



ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
(ΑΤΕΙ) ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ

**«ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΩΝ
ΣΤΗΝ ΕΔΑΦΙΚΗ ΜΙΚΡΟΧΛΩΡΙΔΑ»**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

Σπουδάστρια: **ΡΑΣΣΙΑ ΒΙΡΓΙΝΙΑ**



ΚΑΛΑΜΑΤΑ
2012



ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
(ΑΤΕΙ) ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΤΜΗΜΑ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ

**«ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΩΝ
ΣΤΗΝ ΕΔΑΦΙΚΗ ΜΙΚΡΟΧΛΩΡΙΔΑ»**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

Σπουδάστρια: **ΡΑΣΣΙΑ ΒΙΡΓΙΝΙΑ**

Επιβλέπουσα καθηγήτρια: **Παπαδοπούλου Μαρία Ph. D.**

ΚΑΛΑΜΑΤΑ

2012

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για την ολοκλήρωση της παρούσας πτυχιακής μελέτης νιώθω το χρέος να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε ορισμένους ανθρώπους των οποίων η συμβολή υπήρξε καθοριστική.

Στην επιβλέπουσα καθηγήτρια μου κ. