



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**  
**«ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΚΑΙ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ»**

**ΔΙΑΤΡΙΒΗ**  
**ΓΙΑΝΝΑΚΗ Β. ΓΕΩΡΓΙΟΥ**

**“ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΚΟΜΠΟΣΤ ΑΠΟ ΣΤΕΡΕΑ**  
**ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΑ ΣΤΙΣ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ**  
**ΕΔΑΦΟΥΣ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΗΠΕΥΤΙΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ”**

**Επιβλέπων, Νικόλαος Β. Παρανυχιανάκης**

**ΧΑΝΙΑ 2011**



**ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Η εργασία αυτή εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης, ως απαίτηση για την κτήση του μεταπτυχιακού διπλώματος ειδίκευσης στην «Περιβαλλοντική και Υγειονομική Μηχανική». Πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος «Βελτιστοποίηση ανάκτησης και κομποστοποίησης του οργανικού κλάσματος των αστικών στερεών αποβλήτων και αποτελεσματική αξιοποίησή του σε αγροτικές και περιβαλλοντικές εφαρμογές» (EL.00031) και συγχρηματοδοτήθηκε από το ελληνικό Υπουργείο Οικονομίας και Οικονομικών και τον Ευρωπαϊκό Οικονομικό Χώρο (ΕΟΧ).

Είναι ανάγκη σε αυτό το σημείο να ευχαριστήσω όσους συνέβαλλαν για την ολοκλήρωση της εργασίας αυτής και πάνω απ' όλους, το Λέκτορα του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης, κ. Νικόλαο Παρανυχιανάκη, για την εμπιστοσύνη που έδειξε αναθέτοντάς μου την εργασία, για την επίβλεψη την καθοδήγησή και τη συμπαράστασή του όλο το χρονικό διάστημα που διήρκεσε η εκπόνηση της. Επίσης, νιώθω την ανάγκη να τον ευχαριστήσω για τη διετή συνεργασία μας που αποδείχτηκε για μένα πολύτιμη και εποικοδομητική σε όλα τα επίπεδα της ενασχόλησής μου με επιστημονικά αντικείμενα νέα για μένα.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τα άλλα δύο μέλη της εξεταστικής επιτροπής, τον Καθηγητή Νικόλαο Νικολαΐδη και τον Καθηγητή Νικόλαο Καλογεράκη.

Επίσης επιθυμώ να ευχαριστήσω θερμά την Παπαγεωργίου Ναυσικά και τη Τσιγκιά Μυρτώ, μεταπτυχιακούς φοιτητές, για τη στενή και παράλληλη συνεργασία που είχαμε καθ' όλη τη διάρκεια παρακολούθησης του ΠΜΣ αλλά και κατά την εκπόνηση των εργασιών μας στο ίδιο εργαστήριο υπό την επίβλεψη επίσης του κ. Παρανυχιανάκη. Τις ευχαριστώ επίσης και για όλες τις ώρες που περάσαμε μαζί στη «θητεία» μας στα Χανιά εκτός εργαστηρίου και εκτός μαθημάτων. Δεν μπορώ να μην ευχαριστήσω και τον Βαγιάκη Ιωάννη απόφοιτο πια, του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος, για τις ευχάριστες ώρες που περάσαμε στο εργαστήριο αλλά και εκτός αυτού. Ευχαριστώ επίσης τους Υποψήφιους Διδάκτορες, Κοτρονάκη Μανώλη και Σταμάτη Φωτεινή για τις κουβέντες μας, τις συμβουλές τους και την καλή παρέα. Νιώθω επίσης ανάγκη να ευχαριστήσω τη Maria-Liliana Saru για τη βοήθειά της και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε κατά την πραγματοποίηση εργαστηριακών

αναλύσεων στο εργαστήριο «Υδρογεωχημικής Μηχανικής και Αποκατάστασης Εδαφών», καθώς και για τις αναλύσεις μετάλλων που πραγματοποίησε (ICP-MS). Επίσης την Βουτσαδάκη Στέλλα για την ανάλυση δειγμάτων για προσδιορισμό φωσφόρου.

Τέλος, ευχαριστώ την οικογένειά μου για την ηθική και οικονομική στήριξη και την κατανόηση που έδειξαν καθ' όλη τη διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ - 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	7
1.1 Κομποστοποίηση.....	9
1.2 Εφαρμογή κομπόστ στο έδαφος.....	10
1.2.1 Επίδραση της εφαρμογής κομπόστ στο οργανικό υλικό του εδάφους.....	11
1.2.2 Επίδραση της εφαρμογής κομπόστ στο περιεχόμενο του εδάφους σε Άζωτο (N) .....	12
1.2.3 Επίδραση της εφαρμογής κομπόστ στο περιεχόμενο του εδάφους σε Φώσφορο (P) .....	14
1.2.4 Επίδραση της εφαρμογής κομπόστ στο περιεχόμενο του εδάφους σε Κάλιο (K) .....	15
1.2.5 Επίδραση στις συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων και βαρέων μετάλλων από την εφαρμογή κομπόστ σε καλλιέργειες: στο έδαφος και στα φυτά ...	15
Αντικείμενα Εργασίας .....	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ - 2 - ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	20
2.1 Σχεδιασμός Πειράματος.....	20
2.2 Δειγματοληψίες εδάφους .....	21
2.3 Αναλύσεις Εδάφους .....	21
2.3.1 Νιτρικό Άζωτο ( $\text{NO}_3^-$ -N), Αμμωνιακό άζωτο ( $\text{NH}_4^+$ -N) .....	21
2.3.2 Ολικό άζωτο (TKN), Ολικός οργανικός άνθρακας (TOC) .....	22
2.3.3 pH, Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) .....	22
2.3.4 Ολικά μέταλλα .....	22
2.3.5 Εκχυλίσμα μέταλλα (SPLP) .....	23
2.4 Δειγματοληψίες φυτών και καρπών .....	23
2.5 Αναλύσεις φυτών και καρπών .....	24

2.5.1	Ολικό άζωτο (TKN).....	24
2.5.2	Ιχνοστοιχεία, βαρέα μέταλλα, ολικός φώσφορος .....	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ - 3 - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....		25
3.1	Ανάπτυξη φυτών .....	25
3.2	Οργανικό υλικό του εδάφους .....	26
3.3	Διαθεσιμότητα και μετατροπή αζώτου .....	27
3.4	Διαθέσιμος φώσφορος .....	31
3.5	pH .....	32
3.6	Περιεχόμενο εδάφους σε μέταλλα και ιχνοστοιχεία .....	32
3.7	Εκχυλίσμα μέταλλα .....	33
3.8	Θρεπτικά στοιχεία και μέταλλα στους φυτικούς ιστούς.....	34
3.8.1	Άζωτο .....	34
3.8.2	Κάλλιο .....	35
3.8.3	Φώσφορος.....	36
3.8.4	Μαγνήσιο .....	36
3.8.5	Ιχνοστοιχεία και βαρέα μέταλλα.....	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ - 4 - ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....		39
4.1	Επίδραση της εφαρμογής κομπόστ στη θρέψη των καλλιεργειών.....	39
4.2	Επίδραση της εφαρμογής κομπόστ στο περιεχόμενο του εδάφους και των φυτικών ιστών των καλλιεργειών σε βαρέα μέταλλα .....	41
ΚΕΦΑΛΑΙΟ - 5 - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....		43
ΚΕΦΑΛΑΙΟ - 6 - ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....		44

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Η εργασία αυτή διερευνά την επίδραση της εφαρμογής κομπόστ, από αστικά στερεά απορρίμματα, στο έδαφος καθώς και στην ανάπτυξη, τη θρέψη και τη συσσώρευση βαρέων μετάλλων σε φυτά μαρουλιού και ντομάτας. Η εφαρμογή του κομπόστ έγινε σε δύο δόσεις, των 50 και 100 t/ha και η ανάπτυξη των φυτών πραγματοποιήθηκε σε δοχεία. Παρατηρήθηκε βραδύτερη ανάπτυξη σε φυτά που δέχτηκαν μεταχείριση με κομπόστ εν συγκρίσει με φυτά που δέχτηκαν ανόργανο λίπασμα. Βραδύτερη όλων, ήταν η ανάπτυξη για τα φυτά που δέχτηκαν τη μικρή δόση κομπόστ (50 t/ha). Παρατηρήθηκε επίσης, ραγδαία μείωση της διαθεσιμότητας  $\text{NO}_3^-$ -N σε δοχεία όπου είχε γίνει εφαρμογή κομπόστ και η επίδραση αυτή σχετίστηκε με τη προαναφερθείσα παρεμπόδιση της ανάπτυξης των φυτών. Αν και σε μικρότερο βαθμό, μείωση του περιεχομένου του εδάφους σε  $\text{NO}_3^-$ -N παρατηρήθηκε και σε δοχεία που δέχθηκαν κομπόστ, αλλά δεν είχαν φυτό. Τα παραπάνω καταδεικνύουν ότι υπεύθυνός για την παρεμπόδιση της ανάπτυξης των φυτών ήταν ο χαμηλός ρυθμός ανοργανοποίησης του N και/ή ακινητοποίησή του. Σε ότι αφορά άλλα θρεπτικά στοιχεία για τα φυτά, όπως K, P, Mg, Ca και Fe, βρέθηκε ότι το περιεχόμενό τους στους ιστούς, κυμάνθηκε σε επίπεδα επαρκή για την ανάπτυξη και των δύο ειδών φυτών. Ο Cu και τον Zn, ήταν τα μέταλλα που έδειξαν τη μεγαλύτερη συσσώρευση στα φύλλα του μαρουλιού και στα φυτά της ντομάτας, αλλά όχι και στον καρπό της. Παρ' όλα αυτά, οι τιμές των δύο αυτών στοιχείων διατηρήθηκαν εντός των αρίστων ορίων για την ανάπτυξη των φυτών. Στον αντίποδα, η συσσώρευση βαρέων μετάλλων στους φυτικούς ιστούς έδειξε ότι δεν τίθεται κίνδυνος για την ανάπτυξη των φυτών, αλλά ούτε και για την ανθρώπινη υγεία. Τα αποτελέσματα της εργασίας αυτής δείχνουν ότι περεταίρω έμφαση πρέπει να δοθεί στη διερεύνηση των παραγόντων που καθορίζουν την ανοργανοποίηση και τη διαθεσιμότητα του N ούτως ώστε να μην περιορίζεται η ανάπτυξη των φυτών.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ - 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η επεξεργασία και διαχείριση των στερεών αποβλήτων αποτελεί μείζον πρόβλημα των ανεπτυγμένων και όχι μόνο κοινωνιών, ως απόρροια της πληθυσμιακής αύξησης, της αύξησης της κατανάλωσης των υλών και της ανάπτυξης της βιομηχανίας. Το πρόβλημα έγκειται στη ραγδαία αύξηση του όγκου των στερεών αποβλήτων που παράγονται, καθώς και στην επιλογή των μεθόδων επεξεργασίας και διάθεσης.

Χαρακτηριστικό των αστικών στερεών αποβλήτων αποτελεί η ανομοιογένεια που παρουσιάζουν. Έτσι, χωρίς διαλογή καταλήγουν να περιέχουν χαρτιά, πλαστικά, υπολείμματα φαγητού, ξύλο, υπολείμματα κηπουρικής δραστηριότητας, δέρματα, υφάσματα, γυαλί, μέταλλα (σίδηρο, αλουμίνιο κλπ.) λοιπά οργανικά απόβλητα έως και απόβλητα βιομηχανίας-βιοτεχνίας. Η συνήθης πρακτική «επεξεργασίας» των στερεών αποβλήτων προηγούμενων δεκαετιών, περιοριζόταν στην ταφή της ανομοιογενούς αυτής μάζας στο έδαφος. Συνέπεια ήταν η ρύπανση αλλά και η μόλυνση του περιβάλλοντος με διάφορους τρόπους: ρύπανση υπόγειων υδροφορέων, ρύπανση επιφανειακών νερών, ρύπανση εδαφών, έκλυση αερίων που συνεισφέρουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Όταν πια τα προβλήματα της ταφής των απορριμμάτων, που αποτελεί ουσιαστικά μια μακροχρόνια αποθήκευση-συντήρησή τους, άρχισαν να διαφαίνονται ως συνέπειες στην ανθρώπινη υγεία ανέκυψε η ανάγκη για την ανάπτυξη πιο βιώσιμων λύσεων διαχείρισης, φιλικών προς το περιβάλλον και υπό την οπτική γωνία της αειφορίας. Οι λύσεις αυτές στοχεύουν στον διαχωρισμό των στερεών αποβλήτων σε ομοιογενή κλάσματα ικανά να επεξεργαστούν στοχευμένα, είτε προς την αξιοποίηση (π.χ. ανακύκλωση, παραγωγή ενέργειας), είτε προς τη μείωση των επιπτώσεών τους στο περιβάλλον.

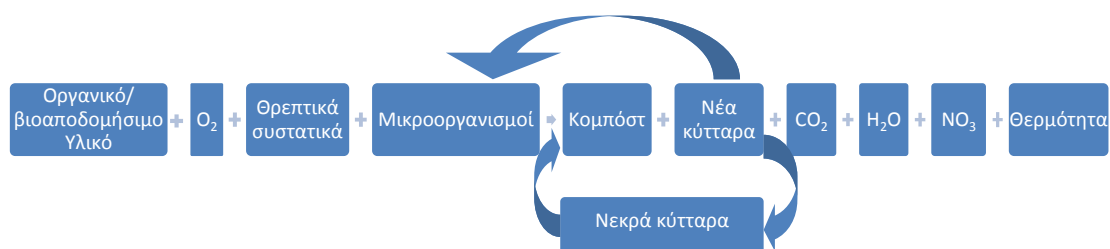
Η παγκόσμια τάση λοιπόν, για τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων λαμβάνει υπόψη και τους οικονομικούς αλλά και τους περιβαλλοντικούς παράγοντες. Από την ανομοιογένεια των απορριμμάτων γίνεται προφανές ότι δεν μπορεί να εφαρμοστεί μια και μόνο λύση επεξεργασίας, αλλά συνδυασμός διαφορετικών. Έτσι η ανάκτηση και η επαναχρησιμοποίηση, η βιολογική επεξεργασία (αερόβια κομποστοποίηση,



αναερόβια-παραγωγή μεθανίου-παραγωγή ενέργειας, βιολογική ξήρανση), η θερμική επεξεργασία προς παραγωγή ενέργειας (αποτέφρωση) και η ταφή μπορούν να αποτελέσουν συνιστώσες μιας ολιστικής προσέγγισης της επεξεργασίας των στερεών απορριμμάτων, με έμφαση στην προστασία του περιβάλλοντος, την ελαχιστοποίηση του κόστους επεξεργασίας και της κοινωνικής αποδοχής.

Σε εθνική, ευρωπαϊκή αλλά και παγκόσμια κλίμακα ένα μεγάλο ποσοστό των παραγόμενων αποβλήτων (45 – 60%, de Bertoldi et al., 1983, Tchobanoglous et al., 1993) αποτελείται από βιοαποδομήσιμα ή οργανικά υλικά. Απόβλητα δηλαδή που παράγονται από την οικιακή δραστηριότητα, όπως τα υπολείμματα φαγητού και τα υπολείμματα κηπουρικής δραστηριότητας, από δραστηριότητα βιοτεχνιών (βιοτεχνίες συσκευασίας ή/και επεξεργασίας φαγητού, εκκοκκιστήρια βάμβακος, ελαιοτριβεία κλπ.), από την αγροτική δραστηριότητα (κοπριές, φυτικά υπολείμματα) και από τους βιολογικούς καθαρισμούς λυμάτων (βιολογική ιλύς). Τα βιοαποδομήσιμα αυτά υλικά είναι ιδανικά για κομποστοποίηση, διεργασία που ειδικά στην Ευρώπη κερδίζει όλα και περισσότερο έδαφος, καθώς βάση της οδηγίας 99/31/EC το βιοαποδομήσιμο κλάσμα που οδηγείται για ταφή, σταδιακά θα πρέπει να μειωθεί σε όλα τα κράτη – μέλη. Έτσι, είτε σε ξεχωριστά υποκλάσματα είτε σε συνδυασμό αυτών, η κομποστοποίηση εφαρμόζεται ως μέρος της επεξεργασίας των στερεών αποβλήτων.

Το τελικό προϊόν που προκύπτει, ανάλογα με την πρώτη ύλη έχει και διαφορετικά χαρακτηριστικά. Για παράδειγμα, ένα κομπόστ από υπολείμματα κηπουρικής δραστηριότητας και καθαρά υπολείμματα φαγητού μπορεί να έχει τέτοια χαρακτηριστικά που να το καθιστούν ικανό για εφαρμογή σε καλλιέργειες, καθώς μπορεί να περιέχει υψηλό περιεχόμενο σε οργανική ύλη και θρεπτικά στοιχεία, χαρακτηριστικά που ωφελούν σε μεγάλο βαθμό την ποιότητα των εδαφών και αυξάνουν την απόδοση των καλλιεργειών. Στο αντίποδα, κομποστοποιημένα υλικά που προέκυψαν από μικτά απόβλητα ή/και ενεργό ιλύ, μπορεί να περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων ή/και ιχνοστοιχείων και μπορεί να αποβούν επικίνδυνα λόγω τοξικότητας σε μικροοργανισμούς, καλλιέργειες αλλά και για τον άνθρωπο. Άλλη χρήση του κομπόστ που έχει προταθεί είναι η απόθεση για την αποκατάσταση τοπίων (λατομεία, ΧΥΤΑ) (Tchobanoglous et al., 1993).



