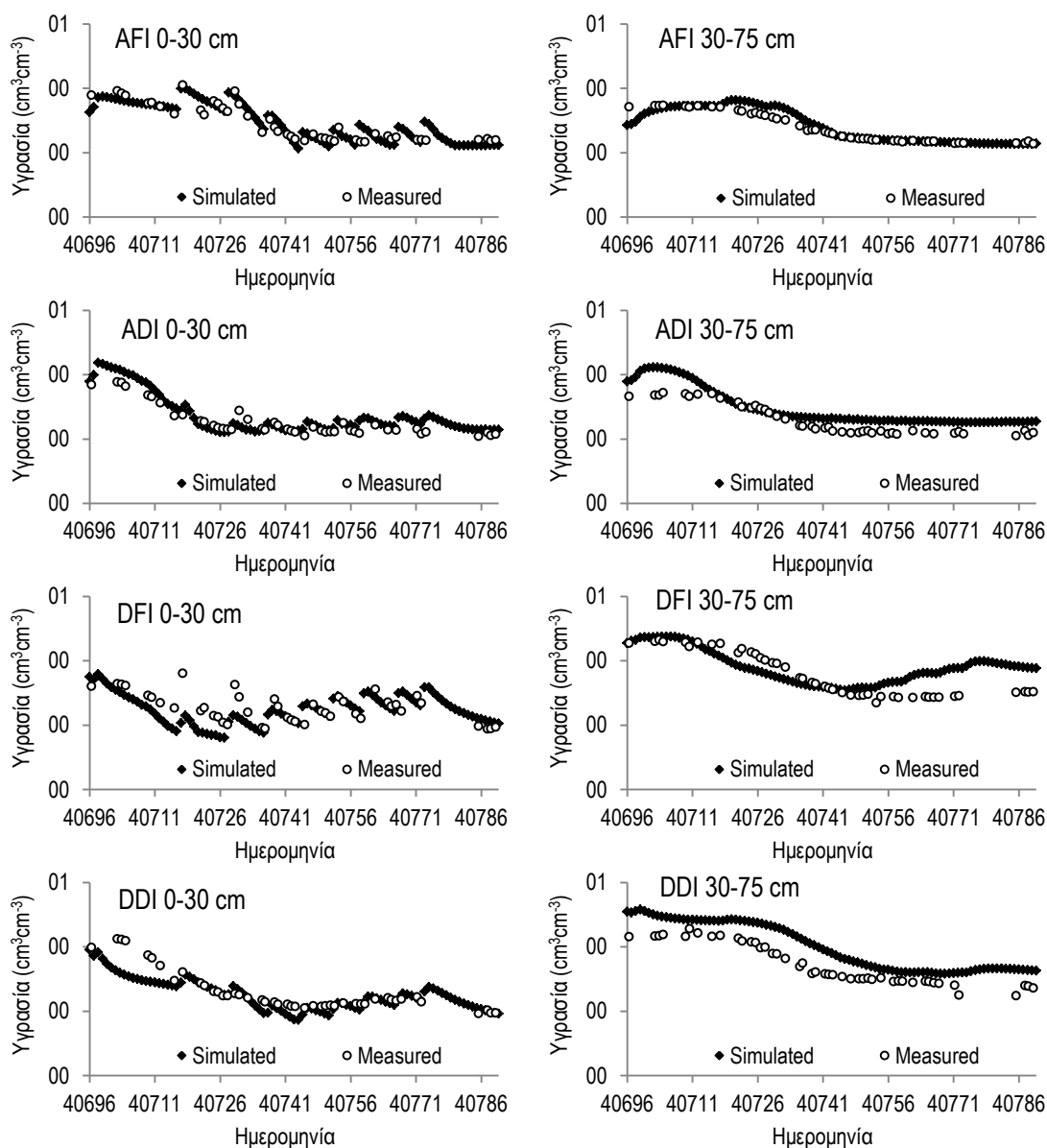
3. Αποτελέσματα

Η σύγκριση των τιμών της εδαφικής υγρασίας όπως καταγράφηκαν από τον αισθητήρα PR2, πάνω στη γραμμή των φυτών, με την υπολογισμένη υγρασία από το μοντέλο SALTMED παρουσιάζεται γραφικά για όλη τη βλαστική περίοδο στο Σχήμα 1, για τις τέσσερις μεταχειρίσεις. Η στρώση 0-30 cm προέκυψε ως μέσος όρος των βαθών 10, 20 και 30 cm, ενώ η στρώση 30-75 cm ως μέσος όρος των βαθών 40 και 60 cm. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης της υγρασίας είναι ιδιαίτερα ικανοποιητικά τόσο για την επιφανειακή όσο και την υποκείμενη στρώση μέχρι το βάθος του ριζοστρώματος. Οι περίοδοι ξήρανσης και ύγρυνσης του εδάφους, λόγω των αρδεύσεων και της εξατμισοδιαπνοής αντικατοπτρίζονται στην υγρασία της επιφανειακής στρώσης, ενώ στη στρώση 30-75 cm παρατηρείται μείωση της υγρασίας κυρίως εξαιτίας της διείσδυσης του ριζικού συστήματος και πρόσληψης νερού από βαθύτερες εδαφικές στρώσεις την περίοδο της έντονης ανάπτυξης. Οι πλήρεις δόσεις άρδευσης (40 mm) μπορούν να χαρακτηρισθούν ως συντηρητικές καθώς καλύπτουν μόνο το 48% της εξατμισοδιαπνοής, ενώ οι μειωμένες δόσεις το 37%, συμπεριλαμβανομένης της βροχόπτωσης, όπως υπολογίστηκε από το μοντέλο.

Στο Σχήμα 2 παρουσιάζεται η υπολογισμένη ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδαφικού διαλύματος (EC_w) από το μοντέλο SALTMED και η εκτιμημένη EC_w όπως υπολογίστηκε από την EC_e . Σύμφωνα με την προσέγγιση του U.S. Salinity Laboratory Staff (1954) η συγκέντρωση των διαλυτών αλάτων στο εκχύλισμα κορεσμού έχει την τάση να είναι η μισή της συγκέντρωσης στο εδαφικό διάλυμα στο ανώτερο όριο της εδαφικής υγρασίας και το ένα τέταρτο αυτής, στο κατώτερο όριο της εδαφικής υγρασίας - ξηρό έδαφος. Έτσι, για την εκτίμηση της EC_w από την EC_e χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω προσέγγιση:

$$EC_w = 2 \cdot EC_e \text{ για } \theta_{sat} \geq \theta \geq \theta_{fc} \\ EC_w = 3 \cdot EC_e \text{ για } \theta_{fc} > \theta \geq \theta_{pwp} \\ EC_w = 4 \cdot EC_e \text{ για } \theta < \theta_{pwp} \quad (10)$$

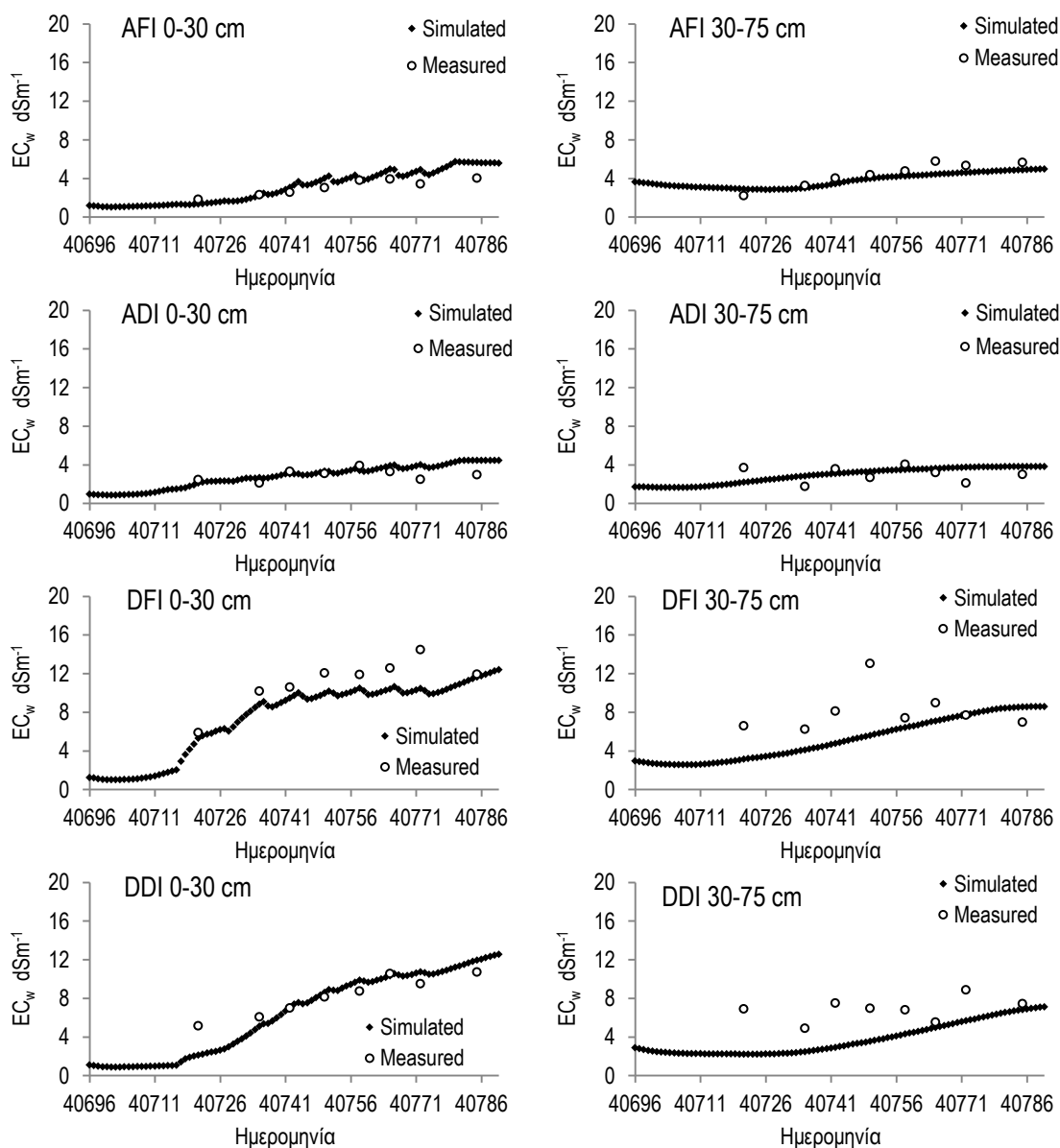
όπου θ_{sat} είναι η υγρασία κορεσμού, θ_{fc} είναι η υγρασία στην υδατοϊκανότητα και θ_{pwp} είναι η υγρασία στο σημείο μόνιμης μάρανσης. Οι Αντωνόπουλος κ.α. (2008) και οι Λεκάκης κ.α. (2012) αναφέρουν ότι η EC_w είναι διπλάσια έως τριπλάσια της EC_e .



Σχήμα 1. Γραφική αναπαράσταση υπολογισμένων και μετρημένων τιμών υγρασίας κατά τη βλαστική περίοδο

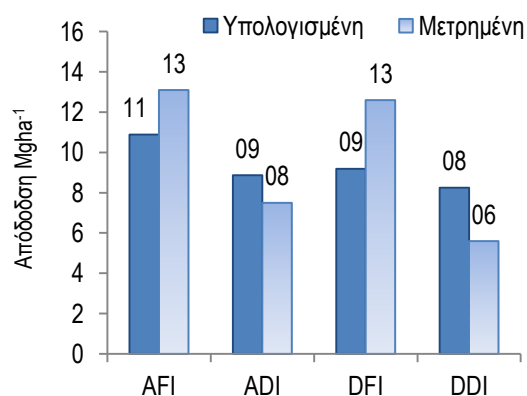
Από το Σχήμα 2 προκύπτει ότι το μοντέλο περιγράφει αρκετά ικανοποιητικά την EC_w του εδάφους και όπως ήταν αναμενόμενο η ηλεκτρική αγωγιμότητα αυξάνει σημαντικά στις μεταχειρίσεις που αρδεύονται με υφάλμυρο νερό. Παρατηρείται ότι η EC_w παραμένει σταθερά υψηλή στη στρώση εδάφους 30-75 cm, χωρίς ιδιαίτερες διακυμάνσεις, σε όλες τις μεταχειρίσεις, καθώς και η αρχική τιμή είναι υψηλή σε αυτό το βάθος, γεγονός που σημαίνει ότι δεν υπάρχει βαθειά διήθηση του νερού κάτω από τα 30 cm του εδάφους και κατ'επέκταση μεταφορά αλάτων. Το παραπάνω

επιβεβαιώνεται και από το Σχήμα 1, όπου είναι φανερό πως η υγρασία στη στρώση 30-75 cm μειώνεται ως αποτέλεσμα της πρόσληψης του νερού από τις ρίζες και δεν αναπληρώνεται από το νερό των αρδεύσεων. Η εξάτμιση και η διαπνοή κατά την περίοδο έντονης πρόσληψης και υψηλών θερμοκρασιών έχουν ως αποτέλεσμα την εξάντληση της υγρασίας από το επιφανειακό έδαφος και την αύξηση του φορτίου των αλάτων, ως αποτέλεσμα της συμπίκνωσής τους, στα πρώτα 30 cm του εδάφους όπου εντοπίζεται η μεγαλύτερη μάζα του ριζικού συστήματος.



