

**ΔΙΕΘΝΕΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΕΛΛΑΔΟΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ - ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΚΑΙΝΟΤΟΜΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΕΙΦΟΡΟΥ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ
ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ»**

**ΕΙΔΙΚΕΥΣΗ: ΟΡΘΟΛΟΓΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΦΥΤΙΚΟΥ
ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ ΚΑΙ ΕΛΑΦΟΎΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ**

Μεταπτυχιακή διατριβή

**Επίδραση ιλύος ή κόπρου και ανόργανης λίπανσης στη βελτίωση του
εδάφους και στην απόδοση του αραβοσίτου**

**Τεχνολόγος Γεωπονίας
ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΧΑΜΟΥΡΤΖΑΚΗΣ**

**Επιβλέπων καθηγητής
ΚΙΤΣΙΟΣ ΔΗΜΑΣ**

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2020

ΔΙΕΘΝΕΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΕΛΛΑΔΟΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ - ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΚΑΙΝΟΤΟΜΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΕΙΦΟΡΟΥ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ
ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ»

ΕΙΔΙΚΕΥΣΗ: ΟΡΘΟΛΟΓΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΦΥΤΙΚΟΥ
ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ ΚΑΙ ΕΛΑΦΟΎΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

Μεταπτυχιακή διατριβή

**Effect of sludge or manure and inorganic fertilization on soil
improvement and maize yield**

Τεχνολόγος Γεωπονίας
ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΧΑΜΟΥΡΤΖΑΚΗΣ

Επιβλέπων καθηγητής
ΚΙΤΣΙΟΣ ΔΗΜΑΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2020

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θερμές ευχαριστίες στον ομότιμο καθηγητή του Α.Π.Θ. κ. Ηλία Ελευθεροχωρινό για την αμέριστη και διαρκή βοήθειά του, για την ανάθεση ,το σχεδιασμό και την εποπτεία των πειραμάτων καθώς και για τη βοήθεια στην ερμηνεία και τεκμηρίωση των αποτελεσμάτων.

Επίσης θερμές ευχαριστίες στον καθηγητή του ΔΙ.ΠΑ. Θεσσαλονίκης κ. Κίτσιο Δήμα για την αμέριστη βοήθεια στην εποπτεία των πειραμάτων καθώς και για τη βοήθεια στην ερμηνεία και τεκμηρίωση των αποτελεσμάτων και τις πολύτιμες υποδείξεις του κατά την διάρκεια της συγγραφής της εργασίας ως προς το περιεχόμενο, την άριστη δομή και την άψογη παρουσίαση.

Θερμές ευχαριστίες και στον καθηγητή του ΔΙ.ΠΑ. Θεσσαλονίκης κ. Στέφανο Στεφάνου για την πολύμηνη και πολύτιμη βοήθειά του στην εκτέλεση των αναλύσεων στο εδαφολογικό εργαστήριο του ΔΙ.ΠΑ. Θεσσαλονίκης, για την κριτική ανάγνωση του κειμένου και τις χρήσιμες διορθώσεις και τις ουσιαστικές υποδείξεις.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω το προσωπικό του εδαφολογικού εργαστηρίου του ΔΙ.ΠΑ. Θεσσαλονίκης καθώς και το προσωπικό του αγροκτήματος του ΔΙ.ΠΑ. Θεσσαλονίκης και ιδιαιτέρως του κ. Δημήτριο Αδαμόπουλο που βοήθησε στο μέγιστο την προσπάθεια διεξαγωγής του συγκεκριμένου πειράματος.

Οφείλω να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν στην πραγματοποίηση της συγκεκριμένης εργασίας και ιδιαιτέρως την εταιρία και το προσωπικό της AGROLAB για την πολύτιμη βοήθειά τους στην εκτέλεση των αναλύσεων στο εδαφολογικό εργαστήριο της εταιρίας και τον αναπληρωτή καθηγητή βιομετρίας κ. Γεώργιο Μενεξέ για στη βοήθεια του στην στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την σύζυγο και τα παιδιά μου για την ηθική συμπαράσταση που μου παρείχαν σε όλη την διάρκεια του μεταπτυχιακού προγράμματος.

Περιεχόμενα

Περίληψη	7
Abstract	8
1. Εισαγωγή	9
1.1 Επίδραση αζώτου, φωσφόρου και καλίου στην ανάπτυξη των φυτών αραβοσίτου.	10
1.1.1. Επίδραση του αζώτου στην ανάπτυξη του αραβοσίτου	10
1.1.2. Επίδραση του φωσφόρου στην ανάπτυξη του αραβοσίτου	11
1.1.3. Επίδραση του καλίου στην ανάπτυξη του αραβοσίτου	13
1.2. Χρήση οργανικών υλικών για λίπανση αραβοσίτου	14
1.2.1. Κομπόστ	14
1.2.1.1. Κομποστοποίηση	15
1.2.1.2. Παραγωγή σκουληκιών για ζωοτροφή και παραγωγή εμπλουτισμένου κομπόστ	17
1.2.2. Κόπρος	18
1.2.2.1. Κομποστοποίηση κόπρου	19
1.2.3. Ιλύς	21
1.2.3.1. Τύποι ιλύος	23
1.2.3.2. Διάθεση ιλύος	25
1.2.3.2.1. Υγειονομική ταφή	25
1.2.3.2.2. Υγρότοποι επεξεργασίας ιλύος	26

1.2.3.2.3. Ανακύκλωση ιλύος με εφαρμογή στο έδαφος	27
1.3. Σκοπός της εργασίας	30
2. Υλικά και μέθοδοι	31
2.1 Ανάλυση εδάφους, ιλύος και κόπρου πριν την εγκατάσταση του πειράματος	31
2.2. Εγκατάσταση πειράματος	31
2.3. Αναλύσεις εδάφους μετά τις επεμβάσεις	34
2.4. Μορφολογικά χαρακτηριστικά φυτών αραβοσίτου	35
2.5. Αγροκομικά χαρακτηριστικά φυτών αραβοσίτου	35
2.6. Αναλύσεις φυτικών ιστών αραβοσίτου	36
2.7. Στατιστική ανάλυση δεδομένων	36
3. Αποτελέσματα και συζήτηση	37
3.1. Αναλύσεις ιλύος, κόπρου και εδάφους πριν τις επεμβάσεις	37
3.2. Αναλύσεις του εδάφους μετά τις επεμβάσεις	39
3.2.1. pH εδάφους	39
3.2.2. Οργανική ουσία	40
3.2.3. Συγκέντρωση νιτρικού αζώτου στο έδαφος	41
3.2.4. Συγκέντρωση φωσφόρου στο έδαφος	42
3.2.5. Συγκέντρωση καλίου στο έδαφος	43

3.3. Αξιολόγηση μορφολογικών και αγροκομικών χαρακτηριστικών αραβοσίτου	44
3.3.1. Ύψος φυτών	44
3.3.2 Αριθμός φύλλων	45
3.3.3. Νωπό βάρος φυτών	46
3.3.4. Απόδοση σε καρπό	47
3.3.5. Βάρος χιλίων κόκκων	49
3.4. Αναλύσεις φυτικών ιστών αραβοσίτου	49
3.4.1. Συγκέντρωση αζώτου στα φύλλα	49
3.4.2. Συγκέντρωση φωσφόρου στα φύλλα	50
3.4.3. Συγκέντρωση καλίου στα φύλλα	51
4. Συμπεράσματα	53
5. Βιβλιογραφία	55
6. Παράρτημα	64
6.1. Νομοθεσία χρήσης ιλύος στη γεωργία	64
6.2. Πίνακες ANOVA	74

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε πείραμα αγρού που εγκαταστάθηκε στο αγρόκτημα του ΔΠΠΑ Ελλάδος (Σίνδος Θεσσαλονίκης) κατά την καλλιεργητική περίοδο 2017 αξιολογήθηκε η επίδραση διαφόρων επιπέδων ιλύος ή κόπρου στην απόδοση της καλλιέργειας του αραβοσίτου και στη βελτίωση των χαρακτηριστικών του εδάφους. Ειδικότερα, αξιολογήθηκε η επίδραση 20, 40 και 80 τόνων κόπρου ή ιλύος/εκτάριο, σε συνδυασμό με ή χωρίς τη χρήση ανόργανης λίπανσης (80 μονάδες βασική και 220 μονάδες επιφανειακή λίπανση αζώτου/ εκτάριο, 109 μονάδες φωσφόρου και 109 μονάδες καλίου/ εκτάριο), στα χαρακτηριστικά των φυτών αραβοσίτου (ύψος, αριθμός φύλλων, νωπό βάρος, απόδοση). Επίσης, προσδιορίστηκε η επίδρασή τους στη συγκέντρωση αζώτου, φωσφόρου και καλίου στους φυτικούς ιστούς, καθώς και στα χαρακτηριστικά του εδάφους (pH, οργανική ουσία, συγκέντρωση αζώτου, φωσφόρου και καλίου). Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι η απόδοση σε καρπό επηρεάστηκε σημαντικά από το είδος του υλικού, από την ποσότητα που χρησιμοποιήθηκε και από τη χρήση ή όχι ανόργανης λίπανσης.

Συνολικά, η απόδοση ήταν υψηλότερη στα πειραματικά τεμάχια όπου εφαρμόστηκαν 40 τόνοι / εκτάριο ιλύος ή κόπρου με ή χωρίς ανόργανη λίπανση σε σύγκριση με τον μάρτυρα χωρίς ανόργανη λίπανση. Βέβαια, το νωπό βάρος, το ύψος των φυτών και ο αριθμός φύλλων ανά φυτό δεν επηρεάστηκαν σημαντικά από τη χρήση κόπρου, ιλύος και ανόργανης λίπανσης. Η συγκέντρωση αζώτου στα φύλλα του αραβοσίτου ήταν μικρότερη στα φυτά που αναπτύχθηκαν στα πειραματικά τεμάχια όπου εφαρμόστηκαν 20 τόνοι ιλύος ή κόπρου με και χωρίς ανόργανη λίπανση. Η συγκέντρωση του φωσφόρου και στα τέσσερα επίπεδα ιλύος ήταν μεγαλύτερη εκεί που έγινε χρήση ανόργανων λιπασμάτων, ενώ η συγκέντρωση του καλίου ήταν μικρότερη εκεί που έγινε χρήση ανόργανων λιπασμάτων. Το ποσοστό της οργανικής ουσίας στο έδαφος ήταν μεγαλύτερο στα πειραματικά τεμάχια που εφαρμόστηκαν 40 και 80 τόνοι ιλύος χωρίς τη χρήση χημικής λίπανσης, ενώ το pH ήταν ελαφρώς μεγαλύτερο εκεί που δεν εφαρμόστηκε χημική λίπανση. Η συγκέντρωση του αζώτου, φωσφόρου και καλίου στο έδαφος ήταν μεγαλύτερη στα πειραματικά τεμάχια που εφαρμόστηκε κόπρος με χρήση χημικών λιπασμάτων.

ABSTRAC

In a field experiment conducted at the International University of Greece farm (Sindos, Thessaloniki) during the 2017 growing season, the effects of different levels of sludge or manure on maize crop yield and the improvement of soil components were evaluated. In particular, the effect of 20, 40 and 80 tons of manure or sludge/ha was assessed in combination with or without the use of synthetic fertilizers (80 and 220 kg/ha of nitrogen applied before sowing and 40 days after sowing, respectively, 109 kg phosphorus/ha, and 109 kg potassium/ha) on the maize plant parameters (height, number of leaves, fresh weight, silage and grain yield). Their effect on the concentration of nitrogen, phosphorus and potassium in plant tissues was also evaluated. In addition, the impact of their use on soil characteristics (pH, organic matter, nitrogen, phosphorus and potassium concentration) was evaluated. The results showed that the grain yield was significantly affected by the type and amount of material used and by the synthetic fertilizer. Overall, the yield was higher in the 40-ton/ha sludge or manure combined with or without synthetic fertilizer plots and lower in the control (without synthetic fertilizer) plots. However, fresh weight, plant height and number of leaves per plant were not significantly affected by the use of manure, sludge and inorganic fertilizer. The nitrogen concentration in maize leaves was lower in the plants grown in the experimental plots where 20 tons/ha of sludge and manure with and without inorganic fertilization were applied. However, the concentration of phosphorus in all four levels of sludge was higher where inorganic fertilizers were used, instead, the concentration of potassium which was lower respectively. The percentage of organic matter in the soil was higher in the experimental plots where 40 and 80 tons/ha of sludge without the use of chemical fertilizer had been applied, while the pH was slightly higher where no chemical fertilizer was applied. The concentration of nitrogen, phosphorus and potassium in the soil was higher in experimental plots with manure and chemical fertilizers.

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο αραβόσιτος είναι μία από τις σημαντικότερες εαρινές καλλιέργειες παγκοσμίως καθώς καλλιεργείται σε 1.937 εκατομμύρια στρέμματα και η παραγωγή σε καρπό για το 2018 ανήλθε σε 1147 εκατομμύρια τόνους, ενώ η αντίστοιχη έκταση και παραγωγή σε ενσιρωμένον αραβοσίτου ήταν 11.7 εκατομμύρια στρέμματα και 11.5 εκατομμύρια τόνους (FAOSTAT 2020). Ο αραβόσιτος, στη χώρα μας, αποτελεί μια από τις δυναμικότερες καλλιέργειες κατά τα τελευταία χρόνια. Η μέση στρεμματική απόδοση στην χώρα μας το 2018 ανήλθε σε 1134 kg/στρ. για καρπό, ενώ για παραγωγή ενσιρωμένου αραβοσίτου ήταν 3965 kg/στρ., γεγονός που την κατατάσσει ανάμεσα στις χώρες με την υψηλότερη απόδοση παγκοσμίως (FAOSTAT 2020).

Η ορθολογική λίπανση για την αντιμετώπιση των θρεπτικών αναγκών της καλλιέργειας είναι από τους βασικούς παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση του αραβοσίτου (Ευγενίδης και Μελλίδης 2003). Τα κυριότερα στοιχεία για την ανάπτυξη του αραβοσίτου είναι τα μακροστοιχεία N, P, K και το ιχνοστοιχείο του ψευδαργύρου. Σε αυτά τα στοιχεία επικεντρώνονται και οι εφαρμογές λιπασμάτων στη χώρα μας για να μην εμφανιστούν συμπτώματα τροφοπενειών κατά την καλλιεργητική περίοδο (Δόρδας 2014).

Οι διαχρονικές έρευνες του Ινστιτούτου Σιτηρών Θεσσαλονίκης σε διαφορετικά υβρίδια έδειξαν ότι η ποσότητα των θρεπτικών στοιχείων που απομακρύνονται από το έδαφος και προσλαμβάνονται από τον αραβόσιτο για παραγωγή 1000 kg/στρ. καρπού είναι 19.4, 2.7, 13.8, 1.4 και 2,7 kg/στρ. για άζωτο, φωσφόρο, κάλιο, μαγνήσιο και ασβέστιο, αντίστοιχα. Ένα μεγάλο ποσοστό αζώτου και φωσφόρου (75 και 84%, αντίστοιχα) κατανέμονται στον καρπό, ενώ το ποσοστό του καλίου που κατανέμεται στο καρπό είναι σημαντικά μικρότερο (28%). Η ποσότητα των ιχνοστοιχείων βορίου, ψευδαργύρου, μαγγανίου, χαλκού και σιδήρου που απομακρύνονται από το έδαφος είναι 16, 28, 31, 119 και 7 g/στρ. αντίστοιχα. Οι ποσότητες θρεπτικών στοιχείων που απομακρύνονται από το έδαφος είναι μεγαλύτερες όταν ο αραβόσιτος καλλιεργείται για ενσίρωση, (www.cereal.institute.gr).

Ο ρυθμός πρόσληψης των θρεπτικών στοιχείων σχετίζεται άμεσα με τον ρυθμό παραγωγής ξηράς ουσίας. Ειδικότερα, στα πρώτα στάδια ανάπτυξης των φυτών, τα

θρεπτικά στοιχεία που προσλαμβάνονται είναι σε μικρές ποσότητες με τάση συνεχούς αύξησης στα επόμενα βλαστικά στάδια και κορυφώνεται κατά την διάρκεια της εμφάνισης των αναπαραγωγικών οργάνων, ενώ, κατά την περίοδο γεμίσματος του κόκκου, ο ρυθμός πρόσληψης των θρεπτικών στοιχείων μειώνεται βαθμιαία (Παπακώστα 2012). Οι Κατσαντώνης κ.α. (1997) αναφέρουν ότι η μέγιστη ημερήσια απορρόφηση αζώτου παρατηρήθηκε στις 70-90 ημέρες μετά την σπορά, ενώ του φωσφόρου και του καλίου στις 68-75 ημέρες μετά την σπορά. Η ημερήσια πρόσληψη αζώτου, φωσφόρου και καλίου ήταν 0,58-0,78 kg/στρ., 0,11-0,12 kg/στρ. και 0,58-0,69 kg/στρ., αντιστοίχως. Σε συνθήκες επάρκειας θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος, η συγκέντρωση του αζώτου στους βλαστούς των νεαρών φυτών είναι 4-5% και μειώνεται κατά 1% κατά την περίοδο της ωρίμανσης, ενώ η αντίστοιχη του φωσφόρου είναι 0,6% και μειώνεται κατά 0,2% μετά την άνθιση των θηλυκών ανθέων (Παπακώστα 2012).

1. 1. Επίδραση του αζώτου, φωσφόρου και καλίου στην ανάπτυξη των φυτών αραβοσίτου.

1.1.1. Επίδραση του αζώτου στην ανάπτυξη του αραβοσίτου

Το άζωτο είναι από τα σπουδαιότερα θρεπτικά στοιχεία για την ανάπτυξη του αραβοσίτου, διότι επηρεάζει σημαντικά την αύξηση, την ανάπτυξη και την απόδοση του αραβοσίτου μέσω της συμβολής στη δημιουργία φωτοσυνθετικών μονάδων, στη διατήρηση της υψηλής φωτοσυνθετικής ικανότητας και στη δημιουργία λειτουργικών δεξαμενών (sources) και αποδεκτών (sinks) αζώτου. Το 70% του αζώτου του φυτού βρίσκεται στον καρπό του αραβοσίτου, ενώ η έλλειψή του προκαλεί χλωρωτικά φαινόμενα που οφείλονται στην αναστολή της σύνθεσης της χλωροφύλλης που οδηγεί τελικώς στη μειωμένη ανάπτυξη και απόδοση (Δόρδας 2014). Η έλλειψη του αζώτου, όταν τα φυτά έχουν ύψος 20 cm, προκαλεί μείωση του αριθμού σειρών του σπάδικα και τελικώς μείωση της παραγωγής, η οποία δεν αντιμετωπίζεται ακόμα και αν προστεθεί άζωτο σε μεταγενέστερο στάδιο (Δαλιάνης 1999). Επίσης, η έλλειψη αζώτου σε νεαρό στάδιο έχει ως συνέπεια τη μείωση του ρυθμού ανάπτυξης που εμφανίζεται με συμπτώματα ανοιχτού πράσινου χρώματος στα φύλλα και με έντονη καχεξία στα φυτά, ενώ σε μεταγενέστερα στάδια με χλώρωση των κατώτερων

φύλλων που εμφανίζεται από την κορυφή και επεκτείνεται προς το κέντρο του ελάσματος (Καραμάνος 1999).

Το άζωτο που χρειάζεται η καλλιέργεια του αραβοσίτου για παραγωγή 1000 kg/στρ. ανέρχεται σε 19,4 kg/στρ, ενώ, για αποδόσεις που πλησιάζουν τα 1500 kg/στρ., η συνιστώμενη δόση σε μονάδες αζώτου στη χώρα μας ανέρχεται σε 30 kg/στρ..

Τα φυτά του αραβοσίτου προσλαμβάνουν το άζωτο κυρίως σε νιτρική μορφή NO_3 , ενώ τα νεαρά φυτά έχουν την ικανότητα πρόσληψης αζώτου και σε αμμωνιακή μορφή NH_4 . Το μεγαλύτερο μέρος του αζώτου που προέρχεται από λιπάσματα ή από τα φυτικά υπολείμματα της προηγούμενης καλλιέργειας είναι σε αμμωνιακή μορφή. Η αρχική δόση εφαρμογής πρέπει να λαμβάνει υπόψη το είδος των υπολειμμάτων της προηγούμενης καλλιέργειας διότι υπολείμματα με περιεκτικότητα αζώτου μικρότερη από 1,2% δημιουργούν ανταγωνισμό μεταξύ των οργανισμών αποσύνθεσης των φυτικών υπολειμμάτων και των νεαρών φυτών του αραβοσίτου (Δαλιάνης 1999).

Η συνιστώμενη δόση αζώτου για την κάλυψη των αναγκών του αραβοσίτου εξαρτάται από τις συνθήκες ανάπτυξης της καλλιέργειας (υγρασία και σύσταση εδάφους, είδος υπολειμμάτων προηγούμενης καλλιέργειας, υπολειμματικό άζωτο στο έδαφος κ.α.). Η συνήθης πρακτική εφαρμογής της είναι αυτή των δύο δόσεων δηλαδή το 1/3 του αζώτου να εφαρμόζεται κατά τη σπορά και το υπόλοιπο όταν τα φυτά αποκτήσουν ύψος περίπου 60-80 cm. Βέβαια, η εφαρμογή του αζώτου μπορεί να γίνει σε μία δόση κατά την περίοδο της σποράς ή αργότερα όταν τα φυτά αποκτήσουν ύψος περίπου 60-80 cm ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του εδάφους και του υπολειμματικού αζώτου στο έδαφος.

1.1.2. Επίδραση του φωσφόρου στην ανάπτυξη του αραβοσίτου

Η ποσότητα φωσφόρου που χρειάζεται η καλλιέργεια για την απόδοση 1000 kg καρπού/στρ. είναι μικρότερη σε σύγκριση με τα άλλα μακροστοιχεία, αλλά αποτελεί το δεύτερο σημαντικό στοιχείο για την κανονική ανάπτυξη του αραβοσίτου. Υπενθυμίζεται ότι ο φώσφορος αποτελεί συστατικό του πυρήνα των κυττάρων και είναι απαραίτητος για τις κυτταρικές διαιρέσεις και την ανάπτυξη μεριστωματικών ιστών (Δαλιάνης 1999).

Η συσσώρευση του φωσφόρου, όπως και εκείνη του αζώτου, είναι συνεχής καθ' όλη την διάρκεια ανάπτυξης των φυτών. Ο ρυθμός απορρόφησης ακολουθεί μια συνεχή ανοδική πορεία κατά την βλαστική ανάπτυξη και παρουσιάζει δύο

ευδιάκριτες αιχμές που συμπίπτουν με εκείνες της απορρόφησης του αζώτου, δηλαδή στο στάδιο εμφάνισης της φόβης και του μεταξώματος και στην αρχή γεμίσματος των κόκκων. Μικρότερη αιχμή ζήτησης παρατηρείται επίσης στο μισό του γεμίσματος των κόκκων, ενώ αυξημένες ανάγκες σε φώσφορο παρουσιάζουν οι αυξανόμενοι φυτικοί ιστοί ιδίως όταν η αύξηση βρίσκεται στο στάδιο των μιτωτικών διαιρέσεων (Καραμάνος 1999).

Το μεγαλύτερο μέρος των αναγκών του αραβοσίτου σε φώσφορο λαμβάνεται από τις ρίζες των φυτών υπό τη μορφή χημικών ενώσεων H_2PO_4 και HPO_4 . Μικρές ποσότητες απορροφούνται επίσης και υπό οργανική μορφή, δηλαδή υπό μορφές όπως αυτές παραμένει μετά τον θάνατο των ζώντων οργανισμών που τον περιέχουν (Δαλιάνης 1999). Υπάρχουν επίσης πειραματικά δεδομένα που δείχνουν ότι μπορεί να γίνεται σε περιορισμένη κλίμακα και χρήση οργανικών ενώσεων του φωσφόρου (κυρίως φυτίνης) και δευτερευόντως λεκιθίνης, χωρίς να προηγείται μετατροπή των ουσιών αυτών σε ανόργανες μορφές από ένζυμα στην επιφάνεια της ρίζας.

Τα συμπτώματα έλλειψης φωσφόρου δεν είναι πάντοτε τυπικά στον αραβόσιτο και για αυτό τον λόγο η μακροσκοπική διάγνωση της έλλειψης δεν είναι πάντα εύκολη. Η έλλειψη φωσφόρου σε νεαρά φυτά προδίδεται από μικρή ανάπτυξη και σκούρο πράσινο χρώμα με τάση πολλές φορές για εμφάνιση ρόδινης απόχρωσης στα φύλλα και στον βλαστό (Καραμάνος 1999). Τα συμπτώματα της τροφοπενίας φωσφόρου στα φύλλα παρατηρούνται αποκλειστικά και μόνο στα νεαρά φυτά και μέχρις ότου αυτά αποκτήσουν ύψος 40 cm περίπου, ενώ σε μεταγενέστερο στάδιο δεν παρατηρούνται τέτοιου είδους συμπτώματα. Η τροφοπενία φωσφόρου πολλές φορές προκαλεί καθυστέρηση της εξόδου των στύλων κατά τη εποχή της άνθισης με συνέπεια να δημιουργούνται σπάδικες ελαττωματικοί λόγω ελλιπούς γονιμοποίησης (Δαλιάνης 1999).

Τα περισσότερα εδάφη της χώρας μας έχουν μεγάλη συσσώρευση φωσφόρου και σε πολλές περιπτώσεις δεν είναι απαραίτητη η προσθήκη του. Εάν όμως είναι απαραίτητη η προσθήκη θα πρέπει να προστεθούν 6 kg P_2O_5 /στρ. (Δόρδας 2014). Η εφαρμογή φωσφορικού λιπάσματος σε γραμμικές καλλιέργειες γίνεται γραμμικά κατά την σπορά και μάλιστα σε εδάφη ακόμη και με ικανοποιητικά αποθέματα φωσφορικών. Αυτό γίνεται για την ενίσχυση της πρώτης ανάπτυξης των φυτών, δεδομένου ότι η απορρόφηση φωσφορικών σε μεταγενέστερα στάδια ανάπτυξης πραγματοποιείται από βαθύτερα στρώματα, συνήθως σε βάθος 20-35 cm. Η εφαρμογή στα περισσότερα φυτά μεγάλης καλλιέργειας γίνεται καθολικά σε όλη την

επιφάνεια του εδάφους και ακολουθεί μηχανική ενσωμάτωση πριν τη σπορά. Η εφαρμογή αυτή είναι κατάλληλη για φτωχά εδάφη σε αποθέματα φωσφόρου με σκοπό τον εμπλουτισμό τους όχι μόνο στο επιφανειακό στρώμα αλλά και σε μεγαλύτερο βάθος, ανάλογα με την υγρασία του εδάφους. Γενικά, για την λίπανση του αραβοσίτου, συνιστώνται λιπάσματα με υψηλά ποσοστά υδατοδιαλυτού φωσφόρου που κυμαίνεται από 50 έως 80% (Καραμάνος 1999).

1.1.3. Επίδραση του καλίου στην ανάπτυξη του αραβοσίτου

Οι απαιτήσεις του αραβοσίτου σε κάλιο είναι μεγάλες, ενώ οι απώλειες λόγω έκπλυσης σε βαθύτερα στρώματα δεν υφίστανται όπως συμβαίνει με το άζωτο. Επίσης, το κάλιο δεν μετατρέπεται εντός του εδάφους σε μη ωφέλιμες ή βραδέως ωφέλιμες μορφές όπως γίνεται με τον φώσφορο (Δαλιάνης 1999).

Η πορεία απορρόφησης καλίου διαφέρει από αυτές του αζώτου και φωσφόρου. Συγκεκριμένα, η συσσώρευση του στοιχείου σταματά περίπου τρεις εβδομάδες μετά την αρχή του μεταξώματος, ενώ η περίοδος που ακολουθεί μέχρι την ωρίμανση χαρακτηρίζεται από απώλειες του στοιχείου λόγω απέκκρισής του από φύλλα, στελέχη και βράκτια. Η απέκκριση-απομάκρυνση αυτή μέσω του νερού υποβοηθείται από το γεγονός ότι το κάλιο βρίσκεται στο φυτό κυρίως υπό υδατοδιαλυτές μορφές. Το ποσοστό του απορροφούμενου καλίου που συσσωρεύεται στον καρπό είναι πολύ μικρό σε σύγκριση με αυτό που επιστρέφει στο έδαφος μέσω των φυτικών υπολειμμάτων μετά την συγκομιδή (Καραμάνος 1999).