Σχήμα 1.1 Συνοπτική-σχηματική περιγραφή της κομποστοποίησης

## 1.1 Κομποστοποίηση

Η αερόβια βιολογική επεξεργασία ή αλλιώς κομποστοποίηση (composting), είναι μια διεργασία κατά την οποία το οργανικό υλικό αποδομείται υπό αερόβιες συνθήκες. Η αποδόμηση αυτή οφείλεται στη δράση μικροοργανισμών (βακτήρια, μύκητες, μικρο-αρθρόποδα) οι οποίοι μετατρέπουν το οργανικό υλικό σε άλλες απλούστερες οργανικές, σταθερές μορφές. Το προϊόν που προκύπτει καλείται κομπόστ (compost) (Σχήμα 1.1).

Η αποδοτικότητα και η αποτελεσματικότητα της κομποστοποίησης εξαρτώνται από παράγοντες που αφορούν το αρχικό οργανικό υλικό προς κομποστοποίηση, αλλά και παράγοντες κατά την εξέλιξη της διεργασίας. Σε ότι αφορά το αρχικό υλικό, οι παράγοντες που το καθιστούν κατάλληλο για κομποστοποίηση είναι η αρχική σύσταση του μίγματος, ο λόγος άνθρακα προς άζωτο (C/N), το pH, το μέγεθος των σωματιδίων, το πορώδες του μίγματος και η υγρασία του (Haug, 1993). Κατά τη διάρκεια της διεργασίας οι παράγοντες που πρέπει να ελέγχονται είναι η συγκέντρωση του οξυγόνου μέσα στο μίγμα, η θερμοκρασία και το περιεχόμενο υγρασίας. Οι παράγοντες αυτοί μπορεί να αποδειχθούν περιοριστικοί για την απόδοση της διεργασίας ως προς το τελικό προϊόν, αλλά και ως προς το χρόνο τερματισμού της. Ο χρόνος περιορίζεται πολύ από τη μορφή της οργανικής ύλης στο μίγμα. Εύκολα αποδομήσιμες οργανικές ενώσεις, όπως οι υδατάνθρακες, τα αμινοξέα και μικρού μοριακού βάρους οργανικά οξέα, επιταχύνουν τη διεργασία ενώ αντίθετα, πολυμερή, όπως η λιγνίνη και η κυτταρίνη, την επιβραδύνουν.

Η κομποστοποίηση μπορεί να διαχωριστεί σε δύο στάδια, την αποδόμηση και την ωρίμανση. Το αρχικό στάδιο της αποδόμησης χαρακτηρίζεται από την επικράτηση υψηλής θερμοκρασίας στη μάζα του μίγματος, της τάξης των 65°C (θερμόφιλο στάδιο). Σε αυτή τη φάση λαμβάνει χώρα η αποδόμηση του εύκολα

βιοαποδομήσιμου οργανικού υλικού, όπως είναι τα σάκχαρα, τα λίπη, και οι πρωτεΐνες. Παρουσία οξυγόνου η οργανική ύλη οξειδώνεται σε CO<sub>2</sub> και αμμωνία (NH<sub>3</sub>), και το pH ελαττώνεται. Ταυτόχρονα, η επικράτηση υψηλών θερμοκρασιών λόγω της εξώθερμης οξείδωσης του οργανικού υλικού, συμβάλλει στη μείωση του πληθυσμού των παθογόνων μικροοργανισμών, που συχνά αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για την μετέπειτα χρήση του τελικού προϊόντος. Το στάδιο αυτό μπορεί να διαρκέσει ανάλογα με τη σύσταση του αρχικού υλικού, τις συνθήκες και τη μέθοδο κομποστοποίησης 1 – 2 εβδομάδες για συστήματα κλειστού αντιδραστήρα, 3 – 4 για συστήματα (μηχανικά) αεριζόμενων σωρών, ενώ για τα συστήματα αναδευόμενων σωρών μπορεί να διαρκέσει αρκετές εβδομάδες ανάλογα με το μέγεθος και τη συχνότητα της ανάδουσής των σωρών (Díaz et al., 1993, Haug, 1993, Tchobanoglous et al., 1993).

Το δεύτερο στάδιο χαρακτηρίζεται ως στάδιο ωρίμανσης – σταθεροποίησης και χαρακτηρίζεται από την ελάττωση της θερμοκρασίας στη μάζα του κομποστοποιήσιμου μίγματος στη μεσόφιλη περιοχή, 25-30 °C. Σε αυτό το σημείο, το μεγαλύτερο μέρος των εύκολα βιοαποδομήσιμων ουσιών έχει αποδομηθεί και λαμβάνει χώρα, με χαμηλούς ρυθμούς, η αποδόμηση κυρίως πολυμερών ενώσεων (λιγνίνη, κυτταρίνη κλπ.). Στο τέλος αυτής της φάσης, που μπορεί να διαρκέσει αρκετές εβδομάδες, το υλικό χαρακτηρίζεται από υψηλό περιεχόμενο σε χουμικό υλικό και αυξημένη ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων. Θεωρείται πλέον σταθεροποιημένο και σε ένα βαθμό απαλλαγμένο από παθογόνους μικροοργανισμούς και μπορεί συνεπώς να αξιοποιηθεί σε διάφορες εφαρμογές. Οι κυριότερες αυτών είναι η χρήση του ως εδαφοβελτιωτικού σε καλλιέργειες (Hargreaves et al., 2008), ως υλικό για την αποκατάσταση λατομείων (Tchobanoglous et al. 1993), ως ημερήσια κάλυψη κελιών ΧΥΤΑ (Tanthachoon et al., 2007) και ως λίπασμα (Hargreaves et al., 2008, de Araujo et al., 2009).

## 1.2 Εφαρμογή κομπόστ στο έδαφος

Η εφαρμογή κομπόστ στο έδαφος θεωρείται περιβαλλοντικά ασφαλής και με καλή συσχέτιση κόστους – αποδοτικότητας ως μέθοδος εκτροπής του οργανικού κλάσματος των στερεών αποβλήτων (Eriksen et al., 1999), σε σχέση με άλλες

μεθόδους διαχείρισης (αποτέφρωση, ταφή), ενώ παράλληλα συνεισφέρει στον εφοδιασμό των καλλιεργειών με θρεπτικά στοιχεία (de Araujo et al., 2010), στην αύξηση της βιομάζας των φυτών (Lakhdar et al., 2011), καθώς και στη βελτίωση των φυσικών χαρακτηριστικών του εδάφους γι' αυτό και αποτελεί διαδεδομένη πρακτική σε αρκετές περιοχές του κόσμου (Hargreaves et al., 2008). Σε ένα παράδειγμα εφαρμογής κομπόστ αστικών στερεών απορριμμάτων σε καλλιέργεια ρυζιού, παρατηρήθηκε αύξηση του οργανικού υλικού του εδάφους, αύξηση του περιεχόμενου του σε N και P, αύξηση των σταθερών συσσωματωμάτων ενώ θετική ήταν η απόκριση των φυτών στην ανάπτυξη (Roca-Perez, 2009).

Αν και η εφαρμογή του κομπόστ στο έδαφος, θεωρείται γενικά ασφαλής για τις καλλιέργειες, συνδέεται με πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις οι οποίες εξαρτώνται από τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή του, τη διαδικασία παραγωγής, την ωριμότητά του και φυσικά, τη συγκέντρωση και βιοδιαθεσιμότητα σε βαρέα μέταλλα (Hargreaves et al., 2008).

### **1.2.1 Επίδραση της εφαρμογής κομπόστ στο οργανικό υλικό του εδάφους**

Πλεονέκτημα του κομπόστ, το οποίο μπορεί να χαρακτηριστεί και κυρίαρχο σε σχέση με την εφαρμογή του στο έδαφος, είναι το υψηλό περιεχόμενό του σε οργανικό υλικό. Σε έρευνες που έχουν γίνει έχει αναφερθεί ότι περίπου το 20% του ολικού άνθρακα του κομπόστ από στερεά απορρίμματα είναι οργανικός (He et al., 1995). Έτσι, μπορεί να αποτελέσει σημαντικό παράγοντα για τη διατήρηση ή/και ανάκαμψη της γονιμότητας του εδάφους, ειδικά σε εκείνες τις περιοχές όπου το περιεχόμενο οργανικό υλικό του εδάφους είναι χαμηλό. Σε συνδυασμό λοιπόν με τα θρεπτικά συστατικά, το είδος και η ποσότητα του οργανικού υλικού επηρεάζουν πολλά από τα χαρακτηριστικά του εδάφους. Η αύξηση του οργανικού υλικού βελτιώνει την ποιότητα των εδαφών, βοηθά στη αποφυγή της διάβρωσης, αυξάνει την παραγωγικότητα των καλλιεργειών και επίσης ενισχύει τη αύξηση της μικροβιακής βιομάζας του εδάφους (de Araujo και Monteneiro, 2006, de Araujo et al., 2010). Αντίθετα, εδάφη με χαμηλή περιεκτικότητα οργανικού υλικού, χαρακτηρίζονται από μειωμένη γονιμότητα και χαμηλή παραγωγικότητα, μείωση της βιοποικιλότητας, χαμηλή μικροβιακή δραστηριότητα, δημιουργία μη σταθερών

εδαφικών συσσωματωμάτων και γενικότερα ευνοούν την επιτάχυνση της υποβάθμισης των εδαφών (Martin et al., 2010). Συνεπώς σε περιοχές με χαμηλό περιεχόμενο οργανικού υλικού στο έδαφος, όπως των σύνολο των καλλιεργήσιμων εδαφών της Ελλάδας, η εφαρμογή κομπόστ από στερεά απορρίμματα στις καλλιεργείες, μπορεί να συμβάλλει στη βελτίωση της γονιμότητάς τους και στην ανάσχεση των κινδύνων υποβάθμισής τους. Εκτός από αυτό το χαρακτηριστικό, η εφαρμογή κομπόστ στις καλλιεργείες μπορεί να συνεισφέρει στη μείωση των απαιτήσεων για χημική λίπανση, τη βελτίωση των συνθηκών επεξεργασίας του εδάφους (de Araujo et al., 2010).

### **1.2.2 Επίδραση της εφαρμογής κομπόστ στο περιεχόμενο του εδάφους σε Άζωτο (N)**

Το N λόγω της συμμετοχής του σε βασικά μόρια των οργανισμών, θεωρείται στοιχείο κλειδί για τη ζωή. Είναι βασικό στοιχείο των αμινοξέων τα οποία συνθέτουν τις πρωτεΐνες και τα ένζυμα και ελέγχουν ουσιαστικά όλες τις βιολογικές διεργασίες. Επίσης αποτελεί βασικό συστατικό του γενετικού υλικού (νουκλεϊκά οξέα) καθώς και της χλωροφύλλης που είναι απαραίτητη για τη φωτοσύνθεση. Είναι τόσο κρίσιμη λοιπόν, η ύπαρξή του που τα φυτά αντιδρούν άμεσα σε όποιες μεταβολές της συγκέντρωσης. Τα φυτά λαμβάνουν το απαραίτητο N από το έδαφος, κυρίως με τη μορφή νιτρικών ( $\text{NO}_3^-$ ) ή/και αμμωνιακών ιόντων ( $\text{NH}_4^+$ ) μέσω του ριζικού τους συστήματος. Στα φυσικά οικοσυστήματα, το N βρίσκεται στο έδαφος κυρίως στην οργανική ύλη, ενώ οι ανόργανες μορφές του αποτελούν περίπου το 1 με 2% του ολικού. Το οργανικό N στο έδαφος βρίσκεται ως συστατικό των αμινο-ομάδων ( $\text{R-NH}_2$ ), σε μεγάλο βαθμό στις πρωτεΐνες και ως μέρος των χουμικών συστατικών. Σε αυτές τις μορφές το N δεν είναι διαθέσιμο για τα φυτά αλλά η μικροβιακή αποδόμηση των οργανικών ουσιών μετατρέπει το N σε  $\text{NH}_4^+$  το οποία μπορούν πάλι βιολογικά να οξειδωθούν σε  $\text{NO}_3^-$  και τέλος να προσληφθούν από τις καλλιεργείες. Η εντατική καλλιέργεια της γης για την κάλυψη των αναγκών του ανθρώπου σε τροφή έχει οδηγήσει σε πολλές περιπτώσεις στη μείωση των N στα εδάφη, καθώς η φυσική-βιολογική επαναφορά του σε αυτά δεν μπορεί να συμβεί στα χρονικά περιθώρια που ο άνθρωπος ορίζει βάσει των αναγκών του. Έτσι, στις

καλλιέργειες είναι κοινή πρακτική η προσθήκη στο έδαφος N σε μορφή διαθέσιμη για τα φυτά ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) και αυτό επιτυγχάνεται με την εφαρμογή κατάλληλων ανόργανων λιπασμάτων. Εδώ πρέπει να αναφερθεί ο κίνδυνος από την υπερβολική απόθεση στο έδαφος μορφών N οι οποίες μπορούν να μεταφερθούν άμεσα ή μετά από μετατροπή τους σε επιφανειακές πηγές νερού, στους υπόγειους υδροφορείς και/ή στην ατμόσφαιρα και να οδηγήσουν στην υποβάθμιση της ποιότητάς τους, στον περιορισμό των πιθανών χρήσεων, στον ευτροφισμό και στο φαινόμενο του θερμοκηπίου (Brady and Weil, 2008).

Το κομπόστ αστικών στερεών απορριμμάτων χαρακτηρίζεται από περιεχόμενο σε N που μπορεί να αγγίξει αρκετά υψηλές τιμές ( $19 \pm 65\%$  g/kg, Hargreaves et al., 2008). Αυτό όμως που έχει μεγαλύτερη σημασία είναι η διαθεσιμότητά του, η οποία εξαρτάται από το χρόνο που έχει παρέλθει μετά την εφαρμογή του κομπόστ, καθώς έχει παρατηρηθεί ότι η ανοργανοποίηση του N στη αρχική περίοδο από την εφαρμογή του είναι πολύ αργή (Sanchez et al., 1997). Ποσοστά του διαθέσιμου επί του συνολικού N που έχουν αναφερθεί ανάλογα με το χρόνο είναι: 10% τον πρώτο χρόνο (Zhang et al. 2006); 16-21% στους 6 μήνες ως  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  (Inglesias-Jimenez και Alvarez, 1993). Σε γενικές γραμμές λοιπόν, το κομπόστ από στερεά απορρίμματα θεωρείται λιγότερο αποτελεσματικό σε ότι αφορά την ελευθέρωση διαθέσιμων μορφών N για τα φυτά σε σχέση με τα ανόργανα λιπάσματα (συγκεκριμένα παραδείγματα δίδονται αναλυτικά στην εκτενή αναφορά των Hargreaves et al., 2008). Σε άλλα παραδείγματα, πειράματα με μεγάλες δόσεις κομπόστ (40-142 t/ha) έδειξαν ότι η παραγωγή στις καλλιέργειες είναι αυξημένη κατά περιπτώσεις είτε συγκρινόμενη με άλλα βιοστερεά που εφαρμόστηκαν, είτε με ανόργανα λιπάσματα. Η αιτία αυτού είναι, όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, το μικρό ποσοστό του ολικού N που περιέχεται στο κομπόστ και είναι άμεσα διαθέσιμο. Το πρόβλημα αυτό εξομαλύνεται με αυξημένους ρυθμούς εφαρμογής (>50 t/ha) που όμως εισάγουν και μεγάλες ποσότητες συστατικών στο έδαφος με αρνητικές επιπτώσεις (π.χ. βαρέα μέταλλα) όπως αναφέρεται σε επόμενη ενότητα (βλ. § 1.2.5). Άλλη πρόταση που έχει γίνει, είναι η εφαρμογή του κομπόστ στο έδαφος σε ένα διάστημα πριν τη σπορά ικανό να δώσει το χρόνο ώστε να ελευθερωθεί το N όταν οι καλλιέργειες θα το έχουν ανάγκη (Sanchez et al., 1997). Τέλος πρέπει να αναφερθεί ότι σημαντικές

παράμετροι για τη μορφή και συνεπώς τη διαθεσιμότητα του N σε κομποστοποιημένα αστικά στερεά απορρίμματα αποτελούν οι συνθήκες της διεργασίας της κομποστοποίησης καθώς και η σύσταση των αρχικών υλικών (Hargreaves et al., 2008). Η διαδικασία κομποστοποίησης και η ωρίμανση των προϊόντων που έχουν προέλθει από τα ίδια αρχικά υλικά μπορεί να έχουν εντελώς διαφορετικά αποτελέσματα στο περιεχόμενο του κομπόστ σε ανόργανο και διαθέσιμο N. Ο Iglesias-Jimenez (2001) αναφέρει τα ώριμα κομπόστ (υψηλής βιολογικής σταθεροποίησης: «χουμοποιημένα») ως υψηλής διαθεσιμότητας σε N.

