

ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΟΙΚΙΑΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΟΙΚΟΛΟΓΙΑΣ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΒΙΩΣΙΜΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ»
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ : ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΘΕΜΑ:

**ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΠΡΑΣΙΝΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟΥ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ**

Φοιτήτρια: Γαζή Αναστασία

ΑΜ:22202

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ:

Λαζαρίδη Αικ., Λέκτορας

Κυριακού Αδ., Λέκτορας

Καραμπατζός Γ., Καθηγητής

ΑΘΗΝΑ

ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ, 2004

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	I
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	V
ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	VI

Ευχαριστίες	IX
Περίληψη	X

1^ο Μέρος: Βιβλιογραφική επισκόπηση

<u>Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή</u>	2
------------------------------------	----------

1.1 Σκοπός και στόχοι	3
-----------------------	---

Κεφάλαιο 2. Πράσινα απορρίμματα

2.1 Ορισμός	6
2.2 Νομοθεσία	7
2.3 Διαχείριση πράσινων απορριμμάτων στην Ελλάδα	8
2.4 Διαχείριση πράσινων απορριμμάτων στον κόσμο	10
2.5 Πηγές-συλλογή πράσινων απορριμμάτων	14

Κεφάλαιο 3. Αρχές και συστήματα κομποστοποίησης

3.1 Τι είναι η κομποστοποίηση	16
3.2 Εγκαταστάσεις και συστήματα κομποστοποίησης	20
3.2.1.Ολοκληρωμένες εγκαταστάσεις κομποστοποίησης	20
3.2.2. Συστήματα κομποστοποίησης	20
3.3 Βασικές αρχές της κομποστοποίησης	23
3.4 Ο ρόλος των μικροοργανισμών	25
3.5 Ο ρόλος των περιβαλλοντικών παραμέτρων	29
3.5.1 Οξυγόνο-Αερισμός	29

3.5.2 Θερμοκρασία	30
3.5.3. Υγρασία	31
3.5.4 pH	31
3.5.5 Θρεπτικά συστατικά	32
3.5.6 Αναλογία άνθρακα προς άζωτο C/N	33
3.6 Χρήση του κομπόστ-Αγορές	33

Κεφάλαιο 4. Ωρίμανση του κομπόστ

4.1 Ορισμός	35
4.2 Μέθοδοι εκτίμησης της ωριμότητας του κομπόστ	36
<u>4.2.1. Φυσικές δοκιμές</u>	
4.2.1.1 Θερμοκρασία	36
<u>4.2.2. Χημικές δοκιμές</u>	
4.2.2.1.Πτητικά στερεά	37
4.2.2.2 Νιτρικά ιόντα και άζωτο	38
4.2.2.3 pH	39
4.2.2.4 Ηλεκτρική αγωγιμότητα	39
<u>4.2.3 Βιολογικές και μικροβιολογικές δοκιμές</u>	39
4.2.3.1 Δυναμικό αυτοθέρμανσης	39
4.2.3.2 Αναπνευστική δραστηριότητα	40
4.2.3.3 Μικροβιακή διαδοχή	41
4.2.3.4 Βιοχημικές παράμετροι	42
4.2.3.5. Φυτοτοξικότητα	43
4.2.3.6 Αγρονομική εξέταση του κομπόστ	44

2^ο Μέρος: Πειραματικές δοκιμές

Κεφάλαιο 5. Υλικά και μέθοδοι

5.1 Συλλογή πράσινων απορριμμάτων από το Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο	47
5.2 Μέθοδος κομποστοποίησης και διαδικασία παρακολούθησης	49
5.3 Μέθοδοι αναλύσεων	53
5.3.1. <u>Φυσικές και χημικές αναλύσεις</u>	
5.3.1.1 Θερμοκρασία	53
5.3.1.2 Υγρασία-Πτητικά στερεά	53
5.3.1.3 pH-. Ηλεκτρική αγωγιμότητα	53
5.3.2 <u>Μικροβιολογικές αναλύσεις</u>	54
5.3.2.1 Ολικά αερόβια και σποριογόνα βακτήρια	54
5.3.2.2 Κυτταρινολυτικά βακτήρια	54
5.3.2.3 Νιτροποιά βακτήρια	55
5.3.2.4 Ακτινομύκητες	58
5.3.2.5 Μύκητες-Ζύμες	58
5.3.3 <u>Αναλύσεις βιοχημικών και βιολογικών παραμέτρων</u>	59
5.3.3.1 Ενζυμική ενεργότητα αφυδρογονασών	59
5.3.3.2 Δυναμικό αυτοθέρμανσης	61
5.3.3.3. Αναπνευστική δραστηριότητα	62
5.3.3.4 Φυτοτοξικότητα	64
5.3.4 <u>Αγρονομική αξιολόγηση του κομπόστ</u>	65
5.3.4.1 Κοκκομετρική ανάλυση εδαφών	65
5.3.4.2 Παρασκευή υποστρωμάτων	68
5.3.4.3. Φύτευση και αξιολόγηση της ανάπτυξης του γρασιδιού	68
5.3.5 <u>Στατιστική ανάλυση</u>	69

Κεφάλαιο 6. Αποτελέσματα και Συζήτηση

6.1 Διακύμανση της Θερμοκρασίας	71
6.2 Υγρασία	74
6.3 Πτητικά στερεά	75

6.4 pH	78
6.5 Ηλεκτρική Αγωγιμότητα	79
6.6 Μικροβιολογικά αποτελέσματα	81
6.6.1 Ολικά αερόβια βακτήρια	81
6.6.2 Σποριογόνα βακτήρια	83
6.6.3 Κυτταρινολυτικά βακτήρια	84
6.6.4 Νιτροποιά βακτήρια	86
6.6.5 Ακτινομύκητες	89
6.6.6 Μύκητες-Ζύμες	90
6.7. Βιολογικοί δείκτες	
6.7.1 Ενζυμική ενεργότητα	93
6.7.2 Δυναμικό αυτοθέρμανσης	95
6.7.3 Αναπνευστική δραστηριότητα	98
6.7.4 Φυτοτοξικότητα	100
6.8 Αποτελέσματα κοκκομετρικής ανάλυσης	103
6.9 Αγρονομική εξέταση του κομπόστ	106
6.10 Συσχέτιση μεταξύ των διαφορετικών δεικτών ωριμότητας του κομπόστ	112
<u>Κεφάλαιο 7. Συμπεράσματα</u>	115
Βιβλιογραφία	118
Παράρτημα	135
Φωτογραφικό Υλικό	136

Πίνακας Πινάκων

Κεφάλαιο 2

2.1 Ετήσια παραγωγή κομπόστ με βάση τα φυτικά υπολείμματα από διάφορες χώρες της Ευρώπης	10
2.2 Ποσοστά βιοαποδομήσιμων αστικών αποβλήτων (υπολείμματα κουζίνας και πράσινων απορριμμάτων) στις χώρες της Ε.Ε	11

Κεφάλαιο 5

5.1 Πίνακας πειραματικού σχεδιασμού για τη διεργασία της κομποστοποίησης	51
---	----

Κεφάλαιο 6

6.1 Οι φάσεις της κομποστοποίησης στο σωρό	72
6.2 Πίνακας τιμών ολικών βακτηρίων	82
6.3 Πίνακας τιμών σποριογόνων βακτηρίων	83
6.4 Πίνακας τιμών κυτταρινολυτικών βακτηρίων	85
6.5 Πίνακας τιμών νιτροποιών βακτηρίων	87
6.6 Πίνακας τιμών ακτινομυκήτων	89
6.7 Πίνακας τιμών μυκήτων	91
6.8 Πίνακας τιμών ζυμών	90
6.9 Πίνακας αποτελεσμάτων της κοκκομετρικής ανάλυσης	103
6.10 Αποτελέσματα μετρήσεων του μέσου όρου του μικτού και ξηρού βάρους από το πρώτο κόψιμο του γρασιδιού	106
6.11 Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης από το 1 ^ο κόψιμο, μικτό βάρος	107
6.12 Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης από το 1 ^ο κόψιμο, ξηρό βάρος	108
6.13 Αποτελέσματα των μετρήσεων του μέσου όρου του μικτού και ξηρού βάρους από το 2 ^ο κόψιμο	109
6.14 Αποτελέσματα των μετρήσεων του μέσου όρου του μικτού και ξηρού βάρους από το 3 ^ο κόψιμο	110
6.15. Αποτελέσματα συσχέτισης κατά Pearson μεταξύ των μεταβλητών	114

Πίνακας Διαγραμμάτων

Κεφάλαιο 3

3.1 Σχηματική απεικόνιση της διαδικασίας της κομποστοποίησης των πράσινων απορριμμάτων	18
3.2 Σχηματική απεικόνιση του κύκλου δραστηριότητας των μικροοργανισμών σε οργανικό υλικό	19
3.3 Τα κυριότερα στάδια κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης	24
3.4 Σχηματική απεικόνιση της διαδικασίας της κομποστοποίησης	27

Κεφάλαιο 4

4.1 Διακύμανση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος και του κομπόστ κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης πράσινων απορριμμάτων	37
--	----

Κεφάλαιο 5

5.1 Απεικόνιση των εργαλείων μέτρησης της αναπνευστικής δραστηριότητας του υδατικού διαλύματος κομπόστ	62
5.2 Ταξινόμηση και ονοματολογία λεπτόκοκκων ιζημάτων κατά Folk	67

Κεφάλαιο 6

6.1 Διακύμανση της θερμοκρασίας με το χρόνο κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης	73
6.2 Διακύμανση του ποσοστού της υγρασίας κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης	74
6.3 Η μείωση των πτητικών στερών κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης	76
6.4 Διακύμανση του ποσοστού των πτητικών στερεών κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης	77
6.5 Διακύμανση των τιμών του pH με το χρόνο κατά της διάρκεια της κομποστοποίησης	79
6.6 Διακύμανση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας με το χρόνο κομποστοποίησης	80
6.7 Διακύμανση του πληθυσμού των ολικών βακτηρίων κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης	82

6.8 Διακύμανση του πληθυσμού των σποριογόνων βακτηρίων κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης	84
6.9 Διακύμανση του πληθυσμού των κυτταρινολυτικών βακτηρίων κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης	85
6.10 Διακύμανση του πληθυσμού των νιτροποιών βακτηρίων κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης	88
6.11 Διακύμανση του πληθυσμού των ακτινομυκήτων κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης	90
6.12 Διακύμανση του πληθυσμού των μυκηλιακών μυκήτων κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης	92
6.13 Διακύμανση του πληθυσμού των ζυμών κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης	92
6.14 Γραφική απεικόνιση της καμπύλης αναφοράς υπολογισμού των αφυδρογονασών κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης	93
6.15 Διακύμανση της ενζυμικής ενεργότητας των αφυδρογονασών κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης	94
6.16 Διακύμανση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος και του δείγματος φρέσκου κομπόστ με το χρόνο κατά τη διάρκεια της μέτρησης του δυναμικού αυτοθέρμανσης	96
6.17 Διακύμανση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος και δείγματος κομπόστ ηλικίας 142 ημερών κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης	97
6.18 Διακύμανση της αναπνευστικής δραστηριότητας κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης	99
6.19 Διακύμανση του δείκτη βλαστικότητας κατά τη διάρκεια κομποστοποίησης	101
6.20. Μέσος όρος μήκους ριζιδίου μάρτυρα και εκχυλισμάτων κομπόστ	102
6.21 Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της κοκκομετρικής ανάλυσης. - Αθροιστική καμπύλη	105
6.22 Διακύμανση μέσου ξηρού βάρους της βιομάζας από το πρώτο κόψιμο του γρασιδιού σε σχέση με την περιεκτικότητα του υποστρώματος σε κομπόστ	106
6.23 Διακύμανση μέσου ξηρού βάρους της βιομάζας από το δεύτερο κόψιμο του γρασιδιού σε σχέση με την περιεκτικότητα του υποστρώματος σε κομπόστ	109

6.24 Διακύμανση μέσου ξηρού βάρους της βιομάζας από το τρίτο κόψιμο του γρασιδιού σε σχέση με την περιεκτικότητα του υποστρώματος σε κομπόστ 111

Ευχαριστίες

Τα καίρια χαρακτηριστικά για την ολοκλήρωση μιας έρευνας είναι η οργάνωση, στη συλλογή στοιχείων αλλά και στον τρόπο δουλειάς, η υπομονή, η διαρκής μελέτη, και η ψυχολογική συμπαράσταση από αγαπημένα πρόσωπα.

Η παρούσα μελέτη δεν θα ολοκληρωνόταν χωρίς την καθοριστική παρουσία, βοήθεια και συμπαράσταση των καθηγητριών μου κ. Λαζαρίδη Αικ. και κ. Κυριακού Αδ., οι οποίες ήταν κοντά μου σε ότι χρειάστηκα και ότι ερωτήματα είχα, καθ' όλη τη διάρκεια της εργαστηριακής και βιβλιογραφικής μελέτης και έρευνας, δείχνοντας ιδιαίτερη υπομονή και αφοσίωση στην υλοποίηση της τόσο στην πράξη, όσο και στο απαιτητικό κομμάτι της ανάγνωσης και διόρθωσης της. Στο σημείο αυτό θα ήθελα να τις ευχαριστήσω και για ένα άλλο λόγο. Για την αφιέρωση αρκετών ωρών από τον προσωπικό τους χρόνο, στην υπόδειξη του τρόπου μεταφοράς των πειραματικών δεδομένων και των βιβλιογραφικών αναφορών, στο κείμενο μιας ερευνητικής εργασίας, η οποία ήταν τελικά αρκετά εποικοδομητική για μένα.

Ευχαριστώ για την βοήθεια της, την κ. Κώτσου Μ., η οποία παρακολούθησε την διεξαγωγή της εργαστηριακής εργασίας, τόσο σε επίπεδο αποτελεσμάτων όσο και στην εκτέλεση των αναλύσεων, προσφέροντας ακόμα και χειρωνακτική βοήθεια κατά το στάδιο των γυρισμάτων – ανάδευσης του υλικού, για τον αερισμό του κομπόστ.

Ευχαριστώ για την βοήθεια του επίκουρο καθηγητή του τμήματος Γεωγραφίας κ. Παυλόπουλο Κ. για τις συμβουλές του πάνω σε θέματα εδαφολογίας και την διάθεση του εργαστηρίου για τις εδαφολογικές αναλύσεις που χρειάστηκαν κατά τη διάρκεια του σταδίου της αγρονομικής αξιολόγησης του κομπόστ.

Τον τέως πρύτανη του Χαροκοπείου Πανεπιστημίου, καθηγητή κ. Καραμπατζό Γ. και νυν Γ.Γ. της Βουλής των Ελλήνων, για την συμμετοχή του, παρά το φορτωμένο καθημερινό του πρόγραμμα και την πληθώρα των υποχρεώσεων του.

Την οικογένεια μου για την ηθική συμπαράσταση της, τους ανθρώπους που με στήριξαν σε όλη αυτή την προσπάθεια, τον κ. Σκορδίλη Αντώνιο για τις συμβουλές του σε θέματα της πρακτικής εφαρμογής του κομπόστ σε φυτά.

Τέλος θερμές ευχαριστίες εκφράζονται στα κοντινά μου πρόσωπα, στο Γιώργο, τη Ζέφη, το Θωμά, την Εύη, τη Σοφία, για την υπομονή τους στην αφοσίωση μου, για την ολοκλήρωση της παρούσας μελέτης και την αποχή μου για ορισμένο διάστημα από την «παρέα», λόγω έλλειψης ελεύθερου χρόνου.

Περίληψη

Στην εργασία αυτή μελετήθηκε η διαδικασία κομποστοποίησης πράσινων αποβλήτων όπως είναι τα φύλλα, το γρασίδι και μικρά τεμαχισμένα κλαδιά, που συγκεντρώθηκαν από τον κήπο του Χαροκοπείου Πανεπιστημίου. Σκοπός της εργασίας ήταν η συμβολή στην προσπάθεια για αξιοποίηση των αποβλήτων αυτών ως βελτιωτικών εδάφους, σε αντικατάσταση του υπάρχοντος τρόπου διάθεσής τους, σε ΧΥΤΑ ή ανεξέλεγκτες χωματερές. Η προσέγγιση αυτή εντάσσεται συνάμα στην προσπάθεια για ελαχιστοποίηση των αποβλήτων, ενόψει των νέων μονάδων κομποστοποίησης που πρόκειται να λειτουργήσουν και μπορεί να αποτελέσει πρότυπη λύση για τους οργανισμούς τοπικής αυτοδιοίκησης ως προς τον τρόπο διαχείρισης των δικών τους πράσινων αποβλήτων.

Το υλικό που συγκεντρώθηκε, τοποθετήθηκε στο γυάλινο θερμοκήπιο του υπαίθριου χώρου του πανεπιστημίου, ώστε να προφυλάσσεται από τις καιρικές συνθήκες, μέσα σε ξύλινο ανοιχτό κιβώτιο κομποστοποίησης ώστε να αερίζεται επαρκώς.

Η παρακολούθηση του υλικού έγινε με βάση τη μελέτη φυσικών, χημικών και βιολογικών παραμέτρων, όπως η μέτρηση της θερμοκρασίας, του pH, της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, της υγρασίας, των πτητικών στερεών, της φυτοτοξικότητας, του δυναμικού αυτοθέρμανσης, και του ειδικού ρυθμού κατανάλωσης οξυγόνου (SOUR-specific oxygen uptake rate).

Πρόσθετοι βιολογικοί δείκτες εκτιμήθηκαν με βάση τη μικροβιακή διαδοχή με μετρήσεις του πληθυσμού των νιτροποιών βακτηρίων (*Nitrosomonas* και *Nitrobacter*), των ακτινομυκήτων, των κυτταρινολυτικών βακτηρίων, των μυκήτων και ζυμών, των ολικών και σποριογόνων βακτηρίων. Εξετάσθηκε επίσης η ενζυμική ενεργότητα του κομποστ μέσω της παρακολούθησης των αφυδρογονασών.

Οι μετρήσεις αυτές γίνονταν σε δείγματα που λαμβάνονταν σε τακτά χρονικά διαστήματα, ανά 25-30 ημέρες τους πρώτους τέσσερις μήνες και 15-20 ημέρες τους επόμενους μήνες, κατά τη φάση της ωρίμανσης του υλικού. Ο αναγκαίος αερισμός εξασφαλιζόταν με τακτική ανάδευση του υλικού χειρονακτικά, έξω από το κιβώτιο. Μετά το στάδιο της ωρίμανσης του υλικού, έγιναν εφαρμογές του κομποστ σε γρασίδι (*Festuca arundinacea*) ώστε να διαπιστωθεί η επίδραση του και η ικανότητα του να λειτουργεί ως βελτιωτικό εδάφους και υποστρωμάτων.

ΜΕΡΟΣ 1^ο

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

Στις μέρες μας όλο και περισσότερο γίνεται λόγος για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη τόσο των αστικών συγκροτημάτων, όσο και της υπαίθρου. Η έννοια αυτή εμπεριέχει την αδήριτη ανάγκη των σύγχρονων κοινωνιών για επίτευξη ισορροπίας όσον αφορά στην ανάπτυξη (οικονομική, οικολογική, κοινωνικοπολιτική), χωρίς να γίνεται σπατάλη των φυσικών πόρων του πλανήτη. Πρόκειται για μια ανάπτυξη, πιο ανθρώπινη και αποτελεσματική η οποία θα μπορεί να καλύπτει τις ανάγκες της παρούσας γενιάς χωρίς να υποθηκεύει την ικανότητα των μελλοντικών γενιών να ικανοποιήσουν τις δικές τους ανάγκες και η οποία θα έχει όσο το δυνατόν λιγότερες επιπτώσεις στο οικοσύστημα και στον άνθρωπο.

Οι επιστήμες του περιβάλλοντος, συνδυάζουν πολλούς κλάδους επιστημών όπως τη βιολογία, την οικολογία, τη βιοχημεία, τη χημεία κτλ, επιστήμες οι οποίες έχουν άμεση σχέση με το περιβάλλον αλλά και τη βιώσιμη ανάπτυξη. Και αυτό γιατί ο συγκεκριμένος επιστημονικός κλάδος μπορεί να αποτελέσει την πηγή πολλών νέων μεθόδων και τεχνικών, που θα μπορούσαν να κατευθύνουν την κοινωνία προς την αειφόρο ανάπτυξη μέσω της συνεχούς έρευνας και ανάπτυξης καινοτομιών.

Ειδικότερα, η μελέτη ενός συστήματος κομποστοποίησης, είναι κατ' εξοχήν διεπιστημονική καθώς απαιτεί γνώσεις μικροβιολογίας περιβάλλοντος αλλά και μηχανικής, χημείας, φυσιολογίας φυτού, βιοχημείας κ.ά γεγονός που την καθιστά ιδιαίτερα ελκυστική ερευνητικά.

Το θέμα της αειφορικής διαχείρισης των αποβλήτων και της διατήρησης των φυσικών πόρων, για το οποίο καθημερινά γίνεται λόγος, αποτελεί έναν επιπλέον ουσιαστικό παράγοντα προσέλκυσης των επιστημόνων προς την μελέτη νέων τεχνολογιών, φιλικών προς το περιβάλλον.

Οι περισσότεροι από τους Οργανισμούς Τοπικής Αυτοδιοίκησης σε ολόκληρη την Ελλάδα, αναζητούν και ενδιαφέρονται για προγράμματα ανακύκλωσης – κομποστοποίησης των στερεών αποβλήτων τους, μεταξύ αυτών και των πράσινων απορριμμάτων τους από τις κλαδεύσεις των δεντροστοιχιών και την περιποίηση του αστικού πρασίνου, γεγονός το οποίο αποτελεί ένα ακόμα έναυσμα για την ενασχόληση με νέους τρόπους διάθεσης τέτοιων υλικών.

1.1 Σκοπός και στόχοι

Η παρούσα μελέτη της διεργασίας της κομποστοποίησης πράσινων αποβλήτων όπως φύλλα, γκαζόν, κλαδιά από τη στιγμή της συλλογής των υλικών μέχρι και τη στιγμή της εφαρμογής του ώριμου πια κομπόστ στα φυτά, έχει ως απώτερο στόχο να αναδείξει όσο γίνεται περισσότερο την έννοια της βιώσιμης ανάπτυξης για τις σύγχρονες κοινωνίες.

Το καίριο ζήτημα ενός καθαρότερου περιβάλλοντος είναι υπόθεση όλων μας, και απαιτεί ο καθένας να κάνει κάτι. Η αντικατάσταση των χημικών λιπασμάτων, των ραντισμάτων κ.ά με φυτικό κομπόστ πέρα από τα άμεσα θετικά που προσφέρει με τη μείωση των τοξικών εισροών στο περιβάλλον, μπορεί να συμβάλλει στο να αναπτυχθεί μια περισσότερο φιλική νοοτροπία στους πολίτες απέναντι στο περιβάλλον.

Σε σύντομο χρονικό διάστημα, η χώρα μας είναι υποχρεωμένη μέσω των ευρωπαϊκών Οδηγιών, όπως για παράδειγμα της Οδηγίας 99/31/ΕΕ για την υγειονομική ταφή, να υιοθετήσει νέους τρόπους διάθεσης των απορριμμάτων της οι οποίοι θα είναι προσανατολισμένοι προς την έννοια της επαναχρησιμοποίησης, της αξιοποίησης των αποβλήτων ως δευτερογενών πόρων και της εκτροπής των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων από την ταφή. Μέχρι το 2010 τα βιοαποδομήσιμα αστικά απόβλητα που προορίζονται για ΧΥΤΑ πρέπει να μειωθούν κατά 25% της συνολικής κατά βάρος ποσότητας, αυτών που είχαν παραχθεί το 1995. Αντίστοιχα το 2013 τα βιοαποδομήσιμα απόβλητα που προορίζονται για υγειονομική ταφή πρέπει να μειωθούν κατά 50%, ενώ το 2020 το ποσοστό των βιοαποδομήσιμων υλικών για υγειονομική ταφή πρέπει να περιοριστεί στο 35%.

Η τοπική αυτοδιοίκηση και το ΥΠΕΧΩΔΕ, ως κύριοι αποδέκτες των ευρωπαϊκών οδηγιών περί διάθεσης των αποβλήτων, οφείλουν να είναι έτοιμοι να τις εφαρμόσουν. Ειδικά στην περίπτωση της 99/31/ΕΕ απαιτείται γνώση για τις διεργασίες της κομποστοποίησης και στην κατεύθυνση αυτή φιλοδοξεί να συμβάλλει η εργασία αυτή, που έγινε στο Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο στο πλαίσιο του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών «Βιώσιμη Ανάπτυξη» του τμήματος Οικιακής Οικονομίας και Οικολογίας.

Η κομποστοποίηση στην Ελλάδα αποτελεί ακόμα μια έννοια άγνωστη στο ευρύ κοινό, ενώ την ίδια στιγμή στις περισσότερες ανεπτυγμένες χώρες της Ευρώπης της Αμερικής και της Ασίας αποτελεί ένα σημαντικό τρόπο διάθεσης των στερεών αποβλήτων τους. Σ' αυτό συμβάλλει αναντίρρητα η ποιότητα της παιδείας πάνω σε θέματα που αφορούν στο περιβάλλον, οι νέες τεχνολογίες αντιρρύπανσης του και η διαμόρφωση οικολογικής συνείδησης, η οποία για πολλά χρόνια αποτελούσε ένα σπάνιο γνώρισμα των νεοελλήνων αν και τα τελευταία χρόνια τείνει να αντιστραφεί η αναλογία ανάμεσα στους ευσυνείδητους οικολογικά πολίτες και σ' αυτούς που αδιαφορούν για το περιβάλλον στο οποίο ζουν.

Ιδιαίτερα για την Ελλάδα, η κομποστοποίηση αποκτά ακόμα μεγαλύτερη σημασία, καθώς ανήκει στο τόξο των μεσογειακών χωρών όπου οι κλιματικές συνθήκες, το ανάγλυφο και οι καλλιεργητικές πρακτικές έχουν ως αποτέλεσμα έναν υψηλό ρυθμό αποδόμησης της οργανικής ουσίας του εδάφους φέρνοντας πολλές περιοχές στα όρια της ερημοποίησης. Η παραγωγή χουμοποιημένης οργανικής ύλης, όπως στα κομπόστ, εμπλουτίζει το φτωχό και ταλαιπωρημένο μεσογειακό έδαφος με τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά αναβαθμίζοντας την ποιότητα του εδάφους. Επιπλέον η διαδικασία της κομποστοποίησης μειώνει τη ζωτικότητα των σπόρων ζιζανίων στα οργανικά υπολείμματα ενώ έχει παρατηρηθεί και επισχετική επίδραση στα παθογόνα του εδάφους (Felipo, 1996).

Πιο συγκεκριμένα οι στόχοι της εργασίας αυτής είναι:

- Η ενδεδειγμένη παρακολούθηση της διεργασίας κομποστοποίησης των πράσινων απορριμμάτων.
- Η μελέτη της μικροβιακής διαδοχής στο σωρό και η μέτρηση του πληθυσμού των μικροοργανισμών που αναπτύσσονται σε κάθε φάση της διεργασίας κομποστοποίησης.
- Η εξέταση των φυσικών και χημικών παραμέτρων του υλικού
- Ο προσδιορισμός του χρόνου ωρίμανσης του υλικού, μέσα από τη μέτρηση χαρακτηριστικών δεικτών ωρίμανσης
- Η εξέταση της ενζυμικής ενεργότητας των αφυδρογονασών, στα πράσινα απορρίμματα
- Η εφαρμογή του τελικού προϊόντος, σε φυτά, προκειμένου να προσδιοριστεί η αγρονομική του αξία.

Το κυριότερο όμως όφελος από την υλοποίησή της είναι η γνώση του τρόπου οργάνωσης και παρακολούθησης μιας τέτοιας προσπάθειας, η οποία στην Ελλάδα βρίσκεται σε αρχικό στάδιο, ώστε να συμβάλλει με όποιο δυνατό τρόπο στην προσπάθεια που ονομάζεται ανακύκλωση ή ολοκληρωμένη διαχείριση των στερεών αποβλήτων.

Κεφάλαιο 2. Πράσινα απορρίμματα

2.1 Ορισμός

Πράσινα απορρίμματα ονομάζονται τα στερεά απόβλητα που προέρχονται από τη συντήρηση πάρκων, κήπων, έργων αρχιτεκτονικής τοπίου και περιλαμβάνουν υλικά όπως γρασίδι, φύλλα, κλαδιά δέντρων και θάμνων, χορτάρια και άνθη (IWM, 1998 ; Fogarty and Tuoninen, 1991 ; Spiers and Fietje, 2000).

Επίσημος ελληνικός ή ευρωπαϊκός ορισμός για τα πράσινα απορρίμματα δεν υπάρχει (Λαζαρίδη και Χαριτοπούλου), παρά μόνο για τον όρο «στερεά απόβλητα» στην Οδηγία 75/442/ΕΟΚ.

Στη διεθνή βιβλιογραφία γίνεται διαφοροποίηση του οργανικού βιοαποδομήσιμου κλάσματος των αστικών στερεών αποβλήτων, το οποίο στην αγγλόφωνη βιβλιογραφία καλείται «biowaste» σε α) πράσινα απορρίμματα και β) σε απορρίμματα κουζίνας/υπολείμματα φαγητού.

Γενικά, όσον αφορά στις διαθέσιμες ποσότητες των πράσινων απορριμμάτων που παράγονται ανά έτος, η διεθνής βιβλιογραφία αναφέρει ότι σε συνήθεις καιρικές συνθήκες και πρακτικές κηπουρικής, τα κουρέματα γρασιδιού από ιδιωτικούς κήπους και πάρκα ανέρχονται σε 2-6 κιλά ανά έτος και ανά τετραγωνικό μέτρο. Η ποσότητα αυτή διπλασιάζεται αν προστεθούν τα φύλλα και τα κλαδιά από κλαδέματα δέντρων και θάμνων. Αν εκφραστεί ανά κάτοικο η ποσότητα αυτή ανέρχεται σε 30-70 κιλά πράσινα απορρίμματα ανά κάτοικο και ανά έτος περίπου 10-20 % της συνολικής ποσότητας των αστικών στερεών αποβλήτων (Kreith, 1994).

Η διαχείριση των πράσινων απορριμμάτων συγκαταλέγεται στην ευρύτερη διαχείριση των στερεών αποβλήτων. Στο πεδίο αυτό η βασική αρχή είναι η αποφυγή και η μείωση της παραγωγής απορριμμάτων, μέσα από τη χρήση νέων τεχνολογικών μεθόδων καθώς και αλλαγών στις κοινωνικές συμπεριφορές και νοοτροπίες. Αυτό σημαίνει ότι η πολιτική διαχείρισης των απορριμμάτων δεν είναι μόνο αντικείμενο μιας τεχνικής διαδικασίας αλλά κοινωνικής και πολιτικής (Μπεριάτος κ.ά., 2002).

2.2 Νομοθεσία

Σύμφωνα με την Οδηγία 91/156/ΕΟΚ, κάθε Κράτος-Μέλος της Ε.Ε υποχρεούται να συντάξει το συντομότερο δυνατό ένα ή περισσότερα σχέδια διαχείρισης των στερεών αποβλήτων. Για την εφαρμογή της παραπάνω Οδηγίας, η ελληνική κυβέρνηση, εξέδωσε την ΚΥΑ 69728/824/96 «Μέτρα και όροι για την διαχείριση των στερεών αποβλήτων» με την οποία εκτός των άλλων ορίζονται οι αρμόδιοι φορείς για το σχεδιασμό της διαχείρισης. Το 1997 εκδόθηκε η ΚΥΑ 113944/1016/97 «Εθνικός Σχεδιασμός διαχείρισης στερεών αποβλήτων» με στόχο τη χάραξη γενικών κατευθύνσεων για τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων προς εφαρμογή της ΚΥΑ 69728/824/96.

Το 2000, μέσω της ΚΥΑ 14312/1302/2000 (ΦΕΚ 723/Β/2000) έγινε συμπλήρωση και εξειδίκευση της υπ' αριθμ 113944/1944/1997 ΚΥΑ με θέμα «Εθνικός σχεδιασμός διαχείρισης στερεών αποβλήτων» (Γενικές κατευθύνσεις της πολιτικής διαχείρισης στερεών αποβλήτων).

Ο εθνικός σχεδιασμός για την διαχείριση των στερεών αποβλήτων είναι ο στρατηγικός σχεδιασμός μέσω του οποίου χαράζονται όλες οι κατευθύνσεις και συλλέγονται στοιχεία που αφορούν στη διαχείριση των στερεών αποβλήτων στην Ελλάδα. Πρόσφατα μέσω της ΚΥΑ 50910/2727/16-12-03 (ΦΕΚ 1909/Β/ 22-12-03) με θέμα «Μέτρα και όροι για τη Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων. Εθνικός και Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης», αποφασίστηκε η πλήρης συμμόρφωση με τις διατάξεις της Οδηγίας 91/156/ΕΟΚ και η εφαρμογή των διατάξεων του άρθρου 12 Ν.1650/86.

Όλες οι χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι υποχρεωμένες μέσω της Οδηγίας 99/31/ΕΕ για την υγειονομική ταφή, να μειώσουν τη συνολική κατά βάρος ποσότητα των αποβλήτων τους, που προορίζονται για χώρους υγειονομικής ταφής. Η οδηγία αυτή έχει ενσωματωθεί στην ελληνική νομοθεσία με την ΚΥΑ 19407/3508 (ΦΕΚ 1572/16-12-02) «Μέτρα και όροι για την υγειονομική ταφή των αποβλήτων».

Παρόλα αυτά, πολλοί ΟΤΑ στην Ελλάδα, αλλά και πολλές άλλες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης όπως η Αγγλία, έχουν δυσκολίες στην εφαρμογή της ευρωπαϊκής Οδηγίας και βασίζονται για τη διάθεση των στερεών αποβλήτων τους, που συνεχώς αυξάνονται, στην υγειονομική ταφή. Όμως, τα τελευταία χρόνια, υπάρχει μεγάλη πίεση για εφαρμογή εναλλακτικών τρόπων διαχείρισης των αστικών στερεών αποβλήτων, καθώς υπάρχουν προβλήματα στην χωροθέτηση νέων ΧΥΤΑ,

υπάρχει η αντίδραση του κόσμου αλλά και το αυξημένο οικονομικό κόστος των μεθόδων διαχείρισης ενός ΧΥΤΑ (Lasaridi and Stentiford, 2001).

Όσον αφορά στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, επικρατεί επίσης, η τάση της αποθάρρυνσης της διάθεσης των πράσινων απορριμμάτων σε ΧΥΤΑ (USEPA, 2001). Η νομοθεσία αποτέλεσε ισχυρό κίνητρο για αυτό καθώς το 1992, 11 πολιτείες των ΗΠΑ απαγόρευσαν την διάθεση των πράσινων απορριμμάτων σε ΧΥΤΑ. Την ίδια πολιτική ακολουθεί και ο Καναδάς. Αυτό οδήγησε σε αύξηση της κομποστοποίησης των απορριμμάτων των κήπων συχνά με ανάπτυξη προγραμμάτων κομποστοποίησης στο σπίτι. Σε πολλές χώρες τα πράσινα απορρίμματα συλλέγονται χωριστά είτε σε εθελοντική είτε σε υποχρεωτική βάση, ως πρακτική ελαχιστοποίησης του όγκου των οργανικών αποβλήτων.

2.3 Διαχείριση των πράσινων αποβλήτων στην Ελλάδα

Αρκετά χαρακτηριστικά που έχουν τα φύλλα, τα καθιστούν κατάλληλα για μεγάλης κλίμακας κομποστοποίηση, με χαμηλούς ρυθμούς αποσύνθεσης. Τα φύλλα υπάρχουν ως απόβλητα μόνο 2 μήνες το χρόνο και η μικροβιακή αποσύνθεση χρειάζεται σχεδόν 9 μήνες για έναν κύκλο κομποστοποίησης. Επιπρόσθετα είναι συνήθως συγκεντρωμένα στην πηγή, διευκολύνοντας έτσι την ανεξάρτητη διαχείριση τους (Finstain, 1992).

Στην Ελλάδα η διαχείριση των στερεών αποβλήτων έχει παρουσιάσει μια αξιοσημείωτη μεταβολή από τις αρχές της δεκαετίας του '90. Η συνολική παραγωγή στερεών αποβλήτων εκτιμάται στους 4.000.000 τόνους για το έτος 2000 (www.wrap.org.uk).

Το σύνολο σχεδόν των αποβλήτων διατίθεται με εδαφική διάθεση σε ΧΥΤΑ και χωματερές (46% και 40% αντιστοίχως). Όσον αφορά σε εναλλακτικούς τρόπους διαχείρισης υπάρχει μόνο ένα εργοστάσιο κομποστοποίησης-λιπασματοποίησης στην πόλη της Καλαμάτας του οποίου η δυναμικότητα είναι 31.500 τόνοι/χρόνο, ενώ δημιουργήθηκε πρόσφατα ένα δεύτερο εργοστάσιο μηχανικής ανακύκλωσης και λιπασματοποίησης στην Αθήνα στην περιοχή των Άνω Λιοσίων, του οποίου η ημερήσια δυναμικότητα είναι 1.200 τόνοι στερεών αποβλήτων από τα οποία εκτιμάται ότι θα παραχθούν 361 τόνοι κομπόστ, 353 τόνοι RDF (Refuse derived fuel), 40 τόνοι σιδηρομετάλλου και αλουμινίου, ενώ 333 τόνοι αποβλήτων θα οδηγηθούν σε ΧΥΤΑ. Σε αυτά θα προστεθούν 300 τόνοι λάσπης βιολογικού καθαρισμού της

Ψυττάλειας και 130 τόνοι πράσινων αποβλήτων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εισαγωγή 1000 τόνων ημερησίως οργανικών υλικών και την τελική παραγωγή 500 τόνων καθημερινά. Ωστόσο το εργοστάσιο της Καλαμάτας έχει διακόψει τη λειτουργία της κομποστοποίησης από τις αρχές του 2003, ενώ αυτό των Λιοσίων δεν έχει ακόμα λειτουργήσει σε πλήρη κλίμακα.

Σύμφωνα με τα στοιχεία που προκύπτουν από τον Εθνικό Σχεδιασμό για την διαχείριση των στερεών αποβλήτων στην Ελλάδα παράγονται 2,2 εκατομμύρια τόνοι οργανικών βιοαποδομήσιμων αποβλήτων το έτος. Σ' αυτά συμπεριλαμβάνονται και τα πράσινα απόβλητα καθώς δεν υπάρχουν συγκεντρωτικά στοιχεία για την παραγόμενη ποσότητάς τους. Ωστόσο τα στοιχεία από πρόσφατες μελέτες σε ορισμένους Δήμους είναι σε συμφωνία με τις τιμές της διεθνούς βιβλιογραφίας (Λαζαρίδη και Χαριτοπούλου, 2001). Ενδεικτικά :

Ο Δήμος Ν. Ερυθραίας (που αριθμεί 16.000 κατοίκους και μεγάλο ποσοστό κήπων) παράγει 905 τόνους πράσινων απορριμμάτων το έτος το οποίο αντιστοιχεί σε 56 κιλά /κάτοικο/έτος.

Ο Δήμος Χαλανδρίου (που αριθμεί 90.000 κατοίκους και μεσαίο ποσοστό κήπων) παράγει 4.000 τόνους πράσινων απορριμμάτων το έτος το οποίο αντιστοιχεί σε 45 κιλά /κάτοικο/έτος.

Με βάση τα στοιχεία της μέσης παραγωγής πράσινων απορριμμάτων από αντίστοιχες μελέτες και τις εκτιμήσεις με βάση το ποσοστό κάλυψης της Αττικής με δασικές εκτάσεις (~35 %) καθώς και την πεπερασμένη δυνατότητα διάθεσης στον ΧΥΤΑ των Α. Λιοσίων, η δυνατότητα αξιοποίησης των πράσινων απορριμμάτων δίνει μια νέα διάσταση στο θέμα της ολοκληρωμένης διαχείρισης των αστικών στερεών αποβλήτων. Λαμβάνοντας υπόψη τα προβλήματα που αντιμετωπίζει η Αττική με τις αποψιλωμένες δασικές εκτάσεις (Πεντέλη, Υμηττός, Ποικίλο Όρος), η δυνατότητα αξιοποίησης των πράσινων απορριμμάτων για την αποκατάσταση της βλάστησης διαφαίνεται ιδιαίτερα ελκυστική (Λαζαρίδη και Χαριτοπούλου, 2001). Εκτός από την Αττική, η νησιωτική Ελλάδα, με την έλλειψη γόνιμου εδάφους, μπορεί να ευεργετηθεί από την αξιοποίηση των πράσινων απορριμμάτων ως κύριο εδαφοβελτιωτικό προϊόν.

2.4 Διαχείριση των πράσινων απορριμμάτων στον κόσμο

Στα πλαίσια του ευρωπαϊκού ερευνητικού προγράμματος «RECOVEG», σχετικά με τις μεθόδους ανακύκλωσης φυτικών αποβλήτων, δίνονται πληροφορίες για την παραγωγή κομπόστ από διάφορα είδη οργανικών αποβλήτων στις χώρες της ευρωπαϊκής ένωσης. Στις βόρειες ευρωπαϊκές χώρες το κυρίαρχο είδος των αποβλήτων από φυτά προέρχεται κυρίως από κλαδέματα δέντρων, φύλλα και γρασίδι ενώ στις νότιες ευρωπαϊκές χώρες όπως η Ελλάδα και το Ισραήλ το κυρίαρχο είδος φυτικών αποβλήτων προέρχεται από ελιές, τα υπολείμματα της οινοποίησης και των βιομηχανιών επεξεργασίας φρούτων και λαχανικών. Σύμφωνα με τα στοιχεία που συγκεντρώθηκαν στην παραπάνω έρευνα, η ετήσια παραγωγή των υπολειμμάτων που προέρχονται από φυτά εμφανίζεται στον πίνακα 2.1 (www.hri.ac.uk/recoveg/poar.html):

Πίνακας 2.1 Ετήσια παραγωγή κομπόστ με βάση τα φυτά, από διάφορες χώρες της Ευρώπης.

Είδος υλικού	Χώρα	Τόνοι
Κομπόστ από υπολείμματα μανιταριών	Ηνωμένο Βασίλειο	157
	Ιρλανδία	273
	Ελλάδα	10
	Γαλλία	250
	Ισραήλ	15
Απόβλητα λαχανικών	Ηνωμένο Βασίλειο	173
	Ιρλανδία	2
Υπολείμματα θερμοκηπιακών καλλιιεργειών	Ιρλανδία	5
	Ισραήλ	29
Απόβλητα από την παραγωγή σταφυλιών	Ελλάδα	140
Φύλλα ελιάς	Ελλάδα	95

Σύμφωνα με τα στοιχεία που συλλέγει η Ευρωπαϊκή Ένωση, το ποσοστό των οργανικών αποβλήτων από υπολείμματα φαγητού και πράσινα απορρίμματα που μπορούν να κομποστοποιηθούν φαίνεται στον πίνακα 2.2 (Barth , 1999):

Πίνακας 2.2. Ποσοστά βιοαποδομήσιμων αστικών αποβλήτων (υπολείμματα κουζίνας και πράσινων απορριμμάτων) στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Χώρα	Ποσοστό βιοαποδομήσιμων αστικών αποβλήτων
Αυστρία	29% (1991)
Βέλγιο	48% (1996), 45% (1991)
Δανία	37% (1994)
Γαλλία	29% (1993)
Φιλανδία	35% (1998)
Γερμανία	32%(1992)
Ελλάδα	49% (1987-1993)
Ιρλανδία	29% (1995)
Ιταλία	32-35% (1999)
Λουξεμβούργο	44% (1994)
Ολλανδία	46% (1995)
Πορτογαλία	35% (1996)
Ισπανία	44% (1996)
Σουηδία	40% (1996)
Ηνωμένο Βασίλειο	22% (1997)
Μέσος όρος EU	32%

Η ποσότητα των οργανικών αποβλήτων που αφορά στις μεσογειακές χώρες καθορίζεται κυρίως από την ποσότητα των υπολειμμάτων φαγητού. Αντίθετα οι ποσότητες των οργανικών αποβλήτων στην Κεντρική Ευρώπη περιλαμβάνουν σημαντική ποσότητα πράσινων αποβλήτων τα οποία περιλαμβάνονται στα αστικά απόβλητα για αυτές τις χώρες (π.χ Βέλγιο, Λουξεμβούργο και Ολλανδία). Αυτό,

δηλώνει την διαφορά νοοτροπίας που επικρατεί ως προς τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων αλλά και τις διαφορές στον πολεοδομικό ιστό στις διάφορες χώρες της Ευρώπης.

Όσον αφορά στις ΗΠΑ το έτος 1991 συγκεντρώθηκαν σχεδόν 35 εκατομμύρια τόνοι πράσινων απορριμμάτων, μέγεθος που αντιπροσωπεύει το 18% του συνολικού ρεύματος των στερεών αστικών αποβλήτων. Το 1991 λειτουργούσαν 2.200 εγκαταστάσεις κομποστοποίησης πράσινων αποβλήτων (Goldstein and Glenn, 1992) οι οποίες συνολικά κομποστοποίησαν 4,2 εκατομμύρια τόνους πράσινων απορριμμάτων.

Σύμφωνα με τα στοιχεία του 1997 (USEPA, 1998) στις ΗΠΑ τα πράσινα απορρίμματα αποτελούν το δεύτερο σε μέγεθος ρεύμα απορριμμάτων μετά το χαρτί.