Η απορρόφηση του καλίου γίνεται με την μορφή ιόντων καλίου (K^+), ενώ ο ρυθμός πρόσληψης και η εν γένει συμπεριφορά του διαφέρει εκείνων του αζώτου και του φωσφόρου. Γενικώς, τα μικρά φυτά δεν έχουν μεγάλες απαιτήσεις σε κάλιο, πλην όμως ο ρυθμός πρόσληψης αυξάνει στο μέγιστο τρεις εβδομάδες πριν την άνθιση της φόβης. Επομένως, εάν πρόκειται να εκδηλωθούν συμπτώματα τροφοπενίας καλίου, αυτά θα παρατηρηθούν όταν τα φυτά έχουν ύψος 30 cm περίπου και μέχρι την έξοδο της φόβης (Δαλιάνης 1999).

Σε πειράματα που έγιναν από το Ινστιτούτο Σιτηρών σε διαφορετικές περιοχές της χώρας δεν έδειξαν αντίδραση του αραβοσίτου στην καλιούχο λίπανση. Εξαιρέση αποτελεί η περίπτωση της καλλιέργειας αραβοσίτου σε οργανικά εδάφη όπου είναι η προσθήκη 20-35 kg K_2O /στρ είναι απαραίτητη. Γενικά, η εφαρμογή του καλίου γίνεται μαζί με τον φώσφορο (Παπακώστα 2012).

Τα συμπτώματα της τροφοπενίας καλίου σε νεαρή ηλικία στη αρχή μεν παρατηρείται μια μείωση του ρυθμού ανάπτυξης των νεαρών φυταρίων και στη συνέχεια εμφανίζονται τα χαρακτηριστικά συμπτώματα της τροφοπενίας και στα φύλλα. Τα κατώτερα φύλλα λαμβάνουν χρώμα πρασινοκίτρινο έως κίτρινο και σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να φέρουν κίτρινες ραβδώσεις, ενώ συχνά παρατηρείται περιφερειακή ξήρανση των ελασμάτων των φύλλων (Δαλιάνης 1999). Οι σπάδικες είναι μικρότερου μεγέθους από τους κανονικούς, οξυκατάληκτοι, με ευρεία μη γονιμοποιημένη περιοχή ή/και με μη αναπτυγμένους κόκκους κοντά στην κορυφή. Οι κόκκοι είναι αμυλώδεις και ευπαθείς σε ασθένειες (Καραμάνος 1999). Η τροφοπενία καλίου, σε ορισμένες περιπτώσεις, προκαλεί πλάγιασμα των φυτών που οφείλεται σε καταστροφή μέρους του ριζικού συστήματος λόγω της δημιουργίας ενώσεων σιδήρου στους κόμβους του στελέχους, οι οποίες δεν επιτρέπουν την κάθοδο σακχάρων από τα φύλλα προς τις ρίζες, με αποτέλεσμα την προσβολή από μύκητες και την σήψη των ριζών και τελικά το πλάγιασμά τους ή την θραύση του στελέχους (Hoffer and Krantz 1949).

1.2. Χρήση οργανικών υλικών για τη λίπανση του αραβοσίτου

Η κάλυψη των αναγκών του αραβοσίτου με τα παραπάνω θρεπτικά στοιχεία εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα ανόργανα λιπάσματα, τα οποία όμως γίνονται ακριβότερα και σπάνια λόγω γεωπολιτικών συγκρούσεων (Amundson et al. 2015). Τα οργανικά λιπάσματα παράγονται όλο και περισσότερο σε παγκόσμιο επίπεδο από αστικά και βιομηχανικά οργανικά απόβλητα (Thangarajan et al. 2013). Αυτά μπορούν να χρησιμεύσουν ως υποκατάστατο ορυκτών λιπασμάτων, αλλά αυτό προϋποθέτει στρατηγικές για τον βέλτιστο τρόπο χρήσης τους (Diacono and Montemurro 2010).

1.2.1. Κομπόστ

Το κομπόστ είναι όρος που αναφέρεται σε φυτικά, ζωικά απόβλητα ή υλικά ύλους επεξεργασίας αστικών λυμάτων που χρησιμοποιούνται ως υπόστρωμα λίπανσης μετά από αερόβια αποσύνθεση υπό ελεγχόμενες συνθήκες (Martínez-Blanco et al. 2013). Η τελική σύνθεση του κομπόστ εξαρτάται από τα αρχικά υλικά και τη διάρκεια της φάσης ωρίμανσης. Το τελικό υλικό μπορεί να είναι πολύ μεταβλητό και, σε ορισμένες περιπτώσεις, μπορεί να έχει επιβλαβείς επιπτώσεις στην ανάπτυξη των καλλιεργειών λόγω τοξικών ουσιών (Zavattaro et al. 2014). Γενικά, η χρήση του σε

γεωργικές εκτάσεις βελτιώνει την ανάπτυξη των φυτών, την απόδοση των καλλιεργειών, τη συγκέντρωση του άνθρακα στο έδαφος και τη μικροβιακή δραστηριότητα (Martínez-Blanco et al. 2013) και (Thangarajan et al. 2013).

Τα πειράματα αξιοποίησης κομπόστ έχουν επικεντρωθεί σε μεγάλο βαθμό στην παροχή αζώτου (Hartl and Erhart 2005), ενώ η συμβολή του φωσφόρου (P) και του καλίου (K), αλλά και της οργανικής ουσίας και του pH του εδάφους δεν μελετήθηκε σε έκταση, αν και οι παράγοντες αυτοί συμβάλλουν στη μεγιστοποίηση της απόδοσης των καλλιεργειών.

1.2.1.1. Κομποστοποίηση

Η κομποστοποίηση είναι μέθοδος επεξεργασίας των βιοστερεών για τη δημιουργία εμπορεύσιμου τελικού προϊόντος που είναι εύκολο στη διαχείριση, στην αποθήκευση και στην χρήση του. Το τελικό προϊόν είναι συνήθως κλάση Α, χουμοειδούς υλικού χωρίς ανιχνεύσιμα επίπεδα παθογόνων και μπορεί να εφαρμοστεί ως χώμα συντήρησης και λίπασμα σε κήπους και λιβάδια.. Αυτό παρέχει μεγάλες ποσότητες οργανικής ύλης και θρεπτικών συστατικών (όπως άζωτο και κάλιο), βελτιώνει την υφή του εδάφους και αυξάνει την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων του εδάφους (ως ένδειξη της ικανότητας του εδάφους να διατηρεί θρεπτικά συστατικά), αλλά περιέχει και όλα τα χαρακτηριστικά ενός καλού οργανικού λιπάσματος.

Οι διεργασίες για την κομποστοποίηση λυμάτων με βιοστερεά διαφέρουν από εκείνες για την κομποστοποίηση άλλων απορριμμάτων. Τα βασικότερα πλεονεκτήματα της κομποστοποίησης βιοστερεών σε σύγκριση με την κομποστοποίηση απορριμμάτων είναι τα εξής:

- Η κομποστοποίηση των βιοστερεών δεν απαιτεί πολύπλοκη διαχείριση για τον διαχωρισμό των υλικών, όπως απαιτείται για τις περισσότερες διεργασίες κομποστοποίησης απορριμμάτων.
- Τα αστικά κομποστοποιημένα απόβλητα από βιοστερεά είναι πιο ομοιόμορφα στη σύνθεση και προκαλούν λιγότερες λειτουργικές δυσκολίες.
- Το τελικό σύνθετο μίγμα που χρησιμοποιεί βιοστερεά είναι πιο κατάλληλο για διάθεση διότι δεν περιέχει πλαστικά, μέταλλα και γυαλί που συνήθως βρίσκονται σε άλλα απορρίμματα για κομποστοποίηση.

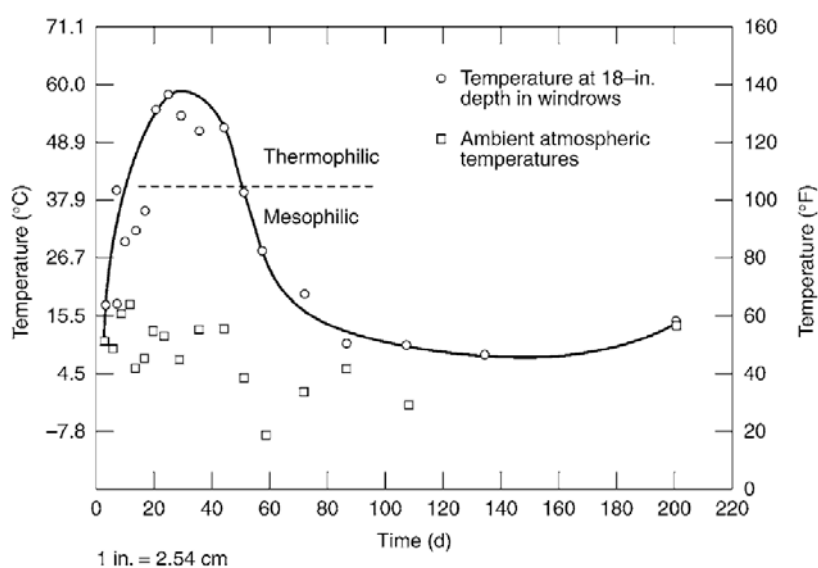
- Η λιπασματοποίηση των βιοστερεών αντιμετωπίζεται συχνά ως εναλλακτική μέθοδος απόρριψης και δεν αποσκοπεί σε δημιουργία κέρδους όπως η κομποστοποίηση απορριμμάτων.

Μέθοδοι κομποστοποίησης βιοστερεών:

Διαδικασία τύπου Windrow

Το μείγμα που πρόκειται να κομποστοποιηθεί στοιβάζεται σε μεγάλου μήκους παράλληλες σειρές ή παραμορφώσεις. Το σχήμα των σωρών μπορεί να είναι τραπεζοειδές ή τριγωνικό, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του κινητού εξοπλισμού που χρησιμοποιείται για την ανάμειξη και αναστροφή των σωρών. Το πλάτος ενός τυπικού σωρού είναι 4,5 m και το ύψος είναι 1-2 m.

Οι θερμοκρασίες στο κεντρικό τμήμα του σωρού φτάνουν στους 65 °C. Αξίζει να αναφερθεί ότι θερμοκρασίες λειτουργίας περίπου 60 °C μπορούν να διατηρηθούν στο κεντρικό τμήμα του σωρού για χρονικό διάστημα 10 ημερών. Οι θερμοκρασίες στις εξωτερικές στρώσεις είναι σημαντικά χαμηλότερες και μπορούν να προσεγγίσουν ατμοσφαιρικές συνθήκες. Κατά τη διάρκεια των υγρών περιόδων και του χειμώνα, οι μέγιστες θερμοκρασίες μπορεί να είναι 55-60°C. Η υψηλή θερμοκρασία που διατηρείται σε όλο το σωρό για αρκετό χρονικό διάστημα είναι σημαντική για τον έλεγχο των παθογόνων. Η σταθεροποίηση του υλικού της σωρού τεκμαίρεται από την μείωση της θερμοκρασίας σε επίπεδα των 45-50 °C (Σχήμα 3) (Wang et al. 2007).



Σχήμα 1. Διάγραμμα θερμοκρασιών σε σωρό ιλύος (Πηγή: Wang et al. 2007).

Αεριζόμενος σωρός (Aerated Static Pile Process)

Αποτελείται από σύστημα σωληνώσεων που διευκολύνουν την κίνηση του αέρα εντός του σωρού και μειώνουν ως εκ τούτου τον χρόνο κομποστοποίησης και την έκταση των εγκαταστάσεων. Τα βιοστερεά αστικών λυμάτων εντός του σωρού, μετατρέπονται, μέσω διαδικασίας τεσσάρων σταδίων, σε λίπασμα εντός 8 εβδομάδων (Wang et al. 2007).

Σύστημα κλειστού σιλό (In-Vessel Composting System)

Η κομποστοποίηση πραγματοποιείται εντός κλειστού χώρου (σιλό) που επιτρέπει στον χειριστή να διατηρεί τον έλεγχο της διαδικασίας σε σύγκριση με άλλες μεθόδους κομποστοποίησης. Τα συστήματα εντός του θαλάμου έχουν σχεδιαστεί για να ελαχιστοποιούν την οσμή και τον χρόνο επεξεργασίας ελέγχοντας την ροή του αέρα, τη θερμοκρασία και τη συγκέντρωση οξυγόνου. Μεταφορείς, έμβολα ή άλλες συσκευές χρησιμοποιούνται για αερισμό και ανάμιξη αφυδατωμένων στερεών αποβλήτων και παραγόντων διογκώσεως εντός του σιλό, καθώς και ταινίες ή κοχλίες για την μετακίνηση του κομποστ στο σημείο αποθήκευσης για επιπλέον σκλήρυνση πριν από τη διανομή (Wang et al. 2007).

1.2.1.2. Παραγωγή σκουληκιών για ζωοτροφή και παραγωγή εμπλουτισμένου κομποστ

Τα σκουλήκια τρεφόμενα με ιλύ που προέρχεται από αποχετεύσεις πολλαπλασιάζονται και αυξάνουν τη βιομάζα τους και το προκύπτον κατάλοιπο εμπλουτισμένου κομποστ που είναι πλούσια σε άζωτο και φωσφόρο (Otterpohl and Buzi 2013; Yadav and Garg 2009). Η βιομάζα σκουληκιών μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πηγή πρωτεΐνης σε ζωοτροφές πουλερικών και ιχθύων, ενώ το εμπλουτισμένου κομποστ χρησιμοποιείται ως βελτιωτικό εδάφους (Lalander et al. 2015; Ndegwa et al. 2000). Οι προνύμφες μύγας μαύρου στρατιώτη (Black soldier fly BSFL, *Hermetia illucens* L.) είναι ένας άλλος τρόπος δημιουργίας πρωτεϊνικής τροφής και βελτίωσης του εδάφους (Diener et al. 2011; Banks 2014; Lalander et al. 2014). Το έντομο αυτό (BSFL) συμβάλλει επιπρόσθετα και στην εξυγίανση της ιλύος μέσω της μείωσης της *Salmonella* spp. Η περιεκτικότητα του BSFL σε πρωτεΐνες και ξηρά ουσία είναι συγκρίσιμη με την ποιότητα πρωτεΐνης στο ιχθυάλευρο που χρησιμοποιείται συνήθως για ζωοτροφές (Oonincx et al. 2015).

1.2.2. Κόπρος

Η ποσότητα των οργανικών αποβλήτων που παράγονται από ζώα εκτροφής σε εντατικές κτηνοτροφικές εκμεταλλεύσεις είναι μεγάλη και γι' αυτό οι κτηνοτρόφοι αδυνατούν να τη διαθέσουν λόγω της περιορισμένης διαθέσιμης γεωργικής γης. Επιπλέον, η αποθήκευση και η χρήση της ακατέργαστης κόπρου συνδέεται με προβλήματα όπως είναι η δυσάρεστη οσμή, η απώλεια θρεπτικών ουσιών λόγω εκπομπών αμμωνίας στην ατμόσφαιρα ή έκπλυσης στα βαθύτερα στρώματα του εδάφους, καθώς και ρύπανσης των υδάτων με επικίνδυνες για τη δημόσια υγεία ενώσεις (Gil et al. 2008). Οι Basso and Ritchie (2005) βρήκαν περισσότερα νιτρικά άλατα που εκπλύθηκαν από τη χρήση μη επεξεργασμένης κόπρου παρά από την εφαρμογή κομπόστ. Η προσθήκη κόπρου αυξάνει την οργανική ουσία και βελτιώνει τις φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους (Adegbidi et al. 2003; Leiro's et al. 1993). Η σύσταση της κόπρου εξαρτάται από το είδος του ζώου, το χρησιμοποιούμενο σιτηρέσιο, το είδος της στρωμνής και τον τρόπο ζύμωσης και διατήρησής της. Στον πίνακα 1 παρουσιάζεται η περιεκτικότητα σε θρεπτικά στοιχεία της κόπρου ζώων διαφορετικής προέλευσης (Θεριός 1996).

Η κομποστοποίηση θεωρείται ως εναλλακτική προσέγγιση διαχείρισης της κόπρου, αφού συμβάλλει στη σταθεροποίηση της οργανικής ύλης, στην νέκρωση ορισμένων σπόρων ζιζανίων και παθογόνων μικροοργανισμών, καθώς και στην ασφάλεια αποθήκευσης και μεταφοράς (Parkinson et al. 2004).

Πίνακας 1. Χημική σύσταση της κόπρου διαφόρων ζώων.

Προέλευση κόπρου	N %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %
Κόπρος πουλερικών	1,56	0,40	0,35
Κόπρος προβάτων	1,40	0,21	1,00
Κόπρος βοοειδών πάχυνσης	0,70	0,20	0,45
Κόπρος αλόγων αναπαραγωγής	0,68	0,10	0,60
Κόπρος αγελάδων	0,55	0,10	0,50
Κόπρος χοίρων	0,50	0,14	0,38
Κόπρος αιγών	2,77	1,78	2,88

Η κόπρος έχει καλύτερα αποτελέσματα σε υγρά εδάφη τα οποία υποβοηθούν την αποσύνθεσή της λόγω της επαρκούς υγρασίας και αυξάνουν τη βιομάζα των

φυτών μέσω της λίπανσης με κόπρο. Η διασκόρπιση και ενσωμάτωση της κόπρου στο έδαφος μπορεί να γίνει το Φθινόπωρο ή την Άνοιξη πριν την σπορά. Σε εδάφη αμμώδη προτιμάται η διασκόρπισή της κατά την Άνοιξη για να αποφευχθούν οι απώλειες της κατά την διάρκεια του Χειμώνα (Δαλιάνης 1999). Λόγω του ξηροθερμικού κλίματος της χώρας μας, η κόπρος απελευθερώνει το άζωτο εντός 2-3 ετών. Έτσι, η λίπανση με κόπρο δεν είναι επαρκής και συνήθως συνοδεύεται από χορήγηση χημικών λιπασμάτων.

Η ζύμωση της κόπρου μπορεί να γίνει κάτω από αερόβιες ή αναερόβιες συνθήκες. Στην εξωτερική επιφάνεια του κοπροσωρού επικρατούν τα αερόβια βακτήρια ενώ στο εσωτερικό του τα αναερόβια. Η άριστη θερμοκρασία για ζύμωση της νωπής κόπρου είναι 55 °C στο εσωτερικό του κοπροσωρού. Στο εξωτερικό τμήμα του κοπροσωρού, οι αζωτούχες οργανικές ενώσεις διασπώνται σε αμίδια, αμινοξέα και τέλος σε NH_4^+ . Επίσης, η ουρία υδρολύεται και παράγει ανθρακικό αμμώνιο που εκπλύνεται με την βροχή. Το NH_4^+ , σε αερόβιες συνθήκες, παράγει NO_3^- και NO_2^- . Η μείωση της απώλειας αζώτου από την κόπρο μπορεί να γίνει μέσω της προσθήκης γύψου και υπερφωσφορικού λιπάσματος (1,5%) ή συμπίεσης του κοπροσωρού.

Το κάλιο στην κόπρο είναι σε ευδιάλυτη μορφή και εύκολα εκπλύνεται με τις βροχές και την διαβροχή του κοπροσωρού. Επίσης, ο φώσφορος στην νωπή κόπρο είναι σε οργανική μορφή και γίνεται ανόργανος κατά την διάρκεια της ανοργανοποίησης (Θεριός 1996). Η κόπρος, από μόνη της, δεν μπορεί να λειτουργήσει αποτελεσματικά όσο τα χημικά λιπάσματα, επειδή ο χρόνος ανοργανοποίησής της είναι γενικά άγνωστος και επομένως, η διαθεσιμότητα των θρεπτικών ουσιών στα φυτά είναι επίσης αβέβαιη (Gil et al. 2008).

Η χρήση κόπρου στην καλλιέργεια αραβοσίτου είναι περιορισμένη λόγω της διαθεσιμότητας και του ειδικού εξοπλισμού που χρειάζεται για την διασπορά της στο έδαφος. Όπου όμως υπάρχει και γίνει χρήση 2 τόνων το στρέμμα αυξάνει την απόδοση σε σχέση με τους μάρτυρες κατά 40% (Salter et al.1938).

1.2.2.1. Κομποστοποίηση κόπρου

Η χρήση της κόπρου προϋποθέτει κάποια στάδια διεργασιών για να είναι ασφαλής τόσο για τις καλλιέργειες όσο και για το περιβάλλον. Η διεργασία αυτή ονομάζεται κομποστοποίηση και περιλαμβάνει την αερόβια βιολογική διεργασία, όπου οι μικροοργανισμοί μετατρέπουν οργανικά υλικά (κόπρο, ιλύ, φύλλα, χαρτί, τρόφιμα, απόβλητα) σε χουμοειδές υλικό που ονομάζεται κομπόστ. Η

κομποστοποίηση είναι η εφαρμογή ελεγχόμενων συνθηκών (βέλτιστη συνταγή από οργανικά υλικά, αερισμός, αναστροφή και ανάμιξη, χρόνος) ώστε να ενισχυθεί η φυσική διαδικασία αποσύνθεσης-αποδόμηση των υλικών.

Η γραμμική αερόβια κομποστοποίηση χρησιμοποιείται γενικώς για την κόπρω από ζώα παραγωγής. Αυτό προϋποθέτει τοποθέτηση υγρού υλικού σε μακριές στενές σειρές για διευκόλυνση της ξήρανσης από τον άνεμο. Η γραμμική αερόβια κομποστοποίηση γίνεται σε υπαίθριο χώρο κοντά στον στάβλο. Η κλειστού τύπου κομποστοποίηση αναφέρεται σε μεθόδους που περιορίζουν την κόπρω μέσα ένα κτίριο, ένα δοχείο και βασίζεται σε αναγκαστικό αερισμό και μηχανική αναστροφή. Η κλειστού τύπου κομποστοποίηση εφαρμόζεται σε μερικές φάρμες χοίρων και σε γαλακτοπαραγωγικές εκμεταλλεύσεις (Francis et al. 2006).

Το άχυρο δημητριακών, το οποίο χρησιμοποιείται ως υλικό στρωμνής για τα βοοειδή, μετατρέπεται τελικώς σε υλικό που περιέχει 80% κόπρω και 20% άχυρο (σε ξερή βάση). Οι εταιρείες δασικών προϊόντων προωθούν τη χρήση των υπολειμμάτων ξύλου (μείγμα φλοιού, φλούδες και πριονίδια) ως εναλλακτική στρωμνή (McAllister et al.1998).

Η χρήση φωσφογύψου (υποπροϊόν της βιομηχανίας παραγωγής λιπάσματος φωσφόρου) χρησιμοποιείται στην κομποστοποίηση της κόπρω και την ως εκ τούτου μείωση των απωλειών σε θρεπτικά στοιχεία. Αυτό επιβεβαιώνεται από τα δεδομένα των Zvomuya et al. (2005), οι οποίοι βρήκαν ότι η προσθήκη φωσφογύψου σε κομποστοποίηση νωπής κόπρω μείωσε τις απώλειες αζώτου N κατά 19,3% σε σύγκριση με κομπόστ χωρίς προσθήκη φωσφογύψου. Η φωσφογύψος εικάζεται ότι προσθέτει και ποσότητες θείου (S) που καθιστούν τη θρέψη περισσότερο ισορροπημένη σε εδάφη με έλλειψη S. Η μείωση του pH του κοπροσωρού, σύμφωνα με τους Al-Kanani et al. (1992, μειώνει τις απώλειες N μέσω της αμμωνίας (NH₃).

Η θερμοκρασία είναι μία από τις κυριότερες παραμέτρους που επηρεάζουν την επιτυχία της κομποστοποίησης (Rynk 1992) και είναι ιδιαίτερα σημαντική στη μείωση παθογόνων οργανισμών και βιώσιμων σπόρων ζιζανίων. Η θερμότητα παράγεται ως υποπροϊόν της μικροβιακής αποδόμησης του οργανικού υλικού κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.

Η διαχείριση του νερού κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης είναι απαραίτητη για τη διατήρηση ισορροπίας μεταξύ οξυγόνου και μικροβιακής δραστηριότητας. Το νερό είναι απαραίτητο στη διαδικασία αποσύνθεσης των οργανικών υλικών και γι' αυτό η υπερβολική απώλεια νερού είναι ένα από τα

συνηθέστερα προβλήματα που συσχετίζονται με κακή κομποστοποίηση (Smith 1978).

1.2.3. Ιλύς

Η ιδέα της αξιοποίησης της επεξεργασμένης ιλύος από αστικά λύματα ως εδαφοβελτιωτικό υλικό είναι αρκετά παλιά (Rudolfs 1928), αλλά το ενδιαφέρον της χρήσης της περιορίζεται στην ωφέλειά της ως λίπασμα βραδείας απελευθέρωσης από την αποδόμηση της οργανικής ουσίας. Αυτό σημαίνει ότι τα θρεπτικά στοιχεία (ιδιαίτερα τα μακροθρεπτικά) απελευθερώνονται με τέτοιους ρυθμούς που παρέχουν τη δυνατότητα στα φυτά να τα προσλαμβάνουν και ως εκ τούτου να μην απομακρύνονται μέσω της έκπλυσης (όπως το N) ή της επιφανειακής απορροής (όπως ο P). Η εφαρμογή της εν λόγω ιλύος για τη βελτίωση της γονιμότητας των εδαφών διερευνάται συστηματικά κυρίως μετά το 2000 (Antoniadis et al., 2015; Lopez-Diaz et al. 2007; Mantovi et al. 2005; Samaras et al. 2008; Singh and Agrawal 2008; Singh et al. 2011) και μάλιστα πρόσφατα εμφανίζονται ερευνητικές εργασίες εκτίμησης της αξίας της επεξεργασμένης ιλύος και ως λίπασμα (Ferreiro-Domingez et al. 2011; Guo et al. 2012).

Ο σκοπός της επεξεργασίας των αστικών λυμάτων είναι ο διαχωρισμός του νερού από την οργανική ύλη, τα στερεά σωματίδια και τα διάφορα θρεπτικά συστατικά (Case et al. 2017). Το νερό είναι κατάλληλο να αποτεθεί στο περιβάλλον ή να επαναχρησιμοποιηθεί για άρδευση. Οι περισσότερες από τις διεργασίες επεξεργασίας των λυμάτων χρησιμοποιούν βιολογικά συστήματα για τη μετατροπή της οργανικής ύλης σε βιομάζα και CO₂, την αμμωνία σε αέριο άζωτο και τα φωσφορικά άλατα σε οργανική βιομάζα και ανόργανα στερεά. Η περίσσεια της βιομάζας που αναπτύσσεται μέσα από τα στάδια της βιολογικής επεξεργασίας, μαζί με τα στερεά μικροσωματίδια τα οποία έχουν διαχωριστεί από τα λύματα από την πρωτοβάθμια καθίζηση είναι η «ιλύς». Επειδή όμως το 25-80% του στερεού περιεχομένου της ιλύος είναι βιομάζα, ο όρος βιοστερεά είναι αυτός που χρησιμοποιείται περισσότερο από τη τελευταία δεκαετία του 20^{ου} αιώνα (Φίλιππας 2009).

Ο βασικός στόχος όλων των διεργασιών διαχείρισης των υγρών αποβλήτων είναι η απομάκρυνση των ανεπιθύμητων συστατικών τους και η συγκέντρωσή αυτών των υλικών για περαιτέρω επεξεργασία και διάθεση (Wang et al. 2008). Τα απομακρυνόμενα στερεά από τις δεξαμενές πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας

καθίζησης αποτελούν ένα υδαρές υποπροϊόν που ονομάζεται ιλύς ή λάσπη υγρών αποβλήτων (waste water sludge ή sewage sludge) (Κελεσιδής 2010). Το Biosolids είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται για διάφορους τύπους επεξεργασμένων ιλύων λυμάτων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βελτιωτικά εδάφους. Η επεξεργασμένη ιλύς λυμάτων χρησιμοποιείται εδώ και καιρό στη γεωργία.

Ο Οργανισμός Προστασίας του Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών (EPA) και άλλοι οργανισμοί έδειξαν ότι τα βιοσώματα μπορούν να περιέχουν μετρήσιμα επίπεδα συνθετικών οργανικών ενώσεων, ραδιονουκλεϊδίων και βαρέων μετάλλων. Η EPA έχει θέσει αριθμητικά όρια για το αρσενικό, το κάδμιο, τον χαλκό, τον μόλυβδο, τον υδράργυρο, το μολυβδαίνιο, το νικέλιο, το σελήνιο και τον ψευδάργυρο, αλλά δεν έχει ρυθμίσει τα επίπεδα διοξίνης (Wikipedia 2017).