### **1.2.3 Επίδραση της εφαρμογής κομπόστ στο περιεχόμενο του εδάφους σε Φώσφορο (P)**

Ο P αποτελεί το δεύτερο πιο σημαντικό στοιχείο μετά το N που αφορά την παραγωγικότητα και την υγεία των εδαφικών οικοσυστημάτων. Η ύπαρξη και η διαθεσιμότητα του P είναι ζωτικής σημασίας για όλους τους οργανισμούς (σύσταση ATP, DNA, κυτταρική μεμβράνη κλπ.). Η ποσότητα του P στα εδάφη είναι αρκετά μικρή και με το μεγαλύτερο ποσοστό αυτής να βρίσκεται σε μορφές μη επαρκώς διαθέσιμες για τα φυτά. Είναι κοινή πρακτική λοιπόν η ενίσχυση των καλλιεργήσιμων εδαφών με P σε μεγαλύτερες όμως ποσότητες από αυτές που είναι ικανά να αφομοιώσουν τα φυτά, λόγω της μικρής διαθεσιμότητάς του. Αυτό ενέχει τον κίνδυνο της μεταφοράς αυτής της περίσσειας P σε υδάτινους αποδέκτες και την πρόκληση συμβάντων ευτροφισμού (Brady and Weil, 2008).

Τα κομπόστ αστικών στερεών απορριμμάτων περιέχουν ποσότητες P σε ένα εύρος που κυμαίνεται από 0,4 g/kg έως 1 g/kg, ενώ σε συγκεκριμένες περιπτώσεις μπορεί να αγγίξει και αρκετά μεγαλύτερες τιμές (Hargreaves et al., 2008). Όπως συμβαίνει με τη γενικότερη σύσταση του κομπόστ έτσι και για το P, η συγκέντρωσή του εξαρτάται από τη σύσταση του αρχικού υλικού και την ωριμότητά του (Ring και Warman, 2000). Με αυτές τις τιμές, η εφαρμογή του κομπόστ στο έδαφος έχει δείξει ότι μπορούν να ικανοποιηθούν οι ανάγκες των φυτών σε βαθμό αντίστοιχο πολλές φορές και με την εφαρμογή ανόργανων λιπασμάτων (Zhang et al. 2006). Όπως και με το N, ο ρυθμός απελευθέρωσης P σχετίζεται σε αναλογία με τον χρόνο που μεσολαβεί από την εφαρμογή του κομπόστ στο έδαφος. Έχει αναφερθεί ότι 3

μήνες μετά την εφαρμογή, οι ποσότητες P ελευθερώνονται στο έδαφος επαρκούν για της ανάγκες των φυτών (Iglesias-Jimenez et al., 1993). Επίσης η πρόσληψη από τα φυτά αυξάνει όσο αυξάνει ο ρυθμός εφαρμογής του κομπόστ. Η αύξηση όμως των ποσοτήτων του P μέσω της εφαρμογής κομπόστ με σκοπό την κάλυψη των αναγκών N στα φυτά, έδειξε κάθετη μεταφορά P στο έδαφος (Zhang et al. 2006) με κίνδυνο τα όσα αναφέρθηκαν πιο πάνω για τα γεγονότα ευτροφισμού. Τέλος, θεωρείται ότι ένα ώριμο κομπόστ αστικών στερεών απορριμμάτων έχει τη δυνατότητα, με την εφαρμογή του στο έδαφος, να προσφέρει στις καλλιέργειες επαρκείς ποσότητες P (Iglesias-Jimenez et al., 1993, Wolkowski, 2003).

#### **1.2.4 Επίδραση της εφαρμογής κομπόστ στο περιεχόμενο του εδάφους σε Κάλιο (Κ)**

Το Κ χαρακτηρίζεται επίσης ως βασικό στοιχείο για την αναπτυξη των φυτών και σχετίζεται με τη φωτοσύνθεση, τη σύνθεση πρωτεϊνών, τη μεταφορά σακχάρων και την αζωτοδέσμευση. Σχετίζεται επίσης με την ικανότητα προσαρμογής των φυτών στο περιβάλλον. Το Κ είναι παρόν σχεδόν σε όλα τα εδάφη αλλά η διαθεσιμότητά του για πρόσληψη από τα φυτά είναι περιορισμένη.

Ο de Haan (1981), αναφέρει ότι το Κ που περιέχεται σε κομπόστ είναι γενικά βιοδιαθέσιμο με διαθεσιμότητα αντίστοιχη με αυτή που συναντούμε στα λιπάσματα. Οι συγκεντρώσεις Κ στα κομπόστ αστικών στερεών απορριμμάτων κυμαίνονται από 4 – 10 g/kg (Hargreaves et al., 2008) εκ των οποίων, το 36 – 48% είναι διαθέσιμο για τα φυτά (de Haan, 1981, Soumare et al., 2003).

#### **1.2.5 Επίδραση στις συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων και βαρέων μετάλλων από την εφαρμογή κομπόστ σε καλλιέργειες: στο έδαφος και στα φυτά**

Το οργανικό κλάσμα των αστικών στερεών αποβλήτων που οδηγείται προς κομποστοποίηση, μπορεί να περιλαμβάνει εκτός των βιοαποδομήσιμων υλικών, από τα οποία θα προκύψει το κομπόστ και υλικά που μεταφέρουν στο τελικό προϊόν βαρέα μέταλλα. Οι κύριες πηγές αυτών είναι η ενεργός ιλύς και τα οικιακά απορρίμματα τα οποία περιλαμβάνουν ηλεκτρικούς συσσωρευτές, πλαστικά, χρώματα, μελάνια, προϊόντα περιποίησης σώματος, φάρμακα και εντομοκτόνα.



Τα στοιχεία που είναι συνήθως παρόντα στο κομπόστ και ενέχουν ανησυχία κατά την εφαρμογή του στο έδαφος, είναι κυρίως ο ψευδάργυρος (Zn), ο χαλκός (Cu), το νικέλιο (Ni), το κάδμιο (Cd), ο μόλυβδος (Pb), το χρώμιο (Cr) και ο υδράργυρος (Hg). Η ανησυχία για αυτά τα μέταλλα είναι αυξημένη, διότι οι συνήθεις συγκεντρώσεις τους στο κομπόστ είναι αρκετά μεγαλύτερες από τη φυσική τους συγκέντρωση στα εδάφη.

Η συσσώρευση τέτοιων στοιχείων στο εδαφικό περιβάλλον μπορεί να έχει σοβαρές συνέπειες στην ανθρώπινη υγεία μέσω της συσσώρευσής τους στην τροφική αλυσίδα, στην απόδοση των καλλιεργειών και στους μικροοργανισμούς του εδάφους που ρυθμίζουν τους βιογεωχημικούς κύκλους των στοιχείων. Γενικά, οι κύριες επιπτώσεις της απόθεσης βαρέων μετάλλων στο έδαφος συνοψίζονται ως εξής (Smith, 2009):

- Παρεμπόδιση της ανάπτυξης φυτών (φυτοτοξικότητα) μέσω της αφομοίωσης στους φυτικούς ιστούς μετάλλων όπως ο Zn, ο Cu και το Ni.
- Επίδραση στην ανθρώπινη τροφική αλυσίδα μέσω της πρόσληψης, κυρίως του Cd, από βρώσιμα φυτά .
- Άμεση επίδραση στην ανθρώπινη τροφική αλυσίδα μέσω της άμεσης πρόσληψης, κυρίως Cd, Pb και Hg, από το έδαφος συνήθως από τα παιδιά (π.χ. εφαρμογή κομπόστ σε οικιακό κήπο).
- Έμμεση επίδραση στην ανθρώπινη τροφική αλυσίδα μέσω της κατανάλωσης κρέατος ζώων που τρέφονται σε περιοχή που έχει γίνει εφαρμογή κομπόστ (κυρίως Cd και Pb).
- Επίδραση στην υγεία των ζώων (κυρίως Cu και Pb).
- Επίδραση στη μικροβιακή δραστηριότητα του εδάφους (κυρίως Zn).

Οι παραπάνω επιπτώσεις, καθώς και η κλίμακα αυτών σχετίζονται με τη βιοδιαθεσιμότητά τους στα φυτά, την ικανότητα της βλάστησης να συσσωρεύει τέτοια μέταλλα και να τα μεταφέρει στους ιστούς της, στις επιδράσεις στη μικροβιακή κοινότητα του εδάφους και λιγότερο ίσως, στην ολική συγκέντρωση των μετάλλων στο κομπόστ.

Η ολική συγκέντρωση των μετάλλων στο κομπόστ μπορεί να είναι ελάχιστος

σημασίας σε σύγκριση με τη διαθεσιμότητα αυτών. Για την εφαρμογή του κομπόστ σε καλλιεργήσιμα εδάφη, η διαθεσιμότητα των μετάλλων στα φυτά εξετάζεται υπό το πρίσμα πολλών παραγόντων που σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά του εδάφους στο οποίο ενσωματώνεται αυτό και σχετίζονται με τις συνθήκες εκείνες που τα καθιστούν διαθέσιμα προς πρόσληψη από τα φυτά. Τέτοιοι παράγοντες είναι το pH, το περιεχόμενο σε οργανικό υλικό, το είδος της οργανικής ύλης, η δομή του εδάφους και τα φυσικά χαρακτηριστικά του (Pinamonti et al., 1999).

Πέρα όμως από τα φυσικο-χημικά χαρακτηριστικά του εδάφους που μπορεί να ενισχύουν/περιορίζουν τη διαθεσιμότητα των μετάλλων στα φυτά, ο ρυθμός πρόσληψης από αυτά εξαρτάται και από τα ίδια τα χαρακτηριστικά του κάθε φυτού (Intawongse and Dean, 2006). Καλλιέργειες όπως το σπανάκι, το μαρούλι, το καρότο, το παντζάρι και το κολοκύθι είναι ικανά να προσλάβουν βαρέα μέταλλα όπως το Cd, ο Cu, το Mn, ο Pb και ο Zn, όταν η καλλιέργεια γίνεται σε εδάφη με υψηλές συγκεντρώσεις σε τέτοια στοιχεία. Οι ιδιότητες επίσης του κάθε στοιχείου το κάνουν πιο εύκολα αφομοιώσιμο ή αντίθετα, ανάλογα με την κινητικότητά του. Μέταλλα λοιπόν όπως το Cd και ο Cu που χαρακτηρίζονται από μεγάλη κινητικότητα είναι άμεσα αφομοιώσιμα από τα φυτά. Στον αντίποδα, ο Cu και ο Pb που προσροφούνται ισχυρά στα κolloειδή του εδάφους, είναι σε μικρό βαθμό διαθέσιμα για πρόσληψη από τα φυτά (Intawongse and Dean, 2006).

Ορισμένα από τα στοιχεία που αναφέρθηκαν προηγουμένως, αποτελούν βασικά θρεπτικά στοιχεία για τα φυτά. Τέτοια στοιχεία είναι ο σίδηρος (Fe), το μαγγάνιο (Mn), ο Zn, το βόριο (B), ο Cu, το μολυβδαίνιο (Mo) και το Ni. Οι ανάγκες των φυτών σε αυτά τα στοιχεία είναι μία ή και παραπάνω τάξεις μεγέθους μικρότερη από τα κύρια θρεπτικά στοιχεία.

Ο Cu και ο Zn αποτελούν απαραίτητα ιχνοστοιχεία για την ανάπτυξη των φυτών αλλά σε μεγάλες συγκεντρώσεις αποτελούν παράγοντες τοξικότητας για αυτά αλλά και τους μικροοργανισμούς του εδάφους. Επίσης οι συγκεντρώσεις των στοιχείων αυτών σε κομπόστ αστικών στερεών αποβλήτων είναι μεγαλύτερες από τις φυσικές συγκεντρώσεις στα εδάφη. Συνεπώς η προσθήκη κομπόστ στο έδαφος μπορεί να ενέχει κινδύνους τοξικότητας στα φυτά και στους μικροοργανισμούς αν οι συγκεντρώσεις είναι υψηλές και η διαθεσιμότητα των στοιχείων αυτών είναι

μεγάλη.

Χαλκός (Cu): Έχει αναφερθεί (Zhang et al., 2006, Hargreaves et al., 2008) ότι με την εφαρμογή κομπόστ στο έδαφος αυξάνεται η ολικός αλλά και ο διαθέσιμος χαλκός στο έδαφος. Σε ότι αφορά τον διαθέσιμο Cu, αξίζει να αναφερθεί ότι παρά την αύξησή του, η βιοδιαθεσιμότητά του παρατηρήθηκε ότι μειώνεται λόγω της συμπλοκοποίησής του με το οργανικό υλικό το οποίο αυξάνεται με την προσθήκη του κομπόστ (Hernando et al., 1989). Παρά ταύτα, έχει παρατηρηθεί αύξηση των συγκεντρώσεων του Cu σε διάφορα φυτά (καλαμπόκι, πατάτα, τριφύλλι, βασιλικός κλπ.), μετά την προσθήκη κομπόστ (~50t/ha), αλλά τις περισσότερες φορές οι συγκεντρώσεις αυτές είναι χαμηλότερες από το όριο τοξικότητας (Warman and Rodd, 1998; Zheljaskov and Warman, 2004; Hargreaves et al. 2008). Οι Intawongse και Dean (2006), αναφέρουν αύξηση της συγκέντρωσης του Cu στη ρίζα παρά στα φύλλα για το μαρούλι και το σπανάκι ενώ το αντίστροφο συνέβη για το ραπανάκι και το καρότο.

Ψευδάργυρος (Zn): Η πρόσληψη του Zn από τα φυτά, έδειξε να εξαρτάται από το είδος του φυτού (Intawongse, Dean, 2006, Zhang et al., 2006,). Η συγκέντρωσή του στο έδαφος έδειξε να αυξάνει με την προσθήκη κομπόστ, αλλά και εδώ, όπως και για το Cu, η βιοδιαθεσιμότητά του παραμένει χαμηλή καθώς παρατηρείται δέσμευσή του στα εδαφικά κολλοειδή και το οργανικό.

## **Αντικείμενα Εργασίας**

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση της επίδρασης της εφαρμογής κομπόστ αστικών στερεών αποβλήτων, στην ανάπτυξη και την παραγωγή κηπευτικών καλλιεργειών, στα χημικά χαρακτηριστικά του εδάφους και στη θρέψη των καλλιεργειών και τέλος, τις πιθανές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία λόγω της συσσώρευσης βαρέων μετάλλων στους φυτικούς ιστούς. Ειδικότερα, η εργασία επικεντρώνεται στην επίδραση του κομπόστ στη ανάπτυξη και την απόδοση κηπευτικών καλλιεργειών ντομάτας και μαρουλιού, στη συσσώρευση μετάλλων στους ιστούς τους, καθώς επίσης και στη διερεύνηση της συνεισφοράς θρεπτικών συστατικών στο έδαφος. Ο στόχος είναι η εξαγωγή συμπερασμάτων που μπορούν να συνεισφέρουν στη ανάπτυξη πρακτικών και κριτηρίων για τη βελτιστοποίηση της

χρήσης του κομπόστ από στερεά απόβλητα στην αγροτική παραγωγή και στον περιορισμό των πιθανών επιπτώσεων στη δημόσια υγεία, το περιβάλλον, την αειφορία των εδαφών και την αγροτική παραγωγή.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ - 2 - ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

### 2.1 Σχεδιασμός Πειράματος

Για την πραγματοποίηση του πειράματος, χρησιμοποιήθηκαν δοχεία των 40L με έδαφος που συλλέχθηκε από την περιοχή των Χανίων (Πίνακας 2.1). Το έδαφος πριν την τοποθέτησή του στα δοχεία (Αύγουστος 2011) κοσκινίστηκε στα 4mm και αφαιρέθηκαν, όσο ήταν δυνατόν, φυτικά υπολείμματα. Την 12η Αυγούστου 2010 ενσωματώθηκε στο έδαφος κομπόστ (Πίνακας 2.1) που λήφθηκε από το Εργοστάσιο Μηχανικής Ανακύκλωσης και Κομποστοποίησης της Διαδημοτικής Εταιρείας Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων του Ν. Χανίων. Η ενσωμάτωση του compost στο έδαφος έγινε στα πρώτα 15 cm, προσομοιάζοντας συνθήκες πεδίου και αφού προηγήθηκε κοσκίνισή του στα 4mm και αφαίρεση αντικειμένων όπως πλαστικά. Η εφαρμογή έγινε σε 3 δόσεις: 0, 50 και 100 t/ha. Τα δοχεία τοποθετήθηκαν σε ανοιχτό χώρο των εγκαταστάσεων του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης. Στις 19/8 και 26/8 αντίστοιχα, φυτεύτηκαν στα δοχεία φυτάρια ντομάτας (1/δοχείο) και μαρουλιού (2/δοχείο). Την 15<sup>η</sup> Οκτωβρίου έγινε 2<sup>η</sup> φύτευση μαρουλιών μετά από συγκομιδή της πρώτης. Χρησιμοποιήθηκαν 4 δοχεία για τις εφαρμογές κομπόστ 50 και 100 t/ha για κάθε είδος φυτού και 4 δοχεία ανά είδος φυτού χωρίς κομπόστ (Σχήμα 2.1) Επίσης, ανά εφαρμογή compost χρησιμοποιήθηκαν 4 δοχεία χωρίς φυτό ως μάρτυρες.