Σχήμα 2. Γραφική αναπαράσταση υπολογισμένων και μετρημένων τιμών ηλεκτρικής αγωγιμότητας κατά τη βλαστική περίοδο

Οι υπολογισμένες τιμές της απόδοσης του καλαμποκιού δεν περιγράφουν ικανοποιητικά τις μετρημένες τιμές όπως φαίνεται και από το Σχήμα 3. Η μέγιστη απόδοση καλαμποκιού που έχει παρατηρηθεί για το υβρίδιο αυτό στην περιοχή είναι 16.9 Mgha^{-1} (Lekakis et al., 2011). Με αφετηρία την μέγιστη αυτή απόδοση, το μοντέλο υπολόγισε τις αποδόσεις της κάθε μεταχείρισης. Είναι χαρακτηριστικό ότι η μετρημένη απόδοση της DFI μεταχείρισης δεν διαφοροποιείται ιδιαίτερα από αυτή του μάρτυρα. Αντίθετα, μεγάλη διαφορά παρουσιάζεται στην μετρημένη απόδοση των μεταχειρίσεων υπό υδατική καταπόνηση (ADI, DDI) σε σχέση με τις μεταχειρίσεις που λάμβαναν πλήρεις αρδευτικές δόσεις (AFI, DFI). Σύμφωνα με το παραπάνω, προκύπτει ότι η υδατική καταπόνηση προκαλεί μεγαλύτερη μείωση στην απόδοση σε σχέση με την ωσμωτική καταπόνηση.



Σχήμα 3. Μετρημένη και υπολογισμένη απόδοση

Οι Letey et al. (1985) και οι Russo and Bakker (1987) αναφέρουν ότι αυξημένες ποσότητες νερού αντισταθμίζουν κατά ένα μέρος μόνο την επίδραση της αλατότητας. Συνεπώς, σε περίπτωση όπου δεν υπάρχει διαθεσιμότητα νερού, νερό χαμηλής ποιότητας μπορεί

να χρησιμοποιηθεί χωρίς το φόβο περαιτέρω μείωσης της παραγωγής (Shani and Dudley, 2001).

4. Συμπεράσματα

Από τη βαθμονόμηση του μοντέλου με τα δεδομένα από τις συνθήκες αγρού προκύπτει ότι το μοντέλο SALTMED μπορεί να περιγράψει με ιδιαίτερη επιτυχία τη διακύμανση της εδαφικής υγρασίας και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο έδαφος καλλιέργειας καλαμποκιού υπό άρδευση με υφάλμυρα νερά υψηλής αγωγιμότητας. Η προσομοίωση της απόδοσης, ωστόσο, δεν ήταν ικανοποιητική με σημαντικές διαφορές μεταξύ μετρημένων και υπολογισμένων τιμών, πιθανόν ως αποτέλεσμα της χημικής σύστασης του υφάλμυρου αρδευτικού νερού και των ευαίσθητων σταδίων και χαρακτηριστικών του υπό μελέτη υβριδίου καλαμποκιού. Από τις μετρήσεις της απόδοσης του καλαμποκιού προκύπτει ότι η υδατική καταπόνηση προκαλεί μεγαλύτερη μείωση στην απόδοση σε σχέση με την ωσμωτική καταπόνηση.

Βιβλιογραφία

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop Evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No 56, FAO, Rome, 290 p.
- Αντωνόπουλος, Β.Ζ., Rahil, M., Καραμούζης, Δ.Ν., Παπαμιχαήλ, Δ.Μ., 2008. Επίδραση της εδαφικής υγρασίας και της αλατότητας στην πρόσληψη του νερού από τα φυτά ηλιάνθου σε συνθήκες αγρού. Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα, 19(1):16-26
- Cardon, E.G., Letey, J., 1992. Plant water uptake terms evaluated for soil water and solute movement models. Soil Sci. Soc. Am. J., 56:1876-1880
- Demiral, T., Turkan, I., Sekmen, H., 2011. Signaling strategies during drought and salinity, recent news. In: I. Turkan, (Editor), Plant Responses to Drought and Salinity Stress. Developments in a post-genomic era. Advances in Botanical Research, Vol 57. Academic Press, Elsevier. pp. 294-307
- Georgiou, P.E., Antonopoulos, V.Z., Lekakis, E.H., 2010. Soil water balance and distribution in a field of maize under partial root-zone drying drip irrigation. e-Proceedings of the International Conference PRE10 Protection and Restoration of the Environment X, Corfu, Greece, p. 8
- Hillel, D., 2000. Salinity Management for Sustainable Irrigation. The World Bank, Washington, D.C
- Hirich, A., Choukr-Allah, R., Ragab, R., Jacobsen, S.-E., El youssfi, L., El omari, H., 2012. The SALTMED model calibration and validation using field data from Morocco. J. Mater. & Environ. Sc., 3(2):342-359
- Καλφούντζος, Δ., Ragab, R., Βύρλας, Π., Καλφούντζος, Π., Πατέρας, Δ., 2009. Βαθμονόμηση του μοντέλου SALTMED για καλλιέργεια βαμβακιού με σύστημα στάγδην άρδευσης. Πρακτικά 6^{ου} Εθνικού Συνεδρίου Εταιρείας Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος, σελ.:43-50, 8-11 Οκτωβρίου 2009, Θεσσαλονίκη.
- Kang, S.Z., Gu, B.J., Du, T.S., Zhang, J.H., 2003. Crop coefficient and ratio of transpiration to evapotranspiration of winter wheat and maize in a semi-humid region. Agric. Wat. Manag., 59: 239-254
- Lekakis, E.H., Georgiou, P.E., Pavlatou-Ve, A., Antonopoulos, V.Z., 2011. Effects of fixed partial root-zone drying irrigation and soil texture on water and solute dynamics in calcareous soils and corn yield. Agric. Wat. Manag., 101(1):71-80
- Λεκάκης Ε., Παυλάτου Βε Α., Παπαδόπουλος Α., Αντωνόπουλος Β., Ψωμά Π., Μπούντλα Α., Πετρίδου Ν., Κουκούλη Σ., 2012. Συσχέτιση ποιοτικών παραμέτρων εδαφικού διαλύματος μικρολυσίμετρων κενού (suction cups) με το εκχύλισμα κορεσμού σε κατακλυσμένο ορυζώνα. Πρακτικά 14^{ου} Πανελληνίου Εδαφολογικού Συνεδρίου. 1-2 Νοεμβρίου 2012, Θεσσαλονίκη. Υπό δημοσίευση.
- Letey, J., Dinar, A., Knapp, K.C., 1985. Crop-water production function model for saline irrigation waters. Soil Sci. Soc. Am. J., 49:1005-1009
- Plauborg, F., Andersen, M.N., Liu, F.L., Ensink, J.H.J., Ragab, R., 2010. Safe and high quality food production using low quality waters and improved irrigation systems and management: SAFIR. Agric. Wat. Manag., 98(3):377-384
- Pulvento, C., Riccardi, M., Lavini, A., D'andria, R., Ragab, R., 2013. SALTMED model to simulate yield and dry matter for quinoa crop and soil moisture content under different irrigation strategies in south Italy. Irrig. & Drain., 62(2):229-238
- Ragab, R., 2002. A holistic generic integrated approach for irrigation, crop and field management: the SALTMED model. Environ. Model. & Softw., 17:345-361
- Russo, D., Bakker, D., 1987. Crop-water production functions for sweet corn and cotton irrigated with saline waters. Soil Sci. Soc. Am. J., 51:1554-1562
- Shani, U., Dudley, L.M., 2001. Field studies of crop response to water and salt stress. Soil Sci. Soc. Am. J., 65: 1522-1528
- Šimůnek, J., Šejna, M., Saito, H., Sakai, M., van Genuchten, M. Th., 2008. The HYDRUS-1D software package for simulating the movement of water, heat, and multiple solutes in variably saturated media, Version 4.0, HYDRUS Software Series 3, Department of Environmental Sciences, University of California Riverside, Riverside, California, USA, 315 pp.
- U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. U.S.D.A., Agricultural Handbook No. 60. Washington: US Government Printer, 166 p.
- van Genuchten, M.Th., 1980. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 44:892-898.

ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΚΑΟΛΙΝΙΤΗΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΜΗΛΟ, ΛΗΜΝΟ ΚΑΙ ΚΩ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΟΥΣ ΜΕ ΔΕΙΓΜΑ ΚΑΟΛΙΝΙΤΗΣ ΤΗΝ GEORGIA, Η.Π.Α.

Προδρόμου Π. Κωνσταντίνος

Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Εδαφολογίας, Γεωπονική Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
54124, Θεσσαλονίκη

Στην εργασία αυτή μελετήθηκαν συγκριτικά οι ιδιότητες δειγμάτων καολινίτης που προέρχονται από τα ορυχεία της Μήλου και από περιοχές των νήσων Λήμνου και Κω, με δείγμα καολινίτης που προέρχεται από την Georgia των ΗΠΑ. Προσδιορίστηκε η ολική εναλλακτική ικανότητα (CEC) των υλικών.

Διαπιστώθηκε ότι, ενώ η CEC του δείγματος της Georgia ήταν 7,13 meq/100 g, στα δείγματα του καολινίτης των τριών Ελληνικών νησιών ήταν από 2,95 έως 1,22 meq/100g. Αυτό οφείλεται στη μικρή περιεκτικότητα σε καολινίτη των δειγμάτων και στις προσμίξεις που περιέχονται σ' αυτά. Επειδή στον καολινίτη η προσρόφηση και η εναλλαγή των κατιόντων γίνεται στις θραυστιγενείς επιφάνειές του, τα δείγματα του ορυκτού λειοτριβήθηκαν σε μέγεθος μικρότερο από 500 μ και διαπιστώθηκε η αύξηση της ολικής τους εναλλακτικής ικανότητας.

Ο βαθμός καθαρότητας των δειγμάτων επηρεάζει τις φυσικοχημικές τους ιδιότητες. Τα δείγματα που ελήφθησαν, συνοδεύονται από προσμίξεις πρωτογενών ορυκτών, κυρίως πλαγιόκλαστα και φεμικά ορυκτά. Η κατάταξη των δειγμάτων ως προς την καθαρότητά τους είναι: Georgia 95%, Κως 44%, Μήλος 31% και Λήμνος 11%.

Τα δείγματα υπέστησαν διαλυτοποίηση με 6N HCl και 4N KOH. Στην περίπτωση του οξέος, οι διάφοροι χρόνοι επίδρασής του (από 6 έως 96 ώρες) δεν επηρέασαν την παραλαβή των κατιόντων.

Στην περίπτωση της βάσεως, η μεγαλύτερη εκχύλιση αργιλίου παρουσιάστηκε στο δείγμα της Georgia, λόγω της κατεργασίας που υπέστη το ορυκτό από την εταιρεία διάθεσής του, κατάσταση αναφούς κόνεως, με αποτέλεσμα την προσβολή του στο αλκαλικό περιβάλλον.

Από τη σύγκριση των δειγμάτων προκύπτει ότι ο καολινίτης της Μήλου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ερευνητικούς σκοπούς λόγω της καθαρότητάς του.

Λέξεις κλειδιά: Κως, Λήμνος, Μήλος, Georgia, καολινίτης, CEC.

STUDY OF PROPERTIES OF KAOLINITE SAMPLES FROM ISLANDS MILOS, LIMNOS AND KOS AND THEIR COMPARISON WITH KAOLINITE FROM U.S.A.

Prodromou P. Konstantinos

Aristotelian University of Thessaloniki, Lab. of Applied Soil Science, 54124, Thessaloniki, Greece.

In this study, samples of kaolinite from Kos, Limnos, and Milos, were compared to kaolinite from Georgia, USA. The total exchange capacity of the materials was determined. Because in kaolinite, the adsorption and the cations exchange take place to the sites on the edges, the samples used were sieved to < 500 μ and it was observed an increase of CEC value.

The degree of purity of the samples influences their physical and chemical properties. The samples used contain plagioclase and ferrous minerals. Samples classification according to their purity is: Georgia 95%, Kos 44%, Milos 31% and Limnos 11%.

The samples of kaolinite were treated in 6N HCl at 95 °C for a period of 6 to 96 hours and 4N KOH at 80 °C for 24 hours. In the case of HCl the different times of treatment did not influence cations dissolution. In the case of the alkali, more Al was dissolved in Georgia sample because of the mineral's fine size (due to the treatment from the Wards Natural Science Establishment, Inc) which resulted in being attacked from the alkaline pH.

From the comparison of the samples it is concluded that Milos kaolinite can be used for research purposes because of its purity.

Key words: Kos, Limnos, Milos, Georgia, kaolinite, CEC.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο καολινίτης οφείλει το όνομά του στο λόφο Kauling (ψηλή κορυφή) της Κίνας. Είναι ορυκτό δομής 1:1. Ο χημικός του τύπος είναι $(OH)_4Al_2Si_2O_5$. Κρυσταλλούται στο τρικλινές σύστημα και σχηματίζει συμπαγή ή εύθρυπτα συσσωματώματα. Η σκληρότητά του είναι 2 – 2,5 και το ειδικό του βάρος 2,6 g/cm³. Όταν είναι καλά κρυσταλλωμένο, η λάμψη του είναι μαργαριτώδης, ενώ είναι αλαμπές όταν βρίσκεται υπό μορφή συσσωματωμάτων.

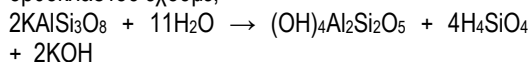
Το χρώμα του είναι λευκό ενώ γίνεται υποκίτρινο, καστανό, τεφρό ή κοκκινωπό όταν φέρει προσμίξεις. Σχισμός τέλειος κατά (001) (Σαπουντζής-Χριστοφίδης, 1982).

