



**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΚΡΗΤΗΣ**

**ΣΧΟΛΗ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ**

ΤΜΗΜΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΒΙΟΑΠΟΔΟΜΗΣΗ ΦΥΤΟΦΑΡΜΑΚΩΝ ΜΕΣΩ ΤΗΣ
ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΛΑΔΟΚΑΘΑΡΩΝ »**



ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: Δρ. ΘΡΑΣΥΒΟΥΛΟΣ ΜΑΝΙΟΣ

ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ: ΜΑΚΡΙΔΗΣ ΛΑΖΑΡΟΣ

ΠΗΡΟΥΝΑΚΗ ΕΥΛΑΒΙΑ – ΚΟΡΙΝΑ

**ΗΡΑΚΛΕΙΟ
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2008**

Εισαγωγή

Γενικά στοιχεία για την κομποστοποίηση

Είναι πλέον κοινά αποδεκτό, ότι ο άνθρωπος με την υπερκαταναλωτική του διάθεση ρυπαίνει το περιβάλλον, παράγοντας απόβλητα, τα οποία ξεπερνούν τη φέρουσα ικανότητα του πλανήτη. Στερεά απορρίμματα, υγρά λύματα, αέριες εκπομπές και φυτοφάρμακα ρυπαίνουν το περιβάλλον ενώ παράλληλα εξαντλούνται οι φυσικοί πόροι, υποθηκεύοντας το μέλλον των επόμενων γενεών.

Η ιλύς που προέρχεται από τα αστικά απόβλητα τις περισσότερες φορές παραμένει αναξιοποίητη προκαλώντας δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον και δημιουργεί έντονες αντιδράσεις στις τοπικές κοινωνίες. Η αξιοποίηση της ιλύος μέσω της κομποστοποίησης για γεωργική χρήση είναι η πλέον πρόσφορη και οικονομικότερη λύση, ιδιαίτερα για τα εδάφη της χώρας μας, όπου οι ανάγκες για οργανική ουσία είναι ιδιαίτερα αυξημένες.

Τα φυτοφάρμακα χρησιμοποιούνται ευρέως στις καλλιέργειες για την καταπολέμηση βλαβερών οργανισμών που προσβάλλουν τα φυτά και για τον περιορισμό του ανταγωνισμού τους από ζιζάνια, ώστε να βελτιώνεται η απόδοση και να προστατεύονται η ποιότητα, η αξιοπιστία και η τιμή των προϊόντων που παράγονται. Είναι γεγονός ότι η ανεξέλεγκτη χρήση τους εγκυμονεί κινδύνους, τόσο στην υγεία του ανθρώπου όσο και στο περιβάλλον μολύνοντας το νερό και το έδαφος.

Με την πάροδο των χρόνων η διαδικασία της κομποστοποίησης συνεχίζεται μέχρι και σήμερα, με αποτέλεσμα τη συνεχή βελτίωση της όλης διαδικασίας. Με τον όρο κομποστοποίηση (composting) ή χουμοποίηση ονομάζουμε τη φυσική και βιολογική αποδόμηση και σταθεροποίηση των οργανικών υπολειμμάτων και αποβλήτων και την επιστροφή τους στους φυσικούς αποδέκτες τους και ιδιαίτερα το χώμα (Μανιός, 1979).

Τα διάφορα οργανικά υπολείμματα δεν επανέρχονται στο έδαφος απ' όπου και παράγονται με αποτέλεσμα αφενός τη δημιουργία περιβαλλοντικών προβλημάτων στο τόπο απόρριψής τους και αφετέρου την υποβάθμιση των γεωργικών εδαφών. Η αποδόμηση γίνεται με την παρέμβαση του ανθρώπου και κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες με σκοπό την εντατικοποίηση και μεγιστοποίηση της απόδοσης της.

Με τον όρο αποδόμηση ονομάζουμε μια φυσική βιολογική διαδικασία που συμβαίνει στην φύση, με την οποία τα οργανικά υπολείμματα και απόβλητα μετατρέπονται σε απλούστερες μορφές και επαναφέρονται στο χώμα κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες από τον άνθρωπο. Γίνεται κυρίως από αερόβιους μικροοργανισμούς.

Η κομποστοποίηση είναι μια διαδικασία μικροβιακή, αερόβια και θερμοφιλή. Το παραγόμενο τελικό προϊόν ονομάζεται compost. Μικροβιακή γιατί, γίνεται παρουσία πολλών, διαφορετικών μικροοργανισμών (μύκητες, ζύμες, βακτήρια, ακτινομύκητες) καθώς και μακροοργανισμών (γαιοσκώληκες, ακάρεα κ.α.). Αερόβια γιατί, χρειάζεται οξυγόνο σε επαρκείς ποσότητες ώστε η αποδόμηση της οργανικής ουσίας να είναι αποτελεσματική και γρήγορη και για να μπορούν οι μικροοργανισμοί να λειτουργήσουν που είναι κυρίως αερόβιοι. Θερμόφιλη γιατί, το αποτέλεσμα της αποδόμησης της οργανικής ουσίας είναι η παραγωγή ενέργειας που σαν αποτέλεσμα έχει την αύξηση της θερμοκρασίας των υλικών αποδόμησης (Μανιός, 2006α).

Με τον όρο σταθεροποίηση, που αναφέρθηκε παραπάνω εννοούμε, ότι το υλικό θα πρέπει :

- i. Να αποκτήσει μια περισσότερο σταθερή μορφή, με απουσία έντονων μικροβιακών δραστηριοτήτων.
- ii. Να μειωθεί ή ακόμα και να εξαφανιστεί η δυσάρεστη οσμή που αναδύουν μερικά οργανικά υλικά.
- iii. Να καταστραφούν πλήρως τα παθογόνα για τον άνθρωπο μικροβιακά φορτία, καθώς και οι παθογόνοι μικροοργανισμοί φυτών και ζώων.
- iv. Να μειωθεί ο όγκος, καθώς επίσης και η υγρασία των οργανικών υλικών έτσι ώστε να είναι ευκολότερη και οικονομικότερη η μεταφορά τους από το σημείο παραγωγής στο σημείο εφαρμογής.
- v. Να μειωθεί η φυτοτοξική δράση του οργανικού φορτίου μέσα από διαδικασίες ωρίμανσης του υλικού και τέλος,
- vi. Να παραχθεί ένα οργανικό υλικό που θα μπορεί να καλύπτει τις ανάγκες σε οργανικό λίπασμα διαφόρων καλλιεργειών.

Απώτερος σκοπός της κομποστοποίησης είναι η αξιοποίηση της δραστηριότητας των αερόβιων μικροοργανισμών, ώστε να παραχθεί ένα σταθεροποιημένο τελικό προϊόν (κόμποστ) απαλλαγμένο από παθογόνα, οσμές και τοξικές ενώσεις το οποίο βελτιώνει την δομή και την παραγωγικότητα του εδάφους, αυξάνει την απορροφητική

ικανότητα του, προσθέτει στο έδαφος οργανική ουσία και το ενισχύει με μη φυτοπαθογόνους μικροοργανισμούς.

Ιστορική ανασκόπηση της κομποστοποίησης

Οι πρώτες προσπάθειες επέμβασης στη βιολογική διαδικασία αποδόμησης οργανικών υπολειμμάτων λαμβάνουν χώρα στην Κίνα πριν από 5.000 χρόνια. Μέχρι και τις αρχές του 20^{ου} αιώνα η διαδικασία παρέμενε ουσιαστικά πρωτόγονη, χωρίς κανένα έλεγχο ή επηρεασμό της αποδόμησης των οργανικών υλικών (Μανιός, 2006α).

Η πρώτη βελτίωση στη παραδοσιακή διαδικασία της κομποστοποίησης εμφανίζεται μέσα στην τρίτη δεκαετία του 20^{ου} αιώνα, από τον Sir Albert Howard και τους συνεργάτες του στην Ινδία (Golueke 1972). Ουσιαστικά πρόκειται για μία απλή συστηματοποίηση της διαδικασίας στον ελεύθερο χώρο.

Την ίδια περίοδο η κομποστοποίηση αρχίζει να αποκτά ενδιαφέρον και ως εργαλείο υγιεινής, ιδιαίτερα σε πυκνοκατοικημένες περιοχές, για τον υγιεινότερο χειρισμό των αποβλήτων του ανθρώπου και τη μη μετάδοση ανθρωπογενών ασθενειών. Πρώτος ο Waksman και οι συνεργάτες του (1926-1941), ασχολήθηκαν συστηματικά με την επιστημονική μελέτη του composting και ιδιαίτερα με την μικροβιολογία της βιολογικής αποδόμησης οργανικών υπολειμμάτων (Waksman et al., 1939α, 1939β).

Αντικείμενο εργασίας

Η παρούσα εργασία έχει ως αντικείμενο τη μελέτη της βιοαποδόμησης των φυτοφαρμάκων μέσω της κομποστοποίησης κλαδοκαθάρων με ιλύ από το βιολογικό καθαρισμό Ηρακλείου Κρήτης. Συγκεκριμένα, επικεντρωθήκαμε στην καταγραφή των μεταβολών της συγκέντρωσης των φυτοφαρμάκων, αερίων και στην καταγραφή των φυσικοχημικών και μικροβιολογικών χαρακτηριστικών του παραπάνω κομποστοποιούμενου μίγματος κλαδοκαθάρων και ιλύος.

Παρακάτω περιγράφονται οι πειραματικές διαδικασίες, τα υλικά και οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό παραμέτρων που εξετάστηκαν, αναλύονται τα αποτελέσματα τους και εξάγονται βασικά συμπεράσματα. Η εργασία

ολοκληρώνεται με την παράθεση της βιβλιογραφίας και το παράρτημα πινάκων και φωτογραφιών.

Κεφάλαιο 1. Η κομποστοποίηση ως μέθοδος

1.1. Ορισμός κομποστοποίησης

Η διαδικασία της αερόβιας βιολογικής αποδόμησης των οργανικών υπολειμμάτων και αποβλήτων, με την παρέμβαση του ανθρώπου και κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες, αποδίδεται με το όρο κομποστοποίηση (Μανιός, 2006α). Ως κομποστοποίηση ορίζεται η βιολογική, αερόβια, θερμοφιλή και ελεγχόμενη διεργασία μερικής αποσύνθεσης των οργανικών αποβλήτων που οδηγεί στην παραγωγή κόμποστ, ενός δηλαδή οργανικού εδαφοβελτιωτικού που προσομοιάζει στο χούμο του εδάφους και προωθεί την ανάπτυξη των φυτών (Weissbart et al., 2002).

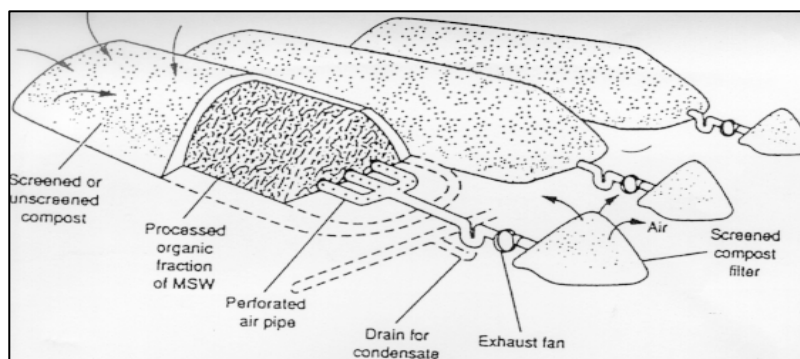
Σύμφωνα με την Ελληνική νομοθεσία, κομποστοποίηση είναι η ελεγχόμενη βιοξείδωση ετερογενών οργανικών υλικών, από ετερογενείς και κυρίως ετερότροφους μικροοργανισμούς. Προϊόν της κομποστοποίησης είναι το κόμποστ, το οποίο είναι πλούσιο σε οργανική ουσία με υψηλό χουμικό περιεχόμενο και χρησιμοποιείται κυρίως ως εδαφοβελτιωτικό υλικό αλλά και ως υπόστρωμα (Λαζαρίδη κ.α.,2002).

1.2. Συστήματα κομποστοποίησης

Η κομποστοποίηση είναι μια αερόβια διαδικασία κατά την οποία χρειάζεται παροχή αέρα για την αναπλήρωση του οξυγόνου που καταναλώνεται από τους μικροοργανισμούς. Τα συστήματα της κομποστοποίησης ανάλογα με τις υποδομές τους διακρίνονται σε δυο τύπους: στα ανοιχτά και στα κλειστά.

1.2.1. Ανοιχτά συστήματα

Η κομποστοποίηση πραγματοποιείται σε ανοιχτούς χώρους και συμπεριλαμβάνονται το σύστημα των αναστρεφόμενων σειραδίων, όπου το οξυγόνο εισέρχεται στη μάζα του υλικού με φυσικό αερισμό κατά το γύρισμα τους και το σύστημα των στατικά αεριζόμενων σωρών (Εικόνα 1.), όπου γίνεται έμφυση ή αναρρόφηση αέρα με μηχανικούς αεριστήρες ή φουσητήρες (Κατσίρη, 2003).



Εικόνα 1. Στατικά αεριζόμενοι σωροί.

1.2.2. Κλειστά συστήματα

Η κομποστοποίηση πραγματοποιείται μέσα σε κλειστούς αντιδραστήρες, οι οποίοι διαθέτουν μηχανολογικό εξοπλισμό κατάλληλο για την μείωση των οσμών και τον έλεγχο διαφόρων περιβαλλοντικών παραμέτρων, όπως η παροχή αέρα, η θερμοκρασία, η συγκέντρωση οξυγόνου, το pH και η υγρασία. Ανάλογα με την διάταξη τους διακρίνονται σε οριζόντιους και κατακόρυφους (Ανδρεαδάκης κ.α., 2001).

1.3. Μικροβιολογία της κομποστοποίησης

Η κομποστοποίηση είναι μια μικροβιακή διαδικασία στην οποία παίρνουν μέρος πλήθος μικροοργανισμών. Οι μικροοργανισμοί αυτοί αποδομούν τις μεγαλομοριακές οργανικές ενώσεις σε απλούστερες μέσω των διαδικασιών μεταβολισμού τους. Κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης διακρίνονται πέντε φάσεις (Μανιός, 2006α):

i. Η ψυχρόφιλη φάση, η οποία έχει περιορισμένη διάρκεια, δρουν οι ψυχρόφιλοι οργανισμοί, γιατί οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται είναι χαμηλές. Στη φάση αυτή γίνεται η διάσπαση των απλών μορίων κυρίως από βακτήρια με βέλτιστη θερμοκρασία 15-35 °C. Με την δράση των μικροοργανισμών η θερμοκρασία αυξάνεται και περνάμε στη δεύτερη φάση. και

ii. Μεσόφιλη φάση, στην οποία δρουν οι μεσόφιλοι οργανισμοί και συνεχίζεται η διάσπαση των απλών μορίων αποκλειστικά από τα βακτήρια.

iii. Η τρίτη φάση λέγεται θερμόφιλη, αφού η θερμοκρασία κυμαίνεται από 55 – 80 °C. Στις θερμοκρασίες αυτές δρουν τα θερμόφιλα βακτήρια. Στη φάση αυτή παρατηρείται πτώση της θερμοκρασίας και μείωση του ρυθμού κομποστοποίησης.

Στο σημείο αυτό κάνουμε το λεγόμενο γύρισμα, ανακατεύοντας το υλικό και φέρνοντας νέο υλικό στο κέντρο του σωρού. Αν η θερμοκρασία δεν αυξηθεί, ξανά κάνουμε γύρισμα προσθέτοντας νερό. Αν και πάλι η θερμοκρασία δεν αυξηθεί, τότε η θερμοφιλή φάση έχει ολοκληρωθεί και περνάμε στην τέταρτη φάση.

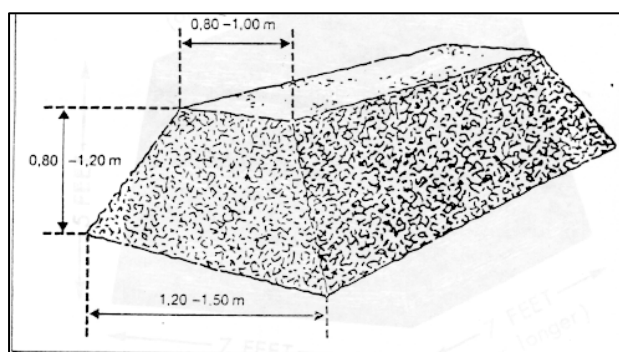
iv. Η τέταρτη φάση, στην οποία εμφανίζεται ξανά το μεσόφιλο στάδιο και διαρκεί από λίγες μέρες ως και εβδομάδες, στην οποία δρουν μύκητες που διασπούν τα δύσκολα οργανικά μόρια (λιγνίνη, κυτταρίνη).

v. Τέλος, η πέμπτη φάση, η οποία διαρκεί από 8 έως 12 εβδομάδες και είναι η φάση της ωρίμανσης, στην οποία ο ρυθμός αποδόμησης είναι αρκετά αργός και δεν παρατηρείται αύξηση θερμοκρασίας. Εδώ ολοκληρώνεται η αποδόμηση του οργανικού υλικού, με ένα παραγόμενο υλικό πλούσιο σε οργανική ουσία.

1.4. Τεχνική της κομποστοποίησης

Η τεχνική της κομποστοποίησης γίνεται σε σωρούς (σειράδια), με τραπεζοειδή διατομή, με πλάτος βάσης 2-3m, ύψος 1,5m και με απεριόριστο μήκος (Εικόνα 2.). Πριν την διαμόρφωση του σωρού, το υλικό τεμαχίζεται με τον θρυμματιστή προσθέτοντας νερό και άζωτο αν είναι απαραίτητα. Στόχος της προετοιμασίας αυτής είναι η εξασφάλιση άριστων συνθηκών υγρασίας, οξυγόνου και αζώτου για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών που θα πραγματοποιήσουν την αποδόμηση και την άνοδο της θερμοκρασίας.

Βασική προϋπόθεση για να γίνει η κομποστοποίηση είναι η άνοδος της θερμοκρασίας στο κέντρο του σωρού, ώστε να λειτουργήσουν οι μικροοργανισμοί που αποδομούν την οργανική ουσία. Βέλτιστη θερμοκρασία είναι 55 – 65 °C ώστε να λειτουργήσουν οι θερμοφιλοι οργανισμοί στο κέντρο του σωρού.



Εικόνα 2. Σειράδιο με τραπεζοειδής διατομή.

1.5. Ωρίμανση κόμποστ

Η ωρίμανση του κόμποστ είναι μια πολύ σημαντική φάση της όλης διαδικασίας, δεδομένου ότι το κόμποστ στη φάση αυτή απαλλάσσεται από διάφορες φυτοτοξικές ουσίες που παράγονται κυρίως κατά τη διάρκεια της θερμοφιλης φάσης και έτσι καθίσταται κατάλληλο για να χρησιμοποιηθεί σε καλλιέργειες ως βελτιωτικό εδάφους ή στην παρασκευή υποστρωμάτων – μιγμάτων.

Το ώριμο κόμποστ για να είναι κατάλληλο θα πρέπει να χαρακτηρίζεται από τις παρακάτω βιολογικές ιδιότητες:

- Την απουσία ανθρωπογενών παθογόνων μικροοργανισμών: η οποία καθορίζει την υγιεινοποίηση του υλικού, παρέχοντας ασφάλεια στο χρήστη και στον καταναλωτή των παραγόμενων προϊόντων.
- Την απουσία ζωικών ή φυτικών παθογόνων μικροοργανισμών: αποτρέποντας τον κίνδυνο μεταφοράς και διάδοσης ασθενειών στις καλλιέργειες.
- Στη παρουσία μεγάλου αριθμού μικροοργανισμών: δημιουργώντας ένα πλούσιο οικοσύστημα που ευνοεί τις καλλιέργειες.

1.6. Παράμετροι που επηρεάζουν την πορεία της κομποστοποίησης

Η αποτελεσματικότητα που θα έχει η διαδικασία της κομποστοποίησης εξαρτάται από τα είδη των μικροοργανισμών που υπάρχουν και αποδομούν τα οργανικά απόβλητα. Η διαδικασία της κομποστοποίησης επηρεάζεται ιδιαίτερα από παραμέτρους όπως είναι: ο λόγος άνθρακα προς άζωτο (C/N), η περιεκτικότητα σε οξυγόνο, η θερμοκρασία, η υγρασία, το pH, η ηλεκτρική αγωγιμότητα, η ανάπτυξη της μικροχλωρίδας και το μέγεθος των τεμαχιδίων.

1.6.1. Ο λόγος άνθρακα προς άζωτο (C/N)

Τόσο ο άνθρακας όσο και το άζωτο είναι απαραίτητα στοιχεία για την αύξηση των μικροοργανισμών, είτε ως πηγή ενέργειας (κυρίως ο άνθρακας), είτε ως δομικοί λίθοι για τη σύνθεση των βιομορίων τους. Ο άνθρακας χρησιμοποιείται από τους μικροοργανισμούς κυρίως ως πηγή ενέργειας και μόνο ένα μικρό μέρος χρησιμοποιείται για την δημιουργία νέας βιομάζας. Το μεγαλύτερο μέρος της

απώλειας μάζας κατά την κομποστοποίηση καθώς και η παραγωγή θερμότητας, οφείλονται στην οξειδωση του άνθρακα σε διοξείδιο (CO_2).

Το άζωτο είναι βασικό στοιχείο για τη δημιουργία των πρωτεϊνών που αποτελούν περισσότερο από το 50% της κυτταρικής μάζας. Βρίσκεται σε ικανοποιητικό ποσοστό και σε διαθέσιμες μορφές στη ιλύ των βιολογικών καθαρισμών και στις κοπριές, στα απόβλητα κήπων και πάρκων και στα τροφικά υπολείμματα, ενώ απουσιάζει από τα ξυλώδη απορρίμματα, το χαρτί και τα διάφορα οργανικά απόβλητα. Η ανάμιξη με απόβλητα πλούσια σε άζωτο είναι η ενδεικνυόμενη λύση για την κομποστοποίηση φτωχών σε άζωτο αποβλήτων (Κόμποστ – Νετ, 2005). Αν το άζωτο κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης γίνει περιοριστικός παράγοντας (έλλειψη αζώτου), η διαδικασία της αποδόμησης θα επιβραδυνθεί. Αντιθέτως, αν υπάρχει περίσσεια αζώτου, τότε αυτή συχνά χάνεται ως αμμωνία (σε αέρια μορφή) ή άλλες αζωτούχες ενώσεις (Tuomela et al., 2000).

Ο λόγος άνθρακα προς άζωτο (C/N) είναι ένας ευρέως χρησιμοποιούμενος δείκτης για την αποδόμηση των οργανικών υλικών. Είναι ένας καθαρός αριθμός και διαμορφώνεται ανάλογα με την σύσταση του υποστρώματος. Οι μικροοργανισμοί κατά την αποδόμηση των οργανικών ενώσεων αφομοιώνουν περίπου το 1/3 του μεταβολιζόμενου άνθρακα και τον υπόλοιπο τον ελευθερώνουν ως CO_2 (Μανιός, 1979). Επειδή 10 μέρη άνθρακα χρησιμοποιούνται από τους μικροοργανισμούς για κάθε ένα μέρος αζώτου και 20 μέρη αποβάλλονται ως CO_2 . Ο λόγος C/N πρέπει να κυμαίνεται από 25:1 έως 35:1 για να έχουμε βέλτιστα αποτελέσματα κατά την κομποστοποίηση (Κατσίρη, 2003). Ως άριστη τιμή της σχέσης C/N, στο προς χώνευση υλικό είναι εκείνη του 30:1.

Σε υψηλότερες τιμές του λόγου C/N (> 40:1) το άζωτο γίνεται περιοριστικός παράγοντας της διεργασίας καθώς αυξάνεται ο απαιτούμενος χρόνος κομποστοποίησης και είναι αναγκαία η προσθήκη ανόργανου αζώτου και σε τέτοια ποσότητα ώστε να διορθώσει την ανωτέρω σχέση στο 30:1. Τέλος χαμηλότερες τιμές του λόγου C/N (< 20:1) οδηγούν σε απώλειες του αζώτου λόγω εξαέρωσης της αμμωνίας και προκαλούν δυσάρεστες οσμές, αυξάνοντας το pH σε δυσμενή επίπεδα για την κομποστοποίηση (Muller-Kopp, 2005).

1.6.2. Περιεκτικότητα σε οξυγόνο

Η κομποστοποίηση είναι μια αερόβια διαδικασία και γι' αυτό χρειάζεται παροχή αέρα για αναπλήρωση του οξυγόνου μέσα στη μάζα των αποβλήτων που καταναλώνεται από του μικροοργανισμούς. Για να είναι αποτελεσματικός ο αερισμός πρέπει τα απόβλητα να έχουν δομή, ώστε να υπάρχουν κενά ανάμεσα στα σωματίδια της μάζας που κομποστοποιείται, για να μπορεί να εισχωρεί εύκολα ο αέρας. Για το σκοπό αυτό προστίθενται διογκωτικά υλικά (τεμάχια ξύλου κ.α.), ιδίως όταν τα απόβλητα δεν έχουν από μόνα τους μια τέτοια δομή (π.χ. ιλύς βιολογικών καθαρισμών).