**Πίνακας 2.1 Φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά εδάφους και κομπόστ**

	pH	EC (dS/m)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N (mg/kg)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N (mg/kg)	TOC %	TC %	TN %	C/N
<b>Έδαφος</b>	7.7	0.12	34.36	6.55	0.22	0.34	0.08	5.1
<b>Κομπόστ</b>	7.54	0.0146	1723.2	124.28	15.7	15.85	2.2	7.19

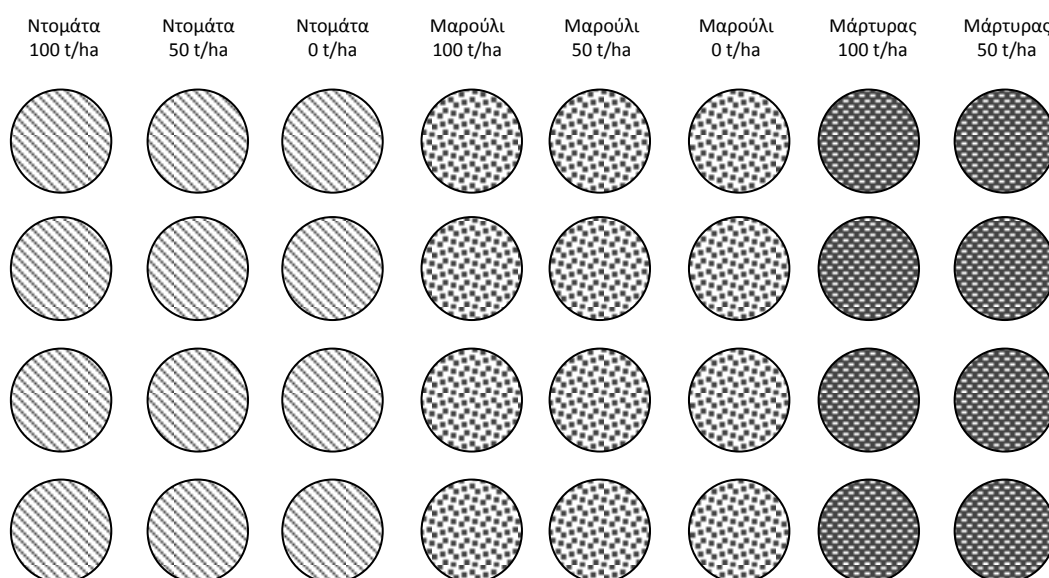
Τέλος, όπου έγινε εφαρμογή κομπόστ δεν έγινε άλλη προσθήκη θρεπτικών πέρα από αυτά που υπήρχαν σε αυτό. Αντίθετα, όπου δεν τοποθετήθηκε κομπόστ εφαρμόστηκε κατά την άρδευση εμπορικό λίπασμα συνολικής ποσότητας 5gr N/δοχείο. Έλαβε χώρα επίσης, συστηματική αφαίρεση παρασιτικών φυτών στα δοχεία.

Πίνακας 2.2 Περιεκτικότητα εδάφους και κομπόστ σε μέταλλα (τιμές σε mg/kg)

	B	Na	Mg	K	Ca	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Se	Cd	Hg	Pb
Έδαφος	12,6	<DL	1329	1664	2054	28,6	574	30092	23,8	21,2	29,3	9,75	<DL	<DL	2,84	15,3
Κομπόστ	97,8	468	5001	9730	78786	26,6	151	7246	31,3	177	3518	4,18	2,96	<DL	2,16	115

## 2.2 Δειγματοληψίες εδάφους

Οι δειγματοληψίες εδάφους διήρκησαν από τον Αύγουστο (2010) έως τον Φεβρουάριο (2011) και πραγματοποιήθηκαν σε μηνιαία βάση. Δείγματα λαμβανόταν με δειγματολήπτη από δύο διαφορετικά βάθη: 0-15 και 15-30cm. Για κάθε μεταχείριση λαμβανόταν δείγματα και μετά από κατάλληλο προσδιοριζόταν το ολικό άζωτο(TKN), το αμμωνιακό άζωτο ( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ), το νιτρικό άζωτο ( $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ), ο οργανικός άνθρακας (TOC), το pH, η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) και τα μέταλλα σύμφωνα με τα πρωτόκολλα που περιγράφονται στις Methods of Soil Analysis (1982).



Σχήμα 2.1 Διάταξη πειράματος

## 2.3 Αναλύσεις Εδάφους

### 2.3.1 Νιτρικό Άζωτο ( $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ), Αμμωνιακό άζωτο ( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ )

Για τον προσδιορισμό του  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  και  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ , τα εδάφη ξηραίνονταν σε φούρνο στους  $45^\circ\text{C}$  μέχρι σταθεροποίησης του βάρους τους, ακολουθούσε κοσκίνιση στα

2mm και, εκχύλιση με διάλυμα 2M KCl, σε αναλογία εδάφους προς KCl, 1gr:10ml, με ανάδευση για 30min σε 180rpm. Στη συνέχεια, το εκχύλισμα διηθούταν σε φίλτρο (Whatman No. 42 Filter Paper) με χρήση αντλίας κενού. Ο προσδιορισμός του  $\text{NO}_3^-$ -N έγινε, βάση της μεθόδου αναγωγής του καδμίου, φωτομετρικά στα 540nm (UV/VIS spectrophotometer, Lambda 25, Perkin Elmer). Ο προσδιορισμός του  $\text{NH}_4^+$ -N έγινε επίσης φωτομετρικά (425nm) ακολουθώντας τη μέθοδο αναγωγής του αντιδραστηρίου Nessler.

### 2.3.2 Ολικό άζωτο (TKN), Ολικός οργανικός άνθρακας (TOC)

Ένα μέρος των δειγμάτων μετά την ξήρανση και την κοσκίνιση στα 2mm, κονιορτοποιούνταν (<250μm) σε γουδί πορσελάνης. Η σκόνη αυτή χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό του Ολικού N ως ολικό Kjeldahl N (TKN). Ο προσδιορισμός του TKN έγινε μετά από χώνευση του δείγματος, φωτομετρικά με κατάλληλη μέθοδο (μέθοδος Nessler). Ο οργανικός άνθρακας προσδιορίστηκε με τη μέθοδο υγρής καύσης Walkley-Black (1946).

### 2.3.3 pH, Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC)

Το pH και η ηλεκτρική αγωγιμότητα προσδιορίστηκαν σε υδατικά διαλείμματα ξηρού εδάφους (<2mm) με απιονισμένο νερό σε αναλογίες εδάφους προς νερό 1:2.5 και 1:5 αντίστοιχα και ανάδευση σε 160rpm για 30min και αφού αφέθηκαν να ηρεμήσουν για άλλα 30min, με χρήση ηλεκτροδίου (Hach multiparameter, HQ 40 d multi).

### 2.3.4 Ολικά μέταλλα

Τα μέταλλα που προσδιορίστηκαν αφορούσαν μέταλλα απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών (B, K, Na, Mg, Ca, Cu, Zn) καθώς και βαρέα μέταλλα (As, Cd, Cr, Pb, κλπ.) που μπορούν να παρεμποδίζουν την ανάπτυξή τους καθώς και την ανάπτυξη μικροοργανισμών στο έδαφος. Ο ποσοτικός προσδιορισμός των μετάλλων αυτών έγινε στο αρχικό έδαφος καθώς και στο compost με χρήση φασματομετρίας μαζών επαγωγικά συζευγμένου πλάσματος (ICP-MS 7500cx coupled with

Autosampler Series 3000, Agilent Technologies), μετά από κατάλληλη επεξεργασία των εδαφικών δειγμάτων ούτως ώστε να έλθουν τα μέταλλα σε διαλυτή μορφή. Η επεξεργασία αυτή περιελάμβανε την υγρή χώνευση με μικροκύματα (Microwave Digester, Synthos 3000, Anton Paar) κονιορτοποιημένου εδαφικού δείγματος (<250μm). Η μέθοδος που ακολουθήθηκε για τη χώνευση των δειγμάτων ήταν μια παραλλαγή της μεθόδου EPA3051. Πιο συγκεκριμένα, ποσότητα δείγματος (~0,5gr) χωνεύθηκε με 9ml HNO<sub>3</sub> και μέγιστη ισχύ μικροκυμάτων 800W.

### 2.3.5 Εκχυλίσμα μέταλλα (SPLP)

Για τον προσδιορισμό των μετάλλων που μπορούν να εκπλυθούν από το έδαφος και συνεπώς να μεταφερθούν σε επιφανειακά ή υπόγεια νερά είτε να είναι διαθέσιμα για πρόσληψη από τα φυτά, ακολουθήθηκε η μέθοδος έκπλυσης με συνθετική βροχή (SPLP, EPA Method 1312). Δείγμα εδάφους (<2mm) με ποσότητα τεχνητής βροχής (1:20) ανακινήθηκε περιστροφικά (rotary agitator) για περίπου 18ώρες. Ακολουθούσε διήθηση του εκχυλίσματος και το διήθημα αναλύθηκε ως προς τα βαρέα μέταλλα που περιείχε με χρήση φασματομετρίας μαζών επαγωγικά συζευγμένου πλάσματος (ICP-MS 7500cx, Agilent Technologies).

## 2.4 Δειγματοληψίες φυτών και καρπών

Στο τέλος κάθε κύκλου ανάπτυξης των μαρουλιών (26/08-11/10 και 15/10-01/12) και των φυτών ντομάτας (10/12), τα φυτά κόπηκαν και ζυγίστηκαν για τον προσδιορισμό του υγρού τους βάρους. Δείγματα αυτών των φυτών στη συνέχεια, ξηράθηκαν (45°C μέχρι σταθεροποίησης του βάρους) ούτως ώστε να προσδιοριστεί το ξηρό βάρος και κατά συνέπεια η βιομάζα που παράχθηκε. Για τις ντομάτες, καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος γινόταν συλλογή ώριμων καρπών και ακολουθούταν η ίδια διαδικασία ζύγισης υγρού βάρους και προσδιορισμός ξηρού, για να προκύψει ο υπολογισμός της παραγωγής. Όλα τα ξηρά δείγματα, φυτών και καρπών, κονιορτοποιούνταν (<250μm) για τις περαιτέρω χημικές αναλύσεις.



## 2.5 Αναλύσεις φυτών και καρπών

Οι αναλύσεις που έγιναν στους φυτικούς ιστούς αφορούσαν τις συγκεντρώσεις θρεπτικών N και P, καθώς και ιχνοστοιχείων απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών. Επίσης έγινε προσδιορισμός βαρέων μετάλλων στους ιστούς για να ελεγχθεί πιθανή μεταφορά μετάλλων από το compost σε αυτούς.

### 2.5.1 Ολικό άζωτο (TKN)

Για τον προσδιορισμό του ολικού N στους ιστούς, έγινε χώνευση των ξηρών κονιορτοποιημένων δειγμάτων με πυκνό  $H_2SO_4$  βάση της μεθόδου Kjeldahl. Τέλος, ο προσδιορισμός του N έγινε φωτομετρικά με την μέθοδο της υδροφαινόλης.

### 2.5.2 Ιχνοστοιχεία, βαρέα μέταλλα, ολικός φώσφορος

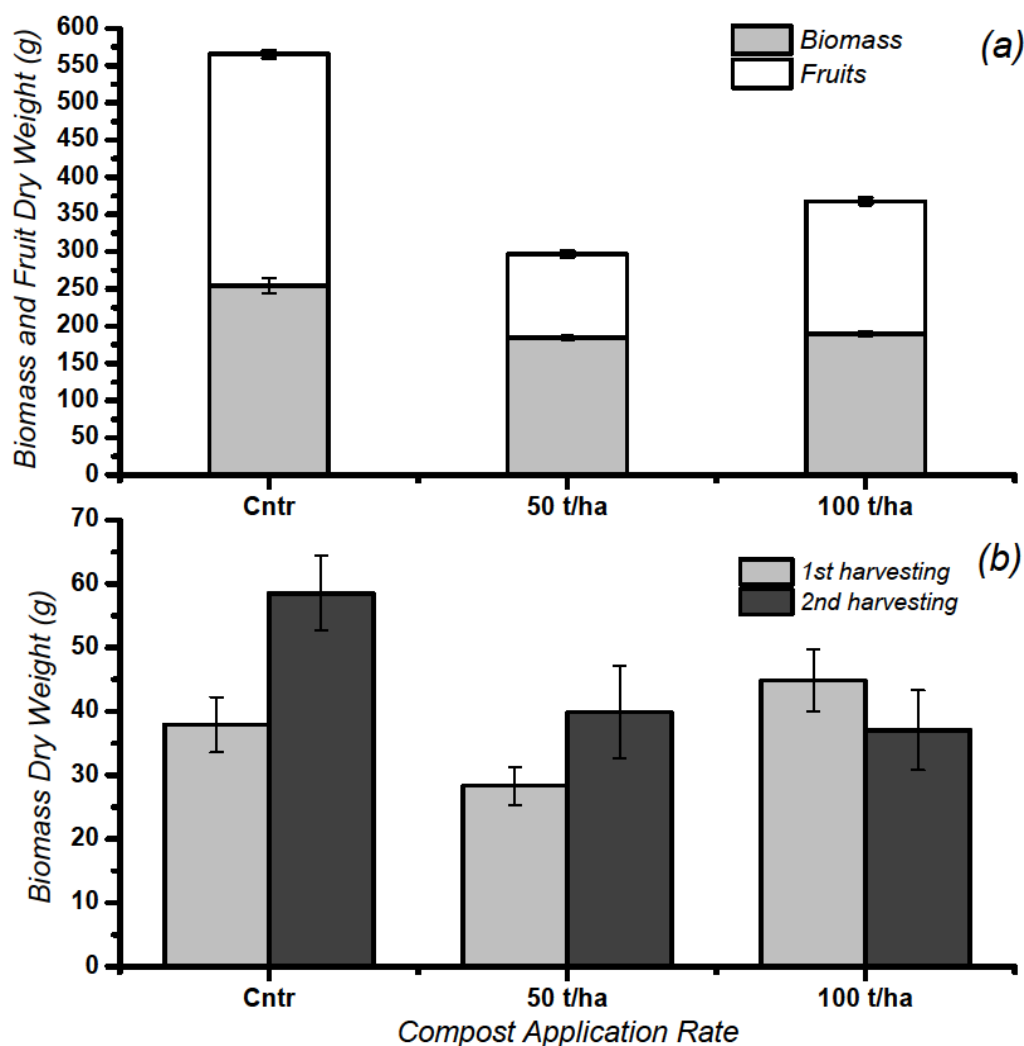
Τα ξηρά, κονιορτοποιημένα δείγματα, υπέστησαν υγρή χώνευση με μικροκύματα (Microwave Digester, Synthos 3000, Anton Paar) με χρήση της τροποποιημένης μεθόδου EPA3051 (~0,5gr δείγματος, 9ml  $HNO_3$ , μέγιστη ισχύς μικροκυμάτων 800W) που χρησιμοποιήθηκε και για εδαφικά δείγματα. Στα χωνευμένα δείγματα έγινε ποσοτικός προσδιορισμός ιχνοστοιχείων και βαρέων μετάλλων (K, Na, Mg, Ca, Cu, Zn, As, Cd, Cr, Pb, κλπ.) με χρήση φασματομετρίας μαζών επαγωγικά συζευγμένου πλάσματος (ICP-MS 7500cx, Agilent Technologies). Ο ολικός P προσδιορίστηκε στα χωνευμένα δείγματα φωτομετρικά με τη μέθοδο αμμωνιακού μολυβδαινίου- ασκορβικού οξέος.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ - 3 - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

### 3.1 Ανάπτυξη φυτών

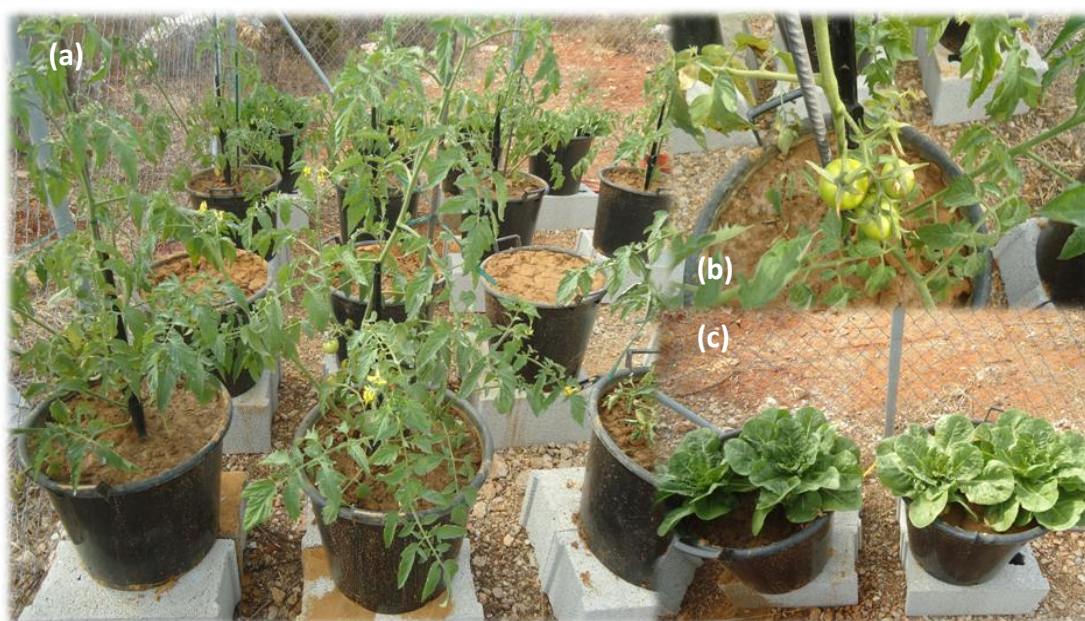
Η περισσότερη βιομάζα παράχθηκε από τα φυτά ντομάτας που έλαβαν συμβατικό λίπασμα. Ακολούθησαν τα φυτά που δέχθηκαν τους 100t/ha κομπόστ, ενώ τη χαμηλότερη βιομάζα παρήγαγαν τα φυτά που δέχθηκαν 50 t/ha κομπόστ (Σχήμα 3.1). Ανάλογη είναι και η σχέση παραγωγής βιομάζας στον καρπό με ακόμη πιο έντονες τις διαφορές (

Σχήμα 3.1). Δηλαδή η ολική παραγωγή βιομάζας για τα φυτά που δέχθηκαν 100 και 50 t/ha κομπόστ ήταν, σε σχέση με τα φυτά που δέχθηκαν συμβατικό λίπασμα, μειωμένη κατά 35% και 48% αντίστοιχα.