Η χημική του ανάλυση έδωσε, SiO₂ 46,50%, Al₂O₃ 39,50%, H₂O 14%.

Είναι δευτερογενές ορυκτό, συστατικό της αργίλου που σχηματίζεται ως προϊόν αλλοίωσης αργιλοπυριτικών ορυκτών, κυρίως αστρίων κατά τη

χημική αποσάθρωση γρανιτικών πετρωμάτων ή με υδροθερμική δραστηριότητα, καολινίωση των αστρίων.

Σχηματίζεται κατά την πορεία της εδαφογένεσης τόσο από πρωτογενή όσο και από δευτερογενή ορυκτά. Κατά τη χημική αποσάθρωση του ορθόκλαστου έχουμε,



Στο πλέγμα του δεν παρατηρείται ισόμορφη υποκατάσταση τόσο στα τετράεδρα του πυριτίου από ιόντα αργιλίου, όσο και στα οκτάεδρα του αργιλίου από δισθενή κατίοντα με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν ελεύθερα φορτία για την ενδοκρυσταλλική συγκράτηση κατιόντων.

Οι δομικές μονάδες συγκρατούνται μεταξύ τους με ισχυρούς υδρογονικούς δεσμούς, εξ 'αίτιας των οποίων δεν παρατηρείται το φαινόμενο της διόγκωσης του πλέγματος. Ο ενδοκρυσταλλικός χώρος είναι κατά πολύ μικρότερος (2,8 Å) από τη διάμετρο των ενυδατωμένων κατιόντων, τα οποία δεν μπορούν να προσροφηθούν ενδοκρυσταλλικώς.

Η εναλλακτική του ικανότητα είναι πολύ μικρή, 3 – 7 me / 100 g. Η προσρόφηση και η εναλλαγή κατιόντων γίνεται στην επιφάνεια του κρυσταλλικού πλέγματος, στις θραυστιγενείς επιφάνειες και όχι στον ενδοκρυσταλλικό του χώρο. Κονιοποίηση του ορυκτού έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της τιμής της CEC.

Η ταυτοποίησή του με τις ακτίνες Röntgen γίνεται με βάση τη χαρακτηριστική του ανάκλαση στα 7 Å (Dixon, 1989).

Όταν στον ενδοστοιβαδικό χώρο του καολινίτη, έχουμε συγκράτηση H_2O με υδρογονικούς δεσμούς σχηματίζεται ο *αλλοούσιτης*. $(\text{OH})_4\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5 \cdot n(\text{H}_2\text{O})$. Δίνει χαρακτηριστική ανάκλαση στην περιοχή των 10,10 έως 10,25 Å. Ο αλλοούσιτης σχηματίζεται είτε από την ενυδάτωση του καολινίτη, είτε από την κρυστάλλωση των αλλοφανών.

Αλλοούσιτης που έχει χάσει το μισό της ποσότητας του ενδοκρυσταλλικού του H_2O , μετατρέπεται σε *μετα-αλλοούσιτη*.

Το 1912, μελετώντας τη φύση των ακτίνων Χ άρχισαν να χρησιμοποιούν το κρυσταλλικό πλέγμα των ορυκτών ως περιθλαστικά φράγματα. Στη συνέχεια τις χρησιμοποίησαν για την ταυτοποίησή των ορυκτών, διαπίστωσαν όμως ότι η ύπαρξη οξειδίων του αργιλίου και του σιδήρου στις επιφάνειες των ορυκτών υπό μορφή επικαλύψεων, παρεμπόδιζε τη λήψη ευκρινών διαγραμμάτων περιθλάσεως. Έτσι, άρχισαν προσπάθειες απομάκρυνσής τους από τα ορυκτά και τα ορυκτά της αργίλου και η μελέτη της φύσης τους και η επίδραση στις ιδιότητες του εδάφους. Οι προσπάθειες αυτές ξεκίνησαν από το 1922, μέθοδος του Tapp που πρότεινε τη χρήση οξαλικού οξέος – οξαλικού αμμωνίου και συνεχίζονται μέχρι και σήμερα. Το πρόβλημα που υπάρχει είναι ότι ανάλογα με τη χρήση των διαφόρων αντιδραστηρίων απομακρύνονται τα άμορφα συστατικά που συνοδεύουν τα ορυκτά ή προσβάλλεται και το πλέγμα του υπό εξέταση ορυκτού. Οι διάφορες αυτές

μέθοδοι αξιολογούνται και είναι γνωστές ως μέθοδοι εκλεκτικής διαλυτοποίησης, (selective dissolution) (Προδρόμου, 1989).

Παράλληλα με τις μεθόδους της εκλεκτικής διαλυτοποίησης, άρχισαν να προτείνονται μέθοδοι (1930) για την πλήρη διαλυτοποίηση των ορυκτών των πετρωμάτων και του εδάφους για την ολική τους ανάλυση. Οι μέθοδοι αυτές χρησιμοποιούν οξέα HCl , HNO_3 , H_2SO_4 , H_3PO_4 ή μίγματα τους, αλκάλια, NaOH , KOH ή παρόμοια αντιδραστήρια με την εκλεκτική διαλυτοποίηση, Na_2CO_3 .

Πλεονέκτημα μιας μεθόδου για την επιλογή της είναι οι λιγότερες παρεμποδίσσεις στον προσδιορισμό των στοιχείων, ο χρόνος που απαιτείται για τη διαλυτοποίηση και ο μικρός όγκος του οξέος που χρησιμοποιείται.

Το πρώτο βήμα της προσβολής των οξέων στα ορυκτά της αργίλου, είναι η αντικατάσταση των εναλλακτικών κατιόντων του K^+ , Na^+ , Ca^{2+} και του Mg^{2+} με H^+ των οξέων, το οποίο στη συνέχεια εισχωρεί στον ενδοστοιβαδικό χώρο και προσβάλλει τους υδροξυλιακούς δεσμούς, OH , προκαλώντας την διαλυτοποίηση του Al^{3+} , Fe^{2+} και Mg^{2+} των οκτάεδρων. Το τελικό προϊόν της προσβολής είναι η δημιουργία άμορφου πυριτίου.

Η υποκατάσταση του Si και του Al στο πλέγμα του καολινίτη, είναι δυσκολότερη σε σχέση με τους σμεκτίτες με αποτέλεσμα τη βραδύτερη διαλυτοποίησή του από τα οξέα. Διαπιστώθηκε επίσης ότι η ανάδευση και η ταχύτητά της επηρεάζουν τη διαλυτοποίηση του ορυκτού (Pentra'k et al., 2009).

Τα δείγματα του καολινίτη που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονται από τα νησιά Κως, Μήλος και Λήμνος.

Η **Κως**, το νησί του Ιπποκράτη, είναι το τρίτο σε μέγεθος νησί των Δωδεκανήσων.

Το δείγμα της Κω προέρχεται από την περιοχή Κέφαλος. Το ακρωτήριο Κέφαλος βρίσκεται στο δυτικό άκρο του νησιού. Σύμφωνα με το Γεωλογικό χάρτη, στην περιοχή επικρατούν ηφαιστειακοί τόφφοι - ηφαιστειακός πυροκλαστικός σχηματισμός, ρυολιθικής σύστασης, με πλαγιόκλατα, κυρίως ανορθίτη, ορθόκλαστο, βιοτίτη και χαλαζία, προϊόντα της πιο πρόσφατης έκρηξης.

Η **Λήμνος** φέρει το όνομα αυτό από την εποχή του Ομήρου. Λόγω των ηφαιστειών που υπήρχαν κατά την προϊστορική περίοδο σχετίστηκε με τον θεό Ήφαιστο.

Τα πετρώματα της είναι ηφαιστειακής προέλευσης κατά 15% ή ιζηματογενή πάνω από 60%.

Είναι πέμπτο σε μέγεθος μεταξύ των Ελληνικών νησιών και βρίσκεται στο βορειοανατολικό Αιγαίο, απέναντι από την είσοδο του Ελλήσποντου.

Τα ορυκτά της αργίλου, η *άργιλος*, συνδέθηκε με την ζωή και την οικονομία του νησιού από αρχαιοτάτων χρόνων. Χρησιμοποιήθηκε εκτός από την κατασκευή αγγείων και για θεραπευτικούς λόγους με την χαρακτηριστική ονομασία Λημνία γη, από την εποχή του Ηρόδοτου έως τον Μεσαίωνα.

Τα δείγματα του καολινίτη προέρχονται από το νότιο - νοτιοδυτικό τμήμα του νησιού.

Οι αποθέσεις του καολινίτη, βρίσκονται σε ηφαιστειακά πετρώματα, ανδεσίτες και τραχειανδενσίτες. Οι ανδεσίτες έχουν χρώμα καστανό, πορφυριτικό ιστό, με φαινοκρυστάλλους πλαγιόκλαστων, αστρίων και φεμικών ορυκτών.

Οι τραχειανδεσίτες είναι ο πιο διαεδομένος τύπος λάβας στο νησί. Έχουν χρώμα καστανόφαιο και έχουν υποστεί ισχυρή εξαλλοίωση, σερίκίτης, χλωρίτης, ασβεσίτης, υδροξείδιο του σιδήρου.

Η λάβα, με τη μορφή θόλων ή φλεβών διαπερνούν τα ιζήματα και διεισδύουν μεταξύ των στρωμάτων τους.

Η **Μήλος** ανήκει στο νησιωτικό σύμπλεγμα των Κυκλάδων και είναι το πέμπτο σε μέγεθος νησί τους, με γεωγραφικές συντεταγμένες 36° 40' 45'' N και 24° 25' 07'' E.

Είναι ηφαιστειακό νησί. Τα ηφαιστεία της σήμερα θεωρούνται ανενεργά. Τα εδάφη της είναι

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Τα δείγματα του καολινίτη προέρχονται από τα νησιά Κω, Λήμνο, από τα ορυχεία της Μήλου και από περιοχή της Macon, της Georgia των ΗΠΑ, (Wards Natural Science Establishment, Inc.). Ο καολινίτης της Georgia χρησιμοποιείται ευρύτατα διεθνώς για ερευνητικούς σκοπούς.

Το pH προσδιορίστηκε σε αιώρημα H₂O, 1:2.

Τα ορυκτά κατεργάστηκαν με 1N CH₃COONa pH 8,2 για τον προσδιορισμό των εναλλακτικών κατιόντων. Στη συνέχεια, αφού έγιναν 3 εκπλύσεις με CH₃COCH₃, κατεργάστηκαν με 1N CH₃COONH₄ pH 7,0 για τον προσδιορισμό της ολικής εναλλακτικής ικανότητας των ορυκτών CEC (Chapman, 1965). Τα αποτελέσματα των αναλύσεων δίνονται στον πίνακα 1.

Τα ορυκτά ταυτοποιήθηκαν με ακτίνες Röntgen (Σχ. 1,2,3).

Τα δείγματα του καολινίτη λειοτριβήθηκαν σε ιγδίο από αχάτη και πέρασαν από κόσκινο των 500 μ, για να δείχτει η επίδραση της λειοτριβήσης στην εναλλακτική τους ικανότητα.

Διαλυτοποίηση του ορυκτού με οξύ.

Χρησιμοποιήθηκε HCl οξύ 6N. Η αναλογία δείγματος προς οξύ ήταν 1/100. Τα δείγματα ανακινήθηκαν επί 30' και στη συνέχεια θερμάνθηκαν επί 3,5 ώρες στο υδρόλουτρο σε θερμοκρασία 95 °C. Στη συνέχεια παρέμειναν σε ισορροπία. Ο συνολικός χρόνος της κατεργασίας ήταν 6, 24, 48, 72 και 96 ώρες. Ακολούθησε φυγοκέντρωση στις 9.000 rpm, διήθηση και παραλαβή. Στα εκχυλίσματα που ελήφθησαν προσδιορίστηκαν τα κατιόντα K⁺ Na⁺ με το φλογοφωτόμετρο, το Ca²⁺ και το Mg²⁺ με ατομική απορρόφηση, το Al³⁺ με την μέθοδο του aluminum (Luke, Brawn, 1952) και ο Fe²⁺ με την μέθοδο της ο-φαινανθρολίνης (Fortune, Mellon, 1938) με το φασματοφωτόμετρο.

Διαλυτοποίηση του ορυκτού με άλκαλι.

Χρησιμοποιήθηκε KOH 4N. Η αναλογία δείγματος προς άλκαλι ήταν 1/100. Τα δείγματα ανακινήθηκαν επί 30' και στη συνέχεια θερμάνθηκαν επί 3,5 ώρες στο υδρόλουτρο σε θερμοκρασία 80 °C. Στη

ηφαιστειακής προέλευσης και το υπέδαφός της είναι πλούσιο σε κοιτάσματα θείου, τραχείτη, πωρόλιθου, κίσηρης, αλουνίτη, περλίτη και μπεντονίτη – μοντοριλλονίτη. Τα υλικά αυτά του νησιού, χρησιμοποιήθηκαν από την νεολιθική εποχή (Κ. Προδρόμου, 2011).

Τα κοιτάσματα του νησιού τα εκμεταλλεύεται η εταιρεία «S& B Βιομηχανικά ορυκτά ΑΕ» η οποία είναι η πρώτη στην Ευρώπη και δεύτερη στον κόσμο στην παραγωγή και εμπορία μπεντονίτη.

Σκοπός της εργασίας αυτής, είναι να μελετήσει συγκριτικά τα δείγματα του καολινίτη που προέρχονται από διαφορετικές περιοχές ως προς την καθαρότητά τους και τις ιδιότητές τους και να διαπιστώσει τυχόν δυνατότητά τους για χρήση για ερευνητικούς σκοπούς, όπως χρησιμοποιείται σε διεθνή κλίμακα ο καολινίτης της Georgia.