Η παραγωγή υπολειμματικών βιοστερεών, η οποία απαιτεί ξεχωριστή διαχείριση από το κύριο υγρό ρεύμα, είναι αναπόφευκτη συνέπεια όλων των σύγχρονων μεθόδων επεξεργασίας των λυμάτων. Επομένως, η παραγωγή βιοστερεών θα συνεχίσει να αποτελεί ένα σημαντικό χαρακτηριστικό της τεχνολογίας ελέγχου ρύπανσης του νερού και όσο περισσότερα λύματα υποβάλλονται σε επεξεργασία τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η ποσότητα των βιοστερεών που θα παράγονται (Bruce and Evans 2002).

Η κατάλληλη επεξεργασία της ιλύος οδηγεί στην παραγωγή των λεγόμενων βιοστερεών ή οργανικών στερεών (biosolids), για τα οποία παλαιότερα χρησιμοποιούνταν ο όρος σταθεροποιημένη ιλύς υγρών αποβλήτων (stabilized sewage sludge). Τα βιοστερεά, λοιπόν, αποτελούν τα οργανικά κατάλοιπα της επεξεργασίας των αστικών υγρών αποβλήτων που είναι κατάλληλα για ανακύκλωση μέσω διάφορων ωφέλιμων χρήσεων (Turovskiy and Mathai 2006; Wang et al. 2008). Μετά από την επεξεργασία των λυμάτων, επιπλέον επεξεργασία γίνεται στην παραγόμενη ιλύ με στόχο να μειωθεί η περιεχόμενη υγρασία, να σταθεροποιηθεί η οργανική ύλη, να μειωθεί ο όγκος και η συνολική της μάζα και να μειωθεί η συγκέντρωση των παθογόνων μικροοργανισμών (υγειονομοποίηση). Διάφορα στάδια επεξεργασίας μπορούν να εφαρμοστούν για να επιτύχουν αυτά τα αποτελέσματα. Ένα από αυτά πετυχαίνει τη μετατροπή της ιλύος σε ένα καινούργιο τύπο η οποία συνήθως αναφέρεται ως «χωνεμένη ιλύς» (Φίλιππας 2009).

1.2.3.1. Τύποι ιλύος

Η ιλύς κατατάσσεται στους παρακάτω τύπους με βάση διαφορετικά ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά:

Πρωτοβάθμια ιλύς (primary sludge) ονομάζεται η ιλύς που παράγεται από την πρωτοβάθμια καθίζηση των λυμάτων και αποτελείται κυρίως από τα καθιζήσιμα αιωρούμενα στερεά τα οποία περιέχονται στα ανεπεξέργαστα λύματα. Η πρωτοβάθμια ιλύς είναι συνήθως φαιόχρωμη και γλοιώδης, έχει χαρακτηριστική δυσάρεστη οσμή και αποσυντίθεται πολύ εύκολα (Κελεσιδής 2010). Η συγκέντρωση των ολικών στερεών στην ανεπεξέργαστη πρωτοβάθμια ιλύ κυμαίνεται μεταξύ 2 και 7% (Turovskiy and Mathai 2006).

Δευτεροβάθμια ιλύς (secondary sludge) ή **βιολογική ιλύς** παράγεται κατά τις διεργασίες της βιολογικής επεξεργασίας. Οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων που περιλαμβάνουν πρωτοβάθμια επεξεργασία, κατά τη δευτεροβάθμια επεξεργασία, παράγουν αρκετά «καθαρή» βιολογική ιλύ ως αποτέλεσμα της κατανάλωσης από τα βακτηρίδια των διαλυτών και μη διαλυτών οργανικών ενώσεων που περιέχονται στα απόβλητα. Η βιολογική ιλύς περιλαμβάνει επιπλέον και στερεά τα οποία δεν απομακρύνθηκαν κατά την πρωτοβάθμια επεξεργασία (Κελεσιδής 2010). Γενικά, η δευτεροβάθμια ιλύς είναι πιο δύσκολο να αφυδατωθεί και να παχυνθεί σε σχέση με την πρωτοβάθμια, εξαιτίας των ελαφρών βιοκροκίδων που ενυπάρχουν σε αυτή (Turovskiy and Mathai, 2006). Η αφυδατωμένη ιλύς είναι το αρχικό στερεό προϊόν που παράγεται στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών λυμάτων. Είναι μη σταθεροποιημένο οργανικό υλικό, με υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία και ποικίλη περιεκτικότητα σε μακροθρεπτικά και μικροθρεπτικά στοιχεία απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών. Εκτός όμως από τα απαραίτητα για τα φυτά θρεπτικά στοιχεία, η αφυδατωμένη ιλύς περιέχει και ιχνοστοιχεία που θεωρούνται τοξικά. Επίσης, το άζωτο (N), υπό την μορφή των νιτρικών (NO_3^-), μπορεί να εκπλυθεί και κατ' επέκταση να ρυπάνει τα νερά (Fytilli and Zabaniotou 2008).

Χημική ιλύς (chemical sludge). Η προσθήκη ασβέστη ή μεταλλικών αλάτων για την κατακρήμνιση του φωσφόρου κατά την επεξεργασία λυμάτων αυξάνει τη συνολική παραγωγή της ιλύος. Η παραγωγή ιλύος είναι αποτέλεσμα πολύπλοκων χημικών αντιδράσεων και επηρεάζεται από τη χημική σύσταση των λυμάτων και ιδίως από την αλκαλικότητα, το pH, τον τρόπο μίξης, το χρόνο επαφής και φυσικά από το είδος και τη δόση του χημικού. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η προσθήκη ασβέστη στα λύματα

μπορεί να επιφέρει αύξηση των στερεών της ιλύος μέχρι και 200%, ενώ η προσθήκη μεταλλικών αλάτων γενικά προκαλεί αυξήσεις της τάξης 25 έως 50% (Κελεσίδης 2010).

Μικτή ιλύς (mixed sludge). Η ανάμιξη της πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος δημιουργεί νέο είδος ιλύος που είναι γνωστή ως «Μικτή ιλύς» (Κελεσίδης 2010).

Χωνεμένη ιλύς - βιοστερεά (digested sludge – biosolids). Παράγεται κατά τις πρόσθετες επεξεργασίες που εφαρμόζουμε στην ιλύ προκειμένου να μειωθεί η περιεκτικότητα σε νερό, να σταθεροποιηθεί η οργανική ύλη, να μειωθεί η δυσοσμία, ο αριθμός των παθογόνων μικροοργανισμών και η μάζα των στερεών (Κελεσίδης 2010).

Η πιο κοινή μέθοδος για την αποτελεσματική σταθεροποίηση της ιλύος είναι η προσθήκη ενυδατωμένης ασβέστου $[Ca(OH)_2]$ σε επαρκή ποσότητα για την αύξηση του pH της ιλύος πάνω από 12 για μια ελάχιστη περίοδο δύο ωρών (σταθεροποίηση ασβέστου). Η σταθεροποίηση όμως της αφυδατωμένης ιλύος μέσω αλκαλικής ή θερμικής επεξεργασίας, αν και κρίνεται απαραίτητη για τη διάθεσή της στο περιβάλλον, προκαλεί καταστροφή μέρους της οργανικής ουσίας της αφυδατωμένης ιλύος καθώς και απώλεια μέρους του N της ιλύος με τη μορφή αέριας αμμωνίας (NH_3) (Fytli and Zabaniotou 2008). Για την αλκαλική σταθεροποίηση της ιλύος καθαρισμού λυμάτων μπορούν να χρησιμοποιηθούν η σκόνη τσιμέντου, η σκόνη ασβέστου, ο ενυδατωμένος ασβέστης, ή άσβεστος (CaO), ο ασβεστόλιθος, η αλκαλική ιπτάμενη τέφρα, άλλες τέφρες από καύση άνθρακα, η τέφρα ξύλου και η σκωρία χάλυβα (Logan and Harrison 1995; Papastergiadis et al. 2015; Su and Wong 2002; Wysokinski and Kalembasa 2009; Zhang et al. 2016).

Τα αναερόβια χωνεμένα βιοστερεά είναι σκούρα καφέ προς μαύρα και περιέχουν μεγάλες ποσότητες αερίου με δυσάρεστη οσμή που μοιάζει με αυτή της ζεστής πίσσας. Η ξήρανση είναι εύκολη σε πορώδεις κλίνες κατά λεπτά στρώματα και παράγει τελικώς υλικό που έχει οσμή παρόμοια με αυτή του πηλώδους εδάφους (Metcalf and Eddy 2007).

Η σηπτική ιλύς (septic sludge). Είναι αρκετά διαδεδομένη στον ελληνικό χώρο αφού εξυπηρετεί τις ανάγκες μιας πόλης ή ενός οικισμού. Η σηπτική ιλύς, παρά το γεγονός ότι μειώνεται σταδιακά με την κατασκευή αποχετευτικών δικτύων σε όλο και περισσότερους οικισμούς, θα εξακολουθήσει να υπάρχει για αρκετά χρόνια. Είναι

λοιπόν συχνά απαραίτητο οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων να περιλαμβάνουν και έργα για την υποδοχή και την επεξεργασία των βοθρολυμάτων (Κελεσιδής 2010).

1.2.3.2. Διάθεση ιλύος

Μετά το τέλος της διαδικασίας παραγωγής ιλύος αρχίζει το πρόβλημα της διάθεσής της επ' ωφελεία της μονάδας παραγωγής και της κοινωνίας γενικότερα. Οι τρόποι διάθεσης της ιλύς είναι οι παρακάτω:

1.2.3.2.1. Υγειονομική ταφή

Η υγειονομική ταφή αποτελεί την πιο διαδεδομένη μέθοδο διάθεση της ιλύος που παράγεται από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων στον ελλαδικό χώρο. Στο άμεσο μέλλον όμως θα υπάρξει περιορισμός αυτής της μεθόδου, διότι προβλέπεται από την εφαρμογή της Ευρωπαϊκής οδηγίας σχετικά με την υγειονομική ταφή αποβλήτων (Οδηγία 1999/31/ΕΕ), η οποία έχει ενσωματωθεί στο εθνικό δίκαιο. Έτσι, στο άμεσο μέλλον, η λύση της υγειονομικής ταφής μπορεί να επιλεγεί μόνο όταν δεν υπάρχει άλλος εναλλακτικός τρόπος διάθεσης, με τη προϋπόθεση του σωστού σχεδιασμού του Χ.Υ.Τ.Α. (στεγανότητα, ανακυκλοφορία στραγγιδίων, έντεχνος χειρισμό βιοαερίου κ.λπ.). Η διάθεση ιλύος σε Χ.Υ.Τ.Α. δεν βλέπει τη λειτουργία των Χ.Υ.Τ.Α., ενώ είναι πολύ πιθανόν να την ωφελεί, αφού επιταχύνει τις βιολογικές διεργασίες σταθεροποίησής της.

Στην ελληνική νομοθεσία δεν τίθενται περιορισμοί ως προς τα μηχανικά χαρακτηριστικά των αποβλήτων που διατίθενται σε Χ.Υ.Τ.Α.. Ανεξάρτητα λοιπόν από το ισχύον νομικό πλαίσιο, η διάθεση ιλύος σε χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων είναι εφικτή υπό την προϋπόθεση ότι θα έχει επαρκή φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά για την ασφαλή διάθεσή της. Σύμφωνα με τους Αγγελάκης κ.α. (2005), τα εσχαρίσματα και η άμμος δεν είναι δυνατό να διατεθούν στο έδαφος για γεωργική χρήση, άλλα ούτε και να χρησιμοποιηθούν από τη βιομηχανία. Έτσι, η μόνη δυνατότητα που παρέχεται με ασφάλεια είναι η διάθεση σε Χ.Υ.Τ.Α.. Τα εσχαρίσματα θα πρέπει να έχουν συμπιεστεί επαρκώς (ελάχιστη συγκέντρωση στερεών στο τελικό προϊόν 35%) σε κατάλληλο συμπιεστή εσχαρισμάτων. Η άμμος θα πρέπει να οδηγείται σε αμμοπλυντηρίδα για την πλύση και στράγγιση της άμμου, πριν την αποθήκευσή της σε κάδους, ώστε η συγκέντρωση στερεών να είναι

μμεγαλύτερη από 80% και η περιεκτικότητα σε οργανικά μικρότερη του 5% κατά βάρος.

1.2.3.2.2. Υγρότοποι επεξεργασίας ιλύος

Υγρότοποι επεξεργασίας ιλύος, γνωστοί και ως ιζήματα ξήρανσης ιλύος ή κρεβάτια, είναι νέα συστήματα επεξεργασίας ιλύος που αποσκοπούν στη θεραπεία υγροτόπων. Το σύστημα αυτό βασίζεται στη δημιουργία ρηχών λιμνών, κλινών ή τάφρων γεμάτων με στρώμα χαλικιών όπου εγκαθίστανται υδροχαρή φυτά υγροβιότοπων (Uggetti et al. 2010). Οι υγρότοποι επεξεργασίας ιλύος έχουν χρησιμοποιηθεί στην Ευρώπη για την αφυδάτωση και τη σταθεροποίηση της ιλύος από τα τέλη της δεκαετίας του 1980. Η μεγαλύτερη εμπειρία προέρχεται από τη Δανία, όπου υπάρχουν πάνω από 140 τέτοια συστήματα (Nielsen 2008), ενώ στην περιοχή της Μεσογείου λειτουργούν συστήματα πλήρους κλίμακας στην Ιταλία (Giraldi et al. 2008), στη Γαλλία (Liénard et al. 1995; Troesch et al. 2008) και στην Ισπανία (Uggetti et al. 2009).

Η επεξεργασμένη ιλύς από τα συστήματα αυτά μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη γεωργία ή/και στη βιομηχανία ως καύσιμη ύλη (Fytily και Zabaniotou 2008). Οι υψηλές θερμοκρασίες έχουν χρησιμοποιηθεί από το 1900 για την καύση των αστικών στερεών αποβλήτων, ενώ η αποδοχή της καύσης τους βελτιώθηκε σημαντικά λόγω της εμπλοκής της βιομηχανίας. Στο παρελθόν, η καύση των στερεών αποβλήτων ήταν εύκολη και χαμηλού κόστους. Τα στερεά αφυδατώνονταν εύκολα και το καύσιμο που απαιτούνταν για την καύση ήταν φθινό και άφθονο. Επιπλέον, οι εκπομπές αερίων από πρότυπα παρακολούθησης ήταν σχεδόν ανύπαρκτη. Στο σημερινό περιβάλλον, τα στερεά απόβλητων υδάτων είναι πιο περίπλοκα και περιλαμβάνουν προϊόντα από δευτερογενείς και προηγμένες διαδικασίες επεξεργασίας αποβλήτων. Τα προϊόντα αυτά είναι πιο δύσκολα να αποξηρανθούν και, επιπρόσθετα, έχουν αυξημένες απαιτήσεις καυσίμου. Όσο για τις ανησυχίες σχετικά με την ποιότητα των αερίων που εκλύονται και το αυξημένο κόστος ενέργειας αποτελούν σημαντικούς ανασταλτικούς παράγοντες για την καύση αστικών στερεών αποβλήτων. Ωστόσο, οι πρόσφατες εξελίξεις σε πιο αποτελεσματικές διεργασίες αφυδάτωσης των στερεών και η πρόοδος στην τεχνολογία καύσης έχει ανανεώσει το ενδιαφέρον για τη χρήση της υψηλής θερμοκρασίας στις συγκεκριμένες εφαρμογές. Η καύση της ιλύος έχει το πλεονέκτημα ότι μειώνει τον όγκο και το βάρος κατά περίπου 95% (μείωση των απαιτήσεων διάθεσης), αλλά και καταστρέφει ή μειώνει τις τοξικές ουσίες με

αποτέλεσμα τη μείωση των δυσμενών επιπτώσεων στο περιβάλλον. Τα μειονεκτήματα της διαδικασίας αυτής είναι το υψηλό κόστος αγοράς, λειτουργίας και συντήρησης των εγκαταστάσεων, καθώς και των δαπανών για καύσιμα και εξειδικευμένο προσωπικό λειτουργίας. Επιπλέον, οι εκπομπές σωματιδίων και άλλων τοξικών ή επιβλαβών ουσιών ρυπαίνουν την ατμόσφαιρα, τα επιφανειακά ύδατα (νερό καθαρισμού των κλίβανων) και τα εδάφη (υπολείμματα από τους κλίβανους) (Wang et al. 2007).

Η αποτέφρωση, ως ένας τρόπος διάθεσης της ιλύος των αποβλήτων, παράγει τέφρα, η οποία μαζί με την αποξηραμένη λάσπη είναι χρήσιμα πρωταρχικά συστατικά στην κατασκευή δομικών υλικών (Tyagi and Lo 2013). Αυτά τα δομικά υλικά χρησιμοποιούνται σε χώρες χαμηλού και μεσαίου εισοδήματος (Kalongo and Monteith 2008). Σε χώρες της Αφρικής, οι μπριγκέτες από ιλύ και τέφρα χρησιμοποιούνται ως καύσιμη ύλη πολύ συχνά, διότι οι μπριγκέτες αυτές αποδίδουν θερμαντική ενέργεια 17,3 MJ/kg ξηράς στερεάς ιλύος, το οποίο είναι συγκρίσιμο με αυτό των άλλων καυσίμων βιομάζας.

1.2.3.2.3 Ανακύκλωση ιλύος με εφαρμογή στο έδαφος

Η αγροκομική χρήση της επεξεργασμένης ιλύος αποτελεί μια από τις πλέον ενδεδειγμένες μεθόδους διαχείρισής της διότι συμβάλλει: α) στη βελτίωση της γονιμότητας των εδαφών ιδιαίτερα με παροχή μακροθρεπτικών στοιχείων [κυρίως N, φωσφόρου (P) και ασβεστίου (Ca)] απαραίτητων για την ανάπτυξη των φυτών και β) στον εμπλουτισμό των εδαφών με οργανική ουσία και κατ' επέκταση στη βελτίωση της δομής τους (Diacono and Montemurro, 2010). Ειδικότερα, η ανακύκλωση βιοστερεών μέσω της εφαρμογής στο έδαφος βελτιώνονται τις ιδιότητές του, όπως είναι η υφή, η δομή και η ικανότητα συγκράτησης νερού, οι οποίες καθιστούν τις συνθήκες περισσότερο ευνοϊκές για την ανάπτυξη των ριζών των φυτών και αυξάνουν την αντοχή τους στην ξηρασία.

Η εφαρμογή βιοστερεών, εκτός από τα μακροθρεπτικά στοιχεία αζώτου και φωσφόρου, παρέχει και μερικά μικροθρεπτικά συστατικά όπως το νικέλιο, ο ψευδάργυρος και ο χαλκός. Τα βιοστερεά μπορούν να χρησιμεύσουν ως εναλλακτική λύση ή ως υποκατάστατο των χημικών λιπασμάτων αλλά με το μειονέκτημα της σταδιακής απελευθέρωσης των θρεπτικών στοιχείων. Βέβαια, οι οργανικές αυτές μορφές θρεπτικών ουσιών είναι λιγότερο υδατοδιαλυτές και, ως εκ τούτου, είναι λιγότερο πιθανό να εκπλυθούν προς τα υπόγεια και τα επιφανειακά νερά. Είναι

προφανές, εκ των προαναφερθέντων, ότι η προσθήκη επεξεργασμένης ιλύος είναι αναγκαία σε εδάφη με χαμηλή περιεκτικότητα σε οργανική ουσία, όπως είναι αυτά των μεσογειακών περιοχών και ειδικότερα της χώρας μας, όπου οι υψηλές θερμοκρασίες κατά την περίοδο του καλοκαιριού ευνοούν την ανοργανοποίηση της οργανικής ουσίας (Garcia-Gil et al., 2000). Βέβαια, σε κάθε περίπτωση προσθήκης επεξεργασμένης ιλύος στο περιβάλλον, πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα ώστε να αποφεύγεται η ρύπανση του περιβάλλοντος με ανόργανες και οργανικές ενώσεις (Morera et al. 2001; Singh and Agrawal 2008; Tsadilas et al. 1995).

Υπάρχουν αρκετές μέθοδοι για εφαρμογές των βιοστερεών στο έδαφος. Η επιλογή της μεθόδου εξαρτάται από τον τύπο του εδάφους και τη συνοχή των βιοστερεών. Η συνηθισμένη μέθοδος είναι η διάθεση υγρού αιωρήματος από βιοστερεά που ουσιαστικά αποτελείται από 94-97% νερό με σχετικά χαμηλές ποσότητες στερεών (3-6%). Συχνά όμως μειώνεται ο όγκος τους πριν από τη μεταφορά ή την αποθήκευση με αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους μεταφοράς και εφαρμογής. Η ποσότητα νερού μπορεί να μειωθεί μέσω μηχανικών διεργασιών όπως η αποστράγγιση, η συμπίεση ή η φυγοκέντρωση και να συμβάλει στην παραγωγή υλικού με 30% ξηρά στερεά. Το αφυδατωμένο υλικό δεν απαιτεί εξειδικευμένο εξοπλισμό και μπορούν να διασκορπιστεί με συμβατικούς διανομείς κόπρου που έλκονται από ελκυστήρες (Εικόνα 1).



Εικόνα 1. Εφαρμογή ιλύος με κοπροδιανομέα. (Πηγή: Γ. Χαμουρτζάκης).

Η ιλύς, πριν από την εφαρμογή στο έδαφος, υφίσταται επεξεργασία σταθεροποίησης που συμβάλλει στην ελαχιστοποίηση της δημιουργίας οσμών και καταστροφής των παθογόνων παραγόντων (οργανισμούς που προκαλούν ασθένειες). Υπάρχουν αρκετές μέθοδοι για τη σταθεροποίηση των στερεών αποβλήτων, όπως η ρύθμιση της σταθεροποίησης του pH με ασβέστη ή αλκάλια, η αναερόβια χώνευση, η αερόβια χώνευση, η κομποστοποίηση και η ξήρανση με θερμότητα.

Η χρήση της ιλύος από την επεξεργασία λυμάτων σε δασικές εκτάσεις μοιάζει να είναι εναλλακτική μέθοδος επαναχρησιμοποίησης στη γεωργία με λιγότερα περιβαλλοντικά προβλήματα και δημόσιας υγείας (Αγγελάκης κ.α. 2005). Ειδικότερα, από πλευράς κινδύνου των βαρέων μετάλλων της ιλύος στη δημόσια υγεία, αυτός είναι μικρότερος στην περίπτωση διάθεσης στα δάση από την περίπτωση διάθεσης στις γεωργικές καλλιέργειες, αφού τα δασικά προϊόντα αφορούν μικρό ποσοστό την ανθρώπινη διατροφή. Παρ' όλα αυτά, υπάρχουν κάποιοι κίνδυνοι εξ αιτίας της μεταφοράς των βαρέων μετάλλων στα εδάσματα είδη των μανιταριών και γενικότερα στην άγρια χλωρίδα και πανίδα (Κελεσιδής 2010).

Μια ακόμη εναλλακτική λύση σχετικά με την αξιοποίηση της ιλύος είναι αυτή της ανάπλασης εκτάσεων. Η εφαρμογή της ιλύος σε εκτάσεις αποσκοπεί στην προστασία αυτών από την διάβρωση και στον εμπλουτισμό τους με θρεπτικά στοιχεία και οργανική ύλη. Η ποσότητα της ιλύος που συνήθως εφαρμόζεται στις περιπτώσεις αυτές είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτήν στην περίπτωση της γεωργικής χρήσης. Για παράδειγμα, στη Γαλλία για να επιτευχθεί εδαφική στρώση πάχους 5 cm, χρησιμοποιήθηκαν περίπου 100-150 tn/ha. Ενδιαφέρουσα εναλλακτική λύση μπορεί να είναι σε μερικές περιπτώσεις η χρήση της ιλύος για αποκατάσταση λατομείων. Η ιλύς μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποκατάσταση λατομείων ως υλικό πλήρωσης, σε διαδοχικές στρώσεις, εναλλασσόμενες με προϊόντα εκσκαφής ή μπάζα, καθώς και ως υλικό διαμόρφωσης εδαφικής στρώσης (topsoil) για την αποκατάσταση της βλάστησης στις αποκαθιστάμενες περιοχές.

Οι κίνδυνοι από τη διάθεση της ιλύος για την ανάκτηση εδαφών είναι μικρότεροι από αυτούς που αναμένονται στη περίπτωση της χρήσης της ιλύος στη γεωργία, αφού η εφαρμογή στο έδαφος δεν είναι συνδεδεμένη άμεσα με τη τροφική αλυσίδα. Επειδή όμως η ποσότητα της ιλύος που εφαρμόζεται είναι μεγαλύτερη από αυτή για γεωργική χρήση, μπορεί να προκύψουν επιπρόσθετοι κίνδυνοι λόγω της απελευθέρωσης μεγαλύτερης ποσότητας διαφόρων ρυπαντών. Σε κάθε περίπτωση, η

ιλύς που χρησιμοποιείται για την ανάπλαση εδαφών πρέπει να είναι επαρκώς επεξεργασμένη, ώστε να διασφαλίζεται η επαρκής απολύμανση και ο περιορισμός των οσμών (Φίλιππας 2009).

1.3. Σκοπός της εργασίας

Λαμβάνοντας υπόψη τα προαναφερθέντα σχετικά με τη χρησιμότητα της ιλύος και της κόπρου στη γεωργία αποφασίστηκε, στο πλαίσιο της υποχρέωσης του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών, να γίνει η εργασία αυτή με σκοπό τη διερεύνηση της επίδρασης της ιλύος ή της κόπρου και της ανόργανης λίπανσης στη βελτίωση του εδάφους και στην απόδοση του αραβοσίτου

2. Υλικά και Μέθοδοι

2.1. Ανάλυση εδάφους, ιλύος και κόπρου πριν την εγκατάσταση του πειράματος.

Η ανάλυση του εδάφους έγινε σε σύνθετο δείγμα που ελήφθη από βάθος 0-25 cm από το αγροτεμάχιο, το οποίο, μετά από αεροζήρανση και λειοτρίβηση, πέρασε από κόσκινο ανοίγματος 2 mm και ακολούθως πραγματοποιήθηκε εδαφολογική ανάλυση, όπου προσδιορίστηκαν 1) το pH (σε αιώρημα 1:2 με H₂O), 2) το ανθρακικό ασβέστιο (CaCO₃), με τη μέθοδο του ασβεστομέτρου, 3) η περιεκτικότητα σε οργανικό άνθρακα (C) με την μέθοδο της υγρής οξείδωσης (Walkley-Black), 4) η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) στο εκχύλισμα κορεσμού, 5) τα διαθέσιμα ποσά νιτρικού N (NO₃-N) (με εκχύλιση με KCl), φώσφορου (P) (με τη μέθοδο Olsen), καλίου (K), (με εκχύλιση με CH₃COONH₄). Η ανάλυση των δειγμάτων έγινε στο εδαφολογικό εργαστήριο της AGROLAB, ενώ τα αποτελέσματα των αναλύσεων παρουσιάζονται στους Πίνακες 6, 7 και 8. Επίσης, δείγματα ιλύος και κόπρου εστάλησαν για ανάλυση.

2.2. Εγκατάσταση πειράματος

Το πείραμα εγκαταστάθηκε σε αγρό του αγροκτήματος του ΔΙ.ΠΑ. Ελλάδος στη Σίνδο Θεσσαλονίκης (συντεταγμένες γεωγραφικού πλάτους N 40°39' και γεωγραφικού μήκους E 22°48' και 2 m από την επιφάνεια της θάλασσας). Η εγκατάσταση του πειράματος έγινε κατά την καλλιεργητική περίοδο 2017, όπου αξιολογήθηκε η επίδραση διάφορων επιπέδων ασβεστοποιημένης-προσωρινά αποθηκευμένης στην ΕΕΛΘ ιλύος και κόπρου βοοειδών προερχόμενη από την περιοχή Χαλάστρας του νομού Θεσσαλονίκης, σε συνδυασμό με ή χωρίς επιπρόσθετη ανόργανη λίπανση, στην βελτίωση του εδάφους και στη απόδοση της καλλιέργειας του αραβοσίτου. Ειδικότερα, αξιολογήθηκε η επίδραση τεσσάρων επιπέδων (0, 2, 4, 8 tn/στρ) ασβεστοποιημένης ιλύος ή τεσσάρων επιπέδων κόπρου βοοειδών, σε συνδυασμό με και χωρίς συνιστώμενη συμπληρωματική ανόργανη λίπανση για την καλλιέργεια του αραβοσίτου.