Σχήμα 3.1 Η επίδραση της εφαρμογής κομπόστ στην παραγωγή των κηπευτικών: (a) βιομάζα και παραγωγή ντομάτας (15/8-15/12) και (b) βιομάζα μαρουλιών κατά τον πρώτο κύκλο ανάπτυξης (25/8-15/10) και κατά τον δεύτερο (20/10-01/12).

Για τα μαρούλια, στον 1<sup>ο</sup> κύκλο παραγωγής, η παραγωγή βιομάζας για αυτά που δέχθηκαν συμβατικό λίπασμα και αυτά που δέχθηκαν 100t/ha κομπόστ, ήταν περίπου ίδια και αυξημένη σε σχέση με αυτά που δέχθηκαν 50 t/ha κομπόστ (Σχήμα 3.1 b). Στον 2<sup>ο</sup> κύκλο φύτευσης μαρουλιών, η περισσότερη βιομάζα παράχθηκε από τα φυτά που δέχθηκαν συμβατικό λίπασμα, ακολούθησαν αυτά που δέχθηκαν τη μεγαλύτερη δόση κομπόστ και λιγότερη αυτά που δέχθηκαν 50 t/ha (Σχήμα 3.1 b).

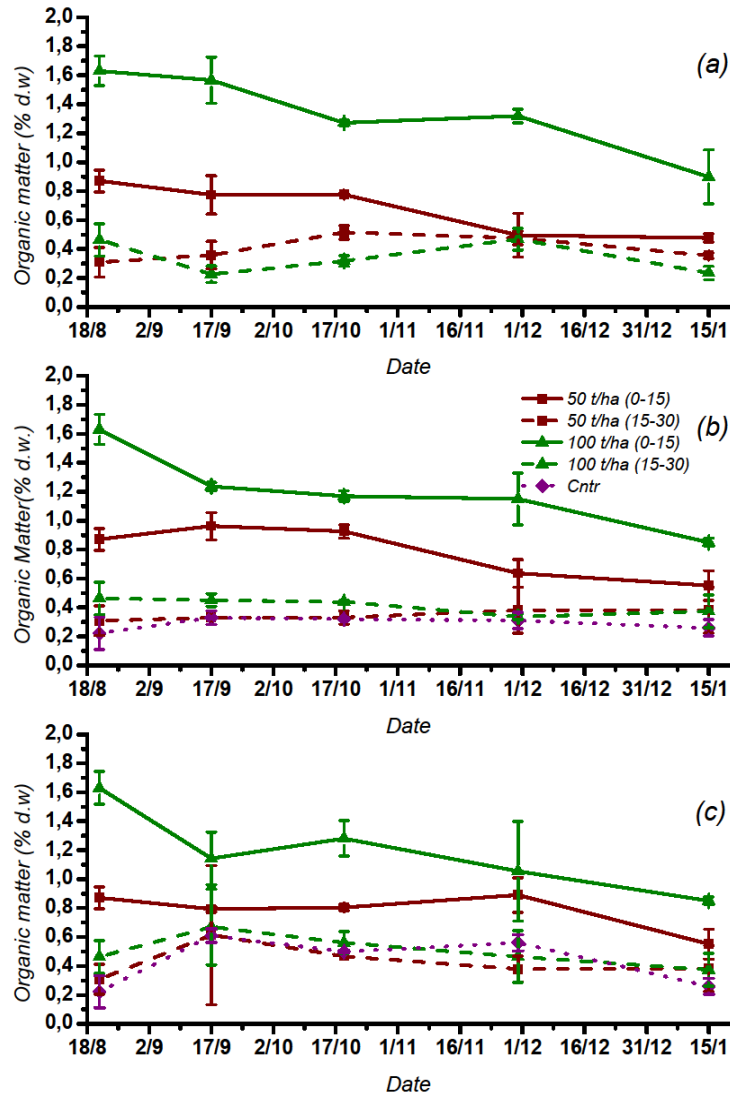


Εικόνα 3.1 (α) διάταξη δοχείων με και χωρίς φυτά, (b) φυτό ντομάτας με καρπό, (c) φυτά μαρουλιών-πρώτη φύτευση.

### 3.2 Οργανικό υλικό του εδάφους

Σε ότι αφορά το οργανικό υλικό του εδάφους όπου έγινε προσθήκη κομπόστ, οι διαφορές για τα δοχεία με φυτά και χωρίς φυτά, ήταν μη σημαντικές. Παρατηρήθηκε σταδιακή μείωση με το χρόνο στο βάθος 0-15cm είτε με, ή χωρίς φυτό (Σχήμα 3.2 a,b,c). Στο βάθος 15-30cm, το οργανικό υλικό παρέμεινε σχετικά σταθερό, στα επίπεδα των εδαφών στα οποία δεν εφαρμόστηκε κομπόστ. Το εύρημα αυτό υποδεικνύει ότι δεν υπήρξε ουσιαστική μεταφορά οργανικού υλικού στα μεγαλύτερα βάθη μετά την εφαρμογή του κομπόστ (Σχήμα 3.2 a,b,c). Στο βάθος

0-15cm, το οργανικό υλικό, σταδιακά μειώθηκε από το 1,7% στο 1,4% στα εδάφη χωρίς φυτά και με εφαρμογή κομπόστ 100 t/h. Μια πιο ήπια μείωση, από το 0,9% στο 0,7%, συνέβη στα δοχεία όπου εφαρμόστηκαν 50 t/ha κομπόστ (Σχήμα 3.2).

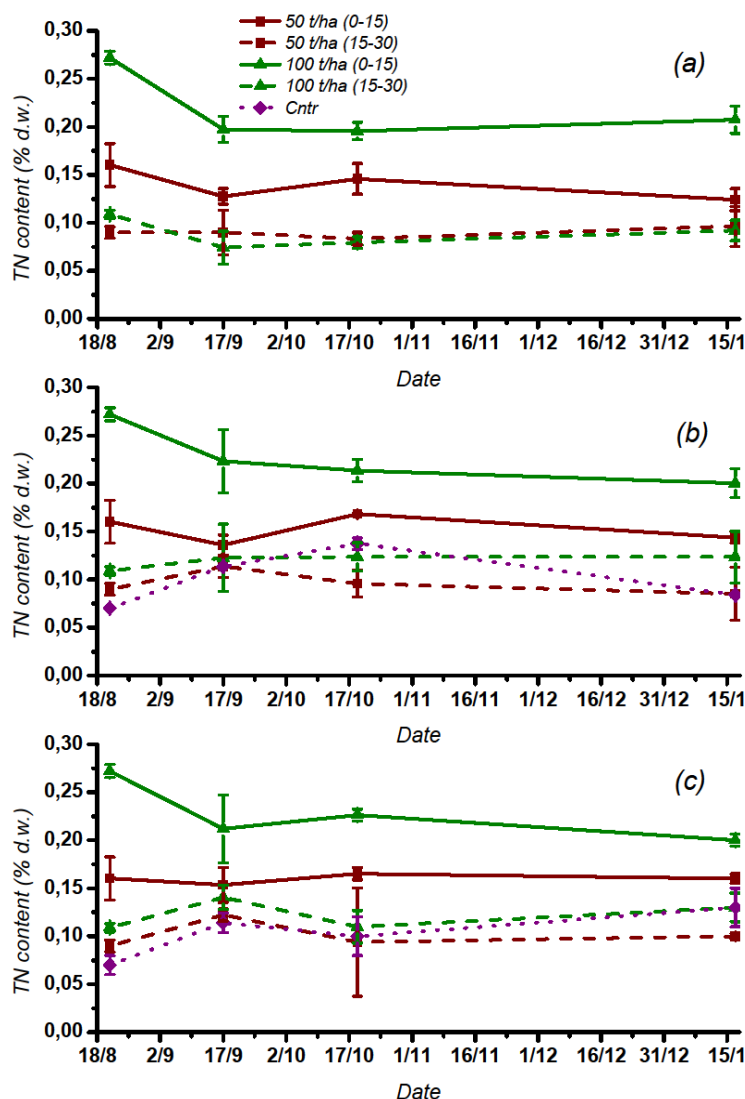


Σχήμα 3.2 Επίδραση της εφαρμογής κομπόστ στο οργανικό υλικό του εδάφους: (a) σε δοχεία χωρίς φυτά (b) σε δοχεία φυτεμένα με μαρούλι και (c) σε δοχεία φυτεμένα με ντομάτα.

### 3.3 Διαθεσιμότητα και μετατροπή αζώτου

Η εφαρμογή κομπόστ στο έδαφος επηρέασε τη μετατροπή του N και τη διαθεσιμότητά του. Το ολικό N (TKN), έδειξε μία έντονη μείωση και για τα δοχεία που έφεραν φυτά αλλά και για αυτά που δεν έφεραν (Σχήμα 3.3 a,b,c) στο βάθος 0-15cm κατά τον πρώτο μήνα από την εφαρμογή του κομπόστ. Από το σημείο αυτό, το N σε αυτό το βάθος, έμεινε ουσιαστικά αμετάβλητο σε όλες τα δοχεία

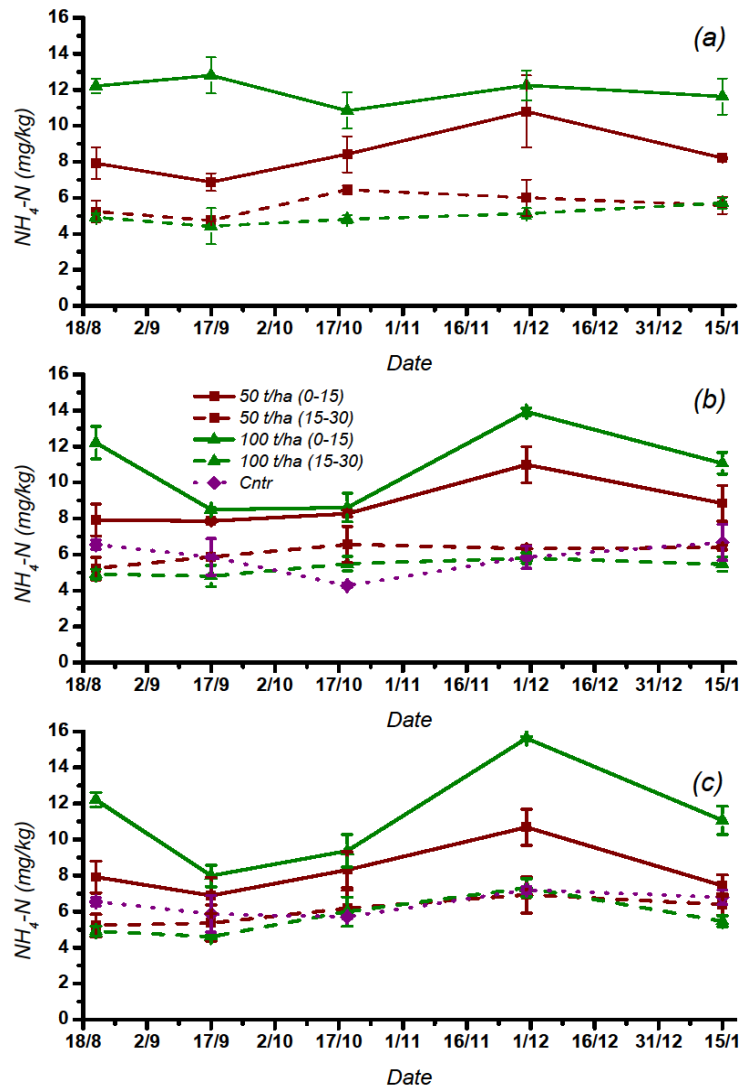
ανεξάρτητα από το ρυθμό εφαρμογής κομπόστ, καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος (Σχήμα 3.3 α,β,γ). Αντίθετα, στο βάθος 15-30cm, δεν παρατηρήθηκαν αξιοσημείωτες επιδράσεις από την εφαρμογή κομπόστ, (Σχήμα 3.3 α,β,γ.).



Σχήμα 3.3 Επίδραση της εφαρμογής κομπόστ στο ολικό N του εδάφους: (α) σε δοχεία χωρίς φυτό (β) σε δοχεία φυτεμένα με μαρούλι και (γ) σε δοχεία φυτεμένα με ντομάτα.

Σε ότι αφορά το  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ , η παρούσα μελέτη έδειξε ότι υπήρξαν διαφορές στη διαθεσιμότητά του που σχετίζεται με την ύπαρξη ή μη φυτού στα δοχεία στις οποίες έγινε εφαρμογή κομπόστ (Σχήμα 3.4 α,β,γ). Η συγκέντρωση των αμμωνιακών παρέμεινε, επί της ουσίας, σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος στα δοχεία χωρίς κομπόστ και στο βάθος 0-15cm (Σχήμα 3.4 α). Αντίθετα, στα δοχεία με φυτό και στο αντίστοιχο βάθος, η συγκέντρωση των αμμωνιακών μειώθηκε από 12 στα 8 mg/kg στις πρώτες 30 ημέρες όπου και διατηρήθηκε έως την 3<sup>η</sup>

δειγματοληψία (19 Οκτωβρίου). Στη συνέχεια παρατηρήθηκε ανάκαμψη και αύξηση της συγκέντρωσης για να καταλήξει, στην τελευταία δειγματοληψία σε τιμές όμοιες με τα αρχικά επίπεδα ( $\sim 12 \text{ mg/kg}$ ) (Σχήμα 3.4 a,b,c). Στο μεγαλύτερο βάθος (15-30cm), η επίδραση που παρατηρήθηκε ήταν μη σημαντική (Σχήμα 3.4 a,b,c).

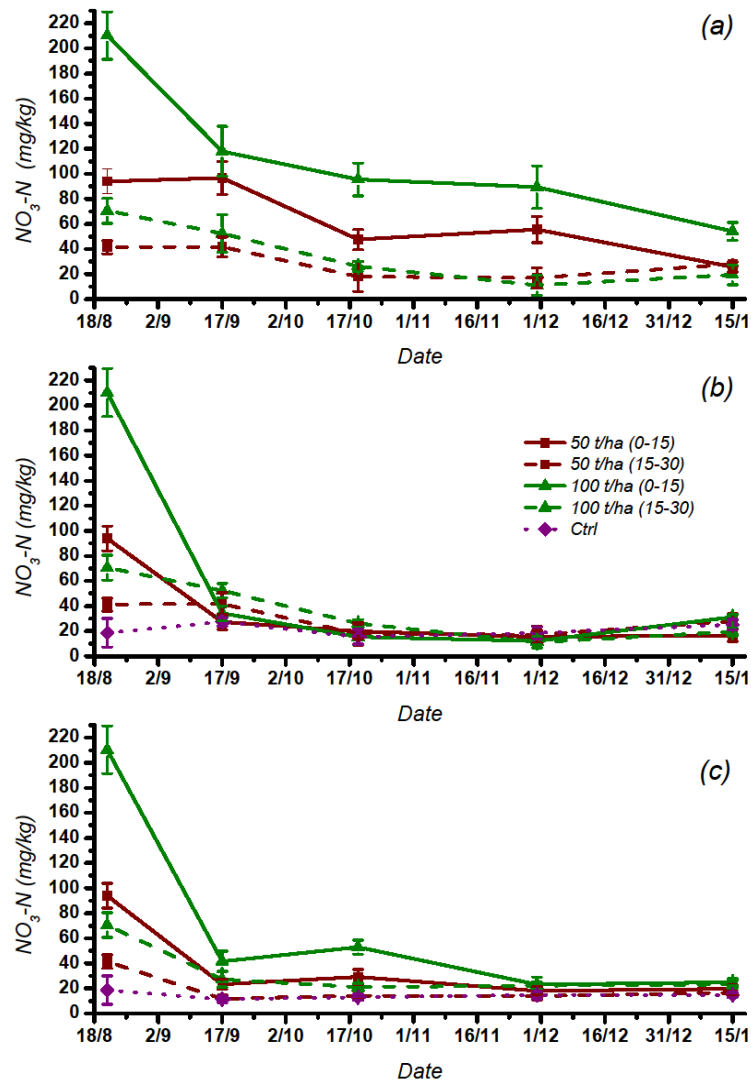


Σχήμα 3.4 Επίδραση της εφαρμογής κομπόστ στο περιεχόμενο σε  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  του εδάφους: (α) σε δοχεία χωρίς φυτό (b) σε δοχεία φυτεμένα με μαρούλι και (c) σε δοχεία φυτεμένα με ντομάτα.