Το 1998 υπήρχαν 3.484 εγκαταστάσεις κομποστοποίησης για πράσινα απόβλητα στις Ηνωμένες Πολιτείες (Maynard and Hill, 2000). Δώδεκα πολιτείες είχαν 100 ή περισσότερες εγκαταστάσεις κομποστοποίησης πράσινων αποβλήτων. Μόνο η Νεβάδα και τα προάστια της Κολούμπια δεν είχαν καμία. Οι 1.836 από τις εγκαταστάσεις των παραπάνω πολιτειών κομποστοποίησαν περίπου 5.033.000 τόνους πράσινων απορριμμάτων (Glenn, 1998). Αν ληφθεί υπόψη το γεγονός της μείωσης του βάρους των απορριμμάτων, κατά 50%, στη διάρκεια της διαδικασίας τότε περίπου 4,8 εκατομμύρια τόνοι πράσινων αποβλήτων κομποστοποιήθηκαν το 1998 στις ΗΠΑ, στοιχείο που καθιστά τον συγκεκριμένο τύπο κομπόστ το πιο δημοφιλή (Maynard and Hill, 2000).

Το 1999 υπήρχαν 3.804 εγκαταστάσεις κομποστοποίησης πράσινων απορριμμάτων οι οποίες επεξεργάστηκαν 9.635.000 τόνους πράσινων απορριμμάτων. Η μέση τιμή ανάκτησης σε οργανικά και ξηρά ανακυκλώσιμα υλικά για όλη τη χώρα των ΗΠΑ ανήλθε το 1999 σε ποσοστό 33% (Goldstein and Madtes, 2000).

Στην Ευρώπη ορισμένοι Δήμοι έχουν πετύχει δείκτες ανάκτησης της τάξης του 60% οργανικά ξηρά ανακυκλώσιμα υλικά (Favoino and Ragazzi, 1998). Σε πιλοτικό πρόγραμμα που διεξήχθη στην Ιταλία σε 56 δήμους στην Λομβαρδία, επιτεύχθηκε μείωση των παραγόμενων αστικών στερεών αποβλήτων της τάξης του 16-23% με αντίστοιχη εφαρμογή συστήματος κομποστοποίησης στο σπίτι (Dette, 2000). Στη Γερμανία τα πράσινα απορρίμματα ανήλθαν σε 3,5 εκατομμύρια τόνους δηλαδή σε 58 κιλά το έτος ανά κάτοικο (Tabasaran, 1994).

Χώρες όπως η Γερμανία, το Βέλγιο, η Αυστρία, η Ελβετία, η Ολλανδία και η Σουηδία έχουν αναπτύξει μεγάλες μονάδες κομποστοποίησης και ειδικά συστήματα

πιστοποίησης της ποιότητας του κομπόστ (Amlinger, 2001). Το έτος 2000 στην Αυστρία συλλέγησαν 600.000 τόνοι βιοαποδομήσιμων αστικών αποβλήτων (BAA) συμπεριλαμβανομένων των πράσινων απορριμμάτων, τα οποία δέχτηκαν βιολογική επεξεργασία, ενώ εκτιμάται ότι 770.000 τόνοι BAA δεν εισήλθαν καν στο ρεύμα των συλλεγόμενων αποβλήτων λόγω της κομποστοποίησης στο σπίτι.

Ανάλογα με τον τρόπο διάθεσης των οργανικών τους αποβλήτων (βιοαποδομήσιμα οργανικά απόβλητα και πράσινα απορρίμματα), οι ευρωπαϊκές χώρες κατατάσσονται σε 4 κατηγορίες:

www.compostnetwork.info/biowaste/biowaste.html

- Η Αυστρία, το Βέλγιο, η Γερμανία, η Ελβετία, το Λουξεμβούργο, η Ιταλία, η Ισπανία (Καταλονία), η Σουηδία και η Ολλανδία ανήκουν στις πιο προχωρημένες χώρες οι οποίες ανακτούν το 80% των αποβλήτων τους κυρίως μέσω της κομποστοποίησης.
- Η Δανία, το Ηνωμένο Βασίλειο και η Νορβηγία σχηματίζουν τη δεύτερη κατηγορία. Αυτές οι χώρες έχουν αναπτύξει αρκετά τις πολιτικές διαχείρισης καθώς και οργανωτικά σχήματα για την κομποστοποίηση και την χωριστή συλλογή των αποβλήτων.
- Η Φιλανδία και η Γαλλία αποτελούν την τρίτη κατηγορία στην οποία ανήκουν οι χώρες που έχουν αναπτύξει κάποια στρατηγική για την ανάκτηση των αποβλήτων αλλά βρίσκονται ακόμη σε αρχικό στάδιο.
- Η Ελλάδα, η Πορτογαλία, η Ιρλανδία και η Ισπανία ανήκουν στην τέταρτη κατηγορία όπου εμφανίζονται μόνο μεμονωμένες προσπάθειες διαλογής στην πηγή των οργανικών αποβλήτων σε ορισμένες περιφέρειες, ενώ η προσπάθεια για κομποστοποίηση είναι ελάχιστη έως ανύπαρκτη.

Στη Γερμανία υπάρχουν εξειδικευμένα εργοστάσια κομποστοποίησης των πράσινων απορριμμάτων, τα οποία αποτελούν το 30% του συνόλου των μονάδων κομποστοποίησης, ενώ το υπόλοιπο 70% των εγκαταστάσεων κομποστοποίησης κομποστοποιεί υπολείμματα κουζίνας ή μίξη υπολειμμάτων κουζίνας με πράσινα απόβλητα (Gluneklee, 1997).

Οι 5 πρώτες χώρες στην Ευρώπη, ως προς την επεξεργασία και διάθεση των οργανικών αποβλήτων τους, τα οποία αποτελούνται κυρίως από χορτάρι, φρούτα και υπολείμματα κήπων είναι: η Αυστρία, το Βέλγιο, η Δανία, η Γερμανία και η

Ολλανδία. Οι χώρες αυτές έχουν αναπτύξει οργανωμένα συστήματα συλλογής στην πηγή (de Bertoldi, 1999).

Στη Μεγάλη Βρετανία το σύνολο σχεδόν των στερεών αστικών αποβλήτων αποτελούνται από πράσινα απόβλητα εξαιτίας του μεγάλου αριθμού των κήπων που υπάρχουν. Το 93% των στερεών αστικών αποβλήτων που κομποστοποιήθηκαν το 1999 ήταν πράσινα απόβλητα (Slater *et al.*, 2001). Τα πράσινα απόβλητα (που κομποστοποιήθηκαν το έτος 1999), από την κομποστοποίηση στο σπίτι, έφτασαν τους 447.044 τόνους, αυτά που συλλέχθηκαν στους κάδους έφτασαν τους 24.530 τόνους, τα πράσινα υπολείμματα των δημοσίων πάρκων και κήπων έφτασαν τους 107.762 τόνους, ενώ αυτά που προέρχονται από την αρχιτεκτονική και τη διαμόρφωση του τοπίου τους 21.438 τόνους (Slater *et al.*, 2001).

2.5 Πηγές – συλλογή πράσινων απορριμμάτων

Πράσινα απορρίμματα μπορούν να συλλεχθούν από διάφορα μέρη εντός μεγάλων αστικών κέντρων αλλά και στην περιφέρεια. Αυτά μπορεί να είναι τα δημόσια πάρκα και άλση μέσω της περιποίησης των δεντροστοιχιών και των παρτεριών των πόλεων, ιδιωτικοί κήποι, δρόμοι με δεντροστοιχίες (ξερά φύλλα), καλλιεργήσιμες εκτάσεις, καθαρισμός των αγρών από τα ζιζάνια, υπολείμματα καλλιεργειών, καθαρισμός του υπορόφου των δασών για λόγους αντιπυρικής προστασίας, τα χριστουγεννιάτικα δέντρα, κ.ά

Όταν οργανώνεται ένα πρόγραμμα συλλογής πράσινων απορριμμάτων, οι ιθύνοντες πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τους τη διάρκεια της περιόδου συλλογής, καθώς αυτή περιέχει μια εποχιακή παράμετρο. Το γρασίδι μπορεί να συλλεγεί από την άνοιξη μέχρι το φθινόπωρο (η μέση περίοδος ανάπτυξης του είναι 24-30 εβδομάδες), τα φύλλα συνήθως από τα μέσα Οκτωβρίου έως τον Δεκέμβρη, καθώς και την άνοιξη. Τα κλαδιά το φθινόπωρο και την άνοιξη ανάλογα βέβαια με την εποχή και το κλίμα της κάθε περιοχής.

Τα κλαδιά χρειάζεται να γίνουν μικρότερα τεμάχια πριν τοποθετηθούν για κομποστοποίηση, καθώς αποσυντίθενται πιο αργά. Τα φύλλα μπορούν να κομποστοποιηθούν μαζί με γρασίδι, καθώς το τελευταίο περιέχει υψηλά ποσοστά αζώτου τα οποία μπορούν να επιταχύνουν την διαδικασία της κομποστοποίησης (EPA, 1994).

Οι κύριοι τρόποι συλλογής όπως δείχνει η εμπειρία χωρών, όπως οι ΗΠΑ, σε οργανωμένα προγράμματα, είναι συνήθως δύο (EPA, 1994): Είτε υπάρχουν ειδικές περιοχές απόθεσης όπου οι κάτοικοι μπορούν να μεταφέρουν με δικά τους μέσα τα πράσινα απορρίμματα τους, μέθοδος η οποία δεν απαιτεί αξιόλογα επενδυτικά ποσά για τοποθέτηση ειδικών κάδων συλλογής και προσωπικού, είτε χρησιμοποιούνται κάδοι συλλογής. Σε πολλές πολιτείες των ΗΠΑ οι κάτοικοι ενημερώνονται για τη δυνατότητα κομποστοποίησης στο σπίτι, ενώ τους παρέχονται φυλλάδια, ενημερωτικό υλικό καθώς και απλά κιβώτια κομποστοποίησης, ως κίνητρα με σκοπό να την ακολουθήσουν.

Κεφάλαιο 3. Αρχές και συστήματα κομποστοποίησης

3.1 Τι είναι η κομποστοποίηση

Τα τελευταία χρόνια η κομποστοποίηση δείχνει να βρίσκεται στο επίκεντρο του παγκόσμιου ενδιαφέροντος, καθώς γίνεται προσπάθεια για μείωση της ποσότητας των παραγόμενων αποβλήτων με αποτέλεσμα οι κοινωνίες να στρέφονται προς εναλλακτικές μεθόδους διαχείρισης αυτών.

Η λέξη κομπόστ προέρχεται από τη λατινική λέξη «COMPOSITUM» που σημαίνει επισυνάπτω, συνθέτω, συσσωρεύω. Τα φύλλα ή η κοπριά αποτελούν ένα σύνολο από διάφορες οργανικές ουσίες βιολογικά ενωμένες σε μια αρμονική ισορροπία, όπως αναφέρει και ο αρχαίος έλληνας φιλόσοφος Ηράκλειτος. (Άλκιμος., 2000).

Κατά την κομποστοποίηση επιτυγχάνεται βιολογική μετατροπή των οργανικών αποβλήτων σε προϊόντα τα οποία βελτιώνουν το έδαφος και προσφέρουν θρεπτικά συστατικά για τα φυτά. Το οργανικό υλικό μετατρέπεται σε διοξείδιο του άνθρακα, χούμο και ενέργεια σε μορφή θερμότητας από τη δράση των μικροοργανισμών. Τα κύρια συστατικά του οργανικού υλικού είναι οι υδατάνθρακες, οι πρωτεΐνες, τα λιπίδια, η κυτταρίνη και η λιγνίνη. Η ικανότητα των μικροοργανισμών να αφομοιώσουν το οργανικό υλικό εξαρτάται από το αν μπορούν να παράγουν τα ένζυμα που χρειάζονται κάθε φορά για την αποσύνθεση του υποστρώματος (Tuomela *et al.*, 2000).

Η κομποστοποίηση έχει τη δυνατότητα να συμβάλλει στην αντιμετώπιση των προβλημάτων της διαχείρισης των αποβλήτων και της υποβάθμισης της ποιότητας του εδάφους, για τον αειφορικό κύκλο της οργανικής ύλης (Λαζαρίδη και Χαριτοπούλου, 2001). Αποτελεί μια μικροβιακή διαδικασία αποσύνθεσης (Miller 1996). Η χαμηλή θερμική αγωγιμότητα του υποστρώματος κάνει αυτά τα συστήματα, όταν συσσωρεύεται σημαντική ποσότητα υλικών, να συγκρατούν τη θερμότητα που απελευθερώνεται εξαιτίας μεταβολικών διεργασιών. Η συσσώρευση της θερμότητας οδηγεί σε μια χαρακτηριστική αύξηση της θερμοκρασίας. Οι υψηλές θερμοκρασίες τείνουν να αυξάνουν το ρυθμό της μικροβιακής μεταβολικής δραστηριότητας μέχρι τη στιγμή που θα φτάσουν σε ανασταλτικές, πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Η πρακτική του αερισμού του σωρού του κομπόστ έχει εκτός από τη διατήρηση των αερόβιων

συνθηκών και αυτό το σκοπό, δηλαδή τη μείωση των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται, καθώς απελευθερώνει την συσσωρευμένη θερμότητα.

Η κομποστοποίηση είναι μια πολύπλοκη αερόβια μικροβιακή διεργασία. Για να περιγραφεί ακριβώς απαιτούνται πληροφορίες από πολλές επιστήμες όπως βακτηριολογία, μυκητολογία, παθολογία φυτών, εδαφολογία, γεωπονία, μηχανική και μικροβιακή οικολογία.

Δεν υπάρχει ένας γενικά αποδεκτός ορισμός για την κομποστοποίηση (Haug, 1993). Ένας από τους ευρύτερα αποδεκτούς ορισμούς είναι ότι πρόκειται για μια βιολογική αποσύνθεση και σταθεροποίηση των οργανικών ουσιών κάτω από συνθήκες που επιτρέπουν την ανάπτυξη των θερμοφίλων οργανισμών ως αποτέλεσμα της βιολογικά παραγόμενης θερμότητας, έτσι ώστε να παραχθεί ένα προϊόν σταθερό, χωρίς παθογόνα, το οποίο μπορεί να έχει ευεργετικά αποτελέσματα στο έδαφος. Τα κύρια προϊόντα του βιολογικού μεταβολισμού είναι το διοξείδιο του άνθρακα, το νερό και η θερμότητα.

Μικροβιακή δραστηριότητα

Φρέσκο οργανικό υλικό + O₂ → σταθεροποιημένο οργανικό υλικό + CO₂ + H₂O + θερμότητα

Σύμφωνα με την Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (Environmental Protection Agency, 1994) η κομποστοποίηση είναι ένα είδος ανακύκλωσης, η οποία μπορεί να μειώσει την ποσότητα των στερεών αποβλήτων που προωθούνται προς τις χωματερές ή τους χώρους καύσης, ενώ παράλληλα παράγει ένα αξιόλογο προϊόν το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βελτιωτικό εδάφους ή χούμο.

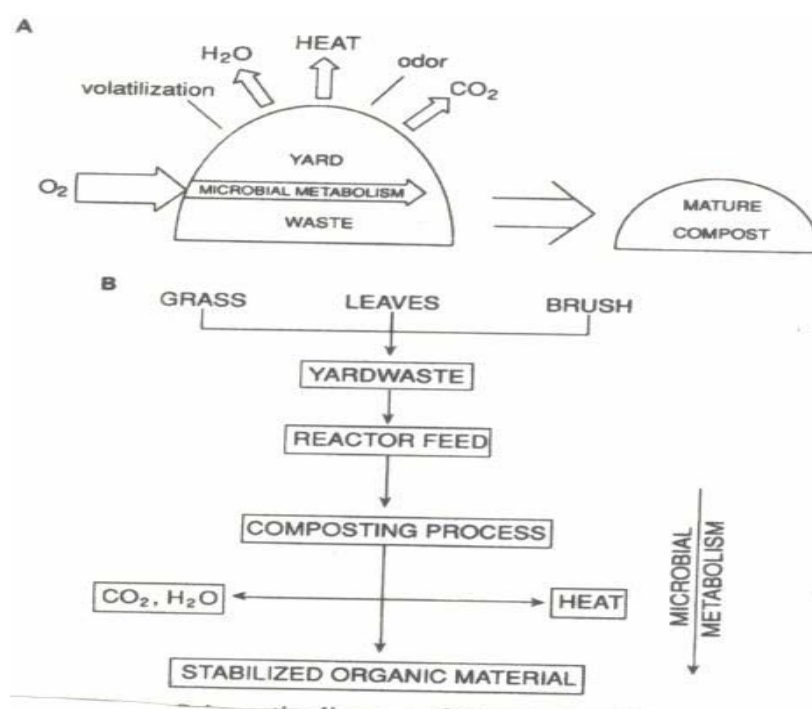
Η κομποστοποίηση στην ουσία της είναι μια φυσική διεργασία, που αρχίζει ιστορικά με την εμφάνιση των πρώτων φυτών στη γη και συνεχίζεται μέχρι σήμερα. Όταν η βλάστηση πέφτει στο έδαφος αποσυντίθεται με αργούς ρυθμούς, παρέχοντας του θρεπτικά συστατικά και μέταλλα, τα οποία χρησιμοποιούν τα φυτά και οι μικροοργανισμοί.

Η διεργασία της κομποστοποίησης μπορεί να θεωρηθεί ως ένα μικρό οικοσύστημα το οποίο κατά τα αρχικά στάδια ακολουθεί τη στρατηγική της γρήγορης ανάπτυξης, όταν προσωρινά οι πηγές τροφής για τους μικροοργανισμούς είναι

άφθονες, ενώ στη συνέχεια προχωρά προς τη στρατηγική της αργής ανάπτυξης όταν οι μικροοργανισμοί πρέπει να διασπάσουν (μέσω των ενζύμων) τα δύσκολα αφομοιώσιμα θρεπτικά συστατικά (Atlas and Bartha, 1981)

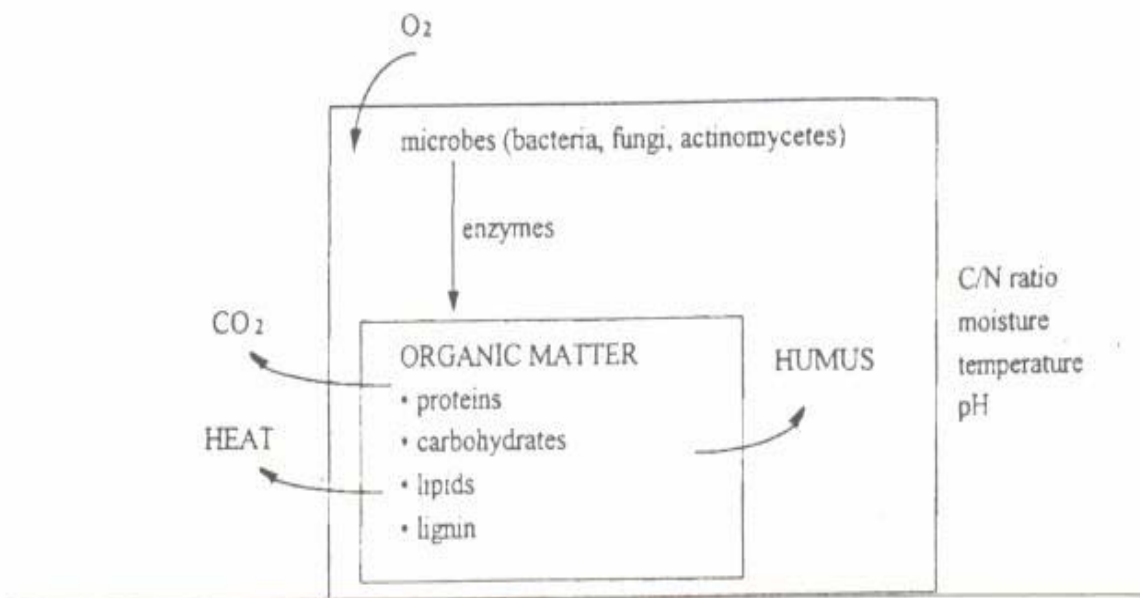
Όμως μιλώντας για κομποστοποίηση σήμερα αναφερόμαστε συνήθως σε μια *ελεγχόμενη* αποσύνθεση οργανικών ουσιών από τους μικροοργανισμούς (κυρίως βακτήρια και μύκητες) και τη μετατροπή τους σε ένα σταθερό υλικό το οποίο έχει σκούρο καφέ ή μαύρο χρώμα και έχει μια οσμή βρεγμένης γης. Το ότι η διαδικασία αυτή της κομποστοποίησης χαρακτηρίζεται ως ελεγχόμενη είναι γιατί την διαχειρίζεται ο άνθρωπος, ανάλογα με το στόχο του, για επιτάχυνση της αποσύνθεσης καθώς και για ελαχιστοποίηση κάθε περιβαλλοντικής όχλησης ή προβλήματος.

Για την καλύτερη κατανόηση της διεργασίας της κομποστοποίησης πράσινων απορριμμάτων παρατίθεται το παρακάτω σχηματικό διάγραμμα 3.1 (Fogarty and Tuoniven, 1991) στο οποίο φαίνεται σχηματικά η διαδικασία της κομποστοποίησης καθώς και ένα διάγραμμα ροής για την κομποστοποίηση των πράσινων απορριμμάτων (Διάγραμμα 3.2).



Διάγραμμα 3.1. Σχηματική απεικόνιση της διαδικασίας της κομποστοποίησης των πράσινων απορριμμάτων.

Στο διάγραμμα 3.2 που ακολουθεί (Tuomela *et al.*, 2000) απεικονίζεται ο κύκλος της δραστηριότητας των μικροοργανισμών που αναπτύσσονται στο οργανικό υλικό, οι οποίοι μέσω των ενζύμων τους, το μετατρέπουν σε διοξείδιο του άνθρακα, θερμότητα μέσω της μεταβολικής τους δραστηριότητας και χούμο.



Διάγραμμα 3.2. Σχηματική απεικόνιση του κύκλου δραστηριότητας των μικροοργανισμών σε οργανικό υλικό.

3.2 Εγκαταστάσεις και συστήματα κομποστοποίησης

3.2.1 Ολοκληρωμένες εγκαταστάσεις κομποστοποίησης

Η ολοκληρωμένη μέθοδος κομποστοποίησης (CMC) στοχεύει στη δυνατότητα μετατροπής με τον κατάλληλο χειρισμό ρυπογόνων οργανικών υπολειμμάτων σε οργανική ουσία υψηλών προδιαγραφών (Κανακόπουλος, 2001). Είναι μια βιολογική διαδικασία κατά την οποία οι ενεργοί παράγοντες είναι μικροοργανισμοί όπως βακτήρια μύκητες και πρωτόζωα. Επομένως, η επιτυχής έκβαση της διαδικασίας εξαρτάται από την παρουσία των απαραίτητων μικροοργανισμών – κατά προτίμηση αυτόχθονων – και από την παρουσία των κατάλληλων συνθηκών οι οποίες συμβάλλουν στη μικροβιακή δραστηριότητα και τον πολλαπλασιασμό τους. Το τελευταίο επιδιώκει να εξασφαλίσει ο εξοπλισμός μια εγκατάστασης κομποστοποίησης (αναστροφέας, υλικό κάλυψης σωρών, κόσκινα και όργανα μετρήσεων).

Μια μονάδα κομποστοποίησης θα πρέπει να μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε ως σύστημα διαχείρισης αποβλήτων είτε ως σύστημα παραγωγής προϊόντος για την αποκατάσταση της γονιμότητας του εδάφους, είτε και τα δύο μαζί.

Στόχος μιας μονάδας κομποστοποίησης είναι η παραγωγή προϊόντων κομπόστ που θα είναι κατάλληλα για την προκαθορισμένη τους χρήση, όπως και η βιωσιμότητα της μονάδας (Κανακόπουλος, 2001).

3.2.1 Συστήματα κομποστοποίησης

Σύμφωνα με τον Haug (1993) η πιο βασική διάκριση μεταξύ των συστημάτων κομποστοποίησης είναι το αν το υλικό περιέχεται σε ένα αντιδραστήρα ή όχι.

Τα συστήματα που χρησιμοποιούν αντιδραστήρα είναι τα κλειστά συστήματα, ενώ αυτά που δεν χρησιμοποιούν είναι τα ανοιχτά συστήματα. Υπάρχουν και τα μικτά συστήματα στα οποία γίνεται συνδυασμός των ανοιχτών και κλειστών συστημάτων:

Μια αδρομερής ταξινόμηση είναι η παρακάτω (Szmidsz and Fox 2001; Lasaridi 1998; Stentiford 1993; Haug 1993):

A. Ανοιχτά συστήματα (Open systems)

B. Κλειστά συστήματα (Reactor or enclosed systems or container composting, or mechanical systems)

Γ. Μικτά συστήματα

► **Τα ανοιχτά συστήματα**, ανάλογα με το σύστημα αερισμού του υποστρώματος τους, χωρίζονται σε:

- στατικά συστήματα με δυναμικές συνθήκες αερισμού (aerated static piles) και
- αναδεδόμενα συστήματα χωρίς δυναμικό αερισμό (windrows)
- μικτά συστήματα

Στα στατικά συστήματα με δυναμικές συνθήκες αερισμού, δεν χρησιμοποιείται καμία μέθοδος ανάδευσης ή αναστροφής του υλικού. Ο αερισμός του υποστρώματος γίνεται ή με εμφύσηση αέρα ή με αναρρόφηση αέρα. Ο χρόνος παραμονής εξαρτάται από τη σύσταση του υποστρώματος αλλά και από την ένταση του αερισμού του. Συνήθως όμως απαιτείται χρόνος 7-8 εβδομάδων.

Στα αναδεδόμενα συστήματα χωρίς δυναμικό αερισμό, πραγματοποιείται τακτική ανάδευση του υποστρώματος, συνήθως με μηχανικό εξοπλισμό. Το οξυγόνο παρέχεται αρχικά από φυσικό αερισμό σαν αποτέλεσμα της ανοδικής κίνησης του θερμού αέρα από το εσωτερικό του σειραδίου και αντικατάστασής του με ψυχρότερο από τα πλάγια του σωρού (φαινόμενο καμινάδας), αλλά και από την ανταλλαγή των αερίων κατά τη διάρκεια της αναστροφής (Haug, 1980). Ο χρόνος παραμονής ανάλογα με τη σύσταση των αποβλήτων κυμαίνεται από 2 έως 6 μήνες. Χρησιμοποιείται για μεγάλο εύρος ποικιλίας οργανικών αποβλήτων και αποτελεί μια χαμηλή σε κόστος μέθοδο.

Τα μικτά συστήματα αποτελούν συνδυασμό των δύο προηγούμενων συστημάτων.

► **Τα κλειστά συστήματα** ταξινομούνται, ανάλογα με τον τρόπο που τα απόβλητα μεταφέρονται στον αντιδραστήρα, σε κάθετους και οριζόντιους αντιδραστήρες, με αερισμό ή ανάδευση του υλικού (Haug, 1993).

Σ' αυτά τα συστήματα το υλικό κομποστοποιείται υπό πλήρως ελεγχόμενες συνθήκες αερισμού, θερμοκρασίας και υγρασίας. Το πλεονέκτημά τους είναι ότι μπορούν να μειώσουν τις περιβαλλοντικές οχλήσεις, όπως για παράδειγμα τη δυσάρεστη οσμή.

Κλειστά συστήματα σπανίως χρησιμοποιούνται λόγω του κόστους λειτουργίας του εργοστασίου αλλά και της συντήρησής του, καθώς απαιτείται υψηλή τεχνολογία με μεγάλη πολυπλοκότητα, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια του ελέγχου της διεργασίας (de Bertoldi *et al.*, 1985).

Όσον αφορά στην κομποστοποίηση των πράσινων απορριμμάτων συνήθως χρησιμοποιούνται δύο μέθοδοι. Η μέθοδος με αναδευόμενα συστήματα χωρίς δυναμικό αερισμό (windrows) καθώς και η μέθοδος με στατικά συστήματα με δυναμικές συνθήκες αερισμού (aerated static piles) (Fogarty and Tuovinen, 1991).

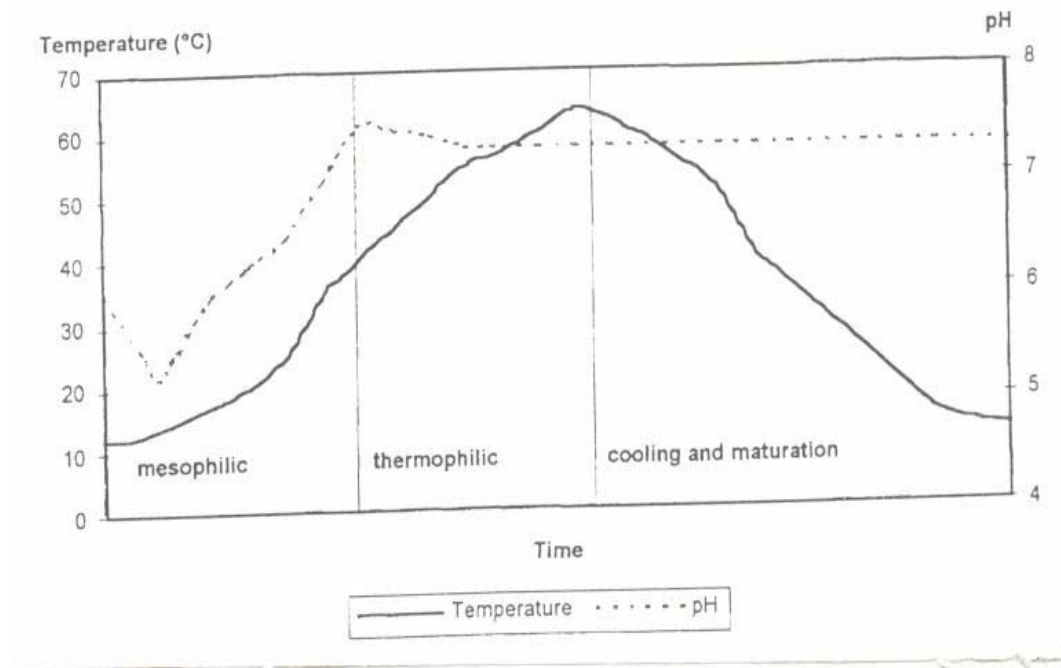
3.3 Βασικές αρχές της κομποστοποίησης

Η κομποστοποίηση συμβαίνει σε δύο κυρίως στάδια. Στο πρώτο στάδιο, οι μικροοργανισμοί αποσυνθέτουν τα οργανικά συστατικά των αποβλήτων σε απλούστερες ενώσεις, παράγοντας θερμότητα ως αποτέλεσμα της μεταβολικής δραστηριότητας. Το μέγεθος του σωρού μειώνεται στο στάδιο αυτό. Στο δεύτερο στάδιο έχουμε την ωρίμανση του υλικού και την παραγωγή κομπόστ. Οι μικροοργανισμοί εξαντλούν το απόθεμα των διαθέσιμων θρεπτικών του κομπόστ και επιβραδύνεται η δραστηριότητά τους. Σαν αποτέλεσμα η θερμότητα σταδιακά μειώνεται και το κομπόστ γίνεται ξηρό και εύθρυπτο ως προς την υφή του. Όταν το στάδιο αυτό ολοκληρώνεται τότε το κομπόστ θεωρείται σταθεροποιημένο ή ώριμο. Οποιαδήποτε μικροβιακή αποσύνθεση συμβαίνει πλέον σε πολύ αργούς ρυθμούς (EPA, 1994).

Η οργανική ύλη μπορεί να χωριστεί ανάλογα με το πόσο εύκολα βιοαποδομείται, σε τρεις κατηγορίες (Bardos and Lopez ,1989) :

- Στα εύκολα αποικοδομήσιμα οργανικά υλικά (σάκχαρα, πηκτίνες, λιπαρά οξέα, νουκλεϊκά οξέα, πρωτεΐνες).
- Στις οργανικές ουσίες που έχουν πιο αργό ρυθμό διάσπασης, όπως η χιτίνη η κυτταρίνη, η ημικυτταρίνη και οι μικρού μοριακού βάρους αρωματικές και αλειφατικές οργανικές ενώσεις
- Στις ανθεκτικές ως προς την αποδόμησή τους οργανικές ουσίες, όπως η λίνγίνη.

Η κομποστοποίηση μπορεί να χωριστεί σε τέσσερις μικροβιολογικά σημαντικές φάσεις, οι οποίες καθορίζονται από την θερμοκρασία που αναπτύσσεται (Fogarty and Tuovinen, 1991):



Διάγραμμα 3.3. Τα κυριότερα στάδια κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης (Fogarty and Tuovinen, 1991)

- A. Η μεσόφιλη φάση
- B. Η θερμόφιλη φάση
- C. Η φάση της πτώσης της θερμοκρασίας
- D. Η φάση της ωρίμανσης

Η διεργασία της κομποστοποίησης αρχίζει με τη μικροβιολογική αποσύνθεση του οργανικού υλικού στο μεσόφιλο εύρος θερμοκρασιών. Με την έντονη αναπνευστική δραστηριότητα η θερμοκρασία αυξάνεται σε τέτοιο επίπεδο που είναι απαγορευτικό για την δραστηριότητα των μεσόφιλων οργανισμών, αλλά κατάλληλο για τους θερμόφιλους οργανισμούς, τα θερμόφιλα βακτήρια. Αυτή η αλλαγή συνδέεται και με μία μείωση της ποικιλότητας των ειδών.

Στο τρίτο στάδιο, όπου η θερμοκρασία σταδιακά πέφτει, επειδή ο διαθέσιμος οργανικός άνθρακας γίνεται περιοριστικός παράγοντας για την μικροβιακή δραστηριότητα, ο ρόλος των μεσόφιλων οργανισμών γίνεται σημαντικός ξανά αλλά εμφανίζονται και οι μύκητες, που εξαιτίας του σχηματισμού σπορίων μπορούν να αντέξουν τις ακραίες θερμοκρασίες μαζί με τα χαμηλά επίπεδα της

υγρασίας αλλά και εξαιτίας της ικανότητάς τους να χρησιμοποιούν τη λιγνίνη και τα κεριά (Fogarty and Tuovinen, 1991). Η νέα εισβολή των βακτηρίων περιλαμβάνει και τους ακτινομύκητες, οι οποίοι προσδίδουν στο ώριμο κομπόστ τη χαρακτηριστική οσμή βρεγμένης γης.

3.4 Ο ρόλος των μικροοργανισμών

Οι μικροοργανισμοί κατέχουν πρωτεύοντα ρόλο στην διεργασία της κομποστοποίησης καθώς συμμετέχουν ενεργά στον κύκλο του άνθρακα και του αζώτου.

Κατά την αποσύνθεση του οργανικού υλικού, ο άνθρακας ενσωματώνεται στην βιομάζα των μικροοργανισμών που συμμετέχουν στην αποσύνθεση, σε ανηγμένη μορφή. Στη συνέχεια με την οξείδωσή των οργανικών ενώσεων οδηγούμαστε στην παραγωγή CO₂. Πολλές ενώσεις είναι εύκολα αποικοδομήσιμες ενώ άλλες είναι περισσότερο ανθεκτικές, όπως η λιγνίνη, οι πολυφαινόλες, τα καροτενοϊδή και τα κεριά.

Πολλά είδη μικροοργανισμών εμπλέκονται στον κύκλο του αζώτου. Κατά την αποσύνθεση του οργανικού υλικού απελευθερώνεται το άζωτο σε ανηγμένη μορφή, που εμπεριέχεται στις πρωτεΐνες, στα αμινοξέα και άλλες αζωτούχες οργανικές ενώσεις και παράγεται αμμωνία (αμμωνιοποίηση). Στη συνέχεια μέσω των χημειολιθότροφων βακτηρίων (*Nitrosomonas sp.*, *Nitrobacter* κ.ά) η αμμωνία οξειδώνεται σε νιτρώδη ιόντα και τα νιτρώδη σε νιτρικά ιόντα (νιτροποίηση).

Η κομποστοποίηση είναι μια διαδοχή μικροβιακών δραστηριοτήτων, κατά τις οποίες το περιβάλλον που δημιουργείται από μια ομάδα μικροοργανισμών ενθαρρύνει τη δραστηριότητα των ομάδων που τους διαδέχονται. Διαφορετικά είδη μικροοργανισμών είναι ενεργά σε διαφορετικές στιγμές στο σωρό του κομπόστ. Τα βακτήρια έχουν τη μεγαλύτερη επίδραση στη διαδικασία της αποσύνθεσης και είναι τα πρώτα που αναλαμβάνουν δράση στο σωρό, χρησιμοποιώντας γρήγορα τα εύκολα αφομοιώσιμα θρεπτικά συστατικά της αποσύνθεσης (πρωτεΐνες, υδατάνθρακες και σάκχαρα), γρηγορότερα από κάθε άλλο τύπο μικροοργανισμών.

Στο πρώτο στάδιο της κομποστοποίησης, όπου οι θερμοκρασίες αυξάνονται από το επίπεδο των θερμοκρασιών του περιβάλλοντος προς το θερμοφίλο επίπεδο, κυριαρχούν τα μεσόφιλα βακτήρια τα οποία πολλαπλασιάζονται γρήγορα, καθώς

χρησιμοποιούν τις απλές διαθέσιμες οργανικές ενώσεις. Όταν η θερμοκρασία φτάσει τους 45 °C οι μεσόφιλοι πληθυσμοί πεθαίνουν και κυριαρχούν τα θερμοφιλα βακτήρια όπως το γένος *Bacillus* (Miller, 1996).

Οι ακτινομύκητες και οι μύκητες δεν μπορούν να αντέξουν τόσο υψηλές θερμοκρασίες όσο τα θερμοφιλα βακτήρια, γι' αυτό απουσιάζουν από το στάδιο αυτό.

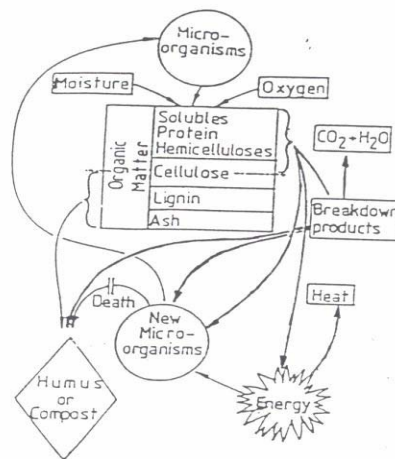
Οι μύκητες οι οποίοι συναγωνίζονται με τα βακτήρια για την διαθέσιμη τροφή, παίζουν ένα σημαντικό ρόλο στη διαδικασία της κομποστοποίησης καθώς ο σωρός γίνεται ξηρότερος, αφού οι μύκητες είναι ικανοί να ανεχθούν περιβάλλοντα με χαμηλά ποσοστά υγρασίας καλύτερα από ότι τα βακτήρια. Οι μύκητες έχουν την ικανότητα να διασπούν τις σύνθετες ενώσεις κάτω από κανονικές έως μέτριες θερμοκρασίες, όχι όμως και τις πολύ υψηλές. Κάποιοι τύποι μυκήτων έχουν χαμηλότερες απαιτήσεις σε άζωτο από ότι τα βακτήρια και είναι ικανοί να αποσυνθέσουν τις κυτταρίνες, τις οποίες τα βακτήρια δεν μπορούν να διασπάσουν. Τα πιο κοινά γένη μυκήτων είναι αυτά των *Penicillium* και *Aspergillus*.

Τα βακτήρια και οι μύκητες που συμμετέχουν στην αποσύνθεση του υλικού μπορούν να ταξινομηθούν ως μεσόφιλοι και θερμοφιλοι.

Οι μεσόφιλοι είναι αυτοί που αναπτύσσονται καλύτερα σε θερμοκρασίες μεταξύ 25 και 45 °C και κυριαρχούν κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης στα αρχικά στάδια της διεργασίας, όταν οι θερμοκρασίες είναι σχετικά χαμηλές. Οι οργανισμοί αυτοί χρησιμοποιούν το διαθέσιμο οξυγόνο για να μετατρέψουν τον οργανικό άνθρακα του υποστρώματος, σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό, παράγοντας ενέργεια καθώς οι μικροοργανισμοί μεταβολίζουν τα απόβλητα. Όσο ο σωρός είναι σε κάποιο ικανοποιητικό μέγεθος για να απομονώσει τα εσωτερικά στρώματα του από τις θερμοκρασίες του περιβάλλοντος και δεν υπάρχει τεχνητός αερισμός ή γυρίσματα του σωρού, η θερμότητα παγιδεύεται στο εσωτερικό του και έτσι στα μονωμένα εσωτερικά στρώματα οι θερμοκρασίες θα αυξηθούν πάνω από τα όρια ανοχής των μεσόφιλων οργανισμών.

Σ' αυτό το σημείο, ενεργοποιούνται οι θερμοφιλοι οργανισμοί οι οποίοι προτιμούν θερμοκρασίες μεταξύ 45 °C και 70 °C και παράγουν ακόμα μεγαλύτερες ποσότητες θερμότητας από ότι οι μεσόφιλοι, έτσι ώστε η θερμοκρασία που παρατηρείται αρκεί για να σκοτώσει τα περισσότερα παθογόνα και ζιζάνια. Όσο υπάρχουν πηγές θρεπτικών και ενέργειας οι μικροοργανισμοί συνεχίζουν η δράση της αποδόμησης του υποστρώματος. Όταν όμως αρχίζουν να εξαντλούνται, οι θερμοφιλοι οργανισμοί πεθαίνουν και η θερμοκρασία του σωρού πέφτει. Έτσι οι μεσόφιλοι

οργανισμοί κυριαρχούν και πάλι μέχρι τη στιγμή που θα έχουν χρησιμοποιηθεί όλες οι διαθέσιμες πηγές ενέργειας (Gray *et al.*, 1971)



Διάγραμμα 3.4. Σχηματική απεικόνιση της διαδικασίας της κομποστοποίησης (Biddlestone and Gray, 1987).

Σταδιακά, οι πληθυσμοί των ακτινομυκήτων αυξάνονται όσο η θερμοκρασία πέφτει και οι εναπομένουσες πιο πολύπλοκες ενώσεις μπορούν να διασπασθούν από εξωκυτταρικά ένζυμα. Οι ακτινομύκητες προτιμούν συνήθως τη χαμηλή υγρασία, τις έντονα αερόβιες συνθήκες και το ουδέτερο έως ελαφρά αλκαλικό pH. Τα γένη των ακτινομυκήτων που έχουν ταυτοποιηθεί σε κομπόστ είναι *Streptomyces* sp., *Thermomonospora* sp., *Thermoactinomyces vulgaris*.

Ο πληθυσμός των ακτινομυκήτων ορισμένες φορές είναι τόσο μεγάλος ώστε γίνονται ορατοί στην επιφάνεια του κομπόστ (ελαφρώς ωχροκίτρινο χρώμα), (Tuomela *et al.*, 2000).

Καθώς η θερμοκρασία πέφτει κάτω από τους 35 °C, οι ενώσεις που δεν έχουν ήδη διασπασθεί εμφανίζουν μια αντοχή στην αποσύνθεση, ενώ κυριαρχούν οι μύκητες με την ικανότητά τους, μέσω των ενζύμων, να αποικοδομούν τις πιο δύσκολες ενώσεις. Η συνολική μικροβιακή δραστηριότητα μειώνεται σταδιακά με πολύ αργούς ρυθμούς όταν οι ενώσεις που απομένουν είναι ανθεκτικές στην αποσύνθεση.

Γενικά, η ποικιλότητα των ειδών των οργανισμών στο θερμόφιλο στάδιο της κομποστοποίησης μειώνεται έντονα σε θερμοκρασίες πάνω από 60 °C (Strom, 1985). Επίσης όταν η θερμοκρασία υπερβεί τους 60 °C και η μικροβιακή δραστηριότητα μειώνεται δραματικά (Strom, 1985; Mckinley and Vestal, 1985). Σύμφωνα με τον Stentiford (1996) σε θερμοκρασίες 45-55 °C μεγιστοποιείται ο ρυθμός βιοαποδόμησης, σε θερμοκρασίες 35-40 °C μεγιστοποιείται η μικροβιακή ποικιλότητα, ενώ θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 55 °C συμβάλλουν στην εξυγίανση του υποστρώματος καθώς σκοτώνονται οι παθογόνοι μικροοργανισμοί.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η μικροβιακή δραστηριότητα επηρεάζεται από τα επίπεδα του οξυγόνου στους μικροπόρους του υλικού, το μέγεθος των τεμαχίων του υλικού του σωρού, τα θρεπτικά συστατικά, την αναλογία C/N, την περιεχόμενη υγρασία, τη θερμοκρασία και το pH.

3.5 Ο ρόλος των περιβαλλοντικών παραμέτρων

Η διαδικασία της κομποστοποίησης επηρεάζεται ιδιαίτερα από περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως είναι ο αερισμός του υλικού, η συγκέντρωση του οξυγόνου, η θερμοκρασία, το ποσοστό υγρασίας, το pH αλλά και από την παρουσία θρεπτικών συστατικών και το μέγεθος των τεμαχιδίων .

Όσον αφορά στο μέγεθος των τεμαχιδίων του οργανικού υλικού, τα μικρότερα τεμάχια έχουν μεγαλύτερη αναλογία επιφάνειας προς όγκο, έτσι ώστε περισσότερα επιφανειακά μέρη εκτίθενται άμεσα στην μικροβιακή δράση και αποσύνθεση. Τα μικρότερα τεμάχια στο σωρό του κομπόστ έχουν σαν αποτέλεσμα την ομογενοποίηση και την βελτίωση της μόνωσης του μείγματος (Gray *et al.*, 1971 b), η οποία συνεισφέρει στη διατήρηση των υψηλότερων θερμοκρασιών στο σωρό του κομπόστ.