Η οξυγόνωση του υλικού μπορεί να γίνει είτε με το γύρισμα (ανακάτεμα) του σωρού, είτε με την παροχή αέρα υπό πίεση στη βάση του σωρού ή ακόμα, με αναρρόφηση των εγκλωβισμένων αερίων στη μάζα του υλικού και την αντικατάστασή τους με ατμοσφαιρικό αέρα (Μανιός, 2006α). Ο αερισμός κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης παρέχει οξυγόνο εξασφαλίζοντας αερόβιες συνθήκες, ελέγχει τη θερμοκρασία, απομακρύνει την περίσσεια υγρασία και τα αέρια προϊόντα του μικροβιακού μεταβολισμού (CO₂). Ανεπαρκείς συγκέντρωση οξυγόνου οδηγεί στην δημιουργία αναερόβιων συνθηκών λόγω ανάπτυξης αναερόβιων μικροοργανισμών.

1.6.3. Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα για την εκτίμηση του ρυθμού της κομποστοποίησης, καθώς είναι απόρροια της μικροβιακής βιολογικής δραστηριότητας. Καθώς οι μικροοργανισμοί αποδομούν τα οργανικά συστατικά παράγεται θερμότητα, η οποία εγκλωβίζεται στη μάζα του σωρού και αυξάνει τη θερμοκρασία. Αρχικά η αύξηση της θερμοκρασίας ευνοεί τη δραστηριότητα των μικροοργανισμών, οι οποίοι παράγουν περισσότερη θερμότητα και αυξάνουν κι άλλο τη θερμοκρασία. Έτσι στα πρώτα δυο ή τρία 24/ωρα η θερμοκρασία αυξάνεται έως και τους 75°C και μπορεί να διατηρηθεί σε αυτό το επίπεδο για αρκετές ημέρες, απαλλάσσοντας την ιλύ από τα παθογόνα και προκαλώντας τη δραστική υγιεινοποίησή της. Μετά την πάροδο περίπου 7 – 10 ημερών η θερμοκρασία αρχίζει να πέφτει, εξαιτίας της εξάντλησης του διαθέσιμου οξυγόνου ή μείωσης της υγρασίας. Στο σημείο αυτό είναι απαραίτητη η επέμβαση οξυγόνωσης του υλικού με

τους τρόπους που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Ως άριστη θερμοκρασία για την μικροβιακή βιολογική δραστηριότητα της κομποστοποίησης θεωρείται εκείνη μεταξύ των 55 °C και 65 °C (Μανιός, 2006α).

1.6.4. Υγρασία

Η αποδόμηση των οργανικών υλικών επηρεάζεται σημαντικά από την περιεκτικότητα του υλικού σε υγρασία. Υπερβολική υγρασία γεμίζει τους πόρους μεταξύ των σωματιδίων, εμποδίζοντας την κυκλοφορία του οξυγόνου (αναερόβιες συνθήκες), ενώ η χαμηλή υγρασία οδηγεί στη διακοπή της δράσης των μικροοργανισμών. Η βέλτιστη περιεκτικότητα υγρασίας κυμαίνεται από 45% (λεπτόκοκκα υλικά) – 60% (χονδροκόκκα υλικά), ανάλογα με το είδος των υλικών. Ποσοστά υγρασίας κάτω από 30% και πάνω από 80% αποτελούν περιοριστικό παράγοντα για τη μικροβιακή δραστηριότητα (Μανιός, 2006; Zimmermann, 2006; Cord-Landwahr, 1994). Η θερμότητα που εκλύεται κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης εξατμίζει την υγρασία και για τον λόγο αυτό είναι συχνά απαραίτητη η προσθήκη νερού, που γίνεται συνήθως μαζί με την οξυγόνωση του υλικού.

1.6.5. pH

Η τιμή του pH παρουσιάζει ορισμένες διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης. Η ιδανική τιμή του pH για τα εδάφη και τα υλικά που κομποστοποιούνται είναι κοντά στην ουδέτερη περιοχή, στο 7, δεδομένου ότι ευνοεί τη δραστηριότητα των βακτηρίων χωρίς να περιορίζει σημαντικά εκείνη των μυκήτων. Οι βέλτιστες τιμές για την ανάπτυξη των βακτηρίων κυμαίνονται από 6-8, ενώ για τους μύκητες 5-8 (Weissbart et al., 2002).

Αν η τιμή του pH υπερβαίνει τα όρια αυτά, τότε υπάρχει κίνδυνος απώλειας αζώτου. Βέβαια, όταν το προς κομποστοποίηση υλικό περιέχει πολλές ουσίες, όπως πρωτεΐνες, ουρία, ουρικό οξύ και χιτίνη, δεν είναι απαραίτητη η διόρθωση του pH του υλικού, διότι με την έναρξη της χώνευσης του pH απελευθερώνεται αμμωνία, αυξάνοντας έτσι το pH προς την αλκαλική περιοχή και κατά συνέπεια καλύπτεται αυτή η ανάγκη από την ίδια τη διαδικασία.

1.6.6. Ηλεκτρική αγωγιμότητα

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα αποτελεί δείκτη για την αλατότητα του κόμποστ και παίζει καθοριστικό ρόλο στην επιλογή της χρήσης του. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα μεταβάλλεται κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης και ποικίλει από υλικό σε υλικό. Οι υψηλές τιμές περιορίζουν τις εφαρμογές του κόμποστ στις γεωργικές καλλιέργειες, αφού εμποδίζουν το ριζικό σύστημα να απορροφήσει νερό και ανόργανα στοιχεία από το έδαφος. Ως ανώτατο όριο εφαρμογής μπορεί να θεωρηθεί η τιμή 4 mS/cm (Μανιός και Μανιαδάκης, 2001).

1.6.7. Μικροχλωρίδα

Η μικροχλωρίδα που πραγματοποιεί την αερόβια βιολογική αποδόμηση των οργανικών υπολειμμάτων υπάρχει φυσιολογικά σε αυτά, προερχόμενη από το έδαφος, τον αέρα και το νερό και δεν είναι απαραίτητη η προσθήκη μικροβιακού μολύσματος (Μανιός, 2006α).

1.6.8. Μέγεθος τεμαχιδίων

Το μέγεθος των τεμαχιδίων του υλικού επηρεάζει σημαντικά τη μικροβιακή δραστηριότητα. Ο πολυτεμαχισμός του υλικού σε μικρά τεμάχια μειώνει τα κενά του αέρα με αποτέλεσμα τη γρήγορη επικράτηση αναερόβιων συνθηκών. Ταυτόχρονα, το αρχικό μέγεθος του υλικού επηρεάζει τη σύνθεση του τελικού κόμποστ το οποίο δεν θα πρέπει να είναι σε κατάσταση σκόνης. Το άριστο μέγεθος των τεμαχιδίων είναι μεταξύ 1,5 και 7,5cm (Μανιός, 2006α).

1.7. Εφαρμογές της κομποστοποίησης

Η ποιότητα του κόμποστ εξαρτάται κυρίως από την πρώτη ύλη ή από τις προσμίξεις των πρώτων υλών, αλλά επηρεάζεται και από την σωστή εφαρμογή του composting. Παρακάτω αναφέρονται συνοπτικά ορισμένα στοιχεία για διάφορα οργανικά υπολείμματα σχετικά με την εφαρμογή του composting (Μανιός, Μανιαδάκης, 2006).

Εκχυλισμένη ελαιοπυρήνα (πυρηνόξυλο): Σήμερα από οικονομικής πλευράς δεν παρουσιάζει ενδιαφέρον για την παραγωγή κόμποστ εξαιτίας της αξιοποίησής της ως καύσιμης ύλης.

Ελαιοπυρήνα φυγοκεντρικών ελαιουργείων: Η ελαιοπυρήνα των φυγοκεντρικών ελαιουργείων, εξαιτίας της μεγάλης περιεκτικότητας σε νερό (50%) πολλές φορές δεν συμφέρει να μεταφερθεί από τα απομακρυσμένα ελαιουργεία στα πυρηνελαιουργεία για εκχύλιση. Στις περιπτώσεις αυτές μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρασκευή κόμποστ στο τόπο παραγωγής του. Το κόμποστ αυτό πλεονεκτεί ως αναφορά τη μεγάλη διάρκεια παρουσίας του στο έδαφος εξαιτίας της υψηλής περιεκτικότητας του σε λιγνινοκυτταρινικό σύμπλοκο (πυρήνα ελαιοκάρπου).

Φύλλα ελιάς: Αποτελούν πολύ καλή πρώτη ύλη για την παρασκευή κόμποστ. Η μεγάλη ηλεκτρική αγωγιμότητα του παραγόμενου κόμποστ, επιβάλλει τη χρησιμοποίησή του σε μικρές αναλογίες στην παρασκευή υποστρωμάτων ή το ξέπλυμα του με νερό πριν από τη χρησιμοποίησή του (Μανιός κ.α., 1984β).

Στέμφυλα οينوποιείων: Έχουν αυξημένη περιεκτικότητα σε άζωτο, το οποίο όμως δεν είναι άμεσα διαθέσιμο στους μικροοργανισμούς αποδόμησης εξαιτίας του εγκλωβισμού του, κατά το μεγαλύτερο μέρος μέσα στα γίγαρτα. Για το λόγο αυτό σκόπιμη είναι η προσθήκη μικρής ποσότητας ανόργανου αζώτου κατά την έναρξη της χώνευσης. Η σχετική ανθεκτικότητα των γιγάρτων στην μικροβιακή αποδόμηση συμβάλλει στη μεγάλη διάρκεια παραμονής του παραγόμενου κόμποστ στο έδαφος.

Κληματίδες αμπέλου: μειονεκτούν ως προς τη μεγάλη τους διασπορά και την ανάγκη άλεσης τους πριν την χώνευση. Το παραγόμενο κόμποστ είναι υψηλής ποιότητας με μεγάλο πορώδες.

Κοπριές: Οι περισσότερες κοπριές έχουν αυξημένη περιεκτικότητα σε άζωτο και χαμηλή σχέση C/N (ιδιαίτερα των ορνίθων) και επομένως δεν είναι απαραίτητη η προσθήκη ανόργανου αζώτου κατά την έναρξη της χώνευσης.

Λέπυρα ρυζιού και υπολείμματα εκκοκκιστηρίων βάμβακος: Από τα υλικά αυτά υπάρχουν αξιόλογες ποσότητες στην Ελλάδα και παρουσιάζει ενδιαφέρον η αξιοποίησή τους στην παραγωγή κόμποστ.

Δημοτικά απορρίμματα: Οι τεράστιες ποσότητες των υλικών αυτών και τα προβλήματα που δημιουργούν καθιστούν αναγκαία την εφαρμογή της κομποστοποίησης σ' αυτά, ως μέθοδος διάθεσής τους, παρά τις δυσκολίες που παρουσιάζουν κατά την επεξεργασία τους. Βασικό μειονέκτημα του παραγόμενου κόμποστ εκτός από το υψηλό κόστος παραγωγής του, είναι η περιεκτικότητα του σε βαρέα μέταλλα που διαφέρει ανάλογα με την προέλευση των απορριμμάτων.

Λάσπη βιολογικού καθαρισμού λυμάτων: Έχει το πλεονέκτημα της εύκολης επεξεργασίας αλλά έχει αυξημένη περιεκτικότητα σε βαρέα μέταλλα.

Κεφάλαιο 2. Υλικά και μέθοδοι

2.1. Κιβώτια κομποστοποίησης (κομποστοποιητές)

Τα κιβώτια που χρησιμοποιήθηκαν ήταν μεταλλικά δοχεία κατασκευασμένα από ψευδάργυρο (Zn) διαστάσεων 1x1x1m. Για την θερμομόνωση των κιβωτίων τοποθετήθηκαν εξωτερικά πλάκες πετροβάμβακα πάχους 5cm και πλάκες διογκωμένης πολυστερίνης (φελιζόλ) πάχους 3cm. Στις 28/11/07 στο 4^ο γύρισμα, τοποθετήθηκαν εσωτερικά στις τέσσερις πλευρές και στη βάση του κάθε κιβωτίου πλάκες διογκωμένης πολυστερίνης. Η κορυφή κάθε κιβωτίου καλύφθηκε με πλάκες πετροβάμβακα.

2.2. Προετοιμασία υλικού κομποστοποίησης

Το υλικό το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την κομποστοποίηση προετοιμάστηκε ως ακολούθως: σε 5m³ τεμαχισμένων κλαδοκαθάρων του Δήμου Ηρακλείου προστέθηκε 1m³ ιλύος από το βιολογικό καθαρισμό Ηρακλείου. Ακολούθησε ανάμιξη των υλικών με φρέζα μέχρι πλήρους ομογενοποίησής του. Το υλικό αυτό διαμοιράστηκε σε πέντε ίσα μέρη και προστέθηκαν τα διάφορα φυτοφάρμακα ως ακολούθως:

Κιβώτια	Εμπορικό όνομα	Δραστική ουσία	Κατηγορία	Αρχική προτεινόμενη συγκέντρωση
1 ^ο μάρτυρας	-	-	-	-
2 ^ο	Ryginex	Χλωρπυριφώς 48%	Οργανοφωσφορικό εντομοκτόνο	250cc
3 ^ο	Linagan	Λινουρόν 50%	ζιζανιοκτόνο	220cc
4 ^ο	Sencor	Μετριμπουζίν 70%	Εκλεκτικό ζιζανιοκτόνο	177cc
5 ^ο	Μίγμα των παραπάνω			

Η προσθήκη των φυτοφαρμάκων έγινε με την διάλυση τους και την διανομή επί του υλικού κομποστοποίησης με ψεκασμό (18/10/07) και ακολούθησε αναμόγλευση του υλικού. Τα παραπάνω υλικά τοποθετήθηκαν αντίστοιχα στο πρώτο, δεύτερο, τρίτο, τέταρτο και πέμπτο κιβώτιο. Η δε εγκατάσταση του πειράματος έγινε στις 23 Οκτωβρίου 2007. Στον παρακάτω πίνακα γίνεται παραπομπή στο παράρτημα των φωτογραφιών για κάθε μεταχείριση.

<u>Εικόνα 14.</u>	Συγκέντρωση κλαδοκαθάρων.	Σελ. 67
<u>Εικόνα 15.</u>	Κοσκίνισμα κλαδοκαθάρων.	Σελ. 67
<u>Εικόνα 16.</u>	Άνοιγμα κλαδοκαθάρων για να μην αναπτυχτούν υψηλές θερμοκρασίες.	Σελ. 68
<u>Εικόνα 17.</u>	Μεταφορά του υλικού στο υπόστεγο.	Σελ. 68
<u>Εικόνα 18-19.</u>	Σχηματισμός τραπεζίου για την μέτρηση του όγκου του υλικού.	Σελ. 69
<u>Εικόνα 20.</u>	Μέτρηση υλικού κλαδοκαθάρων πριν την ανάμιξη με λυμματολάσπη.	Σελ. 70
<u>Εικόνα 21.</u>	Λυμματολάσπη βιολογικού καθαρισμού Ηρακλείου.	Σελ. 70
<u>Εικόνα 22.</u>	Προετοιμασία για την ανάμιξη κλαδοκαθάρων και λυμματολάσπης σε αναλογία 5:1.	Σελ. 71
<u>Εικόνα 23.</u>	Τοποθέτηση δεύτερου στρώματος κλαδοκαθάρων πάνω από τη λυμματολάσπη (σχηματισμός σάντουιτς).	Σελ. 71
<u>Εικόνα 24.</u>	Ανάμιξη κλαδοκαθάρων και λυμματολάσπης.	Σελ. 72
<u>Εικόνα 25.</u>	Ανάμιξη υλικών με ταυτόχρονη διαβροχή τους.	Σελ. 72
<u>Εικόνα 26.</u>	Ανάμιξη υλικών με ταυτόχρονη διαβροχή τους.	Σελ. 73
<u>Εικόνα 27.</u>	Τα πέντε κιβώτια που χρησιμοποιήθηκαν στην κομποστοποίηση.	Σελ. 73
<u>Εικόνα 28.</u>	Μεταφορά υλικού μέσα στο χώρο του υπόστεγου με την βοήθεια αρπαγής.	Σελ. 74
<u>Εικόνα 29.</u>	Τοποθέτηση υλικών μπροστά από κάθε κιβώτιο.	Σελ. 74
<u>Εικόνα 30.</u>	Ψεκασμός των υλικών με φυτοφάρμακα.	Σελ. 75
<u>Εικόνα 31.</u>	Αναμόγλευση υλικού μετά το ψεκασμό.	Σελ. 75
<u>Εικόνα 32.</u>	Τα υλικά αμέσως μετά τον ψεκασμό τοποθετημένα το κάθε ένα μπροστά από το αντίστοιχο κιβώτιο.	Σελ. 76
<u>Εικόνα 33.</u>	Θερμομόνωση των κιβωτίων εξωτερικά με πλάκες πετροβάμβακα πάχους 5 cm και πλάκες διογκωμένης πολυστερίνης (φελιζόλ) πάχους 3 cm.	Σελ. 77
<u>Εικόνα 34.</u>	Τοποθέτηση υλικών μέσα στα κιβώτια και κυλίνδρων για λήψη των παραγόμενων αερίων.	Σελ. 77
<u>Εικόνα 35.</u>	Ημέρα εγκατάστασης πειράματος.	Σελ. 78
<u>Εικόνα 36.</u>	Γύρισμα πρώτου κιβωτίου πρώτου γυρίσματος.	Σελ. 79
<u>Εικόνα 37.</u>	Γύρισμα δεύτερου κιβωτίου πρώτου γυρίσματος	Σελ. 79
<u>Εικόνα 38.</u>	Γύρισμα τρίτου κιβωτίου πρώτου γυρίσματος	Σελ. 80
<u>Εικόνα 39.</u>	Γύρισμα τέταρτου κιβωτίου στο πρώτο γύρισμα	Σελ. 81
<u>Εικόνα 40.</u>	Γύρισμα πέμπτου κιβωτίου πρώτου γυρίσματος	Σελ. 81
<u>Εικόνα 41.</u>	Θριμματιστής με μαχαίρια για τον τεμαχισμό του υλικού του τέταρτου κιβωτίου σε μικρότερα κομμάτια	Σελ. 82
<u>Εικόνα 42.</u>	Το υλικό πριν το τεμαχισμό (δεξιά) και το υλικό μετά τον τεμαχισμό (αριστερά).	Σελ. 82
<u>Εικόνα 43.</u>	Γύρισμα κιβωτίων την 07/01/08 (8 ^ο γύρισμα).	Σελ. 83

2.3. Η διαδικασία της κομποστοποίησης και η δειγματοληψία

Πίνακας 2.1
Χρονοδιάγραμμα δειγματοληψιών

Γύρισμα	Χρόνος κομποστοποίησης (ημέρες)	Ημερομηνία δειγματοληψίας	Σχόλια
-	0	23/10/2007	Εγκατάσταση
1 ^ο	7	30/10/2007	Διαβροχή
2 ^ο	14	6/11/2007	-
3 ^ο	21	13/11/2007	-
-	28	16/11/2007	Άνοιγμα σωρών λόγω υψηλής υγρασίας
4 ^ο	35	28/11/2007	-
5 ^ο	42	5/12/2007	-
6 ^ο	49	13/12/2007	Διαβροχή
7 ^ο	56	26/12/2007	-
8 ^ο	63	7/1/2008	-

Κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης έγιναν οι εξής μεθοδευμένες επεμβάσεις:

- Γυρίσματα των σωρών (κιβώτια) κάθε εβδομάδα, έτσι ώστε να διασφαλιστεί ο επαρκής αερισμός των υλικών, να ελεγχθεί το ύψος της θερμοκρασίας και να ενισχυθεί η μικροβιακή δραστηριότητα.
- Διαβροχή με νερό σε ορισμένα γυρίσματα, ώστε να διατηρηθεί η υγρασία σε ικανοποιητικά επίπεδα.
- Καθημερινή καταγραφή θερμοκρασιών του περιβάλλοντος και των σωρών καθώς και καθημερινή συλλογή αερίων.

Συνολικά, πραγματοποιήθηκαν οκτώ γυρίσματα των σωρών και δέκα δειγματοληψίες ώστε να υποβληθούν στις απαραίτητες εργαστηριακές αναλύσεις. Η διαδικασία διήρκησε από την μέρα της εγκατάστασης (23/10/07) έως την 14^η Ιανουαρίου 2008, δηλαδή για 84 συνολικά ημέρες. Η τελευταία δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε την 23^η Ιουλίου 2008.

2.4. Οι μετρήσεις

Στο πλαίσιο του πειραματικού μέρους έγιναν οι παρακάτω τέσσερις κατηγορίες μετρήσεων – αναλύσεων:

1. Φυσικές και χημικές: Θερμοκρασία περιβάλλοντος και σωρών, υγρασία, pH, ηλεκτρική αγωγιμότητα, ολικός άνθρακας, οργανική ουσία, ολικό άζωτο, νιτρικά (NO₃-N), φυτοτοξικότητα και εκπομπές αερίων.

2. Μικροβιολογικές αναλύσεις (Fecal coliforms)
3. Μικροβιολογικές αναλύσεις με κλασσικές μεθόδους
4. Μέτρηση φυτοφαρμάκων με τη μέθοδο HPLC

2.4.1. Μετρήσεις φυσικών και χημικών παραμέτρων

2.4.1.1. Η μέτρηση της θερμοκρασίας

Η μέτρηση της θερμοκρασίας γινόταν με φορητό ψηφιακό θερμόμετρο, με ράμφος 1m στην κλίμακα των °C. Οι μετρήσεις γίνονταν σε καθημερινό επίπεδο, σε βάθος περίπου 35cm πριν και μετά από κάθε γύρισμα. Κατά την μέτρηση της θερμοκρασίας των σωρών καταγράφονταν και η θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

2.4.1.2. Προσδιορισμός υγρασίας

Ο προσδιορισμός της υγρασίας σε υλικά που προορίζονται για κομποστοποίηση αποσκοπεί στο να εκτιμηθεί, κατά πόσο η έλλειψη ή η περίσσεια νερού αποτελεί περιοριστικό παράγοντα στη διαδικασία. Τα όργανα και οι συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν είναι ο φούρνος ξήρανσης ρυθμισμένος στους 105⁰C, πυρίμαχες κάψες και ζυγαριά ακριβείας. Η διαδικασία του προσδιορισμού της υγρασίας είναι (Μανιός 2006β):

- Ζυγίζουμε τις στεγνές και καθαρές κάψες (τιμή α).
- Τοποθετούμε μικρή ποσότητα δείγματος σε κάθε κάψα, (ανάλογα με τον αριθμό των επαναλήψεων τόσες κάψες χρησιμοποιούμε) και ζυγίζουμε ξανά (τιμή β).
- Τοποθετούμε τις κάψες στο φούρνο ξήρανσης στους 105⁰C για 24 ώρες.
- Βγάζουμε τις κάψες από το φούρνο και τις αφήνουμε σε ειδικά δοχεία (ξηραντήρια) ώστε να αποκτήσουν θερμοκρασία περιβάλλοντος και ζυγίζουμε τις κάψες (τιμή γ).

Ο υπολογισμός της υγρασίας γίνεται με βάση την παρακάτω εξίσωση :

$$\text{Υγρασία}\% = \frac{\gamma - \alpha}{\beta - \alpha} 100$$

2.4.1.3. Προσδιορισμός του pH και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) με νερό στην αναλογία 1:1^{1/2} (V/V).

Είναι γνωστό ότι με το pH εκφράζουμε την συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου και υδροξυλίου. Ως άριστο pH για την αποδόμηση του οργανικού υλικού από τους μικροοργανισμούς θεωρείται εκείνο της ελαφρώς αλκαλικής περιοχής. Με την ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) εκφράζουμε την συγκέντρωση των διαλυτών αλάτων του οργανικού υλικού. Η υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης δεν αποτελεί πρόβλημα, θα πρέπει όμως το τελικό προϊόν να μην έχει υψηλή αλατότητα (Μανιός 2006β).

Τα όργανα και οι συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό αυτό είναι:

- Ογκομετρικός κύλινδρος των 200ml
- Πλαστική λεκάνη, δυο πλαστικά ποτήρια, υδροβολέας με απιονισμένο νερό
- Μαχαίρι, γυάλινη ράβδος
- Πορσελάνινο χωνί, διηθητικό χαρτί
- Πεχάμετρο και αγωγιμόμετρο (Εικ. 3,4)
- Κύλινδροι εσωτερικής διαμέτρου 42mm και ύψους 58mm, με χωρητικότητα 80cm³ και βαρίδιο για την συμπίεση του υλικού μέσα στους κυλίνδρους (Εικ. 5).

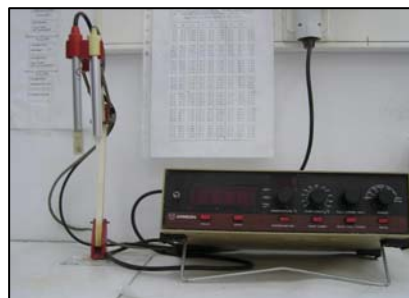
Η διαδικασία που ακολουθούμε για τον προσδιορισμό του pH και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας είναι η εξής:

- Βάζουμε στην λεκάνη ποσότητα υλικού και το διαβρέχουμε.
- Ανακατεύουμε το υλικό μέχρι να γίνει ομοιόμορφο και να σχηματιστεί ελαφριά απορροή νερού (περιοχή pf 1,5).
- Τοποθετούμε το υλικό στους πλαστικούς κυλίνδρους, γεμίζοντας τον κάτω και μέχρι την μέση του πάνω και στην συνέχεια τοποθετούμε σιγά-σιγά το βαρίδιο.
- Μετά από 60 δευτερόλεπτα αφαιρούμε το βαρίδιο και κόβουμε με το μαχαίρι ανάμεσα τους δυο κυλίνδρους κρατώντας την ποσότητα υλικού του κάτω κυλίνδρου, την οποία και μεταφέρουμε σε ποτήρι ζέσεως.