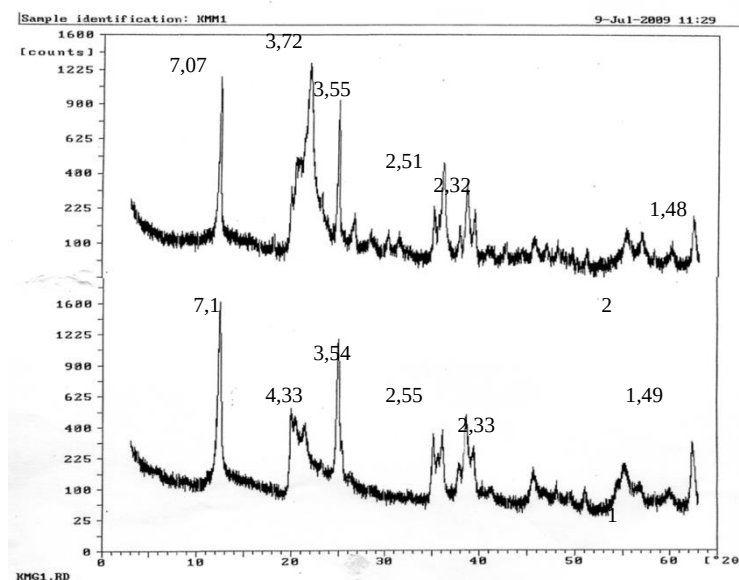
συνέχεια παρέμειναν σε ισορροπία για 24 ώρες. Ακολούθησε φυγοκέντρωση στις 9.000 rpm, διήθηση και παραλαβή. Στα εκχυλίσματα που ελήφθησαν προσδιορίστηκαν τα κατιόντα του Ca²⁺ και το Mg²⁺ με ατομική απορρόφηση, το Al³⁺ και ο Fe²⁺ με το φασματοφωτόμετρο.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

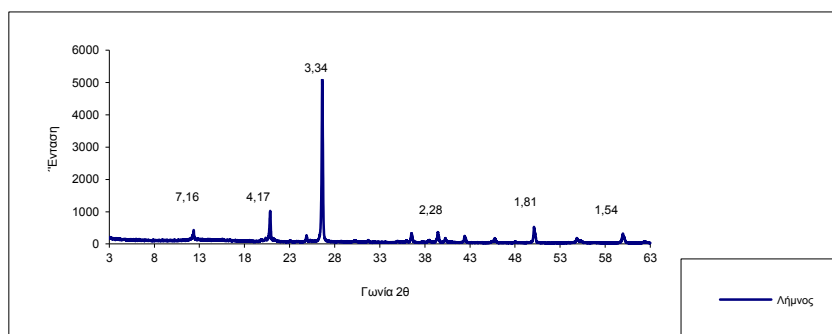
Ο καολινίτης είναι προϊόν υδροθερμικής εξαλλοίωσης πυριγενών πετρωμάτων. Η περαιτέρω επίδραση της χημικής αποσάθρωσης διασπά το δευτερογενές ορυκτό και σχηματίζονται σαν τελικά προϊόντα SiO₂ και Al₂O₃.

Το χρώμα των υλικών ποικίλει, από το λευκό όπως το δείγμα της Μήλου, υπόλευκο το δείγμα της Georgia, έως το ερυθρωπό στα δείγματα της Κω και Λήμνου λόγω της ύπαρξης οξειδίων του σιδήρου.

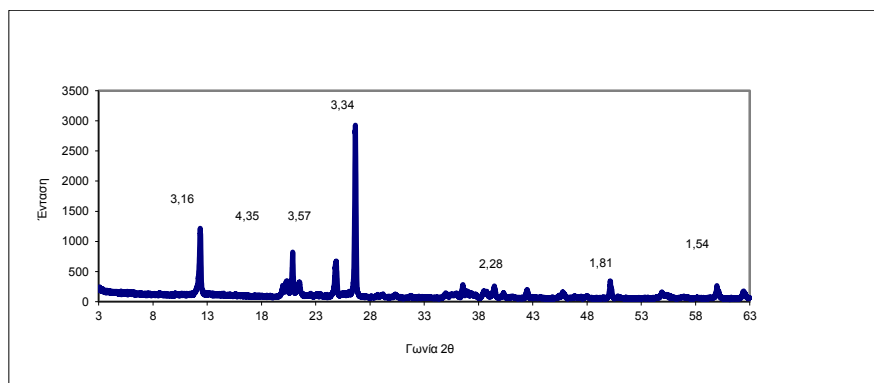
Το δείγμα της Κω, περιέχει 56% χαλαζία και 44% καολινίτη σύμφωνα με την αποτίμηση των διαγραμμάτων των ακτίνων Röntgen. Το δείγμα της νήσου Λήμνου, περιέχει 87% χαλαζία, 2% χλωρίτες και 11% καολινίτη. Το δείγμα της Μήλου, περιέχει 43% χαλαζία, 26% χριστοβαλίτη (cristobalite, SiO₂) και 31% καολινίτη. Τέλος, το δείγμα από την Georgia περιέχει 3% μοντοριλλονίτη, 2% μαρμαρυγίες και 95% καολινίτη. Σύμφωνα με τα παραπάνω, η σειρά κατάταξης των δειγμάτων ως προς την περιεκτικότητά τους σε καολινίτη είναι, Georgia 95% > Κως 44% > Μήλος 31% > Λήμνος 11%. Ο βαθμός καθαρότητας των δειγμάτων επηρεάζει τις φυσικοχημικές τους ιδιότητες. Επίσης τα πρωτογενή ορθόκλαστο, πλαγιόκλαστα και φεμικά ορυκτά που συνυπάρχουν στα δείγματα της Κω και της Λήμνου, επιδρούν στις ιδιότητές τους. Αποτέλεσμα της ύπαρξής τους στα δείγματα είναι ότι το άθροισμα των εναλλακτικών κατιόντων είναι κατά πολύ μεγαλύτερο από τις αντίστοιχες τιμές της ολικής τους εναλλακτικής ικανότητας. Οι τιμές της CEC των δειγμάτων ακολουθούν την κατάταξη (Πιν. 1). Georgia 7,13 me/100g > Μήλος 2,95 > Λήμνος 1,61 > Κως 1,22



Σχήμα 1. Διαγράμματα των ακτίνων Röntgen του καολινίτη, 1 Georgia και 2 της Μήλου.



Σχήμα 2. Διάγραμμα των ακτίνων Röntgen του καολινίτη της Λήμνου



Σχήμα 3. Διάγραμμα των ακτίνων Röntgen του καολινίτη της Κω

Πίνακας 1. Αποτελέσματα αναλύσεων.

Καολινίτης	pH	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Αθροισμα	CEC <2mm	CEC, <500μ	Αύξηση
	H ₂ O (1:2)	me/100g							
Κως	3,62	1,00	1,00	1,96	1,04	5,00	1,22	1,522	24,75 %
Λήμνος	6,55	1,08	2,10	1,01	3,23	7,42	1,61	1,826	13,42 %
Μήλος	6,60	0,15	1,10	0,50	0,48	2,94	2,95	3,48	17,97 %
Georgia	6,60	0,15	1,04	0,98	0,98	6,67	7,13	7,61	6,73 %

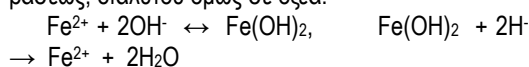
Η λειοτρίβηση των δειγμάτων του καολινίτη σε μέγεθος μικρότερο από 500 μ, έδειξε αύξηση της ολικής εναλλακτικής ικανότητας. Το μικρότερο ποσοστό της αύξησης αυτής παρουσιάστηκε στο δείγμα της Georgia, παρά τον υψηλό βαθμό καθαρότητάς του. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην λειοτρίβηση που έχει ήδη υποστεί το υλικό κατά την τυποποίησή του από την εταιρεία διάθεσής του, με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν περιθώρια για περαιτέρω αύξηση της τιμής της CEC (Πιν. 1).

Τα δείγματα του καολινίτη κατεργάστηκαν με 6N HCl για την διαλυτοποίησή τους. Δεν παρατηρήθηκε καμία διαφοροποίηση στην παραλαβή των κατιόντων στους χρόνους κατεργασίας που χρησιμοποιήθηκαν. Οι ποσότητες των κατιόντων που εκχυλίστηκαν στις 6 ώρες ήταν οι ίδιες με τις αντίστοιχες ποσότητές τους των 96 ωρών. Οι ποσότητες αυτές προέρχονται από τα εναλλακτικά κατιόντα, από τα πρωτογενή ορυκτά που υπάρχουν στα δείγματα και εξαρτώνται από τον βαθμό καθαρότητας των υλικών.

Πίνακας 2. Ποσότητες κατιόντων που εκχυλίστηκαν από τα δείγματα του καολινίτη μετά από την κατεργασία τους με 6N HCl και 4N KOH.

Καολινίτης	6N HCl						4N KOH			
	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	Fe ²⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	Fe ²⁺
	mg / 100g									
Κως	8,0	58,0	3,031	8,195	52,6	1280,0	0,394	0,476	280	0,0
Λήμνος	8,0	320,0	163,79	15,91	54,0	198,0	1,181	0,577	247,5	0,0
Μήλος	1,0	12,0	42,64	7,40	53,6	0,0	0,0	0,439	290	0,0
Georgia	1,0	10,0	20,34	7,02	45,0	38,0	0,0	0,388	1090	0,0

Η διαφοροποίηση που παρατηρείται κατά την κατεργασία των δειγμάτων με το 4N KOH είναι ότι παρέλαβε κατά πολύ μεγαλύτερες ποσότητες Al σε σχέση με το HCl. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ισχυρό αλκαλικό περιβάλλον. Για τιμές pH μεγαλύτερες του 9,0 διαλυτοποιούνται τα άμορφα Al(OH)₃. Σε αλκαλικό περιβάλλον, το κατιόν του Fe²⁺, σχηματίζει ίζημα Fe(OH)₂ αδιάλυτου σε περίσσεια βάσεως, διαλυτού όμως σε οξέα.



Σύμφωνα με τον Pentrak και συν.(2009), το πρώτο βήμα της προσβολής των ορυκτών της αργίλου από τα οξέα, είναι η εναλλαγή με H⁺ των εναλλακτικών κατιόντων του Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ και K⁺ και στη συνέχεια η διαλυτοποίηση του Al, Fe και Mg από τα οκτάεδρα του πλέγματος των ορυκτών. Η τελική φάση της επίδρασης των οξέων είναι η παραλαβή άμορφου πυριτίου. Η αντικατάσταση του Al και του Si στο πλέγμα του καολινίτη είναι δυσκολότερη σε σύγκριση με τους σμεκτίτες και γ'αυτό η διαλυτοποίησή του από τα οξέα είναι βραδύτερη.

Μετά την κατεργασία τους, τα δείγματα των ορυκτών ήταν όλα λευκά, λόγω της απομάκρυνσης όλων των προσμίξεων που συνόδευαν τα αρχικά δείγματα του ορυκτού.

Συμπερασματικά, τα δείγματα του καολινίτη από την Κω και τη Λήμνο, έχουν το μεγαλύτερο ποσοστό

προσμίξεων και τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε οξείδια του σιδήρου. Η λειοτρίβησή τους σε μέγεθος μικρότερο των 500μ, αυξάνει σημαντικά την CEC. Το δείγμα της Λήμνου, παρουσιάζει τη μικρότερη περιεκτικότητα σε καολινίτη. Το δείγμα της Μήλου, δεν περιέχει καθόλου οξείδια σιδήρου και η λειοτρίβηση αυξάνει την τιμή της CEC του ορυκτού. Το Al που εκχυλίζεται από αυτά τα τρία δείγματα, με 4N KOH, είναι της ίδιας τάξης μεγέθους και το μεγαλύτερο ποσοστό τους προέρχεται από τα σαλικά ορυκτά που συνοδεύουν τα δείγματα. Το δείγμα της Georgia, έχει τον μεγαλύτερο βαθμό καθαρότητας, 95%, παρουσιάζει την μεγαλύτερη τιμή CEC, γεγονός που οφείλεται εν μέρει στον μοντοριλλονίτη που περιέχει, 3% και στην λειοτρίβηση που έχει υποστεί. Στο γεγονός αυτό, οφείλεται και η μικρή αύξηση της CEC μετά από τη λειοτρίβησή του. Περιέχει οξείδια του σιδήρου και η διαλυτοποίησή του με 4N KOH, δίνει τη μεγαλύτερη τιμή στο εκχυλίζόμενο Al. Αυτό οφείλεται στην λειοτρίβηση του, στην αύξηση της επιφάνειας του ορυκτού με αποτέλεσμα την προσβολή του στο ισχυρά αλκαλικό περιβάλλον.

Από τα δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν, εκείνο της Μήλου, παρουσιάζει τη μεγαλύτερη καθαρότητα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ερευνητικούς σκοπούς.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Borchardt, G., 1989. Minerals in Soil Environments. 2ed. Madison Wisconsin: Soil Sci. Soc. Am. USA: 675- 688.
- Dixon, J.B., 1989. Minerals in Soil Environments. 2ed. Madison Wisconsin: Soil Sci.Soc. Am., USA: 501-510.
- Chapman, H.D., 1965. Methods of Soil Analysis, Part 2, Am. Soc. Agronomy, Madison, Wisconsin, USA: 891-901.