Τέλος, στα δοχεία που έφεραν φυτό και στα οποία δεν έγινε εφαρμογή κομπόστ, το περιεχόμενο του εδάφους σε  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  για τα δύο βάθη ήταν παρόμοιο και συγκρίσιμο με το βάθος 15-30cm των φυτεμένων δοχείων με κομπόστ (Σχήμα 3.4 b,c).

Το περιεχόμενο του εδάφους σε  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  ακολούθησε μια σταδιακή πορεία μείωσης στα δοχεία χωρίς φυτό και η μείωση αυτή δείχνει να εξαρτάται από την ποσότητα

κομπόστ που ενσωματώθηκε στο έδαφος (Σχήμα 3.5 α). Στο έδαφος που έγινε η εφαρμογή των 100 t/ha κομπόστ, οι συγκεντρώσεις νιτρικών ιόντων ήταν υψηλότερες σε σχέση με αυτές που παρατηρήθηκαν στα εδάφη με τη χαμηλότερη ποσότητα κομπόστ. Η διαφορά αυτή, αφορά το βάθος 0-15cm καθώς στο βάθος 15-30cm, δεν παρατηρήθηκε ουσιαστική διαφορά εκτός από την πρώτη δειγματοληψία (21 Αυγούστου) (Σχήμα 3.5 α).

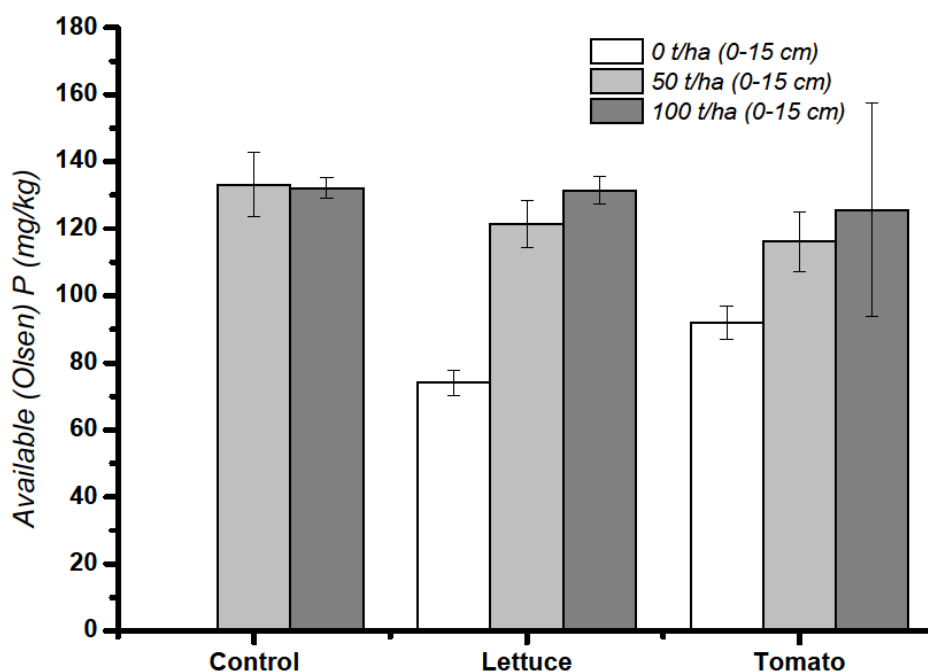


Σχήμα 3.5 Επίδραση της εφαρμογής κομπόστ στο περιεχόμενο σε  $\text{NO}_3\text{-N}$  του εδάφους: (α) σε δοχεία χωρίς φυτό (β) σε δοχεία φυτεμένα με μαρούλι και (c) σε δοχεία φυτεμένα με ντομάτα.

Η μείωση του  $\text{NO}_3\text{-N}$  στα δοχεία με φυτό, είναι πιο έντονη σε σχέση με τα μη φυτεμένα, μια επίδραση που αποδίδεται στην πρόσληψή του από τα φυτά (Σχήμα 3.5 b,c). Πιο συγκεκριμένα, στα δοχεία με μαρούλι, η συγκέντρωση του  $\text{NO}_3\text{-N}$  στο

υψηλό στρώμα εδάφους, άγγιξε την ελάχιστη τιμή στη 2<sup>η</sup> μόλις δειγματοληψία και παρέμεινε σε αυτό το επίπεδο με την ολοκλήρωση του πειράματος. Σε αυτήν ακριβώς τη δειγματοληψία οι τιμές του  $\text{NO}_3^- \text{N}$  για το βάθος 0-15cm είναι χαμηλότερες από τις αντίστοιχες του μεγαλύτερου βάθους, πράγμα που μπορεί να σχετιστεί με το ρηχό ριζικό σύστημα του μαρουλιού το οποίο προσλαμβάνει νιτρικά μόνο από αυτό το βάθος και δεν επιτρέπει την ανάκαμψή τους σε αυτό. Η επίδραση αυτή δεν παρατηρείται στα δοχεία που είναι φυτεμένα με ντομάτες καθώς η ντομάτα έχει πιο βαθύ ριζικό σύστημα (Σχήμα 3.5 b,c). Στα φυτεμένα με ντομάτα δοχεία, για τη μεγάλη δόση κομπόστ και για το βάθος 0-15cm, η συγκέντρωση του  $\text{NO}_3^- \text{N}$  στο έδαφος παραμένει υψηλότερα μέχρι την 3<sup>η</sup> δειγματοληψία και από κει και πέρα δεν ανιχνεύονται σημαντικές διαφορές ούτε σε σχέση με το βάθος αλλά ούτε και σε σχέση με τη δόση κομπόστ. Τέλος, σε καμία διαχείριση, είτε δόσης κομπόστ, είτε είδους φυτού αλλά ούτε και βάθους δειγματοληψίας, δεν παρατηρήθηκε ανάκαμψη στη συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων στο έδαφος μετά την απομάκρυνση των φυτών (Σχήμα 3.5 a,b,c).

### 3.4 Διαθέσιμος φώσφορος



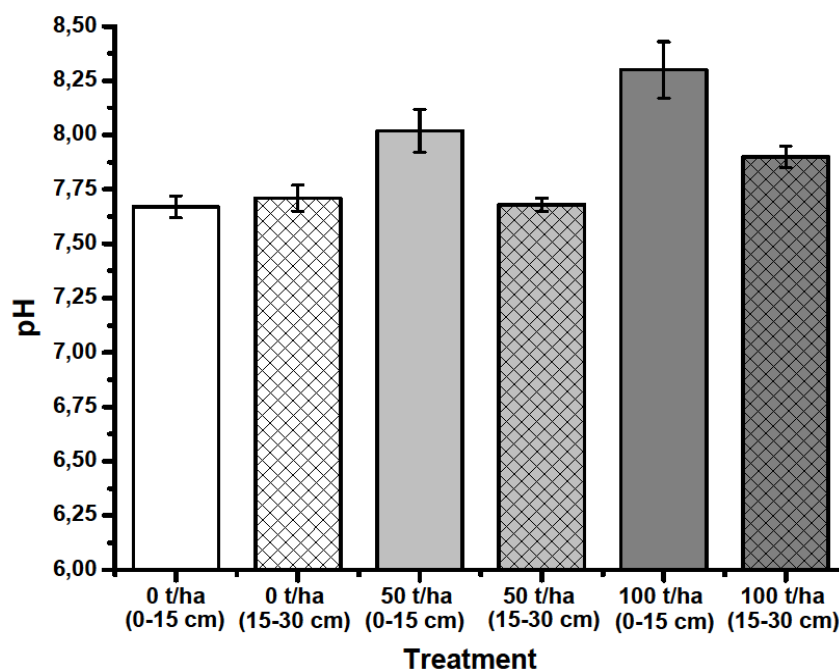
Σχήμα 3.6 Διαθέσιμος (Olsen) P στο επάνω στρώμα του εδάφους (0-15 cm) κατά τη 2<sup>η</sup> δειγματοληψία εδαφών.



Στο Σχήμα 3.6 φαίνεται η συνεισφορά της εφαρμογής κομπόστ στην αύξηση του διαθέσιμου φωσφόρου στο έδαφος. Παρατηρήθηκε αύξηση του διαθέσιμου P στο έδαφος και για τις 2 δόσεις κομπόστ, αλλά η αύξηση αυτή δεν ήταν ανάλογη της δόσης. Παρ' όλα αυτά, η δόση κομπόστ των 100 t/ha, οδήγησε σε μια μικρή αύξηση στο διαθέσιμο P του εδάφους σε σχέση με τη μικρή δόση (50 t/ha).

### 3.5 pH

Με την εφαρμογή κομπόστ, το pH αυξήθηκε από το 7,68 στο 8,09 για τη δόση 50 t/ha, ενώ για τους 100 t/ha αυξήθηκε από το 7,68 στο 8,15. Οι τιμές αυτές αφορούν το βάθος 0-15cm. Στο βάθος 15-30cm μια μικρή αύξηση παρατηρήθηκε μόνο στη μεγάλη δόση κομπόστ. Τέλος, δεν παρατηρήθηκαν επιδράσεις σε σχέση με το είδος του φυτού ( Σχήμα 3.7).

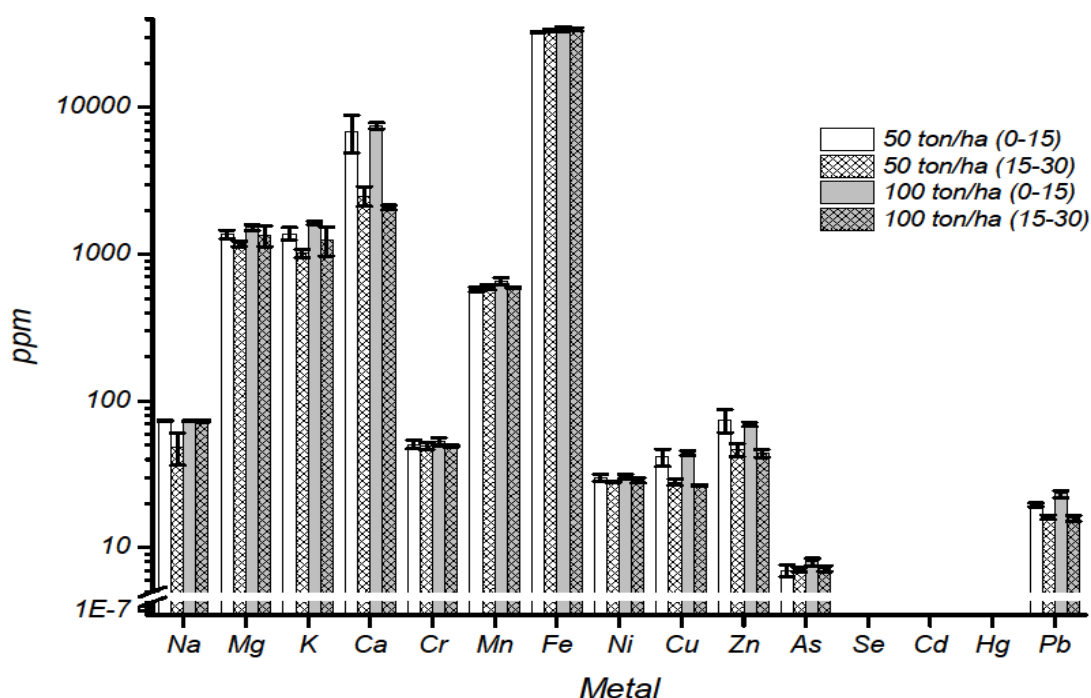


Σχήμα 3.7 Επίδραση της δόσης κομπόστ που εφαρμόστηκε, στο pH του εδάφους.

### 3.6 Περιεχόμενο εδάφους σε μέταλλα και ιχνοστοιχεία

Η εφαρμογή κομπόστ αύξησε, όπως ήταν αναμενόμενο, το περιεχόμενο του εδάφους σε μέταλλα στο βάθος 0-15cm όπου και έγινε η εφαρμογή του κομπόστ.

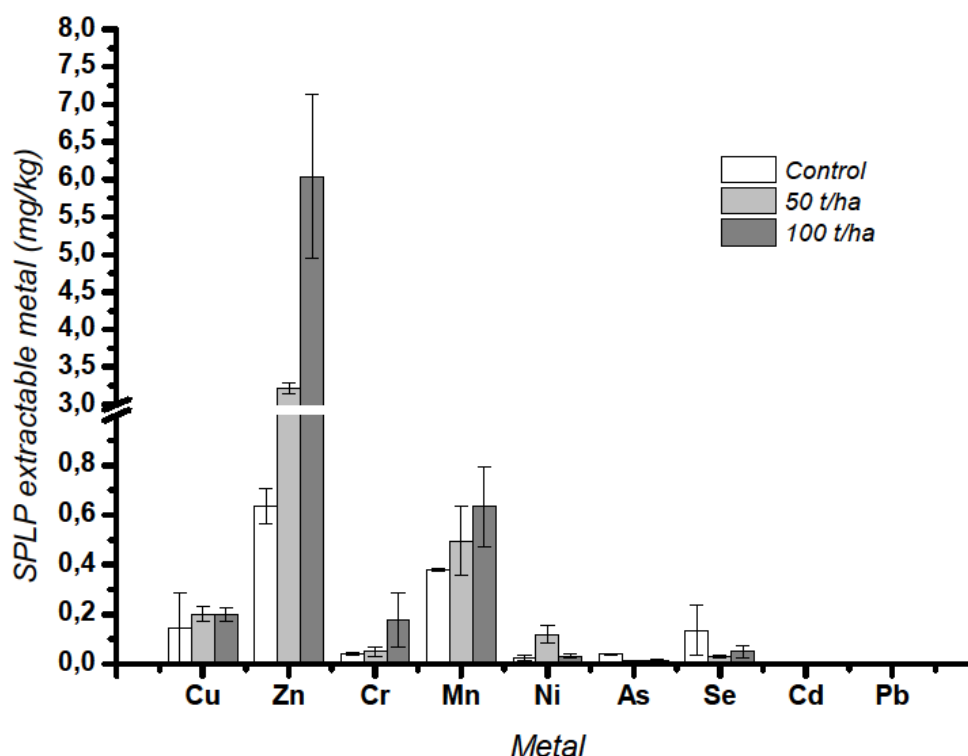
Στο βάθος 15-30cm οι συγκεντρώσεις των μετάλλων είναι εμφανώς χαμηλότερη από αυτή στο μικρότερο βάθος και επίσης στο βάθος αυτό δεν φαίνεται να επηρεάζεται η το περιεχόμενο του εδάφους σε μέταλλα από τη δόση εφαρμογής κομπόστ ( Σχήμα 3.8). Πιο σημαντικές και άξιες λόγου είναι αυξήσεις του περιεχόμενου του εδάφους σε Cu, Zn και Pb. Αύξηση παρατηρήθηκε και στο As αλλά και στο Ni. Παρόλα αυτά, οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων κυμαίνονται κάτω από τα επιτρεπτά όρια που ορίζει η ελληνική νομοθεσία (Κ.Υ.Α. 114218/97, ΦΕΚ 1016 Β') για την απόθεση βιοστερεών στο έδαφος



Σχήμα 3.8 Περιεχόμενο εδάφους σε μέταλλα κατά την 2<sup>η</sup> δειγματοληψία

### 3.7 Εκχυλίσμα μέταλλα

Στο Σχήμα 3.9, φαίνεται η διαθεσιμότητα βαρέων μετάλλων από το έδαφος μετά την πάροδο περίπου 70 ημερών από την εφαρμογή του κομπόστ σε αυτό. Η επίδραση ήταν πολύ μικρή και ειδικά το Cd και ο Pb ήταν μη ανιχνεύσιμα. Ενώ για το As και το Se οι τιμές που μετρήθηκαν, ήταν χαμηλότερες από τις τιμές του εδάφους πριν την εφαρμογή του κομπόστ. Στη μικρή δόση κομπόστ (50 t/ha), το Ni παρουσίασε αύξηση από 0,022 σε 0,12 mg/kg. Ενώ τις μεγαλύτερες αυξήσεις στις τιμές εμφανίζει ο Zn και ο Cu με αντίστοιχες αυξήσεις από 0,14 σε 0,21 και από 0,6 σε 6 mg/kg.



Σχήμα 3.9 Η επίδραση της δόσης εφαρμογής κομπόστ στα διαθέσιμα βαρέα μέταλλα του επιφανειακού στρώματος του εδάφους (0-15 cm).