- Στο ποτήρι ζέσεως προσθέτουμε 120ml απιονισμένο νερό και ανακατεύουμε με την γυάλινη ράβδο αφήνοντάς το για περίπου τρεις ώρες.
- Στην συνέχεια αδειάζουμε το υλικό με το νερό σε πορσελάνινο χωνί στο οποίο έχουμε τοποθετήσει διηθητικό χαρτί.
- Κάνουμε διήθηση του υλικού για 24 ώρες και μετράμε το pH και την ηλεκτρική αγωγιμότητα.



Εικόνα 3. Όργανο μέτρησης του pH (πεχάμετρο).



Εικόνα 4. Όργανο μέτρησης EC (αγωγιμόμετρο).



Εικόνα 5. Κύλινδροι και βαρίδιο για την συμπίεση του υλικού.

2.4.1.4. Προσδιορισμός οργανικής ουσίας και οργανικού άνθρακα

Για τον προσδιορισμό της σχέσης C/N του υλικού θα πρέπει να προσδιοριστεί η περιεκτικότητά του σε άνθρακα και άζωτο. Τα όργανα και οι συσκευές που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό του οργανικού άνθρακα είναι ο φούρνος ξήρανσης, ο φούρνος αποτέφρωσης, πορσελάνινες κάψες, εργαστηριακός μύλος και ζυγός ακριβείας. Η διαδικασία που ακολουθούμε για τον προσδιορισμό αυτό είναι η εξής (Μανιός 2006β):

- Ζυγίζουμε τα στεγνά και καθαρά καψάκια (σύνολο 10).
- Προσθέτουμε το δείγμα και ζυγίζουμε ξανά .

- Στα πέντε πορσελάνινα καψάκια βάζουμε 2-3 gr αλεσμένου δείγματος και τα τοποθετούμε σε φούρνο ξήρανσης στους 105 °C (Εικ. 6) για 24 ώρες για τον προσδιορισμό της υγρασίας.
- Στα άλλα πέντε πορσελάνινα καψάκια βάζουμε 1gr αλεσμένου δείγματος και τα τοποθετούμε σε φούρνο αποτέφρωσης στους 600 °C (Εικ. 7) για 16 ώρες μέχρις ότου να αποκτήσει σταθερό βάρος.
- Τέλος, ζυγίζουμε την τέφρα και προσδιορίζεται η επί τοις εκατό ξηρή ουσία.

Ο υπολογισμός του οργανικού άνθρακα καθώς και της οργανικής ουσίας γίνεται με την βοήθεια της παρακάτω εξίσωσης.

$$\text{Οργανικός C \%} = \frac{100 - \text{τέφρα\%}}{1,8}$$

Το ποσοστό 100 – τέφρα % είναι η οργανική ουσία, δηλαδή η ποσότητα που κάηκε.



Εικόνα 6. Φούρνος ξήρανσης



Εικόνα 7. Φούρνος αποτέφρωσης

2.4.1.5. Προσδιορισμός ολικού αζώτου

Ο προσδιορισμός του αζώτου είναι χρήσιμος για τον προσδιορισμό της σχέσης C/N. Τα όργανα και οι συσκευές που απαιτούνται για να γίνει ο προσδιορισμός αυτός είναι η εστία πέψης (Εικόνα 8) και η αποστακτική συσκευή ατμού (Εικόνα 9). Η διαδικασία για τον προσδιορισμό του αζώτου χωρίζεται σε δυο στάδια, την πέψη και την απόσταξη (Μανιός, 2006β). Η διαδικασία της πέψης έχει ως εξής:

- Μελετάμε έξι δείγματα εκ των οποίων τα πέντε περιέχουν το λεπτό αλεσμένο υλικό και το έκτο θα είναι κενό, δηλαδή χωρίς υλικό (τυφλό). Ζυγίζουμε 0,05gr από το αλεσμένο υλικό, σε ζυγαριά ακριβείας και το

μεταφέρουμε στις δυο φιάλες με προσοχή ώστε να μην επικαθίσει στα τοιχώματα της φιάλης.

- Προσθέτουμε με την βοήθεια ειδικής μικρομεζούρας 100 mg καταλύτη στην φιάλη πέψης.
- Στην συνέχεια προσθέτουμε 1,5 ml H₂SO₄ 0,01N σε όλες τις φιάλες πέψης. Η διαδικασία της πέψης ολοκληρώνεται όταν το περιεχόμενο της φιάλης πάρει χρώμα πράσινου μήλου.

Η διαδικασία της απόσταξης είναι η ακόλουθη (Μανιός 2006β):

- Αφού κρυώσουν οι φιάλες πέψης τις μεταφέρουμε στην αυτόματη αποστακτική συσκευή ατμού νέου τύπου (VAP 30).
- Σε κωνικές φιάλες προσθέτουμε 20 ml H₃BO₃, 2-3 σταγόνες δείκτη και τοποθετούμε την κάθε φιάλη στη συσκευή απόσταξης.
- Όταν τελειώσει η απόσταξη ογκομετρούμε κάθε φιάλη με H₂SO₄ 0,01N μέχρι το διάλυμα να γίνει ροζ.

Ο υπολογισμός του αζώτου γίνεται με την βοήθεια του παρακάτω τύπου:

$$N \% = \frac{(A - B) * 14}{\Xi.B.}$$

Όπου A: η κατανάλωση H₂SO₄ του δείγματος

B: η κατανάλωση H₂SO₄ για το τυφλό.



Εικόνα 8. Εστία πέψης



Εικόνα 9. Αποστακτική συσκευή ατμού

2.4.1.6. Προσδιορισμός νιτρικών (NO₃-N)

Για τον προσδιορισμό των νιτρικών απαιτείται φρέσκο δείγμα. Η διαδικασία προσδιορισμού των νιτρικών είναι η εξής: Σε πέντε βαζάκια προσθέτουμε 50gr δείγματος, 100ml CaCl₂ και με μια σπάτουλα ποσότητα άνθρακα. Κλείνουμε τα βαζάκια και για μια ώρα τα τοποθετούμε στον αναδευτήρα. Έπειτα κάνουμε διήθηση με τη βοήθεια της συσκευής και παίρνουμε τα εκχυλίσματα. Ακολουθούμε την μέθοδο κατά την οποία χρησιμοποιούμε κυψέλες οι οποίες περιέχουν θειικό και βενζοϊκό οξύ. Σε αυτές προσθέτουμε μια κουταλιά αντιδραστήριο NO₃-1K και κλείνουμε καλά τις κυψέλες, ανακατεύοντας δυνατά για ένα λεπτό ώστε να διαλυθεί καλά το αντιδραστήριο. Στη συνέχεια προσθέτουμε 1,5ml δείγμα (εκχύλισμα) στις κυψέλες, τις κλείνουμε καλά και ανακατεύουμε δυνατά με προσοχή διότι οι κυψέλες θα ζεσταθούν. Αφήνουμε δέκα λεπτά να αντιδράσουν τα νιτρικά με το βενζοϊκό οξύ και να μετατραπούν σε μια ερυθρόχρωμη ουσία που μετρίεται στο φασματοφωτόμετρο.

2.4.1.7. Φυτοτοξικότητα

Το υδατικό εκχύλισμα από τα πέντε δείγματα που λήφθηκαν στις 23/7/2008, στα οποία μετρήθηκαν το pH και η ηλεκτρική αγωγιμότητα με την μέθοδο 1:1^{1/2} (V/V), χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο της φυτοτοξικότητας των κόμποστς. Ο σχετικός έλεγχος έγινε ως ακολούθως: χρησιμοποιήθηκαν έξι τριβλία, ένα για κάθε υδατικό εκχύλισμα και ένα ως μάρτυρας στο οποίο προστέθηκε αποσταγμένο νερό. Μέσα στο κάθε τριβλίο τοποθετήθηκε απορροφητικό χαρτί για κατακράτηση της υγρασίας ώστε οι σπόροι να αναπτυχθούν. Με αυτόματη πιπέτα προσθέσαμε 4 ml από κάθε εκχύλισμα στο αντίστοιχο τριβλίο και τοποθετήσαμε 10 σπόρους τομάτας σε κάθε τριβλίο. Με παραφίλμ κλείσαμε αεροστεγώς το κάθε τριβλίο και τα τοποθετήσαμε μέσα σε επωαστικό θάλαμο όπου και παρέμειναν για έξι ημέρες. Τέλος, μετρήθηκε η βλαστική ικανότητα των σπόρων.

2.4.1.8. Εκπομπές αερίων

Για την μέτρηση των αερίων που εκλύονται κατά την κομποστοποίηση χρησιμοποιήθηκαν πέντε στεγανά κυλινδρικά δοχεία, τα οποία τοποθετήθηκαν στην

κορυφή των σωρών βυθισμένα σε συγκεκριμένο βάθος (Εικόνα 10). Στα δοχεία αυτά είχε προσαρμοστεί σημείο δειγματοληψίας με λαστιχένιο πώμα βουτυλίου (septum). Από το σημείο αυτό με την βοήθεια σύριγγας λαμβάνονταν αέρια δείγματα σε τακτά χρονικά διαστήματα (0, 5, 15, 30 και 60min). Τα δείγματα μεταφέρονταν στο εργαστήριο για ανάλυση. Για την ανάλυση του αερίου ως προς τη σύσταση σε μεθάνιο (CH₄) και διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), παίρναμε 1ml δείγματος από την σύριγγα δειγματοληψίας, το οποίο διοχετεύονταν σε ενέσιμη μορφή στον αέριο χρωματογράφο (Agilent 6890N, GC system) εφοδιασμένο με ανιχνευτή θερμικής αγωγιμότητας (TCD) και ιονισμού φλόγας (FID) (Εικόνα 11). Ως φέρον αέριο χρησιμοποιήθηκε το Ήλιο με σταθερό ρυθμό ροής 15ml/min.



Εικόνα 10. Κυλινδρικά δοχεία για την λήψη των παραγόμενων αερίων



Εικόνα 11. Αέριος χρωματογράφος (Agilent 6890N, GC system)

2.4.2. Μικροβιολογικές αναλύσεις

Για τη μικροβιακή ανάλυση απαιτούνται, 10g σύνθετο (ομογενοποιημένο) δείγμα κόμποστ το οποίο προστίθενται σε στείρο δοχείο που περιέχει 90ml αποστειρωμένου διαλύματος ringer 0,8%. Από αυτό το διάλυμα 1ml αραιώνεται 10, 100, 1000 και 10.000 φορές σε μικρότερα γυάλινα φιαλίδια (vials) και από αυτά 1 ml διηθήθηκε σε μεμβράνες 0,45μm (milipore) και στη συνέχεια τα κοπρανώδη βακτήρια (Fecal califorms) επώαστηκαν στους 44°C για 24 ώρες σε M-FC εναιώρημα εμποτισμένα σε φίλτρο με προσθήκη οξέος (rosolic acid).

2.4.3. Μικροβιολογικές αναλύσεις με κλασσικές μεθόδους

Μετρήσεις και παρακολούθηση:

- Ολικών μεσόφιλων βακτηρίων (σε nutrient agar), Μύκητες – ζύμες (Sabouraud + streptomycin).
- Φύλαξη δείγματος στους -20°C για εφαρμογή μεθόδων μοριακής βιολογίας.
- Καλλιέργειες εμπλουτισμού σε αερόβιες και αναερόβιες συνθήκες (καλλιέργεια σε στερεά θρεπτικά υποστρώματα, απομονώσεις).

Δειγματοληψίες

Ημερομηνία	Δειγματοληψία	Σχόλια
18 Οκτωβρίου 2007	1 ^η	Ψεκασμός των μιγμάτων. Το δείγμα από το μίγμα – μάρτυρα ήταν από τις 16 Οκτωβρίου και είχε παραμείνει 2 ημέρες στους 4°C (!!!) / καλλιέργειες εμπλουτισμού
23 Οκτωβρίου 2007	2 ^η	Καλλιέργειες εμπλουτισμού
30 Οκτωβρίου 2007	3 ^η	
7 Νοεμβρίου 2007	4 ^η	
13 Νοεμβρίου 2007	5 ^η	Γύρισμα – καλλιέργειες εμπλουτισμού
28 Νοεμβρίου 2007	6 ^η	Γύρισμα – καλλιέργειες εμπλουτισμού
5 Δεκεμβρίου 2007	7 ^η	Γύρισμα
13 Δεκεμβρίου 2007	8 ^η	Γύρισμα
26 Δεκεμβρίου 2007	9 ^η	Γύρισμα – καλλιέργειες εμπλουτισμού

2.4.3.1. Προετοιμασία δειγμάτων

Προκειμένου να πραγματοποιηθούν οι προγραμματιζόμενες βιολογικές αναλύσεις, αφαιρέθηκαν από τα δείγματα τα μεγάλα κομμάτια κλάδων και τα συνθετικά υλικά. Έπειτα, τα δείγματα τεμαχίστηκαν και αναμίχθηκαν ώστε να γίνουν όσο το δυνατόν περισσότερο ομοιογενή.

Για τις μικροβιολογικές αναλύσεις, δημιουργήθηκαν διαδοχικές δεκαδικές αραιώσεις κάθε δείγματος σε διάλυμα Ringer's ¼. Για την πρώτη αραιώση (10^{-1}), διαλύθηκαν 10g από κάθε δείγμα κόμποστ σε 90ml υδατικού διαλύματος Ringer's ¼. Κάθε αιώρημα ανακινήθηκε με 160 rpm για χρονικό διάστημα 2h.

Στη συνέχεια, εφαρμόστηκαν διαδοχικές δεκαδικές αραιώσεις, από 10^{-2} έως 10^{-7} , μεταφέροντας 1ml από καθεμιά αραιώση σε φιαλίδια (τύπου McCartney) που

περιείχαν 9ml διαλύματος Ringer's $\frac{1}{4}$. Από τρεις διαδοχικές αραιώσεις κάθε δείγματος, λαμβάνονταν συγκεκριμένες ποσότητες και εμβολιάζονταν σε θρεπτικό υλικό πρόσφορο για ανάπτυξη και καταμέτρηση των μικροβίων. Η ποσότητα των εμβολίων, το θρεπτικό υπόστρωμα, η θερμοκρασία και ο χρόνος επώασης διαφοροποιούνταν ανάλογα με τον υπό αναζήτηση μικροοργανισμό. Για κάθε αραιώση πραγματοποιούνταν τρεις επαναλήψεις.

2.4.3.2. Μέθοδοι καταμέτρησης

Η εκτίμηση του πληθυσμού των ολικών αερόβιων βακτηρίων, των μυκήτων και των ζυμών, έγινε με τη μέθοδο καταμέτρησης Βιώσιμων Αναπαραγωγικών Μονάδων (Colony Forming Units: CFU / g DW). Ο εμβολιασμός πραγματοποιήθηκε με την επίστρωση 0.1ml από κάθε αραιώση σε εκλεκτικό στερεό θρεπτικό υπόστρωμα, υπό ασηπτικές συνθήκες.

2.4.3.3. Προετοιμασία Θρεπτικών υποστρωμάτων

1. Ολικά αερόβια βακτήρια

Ως θρεπτικό υπόστρωμα για την ανάπτυξη των ολικών αερόβιων και των σποριογόνων βακτηρίων, χρησιμοποιήθηκε το Nutrient Agar (N.A.), σε συγκέντρωση 28g/L απιονισμένου νερού (dH_2O), το οποίο πριν τον εμβολιασμό αποστειρώθηκε σε αυτόκαυστο ($121^{\circ}C$ για 15min).

Για την εκτίμηση των ολικών μεσόφιλων και θερμοφίλων αερόβιων βακτηρίων, εμβολιάστηκαν αντίστοιχα εννέα τριβλία (τρεις αραιώσεις επί τρεις επαναλήψεις) τα οποία επωάστηκαν στους $30^{\circ}C$ για 48h.

Πειραματικός σχεδιασμός

Στην προσπάθεια να απομονωθούν βακτήρια που αποδομούν τα επιλεγμένα φυτοφάρμακα, δημιουργήθηκαν καλλιέργειες εμπλουτισμού. Οι καλλιέργειες τοποθετήθηκαν σε αναερόβιες και αερόβιες συνθήκες στο σκοτάδι για επτά μέρες (οι καλλιέργειες με το πρώτο δείγμα και με το τελευταίο διατηρήθηκαν για 23 επιπλέον μέρες) . Στις καλλιέργειες εμπλουτισμού είχε προστεθεί το παρασιτοκτόνο που

χρησιμοποιήθηκε σε κάθε περίπτωση (στη συγκέντρωση που χρησιμοποιήθηκε για τον ψεκάσμό των υλικών κομποστοποίησης).

Μετά το πέρας των επτά ημερών, δείγματα από τις καλλιέργειες εμβολιάστηκαν σε στερεά θρεπτικά υποστρώματα και επώαστηκαν αντίστοιχα σε αερόβιες και αναερόβιες συνθήκες, στο σκοτάδι για τρεις ημέρες. Για τις καλλιέργειες εμπλουτισμού χρησιμοποιήθηκαν δύο διαλύματα, ένα με ανόργανα άλατα (MSM) και ένα με ανόργανα άλατα εμπλουτισμένο με πηγή N (MSMN). Η σύστασή τους αναφέρεται στο Karpouzas and Walker (2000). Τα στερεά θρεπτικά υποστρώματα παρασκευάστηκαν όπως τα διαλύματα εμπλουτισμού, με τη διαφορά ότι προστέθηκε 1,5% άγαρ.

Μεταχείριση	Αερόβιες συνθήκες	Αναερόβιες συνθήκες	Μάρτυρας
Μίγμα χωρίς κανένα παρασιτοκτόνο	0,5g σε 50ml MSM στους 30°C για 7 μέρες	0,5g σε 50ml MSM στους 30°C για 7 μέρες	50ml MSM στους 30°C για 7 μέρες
	0,5g σε 50ml MSMN στους 30°C για 7 μέρες	0,5g σε 50ml MSMN στους 30°C για 7 μέρες	50ml MSMN στους 30°C για 7 μέρες
Μίγμα με Pyrinex	0,5g σε 50ml MSM & Pyrinex στους 30°C για 7 μέρες	0,5g σε 50ml MSM & Pyrinex στους 30°C για 7 μέρες	50ml MSM & Pyrinex στους 30°C για 7 μέρες
	0,5g σε 50ml MSMN & Pyrinex στους 30°C για 7 μέρες	0,5g σε 50ml MSMN & Pyrinex στους 30°C για 7 μέρες	50ml MSMN & Pyrinex στους 30°C για 7 μέρες
Μίγμα με Linagon	0,5g σε 50ml MSM & Linagon στους 30°C για 7 μέρες	0,5g σε 50ml MSM & Linagon στους 30°C για 7 μέρες	50ml MSM & Linagon στους 30°C για 7 μέρες
	0,5g σε 50ml MSMN & Linagon στους 30°C για 7 μέρες	0,5g σε 50ml MSMN & Linagon στους 30°C για 7 μέρες	50ml MSMN & Linagon στους 30°C για 7 μέρες
Μίγμα με Sencor	0,5g σε 50ml MSM & Sencor στους 30°C για 7 μέρες	0,5g σε 50ml MSM & Sencor στους 30°C για 7 μέρες	50ml MSM & Sencor στους 30°C για 7 μέρες
	0,5g σε 50ml MSMN & Sencor στους 30°C για 7 μέρες	0,5g σε 50ml MSMN & Sencor στους 30°C για 7 μέρες	50ml MSMN & Sencor στους 30°C για 7 μέρες
Μίγμα με Pyrinex, Linagon & Sencor	0,5g σε 50ml MSM & Pyrinex, Linagon & Sencor στους 30°C για 7 μέρες	0,5g σε 50ml MSM & Pyrinex, Linagon & Sencor στους 30°C για 7 μέρες	50ml MSM & Pyrinex, Linagon & Sencor στους 30°C για 7 μέρες
	0,5g σε 50ml MSMN & Pyrinex, Linagon & Sencor στους 30°C για 7 μέρες	0,5g σε 50ml MSMN & Pyrinex, Linagon & Sencor στους 30°C για 7 μέρες	50ml MSMN & Pyrinex, Linagon & Sencor στους 30°C για 7 μέρες

Karpouzas D.G, Walker A. (2000).

2. Ακτινοβακτήρια

Παρόλο που τα ακτινοβακτήρια ανήκουν στα βακτήρια, εξετάζονται συνήθως ξεχωριστά λόγω των ιδιαίτερων οικολογικών και μορφολογικών χαρακτηριστικών τους, καθώς και του διαφορετικού ρόλου που παίζουν στην βίο-αποικοδόμηση.

Η σύσταση του θρεπτικού υποστρώματος (Clark, F.E., 1994. Actinomycetes, in: Weaver, R.W., Angle, J.S., Bottmley, P.S., (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part 2. Madisson, WI: SSSA, pp. 1498-1501) δίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Χημική ένωση	Συγκέντρωση
Γλυκερόλη	10 ml/L
K ₂ HPO ₄	1 g/L
L- asparagine (monohydrate)	1 g/L
CaCO ₃	3 g/L
Άγαρ	15 g/L

Το υλικό αποστειρώθηκε σε αυτόκαυστο (115°C για 15 min). Οι αραιώσεις των εμβολίων κυμάνθηκαν – ανάλογα με το στάδιο της κομποστοποίησης – από 10⁻¹ έως 10⁻⁷, ενώ η καταμέτρηση των ακτινοβακτηρίων πραγματοποιήθηκε με στερεοσκόπιο, μετά από επώαση 7 ημερών στους 30°C.

3. Μύκητες – Ζύμες

Ως θρεπτικό υπόστρωμα για την ανάπτυξη και την καταμέτρηση μυκήτων και ζυμών, παρασκευάστηκε το Sabouraud Dextrose Agar (LabM) σε συγκέντρωση 65g/L dH₂O, το οποίο αποστειρώθηκε σε αυτόκαυστο (121°C για 15 min). Μετά την αποστείρωση του υλικού και αφού η θερμοκρασία του έφθασε περίπου στους 45°C, προστέθηκε αντιβιοτικό διάλυμα στρεπτομυκίνης. Για την παρασκευή του διαλύματος στρεπτομυκίνης διαλύθηκαν 3gr Streptomycin Sulfate σε 10ml αποστειρωμένου νερού.

Οι αραιώσεις των εμβολίων κυμάνθηκαν – ανάλογα με το στάδιο της κομποστοποίησης – από 10⁻¹ έως 10⁻⁷, ενώ η καταμέτρηση των μεσόφιλων και θεرمόφιλων μικροοργανισμών πραγματοποιήθηκε μετά από επώαση 2 ημερών στους 30°C.

2.4.4. Μέτρηση φυτοφαρμάκων με τη μέθοδο HPLC

Για τον προσδιορισμό των φυτοφαρμάκων είναι αναγκαίο να πραγματοποιηθούν οι παρακάτω διαδικασίες:

1. Εκχύλιση φυτοφαρμάκων

- Σε φιάλες Falcom των 50ml προσθέτουμε 15gr από το κάθε υλικό (1^{ου}, 2^{ου}, 3^{ου}, 4^{ου} και 5^{ου} κιβωτίου και δείγματα αυτών με υδράργυρο) και 30ml μεθανόλης.
- Ακολουθεί ανάδευση των φιαλών για 24 ώρες σε ειδικό αναδευτήρα .
- Έπειτα φυγοκεντρείται μικρή ποσότητα από την κάθε φιάλη σε φυγοκεντρίτη (τύπου Sigma 203), για τον διαχωρισμό των στερεών υπολειμμάτων (Εικόνα 12).
- Στη συνέχεια προσθέτουμε 1ml από κάθε φιάλη, με την βοήθεια αυτόματης πιπέτας, σε ειδικά φιαλίδια των 1,5ml.

2. Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης των φυτοφαρμάκων γίνεται με την βοήθεια της μεθόδου HPLC (υγρός χρωματογράφος Agilent Technologies 1200 series) (Εικόνα 13). Το σύστημα της υγρής χρωματογραφίας αποτελείται από ένα injector, που λαμβάνει το προς εξέταση δείγμα, μια ειδική στήλη (ZORBAX eclipse XDB-C18), μέσω της οποίας διαχωρίζονται τα φυτοφάρμακα με σταθερή ροή 0,8 ml/min, ένα ανιχνευτή (DAD) υπεριώδους ακτινοβολίας και τέλος ένα ηλεκτρονικό υπολογιστή στον οποίο καταγράφονται τα αποτελέσματα. Ο υγρός χρωματογράφος τροφοδοτείται με ακετονιτρίλιο (CH₃CN) και νερό (H₂O) σε αναλογία 60% και 40% αντίστοιχα.

Σύμφωνα με τα πρότυπα διαλύματα το Chloropyrifos μετριέται στα 251nm στα 5,2 λεπτά, το Linuron στα 249nm και εμφανίζεται στα 5,5 λεπτά και το Metribuzin μετριέται στα 294nm στα 3,2 λεπτά.



Εικόνα 12. Φυγοκεντρίτης τύπου Sigma 203



Εικόνα 13. Υγρός χρωματογράφος Agilent Technologies 1200 series

Κεφάλαιο 3. Αποτελέσματα – Συζήτηση

3.1. Μετρήσεις φυσικών και χημικών παραμέτρων

3.1.1. Η διακύμανση της θερμοκρασίας

Οι τιμές της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος και των κομποστοποιούμενων υλικών εντός των κιβωτίων καταγράφονταν σε καθημερινή βάση, από την ημέρα της εγκατάστασης έως και την τελευταία μέρα της κομποστοποίησης. Η θερμοκρασία στο εσωτερικό της μάζας του κόμποστ προσδιορίζει το ρυθμό με τον οποίο οι βιολογικές διαδικασίες λαμβάνουν χώρα και παίζει σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη και την διαδοχή των μικροβιακών πληθυσμών.