Η ανόργανη λίπανση για την καλλιέργεια του αραβοσίτου εκτιμήθηκε στα 30 kg N/στρ (τα 8 kg N/στρ ως βασική και τα 22 kg N/στρ ως επιφανειακή λίπανση), 10,9 kg P₂O₅/στρ (βασική λίπανση) και 10,9 kg K₂O/στρ (βασική λίπανση). Οι ακριβείς δόσεις της συμπληρωματικής ανόργανης λίπανσης υπολογίστηκαν, πριν την εγκατάσταση του πειράματος, με βάση την ανάλυση της ασβεστοποιημένης ιλύος και

της κόπρου, αντίστοιχα, ως προς τα στοιχεία N, P και K. Ειδικά για το N, ελήφθη υπόψη και η συνεισφορά της οργανικής ουσίας μέσω της αποδόμησής της. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, μόνο το 20-40 % της οργανικής ουσίας της ιλύος ή της κόπρου αποδομείται κατά τη διάρκεια του πρώτου έτους. Αυτό σημαίνει ότι η υπόλοιπη αναγκαία ποσότητα N [διαφορά συνιστώμενης ποσότητας N - το 30 % (κατά μέσο όρο) του N της ιλύος] για την καλλιέργεια αραβοσίτου πρέπει να δοθεί με τη μορφή ανόργανου λιπάσματος.

Ο αγρός που εγκαταστάθηκε το πείραμα, την προηγούμενη καλλιεργητική περίοδο ήταν σε αγρανάπαυση. Η προετοιμασία του αγρού για την εγκατάσταση του πειράματος έγινε τέλη Μαρτίου αρχές Απριλίου. Ειδικότερα, ο πειραματικός αγρός οργώθηκε στις 27 Μαρτίου σε βάθος 30 cm, ενώ φρεζαρίστηκε μια εβδομάδα αργότερα στις 4 Απριλίου. Στις αρχές Απριλίου, έγινε η χάραξη του πειράματος.

Η πειραματική προσέγγιση των 4 x 2 κύριων τεμαχίων και υποτεμαχίων (Split-Plot Design) χρησιμοποιήθηκε για το πείραμα, όπου τα κύρια τεμάχια είναι τα τέσσερα επίπεδα (0, 2, 4, 8 tn/στρ) ασβεστοποιημένης ιλύος ή κόπρου και υποτεμάχια τα δύο επίπεδα λίπανσης (0 και συμπληρωματική ανόργανη λίπανση με N, P₂O₅ και K₂O στο επίπεδο της συνιστώμενης βασικής λίπανσης του αραβοσίτου, όπως αυτή περιγράφεται στην ενότητα παραπάνω). Το πειραματικό σχέδιο είναι οι πλήρεις τυχαιοποιημένες ομάδες (Randomized Complete Block Design), ενώ η κάθε συνδυασμένη επέμβαση (ιλύς x ανόργανη λίπανση) και (κόπρος x ανόργανη λίπανση) είχε τέσσερις επαναλήψεις (πειραματικά τεμάχια των 3 m x 9 m = 27 m²) πλήρως τυχαιοποιημένες εντός της κάθε ομάδας (block).

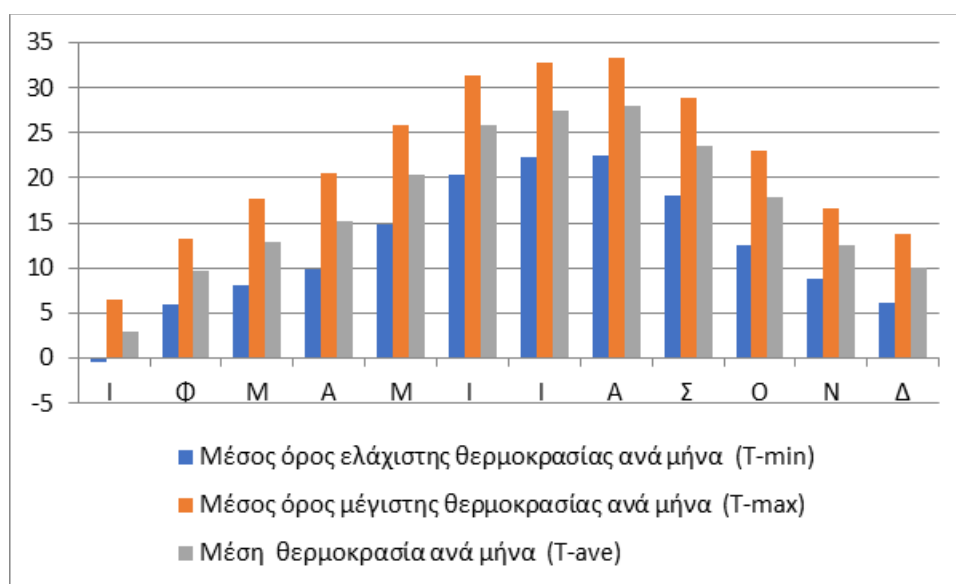
Ο συνολικός αριθμός των πειραματικών τεμαχίων του πειράματος ήταν 64 = (4 επίπεδα ιλύος x 2 επίπεδα λίπανσης x 4 επαναλήψεις) + (4 επίπεδα κόπρου x 2 επίπεδα λίπανσης x 4 επαναλήψεις). Η συνολική έκταση του πειράματος ήταν 64 x 27 m² = 1728 m² + διάδρομοι 832 m² συνολικά 2560 m² = 2,56 στρ.

Στα μέσα Απριλίου έγινε η παραλαβή της ιλύος από τις εγκαταστάσεις του βιολογικού καθαρισμού της Εταιρίας Ύδρευσης και Αποχέτευσης Θεσσαλονίκης και της κόπρου από βοοειδή από την περιοχή Χαλάστρας Θεσσαλονίκης. Την ίδια ημέρα έγινε η εφαρμογή και ενσωμάτωση στο έδαφος της ιλύος της κόπρου και του ανόργανου λιπάσματος. Το ανόργανο λίπασμα εφαρμόστηκε όπου είναι αναγκαίο στις επεμβάσεις, με βάση την περιεκτικότητα της προστιθέμενης ιλύος και της κόπρου σε διαθέσιμο N.

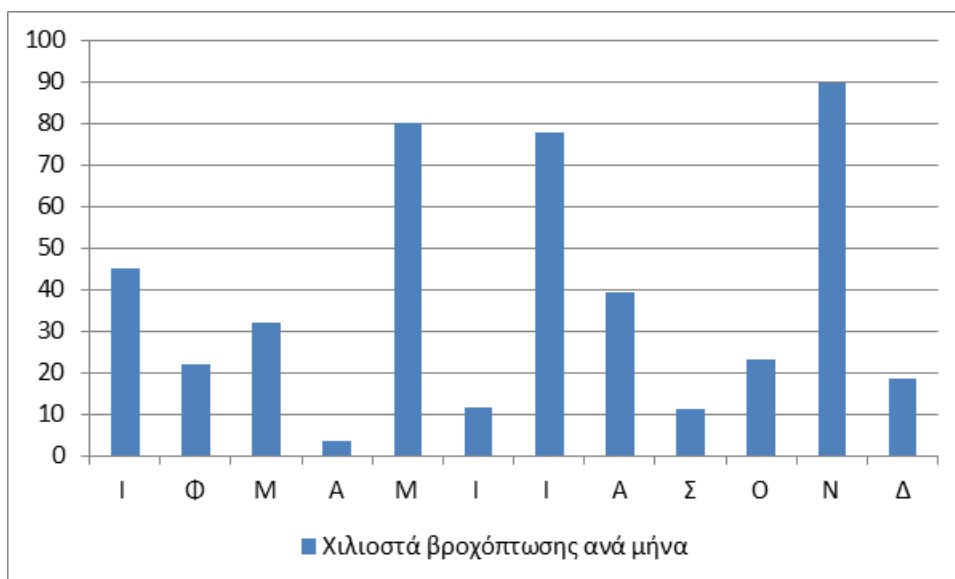
Η εφαρμογή περιελάμβανε, για ποσότητα εφαρμογής δύο, τεσσάρων και οκτώ τόνων κόπρου ή ιλύος, 54, 108 και 216 κιλά υλικού. Αμέσως μετά την εφαρμογή τους, στα μισά πειραματικά τεμάχια έγινε διασπορά 1960 γραμμαρίων σύνθετου λιπάσματος 11-15-15 που αντιστοιχεί σε 8 μονάδες αζώτου, 10,9 μονάδες φωσφόρου και 10,9 μονάδες καλίου, ενώ στη συνέχεια έγινε ενσωμάτωση του λιπάσματος και του οργανικού υλικού (κόπρος, ιλύς) με φρέζα και κύλινδρο. Μετά την ενσωμάτωση της ιλύος, κόπρου και χημικών λιπασμάτων στα αντίστοιχα τεμάχια βάσει του πειραματικού σχεδίου, έγινε η σπορά του αραβοσίτου σε γραμμές με σπαρτική μηχανή. Οι αποστάσεις μεταξύ των γραμμών ήταν 75 cm και επί των γραμμών 17,5 cm, ενώ το βάθος σποράς ήταν 4 cm. Χρησιμοποιήθηκε το υβρίδιο P1921 αραβοσίτου της εταιρείας Pioneer με δείκτη FAO 780 και βιολογικό κύκλο 140 ημερών.

Η καλλιέργεια του αραβοσίτου κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου αρδεύτηκε συνολικά επτά φορές. Η πρώτη άρδευση έγινε (με τη χρήση πύραυλου) επτά ημέρες μετά την σπορά με 10 mm νερού με σκοπό την υποβοήθηση του φυτρώματος. Οι υπόλοιπες αρδεύσεις έγιναν κάθε 10-12 ημέρες από αρχές Ιουνίου μέχρι 15 Αυγούστου με 40-50 mm νερό χρησιμοποιώντας στάγδην άρδευση.

Το ύψος των βροχοπτώσεων και της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου του έτους 2017 παρουσιάζονται στα Σχήματα 6 και 7.



Σχήμα 2. Μέση όροι μηνιαίων θερμοκρασιών (Μετεωρολογικός σταθμός Μίκρας Θεσσαλονίκης).



Σχήμα 3. Το ύψος της βροχόπτωσης (mm) ανά μήνα καλλιεργητικής περιόδου (Μετεωρολογικός σταθμός Μίκρας Θεσσαλονίκης).

Η επιφανειακή λίπανση με 22 μονάδες αζώτου ανά στέμμα (1730 γραμμαρίων νιτρικής αμμωνίας του τύπου 34,4-0-0 ανά πειραματικό τεμάχιο που εφαρμόστηκε βασική λίπανση) έγινε όταν τα φυτά ήταν στο στάδιο των 4 - 6 φύλλων. Η αντιμετώπιση των ετησίων πλατύφυλλων ζιζανίων έγινε με τη χρήση του ζιζανιοκτόνου Dicamba. Η αντιμετώπιση των άλλων ζιζανίων που εμφανίστηκαν μεταξύ των γραμμών έγινε με φρεζοσκαλιστήρι όταν τα φυτά του αραβοσίτου είχαν ύψος 30-40 cm και με βοτάνισμα.

Το ποσοστό φυτρώματος ήταν ικανοποιητικό αφού κυμάνθηκε από 90 έως 95%.

2.3. Αναλύσεις εδάφους μετά τις επεμβάσεις

Σύνθετα δείγματα εδάφους ελήφθησαν από τα πειραματικά τεμάχια των επεμβάσεων του μάρτυρα και των δόσεων ιλύος και κόπρου των 2, 4 και 8 tn/στρ στο τέλος, μετά τη συγκομιδή. Οι δειγματοληψίες έγιναν με ειδικό δειγματολήπτη εδάφους σε βάθος 20-30 cm όπου πάρθηκε ένα δείγμα ενός κιλού από κάθε πειραματικό τεμάχιο τα οποία προέρχονταν από ανάμιξη τριών υποδειγμάτων. Μετά την ξήρανσή τους έγινε η λειοτρίβηση με ηλεκτρικό μύλο και στη συνέχεια έγιναν οι εργαστηριακές αναλύσεις στο εδαφολογικό εργαστήριο της AGROLAB και στο Εργαστήριο Εδαφολογίας του ΔΙ.ΠΑ.Ε. (Αλεξάνδρεια Πανεπιστημιούπολη – Σίνδος Θεσσαλονίκης). Ειδικότερα, ο προσδιορισμός του pH έγινε σε πάστα απιονισμένου

νερού και εδάφους σε αναλογία 2 μέρη νερού και ένα μέρος εδάφους, ενώ ο προσδιορισμός της οργανικής ουσίας στο έδαφος έγινε με την μέθοδο της υγρής οξείδωσης (Walkley-Black).

Για τον προσδιορισμό του καλίου στο έδαφος εφαρμόστηκε η μέθοδος της εκχύλισης με οξικό αμμώνιο (NH_4OH) και μέτρηση σε φλογοφωτόμετρο, ενώ για τον προσδιορισμό του νιτρικού αζώτου εφαρμόστηκε η μέθοδος της εκχύλισης με χλωριούχο κάλιο (KCl) και η μέτρησή τους έγινε σε φασματοφωτόμετρο UV-Vis. Επιπλέον, για τον προσδιορισμό του φωσφόρου στο έδαφος εφαρμόστηκε η μέθοδος Olsen και η μέτρηση του έγινε σε φασματοφωτόμετρο.

2.4. Μορφολογικά χαρακτηριστικά φυτών αραβοσίτου

Για την καλλιέργεια του αραβοσίτου πραγματοποιήθηκαν οι ακόλουθες μετρήσεις και αναλύσεις σε όλα τα πειραματικά τεμάχια:

- Ύψος φυτών. Όταν ο καρπός ήταν στο στάδιο του γάλακτος έγινε μέτρηση σε πέντε τυχαία φυτά.
- Αριθμός φύλλων ανά φυτό. Όταν ο καρπός ήταν στο στάδιο του γάλακτος έγινε μέτρηση σε πέντε τυχαία φυτά.

2.5. Αγροκομικά χαρακτηριστικά φυτών αραβοσίτου

- Απόδοση/στρ (συγκομιδή 1 γραμμής σπαδικών αραβοσίτου των 7 m από κάθε πειραματικό τεμάχιο). Η συγκομιδή για καρπό έγινε το τρίτο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου. Για κάθε πειραματικό τεμάχιο συλλέχθηκαν 15 σπάδικες οι οποίοι στη συνέχεια αλωνίστηκαν από ειδική μηχανή στο Ινστιτούτο Ελέγχου Ποικιλιών Καλλιεργούμενων Φυτών και υπολογίστηκε η απόδοση σε kg/στρέμμα.
- Βάρος 1000 κόκκων. Σε ζυγό ακριβείας ζυγίστηκαν 100 σπόροι επί τρεις φορές και έγινε αναγωγή στους χίλιους.
- Απόδοση υπέργειας βιομάζας (ενσίρωση)/στρ (συγκομιδή 1 γραμμής αραβοσίτου των 7 m από κάθε πειραματικό τεμάχιο). Η απόδοση σε νωπό βάρος έγινε όταν ο καρπός ήταν στο στάδιο του γάλακτος. Για κάθε πειραματικό τεμάχιο κόπηκαν 15 φυτά. Η κοπή των φυτών έγινε με το χέρι κοντά στην επιφάνεια του εδάφους και ζυγίστηκαν με μηχανικό ζυγό στον αγρό.

2.6. Αναλύσεις φυτικών ιστών αραβοσίτου

Περιεκτικότητα υπέργειας βιομάζας (ενσίρωση) σε N, P, K. Το N προσδιορίστηκε με τη μέθοδο Kjeldahl στο μοριακό αναλυτή, ενώ τα άλλα στοιχεία προσδιορίστηκαν με την ενδεδειγμένη μέθοδο ενόργανης χημικής ανάλυσης (φασματοφωτομετρία UV-Vis για το P, φλογοφωτομετρία για τα K, μετά από ξηρή καύση των φυτικών δειγμάτων (Mills and Benton-Jones, 1996). Αριθμός δειγμάτων: 64 πειραματικά τεμάχια. Ειδικότερα, σύνθετα δείγματα που αποτελούνταν από φύλλα από πέντε φυτά και τμήμα βλαστού συλλέχθηκαν κατά την περίοδο συγκομιδής του αραβοσίτου για ενσίρωση, έγινε αεροξήρανση και αλέστηκαν σε μύλο του Εργαστηρίου Εδαφολογίας του ΔΙ.ΠΑ.Ε. Ο προσδιορισμός του αζώτου, φωσφόρου και καλίου στους φυτικούς ιστούς έγινε, επίσης στο ίδιο εργαστήριο. Ειδικότερα, ο προσδιορισμός τους έγινε με καύση των φυτικών ιστών και παραλαβή της τέφρας με διάλυμα HCl 6N και ακολούθησε η μέτρηση του φωσφόρου με την μέθοδο Olsen σε φασματοφωτόμετρο UV-Vis και του καλίου σε φλογοφωτόμετρο, ενώ η μέτρηση του ολικού αζώτου στα φύλλα έγινε σε μοριακό αναλυτή στο εδαφολογικό εργαστήριο της εταιρίας AGROLAB.

2.7 Στατιστική ανάλυση δεδομένων

Η στατιστική ανάλυση των δεδομένων κάθε χαρακτηριστικού έγινε σύμφωνα με το σχέδιο 2 x 4 x 2 x 4 (2 τύποι ιλύος/κόπρου x 4 επίπεδα ιλύος/κόπρου x 2 επίπεδα ανόργανης λίπανσης x 4 επαναλήψεις). Οι μέσοι όροι συγκρίθηκαν με το κριτήριο της ελάχιστης σημαντικής διαφοράς (Fisher's protected LSD test) σε επίπεδο σημαντικότητας 5%. Η ανάλυση της παραλλακτικότητας όλων των δεδομένων του πειράματος έγινε με τη βοήθεια H/Y και τη χρήση του στατιστικού προγράμματος SPSS, ενώ η δημιουργία των σχημάτων πραγματοποιήθηκε με το λογιστικό φύλλο EXCEL.

3. Αποτελέσματα και συζήτηση

3.1. Αναλύσεις ιλύος, κόπρου και εδάφους πριν τις επεμβάσεις

Τα δεδομένα των αναλύσεων της ιλύος, της κόπρου και του εδάφους παρουσιάζονται στους Πίνακες 2, 3 και 4, αντιστοίχως.

Πίνακας 2. Αποτελέσματα ανάλυσης ιλύος.

<i>Συστατικά</i>	<i>Μονάδα μέτρησης</i>	<i>Τιμή</i>
pH		7,8
CaCO ₃	%	22,9
EC	mS/cm (1/2)	8,13
Οργανική ουσία	%	26,2
N-NO ₃	mg/kg	707
P	mg/kg	287
K	mg/kg	694
Nt	%	1,3
C/N		10,08

Από τα αποτελέσματα της ανάλυσης παρατηρούμε ότι η ιλύς αποδίδει περί τα 0,7 Kg/tn N-NO₃, 0,29Kg/tn P και 0,69Kg/tn K, και κρίνεται σχετικά φτωχή σε θρεπτικά στοιχεία πλούσια σε οργανική ουσία και σε CaCO₃ λόγω της προσθήκης ασβέστου κατά την επεξεργασία της.

Πίνακας 3. Αποτελέσματα ανάλυσης κόπρου.

<i>Συστατικά</i>	<i>Μονάδα μέτρησης</i>	<i>Τιμή</i>
pH	(1/8)	8,3
CaCO ₃	%	2,7
EC	mS/cm (1/8)	9,22
Οργανική ουσία	%	59,3
N-NO ₃	mg/kg	1626
P	mg/kg	6874
K	mg/kg	27476
Nt	%	2,57
C/N		11,54

Σε αντίθεση με την ιλύ η κοπριά κρίνεται πλούσια σε N-NO₃, σε φώσφορο και πολύ πλούσια σε κάλιο και οργανική ουσία.

Πίνακας 4. Αποτελέσματα ανάλυσης εδάφους.

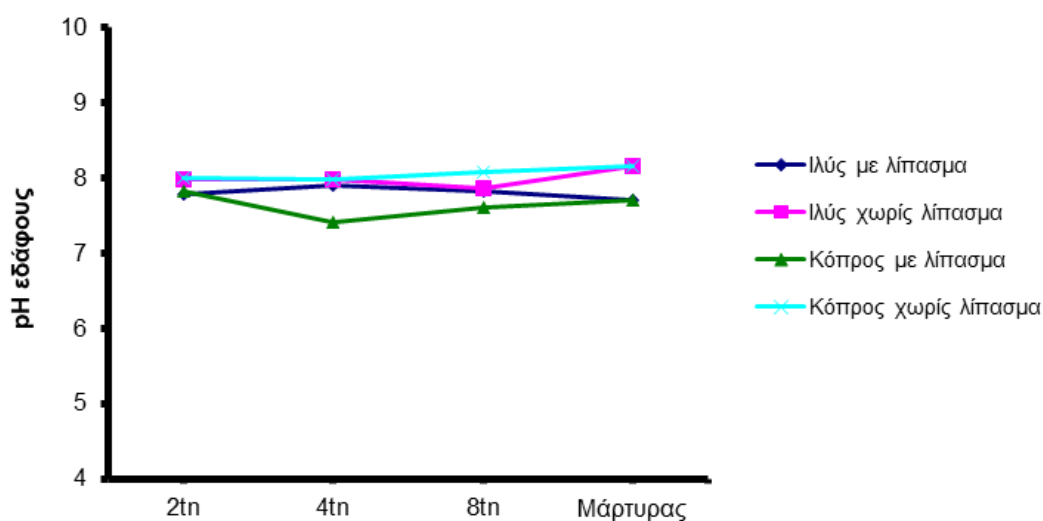
<i>Συστατικά</i>	<i>Μονάδα μέτρησης</i>	<i>Τιμή</i>
pH	(1/2)	8,1
CaCO ₃	%	0,2
EC	mS/cm	1,9
Οργανική	%	1,6
N-NO ₃	mg/kg	14,1
P	mg/kg	58,3
K	mg/kg	140
Μηχανική σύσταση		
Άμμος %	Ιλύς %	Άργιλος %
65,3	28,0	6,7

Το έδαφος όπου πραγματοποιήθηκε το πείραμα κατατάσσεται στα αμμοπηλώδη εδάφη με υψηλό pH και σχετικά φτωχό σε θρεπτικά συστατικά και οργανική ουσία.

3.2. Αναλύσεις του εδάφους μετά τις επεμβάσεις

3.2.1. pH εδάφους

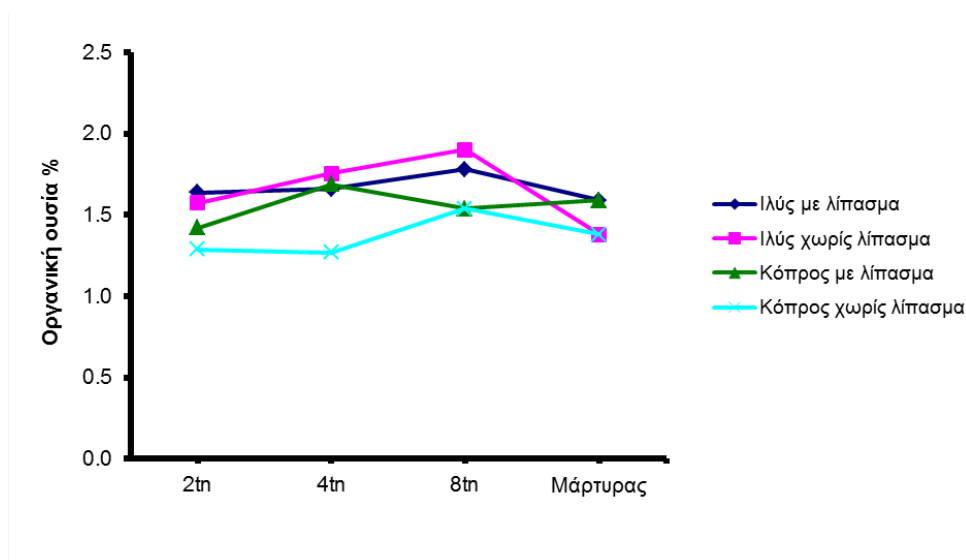
Η ανάλυση των δεδομένων έδειξε ότι το pH του εδάφους επηρεάστηκε μόνο από τη χρήση των χημικών λιπασμάτων. Ειδικότερα, το pH και στα τέσσερα επίπεδα ιλύος ή κόπρου ήταν ελαφρώς μεγαλύτερο εκεί που δεν εφαρμόστηκε η χημική λίπανση από ό,τι εκεί όπου έγινε χρήση χημικών λιπασμάτων (Σχήμα 4). Το pH του εδάφους ήταν αλκαλικό και δεν επηρεάστηκε σημαντικά από την εφαρμογή ιλύος ή κόπρου στα τέσσερα διαφορετικά επίπεδα. Παρόμοια αποτελέσματα αναφέρονται από τους Tziachris et al. (2015) οι οποίοι βρήκαν ότι η εφαρμογή ιλύος σε τρεις κατηγορίες εδαφών όξινα, ουδέτερα και αλκαλικά αύξησε το pH κατά 0,81 μονάδες στα όξινα εδάφη και 0,21 μονάδες στα ουδέτερα, ενώ στα αλκαλικά παρέμεινε σχεδόν το ίδιο. Επίσης, μικρή αύξηση 0,03 μονάδων σε αλκαλικά εδάφη παρατηρήθηκε και από τους Tsadilas et al. (1995), ενώ διαπίστωσαν αύξηση του pH από 4,86 σε 6,5 σε όξινο έδαφος. Αντίθετα, σε μακροχρόνιο πείραμα (1991-2012) των Lehtinen et al. (2017), το pH του εδάφους ήταν υψηλότερο σε επεμβάσεις με κομπόστ προερχόμενο από ιλύ αστικών λυμάτων κατά 0,45% περίπου σε σύγκριση με τα υπόλοιπα οργανικά υλικά που χρησιμοποιήθηκαν. Επίσης, οι Samara et al. (2017) σε εφαρμογή ιλύος παρατήρησαν αύξηση του pH σε όλες τις κατηγορίες εδαφών αλλά ιδιαίτερα στα όξινα εδάφη αυξήθηκε κατά 2,5 μονάδες.



Σχήμα 4. Επίδραση των τεσσάρων επιπέδων ιλύος ή κόπρου και των δύο επιπέδων ανόργανης λίπανσης στο pH του εδάφους.

3.2.2. Οργανική ουσία

Το ποσοστό της οργανικής ουσίας στο έδαφος επηρεάστηκε από το είδος του υλικού που χρησιμοποιήθηκε, από την ποσότητα αυτών και από τη χρήση ή μη της χημικής λίπανσης. Γενικά, το ποσοστό της οργανικής ουσίας στο έδαφος ήταν μεγαλύτερο στα πειραματικά τεμάχια όπου εφαρμόστηκαν τέσσερις και οκτώ τόνοι ιλύος χωρίς τη χρήση χημικής λίπανσης και μικρότερο εκεί όπου εφαρμόστηκαν τέσσερις και δύο τόνοι κόπρου χωρίς τη χρήση χημικών λιπασμάτων. Στα πειραματικά τεμάχια του μάρτυρα, το ποσοστό της οργανικής ουσίας στο έδαφος ήταν σημαντικά μεγαλύτερο εκεί όπου έγινε εφαρμογή χημικής λίπανσης από ό,τι εκεί όπου δεν έγινε εφαρμογή της. Γενικά, το ποσοστό οργανικής ουσίας ήταν σημαντικά μεγαλύτερο στα πειραματικά τεμάχια όπου εφαρμόστηκαν οκτώ τόνοι ιλύος χωρίς τη χρήση χημικών λιπασμάτων (Σχήμα 5).



Σχήμα 5. Επίδραση των τεσσάρων επιπέδων ιλύος ή κόπρου και των δύο επιπέδων ανόργανης λίπανσης στο ποσοστό οργανικής ουσίας στο έδαφος.