Όταν όμως τα τεμάχια του υλικού είναι πάρα πολύ μικρά, επιδρούν αρνητικά στη διεργασία, καθώς συμπιέζονται αφήνοντας πολύ λίγο κενό χώρο με αποτέλεσμα να μειώνεται η διάχυση του οξυγόνου μέσα στο σωρό, καθώς και αυτή του διοξειδίου του άνθρακα έξω από το σωρό, εμποδίζοντας έτσι την μικροβιακή δραστηριότητα (Haug, 1993).

3.5.1 Οξυγόνο-Αερισμός

Η σημασία της παρουσίας του οξυγόνου κατά τη διάρκεια της διεργασίας της κομποστοποίησης είναι εύκολο να αναγνωριστεί καθώς πρόκειται για μια αερόβια διεργασία και οι μικροοργανισμοί που δρουν χρειάζονται οξυγόνο για την διάσπαση των οργανικών ουσιών. Γι 'αυτό το λόγο πρέπει στο σωρό να παρέχεται οξυγόνο είτε μέσω του γυρίσματος του υλικού είτε χρησιμοποιώντας δυναμικά συστήματα αερισμού.

Ο αερισμός έχει πολλές λειτουργίες κατά την διεργασία της κομποστοποίησης

- παρέχει οξυγόνο και βοηθά τον αερόβιο μεταβολισμό
- ελέγχει την θερμοκρασία

- απομακρύνει την υγρασία όπως και αέρια προϊόντα του μικροβιακού μεταβολισμού όπως το CO₂ και άλλα.

Είναι επίσης γνωστό ότι η συχνή ανάδευση του υλικού έχει επίδραση στις παραγόμενες οσμές αλλά και την βελτίωση του ρυθμού κομποστοποίησης (Defoer *et al.*, 2002). Όσο συχνότερες είναι οι αναστροφές, τόσο πιο ήπιες είναι οι εκπομπές οσμών καθώς αποτρέπεται η ανάπτυξη αναερόβιων συνθηκών. Έχει παρατηρηθεί επίσης, ότι οι εντονότερες οσμές εμφανίστηκαν τις πρώτες δέκα μέρες της κομποστοποίησης και αμέσως μετά την πραγματοποίηση κάθε γυρίσματος.

3.5.2 Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα για την εκτίμηση του ρυθμού της κομποστοποίησης καθώς είναι απόρροια της μικροβιακής βιολογικής δραστηριότητας. Για κάθε μικροβιακό πληθυσμό, οι ρυθμοί ανάπτυξης αυξάνουν με τη θερμοκρασία αλλά μειώνονται γρήγορα μετά την υπέρβαση του επιπέδου της άριστης θερμοκρασίας (Zwietring *et al.*, 1991).

Με βάση την εξέλιξη των θερμοκρασιών η διαδικασία της κομποστοποίησης μπορεί να χωριστεί σε τέσσερα στάδια: Το μεσόφιλο στο οποίο η θερμοκρασία έχει αυξητική τάση με τιμές έως 40-50 °C και εμφανίζεται κατά την αρχή της κομποστοποίησης, το θερμόφιλο, στο οποίο η θερμοκρασία φτάνει ή ξεπερνά τους 65 °C το οποίο ακολουθεί και το στάδιο της πτώσης της θερμοκρασίας και της ωρίμανσης το οποίο αρχίζει συνήθως μετά την 8-12^η εβδομάδα κομποστοποίησης (Hassen *et al.*, 2001).

Για γρήγορους ρυθμούς κομποστοποίησης οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες (>60 °C) καλό είναι να αποφεύγονται, καθώς εμποδίζουν την μικροβιακή δραστηριότητα ή και επιφέρουν το θάνατο σε αρκετούς τύπους μικροοργανισμών. Αν η θερμοκρασία του σωρού είναι κάτω από τους 20 °C, τότε η μικροβιακή δραστηριότητα είναι χαμηλή, ενώ όταν υπερβαίνει τους 20 °C αρχίζει να αυξάνεται, καθώς οι ρυθμοί της ενζυμικής δραστηριότητας διπλασιάζονται με την αύξηση της θερμοκρασίας ανά 10 °C (Atlas and Bartha, 1981).

3.5.3 Υγρασία

Όλοι οι μικροοργανισμοί χρειάζονται νερό για τις φυσιολογικές τους λειτουργίες ενώ η υγρασία είναι σημαντικός παράγοντας για την μεταφορά πολλών μικροβίων και τη διευκόλυνση του αποικισμού των αποβλήτων (Miller, 1989). Επίσης τα θρεπτικά συστατικά χρειάζεται να διαλυθούν στο νερό πριν την αφομοίωσή τους.

Σαν γενικός κανόνας ισχύει ότι, η βέλτιστη μικροβιακή δραστηριότητα επιτυγχάνεται με την μέγιστη περιεκτικότητα σε νερό, η οποία όμως δεν περιορίζει την διάχυση του οξυγόνου. Ανάλογα με το είδος των αποβλήτων, η μικροβιακή δραστηριότητα χρειάζεται ένα ποσοστό υγρασίας που κυμαίνεται από 40% – 70% (Haug 1993; Biddlestone & Gray, 1987). Ποσοστά υγρασίας κάτω από 35-40% αποτελούν περιοριστικό παράγοντα για την μικροβιακή δραστηριότητα (Stentiford, 2001).

3.5.4 pH.

Το pH μιας ουσίας είναι η μέτρηση της αλκαλικότητας ή οξύτητας της ανάλογα με την συγκέντρωση των ιόντων του υδρογόνου. Οι οργανικές ενώσεις που μπορούν να κομποστοποιηθούν έχουν pH από 3 έως 11 ενώ οι βέλτιστες τιμές βρίσκονται μεταξύ 5,5 και 8,0.

Τα βακτήρια προτιμούν τιμές pH μεταξύ 6,0 και 7,5 ενώ οι μύκητες 5,5 με 8,0 (Boyd,1984). Όταν οι τιμές του pH πέφτουν κάτω από 6,0 οι μικροοργανισμοί και ιδιαίτερα τα βακτήρια, πεθαίνουν με συνέπεια την καθυστέρηση της αποσύνθεσης. Όταν οι τιμές του pH αγγίζουν το 9, τότε το άζωτο μετατρέπεται σε αμμωνία και σ' αυτή τη μορφή δεν είναι διαθέσιμο στους μικροοργανισμούς (Rynk *et al.*, 1992).

Κατά τα αρχικά στάδια της κομποστοποίησης σχηματίζονται οργανικά οξέα και το υπόστρωμα γίνεται όξινο, με pH γύρω στην τιμή 5. Σ' αυτό το σημείο οι μύκητες που αντέχουν το όξινο περιβάλλον κατέχουν ένα σημαντικό ρόλο στην αποσύνθεση. Οι μικροοργανισμοί στη συνέχεια διασπούν τα οξέα και οι τιμές του pH αυξάνονται σταδιακά προς ένα ουδέτερο εύρος, γύρω στο 7, ή ακόμα υψηλότερα στο 8,5. Όσο η τιμή του pH αυξάνεται, τόσο αυξάνεται και ο ρόλος των βακτηρίων στην

κομποστοποίηση. Αν η τιμή του pH παραμείνει σε όξινα επίπεδα, αυτό σημαίνει ότι το κομπόστ δεν είναι ακόμα ώριμο.

3.5.5 Θρεπτικά συστατικά

Προκειμένου να γίνει σωστά η διεργασία της κομποστοποίησης, οι μικροοργανισμοί πρέπει να βρίσκουν τα απαραίτητα θρεπτικά στην κατάλληλη συγκέντρωση και αναλογία. Τα βασικά θρεπτικά συστατικά που χρειάζονται οι μικροοργανισμοί σε μεγάλες ποσότητες είναι ο άνθρακας (C), το άζωτο (N), ο φώσφορος (P), και το κάλιο (K).

Τον άνθρακα τον χρειάζονται ως βασική πηγή ενέργειας αλλά και για να συνθέσουν τις πρωτεΐνες σε συνδυασμό με το άζωτο, να σχηματίσουν τα κύτταρα και να εξασφαλίσουν την αναπαραγωγή τους. Το κάλιο και ο φώσφορος είναι βασικά συστατικά για την κυτταρική διαίρεση και το μεταβολισμό. Σε ένα σύστημα κομποστοποίησης ο άνθρακας ή το άζωτο είναι συνήθως οι περιοριστικοί παράγοντες για μια αποτελεσματική αποσύνθεση (Richard, 1992a). Αν το άζωτο γίνει περιοριστικός παράγοντας κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης, η διαδικασία της αποσύνθεσης θα επιβραδυνθεί. Αντίθετα αν υπάρχει περίσσια αζώτου, συχνά χάνεται από το σύστημα ως αμμωνία (σε μορφή αερίου) ή άλλες αζωτούχες ενώσεις (Tuomela *et al.*, 2000).

Οι μικροοργανισμοί επίσης χρειάζονται ιχνοστοιχεία, όπως βόριο, κοβάλτιο, σίδηρο, μαγνήσιο, μολυβδένιο, σελήνιο, νάτριο, ψευδάργυρο. Ενώ αυτά τα θρεπτικά συστατικά είναι βασικά για τη διατήρηση της ζωής τους, συγκεντρώσεις έστω λίγο μεγαλύτερες από τις ενδεικνυόμενες μπορεί να είναι τοξικές για τους μικροοργανισμούς (Boyd, 1984).

Ακόμα και αν υπάρχουν τα απαραίτητα θρεπτικά σε επαρκείς ποσότητες, η χημική τους σύσταση μπορεί να μην τα καθιστά διαθέσιμα σε ορισμένους ή όλους τους μικροοργανισμούς. Η ικανότητα της χρησιμοποίησης των οργανικών ενώσεων εξαρτάται από τα ένζυμα του κάθε μικροοργανισμού (Boyd, 1984).

3.5.6 Αναλογία άνθρακα προς άζωτο (C/N)

Η αναλογία C/N είναι ένας γνωστός δείκτης της βιοδιαθεσιμότητας των ουσιών που προσλαμβάνουν τα μικρόβια. Η μέτρηση σχετίζεται με την αναλογία του άνθρακα και του αζώτου που απαντάται στους ίδιους τους μικροοργανισμούς. Συνήθως οι μικροοργανισμοί περιέχουν 50% C, 5% N και 0,25 - 1% P (Biddlestone & Gray, 1987).

Υψηλή αναλογία C/N εμποδίζει την ανάπτυξη των οργανισμών που αποσυνθέτουν το υλικό του σωρού, ενώ χαμηλή αναλογία C/N επιταχύνει την μικροβιακή αύξηση και την αποσύνθεση των αποβλήτων. Η βέλτιστη αναλογία C/N είναι ανάμεσα στο 25-40 αλλά οι τιμές εξαρτώνται από το είδος του υποστρώματος (Golueke, 1991).

Σύμφωνα με τον Golueke η αναλογία C/N σε απόβλητα κήπου μετρήθηκε στο 23, σε χλωρά φύλλα στο 41, ενώ σε διάφορα είδη χορταριού 19. Ο Poincelot (1972) αναφέρει ότι η αναλογία C/N για το χορτάρι βρίσκεται στο 20 ενώ για τα φύλλα από 40 έως 80.

3. 6. Χρήση του κομπόστ - Αγορές

Το κομπόστ ανάλογα με το βαθμό ωριμότητάς του μπορεί να έχει διάφορες χρήσεις. Οι σημαντικότερες από αυτές είναι:

- ⇒ βελτιωτικό εδάφους
- ⇒ συστατικό υποστρωμάτων για την ανάπτυξη καλλωπιστικών φυτών, κηπευτικών, ανθοκομικών αλλά και σε φυτώρια (Corti *et al.*, 1998)
- ⇒ υπόστρωμα στις καλλιέργειες μανιταριών (Μανιός και Κριτσωτάκης, 2000)
- ⇒ αποκατάσταση εδάφους σε άγονες και φτωχές σε θρεπτικά συστατικά εκτάσεις, που προέρχονται είτε από εντατική καλλιέργεια είτε από πυρκαγιές
- ⇒ σε XYTA ως υλικό κάλυψης
- ⇒ σε παλιά λατομεία ως επιφανειακό βελτιωτικό εδάφους κατά το στάδιο της αποκατάστασης.

- ⇒ σε κοινόχρηστους χώρους πρασίνου στις πόλεις καθώς και στα πρανή των εθνικών οδών για έλεγχο των διαβρωτικών φαινομένων (EPA, 1994)
- ⇒ σε γήπεδα ποδοσφαίρου, γκολφ.
- ⇒ αναδασώσεις (EPA, 1994)
- ⇒ απολυμάνσεις-εξυγιάνσεις εδαφών
- ⇒ καταπολέμηση μυκήτων εδάφους, νηματωδών κ.ά.

Μια πιθανή χρήση του κομπόστ πράσινων απορριμμάτων σε ευρεία κλίμακα είναι για την παραγωγή φρούτων και λαχανικών. Οι παραγωγοί προτιμούν το κομπόστ αυτού του τύπου, γιατί έχει λιγότερες απαγορεύσεις και περιορισμούς στη χρήση, σε σχέση με τα κομπόστ που προέρχονται από λάσπη βιολογικού καθαρισμού ή αστικά στερεά απόβλητα, λόγω των παθογόνων μικροοργανισμών και του ποσοστού των βαρέων μετάλλων που μπορεί αυτά να περιέχουν (Maynard and Hill, 2000).

Η χρήση του κομπόστ μπορεί να βελτιώσει τις βιολογικές, χημικές και φυσικές ιδιότητες του εδάφους. Βιολογικά το κομπόστ αυξάνει την ανάπτυξη της μικροχλωρίδας, κάνοντας τα φυτά λιγότερο τρωτά στην επίθεση παρασίτων και επιδρά στη γρηγορότερη ανάπτυξη του ριζικού συστήματος. Επίσης εμποδίζει την ανάπτυξη ζιζανίων καθώς και τις ασθένειες των φυτών, γιατί χωρίς να σκοτώνει τα παθογόνα του εδάφους, όπως κάνουν τα μυκητοκτόνα, ελέγχει τον πληθυσμό τους, διατηρώντας τους ωφέλιμους μικροοργανισμούς ενεργούς (EPA, 1994; www.dpi.qld.gov.au/environment/3679.html).

Χημικά, αυξάνει τα θρεπτικά συστατικά του εδάφους, ενώ φυσικά βελτιώνει την υφή και τη δομή του εδάφους, την ικανότητα του να κατακρατεί νερό και θρεπτικά συστατικά και αυξάνει την αντοχή του εδάφους στην διάβρωση από τον άνεμο και το νερό.

Κεφάλαιο 4. Ωρίμανση του κομπόστ

4.1 Ορισμός

Το ώριμο κομπόστ είναι το υλικό εκείνο στο οποίο η βιολογική δραστηριότητα είναι πολύ αργή. Όλα τα εύκολα αποικοδομούμενα υλικά έχουν διασπασθεί αφήνοντας μόνο τις πολύπλοκες οργανικές ουσίες που δεν αποικοδομούνται εύκολα (www.compost.org/pdf/sheet.4).

Η «ωρίμανση» και η «σταθερότητα» του κομπόστ αποτελούν δυο διαφορετικές ιδιότητες αν και η διαφορά είναι πολύ λεπτή (Rynk, 2003). Η σταθερότητα (stability) ορίζεται με βάση την βιοδιαθεσιμότητα του οργανικού υλικού. Αυτό σημαίνει ότι συνδέεται με το ρυθμό της αποσύνθεσης, δηλ το ρυθμό της μικροβιακής δραστηριότητας. Η ωρίμανση (maturity) του κομπόστ έχει σχέση με την καταλληλότητα του για την ανάπτυξη των φυτών. Το ανώριμο κομπόστ είναι συνήθως φυτοτοξικό και δεν ευνοεί την ανάπτυξη των φυτών (Hue and Liu, 1995). Από τον παραπάνω ορισμό της ωρίμανσης του υλικού, αναμένεται ως λογική συνέπεια ότι η ανάπτυξη των φυτών θα ήταν ο καταλληλότερος δείκτης της ωρίμανσης του υλικού. Όμως κάτι τέτοιο δεν ισχύει, γιατί οι δοκιμές σε φυτά παίρνουν συνήθως πάρα πολύ χρόνο, για να έχουν χρησιμότητα ως βασική δοκιμή αξιολόγησης ενός κομπόστ.

Έχει προταθεί ότι ο βέλτιστος βαθμός ωρίμανσης για κομπόστ που χρησιμοποιούνται στο έδαφος, χαρακτηρίζεται από την μετατροπή του οργανικού υλικού σε τέτοιο βαθμό, που ενώ είναι σχετικά σταθερό, είναι ακόμα αρκετά ενεργό για να υποστηρίξει μια αυξημένη μικροβιακή δραστηριότητα στο έδαφος (Sela Roy *et al.*, 1998).

Υπάρχουν πολλά κριτήρια σύμφωνα με τα οποία μπορούν να ταξινομηθούν οι διάφορες μέθοδοι που αξιολογούν τον βαθμό ωρίμανσης του κομπόστ. Ανάλογα με το είδος της παραμέτρου που προσδιορίζεται μπορούν να ταξινομηθούν ως εξής:

- Αναλύσεις φυσικών ιδιοτήτων
- Χημικές αναλύσεις
- Μικροβιολογικές δοκιμές
- Βιοδοκιμές με φυτά

Οι πιο γνωστές μέθοδοι μετρούν τη διακύμανση της θερμοκρασίας, εκτιμούν την παραγόμενη οσμή, μετρούν τη διακύμανση του pH, των πτητικών στερεών, της αναλογίας C/N, της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, της παραγωγής CO₂, ή της κατανάλωσης O₂. Μέχρι σήμερα, δεν υπάρχει μια διεθνώς αποδεκτή μέθοδος για την μέτρηση του βαθμού ωρίμανσης (Lasaridi and Stentiford, 1997).

4.2. Μέθοδοι εκτίμησης της ωρίμανσης του κομπόστ

4.2.1 Φυσικές δοκιμές

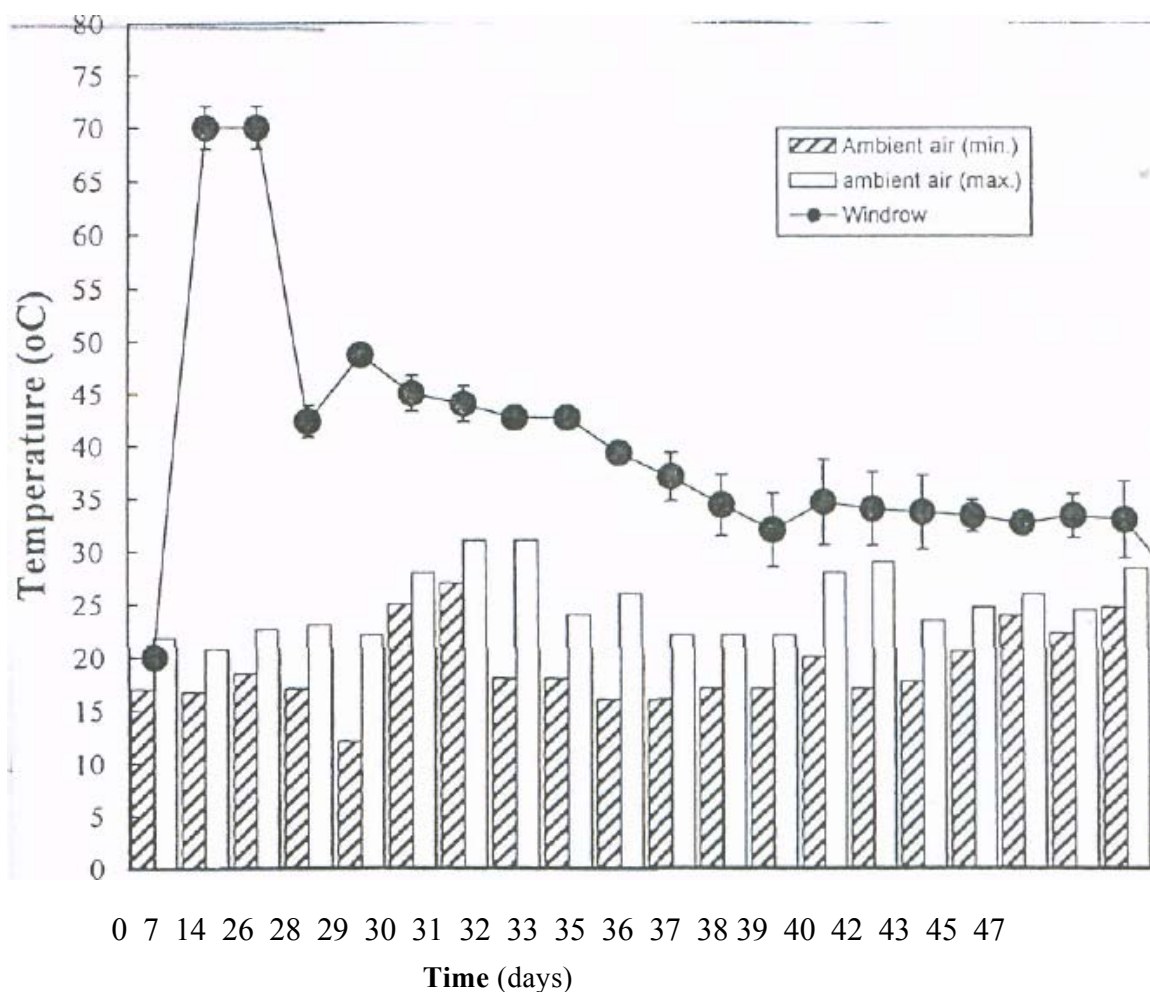
4.2.1.1. Η θερμοκρασία

Η θερμοκρασία του υλικού αυξάνεται τις πρώτες μέρες της διεργασίας, παραμένει για ένα διάστημα σταθερά σε υψηλές τιμές και στη συνέχεια σταδιακά μειώνεται φτάνοντας περίπου τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος (Haug 1993, Harada *et al.*, 1981). Ο Stickelberger (1975) αναφέρει ότι το κομπόστ θεωρείται ώριμο όταν η θερμοκρασία παραμένει περίπου στα ίδια επίπεδα ακόμα και μετά την ανάδευση του υλικού.

Ο ρυθμός της παραγόμενης θερμότητας βρίσκεται σε αναλογία με το ρυθμό της οξείδωσης του οργανικού υλικού, ο οποίος μειώνεται μετά την αποσύνθεση των τελευταίων υλικών που μπορούν να αποικοδομηθούν (Haug, 1993).

Η θερμοκρασία του κομπόστ, εξαρτάται τόσο από το ρυθμό παραγωγής θερμότητας όσο και από τις μονωτικές ιδιότητες του υλικού. Συνεπώς η μείωση της θερμοκρασίας αποτελεί ένα εμπειρικό μόνο κριτήριο ωρίμανσης του υλικού καθώς δεν αντιπροσωπεύει πλήρως το ρυθμό της αποσύνθεσης (Finstain *et al.*, 1986).

Παράδειγμα τυπικής διακύμανσης της θερμοκρασίας κατά την κομποστοποίηση πράσινων απορριμμάτων παρουσιάζεται στο διάγραμμα 4.1 (Tiquia *et al.*, 2002 a).



Διάγραμμα 4.1 Η διακύμανση της θερμοκρασία του περιβάλλοντος και του κομπόστ κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης πράσινων απορριμμάτων (Tiquia *et al.*, 2002a).

4.2.2 Χημικές δοκιμές

4.2.2.1. Πτητικά στερεά

Τα πτητικά στερεά είναι το ποσοστό των ξηρών στερεών που χάνονται με ανάφλεξη στους 550 °C και αποτελούν μια παράμετρο που χρησιμοποιείται ευρέως για την μέτρηση της οργανικής ύλης (APHA,1992). Επειδή η σταθεροποίηση του κομπόστ είναι μια διαδικασία που έχει σχέση με την ποσότητα και την αποσύνθεση του οργανικού υλικού, το περιεχόμενο σε πτητικά στερεά μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης της πορείας της αποσύνθεσης.

Στην Ευρώπη η παράμετρος δεν χρησιμοποιείται ως δείκτης της σταθεροποίησης του κομπόστ (ORCA,1992) αλλά στην Αμερική τη χρησιμοποιούν για την μέτρηση του βαθμού ωρίμανσης κατά την κομποστοποίηση των στερεών αστικών αποβλήτων (Zimmerman,1991).

Η μείωση των πτητικών στερεών σε σχέση με την αρχική ποσότητα μπορεί να υπολογιστεί αν θεωρήσουμε πως το περιεχόμενο της τέφρας του κομπόστ δεν μεταβάλλεται σημαντικά κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης (Haug, 1993; Stentiford & Pereira-Neto, 1985). Ο τύπος προσδιορισμού έχει ως εξής:

$$VS_{red}=100x \left[1-\frac{VS_{\tau}*(100-VS_a)}{VS_a*(100-VS_{\tau})} \right]$$

Όπου:

VS_{red} είναι ο δείκτης μείωσης των πτητικών στερεών,

VS_a είναι η τιμή των πτητικών στερεών στην αρχή της κομποστοποίησης (ημέρα 0) (% ξηρού βάρους),

VS_{τ} είναι η τιμή των πτητικών στερεών την εκάστοτε ημέρα που εξετάζουμε (% ξηρού βάρους).

4.2.2.2 Νιτρικά ιόντα και άζωτο

Στα αρχικά στάδια της κομποστοποίησης, παράγεται αμμωνία από την αποσύνθεση αζωτούχων ενώσεων. Η παραγόμενη αμμωνία κατά ένα μέρος της χάνεται στην ατμόσφαιρα και κατά ένα άλλο οξειδώνεται σε νιτρώδη ιόντα από την δραστηριότητα των βακτηρίων του γένους *Nitrosomonas* και τελικά σε νιτρικά από την δραστηριότητα των βακτηρίων του γένους *Nitrobacter*. Αυτό έχει σαν συνέπεια την συγκέντρωση νιτρικών ιόντων στη φάση της ωρίμανσης του υλικού (Harada *et al.*, 1993). Κατά συνέπεια το υλικό μπορεί να θεωρηθεί ώριμο όταν κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης ανιχνεύονται αξιοσημείωτες ποσότητες νιτρώδων και νιτρικών ιόντων (Finstain & Miller, 1985).

Η παρουσία νιτρικών ιόντων δεν είναι όμως αρκετά ευαίσθητος δείκτης όσον αφορά στις σταδιακές αλλαγές στην σταθερότητα του προϊόντος αλλά και στον έλεγχο της διαδικασίας της κομποστοποίησης (Zimmerman, 1991).

4.2.2.3 pH.

Χαμηλές τιμές στο pH του κομπόστ δηλώνουν έλλειψη ωρίμανσης εξαιτίας της μικρής χρονικής περιόδου της κομποστοποίησης ή της ύπαρξης αναερόβιων συνθηκών (Jann *et al.*, 1959). Δεν θεωρείται ιδιαίτερα αξιόπιστος δείκτης ωρίμανσης.

4.2.2.4 Ηλεκτρική αγωγιμότητα

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα ως δείκτης ωρίμανσης του κομπόστ δεν αποτελεί ένα αξιόπιστο κριτήριο καθώς σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία δεν ακολουθεί κάποιο συγκεκριμένο πρότυπο ώστε να έχουμε ασφαλή συμπεράσματα (Lasaridi and Stentiford, 1996).

4.2.3 Βιολογικές και μικροβιολογικές δοκιμές

4.2.3.1 Δυναμικό αυτοθέρμανσης

Η μέτρηση της θερμοκρασίας του υλικού κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες μπορούν να μας δώσουν μια εκτίμηση για την ένταση της μικροβιακής αναπνοής. Η δοκιμή εξαρτάται άμεσα από την θερμοχωρητικότητα του δείγματος, η οποία επηρεάζεται ακόμα και με μια μικρή αλλαγή στην υγρασία του δείγματος. Έτσι η δοκιμή αυτή δεν είναι πολύ ευαίσθητη και ακριβής. Εντούτοις αποτελεί έναν απλό και εύκολο τρόπο εκτίμησης του βαθμού ωρίμανσης, χωρίς την απαίτηση ακριβούς εξοπλισμού ή ειδικευμένου προσωπικού.

Ο βαθμός ωρίμανσης υπολογίζεται με βάση τη μέγιστη θερμοκρασία (T_{max}) που καταγράφεται σε ορισμένη ποσότητα δείγματος κάτω από ορισμένες συνθήκες.

Σύμφωνα με τα γερμανικά πρότυπα (FCQAO, 1994), οι κατηγορίες ωριμότητας των κομπόστ ορίζονται ως εξής:

Κατηγορία I:	$T_{\max} > 60\text{ }^{\circ}\text{C}$
Κατηγορία II:	$T_{\max} = 50\text{-}60\text{ }^{\circ}\text{C}$
Κατηγορία III:	$T_{\max} = 40\text{-}50\text{ }^{\circ}\text{C}$
Κατηγορία IV:	$T_{\max} = 30\text{-}40\text{ }^{\circ}\text{C}$
Κατηγορία V:	$T_{\max} = 20\text{-}30\text{ }^{\circ}\text{C}$

Τα κομπόστ που εντάσσονται στις κατηγορίες IV και V χαρακτηρίζονται ως ώριμα κομπόστ, ενώ αυτά που εντάσσονται στις κατηγορίες II και III ως φρέσκα κομπόστ.

Άλλη μέθοδος ερμηνείας των αποτελεσμάτων του δυναμικού αυτοθέρμανσης, καταγράφει την μέγιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος και την αντίστοιχη θερμοκρασία του δείγματος ($T_{\max}$ - T_a). Οι κατηγορίες της ωρίμανσης του κομπόστ με τη μέθοδο αυτή είναι οι εξής (FCQAO, 1994 ; Weppen, 2002 ; Koenig and Bari, 2000) :

Κατηγορία I:	$T_{\max} - T_a > 40\text{ }^{\circ}\text{C}$
Κατηγορία II:	$T_{\max} - T_a = 30\text{-}40\text{ }^{\circ}\text{C}$
Κατηγορία III:	$T_{\max} - T_a = 20\text{-}30\text{ }^{\circ}\text{C}$
Κατηγορία IV:	$T_{\max} - T_a = 10\text{-}20\text{ }^{\circ}\text{C}$
Κατηγορία V	$T_{\max} - T_a < 10\text{ }^{\circ}\text{C}$

Τα κομπόστ που εντάσσονται στις κατηγορίες IV και V χαρακτηρίζονται ως ώριμα κομπόστ ενώ αυτά που εντάσσονται στις κατηγορίες II και III ως φρέσκα κομπόστ.

4.2.3.2. Αναπνευστική δραστηριότητα: Ρυθμός ειδικής κατανάλωσης οξυγόνου

Η μέτρηση της αναπνευστικής δραστηριότητας μέσω κατάλληλων οργάνων και διαφόρων μεθόδων μπορεί να μας δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα για την ωρίμανση του κομπόστ. Παραδείγματα τέτοιων μετρήσεων αποτελούν ο προσδιορισμός της ποσότητας του διαλυμένου οξυγόνου σε υδατικό διάλυμα

κομπόστ, μέσω ειδικού αισθητήρα DO (SOUR test), ή η μέτρηση του ρυθμού κατανάλωσης οξυγόνου με τη βοήθεια ειδικών αναπνευσιμέτρων (Sapromat, Arthur respirometer κá).

Το 1994, ο Walker εφάρμοσε τη μέθοδο μέτρησης του ειδικού ρυθμού κατανάλωσης οξυγόνου, σε αστικά στερεά απόβλητα με ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Το 1995 οι Richard & Zimmerman μέτρησαν τον μέγιστο ρυθμό κατανάλωσης οξυγόνου σε πολλά διαφορετικά είδη κομπόστ με σκοπό να βρουν το βαθμό ωρίμανσης σε σύγκριση με φυσικές και χημικές παραμέτρους. Παρατηρήθηκε μια μεγάλη διακύμανση της αναπνευστικής δραστηριότητας σε σχέση με το χρόνο, σε μια περίοδο 25 ωρών. Οι μελετητές θεώρησαν τον δείκτη αυτό της μείωσης της αναπνευστικής δραστηριότητας, ως ένα πολύ καλό εργαλείο για την εύρεση του βαθμού ωρίμανσης του κομπόστ.

Χαμηλοί ρυθμοί αναπνευστικής δραστηριότητας δηλώνουν μια ενδογενή αναπνοή και παρατηρούνται στα ώριμα κομπόστ.

4.2.3.3 Μικροβιακή διαδοχή

Η μικροβιακή χλωρίδα αναπτύσσεται γρήγορα με την έναρξη της διεργασίας της κομποστοποίησης. (Lynch & Wood, 1985). Τους μεσόφιλους οργανισμούς διαδέχονται οι θερμόφιλοι. Σε κάθε στάδιο της κομποστοποίησης υπάρχει και διαφορετικός κυρίαρχος τύπος μικροοργανισμών. Σύμφωνα με την παραπάνω παρατήρηση ο κυρίαρχος τύπος του μικροβιακού πληθυσμού μπορεί να δηλώσει το στάδιο της αποσύνθεσης.

Στην έναρξη της κομποστοποίησης παρατηρούνται βακτήρια που παράγουν αμμωνία (Riffaldi *et al.*, 1986) τα οποία φτάνουν στο μέγιστο πληθυσμό τους μετά από 2 εβδομάδες. Στη συνέχεια μειώνεται ο πληθυσμός των βακτηρίων αυτών και έως την 60^η μέρα της κομποστοποίησης έχει μειωθεί τόσο ώστε δεν μπορούμε να τα ανιχνεύσουμε.

Τα αυτότροφα νιτροποιά βακτήρια (*Nitrosomonas* sp., *Nitrobacter* sp) δεν μπορούν να επιβιώσουν στα αρχικά στάδια της κομποστοποίησης επειδή η θερμοκρασία αλλά και τα επίπεδα της αμμωνίας είναι υψηλά. Εμφανίζουν ένα

μέγιστο την 80^η μέρα κομποστοποίησης ενώ εμφανίζονται στο σωρό μέχρι και το τελευταίο δείγμα (Riffaldi *et al.*, 1986).

Τα κυτταρινολυτικά βακτήρια αγγίζουν το μέγιστο του πληθυσμού τους μετά από 30-60 ημέρες κομποστοποίησης. Η αποσύνθεση της κυτταρίνης μετά από το στάδιο αυτό συνεχίζεται, με πιο ήπιο όμως ρυθμό και από τους μύκητες και ακτινομύκητες (Riffaldi *et al.*, 1986).

Σε πολλές μελέτες επισημάνθηκε αύξηση του συνολικού μικροβιακού πληθυσμού στα αρχικά στάδια της κομποστοποίησης, με μείωση προς το τέλος της διαδικασίας (Tiquia *et al.*, 1996).

4.2.3.4. Βιοχημικές παράμετροι: Ενζυμική ενεργότητα των αφυδρογονασών

Όταν το κομπόστ ωριμάζει, οι μικροβιακοί πληθυσμοί φτάνουν σε μια σταθερή κατάσταση και δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερη δραστηριότητα στο υπόστρωμα. Αν η μικροβιακή διαδοχή σταθεροποιηθεί μαζί και με τις φυσικές ιδιότητες και τη χημική σύσταση του κομπόστ, αυτό θα έχει αντίκτυπο στην ενζυμική δραστηριότητα. (Hermann & Shann, 1993).

Οι Forstel *et al.*, 1993 μελέτησαν μεταξύ άλλων και την ενεργότητα των αφυδρογονασών, σε μια έρευνα που περιελάμβανε χημικές και μικροβιολογικές μεθόδους για τον προσδιορισμό της ωρίμανσης έξι διαφορετικών ειδών κομπόστ. Παρατήρησαν ότι η δραστηριότητα των αφυδρογονασών ήταν σε συμφωνία με το ποσοστό του άνθρακα σε μορφή χουμικών και φουλβικών οξέων, το οποίο μπορούσε να αποτελέσει αποδεκτό δείκτη ωρίμανσης του υλικού.

Είναι γνωστό ότι όλες οι βιοχημικές αντιδράσεις κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης καταλύονται από ένζυμα (Ayuso *et al.*, 1996). Για παράδειγμα η διάσπαση του οργανικού αζώτου κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης, η οποία περιλαμβάνει την απελευθέρωση αζώτου από μη πεπτιδικούς δεσμούς άνθρακα – αζώτου και τη μετατροπή τους σε οξείδια του αζώτου και ουρία, επιταχύνεται από ένζυμα όπως οι αφυδρογονάσες και οι αμινοϋδρολάσες (Tabatabai, 1994).

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά των ενζύμων είναι η καταλυτική τους ισχύς, η εξειδίκευσή τους και το γεγονός ότι σε πολλά ένζυμα γίνεται ακόμα και ρύθμιση της δράσης τους. Όλα τα ένζυμα είναι πρωτεΐνες. Οι πρωτεΐνες, ως μία τάξη μακρομορίων, καταλύουν πολύ αποτελεσματικά διάφορες χημικές αντιδράσεις λόγω

της ικανότητάς τους να προσδένονται εξειδικευμένα σε μία ευρεία τάξη μορίων. Στην ουσία, τα ένζυμα καταλύουν αντιδράσεις με το να σταθεροποιούν τις μεταβατικές καταστάσεις (τις υψηλότερες ενεργειακά διαμορφώσεις) στις πορείες των αντιδράσεων. Ένα ένζυμο πραγματοποιεί αυτή τη λειτουργία επιλεκτικά και προσδιορίζει ποια από τις αντιδράσεις που μπορούν να πραγματοποιηθούν, λαμβάνει χώρα. (Styer Lubert, 1995).

Τα ένζυμα στα κομπόστ μπορούν να ταξινομηθούν σε εξωκυτταρικά και εσωκυτταρικά. Τα εσωκυτταρικά ένζυμα βρίσκονται μέσα σε ζωντανά κύτταρα και καταλύουν βιοχημικές αντιδράσεις που συμβαίνουν μέσα στα κύτταρα (Furhmann, 1999). Τα εξωκυτταρικά ένζυμα απελευθερώνονται έξω από τα κύτταρα με σκοπό να καταλύσουν την διάσπαση των πολυμερών ουσιών (όπως για παράδειγμα, την κυτταρίνη, την ημικυτταρίνη και τη λιγνίνη), οι οποίες είναι πολύ μεγάλες για να μπορέσουν να περάσουν την κυτταρική μεμβράνη (Furhmann, 1999). Τόσο τα εξωκυτταρικά ένζυμα όσο και τα εσωκυτταρικά, είναι δύσκολο να προσδιορισθούν σε αιωρήματα κομπόστ (Tiquia *et al.*, 2002 b) .

Η μέτρηση της ενεργότητας των αφυδρογονασών μπορεί να αποτελέσει δείκτη της μικροβιακής δραστηριότητας καθώς εμπλέκεται με την αναπνευστική αλυσίδα των μικροοργανισμών και έτσι μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μια παράμετρος της συνολικής δραστηριότητάς τους (Foster *et al.*, 1993). Η ενεργότητα των αφυδρογονασών μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης ωρίμανσης του κομπόστ (Forstel *et al.*, 1993; Serra-Wittling *et al.*, 1995; Vuorinen and Saharinen, 1997) γιατί σε πειράματα παρουσίασε πιο υψηλές τιμές προς την αρχή της κομποστοποίησης ενώ σταθεροποιήθηκε στη συνέχεια, καθώς ωρίμαζε το κομπόστ.

4.2.3.5 Φυτοτοξικότητα

Μια ακόμα μέθοδος που χρησιμοποιείται ως δείκτης ωρίμανσης του κομπόστ είναι η επίδραση του στα φυτά.

Ανάλογα με το είδος του φυτού (ταχυσυζέες ή όχι, ετήσιο ή πολυετές) η διεξαγωγή συμπερασμάτων μπορεί να απαιτεί μια μεγάλη περίοδο. Προκειμένου να ξεπεραστεί το πρόβλημα αυτό οι Zucconi *et al.* (1981, 1985) ανέπτυξαν μια απλή και γρήγορη βιοδοκιμή σε φυτά μετρώντας την φύτευση του *Lepidium sativum* (κοινώς κάρδαμο), που παρουσιάζει γρήγορη ανάπτυξη, σε υδατικά εκχυλίσματα του κομπόστ. Μετρώντας την επί τοις εκατό βλαστικότητα καθώς και το μήκος του

ριζιδίου κάθε σπόρου παίρνουμε αποτελέσματα που εκφράζονται με βάση το ποσοστό του μάρτυρα (δηλαδή την ανάπτυξη σπόρων σε νερό).

Ως μη τοξική φάση μπορεί να θεωρηθεί η περίοδος που ο δείκτης βλαστικότητας (GI, Germination Index) είναι μεγαλύτερος από 70-80%. Το τεστ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον καθορισμό του τέλους την ενεργής φάσης της κομποστοποίησης, αλλά δεν μπορεί να δώσει αξιόπιστες πληροφορίες σχετικά με το ρυθμό της αποσύνθεσης των οργανικών υλικών (Lasaridi, 1996).

Η τοξικότητα στα φυτά οφείλεται στην αμμωνία αλλά και σε άλλες ενώσεις που δημιουργούνται κατά τη διάρκεια της αποσύνθεσης, όπως το οξείδιο του αιθυλενίου, τα οργανικά οξέα κ.ά. Έχει αποδειχθεί ότι το οξικό οξύ σε ποσότητες μεγαλύτερες των 300 ppm είναι τοξικό για την ανάπτυξη των φυτών (Devleeshauwer *et al.*, 1981). Γενικότερα η φυτοτοξικότητα δεν προέρχεται μόνο από μια ένωση αλλά από την συνδυαστική επίδραση αρκετών οργανικών ενδιάμεσων προϊόντων της αποσύνθεσης.

4.2.3.6. Αγρονομική εξέταση του κομπόστ

Το κομπόστ έχει χρησιμοποιηθεί από την βιομηχανία ανάπτυξης χλοοτάπητα ως βελτιωτικό εδάφους και ως οργανικό λίπασμα. Μέχρι το 1930 χρησιμοποιούνταν ως λίπασμα για τα γήπεδα του γκολφ. Όμως με την ανακάλυψη των συνθετικών λιπασμάτων που βασιζόταν στην ουρία και τα ανόργανα λιπάσματα, παρατηρήθηκε μια μείωση της χρήσης του. Τα τελευταία όμως χρόνια, με την επιθυμία του κοινού για ανάπτυξη περισσότερο φιλικών προς το περιβάλλον μεθόδων, η χρήση του έχει αυξηθεί ξανά (Garling and Boehm, 2001).

Οι εφαρμογές του κομπόστ από πράσινα απόβλητα έδειξαν ότι βελτιώνουν την φυσική κατάσταση πολλών εδαφών, αυξάνουν την υδατοϊκανότητά τους ενώ μειώνουν την ανάγκη για ανόργανα λιπάσματα. Σε αμμώδη και πηλώδη εδάφη ένα στρώμα πάχους 2,5 cm από κομπόστ φύλλων θα μπορούσε να υποκαταστήσει το λίπασμα τύπου 10-10-10 (N-P₂O₅-K₂O). Για καλύτερα αποτελέσματα μπορεί να γίνει συνδυασμός κομπόστ και λιπάσματος, με ποσότητα λιπάσματος μισή από αυτή που θα χρησιμοποιούνταν χωρίς τη χρήση κομπόστ (Maynard and Hill, 2000).

Οι φυσικές ιδιότητες του εδάφους βελτιώνονται σημαντικά με τη χρήση κομπόστ όπως επίσης αυξάνεται και η οργανική ουσία του εδάφους, η οποία οδηγεί

σε βελτίωση της υδατοϊκανότητας των εδαφών (Maynard, 2000). Η χρήση κομπόστ από πράσινα απόβλητα μπορεί επιπρόσθετα να δράσει επισχετικά στα παθογόνα του εδάφους. (Hoitink *et al.*, 1997).

Η μέγιστη αναλογία στην οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί το κομπόστ από πράσινα απόβλητα δεν μπορεί να είναι πάνω από 30% κατ' όγκο, γιατί αλλιώς θα παρατηρηθούν φαινόμενα τοξικότητας εξαιτίας της υψηλής περιεκτικότητας του σε διαλυμένα άλατα. Όταν όμως η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας κυμαίνεται σε πολύ χαμηλά επίπεδα τότε μπορούν να χρησιμοποιηθούν και υψηλότερες αναλογίες σε κομπόστ (Spiers and Fietje, 2000).

Ο Maynard (2000) χρησιμοποίησε σε παραγωγή ντομάτας, κομπόστ από πράσινα απόβλητα σε αναλογία 12,5 τόνοι/ στρέμμα μαζί με λίπασμα και την απόδοσή του σύγκρινε με την παραγωγή ντομάτας χωρίς προσθήκη κομπόστ. Στο τέλος του πειράματος το οποίο διήρκησε δύο χρόνια, διαπίστωσε ότι τα καλύτερα αποτελέσματα έδωσε η χρήση κομπόστ μαζί με λίπασμα όπου η παραγωγή ήταν έως 34% μεγαλύτερη, σε σχέση με τα αντίστοιχα υποστρώματα που δεν περιείχαν κομπόστ.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των Parkinson *et al.* 1999 το κομπόστ πράσινων αποβλήτων δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο του σαν βελτιωτικό εδάφους, χωρίς την ανάλογη προσθήκη ανόργανου λιπάσματος, όπως παρατήρησαν σε πειράματα που έκαναν για την παραγωγή καλαμποκιού. Η προσθήκη κομπόστ και λιπάσματος έδειξε ότι ευνοεί την παραγωγή, αυξάνει το οργανικό υλικό και τη συγκέντρωση των θρεπτικών συστατικών.