Από τα αποτελέσματα καταγραφής των μεταβολών της θερμοκρασίας σημειώνονται τα ακόλουθα:

i. Για το πρώτο κιβώτιο (μάρτυρας): Η μετάβαση από το μεσόφιλο στο θερμόφιλο στάδιο πραγματοποιήθηκε μέσα σε χρονικό διάστημα 24 ωρών με θερμοκρασιακή μεταβολή 7°C – από τους 45°C , η θερμοκρασία ανέβηκε στους 52°C . Η μέγιστη θερμοκρασία στο θερμόφιλο στάδιο ήταν 60°C και καταγράφηκε την 41^η ημέρα της κομποστοποίησης, πέντε μέρες μετά το τέταρτο γύρισμα. Μετά την 52^η ημέρα, η θερμοκρασία άρχισε να ελαττώνεται και να πλησιάζει εκείνη του περιβάλλοντος, πράγμα που υποδηλώνει ότι η διαδικασία της κομποστοποίησης πλησιάζει στην ολοκλήρωσή της.

ii. Για το δεύτερο κιβώτιο (Pyginex): Κατά την έναρξη της κομποστοποίησης η θερμοκρασία του σωρού ήταν 21°C και η μετάβαση από το μεσόφιλο στο θερμόφιλο στάδιο πραγματοποιήθηκε σε χρονικό διάστημα τριών ημερών, αφού η θερμοκρασία του σωρού έφτασε από τους 49°C στους 57°C . Το μεσόφιλο στάδιο διήρκησε λιγότερο από αυτό του πρώτου κιβωτίου. Η μέγιστη θερμοκρασία που καταγράφηκε ήταν 58°C την 36^η (27-11-08) ημέρα της κομποστοποίησης. Η θερμοκρασία άρχισε να ελαττώνεται σταδιακά μετά την 65^η ημέρα της κομποστοποίησης, αμέσως δηλαδή μετά το 6^ο γύρισμα.

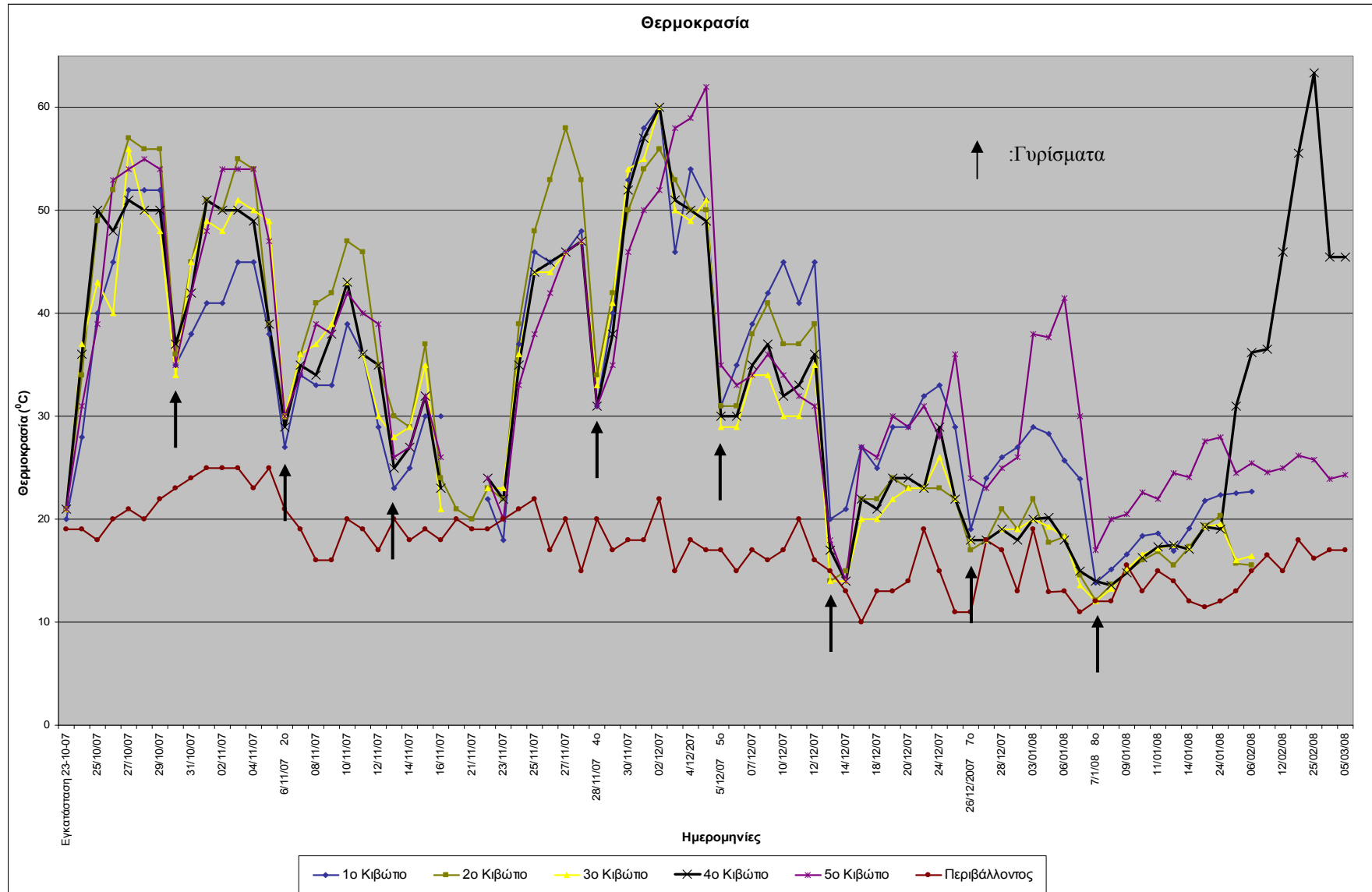
iii. Για το τρίτο κιβώτιο (Linagan): Η θερμοκρασιακή μεταβολή που σημειώθηκε κατά την μετάβαση από το μεσόφιλο στάδιο στο θερμόφιλο ήταν 16°C - από τους 40°C που ήταν στους 56°C και πραγματοποιήθηκε σε χρονικό διάστημα 24 ωρών. Το μεσόφιλο στάδιο διήρκησε λιγότερο από αυτό του δεύτερου κιβωτίου. Η υψηλότερη θερμοκρασία καταγράφηκε στις 02-12-07, την 41^η ημέρα της κομποστοποίησης και ήταν 60°C και η αμέσως επόμενη υψηλή θερμοκρασία μετρήθηκε την 5^η ημέρα της κομποστοποίησης, όπου έγινε και η μετάβαση στο θερμόφιλο στάδιο. Σταδιακή μείωση της θερμοκρασίας καταγράφηκε μετά την 65^η ημέρα της κομποστοποίησης πλησιάζοντας τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

iv. Για το τέταρτο κιβώτιο (Sencor): Σε διάστημα 24 ωρών πραγματοποιήθηκε η μετάβαση από το μεσόφιλο στο θερμόφιλο στάδιο, με θερμοκρασιακή μεταβολή 14°C - από τους 36°C η θερμοκρασία ανέβηκε στους 50°C . Η μέγιστη θερμοκρασία που σημειώθηκε στο μεσόφιλο στάδιο ήταν 60°C και καταγράφηκε την 41^η ημέρα της κομποστοποίησης, τέσσερις μέρες μετά το τέταρτο γύρισμα. Η αμέσως επόμενη υψηλότερη θερμοκρασία ήταν 57°C την 40^η ημέρα. Όπως και στους δυο προηγούμενους σωρούς η θερμοκρασία ελαττώθηκε σταδιακά μετά το 6^ο γύρισμα. Στις 24/01/08 έγινε θρυμματισμός του υλικού με θριμματιστή τύπου μαχαίρια για να διαπιστώσουμε αν μειώνοντας το μέγεθος των τεμαχιδίων αυξάνεται η θερμοκρασία.

Για το πέμπτο κιβώτιο (Pyginex, Linagan, Sencor): Κατά την εγκατάσταση η θερμοκρασία ήταν 21°C . Η μετάβαση στο θερμόφιλο στάδιο έγινε σε χρονικό διάστημα 24 ωρών και η μεταβολή που σημειώθηκε ήταν 14°C - η θερμοκρασία αυξήθηκε από τους 39°C στους 53°C . Μετά από κάθε γύρισμα η θερμοκρασία

αυξάνεται σταδιακά. Η μέγιστη θερμοκρασία που σημειώθηκε στο θερμόφιλο στάδιο ήταν 62°C και καταγράφηκε την 44^η ημέρα της κομποστοποίησης, την ημέρα πριν το 5^ο γύρισμα. Η αμέσως επόμενη υψηλότερη θερμοκρασία ήταν 59°C την 43^η ημέρα. Η διαδικασία της κομποστοποίησης άρχισε να σταθεροποιείται και να περνά στη φάση της ωρίμανσης, αφού μετά το 8^ο γύρισμα δεν ανέβηκε πάνω από 30°C .

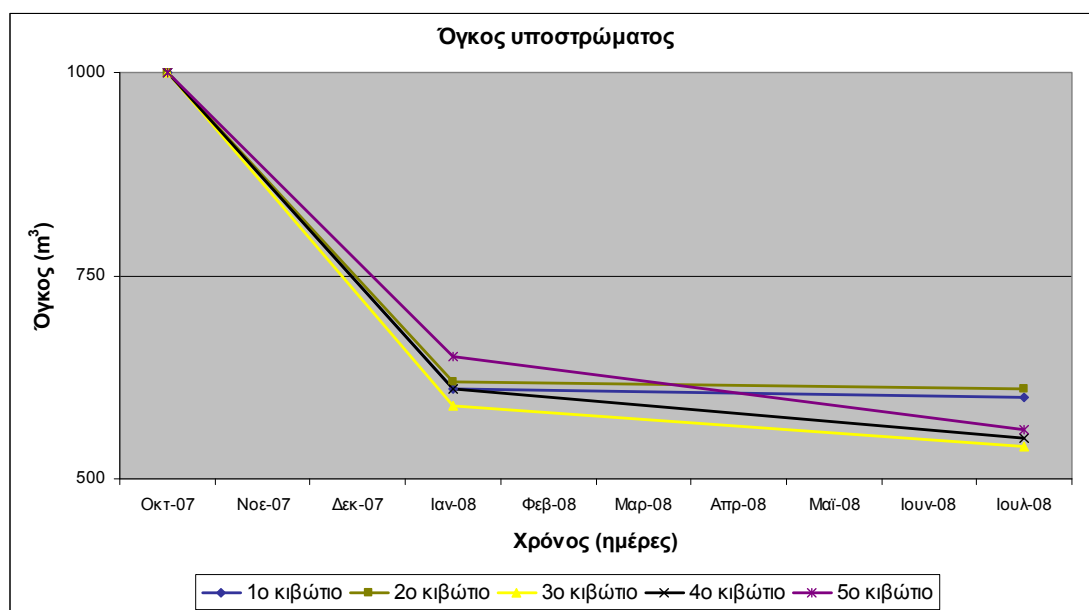
Συμπερασματικά, το μεσόφιλο στάδιο διήρκησε δυο ημέρες για το δεύτερο κιβώτιο και 24 ώρες για τα υπόλοιπα. Το θερμόφιλο στάδιο διήρκησε 47 ημέρες, από την 4^η ημέρα (27-10-07) της κομποστοποίησης μέχρι την 51^η (12-12-07). Το στάδιο πτώσης της θερμοκρασίας διήρκησε από την 52^η έως την 77^η ημέρα, ενώ η φάση της ωρίμανσης από την 77^η ημέρα έως το τέλος της κομποστοποίησης. Μετά την μεταχείριση του υλικού στο τέταρτο κιβώτιο σε σύγκριση με το πέμπτο, καταγράφηκε ραγδαία αύξηση της θερμοκρασίας, με θερμοκρασιακή μεταβολή $44,4^{\circ}\text{C}$ - από τους 19°C που ήταν πριν τον τεμαχισμό στους 63°C , μέσα σε χρονικό διάστημα 33 ημερών χωρίς καμία περαιτέρω μεταχείριση.



Διάγραμμα 3i. Διάγραμμα μεταβολής της θερμοκρασίας κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης (παράρτημα Πίνακας 1).

3.1.2. Ο όγκος του υποστρώματος

Όπως φαίνεται παρακάτω ο όγκος των υλικών παρουσίασε σημαντική μείωση κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης. Ο όγκος του υποστρώματος υπολογίστηκε σε τρεις περιόδους, στην εγκατάσταση (23/10/07), την 16^η Ιανουαρίου 2008 και τέλος την 23^η Ιουλίου 2008. Η μείωση ήταν ραγδαία μέχρι την 84^η ημέρα της κομποστοποίησης και μικρή αλλά σταθερή μέχρι το τέλος (23/07/08). Έτσι το πρώτο κιβώτιο μειώθηκε κατά 40%, το δεύτερο κατά 39%, το τρίτο κατά 46%, το τέταρτο κατά 45% και το πέμπτο κατά 44%.



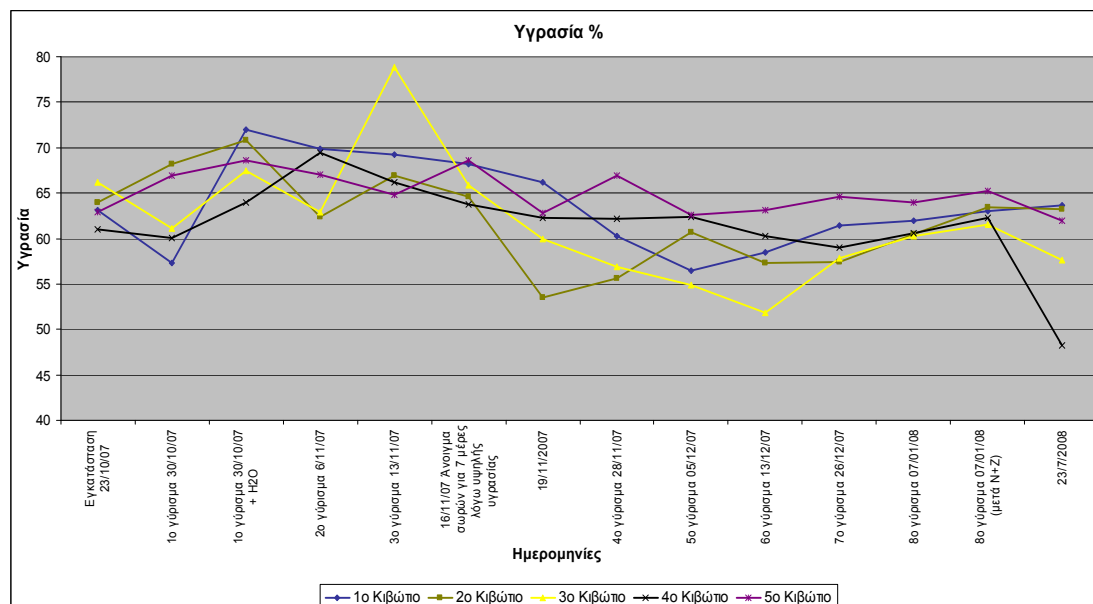
Διάγραμμα 3ii. Διάγραμμα μεταβολής του όγκου κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης (παράρτημα Πίνακας 2).

3.1.3. Υγρασία

Η υγρασία των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν (κλαδοκάθαρα, ιλύς και μίγμα αυτών), χωρίς την προσθήκη φυτοφαρμάκων πριν την εγκατάσταση ήταν: στο 40,16%, 70,75% και 74,88%, αντίστοιχα.

Η υγρασία της ιλύς είναι σημαντική παράμετρος, διότι προσδιορίζει σε ένα βαθμό τις δυνατότητες περαιτέρω αξιοποίησης και διάθεσης της ιλύς βιολογικού καθαρισμού. Για να πραγματοποιηθεί στο βέλτιστο βαθμό η διαδικασία της κομποστοποίησης τα επίπεδα της υγρασίας πρέπει να κυμαίνονται μεταξύ 40-70%. Η έλλειψη της υγρασίας (κάτω από 30-35%) αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για την μικροβιακή δραστηριότητα, διότι περιορίζεται η κινητικότητα των βακτηρίων και η

αποδομητική δραστηριότητα. Συνθήκες υπερβολικής υγρασίας έχουν ως αποτέλεσμα την δημιουργία αναερόβιων συνθηκών αφού τα διάκενα είναι γεμάτα με νερό, ο αέρας έχει εκτοπιστεί και το οξυγόνο δεν είναι διαθέσιμο στους μικροοργανισμούς.



Διάγραμμα 3iii. Διάγραμμα μεταβολής της υγρασίας κατά την πορεία της κομποστοποίησης (παράρτημα Πίνακας 3).

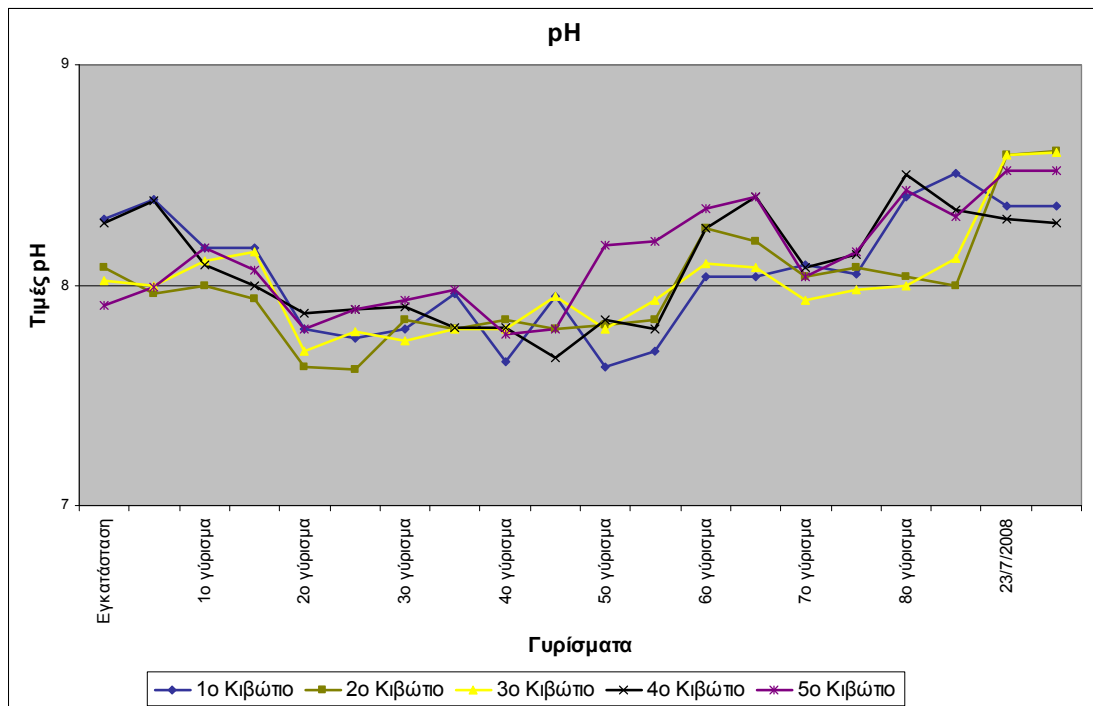
Η μέγιστη τιμή της υγρασίας κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης του πρώτου, του δεύτερου και του πέμπτου κιβωτίου παρατηρήθηκε την έβδομη ημέρα, στο πρώτο γύρισμα μετά από την προσθήκη νερού και ήταν 71,93% , 70,77% , και 68,64% αντίστοιχα. Στο τρίτο κιβώτιο η μέγιστη τιμή της υγρασίας ήταν 78,82% στο τρίτο γύρισμα την 21^η μέρα της κομποστοποίησης, ενώ στο τέταρτο κιβώτιο παρατηρήθηκε την 15^η μέρα της κομποστοποίησης, δηλαδή στο δεύτερο γύρισμα και ήταν 69,4%.

Στο 1^ο γύρισμα προστέθηκε νερό, για το πρώτο κιβώτιο ήταν 3lt, για το δεύτερο 2 lt, για το τρίτο 4lt, για το τέταρτο 2lt και για το πέμπτο ήταν 2lt. Λόγω πολύ υψηλής υγρασίας το υλικό έμεινε έξω από τα κιβώτια για επτά ημέρες μετά το τρίτο γύρισμα.

Στο όγδοο γύρισμα (77^η μέρα) έγινε διαβροχή των σωρών με 12lt, 15lt, 15lt, 15lt και 10 lt αντίστοιχα για κάθε κιβώτιο.

3.1.4. Οξύτητα (pH)

Το pH αποτελεί έναν ιδιαίτερα σημαντικό παράγοντα που επηρεάζει τις συγκεντρώσεις και τους ρυθμούς μείωσης των μικροοργανισμών στην ιλύ.



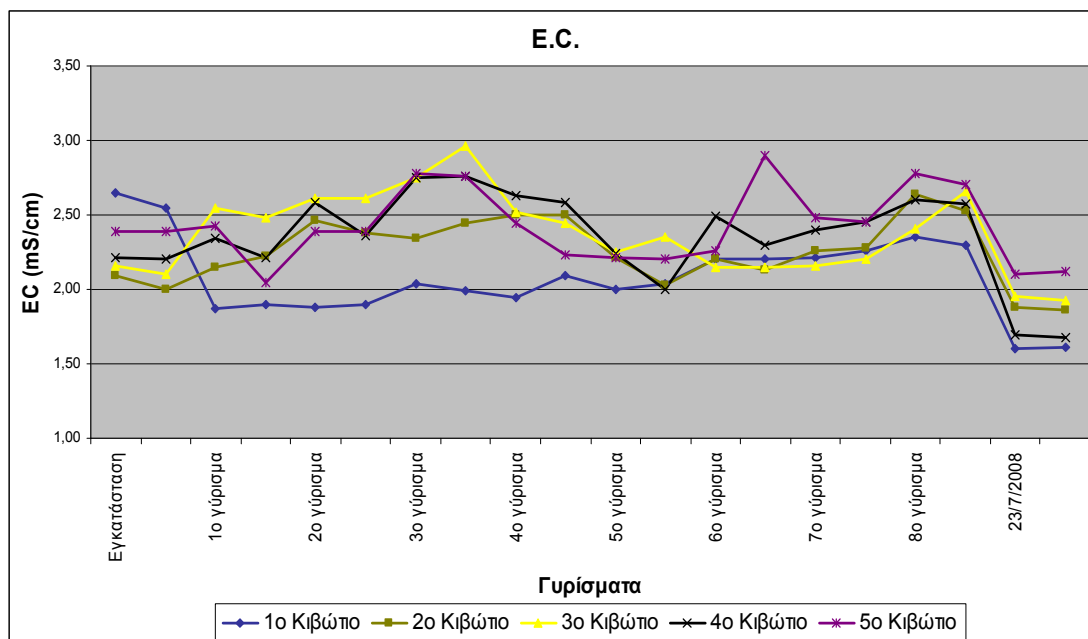
Διάγραμμα 31ν. Η διακύμανση του pH κατά την πορεία της κομποστοποίησης (παράρτημα Πίνακας 5).

Με την έναρξη της διαδικασίας της κομποστοποίησης οι τιμές του pH και των πέντε υλικών κυμαίνονται στο 8, δηλαδή στην ελαφρώς αλκαλική περιοχή (από 23-10-07 έως 30-10-07). Καθώς αναπτύσσονται υψηλές θερμοκρασίες στη μάζα του κόμποστ, οι μικροοργανισμοί υδρολύουν τις πρωτεΐνες και το οργανικό άζωτο και απελευθερώνουν αμμωνία, συντελώνοντας έτσι στην αύξηση του pH.

Μετά το δεύτερο γύρισμα (06-11-07) οι θερμοκρασίες των κιβωτίων κυμαίνονται περίπου στους 35-45⁰C, στο τρίτο γύρισμα παρατηρήθηκε πτώση των θερμοκρασιών των κιβωτίων στους 30⁰C ενώ από την 30^η ημέρα της κομποστοποίησης (25-11-2007) υπήρξε απότομη αύξηση της θερμοκρασίας. Έτσι η ένταση της αμμωνιοποίησης ελαττώνεται και η τιμή του pH πέφτει κάτω από το 8 μέχρι και την 75^η ημέρα της κομποστοποίησης (5^ο γύρισμα). Έπειτα παρατηρείται σταθεροποίηση του pH και των πέντε σωρών από το 6^ο έως και το 8^ο γύρισμα, περίπου στο 8.

3.1.5. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) εκφράζει τη συγκέντρωση των αλάτων και μπορεί να αυξηθεί κατά τη διάρκεια της ζύμωσης, λόγω της αποδόμησης των οργανικών συστατικών, όπως οι πρωτεΐνες και τα αμινοξέα σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό.



Διάγραμμα 3v. Η διακύμανση της EC κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης (παράρτημα Πίνακας 7).

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα στην εξέλιξη των κομποστοποιήσεων κυμάνθηκε κοντά στο 2 και για τους πέντε σωρούς αφού η τάση τους, όπως φαίνεται από το παραπάνω διάγραμμα, είναι όμοια.