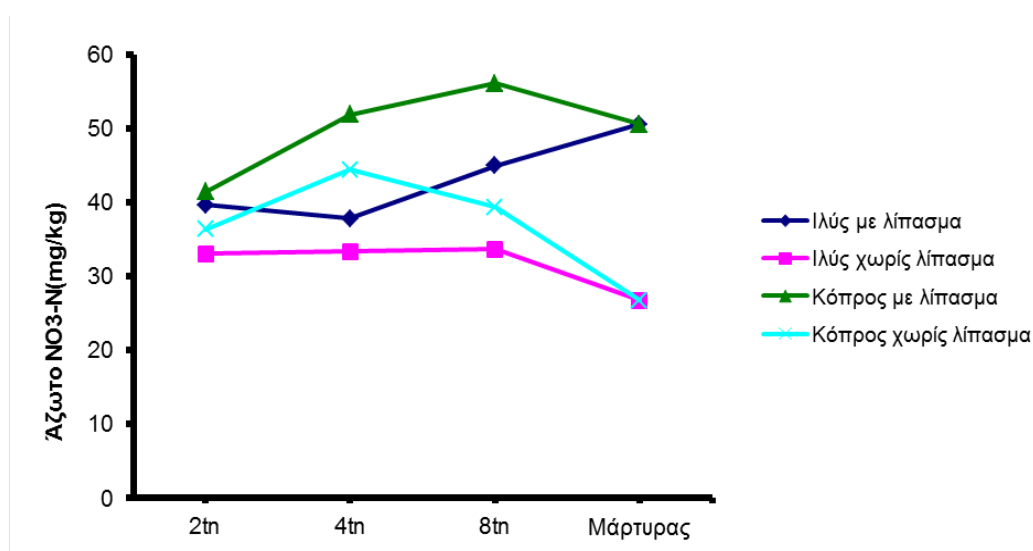
Οι Körschens et al. (2013) βρήκαν ότι η εφαρμογή κομπόστ έχει καλύτερα αποτελέσματα σε εξαντλημένα εδάφη, ενώ οι D'Hose et al. (2012, 2014) σε αμμώδη εδάφη βελτιώνοντας την ποιότητα του εδάφους και κυρίως την αύξηση της οργανικής ουσίας. Παρόμοια αποτελέσματα βρήκαν οι Diacono και Montemurro (2010) σε μακροχρόνια πειράματα που πραγματοποίησαν για την αύξηση της οργανικής ύλης του εδάφους μετά την εφαρμογή κομπόστ. Επίσης, παρόμοια αποτελέσματα βρέθηκαν και σε μακροχρόνιο πείραμα (1991-2012) που έγινε στην περιοχή Λιντς της

Αυστρίας από τους Lehtinen et al.(2017) σε εναλλασσόμενες καλλιέργειες αραβοσίτου, κριθαριού, σιταριού και μπιζελιού με χρήση διαφόρων τύπων κομπόστ. Επιπλέον, οι Wallace and Carter (2007), παρατήρησαν ότι η μείωση της συχνότητας εφαρμογής προϊόντων κομποστοποίησης βελτιώνει το έδαφος σε μικρό βαθμό, γεγονός που καθιστά αναγκαία τη συνεχή εφαρμογή τους. Αντίθετα, οι Tziachris et al. (2015) βρήκαν ότι η εφαρμογή 10 Mg/ha ιλύος σε τρεις διαφορετικούς τύπους εδαφών δεν προκάλεσε σημαντικές διαφορές στην περιεκτικότητα της οργανικής ύλης στο έδαφος με πιθανά αίτια την μικρή ποσότητα εφαρμογής και την πιθανή αποσύνθεση του υλικού. Η αποσύνθεση αυτή, σύμφωνα με τους Merrington et al. (2003), οφείλεται στην υποβάθμιση των πιο εύκολα αποδομήσιμων μορφών οργανικής ύλης που προέρχεται από ιλύ, η οποία προκαλείται από μικρόβια και διαρκεί αρκετές εβδομάδες ανάλογα με το έδαφος και τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Παρόμοια αποτελέσματα αναφέρονται από τους Mendoza et al. (2006), οι οποίοι βρήκαν ότι η χρήση 100 Mg/ha ιλύος αύξησε την οργανική ύλη κατά 1-2% πριν την εγκατάσταση της καλλιέργειας αλλά μετά την εγκατάστασή της δεν παρατηρήθηκε αλλαγή σε σχέση με το αρχικό ποσοστό οργανικής ύλης του εδάφους. Η χρήση κόπρου σε καλλιέργεια αραβοσίτου της Ισπανίας δεν επηρέασε βραχυπρόθεσμα την περιεκτικότητα της οργανικής ουσίας του εδάφους (Gil et al., 2008), ενώ στην Ινδία, η εφαρμογή για 28 έτη κόπρου και ανόργανου λιπάσματος που περιείχε N, P, K αύξησε την οργανική ουσία κατά 56,3% και 22,5% αντίστοιχα με το αρχικό επίπεδο οργανικής ουσίας (Hati et al., 2007).

3.2.3. Συγκέντρωση νιτρικού αζώτου στο έδαφος

Η συγκέντρωση του νιτρικού αζώτου (mg/kg στο έδαφος) επηρεάστηκε από το είδος του υλικού που χρησιμοποιήθηκε, τη χρήση ή μη των χημικών λιπασμάτων και από την αλληλεπίδραση της ποσότητας της ύλης που χρησιμοποιήθηκε με τη χρήση ή μη χημικών λιπασμάτων. Γενικά, η συγκέντρωση του νιτρικού αζώτου στο έδαφος ήταν μεγαλύτερη στα τέσσερα επίπεδα κόπρου με τη χρήση χημικής λίπανσης σε σύγκριση με τα τέσσερα επίπεδα ιλύος χωρίς λίπανση. Επίσης, η συγκέντρωση του νιτρικού αζώτου στο έδαφος ήταν σημαντικά μεγαλύτερη εκεί όπου εφαρμόστηκαν οκτώ τόνοι κόπρου ή ιλύος και μικρότερη εκεί όπου εφαρμόστηκαν δύο τόνοι. Στα τέσσερα επίπεδα κόπρου χωρίς χρήση χημικών λιπασμάτων, η μεγαλύτερη τιμή παρατηρήθηκε εκεί όπου εφαρμόστηκαν τέσσερεις τόνοι, ενώ η συγκέντρωση του νιτρικού αζώτου στο έδαφος με προσθήκη ιλύος ήταν περίπου ίδια και στα τρία

επίπεδα και σημαντικά χαμηλότερη σε σχέση με την κόπρη. Τέλος, στα πειραματικά τεμάχια του μάρτυρα, η συγκέντρωση του νιτρικού αζώτου ήταν κατά πολύ μεγαλύτερη εκεί όπου εφαρμόστηκε η χημική λίπανση από ό,τι εκεί όπου δεν εφαρμόστηκε (Σχήμα 6). Παρόμοια αποτελέσματα παρατήρησαν οι Lehtinen et al. (2017) στη συγκέντρωση αζώτου στα εδάφη όπου έγινε χρήση κομπόστ από ό,τι στα εδάφη όπου εφαρμόστηκε μόνο χημική λίπανση. Επίσης, οι Emmerling et al. (2010) βρήκαν ότι οι συγκεντρώσεις αζώτου αυξήθηκαν μετά από ετήσια εφαρμογή κομπόστ ισοδύναμη με 175 kg N/ha ενώ οι Tits et al. (2014) παρατήρησαν αύξηση της ικανότητας παροχής του αζώτου στο έδαφος μετά από μακροχρόνιες εφαρμογές κομπόστ. Τέλος, οι Hernández et al. (1991) παρατήρησαν μεγαλύτερη συγκέντρωση αζώτου στο έδαφος μετά από καλλιέργεια αραβοσίτου όπου εφαρμόστηκε αερόβια και αναερόβια χωνεμένη ιλύς σε σύγκριση με τα τεμάχια όπου εφαρμόστηκε κόπρος πουλερικών.

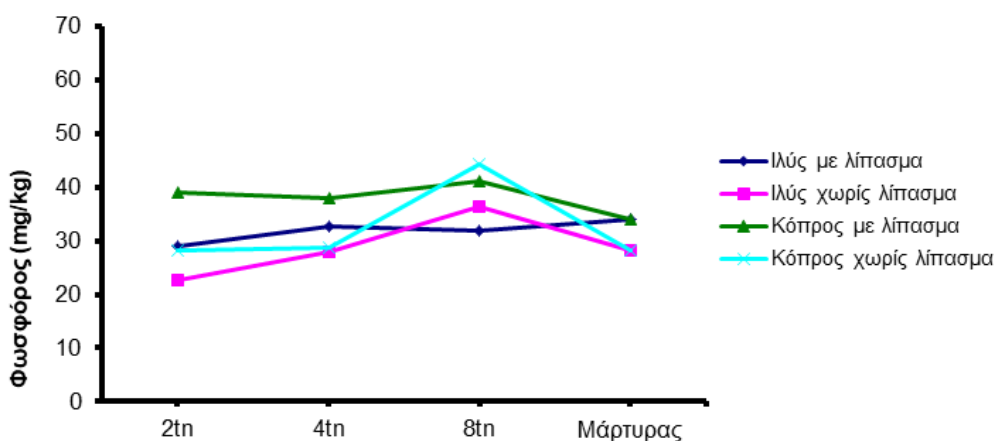


Σχήμα 6. Επίδραση των τεσσάρων επιπέδων ιλύος ή κόπρου και των δύο επιπέδων ανόργανης λίπανσης στη συγκέντρωση νιτρικού αζώτου (mg/kg) στο έδαφος.

3.2.4. Συγκέντρωση φωσφόρου στο έδαφος

Η συγκέντρωση του φωσφόρου στο έδαφος επηρεάστηκε από το είδος του υλικού που εφαρμόστηκε, την ποσότητα του υλικού, τη χρήση ή μη χημικής λίπανσης, καθώς και από την αλληλεπίδραση μεταξύ ποσότητας υλικού που χρησιμοποιήθηκε με ή χωρίς τη χρήση χημικής λίπανσης. Γενικά, και για τα τρία επίπεδα εφαρμογής, η συγκέντρωση φωσφόρου ήταν μεγαλύτερη εκεί όπου εφαρμόστηκε κόπρος από ό,τι εκεί που εφαρμόστηκε ιλύς. Επίσης, η συγκέντρωση φωσφόρου ήταν μεγαλύτερη εκεί όπου εφαρμόστηκε χημική λίπανση από ό,τι εκεί

που δεν εφαρμόστηκε (Σχήμα 7). Τέλος, στους δύο και τέσσερις τόνους κόπρου, η συγκέντρωση φωσφόρου ήταν μεγαλύτερη εκεί όπου εφαρμόστηκε κόπρος με χημική λίπανση, ενώ εκεί όπου εφαρμόστηκαν οκτώ τόνοι η συγκέντρωση ήταν μεγαλύτερη εκεί όπου δεν έγινε προσθήκη λίπανσης.



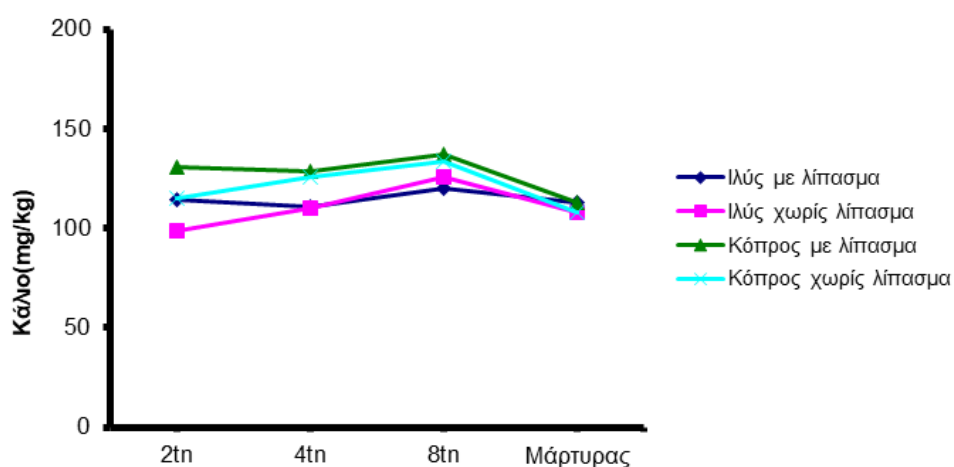
Σχήμα 7. Επίδραση των τεσσάρων επιπέδων ιλύος ή κόπρου και των δύο επιπέδων ανόργανης λίπανσης στη συγκέντρωση φωσφόρου (mg/kg) στο έδαφος.

3.2.5. Συγκέντρωση καλίου στο έδαφος

Η συγκέντρωση καλίου στο έδαφος επηρεάστηκε μόνο από το είδος του υλικού που χρησιμοποιήθηκε και από την ποσότητά του. Γενικά, στα τρία επίπεδα της ύλης που χρησιμοποιήθηκε, η συγκέντρωση καλίου στο έδαφος ήταν μεγαλύτερη στα πειραματικά τεμάχια όπου εφαρμόστηκε κόπρος με χρήση χημικών λιπασμάτων και μικρότερη στα πειραματικά τεμάχια όπου χρησιμοποιήθηκε ιλύς χωρίς και με χρήση χημικών λιπασμάτων. Στα πειραματικά τεμάχια όπου εφαρμόστηκαν δύο τόνοι, η συγκέντρωση του καλίου στο έδαφος ήταν μεγαλύτερη εκεί που εφαρμόστηκε κόπρος με χημική λίπανση και μικρότερη εκεί όπου εφαρμόστηκε ιλύς χωρίς χημική λίπανση. Τέλος, στο μάρτυρα δεν υπήρχαν διαφορές μεταξύ της χρήσης ή μη χημικής λίπανσης (Σχήμα 8).

Η συγκέντρωση καλίου στο έδαφος παρουσίασε σημαντική διαφορά μόνο μεταξύ των ποσοτήτων με ελαφρώς μεγαλύτερες τιμές στα τέσσερα επίπεδα κόπρου σε σχέση με την ιλύ και στην εφαρμογή οκτώ τόνων ιλύος με και χωρίς ανόργανη λίπανση σε σχέση με τον μάρτυρα. Παρόμοια αποτελέσματα αναφέρονται και από τους Gil et al. (2008), οι οποίοι σε πείραμα με αραβόσιτο όπου εφάρμοσαν κόπρο και ανόργανο λίπασμα ή μόνο ανόργανο λίπασμα παρατήρησαν αύξηση της διαθέσιμης ποσότητας φωσφόρου και στις δύο εφαρμογές, ενώ το κάλιο αυξήθηκε μόνο στα

πειραματικά τεμάχια της κόπρου σε σύγκριση με αυτά που εφαρμόστηκε μόνο ανόργανη λίπανση. Επίσης, οι Emmerling et al. (2010) και Brown and Cotton (2011), παρατήρησαν σημαντικά υψηλότερες ποσότητες εκχυλίσμου P σε εφαρμογές ιλύος και σημαντικά υψηλότερες εκχυλίσσιμες τιμές K στις εφαρμογές κόπρου σε σύγκριση με τις άλλες επεμβάσεις. Επιπλέον, οι Bueno et al. (2011), Hagreaves et al. (2008), Nascimento et al. (2013) και Samaras et al. (2008) διαπίστωσαν ότι ο διαθέσιμος φώσφορος αυξήθηκε σημαντικά με την προσθήκη της σταθεροποιημένης ιλύος σε όλα τα εδάφη. Υψηλότερες συγκεντρώσεις Ca και K παρατήρησαν οι Bulluck et al. (2002), ενώ οι Soumare et al. (2003) βρήκαν αυξημένες συγκεντρώσεις K και P μετά την εφαρμογή οργανικών κομπόστ σε σύγκριση με τα ανόργανα λιπάσματα. Επίσης, οι Adegbidi et al. (2003) βρήκαν υψηλότερες συγκεντρώσεις P, Ca και K στο έδαφος μετά από εφαρμογή οργανικών λιπασμάτων σε σχέση με εκείνα των χημικών λιπασμάτων βραδείας αποδέσμευσης. Αντίθετα, οι Samara et al. (2017) διαπίστωσαν ότι η συγκέντρωση του διαθέσιμου καλίου δεν επηρεάστηκε από την προσθήκη σταθεροποιημένης ιλύος.



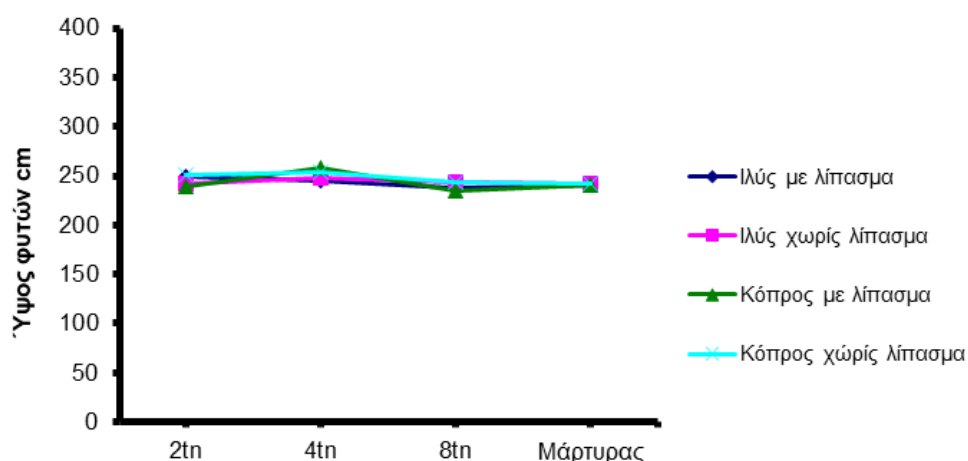
Σχήμα 8. Επίδραση των τεσσάρων επιπέδων ιλύος ή κόπρου και των δύο επιπέδων ανόργανης λίπανσης στη συγκέντρωση καλίου (mg/kg) στο έδαφος

3.3. Αξιολόγηση μορφολογικών και αγροκομικών χαρακτηριστικών αραβοσίτου

3.3.1. Ύψος φυτών

Η ανάλυση των δεδομένων (ANOVA) έδειξε ότι το ύψος των φυτών δεν επηρεάστηκε από τη χρήση των τεσσάρων επιπέδων ιλύος ή κόπρου και των δύο επιπέδων ανόργανης λίπανσης. Βέβαια, στα πειραματικά τεμάχια όπου εφαρμόστηκαν τέσσερις τόνοι ιλύος ή κόπρου με ή χωρίς λίπανση, το ύψος των

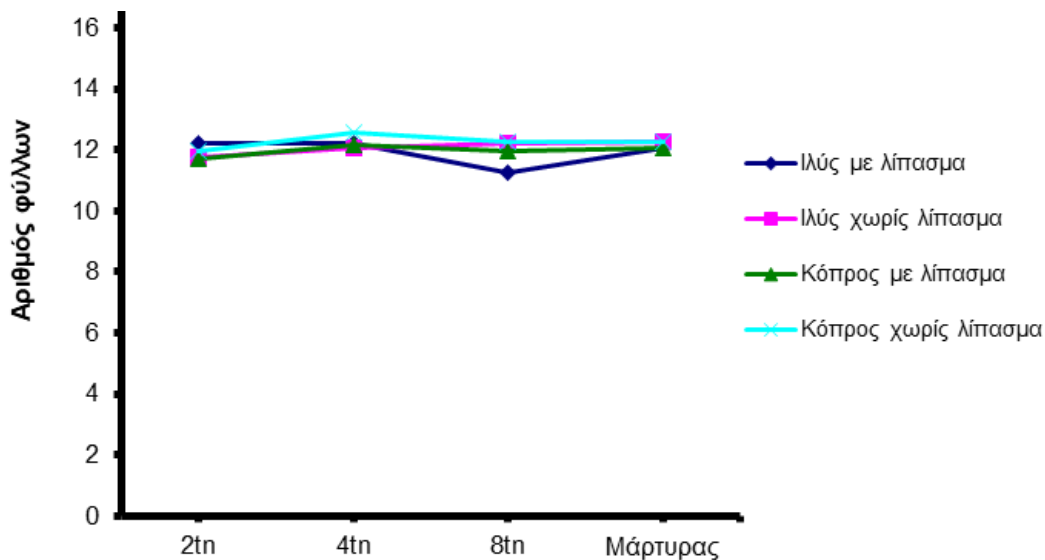
φυτών ήταν ελαφρώς μεγαλύτερο συγκριτικά με τα πειραματικά τεμάχια που εφαρμόστηκαν οκτώ τόνοι και στο μάρτυρα όπου δεν έγινε εφαρμογή ιλύς ή κόπρου με ή χωρίς ανόργανη λίπανση (Σχήμα 9). Παρόμοια αποτελέσματα αναφέρονται και από τους Jarausch-Wehrheim κ.ά. (2001), οι οποίοι δεν παρατήρησαν διαφορά μεταξύ του ύψους των φυτών αραβοσίτου από τη χρήση ιλύος ή κόπρου ζωικής προέλευσης.



Σχήμα 9. Επίδραση των τεσσάρων επιπέδων ιλύος ή κόπρου και των δύο επιπέδων ανόργανης λίπανσης στο ύψος των φυτών.

3.3.2 Αριθμός φύλλων

Ο αριθμός φύλλων ανά φυτό δεν επηρεάστηκε σημαντικά από τη χρήση κόπρου ή ιλύος με ή χωρίς λίπανση. Όπως και στο ύψος των φυτών, στα πειραματικά τεμάχια όπου χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις τόνοι ιλύος ή κόπρου με ή χωρίς ανόργανη λίπανση, ο αριθμός φύλλων ήταν ελαφρώς μεγαλύτερος από ό,τι εκεί όπου έγινε εφαρμογή δύο και οκτώ τόνων ιλύος ή κόπρου (Σχήμα 10). Γενικώς, ο αριθμός φύλλων ήταν ελαφρώς μεγαλύτερος στα πειραματικά τεμάχια όπου εφαρμόστηκαν δύο τόνοι ιλύος με λίπασμα και τέσσερις τόνοι κόπρου χωρίς ανόργανο λίπασμα και μικρότερος εκεί όπου εφαρμόστηκαν οκτώ τόνοι ιλύος και ανόργανο λίπασμα. Βέβαια, οι διαφορές με το μάρτυρα (όπου δεν έγινε εφαρμογή ιλύος ή κόπρου) δεν ήταν σημαντικές.

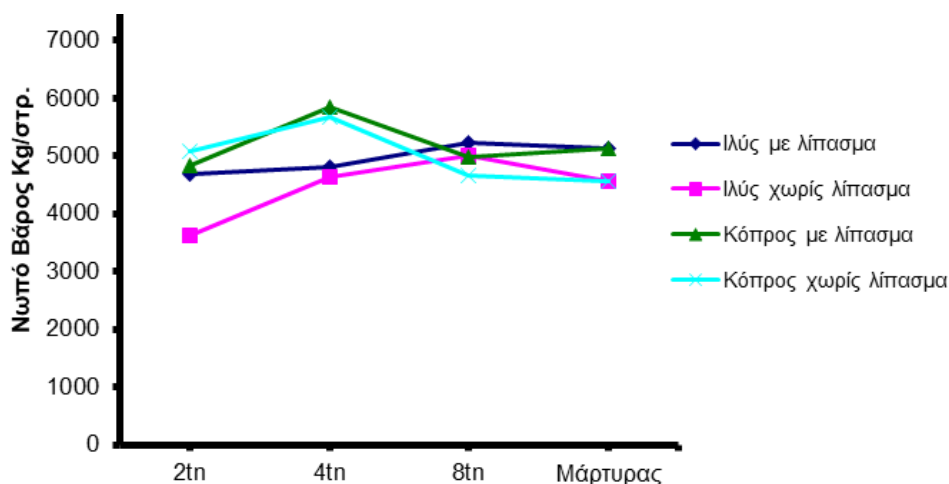


Σχήμα 10. Επίδραση των τεσσάρων επιπέδων ιλύος ή κόπρου και των δύο επιπέδων ανόργανης λίπανσης στο αριθμό φύλλων ανά φυτό.

3.3.3. Νωπό βάρος φυτών

Το νωπό βάρος των φυτών έδειξε ότι δεν επηρεάστηκε σημαντικά αν και κάποια διαφορά παρατηρήθηκε στα φυτά των τεμαχίων όπου έγινε χρήση λιπάσματος και ιλύος ή κόπρου. Το νωπό βάρος των φυτών ήταν μικρότερο εκεί όπου εφαρμόστηκαν δύο τόνοι ιλύος χωρίς τη χρήση ανόργανης λίπανσης και μεγαλύτερο εκεί όπου εφαρμόστηκαν τέσσερις τόνοι κόπρου με και χωρίς ανόργανη λίπανση. Ειδικότερα, εκεί όπου εφαρμόστηκαν δύο τόνοι, το νωπό βάρος ήταν μεγαλύτερο εκεί όπου εφαρμόστηκε κόπρος χωρίς ανόργανη λίπανση και μικρότερο εκεί όπου εφαρμόστηκε ιλύς χωρίς ανόργανη λίπανση. Επίσης, εκεί όπου εφαρμόστηκαν τέσσερις τόνοι, το νωπό βάρος ήταν μεγαλύτερο στα πειραματικά τεμάχια που εφαρμόστηκε κόπρος με και χωρίς ανόργανη λίπανση και μικρότερο εκεί όπου εφαρμόστηκε ιλύς με και χωρίς ανόργανη λίπανση. Αντιθέτως, στα πειραματικά τεμάχια του μάρτυρα (χωρίς ιλύ ή κόπρο), το νωπό βάρος ήταν σημαντικά μεγαλύτερο εκεί όπου εφαρμόστηκε ανόργανη λίπανση από ό,τι στα πειραματικά χωρίς ανόργανη λίπανση (Σχήμα 11). Οι Leroy et al. (2007) παρατήρησαν αύξηση της ξηράς ουσίας στον αραβόσιτο σε συνδυασμένη εφαρμογή κόπρου (υγρής ή ξηρής) με κομπόστ από οργανικά απόβλητα, αλλά η αύξηση αυτή ήταν μεγαλύτερη μετά από τρία χρόνια εφαρμογής. Οι Samara et al (2017) διαπίστωσαν σημαντική αύξηση της βιομάζας σε φυτά σιταριού μετά από προσθήκη σταθεροποιημένης ιλύος σε σύγκριση με τον μάρτυρα. Επίσης, οι Hati et al. (2007) παρατήρησαν μεγαλύτερη

απόδοση αραβοσίτου στα τεμάχια όπου εφαρμόστηκε κόπρος και ανόργανη λίπανση με N, P, K, σε σύγκριση με τα τεμάχια όπου εφαρμόστηκε μόνο ανόργανη λίπανση. Επιπλέον, οι Maswar and Soelaeman (2016) διαπίστωσαν ότι η απόδοση σε βιομάζα του αραβοσίτου αυξήθηκε σημαντικά σε όξινα εδάφη με την χρήση κόπρου βοοειδών ή αποξηραμένης ιλύος και με 50% της συνιστώμενης δόσης ανόργανης λίπανσης σε σχέση με την εφαρμογή μόνο κόπρου βοοειδών ή αποξηραμένη ιλύος.

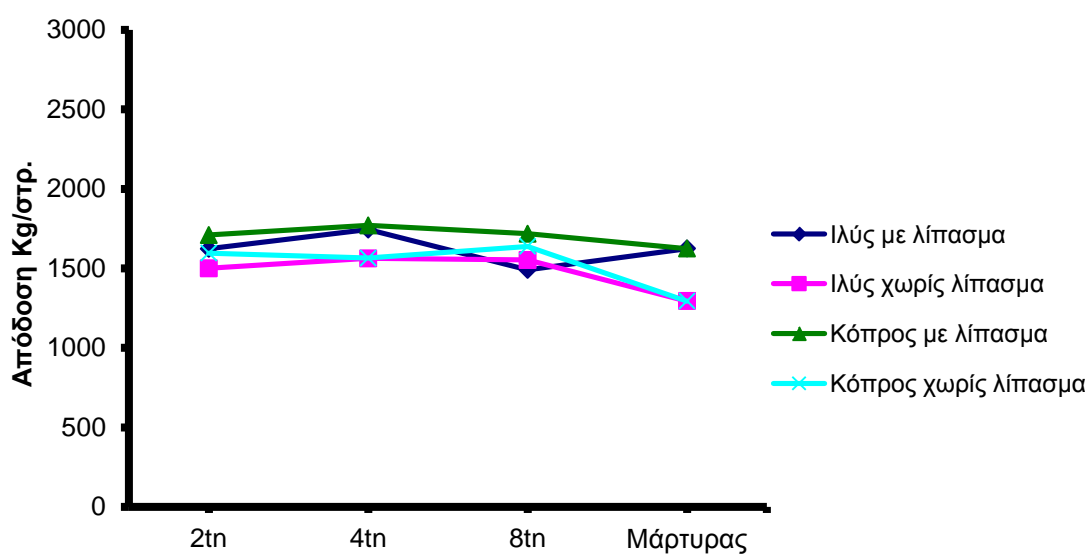


Σχήμα 11. Επίδραση των τεσσάρων επιπέδων ιλύος ή κόπρου και των δύο επιπέδων ανόργανης λίπανσης στο νωπό βάρος φυτών.