- Fortune, W.B., M.G. Mellon, 1938. Determination of Iron with o-phenanthroline. A Spectrophotometric Study. Ind. Eng. Chem. Anal. Ed., 10, 60-63.
- Luke, C.L., K.C. Brawn, 1952. Photometric Determination of Aluminum. Anal. Chem 24, 1120-1123.
- Pentra'k, M., J Madejova' and P. Komadel, 2009. Acid and alkali treatment of kaolins. Clay Minerals, 44, 511-523.

- Περράκη – Λοϊσίου, Θ., 2007. Βιομηχανικά ορυκτά και πετρώματα. Σημειώσεις Ε.Μ.Π. Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών.
- Προδρόμου, Κ.Π. 1989. Παραλαβή μορφών αργιλίου του εδάφους. (Νέα μέθοδος με Πυροκατεχίνη). Διδακτορική Διατριβή. Επιστ. Επετ. του Τμήματος Γεωπονίας. Παράρτ. 5. τόμος ΚΖ'.
- Προδρόμου, Κ.Π., 2011. Μελέτη των ιδιοτήτων των ορυκτών μπεντονίτη και καολινίτη της νήσου Μήλου και σύγκρισή τους με αντίστοιχα ορυκτά των Η.Π.Α. Πρακτικά 7^{ου} Εθνικού συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, Αθήνα.
- Σαπουντζή Η. – Γ. Χριστοφίδη. 1982. Ορυκτοδιαγνωστική. Θεσσαλονίκη.

Ευχαριστίες

Θεωρώ υποχρέωσή μου, να ευχαριστήσω την εταιρία «S&B Βιομηχανικά ορυκτά ΑΕ» για την πρόθυμη και άμεση χορήγηση των δειγμάτων, όπως και τον συνάδελφο κ. Δ. Παπούλη από το Τμήμα Γεωλογίας του Πανεπιστημίου Πατρών για την ευγενική παραχώρηση δειγμάτων από την Κω και την Λήμνο.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΠΡΟΣΡΟΦΗΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΣΕ ΥΔΑΤΑ ΚΑΙ ΦΥΤΑ ΠΟΥ ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΘΗΚΑΝ ΣΕ ΕΔΑΦΗ ΕΠΙΒΑΡΥΜΕΝΑ ΜΕ ΦΩΣΦΟΡΟ

Ευαγγελία Μπρόζου, Ζαχαρίας Ιωάννου, Ανθούλα Δημήρκου* και Βασίλειος Αντωνιάδης

Εργαστήριο Εδαφολογίας, Τμήμα Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Οδός Φυτόκου, Ν. Ιωνία Βόλου, 38446, Ελλάδα, *e-mail. adimirkou@uth.gr

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η επίδραση προσροφητικών υλικών στην αποκατάσταση υδάτων επιβαρυνμένων με φώσφορο καθώς επίσης και η συμπεριφορά τους ως εδαφοβελτιωτικά σε φυτά μαρουλιού τα οποία καλλιεργήθηκαν σε εδάφη επιβαρυνμένα με φώσφορο. Τα προσροφητικά υλικά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα παρακάτω: γκαιτίτης (G), σύστημα ζεολίθου-γκαιτίτη Ι (Z-GY), σύστημα ζεολίθου-γκαιτίτη ΙΙ (Z-GR), μπετονίτης (B) και ζεόλιθος (Z). Από τα αποτελέσματα προέκυψε ότι η μεγαλύτερη προσρόφηση φωσφόρου παρουσιάστηκε σε υδατικά διαλύματα που περιείχαν γκαιτίτη. Εν συνεχεία, κατά τη μελέτη της συμπεριφοράς των εδαφοβελτιωτικών σε φυτά μαρουλιού που καλλιεργήθηκαν σε εδάφη επιβαρυνμένα με φώσφορο χρησιμοποιήθηκαν τρεις τύποι εδαφών: αργιλοπηλώδες με pH= 8, αμμοπηλώδες με pH= 8 και πηλοαμμώδες με pH= 8.8. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι μεγαλύτερες ποσότητες φωσφόρου προσροφώνται από το γκαιτίτη στα αργιλοπηλώδη εδάφη, το σύστημα ζεολίθου-γκαιτίτη Ι στα αμμοπηλώδη εδάφη και το ζεόλιθο και το σύστημα ζεολίθου-γκαιτίτη ΙΙ στα πηλοαμμώδη εδάφη.

Λέξεις κλειδιά: φώσφορος, εδαφοβελτιωτικά, προσρόφηση, μαρούλι

IMPACT OF ADSORBENTS ON WATERS AND PLANTS CULTIVATED IN SOILS OF HIGH PHOSPHOROUS CONCENTRATION

Evangelia Brozou, Zacharias Ioannou, Anthoula Dimirkou* and Vasilios Antoniadis

Soil Science Laboratory, Department of Agriculture, Crop Production and Rural Environment, University of Thessaly, Fytokou Street, N. Ionia, Volos, 38446, Greece, *e-mail. adimirkou@uth.gr

In the present paper, the effect of adsorbents on the remediation of waters with high phosphorous concentration and their effect as soil amendments on the cultivation of lettuces on soils contaminated with phosphorous was studied. The adsorbents, that were used, are described as follows: goethite (G), zeolite-goethite system I (Z-GY), zeolite-goethite system II (Z-GR), bentonite (B) and zeolite (Z). The results indicated that the highest adsorption of phosphorus was presented to aqueous solutions which contained goethite. Moreover, three types of soils were used to study the effectiveness of soil amendments to lettuces cultivated in polluted soils: clay loam with pH= 8, sandy loam with pH= 8 and loamy sand with pH= 8.8. The results indicated that the highest amount of phosphorus adsorbed from goethite to clay loam soils, zeolite-goethite system I to sandy loam soils, zeolite and zeolite-goethite system II to loamy sand soils.

Key words: phosphorus, soil amendments, adsorption, lettuce

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα εδάφη δέχονται μεγάλες ποσότητες φωσφόρου από πηγές όπως τα λιπάσματα και τα ζωικά απόβλητα, με αποτέλεσμα τα επίπεδα του εδαφικού φωσφόρου συνεχώς να αυξάνονται.

Υπερβολικές ποσότητες φωσφόρου μπορεί να προκαλέσουν τροφопενία σιδήρου, μαγγανίου ή ψευδαργύρου εξαιτίας της κατακρήμνισης των στοιχείων αυτών (Μήτσιος, 2004). Επίσης μεγάλες περιεκτικότητες φωσφόρου μπορούν να οδηγήσουν στο φαινόμενο του ευτροφισμού των λιμναίων συστημάτων γλυκών νερών. Το φαινόμενο του ευτροφισμού αρχίζει όταν η ολική περιεκτικότητα του φωσφόρου σε μια λίμνη είναι μεγαλύτερη από 30 $\mu\text{g L}^{-1}$ (Catt et al. 1998; Tunney et al. 1997; Ritchie and Weaver 1993).

Για τους λόγους αυτούς η απομάκρυνση του φωσφόρου από τα λύματα και τα εδάφη κρίνεται απαραίτητη και αυτό μπορεί να επιτευχθεί με διάφορες μεθόδους όπως η προσρόφηση με διάφορα υλικά.

Ορισμένα υλικά τα οποία έχουν μελετηθεί εκτενώς είναι τα πυριτικά και αργιλοπυριτικά ορυκτά, τα οξείδια του αργιλίου και του σιδήρου, η ιπτάμενη τέφρα και γενικά υλικά που περιέχουν ανθρακικό ασβέστιο (Argiri et al. 2013; Hesterberg and Beauchemin 2000).

Σκοπός της εργασίας είναι η αποκατάσταση εδαφών και υδάτων επιβαρυνμένων με φώσφορο χρησιμοποιώντας αργιλοπυριτικά ορυκτά και οξείδια (Z, Z-GY, Z-GR, G) και η μείωση της προσλαμβανουσας ποσότητας φωσφόρου από τα φυτά.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Ο ζεόλιθος (κλινοπιλόλιθος) που χρησιμοποιήθηκε είναι της εταιρείας S & B Company (Ελλάδα). Ο γκαιτίτης (FeOOH) παρασκευάστηκε στο εργαστήριο εδαφολογίας του Π.Θ. σύμφωνα με την μέθοδο των Schwertmann και Cornell (2000) ενώ τα συστήματα ζεολίθου – γκαιτίτη Ι και ΙΙ (Z-GY, Z-GR) με την μέθοδο των Ιωάννου et al. (2009).

Μελετήθηκε η προσρόφηση φωσφόρου από υδατικά διαλύματα στα παρακάτω προσροφητικά

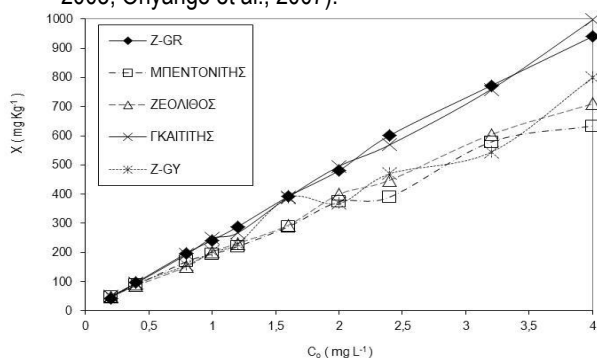
υλικά: γκαϊτίτη (G), ζεόλιθο (Z), μπετονίτη (B) και σε διμερή συστήματα ζεολίθου – γκαϊτίτη I (Z-GY) και ζεολίθου – γκαϊτίτη II (Z-GR). Το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε αναλογία προσροφητικού υλικού / διαλύματος ίσο με 1/250. Χρησιμοποιήθηκαν 11 διαφορετικές συγκεντρώσεις φωσφόρου (0, 0.2, 0.4, 0.8, 1.0, 1.2, 1.6, 2.0, 2.4, 3.2 και 4 ppm P). Κάθε πλαστικό φιαλίδιο που περιέχει υδατικό διάλυμα φωσφόρου ανακινήθηκε περιοδικά για 48 ώρες. Ακολούθησε διήθηση 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 προσροφητικό υλικό. Το πείραμα επαναλήφθηκε τρεις φορές.

Εν συνεχεία, μελετήθηκε η συμπεριφορά των ανωτέρω προσροφητικών υλικών ως εδαφοβελτιωτικών σε φυτά μαρουλιού που καλλιεργήθηκαν σε επιβαρυνμένα με φώσφορο εδάφη στο θερμοκήπιο της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών. Το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε τρεις τύπους εδαφών: αργιλοπηλώδες (CL) με pH=8, αμμοπηλώδες (SL) με pH=8, πηλοαμμώδες (LS) με pH=8.8 από τις περιοχές Διαλεχτό και Περιοδική Τρικάλων.

Στα φυτοδοχεία προστέθηκε 1 kg εδάφους, 1 g εδαφοβελτιωτικού και 250 mg P Kg⁻¹ εδάφους υπό μορφή KH₂PO₄. Υπήρχαν φυτοδοχεία στα οποία προσετέθη μόνο η συγκέντρωση φωσφόρου χωρίς φυτά και φυτοδοχεία χωρίς φώσφορο με φυτά (φυτά μάρτυρες). Το πείραμα στο θερμοκήπιο πραγματοποιήθηκε σε δύο επαναλήψεις. Για τον προσδιορισμό του φωσφόρου στα φυτά χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της ξηρής καύσης στους 520°C και στο διήθημα προσδιορίστηκε η περιεκτικότητα του P με τη μέθοδο Olsen.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Κατά την προσρόφηση φωσφόρου στα υδατικά διαλύματα από τα προσροφητικά υλικά σε συνάρτηση με την αρχική ποσότητα φωσφόρου στο διάλυμα παρατηρήθηκε ότι όσο αυξάνει η αρχική συγκέντρωση φωσφόρου στο διάλυμα τόσο αυξάνει και η ποσότητα προσρόφησης φωσφόρου από το κάθε προσροφητικό υλικό (Σχήμα 1). Αντίστοιχα αποτελέσματα επιβεβαιώνονται και από τη βιβλιογραφία (Zhao and Zhou 2007; Oguz et al., 2003, Onyango et al., 2007).



Σχήμα 1: Προσρόφηση φωσφόρου σε υδατικά διαλύματα (mg P kg⁻¹ προσροφητή) από τα

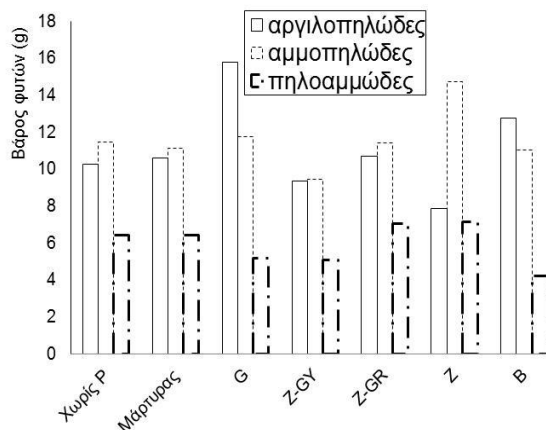
προσροφητικά υλικά σε συνάρτηση με την αρχική συγκέντρωση φωσφόρου στο διάλυμα (σε mg P L⁻¹).