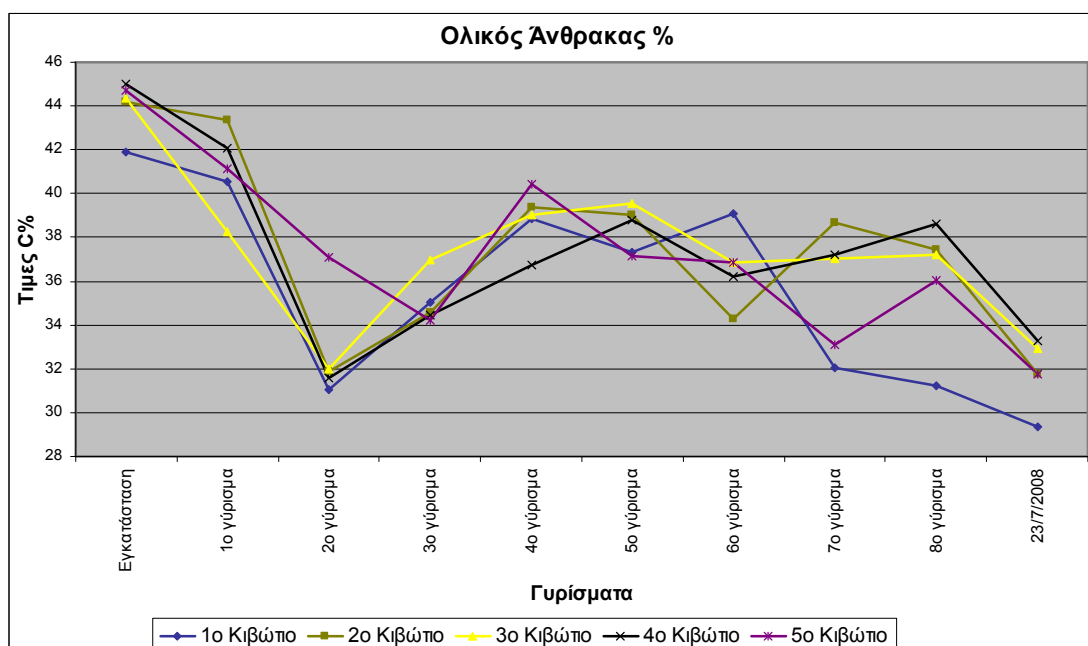
Κατά τη διάρκεια του πειράματος, οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας δεν ξεπέρασαν την τιμή των 4 mS/cm, που έχει οριστεί ως ανώτατο όριο εφαρμογής των κόμποστ για την καλλιέργεια φυτών (Μανιός και Μανιαδάκης, 2001).

Ένα ώριμο κόμποστ θεωρείται καλής ποιότητας, όταν η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας είναι χαμηλή, γιατί εάν υπάρχει αλατότητα μπορεί να προκληθεί καταστροφή των ριζικών τριχιδίων του φυτού, με δυσμενείς επιπτώσεις σε όλο το φυτό (Κανακόπουλος, 2001; Μανιός 2004).

3.1.6. Ολικός άνθρακας (ολ. C%)

Ο άνθρακας είναι απαραίτητο στοιχείο για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών και χρησιμοποιείται κυρίως ως πηγή ενέργειας. Ο ολικός άνθρακας (%) για τα κλαδοκάθαρα και την ιλύ ήταν 46,23% και 30,73% αντίστοιχα, ενώ για το μίγμα αυτών (5:1) ήταν 42,94%.

Κατά την εγκατάσταση του πειράματος καταγράφηκαν οι υψηλότερες τιμές του ολικού άνθρακα. Από την ημέρα της εγκατάστασης μέχρι το δεύτερο γύρισμα (15η ημέρα) παρατηρήθηκε μείωση των τιμών και στα πέντε κιβώτια.



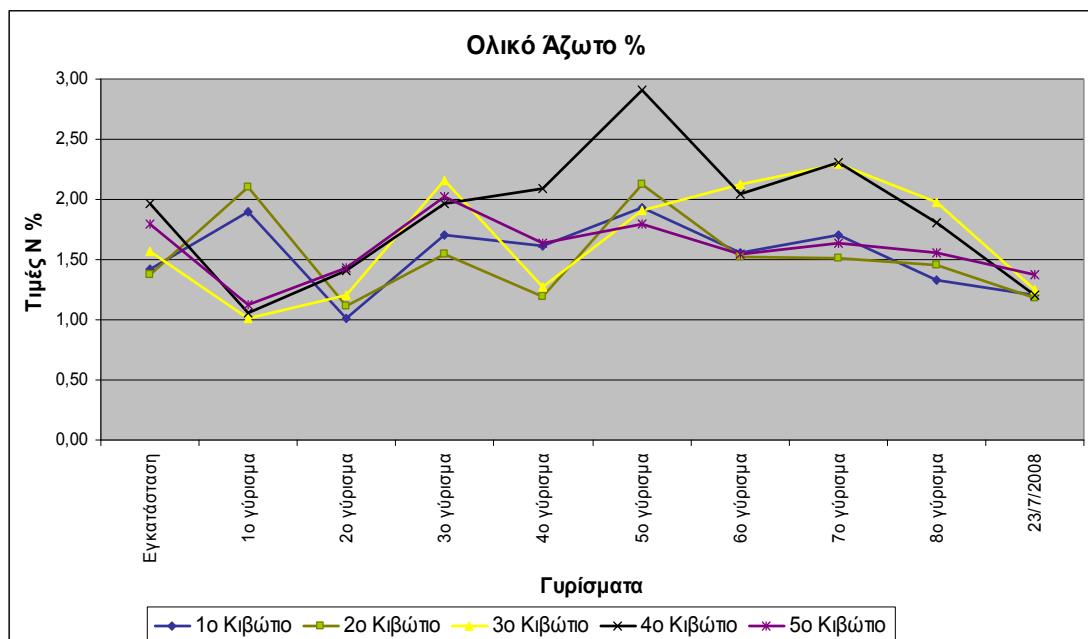
Διάγραμμα 3νι. Διακύμανση ολικού άνθρακα κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης (παράρτημα Πίνακας 8).

Ο ολικός άνθρακας αυξάνεται μέχρι το τέταρτο γύρισμα (36^η ημέρα της κομποστοποίησης) που πιθανόν να οφείλεται σε δειγματοληπτικό λάθος και ακολουθούν μικρές αυξομειώσεις που οδηγούν στην μείωση του ολικού άνθρακα περίπου στο 30%. Η μικρότερη τιμή του ολικού άνθρακα σημειώνεται για το πρώτο, δεύτερο και πέμπτο κιβώτιο στις 23/07/08, ενώ για το τρίτο και τέταρτο κιβώτιο στις 06/11/07 (δεύτερο γύρισμα).

3.1.7. Ολικό άζωτο (ολ. N %)

Το άζωτο είναι βασικό στοιχείο για την αύξηση των μικροοργανισμών και χρησιμοποιείται για την δημιουργία των πρωτεϊνών. Το ολικό άζωτο (%) για τα κλαδοκάθαρα και την ιλύ ήταν 0,81% και 2,49% αντίστοιχα, ενώ για το μίγμα αυτών (5:1) ήταν 1,1%. Η ιλύς είναι πλούσια σε άζωτο σε αντίθεση με τα κλαδοκάθαρα που είναι πλούσια σε άνθρακα.

Το ποσοστό του αζώτου κατά την εγκατάσταση του πειράματος στο πρώτο και δεύτερο κιβώτιο ακολούθησε ανοδική πορεία μέχρι την 8^η ημέρα της κομποστοποίησης και απότομη μείωση από την 9^η έως την 15^η ημέρα. Αντίθετα στο τρίτο, τέταρτο και πέμπτο κιβώτιο σημειώθηκε πτωτική τάση μέχρι την 8^η ημέρα και στην συνέχεια διέγραψε σταδιακή ανοδική πορεία όπως φαίνεται στο διάγραμμα που ακολουθεί.

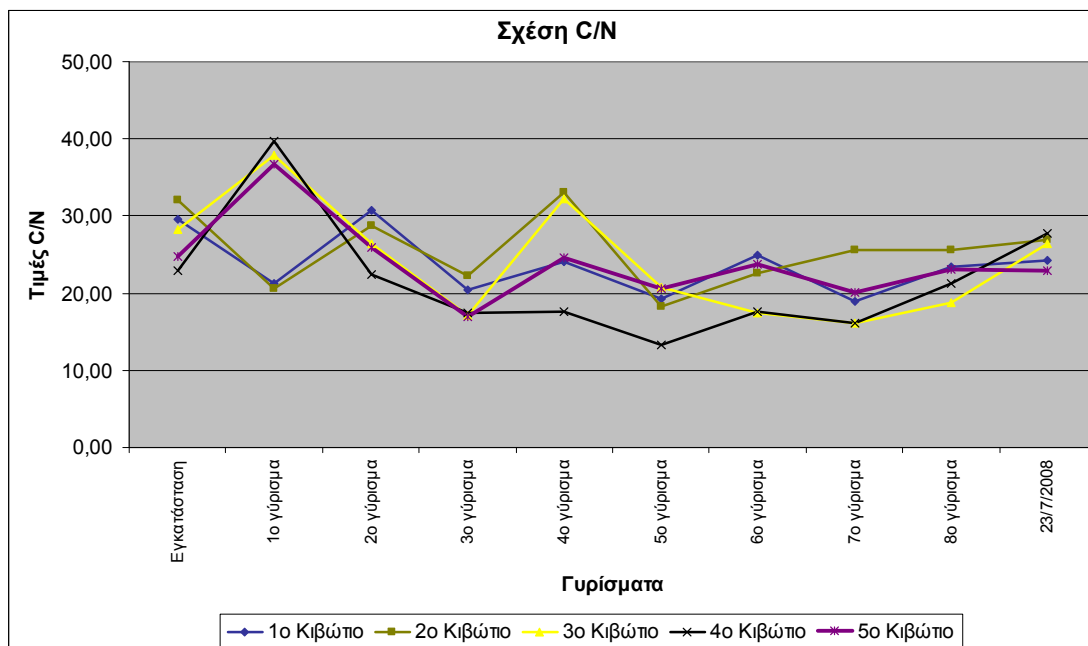


Διάγραμμα 3vii. Διάγραμμα μεταβολής συγκέντρωσης αζώτου κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης (παράρτημα Πίνακας 9).

Την 31^η ημέρα της κομποστοποίησης προστέθηκαν 300gr αζώτου σε μορφή νιτρικής αμμωνίας (NH_4NO_3) και 1kg ζάχαρη για την άμεση τροφή των μικροοργανισμών σε κάθε κιβώτιο. Έντονη μείωση καταγράφηκε από τις 07/01/2008 έως τις 23/07/2008 λόγω του παρατεταμένου χρονικού διαστήματος χωρίς γυρίσματα και τη δημιουργία αναερόβιων συνθηκών.

3.1.8. Ο λόγος άνθρακα προς άζωτο (C/N)

Για τον υπολογισμό του λόγου άνθρακα προς άζωτο, προσδιορίστηκε το εκατοστιαίο ποσοστό του ολικού άνθρακα και του ολικού αζώτου. Ο λόγος C/N για τα κλαδοκάθαρα και την ιλύ ήταν 57,07 και 12,34 αντίστοιχα. Το ίδιο μέγεθος για το μίγμα τους 5:1 έλαβε τιμή 39,03. Από τις τιμές των αρχικών υλικών, γίνεται εμφανές ότι η μίξη τους ήταν αναγκαία προκειμένου να εξελιχθεί η διαδικασία της κομποστοποίησης.



Διάγραμμα 3viii. Μεταβολή του λόγου C/N κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης (παράρτημα Πίνακας 10)

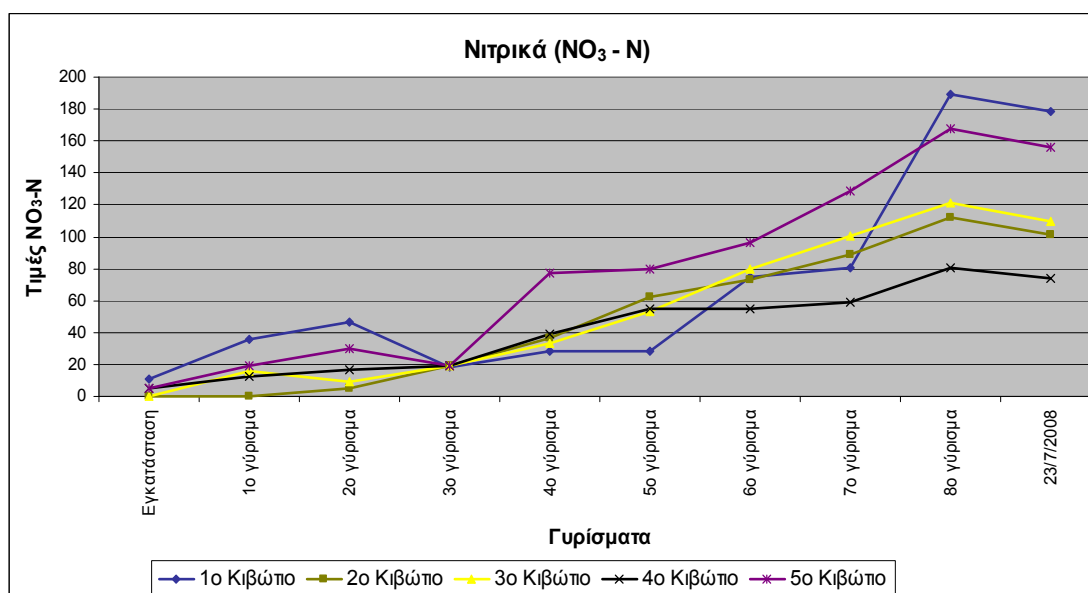
Όσο αφορά το πρώτο και δεύτερο κιβώτιο καθ' όλη τη διάρκεια της κομποστοποίησης η σχέση C/N κυμάνθηκε μεταξύ 20-30 με συνεχείς αυξομειώσεις οι οποίες καταλήγουν περίπου στο 25:1.

Η μέγιστη τιμή καταγράφηκε στο τέταρτο κιβώτιο την 7^η ημέρα της κομποστοποίησης και ήταν 39,68. Έπειτα ακολούθησε σημαντική μείωση που έφτασε την 44^η ημέρα της κομποστοποίησης στο 13,33, που είναι και η ελάχιστη τιμή της σχέσης καθ' όλη τη διάρκεια της κομποστοποίησης και στα πέντε κιβώτια. Το τρίτο και το πέμπτο κιβώτιο είχαν όμοια πορεία μέχρι την 22^η ημέρα της κομποστοποίησης, στην συνέχεια ακολουθούν αυξομειώσεις που καταλήγουν, όπως και στα υπόλοιπα κιβώτια, περίπου στο 25:1.

3.1.9. Νιτρικά (NO₃-N)

Κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης τα αμινοξέα μετατρέπονται σε αμμωνιακή μορφή αυξάνοντας το pH και ακολουθεί η νιτροποίηση. Αν επικρατούν αναερόβιες συνθήκες το νιτρικό άζωτο αποδομείται και μετατρέπεται σε νιτρώδες και άζωτο σε αέρια μορφή, μειώνοντας έτσι το άζωτο.

Σε γενικές γραμμές τα νιτρικά κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης παρουσίασαν αυξητική πορεία.



Διάγραμμα 3ix. Μεταβολή νιτρικών κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης (παράρτημα Πίνακας 11).

Ενδεχομένως από την 1^η μέχρι την 15^η ημέρα της κομποστοποίησης τα φυτοφάρμακα στο 2^ο, 3^ο, 4^ο και 5^ο κιβώτιο να παρεμπόδισαν την νιτροποίηση σε σχέση με το 1^ο (μάρτυρας), το οποίο παρουσίασε υπερδιπλάσια ποσότητα νιτρικών.

Τα νιτρικά στο τρίτο γύρισμα (22^η ημέρα) για το πρώτο και πέμπτο κιβώτιο μειώνονται, που πιθανόν να οφείλεται σε δειγματοληπτικό λάθος.

Στο τέταρτο κιβώτιο από το πέμπτο γύρισμα έως το τέλος της κομποστοποίησης τα νιτρικά παρέμεναν σε χαμηλότερα επίπεδα σε σχέση με τα υπόλοιπα, διότι πιθανόν το συγκεκριμένο φυτοφάρμακο να παρεμπόδισε την νιτροποίηση.

Από το 8^ο γύρισμα μέχρι την 23^η Ιουλίου 2008 παρατηρούμε πτώση των νιτρικών και για τα πέντε κιβώτια που οφείλεται στις αναερόβιες συνθήκες (χωρίς γυρίσματα) που επικράτησαν.

Γενικά τα φυτοφάρμακα, καθ' όλη τη διάρκεια της κομποστοποίησης, δεν παρεμπόδισαν την αύξηση των νιτρικών, παρουσιάζοντας μια ομαλή ανοδική πορεία.

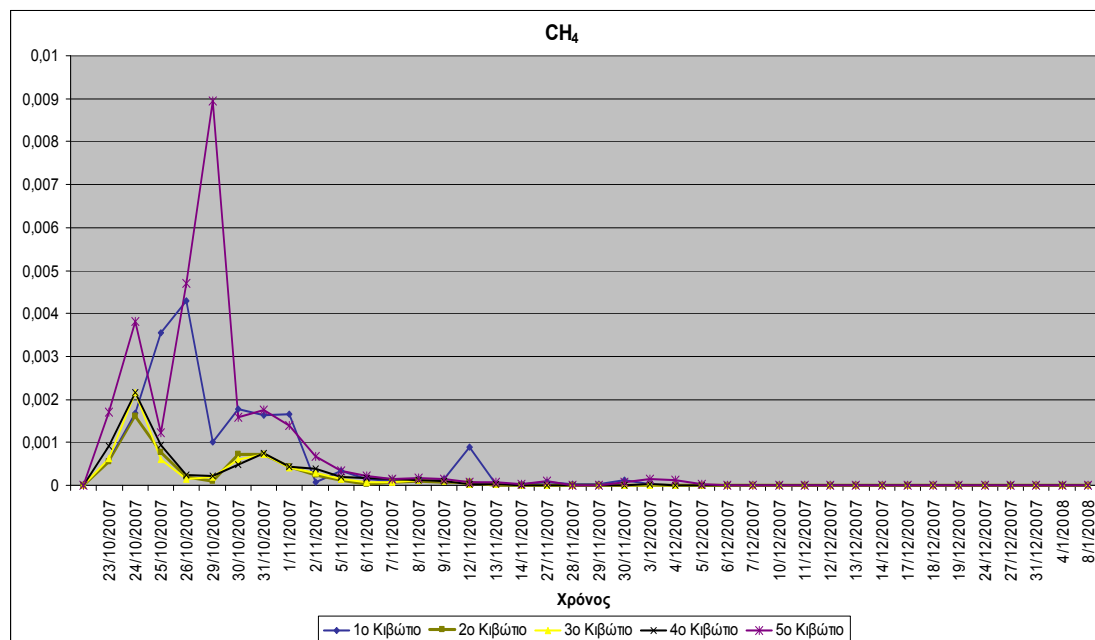
3.1.10. Φυτοτοξικότητα

Τα υδατικά εκχυλίσματα των δειγμάτων ήταν φυτοτοξικά, με αποτέλεσμα οι σπόροι να μην φυτρώνουν λόγω του ότι τα κόμποστς δεν ήταν ακόμα ώριμα, όπως φαίνεται στο παρακάτω πίνακα:

Εκχύλισμα	Σπόροι που φύτρωσαν
Μάρτυρας (νερό)	9/10
1 ^ο κιβώτιο	0/10
2 ^ο κιβώτιο	1/10
3 ^ο κιβώτιο	2/10
4 ^ο κιβώτιο	0/10
5 ^ο κιβώτιο	1/10

3.1.11. Εκπομπές αερίων κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης

Στο διάγραμμα που ακολουθεί (Διάγραμμα 3χι.) απεικονίζεται η μεταβολή του μεθανίου κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.

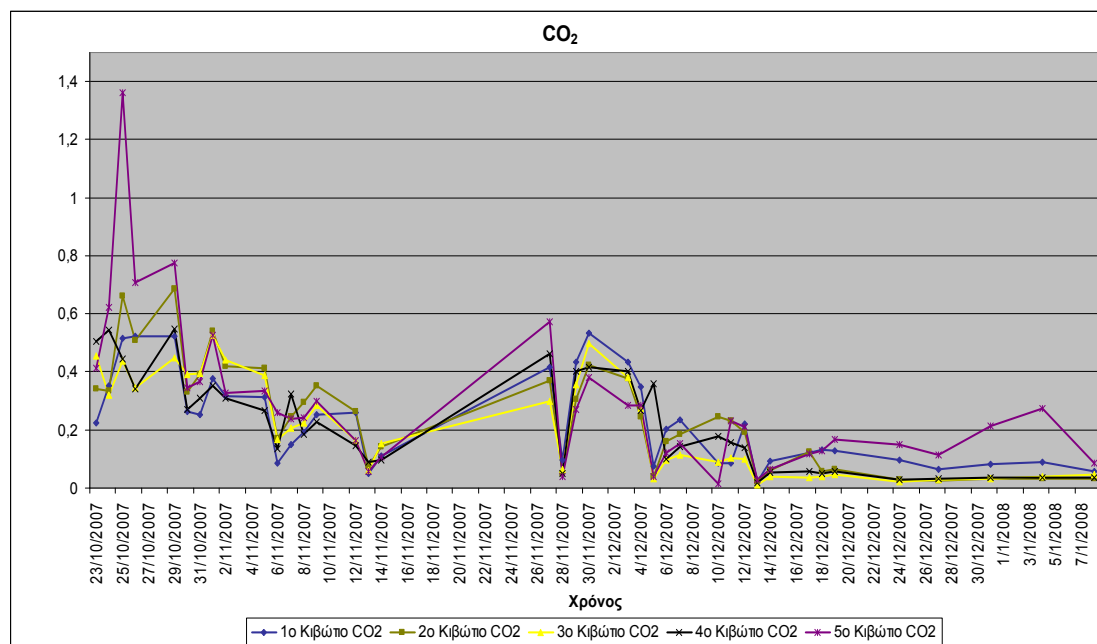


Διάγραμμα 3χ. Μεταβολή της παραγωγής του μεθανίου (CH₄) κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης (παράρτημα Πίνακας 12).

Παρατηρούμε ότι η παραγωγή μεθανίου διήρκτησε για το δεύτερο, τρίτο και τέταρτο κιβώτιο μέχρι την 13/11/07 (6^ο γύρισμα), για το πρώτο μέχρι την 3/12/07 και για το πέμπτο κιβώτιο μέχρι την 5/12/07. Η μέγιστη τιμή του μεθανίου εμφανίζεται στο πέμπτο κιβώτιο την έβδομη ημέρα της κομποστοποίησης (29/10/07) που στην συνέχεια ακολουθεί μια πτωτική τάση μέχρι την 43^η ημέρα της κομποστοποίησης, όπου και μηδενίζεται.

Το διοξείδιο του άνθρακα παράχθηκε καθ' όλη της διάρκειας της κομποστοποίησης και η πορεία του και για τα πέντε κιβώτια ήταν η εξής: από την ημέρα της εγκατάστασης μέχρι την τρίτη ημέρα της κομποστοποίησης αυξάνεται και

στην συνέχεια ακολουθεί μια πτωτική πορεία μέχρι την 22^η ημέρα της κομποστοποίησης. Έπειτα καταγράφονται αυξομειώσεις για όλα τα κιβώτια μέχρι το τέλος της κομποστοποίησης, όπου και η παραγωγή του διοξειδίου φτάνει στα κατώτερα επίπεδα (08/01/08). Χαρακτηριστική είναι η πτώση του παραγόμενου διοξειδίου μετά από κάθε γύρισμα. Η μέγιστη τιμή του διοξειδίου του άνθρακα καταγράφεται και πάλι από το πέμπτο κιβώτιο την τρίτη μόλις ημέρα από την εγκατάσταση του πειράματος.



Διάγραμμα 3χι. Μεταβολή της παραγωγής του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης (παράρτημα Πίνακας 12).

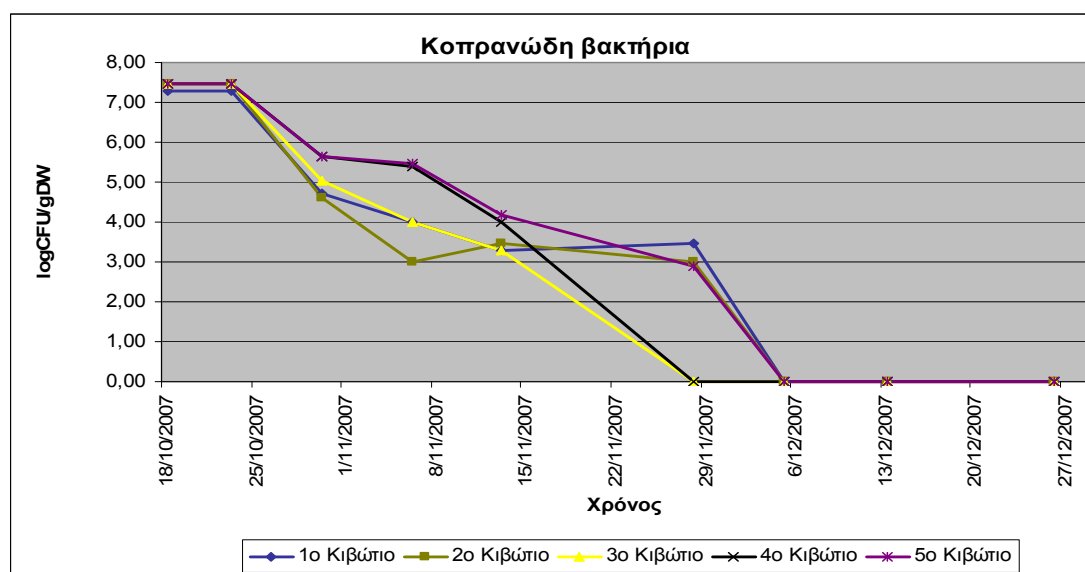
Οι συγκεντρώσεις του παραγόμενου μεθανίου κυμάνθηκαν σε σχετικά μικρά επίπεδα λόγω των αερόβιων συνθηκών που επικρατούσαν. Με την πάροδο του χρόνου το μεθάνιο μειώνεται, εξαιτίας της μείωσης των αναερόβιων θυλάκων ενώ το διοξείδιο του άνθρακα παραμένει. Η παραγωγή μεθανίου διήρκεσε για 44 ημέρες με πιο μεθανοπαραγωγικό το πέμπτο κιβώτιο (μίγμα φυτοφαρμάκων).