ΜΕΡΟΣ 2^ο

2^ο ΜΕΡΟΣ.- Πειραματικές δοκιμές

Κεφάλαιο 5. Υλικά και μέθοδοι

5.1 Συλλογή πράσινων απορριμμάτων από το Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Το Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο βρίσκεται στο Δήμο Καλλιθέας και κατέχει έκταση 20 στρεμμάτων, μεγάλο μέρος της οποίας καταλαμβάνεται από χώρους πρασίνου.

Τα πράσινα απόβλητα που κομποστοποιήθηκαν στην εργασία αυτή, συλλέχθηκαν από τους κήπους του Πανεπιστημίου και αποτελούν μια πρώτη προσπάθεια ελαχιστοποίησης των αποβλήτων του, καθώς ως εκπαιδευτικό ίδρυμα δραστηριοποιείται και έχει δείξει μεγάλη ευαισθησία σε θέματα περιβάλλοντος.

Η υφιστάμενη βλάστηση συνίσταται κυρίως από τεχνητές δεντροφυτεύσεις ειδών της τοπικής χλωρίδας, προσαρμοσμένες στις κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής. Τα είδη των δέντρων που φύονται στους κήπους του Πανεπιστημίου είναι τα εξής:

<u>Είδος δέντρου</u>	<u>Επιστημονική ονομασία</u>
Κυπαρίσσι	(<i>Cypressus arizonica</i>),
Νεραντζιά	(<i>Citrus aurantium</i>),
Ψευδακακία	(<i>Robinia Pseudoacacia</i>),
Γκλεντίτσια	(<i>Gleditsia triacanthos</i>),
Βραχυχίτωνας	(<i>Brachychiton acerifolia</i>)
Δάφνη η ευγενής	(<i>Laurus nobilis</i>),
Ελιά	(<i>Olea europea</i>),
Μελιά	(<i>Melia ajedarach</i>),
Ευκάλυπτος	(<i>Eucalyptus sp.</i>),
Κουτσουπιά	(<i>Celcis siliquastrum</i>),
Χαλέπιος πεύκη	(<i>Pinus halepensis</i>),

Χαρουπιά	(<i>Ceratonia siliqua</i>),
Λεμονιά	(<i>Citrus</i>),
Συκιά	(<i>Ficus carica</i>),
Λεύκα	(<i>Populus alba</i>)
Φιλύρα	(<i>Tilia tomentosa</i> , <i>Tilia sp.</i>)
Καλλωπιστικές δαμασκηνιές	(<i>Prunus ceracifera</i>),
Αϊλανθους ή βρωμοκαρυδιές	(<i>Ailanthus altissima</i>)

Επίσης υπάρχουν θάμνοι, αναρριχώμενα και αγροστώδη με χαρακτηριστικότερα είδη τα ακόλουθα:

Αγγελική	(<i>Pittosporum tobira</i>),
Τούγιες	(<i>Thuja occidentalis</i>),
Καλλωπιστικές τριανταφυλλιές	(<i>Rosa sp</i>),
Λιγούστρα	(<i>Ligustrum japonicum</i>),
Κισσός	(<i>Hedera helix</i>),
Γρασίδι	(διάφορα είδη αγρωστωδών),

Το Σεπτέμβριο του 2003, με το πρώτο πέσιμο των φύλλων, άρχισε η συλλογή του υλικού. Τα φύλλα προήλθαν από τα είδη των δέντρων που προαναφέρθηκαν και μαζί με αγρωστώδη, μικρά κλαδιά και χορτάρι συλλέχθηκαν και τοποθετήθηκαν σε ξύλινο κομποστοποιητή διαστάσεων 1m x 1m x 1m, συνολικού όγκου 1 m³, ο οποίος τοποθετήθηκε στο γυάλινο θερμοκήπιο του πανεπιστημίου, έτσι ώστε το υλικό να προφυλάσσεται από τις καιρικές συνθήκες και να αερίζεται επαρκώς. Μέσα σε χρονικό διάστημα ενός μήνα ο κομποστοποιητής γέμισε με πράσινα απορρίμματα.

5.2 Μέθοδος κομποστοποίησης και διαδικασία παρακολούθησης

Οι χειρισμοί που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης στο χώρο του θερμοκηπίου ήταν α) το γύρισμα του σωρού, για να αερίζονται επαρκώς τα εσωτερικά στρώματα του υλικού, β) η προσθήκη νερού ώστε η υγρασία να κυμαίνεται συνεχώς σε ικανοποιητικά επίπεδα και γ) η σχεδόν καθημερινή μέτρηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος και του υλικού, μέσω κατάλληλων θερμομέτρων.

Κάθε φορά που γίνονταν το γύρισμα του υλικού λαμβάνονταν ικανή ποσότητα δείγματος, ώστε να υποβληθεί στις απαραίτητες εργαστηριακές αναλύσεις. Το γύρισμα του υλικού γινόταν χειρωνακτικά έξω από το ξύλινο κιβώτιο. Για την καλύτερη οξυγόνωση του, το υλικό τινάζονταν στον αέρα και αφηνόταν να πέσει στη βάση του θερμοκηπίου (φωτογραφία, 5.1)

Ο αερισμός του υλικού, εκτός από τα γυρίσματα, υποβοηθούνταν και με την τοποθέτηση δικτυωτού πλέγματος σε σωληνοειδή μορφή στο μέσο του κιβωτίου της κομποστοποίησης, έτσι ώστε να επιτευχθεί η διάχυση του οξυγόνου του αέρα στο κέντρο του σωρού με εκμετάλλευση του φαινομένου της καμινάδας (φωτογραφία, 5.2).



Φωτογραφία 5.1: Γύρισμα του υλικού χειρωνακτικά.



Φωτογραφία 5.2. Υποβοήθηση του αερισμού του υλικού με χρήση δικτυωτού πλέγματος σε σωληνοειδή μορφή.

Τα γυρίσματα του υλικού και η δειγματοληψία πραγματοποιούνταν κάθε 25 περίπου μέρες στην αρχή της διεργασίας ενώ προς το τέλος αυτής συχνότερα, ανά 15 μέρες, καθώς στόχος ήταν η παρακολούθηση των αλλαγών κατά της φάση της ωρίμανσης κυρίως.

Πριν από κάθε δειγματοληψία πραγματοποιούνταν μέτρηση της υγρασίας του υλικού, σε δείγμα που λαμβάνονταν 2 μέρες πριν το γύρισμα. Μ' αυτό τον τρόπο ήταν γνωστό πριν από κάθε γύρισμα το ποσοστό της υγρασίας του υλικού και συνεπώς ο τρόπος με τον οποίο έπρεπε να γίνει η επέμβαση (πόση δηλαδή ποσότητα νερού έπρεπε να προστεθεί ώστε το υλικό να έχει πάντα τη βέλτιστη υγρασία).

Ο αριθμός, η ημερομηνία δειγματοληψίας καθώς και η επέμβαση με την απαραίτητη προσθήκη νερού, φαίνονται αναλυτικά στον πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 5.1. Πίνακας πειραματικού σχεδιασμού της διεργασίας της κομποστοποίησης .

α/α δείγματος	Ηλικία δείγματος (ημέρες)	Ημερομηνία δειγματοληψίας	Προσθήκη νερού στο σωρό	Ποσότητα νερού σε λίτρα
1	0	4/11/2003	Όχι	
2	23	27/11/03	Ναι	45
3	63	7/1/2004	Όχι	
4	82	26/1/2004	Ναι	30
5	103	17/2/2004	Όχι	
6	121	6/4/2004	Όχι	
7	143	27/4/2004	Όχι	
στις 11-12-03 έγινε απλή ανάδευση του υλικού μέσα στο ξύλινο κιβώτιο				

Όπως φαίνεται από τον παραπάνω πίνακα (πίνακας 5.1) στις 4 Νοεμβρίου 2003 έγινε η πρώτη δειγματοληψία, στο φρέσκο δείγμα του υλικού. Οι εργαστηριακές μετρήσεις πραγματοποιούνταν την ίδια μέρα ή την αμέσως επόμενη, ενώ το υλικό διατηρούνταν στο ψυγείο, σε θερμοκρασία $6^{\circ} - 7^{\circ} \text{C}$, στην περίπτωση που οι μετρήσεις δεν γίνονταν, την ίδια μέρα.

Στις 27 Νοεμβρίου 2003 (23 ημέρες μετά) έγινε η δεύτερη δειγματοληψία και η απαραίτητη προσθήκη νερού, περίπου 45 λίτρα. Στις 11 Δεκεμβρίου 2003 έγινε απλή ανάδευση του υλικού μέσα στο ξύλινο κιβώτιο με τη βοήθεια φτυαριού. Στις 7 Ιανουαρίου 2004 έγινε η τρίτη δειγματοληψία, στις 26 Ιανουαρίου 2004 η τέταρτη δειγματοληψία και η απαραίτητη προσθήκη νερού, στις 17 Φεβρουαρίου 2004 η πέμπτη δειγματοληψία, στις 6 Μαρτίου 2004 η έκτη δειγματοληψία και στις 27 Μαρτίου 2004 η έβδομη και τελευταία δειγματοληψία.

Συνολικά η παρακολούθηση της διαδικασίας της κομποστοποίησης διήρκησε 162 ημέρες δηλαδή 5,5 μήνες. Το αρχικό προϊόν που τοποθετήθηκε στο κιβώτιο ήταν φύλλα, τεμαχισμένα κλαδιά και χόρτα, ενώ το τελικό προϊόν έμοιαζε περισσότερο με φυσικό έδαφος (Βλ. Παράρτημα, φωτ: Π1,Π2,Π3) .

5.3 Μέθοδοι αναλύσεων-Αναλύσεις φυσικών και χημικών παραμέτρων

5.3.1 Φυσικές και χημικές αναλύσεις

5.3.1.1 Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία του υλικού προσδιορίστηκε με ψηφιακό φορητό θερμόμετρο θερμοζεύγους, τύπου 305 υψηλής ακρίβειας (0,1 °C), ο αισθητήρας του οποίου τοποθετούνταν στο κέντρο του σωρού του κομποστοποιητή. Η μέτρηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος έγινε με τη χρήση υδραργυρικού θερμομέτρου χειρός. Οι μετρήσεις της θερμοκρασίας γίνονταν πολύ τακτικά, σχεδόν σε καθημερινή βάση.

5.3.1.2 Υγρασία και πτητικά στερεά

Η υγρασία των δειγμάτων προσδιορίστηκε από την απώλεια βάρους 10 g υλικού μετά από θέρμανσή τους στους 105 °C για 24 ώρες (FCQAO,1994).

Ο προσδιορισμός των πτητικών στερεών έγινε σύμφωνα με τη μέθοδο που περιγράφεται στις επίσημες προδιαγραφές ανάλυσης νερών και λυμάτων των Η.Π.Α (APHA,1992) μετά την καύση ξηρών δειγμάτων που χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό της υγρασίας σε φούρνο καύσεως, στους 550 °C για 4 ώρες.

5.3.1.3. pH και ηλεκτρική αγωγιμότητα

Το pH των δειγμάτων προσδιορίστηκε σε υδατικά διαλύματα με αναλογία 1:10 (10g δείγματος /100ml απιονισμένου νερού), τα οποία μετά από ανατάραξη για 2 ώρες, στις 160 στροφές ανά λεπτό, στον ανακινούμενο επωαστικό θάλαμο, διηθούνται υπό κενό (APHA,1992 και FCQAO,1994). Οι μετρήσεις λαμβάνονται με το ηλεκτρονικό pH-μετρο, μοντέλο WTW, pH 537.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα προσδιορίστηκε με τη βοήθεια ψηφιακού αγωγιμόμετρου τύπου WTW, LF 330/SET στα ίδια υδατικά διαλύματα όπως και το pH (APHA,1992 και FCQAO,1994).

5.3.2 Μικροβιολογικές αναλύσεις

5.3.2.1 Ολικά αερόβια και σποριογόνα βακτήρια

Για την εκτίμηση του πληθυσμού των ολικών αερόβιων βακτηρίων και αερόβιων σποριογόνων βακτηρίων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος καταμέτρησης των βιώσιμων αναπαραγωγικών μονάδων.

Το θρεπτικό υπόστρωμα που χρησιμοποιήθηκε και για τις δύο βακτηριακές ομάδες ήταν το Nutrient Agar (28 g/l) , το οποίο αποστειρώθηκε στους 121 °C για 15' (Hassen *et al.*, 2001).

Αρχικά παρασκευάζεται αιώρημα compost (10 g κομπόστ σε 90 ml διαλύματος Ringer) το οποίο ανακινήθηκε καλά για 2 ώρες. Στη συνέχεια με ασηπτική τεχνική παραλαμβάνεται 1 ml από το αιώρημα και υποβάλλεται σε διαδοχικές αραιώσεις σε φιαλίδια Mc Cartney τα οποία περιέχουν το καθένα 9 ml Ringer. Τα τρυβλία εμβολιάστηκαν με 0,1 ml από τις αντίστοιχες αραιώσεις. Σε κάθε αραιώση χρησιμοποιήθηκαν 3 επαναλήψεις.

Για την καταμέτρηση των σποριογόνων βακτηρίων προηγήθηκε θέρμανση στους 80 °C για 10 λεπτά.

Στη συνέχεια τα τρυβλία επώστηκαν στους 30 °C για 2 ημέρες και καταμετρήθηκαν οι αποικίες που σχηματίστηκαν.

Για τα ολικά βακτήρια έγινε καταμέτρηση στις αραιώσεις 10^{-6} , 10^{-7} , 10^{-8} ενώ για τα σποριογόνα βακτήρια στις αραιώσεις 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} .

5.3.2.2 Κυτταρινολυτικά βακτήρια

Η εκτίμηση του πληθυσμού των κυτταρινολυτικών βακτηρίων του κομπόστ έγινε με τη μέθοδο της καταμέτρησης των βιώσιμων αναπαραγωγικών μονάδων σε στερεό εκλεκτικό θρεπτικό υπόστρωμα, όπου η κυτταρίνη αποτελεί την κύρια πηγή άνθρακα, με την παρακάτω σύσταση g/l (Eggins *et al.*, 1962)

(NH ₄) ₂ SO ₄	0,5
L- asparagines	0,5

K ₂ HPO ₄	1
KCL	0,5
MgSO ₄ 7H ₂ O	0,2
CaCO ₃	0,1
Agar	20
Κυτταρίνη	10

Για την παρασκευή του θρεπτικού υλικού διαλύονται 10 g κυτταρίνης σε 250 ml dH₂O το οποίο αφήνουμε για ανάδευση για 72 ώρες. Παρασκευάζεται χωριστά το διάλυμα των αλάτων σε 750 ml d H₂O το οποίο αποστειρώνεται στους 115 °C για 20' αφού ρυθμιστεί το pH στο 6,2.

Μετά την αποστείρωση του διαλύματος και αφού είναι έτοιμη η κυτταρίνη προστίθεται στο διάλυμα και στη συνέχεια στα τρυβλία.

Η διαδικασία των διαδοχικών αραιώσεων έγινε όπως και στα ολικά αερόβια και σποριογόνα βακτήρια. Αφού εμβολιαστούν τα τρυβλία τοποθετούνται για επώαση στους 30 °C, για 9 ημέρες.

Μετά την επώαση, τα τρυβλία κατακλύζονται με διάλυμα 0,1% w/v congo red, το οποίο αφήνεται στα τρυβλία για λίγα λεπτά και στη συνέχεια απομακρύνεται. Γίνεται καταμέτρηση μόνο εκείνων των αποικιών οι οποίες περιβάλλονται από διαυγείς ζώνες (Βλ. Παράρτημα Φωτογραφία, Π7) (Hendricks *et al.*, 1995; Hankin and Anagnostakis, 1977).

Για τη μέτρηση των κυτταρινολυτικών βακτηρίων έγιναν οι αραιώσεις 10⁻⁶, 10⁻⁷, 10⁻⁸ με τρεις επαναλήψεις στην κάθε αραιώση.

5.3.2.3 Νιτροποιά βακτήρια

Η νιτροποίηση είναι η βιολογική διαδικασία σχηματισμού νιτρικών και νιτρικών ιόντων από ενώσεις που περιέχουν άζωτο σε ανηγμένη μορφή.

Συνήθως το αρχικό υπόστρωμα είναι αμμωνία και το τελικό προϊόν είναι νιτρικά ιόντα. Δύο ξεχωριστά και ευκρινή στάδια πραγματοποιούνται στην χημειοαυτότροφη νιτροποίηση.

α) Τα αμμωνιακά ιόντα οξειδώνονται σε νιτρώδη από τα βακτήρια που ανήκουν κυρίως στο γένος *Nitrosomonas*.

β) Τα νιτρώδη ιόντα οξειδώνονται σε νιτρικά από τα βακτήρια του γένους *Nitrobacter*.

Στις παραπάνω ομάδες βακτηρίων αναφερόμαστε με τη χρήση του όρου νιτροποιά βακτήρια. Τα βακτήρια του εδάφους που οξειδώνουν την αμμωνία σε νιτρικά και νιτρώδη ιόντα είναι χημειοαυτότροφα. Αυτό σημαίνει ότι είναι ικανά να χρησιμοποιήσουν ανόργανες ουσίες σαν τη μόνη πηγή ενέργειας και διοξείδιο του άνθρακα σαν τη μόνη πηγή άνθρακα.

Το εκλεκτικό θρεπτικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε για την καταμέτρηση των βακτηρίων του γένους *Nitrosomonas* είχε την εξής σύσταση:

Nitrosomonas sp (g/l)

(NH ₄) ₂ SO ₄	0,5
K ₂ H PO ₄	1,0
FeSO ₄ .7H ₂ O	0,03
NaCl	0,3
MgSO ₄ .7H ₂ O	0,3
CaCO ₃	7,5

Για την καταμέτρηση του αριθμού των βακτηρίων του γένους *Nitrobacter* χρησιμοποιήθηκε εκλεκτικό υγρό θρεπτικό υπόστρωμα το οποίο είναι ελεύθερο πηγής C και περιέχει νιτρώδη ιόντα (NO₂) με την εξής σύσταση:

Nitrobacter sp (g/l)

KNO ₂	0,006
K ₂ HPO ₄	1,0
NaCl	0,3
MgSO ₄ .7H ₂ O	0,1
FeSO ₄ .7H ₂ O	0,03

CaCO ₃	1,0
CaCl ₂	0,3

Κατά την παρασκευή των θρεπτικών αυτών υλικών ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί ώστε να μην δημιουργηθούν ιζήματα. Για το λόγο αυτό τα διαλύματα των αλάτων CaCO₃ και CaCl₂ παρασκευάζονται χωριστά σε κωνικές φιάλες και μετά την αποστείρωση προστίθενται με ασηπτική τεχνική στους δοκιμαστικούς σωλήνες, ώστε ο συνολικός τελικός όγκος του κάθε σωλήνα να είναι 3 ml.

Για την παρασκευή του δείγματος χρειάζονται 10 gr κομπόστ σε 90 ml dH₂O, το οποίο πρώτα αφήνεται να ανακινηθεί καλά για 2 ώρες. Ο εμβολιασμός των δοκιμαστικών σωλήνων γίνεται με 1 ml από τις διαδοχικές δεκαδικές αραιώσεις του δείγματος. Για τις διαδοχικές αραιώσεις οι οποίες είναι 10⁻¹ - 10⁻⁷ χρησιμοποιούνται τα φιαλιδία Mc Cartney στα οποία τοποθετούνται 9 ml dH₂O στο καθένα και στη συνέχεια αποστειρώνονται .

Σε κάθε αραιώση γίνονται 5 επαναλήψεις ενώ υπάρχει και ένα σετ δοκιμαστικών σωλήνων το οποίο δεν εμβολιάζεται ώστε να λειτουργήσει ως μάρτυρας.

Οι σωλήνες επωάζονται στους 30 °C για 3 εβδομάδες.

Η ανίχνευση των νιτρωδών και νιτρικών ιόντων έγινε με τη χρήση των analytical test strips (nitrate test και nitrite test) της Merck .

Η καταμέτρηση του πληθυσμού των βακτηρίων του γένους *Nitrosomonas* επιτυγχάνεται μέσω της μέτρησης των νιτρωδών ή νιτρικών ιόντων στο εμβολισμένο υπόστρωμα και όχι στο μάρτυρα.

Η παρουσία των βακτηρίων *Nitrobacter* sp. στο εμβολιασμένο υπόστρωμα υποδεικνύεται από την παρουσία νιτρικών ιόντων τα οποία δεν ανιχνεύονται στο μάρτυρα ή την απουσία νιτρωδών ιόντων ενώ αυτά ανιχνεύονται στον μάρτυρα (Alexander, 1965)

Για τον προσδιορισμό του πληθυσμού των νιτροποιών βακτηρίων που υπάρχουν στο κομπόστ από πράσινα απόβλητα χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του πλέον πιθανού αριθμού (Most Probable Number -MBN) (Alexander, 1982).

5.3.2.4 Ακτινομύκητες

Για την εκτίμηση του πληθυσμού των ακτινομυκήτων, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της καταμέτρησης των βιώσιμων αναπαραγωγικών μονάδων σε στερεό εκλεκτικό θρεπτικό υπόστρωμα με την παρακάτω σύσταση (ml/l ή g/l) (Clark F.):

Glycerol	10 ml
K ₂ HPO ₄	1g
L-asparagine Monohydrate	1g
CaCO ₃	3g
Agar	15g

Το υλικό αποστειρώθηκε στους 115 °C, για 15'.

Η διαδικασία των διαδοχικών αραιώσεων έγινε όπως και στα ολικά αερόβια και σποριογόνα βακτήρια. Στη συνέχεια τα τρυβλία επώστηκαν στους 30 °C, για 7 ημέρες και καταμετρήθηκαν οι αποικίες με τη βοήθεια μικροσκοπίου. Για τους ακτινομύκητες έγινε καταμέτρηση στις αραιώσεις 10⁻⁵, 10⁻⁶, 10⁻⁷ με τρεις επαναλήψεις στην κάθε αραιώση.

5.3.2.5 Μύκητες-Ζύμες

Η εκτίμηση του πληθυσμού των μυκήτων του κομπόστ έγινε με τη μέθοδο καταμέτρησης των βιώσιμων αναπαραγωγικών μονάδων.

Η διαδικασία των διαδοχικών αραιώσεων έγινε όπως και στα ολικά αερόβια και σποριογόνα βακτήρια.

Το θρεπτικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε ήταν το Sabouraux –Dextrose Agar το οποίο αποστειρώθηκε στους 121 °C, για 15'.

Μετά την αποστείρωση προστέθηκε 1 ml διαλύματος αντιβιοτικού Streptomycin sulfate σε συγκέντρωση 0,03g/ml, για τον περιορισμό βακτηρίων .

Στη συνέχεια επώστηκαν στους 30 °C για 2 ημέρες και καταμετρήθηκαν οι αποικίες που σχηματίστηκαν (ορατές με γυμνό οφθαλμό).

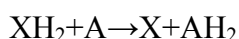
Στα ίδια τρυβλία μετρήθηκαν και οι ζύμες μετά από μικροσκοπική παρατήρηση.

Για τους μύκητες έγινε καταμέτρηση στις αραιώσεις $10^{-3}, 10^{-4}, 10^{-5}$ με τρεις επαναλήψεις στην κάθε αραιώση.

5.3.3. Αναλύσεις βιοχημικών και βιολογικών παραμέτρων

5.3.3.1. Ενζυμική ενεργότητα αφυδρογονασών

Η βιολογική οξείδωση των οργανικών ουσιών είναι γενικά μια διαδικασία αφυδρογόνωσης. Υπάρχουν πολλές αφυδρογονάσες (ένζυμα που καταλύουν την αφυδρογόνωση) οι οποίες παρουσιάζουν μεγάλη εξειδίκευση. Η συνολική διαδικασία της αφυδρογόνωσης μπορεί να παρουσιαστεί ως εξής:



όπου XH_2 είναι η οργανική ένωση (δότης υδρογόνων) και A είναι ο δέκτης υδρογόνων.

Τα συστήματα των ενζύμων των αφυδρογονασών κατέχουν ένα σημαντικό ρόλο στην οξείδωση του οργανικού υλικού του εδάφους καθώς μεταφέρουν H από το υπόστρωμα στον αποδέκτη.

Ο προσδιορισμός της ενζυμικής ενεργότητας των δειγμάτων, έγινε με την μέτρηση της δραστηρότητας των αφυδρογονασών - χρωματομετρική μέθοδος που αναπτύχθηκε από τον Lenhard (1956). Με τη μέθοδο αυτή προσδιορίζεται χρωματομετρικά η 2,3,5 triphenyl formazan (TPF) που παράγεται κατά την αναγωγή του 2,3,5-triphenyltetrazolium chloride (TTC) από τους μικροοργανισμούς (Tabatabai, 1994).

ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΙΑ

1) Διάλυμα TTC 3%

Για την παρασκευή του, διαλύουμε 3g 2,3,5 triphenyltetrazolium chloride σε 80 ml απιονισμένο νερό και συμπληρώνουμε με απιονισμένο νερό έως όγκου 100 ml.

2) TPF πρότυπο διάλυμα

Για την παρασκευή του, διαλύουμε 100 mg 2,3,5 triphenyl formazan σε 80 ml μεθανόλης και συμπληρώνουμε με μεθανόλη έως όγκου 100 ml

3) CaCO_3

4) Μεθανόλη (Methanol- analytical grade)

Αναλυτικότερα:

Σε 20 gr ξηρού δείγματος ($< 2\text{mm}$) προστίθεται 0,2 gr CaCO_3 .

Ζυγίζονται 0,5 gr δείγματος από τρεις φορές και τοποθετούνται σε 3 δοκιμαστικούς σωλήνες (test tubes). Σε κάθε δοκιμαστικό σωλήνα προστίθεται 1 ml διαλύματος TTC 3% και 2,5 ml d H_2O .

Το περιεχόμενο των σωλήνων αναμιγνύεται καλά με γυάλινη ράβδο και στη συνέχεια σφραγίζεται ο σωλήνας με ειδικό stopper από λάστιχο. Τοποθετείται για επώαση στους 37°C για 24 ώρες.

Μετά από 24 ώρες προστίθεται σε κάθε σωλήνα 10 ml μεθανόλης και το περιεχόμενο του ανακινείται για περίπου 1 λεπτό. Στη συνέχεια το περιεχόμενο του σωλήνα διηθείται με τη βοήθεια της συσκευής διήθησης, ενώ κατά τη διάρκεια της διήθησης ξεπλένεται ο κάθε δοκιμαστικός σωλήνας με μεθανόλη και προστίθεται στο φίλτρο μεθανόλη, έως ότου το κόκκινο χρώμα να εξαφανιστεί από το φίλτρο χωρίς όμως ο τελικός όγκος του δείγματος να είναι μεγαλύτερος των 100 ml.

Μετράται η ένταση του κόκκινου χρώματος με το φασματοφωτόμετρο τύπου UV mini 1240 μοντέλο SHIMADZU, σε μήκος κύματος 485 nm, χρησιμοποιώντας ως μάρτυρα (τυφλό) μεθανόλη.

Η ποσότητα του TPF που παράγεται υπολογίζεται με βάση την καμπύλη αναφοράς (βαθμονόμησης) που προκύπτει από τη μέτρηση της οπτικής πυκνότητας διαλυμάτων γνωστής συγκέντρωσης TPF.

Για την κατασκευή της καμπύλης βαθμονόμησης χρησιμοποιούνται διαλύματα με συγκέντρωση 5, 10, 15, 20 μg TPF/ml. Μετράται η ένταση του κόκκινου χρώματος του TPF των πρότυπων διαλυμάτων και σχεδιάζεται η καμπύλη αναφοράς σε σχέση με τη συγκέντρωση του διαλύματος

5.3.3.2 Δυναμικό αυτοθέρμανσης

Η μικροβιακή αερόβια μεταβολική δραστηριότητα που λαμβάνει χώρα κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης είναι μια εξώθερμη αντίδραση, η οποία μπορεί έμμεσα να προσδιοριστεί, υπολογίζοντας το ποσό της θερμότητας που ελευθερώνεται. Αυτό σημαίνει ότι το δυναμικό αυτοθέρμανσης μπορεί να εκφράσει την ένταση της μικροβιακής δραστηριότητας σε ένα δείγμα κομπόστ, μετρώντας κάτω από τυποποιημένες συνθήκες, την αύξηση της θερμοκρασίας του δείγματος.

Αν και το τεστ δεν είναι πολύ ευαίσθητο εξαιτίας της διακυμάνσεως της θερμοχωρητικότητας του δείγματος με την υγρασία, η μέθοδος δεν απαιτεί ακριβό εξοπλισμό ή εξειδικευμένο προσωπικό και μπορεί εύκολα να εφαρμοστεί ως ανεπίσημο μέσο για την εξέταση του βαθμού σταθεροποίησης του κομπόστ. Τη μέθοδο έχει υιοθετήσει τόσο ο Γερμανικός Οργανισμός Ποιότητας του Κομπόστ όσο και πολλοί ερευνητές (Lasaridi, 1998; Weppen, 2002).

Για την εκτέλεση της δοκιμής απαιτούνται δοχεία τύπου Dewar, όγκου 1,5 λίτρων και εσωτερικής διαμέτρου 100 χιλιοστών, τα οποία είναι θερμικά μονωμένα διαμέσου ενός στρώματος κενού μεταξύ των εσωτερικών και εξωτερικών τοιχωμάτων του δοχείου.

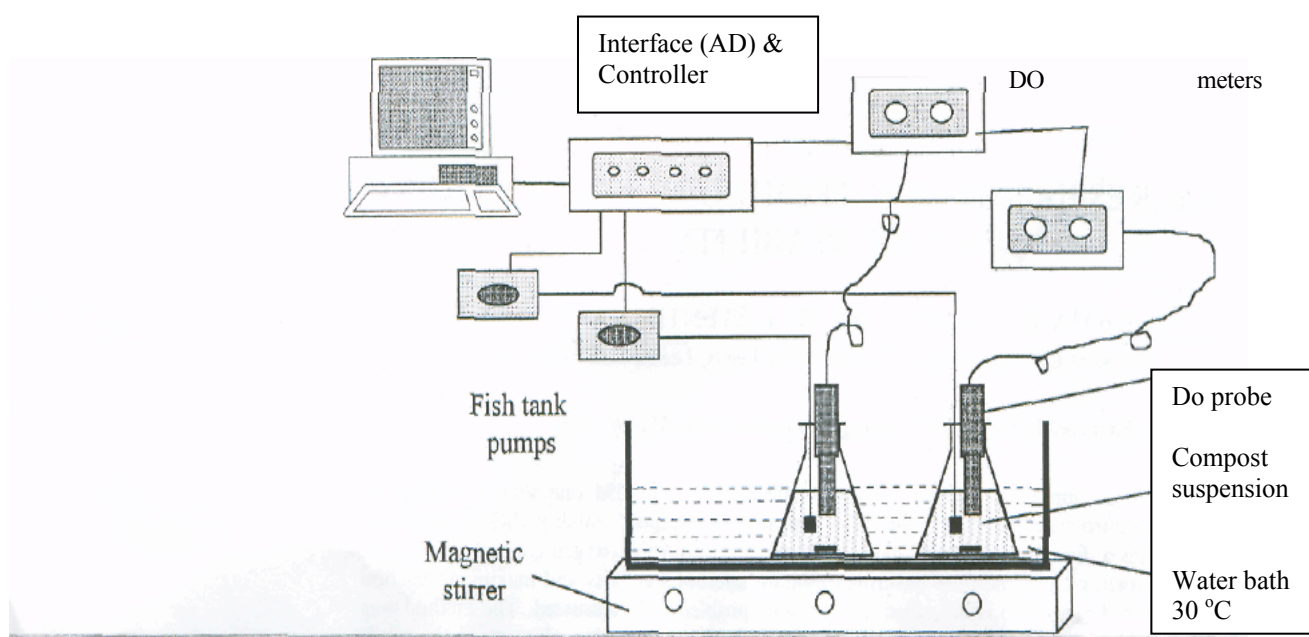
Η μέτρηση της θερμοκρασίας πραγματοποιήθηκε με χρήση αισθητήρων θερμοζεύγους, οι οποίοι τοποθετήθηκαν στο μέσο περίπου του δοχείου στο οποίο είχε τοποθετηθεί το δείγμα και σε απόσταση από τον πυθμένα του δοχείου ίση περίπου με το 1/3 του ύψους του. Οι αισθητήρες αυτοί ήταν συνδεδεμένοι με Η/Υ και μέσω ειδικού λογισμικού, τα δεδομένα των θερμοκρασιών καταχωρούνταν κάθε 30 λεπτά στον Η/Υ. Ταυτόχρονα καταμετρήθηκε η διακύμανση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος. Δύο αισθητήρες χρησιμοποιήθηκαν για να μετρήσουν την θερμοκρασία στο κομπόστ (δύο επαναλήψεις), ενώ άλλοι δύο μετρούσαν τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος για την οποία υπολογίστηκε ο μέσος όρος των δύο τιμών.

Η μέτρηση του δυναμικού αυτοθέρμανσης έγινε δύο φορές κατά τη διάρκεια της παρούσας εργασίας: στο δείγμα του φρέσκου υλικού και μετά την ωρίμανση του κομπόστ. Η καταγραφή για το πρώτο δείγμα διήρκεσε 35 ημέρες, ενώ για το τελευταίο 10 μέρες καθώς σ' αυτό δεν παρατηρήθηκαν αξιόλογες αλλαγές. Γενικότερα η συλλογή στοιχείων μέσα σε χρονική περίοδο 10 ημερών θεωρείται ικανοποιητική (Reinikainen and Herranen, 2001).

5.3.3.3 Αναπνευστική δραστηριότητα

Η αναπνευστική δραστηριότητα του δείγματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης της διαδικασίας σταθεροποίησης του προϊόντος. Ο ειδικός ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου (SOUR test) είναι μια μέθοδος η οποία εκτιμά ποσοτικά τη δραστηριότητα των μικροοργανισμών στο κομπόστ. Η μικροβιακή δραστηριότητα σχετίζεται άμεσα με την ποσότητα του εύκολα βιοδιασπώμενου οργανικού υλικού στο δείγμα και συνεπώς έχει προέκταση στη συνολική διαδικασία αποσύνθεσης (Lasaridi, 1998).

Ο στόχος της δοκιμής, είναι να μετρήσει το μέγιστο ρυθμό οξυγόνου που καταναλώνεται όταν ο μόνος περιοριστικός παράγοντας είναι η ποσότητα του αφομοιώσιμου άνθρακα (Lasaridi and Stentiford, 1998). Η δοκιμή SOUR μετράει τον μέγιστο ρυθμό της κατανάλωσης οξυγόνου σε ένα υδατικό αιώρημα κομπόστ χρησιμοποιώντας έναν αισθητήρα μέτρησης διαλυμένου οξυγόνου. Η πειραματική διάταξη παρουσιάζεται στο σχηματικό διάγραμμα 5.1 που ακολουθεί (Lasaridi and Stentiford, 1998).



Διάγραμμα 5.1. Απεικόνιση των εργαλείων μέτρησης της αναπνευστικής δραστηριότητας του υδατικού διαλύματος κομπόστ.

Χρησιμοποιήθηκε μαγνητικός αναδευτήρας, κωνική φιάλη 500 ml, ένα μαγνητάκι το οποίο τοποθετήθηκε στην κωνική φιάλη και αισθητήρας μέτρησης διαλυμένου οξυγόνου, ο οποίος τοποθετήθηκε μαζί με την αντλία αερισμού του δείγματος στο κέντρο της φιάλης και σε βάθος 5-7 cm κάτω από την επιφάνεια του νερού (Lasaridi and Stentiford, 1998). Ο ρυθμός της κατανάλωσης οξυγόνου μετρήθηκε σε υδατικό διάλυμα κομπόστ. Χρησιμοποιήθηκαν 10 g υλικού σε 500 ml d H₂O. Πριν την τοποθέτηση του κομπόστ στη κωνική φιάλη με το απιονισμένο νερό, προηγούνταν ομογενοποίηση του υλικού με τη χρήση ενός μίξερ. Στη συνέχεια προστέθηκαν στην κωνική φιάλη ποσότητες από τα 4 διαλύματα που χρησιμοποιούνται στην παρασκευή νερού αραίωσης για τη μέτρηση του BOD (APHA,1992) ως εξής:

5 ml , FeCl₃ (διάλυμα χλωριούχου σιδήρου)

5 ml, MgSO₄ (διάλυμα θειϊκού μαγνησίου)

5 ml, CaCl₂ (διάλυμα χλωριούχου ασβεστίου)

15 ml, ρυθμιστικού διαλύματος φωσφορικών με pH = 7,2

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων του αισθητήρα μεταφέρονταν και αποθηκεύονταν σε ηλεκτρονικό υπολογιστή με τη χρήση διάταξης αυτοματισμού και λογισμικού (“Oxygen M”) το οποίο κατασκευάστηκε για λογαριασμό του Χαροκοπέιου Πανεπιστημίου από το TEI Κρήτης (Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών). Ο χρόνος αερισμού ήταν 20 min. Η καταγραφή γινόταν για 15 min μετά από κάθε αερισμό ενώ η μέτρηση της τιμής του διαλυμένου οξυγόνου κάθε 60 sec. Η διάρκεια του πειράματος για κάθε αιώρημα ήταν 24 ώρες, ενώ για κάθε δείγμα κομπόστ πραγματοποιούνταν δύο επαναλήψεις. Το δείγμα της δεύτερης μέρας διατηρούνταν στο ψυγείο (~ 4 °C) έτσι ώστε να μην υποστεί σημαντική αλλοίωση.

Η ανάλυση των δεδομένων που κατεγράφησαν μέσω του προγράμματος Oxygen M, έγινε χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα Excel .

Για κάθε διάστημα μέτρησης (15 λεπτά) οι πρώτες δύο τιμές εξαιρέθηκαν κατά την επεξεργασία των δεδομένων, γιατί συνήθως δεν είναι αξιόπιστες .

5.3.2.4. Φυτοτοξικότητα

Για την εκτίμηση της φυτοτοξικότητας σε υδατικό εκχύλισμα των δειγμάτων του κομπόστ έγιναν βιοδοκιμές με σπόρους κάρδαμου (*Lepidium sativum*) (Zucconi *et al.*, 1981).

Προκειμένου να χρησιμοποιηθεί το υδατικό εκχύλισμα του κομπόστ, 10 g δείγματος προστέθηκαν σε 90 ml d H₂O και μετά από ισχυρή ανάδευση για 2 ώρες σε μηχανικό αναδευτήρα και ακόλουθη ηρεμία του εκχυλίσματος, το δείγμα διηθήθηκε με τη βοήθεια συσκευής διήθησης και φίλτρα Watman διαμέτρου 5,5 εκατοστών.

Χρησιμοποιήθηκαν τρυβλία (petri dishes), στα οποία αφού τοποθετήθηκαν 3 φύλλα διηθητικό χαρτί, μετρήθηκαν 25 σπόροι κάρδαμου σε κάθε ένα και διαβρέχθηκαν με 5 ml εκχυλίσματος. Για κάθε δείγμα έγιναν 3 επαναλήψεις ενώ ως μάρτυρας χρησιμοποιήθηκε μια σειρά από 3 τρυβλία, με διαβροχή των σπόρων με νερό βρύσης, αντί για εκχύλισμα κομπόστ (Warman, 1999) .

Στη συνέχεια το τρυβλία τυλίχτηκαν με υγρό διηθητικό χαρτί για να διατηρηθεί η υγρασία σε επιθυμητά επίπεδα και τοποθετήθηκαν σε αεροστεγή πλαστικά δοχεία. Η επώαση των τριβλίων έγινε σε επωαστικό θάλαμο για 2 ημέρες στους 25 °C. Στο τέλος του χρόνου επώασης μετρήθηκε το ποσοστό βλαστικότητας των σπόρων και το μήκος του ριζιδίου των φυταρίων με τη βοήθεια χιλιοστομετρικού χαρτιού.

Η φυτοτοξικότητα εκφράζεται από το δείκτη βλαστικότητας (Germination Index) ο οποίος αποτελεί το γινόμενο του μήκους των ριζιδίων και του ποσοστού βλαστικότητας εκφρασμένο επί τοις εκατό του μάρτυρα:

Δείκτης βλαστικότητας (%) = M.O μήκους ριζιδίου (% του μάρτυρα) x ποσοστό βλάστησης (% του μάρτυρα) / 100 .

5.3.4 Αγρονομική αξιολόγηση του κομπόστ

Προκειμένου να διαπιστωθεί η ωφέλεια από τη χρήση του κομπόστ ως βελτιωτικό εδάφους, έγινε παρακολούθηση της εφαρμογής του σε γλάστρες με την τοποθέτηση σπόρων από *Festuca arundinacea* sp. ποικιλία Fawn (είδος κατάλληλο για γκαζόν σε ξηροθερμικές περιοχές).

Πρόκειται για ένα είδος το οποίο παρουσιάζει μεγάλη προσαρμοστικότητα στην κλιματική ζώνη μεταξύ της ψυχρής υγρής και θερμής υγρής ζώνης. Αντεπεξέρχεται με επιτυχία το στρες των υψηλών θερμοκρασιών του καλοκαιριού στην Ελλάδα αν και ο ρυθμός ανάπτυξης του μειώνεται πολύ. Αναπτύσσεται καλύτερα σε εδάφη με τιμές pH μεταξύ 5,5-6,5 αλλά ανέχεται καλά τιμές από 4,7 έως 8,7. Κατάλληλα εδάφη για την ανάπτυξή της είναι τα αμμώδη (Σπαντιδάκης, 1999).

Οι δοκιμές έγιναν σε μείγματα κομπόστ με έδαφος που προέρχεται από τον κήπο του Πανεπιστημίου. Χρειάστηκε όμως πρώτα, να προσδιοριστεί ο τύπος του εδάφους αυτού, με κοκκομετρική ανάλυση και να διορθωθεί με την προσθήκη άμμου, ώστε να καταστεί κατάλληλο για την ανάπτυξη του γρασιδιού καθώς τα αμμώδη εδάφη ευνοούν τις συνθήκες ανάπτυξής του.

5.3.4.1 Κοκκομετρική ανάλυση εδαφών

Η κοκκομετρική ανάλυση χρησιμοποιήθηκε για να προσδιοριστεί η μηχανική σύσταση του εδάφους που χρησιμοποιήθηκε για την αγρονομική εξέταση του κομπόστ.

Για την κοκκομετρική ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν κόσκινα διαφορετικής διαμέτρου οπής. Τα διαδοχικά χρησιμοποιούμενα κόσκινα τοποθετούνται έτσι ώστε να σχηματίζουν κατακόρυφη στήλη, με τη διάμετρο οπής να ελαττώνεται από την κορυφή προς τη βάση έτσι ώστε να κατακρατείται το περισσότερο χονδρόκοκκο κλάσμα στο κόσκινο μεγαλύτερης διαμέτρου.

Πριν τη διαδικασία του κοσκινίσματος είναι απαραίτητη η ξήρανση του δείγματος του εδάφους.

Ζυγίζεται το ξηρό δείγμα του εδάφους το οποίο τοποθετείται στο πάνω κόσκινο της σειράς κόσκινων. Στο κάτω μέρος της στήλης τοποθετείται πιάτο που συλλέγει το κλάσμα που διέρχεται από το κατώτερο και λεπτότερο κόσκινο. Στη

συνέχεια τοποθετείται η σειρά των κόσκινων στη συσκευή δόνησης και τίθεται σε λειτουργία. Μετά από χρόνο δέκα λεπτών συνήθως διακόπτεται η δόνηση και απομακρύνονται τα κόσκινα προσεκτικά ώστε να μειωθούν οι απώλειες σε έδαφος. Το έδαφος που κατακρατά κάθε κόσκινο συλλέγεται και ζυγίζεται με ζυγό ακριβείας ενώ ταυτόχρονα ανάγεται το βάρος του εδάφους κάθε κόσκινου σε αναλογία % του βάρους του αρχικού δείγματος. Με τα ποσοστά αυτά υπολογίζονται οι παράμετροι του μεγέθους των κόκκων. Ο υπολογισμός αυτός γίνεται με τη βοήθεια της γραφικής μεθόδου. Τα αθροιστικά % ποσοστά κατά βάρος τοποθετούνται σε ένα διάγραμμα με δύο άξονες. Ο οριζόντιος άξονας είναι αριθμητικός και απεικονίζει το μέγεθος των κόκκων σε μονάδες Φ, ή λογαριθμικός και απεικονίζει το μέγεθος των κόκκων με τη διάμετρό τους σε mm. Στον κατακόρυφο άξονα τοποθετούνται τα αθροιστικά % ποσοστά, τα ποσοστά κατά κλάσμα κλπ. Τα σημεία που προκύπτουν ενώνονται με μικρές ευθείες γραμμές.