Οι θεωρητικές τιμές της μέγιστης προσρόφησης και της αναλογίας διαλύματος / προσροφητικού υλικού παρουσιάζονται στο Πίνακα 1. Η μέγιστη προσρόφηση φωσφόρου παρατηρήθηκε από το γκαϊτίτη και ακολουθούν κατά φθίνουσα σειρά ο ζεόλιθος-γκαϊτίτης II, ο ζεόλιθος-γκαϊτίτης I, ο ζεόλιθος και ο μπετονίτης. Από τη συσχέτιση των πειραματικών με τα θεωρητικά δεδομένα προκύπτει ότι ο συντελεστής συσχέτισης (correlation coefficient factor, R²) ακολουθεί την ακόλουθη σειρά: ζεόλιθος-γκαϊτίτης II, γκαϊτίτης > ζεόλιθος > μπετονίτης > ζεόλιθος-γκαϊτίτης I.

Πίνακας 1: Θεωρητικές τιμές μέγιστης προσρόφησης φωσφόρου, αναλογίας διαλύματος/προσροφητή και συντελεστή συσχέτισης μετά από συσχέτιση τους με τις αντίστοιχες πειραματικές τιμές

ΠΡΟΣΡΟΦΗΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ	Z-G II	B	Z	G	Z-G I
Μέγιστο προσ/φησης (mg P Kg ⁻¹)	940.4	634.0	709.9	997.0	799.3
Αναλογία διαλύματος/προσροφητή (L kg ⁻¹)	240.4	171.5	185.6	243.1	192.9
R ²	0.998	0.978	0.994	0.998	0.972

Από το πείραμα στο θερμοκήπιο συσχέτισθηκε η επίδραση των προσροφητικών υλικών που χρησιμοποιούνται ως εδαφοβελτιωτικά με το βάρος των φυτών (Σχήμα 2) καθώς και η προσρόφηση του φωσφόρου από τα φυτά σε συνάρτηση με τα διάφορα εδαφοβελτιωτικά (Σχήμα 3) και στους τρεις τύπους εδάφους.

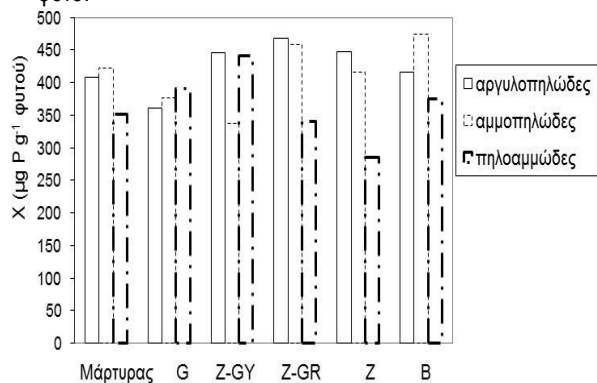


Σχήμα 2: Επίδραση των εδαφοβελτιωτικών στο βάρος των φυτών για τα διαφορετικού τύπου εδάφη

Τα φυτά που αναπτύχθηκαν στο πηλοαμμώδες έδαφος έχουν το μικρότερο βάρος ανεξαρτήτως εδαφοβελτιωτικού ενώ τα φυτά που αναπτύχθηκαν στο αργιλοπηλώδες έδαφος με γκαϊτίτη ως εδαφοβελτιωτικό το μεγαλύτερο βάρος (Σχήμα 2). Τα υπόλοιπα εδαφοβελτιωτικά παρουσιάζουν ενδιάμεσες τιμές σε σχέση με τα διαφορετικά βάρη και ακολουθούν τη σειρά: B/LS<Z-GY/LS <G/LS<Z-GR/LS<Z/LS<Z/CL<Z-GY/CL<Z-GY/SL<Z-GR/CL<B/SL<Z-GR/SL<G/SL<B/CL<Z/SL<G/CL. Αντίστοιχες μεταβολές σε φυτά καλαμποκιού ή μαρουλιού παρατηρούνται στη βιβλιογραφία με χρήση ζεολίθου ως εδαφοβελτιωτικού (Ahmed et al., 2010; Rafiee and Saad 2006).

Από το σχήμα 3 προκύπτει ότι εδάφη επιβαρυνμένα με υψηλές συγκεντρώσεις φωσφόρου στα οποία καλλιεργήθηκε το φυτό μαρούλι και των οποίων γνωρίζουμε την μηχανική σύσταση ισχύουν τα κάτωθι: Στα αργιλοπηλώδη εδάφη η προσθήκη του γκαϊίτη προκάλεσε συγκράτηση του φωσφόρου από το έδαφος και ελάχιστη μεταφορά του στο φυτό. Αντίθετα προκλήθηκε μεγαλύτερη αποδέσμευση του φωσφόρου από το έδαφος και μεταφορά του στα φυτά με την προσθήκη κατά φθίνουσα σειρά του ζεόλιθου-γκαιίτη II, ζεόλιθου, ζεόλιθου-γκαιίτη I και μπετονίτη, οπότε τα φυτά αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως χλωρή λίπανση σε εδάφη φτωχά σε φώσφορο. Στα αμμοπηλώδη εδάφη η προσθήκη κατά φθίνουσα σειρά των εδαφοβελτιωτικών ζεόλιθου-γκαιίτη I, γκαϊίτη και ζεόλιθου προκάλεσε την συγκράτηση του φωσφόρου από το έδαφος και την ελάχιστη μεταφορά του στο φυτό. Αντίθετα προκλήθηκε αποδέσμευση του P από το έδαφος και μεταφορά του στα φυτά με την προσθήκη κατά φθίνουσα σειρά του μπετονίτη και του ζεόλιθου-γκαιίτη II. Στα πηλοαμμώδη εδάφη η προσθήκη κατά φθίνουσα σειρά των εδαφοβελτιωτικών, ζεόλιθου και ζεόλιθου-γκαιίτη II, προκάλεσε συγκράτηση του φωσφόρου από το έδαφος και ελάχιστη μεταφορά του στο φυτό. Αντίθετα προκλήθηκε αποδέσμευση του P από το έδαφος και μεταφορά του στα φυτά με την προσθήκη κατά φθίνουσα σειρά του ζεόλιθου-γκαιίτη I, γκαϊίτη και μπετονίτη.

Συγκρίνοντας τα σχήματα 2 και 3 παρατηρούμε ότι οι υψηλές τιμές βάρους του φυτού αντιστοιχούν σε μειωμένες προσροφούμενες ποσότητες φωσφόρου διότι οι χρησιμοποιούμενες συγκεντρώσεις φωσφόρου στο έδαφος είναι τοξικές για το φυτό.



Σχήμα 3: Προσρόφηση φωσφόρου από φυτά σε συνάρτηση με τα διάφορα εδαφοβελτιωτικά για τους τρεις τύπους εδαφών

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα υλικά που μελετήθηκαν στην αποκατάσταση υδάτων περιεκτικότητας από 0-4 ppm φωσφόρου η χρήση του γκαϊίτη ως προσροφητικού υλικού αποδείχθηκε η καλύτερη λόγω της μεγαλύτερης προσρόφησης του P.

Η προσθήκη γκαϊίτη σε αργιλοπηλώδη εδάφη, συστήματος ζεόλιθου-γκαιίτη I στα αμμοπηλώδη εδάφη και ζεόλιθου και συστήματος ζεόλιθου-γκαιίτη II στα πηλοαμμώδη εδάφη επιβαρυνμένα με

250 mg P Kg⁻¹ εδάφους, συντέλεσε στην ελαχιστοποίηση της μεταφοράς του P στο φυτό του μαρουλιού.

Βιβλιογραφία

- Ahmed, O. H., Sumalatha, G., and Nik Muhamad, A. M., 2010. Use of zeolite in maize (*Zea mays*) cultivation on nitrogen, potassium, and phosphorus uptake and use efficiency. *International Journal of the Physical Sciences* 5 (15): 2393–2401.
- Argiri A., Ioannou, Z., Gavala, P.-M., Dimirkou, A., 2013. Phosphorus removal from aqueous solutions and Greek soils using modified natural minerals and its impact on the morphological characteristics of crops, *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 44: 551-565.
- Catt, J. A., Howse, K. R., Farina, R., Brockie, D., Todd, A., Chambers, B. J., Hodgkinson, R., Harris, G. L., and Quinton, J. N., 1998. Phosphorus losses from arable land in England. *Soil Use and Management* 14:168–174.
- Hesterberg, D., and Beauchemin, S., 2000. Changes in phosphate bonding as affected by level of adsorption on oxide minerals, *Environmental Sciences, Science Highlights (NSLS Activity Report 2)*. pp. 32–34.
- Ioannou, Z., Dimirkou, A., Golia, E.E, and Ioannou, A., 2009. Sorption of Zinc by Clinoptilolite – Fe(NO₃)₃ Systems. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 40: 240-258.
- Oguz, E., Gurses, A., and Yalcin, M., 2003. Removal of phosphate from waste waters by adsorption. *Water, Air and Soil Pollution* 148:279–287.
- Onyango, M. S., Kuchar, D., Kubota, M., and Matsuda, H., 2007. Adsorptive removal of phosphate ions from aqueous solution using synthetic zeolite. *Industrial and Engineering Chemistry Research* 46 (3): 894–900.
- Rafiee, G., and Saad, C. R., 2006. The effect of natural zeolite (clinoptilolite) on aquaponic production of red tilapia (*Oreochromis sp.*) and lettuce (*Lactuca sativa* var. longifolia), and improvement of water quality. *Journal of Agricultural Science and Technology* 8:313–322.
- Ritchie, G. S. P., and Weaver, D. M., 1993. Phosphorus retention and release from sandy soils of the Peel-Harvey catchment. *Fertilizer Research* 36:115–122.
- Schwertmann U., and Cornell, R. M., 2000. Iron Oxides in the Laboratory. *Weiheim: Wiley-VCH* p.p. 37-42.
- Tunney, H., Carton, O. T., Brookes, P. C., and Johnston, A. E., 1997. Phosphorus loss from soil to water. *London: CABI*.
- Zhao, G. Y., and Zhou, Q., 2007. Adsorption of phosphorous from wastewater onto zeolite. *Technology of Water Treatment* 2:15–16.
- Μήτσιος Ι., 2004. Γονιμότητα Εδαφών. Εκδόσεις Zymel, σελ.123-181.

Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΟΡΓΑΝΙΚΗΣ ΟΥΣΙΑΣ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ ΣΕ ΕΝΑ ΜΑΚΡΟΧΡΟΝΙΟ ΠΕΙΡΑΜΑ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΩΝ ΕΔΑΦΟΥΣ

Θεοφάνης Α. Γέμτος, Χρήστος Καβαλάρης, Χρήστος Καραμούτης, Σπύρος. Φουντάς

Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Τμήμα Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Οδός Φυτόκου, Ν. Ιωνία, 38446, Βόλος. E- mail: gemtos@agr.uth.gr

Η εργασία παρουσιάζει τα πρώτα αποτελέσματα μελέτης της επίδρασης της αφαίρεσης όλης της παραγόμενης βιομάζας στο έδαφος. Χρησιμοποιήθηκε ένα μακροχρόνιο 15ετές πείραμα όπου συγκρίνονταν πέντε μέθοδοι κατεργασίας εδάφους 1. Συμβατική κατεργασία (Σ) με όργωμα στα 25-30 cm 2. Μειωμένη κατεργασία με χρήση βαρύ καλλιεργητή (ΒΚ) σε βάθος 20-25 cm. 3. Μειωμένη κατεργασία με χρήση περιστροφικού καλλιεργητή (ΠΚ) σε βάθος 12-15 cm. 4. Μειωμένη κατεργασία με δισκοσβάρνα (Δ) ή κατεργασία σε λωρίδες (Λ). Αρχικά η κατεργασία γίνονταν με χρήση δισκοσβάρνας (αβαθής κατεργασία) και τα τελευταία έτη αντικαταστάθηκε από κατεργασία σε λωρίδες. Στη μέθοδο αυτή εφαρμόστηκε είτε μειωμένη κατεργασία με δισκοσβάρνα σε όλη την επιφάνεια (χειμερινές καλλιέργειες) είτε μειωμένη κατεργασία σε λωρίδες (εαρινές). Η κατεργασία σε λωρίδες έγινε με χρήση ενός σύνθετου μηχανήματος που σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε στο Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας του Π.Θ. 5. Ακαλλιέργεια (Α). Απ' ευθείας σπορά στην ακατέργαστη επιφάνεια με συμβατικές σπαρτικές μηχανές. Το τελευταία δύο έτη η μέθοδος διασπάστηκε στα δύο, στο μισό τεμάχιο διατηρούνταν τα φυτικά υπολείμματα ενώ από το άλλο μισό απομακρύνονταν. Καθ' όλα τα έτη και σε όλες τις μεταχειρίσεις (εκτός από την υπο-μεταχείριση της ακαλλιέργειας όπου τα φυτικά υπολείμματα τα δύο τελευταία έτη απομακρύνονταν) η διαχείριση των υπολειμμάτων γίνονταν με ενσωμάτωση τους και όχι με απομάκρυνση ή καύση. Το αποτέλεσμα ήταν ότι μετά από 16 έτη η οργανική ουσία του εδάφους έφτασε περίπου στο 2%, από 1% αρχικά, με την ακαλλιέργεια να έχει σημαντικά περισσότερη Ο.Ο. στην επιφάνεια και η συμβατική σε βάθος κάτω από 15 cm. Αυτό υποδεικνύει ότι η Ο.Ο.Υ. μπορεί να αυξηθεί με κατάλληλη διαχείριση των υπολειμμάτων και με χρήση μεθόδων μειωμένης κατεργασίας.