### 3.8 Θρεπτικά στοιχεία και μέταλλα στους φυτικούς ιστούς

#### 3.8.1 Άζωτο

Η εφαρμογή κομπόστ, επηρέασε το περιεχόμενο των φυτικών ιστών σε μακροστοιχεία και μικροστοιχεία. Στην πρώτη φύτευση των μαρουλιών, το περιεχόμενο σε άζωτο (TKN) ήταν μεγαλύτερο σε αυτά που δέχτηκαν ανόργανο λίπασμα και κομπόστ 100 t/ha σε σχέση με αυτά στα οποία έγινε εφαρμογή κομπόστ 50 t/ha (Πίνακας 3.1). Στον δεύτερο κύκλο, το περιεχόμενο σε N στα μαρούλια, στα δοχεία όπου εφαρμόστηκε κομπόστ, ήταν χαμηλότερο από σε σχέση με αυτά που δέχτηκαν ανόργανο λίπασμα. Αντίστοιχη ήταν η επίδραση και στις ντομάτες, όπου κατά την πρώτη δειγματοληψία, το περιεχόμενο των φύλλων σε N ήταν υψηλότερο στα φυτά που δέχτηκαν ανόργανο λίπασμα με τα φυτά που δέχτηκαν 100 t/ha κομπόστ να ακολουθούν με τιμή μεγαλύτερη από τα φυτά που δέχτηκαν 50 t/ha. Στη δεύτερη δειγματοληψία (10/12/2010) επίσης, οι χαμηλότερες

τιμές παρατηρήθηκαν στα φύλλα των φυτών ντομάτας που δέχτηκαν κομπόστ και οι τιμές τους χωρίς να διαφέρουν σημαντικά, άγγιξαν τα όρια πενίας (Πίνακας 3.1). Τέλος, το περιεχόμενο σε N στον καρπό της ντομάτας, για ακόμη μία φορά βρέθηκε χαμηλότερο σε αυτές που δέχτηκαν κομπόστ σε σύγκριση με αυτές που δέχτηκαν το ανόργανο λίπασμα (Πίνακας 3.1).

**Πίνακας 3.1** Συσσώρευση θρεπτικών στοιχείων (% ξ.β.) στα φύλλα των φυτών ντομάτας, στον καρπό της ντομάτας και στα μαρούλια.

Καλλιέργεια	Δόση κομπόστ	Στοιχείο			
		TKN	P	K	Mg
Ντομάτα	0 t/ha	3.26a	0.23a	2.88	0.56b
(φύλλα)	50 t/ha	1.94c	0.10c	2.86	0.86a
01/10/10	100 t/ha	2.20b	0.18b	3.18	0.71c
	Σημαντ/τα	**	**	ns	**
Ντομάτα	0 t/ha	1.47a	0.08b	2.60a	0.55b
(φύλλα)	50 t/ha	1.14b	0.1a	1.24c	0.60b
10/12/10	100 t/ha	1.17b	0.1a	2.03b	0.84a
	Σημαντ/τα	**	*	**	**
Ντομάτα	0 t/ha	2.23a	0.01	4.02b	0.16
(καρπός)	50 t/ha	1.65c	0.02	4.73a	0.18
10/12/10	100 t/ha	1.79b	0.02	4.76a	0.18
	Σημαντ/τα	**	ns	*	ns
Μαρούλι	0 t/ha	2.33a	0.21a	3.50	0.37a
(1 <sup>η</sup> συγκομιδή)	50 t/ha	2.06b	0.13b	5.50	0.25b
11/10/10	100 t/ha	2.44a	0.13b	6.71	0.28b
	Σημαντ/τα	**	**	***	**
Μαρούλι	0 t/ha	4.22a	0.04	3.01c	0.25
(2 <sup>η</sup> συγκομιδή)	50 t/ha	1.62c	0.04	4.52b	0.23
01/12/10	100 t/ha	2.03b	0.04	5.17a	0.22
	Σημαντ/τα	***	ns	***	ns

<DL: υπό του ορίου ανίχνευσης, ns: μη σημαντικό \* $P < 0.05$ , \*\* $P < 0.01$ , \*\*\* $P < 0.001$ . Αριθμοί με διαφορετικά γράμματα διαφέρουν σημαντικά 5% σε επίπεδο σημαντικότητας διαφοράς Tukey's.

### 3.8.2 Κάλιο

Η εφαρμογή κομπόστ αύξησε το περιεχόμενο των μαρουλιών σε K και για τους δύο κύκλους ανάπτυξης σε σύγκριση με τα φυτά που δέχτηκαν λίπασμα (Πίνακας 3.1). Κάτι αντίστοιχο για τις ντομάτες εντοπίστηκε μόνο στην πρώτη δειγματοληψία

(1/10/2010) όπου οι ντομάτες που δέχτηκαν 100 t/ha κομπόστ έδειξαν τη μεγαλύτερη συγκέντρωση σε Κ στα φύλλα τους σε σχέση με τα φυτά που δέχτηκαν είτε τη χαμηλότερη δόση κομπόστ, είτε το ανόργανο λίπασμα. Στη δεύτερη δειγματοληψία για τα φύλλα της ντομάτας, η συγκέντρωση σε Κ μειώθηκε στα φυτά που δέχτηκαν το κομπόστ (Πίνακας 3.1). Σε ότι αφορά τον καρπό της ντομάτας, το περιεχόμενο σε Κ για τον καρπό των φυτών που δέχτηκαν κομπόστ, είναι υψηλότερο σε σχέση με τον καρπό των φυτών που δέχτηκαν το λίπασμα (Πίνακας 3.1). Ενδεχόμενη αιτία αυτού είναι ότι τα φυτά όπου έγινε εφαρμογή κομπόστ, ολοκλήρωσαν τον κύκλο ανάπτυξής τους, σε αντίθεση με τα φυτά που δέχτηκαν το λίπασμα όπου η ανάπτυξη συνεχίστηκε.

### **3.8.3 Φώσφορος**

Τα φυτά ντομάτας που δέχτηκαν κομπόστ, έδειξαν χαμηλότερο περιεχόμενο σε Ρ κατά την πρώτη δειγματοληψία (15 Σεπτεμβρίου) στα φύλλα, σε σύγκριση με τα φυτά που δέχτηκαν ανόργανο λίπασμα. Η διαφορά αυτή έδειξε να περιορίζεται στη δεύτερη δειγματοληψία (10 Δεκέμβρη). Σε ότι αφορά τον καρπό, το περιεχόμενο σε Ρ φάνηκε να είναι το ίδιο ανεξάρτητα από την εφαρμογή κομπόστ ή την εφαρμογή λιπάσματος. Αντίστοιχη ήταν και η επίδραση στο μαρούλι (Πίνακας 3.1).

### **3.8.4 Μαγνήσιο**

Στο πείραμα φάνηκε ότι η εφαρμογή κομπόστ στο έδαφος, οδήγησε σε αύξηση το περιεχόμενο των φύλλων της ντομάτας σε Mg. Στον καρπό της ντομάτας δεν φάνηκε κάποια επίδραση ενώ σε ότι αφορά τα μαρούλια, η επίδραση από την εφαρμογή κομπόστ φάνηκε να είναι αμελητέα (Πίνακας 3.1).

### **3.8.5 Ιχνοστοιχεία και βαρέα μέταλλα**

Η εφαρμογή κομπόστ στο έδαφος έδειξε να μην έχει επίδραση στο περιεχόμενο σε Fe των καρπών ντομάτας, ενώ μια μικρή αύξηση φάνηκε στα μαρούλια κατά τον δεύτερο κύκλο ανάπτυξης (Πίνακας 3.2). Στο καρπό της ντομάτας, δεν αναγνωρίζεται επίδραση από την εφαρμογή κομπόστ στο περιεχόμενο σε Zn. Αλλά

στα φύλλα της ντομάτας φαίνεται μία αύξηση με την αύξηση της δόσης κομπόστ.

**Πίνακας 3.2** Συσσώρευση ιχνοστοιχείων και βαρέων μετάλλων στα φύλλα των φυτών ντομάτας, στον καρπό της ντομάτας και στα μαρούλια.

Καλλιέργεια	Δόση κομπόστ	Στοιχείο						
		Fe (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Cr (ppm)	As (ppm)	Cd (ppm)	Pb (ppm)
Ντομάτα (φύλλα)	0 t/ha	-	14c	10b	1	<DL	<DL	<DL
	50 t/ha	-	36a	21a	2	<DL	<DL	<DL
	01/10/10	-	21b	18a	1	<DL	<DL	<DL
	Σημαντ/τα		***	**	ns			
Ντομάτα (φύλλα)	0 t/ha	-	13c	6a	1	<DL	<DL	0,20
	50 t/ha	-	27b	10b	1	<DL	0,70	<DL
	10/12/10	-	52a	12c	1	0,50	0,60	0,40
	Σημαντ/τα		***	***	ns			
Ντομάτα (καρπός)	0 t/ha	78,6	27	4.5	<DL	<DL	<DL	<DL
	50 t/ha	77,6	19	6.5	0.3	<DL	<DL	<DL
	10/12/10	75,7	24	6	0.6	<DL	<DL	<DL
	Σημαντ/τα	ns	ns	ns	ns			
Μαρούλι (1 <sup>η</sup> συγκομιδή)	0 t/ha	246	20c	10	2.6b	<DL	<DL	<DL
	50 t/ha	241	40b	11	6.8a	<DL	<DL	<DL
	11/10/10	239	76a	11	3.9b	<DL	<DL	<DL
	Σημαντ/τα	ns	***	ns	*			
Μαρούλι (2 <sup>η</sup> συγκομιδή)	0 t/ha	181a	27b	2.0b	0.52	<DL	<DL	0,80
	50 t/ha	212a	32b	3.0b	0.82	<DL	<DL	<DL
	01/12/10	376b	44a	6.2a	0.34	0,10	<DL	<DL
	Σημαντ/τα	*	ns	**	ns			

<DL: υπό του ορίου ανίχνευσης, ns: μη σημαντικό \* $P<0.05$ , \*\* $P<0.01$ , \*\*\* $P<0.001$ . Αριθμοί με διαφορετικά γράμματα διαφέρουν σημαντικά 5% σε επίπεδο σημαντικότητας διαφοράς Tukey's.

Αντίστοιχα και για τα μαρούλια, φαίνεται αύξηση κατά τον πρώτο κύκλο ανάπτυξης στη συγκέντρωση Zn, ανάλογη με τη δόση κομπόστ. Στον δεύτερο όμως κύκλο, φαίνεται το περιεχόμενο σε Zn να μειώνεται, πράγμα που μπορεί να καταδείξει μείωση της διαθεσιμότητάς του στα φυτά με την πάροδο του χρόνου από την εφαρμογή του κομπόστ (Πίνακας 3.2). Οι συγκεντρώσεις του Cu στα φύλλα της ντομάτας αυξήθηκαν με την εφαρμογή κομπόστ κάτι όμως που δεν συνέβη και στον καρπό της ντομάτας. Αύξηση στο Cu, παρατηρήθηκε και κατά τον δεύτερο κύκλο ανάπτυξης των μαρουλιών (Πίνακας 3.2). Ελαφρώς αυξημένες βρέθηκαν οι τιμές της

συγκέντρωσης Cr στα φύλλα της τομάτας με την εφαρμογή 50 t/ha κομπόστ και κατά τον πρώτο κύκλο ανάπτυξης των μαρουλιών. Παρατηρήθηκαν επίσης κάποιες χαμηλές συγκεντρώσεις Cd στην πρώτη δειγματοληψία των φύλλων της ντομάτας που δεν ανιχνεύτηκαν κατά τη δεύτερη δειγματοληψία. Αντιστοίχως χαμηλές συγκεντρώσεις στα φύλλα της ντομάτας κατά την πρώτη δειγματοληψία, παρατηρήθηκαν για το As και το Pb (Πίνακας 3.2).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ - 4 - ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

### 4.1 Επίδραση της εφαρμογής κομπόστ στη θρέψη των καλλιεργειών

Η προσθήκη κομπόστ στο έδαφος οδήγησε σε μείωση της απόδοσης των καλλιεργειών που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία αυτή και το φαινόμενο αυτό ήταν πιο έντονο όπου έγινε εφαρμογή της μικρής δόσης κομπόστ (50 t/ha). Πράγμα που στοιχειοθετεί το συμπέρασμα, ότι η απόδοση των καλλιεργειών δεν περιορίστηκε από αυξημένη διαθεσιμότητα τοξικών στοιχείων, αλλά από μειωμένη διαθεσιμότητα θρεπτικών στοιχείων, βασικών για την ανάπτυξη των φυτών. Σε ό,τι αφορά βασικά στοιχεία για τη θρέψη των φυτών, η ανάλυση των φύλλων τους, έδειξε ότι το περιεχόμενό τους σε K και Mg διατηρήθηκε εντός των βέλτιστων ορίων για εδάφη στα οποία εφαρμόζεται κομπόστ (Campbell, 2000). Από την άλλη μεριά, το περιεχόμενο των ιστών σε άλλο ένα βασικό θρεπτικό στοιχείο, το P, βρέθηκε να κυμαίνεται κάτω από το βέλτιστο όριο ειδικά για το μαρούλι κατά τον δεύτερο κύκλο ανάπτυξης. Όμως, ανάλογες ήταν και οι τιμές του P για τα φυτά που δεν δέχτηκαν κομπόστ, αλλά λίπασμα. Λαμβάνοντας λοιπόν υπόψη τα παραπάνω και την αυξημένη παραγωγή για τα φυτά που δέχτηκαν λίπασμα συμπεραίνεται ότι ο P δεν ήταν το στοιχείο που λειτούργησε ως περιοριστικός παράγοντας για την ανάπτυξη των φυτών που δέχτηκαν κομπόστ. Το περιεχόμενο όμως των ιστών σε N το οποίο βρέθηκε χαμηλότερο για τις καλλιέργειες που δέχτηκαν κομπόστ, σε σχέση με αυτές που δέχτηκαν λίπασμα και η συνεχής μείωση του περιεχόμενου του εδάφους σε  $\text{NO}_3^-$ -N συσχετίζονται με τη μείωση της απόδοσης των καλλιεργειών με κομπόστ και καταδεικνύουν ότι περιοριστικός παράγοντας για την ανάπτυξη των φυτών, ήταν η διαθεσιμότητα του N (Campbell, 2000). Αντίστοιχα αποτελέσματα, δηλαδή ελάττωση της παραγωγής βιομάζας σε φυτά όπου έγινε εφαρμογή κομπόστ σε σύγκριση με φυτά που δέχτηκαν μεταχείριση με ανόργανο λίπασμα έχουν αναφερθεί και στο παρελθόν όπου και εκεί η μειωμένη παραγωγή σχετίζεται με μειωμένη διαθεσιμότητα N (Rodd et al. 2002). Επιπροσθέτως, έχει αναφερθεί ότι η διαθεσιμότητα του N σε κομπόστ αστικών στερεών απορριμμάτων, είναι χαμηλή κατά το πρώτο χρονικό διάστημα της εφαρμογής του στο έδαφος (Hargreaves et al., 2008). Αναλυτικότερα, η διαθεσιμότητά του κυμαίνεται κοντά στο 10% στον πρώτο



χρόνο από την εφαρμογή του (de Haan, 1981, Eriksen et al., 1999, Zhang et al., 2006), πράγμα που συμφωνεί με τα αποτελέσματα της εργασίας αυτής. Η μικρή διαθεσιμότητα λοιπόν του N, αποδίδεται στην ακινητοποίησή του, λόγω της ανάπτυξης της εδαφικής μικροβιακής κοινότητας και η επίδραση αυτή έχει παρατηρηθεί και σε άλλα πειράματα για εδάφη όπου εφαρμόστηκε κομπόστ (Hadas και Portnoy, 1997). Οι Garcia-Gil et al. (2000) αναφέρουν αύξηση της βιομάζας του εδάφους κατά 10% και 46% όταν σε αυτό εφαρμόστηκαν 20 και 80 t/ha κομπόστ από αστικά στερεά απορρίμματα, αντίστοιχα. Άλλο ένα δεδομένο που ενισχύει την υπόθεση της ακινητοποίησης του N στη βιομάζα στην εργασία αυτή, είναι και η φθίνουσα τάση στη συγκέντρωση του  $\text{NO}_3^-$ -N του εδάφους στα δοχεία χωρίς φυτό. Η απελευθέρωση των θρεπτικών στοιχείων από το κομπόστ και ειδικά του N, είναι άμεσα συνδεδεμένη με την αποδομησιμότητα του οργανικού υλικού. Πράγμα που έρχεται να συμβάλει μαζί με την ακινητοποίηση του N, στη μικρή διαθεσιμότητά του στις καλλιέργειες. Στο Σχήμα 3.2, φαίνεται η γρήγορη μείωση του οργανικού υλικού του εδάφους κατά τον πρώτο μήνα από την εφαρμογή του κομπόστ, ως απόρροια της αποδόμησης του εύκολα αποδομίσιμου υποστρώματος (Thuries et al., 2002) και η μετέπειτα σταθεροποίησή του, μέχρι το τέλος του πειράματος. Το φαινόμενο αυτό αποδίδεται στο χαμηλό λόγο C/N του κομπόστ ο οποίος ευνοεί τη σταθερότητα των οργανικών πρόσθετων στο έδαφος και πιο συγκεκριμένα, εδάφη στα οποία έγινε εφαρμογή κομπόστ αστικών στερεών αποβλήτων, έδειξαν τον χαμηλότερο ρυθμό αναπνοής από εδάφη που είχε πραγματοποιηθεί ενσωμάτωση άλλων οργανικών υποστρωμάτων (Pedra et al., 2007). Τα παραπάνω καταδεικνύουν ένα χαρακτηριστικό της εφαρμογής κομπόστ στο έδαφος που αφορά τη μακροχρόνια επίδρασή του στην ποιότητα του εδάφους αφού διατηρεί το οργανικό υλικό του σε υψηλά επίπεδα, ενισχύει τα φυσικά του χαρακτηριστικά καθώς και τη δημιουργία και σταθερότητα των συσσωματωμάτων του, προστατεύοντας το από την υποβάθμιση.