Ανάλογα με τους άξονες μπορούμε να σχηματίσουμε (Briggs, 1977):

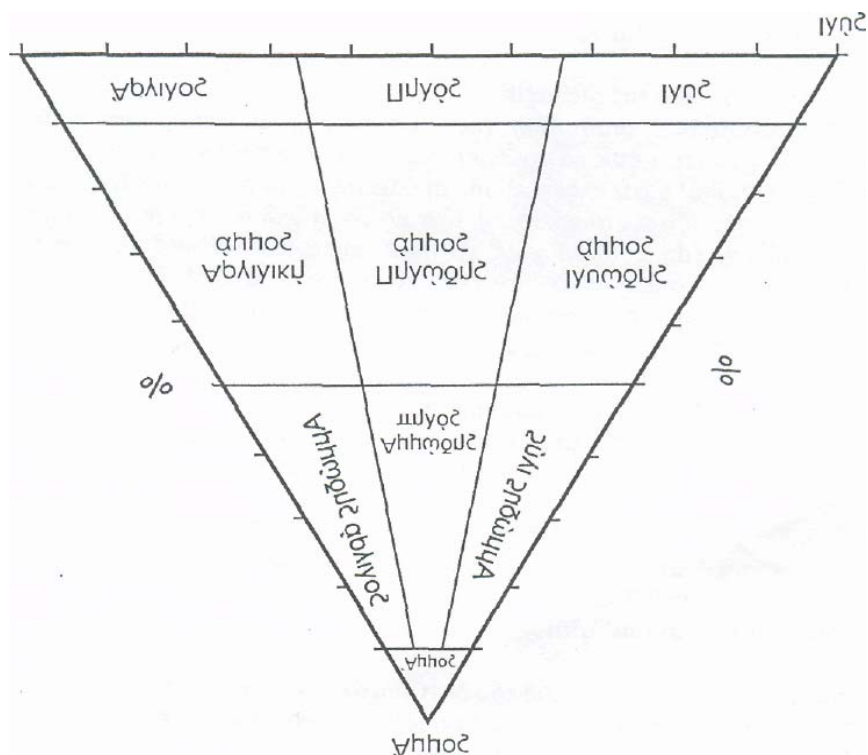
- Ιστόγραμμα όπου η όλη κατανομή των κόκκων στο ίζημα γίνεται φανερή με μια ματιά.

- Αθροιστική καμπύλη, με χρήση χιλιοστομετρικού χαρτιού για τις μονάδες Φ ή ημιλογαριθμικού χαρτιού για την κλίμακα σε mm.

- Αθροιστική καμπύλη πιθανοτήτων
- Καμπύλη συχνότητας

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η αθροιστική καμπύλη με χρήση ημιλογαριθμικού χαρτιού.

Το διάγραμμα 5.2 που ακολουθεί φαίνεται η ταξινόμηση και η ονοματολογία μείγματος άμμου-πηλού κατά Folk. Ανάλογα με τα ποσοστά σε άργιλο, ιλύ και άμμο το έδαφος κατατάσσεται σε διάφορες κατηγορίες.



Άργιλος($d < 1/256$)

2:1

1:2

($d < 1/256 < d < 1/16$)

Διάγραμμα 5.2 Ταξινόμηση και ονοματολογία λεπτόκοκκων ιζημάτων κατά Folk.

Μετά από την κοκκομετρική ανάλυση διαπιστώθηκε ότι το έδαφος που εξετάστηκε δεν ήταν αμμώδες όπως απαιτείται για την ανάπτυξη του γκαζόν, γι' αυτό το λόγο προστέθηκε άμμος ποταμίσια σε κατάλληλο ποσοστό σύμφωνα με τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής ανάλυσης του πρώτου δείγματος (βλ. Αποτελέσματα κοκκομετρικής ανάλυσης Πίνακας 6.9, σελ 103).

5.3.4.2. Παρασκευή υποστρωμάτων

Σύμφωνα με τα στοιχεία της διεθνούς βιβλιογραφίας, η χρήση κομπόστ σε μεγάλη αναλογία για την παρασκευή υποστρωμάτων, δεν έχει θετικά αποτελέσματα καθώς εμφανίζει υψηλά ποσοστά τοξικότητας για τα φυτά. Με βάση το στοιχείο αυτό, η χρήση του κομπόστ έγινε σε αναλογίες 2%, 5%, 10% και 20% κατά βάρος, ενώ ως μάρτυρας λειτούργησε το υπόστρωμα χωρίς την προσθήκη κομπόστ. Οι χειρισμοί που έγιναν ήταν πέντε, χρησιμοποιώντας πέντε επαναλήψεις για κάθε έναν από αυτούς, έτσι ώστε να έχουμε όσο το δυνατό περισσότερο αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα.

Για την παρασκευή του υποστρώματος πριν τη σπορά τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν είναι:

- ♦ 25 γλάστρες, διαστάσεων 40x20x15 cm
- ♦ Φυσικό χώμα από τον κήπο του πανεπιστημίου συνολικού όγκου 200 λίτρα κοσκινισμένο με κόσκινο 4 χιλιοστών.
- ♦ Σπόροι από *Festuca arundinacea* ελεγμένοι από το Υπ. Γεωργίας με ημερομηνία σφράγισης της συσκευασίας, 20 Μαρτίου 2003
- ♦ Άμμος ποταμίσια, προκειμένου να βελτιωθούν οι συνθήκες αερισμού και στράγγισης των υποστρωμάτων στις γλάστρες.
- ♦ περλίτης, ο οποίος λειτουργεί ως υλικό κατάλληλο για την αύξηση του συνολικού πορώδους και της υδατοϊκανότητας των αμμοδών εδαφών σε ποσοστό 1% κ. β
- ♦ λίπασμα τύπου 11-15-15 σε (N-P₂O₅-K₂O) σε αναλογία 30 gr/m³
- ♦ κομπόστ σε αναλογίες 0%, 2%, 5%, 10% και 20% κ.β σε 5 γλάστρες – επαναλήψεις ανά χειρισμό.

5.3.4.3. Φύτευση και αξιολόγηση της ανάπτυξης του γρασιδιού

Οι σπόροι φυτεύθηκαν σε πυκνότητα 40 gr/m². Αυτό σημαίνει ότι σε κάθε γλάστρα (εμβαδού 0,08 m²) το βάρος των σπόρων ήταν 3,2 gr. Οι γλάστρες τοποθετήθηκαν σε ανοιχτό χώρο, σε τυχαιοποιημένη διάταξη, στην ίδια περιοχή ώστε να υπάρχει ομοιομορφία ως προς τις περιβαλλοντικές συνθήκες (φωτισμού, αέρα, θερμοκρασίας κτλ). Για την ανεμπόδιστη ανάπτυξη των σπόρων τοποθετήθηκαν στις

γλάστρες ειδικά ξυλάκια με αιχμηρή άκρη, ώστε να μην πλησιάζουν πουλιά ή γάτες με στόχο να ελαχιστοποιηθεί ο κίνδυνος καταστροφής του υλικού. Οι γλάστρες ποτίζονταν κάθε μέρα, ειδικά τις πρώτες μέρες εγκατάστασης των σπόρων.

Για την καλύτερη διεξαγωγή συμπερασμάτων έγιναν τρεις επαναλήψεις, όσον αφορά στο κόψιμο του γρασιδιού σε διάστημα συνολικά τριών μηνών.

Η φύτευση των σπόρων άρχισε μετά από 5 ημέρες και σε 30 ημέρες από την ημερομηνία σποράς, έγινε το πρώτο κόψιμο του γκαζόν, αφού αφαιρέθηκαν τα ζιζάνια που είχαν αναπτυχθεί στις γλάστρες. Από κάθε γλάστρα ξεχωριστά κόπηκε με ψαλίδι το γκαζόν μέχρι αποστάσεως 2 εκ από το υπόστρωμα της κάθε γλάστρας. Στη συνέχεια ζυγίστηκε το μεικτό βάρος (χλωρό βάρος) του γκαζόν από κάθε γλάστρα χωριστά και τοποθετήθηκε για 24 ώρες στους 105 °C προκειμένου να βρεθεί το ξηρό βάρος για κάθε χειρισμό.

5.3.5 Στατιστική ανάλυση

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων από τις φυσικές, χημικές και μικροβιολογικές αναλύσεις, επεξεργάστηκαν με τη βοήθεια του στατιστικού προγράμματος Sigma Stat 2.03.

Πραγματοποιήθηκαν οι εξής αναλύσεις:

Ο συντελεστής συσχέτισης Pearson, χρησιμοποιείται όταν έχουμε δύο μεταβλητές των οποίων η συνάφεια (συσχέτιση) είναι ευθύγραμμη και όταν η κλίμακα μέτρησης και στις δύο μεταβλητές είναι ίσων διαστημάτων. Χρησιμοποιείται όταν έχουμε ποιοτικές ή κατηγορικές μεταβλητές. Ο αριθμός r μεταβάλλεται από -1 έως $+1$ (Καραγεώργος, 2001).

Για τα ζεύγη των μεταβλητών με $P \text{ value} < 0,05$ υπάρχει συσχέτιση μεταξύ τους. Για τα ζεύγη με $P \text{ value} > 0,05$ δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών.

- Επίσης όσον αφορά στην αγρονομική αξιολόγηση του κομπόστ έγινε σύγκριση των τιμών ξηρού βάρους και μικτού βάρους του γρασιδιού από κάθε χειρισμό με χρήση ANOVA (One way analysis of variance), προκειμένου να διαπιστωθεί αν υπάρχει ή όχι στατιστικά σημαντική διαφορά από τη χρήση του κομπόστ μεταξύ των χειρισμών.

Κεφάλαιο 6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

6.1. Διακύμανση της θερμοκρασίας

Η συλλογή του υλικού των πράσινων απορριμμάτων πραγματοποιήθηκε κατά τους μήνες Σεπτέμβριο και Οκτώβριο. Έως το τέλος του μήνα Οκτωβρίου το ξύλινο κιβώτιο κομποστοποίησης είχε πληρωθεί με το υλικό. Η μέτρηση της θερμοκρασίας του υλικού όμως άρχισε στις 18 Νοεμβρίου του 2003. Γι' αυτό το λόγο, χάθηκαν οι πρώτες μετρήσεις της θερμοκρασίας του φρέσκου υλικού.

Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 6.1, παρατηρούμε ότι ιδιαίτερα υψηλές θερμοκρασίες κομπόστ σε σχέση με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, παρατηρήθηκαν τις πρώτες 30 ημέρες της κομποστοποίησης. Η μέγιστη θερμοκρασία που καταγράφηκε ήταν 62,8 °C την 17^η μέρα της κομποστοποίησης, στη θερμοφιλή φάση και η αμέσως επόμενη υψηλή θερμοκρασία μετρήθηκε την 25^η ημέρα της κομποστοποίησης αμέσως μετά το πρώτο γύρισμα του υλικού, η οποία ήταν 52,1 °C.

Μετά την 30^η μέρα της κομποστοποίησης οι θερμοκρασίες άρχισαν σταδιακά να πέφτουν έως ότου πλησίασαν αρκετά εκείνες του περιβάλλοντος. Από το δεύτερο γύρισμα και μετά δεν υπήρξε καμία έντονη μεταβολή της θερμοκρασίας στο υλικό. Σύμφωνα με τους de Guardia *et al.* (1998), η μέγιστη θερμοκρασία του κομπόστ πράσινων απορριμμάτων φτάνει τους 70 °C. Οι Brewer and Sullivan (2003) εντόπισαν θερμοκρασίες υψηλές, έως 75 °C, τις πρώτες μέρες της κομποστοποίησης έως την 25^η ημέρα. Την 40^η έως την 60^η ημέρα οι θερμοκρασίες κυμαίνονταν στους 25-40 °C ενώ μετά την 70^η ημέρα η θερμοκρασία έπεσε στους 20-35 °C.

Η μείωση της θερμοκρασίας, κοντά στις περιβαλλοντικές συνθήκες είναι ένας δείκτης που υποδηλώνει ότι η διαδικασία της κομποστοποίησης πλησιάζει στην ολοκλήρωσή της (Haug, 1993).

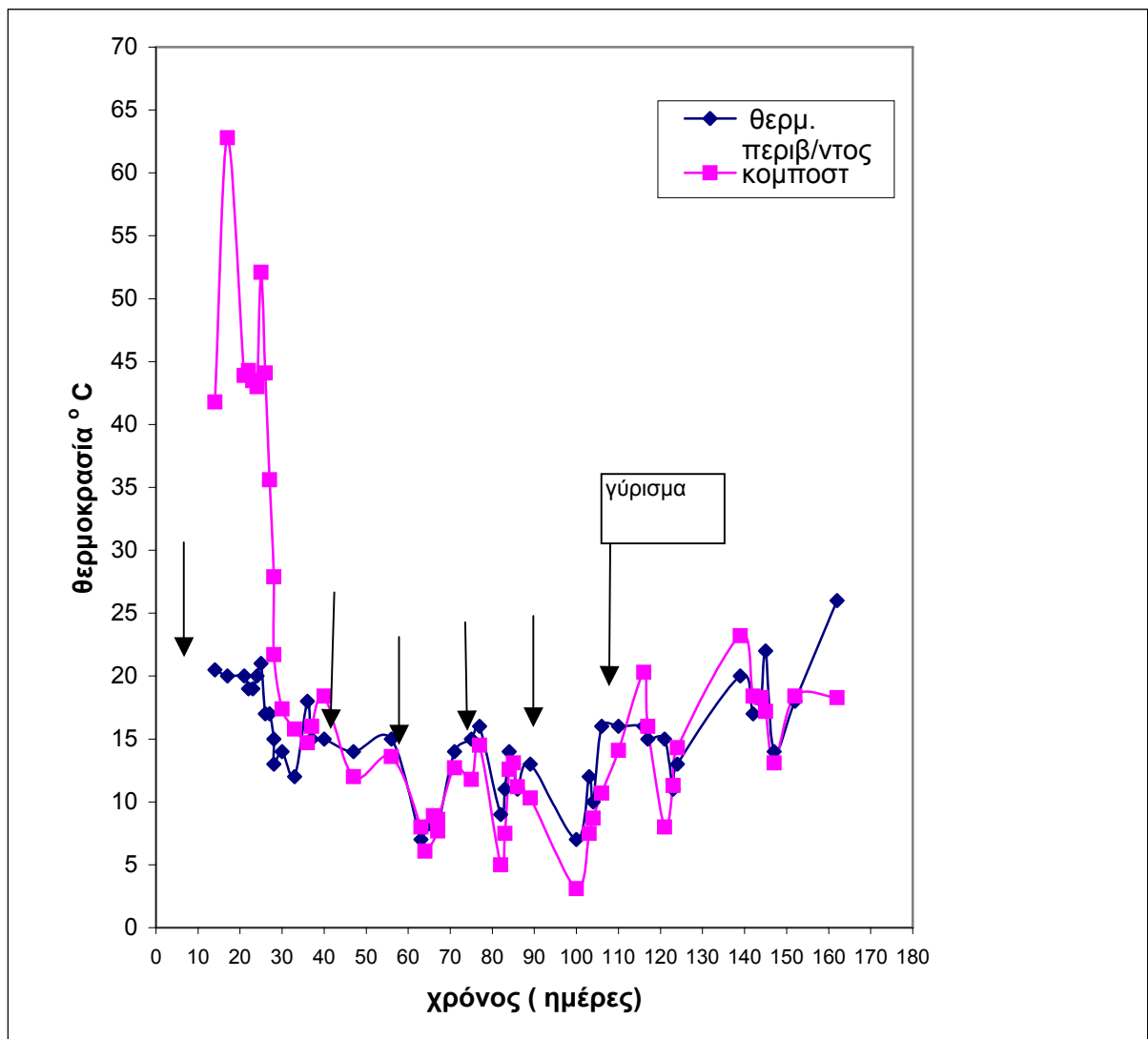
Από τις μετρήσεις της θερμοκρασίας που καταγράφηκαν στο σωρό σε καθημερινή σχεδόν βάση, προκύπτει ότι το μεσόφιλο στάδιο διαρκεί 14 ημέρες, το θερμοφιλό στάδιο από την 14^η ημέρα έως την 26^η ημέρα, το στάδιο της πτώσης της θερμοκρασίας από την 26^η ημέρα έως την 40^η ημέρα, ενώ η φάση της ωρίμανσης από την 40^η ημέρα έως το τέλος της κομποστοποίησης.

Τα στάδια της κομποστοποίησης όπως προέκυψαν από τη διακύμανση της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της διεργασίας, φαίνονται αναλυτικά στον πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 6.1 Οι φάσεις της κομποστοποίησης στο σωρό

Στάδιο Κομποστοποίησης	Μεσόφιλο	Θερμόφιλο	Πτώση Θερμοκρασίας	Ωρίμανση
Ημέρες	0-14 ^η	14 ^η -26 ^η	26 ^η -40 ^η	40 ^η – τέλος της διαδικασίας

Οι Tiquia *et al.* (2002b) μελέτησαν το εύρος θερμοκρασιών κατά την κομποστοποίηση πράσινων αποβλήτων και βρήκαν ανάλογα αποτελέσματα. Η μέγιστη θερμοκρασία έφτασε τους 70° C από τις πρώτες 24 ώρες της κομποστοποίησης ενώ το θερμόφιλο στάδιο διατηρήθηκε μέχρι την 14^η ημέρα. Μετά η θερμοκρασία έπεσε και έως την 37^η ημέρα κυμάνθηκε σε επίπεδα μεταξύ 30-35 °C.



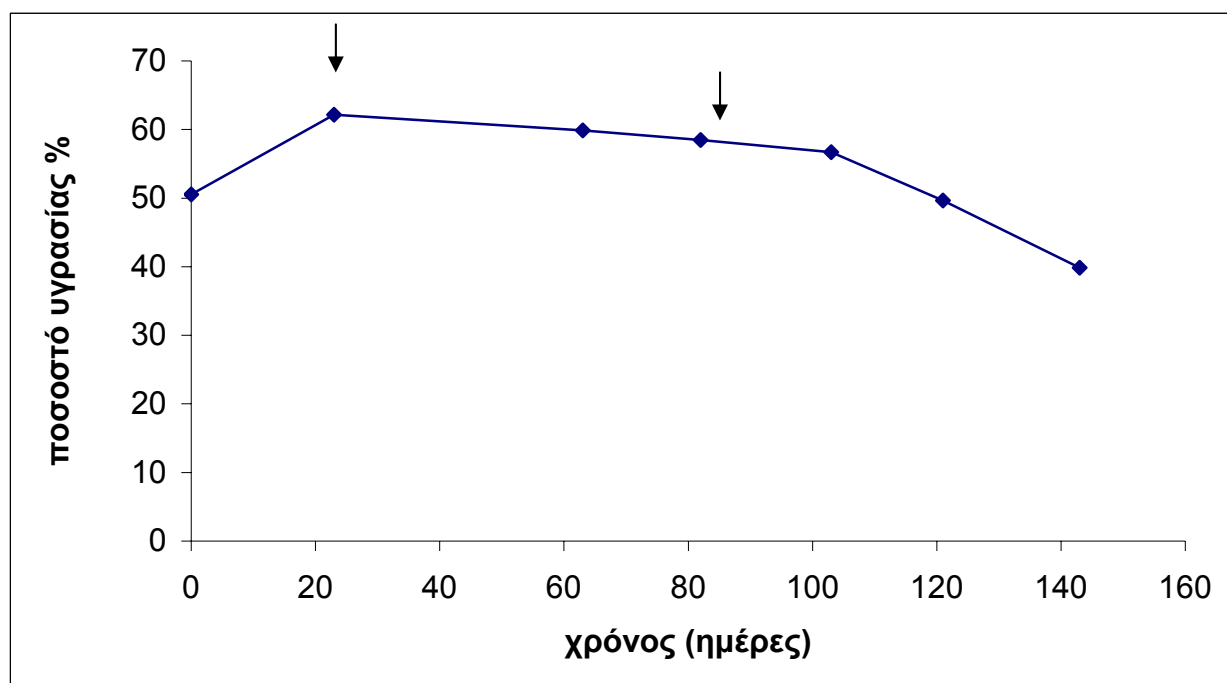
Διάγραμμα 6.1 Η διακύμανση της θερμοκρασίας με το χρόνο, κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.

6.2. Υγρασία

Όσον αφορά στις μετρήσεις της υγρασίας των πράσινων αποβλήτων, αυτές πραγματοποιούνταν πριν το γύρισμα του υλικού, προκειμένου να γνωρίζουμε αν θα πρέπει να επέμβουμε ή όχι με προσθήκη νερού, προκειμένου να διατηρήσουμε την υγρασία στα επιθυμητά επίπεδα.

Τα αποτελέσματα της υγρασίας παρουσιάζονται στο διάγραμμα 6.2. σύμφωνα με το οποίο η μέγιστη τιμή της υγρασίας κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης παρατηρήθηκε την 23^η μέρα της κομποστοποίησης (αποτελέσματα από το 2^ο δείγμα) όπου έφτασε το 62%. Ποσοστά υγρασίας κάτω του 50% παρατηρήθηκαν μετά την 120^η ημέρα στην διάρκεια της μη ενεργής φάσης της κομποστοποίησης σύμφωνα με τα αποτελέσματα που πήραμε από το 6^ο και 7^ο δείγμα.

Έχει παρατηρηθεί ότι υψηλοί ρυθμοί μικροβιακής δραστηριότητας παρατηρούνται όταν η υγρασία κυμαίνεται μεταξύ 50-70% (Haug, 1993).



Διάγραμμα 6.2 Διακύμανση του ποσοστού της υγρασίας κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης. Με τα βελόνια συμβολίζεται η προσθήκη νερού (23^η ημέρα και 82^η ημέρα κομποστοποίησης).

6.3 Πτητικά στερεά

Η μέτρηση του ποσοστού των πτητικών στερεών στο κομπόστ προσδιορίζει την οργανική ουσία του, η οποία εξαρτάται άμεσα από την πρώτη ύλη που χρησιμοποιείται για την παραγωγή του κομπόστ.

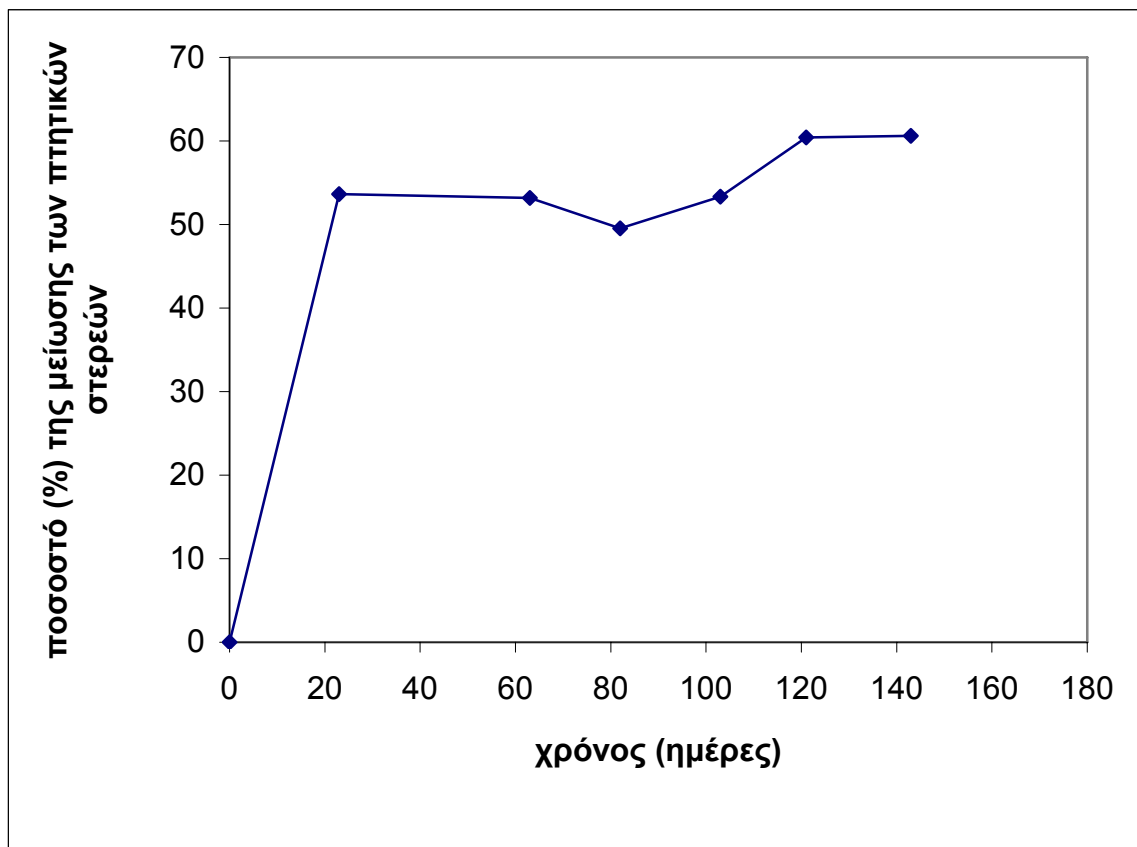
Στο διάγραμμα 6.4 παρουσιάζεται η διακύμανση των πτητικών στερεών κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης των πράσινων αποβλήτων του Χαροκοπείου Πανεπιστημίου. Γενικά, παρατηρείται μια πτωτική τάση στα πτητικά στερεά. Από 82% στην αρχή της επεξεργασίας στο 70% περίπου μετά από τρεις εβδομάδες κομποστοποίησης. Το υπόλοιπο διάστημα της κομποστοποίησης, τα πτητικά στερεά δείχνουν μια σταθεροποίηση σε αυτό το επίπεδο.

Με βάση τη διακύμανση της μείωσης των πτητικών στερεών όταν το περιεχόμενο της τέφρας του κομπόστ θεωρείται σταθερό, παρατηρείται επίσης πτωτική τάση όπως απεικονίζεται στο διάγραμμα 6.3.

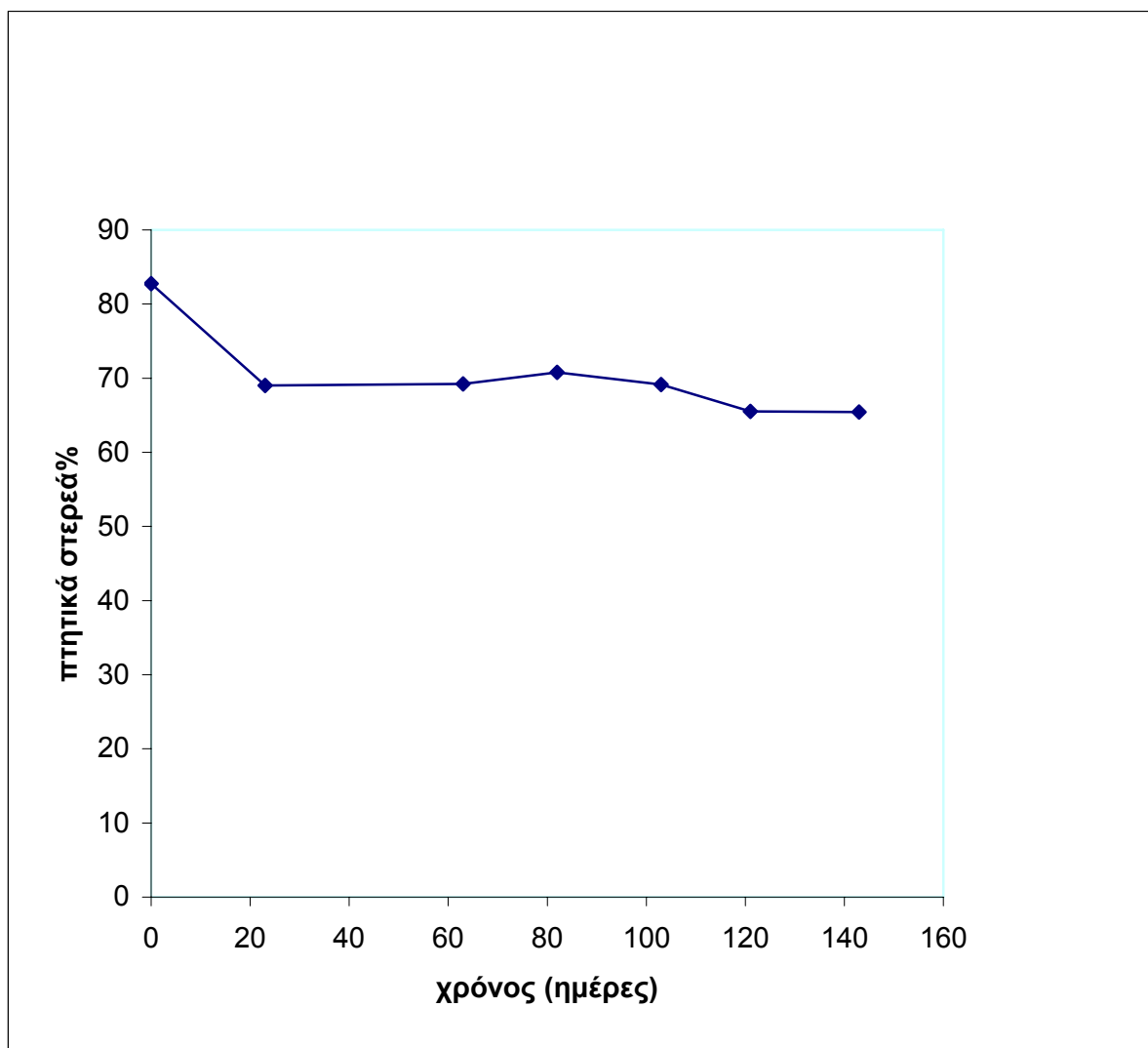
Οι Papadimitriou and Balis (1996) παρατήρησαν ότι η μείωση των πτητικών στερεών ήταν υψηλότερη κατά την περίοδο της πτώσης της θερμοκρασίας όταν η δραστηριότητα των οργανισμών δεν ήταν υψηλή.

Οι Frederickson *et al.* (1997) διαπίστωσαν ότι τα πτητικά στερεά κατά την κομποστοποίηση πράσινων απορριμμάτων μειώθηκαν κατά 15% τις δύο πρώτες εβδομάδες της κομποστοποίησης. Από αρχικό ποσοστό 65% την ημέρα 0 έφτασαν σε ποσοστό 50% την 14^η ημέρα της κομποστοποίησης. Στη συνέχεια μειώθηκαν με πιο αργό ρυθμό.

Η συνολική μείωση του ποσοστού του οργανικού υλικού κυμαίνεται στα πράσινα απορρίμματα από 5-10% (de Guardia *et al.*, 1998). Αυτό σημαίνει ότι η συγκέντρωση της οργανικής ουσίας μειώνεται με πολύ αργό ρυθμό.



Διάγραμμα 6.3 Η μείωση των πτητικών στερεών (% της αρχικής ποσότητας) κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.



Διάγραμμα 6.4 Διακύμανση του ποσοστού των πτητικών στερεών κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.

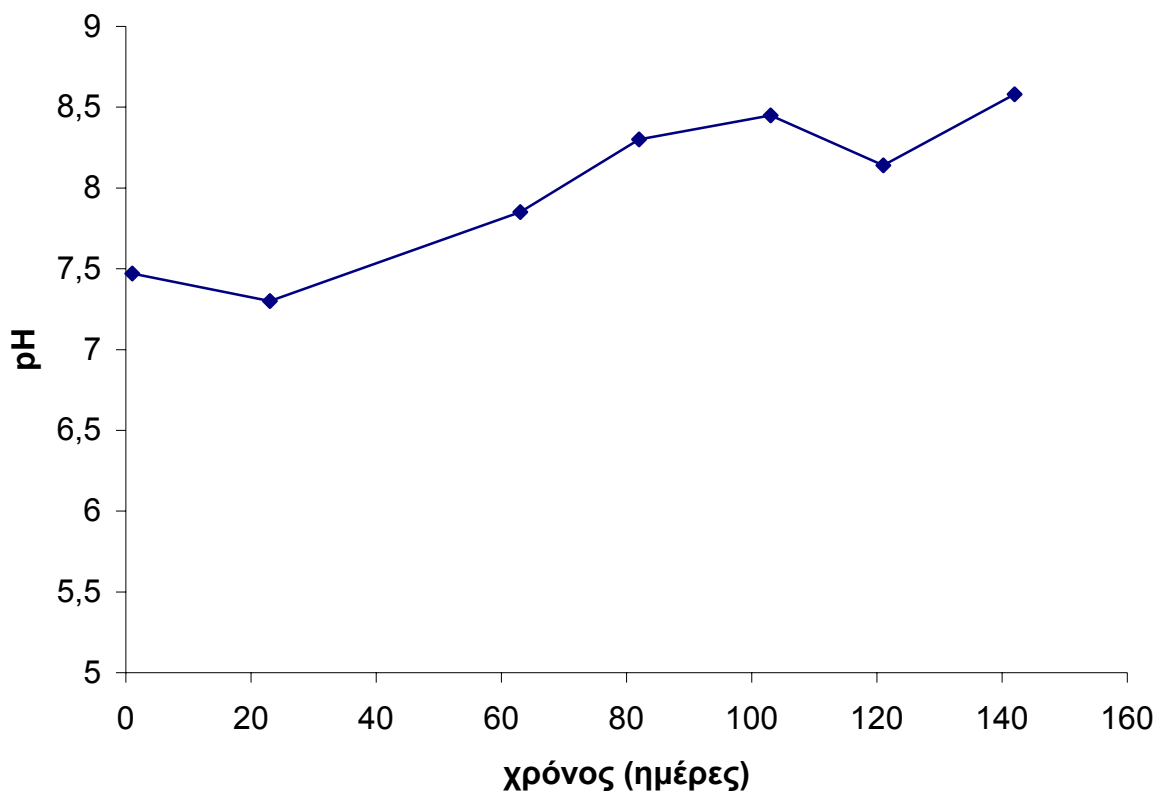
6.4 pH.

Τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις του pH απεικονίζονται στο διάγραμμα 6.5. Τις πρώτες μέρες της κομποστοποίησης οι τιμές του pH ήταν ανάμεσα στο 7,0 και το 7,5. Μετά την 30^η μέρα η τιμή του άρχισε να αυξάνεται και έφτασε έως την τιμή 8,5 ενώ στη συνέχεια σχεδόν σταθεροποιήθηκε. Οι τιμές που παρατηρήθηκαν βρίσκονται σε καλή συμφωνία με τη σχετική βιβλιογραφία.

Ο Golueke (1991) επισήμανε ότι οι τιμές του pH στην αρχή της κομποστοποίησης είναι χαμηλές γιατί σχηματίζονται τα οργανικά οξέα από διάφορες εύκολα αποικοδομήσιμες ανθρακούχες ενώσεις, όπως μονοσακχαρίδια. Στη συνέχεια οι μικροοργανισμοί αρχίζουν να διασπούν τις πρωτεΐνες με αποτέλεσμα να απελευθερώνεται αμμωνία οπότε η τιμή του pH αυξάνεται. Στα ίδια αποτελέσματα κατέληξαν και οι de Guardia *et al.* (2002).

Οι Brewer and Sullivan (2003) βρήκαν ότι οι τιμές του pH κυμάνθηκαν σε χαμηλότερα επίπεδα κατά τη διάρκεια των πρώτων ημερών της κομποστοποίησης, γεγονός που υποδηλώνει ίσως υψηλή συγκέντρωση των οργανικών οξέων κάτω από αναερόβιες συνθήκες. Μετά την 21^η ημέρα της κομποστοποίησης οι τιμές του pH αυξήθηκαν, εξαιτίας της διάσπασης των οργανικών οξέων κάτω από περισσότερο αερόβιες συνθήκες. Γενικά όμως οι τιμές που μετρήθηκαν δεν ξεπέρασαν το 7.

Σύμφωνα με τους Benito *et al.* (2003) οι τιμές του pH σε απόβλητα από κλαδεύσεις αυξάνονταν με τον χρόνο κομποστοποίησης από την τιμή 6,9 την ημέρα 0 ως την τιμή 8,1 την 190^η ημέρα κομποστοποίησης.



Διάγραμμα 6.5. Η διακύμανση των τιμών του pH με το χρόνο κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.

6.5 Ηλεκτρική αγωγιμότητα

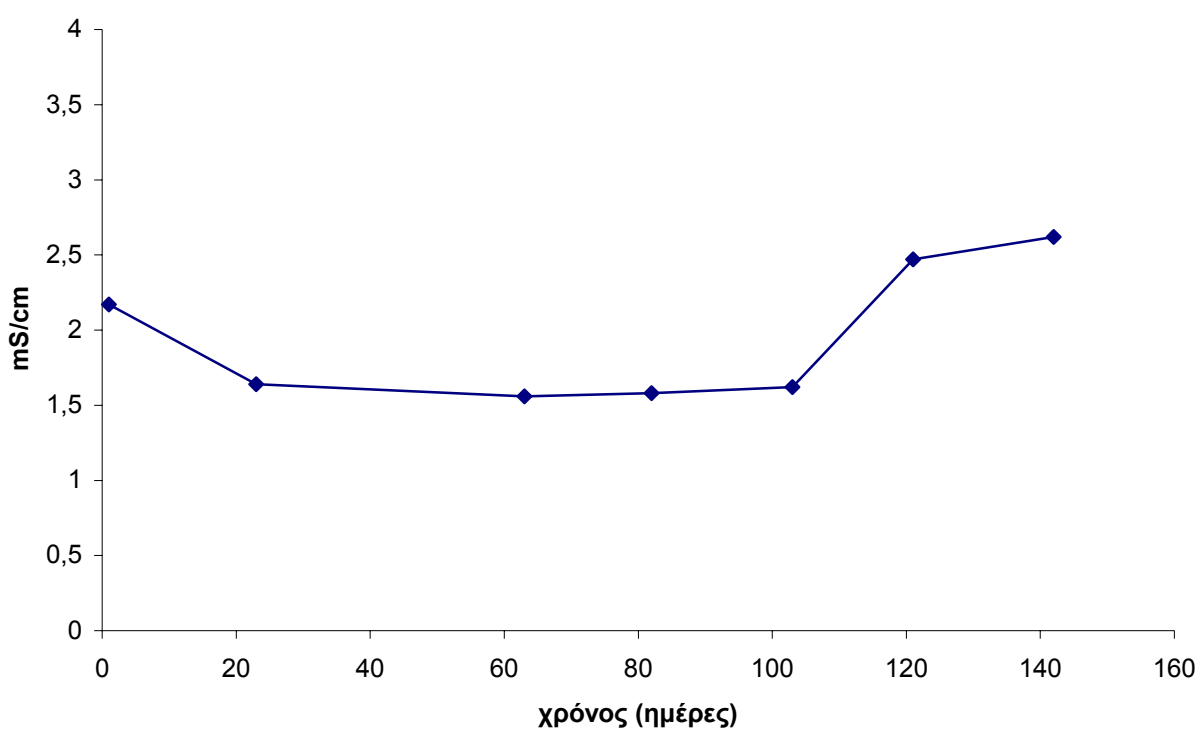
Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) εκφράζει τη συγκέντρωση των αλάτων και μπορεί να αυξηθεί κατά τη διάρκεια της ζύμωσης λόγω της αποικοδόμησης των οργανικών συστατικών, όπως οι πρωτεΐνες και τα αμινοξέα σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό (Paredes *et al.*, 2000).

Οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας παριστάνονται γραφικά στο διάγραμμα 6.6, είχαν πτωτική πορεία έως την 100^η ημέρα της κομποστοποίησης (από την τιμή 2,17 έφτασαν στο 1,58) ενώ μετά από την ημέρα αυτή παρατηρήθηκε μια μικρή αύξηση των τιμών. Οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας δεν έδειξαν σημαντική διακύμανση κατά τη διάρκεια του πειράματος και δεν ξεπέρασαν την τιμή 4 mS/cm η οποία θεωρείται το ανώτατο όριο εφαρμογής του κομπόστ σε φυτά (Μανιός, 2001).

Σύμφωνα με τους Brewer and Sullivan (2003) το εύρος των τιμών της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ήταν 4-8 dS/m μετά από μετρήσεις που έκαναν σε κομπόστ πράσινων απορριμμάτων.

Οι Reinikainen and Herranen (2001) σε δείγμα υλικού από βιοαπόβλητα και απόβλητα λάσπης βιολογικού καθαρισμού μετά από παρακολούθηση 26 εβδομάδων, βρήκαν την ίδια πτωτική τάση των τιμών της ηλεκτρικής αγωγιμότητας έως ότου αυτές σταθεροποιήθηκαν, την 10^η εβδομάδα της κομποστοποίησης.

Σύμφωνα με τους Lasaridi and Stendiford, (1996) οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας δεν ακολουθούν ένα συγκεκριμένο πρότυπο. Μερικές φορές οι τιμές της αυξάνονται με το χρόνο (Garcia *et al.*, 1996 ; Grebus *et al.*, 1994).



Διάγραμμα 6.6 Η διακύμανση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας με το χρόνο κομποστοποίησης.

6.6 Μικροβιολογικά αποτελέσματα

6.6.1 Ολικά αερόβια βακτήρια

Η διακύμανση του πληθυσμού των ολικών ετερότροφων μεσόφιλων βακτηρίων απεικονίζονται στο διάγραμμα 6.7.

Ο πληθυσμός τους παραμένει σταθερός κατά τη διάρκεια του μεσόφιλου σταδίου (ημέρα 0-14^η) 10^9 cfu/ g μικτού βάρους ενώ κυμαίνεται στα ίδια επίπεδα κατά τη διάρκεια του θερμόφιλου σταδίου (ημέρα 14^η –26^η) καθώς και του σταδίου της πτώσης της θερμοκρασίας (26^η – 40^η ημέρα). Πρέπει να σημειωθεί ότι κατά το μεσόφιλο διάστημα (0-14^η ημέρα) δεν έγινε καταμέτρηση των μικροβιακών πληθυσμών λόγω της πολύ γρήγορης εκκίνησης της διαδικασίας κομποστοποίησης.

Ο πληθυσμός τους αυξήθηκε σταδιακά από την 80^η ημέρα κομποστοποίησης έως την 105^η ημέρα στο στάδιο της ωρίμανσης (10^{10} cfu/ g μικτού βάρους) όταν η θερμοκρασία ήταν ήδη χαμηλή και οι τιμές του pH ήταν υψηλές. Από την 105^η ημέρα έως το τέλος της κομποστοποίησης παρουσίασε πτωτική τάση και έφτασε σε επίπεδο πληθυσμού ίδιο με αυτό του μεσόφιλου σταδίου.

Τα αποτελέσματα που είχαν οι Dan Levanon and Pluda (2002) για τον αριθμό των ολικών βακτηρίων σε κομπόστ από οργανικά απόβλητα κοπριάς έδειξαν ότι ο πληθυσμός τους στο μεσόφιλο στάδιο ήταν αρκετά υψηλός, $3,5 \times 10^8$ cfu/g μετά μειώθηκε στη διάρκεια του θερμόφιλου σταδίου έως 2×10^8 cfu και αυξήθηκε όταν η θερμοκρασία άρχισε να πέφτει σε 3×10^8 cfu .

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα άλλων ερευνητών (Tiquia *et al.*, 2002 b) σε συγκομποστοποίηση πράσινων απορριμμάτων με απόβλητα πουλερικών, τα ολικά βακτήρια ήταν σε υψηλές τιμές $\sim 10^{10}$ cfu/g στην αρχή της κομποστοποίησης και στη συνέχεια ο πληθυσμός τους μειώθηκε. Όταν η θερμοκρασία άρχισε να πέφτει ο πληθυσμός τους αυξήθηκε ξανά.

Οι Fogarty and Tuovinen (1991) σε πράσινα απορρίμματα τα οποία περιείχαν υψηλά ποσοστά γρασιδιού, παρατήρησαν ότι τα μεσόφιλα βακτήρια παρουσίασαν αύξηση στο μεσόφιλο στάδιο, μείωση το θερμόφιλο στάδιο, αύξηση ξανά στο στάδιο της πτώσης της θερμοκρασίας και στη συνέχεια πτώση του πληθυσμού τους με αργό

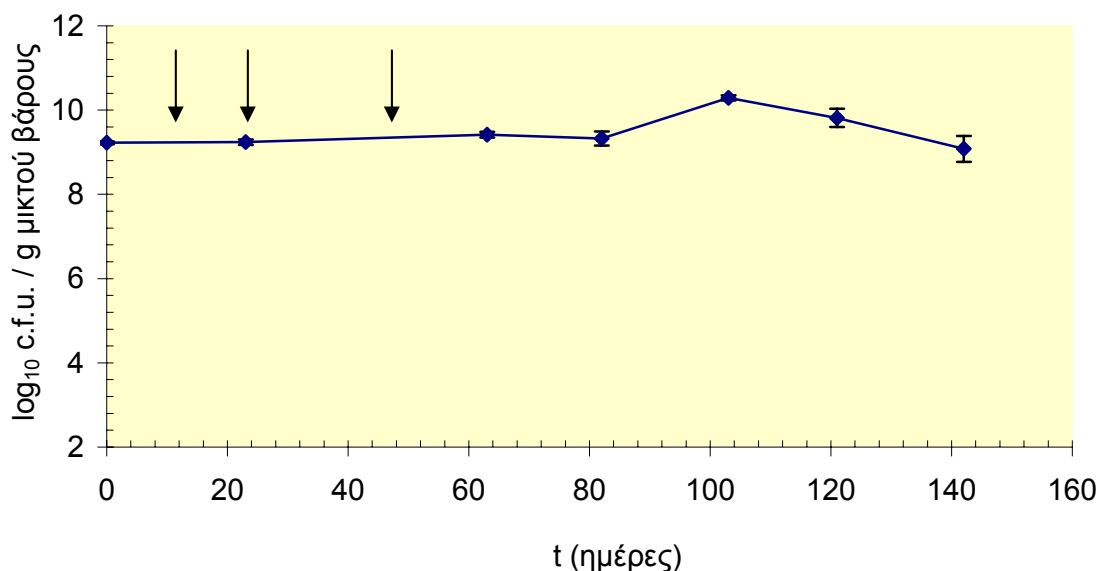
όμως ρυθμό κατά το στάδιο της ωρίμανσης. Στα ίδια αποτελέσματα κατέληξαν και οι Hassen *et al.* (2001).

Τα αποτελέσματα που πήραμε, συγκριτικά με τα αποτελέσματα των άλλων ερευνητών, έδειξαν ότι υπάρχει απόκλιση σε επίπεδο πληθυσμού κατά το μεσόφιλο στάδιο της κομποστοποίησης γιατί δεν ήταν υψηλός. Αυτό μπορεί να ερμηνευτεί αν ληφθεί υπόψη η φύση του υλικού κομποστοποίησης. Τα πράσινα απορρίμματα που προέρχονται από τη μίξη φύλλων, γρασιδιού και τεμαχισμένων κλαδιών έχουν πιο αργό ρυθμό αποικοδόμησης σε σχέση με άλλα είδη αποβλήτων που είναι περισσότερο ενεργά ακόμα και από τα πράσινα απόβλητα που περιέχουν υψηλή ποσότητα γρασιδιού.