Λέξεις κλειδιά: κατεργασία εδάφους, οργανική ουσία εδάφους, φυσικές ιδιότητες εδάφους

SOIL ORGANIC MATTER DYNAMICS IN A LONG TERM TILLAGE EXPERIMENT

T.A. Gemtos, C. Cavalaris, C. Karamoutis, S. Fountas

¹Laboratory of Farm Mechanisation, Department of Agriculture Crop Production and Rural Environment, University of Thessaly, Fytokou Street, N. Ionia, GR-38446, Volos, Greece. e-mail: gemtos@agr.uth.gr

This paper presents the first year results of an experiment aiming at studying the effect of whole biomass removal to the soil. A long term tillage experiment was used. Five tillage systems were compared in the experiment (conventional tillage, with ploughing at 25-30 cm depth, HC with heavy cultivator at 20-25 cm depth, RC with rotary cultivator at 12-15 cm depth, DH with disk harrow at 8-10 cm. In the last years in row crops strip tillage was used instead of disk harrow. A machine designed and developed in the lab was used (this treatment was split in two: in one the crop residues were removed and were added in the other one which finally had double the residues. Seedbed was prepared by disk harrows or light cultivators as required. Finally NT plots were planted without any tillage). Residues were left in the field and no removal or burning was applied. The results indicated that after 15 years soil organic was increased from 1% to around 2% with in the no tillage or and in the reduced tillage treatments to present higher rates at at the top 0-15 cm layer and in the conventional treatment at the deeper layer (15-30) cm layer. The results indicate that proper residue management as well as reduced or no tillage can increase soil organic matter.

Key words: soil tillage, soil organic matter, soil physical properties.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το έδαφος είναι η βάση της γεωργίας αλλά και πολλών άλλων ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Παίζει σημαντικό ρόλο σε μια σειρά αλληλεπιδράσεων με την ατμόσφαιρα και συμβάλλει ή μπορεί να αποτρέψει τη κλιματική αλλαγή. Η ΕΕ προετοιμάζει μια οδηγία για τη προστασία του εδάφους. Πριν από την υιοθέτηση της οδηγίας η Ευρωπαϊκή Επιτροπή χρηματοδότησε έρευνα για τους κινδύνους που

αντιμετωπίζει το έδαφος. Η έρευνα κατέληξε σε έξι κύριους παράγοντες που απειλούν το έδαφος και τη γονιμότητα του (SOCO project team 2009): η διάβρωση από νερό και αέρα, η μείωση της οργανικής ουσίας, η βιοποικιλότητα, η συμπίεση του εδάφους, η ρύπανση από βαριά μέταλλα και η αλκαλιωση. Είναι γνωστό ότι οι τέσσερις πρώτοι παράγοντες επηρεάζονται άμεσα ή έμμεσα από τη

κατεργασία του εδάφους και τη διαχείριση των υπολειμμάτων των καλλιεργειών.

Ο όρος οργανική ουσία (Ο.Ο.) του εδάφους αναφέρεται στα οργανικά συστατικά του εδάφους τα οποία περιλαμβάνουν κάθε ζωικό ή φυτικό υπόλειμμα το οποίο παραμένει ή επιστρέφει στο έδαφος και υπόκειται σε διεργασίες αποικοδόμησης (LIFE-Soil Sustainability (So.S.) 2009-2012) . Το πορώδες (Arshad et al., 1999) , η δομή του εδάφους (Reeves, 1997), η διηθητική ικανότητα, η βιοποικιλότητα του εδάφους, η ικανότητα συγκράτησης νερού (Larney and Lindwall 1995) και θρεπτικών στοιχείων καθώς και η διαθεσιμότητα των θρεπτικών συστατικών επηρεάζονται από την οργανική ουσία που αποτελεί και από τα πιο σημαντικά συστατικά του εδάφους. Η άργιλος μαζί με την οργανική ουσία αποτελούν τα δυο βασικότερα συγκολλητικά και σταθεροποιητικά συστατικά των εδαφικών τεμαχιδίων. (Gomez et al., 2001, Chan et al., 2002) και συνδυάζονται με αυξημένη ευθρυπτότητα και μειωμένη αντίσταση κατά την μηχανική κατεργασία (McLaughlin et al. 2002) . Ένα χαρακτηριστικό γνώρισμα των εδαφών που δεν υπόκεινται σε εντατική κατεργασία είναι η αύξηση της οργανικής ουσίας, ιδίως στην ανώτερη επιφάνεια (Simon et al., 2009), Η αύξηση επέρχεται σταδιακά και οφείλεται στην αποσύνθεση των ετήσιων φυτικών υπολειμμάτων αλλά και στη μικρότερη αποσύνθεση της οργανικής ουσίας από το μειωμένο αερισμό του εδάφους. Η οργανική ουσία ενσωματώνεται στα εδαφικά συσσωματώματα (Onweringmadu et al., 2007) καθιστώντας τα πιο σταθερά και ανθεκτικά στις δράσεις της συμπίεσης και της διάβρωσης. Η περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανική ουσία σχετίζεται άμεσα με τη μάζα των φυτικών υπολειμμάτων που επιστρέφουν στο έδαφος (Martins et al. 2009). Για να επέλθει αύξηση στην οργανική ουσία του εδάφους κατά την εφαρμογή συστημάτων μειωμένης κατεργασίας θα πρέπει αυτά να συνοδεύονται από εντατικοποίηση της παραγωγής με καλλιεργείες οι οποίες επιστρέφουν στο έδαφος μεγάλο όγκο φυτικών υπολειμμάτων μετά τη συγκομιδή. Μια εναλλακτική λύση είναι η εισαγωγή καλλιεργειών φυτοκάλυψης και η ενσωμάτωσή τους στο έδαφος ως χλωρή λίπανση. Μελέτες έδειξαν ότι ενώ το κύριο μέρος της οργανικής ουσίας (του χούμου) του εδάφους προέρχεται από τη ρίζα, αύξηση επιτυγχάνεται μόνο όταν ενσωματώνονται και φυτικά υπολείμματα. Η ρίζα χωρίς φυτικά υπολείμματα (δηλαδή κυπαρίνες του υπέργειου τμήματος) φαίνεται να μη μπορεί να αυξήσει την οργανική ουσία. Σύμφωνα με τους Salinas-Garcia et al. (2001) για να επέλθει αύξηση της οργανικής ουσίας στην επιφανειακή στοιβάδα του εδάφους, θα πρέπει με το σύστημα της μειωμένης κατεργασίας ή της ακαλλιέργειας να διατηρείται στην επιφάνεια του εδάφους τουλάχιστον το 60% των φυτικών υπολειμμάτων όταν οι κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής ευνοούν την ταχεία διάσπαση της οργανικής ουσίας. Παρά την αδιαμφισβήτητη αύξηση της οργανικής ουσίας στην επιφάνεια του εδάφους υπάρχουν έρευνες που

υποστηρίζουν ότι το συνολικό όφελος σε ένα μεγαλύτερο βάθος μέχρι 30 εκατοστά, είναι μηδενικό (Spargo et al., 2008). Αυτό που στην ουσία συμβαίνει είναι μια αναδιάρθρωση της οργανικής ουσίας η οποία συγκεντρώνεται στην επιφάνεια του εδάφους ενώ το υπέδαφος παραμένει φτωχό (Gal et al., 2007). Η αύξηση της οργανικής ουσίας είναι ιδιαίτερα εμφανής στα εδάφη της Νότιας Ευρώπης, όπου από την πολύχρονη κατεργασία η οργανική ουσία είναι στα επίπεδα του 1%, Οολιγόχρονη εφαρμογή ακαλλιέργειας αυξάνει την οργανική ουσία σημαντικά (Φουντάς και άλλοι, 2009).

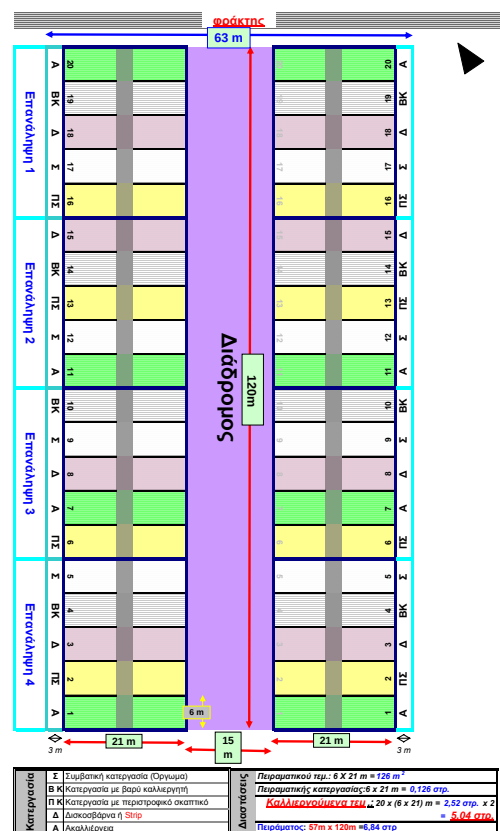
Τα υπολείμματα αυξάνουν τη διήθηση και μειώνουν εξάτμιση, που γενικά οδηγεί σε καθαρή αύξηση της υγρασίας του εδάφους (Lal and Stewart, 2010). Γενικότερα η αυξημένη κάλυψη του εδάφους με υπολείμματα προκαλεί αύξηση της υγρασίας του εδάφους, μείωση των μέγιστων θερμοκρασιών του εδάφους και αύξηση των ελάχιστων. Οι συνέπειες των επιπτώσεων της θερμοκρασίας και της υγρασίας από την κάλυψη υπολειμμάτων δεν είναι ιδιαίτερα ξεκάθαρες. (Η θερμοκρασία που υπερισέρχεται εδώ δεν είναι μέρος της έρευνας, οπότε μπορεί να διαγραφεί) Όμως όλοι οι παράγοντες εξαρτώνται από τις αλληλεπιδράσεις των μεταβαλλόμενων συνθηκών του μικροκλίματος του εδάφους με άλλους παράγοντες (τύπος εδάφους, το κλίμα, το είδος των καλλιεργειών). Σκοπός της εργασίας είναι να μελετήσει τις επιπτώσεις την απόληψης όλης της βιομάζας για παραγωγή ενέργειας στο έδαφος.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

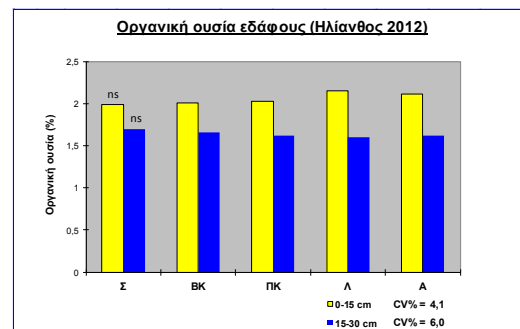
Το 1996 εγκαταστάθηκε στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας ένα πείραμα σύγκρισης πέντε κατεργασιών του εδάφους. Οι μέθοδοι κατεργασίας που δοκιμάστηκαν ήταν:

1. Συμβατική κατεργασία: περιελάμβανε όργωμα σε βάθος 25-30 cm και προετοιμασία της σποροκλίνης με δισκοσβάρνα ή καλλιεργητή .
2. Μειωμένη κατεργασία I με χρήση βαρύ καλλιεργητή (BK): Πρωτογενής κατεργασία με ένα πέρασμα με βαρύ καλλιεργητή σε βάθος 20-25 cm. Προετοιμασία της σποροκλίνης με δισκοσβάρνα ή ελαφρύ καλλιεργητή σύμφωνα με τις ανάγκες.
3. Μειωμένη κατεργασία II με χρήση περιστροφικού καλλιεργητή (ΠΚ) :Ένα πέρασμα με περιστροφικό καλλιεργητή σε βάθος 12-15 cm.
4. Μειωμένη κατεργασία III – Αρχικά η κατεργασία γίνονταν με χρήση δισκοσβάρνας (αβαθής κατεργασία) και τα τελευταία έτη αντικαταστάθηκε για τις εαρινές καλλιέργειες από κατεργασία σε λωρίδες. Η κατεργασία σε λωρίδες έγινε με χρήση ενός σύνθετου μηχανήματος που σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε στο Εργ. Γεωργ. Μηχανολογίας του Π.Θ. Το μηχάνημα αυτό κατεργάζεται λωρίδες εδάφους πλάτους 30 cm και σε βάθος 25 cm αξιοποιώντας ένα συνδυασμό αβαθών και βαθέων υνιών ακολουθούμενων από στελέχη φρέζας για ταυτόχρονη προετοιμασία της σποροκλίνης.
5. Ακαλλιέργεια (Α). Απ' ευθείας σπορά στην ακατέργαστη επιφάνεια με συμβατικές σπαρτικές μηχανές. Η μεταχείριση υποδιαιρέθηκε σε δύο υπο-

βάθος και έχει σκεπαστεί με χώμα, κάτι που όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως δεν καταφέρνουν οι συμβατικές μηχανές σποράς.