Η εφαρμογή κομπόστ είχε μια ισχυρή επίδραση στο pH του εδάφους. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.7, το pH αυξήθηκε και για τις δύο δόσεις κομπόστ (50 και 100 t/ha) και το αποτέλεσμα αυτό είναι σύμφωνο και με μελέτες του παρελθόντος, όπου και εκεί η προσθήκη κομπόστ στο έδαφος, αύξησε την τιμή του (Zhang et al.,

2006, Zheljazkov και Warman, 2004). Οι αυξήσεις αυτές, αποδόθηκαν στην παραγωγή  $\text{OH}^-$  και στην απελευθέρωση βασικών κατιόντων (Mkhabela και Warman, 2005). Σύμφωνα με τον Smith (1994), το pH του εδάφους παίζει κρίσιμο ρόλο στον έλεγχο της βιοδιαθεσιμότητας των μετάλλων και πιο συγκεκριμένα, η αύξησή του με την προσθήκη κομπόστ αστικών στερεών απορριμμάτων, μειώνει σημαντικά τη βιοδιαθεσιμότητά τους (Hernando et al., 1989, Zheljazkov και Warman 2004, Jordao et al., 2006. Αυτή η αύξηση λοιπόν, στο pH του εδάφους, μπορεί να συνεισφέρει στη χαμηλή διαθεσιμότητα των μετάλλων που μετρήθηκαν στο έδαφος.

#### **4.2 Επίδραση της εφαρμογής κομπόστ στο περιεχόμενο του εδάφους και των φυτικών ιστών των καλλιεργειών σε βαρέα μέταλλα**

Η αύξηση του περιεχομένου του εδάφους σε μέταλλα είναι συνήθης απόρροια της εφαρμογής κομπόστ αστικών στερεών αποβλήτων σε εδάφη καθώς όλοι οι τύποι κομπόστ θεωρούνται πως έχουν αυξημένη συγκέντρωση μετάλλων σε σχέση με αυτή του εδάφους (Smith, 2009). Στο Σχήμα 3.8 φαίνεται η αύξηση του περιεχομένου του εδάφους σε μέταλλα μετά την προσθήκη κομπόστ στο βάθος όπου αυτή έγινε (0-15cm). Οι μεγαλύτερες αυξήσεις παρατηρήθηκαν για τα μέταλλα Cu, Zn και Pb αλλά οι τελικές συγκεντρώσεις θεωρούνται γενικά χαμηλές, λαμβάνοντας υπόψη τα όρια της ελληνικής νομοθεσίας (Κ.Υ.Α. 114218/97, ΦΕΚ 1016 Β').

Σε καλλιεργείες αμπέλου που έγινε εφαρμογή κομπόστ, οι συγκεντρώσεις μετάλλων όπως Cd, Ni και Cr, βρέθηκαν αυξημένες στους ιστούς των φυτών. Αντίθετα όμως, στην εργασία αυτή, για τα βαρέα μέταλλα As, Pd, Ni και Cr δεν παρατηρήθηκε πρόσληψη στους ιστούς των μαρουλιών και της ντομάτας πράγμα το οποίο συνάδει και με τη χαμηλή διαθεσιμότητά τους στο έδαφος όπως αυτή εκτιμήθηκε με εκχύλιση SPLP (Σχήμα 3.9). Συνεπώς, γίνεται φανερό ότι δεν τίθεται θέμα κινδύνου ούτε για την ανάπτυξη των φυτών αλλά ούτε για την ανθρώπινη υγεία λόγω της συσσώρευσης τοξικών στοιχείων στα εδώδιμα όργανα των φυτών. Αντιστοίχου περιεχομένου αναφορές έχουν επίσης παρουσιαστεί κατά καιρούς στη διεθνή βιβλιογραφία όπου οι συγκεντρώσεις Pb στους ιστούς ντομάτας, βασιλικού και τεύτλου έμειναν ανεπηρέαστες από την εφαρμογή κομπόστ αστικών στερεών

αποβλήτων (Ozores-Hampton et al., 1997, Zheljazkon και Warman, 2004, Smith, 2009). Η πρόσληψη και η συσσώρευση μετάλλων στους φυτικούς ιστούς εξαρτάται από τη βιοδιαθεσιμότητά τους, η οποία σχετίζεται με τα χαρακτηριστικά του εδάφους (pH, οργανικό υλικό, σύσταση κλπ.), την αρχική συγκέντρωση του κομπόστ σε μέταλλα, τη δόση εφαρμογής του κομπόστ και το είδος το φυτού (Pinamonti et al., 1999, Zheljazkon, 2004). Στην παρούσα εργασία, σημαντικό ρόλο στη χαμηλή διαθεσιμότητα βαρέων μετάλλων στο έδαφος, είχε το μεγάλο ποσοστό του εδάφους σε άργιλο και το χαμηλό περιεχόμενο του κομπόστ σε τέτοια στοιχεία, λόγω των χαρακτηριστικών του αρχικού υλικού που κομποστοποιείται και δεν περιέχει επιβαρυμένα υλικά (πχ. βιομηχανικά απόβλητα). Άλλος ένας σημαντικός παράγοντας περιορισμού της διαθεσιμότητας βαρέων μετάλλων στο έδαφος αποτελεί το pH, καθώς σε βασικό περιβάλλον η απελευθέρωση μετάλλων στο έδαφος περιορίζεται (Smith 2009, Hargreaves et al., 2008, Zhang et al., 2006). Με την προσθήκη κομπόστ, το pH του εδάφους αυξήθηκε (Σχήμα 3.7), όπως άλλωστε έχει παρατηρηθεί και σε παλαιότερες μελέτες, για την εφαρμογή κομπόστ στο έδαφος (Zhang et al., 2006, Zheljazkon και Warman, 2004). Η αύξηση λοιπόν του pH και το μεγάλο ποσοστό αργίλου συνεισέφεραν στη χαμηλή διαθεσιμότητα των μετάλλων.

Ιδιαίτερη ανησυχία κατά την εφαρμογή κομπόστ στο έδαφος, δίνεται στη διαθεσιμότητα του Cu και του Zn (Smith, 2009). Στον Πίνακα 3.2, φαίνεται αύξηση των συγκεντρώσεων Cu και Zn στους ιστούς και των δύο καλλιεργειών. Παρ' όλα αυτά, οι τιμές διατηρήθηκαν εντός των αρίστων ορίων για την ανάπτυξη φυτών πράγμα που καταδεικνύει την ασφαλή χρήση του κομπόστ ως εδαφοβελτιωτικού. Αντίστοιχες συγκεντρώσεις των μετάλλων αυτών, σε ιστούς βασιλικού και τεύτλου, έχουν παρουσιαστεί στη βιβλιογραφία για συγκεντρώσεις προδιαλεγμένου κομπόστ αστικών στερεών απορριμμάτων στο έδαφος σε ποσοστά 0, 20, 40 και 60% (Zheljazkon και Warman, 2004).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ - 5 - **ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Τα ευρήματα της εργασίας αυτής δείχνουν ότι η εφαρμογή κομπόστ από αστικά στερεά απορρίμματα σε καλλιεργήσιμα εδάφη, δεν ενέχει σημαντικό κίνδυνο που να απορρέει από την πρόσληψη τοξικών στοιχείων ούτε για την αγροτική παραγωγή, αλλά ούτε και για τη δημόσια υγεία. Το συμπέρασμα αυτό είναι σημαντικό αν συνυπολογιστεί το ότι απορρέει και από τη δόση κομπόστ των 100 t/ha η οποία θεωρείται αρκετά μεγάλη για τέτοιες εφαρμογές.

Οι δύο δόσεις κομπόστ που μελετήθηκαν στην εργασία αυτή (50 t/ha και 100 t/ha) αποδείχτηκαν ικανές να παρέχουν στις καλλιέργειες όλα τα απαραίτητα θρεπτικά μακρο- και μικρο-στοιχεία για την ανάπτυξή τους, εκτός από το άζωτο. Επίσης, η διατήρηση του οργανικού υλικού του εδάφους κατά τη διάρκεια του πειράματος επιβεβαιώνει την άποψη για την αντιμετώπιση της εφαρμογής του κομπόστ στο έδαφος ως εδαφοβελτιωτικό με επίδραση σε μακροχρόνια κλίμακα.

Τέλος τα αποτελέσματα της εργασίας, αναδεικνύουν την ανάγκη για περεταίρω μελέτη και έρευνα πάνω στη διερεύνηση των παραγόντων εκείνων, που καθορίζουν την ανοργανοποίηση του N με στόχο την αποτελεσματική στήριξη της απόδοσης των καλλιεργειών.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ - 6 - **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- Bouyoucos, G.J., 1962, "Hydrometer method improved for making particle and size analysis of soils", *Agron. J.* 54, 464-465.
- Brady, N.C., and Weil, R.R., 2008, "The nature and properties of soils", Fourteenth Edition (revised), Pearson Education Inc., New Jersey, USA.
- Campbell, C.R. 2000, "Tomato, greenhouse. Sufficiency ranges for plant analysis in the southern region of the United States", Raleigh (NC): NC Dept Agriculture & Consumer Services. Southern Cooperative Series Bulletin 394. [διαθέσιμο στο διαδίκτυο: [www.ncagr.gov/agronomi/saaesd/gtom.htm](http://www.ncagr.gov/agronomi/saaesd/gtom.htm)].
- de Araújo, A.S.F., de Melo, W.J., Singh, R.P., 2010, "Municipal solid waste compost amendment in agricultural soil: Changes in soil microbial biomass", *Rev. Environ. Sci. Biotechn.*, 9(1), 41-49.
- de Araújo, A.S.F., Monteiro, R.T.R., 2006, "Microbial biomass and activity in a Brazilian soil plus untreated and composted textile sludge", *Chemosphere* 64, 1043-1046.
- de Bertoldi, M., Vallini, G., Pera, A., 1983, "The biology of composting: A review", *Wastre management and research*,1, 157-176.
- Diaz, F.L., Savage, G.M., Eggerth, L.L., Golueke, C.G., 1993. *Composting and Recycling municipal solid waste*, Lewis Publishers, Florida, USA.
- Eriksen, G.N., Coale, F.J., Bollero, G.A., 1999, "Soil nitrogen dynamics and maize production in municipal solid waste amended soil", *Agronomy Journal* 91, 1009-1016.
- García-Gil, J.C., Plaza, C., Soler-Rovira, P. and Polo, A., 2000, "Long-term effects of municipal solid waste compost application on soil enzyme activities and microbial biomass", *Soil Biology and Biochemistry* 32, 1907-1913.
- Hadas, A., Portnoy, R., 1997, "Rates of decomposition in soil and release of available nitrogen from cattle manure and municipal waste composts", *Compost Science and Utilization* 5, 48-54.
- Hargreaves, 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(1-3),1-14.

- Haug, R.T., 1993. The practical Handbook of Compost Engineering, Lewis Publishers, Florida, USA.
- He, X., Traina, S., Logan, T., 1995, "Physical and chemical Characteristics of selected U.S. municipal solid waste composts", J. Environ. Qual. 24, 543-552.
- Hernando, S., Lobo, M., Polo, A., 1989, "Effect of the application of a municipal refuse compost on the physical and chemical properties of soil", Sci. Total Environ, 81/82, 589-596.
- Iglesias-Jimenez, E., 2001, "Nitrogen availability from a mature urban compost determined by the 15N isotope dilution method", Soil Biology & Biochemistry, 33, 409-412.
- Iglesias-Jimenez, E., Alvarez, C., 1993, "Apparent availability of nitrogen in composted municipal refuse", Biol. Fert. Soils, 16, 313-318.
- Iglesias-Jimenez, E., Garcia, V., Espino, M., Hernadez, J., 1993, "City refuse compost as a phosphorus source to overcome the P-fixation capacity of sesquioxide-rich soils". Plant Soil 148, 115-127.
- Intawongse, M., Dean, J., 2006, "Uptake of heavy metals by vegetable plants grown on contaminated soil and their bioavailability in human gastrointestinal tract", Food Additives and Contaminants, 23(1): 36-48.
- Jordao, C.P., Nascentes, C.C., Ceron, P.R., Fontes, R.L.F., Pereira, J.L., 2006, "Heavy metal availability in soil amended with composted urban solids", Enviro. Monit, Asses, 112, 309-26.
- Lakhdar, A., Falleh, H., Ouni, Y., Oueslati, S., Debez, A., Ksouri, R., Abdelly, C., 2011, "Municipal solid waste compost application improves productivity, polyphenol content, and antioxidant capacity of Mesembryanthemum edule", Journal of Hazardous Materials, 191, 373-379.
- Mkhabela, M.S., Warman, P.R., 2005, "The influence of municipal solid waste compost on yield, soil phosphorus availability and uptake by two vegetable crops grown in a Pugwash sandy loam soil in Nova Scotia", Agriculture, Ecosystems and Environment, 106, 57-67.
- Martin, D., Lal, T., Sachdev, C.B., Sharma, J.P., 2010, "Soil organic carbon storage changes with climate change, landform and land use conditions in Garhwal

- hills of the Indian Himalayan mountains”, *Agric. Ecosyst. Environ.*, 138(1-2), 64-73.
- Methods of Soil Analysis, 1982, Chemical and microbiological properties. 2nd Ed., American Society of Agronomy. In: Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA.
- Ozores-Hampton, M., Hanlon, E., Bryan, H., Schaffer, B., 1997, “Cadmium, copper, lead, nickel and zinc concentrations in tomato and squash grown in MSW compost-amended calcareous soil”, *Compost Sci. Util.*, 5, 40-45.
- Pedra, F., Polo, A., Ribeiro, A., Domingues, H., 2007, “Effects of municipal solid waste compost and sewage sludge on mineralization of soil organic matter”, *Soil Biology and Biochemistry* 39, 1375-1382.
- Pinamonti, F., Nicolini, G., Dalpiaz, A., Stringari, G., Zorzi, G., 1999, “Compost use in viticulture: effects on heavy metal levels in soil and plants”, *Commun. Soil Sci. Plan.* 30(9-10), 1531-1549.
- Ring, R., Warman, P.R., 2000, “Phosphorus mineralization from three similar municipal solid waste compost-treated soils by two extraction methods”, ICS, CBA press Inc. (Pubs.), Halifax/Dartmouth. Nova Scotia Canada, 449-456.
- Roca-Perez, L., Martinez, C., Marcilia, P., Bolunda, R., 2009, “Composting rise straw with sewage sludge and compost effects on the soil-plant system”. *Chemosphere* 78, 781-787.
- Rodd, A.V., Warman, P.R., Hicklenton, P., Webb, K., 2002, “Comparison of N fertilizer, source-separated municipal solid waste compost and semi-solid beef manure on the nutrient concentration in boot-stage barley and wheat tissue”, *Canadian Journal of Soil Science* 82, 33-43.
- Sanchez, L., Diez, J.A., Polo, A., Roman, R., 1997, “Effect of timing of application of municipal solid waste compost on N availability for crops in central Spain”, *Biol. Fertil. Soils* 25:136-141.
- Smith, S.R., 1994, “Effect of soil pH on availability to crops of metals in sewage sludge-treated soils. I. Nickel, copper and Zinc uptake and toxicity to ryegrass”, *Environ Pollut.*, 86, 5-13.
- Smith, S.R., 2009, “A critical review of the bioavailability and impacts of heavy metals

- in municipal solid waste composts compared to sewage sludge”, *Environment International* 35, 142-156.
- Soumare, M., Tack, F., Verloo, M., 2003, “Characterization of Malian and Belgian solid waste compost with respect to fertility and suitability for land application”, *Waste Manag.* 23, 517-522.
- Tanthachoon, N., Chiemchaisri, C., Chiemchaisri, W., 2007, “Utilisation of Municipal Solid Waste Compost as landfill cover soil for reducing greenhouse gas emission”, *Int. J. Environmental Technology and Management*, Vol. 7, Nos. 3/4, 286–297.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., Vigil, S., 1993, “Integrated Solid waste management”, McGraw-Hill.
- Thuries, L., Pansu, M., Laree-Larrouy, M.C., Feller, C., 2002, “Biochemical composition and mineralization kinetics of organic inputs in a sandy soil”, *Soil Biol. and Biochem.*, 34(2), 239-250.
- Warman, P.R., Rodd, V., 1998, “Influence of source-separated MSW compost on vegetables crop growth and soil properties: year 3. In: Proceedings of the 8th Annual Meeting of the Composting Council of Canada, Ottawa, Ontario, November 3-5, 263-273.
- Wolkowski, R., 2003, “Nitrogen management considerations for land-spreading municipal solid waste compost”, *J. Environ Qual.*, 32, 1844-1850.
- Zhang, M., Heaney, D., Henriquez, B., Solberg, E., Bittner, E., 2006, “A four-year study on influence of biosolids/MSW cocompost application in less productive soils in Alberta: nutrient dynamics”, *Compost Sci. Util.*, 14(1), 68-80.
- Zheljaskov, V., Warman, P.R., 2004, “Source-separated municipal soil waste compost application to Swiss chard and basil”, *J. Environ. Qual.* 33, 542-552.
- K.Y.A. 114218/97, ΦΕΚ 1016 Β’, “Κατάρτιση πλαισίου προδιαγραφών και γενικών προγραμμάτων διαχείρισης στερεών αποβλήτων”, σελ. 12978. [διαθέσιμο στο διαδίκτυο: <http://www.et.gr/idoscs-nph/search>]