Το διοξείδιο του άνθρακα παράχθηκε καθ' όλη τη διάρκεια της κομποστοποίησης κατά την οποία στο πέμπτο κιβώτιο εμφανίστηκαν επίσης οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις. Η μείωση της συγκέντρωσης του CO₂ οφείλεται στην πτώση της θερμοκρασίας στην οποία ο ρυθμός αποδόμησης μειώνεται.

3.2. Μικροβιολογικές αναλύσεις

3.2.1. Κοπρανώδη βακτήρια (Fecal coliforms)

Τα κοπρανώδη βακτήρια βρέθηκαν σε υψηλά επίπεδα στην αρχή του πειράματος (10^7 - 10^8 cfu/g) όμως μετά το τέλος της διεργασίας οι τιμές είχαν μηδενιστεί. Αυτό είναι πολύ σημαντικό για την ποιότητα του τελικού προϊόντος αφού απαιτείται απουσία κοπρανωδών βακτηρίων στο κόμποστ (Lazaridi et al., 2006).



Διάγραμμα 3xii. Διακύμανση του πληθυσμού των κοπρανώδων βακτηρίων κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης (παράρτημα Πίνακας 13).

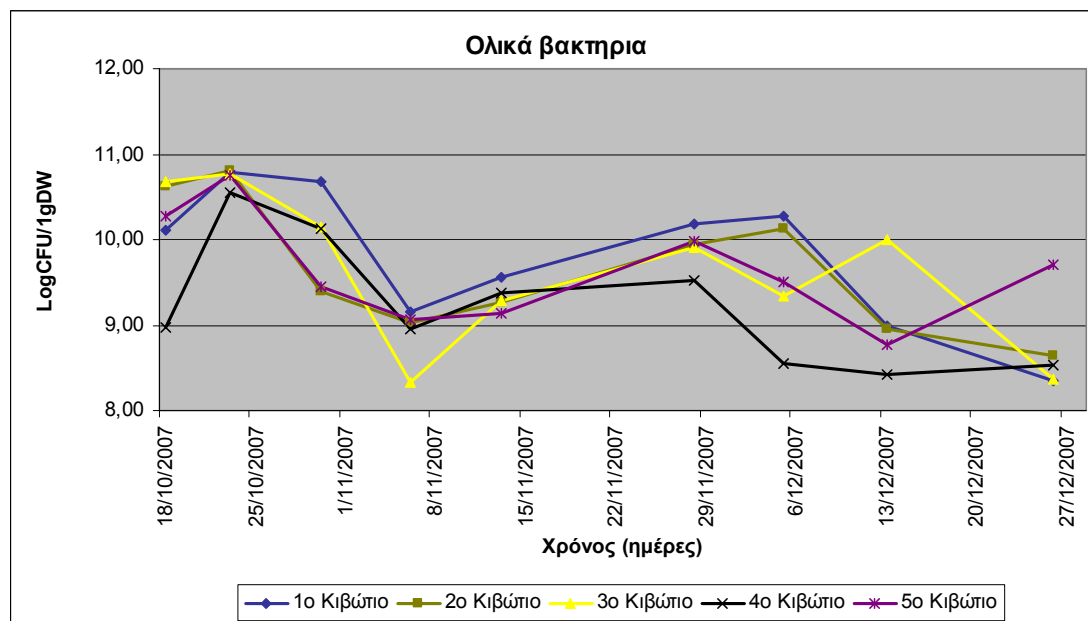
3.3. Μικροβιολογικές αναλύσεις με κλασσικές τεχνικές

3.3.1. Ολικά βακτήρια

Η διακύμανση των μικροβιακών πληθυσμών των ολικων βακτηριων απεικονίζεται στο παρακατω διαγραμμα. Ο πλυθησμός των ολικών βακτηρίων έχει πολύ υψηλές τιμές ($> 10^8$ cfu/g κόμποστ) σε όλες τις περιπτώσεις. Το υλικό που χρησιμοποιήθηκε στην κομποστοποίηση είναι ιδανικό για την ανάπτυξη μικροοργανισμών καθώς χαρακτηρίζεται από υψηλά επίπεδα οργανικής ουσίας και υγρασίας και ευνοικό pH. Οι τιμές αυτές είναι παρόμοιες με αυτές που έχουν καταγραφεί από τους Lazaridi et al. (2006).

Η σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες που υπήρχαν στην διάρκεια του πειράματος (~ 50 °C) φαίνεται να επέτρεψαν την επιβίωση των ολικών βακτηρίων. Παρόμοια

συμπεριφορά διαπιστώθηκε σε προηγούμενη εργασία από τους Chroni et al., 2008 όπου τα ολικά βακτήρια όχι μόνο έμειναν σταθερά αλλά αυξήθηκαν από 10^6 cfu/g σε 10^9 cfu/g μετά από 57 ημέρες κομποστοποίησης σε θερμοκρασίες ~ 50 °C.

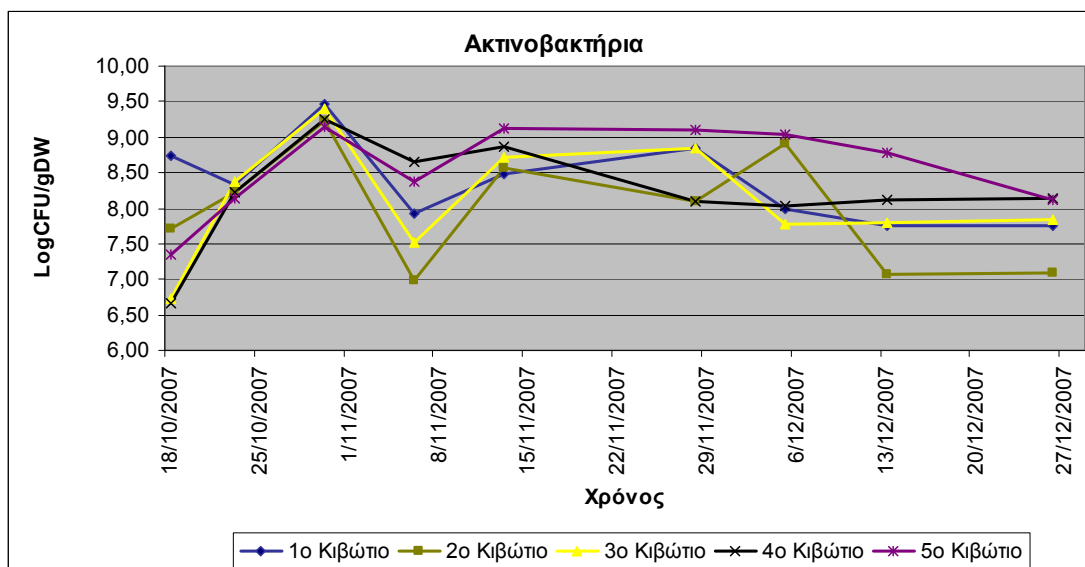


Διάγραμμα 3xiii. Διακύμανση του πληθυσμού των ολικών βακτηρίων κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης (παράρτημα Πίνακας 14).

3.3.2. Ακτινοβακτήρια

Τα ακτινοβακτήρια αναπτύσσονται καλύτερα σε αερόβια και υγρά περιβάλλοντα με ουδέτερο ή ελαφρώς αλκαλικό pH. Σύμφωνα με το Miller (1996) οι μεγάλοι πληθυσμοί ακτινοβακτηρίων αναμένονται σε υποστρώματα που έχουν ήδη υποστεί ως ένα βαθμό βιοαποικοδόμηση και πλέον δεν διαθέτουν άμεσα διαθέσιμα συστατικά. Επίσης, είναι πιθανόν ο σχηματισμός μεγάλων πληθυσμών ακτινοβακτηρίων να προετοιμάζει το έδαφος για τον μετέπειτα αποικισμό των μυκήτων. Οι πληθυσμοί των ακτινοβακτηρίων κυμαίνονται μεταξύ 10^6 - 10^{10} cfu/g κόμποστ.

Οι πληθυσμοί σε όλα τα κιβώτια αυξάνονται από την ημέρα της εγκατάστασης (23/10/07) έως την 7^η ημέρα της κομποστοποίησης. Στην συνέχεια ακολουθούν πτωτική πορεία μέχρι την 15^η ημέρα από όπου και αρχίζουν να αυξάνονται μέχρι τη 22^η ημέρα της κομποστοποίησης. Ο πληθυσμός των ακτινοβακτηρίων μειώνεται έως το τέλος της κομποστοποίησης.



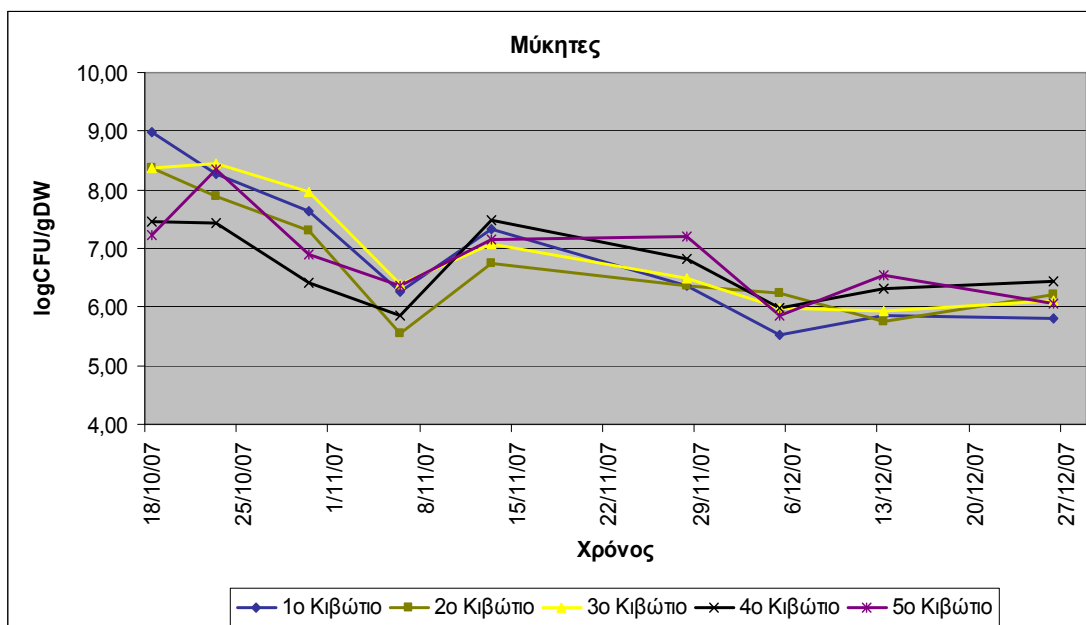
Διάγραμμα 3xiv. Διακύμανση του πληθυσμού των ακτινοβακτηρίων κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης (παράρτημα Πίνακας 15).

3.3.3. Μύκητες – Ζύμες

Σύμφωνα με τους Goyal et al. (2005), οι μύκητες εμπλέκονται ενεργά στην αποδόμηση της κυτταρίνης, ημικυτταρίνης και της λιγνίνης, που βρίσκονται στην οργανική ύλη, επιτρέποντας κατ' αυτό τον τρόπο στα βακτήρια να συνεχίσουν τη διαδικασία της αποσύνθεσης. Απλώνονται και μεγαλώνουν ενεργά, παράγοντας πολλά κύτταρα και λεπτές υφές. Αναπτύσσονται ακόμα και σε οργανικά υπολείμματα με χαμηλή υγρασία, όξινο pH και χαμηλή περιεκτικότητα σε άζωτο.

Θερμοκρασίες άνω των 55 °C, αναστέλλουν την ανάπτυξη των μυκήτων αλλά όταν οι θερμοκρασίες πέσουν κάτω των 45 °C και οι ενώσεις που κυριαρχούν είναι κυτταρίνη και λιγνίνη, τότε οι πληθυσμοί των μυκήτων επανακάμπτουν στα υποστρώματα της κομποστοποίησης (Ryckeboer et al., 2003; De Bertoldi et al., 1983).

Στο Διάγραμμα 3xiv. παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων των μυκήτων που αναπτύχθηκαν κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης σε όλα τα δείγματα και καθ' όλη την διάρκεια του πειράματος.

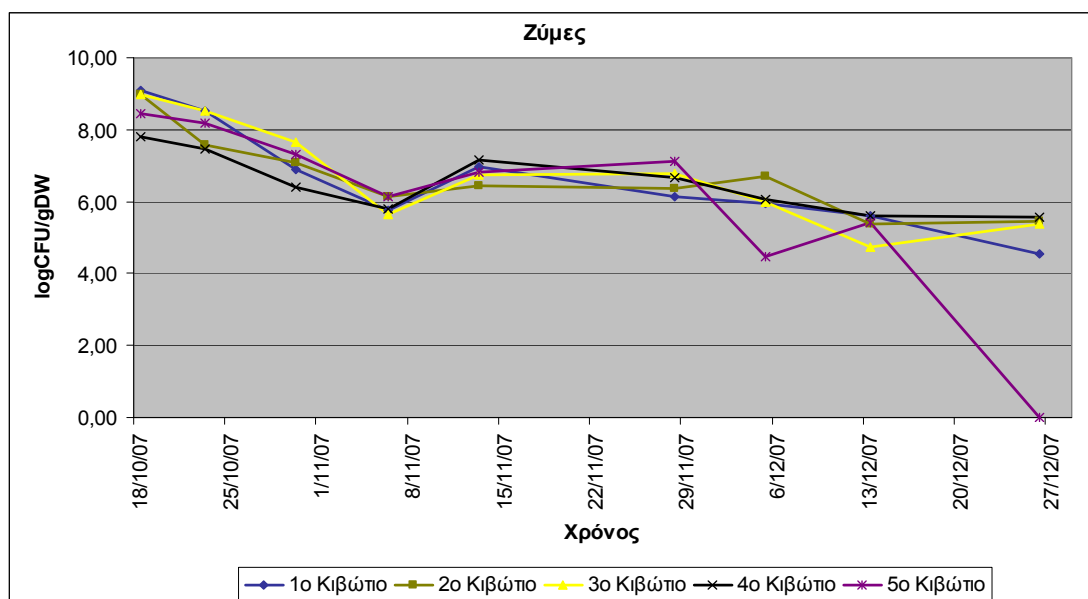


Διάγραμμα 3χν. Διακύμανση του πληθυσμού των μυκήτων κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης (παράρτημα Πίνακας 16).

Οι πληθυσμοί κυμαίνονται μεταξύ 10^6 - 10^9 cfu/g κόμποστ για τους μύκητες. Ο πληθυσμός των μυκήτων, στο αρχικό στάδιο της κομποστοποίησης, δηλαδή μέχρι το δεύτερο γύρισμα, ακολουθεί πτωτική τάση, ενώ από την 15^η μέχρι την 22^η ημέρα παρατηρείται ανάκαμψη του πληθυσμού. Από την 44^η ημέρα της κομποστοποίησης έως και το τέλος ο πληθυσμός των μυκήτων αυξάνεται στα τέσσερα κιβώτια ενώ στο πέμπτο μειώνεται.

Σύμφωνα με βιβλιογραφικές αναφορές (Fogarty et al., 1991) στο μεσόφιλο στάδιο της κομποστοποίησης υπάρχει πληθυσμός από μεσόφιλους μύκητες, ο οποίος στο θερμόφιλο στάδιο μειώνεται δραματικά.

Όσον αφορά τις ζύμες, το παρακάτω διάγραμμα δείχνει ότι, σε όλη τη διάρκεια της κομποστοποίησης ο πληθυσμός των ζυμών κυμαίνεται μεταξύ 10^5 - 10^9 cfu/g κόμποστ.



Διάγραμμα 3χνι. Διακύμανση του πληθυσμού των ζυμών κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης (παράρτημα Πίνακας 17).

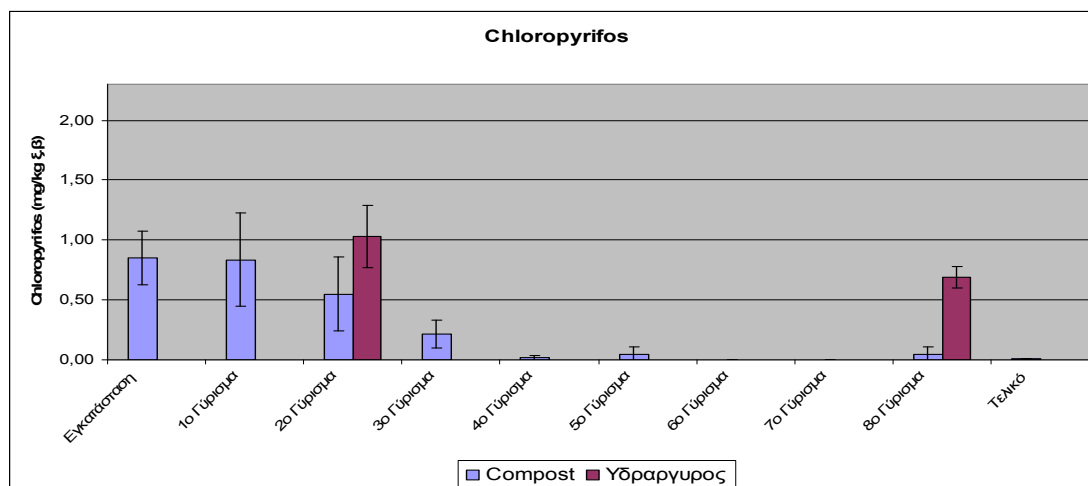
Από την αρχή της κομποστοποίησης μέχρι και την 15^η ημέρα ο πληθυσμός μειώθηκε περίπου στο 10^6 cfu/g κόμποστ και για τα πέντε κιβώτια. Στη συνέχεια παρατηρείται σταθερή διακύμανση πληθυσμού για το 1^ο, 2^ο, 3^ο και 4^ο κιβώτιο ενώ στο πέμπτο κιβώτιο, ο πληθυσμός μειώθηκε κατακόρυφα, με αποτέλεσμα την 65^η ημέρα να μην ανιχνευθούν ζύμες μέχρι το τέλος της κομποστοποίησης.

3.4. Μέτρηση φυτοφαρμάκων

Για να διαπιστώσουμε εάν η απομάκρυνση των φυτοφαρμάκων έγινε από αερόβιους μικροοργανισμούς ή από άλλη διάσπαση (εξάτμιση) κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης, πάρθηκε από κάθε κιβώτιο αντιπροσωπευτικό δείγμα στο οποίο προστέθηκε ποσότητα υδραργύρου, τόση ώστε να δημιουργηθούν αβιοτικές συνθήκες για την εξουδετέρωση των μικροοργανισμών. Τα υλικά αυτά τοποθετήθηκαν σε φούρνο στον οποίο η θερμοκρασία ρυθμιζόνταν καθημερινά ανάλογα με τις θερμοκρασίες που αναπτύσσονταν στα κιβώτια.

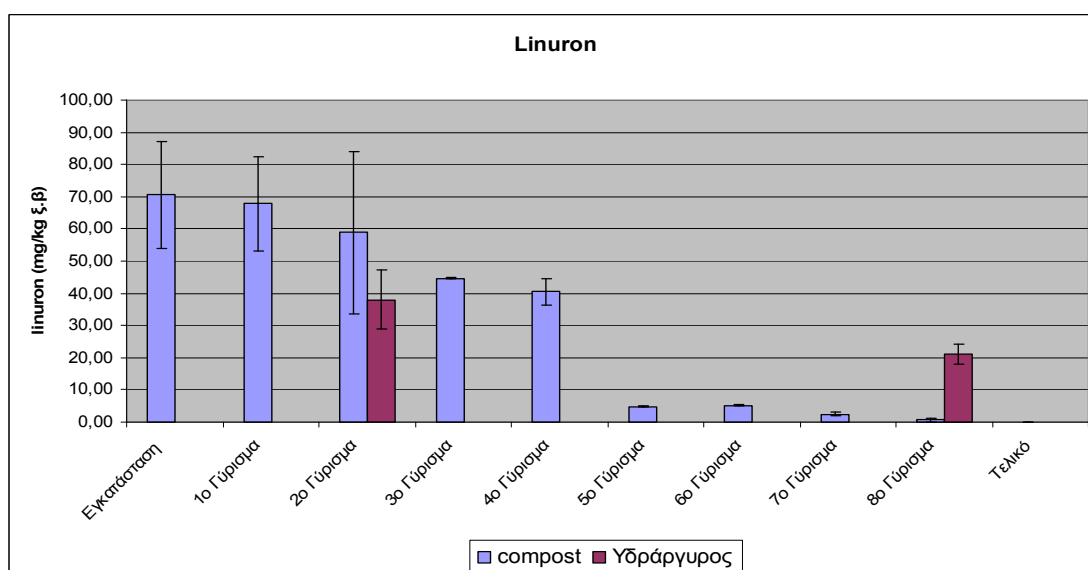
Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζεται ο ρυθμός διάσπασης των φυτοφαρμάκων στα κιβώτια κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης σε σχέση με τα δείγματα που περιείχαν υδράργυρο.

Το Pyrinex κατά την εγκατάσταση βρίσκεται στο 0,65 mg/Kg ξ.β. ενώ παρατηρείται σταδιακή διάσπαση του φυτοφαρμάκου μέχρι το τρίτο γύρισμα. Ουσιαστικά ο μηδενισμός του ξεκινά από το τέταρτο κιόλας γύρισμα . Στα δείγματα με υδράργυρο παρατηρείται μικρή μείωση της ποσότητας του φυτοφαρμάκου σε σχέση με τα κιβώτια, που οφείλεται σε πιθανή εξάτμιση.



Διάγραμμα 3xvii. Διακύμανση της συγκέντρωσης του φυτοφαρμάκου Pyrinex (δραστική ουσία: Chloropyrifos) κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης (παράρτημα Πίνακας 18).

Το φυτοφάρμακο Linagan την ημέρα της εγκατάστασης του πειράματος βρίσκεται στο 70,56 mg/Kg ξ.β., ενώ στο τρίτο γύρισμα έχει μειωθεί στο 46,32 mg/Kg ξ.β.. Την 44^η ημέρα της κομποστοποίησης δηλαδή στο πέμπτο γύρισμα η διάσπασή του είναι σχεδόν πλήρης αφού έφτασε στο 4,74 mg/Kg ξ.β. και μέχρι την τελευταία δειγματοληψία είχε πλήρως διασπαστεί.

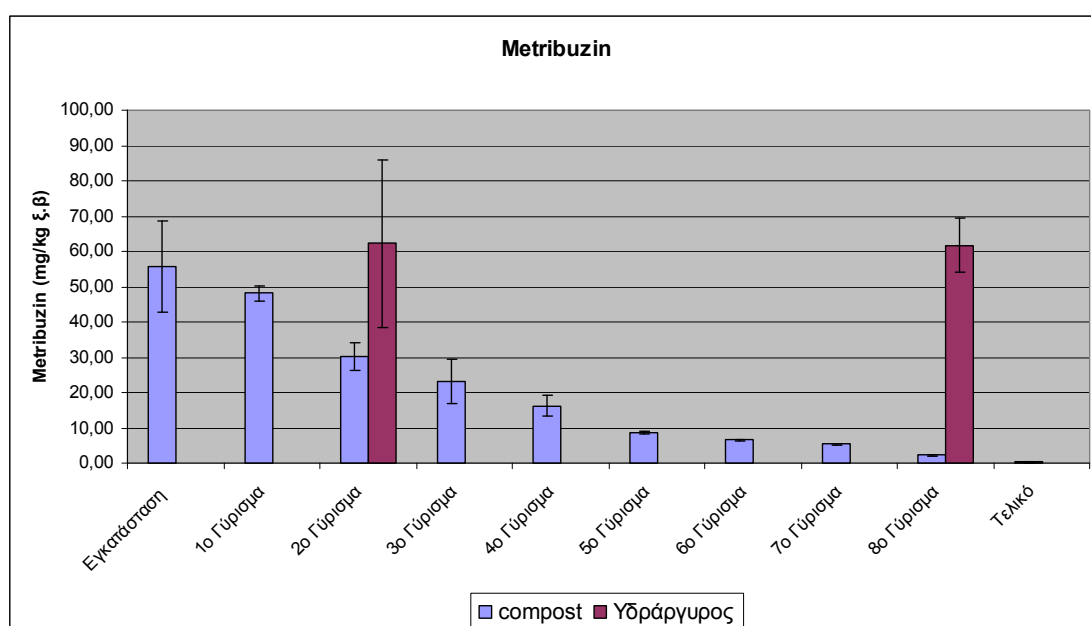


Διάγραμμα 3xviii. Διακύμανση της συγκέντρωσης του φυτοφαρμάκου Linagan (δραστική ουσία Linuron) κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης (παράρτημα Πίνακας 19).

Στα δείγματα με υδράργυρο παρατηρείται μικρή διάσπαση του φυτοφαρμάκου σε σχέση με τα κιβώτια.