6.2 Πίνακας τιμών ολικών βακτηρίων

Ημέρα	Log ₁₀ cfu/g μικτού βάρους
0	9,22
23	9,23
63	9,41
82	9,32
103	10,28
121	9,81
142	9,07

ολικά βακτήρια



Διάγραμμα 6.7 Η διακύμανση του πληθυσμού των ολικών βακτηρίων κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.

↓ Φάσεις κομποστοποίησης

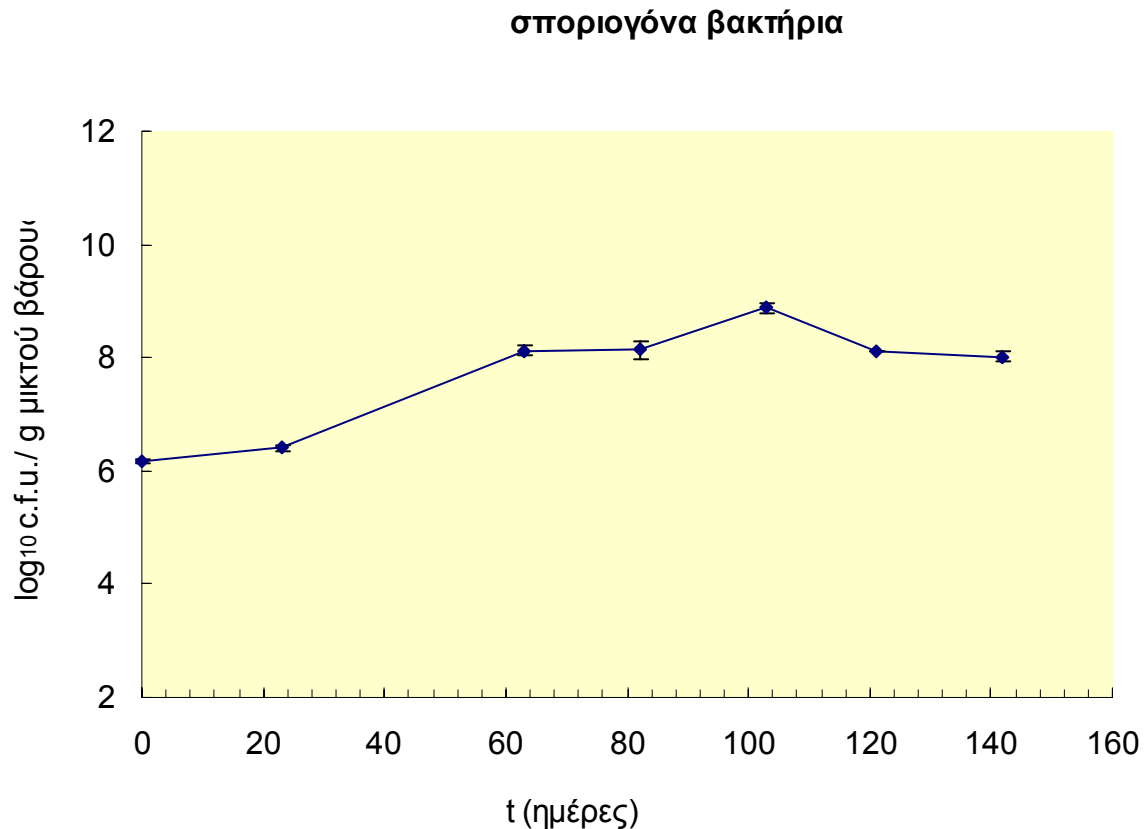
6.6.2 Σποριογόνα βακτήρια

Τα αποτελέσματα από την εκτίμηση του αριθμού των σποριογόνων βακτηρίων απεικονίζονται στο διάγραμμα 6.8 από το οποίο φαίνεται ότι ο πληθυσμός τους εμφανίζεται σταθερός τόσο στο μεσόφιλο στάδιο όσο και στο θερμόφιλο στάδιο της κομποστοποίησης ενώ αυξάνεται κατά την φάση τα ωρίμανσης. Μετά την 100^η ημέρα παρατηρείται μικρή πτώση του πληθυσμού των σποριογόνων βακτηρίων. Λόγω της έλλειψης μέτρησης κατά το μεσόφιλο στάδιο της διεργασίας, εξαιτίας της γρήγορης εκκίνησης της διαδικασίας κομποστοποίησης, πιθανόν να υπήρχε χαμηλότερος πληθυσμός σποριογόνων βακτηρίων στο μεσόφιλο στάδιο.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των πειραμάτων Fogarty and Tuovinen (1991) και Tuomela *et al.* (2000), ο πληθυσμός των σποριογόνων βακτηρίων εμφανίζεται υψηλότερος στο θερμόφιλο στάδιο. Αντίθετα οι Hassen *et al.* (2001) παρατήρησαν αύξηση των σποριογόνων στη μεσόφιλη φάση καθώς και στην αρχή της θερμόφιλης , ενώ ακολουθεί πτώση του πληθυσμού κατά την υπόλοιπη θερμόφιλη φάση και το στάδιο της ωρίμανσης. Η μείωση του πληθυσμού στο στάδιο της ωρίμανσης ερμηνεύεται από την αύξηση των ολικών βακτηρίων ως αποτέλεσμα της αναπαραγωγής και πολλαπλασιασμού των σποριογόνων μικροοργανισμών οι οποίοι ανήκουν κυρίως στο γένος *Bacillus* στο στάδιο της πτώσης της θερμοκρασίας.

6.3 Πίνακας τιμών σποριογόνων βακτηρίων

Ημέρα	Log ₁₀ cfu/g μικτού βάρους
0	6,17
23	6,40
63	8,12
82	8,13
103	8,88
121	8,11
142	8,02



Διάγραμμα 6.8. Η διακύμανση του πληθυσμού των σποριογόνων βακτηρίων κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.

6.6.3 Κυτταρινολυτικά βακτήρια

Ο πληθυσμός των κυτταρινολυτικών βακτηρίων όπως απεικονίζεται στο διάγραμμα 6.9 έδειξε να κυμαίνεται αδρομερώς στα ίδια επίπεδα.

Τα αποτελέσματα από το πρώτο δείγμα δεν ελήφθησαν υπόψη καθώς η μέθοδος καταμέτρησης που χρησιμοποιήθηκε δεν ήταν η ίδια με αυτή που χρησιμοποιήθηκε στα υπόλοιπα δείγματα.

Σύμφωνα με τον Dan Levanon and Pluda (2002), ο μέγιστος αριθμός κυτταρινολυτικών βακτηρίων παρατηρήθηκε προς το τέλος του θερμόφιλου σταδίου της κομποστοποίησης, μετά έπεσε και αυξήθηκε ξανά στη διάρκεια του σταδίου της ωρίμανσης του υλικού από μίξη κοπριάς.

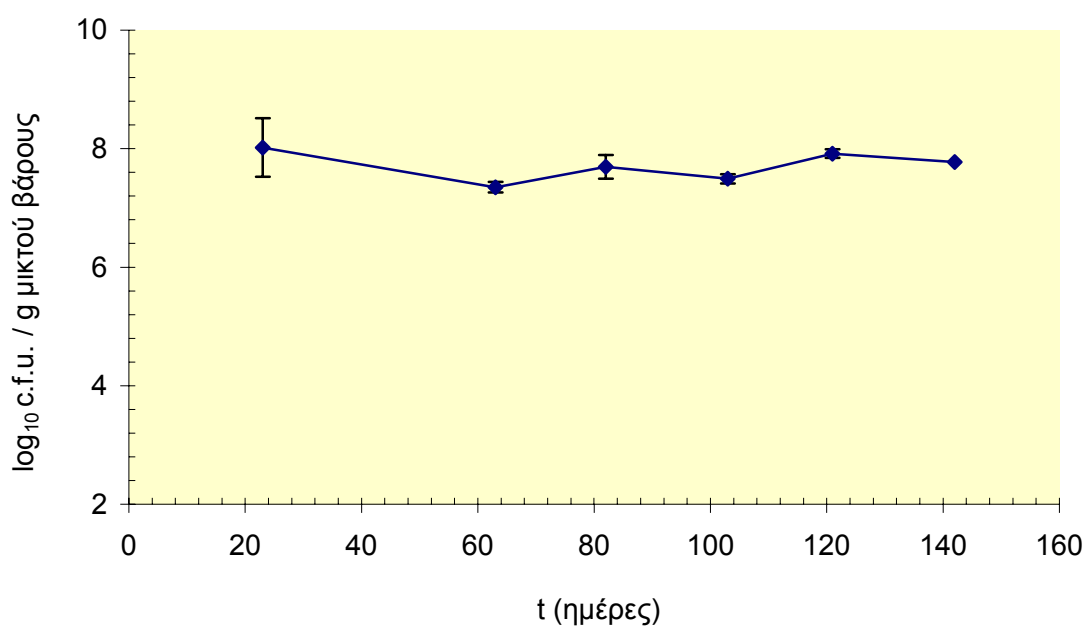
Ο πληθυσμός των κυτταρινολυτικών βακτηρίων συνήθως αυξάνεται προς το τέλος της κομποστοποίησης, γιατί η κυτταρίνη είναι δύσκολα αφομοιώσιμη τροφή για τους μικροοργανισμούς.

Τα πράσινα απορρίμματα δεν είναι ιδιαίτερα ενεργό υλικό, γεγονός στο οποίο πιθανώς οφείλεται η σταθερότητα του πληθυσμού των κυτταρινολυτικών βακτηρίων.

6.4 Πίνακας τιμών κυτταρινολυτικών βακτηρίων

Ημέρα	Log ₁₀ cfu/g μικτού βάρους
0	
23	8,01
63	7,34
82	7,69
103	7,49
121	7,91
142	7,77

κυτταρινολυτικά βακτήρια



Διάγραμμα 6.9 Η διακύμανση του πληθυσμού των κυτταρινολυτικών βακτηρίων κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.

6.6.4 Νιτροποιά βακτήρια

Η εκτίμηση του πληθυσμού των νιτροποιών βακτηρίων έγινε με τη μέθοδο του πλέον πιθανού αριθμού (MPN) .

Η ύπαρξη νιτρικών ή νιτρωδών ιόντων στο δείγμα φανέρωνε την παρουσία *Nitrosomonas* ενώ η απουσία νιτρωδών ιόντων ή η ύπαρξη νιτρικών ιόντων φανέρωνε την παρουσία *Nitrobacter*.

Ο πληθυσμός των νιτροποιών βακτηρίων φαίνεται στο διάγραμμα 6.10 που ακολουθεί. Ο πληθυσμός των νιτροποιών βακτηρίων εκφράστηκε σε δεκαδικό λογάριθμο c.f.u (colonizing forming units) ανά γρ μικτού βάρους.

Στο πρώτο δείγμα που πήραμε από το φρέσκο υλικό (ημέρα 0) δεν ανιχνεύτηκαν ούτε *Nitrosomonas* ούτε *Nitrobacter*.

Τα αποτελέσματα από το δεύτερο δείγμα την 23^η ημέρα της κομποστοποίησης κατά τη διάρκεια του θερμοφίλου σταδίου έδειξαν την ύπαρξη νιτροποιών βακτηρίων.

Ο πληθυσμός των *Nitrosomonas* έφτασε την τιμή 10^3 cfu ανά γρ μικτού βάρους ενώ των *Nitrobacter* σε $\sim 10^4$ cfu ανά γρ μικτού βάρους.

Τα αποτελέσματα από το τρίτο δείγμα την 63^η ημέρα της κομποστοποίησης κατά το στάδιο της πτώσης της θερμοκρασίας έδειξαν αύξηση του πληθυσμού των *Nitrosomonas* στην τιμή $\sim 10^4$ cfu ανά γρ μικτού βάρους, αλλά για τον πληθυσμό των *Nitrobacter* δεν έγινε τελικά αξιόπιστη εκτίμηση του πληθυσμού τους .

Τα αποτελέσματα από το τέταρτο δείγμα την 82^η ημέρα της κομποστοποίησης στο στάδιο της ωρίμανσης, έδειξαν αύξηση του πληθυσμού των *Nitrosomonas* 10^5 cfu ανά γρ μικτού βάρους. Ενώ ο πληθυσμός για τα *Nitrobacter* αυξήθηκε σε αριθμό και έφτασε 10^4 cfu ανά γρ μικτού βάρους.

Την 103^η ημέρα της κομποστοποίησης κατά τη φάση της ωρίμανσης ο πληθυσμός των *Nitrosomonas* σύμφωνα με τα αποτελέσματα από το πέμπτο δείγμα ήταν σταθερός 10^5 cfu ανά γρ. μικτού βάρους ενώ των *Nitrobacter* αυξήθηκε σε αριθμό 10^7 cfu ανά γρ. μικτού βάρους.

Την 121^η ημέρα της κομποστοποίησης ο πληθυσμός των *Nitrosomonas* φαίνεται ότι παρέμεινε σταθερός σε 10^5 cfu ανα γρ μικτού βάρους, ενώ των *Nitrobacter* αυξήθηκε σε αριθμό 10^8 cfu ανά γρ μικτού βάρους

Την 142^η ημέρα της κομποστοποίησης από το τελευταίο δείγμα του σταδίου της ωρίμανσης, ο πληθυσμός των βακτηρίων *Nitrosomonas* μειώθηκε σε αριθμό 10⁴ cfu ανά γρ μικτού βάρους ενώ ο αριθμός των *Nitrobacter* παρέμεινε σε υψηλά επίπεδα σε 8,204 cfu ανά γρ μικτού βάρους.

Σύμφωνα με τους Brewer and Sullivan (2003) οι υψηλότερες συγκεντρώσεις παρατηρήθηκαν την 70^η έως την 85^η ημέρα της κομποστοποίησης όταν η θερμοκρασία κυμαίνονταν ανάμεσα στους 20-35^ο γιατί τα βακτήρια που ευθύνονται για την νιτροποίηση δεν μπορούν να δραστηριοποιηθούν σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 40^ο. Η χαμηλότερη συγκέντρωση νιτρικών ιόντων παρατηρήθηκε την 133^η ημέρα της κομποστοποίησης και ίσως είναι το αποτέλεσμα της απονιτροποίησης.

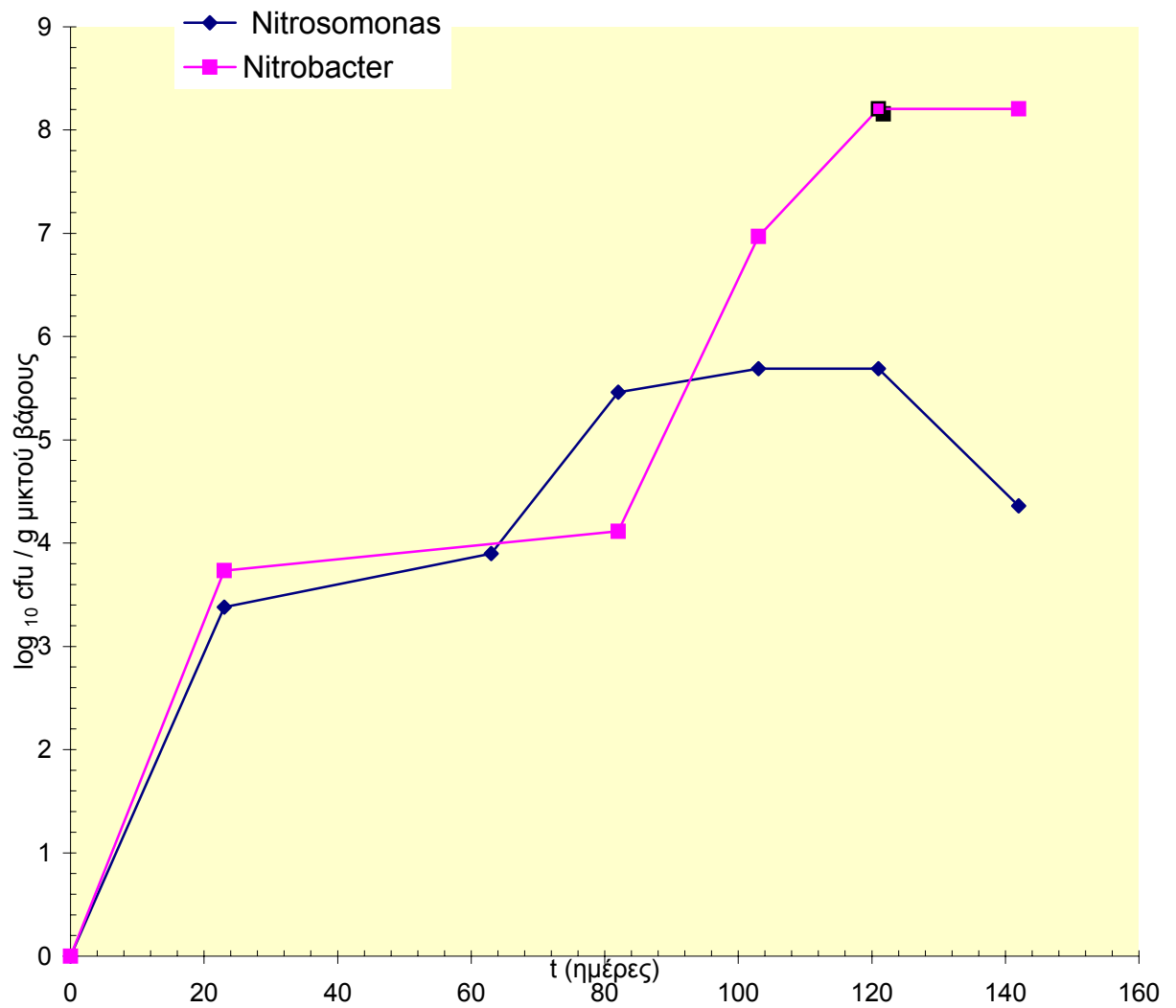
Οι Tiquia *et al.*, 2002b παρατήρησαν ότι ο πληθυσμός των νιτροποιών βακτηρίων σε κομπόστ που προέρχεται από τη συγκομποστοποίηση πράσινων απορριμμάτων και πουλερικών διατηρήθηκε στην τιμή ~ 10⁸ cfu /g.

Η αύξηση του πληθυσμού του γένους *Nitrobacter* προς το τέλος της κομποστοποίησης σε συνδυασμό με την πτώση των *Nitrosomonas* δείχνει ότι τα νιτρώδη ιόντα έχουν ήδη μετατραπεί σε νιτρικά τα οποία αποτελούν το υπόστρωμα για το γένος *Nitrobacter*.

6.5.Πίνακας τιμών νιτροποιών βακτηρίων

Ημέρα	Log ₁₀ cfu/g μικτού βάρους <i>Nitrosomonas</i>	Log ₁₀ cfu/g μικτού βάρους <i>Nitrobacter</i>
0	0	0
23	3,38	3,73
63	3,89	4,11
82	5,46	6,96
103	5,69	
121	5,69	8,20
142	4,36	8,20

νιτροποιά βακτήρια



Διάγραμμα 6.10 Η διακύμανση του πληθυσμού των νιτροποιών βακτηρίων κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.

6.6.5 Ακτινομύκητες

Ο πληθυσμός των ακτινομυκήτων όπως απεικονίζεται στο διάγραμμα 6.11, παραμένει περίπου σταθερός στη διάρκεια του μεσόφιλου και θερμόφιλου σταδίου καθώς η θερμοκρασία φτάνει στο μέγιστο σημείο της, ενώ αυξάνεται καθώς αρχίζει να πέφτει στο στάδιο της ηρεμίας και μετά ακολουθεί μια σταθερή πορεία έως το τέλος της κομποστοποίησης κατά το στάδιο της ωρίμανσης.

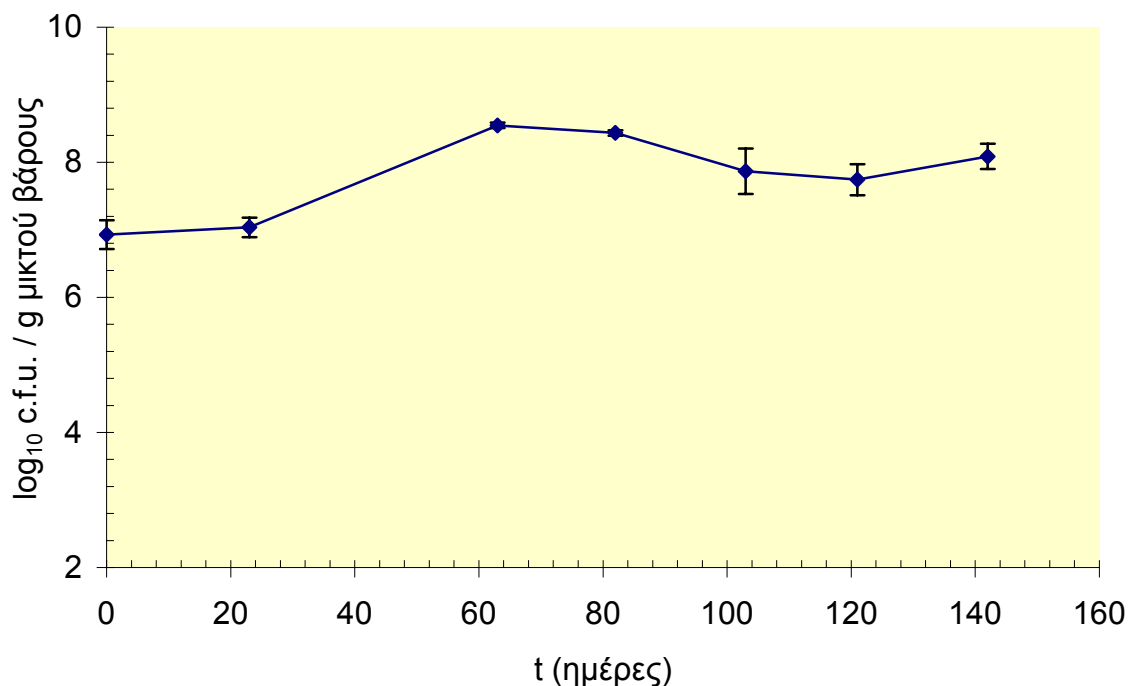
Το γεγονός της αύξησης του πληθυσμού των ακτινομυκήτων κατά την πτώση της θερμοκρασίας οφείλεται στην ικανότητα τους να αποικοδομούν τις φαινολικές ενώσεις που συσσωρεύονται στο κομπόστ με την πάροδο του χρόνου, καθώς και τα αφομοιώσιμα συστατικά του οργανικού κομπόστ (de Bertoldi *et al.*, 2002).

Στα αντίστοιχα αποτελέσματα καταλήγουν και οι Tiquia *et al.*, (2002b) σχετικά με την εξέλιξη του πληθυσμού των ακτινομυκήτων και οι Vuorinen and Saharinen (1997), Dan Levanon and Pluda, (2002).

6.6 Πίνακας τιμών ακτινομυκήτων

Ημέρα	Log ₁₀ cfu/g μικτού βάρους
0	6,92
23	7,03
63	8,54
82	8,43
103	7,86
121	7,74
142	8,08

ΑΚΤΙΝΟΜΥΚΗΤΕΣ



Διάγραμμα 6.11 Η διακύμανση του πληθυσμού των ακτινομυκήτων κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.

6.6.6 Μύκητες- Ζύμες

Η γραφική παρουσίαση των αποτελεσμάτων στο διάγραμμα 6.12 δείχνει ότι στο αρχικό στάδιο της κομποστοποίησης (0-20 ημέρες) ο πληθυσμός των μυκήτων παραμένει χαμηλός ενώ από την 20^η έως και την 85^η ημέρα παρατηρείται σταδιακή άνοδος του πληθυσμού μέχρι την μέγιστη τιμή 10^7 cfu/ g μικτού βάρους. Από την 80^η έως την 142^η ημέρα της κομποστοποίησης ο πληθυσμός των μυκήτων διατηρείται σε σταθερά επίπεδα (10^7 cfu/ g μικτού βάρους).

Σύμφωνα με βιβλιογραφικές αναφορές (Fogarty *et al.*, 1991; Tiquia *et al.*, 2002) στο μεσόφιλο στάδιο υπάρχει πληθυσμός από μεσόφιλους μύκητες ο οποίος μειώνεται δραματικά στη θερμοφιλή φάση. Πιθανόν να αντικαθίσταται από θερμοφίλους πληθυσμούς μυκήτων.

Στη διάρκεια της φάσης της ωρίμανσης ο πληθυσμός των μυκήτων παραμένει σταθερός, καθώς η μικροβιακή δραστηριότητα έχει μειωθεί. Θερμοκρασίες γύρω στους 50° C και άνω αποτελούν περιοριστικό παράγοντα για τη δράση των μυκήτων. Όταν όμως οι θερμοκρασίες πέσουν και φθάσουν να είναι < 45 °C τότε οι μύκητες αναλαμβάνουν δράση.

Στις μελέτες των Thambirajah *et al.* (1995) δεν ανιχνεύτηκαν μύκητες όταν η θερμοκρασία ήταν μεγαλύτερη από 60 °C ενώ όταν έπεσε κάτω από τους 60 °C μεσόφιλοι και θερμοόφιλοι μύκητες εμφανίστηκαν στο κομπόστ.

Η αύξηση του πληθυσμού των μυκήτων μετά την 60^η ημέρα μπορεί να οφείλεται στην παρουσία κυτταρίνης και λιγνίνης. Οι de Bertoldi *et al.*, 1983 ανέφεραν ότι ο πληθυσμός των μυκήτων αυξάνεται όταν τα υποστρώματα που έχουν απομείνει αποτελούνται από κυτταρίνη και λιγνίνη, οι οποίες αρχίζουν να αποδομούνται κατά το στάδιο της ηρεμίας, όταν η θερμοκρασία πέφτει.

Όσον αφορά στις ζύμες, παρατηρήθηκε σταθερός πληθυσμός από την αρχή έως την 80^η ημέρα της κομποστοποίησης, ενώ στη συνέχεια ο πληθυσμός τους παρουσίασε πτωτική πορεία πιθανόν λόγω της μείωσης των υποστρωμάτων που μπορούν να διασπάσουν.

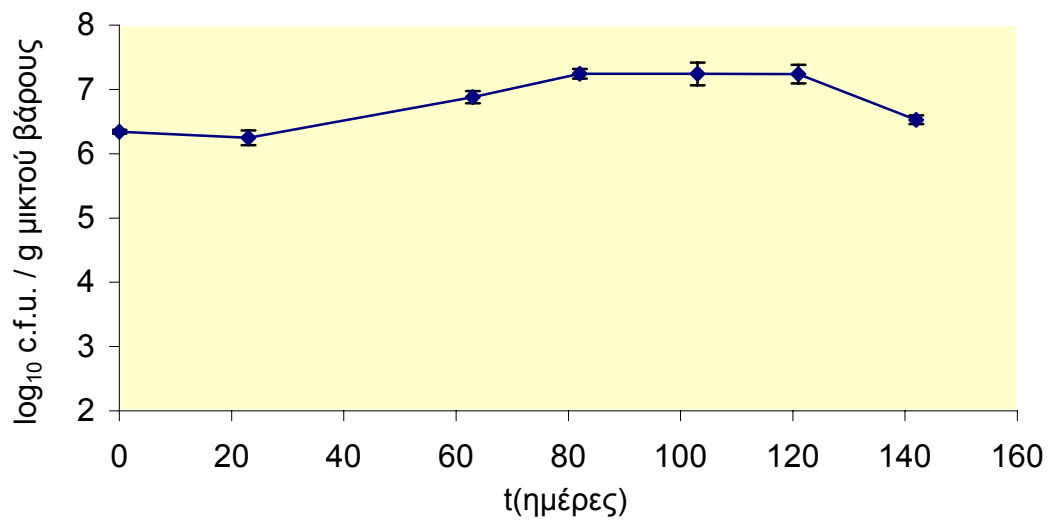
6.7 Πίνακας τιμών μυκήτων

Ημέρα	Log ₁₀ cfu/g μικτού βάρους (Μύκητες)
0	6,34
23	6,24
63	6,88
82	7,24
103	7,24
121	7,23
142	6,52

6.8 Πίνακας τιμών ζυμών

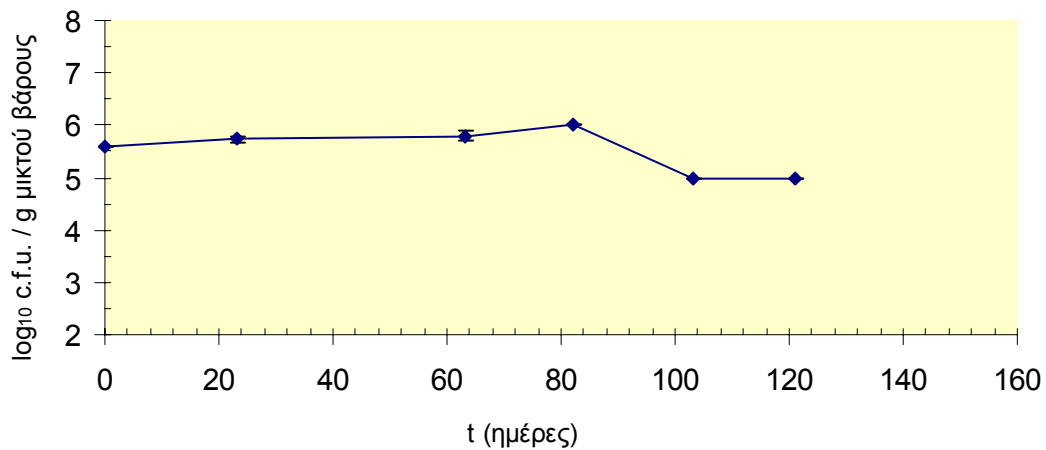
Ημέρα	Log ₁₀ cfu/g μικτού βάρους (Ζύμες)
0	5,60
23	5,73
63	5,79
82	6,00
103	5,00
121	5,00
142	

μυκηλιακοί μύκητες



Διάγραμμα 6.12 Η διακύμανση του πληθυσμού των μυκηλιακών μυκήτων κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.

ζύμες

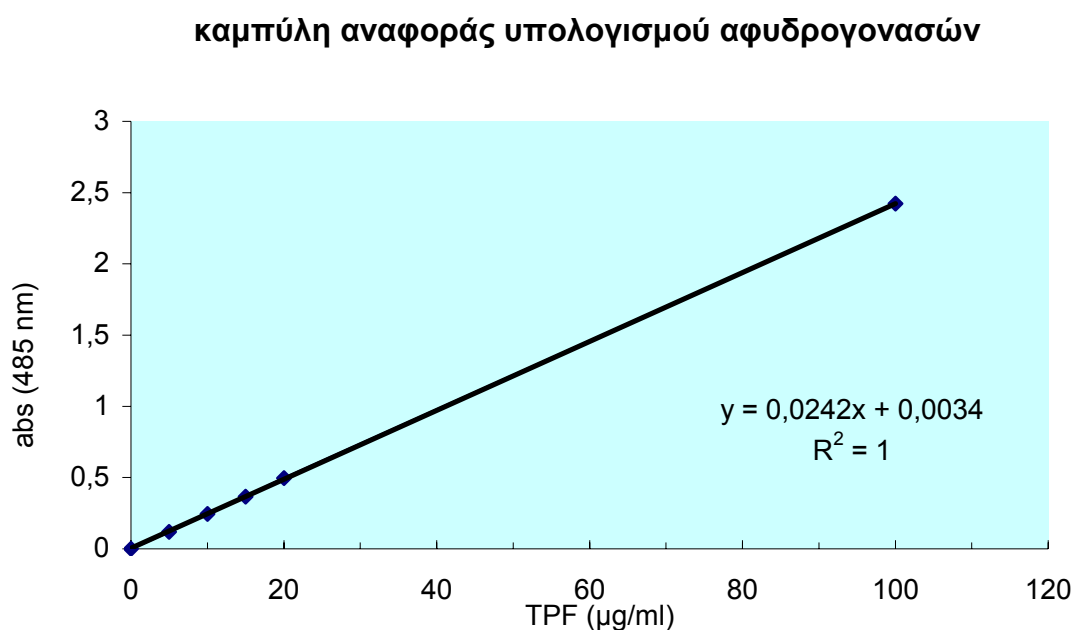


Διάγραμμα 6.13. Η διακύμανση του πληθυσμού των ζυμών κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.

6.7 Βιολογικοί δείκτες

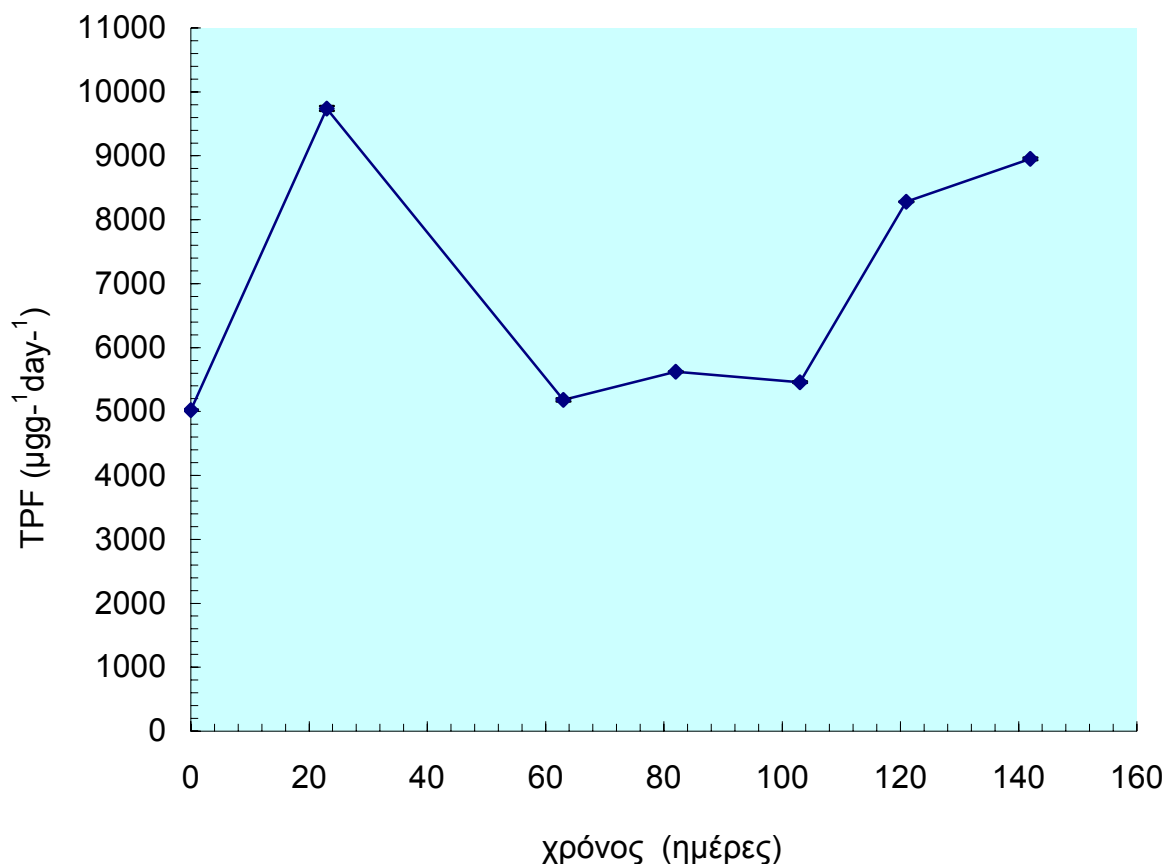
6.7.1 Ενζυμική ενεργότητα

Η μέτρηση της ενζυμικής ενεργότητας βασίστηκε στην εξίσωση $Y=0,0242X+0,0034$ την οποία πήραμε μετά από γραμμική συσχέτιση (από τα αποτελέσματα οπτικής απορρόφησης στα 485nm των διαλυμάτων TPF με συγκέντρωση 0,5,10,15,20,100).



Διάγραμμα 6.14 Γραφική απεικόνιση της καμπύλης αναφοράς υπολογισμού αφυδρογονασών με βάση τα αποτελέσματα των πρότυπων διαλυμάτων.

Ενζυμική ενεργότητα αφυδρογονασών



Διάγραμμα 6.15. Η διακύμανση της ενζυμικής ενεργότητας των αφυδρογονασών κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων εμφανίζονται γραφικά στο διάγραμμα 6.15. Από τις μετρήσεις φαίνεται ότι στην αρχή της κομποστοποίησης η ενεργότητα των αφυδρογονασών ήταν μεγαλύτερη, με μέγιστη τιμή την 23^η μέρα. Ακολούθησε φθίνουσα πορεία έως την 60^η μέρα και μετά σταθερή έως την 100^η μέρα. Μετά την 100^η μέρα παρατηρήθηκε αυξητική τάση της ενζυμικής ενεργότητας έως το τέλος της κομποστοποίησης.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των Tiquia *et al.* (2002) η ενεργότητα των αφυδρογονασών σε πράσινα απορρίμματα ήταν μεγαλύτερη στην αρχή της περιόδου κομποστοποίησης. Η δραστηριότητα μειώθηκε όσο προχωρούσε η κομποστοποίηση

και από την 49^η μέρα έδειχνε να σταματάει. Η ενεργότητα των αφυδρογονασών σχετίζεται με τον πληθυσμό των ολικών αερόβιων βακτηρίων. Οι τιμές όμως που μέτρησαν ήταν σχεδόν δέκα φορές μικρότερες σε βάση ξηρού βάρους. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί, γιατί το δείγμα που μέτρησαν προήλθε μετά από ξήρανση στους 105 °C ενώ αυτό που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις στην παρούσα εργασία είχε ξηρανθεί σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Επίσης η ενεργότητα των αφυδρογονασών ποικίλει ανάλογα με το είδος του δείγματος. Οι Tiquia *et al.* (2002a), χρησιμοποίησαν υλικό με σύνθεση από φύλλα, γρασίδι και τεμαχισμένα κλαδιά 1:1:1 v/v, ενώ η σύνθεση του σωρού που είχαμε ήταν κατ' εκτίμηση 60% φύλλα, 30% γρασίδι και 10% τεμαχισμένα κλαδιά. Αυτό σημαίνει ότι το υλικό που χρησιμοποιήθηκε ήταν πιο ενεργό σε σχέση με αυτό των Tiquia *et al.* (2002a).

Οι Benito Marta *et al.* (2003) μέτρησαν την ενζυμική ενεργότητα των αφυδρογονασών σε απορρίμματα τα οποία προήλθαν από κλαδέματα και οι τιμές που πήραν σε ξηρό βάρος ήταν δύο έως τρεις φορές χαμηλότερες σε σχέση με τις τιμές που μετρήθηκαν στην παρούσα εργασία. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί αν λάβουμε υπόψη ότι τα απορρίμματα κλαδεμάτων περιέχουν σε μεγαλύτερη αναλογία κλαδιά, υλικό το οποίο είναι λιγότερο ενεργό σε σχέση με τα φύλλα και το γρασίδι.

Οι Vuorinen and Saharinen (1997) διαπίστωσαν ότι η ενζυμική ενεργότητα των αφυδρογονασών ήταν μεγαλύτερη στην αρχή της κομποστοποίησης και μειώθηκε στη φάση της ωρίμανσης του κομποστ, όπως είχαν παλαιότερα επισημάνει και οι Foster *et al.* (1993) και Serra-Wittling *et al.* (1995.)

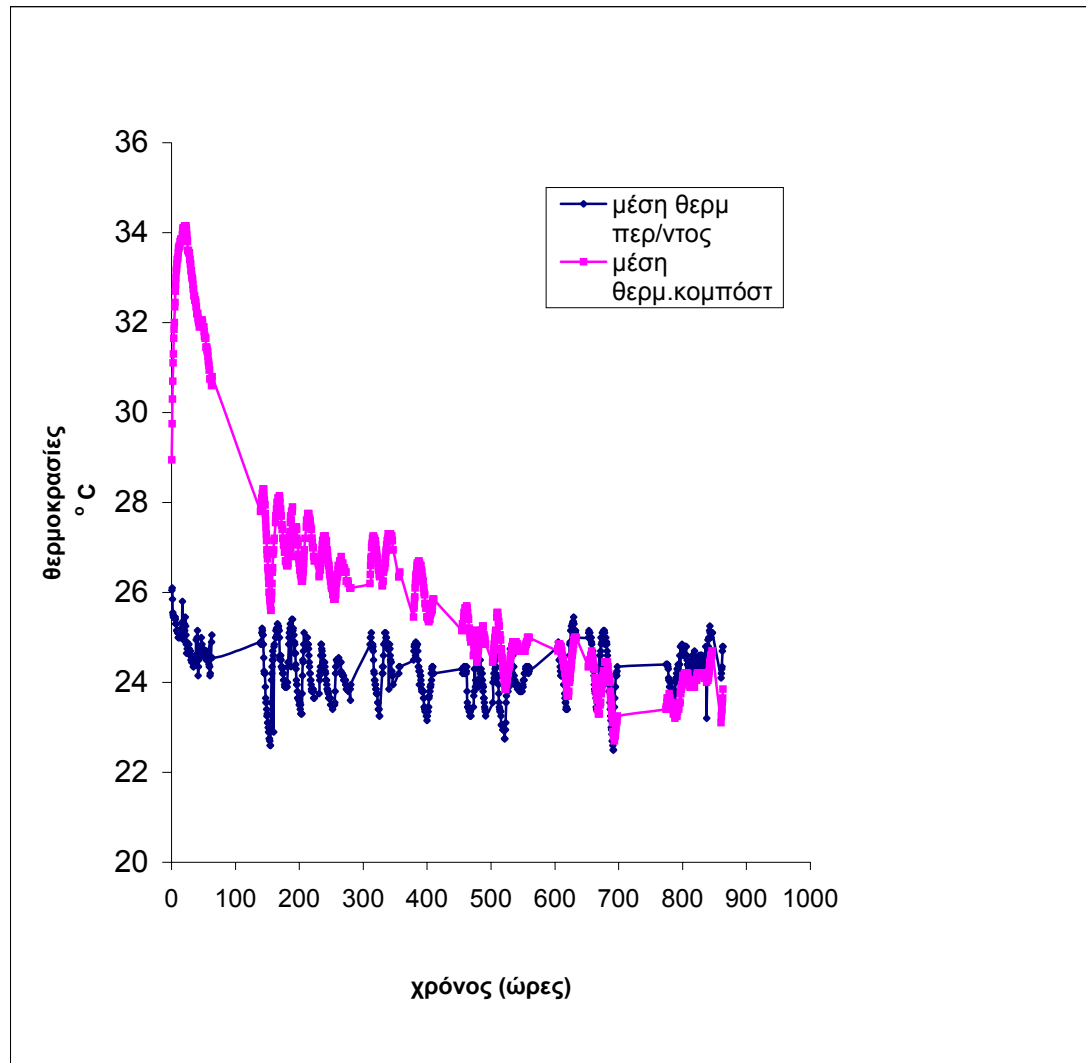
6.7.2 Δυναμικό Αυτοθέρμανσης

Η διακύμανση της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της δοκιμής προσδιορισμού του δυναμικού αυτοθέρμανσης παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 6.16 για το φρέσκο κομπόστ και στο Διάγραμμα 6.17 για το ώριμο κομπόστ.

Αυτό που παρατηρείται στο διάγραμμα 6. 16 είναι ότι τις πρώτες ημέρες της κομποστοποίησης υπήρχε μια διαφορά περίπου 10 °C μεταξύ της θερμοκρασίας του δείγματος του κομποστ και της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος, η οποία με το χρόνο μειώθηκε.