3.3.4. Απόδοση σε καρπό

Η στατιστική ανάλυση των δεδομένων της απόδοσης σε καρπό έδειξε ότι επηρεάστηκε σημαντικά από το είδος του υλικού, την ποσότητα και από τη χρήση ή όχι ανόργανης λίπανσης. Γενικώς, η απόδοση στα πειραματικά τεμάχια όπου εφαρμόστηκαν τέσσερις τόνοι ιλύος ή κόπρου με ανόργανη λίπανση ήταν 1774 και 1771 kg/στρ., αντίστοιχα, ενώ στον μάρτυρα χωρίς ανόργανη λίπανση ήταν 1294 kg/στρ. Επίσης, εκεί που εφαρμόστηκαν δύο τόνοι, η απόδοση ήταν μεγαλύτερη στα πειραματικά τεμάχια όπου εφαρμόστηκε κόπρος με ανόργανη λίπανση και μικρότερη εκεί όπου εφαρμόστηκε ιλύς χωρίς ανόργανη λίπανση. Αντιθέτως, στα πειραματικά τεμάχια όπου εφαρμόστηκαν τέσσερις τόνοι, η απόδοση ήταν μεγαλύτερη εκεί όπου εφαρμόστηκε ιλύς ή κόπρος με ανόργανη λίπανση και μικρότερη εκεί όπου εφαρμόστηκε ιλύς και κόπρος χωρίς ανόργανη λίπανση. Τέλος, στα πειραματικά τεμάχια όπου εφαρμόστηκαν οκτώ τόνοι, η απόδοση ήταν μεγαλύτερη εκεί όπου εφαρμόστηκε κόπρος με ανόργανη λίπανση και μικρότερη εκεί που εφαρμόστηκε ιλύς με ανόργανη λίπανση. Γενικώς, η απόδοση ήταν μεγαλύτερη εκεί όπου

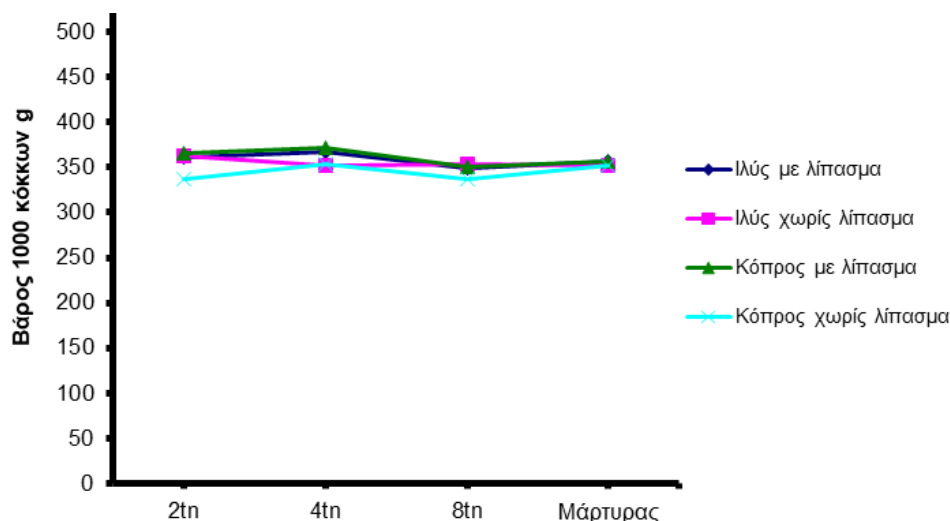
εφαρμόστηκαν τέσσερις τόνοι κόπρου ή ιλύος με ανόργανη λίπανση και μικρότερη εκεί όπου εφαρμόστηκαν δύο, οκτώ και στο μάρτυρα όπου δεν εφαρμόστηκε ανόργανη λίπανση (Σχήμα. 12). Επίσης, η απόδοση ήταν μεγαλύτερη στα πειραματικά τεμάχια όπου έγινε εφαρμογή τεσσάρων τόνων κόπρου ή ιλύος με ανόργανη λίπανση. Παρόμοια αποτελέσματα παρατήρησαν και οι D'Hose et al. (2012), μετά από 4 έτη ετήσιας εφαρμογής υλικών κομποστοποίησης σε τέσσερις καλλιέργειες (πατάτα, κτηνοτροφικά τεύτλα, αραβόσιτος, λάχανα Βρυξελλών). Επίσης, οι Hernández et al. (1991) παρατήρησαν ότι η προσθήκη κόπρου πουλερικών ή αερόβιας και αναερόβιας χωνεμένης ιλύος αύξησε την απόδοση κριθαριού και αραβοσίτου σε σχέση με τον μάρτυρα. Αντίθετα, οι Businelli et al. (1990) παρατήρησαν ότι η προσθήκη Κομπόστ μείωσε την απόδοση του αραβοσίτου σε σύγκριση με χρήση ανόργανης λίπανσης. Οι Zavattaro et al. (2015) αναφέρουν ότι οι θετικές επιδράσεις στην απόδοση είναι εμφανής μόνο μετά από αρκετά χρόνια εφαρμογής κομπόστ, ενώ οι Lehtinen et al. (2017) δεν παρατήρησαν διαφορές στην απόδοση αραβοσίτου μεταξύ των διαφόρων μειγμάτων κομπόστ. Επίσης, οι Gil et al. (2008) δεν παρατήρησαν σημαντική αύξηση της απόδοσης του αραβοσίτου στα πειραματικά τεμάχια όπου εφαρμόστηκε ανόργανη λίπανση με κόπρο σε σχέση με αυτά όπου εφαρμόστηκε μόνο ανόργανη λίπανση. Αντιθέτως, οι Prapit and Katoh (2010) παρατήρησαν ότι η υπερβολική εφαρμογή του κομπόστ ιλύος επηρέασε αρνητικά την απόδοση του αραβοσίτου λόγω της μεγάλης συσσώρευσης των θρεπτικών στοιχείων P, K και Ca στο έδαφος.



Σχήμα 12. Επίδραση των τεσσάρων επιπέδων ιλύος ή κόπρου και των δύο επιπέδων ανόργανης λίπανσης στην απόδοση αραβοσίτου (kg/στρέμμα).

3.3.5. Βάρος χιλίων κόκκων

Το βάρος χιλίων κόκκων επηρεάστηκε μόνο από τη χρήση της ανόργανης λίπανσης. Γενικά, το μεγαλύτερο βάρος χιλίων κόκκων παρατηρήθηκε στα πειραματικά τεμάχια όπου εφαρμόστηκαν δύο τόνοι ιλύος με και χωρίς ανόργανο λίπασμα ή κόπρου με λίπασμα με τις μεγαλύτερες τιμές να εμφανίζονται στα πειραματικά τεμάχια όπου χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις τόνοι ιλύος με λίπασμα (367,25 g/1000 κόκκους) και κόπρου με λίπασμα (371,75 g/1000 κόκκους) (Σχήμα 13). Σε αντίθεση με τα αποτελέσματα αυτά, οι Bazzoffi et al. (1998) διαπίστωσαν ότι κομπόστ προερχόμενο από αστικά απόβλητα επηρέασε αρνητικά το βάρος κόκκου του αραβοσίτου σε σχέση με την ανόργανη λίπανση.



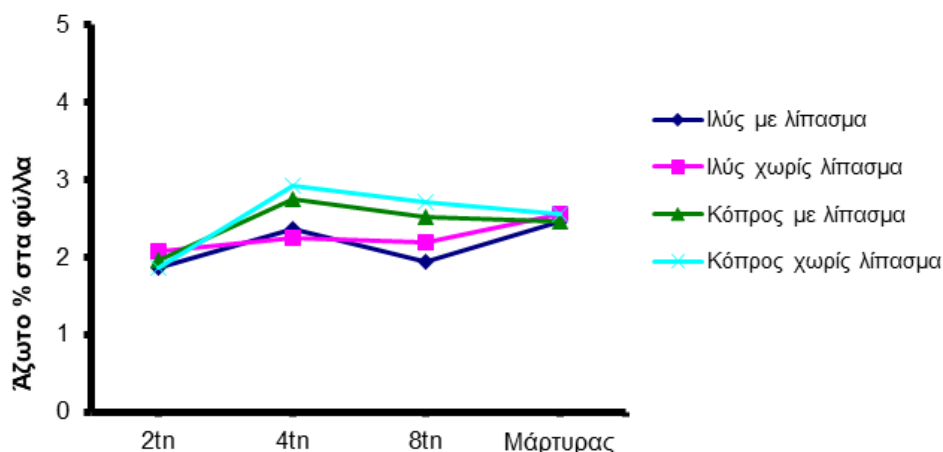
Σχήμα 13. Επίδραση των τεσσάρων επιπέδων ιλύος ή κόπρου και των δύο επιπέδων ανόργανης λίπανσης στο βάρος 1000 κόκκων.

3.4. Αναλύσεις φυτικών ιστών αραβοσίτου

3.4.1. Συγκέντρωση αζώτου στα φύλλα

Τα δεδομένα της περιεκτικότητας των ιστών σε θρεπτικά στοιχεία έδειξαν ότι η συγκέντρωση του αζώτου στα φύλλα επηρεάστηκε σημαντικά από την ποσότητα της ύλης (κόπρος, ιλύς) που χρησιμοποιήθηκε και από την αλληλεπίδραση του είδους της ύλης και της ποσότητας που χρησιμοποιήθηκε. Ειδικότερα, κατά μέσο όρο του είδους της ύλης και της ποσότητας (όλων των επεμβάσεων), η συγκέντρωση του αζώτου ήταν μεγαλύτερη στα πειραματικά τεμάχια του μάρτυρα (με και χωρίς χρήση λιπάσματος) και μικρότερη συγκέντρωση του αζώτου στα πειραματικά τεμάχια που εφαρμόστηκαν δύο τόνοι ιλύος ή κόπρου με και χωρίς λίπανση. Στα πειραματικά

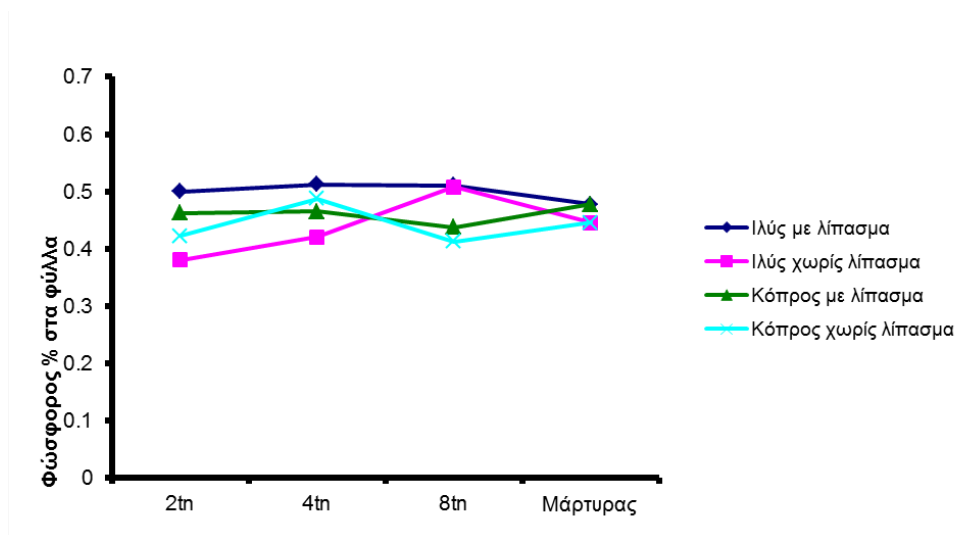
τεμάχια που εφαρμόστηκαν τέσσερις και οκτώ τόνοι, η συγκέντρωση του αζώτου ήταν μεγαλύτερη εκεί όπου εφαρμόστηκε κόπρος χωρίς λίπανση και με λίπανση και μικρότερη εκεί όπου εφαρμόστηκε ιλύς με και χωρίς λίπανση (Σχήμα 14).



Σχήμα 14. Επίδραση των τεσσάρων επιπέδων ιλύος ή κόπρου και των δύο επιπέδων ανόργανης λίπανσης στη συγκέντρωση αζώτου (%) στα φύλλα.

3.4.2. Συγκέντρωση φωσφόρου στα φύλλα

Τα δεδομένα της συγκέντρωσης του φωσφόρου στα φύλλα έδειξαν ότι αυτή επηρεάστηκε σημαντικά από τη χρήση λιπασμάτων και από την αλληλεπίδραση μεταξύ του είδους του υλικού που χρησιμοποιήθηκε (ιλύς ή κόπρος) και της ποσότητας. Γενικά, η συγκέντρωση του φωσφόρου στα τέσσερα επίπεδα ιλύος ήταν μεγαλύτερη εκεί όπου έγινε χρήση λιπασμάτων. Ειδικότερα, στα πειραματικά τεμάχια όπου εφαρμόστηκαν δύο και τέσσερις τόνοι ιλύος χωρίς λίπανση, η συγκέντρωση του φωσφόρου ήταν σημαντικά μικρότερη από ό,τι εκεί όπου εφαρμόστηκαν οκτώ τόνοι. Τέλος, στα φυτά του μάρτυρα δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ της χρήσης ή μη λίπανσης (σχήμα 15).

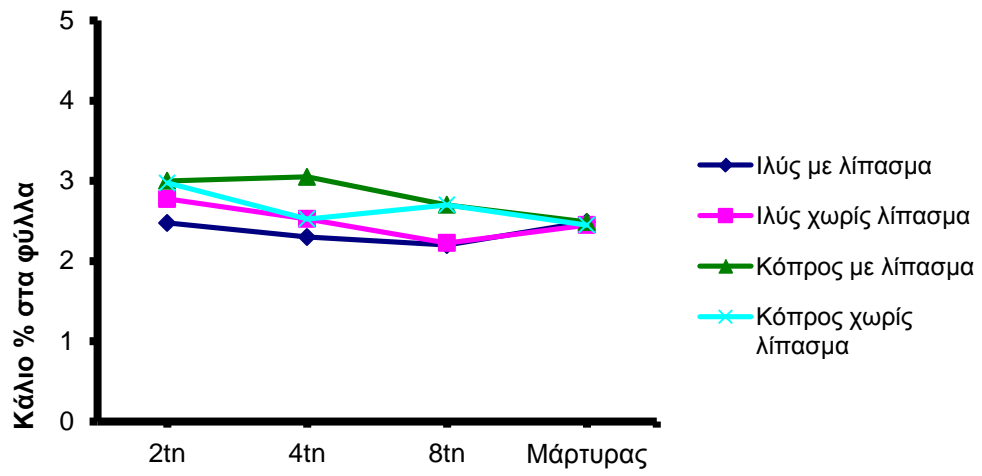


Σχήμα 15. Επίδραση των τεσσάρων επιπέδων ιλύος ή κόπρου και των δύο επιπέδων ανόργανης λίπανσης στη συγκέντρωση φωσφόρου (%) στα φύλλα.

3.4.3. Συγκέντρωση καλίου στα φύλλα

Η συγκέντρωση του καλίου στα φύλλα επηρεάστηκε από το είδος του υλικού που εφαρμόστηκε και τη ποσότητά του. Γενικά, στα τέσσερα επίπεδα κόπρου, η περιεκτικότητα σε κάλιο ήταν μεγαλύτερη στους δύο τόνους και μικρότερη στο μάρτυρα. Ειδικότερα, στα πειραματικά τεμάχια όπου εφαρμόστηκαν δύο, τέσσερις και οκτώ τόνοι ιλύος, η περιεκτικότητα σε κάλιο ήταν μικρότερη εκεί όπου εφαρμόστηκαν ταυτόχρονα με λίπανση από ό,τι εκεί όπου δεν εφαρμόστηκε λίπανση. Στα φυτά του μάρτυρα όπου δεν χρησιμοποιήθηκε ιλύς ή κόπρος, η περιεκτικότητα σε κάλιο δεν επηρεάστηκε από τη χρήση λιπάσματος (Σχήμα 16). Παρόμοια αποτελέσματα και για τα τρία στοιχεία αναφέρονται από τους Tsadilas et al. (1995), οι οποίοι παρατήρησαν αύξηση θρεπτικών στοιχείων στους φυτικούς ιστούς στα πειραματικά τεμάχια όπου εφαρμόστηκε ιλύς σε σχέση με το μάρτυρα. Αντίθετα, οι Samara et al. (2017) δεν παρατήρησαν σαφή επίδραση της ιλύος στις συγκεντρώσεις θρεπτικών στοιχείων σε φυτικούς ιστούς σιταριού. Επίσης, οι Jarausch-Wehrheim et al. (2001) παρατήρησαν μικρότερα ποσοστά αζώτου, φωσφόρου και καλίου σε φυτικούς ιστούς αραβοσίτου που καλλιεργήθηκαν με χρήση ιλύος 100 tn/ha σε σύγκριση με φυτά που προέρχονταν από καλλιέργεια με χρήση κόπρου 10 tn/ha⁻¹ και ανόργανης λίπανσης.

Σχήμα 16. Επίδραση των τεσσάρων επιπέδων ιλύος ή κόπρου και των δύο



επιπέδων ανόργανης λίπανσης στη συγκέντρωση καλίου % στα φύλλα.

4. Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής επιτρέπουν την εξαγωγή των παρακάτω συμπερασμάτων:

1. Το ύψος των φυτών και ο αριθμός των φύλλων δεν επηρεάστηκαν σημαντικά από τη χρήση ιλύος ή κόπρου και της ανόργανης λίπανσης.
2. Το νωπό βάρος των φυτών δεν επηρεάστηκε σημαντικά αν και μικρή αύξηση παρατηρήθηκε εκεί όπου έγινε χρήση ανόργανης λίπανσης.
3. Η απόδοση σε καρπό αραβοσίτου επηρεάστηκε από το είδος του υλικού (ιλύς, κόπρος), την ποσότητα που χρησιμοποιήθηκε και τη χρήση ανόργανης λίπανσης.
Πιο συγκεκριμένα,
Η απόδοση σε καρπό αραβοσίτου ήταν σημαντικά μεγαλύτερη στα πειραματικά τεμάχια όπου εφαρμόστηκαν τέσσερις τόνοι ιλύος ή κόπρου και ανόργανη λίπανση σε σύγκριση με το μάρτυρα.
4. Το βάρος χιλίων κόκκων επηρεάστηκε μόνο από τη χρήση της ανόργανης λίπανσης.
5. Η περιεκτικότητα αζώτου και φωσφόρου στα φύλλα επηρεάστηκε σημαντικά από την ποσότητα της ύλης (κόπρος, ιλύς) και από την αλληλεπίδραση του είδους της ύλης και της ποσότητας που χρησιμοποιήθηκε. Υψηλότερα ποσοστά παρατηρήθηκαν στις εφαρμογές των τεσσάρων τόνων ανά στρέμμα και στους μάρτυρες.
6. Η συγκέντρωση του καλίου στα φύλλα επηρεάστηκε από το είδος του υλικού που εφαρμόστηκε και από την ποσότητά του. Υψηλότερα ποσοστά παρατηρήθηκαν στις εφαρμογές των δύο τόνων ανά στρέμμα με υψηλότερη τιμή τους τέσσερις τόνους ανά στρέμμα στην εφαρμογή της κόπρου με λίπανση.
7. Η οργανική ουσία στο έδαφος επηρεάστηκε από το είδος του υλικού, την ποσότητα και από τη χρήση ή μη ανόργανης λίπανσης με καλύτερα αποτελέσματα στην ιλύ έναντι της κόπρου.
8. Το pH του εδάφους επηρεάστηκε μόνο από τη χρήση των χημικών λιπασμάτων με ελαφριά μείωση του στις εφαρμογές με ανόργανη λίπανση.
9. Η συγκέντρωση του αζώτου και φωσφόρου στο έδαφος επηρεάστηκε από το είδος του υλικού που χρησιμοποιήθηκε, τη χρήση ή μη ανόργανης λίπανσης και από την αλληλεπίδραση μεταξύ της ποσότητας της ύλης και της χρήσης ή μη ανόργανης

λίπανσης. Εμφανώς μεγαλύτερη διαφοροποίηση είχαμε στα πειραματικά τεμάχια όπου εφαρμόστηκε ανόργανη λίπανση.

10. Η συγκέντρωση καλίου στο έδαφος επηρεάστηκε μόνο από το είδος του υλικού που χρησιμοποιήθηκε και από την ποσότητά του με υψηλότερα αποτελέσματα στις εφαρμογές των οκτώ τόνων.

5. Βιβλιογραφία

- Αγγελάκης Α., Βούρβαχη Κ., Διαβάτης Η., Ευμορφοπούλου Α., Κάρτσωνας Ν., Μαμάης Δ., Στάμου Α. και Μποσδογιάννη Α. 2005. Εναλλακτικοί τρόποι διαχείρισης των παραπροϊόντων από εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων. ΤΕΕ, Μόνιμη Επιτροπή Οικολογίας Περιβάλλοντος 103 σελ.
- Adegbidi H.G., Briggs R.D., Volk T.A., White E.H., Abrahamson L.P. 2003. Effect of organic amendments and slow-release nitrogen fertilizer on willow biomass production and soil chemical characteristics. *Biomass and Bioenergy* 25: 389–398.
- Al-Kanani T., Akochi E., MacKenzie A. F., Alli I. and Barrington S. 1992. Organic and inorganic amendments to reduce ammonia losses from liquid hog manure. *J. Environ. Qual.*21: 709–715.
- Amundson R., Berhe A., Hopmans J., Olson C., Sztein A., Sparks D. 2015. Soil and human security in the 21st century. *Science*.348:647.
- Antoniadis V., S.D. Koutroubas and S. Fotiadis. 2015. Nitrogen, phosphorus, and potassium availability in manure- and sewage sludge- applied soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 46: 393-404.
- Banks I.J., (Doctoral thesis) 2014. To Assess the Impact of Black Soldier Fly(*Hermetia illucens*) Larvae on Faecal Reduction in Pit Latrines. London School of Hygiene and Tropical Medicine.
- Basso B., Ritchie J.T. 2005. Impact of compost, manure and inorganic fertilizer on nitrate leaching and yield for a 6-year maize-alfalfa rotation in Michigan. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 108:329–341.
- Bazzoffi P., Pellegrini S., Rocchini A., Morandi M., Grasselli O. 1998. The effect of urban refuse compost and different tractors types on soil physical properties, soil erosion and maize yield. *Soil and Tillage Research* 48: 275–286.
- Brown S., Cotton M. 2011. Changes in soil properties and carbon content following compost application: results of on farm sampling. *Compost Sci Util.* 19:87–96.
- Bruce A.M. and Evans T.D. 2002. Sewage sludge disposal: Operational and environmental issues. A review of current Knowledge. Foundation For Water research UK.
- Bueno J.R.P., Berton R.S., Da Silveira A.P.D., Chiba M.K., De Andrade C.A., De Maria, I.C. 2011. Chemical and microbiological attributes of an oxisol treated

- with successive applications of sewage sludge. *R. Bras. Ci. Solo* 35, 1461–1470.
- Bulluck III L.R., Brosius M., Evanylo G.K., Ristaino J.B. 2002. Organic and synthetic fertility amendments influence soil microbial, physical and chemical properties on organic and conventional farms. *Applied Soil Ecology* 19: 147–160.
- Businelli M., Gigliotti G., Giusquiani P.L. 1990. Applicazione contribute del compost da RSU in agricoltura. I: Effetto sulla produttività del mais e destino dei nutrienti e dei metalli pesanti nel vegetale (Application of Urban Refuse compost in agriculture. I: effect on maize productivity, nutrient and heavy metal location in plants). *Agrochimica* 34: 454–466.
- Case S.D.C., Oelofse M., Houb Y., Oenema O., Jensen L.S. 2017. Farmer perceptions and use of organic waste products as fertilizers – A survey study of potential benefits and barriers *Agricultural Systems* 151: 84–95.
- Δαλιάνης Κ., 1999. Ανοιξιάτικα σιτηρά. Αθήνα, εκδόσεις Αθην. Σταμούλης 416 σελ.
- D'Hose T., Cougnon M., De Vlieghe A., Willekens K., Van Bockstaele E., Reheul D. 2012. Farm compost application: effects on crop performance. *Compost Sci Util.* 20:49–56.
- D'Hose T., Cougnon M., De Vlieghe A., Vandecasteele B., Viane N., Cornelis W., Van Bockstaele E., Reheul D. 2014. The positive relationship between soil quality and crop production: a case study on the effect of farm compost application. *Appl Soil Ecol.* 75:189–198.
- Diacono M, Montemurro F. 2010. Long-term effects of organic amendments on soil fertility. A review. *Agronomy Sustainable Dev.* 30:401–422.
- Diener S., Studt Solano N.M., Roa Gutiérrez F., Zurbrugg C., Tockner K. 2011. Biological treatment of municipal organic waste using black soldier fly larvae. *Waste Biomass Valorization* 2, 357–363.
- Δόρδας Χ. 2014. Λίπανση αραβοσίτου. Ολοκληρωμένη διαχείριση και αποτελεσματική χρήση των θρεπτικών στοιχείων 2014. Γεωργίακτηνοτροφία τεύχος 10: 32-38.
- Emmerling C., Udelhoven T., Schneider R. 2010. Long-lasting impact of biowaste-compost application in agriculture on soil-quality parameters in three different crop-rotation systems. *J Plant Nutr. Soil Sci.* 173:391–398.

- Ευγενίδης Γεώργιος και Μελλίδης Βασίλειος 2003. Θρέψη και λίπανση καλαμποκιού. Γεωργία και κτηνοτροφία τεύχος 10:18-24.
- Ferreiro-Domingez N., A. Rigueiro-Rodriguez and M.R. Mosquera-Losada. 2011. Response to sewage sludge fertilisation in a *Quercus ruba* L. silvopastoral system. Soil, plant biodiversity and tree and pasture production. *Agriculture Ecosystems and Environment* 141: 49-57.
- Φίλιππας Α. 2009. Διαχείριση ιλύων από εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων στην Ευρώπη με έμφαση στην Ελλάδα. Μεταπτυχιακή εργασία σελ.119.
- Francis J. L., Dan M. S., Katherine E. B. and Bahman E. 2006. The role of composting in recycling manure nutrients. *Canadian Journal of Soil Science* 2006:597-611.
- Fytili, D., Zabaniotou, A. 2008. Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods - a review. *Renew. Sust. Energ. Rev.* 12, 116–140.
- Garcia-Gil J.C., C. Plaza, P. Soler-Rovira, A. Polo 2000. Long-term effects of municipal solid waste compost application on soil enzyme activities and microbial biomass. *Soil Biology and Biochemistry* 32: 1907-1913.
- Gil M.V., Carballo M.T., Calvo L.F. 2008. Fertilization of maize with compost from cattle manure supplemented with additional mineral nutrients. *Waste Management* 28 1432–1440.
- Giraldi D., Masciandaro G., Peruzzi E., Bianchi V., Peruzzi P., Ceccanti B., Iannelli R. 2008. Hydraulic and biochemical analysis on real scale sludge consolidation reed beds in Tuscany (Italy). In: Billore S., Dass P., Vymazal J. (Eds.), *Proceedings of the 11th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control*, Indore, India.
- Guo M., W. Song and R. Kazda. 2012. Fertilizer value of lime-stabilized biosolids as a soil amendment. *Agronomy Journal* 104: 1679-1686.
- Hagreaves J.C., Adl M.S., Warman P.R. 2008. A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture. *Agric. Ecosyst. Environ.* 123, 1–14.
- Hartl W, Erhart E. 2005. Crop nitrogen recovery and soil nitrogen dynamics in a 10-year field experiment with biowaste compost. *J Plant Nutr Soil Sci.* 168:781–788.
- Hati M. Kuntal, Swarup Anand, Dwivedi A.K, Misra A.K., Bandyopadhyay K.K. 2007. Changes in soil physical properties and organic carbon status at the topsoil horizon of a vertisol of central India after 28 years of continuous

- cropping, fertilization and manuring. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 119 (2007) 127–134
- Hernández T., Moreno J. and Costa F. 1991. Influence of sewage sludge application on crop yields and heavy metal availability. *Soil Science and Plant Nutrition*, 37:2: 201-210.
- Hoffer G.N. and B.A.Krantz.1949. Deficiency symptoms of corn and small grains in Hunger Signs of Crops. Am. Soc. Agron. Publication.
- Jarausch-Wehrheim B., Mocquot B. and Mench M. 2001. Effect of long term sewage sludge application on the distribution of nutrients in maize (*Zea Mays* L.). *Journal of plant nutrition*, 24(9), 1347-1365.
- Θεριός Ι. 1996. Ανόργανη θρέψη και λιπάσματα. (1^η έκδοση). Θεσσαλονίκη, εκδόσεις Γ. Δεδούση 392 σελ.
- Kalongo Y., Monteith H, 2008. State of Science Report: Energy and Resource Recovery from Sludge. Canada, USA.
- Καραμάνος Ανδρέας 1999. Τα σιτηρά των θερμών κλιμάτων (Αραβόσιτος – Σόργο - Ρύζι - Κεχρί). Αθήνα, εκδόσεις Παπαζήση ΑΕΒΕ 384 σελ.
- Κατσαντώνης Ν., Ευγενίδης Γ., Μπλαδενοπούλου Σ., Σιμώνης Α. 1997. Θρέψη καλαμποκιού: Ι. Πρόσληψη και κατανομή των στοιχείων Ν, Ρ, Κ στα φυτικά μέρη τριών υβριδίων καλαμποκιού. *Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα* 8(3):17-24.
- Κελεσίδης Α. 2010. Διερεύνηση των μεθόδων επεξεργασίας και τελικής διάθεσης της ιλύος στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Διπλωματική εργασία σελ.229.
- Körschens M., Alber E, Armbruster M., Barkusky D., Baumecker M., Behle-Schalk L., Bischof R., Čergan Z., Ellmer F., Herbst F., et al. 2013. Effect of mineral and organic fertilization on crop yield, nitrogen uptake, carbon and nitrogen balances, as well as soil organic carbon content and dynamics: results from 20 European long-term field experiments of the twenty-first century. *Arch Agron Soil Sci.* 59:1017–1040.
- Lalander C., Diener S., Magri M.E., Zurbrügg C., Lindström A., Vinnerås B. 2013. Faecal sludge management with the larvae of the black soldier fly (*Hermetia illucens*) – from a hygiene aspect. *Sci. Total Environ.* 458–460, 312–318.