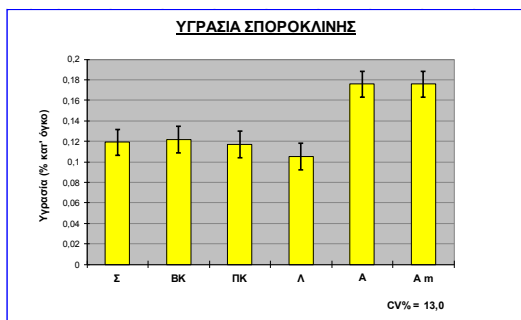
Σχήμα 1. Πειραματικό σχέδιο: Πειραματικός αγρός (αρδευόμενος στο Αγρόκτημα του Π.Θ.) για τη σύγκριση πέντε μεθόδων κατεργασίας εδάφους σε συνδυασμό με δύο συστήματα αμειψισποράς



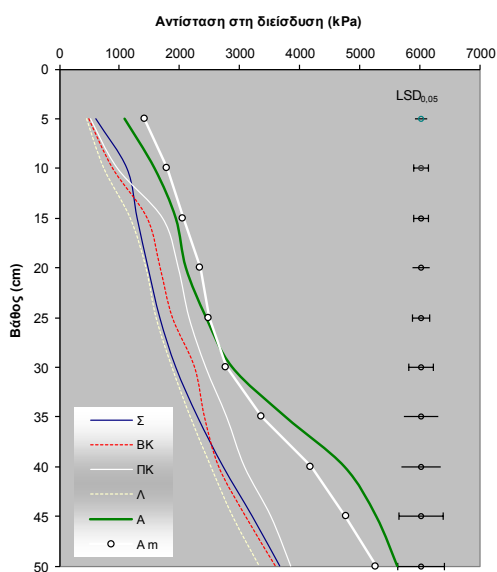
Σχήμα 2. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης της οργανικής ουσίας του εδάφους για τις πέντε μεθόδους κατεργασίας του εδάφους σε δυο βάθη δειγματοληψίας. Σ = συμβατική κατεργασία, ΒΚ = μειωμένη κατεργασία με βαρύ καλλιεργητή, ΠΚ = μειωμένη κατεργασία με περιστροφικό καλλιεργητή, Λ = κατεργασία σε λωρίδες, Α = ακαλλιέργεια.

Στο Σχήμα 4 απεικονίζεται η αντίσταση του εδάφους στην διείσδυση σε ένα βάθος 50 cm για τις έξι μεθόδους κατεργασίας στις 21/5/12. Όπως διαπιστώνεται, στην ακαλλιέργεια το έδαφος παρουσιάζει υψηλές τιμές αντίστασης οι οποίες γίνονται ακόμη μεγαλύτερες κάτω από το βάθος των

30 cm. Η συμπεριφορά αυτή πιθανόν να σχετίζεται με διαφορές στα επίπεδα υγρασίας του εδάφους για τα οποία η στατιστική επεξεργασία δεν έχει ακόμη προχωρήσει. Το όργωμα και η κατεργασία σε λωρίδες παρουσίαζαν τις χαμηλότερες τιμές. Να σημειωθεί εδώ ωστόσο ότι στην μεταχείριση της κατεργασίας σε λωρίδες η δειγματοληψία γίνονταν πάνω στη γραμμή σποράς η οποία βρίσκεται στο κέντρο της κατεργασμένης λωρίδας.



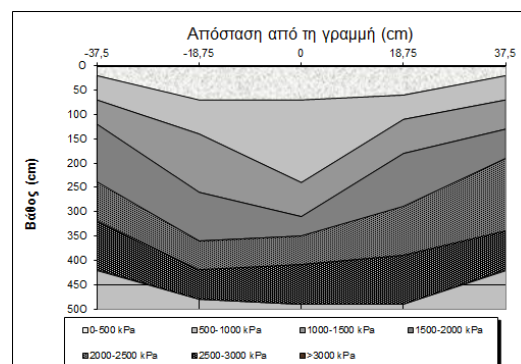
Σχήμα 3. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης της υγρασίας του εδάφους στη περιοχή της σποροκλίνης τρεις ημέρες μετά τη σπορά για τις έξι μεθόδους κατεργασίας του εδάφους. Τα σύμβολα ίδια με το Σχήμα 2.



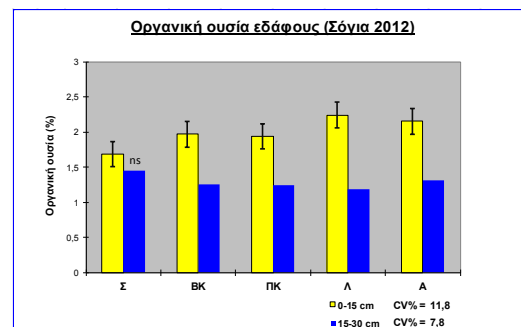
Σχήμα 4. Αντίσταση του εδάφους στη διείσδυση για τις έξι μεθόδους κατεργασίας του εδάφους στις 21/5/12. Τα σύμβολα ίδια με το Σχήμα 2.

Το έδαφος στην ενδιάμεση ακατέργαστη περιοχή μεταξύ των λωρίδων σαφώς και παρουσίαζε υψηλότερη συμπίεση και αυτό φαίνεται στο Σχήμα 5 που παρουσιάζει ένα κατακόρυφο προφίλ του εδάφους ως προς τη γραμμή σποράς. Στο Σχήμα 6 φαίνεται η περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανική ουσία για τα δύο βάθη δειγματοληψίας στο τμήμα του πειράματος που καλλιεργήθηκε με σόγια. Παρουσιάζεται και εδώ η τάση που διαπιστώθηκε στην αμειψισπορά A με τις διαφορές ωστόσο να είναι πιο χαρακτηριστικές. Επιπλέον οι διαφορές

αυτή τη φορά είναι στατιστικώς σημαντικές. Στα 0-15 cm, φαίνεται μια αύξηση της οργανικής ουσίας καθώς ελαττώνεται η εντατικότητα της κατεργασίας. Σε μεγαλύτερο βάθος 15-30 cm η τάση είναι αντίθετη. Το όργωμα παρουσιάζει υψηλότερα επίπεδα οργανικής ουσίας σε σχέση με τις υπόλοιπες μεθόδους. Αυτό οφείλεται στην αναστροφή του εδάφους που συμβαίνει μόνο στη συγκεκριμένη μεταχείριση, δράση η οποία ενσωματώνει την οργανική ουσία στα βαθύτερα στρώματα του εδάφους. Το Σχήμα 7 απεικονίζει την αντίσταση του εδάφους στην διείσδυση στις 29/6/12 για τις έξι μεθόδους κατεργασίας. Το όργωμα και η κατεργασία σε λωρίδες εμφανίζουν μια ιδιαίτερα χαλαρή στοιβάδα εδάφους μέχρι και τα 35-40 cm περίπου. Αντίθετα, στα δυο συστήματα ακαλλιέργειας το έδαφος είναι συμπίεμένο μέχρι τα 30 cm. Παρατηρείται επίσης ότι στην περίπτωση της εδαφοκάλυψης η συμπίεση είναι μεγαλύτερη. Στην κατεργασία σε λωρίδες η δειγματοληψία γίνονταν πάνω στη γραμμή σποράς η οποία βρίσκεται στο κέντρο της κατεργασμένης λωρίδας. Το έδαφος στην ενδιάμεση ακατέργαστη περιοχή μεταξύ των λωρίδων παρουσίαζε υψηλότερη συμπίεση παρόμοια με το Σχήμα 5.

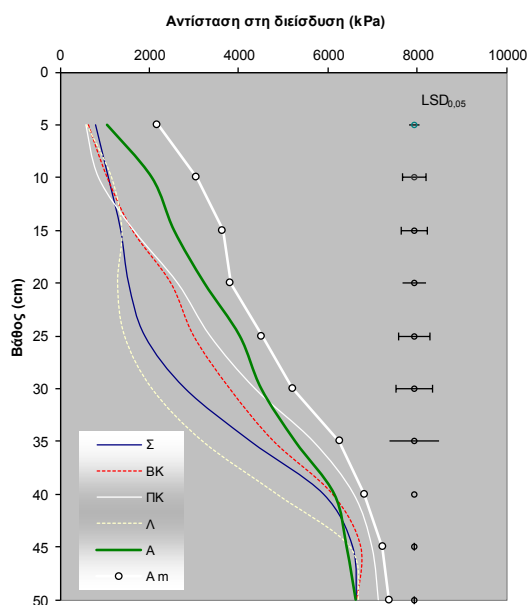


Σχήμα 5. Κατακόρυφο προφίλ της αντίστασης του εδάφους στη διείσδυση για τη μέθοδο της κατεργασίας σε λωρίδες. Οι περιοχές απεικονίζουν το πλήθος των τιμών που περιλαμβάνονται μεταξύ των αντίστοιχων κλάσεων. Ο άνω άξονας X δείχνει την απόσταση δεξιά και αριστερά από το θέση 0 που βρίσκεται η γραμμή της καλλιέργειας.



Σχήμα 6. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης της οργανικής ουσίας του εδάφους για τις πέντε

μεθόδους κατεργασίας του εδάφους σε δυο βάθη δειγματοληψίας. Τα σύμβολα ίδια με το Σχήμα 2.



Σχήμα 7. Αντίσταση του εδάφους στη διείσδυση για τις έξι μεθόδους κατεργασίας του εδάφους στις 29/6/12. Τα σύμβολα ίδια με το Σχήμα 2.

4. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η εργασία αυτή προέκυψε από στοιχεία που συγκεντρώθηκαν στο πλαίσιο προγράμματος ΘΑΛΗΣ «Φιλική προς το περιβάλλον παραγωγή βιομάζας» που συν-χρηματοδοτήθηκε από την ΕΕ (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και Εθνική Χρηματοδότηση στο πλαίσιο του προγράμματος «Εκπαίδευση και Διαρκής Εκπαίδευση» του Εθνικού Στρατηγικού Πλαισίου Ανάπτυξης (ΕΣΠΑ) Πρόγραμμα ΘΑΛΗΣ: Επενδύοντας στη Κοινωνία της Γνώσης μέσω του Ευρωπαϊκού Κοινωνικού Ταμείου

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν γίνεται σαφές ότι η διατήρηση των φυτικών υπολειμμάτων στο χωράφι σε συνδυασμό με μειωμένη κατεργασία ή ακαλλιέργεια αυξάνουν την οργανική ουσία του εδάφους. Η διατήρηση των φυτικών υπολειμμάτων περιορίζει την εξάτμιση του νερού και διατηρεί υψηλότερη υγρασία στο έδαφος την άνοιξη. Η ακαλλιέργεια όπως και η μειωμένη κατεργασία προκαλούν αυξημένη συμπίεση του εδάφους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Arshad, M.A. Franzluebbers, A.J. and Azooz, R.H. 1999. Components of surface soil structure under conventional and no-tillage in northwestern Canada, *Soil and Tillage Research*, Vol 53(1)41-47
- Chan, K.Y., Heenan, D.P. and Oates A. (2002). Soil carbon fractions and relationship to soil quality under different tillage and stubble management, *Soil and Tillage Research*, Vol63(3-4) 133-139.

- Gal A., Tony J. Vyn, Erika Micheli, Eileen J. Klavivko, William W. McFee. 2007. Soil carbon and nitrogen accumulation with long-term no-till versus mouldboard plowing overestimated with tilled-zone sampling depths. *Soil & Tillage Research* 96 42-51
- Gomez, E., Ferreras, L., Toresani, S., Ausilio, A. and Bisaro, V. (2001). Changes in some soil properties in a Vertic Argiudoll under short-term conservation tillage, *Soil and Tillage Research*, Vol.61(3-4)179-186
- Larney, F.J. and Lindwall, C.W., 1995. Rotation and tillage effects on available soil water for winter wheat in a semi-arid environment, *Soil and Tillage Research*, Vol.36(3-4) 111-127
- LIFE-Soil Sustainability (So.S.) 2009-2012, Organic Matter decline, [ONLINE], Available from: <http://www.lifesos.eu/index.php/el/impairment-organic-matter> [Accessed 19th September 2012]
- Martins R.M., Cora J.E., Jorge F.R., Marcelo A.V. 2009. Crop type influences soil aggregation and organic matter under no-tillage. *Soil & Tillage Research* 104 (1)22-29
- McLaughlin, N.B. Gregorich, E.G. Dwyer, L.M. and Ma, B.L., 2002. Effect of organic and inorganic soil nitrogen amendments on mouldboard plow draft, *Soil and Tillage Research*, Vol 64(3-4) 211-219
- Onweremadu E.U., V.N. Onyia, M.A.N. Anikwe. 2007. Carbon and nitrogen distribution in water-stable aggregates under two tillage techniques in Fluvisols of Owerri area, southeastern Nigeria. *Soil & Tillage Research* 97 (2) 195-206
- Reeves, D.W., 1997. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems, *Soil and Tillage Res.*, Vol.43(1-2)131-167
- Simon T., M. Javurek, O. Mikanova, M. Vach. 2009. The influence of tillage systems on soil organic matter and soil hydrophobicity. *Soil & Tillage Research* 105 (1) 44-48
- SoCo Project Team. 2009. Addressing soil degradation in EU agriculture: relevant processes, practices and policies Report on the project 'Sustainable Agriculture and Soil Conservation (SoCo)' (Louwagie G., Hubertus St. and Burrell G.A. editors) http://eussoils.jrc.ec.europa.eu/esdb_archive/eussoils_docs/other/EUR23767.pdf
- Spargo J.T., Marcus M. Alley, Ronald F. Follett, James V. Wallace. 2008. Soil carbon sequestration with continuous no-till management of grain cropping systems in the Virginia coastal plain. *Soil & Tillage Research* 100 (2) 133-140
- Φουντάς Σπ., Μπουλουλής Κ., Παγάνης Π. Καβαλάρης Χρ., Γέμος Θ.Α., Νάνος Γ., Παρασκευόπουλος Α. Γαλάνης Μ., 2009. Σύγκριση Διαχείρισης Ζιζανιοχλωρίδας στη Ελιά με Κατεργασία του Εδάφους, Μηχανική Καταστροφή και Χημική Ζιζανιοκτονία. Γεωργία και Κτηνοτροφία τεύχος 1 σελίδες 34-37.