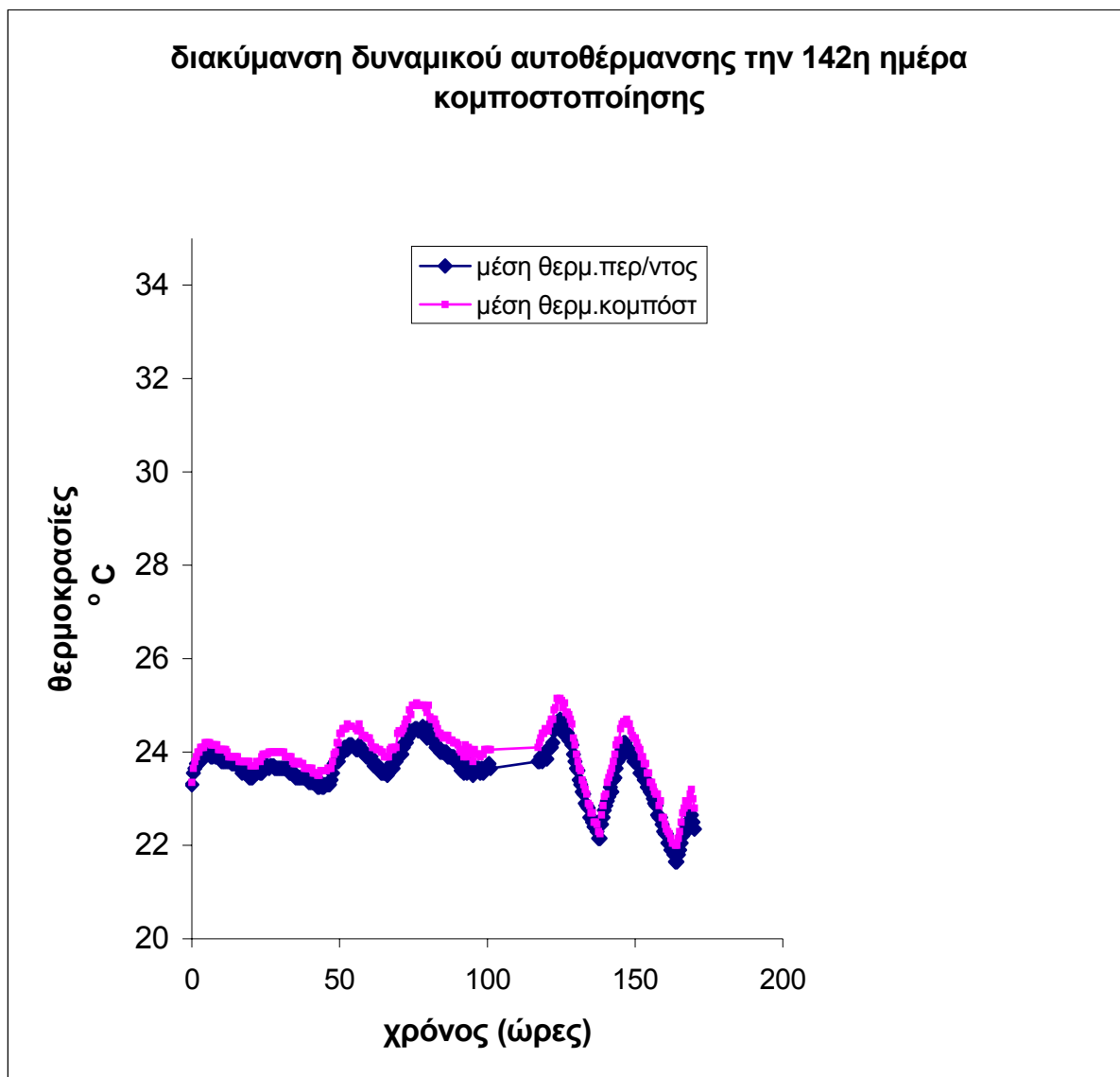
Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του δυναμικού αυτοθέρμανσης από το πρώτο δείγμα που εξετάστηκε το οποίο ήταν φρέσκο κομπόστ, κατατάσσεται στην κατηγορία στην κατηγορία IV, δηλαδή θεωρείται ώριμο υλικό (Βλ. 4.2.3.1 στις

μεθόδους εκτίμησης της ωρίμανσης του κομπόστ). Στο Διάγραμμα 6.17 δεν παρατηρείται καμία διαφορά της θερμοκρασίας του κομπόστ από αυτή του περιβάλλοντος γεγονός το οποίο σημαίνει ότι στο δείγμα δεν πραγματοποιείται σημαντική μικροβιακή δραστηριότητα. Με βάση τα αποτελέσματα αυτά το δείγμα κατατάσσεται στην κατηγορία V (ώριμο κομπόστ).



+

Διάγραμμα 6.16. Διακύμανση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος και του δείγματος φρέσκου κομπόστ με το χρόνο κατά τη διάρκεια της μέτρησης του δυναμικού αυτοθέρμανσης.



Διάγραμμα 6.17 Διακύμανση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος και δείγματος κομπόστ ηλικίας 142 ημερών κατά τη διάρκεια της μέτρησης του δυναμικού αυτοθέρμανσης.

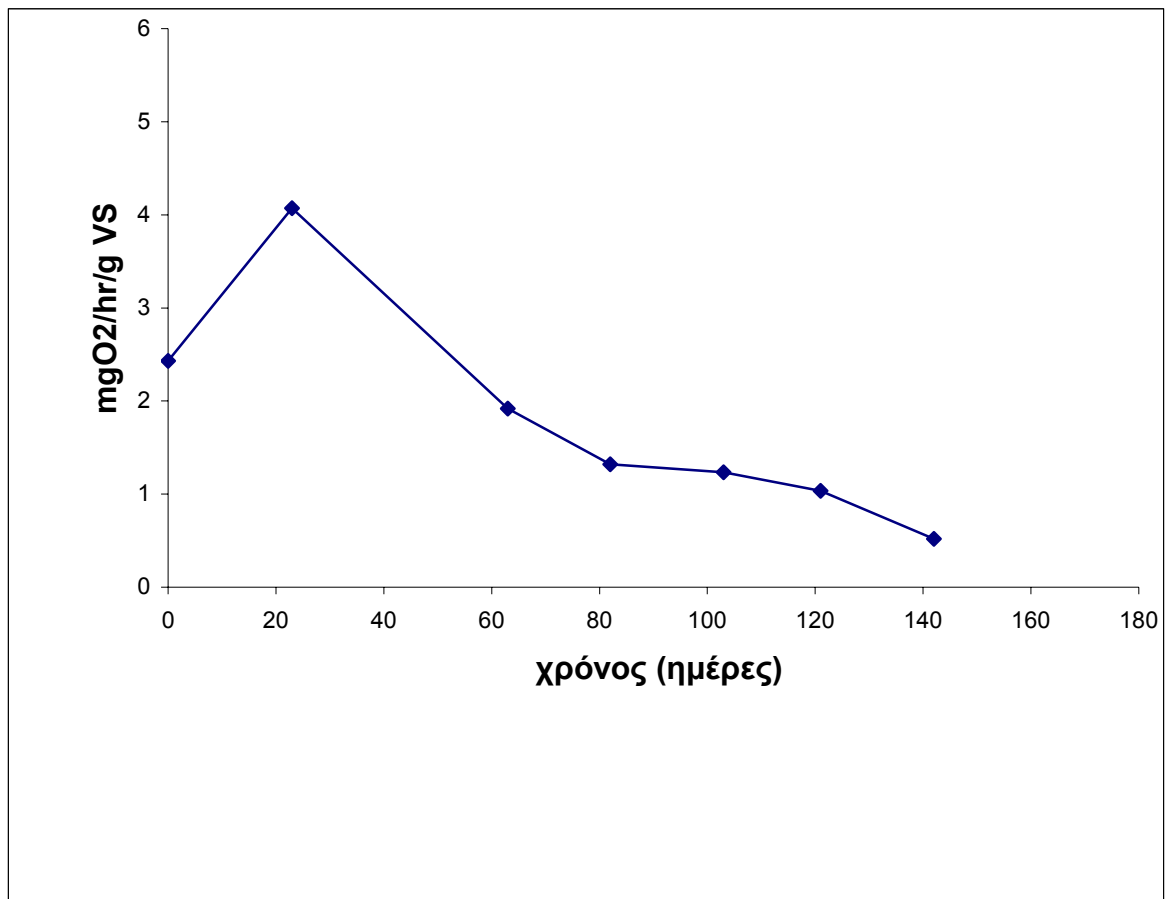
6.7.3 Αναπνευστική δραστηριότητα

Η διακύμανση της αναπνευστικής δραστηριότητας, όπως προσδιορίστηκε με τον ειδικό ρυθμό κατανάλωσης οξυγόνου (SOUR) για τα διαφορετικά δείγματα κομπόστ που αναλύθηκαν παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 6.18.

Η υψηλότερη τιμή ήταν $4 \text{ mgO}_2/\text{gVS/hr}$ η οποία μετρήθηκε κατά την 23^η ημέρα της κομποστοποίησης ενώ η χαμηλότερη ήταν $0,517 \text{ mgO}_2/\text{gVS/hr}$ η οποία μετρήθηκε στο τελευταίο δείγμα την 142^η ημέρα της κομποστοποίησης. Το διάστημα μεταξύ 80^{ης} και 120^{ης} ημέρας κομποστοποίησης οι τιμές του SOUR σταθεροποιήθηκαν στην τιμή $1,54 \text{ mgO}_2/\text{gVS/hr}$.

Γενικά ισχύει ότι όσο υψηλότερη είναι η τιμή της αναπνευστικής δραστηριότητας τόσο πιο υψηλή είναι και η τιμή της θερμοκρασίας του σωρού γιατί αυτές οι δύο τιμές αντανακλούν το υψηλότερο σημείο της μικροβιακής δραστηριότητας στο υλικό (Epstein, 1997).

Οι Lasaridi and Stentiford (1998) πρότειναν ότι τιμές SOUR περίπου στο $1,6 \text{ mgO}_2/\text{gVS/hr}$ φανερώνουν υψηλό βαθμό σταθερότητας για τα κομπόστ που προέρχονται από αστικά στερεά απόβλητα, ενώ χαμηλότερες τιμές παρατηρούνται σε λιγότερο βιοδιαθέσιμα υλικά, όπως ο χαρτοπολτός και τα πράσινα απορρίμματα.



Διάγραμμα 6.18. Η διακύμανση της αναπνευστικής δραστηριότητας κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.

6.7.4 Φυτοτοξικότητα

Είναι γνωστό ότι οργανικά υλικά με υψηλή αναλογία άνθρακα προς άζωτο (C/N), όπως και παρουσία αμμωνίας ακόμα και σε πολύ μικρή ποσότητα είναι τοξικά για τα φυτά (Golueke, 1977).

Τα φρέσκα οργανικά υλικά παρουσιάζουν τα παραπάνω χαρακτηριστικά, ενώ λόγω των φυτοτοξικών μεταβολιτών της μικροβιακής δραστηριότητας παράγονται και φυτοτοξικές ουσίες οι οποίες με την πάροδο του χρόνου μειώνονται. Η φυτοτοξικότητα αποτελεί μια μεταβατική φάση στη διαδικασία της κομποστοποίησης και τείνει να εξαφανιστεί στα ώριμα κομπόστ (Zucconi *et al.*, 1981; Μανιός κ.ά, 1987).

(Helfrich *et al.*, 1998; Jodice, 1989).

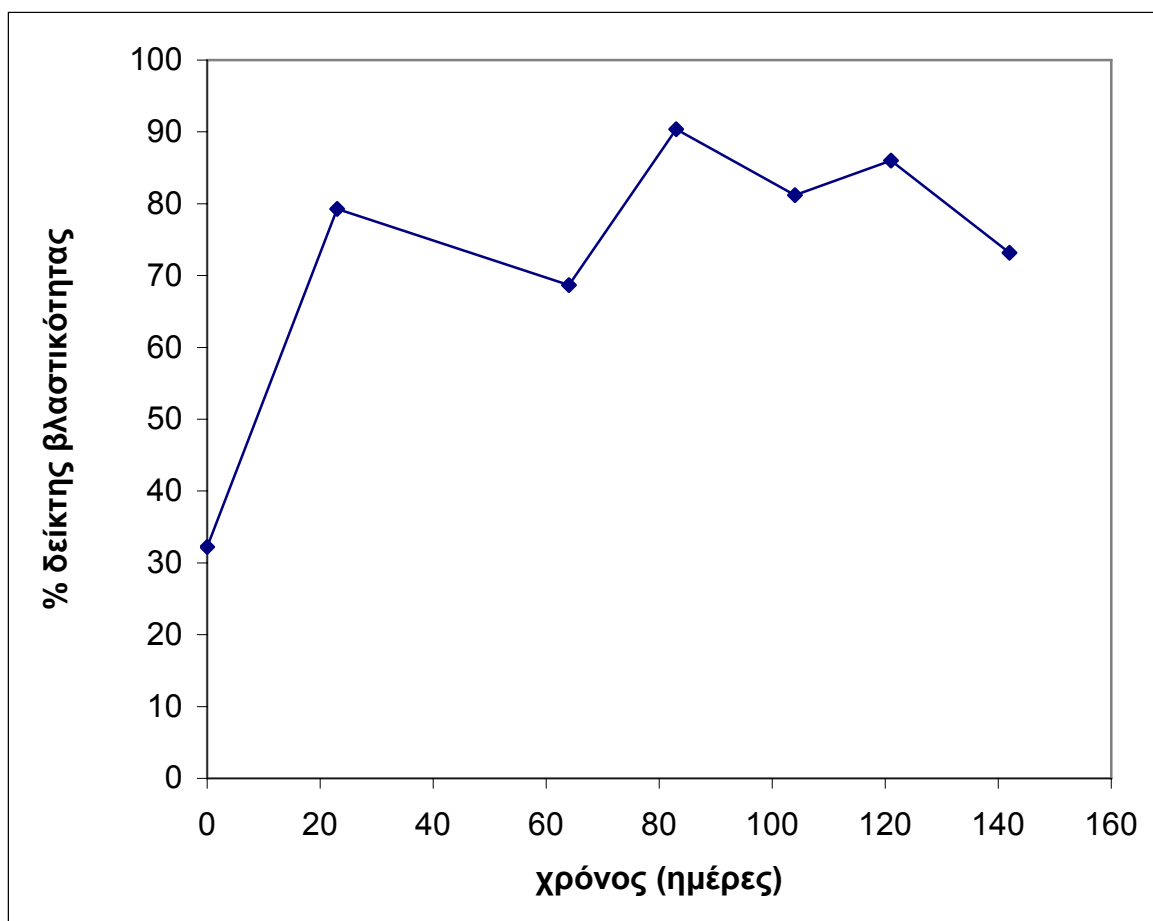
Η διακύμανση του δείκτη βλαστικότητας σπόρων *Lepidium sativum* απεικονίζεται στο διάγραμμα. 6.19.

Από τις μετρήσεις φυτοτοξικότητας διαπιστώθηκε ότι τις πρώτες 80 ημέρες της κομποστοποίησης ο δείκτης βλαστικότητας των σπερμάτων *Lepidium sativum* ήταν χαμηλότερος του 80%. Ιδιαίτερα τις πρώτες 10 ημέρες της κομποστοποίησης ο δείκτης βλαστικότητας ήταν ιδιαίτερα χαμηλός με τιμές μικρότερες από 40%.

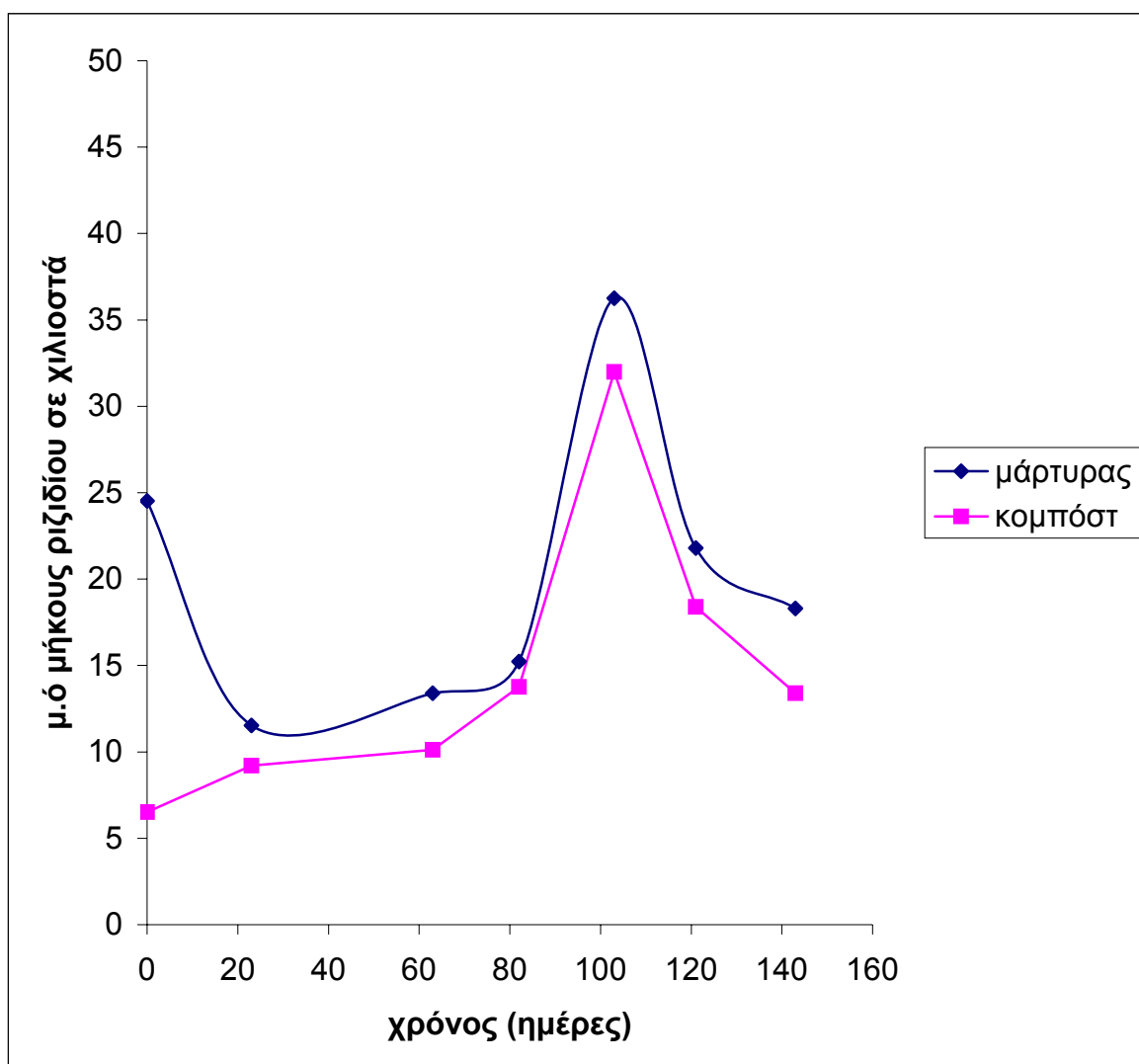
Σύμφωνα με τους Zucconi and de Bertoldi (1981) η φυτοτοξικότητα φαίνεται να είναι εμφανής στα αρχικά στάδια της κομποστοποίησης. Στη θερμοφιλή φάση παρατήρησαν ότι ο δείκτης βλαστικότητας ήταν χαμηλότερος του 50%. Γενικά απαιτείται μια περίοδος περίπου 100 ημερών, ώστε η τιμή του δείκτη βλαστικότητας να είναι σταθερά μεγαλύτερη από 80% για να αποφευχθεί η φυτοτοξικότητα (Helfrich *et al.*, 1998).

Σύμφωνα με τον Χατζηπαυλίδη (1998) οι χαμηλές συγκεντρώσεις φυτοτοξικών ουσιών επιδρούν στην ανάπτυξη των ριζιδίων ενώ οι υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να επηρεάσουν και το ποσοστό βλαστικότητας.

Στο Διάγραμμα 6.20 απεικονίζεται η διακύμανση του μήκους του ριζιδίου των σπερμάτων *Lepidium sativum* στο μάρτυρα και στα εκχυλίσματα κομπόστ. Όπως φαίνεται τις πρώτες μέρες της κομποστοποίησης υπήρχε μεγάλη απόκλιση μεταξύ των αποτελεσμάτων, η οποία αμβλύνθηκε μετά την 23^η ημέρα της κομποστοποίησης.



Διάγραμμα 6.19. Η διακύμανση του δείκτη βλαστικότητας κατά τη διάρκεια κομποστοποίησης.



Διάγραμμα 6.20 Μέσος όρος μήκους ριζιδίου μάρτυρα και εκχυλισμάτων κομπόστ .

6.8 Αποτελέσματα κοκκομετρικής ανάλυσης

Οι μετρήσεις για την κοκκομετρική ανάλυση πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο εδαφολογίας του τμήματος Γεωγραφίας του Χαροκοπείου Πανεπιστημίου και τα αποτελέσματα που ελήφθησαν από αυτές, παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.9. Τα παρακάτω αποτελέσματα αφορούν στο δεύτερο δείγμα εδάφους, δηλαδή αυτό στο οποίο έγινε η απαραίτητη προσθήκη άμμου, με σκοπό να παρασκευαστεί το αμμώδες υπόστρωμα που απαιτείται για την καλή ανάπτυξη του γρασιδιού, καθώς το πρώτο δείγμα που λάβαμε δεν πληρούσε τις παραπάνω προϋποθέσεις.

Πίνακας 6.9 Πίνακας αποτελεσμάτων της κοκκομετρικής ανάλυσης

			Βάρος 2 ^{ου} δείγματος = 93,497	% (αρχικού)		% (Αθροιστικό)	
Διάμετρος οπής			Βάρος συγκρατούμενου υλικού	(%) Συγκρατούμενου υλικού στο κόσκινο	Βάρος διερχόμενου υλικού	(%) διερχόμενου υλικού	Φ
2mm	95,78	108,875	13,095	14,005797	80,402	85,994203	-1
1mm	95,106	103,831	8,725	9,33185022	71,677	76,6623528	0
500μ	94,769	108,637	13,868	14,8325615	57,809	61,8297913	1
250μ	95,87	115,541	19,671	21,0391777	38,138	40,7906136	2
125μ	93,107	111,238	18,131	19,3920661	20,007	21,3985475	3
64μ	98,326	110,031	11,705	12,5191183	8,302	8,87942929	4
Γάσι	88,127	94,997	6,87	7,34782934	1,432	1,53159994	5
			92,065	98,4684001			

Σύμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα, δημιουργήθηκε η καμπύλη του διαγράμματος 6.21. Στο Διάγραμμα αυτό εμφανίζεται η αθροιστική καμπύλη ή γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων από την κοκκομετρική ανάλυση.

Ο οριζόντιος άξονας είναι λογαριθμικός και απεικονίζει το μέγεθος των κόκκων με τη διάμετρό τους σε mm. Στον κατακόρυφο άξονα τοποθετούνται τα αθροιστικά % ποσοστά, τα ποσοστά κατά κλάσμα κλπ. Τα σημεία που προκύπτουν ενώνονται με μικρές ευθείες γραμμές.

Σύμφωνα το παραπάνω διάγραμμα, το χώμα μετά την προσθήκη άμμου, ανήκει στην κατηγορία των αμμωδών, με ποικίλο μέγεθος κόκκων από πολύ χονδρή άμμο έως πολύ λεπτή άμμο.

Υπολογίστηκε επίσης το μέσο γραφικό μέγεθος (Graphic Mean-Mz) κατά Folk (1974)

$$Mz = \frac{\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84}}{3}$$

Η παράμετρος αυτή δίνει τη γενική και αντιπροσωπευτική εικόνα του εδάφους αναφορικά με το μέγεθος των κόκκων, δηλαδή αν το προς εξέταση δείγμα ανήκει στην κατηγορία των χονδρόκοκκων ή λεπτόκοκκων υλικών.

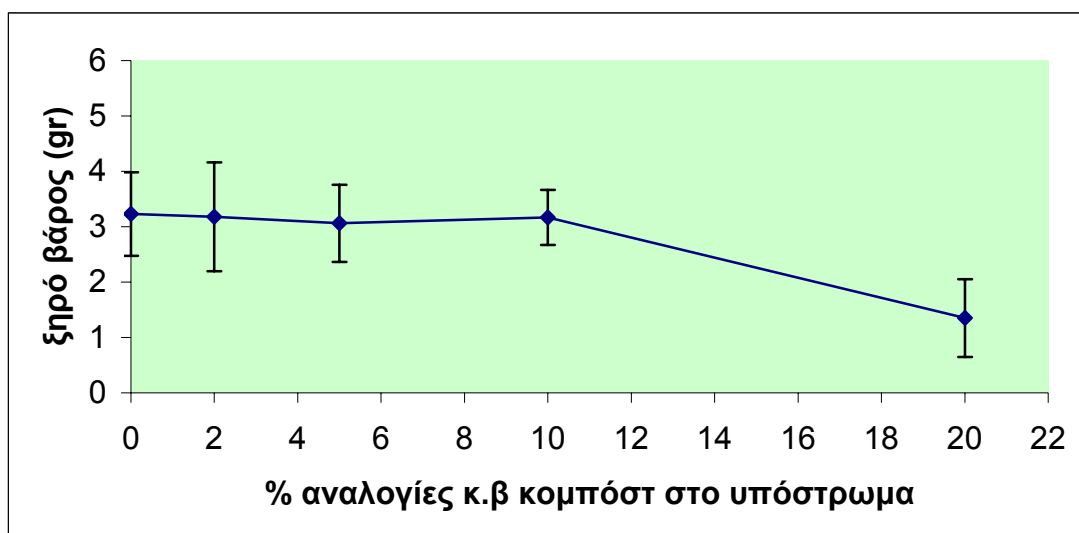
Βρέθηκε $Mz = 1,333$ που δηλώνει ότι το δείγμα είναι μεσαίο, δηλαδή, ούτε πολύ χονδρόκοκκο ούτε πολύ λεπτόκοκκο.

6.9 Αγρονομική εξέταση του κομπόστ

Τα αποτελέσματα της ζύγισης των δειγμάτων της χλωρής (μικτό βάρος) και ξηρής βιομάζας (ξηρό βάρος, μετά από 24 ώρες στους 105 °C) από το πρώτο κόψιμο του γρασιδιού απεικονίζονται στον πίνακα 6.10.

Πίνακας 6.10 Αποτελέσματα των μετρήσεων του μέσου όρου του μικτού και ξηρού βάρους από το πρώτο κόψιμο του γρασιδιού.

% περιεκτικότητα σε κομπόστ	Αποτελέσματα μέσου μικτού βάρους σε γραμμάρια	Αποτελέσματα μέσου ξηρού βάρους σε γραμμάρια
0	19,76	3,23
2	18,20	3,17
5	14,84	3,06
10	18,07	3,16
20	6,33	1,35



Διάγραμμα 6.22. Διακύμανση μέσου ξηρού βάρους της βιομάζας από το πρώτο κόψιμο του γρασιδιού σε σχέση με την περιεκτικότητα του υποστρώματος σε κομπόστ. Οι κάθετες μπάρες εκφράζουν την τυπική απόκλιση.

Μετά τη στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων του πρώτου κοψίματος από το μικτό βάρος, με τη χρήση ANOVA πήραμε τα αποτελέσματα όπως φαίνονται στον πίνακα 6.11 που ακολουθεί.

Πίνακας 6.11 Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης του μικτού βάρους από το πρώτο κόψιμο του γρασιδιού.

Σύγκριση αναλογιών κομπόστ	P value
0% προς 20%	0,002
0% προς 5%	0,454
0% προς 10%	0,976
0% προς 2%	0,985
2% προς 20%	0,008
2% προς 5%	0,805
2% προς 10%	1,00
10% προς 20%	0,005
10% προς 5%	0,794
5% προς 20%	0,056

Για το μικτό βάρος του γκαζόν υπήρχε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των αναλογιών 0% και 20%, 2% και 20%, 10% και 20% σε επίπεδο σημαντικότητας 5 % ($\alpha=0,05$) καθώς το P value για αυτές ήταν μικρότερο από 0,05.

Όσον αφορά στο ξηρό βάρος του γκαζόν υπήρχε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των αναλογιών 0% και 20%, 2% και 20%, 10% και 20% και μεταξύ των αναλογιών 5% και 20% σε επίπεδο σημαντικότητας 5 % (Πίνακας 6.12).

Πίνακας 6.12 Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης του ξηρού βάρους από το πρώτο κόψιμο του γρασιδιού.

Σύγκριση αναλογιών κομπόστ	P value
0% προς 20%	0,005
0% προς 5%	0,996
0% προς 10%	1,00
0% προς 2%	1,00
2% προς 20%	0,011
2% προς 5%	0,999
2% προς 10%	1,00
10% προς 20%	0,007
10% προς 5%	0,999
5% προς 20%	0,011

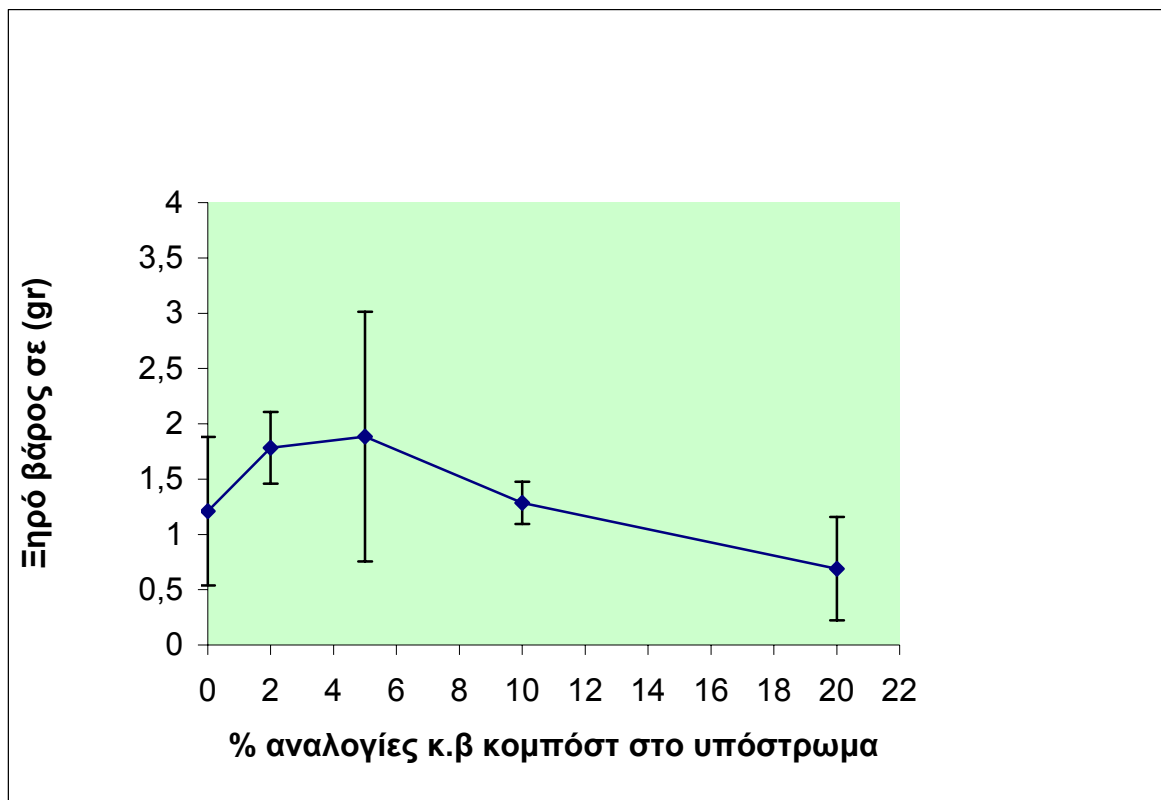
Η χρήση 20% κομπόστ έδωσε σημαντικά μικρότερο ξηρό βάρος ($P < 0,05$) από όλους τους άλλους χειρισμούς. Δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα σε όλους τους άλλους χειρισμούς σε επίπεδο σημαντικότητας 5%. Παρόμοια ήταν και τα αποτελέσματα για το μικτό βάρος όπου η χρήση 20% κομπόστ έδωσε σημαντικά μικρότερο μικτό βάρος από τους υπόλοιπους χειρισμούς ($P < 0,05$) με εξαίρεση την αναλογία 5% όπου $P=0,056$ και συνεπώς οριακά η διαφορά δεν κρίνεται σημαντική.

Το δεύτερο κόψιμο του γραζόν έγινε 26 ημέρες μετά από το πρώτο. Τα αποτελέσματα του μικτού βάρους αυτή τη φορά είχαν διαφορές σε σχέση με αυτά που προέκυψαν από τις μετρήσεις του πρώτου κοψίματος.

Τα καλύτερα αποτελέσματα μικτής βιομάζας είχε ο χειρισμός με αναλογία κομπόστ 5%, ακολούθησε η 2%, η 0% η 10% και τελευταία η αναλογία 20% σε κομπόστ.

Πίνακας 6 13. Αποτελέσματα των μετρήσεων του μέσου όρου του μικτού και ξηρού βάρους από το δεύτερο κόψιμο του γρασιδιού.

% περιεκτικότητα σε κομπόστ	Αποτελέσματα μέσου μικτού βάρους σε γραμμάρια	Αποτελέσματα μέσου ξηρού βάρους σε γραμμάρια
0	5,69	1,21
2	8,47	1,78
5	8,54	1,88
10	5,36	1,28
20	2,48	0,69



Διάγραμμα 6.23 Η διακύμανση του μέσου ξηρού βάρους της βιομάζας από το δεύτερο κόψιμο σε σχέση με την περιεκτικότητα του υποστρώματος σε κομπόστ. Οι κάθετες μπάρες εκφράζουν την τυπική απόκλιση.

Όσον αφορά στο ξηρό βάρος από το δεύτερο κόψιμο του γρασιδιού, τα καλύτερα αποτελέσματα ελήφθησαν από την προσθήκη αναλογίας 5% κομπόστ στο υπόστρωμα, αμέσως μετά από την αναλογία με 2% κομπόστ ενώ προσθήκη κομπόστ στο υπόστρωμα σε ποσοστό 20% κατά βάρος δεν οδήγησε σε καλή ανάπτυξη του γρασιδιού. Ο μέσος όρος του ξηρού βάρους σ' αυτή την αναλογία είναι χαμηλότερος και από αυτόν του μάρτυρα.

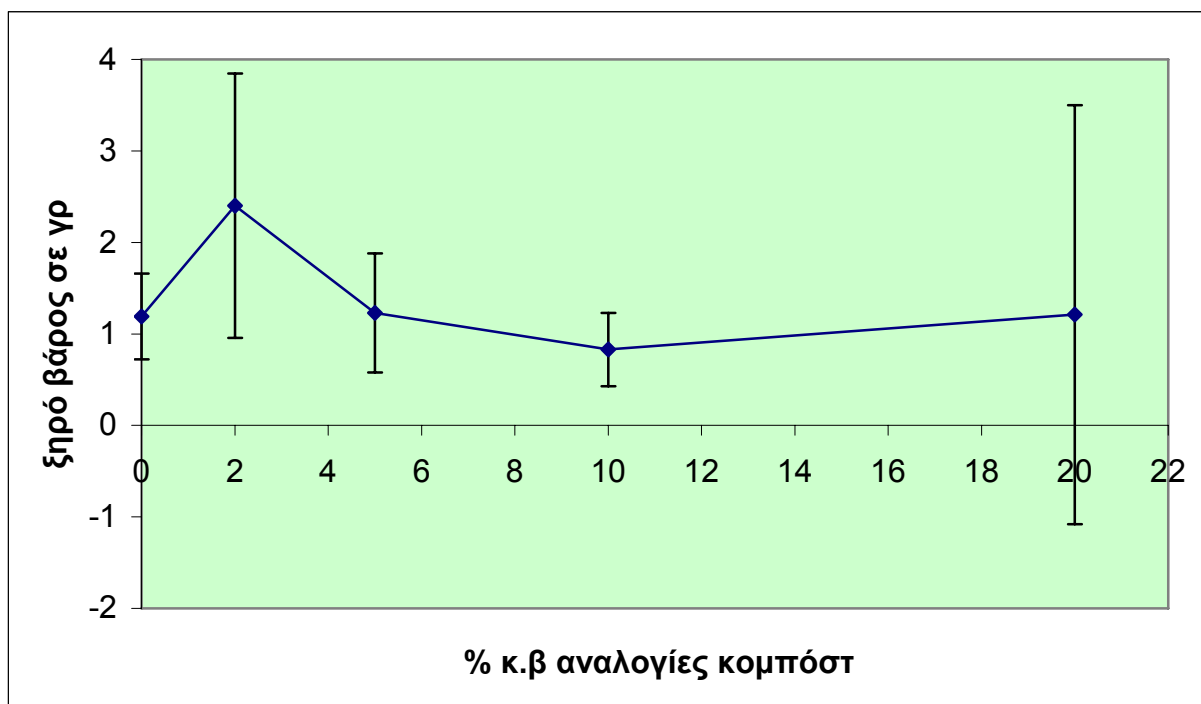
Ωστόσο, λόγω της μεγάλης διακύμανσης των αποτελεσμάτων των διαφορετικών επαναλήψεων για τον χειρισμό με προσθήκη 5% κομπόστ (όπως προκύπτει από τη μεγάλη τυπική απόκλιση –διάγραμμα 6.23) η στατιστική ανάλυση με χρήση ANOVA δεν κατέδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές στο μικτό (P value=0,056) ή στο ξηρό (P value=0,071) βάρος του γρασιδιού ανάμεσα στους διαφορετικούς χειρισμούς.

Το τρίτο και τελευταίο κόψιμο του γρασιδιού έγινε μετά από διάστημα 20 ημερών από το δεύτερο κόψιμο.

Τα αποτελέσματα του μικτού βάρους αυτή τη φορά δεν είχαν διαφορές σε σχέση με αυτά που προέκυψαν από τις μετρήσεις του δεύτερου κοψίματος του γρασιδιού όπως προκύπτει από τις μετρήσεις του βάρους της χλωρής βιομάζας. Ο μέσος όρος του ξηρού και του μικτού βάρους για κάθε χειρισμό εμφανίζεται στον πίνακα 6.14.

Πίνακας 6.14. Αποτελέσματα της μέτρησης του μικτού και ξηρού βάρους του γρασιδιού από το τρίτο κόψιμο.

% περιεκτικότητα σε κομπόστ	Αποτελέσματα μέσου μικτού βάρους σε γραμμάρια	Αποτελέσματα μέσου ξηρού βάρους σε γραμμάρια
0	5,97	1,19
2	7,89	2,40
5	5,96	1,23
10	3,97	0,83
20	2,37	1,21



Διάγραμμα 6.24 Η διακύμανση του μέσου ξηρού βάρους της βιομάζας από το *τρίτο* κόψιμο σε σχέση με την περιεκτικότητα του υποστρώματος σε κομπόστ .

Σε όλους τους χειρισμούς στους οποίους χρησιμοποιήθηκε κομπόστ στο μείγμα του υποστρώματος παρήχθη περισσότερη μικτή-βιομάζα σε σύγκριση με αυτή του μάρτυρα. Τη μεγαλύτερη παραγωγή μικτής βιομάζας είχε ο χειρισμός με αναλογία κομπόστ 2% και ακολούθησαν αντίστοιχα οι αναλογίες σε κομπόστ 5%, 10% και 20%.

Όσον αφορά στο ξηρό βάρος τα καλύτερα αποτελέσματα ελήφθησαν από την αναλογία 2% κομπόστ αμέσως μετά, από την αναλογία με 5% κομπόστ, ενώ η χρήση 20% κομπόστ στο υπόστρωμα δεν είχε καλά αποτελέσματα για τα φυτά. Ο μέσος όρος του ξηρού βάρους σε αυτή την αναλογία είναι ακόμα χαμηλότερος και από αυτόν του μάρτυρα.

Από τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης βρέθηκε ότι για το μικτό βάρος του γρασιδιού από τις μετρήσεις του τρίτου κοψίματος, δεν υπήρχε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μέσων, καθώς το P value ήταν μεγαλύτερο από 0,05, (P value = 0,066). Ομοίως ούτε για το ξηρό βάρος υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μέσων καθώς $P = 0,401$ σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,05$.

6.10. Συσχέτιση μεταξύ των διαφορετικών δεικτών ωριμότητας του κομπόστ

Τα αποτελέσματα της συσχέτισης (κατά Pearson) μεταξύ των μεταβλητών των φυσικών και χημικών παραμέτρων του κομπόστ, παρουσιάζονται στον πίνακα 6.15.

Η πρώτη σειρά κάθε κελιού του πίνακα, συμβολίζει το συντελεστή συσχέτισης (correlation coefficient) και η δεύτερη σειρά το P value.

Για τα ζεύγη των μεταβλητών που το P value είναι μικρότερο από 0,05 σημαίνει ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική συσχέτιση μεταξύ τους, θετική ή αρνητική ανάλογα με το πρόσημο που φέρει ο συντελεστής συσχέτισης. Αν το P value είναι μεγαλύτερο από 0,05 δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ του ζεύγους των μεταβλητών.

Από τον πίνακα 6.15 φαίνεται ότι υπάρχουν παράμετροι που συσχετίζονται μεταξύ τους και το αποτέλεσμα της συσχέτισής τους μπορεί να ερμηνευτεί, τόσο από τα αποτελέσματα των μετρήσεων, όσο και από τα αποτελέσματα της διεθνούς βιβλιογραφίας, αλλά υπάρχουν και ζεύγη μεταβλητών τα οποία φαίνεται να συσχετίζονται αλλά η συσχέτισή τους δεν μπορεί να ερμηνευτεί (δηλ. δεν φαίνεται να έχει φυσική σημασία).

Η μεταβλητή του χρόνου όσον αφορά στις φυσικές και χημικές παραμέτρους συσχετίζεται με το pH, τα πτητικά στερεά, τη μείωση των πτητικών στερεών και τον ειδικό ρυθμό κατανάλωσης οξυγόνου. Συγκεκριμένα με την πάροδο του χρόνου αυξάνεται το pH (θετική συσχέτιση) και το VS red. Ενώ αντίθετα με την πάροδο του χρόνου τα πτητικά στερεά και ο ειδικός ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου μειώνονται (αρνητική συσχέτιση). Οι παραπάνω συσχετίσεις μπορούν να ερμηνευτούν και από τα αποτελέσματα των πειραμάτων. Το pH αυξάνεται με το χρόνο κομποστοποίησης καθώς μέσω της δράσης των μικροοργανισμών διασπώνται οι πρωτεΐνες και απελευθερώνεται αμμωνία. Τα πτητικά στερεά μειώνονται με το χρόνο καθώς μειώνεται η συγκέντρωση της οργανικής ουσίας στο σωρό. Τα αποτελέσματα της συσχέτισης μεταξύ του χρόνου και του ειδικού ρυθμού κατανάλωσης οξυγόνου συνάδουν με τα αποτελέσματα των μετρήσεων, καθώς όσο προχωρά η διεργασία της κομποστοποίησης ελαττώνεται η δραστηριότητα των μικροοργανισμών άρα και ο ειδικός ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου στο σωρό.

Όσον αφορά στη συσχέτιση του χρόνου με τις μικροβιολογικές παραμέτρους υπάρχει συσχέτιση με τον πληθυσμό των σποριογόνων βακτηρίων και το λόγο Σποριογόνα/ολικά βακτήρια.

Η θερμοκρασία συσχετίζεται με τον πληθυσμό των μυκήτων, τα σποριογόνα βακτήρια, το πηλίκο σποριογόνα/ολικά βακτήρια και τους ακτινομύκητες με αρνητική όμως συσχέτιση. Είναι γεγονός ότι οι μύκητες αλλά και οι ακτινομύκητες δεν αντέχουν τις πολύ υψηλές θερμοκρασίες καθώς αυτές, αποτελούν περιοριστικό παράγοντα για τη δράση τους. Η αρνητική συσχέτιση που υπάρχει μεταξύ των σποριογόνων βακτηρίων και της θερμοκρασίας δεν οδηγεί σε κάποια λογική ερμηνεία, καθώς ο πληθυσμός των σποριογόνων βακτηρίων σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία αυξάνεται όταν η θερμοκρασία είναι υψηλή λόγω των σπορίων που διαθέτουν τα οποία είναι υπεύθυνα για την αντοχή τους σε υψηλές θερμοκρασίες.

Το pH συσχετίζεται με τον ειδικό ρυθμό κατανάλωσης οξυγόνου με αρνητική συσχέτιση. Όσο αυξάνεται το pH μειώνεται ο ειδικός ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου, το οποίο ισχύει. Θετική συσχέτιση υπάρχει ανάμεσα στο δείκτη βλαστικότητας και το VS red. Τέλος αρνητική συσχέτιση βρέθηκε μεταξύ του δείκτη VS προς VS red.

Το pH συσχετίζεται με τα σποριογόνα βακτήρια και το πηλίκο σποριογόνα/ολικά βακτήρια. Όσο αυξάνεται ή μειώνεται το pH, αντίστοιχα αυξάνεται ή μειώνεται και ο πληθυσμός των σποριογόνων βακτηρίων.

Το TPF φαίνεται ότι δεν συσχετίζεται με τα ολικά και τα σποριογόνα βακτήρια με τα οποία θα ήταν λογικό να υπήρχε συσχέτιση, καθώς η ενζυμική ενεργότητα έχει σχέση με τη μικροβιακή δραστηριότητα. Υπάρχει συσχέτιση όμως με τον πληθυσμό των κυτταρινολυτικών βακτηρίων.

Το SOUR φαίνεται ότι δεν συσχετίζεται με τα ολικά βακτήρια, τα σποριογόνα βακτήρια, τους ακτινομύκητες και τα κυτταρινολυτικά βακτήρια. Οριακά, δεν υπάρχει υπάρχει στατιστικά σημαντική συσχέτιση με το πηλίκο σποριογόνα /ολικά βακτήρια, καθώς το P value στην περίπτωση αυτή έχει την τιμή 0,055.

Πίνακας 6.15. Αποτελέσματα της συσχέτισης κατά Pearson μεταξύ των διαφορετικών μεταβλητών που προσδιορίστηκαν κατά τη διαδικασία της κομποστοποίησης πράσινων αποβλήτων. Η πρώτη τιμή σε κάθε κελί εκφράζει τον συντελεστή συσχέτισης ενώ η δεύτερη την τιμή P.