- Lalander C.H., Fidjeland J., Diener S., Eriksson S., Vinnerås B., 2014. High waste-to-biomass conversion and efficient *Salmonella* spp. reduction using black soldier fly for waste recycling. *Agron. Sustain. Dev.* 35, 261–271.
- Lalander C.H., Komakech A.J., Vinnerås, B., 2015. Vermicomposting as manure management strategy for urban small-holder animal farms – Kampala case study. *Waste Manage.* 39:96–103.
- Lehtinen T., Dersch G., Söllinger J., Baumgarten A., Schlatter N., Aichberger K. & Spiegel H. 2017. Long-term amendment of four different compost types on a loamy silt Cambisol: impact on soil organic matter, nutrients and yields, *Archives of Agronomy and Soil Science*, 63:5, 663-673.
- Leiro´s, M.C., Gil-Sotres, F., Ceccanti, B., Trasar-Cepeda, M.C.,González-Sangregorio, M.V, 1993. Humification processes in reclaimed open-cast lignite mine soils. *Soil Biology and Biochemistry* 25,1391–1397.
- Leroy L.M.M. Ben, Bommele Lydia , Reheul Dirk, Moens Maurice , Maurice De Neve Maurice 2007.The application of vegetable, fruit and garden waste (VFG) compost in addition to cattle slurry in a silage maize monoculture: Effects on soil fauna and yield *European Journal of Soil Biology* 43 (2007) 91e100
- Liénard A., Duchène Ph., Gorini D. 1995. A study of activated sludge dewatering in experimental reed-planted or unplanted sludge drying beds. *Water Science and Technology* 32 (3), 251–261.
- Lopez-Diaz M.L., M.R. Mosquera-Losada and A. Rigueiro-Rodriguez. 2007. Lime, sewage sludge and mineral fertilization in a silvopastoral system developed in very acid soils. *Agroforestry Systems* 70: 91-101.
- Logan, T.J., Harrison, B.J. 1995. Physical characteristics of alkaline stabilized sewage sludge (N-Viro soil) and their effects on soils physical properties. *J. Environ.Qual.* 24, 153–164
- Mantovi P., G. Baldoni and G. Toderi. 2005. Reuse of liquid, dewatered, and composted sewage sludge on agricultural land: effects of long-term application on soil and crop. *Water Research* 39: 289-296.
- Martínez-Blanco J, Lazcano C, Christensen TH, Muñoz P, Rieradevall J, Møller J, Antón A, Boldrin A. 2013. Compost benefits for agriculture evaluated by life cycle assessment. *Review Agron Sustainable Dev.* 33:721–732.

- Maswar and Soelaeman Yoyo 2016. Effects of organic and chemical fertilizer inputs on biomass production and carbon dynamics in a maize farming on ultisols. *Agrivita Journal of Agricultural Science*. 38(2): 133-141.
- McAllister T. A., Larney F. J., Miller J. J., Yanke L. J. and Walker I. 1998. Wood chips vs. straw for bedding. *Canadian Cattlemen – The Beef Magazine* 61(10A): 26–30.
- Mendoza J., Garrido T., Castillo G. and San Martin N. 2006. Metal availability and uptake by sorghum plants grown in soils amended with sludge from different treatments. *Chemosphere*, 65(11), 2304-2312.
- Merrington G., Oliver I., Smernik R.J. and McLaughlin M.J. 2003. The influence of sewage sludge properties on sludge-borne metal availability. *Adv. Environ Res.*, 8, 21-36.
- Metcalf & Eddy 2007. Μηχανική Υγρών Αποβλήτων - Επεξεργασία & Επαναχρησιμοποίηση, Τόμος Β', Τέταρτη έκδοση. Εκδόσεις Τζιόλα, Μετάφραση από τους Κούγκολο Α. και Σαμαρά Π. του πρωτότυπου συγγράμματος: *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse*, Metcalf & Eddy, Inc, 4th edition, revised by George Tchobanoglous, Franklin L. Burton, H. David Stensel, McGraw-Hill Companies Inc.
- Mills H.A. and J. Benton-Jones Jr. 1996. *Plant Analysis Handbook II. Micro-Macro Publishing*. Athens, Georgia.
- Morera M.T., J.C. Echeverria and J.J. Garrido. 2001. Mobility of heavy metals in soils amended with sewage sludge. *Canadian Journal of Soil Science* 81: 405-414.
- Nascimento A.L., Sampaio R.A., Fernandes L.A., Zuba Jr. G.R., Carneiro J.P., Rodrigues M.N., De Albuquerque H.C. 2013. Yield and nutrition of sunflower fertilized with sewage sludge stabilized by different processes. *Rev. Ceres Vicoso* 60, 683–689.
- Ndegwa P.M., Thompson S.A., Das K.C., 2000. Effects of stocking density and feeding rate on vermicomposting of biosolids. *Bioresour. Technol.* 71, 5–12.
- Nielsen S. 2008. Sludge treatment and drying reed bed systems 20 years of experience. In: *Proceedings of the European Conference on Sludge Management*, Liège, Belgium.
- Oonincx D.G.A.B., Van Huis A., Van Loon J.J.A. 2015. Nutrient utilisation by black soldier flies fed with chicken, pig, or cow manure. *J. Insects Food Feed* 1:131–139.

- Otterpohl R., Buzie, C. 2013. Treatment of the solid fraction. In: Larsen T.A., Udert K., Lienert J. (Eds.), *Source Separation and Decentralization for Wastewater Management*. IWA Publishing, London, UK, : 259–273.
- Paino V., Peillex J.P., Montlahuc O., Cambon A., Bianchini J.P. 1996. Municipal tropical compost: Effect on crops and soil properties. *Compost Science and Utilization* 4: 62–69.
- Παπακώστα Δέσποινα-Τασοπούλου 2012. Ειδική γεωργία σιτηρά και ψυχανθή. Θεσσαλονίκη, εκδόσεις Σύγχρονη Παιδεία 760σελ.
- Papastergiadis E., Sklar, S., Zouboulis A., Chasiotis A., Samaras P, 2015. The use of steelmaking slag for sewage sludge stabilization. *Desalin. Water Treat.* 55,1697–1702.
- Parkinson R.,Gibbs P., Burchett S., Misselbrook T, 2004. Effect of turning regime and seasonal weather conditions on nitrogen and phosphorus losses during aerobic composting of cattle manure. *Bioresource Technology* 91: 171–178.
- Prapit S. and Kunihiro K.,2010. Effects of Long-term Organic Material Amendments on Soil Properties and Corn Yield in Rain fed Area of Thailand. *Jarq* 44 (2): 133–141.
- Rudolfs W. 1928. Sewage sludge as fertilizer. *Soil Science* 26: 455-458.
- Rynk R. 1992. *On-farm composting handbook*. Publ. NRAES-54,Northeast Regional Agric. Engineering Serv., Coop. Ext. Serv.,Ithaca, NY.
- Salter R.M., and C. J. Schollenberger 1938. Farm manure, in *Soil and Men*. USDA Yrbk. : 445-467.
- Samara E., Matsi T., Balidakis A. 2017. Soil application of sewage sludge stabilized with steelmaking slag and its effect on soil properties and wheat growth. *Waste Management* 68 :378–387.
- 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
- Singh R.P. and M. Agrawal. 2008. Potential benefits and risks of land application of sewage sludge. *Waste management* 28: 347-358.
- Singh R.P., P. Singh, M.H. Ibrahim and R. Hashim. 2011. Land application of sewage sludge: physicochemical and microbial response. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology* 214: 41–61.

- Smith D. W. 1978. Water relations of microorganisms in nature. Pages 369–380 in D. J. Kushner, ed. *Microbial life in extreme. Environments*. Academic Press, New York, NY.
- Soumare´ M., Tack F.M.G., Verloo M.G. 2003. Effects of a municipal solid waste compost and mineral fertilization on plant growth in two tropical agricultural soils of Mali. *Bio resource Technology* 86, 15–20.
- Su D.C., Wong J.W.C. 2002. The growth of corn seedling in alkaline coal fly ash stabilized sewage sludge. *Water Air Soil Pollut.* 133, 1–13.
- Thangarajan R, Bolan N., Tian G, Naidu R, Kunhikrishnan A. 2013. Role of organic amendment application on greenhouse gas emission from soil. *Sci Total Environ.* 465:72–96.
- Tits M., Elsen A., Bries J., Vandendriessche H., 2014. Short-term and long-term effects of vegetable, fruit and garden waste compost applications in an arable crop rotation in Flanders. *Plant Soil.* 376:43–59.
- Troesch S., Liènard A., Molle P., Merlin G., Esser D. 2008. Treatment of septage in sludge drying reed beds: a case study on pilot-scale beds. In: Billore S., Dass, P., Vymazal J. (Eds.), *Proceedings of the 11th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control*, Indore, India.
- Tsadilas C.D., Matsi T., Barbayiannis N. and Dimoyiannis D. 1995. Influence of sewage sludge application on soil properties and on the distribution and availability of heavy metal fractions. *Common Soil Sci Plan*, 26(15-16), 2603-2619.
- Turovskiy Izrail S., Mathai P. K. 2006. *Wastewater Sludge Processing*, Wiley-interscience.
- Tyagi V.K., Lo, S.-L. 2013. Sludge: a waste or renewable source for energy and resources recovery? *Renew. Sustain. Energy Rev.* 25, 708–728.
- Tziachris P., Lekakis E., Zambetoglou K., Metaxa I. and Papadopoulos F. 2015. Application of sewage sludge and influence on soil properties and heavy metal availability. A case study in Thessaloniki plain-Greece. *Proceedings of the 14th International Conference on Environmental Science and Technology Rhodes, Greece, 3-5 September 2015*.
- Uggetti E., Llorens E., Pedescoll A., Ferrer I., Castellnou R., García J. 2009. Sludge dewatering and stabilization in drying reed beds: characterization of three

- fullscale systems in Catalonia, Spain. *Bio resource Technology* 100: 3882–3890.
- Uggetti E., Ferrer I., Llorens E., García J. 2010. Sludge treatment wetlands: A review on the state of the art. *Bio resource Technology* 101:2905–2912.
- Wallace P., Carter C. 2007. Effects of compost on yields of winter wheat and barley, sugar beet, onion and swede in the fourth and fifth years of a rotation. Project Report No. 422. [cited 2015 Oct 14].
- Wang Lawrence K., Shammass Nazih K., Hung Yung-Tse 2007. *Biosolids Treatment Processes* Lawrence : 820
- Wang Lawrence K., Shammass Nazih K., Hung Yung-Tse 2008. *Biosolids Engineering and Management, Handbook of Environmental Engineering Series, Vol 7*, Humana Press.
- Wysokinski, A., Kalembasa, S. 2009. Influence of alkalizing and composting of sewage sludge on copper and zinc content in plants and soil. *Environ. Prot. Eng.* 35, 81-88 .
- Yadav A., Garg V.K. 2009. Feasibility of nutrient recovery from industrial sludge by vermicomposting technology. *J. Hazard. Mater.* 168:262–268.
- Zavattaro L., Costamagna C., Grignani C., Bechini L. 2014. Impacts of soil management on productivity. Catch-C deliverable D3.324. [cited 2015 Jul 9].
- Zavattaro L., Costamagna C., Grignani C., Bechini L., Spiegel A., Lehtinen T., Guzmán G., Krüger J., D'Hose T., Pecio A, et al. 2015. Long-term effects of best management practices on crop yield and nitrogen surplus. *Italian J Agron.* 10:47–50.
- Zhang Y., Zhang C., Zhang X., Feng L., Li Y., Zhou Q. 2016. Waste activated sludge hydrolysis and acidification: a comparison between sodium hydroxide and steel slag addition. *J. Environ. Sci.* 200–208.
- Zvomuya F., Larney F. J., Nichol C. K., Olson A. F., Miller J. J. and DeMaere P. R. 2005. Chemical and physical changes following co-composting of beef cattle feedlot manure with phosphogypsum. *J. Environ. Qual.* 34: 2318–2327.
- <http://www.cerealinstitute.gr>
- <http://www.fao.org/faostat/http://www>.
- <http://www.Wikipedia.com>,2013. Biosolids

6. Παράρτημα

6.1. Νομοθεσία χρήσης ιλύος στη γεωργία

Ευρωπαϊκή Νομοθεσία-Γενικό πλαίσιο

Τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωση από νωρίς διέγνωσαν τα προβλήματα που εμπειρείχε η χρήση της ιλύος καθαρισμού λυμάτων στην γεωργία και στο περιβάλλον και για αυτό θέσπισε μια σειρά οδηγιών για την ορθή χρήση της οι οποίες πρέπει να ενσωματωθούν στις εθνικές νομοθεσίες των κρατών – μελών .

Οι οδηγίες αυτές παρουσιάζονται παρακάτω:

Ειδικό πλαίσιο-Οδηγία 86/278/EEC

Αντικείμενο της παρούσας οδηγίας είναι να ρυθμίσει τη χρησιμοποίηση της ιλύος καθαρισμού λυμάτων στη γεωργία ώστε να αποφεύγονται επιβλαβείς επιπτώσεις στο έδαφος, τη βλάστηση , τα ζώα και τον άνθρωπο, ενθαρρύνοντας παράλληλα την ορθή της χρησιμοποίηση και την θέσπιση ορισμένων πρώτων κοινοτικών μέτρων στα πλαίσια της προστασίας του εδάφους από ορισμένα βαρέα μέταλλα που είναι τοξικά για τα φυτά και για τον άνθρωπο λόγω της παρουσίας τους στη συγκομιδή ορίζοντας υποχρεωτικές οριακές τιμές για τα στοιχεία αυτά στο έδαφος, καθώς και την απαγορεύσει χρησιμοποίησης της ιλύος όταν η συγκέντρωση αυτών των μετάλλων στο έδαφος υπερβαίνει τις οριακές αυτές τιμές.

Καθορίζονται επίσης κατ' έτος οι μέγιστες ποσότητες ιλύος που μπορούν να προστεθούν, φροντίζοντας ώστε η συγκέντρωση βαρέων μετάλλων στη χρησιμοποιούμενη ιλύ να μην υπερβαίνει τις οριακές τιμές, είτε με το να λαμβάνεται μέριμνα ώστε να τηρούνται οι οριακές τιμές για τις ποσότητες των βαρέων μετάλλων που μπορούν να προστεθούν στο έδαφος σε δεκαετή, κατά μέσον όρο, βάση.

Η ιλύς πρέπει να υφίσταται επεξεργασία πριν χρησιμοποιηθεί στη γεωργία και ότι τα κράτη μέλη μπορούν πάντως να επιτρέπουν, υπό ορισμένες προϋποθέσεις, τη χρησιμοποίηση μη επεξεργασμένης ιλύος, χωρίς κίνδυνο για την υγεία του ανθρώπου και των ζώων, εφόσον εγχέεται ή παραχώνεται στο έδαφος.

Η ιλύς μπορεί να χρησιμοποιείται στη γεωργία μόνον υπό την προϋπόθεση ότι η χρησιμοποίησή της ρυθμίζεται από το οικείο κράτος μέλος.

Οι τιμές συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων στα εδάφη τα οποία δέχονται την ιλύ, οι τιμές συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων στην ιλύ και οι ανώτατες ετήσιες ποσότητες

αυτών των βαρέων μετάλλων που μπορούν να εισάγονται στα προς καλλιέργεια εδάφη, περιλαμβάνονται στους πίνακες 2, 3 και 4 που ακολουθούν.

Πίνακας 2. Οριακές τιμές συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων στο έδαφος (mg/kg ξηράς ουσίας αντιπροσωπευτικού δείγματος του εδάφους με pH 6 έως 7)	
Παράμετροι	Οριακές τιμές (mg/kg ξηράς ουσίας)
Κάδμιο	1 έως 3
Χαλκός	50 έως 140
Νικέλιο	30 έως 75
Μόλυβδος	50 έως 300
Ψευδάργυρος	150 έως 300
Υδράργυρος	1 έως 1,5
Χρώμιο	—

Πίνακας 3. Οριακές τιμές συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων στην ιλύ που χρησιμοποιείται στην γεωργία	
Παράμετροι	Οριακές τιμές (mg/kg ξηράς ουσίας)
Κάδμιο	20 έως 40
Χαλκός	1 000 έως 1 750
Νικέλιο	300 έως 400
Μόλυβδος	750 έως 1200
Ψευδάργυρος	2500 έως 4 000
Υδράργυρος	16 έως 25
Χρώμιο	—

Πίνακας 4. Οριακές τιμές για τις ποσότητες βαρέων μετάλλων που μπορούν να εισάγονται κατ' έτος στα καλλιεργούμενα εδάφη με βάση μέσο όρο 10 ετών	
Παράμετροι	Οριακές τιμές (kg/ha/έτος)
Κάδμιο	0,15
Χαλκός	12
Νικέλιο	3
Μόλυβδος	
Ψευδάργυρος	15
Υδράργυρος	30
Χρώμιο	0,1
	—

Στην αρχική οδηγία δεν αποφασίστηκαν οριακές τιμές για το χρώμιο. Το Συμβούλιο θα καθόριζε τις οριακές αυτές τιμές αργότερα με βάση προτάσεις που θα υποβάλει η Επιτροπή μέσα σε ένα χρόνο από την κοινοποίηση της παρούσας οδηγίας

Τα κράτη μέλη απαγορεύουν τη χρήση ή την παράδοση ιλύος με σκοπό τη χρησιμοποίησή της σε:

- ❖ α) Λειμώνες ή εκτάσεις καλλιέργειας ζωοτροφών, αν οι λειμώνες πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για βοσκή ή οι ζωοτροφές πρόκειται να συγκομιστούν πριν από την πάροδο ενός ορισμένου χρονικού διαστήματος. Αυτό το χρονικό διάστημα, που καθορίζεται από τα κράτη μέλη λαμβανομένης υπόψη ιδίως της γεωγραφικής και κλιματολογικής τους κατάστασης, δεν μπορεί σε καμία περίπτωση να είναι κατώτερο από τρεις εβδομάδες .
- ❖ β) Καλλιέργειες οπωροκηπευτικών κατά την περίοδο της βλάστησης, με εξαίρεση τις καλλιέργειες οπωροφόρων δένδρων.
- ❖ γ) Εδάφη που προορίζονται για καλλιέργειες οπωροκηπευτικών οι οποίες συνήθως βρίσκονται σε άμεση επαφή με το έδαφος και κανονικά καταναλίσκονται σε νωπή κατάσταση, για περίοδο δέκα μηνών πριν από τη συγκομιδή και κατά τη διάρκεια της συγκομιδής.

Η χρησιμοποίηση ιλύος γίνεται σύμφωνα με τους ακόλουθους κανόνες:

- i. Για τη χρησιμοποίηση πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι ανάγκες θρέψεως των φυτών και να μην υπάρχουν δυσμενείς επιπτώσεις στην ποιότητα του εδάφους και των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων.
- ii. Όταν χρησιμοποιείται ιλύς σε εδάφη με pH χαμηλότερο από 6, τα κράτη μέλη λαμβάνουν υπόψη την αυξημένη κινητικότητα των βαρέων μετάλλων και την ευκολότερή απορρόφησή τους από τα φυτά, και μειώνουν, κατά περίπτωση, τις οριακές τιμές που καθόρισαν σύμφωνα με τον πίνακα 2.

Τα κράτη μέλη μεριμνούν ώστε να τηρούνται βιβλία στα οποία να σημειώνονται:

- i. Οι ποσότητες της παραγόμενης ιλύος και οι ποσότητες της ιλύος που παραδίδονται στη γεωργία.
- ii. Η σύνθεση και τα χαρακτηριστικά της ιλύος όσον αφορά τις παραμέτρους που αναφέρονται στον πίνακα 2
- iii. Το είδος της πραγματοποιούμενης επεξεργασίας
- iv. Τα ονόματα και τις διευθύνσεις των παραληπτών της ιλύος και οι τόποι όπου θα χρησιμοποιηθεί.

Αυτά τα βιβλία βρίσκονται στη διάθεση των αρμόδιων αρχών και χρησιμεύουν στη σύνταξη συγκεντρωτικών εκθέσεων. Οι μέθοδοι επεξεργασίας και τα αποτελέσματα των αναλύσεων ανακοινώνονται στις αρμόδιες αρχές μετά από αίτησή τους.

Τα κράτη μέλη έχουν το δικαίωμα, αν το απαιτούν οι συνθήκες, να θεσπίζουν αυστηρότερα μέτρα από αυτά που προβλέπονται στην οδηγία. Κάθε παρόμοια απόφαση ανακοινώνεται αμέσως στην Επιτροπή, σύμφωνα με τις υπάρχουσες συμφωνίες.

Γενικά, η ιλύς πρέπει να αναλύεται τουλάχιστον κάθε έξι μήνες. Εάν η ποιότητα των επεξεργασμένων λυμάτων μεταβάλλεται, η συχνότητα αυτών των αναλύσεων πρέπει να αυξάνεται. Αν τα αποτελέσματα των αναλύσεων δεν μεταβάλλονται σημαντικά κατά τη διάρκεια ενός έτους, η ιλύς πρέπει να αναλύεται τουλάχιστον κάθε δώδεκα μήνες και πρέπει να εξετάζονται οι ακόλουθες παράμετροι:

- Ξηρά ουσία
- Οργανική ύλη
- pH

- Άζωτο
- Φώσφορος
- Κάδμιο
- Χαλκός
- Νικέλιο
- Μόλυβδος
- Ψευδάργυρος
- Υδράργυρος
- Χρώμιο.

Πριν από κάθε χρησιμοποίηση της ιλύος, τα κράτη μέλη πρέπει να βεβαιώνονται ότι η περιεκτικότητα του εδάφους σε βαρέα μέταλλα δεν υπερβαίνει τις οριακές τιμές που καθορίζονται σύμφωνα με τον πίνακα 2. Για να επιτύχουν το σκοπό αυτό, τα κράτη μέλη αποφασίζουν τη διενέργεια αναλύσεων, λαμβάνοντας υπόψη τα διαθέσιμα επιστημονικά στοιχεία για τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα του εδάφους και την ομοιογένειά του. Τα κράτη μέλη αποφασίζουν για τη συχνότητα των επομένων αναλύσεων λαμβάνοντας υπόψη την περιεκτικότητα του εδάφους σε μέταλλα πριν από τη χρησιμοποίηση της ιλύος, την ποσότητα και τη σύνθεση της ιλύος που χρησιμοποιήθηκε καθώς και κάθε άλλο σχετικό στοιχείο. Οι παράμετροι που πρέπει να αναλύονται είναι οι εξής:

- pH
- Κάδμιο
- Χαλκός
- Νικέλιο
- Μόλυβδος
- Ψευδάργυρος
- Υδράργυρος
- Χρώμιο

Από την ανάλυση του εδάφους και της ιλύς που θα χρησιμοποιηθεί και με βάση τις οριακές τιμές για τις ποσότητες Βαρέων Μετάλλων που μπορούν να εισάγονται κατ' έτος στα καλλιεργούμενα εδάφη με βάση ένα μέσο όρο 10 ετών αποφασίζεται και η χρήση της ιλύος.

Μετά την εφαρμογή της οδηγίας τα κράτη μέλη τροποποίησαν τα όρια που έθετε αυτή και έτσι το κάθε κράτος όρισε νέα όρια με την εθνική νομοθεσία που εφάρμοσε και πρόσθεσαν και νέα στοιχεία. Τα όρια αυτά απεικονίζονται στον πίνακα 5.

Πίνακας 5. Νομοθετικά όρια βαρέων μετάλλων στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Mininni et al. 2014).

	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	As	Mo	Co	Se
Directive 86/278/EEC	20-40	-	1000-1750	6-25	300-400	750-1200	2500-4000				
Austria	2-10	50-500	300-500	2-10	25-100	100-500	1500-2000	20	20	10-100	
Belgium	6	250	375		100	300	900	150			
Belgium	10	500	600	10	100	500	2000				
Bulgaria	30	500	1600	16	350	800	3000				
Czech republic	5	200	500		100	200	2500	30			
Denmark	0.8	100	1000	0.8	30	120	4000				
Finland	3	300	600		100	150	1500				
France	20	1000	1000	0	200	800	3000				
Germany	10	900	800	8	200	900	2500				
Greece	20-40	500	1000-1750	6-25	300-400	750-1200	2500-4000				
Hungary	10	1000 1(CrVI)	1000	10	200	750	2500	75	20	50	100
Italy	20		1000	10	300	750	2500				
Netherlands	1.25	75	75	0.75	30	100	300	15			
Poland	10	500	800		100	300	2000				
Portugal	20	1000	1000	16	300	750	2500				
Romania	10	500	500	5	100	300	2000				
Slovenia	0.5	40	30	0.2	30	40	100				
Spain	20-40	1000-1750	1000-1750	6-25	300-400	750-1200	2500-4000				
Sweden	2	100	600	2.5	50	100	800				

Οδηγία 91/271/EC

Ασχολείται με τα μέτρα που απαιτούνται σε κοινοτικό επίπεδο όσον αφορά την επεξεργασία των αστικών λυμάτων και ότι η ρύπανση που οφείλεται σε ανεπαρκή επεξεργασία των λυμάτων σε ένα κράτος μέλος συχνά επηρεάζει τα ύδατα άλλων κρατών μελών.

Με την απαίτηση γενικώς της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας των λυμάτων, ώστε να αποφεύγονται οι αρνητικές επιδράσεις στο περιβάλλον από τη διάθεση ανεπαρκώς επεξεργασμένων αστικών λυμάτων, και ιδιαίτερα σε ευαίσθητες ζώνες να επιβάλλεται αυστηρότερη επεξεργασία και στις λιγότερο ευαίσθητες ζώνες ενδέχεται να επαρκεί η πρωτοβάθμια επεξεργασία .

Προωθεί την ανακύκλωση της λυματολάσπης που προκύπτει από την επεξεργασία των λυμάτων και την σταδιακή διακοπή της απόρριψης λυματολάσπης στα επιφανειακά ύδατα.

Τέλος οι σταθμοί επεξεργασίας λυμάτων, τα ύδατα και η διάθεση της λυματολάσπης πρέπει να παρακολουθούνται ώστε να διασφαλίζεται η προστασία του περιβάλλοντος από τις αρνητικές επιδράσεις της απόρριψης λυμάτων.