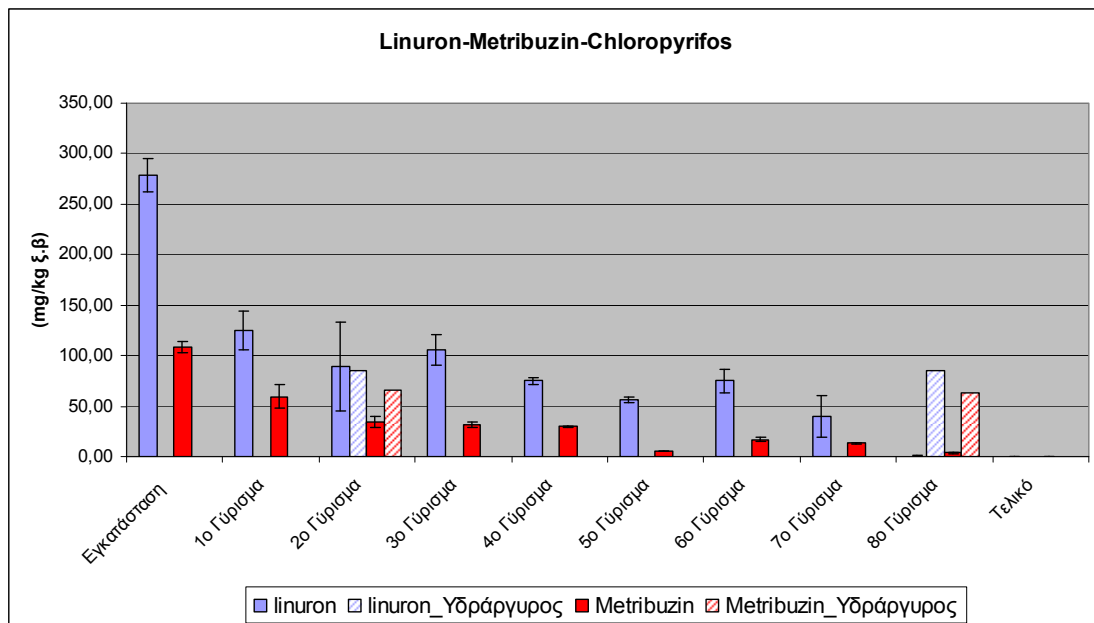
Όμοια πορεία με τα δυο προηγούμενα φυτοφάρμακα παρουσιάζει και η διάσπαση του Sencor όπου την ημέρα της εγκατάστασης (23/10/07) βρισκόταν στο 55,51 mg/Kg ξ.β., ενώ στο δεύτερο γύρισμα την 15^η ημέρα της κομποστοποίησης έφτασε στο 30,11 mg/Kg ξ.β.. Στην συνέχεια, ακολουθεί μια ομαλή πτωτική πορεία φτάνοντας στο μηδέν.

Σε αντίθεση με τα κιβώτια η διάσπαση του φυτοφαρμάκου στα δείγματα με υδράργυρο δεν παρουσίασε καμία μεταβολή.



Διάγραμμα 3xix. Διακύμανση της συγκέντρωσης του φυτοφαρμάκου Sencor (δραστική ουσία Metribuzin) κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης (παράρτημα Πίνακας 20).

Στο πέμπτο κιβώτιο προστέθηκε συγκεκριμένη ποσότητα και από τα τρία φυτοφάρμακα. Στο παρακάτω διάγραμμα εμφανίζονται τα δυο από αυτά, το Linuron και το Metribuzin, ενώ το Chloropyrifos παρεμποδίζεται λόγω των υψηλών συγκεντρώσεων που παρουσιάζει το Linuron. Την ημέρα της εγκατάστασης το Linuron βρίσκεται σε υψηλά επίπεδα που φτάνει τα 278,65 mg/Kg ξ.β. ενώ το Metribuzin τα 108,73. Κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης και των δυο φυτοφαρμάκων η συγκέντρωση μειώνεται, ενώ μέχρι το τέλος φαίνεται η ολική διάσπασή τους.



Διάγραμμα 3xx. Διακύμανση της συγκέντρωσης του μίγματος των φυτοφαρμάκων κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης (παράρτημα Πίνακας 21).

Στα δείγματα που περιέχουν υδράργυρο οι συγκεντρώσεις των φυτοφαρμάκων από την 15^η έως την 77^η ημέρα της κομποστοποίησης βρίσκονται στα ίδια επίπεδα επιβεβαιώνοντας ότι τα φυτοφάρμακα διασπάστηκαν από τους μικροοργανισμούς κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης.

Κεφάλαιο 4. Συμπεράσματα

Τα βασικά ερωτήματα που τέθηκαν για να απαντηθούν σε αυτή την πειραματική εργασία, ήταν τα ακόλουθα:

- α) Τα διάφορα φυτοφάρμακα που χρησιμοποιούνται στη γεωργική πρακτική και κατά συνέπεια είναι πολύ πιθανόν να υπάρχουν στα διάφορα φυτικά υπολείμματα, επηρεάζουν την πορεία της κομποστοποίησης αυτών των υπολειμμάτων;
- β) Η διαδικασία της κομποστοποίησης διασπά αυτά τα φυτοφάρμακα και επομένως δεν υπάρχουν στο κόμποστ που τελικά παράγεται;

Η απάντηση στο πρώτο ερώτημα δίδεται από τις μεταβολές των διαφόρων παραμέτρων (θερμοκρασία, pH, E.C., άνθρακας, άζωτο κ.λ.π.) που σημειώθηκαν κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης των διαφόρων περιπτώσεων με την παρουσία ή όχι των διαφόρων φυτοφαρμάκων και που συνοπτικά επισημαίνονται τα ακόλουθα:

1. Θερμοκρασία

Από το Διάγραμμα 3i. φαίνεται ότι οι μεταβολές της θερμοκρασίας κομποστοποίησης στο κιβώτιο του μάρτυρα (χωρίς φυτοφάρμακο) ήταν χωρίς ουσιαστικές διαφορές από τις μεταβολές της θερμοκρασίας στα υπόλοιπα κιβώτια και ακόμη όλα τα κιβώτια έδωσαν μια κανονική καμπύλη θερμοκρασίας κομποστοποίησης.

2. Όγκος υποστρώματος

Από το Διάγραμμα 3ii. και πάλι φαίνεται ότι δεν υπάρχουν διαφορές, ως προς την μείωση του όγκου του υποστρώματος, μεταξύ των διαφόρων περιπτώσεων και γενικά η μείωση του όγκου κυμάνθηκε μέσα σε κανονικά επίπεδα (40-45%).

3. pH

Οι μεταβολές του pH ακολούθησαν μια κανονική πορεία και δεν σημειώθηκαν μεταβολές μεταξύ των διαφόρων περιπτώσεων με την παρουσία των διαφόρων φυτοφαρμάκων. (Διάγραμμα 3iv.)

4. Ηλεκτρική αγωγιμότητα

Από το Διάγραμμα 3v. φαίνεται μια διακύμανση (αυξομείωση) της ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε όλες τις περιπτώσεις αντί της κανονικής συνεχούς αύξησης. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στο χονδροειδές του υλικού (κλαδοκάθαρα) που δεν επιτρέπει πάντα την λήψη αντιπροσωπευτικών δειγμάτων σε κάθε δειγματοληψία. Γενικά όμως δεν παρατηρούνται διαφοροποιήσεις μεταξύ των διαφόρων περιπτώσεων με την παρουσία των διαφόρων φυτοφαρμάκων.

5. Ολικός άνθρακας, ολικό άζωτο και λόγος C/N

Γενικά παρατηρείται, από τα Διαγράμματα 3vi, 3vii και 3viii, ότι ο άνθρακας έχει, όπως συμβαίνει, μια καθοδική πορεία, το άζωτο μια μικρή ανοδική τάση όπως είναι σωστό και φυσικά η σχέση C/N μια καθοδική πορεία. Σε όλες τις παραπάνω παραμέτρους οι μεταβολές δεν είναι ξεκάθαρες από δειγματοληψία σε δειγματοληψία, λόγω και πάλι των δυσκολιών λήψης αντιπροσωπευτικών δειγμάτων. Γενικά όμως διαφαίνονται οι σωστές τάσεις και επομένως επιβεβαιώνουν και αυτές οι παράμετροι ότι η κομποστοποίηση προχώρησε κανονικά και ότι δεν υπήρξαν

διαφοροποιήσεις μεταξύ των διαφόρων περιπτώσεων με την παρουσία των φυτοφαρμάκων.

6. Συγκέντρωση NO₃-N

Από το Διαγράμματα 3ix φαίνεται ότι σε όλες τις περιπτώσεις σημειώθηκε, με την πορεία της κομποστοποίησης, αύξηση των νιτρικών όπως συμβαίνει πάντα.

7. Εκπομπές αερίων

Στην αρχή της διαδικασίας της κομποστοποίησης επικρατούν αερόβιες και αναερόβιες συνθήκες. Οι αερόβιες συνθήκες παράγουν μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα ενώ στις αναερόβιες παράγεται μόνο διοξείδιο. Με την πάροδο του χρόνου μειώνονται οι αναερόβιες συνθήκες λόγω μείωσης υγρασίας και ανάδευσης υλικών μειώνοντας έτσι την παραγωγή μεθανίου.

Οι αερόβιες συνθήκες τελικά επικρατούν και επομένως παράγεται διοξείδιο του άνθρακα καθ' όλη την διάρκεια της κομποστοποίησης που σταδιακά μειώνεται εξαιτίας της μείωσης της αποδημητικής διαδικασίας απ' όπου και επηρεάζεται άμεσα.

8. Μικροβιακοί πληθυσμοί

Τα κοπρανώδη βακτήρια είναι δείκτες ανθρωπογενών παθογόνων μικροοργανισμών. Το παραγόμενο κόμποστ αποδεικνύεται ότι ήταν καλής ποιότητας διότι τα κοπρανώδη βακτήρια παρουσίασαν πτωτική τάση με αποτέλεσμα να μηδενίζονται πολύ πριν το τέλος της κομποστοποίησης.

Τα ολικά βακτήρια, τα ακτινοβακτήρια καθώς και οι μύκητες, ζύμες κρατιούνται σε υψηλά επίπεδα καθ' όλη τη διάρκεια της κομποστοποίησης υποδηλώνοντας έντονη μικροβιακή δραστηριότητα

Συμπερασματικά από τα παραπάνω μπορούμε να σημειώσουμε ότι τόσο στο κιβώτιο (μάρτυρας) χωρίς κανένα φυτοφάρμακο όσο και στα υπόλοιπα κιβώτια που είχαν προστεθεί τα φυτοφάρμακα, η κομποστοποίηση του μίγματος των κλαδοκαθάρων και της λυματολάσπης ολοκληρώθηκε χωρίς κανένα πρόβλημα. Επομένως τα φυτοφάρμακα που δοκιμάστηκαν και στις αναλογίες που προστέθηκαν δεν παρεμπόδισαν την κομποστοποίηση.

Η απάντηση στο δεύτερο ερώτημα δίνεται από τη μεταβολή της συγκέντρωσης των φυτοφαρμάκων κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης. Συνοπτικά όπως φαίνεται από τα Διαγράμματα 3xvii, 3xviii, 3xix και 3xx, όλα τα φυτοφάρμακα που προστέθηκαν είτε ένα ένα είτε όλα μαζί, διασπάστηκαν κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στη συνολική μικροχλωρίδα που αναπτύχθηκε στο κομποστοποιούμενο υλικό, δεδομένου ότι τα αντίστοιχα φυτοφάρμακα στα δείγματα που προστέθηκε υδράργυρος (αβιοτικές συνθήκες) ουσιαστικά έμειναν ανέπαφα.

Επομένως, το γενικό συμπέρασμα που προκύπτει από την παρούσα εργασία είναι ότι, τα υπολείμματα των διαφόρων φυτοφαρμάκων που μπορεί να υπάρχουν στα φυτικά υπολείμματα των διαφόρων καλλιεργειών, δεν παρεμποδίζουν τη διαδικασία της κομποστοποίησης και ταυτόχρονα αυτά τα υπολείμματα των φυτοφαρμάκων διασπώνται, από τη μικροχλωρίδα που αναπτύσσεται στα κομποστοποιούμενα υλικά. Επομένως τα φυτοφάρμακα δεν υπάρχουν στο τελικό compost με αποτέλεσμα, τα φυτικά προϊόντα που παράγονται με τη χρήση τους να μην αποτελούν κίνδυνο για τον άνθρωπο.

Βιβλιογραφία

Ελληνική

- Ανδρεαδάκης, Α., Α. Κατσίρη και Μαμάης Δ. (2001). Επεξεργασία και διάθεση αποβλήτων. Τεχνολογία Αντιμετώπισης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων. Τόμος Α. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πάτρα.
- Κατσίρη, Α. (2003). Λιπασματοποίηση απορριμμάτων. Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων», Σημειώσεις Μαθήματος: Διαχείριση στερεών απορριμμάτων και ιλύος. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Κριτσωτάκης, Ι.Κ., και Μανιός, Β.Ι., 1984. Επίδραση αερισμού και σχέσης C/N στη βιολογική αποδόμηση φύλλων ελιάς σε περιστρεφόμενους εργαστηριακούς ζυμωτήρες. *Γεωργική Έρευνα*, 8: 249-262
- Λαζαρίδη, Κ., Π. Κουλουμπής, Σ. Σκουλάξινου, Δ. Κανακόπουλος και Γ. Λώλος (2002). Προδιαγραφές ποιότητας και διάθεση κόμποστ: Η Ελληνική και Διεθνής εμπειρία.
- Μανιός Θρασύβουλος 2006α., Χουμοποίηση οργανικών υπολειμμάτων. Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας Απρίλιος 2006, Ηράκλειο. Σημειώσεις θεωρίας (σελ. 6 – 9, 14 – 16, 72).
- Μανιός Θρασύβουλος 2006β., Χουμοποίηση οργανικών υπολειμμάτων. Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας Απρίλιος 2006, Ηράκλειο. Σημειώσεις εργαστηρίου (σελ. 12, 43, 44, 51, 54, 62 – 64).
- Μανιός Βασίλειος., 1979. Διερεύνηση δυνατότητας παρασκευής φυτοχώματος από την εκχυλισμένη ελαιοπυρήνα. Διατριβή επί δικτατορία, υποβληθείσα στην Ανωτάτη Γεωπονική Σχολή Αθηνών.
- Μανιός Β.Ι. και Κ.Μ. Μανιαδάκης (2001). Προδιαγραφές ποιότητας κόμποστ. Διημερίδα για την ολοκληρωμένη διαχείριση οργανικών αποβλήτων και υπολειμμάτων. Επιμέλεια Κ. Λαζαρίδη και Κ. Παυλόπουλος, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, σελ. 119-122, Αθήνα.

Ξενόγλωσση

- CORD – LANDWEHR, K. (1994). Einführung in die Abfallwirtschaft: mit 63 Tafeln und zahlreichen Beispielen. Stuttgart: B.G. Teubner.

- de Bertoldi, M., G Vallini, A. Pera (1983). The biology of composting: A review. *Waste Management and Research*, 1, 167-176.
- Fogarty, A.M. and O.H. Tuovinen (1991). Microbiological Degradation of Pesticides in Yard Waste Composting. *Microbiological Reviews*, 55(2): 225-233.
- GOLUEKE, C.G. (1972). «Composting». A study of the process and its principles. Rodate Press, Emmaus, Pennsylvania.
- Goyal, S., S.K. Dhull and K.K. Kapoor (2005). Chemical and biological changes during composting of different organic wastes and assessment of compost maturity. *Bioresource Technology*, 96, 1584-1591.
- Karpouzas D.G., Walker A. (2000). Factors influencing the ability of *Pseudomonas putida* strains epI and II to degrade the organophosphate ethoprophos. *Journal of Applied Microbiology*, **89**, 40- 48.
- LASARIDI K., PROTOPAPA I., KOTSOU M., PILIDIS G., MANIOS T., KYRIAKOU A., (2006). *Quality assessment of composts in the Greek market: The need for standards and quality assurance*. *Journal of Environmental Management* 80 (2006) 58-65.
- Miller, F.C. (1996). Composting of Municipal Solid Waste and its Components. *Microbiology of Solid Waste*. CRC Press, 115-154.
- MULLER – KOPP, A. (2005). Die Rotte – Kapitel 3: *Biologie der Grungutverwertung*. *Ratgeber Grungutverwertung, Kompostforum Schweiz*, Seiten 67-73.
- Ryckeboer, J., J. Mergaert, J. Coosemans, K. Deprins, and J. Swings (2003). Microbiological aspects of biowaste during composting in a monitored compost bin. *Journal of Applied Microbiology* 94, 127-137.
- TUOMELA M., VIKMAN M., HATAKKA A. and ITAVAARA M. (2000). *Biodegradation of lignin in a compost environment: a review*. *BioresearchTechnology* 72, 169-183.
- WAKSMAN, S.A., UMBREIT, W.W. and CORDON, T.C. (1939α). *Thermophilic actinomyces and fungi in soils and in composts*. *Soil Sci* **47**:37-61.
- WAKSMAN, S.A., CORDON, T.C. and HULPOI, N. (1939β). *Influence of Temperature upon the microbiological population and decomposition processes in composts of stable manure*. *Soil Sci* **47**:83-113.
- Weissbart, J., B. Lammert, C. Groschupp and C. Wintringham (2002). Stickstoffverfügbarkeit von Komposten im Okolandbau. ITADA (Institut

Transfrontalier d' Application et de Developpement Agronomique – Grenzüberschreitendes Institut zur rentablem umweltgerechten Landbewyrtshaftung), Abschlussbericht des Projects 1.2.1. (01.09.1999 – 31.12.2001).

ZIMMERMANN, A. (2006). *Der Verlauf der Rotte*. Universitat Kassel, Fachbereich 11, Okologische Agrarwissenschaften, Martikel – Nr.:231022022, mai 2006.

Πηγές στο διαδίκτυο

Κόμποστ – Νετ (2005). Η κομποστοποίηση με απλά λόγια. <http://www.hua.gr/compost.net/process.htm>, ημερομηνία τελευταίας πρόσβασης 26 Αυγούστου 2005

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ
ΠΙΝΑΚΩΝ ΚΑΙ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ**

Πίνακας 1. Μεταβολή της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ °C						
	1° Κιβώτιο	2° Κιβώτιο	3° Κιβώτιο	4° Κιβώτιο	5° Κιβώτιο	Περιβάλλοντος
Εγκατάσταση 23-10-07	20	21	21	21	21	19
24/10/07	28	34	37	36	31	19
25/10/07	40	49	43	50	39	18
26/10/07	45	52	40	48	53	20
27/10/07	52	57	56	51	54	21
28/10/07	52	56	50	50	55	20
29/10/07	52	56	48	50	54	22
30/10/07 1°	35	36	34	37	35	23
31/10/07	38	45	45	42	42	24
01/11/07	41	51	49	51	48	25
02/11/07	41	50	48	50	54	25
03/11/07	45	55	51	50	54	25
04/11/07	45	54	50	49	54	23
05/11/07	38	39	49	39	47	25
6/11/07 2°	27	30	30	29	30	21
07/11/07	34	36	36	35	34	19
08/11/07	33	41	37	34	39	16
09/11/07	33	42	39	38	38	16
10/11/07	39	47	43	43	42	20
11/11/07	36	46	36	36	40	19
12/11/07	29	35	30	35	39	17
13/11/07 3°	23	30	28	25	26	20
14/11/07	25	29	29	27	27	18
15/11/07	30	37	35	32	32	19
16/11/07	30	24	21	23	26	18
19/11/07	–	21	–	–	–	20
21/11/07	–	20	–	–	–	19
22/11/07	22	23	23	24	24	19
23/11/07	18	22	23	22	20	20
24/11/07	37	39	36	35	33	21
25/11/07	46	48	44	44	38	22
26/11/07	45	53	44	45	42	17
27/11/07	46	58	46	46	46	20
28/11/07 4°	48	53	47	47	47	15
28/11/07 4°	31	34	33	31	31	20
29/11/07	40	42	41	38	35	17
30/11/07	53	50	54	52	46	18
01/12/07	58	54	55	57	50	18
02/12/07	60	56	60	60	52	22
03/12/07	46	53	50	51	58	15
4/12/207	54	50	49	50	59	18
5/12/07 5°	51	50	51	49	62	17
5/12/07 5°	31	31	29	30	35	17
06/12/07	35	31	29	30	33	15
07/12/07	39	38	34	35	34	17
09/12/07	42	41	34	37	36	16
10/12/07	45	37	30	32	34	17
11/12/07	41	37	30	33	32	20
12/12/07	45	39	35	36	31	16
13/12/07 6°	20	14	14	17	18	15
14/12/07	21	15	14	14	14	13
17/12/07	27	22	20	22	27	10

18/12/07	25	22	20	21	26	13
19/12/07	29	24	22	24	30	13
20/12/07	29	23	23	24	29	14
21/12/07	32	23	23	23	31	19
24/12/07	33	23	26	29	28	15
26/12/2007 7^ο	29	22	22	22	36	11
26/12/2007 7^ο	19	17	18	18	24	11
27/12/01	24	18	18	18	23	18
28/12/07	26	21	19	19	25	17
31/12/07	27	19	19	18	26	13
03/01/08	29	22	20	20	38	19
04/01/08	28,3	17,7	19,3	20,2	37,7	12,9
06/01/08	25,7	18,3	18,3	18	41,5	13
7/1/08 8^ο	23,9	14,6	13,6	15	30	11
7/1/08 8^ο	13,8	12,1	12	14	17	12
08/01/08	15,1	13,7	13,3	13,6	20	12
09/01/08	16,6	14,9	15,1	14,8	20,5	15,5
10/01/08	18,4	16	16,6	16,3	22,6	13
11/01/08	18,6	16,8	17,2	17,3	22	15
13/01/08	16,9	15,5	17,5	17,5	24,5	14
14/01/08	19,1	17,3	17,2	17,1	24,1	12
22/01/08	21,8	19,4	19,3	19,3	27,6	11,5
24/01/08	22,4	20,3	19,5	19	28	12
05/02/08	22,5	15,7	16	31	24,5	13
06/02/08	22,7	15,5	16,4	36,2	25,5	15
09/02/08	–	–	–	36,5	24,6	16,5
12/02/08	–	–	–	46	25	15
18/02/08	–	–	–	55,6	26,2	18
25/02/08	–	–	–	63,4	25,8	16,2
04/03/08	–	–	–	45,5	23,9	17
05/03/08	–	–	–	45,5	24,3	17

Πίνακας 2. Μεταβολή του όγκου των υλικών κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.

Όγκος υποστρώματος (m ³)			
	23/10/2007	16/1/2008	23/7/2008
1 ^ο κιβώτιο	1000	610	600
2 ^ο κιβώτιο	1000	620	610
3 ^ο κιβώτιο	1000	590	540
4 ^ο κιβώτιο	1000	610	550
5 ^ο κιβώτιο	1000	650	560

Πίνακας 3. Μεταβολή της υγρασίας κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης.

ΥΓΡΑΣΙΑ %						
		1° Κιβώτιο	2° Κιβώτιο	3° Κιβώτιο	4° Κιβώτιο	5° Κιβώτιο
Εγκατάσταση 23/10/07		63,15	63,93	66,20	60,96	62,96
1° γύρισμα 30/10/07	πρίν την προσθήκη νερού	57,26	68,16	61,06	60,08	66,94
	μετά την προσθήκη νερού	71,93	70,77	67,44	63,99	68,64
2° γύρισμα 6/11/07		69,83	62,39	62,89	69,40	66,99
3° γύρισμα 13/11/07		69,22	66,89	78,82	66,15	64,8
16/11/07 Άνοιγμα σωρών για 7 μέρες λόγω υψηλής υγρασίας		68,21	64,54	65,9	63,71	68,63
19/11/2007		66,19	53,55	59,90	62,28	62,80
4° γύρισμα 28/11/07		60,29	55,64	56,90	62,20	66,92
5° γύρισμα 05/12/07		56,42	60,69	54,90	62,39	62,55
6° γύρισμα 13/12/07		58,46	57,26	51,77	60,25	63,1
7° γύρισμα 26/12/07		61,46	57,42	57,82	58,98	64,60
8° γύρισμα 07/01/08 (+Ζάχαρης)	πρίν την προσθήκη νερού	61,94	60,52	60,26	60,62	64,00
	μετά την προσθήκη νερού	63,00	63,39	61,50	62,22	65,27
23/7/2008		63,64	63,26	57,6	48,24	61,96

Πίνακας 4. Αρχικές τιμές pH για τα κλαδοκάθαρα, την ιλύ και το μίγμα πριν από την εγκατάσταση.

pH υλικών χωρίς φυτοφάρμακα πριν την εγκατάσταση 16/10/07	
Κλαδοκάθαρα	7,06
	6,96
Ιλύς	8,53
	8,58
Μίγμα κλαδοκαθάρων και ιλύς (5:1 V/V)	8,01
	8,43

Πίνακας 5. Μεταβολή pH κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης

pH					
	1° Κιβώτιο	2° Κιβώτιο	3° Κιβώτιο	4° Κιβώτιο	5° Κιβώτιο
Εγκατάσταση	8,30	8,08	8,02	8,28	7,91
	8,39	7,96	8,00	8,38	7,99
1° γύρισμα	8,17	8,00	8,11	8,09	8,17
	8,17	7,94	8,15	8,00	8,07
2° γύρισμα	7,80	7,63	7,70	7,87	7,80
	7,76	7,62	7,79	7,89	7,89
3° γύρισμα	7,80	7,84	7,75	7,90	7,93
	7,96	7,80	7,80	7,81	7,98
4° γύρισμα	7,65	7,84	7,80	7,81	7,78
	7,95	7,80	7,95	7,67	7,80
5° γύρισμα	7,63	7,82	7,80	7,84	8,18
	7,70	7,84	7,93	7,80	8,20
6° γύρισμα	8,04	8,26	8,10	8,26	8,35
	8,04	8,20	8,08	8,4	8,40
7° γύρισμα	8,09	8,04	7,93	8,08	8,04
	8,05	8,08	7,98	8,14	8,15
8° γύρισμα	8,40	8,04	8,00	8,50	8,43
	8,10	8,00	8,12	8,34	8,31
23/7/2008	8,36	8,59	8,59	8,30	8,52
	8,36	8,61	8,60	8,28	8,52

Πίνακας 6. Αρχικές τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας για τα κλαδοκάθαρα, την ιλύ και το μίγμα αυτών πριν από την εγκατάσταση.