	Θερμοκρασία	pH	Ηλ.αγωγ	Δείκτης Βλαστικότητας	TPF	Πτητικά στερεά	Μείωση Πτητικών στερεών	SOUR	Μύκητες	Ολικά βακτήρια	Σποριογόνια βακτήρια	Σποριογόνα/ολ.	Ακτιν ομύκητες	Κυτταρινολυτικά
Χρόνος (ημέρες)	-0,575 0,233	0,911 0,00436	0,433 0,332	0,625 0,134	0,266 0,565	-0,789 0,0348	0,736 0,0591	-0,842 0,0175	0,580 0,172	0,325 0,477	0,818 0,0247	0,849 0,0156	0,609 0,146	-0,072 0,892
Θερμοκρασία		-0,714 0,111	-0,0433 0,935	-0,197 0,708	0,765 0,0761	-0,433 0,935	0,0626 0,906	0,742 0,0911	-0,892 0,0168	-0,433 0,379	-0,917 0,0101	-0,882 0,0201	-0,812 0,0498	0,640 0,171
PH			0,268 0,562	0,503 0,250	-0,064 0,890	-0,546 0,205	-0,524 0,227	-0,923 0,0030	0,654 0,111	0,358 0,430	0,867 0,0115	0,892 0,00695	0,680 0,0931	-0,333 0,519
Ηλ.αγωγ.				-0,215 0,643	0,436 0,328	-0,123 0,792	-0,0298 0,949	-0,518 0,233	-0,184 0,693	-0,226 0,627	-0,0800 0,865	0,0081 0,986	-0,197 0,673	0,439 0,383
Δείκτης Βλαστικότητας					0,367 0,418	-0,843 0,0172	0,892 0,0069	-0,266 0,564	0,616 0,141	0,354 0,436	0,642 0,120	0,623 0,135	0,522 0,230	0,418 0,410
TPF						-0,575 0,177	0,509 0,244	0,127 0,787	-0,375 0,407	-0,279 0,544	-0,212 0,648	-0,129 0,783	-0,290 0,528	0,885 0,0191
Πτητικά στερεά							-0,988 0,0000325	0,341 0,454	-0,393 0,383	-0,231 0,618	-0,637 0,124	-0,672 0,0980	-0,521 0,231	-0,397 0,436
Μείωση πτητικών στερεών								-0,279 0,545	0,433 0,332	0,255 0,581	0,659 0,107	0,688 0,0876	0,568 0,184	0,389 0,446
SOUR									-0,607 0,148	-0,287 0,533	-0,717 0,0699	-0,743 0,0557	-0,533 0,218	0,211 0,688
Μύκητες										0,701 0,0792	0,847 0,0162	0,718 0,0691	0,649 0,115	-0,424 0,402
Ολικά βακτήρια											0,617 0,140	0,308 0,501	0,113 0,809	-0,321 0,535
Σποριογόνια βακτήρια												0,939 0,00172	0,804 0,0293	-0,683 0,135
Σποριογ./Ολικά Βακτήρια													0,921 0,0031	0,655 0,158
Ακτινομύκητες														-0,754 0,0835

• Με έντονη γραμματοσειρά συμβολίζεται η ύπαρξη συσχέτισης μεταξύ των μεταβλητών

Κεφάλαιο 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με σκοπό την παρακολούθηση της διεργασίας της κομποστοποίησης μετρήθηκαν φυσικές, χημικές βιολογικές και μικροβιολογικές παράμετροι, ορισμένες εκ των οποίων κρίνονται ως κατάλληλοι δείκτες για τον προσδιορισμό του βαθμού ωρίμανσης του υλικού.

Οι φυσικές και χημικές μετρήσεις στην παρούσα εργασία, ιδιαίτερα η θερμοκρασία, είναι βασικά στοιχεία για την ποιότητα του κομπόστ και δείχνουν την πορεία της διαδικασίας της κομποστοποίησης μέχρι το τέλος της θερμοφίλης φάσης. Μετά την περίοδο αυτή οι τιμές των παραμέτρων αυτών παραμένουν σταθερές και δεν είναι ικανές να προβλέψουν την ωρίμανση του κομπόστ.

Οι τιμές των χημικών δεικτών παρουσίασαν διακυμάνσεις, μόνο κατά τη φάση της ενεργούς κομποστοποίησης. Στο ίδιο συμπέρασμα κατέληξαν και οι Brewer and Sullivan (2003) οι οποίοι επισημαίνουν ότι η μεγαλύτερη αλλαγή στους δείκτες των χημικών παραμέτρων παρατηρήθηκε κατά τη διάρκεια της ενεργούς φάσης της κομποστοποίησης ενώ στη συνέχεια οι αλλαγές ήταν μικρές.

Οι τιμές των φυσικών και χημικών παραμέτρων για το ώριμο κομπόστ έχουν ως εξής:

Η θερμοκρασία έπεσε στα επίπεδα της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος, ενώ παρέμενε σταθερή μετά την ανάδευση του υλικού ή την προσθήκη νερού.

Η τιμή της υγρασίας έφτασε στο 40-50%, η μέση τιμή του pH έφτασε στο 8,2 ενώ η ηλεκτρική αγωγιμότητα είχε μέση τιμή κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης του κομπόστ 1,97 mS/cm.

Για τη διερεύνηση της φυτοτοξικότητας του κομπόστ χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης βλαστικότητας, ο οποίος στην αρχή της κομποστοποίησης ήταν χαμηλός (περίπου 35%) αλλά στη συνέχεια μετά την 23^η ημέρα της κομποστοποίησης, αυξήθηκε και κυμάνθηκε σε ποσοστά > 80% .

Ο ρυθμός αναπνευστικής δραστηριότητας του κομπόστ ήταν από τις πιο αντιπροσωπευτικές παραμέτρους καθώς μπορούσε να διακρίνει ανάμεσα στην περίοδο υψηλού ρυθμού αναπνευστικής δραστηριότητας κατά τη διάρκεια της ενεργούς φάσης της κομποστοποίησης (οι πρώτες 30 ημέρες) και την περίοδο σταθερότητας, από την 60^η ημέρα της κομποστοποίησης έως την 142^η ημέρα.

Η αναπνευστική δραστηριότητα έφτασε στην ανώτερη τιμή της ($4\text{mgO}_2/\text{gVS/hr}$), την 23η ημέρα της κομποστοποίησης και ακολούθησε πτωτική τάση έως την 63η ημέρα της κομποστοποίησης. Στη συνέχεια σταθεροποιήθηκε στην τιμή $1,5\text{ mgO}_2/\text{gVS/hr}$.

Το δυναμικό αυτοθέρμανσης έδειξε ότι τις πρώτες ημέρες της κομποστοποίησης υπήρχε μικρή αλλά μετρήσιμη διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος και του κομπόστ. Αντίθετα για το δείγμα που λήφθηκε την 142^η ημέρα κομποστοποίησης δεν υπήρχε διαφορά μεταξύ των θερμοκρασιών αυτών οι οποίες σχεδόν ταυτίζονταν.

Από τη μελέτη της διαδοχής του μικροβιακού πληθυσμού που συμμετείχε στην αποικοδόμηση της οργανικής ύλης διαπιστώθηκε ότι ο πληθυσμός των ολικών αερόβιων βακτηρίων ήταν χαμηλός τις πρώτες ημέρες κομποστοποίησης όταν η θερμοκρασία ήταν ιδιαίτερα υψηλή, ενώ στη συνέχεια ο πληθυσμός τους αυξήθηκε. Το αποτέλεσμα αυτό μπορεί να συνδυαστεί με την άνοδο του pH.

Ο πληθυσμός των σποριογόνων βακτηρίων σημείωσε σταδιακή άνοδο κατά τη διάρκεια της φάσης της ωρίμανσης και δεν παρουσίασε την αναμενόμενη αύξηση κατά τη διάρκεια του θερμοφίλου σταδίου.

Ο πληθυσμός των μυκήτων παρουσίασε άνοδο όταν η θερμοκρασία στο σωρό άρχισε να πέφτει καθώς οι μύκητες δεν είναι ανθεκτικοί στις πολύ υψηλές θερμοκρασίες.

Ο πληθυσμός των ακτινομυκήτων αυξήθηκε κατά την φάση της πτώσης της θερμοκρασίας γεγονός που πιθανότατα οφείλεται στην ικανότητά τους να αποικοδομούν τις φαινολικές ενώσεις. Όσον αφορά στον πληθυσμό των κυτταρινολυτικών βακτηρίων παρουσίασε την μέγιστη τιμή προς το τέλος του θερμοφίλου σταδίου της κομποστοποίησης και στη διάρκεια του σταδίου της ωρίμανσης, πιθανότατα για την αποικοδόμηση της κυτταρίνης των ξυλωδών τμημάτων των πράσινων απορριμμάτων.

Τα νιτροποιά βακτήρια έδειξαν να αυξάνονται όταν η θερμοκρασία είχε μειωθεί καθώς δεν αντέχουν τις υψηλές θερμοκρασίες.

Από την σύγκριση όλων των αποτελεσμάτων προκύπτει ότι το τελικό προϊόν της κομποστοποίησης, μετά από 142 ημέρες επεξεργασίας, μπορεί να χαρακτηριστεί ως ώριμο.

Από την εφαρμογή του ώριμου κομπόστ σε σπόρους *Festuca arundinacea* διαπιστώθηκε ότι η χρήση του, έχει θετικά αποτελέσματα στην αύξηση του βάρους

της ξηρής βιομάζας. Οι αναλογίες με ποσοστό % κ.β σε κομπόστ 2% και 5% εμφάνισαν τις υψηλότερες τιμές μέτρησης ξηρής βιομάζας, ενώ η αναλογία 20% κ.β σε κομπόστ δεν είχε καλά αποτελέσματα. Σε ορισμένες μετρήσεις η επίδραση της αναλογίας αυτής ήταν αρνητική καθώς τα αποτελέσματα των μετρήσεων ήταν μικρότερα ακόμα και από αυτά του μάρτυρα (με αναλογία σε κομπόστ 0%).

Βιβλιογραφία

Adani F.,P.L Genevini, F. Gasperi and F. Tambone 1999. Composting and humification *Compost Science & Utilization* , **7**, 1, pp 24-33

Adani F. *et al.*, 1997. Organic matter evolution index as a measure of composting efficiency, *Compost Science & Utilization*, **5**, 2, pp 53-62

Alexander M. 1961. Introduction to soil microbiology. John Wiley and Sons. Inc. New York, NY: Wiley Publishing Co. A cited in: Gray, K.R., K.Sherman and A.J Biddlestone, 1971b.A review of composting Part 2- Practical process. *Process Biochemistry*, **6** ,10, pp 22-28

Alexander M, Glark F.E, 1965. Nitrifying Bacteria *In*: Methods of Soil Analysis, Part 2.American Society of Agronomy, Ed A.L.Page *et al.*, Madison USA, pp 1477-1483

Alexander M., 1982. Most Probable Number Method for Microbial Populations *In* : Methods of Soil Analysis, Part 2.American Society of Agronomy, Ed A.L.Page *et al.*, Madison USA, pp 815-820

Amlinger F. St. Peyer and J. Geszti 2001. Compost management in Austria-Quantities and Qualities, Presentation held at the “Biowaste Conference”15-17 May 2001, Vienna

APHA, 1992. ‘ Standard methods for examination of water and wastewater’.18th ed. *APHA, AWWA ,WPCF*, Washington, DC.

Arja H. Vuorinen 1997. Evolution of microbiological and chemical parameters during manure and straw co-composting in a drum composting system- *Agriculture Ecosystem and Environment*, **66**, pp 19-29

Atlas, R.M and R. Bartha 1981. Microbial ecology: Fundamentals and applications Addison-Wesley, Reading, MA

Άλκιμος Αναστάσιος. Κομπόστ – Οικολογικό εργαστήριο χουμοποίησης της βιομάζας. Εκδόσεις Ψύχαλου, Αθήνα 2000

Ayuso M. *et al.*, 1996. biochemical and chemical-structural characterization of different organic materials used as manures *.Biores, Technol.* **57**, pp 201-207

Bardos and Lopez – Real 1989. The composting process: susceptible feedstocks temperature, microbiology, sanitization and decomposition *.In: E. Bidlingmaier and P. l' Hermide (eds) . Compost processes in waste management* EEC pp 179-190

Barth, J. 1999. An estimation of European compost production-sources qualities and use. Presentation at the EU Compost Workshop, Vienna “Steps towards a European Compost Directive”, Vienna 2-3 November 1999.

Biddlestone A.S, Gray K.R, 1987. Compostin and straw decomposition. *In: C.F. Foster and D.A.J Wase (eds). Environmental Biotechnology.* Ellis Horwood Series in Chemical Engineering.

Benito Marta, Masaguer Alberto, Moliner Ana, Arrigo Nilda, Rosa Martha Palma 2003. Chemical and microbiological parameters for the characterization of the stability and maturity of pruning waste compost. *Biol.Fertil.Soils*, **37**, pp184-189

Brewer J. Linda and Dan M. Sullivan 2003. Maturity and stability evaluation of composted yard trimmings. *Compost Science & Utilization*, **11**, 2, pp 96-112

Briggs D. 1977. Sediments, Sources and Methods in Geography. London

Brinton, W.F Jr, E. Evans, M.L. Droffner, R.B. Brinton. 1995 Standardized test for evaluation of compost self-heating. *Biocycle* **36**, 11, pp 64-49

Boyd, R, F.1984 General Microbiology. Wirtz, VA: Time Mirror/Mosby College publishing

Clark. Francis E. Actinomycetes *In: Methods of Soil Analysis, Part 2.*American Society of Agronomy, Ed A.L.Page *et al.*, Madison USA, pp 1498-1501

Corti C., Crippa I., Genevini and M. Centemero 1998. Compost use in plant nurseries: Hydrological and physicochemical characteristics, *Compost Science & Utilization*, **6** , 4, pp 34-45

Dan Levanon and Daniel Pluda. 2002. Chemical Physical and Biological Criteria for maturity in composts for organic farming *Compost Science & Utilization*, **4**, 4, pp 339-346

Defoer N and H Van Langehove 2002. Odour emissions during Yard waste composting:Effect of turning Frequency *In: Microbiology of composting*

Dette O. 2000 EU waste minimization study highlights diversity of approach and Key role for municipalities, *Warmer Bulletin*, 70:14-15

de Bertoldi M., G.Vallini, A. Pera, F. Zucconi 1985 Technological aspects of composting including modelling and microbiology *In: J.K.R. Grassie (ed) Composting of Agricultural and other wastes*, Elsevier Applied Science, London, pp 27-41

de Bertoldi M., G.Vallini, A. Pera 1983. The biology of composting: A review .*Waste manage. Res.*,**1**, pp167-176

de Bertoldi M.,G. Vallini, A Pera and F. Zucconi 1982 Comparisons of three windrow compost systems, *BioCycle* **23** ,2, pp 45-50

de Bertoldi M. The control of the process and compost quality. In: Bidlingmaier W, de Bertoldi M. Diaz L, Papadimitriou FK, editors. Organic recovery and biological treatment. Berlin: Rhombos 1999: pp 47-53

Devleeshauwer D., O. Verdonk, P. Van Asche. 1981. Phytotoxicity of refuse compost. *Biocycle*, **22**, 1, pp 44-46.

US EPA 1994 (Environmental Protection Agency) *Composting Yard Trimmings and Municipal Solid Waste*, EPA530-R-94-003

US EPA 1994 a (Environmental Protection Agency) Innovative uses of compost, Reforestation, Wetlands Restoration and Habitat Revitalization, EPA530-F-97-046

US EPA 1994 b (Environmental Protection Agency) Innovative uses of compost, Erosion Control, Turf Remediation and Landscaping, EPA530-F-97-043

Eggins and Pugh 1962. *In: Methods in Microbiology*. (Eds) Booth C. Academic Press London, and N.Y ,Vol 4, 1971.

Epstein E. (1997) *The Science of Composting*, Technomic Publishing Company .Inc. Lancaster Pennsylvania, USA.

Favoino E., M. Centemero, M. Consiglio, A. Panzia Oglietti, E. Accoto, Yard waste composting strategies: Considering Technical conditions and organizing systems
The science of composting

Favoino E. and Ragazzi R. 1998, Italian organic recovery systems: strategies and outcomes. *Warmer Bulletin*, **62**: 8-10

FCQAO (Federal Compost Quality Assurance Organization), 1994 *Methods Book For the Analysis of Compost*, in addition with the Results of the Parallel Interlaboratory Test 1993. *Kompost –Information* Ne. 230. Bundesgutegemeinschaft Kompost e.V. English translation by W. Bidlingmaier, University of Essen, Germany.

Felipo M.T -Compost as a source of organic matter in Mediterranean soils, *In: M. de Bertoldi, P.Sequi, B. Lennes, T Papi (eds) The science of composting Part I. Blackie Academic Professional Glasgow*, pp 274-285

Finstein Melvin S. 1992. Composting in context of municipal solid waste management, *Environmental Microbiology*, pp 355-374

Finstein M.S and f.C Miller 1985 Principles of composting leading to maximization of decomposition rate, odor control and cost effectiveness. *In: J.T.R Grasser (ed). Composting of Agricultural and Other Wastes. Elsevier Applied Science, London*, pp 13-26

Finstein, M.S.,F.C. Miller, P.F. Strom. 1986. Monitoring and evaluating composting process performance. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, **58**, 4, pp 272-278

Forster,J,C. W.Zech, E.Wurdinger.1993 Comparison of chemical and microbiological methods for the characterization of the maturity of composts from contrasting sources. *Biology and Fertility of Soils*, **16**, 93-99

Frederickson J. Kevin R Butt, Richard M Morris and Catherine Daniel, 1997 Combining vermiculture with traditional green waste composting systems. *Soil Biol. Biochem.*, **29**, No $\frac{3}{4}$ pp 725-730

Fogarty Andrew M. and Tuovinen Olli H. 1991. Microbiological degradation of pesticides in Yard waste composting *Microbiological reviews June 1991*, **55**, 2 pp 225-233

Fuhrmann JJC. 1999. Microbial metabolism, *In: Sylvia DM, Fuhrmann JJC, Hartel PG, Zuberer DA, Editors. Principles and Applications of Soil Microbiology. Englewood Cliffs,NJ: Prentice Hall, 1999* pp, 189-217

Garcia C.T Hernandez, F. Costa.1991. Study on water extract of sewage sludge compost. *Soil Science and Plant Nutrition* **37**, 3 pp 399-408

Garling C.Daniel and Michael J. Boehm 2001. Temporal effects of compost and fertilizer applications on Nitrogen Fertility of Golf Course Turfgrass, *Agronomy Journal* **93**, pp 548-555

Gerrad John Funtamentals of soils 2000. Routledge Fundamentals of Physical geography pp 22-44

Glenn J., 1998. The state of garbage in America. *Biocycle*, **39**, 4, pp 32-43

Gray K.R.,Sherman and A. J Biddlestone 1971 b. A review of composting Part 2-The practical process. *Process biochemistry*, **6**, 10, pp 22-28.

Grebus ME. Watson,H.A.J Hoitink 1994. Biological chemical and physical properties of composted yard trimming as indicators of maturity and plant disease suppression. *Compost Science & Utilization*,. **2**, 1, pp 57-71

Goldstein N., and J. Glenn.1992. Solid waste composting plants face challenges. *Biocycle*. 33 (11) pp 48-52

Goldstein N. and Madtes .C. 2000. The state of garbage in America, *Biocycle* **41**, 11, pp: 40-48

Golueke C. 1977. Biological reclamation of solid wastes.- Rodale Press .249

Golueke C.G,1991 Principles of composting. *In: The staff of biocycle journal of waste recycling*, pp 55-59.

Gruneklee C.E. Development of composting in Germany. *In: Stentiford EI, Editor. Organic Recovery and Biological Treatment into the Next Millennium. Orbit 1997 Conference Proceedings. Harrogate, UK, 1997. pp 313-316*

- de Guardia *et al* 2002. Fractionation and characterization of dissolved organic matter from composting green wastes, *Bioresource Technology*, **83**, pp 181-187
- de Guardia, D.Rogean, F.Begnaud, S Quinio. 1998 Characterization of green wastes transformations occurring while composting. Proceedings of the Eighth International Conference of the European Cooperative Research Network. Recycling of Agricultural Municipal and Industrial Residues in Agriculture, Rennes, France 26-29 May, Cemagref, France pp185-202.
- Hankin L. and S.L Anagnostakis. 1977. Solid media containing carboxymethylcellulose to detect C cellulase activity of micro-organisms *J. Gen. Microbiology* **98**, pp 109-115
- Hannon J.B and Mason I.G 2003. Composting of green waste shredded by a crush/cut roller versus a low speed counter-rotating shear shredder *Compost Science & Utilization*, **2**,1, pp 61-71
- Harada,Y.,A. Inoko,M.Tadaki, T. Izawa. 1981. Maturing process of city refuse compost during piling. *Soil Science and plant nutrition*, **27**,3,pp 357-364
- Harada Y.,K. haga,T.Osada,M.Koshino.1993.Quality of compost produced from animal waste. *Japan Agricultural Research Quarterly*, **26**, pp 238-346
- Hassen, Abkennaceur *et al.*, 2001. Microbial characterization during composting of municipal solid waste *Bioresource Technology* **80**, pp 217-225
- Haug, R.T.1980. *Composting Engineering: Principles and Practice*. Ann Arbor Science, Ann Arbor, Michigan, USA.
- Haug R.T.,1993. *The practical handbook of compost engineering*. Lews Publishers, USA
- Helfrich Peter *et a.,l* 1998. A novel method for determing phytotoxicity in composts *Compost Science & Utilization* , **6**, 3 pp 6-13

Hendricks Charles.W, Jack D. Doule and Bonnie Hugley 1995. A New solid medium for enumerating cellulose-utilizing Bacteria in soil *Applied and Environmental Microbiology*, **61**, 5, pp 2016-1019

Hermann, R.F and J.R Shann 1993. Enzyme activities as indicators of municipal solid waste compost maturity. *Compost Science & Utilization* **1**, 4 pp 54-63

Hoitink,H.A.J,A.G Stone a nd D.Y Han 1997, Suppression of plant diseases by composts *Hort. Science*, **32**, pp184-187

Horiuchi J.I *et al.*, 2003. Simplified method for estimation of microbial activity in compost by ATP analysis. *Bioresource Technology*, **86**, pp 95-98

Hue N.V and J.Liu.1995 Predicting compost stability “*Compost Science & Utilization* **3**, 2, pp 8-15

Iglesias-Jimenez E.,Perez-Garcia V 1992. Determination of maturity indices for city refuse composts. *Agric.Ecosyst.Environ.* **38**, pp 331-343

IWM 1998. Composting green waste. The Institute of Wastes Management, Northampton , December 1998

Illmer P. 2002. Microbiology of composting Backyard composting: General considerations and a case study

Jann G.J., D.H Howard, A.J. Salle. 1959. Methods for the determination of completion of composting. *Applied Microbiology*, **7**, pp 271-275.

Jodece R., 1989.Chemical and biological parameters for evaluating compost quality.In: Instituto Agrario Provinciale s. Micheleall (eds).Proceeding for the compost production and Use. International Conference, pp 363,384

Καϊλιδης Δημήτριος *Καλλωπιστικά δέντρα και θάμνοι που φυτεύονται στην Ελλάδα*
Εκδόσεις Χριστοδουλίδη, Θεσσαλονίκη 2000

Κανακόπουλος Δ. 2001. Ολοκληρωμένες εγκαταστάσεις κομποστοποίησης-εξοπλισμός. *Ολοκληρωμένη διαχείριση Οργανικών Αποβλήτων και Υπολειμμάτων*.
Διημερίδα «Κομπόστ-Νετ», Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο. Αθήνα σελ 131-148

Καραγεώργος Δημήτρης. *Στατιστική Περιγραφική και Επαγωγική. Μια διδακτική προσέγγιση*. Εκδόσεις Σαββάλας, Αθήνα 2001

Koenig Albert and Quazi H. Bari. 2000. Application of Self-Heating test for indirect estimation of respirometric activity of compost: Theory and practice. *Compost Science and Utilization*, **8**, 2 pp 99-107.

Kostov O.,G. Petkova,O. Van Cleemput.1994. Microbial indicators for sawdust and bark compost stability and humification processes. *Bioresource Technology*, **50**, pp193-200

Kreith G. 1994. *Handbook of Solid Waste Management*. McGraw-Hill,USA

Κυριακού Μ., 2002 *Σημειώσεις Μικροβιολογίας*. Εργαστήριο Μικροβιολογίας,
Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Lasaridi K.E and Stentiford Ed.I.1996. Respirometric techniques in the context of compost stability assessment: principles and practice. In: M. de Bertoldi, P.Sequi, B. Lennes,T Papi (eds) *The science of composting Part I*.Blackie Academic Professional Glasgow pp 274-285

Lasaridi K.E 1996. *Compost stability: A comparative evaluation of respirometric techniques*. University of Leeds, Department of Civil Engineering.

Lasaridi K.E and Stentiford Ed.I.1997 Respirometric techniques for MSW compost stability evaluations: Comparative study, Orbit 97, International Conference on

Organic recovery and biological treatment, 3-5 September 1997, Harrogate, United kingdom

Lasaridi K.E and Stentiford Ed.I 1998.A simple respirometric technique for assessing compost stability, *Waste research*, **32**, 12, pp 3717-3723

Lasaridi K.E and Stentiford Ed.I. 2001. Composting of source separated MSW: An approach to respirometric techniques and biodegradation kinetics. *Proceedings Int. Symp. On Composting of Organic Matter* (eds) Balis *et al.*, Acta Horticulturae 549. ISHS 2001

Λαζαρίδη Κ. και Χαριτοπούλου Ρ., 2001. Πράσινα απορρίμματα: Δυνατότητες και προκλήσεις για την τοπική αυτοδιοίκηση. *Ολοκληρωμένη διαχείριση Οργανικών Αποβλήτων και Υπολειμμάτων*. Δημερίδα «Κομπόστ-Νετ», Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο. Αθήνα σελ 71-83

Lulu Belete, Waltraud Egger. 2001. Can Community Level Physiological Profiles be used for compost maturity testing ? *Compost Science & Utilization*,. **9** ,1, pp 6-18

Lynch, J.M and D.A.Wood. 1985. Controlled microbial degradation of lignocellulose: the basis for existing and new approaches in composting. *In*: J.K.R Grasser (ed) *Composting of agricultural and other wastes*. Elsevier Applied Science, London,pp 183-193

Μανιός Β.Ι και Μανιαδάκης Κ.Μ, 2001. Προδιαγραφές ποιότητας κομπόστ. *Ολοκληρωμένη Διαχείριση Οργανικών Αποβλήτων και Υπολειμμάτων*. Δημερίδα « ΚΟΜΠΟΣΤ- NET» Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο. Αθήνα, σελ 119-122

Μανιός Β. Κριτσωτάκης Γ. 2000. Εφαρμογές Κομπόστ στη γεωργία. Εισήγηση στη 2^η συνάντηση εργασίας του δικτύου Κομποστ-Νετ Ξάνθη, Οκτώβριος, σσ 1-6.

Manios,V,I P.E Tsikalas, H.I Siminis. 1987. Phytotoxicity of olive tree leaf compost.*In*:M. de Bertoldi, M.P Ferranti, P.L Hermite F. Zucchini (eds). *Compost: Production Quality and Use*. Elsevier Applied Science, London pp 296-301

Maynard A Abigail 2000. Applying leaf Compost to Reduce Fertilizer use in tomato production- *Compost Science & Utilization* , **8** , 3, pp 203-209

Maynard A Abigail and David E. Hill 2000. Cumulative effect of leaf compost on yield and size distribution in onions: *Compost Science & Utilization*,. **8**, 1, pp 12-18

Maynard A Abigail 2000. Applying leaf compost to reduce fertilizer use in tomato production : *Compost Science & Utilization*, **8**, 3, pp 203-209

Mckinley V.L and J.R Vestal. 1985. Physical and chemical correlates of microbial activity and biomass in composting municipal sewage sludge. *Applied and Environmental Microbiology*, **50**, 6, pp 1395-1403.

Michel F.C *et al* 2002. Bacterial community structure during Yard Trimmings Composting *Microbiology of Composting*

Miller F.C 1989. Matric water potential as an ecological determinant in compost, a substrate dense system. *Microb.Ecol.* **18**, pp:59-71

Miller F.C 1996. *Microbiology of solid waste*. Composting of municipal solid waste and its components, CPC Press. Inc. pp 115-145.

Monica Ozores- Hampton *et al.*, 1999. Yard Trimming-Biosolids compost : Possible alternative to Sphagnum peat moss in Tomato transplant production *Compost Science & Utilization*, **7**, 4, pp 42-49

Mason I.G *et al* 2003. Source separation and potential re-use of resource residuals at a university campus *Resources Conservation and Recycling* xxx pp 1-19

Μπεριάτος Η. Αραβώσης Κ. Καραγιαννίδης Α.,Περκουλίδης Γ, Κολτσίδας Ε, ΚούγκολοςΑ., 2002, Θεσμικό πλαίσιο και πολιτική διαχείρισης στερεών αποβλήτων – Εξελίξεις και προοπτικές

ORCA.1992 ORCA technical publication Nr2:A Review of compost standards in Europe, ORCA Brussels.

Ouatmane A. *et al* 2000. Compost maturity assessment using calorimetry, spectroscopy and chemical analysis *Compost Science & Utilization*, **8**, 2, pp 124-134

Paredes C., Roig A., Bernal M.P., Sanchez-Monedero M.A., Gegarra J., 2000. Evolution of organic matter and nitrogen during co-composting of olive mill wastewater with solid organic wastes. *Biol.Fertil.Soils*, **32**, pp 222-227

Papadimitriou E.K and C. Balis 1996. Comparative study of parameters to evaluate and monitor the rate of a composting process *Compost Science & Utilization*, **1**, 4, pp 52-61

Parkinson R. J. 1999.: An evaluation of greenwaste compost for the production of forage Maize (*Zea Mays* L.) *Compost Science & Utilization* ,**7**, 1, pp 72-80

Poincelot R.P. 1972. The Biochemistry and methodology of composting. Connecticut Agricultural Experimental Station Bulletin 127. Connecticut Agricultural Experimental Station, New Haven.

Reinikainen Olli and Markku Herranen. 2001. Different methods for measuring compost stability and maturity. *Proceedings Int. Symp. On Composting of Organic Matter* (eds) Balis *et al.*, Acta Horticulturae 549. ISHS 2001

Richard C. Stehouwer and Kirsten Macneal 2003. Use of Yard Trimmings compost for restoration of saline soil incineration ash- *Compost Science & Utilization*, **11**, 1 pp 51-60

Richard, T.L 1992a Municipal solid waste composting Physical and biological processing. *Biomass & Bioenergy*. Tarrytown, NY:Pergamon Press 3 (3-4):163-180

Richard,D. an R.Zimmerman.1995. Respiration rate-reheating potential: a comparison of measures of compost stability. *Compost Science and utilization*, **3**,2 pp 74-79

Riffaldi, R. R.Levi-Minzi,A.Pera,M de Bertoldi.1986. Evaluation of compost maturity by means of chemical and microbial analyses. *Wastes Management and Research*, **4**, pp 387-396

Rynk R *et al* 1992. On farm composting handbook. Ithaca, NY: Cooperative Extension, Northeast Regional Agricultural Engineering Service.

Rynk R. 2003. The art in the science of compost maturity, *Compost Science & Utilization*, **11**, 2, pp 94-95

The composting Council of Canada, 2002. Setting the Standard: A Summary of Compost Standards. www.compost.org/standard.html

Beneficial uses of compost in Florida vegetables Crops
[www.imok.ufl.edu/soils/compost/Compost Utilization.pdf](http://www.imok.ufl.edu/soils/compost/Compost%20Utilization.pdf)

Sela Roy, *et al.*, 1998. Determing optimal maturity of compost used for land application *Compost Science & Utilization*, Winter 1998, pp 83-88.

Serra-Wittling,C.,Houot.S., Barriuso E.,1995. Soil enzymatic response to addition of municipal solid-waste compost. *Biol.Fertility Soils*, **20**, pp 226-236

Slater R.A, J.Frederickson 2001. Composting municipal waste in UK: some lessons from Europe, *Resources Conservation & Recycling*,**32**, pp 359-374

Spanos K *et al* 1998. Composting of organic residues, Cost Action E9-Life Cycle assessment of forestry and forest products (WG1-4) WG3: End of life-Recycling, Disposal and Energy Production November 8-9,1998 Hamburg Germany

Spiers T.M and G. Fietje 2000. Green waste compost as Component in soilless growing media *Compost Science & Utilization*, **8**, 1, pp 19-23

Stentiford E. I. 1993. Diversity of composting systems. In : H.A.J. Hoitink and H. M. Keener (eds). Science and Engineering of Composting. Renaissance Publications, Ohio, pp 95-110

Stentiford E.I., 1996. Composting control : principles and practice. In:De Bertoldi,M., Sequi, P. Lemmes, B., Papi, T. (Eds). The Sciences of Composting. Blackie Academic and professional, Glasgow, UK, pp 49-59

Stentiford E.I., 2001. Composting-Optimising the process and keeping the neighbours happy. *Ολοκληρωμένη Διαχείριση Οργανικών Αποβλήτων και Υπολειμμάτων*, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα σσ 41-48.

Stickelberger D. 1975. Survey of city refuse composting. In: FAO. *Organic matter as fertilizers*. Swedish International Development Authority, FAO, Soils Bulletin, **27**, pp185-209

Strom PF (1985) Effect of temperature on bacterial species diversity in thermophilic solid waste composting *Applied and Environmental Microbiology* 1985, **50**, 4, pp 899-905

Styer Lubert . Βιοχημεία Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτη Τόμος Α΄ Ηράκλειο 1995 σελ 183-193

Szmidt R. Fox C., 2001. Interdependencies for Process Control and Compost Quality.Proceeding or the International Symposium on composting of organic matter. *Acta Horticulturae*, **549**, pp55-60

Σπαντιδάκης Γ.Ιωάννης «Γραστίς Επιστήμη και τεχνική του χλοοτάπητα» Εκδόσεις Σταμούλης.

Tabarasan O.1994. Abfallwirtschaft/Abfalltechnik, Ernst & Sohn.

Tabatabai M.A Soil Enzymes-In: Weaver RW, Angle JS, Bottmley PS, editors
Methods of soil analysis, Part 2, Microbiological and Biochemical properties,
Dehydrogenases -Chapter 37 pp 820-823

Tiquia Sonia, Judy H.C.Wan and Nora F.Y Tam 2002 a. Dynamics of yard trimmings
composting as determined by dehydrogenase activity, ATP content, arginine
ammonification and nitrification potential .*Process Biochemistry*, **37**, pp 1057-1065

Tiquia S. M *et al* 2002 b. Microbial population dynamics and enzyme activities during
composting *Compost Science & Utilization*, **10**, 2, pp 150-161

Tiquia Sonia *et al* 2001. Extracellular enzyme profiles during co-composting of
poultry manure and yard trimmings. *Process Biochemistry*, **36**, pp 813-820

Tiquia S.M.,N.F.Y. Tam, I.J Hodgkiss.1996. Microbial activities during composting
of spent pig manure sawdust litter at different moisture contents. *Bioresource
Technology*, **55**, pp 201-206

Thambirajah, J.J., Zukali,M.D.,Hashim,M.A.,1995. Microbiological and biochemical
changes during composting of palm empty fruit-brunches.Effect of nitrogen
supplementation on the substrate. *Bioresource Technol* , **52**, pp133-144

Trine Eggen and Qistein Vethe 2001. Stability Indices for different composts *Compost
Science & Utilization*, **19**, 1, pp 19-26

Tuomela M, Vikman M, Hatakka A, Itavaara M 2000. Biodegradation of lignin in a
compost environment –*Bioresearch Technology*, **72**, pp 169-183

USEPA 1998. Characterization of Municipal Solid Waste in the united States: 1998
Edition, USEPA

USEPA.2001. Characterization of municipal solid waste in the united states.
www.epa.gov/epaosner/non-hw/muncpl/pubs/msw2001.pdf

Vinceslas –Akpa M. 1997. Organic matter transformations in lignocellulosic waste products composted or vermicomposted (Elisenia Getida Andrei): Chemical analysis and C Cpmas mmr spestroscopy- *Soil Biol. Bioch.*, **29**, ³/₄ pp 751-758

Vuorinen Arja, Maritta H.Saharinen 1997. Evolution of microbiological and chemical parameters during manure and straw co-composting in a drum composting system,*Agriculture Ecosystems and Environment*, **66**, pp 19-29

Walker J.A.R 1994 *Composting the organic fraction from refused derived fuel manufacture*.Phd thesis,Departement of civil engineering,University of Leeds, Leeds UK

Warman P.R 1999. Evaluation of seed germination and growth tests for assessing compost maturity *Compost Science & Utilization*, **7**, 3, pp 33-37

Weppen Peter 2002. Determing compost maturity: Evaluation of analytical properties *Compost Science & Utilization* ,**10**,1, pp 6-15

WRAP- The waste and resources Action Programme-Review of compost Standards in Greece ,Nation Specific Supplement 7

www.wrap.org.uk

Zimmerman R.A. 1991 *Evaluation of oxygen utilization as an indicator of municipal solid waste compost stability*, Phd thesis, North Dacota State University of Agriculture and Applied Science, US

Zuconni F., A.Pera, M. Forte, M de Bertoldi 1981a Evaluating toxicity of immature compost *Biocycle* **22**, 2, 54-57

Zuconni F., A.Pera, M. Forte, M de Bertoldi 1981b. Biological evaluation of compost maturity. *Biocycle*, **22**, 4, 27-29

Zucon F., A.Pera, M. Forte, M de Bertoldi 1985. Phytotoxins during the stabilization of organic matter. *In*:J.K.R. Grasser(ed) Composting of Agricultural and other wastes, Elsevier Applied Science, London, pp73-86

Zwietering, M.H.,J.T.de Koos,B.E.Hasenack, J.C de Wit and K. van ' T Riet.1991,Modeling of bacterial growth as a function of temperature.*Appl.Environ. Microbiology* ,**57** : 1094-1101

Σημειώσεις εργαστηρίου Γεωμορφολογίας, Τμήματος Γεωγραφίας Χαροκοπείου Πανεπιστημίου Αθηνών, Άσκηση 6^η

<http://www.dep.state.pa.us/dep/biosolids/training/sewagewslugde/sour.htm>

Sour test or oxygen consumption rate

www.compostnetwork.info/top.html European Compost Network-The Network for practical operation in organic waste recycling

[http:// www.cfsan.fda.gov/~ebam/bam-a2.html](http://www.cfsan.fda.gov/~ebam/bam-a2.html)

Most probable Number from Serial Dilutions

<http://turfgrassmanagement.psu.edu/Composts.htm>

Using Composts to Improve Turf Performance

<http://www.dpi.qld.gov.au/environment/3679.html>. Composting Organic Waste

<http://www.hri.ac.uk/recoveg/poar.html>. RECOVEG Project Objectives, Abstract and Results

www.compost.org/pdf/shett.4.PDF - The compost council of Canada, The compost process, Compost maturity.

www.et.gr Επίσημη ιστοσελίδα του εθνικού τυπογραφείου (για εύρεση όλων των ΦΕΚ που αναφέρονται στην ενότητα «νομοθεσία» βλ.2.2 σελ.7)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Φωτογραφικό Υλικό



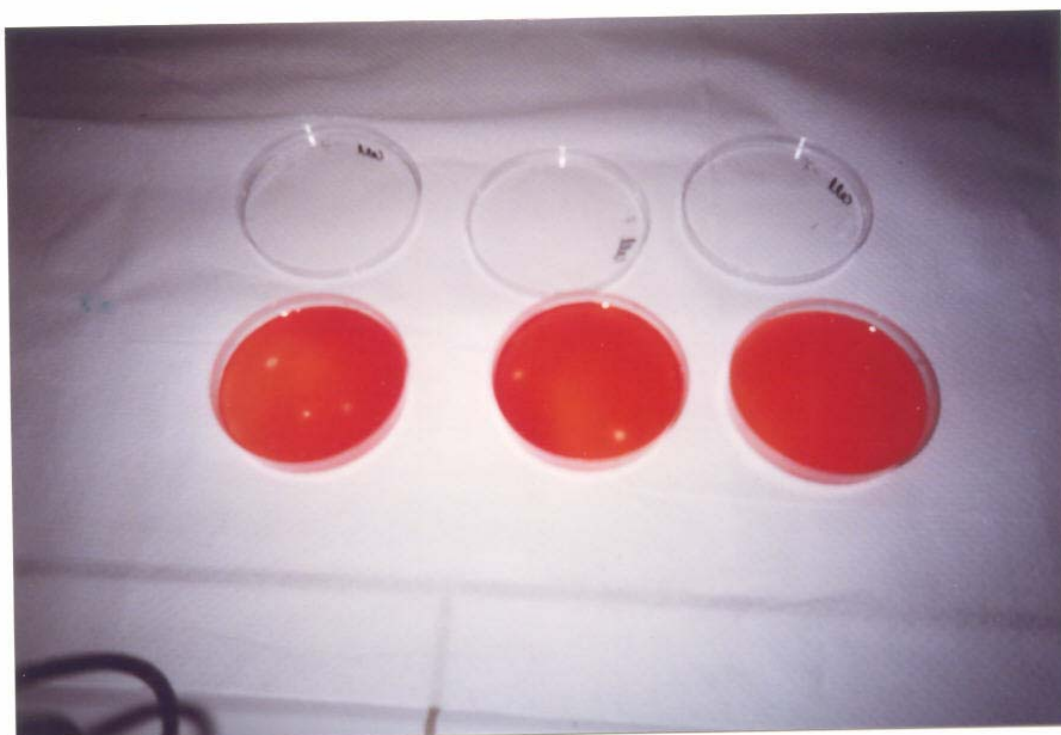
Φωτ Π1,Π2,Π3: Π1. ο ξύλινος κομποστοποιητής που χρησιμοποιήθηκε. Π2. το αρχικό υλικό τις πρώτες ημέρες της κομποστοποίησης. Π3. Το υλικό μετά από 70 ημέρες κομποστοποίησης.(Φωτ : Γαζή Αναστασία)



φωτ Π4, Π5 : Μέρος του κήπου του πανεπιστημίου από όπου συλλέχθηκαν τα πράσινα απορρίμματα. (Φωτ: Γαζή Αναστασία)



Φωτ Π6: Το ώριμο κομπόστ μετά από 120 ημέρες κομποστοποίησης. (Φωτ: Γαζή Αναστασία)



Φωτ Π7: Εμφάνιση διαυγών ζωνών σε τρυβλία οι οποίες μαρτυρούν την παρουσία κυτταρινολυτικών βακτηρίων με προσθήκη διαλύματος congo red. (Φωτ: Γαζή Αναστασία)



Φωτ. Π8, Π9 . Φύτρωση των σπόρων *Festuca arundinacea* σε υποστρώματα με αναλογίες σε κομπόστ 0, 2, 5, 10, 20 % κ. β κατά το στάδιο της αγρονομικής εξέτασης του κομπόστ. (Φωτ: Γαζή Αναστασία)



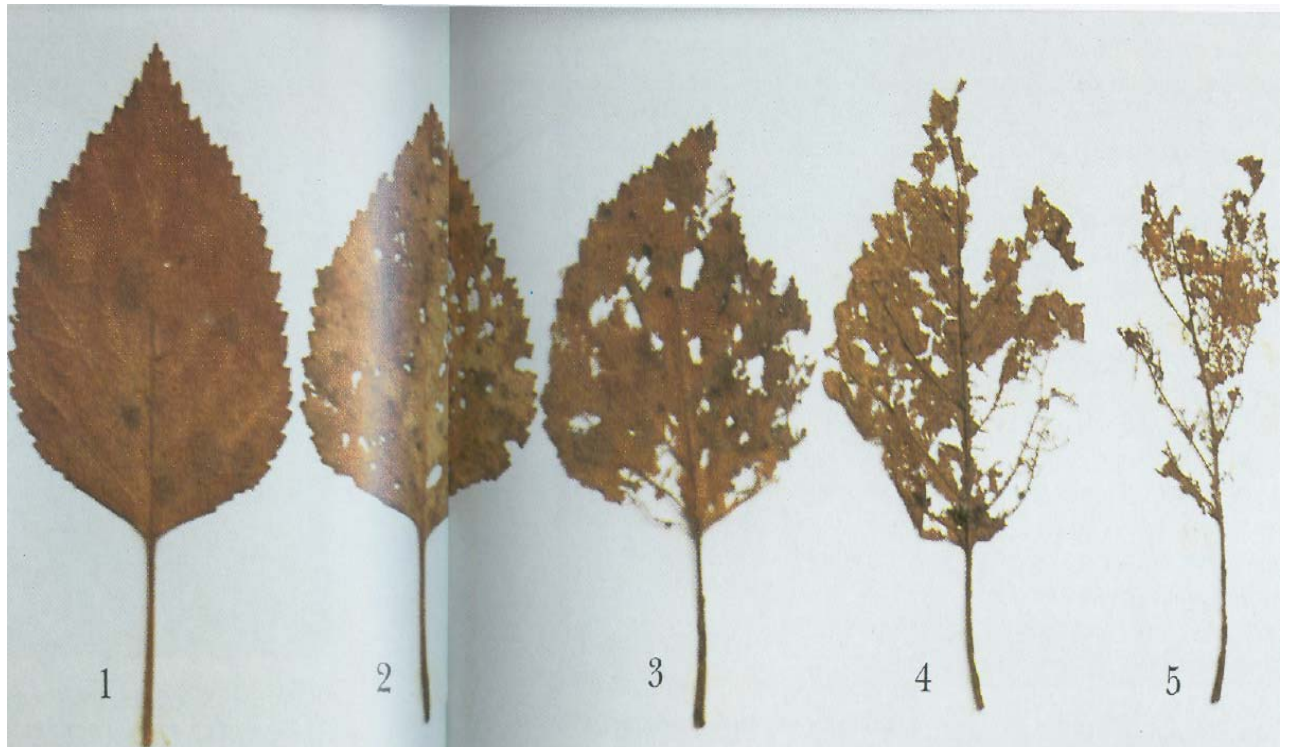
Φωτ Π10. Το φωτόμετρο που χρησιμοποιήθηκε για την χρωματογραφική μέτρηση της ενεργότητας των αφυδρογονασών. (Φωτ: Γαζή Αναστασία)



Φωτ Π 11. Η διάταξη των οργάνων που χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση του δυναμικού αυτοθέρμανσης στο κομπόστ. (Φωτ. Γαζή Αναστασία)



Φωτ Π 12. Η διάταξη των οργάνων που χρησιμοποιήθηκαν για τη μέτρηση του ειδικού ρυθμού κατανάλωσης οξυγόνου (SOUR). (Φωτ: Γαζή Αναστασία)



Φωτ.Π13. Στάδια αποσύνθεσης ενός φύλλου που συμβαίνουν κατά τη διαδικασία κομποστοποίησης (Φωτ αρχείο Άλκιμου Αναστάσιου)