Οδηγία 91/676/EEC

Η οδηγία αυτή αφορά την διάχυτη ρύπανση των υδάτων στην Κοινότητα από τα νιτρικά ιόντα γεωργικής προέλευσης και τους τρόπους μείωσης, της ρύπανσης του νερού που οφείλεται άμεσα ή έμμεσα σε νιτρικά ιόντα γεωργικής προέλευσης ώστε να προληφθεί η περαιτέρω επιδείνωσή της, προκειμένου να προστατευθούν η ανθρώπινη υγεία, οι ζώντες πόροι και τα υδάτινα οικοσυστήματα και να εξασφαλισθούν οι άλλες θεμιτές χρήσεις του νερού.

Εξετάζει τα μέτρα που πρέπει να ληφθούν σχετικά με την αποθήκευση όλων των αζωτούχων ενώσεων και τη διασπορά τους στο έδαφος, καθώς και με ορισμένες πρακτικές διαχείρισης του εδάφους (αφορά έμμεσα και την ιλύ).

Οδηγία 1999/31/EC

Η οδηγία αυτή ασχολείται με θέματα υγειονομικής ταφής των απορριμμάτων θεσπίζει κανόνες δυσκολίας διάθεσης της ιλύος σε Χ.Υ.Τ.Α. και στοχεύει στη μείωση της ποσότητας των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων (συμπεριλαμβανομένης και της ιλύος) και απαγορεύει τη ταφή μη επεξεργασμένων αποβλήτων που οδηγούνται στους Χ.Υ.Τ.Α. Επίσης, η παραγόμενη ιλύς από την επεξεργασία αστικών λυμάτων

χαρακτηρίζεται ως μη επικίνδυνο απόβλητο που πρέπει να υποβάλλεται σε έλεγχο πριν από τη διάθεση του.

Οδηγία 99/30/EEC

Η Οδηγία αυτή καθορίζει τις οριακές τιμές διοξειδίου του θείου (SO₂), διοξειδίου του αζώτου (NO₂), οξειδίων του αζώτου (NO_x) και σωματιδίων του μολύβδου (Pb) στον αέρα του περιβάλλοντος ώστε να αποφεύγονται, να προλαμβάνονται, ή να μειώνονται οι επιβλαβείς επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων και στο σύνολο του περιβάλλοντος. Η Οδηγία αφορά την ιλύ σε σχέση με την πτητικοποίηση των συστατικών της κατά τη θερμική αξιοποίησή της.

Οδηγία 2000/60/EEC (Water Framework Directive)

Η Οδηγία αυτή θεσπίζει το πλαίσιο δράσης για την προστασία των επιφανειακών και υπογείων υδάτων σε όλους τους τομείς όπως στην ενεργειακή πολιτική, πολιτική μεταφορών αγροτική πολιτική, αλιευτική πολιτική κ.α. και ειδικότερα για την ιλύ στον έλεγχο των στραγγισμάτων της κατά την απόθεσή της στο έδαφος.

Οδηγία 2008/98/EEC

Η οδηγία αυτή καθορίζει τις βασικές έννοιες και τους ορισμούς που σχετίζονται με τη διαχείριση αποβλήτων, όπως ορισμοί των αποβλήτων, ανακύκλωση, ανάκτηση. Εξηγεί κατά πόσον τα απόβλητα παύουν να αποτελούν απόβλητα και καθίστανται δευτερογενείς πρώτες ύλες (τα αποκαλούμενα κριτήρια για το τέλος του αποβλήτου) και πώς να γίνεται διάκριση μεταξύ αποβλήτων και παραπροϊόντων. Η οδηγία ορίζει ορισμένες βασικές αρχές διαχείρισης αποβλήτων: απαιτεί τη διαχείριση των αποβλήτων χωρίς να τίθεται σε κίνδυνο η υγεία του ανθρώπου και να βλάπτεται το περιβάλλον και ιδίως χωρίς κίνδυνο για το νερό, τον αέρα, το έδαφος, τα φυτά ή τα ζώα, χωρίς να προκαλείται οχλήσεις από θόρυβο ή οσμές, και χωρίς να επηρεάζουν αρνητικά την ύπαιθρο ή τα μέρη ιδιαίτερου ενδιαφέροντος.

Ελληνική Νομοθεσία

Η εθνική νομοθεσία που σχετίζεται με την ιλύ είναι η παρακάτω:

- ❖ Νόμος 1650/1986 (ΦΕΚ 160/A/16.10.1986): Για την προστασία του περιβάλλοντος, όπως τροποποιήθηκε από τον Νόμο 3010/2002

- ❖ Κ.Υ.Α. 69269/5387/1990: Σχετικά με την κατάταξη έργων και δραστηριοτήτων σε κατηγορίες και το καθορισμό του περιεχομένου των Μελετών Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (Φ.Ε.Κ. 678/Β', 25-10-1990).
- ❖ Κ.Υ.Α 80568/4225/1991 (ΦΕΚ 6641/Β/7 8.1991): Για τη χρήση της ιλύος αποβλήτων στη γεωργία
- ❖ Κ.Υ.Α 82805/2224/1993 (ΦΕΚ 699/8/1993): Σχετικά με την πρόληψη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που προκαλείται από την καύση αστικών απορριμμάτων.
- ❖ Κ.Υ.Α 5673/400/5.3.97 (ΦΕΚ 192/Β/14.3.97): «Μέτρα και όροι για την επεξεργασία αστικών λυμάτων».
- ❖ Κ.Υ.Α 114218/1997 (ΦΕΚ 1016/Β/17.12.1997): Κατάρτιση πλαισίου προδιαγραφών και γενικών προγραμμάτων διαχείρισης στερεών αποβλήτων.
- ❖ Κ.Υ.Α 29407/3508/2002 (ΦΕΚ 1572/Β/16.12.2002): Μέτρα και όροι για την υγειονομική ταφή των αποβλήτων
- ❖ Κ.Υ.Α 50910/2727/2003 (ΦΕΚ 1909/Β/22.12.2003): Μέτρα και όροι για την διαχείριση Στερεών Αποβλήτων. Εθνικός και Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης.
- ❖ Κ.Υ.Α 22912/1117/2005 (ΦΕΚ 759 Β): «Μέτρα και όροι για την πρόληψη και τον περιορισμό της ρύπανσης του περιβάλλοντος από την αποτέφρωση των αποβλήτων»
- ❖ Κ.Υ.Α 13588/725/2006 (ΦΕΚ 383/Β/28.3.2006): «Μέτρα όροι και περιορισμοί για την διαχείριση επικίνδυνων αποβλήτων σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της Οδηγίας 91/689/ΕΟΚ "για τα επικίνδυνα απόβλητα" του Συμβουλίου της 12ης Δεκεμβρίου 1991».
- ❖ Κ.Υ.Α 24944/1159/2006 (ΦΕΚ 791/Β/30.6.2006): «Έγκριση Γενικών Τεχνικών Προδιαγραφών για την διαχείριση επικίνδυνων αποβλήτων».
- ❖ Κ.Υ.Α 8668/28.2.2007 (ΦΕΚ 287/Β/2.3.2007): «Έγκριση Εθνικού Σχεδιασμού Διαχείρισης Επικίνδυνων Αποβλήτων (ΕΣΔΕΑ), σύμφωνα με το άρθρο 5 (παρ. Α) της υπ' αριθμ. 13588/725 Κοινής Υπουργικής Απόφασης "Μέτρα, όροι και περιορισμοί για τη διαχείριση επικίνδυνων αποβλήτων κ.λπ." (Β' 383) και σε συμμόρφωση με τις διατάξεις του άρθρου 7 (παρ. 1) της υπ' αριθμ. 91/156/ΕΚ Οδηγίας του Συμβουλίου της 18ης Μαρτίου 1991. Τροποποίηση της υπ' αριθμ. 13588/725/2006 Κοινής

Υπουργικής Απόφασης "Μέτρα όροι και περιορισμοί για την διαχείριση επικίνδυνων αποβλήτων... κ.λ.π." (B' 383) και της υπ' αριθμ. 24944/1159/206 Κοινής Υπουργικής Απόφασης "Εγκριση Γενικών Τεχνικών Προδιαγραφών για την διαχείριση επικίνδυνων αποβλήτων κ.λ.π" (B' 791)».

- ❖ Η Ευρωπαϊκή Οδηγία 86/278/EE, η οποία αναφέρεται στην προστασία του περιβάλλοντος και του εδάφους κατά τη χρησιμοποίηση της ιλύος στη γεωργία, ενσωματώθηκε το 1991 στην Ελληνική νομοθεσία με την Κ.Υ.Α. 80568/4225 με τίτλο «Μέθοδοι, όροι και περιορισμοί για την χρησιμοποίηση στη γεωργία της ιλύος που προέρχεται από επεξεργασία οικιακών και αστικών λυμάτων». Τα όρια των συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων στην Κ.Υ.Α. 80568/4225 ταυτίζονται με αυτά που ορίζει η Οδηγία 86/278/EE όπως φαίνεται στον Πινάκα 8.3.1. Η ελληνική σχετική νομοθεσία έχει υιοθετήσει την Ευρωπαϊκή Οδηγία 1986/278/EC χωρίς τροποποιήσεις. Έχει γίνει μόνο προσθήκη ορίων για το χρώμιο (500 mg/kg ξηράς ουσίας για το Cr(III) και 10 mg/kg ξηρού για το Cr(VI)).

6.2. Πίνακες ANOVA

Εξαρτημένη Μεταβλητή: Ρh του εδάφους					
Source	df	Type III Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
Intercept	1	3964,276	3964,276	14293,729	0,000
	3	0,832	0,277(a)		
Ομάδες	3	0,832	0,277	7,819	0,063
	3	0,106	0,035(b)		
Υλικό	1	0,040	0,040	1,128	0,366
	3	0,106	0,035(b)		
Υλικό*Ομάδες	3	0,106	0,035	0,500	0,684
	42	2,978	0,071(c)		
Ποσότητα	3	0,136	0,045	0,640	0,594
	42	2,978	0,071(c)		
Με Λίπανση_Χωρίς Λίπανση	1	1,507	1,507	21,252	0,000
	42	2,978	0,071(c)		
Ποσότητα Με Λίπανση_Ποσότητα Χωρίς Λίπανση	3	0,169	0,056	0,793	0,505
	42	2,978	0,071(c)		
Υλικό Με Λίπανση_Υλικό Χωρίς Λίπανση	1	0,194	0,194	2,731	0,106
	42	2,978	0,071(c)		
Υλικό*Ποσότητα	3	0,212	0,071	0,995	0,404
	42	2,978	0,071(c)		
Υλικό*Ποσότητα*Με Λίπανση_Χωρίς Λίπανση	3	0,218	0,073	1,025	0,391
	42	2,978	0,071(c)		
a. MS(Block)					
b. MS(Material * Block)					
c. MS(Error)					

Εξαρτημένη Μεταβλητή: Ποσοστό % οργανικής ουσίας στο έδαφος					
Source	df	Type III Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
Intercept	1	156,156	156,156	3567,120	0,000
	3	0,131	0,044(a)		
Ομάδες	3	0,131	0,044	0,937	0,521
	3	0,140	0,047(b)		
Υλικό	1	0,610	0,610	13,066	0,036
	3	0,140	0,047(b)		
Υλικό*Ομάδες	3	0,140	0,047	1,365	0,266
	42	1,437	0,034(c)		
Ποσότητα	3	0,480	0,160	4,677	0,007
	42	1,437	0,034(c)		
Με Λίπανση_Χωρίς Λίπανση	1	0,167	0,167	4,883	0,033
	42	1,437	0,034(c)		
Ποσότητα Με Λίπανση_Ποσότητα Χωρίς Λίπανση	3	0,166	0,055	1,615	0,200
	42	1,437	0,034(c)		
Υλικό Με Λίπανση_Υλικό Χωρίς Λίπανση	1	0,123	0,123	3,606	0,064
	42	1,437	0,034(c)		
Υλικό*Ποσότητα	3	0,214	0,071	2,085	0,117
	42	1,437	0,034(c)		
Υλικό*Ποσότητα*Με Λίπανση_Χωρίς Λίπανση	3	0,159	0,053	1,545	0,217
	42	1,437	0,034(c)		
a. MS(Block)					
b. MS(Material * Block)					
c. MS(Error)					

Εξαρτημένη Μεταβλητή: Συγκέντρωση αζώτου (mg/Kg) στο έδαφος					
Source	df	Type III Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
Intercept	1	104527,740	104527,740	313,667	0,000
	3	999,732	333,244(a)		
Ομάδες	3	999,732	333,244	3,902	0,146
	3	256,211	85,404(b)		
Υλικό	1	552,603	552,603	6,470	0,084
	3	256,211	85,404(b)		
Υλικό*Ομάδες	3	256,211	85,404	0,979	0,412
	42	3663,842	87,234(c)		
Ποσότητα	3	361,514	120,505	1,381	0,262
	42	3663,842	87,234(c)		
Με Λίπανση_Χωρίς Λίπανση	1	2461,896	2461,896	28,222	0,000
	42	3663,842	87,234(c)		
Ποσότητα Με Λίπανση_Ποσότητα Χωρίς Λίπανση	3	872,104	290,701	3,332	0,028
	42	3663,842	87,234(c)		
Υλικό Με Λίπανση_Υλικό Χωρίς Λίπανση	1	12,058	12,058	0,138	0,712
	42	3663,842	87,234(c)		
Υλικό*Ποσότητα	3	388,057	129,352	1,483	0,233
	42	3663,842	87,234(c)		
Υλικό*Ποσότητα*Με Λίπανση_Χωρίς Λίπανση	3	29,588	9,863	0,113	0,952
	42	3663,842	87,234(c)		
a. MS(Block)					
b. MS(Material * Block)					
c. MS(Error)					

Εξαρτημένη Μεταβλητή: Συγκέντρωση φωσφόρου (mg/Kg) στο έδαφος					
Source	df	Type III Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
Intercept	1	68683,961	68683,961	2558,857	0,000
	3	80,525	26,842(a)		
Ομάδες	3	80,525	26,842	0,575	0,670
	3	140,089	46,696(b)		
Υλικό	1	383,523	383,523	8,213	0,064
	3	140,089	46,696(b)		
Υλικό*Ομάδες	3	140,089	46,696	1,272	0,296
	42	1541,400	36,700(c)		
Ποσότητα	3	713,756	237,919	6,483	0,001
	42	1541,400	36,700(c)		
Με Λίπανση_Χωρίς Λίπανση	1	306,731	306,731	8,358	0,006
	42	1541,400	36,700(c)		
Ποσότητα Με Λίπανση_Ποσότητα Χωρίς Λίπανση	3	378,826	126,275	3,441	0,025
	42	1541,400	36,700(c)		
Υλικό Με Λίπανση_Υλικό Χωρίς Λίπανση	1	27,314	27,314	0,744	0,393
	42	1541,400	36,700(c)		
Υλικό*Ποσότητα	3	197,821	65,940	1,797	0,162
	42	1541,400	36,700(c)		
Υλικό*Ποσότητα*Με Λίπανση_Χωρίς Λίπανση	3	16,790	5,597	0,152	0,928
	42	1541,400	36,700(c)		
a. MS(Block)					
b. MS(Material * Block)					
c. MS(Error)					

Εξαρτημένη Μεταβλητή: Συγκέντρωση καλίου (mgKg) στο έδαφος					
Source	df	Type III Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
Intercept	1	895152,516	895152,516	5080,831	0,000
	3	528,547	176,182(a)		
Ομάδες	3	528,547	176,182	0,688	0,617
	3	768,672	256,224(b)		
Υλικό	1	2081,641	2081,641	8,124	0,065
	3	768,672	256,224(b)		
Υλικό*Ομάδες	3	768,672	256,224	1,019	0,394
	42	10563,531	251,513(c)		
Ποσότητα	3	3039,672	1013,224	4,029	0,013
	42	10563,531	251,513(c)		
Με Λίπανση_Χωρίς Λίπανση	1	435,766	435,766	1,733	0,195
	42	10563,531	251,513(c)		
Ποσότητα Με Λίπανση_Ποσότητα Χωρίς Λίπανση	3	687,422	229,141	0,911	0,444
	42	10563,531	251,513(c)		
Υλικό Με Λίπανση_Υλικό Χωρίς Λίπανση	1	40,641	40,641	0,162	0,690
	42	10563,531	251,513(c)		
Υλικό*Ποσότητα	3	742,547	247,516	0,984	0,409
	42	10563,531	251,513(c)		
Υλικό*Ποσότητα*Με Λίπανση_Χωρίς Λίπανση	3	60,047	20,016	0,080	0,971
	42	10563,531	251,513(c)		
a. MS(Block)					
b. MS(Material * Block)					
c. MS(Error)					

Εξαρτημένη Μεταβλητή: Ύψος των φυτών					
Source	df	Type III Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
Intercept	1	3825740,403	3825740,403	2717,755	0,000
	3	4223,052	1407,684(a)		
Ομάδες	3	4223,052	1407,684	4,666	0,119
	3	905,135	301,712(b)		
Υλικό	1	51,840	51,840	0,172	0,706
	3	905,135	301,712(b)		
Υλικό*Ομάδες	3	905,135	301,712	1,555	0,214
	42	8147,893	193,997(c)		
Ποσότητα	3	1267,688	422,563	2,178	0,105
	42	8147,893	193,997(c)		
Με Λίπανση_Χωρίς Λίπανση	1	134,560	134,560	0,694	0,410
	42	8147,893	193,997(c)		
Ποσότητα Με Λίπανση_Ποσότητα Χωρίς Λίπανση	3	163,440	54,480	0,281	0,839
	42	8147,893	193,997(c)		
Υλικό Με Λίπανση_Υλικό Χωρίς Λίπανση	1	83,723	83,723	0,432	0,515
	42	8147,893	193,997(c)		
Υλικό*Ποσότητα	3	342,860	114,287	0,589	0,626
	42	8147,893	193,997(c)		
Υλικό*Ποσότητα*Με Λίπανση_Χωρίς Λίπανση	3	398,767	132,922	0,685	0,566
	42	8147,893	193,997(c)		
a. MS(Block)					
b. MS(Material * Block)					
c. MS(Error)					

Εξαρτημένη Μεταβλητή: Αριθμός φύλλων ανά φυτό					
Source	df	Type III Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
Intercept	1	9292,960	9292,96	30468,721	0,000
	3	0,915	0,305(a)		
Ομάδες	3	0,915	0,305	11,091	0,039
	3	0,083	0,028(b)		
Υλικό	1	0,203	0,2025	7,364	0,073
	3	0,083	0,028(b)		
Υλικό*Ομάδες	3	0,083	0,0275	0,072	0,974
	42	15,963	0,380(c)		
Ποσότητα	3	1,385	0,462	1,215	0,316
	42	15,963	0,380(c)		
Με Λίπανση_Χωρίς Λίπανση	1	0,723	0,7225	1,901	0,175
	42	15,963	0,380(c)		
Ποσότητα Με Λίπανση_Ποσότητα Χωρίς Λίπανση	3	1,103	0,3675	0,967	0,417
	42	15,963	0,380(c)		
Υλικό Με Λίπανση_Υλικό Χωρίς Λίπανση	1	0,090	0,09	0,237	0,629
	42	15,963	0,380(c)		
Υλικό*Ποσότητα	3	0,652	0,2175	0,572	0,636
	42	15,963	0,380(c)		
Υλικό*Ποσότητα*Με Λίπανση_Χωρίς Λίπανση	3	1,125	0,375	0,987	0,408
	42	15,963	0,380(c)		
a. MS(Block)					
b. MS(Material * Block)					
c. MS(Error)					

Εξαρτημένη Μεταβλητή: Νοπό βάρος φυτών					
Source	df	Type III Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
Intercept	1	1537674894,999	1537674894,999	890,293	0,000
	3	5181465,639	1727155,213(a)		
Ομάδες	3	5181465,639	1727155,213	0,941	0,519
	3	5505327,373	1835109,124(b)		
Υλικό	1	2357861,578	2357861,578	1,285	0,339
	3	5505327,373	1835109,124(b)		
Υλικό*Ομάδες	3	5505327,373	1835109,124	2,601	0,065
	42	29633751,192	705565,505(c)		
Ποσότητα	3	3833840,089	1277946,696	1,811	0,160
	42	29633751,192	705565,505(c)		
Με Λίπανση_Χωρίς Λίπανση	1	2020149,965	2020149,965	2,863	0,098
	42	29633751,192	705565,505(c)		
Ποσότητα Με Λίπανση_Ποσότητα Χωρίς Λίπανση	3	401002,345	133667,448	0,189	0,903
	42	29633751,192	705565,505(c)		
Υλικό Με Λίπανση_Υλικό Χωρίς Λίπανση	1	386669,329	386669,329	0,548	0,463
	42	29633751,192	705565,505(c)		
Υλικό*Ποσότητα	3	4833447,139	1611149,046	2,283	0,093
	42	29633751,192	705565,505(c)		
Υλικό*Ποσότητα*Με Λίπανση_Χωρίς Λίπανση	3	1430885,877	476961,959	0,676	0,572
	42	29633751,192	705565,505(c)		
a. MS(Block)					
b. MS(Material * Block)					
c. MS(Error)					

Εξαρτημένη Μεταβλητή: Απόδοση					
Source	df	Type III Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
Intercept	1	160147740,231	160147740,231	3504,985	0,000
	3	137074,277	45691,426(a)		
Ομάδες	3	137074,277	45691,426	0,305	0,822
	3	449742,231	149914,077(b)		
Υλικό	1	69006,223	69006,223	0,460	0,546
	3	449742,231	149914,077(b)		
Υλικό*Ομάδες	3	449742,231	149914,077	4,279	0,010
	42	1471293,337	35030,794(c)		
Ποσότητα	3	354389,075	118129,692	3,372	0,027
	42	1471293,337	35030,794(c)		
Με Λίπανση_Χωρίς Λίπανση	1	422830,014	422830,014	12,070	0,001
	42	1471293,337	35030,794(c)		
Ποσότητα Με Λίπανση_Ποσότητα Χωρίς Λίπανση	3	219071,124	73023,708	2,085	0,117
	42	1471293,337	35030,794(c)		
Υλικό Με Λίπανση_Υλικό Χωρίς Λίπανση	1	6130,811	6130,811	0,175	0,678
	42	1471293,337	35030,794(c)		
Υλικό*Ποσότητα	3	63597,458	21199,153	0,605	0,615
	42	1471293,337	35030,794(c)		
Υλικό*Ποσότητα*Με Λίπανση_Χωρίς Λίπανση	3	14806,633	4935,544	0,141	0,935
	42	1471293,337	35030,794(c)		
a. MS(Block)					
b. MS(Material * Block)					
c. MS(Error)					

Εξαρτημένη Μεταβλητή: Βάρος 1000 κόκκων					
Source	df	Type III Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
Intercept	1	8059921,000	8059921,000	102186,003	0,000
	3	236,625	78,875(a)		
Ομάδες	3	236,625	78,875	0,258	0,853
	3	918,063	306,021(b)		
Υλικό	1	232,562	232,562	0,760	0,447
	3	918,063	306,021(b)		
Υλικό*Ομάδες	3	918,063	306,021	0,973	0,414
	42	13204,813	314,400(c)		
Ποσότητα	3	1523,500	507,833	1,615	0,200
	42	13204,813	314,400(c)		
Με Λίπανση_Χωρίς Λίπανση	1	1521,000	1521,000	4,838	0,033
	42	13204,813	314,400(c)		
Ποσότητα Με Λίπανση_Ποσότητα Χωρίς Λίπανση	3	491,500	163,833	0,521	0,670
	42	13204,813	314,400(c)		
Υλικό Με Λίπανση_Υλικό Χωρίς Λίπανση	1	637,563	637,563	2,028	0,162
	42	13204,813	314,400(c)		
Υλικό*Ποσότητα	3	518,688	172,896	0,550	0,651
	42	13204,813	314,400(c)		
Υλικό*Ποσότητα*Με Λίπανση_Χωρίς Λίπανση	3	618,688	206,229	0,656	0,584
	42	13204,813	314,400(c)		
a. MS(Block)					
b. MS(Material * Block)					
c. MS(Error)					

Εξαρτημένη Μεταβλητή: Συγκέντρωση Αζώτου % στα φύλλα					
Source	df	Type III Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
Intercept	1	349,924	349,924	323,658	0,000
	3	3,243	1,081(a)		
Ομάδες	3	3,243	1,081	4,899	0,112
	3	0,662	0,221(b)		
Υλικό	1	1,038	1,038	4,703	0,119
	3	0,662	0,221(b)		
Υλικό*Ομάδες	3	0,662	0,221	1,745	0,172
	42	5,312	0,126(c)		
Ποσότητα	3	3,854	1,285	10,158	0,000
	42	5,312	0,126(c)		
Με Λίπανση_Χωρίς Λίπανση	1	0,159	0,159	1,257	0,269
	42	5,312	0,126(c)		
Ποσότητα Με Λίπανση_Ποσότητα Χωρίς Λίπανση	3	0,086	0,029	0,227	0,877
	42	5,312	0,126(c)		
Υλικό Με Λίπανση_Υλικό Χωρίς Λίπανση	1	0,001	0,001	0,009	0,925
	42	5,312	0,126(c)		
Υλικό*Ποσότητα	3	1,310	0,437	3,454	0,025
	42	5,312	0,126(c)		
Υλικό*Ποσότητα*Με Λίπανση_Χωρίς Λίπανση	3	0,185	0,062	0,489	0,692
	42	5,312	0,126(c)		
a. MS(Block)					
b. MS(Material * Block)					
c. MS(Error)					

Εξαρτημένη Μεταβλητή: Συγκέντρωση Φωσφόρου % στα φύλλα					
Source	df	Type III Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
Intercept	1	13,552	13,552	15608,323	0,000
	3	0,003	0,001(a)		
Ομάδες	3	0,003	0,001	0,220	0,877
	3	0,012	0,004(b)		
Υλικό	1	0,005	0,005	1,287	0,339
	3	0,012	0,004(b)		
Υλικό*Ομάδες	3	0,012	0,004	1,360	0,268
	42	0,122	0,003(c)		
Ποσότητα	3	0,008	0,003	0,969	0,416
	42	0,122	0,003(c)		
Με Λίπανση_Χωρίς Λίπανση	1	0,026	0,026	8,970	0,005
	42	0,122	0,003(c)		
Ποσότητα Με Λίπανση_Ποσότητα Χωρίς Λίπανση	3	0,009	0,003	1,090	0,364
	42	0,122	0,003(c)		
Υλικό Με Λίπανση_Υλικό Χωρίς Λίπανση	1	0,007	0,007	2,566	0,117
	42	0,122	0,003(c)		
Υλικό*Ποσότητα	3	0,023	0,008	2,692	0,058
	42	0,122	0,003(c)		
Υλικό*Ποσότητα*Με Λίπανση_Χωρίς Λίπανση	3	0,013	0,004	1,460	0,239
	42	0,122	0,003(c)		
a. MS(Block)					
b. MS(Material * Block)					
c. MS(Error)					

Εξαρτημένη Μεταβλητή: Συγκέντρωση Καλίου % στα φύλλα					
Source	df	Type III Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
Intercept	1	426,939	426,939	23623,133	0,000
	3	0,054	0,018(a)		
Ομάδες	3	0,054	0,018	0,088	0,962
	3	0,617	0,206(b)		
Υλικό	1	1,501	1,501	7,298	0,074
	3	0,617	0,206(b)		
Υλικό*Ομάδες	3	0,617	0,206	1,521	0,223
	42	5,678	0,135(c)		
Ποσότητα	3	1,268	0,423	3,127	0,036
	42	5,678	0,135(c)		
Με Λίπανση_Χωρίς Λίπανση	1	0,001	0,001	0,010	0,919
	42	5,678	0,135(c)		
Ποσότητα Με Λίπανση_Ποσότητα Χωρίς Λίπανση	3	0,170	0,057	0,420	0,739
	42	5,678	0,135(c)		
Υλικό Με Λίπανση_Υλικό Χωρίς Λίπανση	1	0,303	0,303	2,238	0,142
	42	5,678	0,135(c)		
Υλικό*Ποσότητα	3	0,538	0,179	1,327	0,278
	42	5,678	0,135(c)		
Υλικό*Ποσότητα*Με Λίπανση_Χωρίς Λίπανση	3	0,366	0,122	0,903	0,448
	42	5,678	0,135(c)		
a. MS(Block)					
b. MS(Material * Block)					
c. MS(Error)					