E.C. (mS/cm) υλικών χωρίς φυτοφάρμακα πριν την εγκατάσταση 16/10/07	
Κλαδοκάθαρα	1,73
	1,87
Ιλύ	3,05
	2,90
Μίγμα κλαδοκαθάρων και ιλύς (5:1 V/V)	2,30
	2,43

Πίνακας 7. Μεταβολή E.C. κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης

E.C. (mS/cm)					
	1 ^ο Κιβώτιο	2 ^ο Κιβώτιο	3 ^ο Κιβώτιο	4 ^ο Κιβώτιο	5 ^ο Κιβώτιο
Εγκατάσταση	2,55	2,09	2,16	2,21	2,39
	2,48	2,00	2,10	2,20	2,39
1 ^ο γύρισμα	1,87	2,15	2,55	2,34	2,42
	1,90	2,22	2,48	2,21	2,05
2 ^ο γύρισμα	1,88	2,46	2,61	2,58	2,39
	1,90	2,38	2,61	2,36	2,39
3 ^ο γύρισμα	2,04	2,34	2,75	2,75	2,78
	1,99	2,44	2,96	2,76	2,76
4 ^ο γύρισμα	1,94	2,50	2,52	2,63	2,44
	2,09	2,50	2,44	2,58	2,23
5 ^ο γύρισμα	2,00	2,21	2,25	2,24	2,21
	2,04	2,03	2,35	2,00	2,20
6 ^ο γύρισμα	2,20	2,20	2,15	2,49	2,26
	2,20	2,13	2,15	2,30	2,90
7 ^ο γύρισμα	2,21	2,26	2,16	2,40	2,48
	2,26	2,28	2,20	2,45	2,45
8 ^ο γύρισμα	2,35	2,64	2,41	2,60	2,78
	2,30	2,53	2,66	2,57	2,70
23/7/2008	1,60	1,88	1,95	1,69	2,11
	1,31	1,86	1,93	1,68	2,12

Πίνακας 8. Μεταβολή ολικού άνθρακα κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης

Ολικός Άνθρακας % ξ.β.					
	1 ^ο Κιβώτιο	2 ^ο Κιβώτιο	3 ^ο Κιβώτιο	4 ^ο Κιβώτιο	5 ^ο Κιβώτιο
Εγκατάσταση	41,9	44,2	44,34	45,03	44,7
1 ^ο γύρισμα	40,52	43,38	38,25	42,07	41,16
2 ^ο γύρισμα	31,02	31,85	31,98	31,57	37,11
3 ^ο γύρισμα	35,01	34,58	36,95	34,45	34,19
4 ^ο γύρισμα	38,87	39,4	39,02	36,74	40,43
5 ^ο γύρισμα	37,31	39,05	39,54	38,8	37,17
6 ^ο γύρισμα	39,1	34,3	36,86	36,18	36,87
7 ^ο γύρισμα	32,07	38,66	37,03	37,22	33,11
8 ^ο γύρισμα	31,24	37,46	37,19	38,59	36,03
23/7/2008	29,34	31,77	32,94	33,28	31,73

Πίνακας 9. Μεταβολή συγκέντρωσης αζώτου κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης

Ολικό Αζωτο % ξ.β.					
	1^ο Κιβώτιο	2^ο Κιβώτιο	3^ο Κιβώτιο	4^ο Κιβώτιο	5^ο Κιβώτιο
Εγκατάσταση	1,42	1,38	1,57	1,97	2,50
1 ^ο γύρισμα	1,90	2,10	1,01	1,06	1,12
2 ^ο γύρισμα	1,01	1,11	1,21	1,41	1,43
3 ^ο γύρισμα	1,70	1,55	2,16	1,97	2,02
4 ^ο γύρισμα	1,61	1,19	1,27	2,09	1,64
5 ^ο γύρισμα	1,93	2,13	1,91	2,91	1,80
6 ^ο γύρισμα	1,56	1,52	2,12	2,05	1,55
7 ^ο γύρισμα	1,70	1,51	2,30	2,31	1,64
8 ^ο γύρισμα	1,33	1,46	1,98	1,81	1,56
23/7/2008	1,21	1,18	1,25	1,20	1,38

Πίνακας 10. Μεταβολής της σχέσης C/N κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης

Σχέση C/N					
	1^ο Κιβώτιο	2^ο Κιβώτιο	3^ο Κιβώτιο	4^ο Κιβώτιο	5^ο Κιβώτιο
Εγκατάσταση	29,50	32,02	28,24	22,85	17,88
1 ^ο γύρισμα	21,32	20,65	37,87	39,68	36,75
2 ^ο γύρισμα	30,71	28,69	26,42	22,39	25,95
3 ^ο γύρισμα	20,50	22,30	17,10	17,48	16,92
4 ^ο γύρισμα	24,10	33,10	32,24	17,57	24,65
5 ^ο γύρισμα	19,33	18,33	20,70	13,33	20,65
6 ^ο γύρισμα	25,00	22,56	17,38	17,64	23,70
7 ^ο γύρισμα	18,86	25,60	16,10	16,11	20,18
8 ^ο γύρισμα	23,48	25,65	18,78	21,32	23,09
23/07/08	24,24	26,92	26,35	27,73	22,99

Πίνακας 11. Μεταβολή νιτρικών κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης

NO₃ - N (mg NO₃/kg ξ.β)					
	1^ο Κιβώτιο	2^ο Κιβώτιο	3^ο Κιβώτιο	4^ο Κιβώτιο	5^ο Κιβώτιο
Εγκατάσταση	10,85	0,00	0,00	5,12	5,39
1 ^ο γύρισμα	35,62	0,00	15,59	12,62	19,13
2 ^ο γύρισμα	46,40	5,31	9,16	16,33	29,68
3 ^ο γύρισμα	18,44	18,72	18,88	19,40	18,84
4 ^ο γύρισμα	28,20	36,51	33,11	38,75	77,38
5 ^ο γύρισμα	28,45	62,57	53,50	54,77	80,02
6 ^ο γύρισμα	75,10	72,63	79,90	55,09	96,01
7 ^ο γύρισμα	80,15	88,45	100,60	58,77	129,04
8 ^ο γύρισμα	189,17	112,19	121,00	80,20	167,77
23/7/2008	178,68	101,19	109,56	73,9	156,03

Πίνακας 12. Εκπομπές αερίων κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης

Ημερομηνία	1° Κιβώτιο		2° Κιβώτιο		3° Κιβώτιο		4° Κιβώτιο		5° Κιβώτιο	
	CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂
23/10/2007	0,00058	0,22239	0,00054	0,34131	0,00062	0,45355	0,00091	0,50566	0,0017	0,41302
24/10/2007	0,00168	0,35129	0,00161	0,33391	0,00215	0,32006	0,00215	0,54254	0,00382	0,62359
25/10/2007	0,00355	0,51381	0,00076	0,662	0,00059	0,43856	0,00094	0,44561	0,00123	1,36081
26/10/2007	0,00429	0,52342	0,00019	0,50883	0,00015	0,34559	0,00024	0,34081	0,0047	0,70772
29/10/2007	0,001	0,52102	0,00009	0,68444	0,00018	0,44828	0,00021	0,54643	0,00894	0,77497
30/10/2007	0,00178	0,26331	0,00073	0,32963	0,00059	0,38998	0,00048	0,27153	0,00158	0,34634
31/10/2007	0,00163	0,25169	0,00071	0,39163	0,00072	0,39361	0,00075	0,30823	0,00175	0,36576
1/11/2007	0,00166	0,37677	0,00042	0,53917	0,00041	0,52479	0,00044	0,35246	0,00138	0,52599
2/11/2007	0,00008	0,31544	0,00024	0,4199	0,00029	0,43901	0,00038	0,31001	0,00067	0,32765
5/11/2007	0,00034	0,31128	0,00012	0,41056	0,00015	0,38668	0,0002	0,26742	0,00034	0,33408
6/11/2007	0,00015	0,0841	0,00003	0,16949	0,00006	0,16745	0,00017	0,13649	0,00021	0,26078
7/11/2007	0,00009	0,1497	0,00006	0,24404	0,00006	0,20538	0,00015	0,3243	0,00015	0,23662
8/11/2007	0,00015	0,19279	0,00009	0,2964	0,00011	0,22441	0,00011	0,18606	0,00017	0,24157
9/11/2007	0,00015	0,25223	0,00006	0,35062	0,00009	0,28308	0,00009	0,22702	0,00014	0,29786
12/11/2007	0,00088	0,2609	0,00006	0,26253	0,00003	0,16314	0,00003	0,145	0,00006	0,16242
13/11/2007	0,00003	0,04815	-	0,07578	0,00003	0,05978	0,00003	0,08801	0,00006	0,05641
14/11/2007	0,00003	0,11007	-	0,14363	-	0,15426	-	0,0956	0,00003	0,10634
27/11/2007	0,00006	0,41624	-	0,36798	-	0,29921	-	0,46336	0,00009	0,57248
28/11/2007	0,00003	0,09515	-	0,05104	-	0,06312	-	0,04903	-	0,03835
29/11/2007	0,00003	0,4326	-	0,30686	-	0,3571	-	0,40281	-	0,26859
30/11/2007	0,00012	0,5317	-	0,42368	-	0,49706	-	0,41455	0,00008	0,38046
3/12/2007	0,00003	0,43283	-	0,37602	-	0,381	0,00003	0,40206	0,00014	0,28324
4/12/2007	-	0,34819	-	0,24684	-	0,27411	-	0,26667	0,00011	0,28579
5/12/2007	-	0,07562	-	0,0389	-	0,03184	-	0,35899	0,00003	0,03778
6/12/2007	-	0,20084	-	0,15916	-	0,09637	-	0,10082	-	0,12066
7/12/2007	-	0,2354	-	0,18395	-	0,11347	-	0,1438	-	0,15164
10/12/2007	-	0,0848	-	0,24476	-	0,08888	-	0,17684	-	0,01526
11/12/2007	-	0,08532	-	0,23123	-	0,10277	-	0,15816	-	0,22978
12/12/2007	-	0,22211	-	0,1903	-	0,09791	-	0,1394	-	0,20994
13/12/2007	-	0,02111	-	0,02309	-	0,01143	-	0,01662	-	0,02775
14/12/2007	-	0,09085	-	0,05998	-	0,03862	-	0,05214	-	0,06557
17/12/2007	-	0,12201	-	0,12506	-	0,03601	-	0,05812	-	0,11882
18/12/2007	-	0,13316	-	0,05701	-	0,03791	-	0,0495	-	0,12825
19/12/2007	-	0,12627	-	0,06531	-	0,04625	-	0,05843	-	0,1685
24/12/2007	-	0,0975	-	0,02926	-	0,0211	-	0,03015	-	0,14937
27/12/2007	-	0,06448	-	0,0239	-	0,02962	-	0,03043	-	0,11283
31/12/2007	-	0,08083	-	0,03269	-	0,03269	-	0,03598	-	0,2116
4/1/2008	-	0,09045	-	0,03268	-	0,03818	-	0,0373	-	0,27288
8/1/2008	-	0,05544	-	0,03086	-	0,04661	-	0,03551	-	0,08575

Πίνακας 13. Μεταβολή του πληθυσμού των κοπρανώδων βακτηριών κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.

Κοπρανώδη βακτήρια											
Δείγμα	Χρόνος (d)	Μάρτυρας		Pyrinex		Linagan		Sencor		PLS	
		CFU /1gDW	LogCFU /1gDW	CFU /1gDW	LogCFU /1gDW	CFU /1gDW	LogCFU /1gDW	CFU /1gDW	LogCFU /1gDW	CFU /1gDW	LogCFU /1gDW
1	-5	20000000	7,30	30000000,00	7,48	30000000,00	7,48	30000000,00	7,48	30000000,00	7,48
2	0	20000000	7,30	30000000,00	7,48	30000000,00	7,48	30000000,00	7,48	30000000,00	7,48
3	7	50000	4,70	40000,00	4,60	110000,00	5,04	460000,00	5,66	430000,00	5,63
4	14	10000	4,00	1000,00	3,00	10000,00	4,00	260000,00	5,41	290000,00	5,46
5	21	2000	3,30	3000,00	3,48	2000,00	3,30	10000,00	4,00	15000,00	4,18
6	36	3000	3,48	1000,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	800,00	2,90
7	43	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	51	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	64	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Πίνακας 14. Μεταβολή πληθυσμού ολικών βακτηριών κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.

Ολικά βακτήρια											
Δείγμα	Χρόνος (d)	Μάρτυρας		Pyrinex		Linagan		Sencor		PLS	
		LogCFU /1gDW	StDEV	LogCFU /1gDW	StDEV	LogCFU /1gDW	StDEV	LogCFU /1gDW	StDEV	LogCFU /1gDW	StDEV
1	-5	10,12	0,04	10,62	0,06	10,67	0,31	8,97	0,06	10,27	0,10
2	0	10,79	0,14	10,81	0,07	10,77	0,08	10,54	0,02	10,76	0,04
3	7	10,68	0,05	9,40	0,08	10,15	0,10	10,14	0,20	9,44	0,08
4	14	9,16	0,01	9,02	0,05	8,33	0,05	8,95	0,06	9,06	0,04
5	21	9,56	0,06	9,27	0,11	9,29	0,03	9,37	0,07	9,14	0,04
6	36	10,18	0,13	9,95	0,07	9,90	0,05	9,53	0,10	9,99	0,12
7	43	10,27	0,09	10,13	0,09	9,33	0,08	8,55	0,06	9,50	0,01
8	51	9,00	0,15	8,95	0,11	10,00	0,10	8,42	0,15	8,76	0,02
9	64	8,35	0,04	8,64	0,04	8,37	0,06	8,53	0,06	9,70	0,12

Πίνακας 15. Μεταβολή πληθυσμού ακτινοβακτηρίων κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.

Ακτινοβακτήρια											
Δείγμα	Χρόνος (d)	Μάρτυρας		Pyrinex		Linagan		Sencor		PLS	
		LogCFU /1gDW	StDEV	LogCFU /1gDW	StDEV	LogCFU /1gDW	StDEV	LogCFU /1gDW	StDEV	LogCFU /1gDW	StDEV
1	-5	8,73	0,18	7,72	0,05	6,73	0,18	6,66	0,02	7,34	0,06
2	0	8,33	0,02	8,23	0,08	8,38	0,03	8,24	0,04	8,15	0,05
3	7	9,46	0,06	9,24	0,04	9,39	0,01	9,25	0,03	9,14	0,05
4	14	7,92	0,13	6,98	0,07	7,52	0,10	8,65	0,12	8,37	0,15
5	21	8,48	0,09	8,86	0,1	8,71	0,16	8,87	0,09	9,12	0,10
6	36	8,84	0,13	8,09	0,07	8,84	0,02	8,10	0,02	9,09	0,10
7	43	8,00	0,17	8,90	0,08	7,77	0,12	8,04	0,05	9,04	0,17
8	51	7,74	0,09	7,08	0,09	7,80	0,09	8,11	0,05	8,79	0,08
9	64	7,74	0,06	7,10	0,10	7,83	0,09	8,14	0,04	8,11	0,03

Πίνακας 16. Μεταβολή πληθυσμού μυκήτων κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.

Μύκητες											
Δείγμα	Χρόνος (d)	Μάρτυρας		Pyrinex		Linagan		Sencor		PLS	
		LogCFU /1gDW	StDEV	LogCFU /1gDW	StDEV	LogCFU /1gDW	StDEV	LogCFU /1gDW	StDEV	LogCFU /1gDW	StDEV
1	-5	8,98	0,17	8,37	0,19	8,38	0,13	7,45	0,10	7,23	0,08
2	0	8,28	0,11	7,89	0,08	8,46	0,21	7,44	0,04	8,34	0,27
3	7	7,62	0,05	7,31	0,06	7,97	0,07	6,42	0,09	6,89	0,10
4	14	6,25	0,05	5,54	0,07	6,38	0,26	5,87	0,10	6,36	0,15
5	21	7,32	0,10	6,75	0,02	7,07	0,13	7,47	0,06	7,14	0,09
6	36	6,37	0,10	6,37	0,07	6,49	0,15	6,82	0,23	7,22	0,04
7	43	5,54	0,17	6,24	0,06	5,99	0,13	5,99	0,11	5,85	0,04
8	51	5,84	0,10	5,74	0,10	5,92	0,14	6,31	0,08	6,55	0,07
9	64	5,81	0,02	6,21	0,22	6,11	0,15	6,43	0,10	6,07	0,03

Πίνακας 17. Μεταβολή πληθυσμού ζυμών κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.

Ζύμες											
Δείγμα	Χρόνος (d)	Μάρτυρας		Pyrinex		Linagan		Sencor		PLS	
		LogCFU /1gDW	StDEV	LogCFU /1gDW	StDEV	LogCFU /1gDW	StDEV	LogCFU /1gDW	StDEV	LogCFU /1gDW	StDEV
1	-5	9,08	0,21	8,98	0,04	8,98	0,09	7,81	0,09	8,46	0,04
2	0	8,52	0,10	7,58	0,22	8,52	0,15	7,45	0,15	8,20	0,23
3	7	6,89	0,10	7,09	0,10	7,65	0,17	6,39	0,08	7,29	0,04
4	14	5,76	0,24	6,15	0,08	5,65	0,28	5,81	0,10	6,14	0,06
5	21	6,99	0,15	6,42	0,14	6,75	0,30	7,15	0,09	6,81	0,32
6	36	6,13	0,12	6,37	0,25	6,76	0,07	6,65	0,24	7,11	0,09
7	43	5,93	0,20	6,70	0,04	5,97	0,00	6,05	0,16	4,48	0,00
8	51	5,59	0,18	5,39	0,00	4,74	0,10	5,60	0,17	5,43	0,00
9	64	4,56	0,28	5,46	0,17	5,38	0,00	5,58	0,17	0,00	0,00

Πίνακας 18. Μεταβολή του φυτοφαρμάκου Pyrinex (δραστική ουσία: Chloropyrifos) κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.

	Chloropyrifos		Υδράργυρος	
	AVE	STD	AVE	STD
Εγκατάσταση	0,85	0,23		
1ο Γύρισμα	0,83	0,39		
2ο Γύρισμα	0,55	0,31	1,03	0,26
3ο Γύρισμα	0,21	0,12		
4ο Γύρισμα	0,02	0,02		
5ο Γύρισμα	0,04	0,06		
6ο Γύρισμα	0,00	0,00		
7ο Γύρισμα	0,00	0,00		
8ο Γύρισμα	0,04	0,06	0,69	0,09
Τελικό	0,00	0,00		

Πίνακας 19. Μεταβολή του φυτοφαρμάκου Linagan (δραστική ουσία Linuron) κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.

	Linuron		Υδράργυρος	
	AVE	STD	AVE	STD
Εγκατάσταση	70,56	16,73		
1ο Γύρισμα	67,85	14,63		
2ο Γύρισμα	58,87	25,27	38,08	9,25
3ο Γύρισμα	44,64	0,09		
4ο Γύρισμα	40,49	4,01		
5ο Γύρισμα	4,74	0,18		
6ο Γύρισμα	5,19	0,27		
7ο Γύρισμα	2,51	0,45		
8ο Γύρισμα	0,67	0,58	21,20	3,16
Τελικό	0,00	0,00		

Πίνακας 20. Μεταβολή του φυτοφαρμάκου Sencor (δραστική ουσία Metribuzin) κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.

	Metribuzin		Υδράργυρος	
	AVE	STD	AVE	STD
Εγκατάσταση	55,51	12,95		
1ο Γύρισμα	48,04	2,16		
2ο Γύρισμα	30,11	3,99	62,25	23,68
3ο Γύρισμα	23,19	6,36		
4ο Γύρισμα	16,25	2,92		
5ο Γύρισμα	8,79	0,37		
6ο Γύρισμα	6,50	0,31		
7ο Γύρισμα	5,30	0,38		
8ο Γύρισμα	2,17	0,12	61,69	7,61
Τελικό	0,21	0,05		

Πίνακας 21. Μεταβολή του μίγματος των φυτοφαρμάκων κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.

	Chloropyrifos		Υδράργυρος		Linuron		Υδράργυρος		Metribuzin		Υδράργυρος	
	AVE	STD	AVE	STD	AVE	STD	AVE	STD	AVE	STD	AVE	STD
Εγκατάσταση	0,32	0,46			278,65	15,99			108,73	5,20		
1ο Γύρισμα					124,86	19,31			59,52	11,53		
2ο Γύρισμα					88,85	43,68	85,76	31,02	34,61	5,51	65,32	22,53
3ο Γύρισμα					105,66	14,54			31,83	2,69		
4ο Γύρισμα					74,90	3,61			30,05	0,76		
5ο Γύρισμα	0,00	0,00			56,47	2,98			5,05	0,06		
6ο Γύρισμα					75,14	11,65			17,14	2,24		
7ο Γύρισμα					39,81	21,24			13,11	0,96		
8ο Γύρισμα	0,00	0,00			0,52	0,31	84,59	25,01	3,73	0,39	63,21	24,19
Τελικό	0,00	0,00			0,00	0,00			0,03	0,04		



Εικόνα 14. Συγκέντρωση θρυμματισμένων κλαδοκαθάρων.



Εικόνα 15. Κοσκίνισμα θρυμματισμένων κλαδοκαθάρων.



Εικόνα 16. Διαμόρφωση λεπτού στρώματος κλαδοκαθάρων για να μην αναπτυχτούν υψηλές θερμοκρασίες.



Εικόνα 17. Μεταφορά του υλικού μέσα στο υπόστεγο.



Εικόνα 18-19. Διαμόρφωση ορθογώνιου παραλληλεπιπέδου για την μέτρηση του όγκου του υλικού.



Εικόνα 20. Ογκομέτρηση υλικού κλαδοκαθάρων πριν την ανάμιξη με λυματολάσπη.



Εικόνα 21. Λυματολάσπη βιολογικού καθαρισμού Ηρακλείου.



Εικόνα 22. Προετοιμασία για την ανάμιξη κλαδοκάθαρων και λυμματολάσπης σε αναλογία 5:1.



Εικόνα 23. Τοποθέτηση δεύτερου στρώματος κλαδοκάθαρων πάνω από τη λυμματολάσπη (σηματισμός σάντουιτς).



Εικόνα 24. Ανάμιξη κλαδοκαθάρων και λυματολάσπης με φρέζα.



Εικόνα 25. Ανάμιξη υλικών με ταυτόχρονη διαβροχή τους.



Εικόνα 26. Ανάμιξη υλικών με ταυτόχρονη διαβροχή τους.



Εικόνα 27. Τα πέντε κιβώτια που χρησιμοποιήθηκαν στην κομποστοποίηση.



Εικόνα 28. Μεταφορά υλικού μέσα στο χώρο του υπόστεγου με την βοήθεια αρπαγής.



Εικόνα 29. Τοποθέτηση υλικών μπροστά από κάθε κιβώτιο.



Εικόνα 30. Ψεκασμός των υλικών με φυτοφάρμακα.



Εικόνα 31. Αναμόχλευση υλικού μετά το ψεκασμό.



Εικόνα 32. Τα υλικά αμέσως μετά τον ψεκασμό τοποθετημένα το κάθε ένα μπροστά από το αντίστοιχο κιβώτιο.



Εικόνα 33. Θερμομόνωση των κιβωτίων εξωτερικά με πλάκες πετροβάμβακα πάχους 5 cm και πλάκες διογκωμένης πολυστερίνης (φελιζόλ) πάχους 3 cm.



Εικόνα 34. Τοποθέτηση υλικών μέσα στα κιβώτια και κυλίνδρων για τη συγκέντρωση και μέτρηση των παραγόμενων αερίων.



Εικόνα 35. Αμέσως μετά την εγκατάσταση των κιβωτίων την 23/10/07.



Εικόνα 36. Γύρισμα πρώτου κιβωτίου την 30/10/07 (1^ο γύρισμα).



Εικόνα 37. Γύρισμα δεύτερου κιβωτίου την 30/10/07 (1^ο γύρισμα).



Εικόνα 38. Γύρισμα τρίτου κιβωτίου την 30/10/07 (1^ο γύρισμα).



Εικόνα 39. Γύρισμα τέταρτου κιβωτίου την 30/10/07 (1^ο γύρισμα).



Εικόνα 40. Γύρισμα πέμπτου κιβωτίου την 30/10/07 (1^ο γύρισμα).



Εικόνα 41. Θριμματιστής με μαχαίρια για τον τεμαχισμό του υλικού του τέταρτου κιβωτίου σε μικρότερα κομμάτια.



Εικόνα 42. Το υλικό πριν το τεμαχισμό (δεξιά) και το υλικό μετά τον τεμαχισμό (αριστερά).



Εικόνα 43. Γύρισμα κιβωτίων την 07/01/08 (8^ο γύρισμα).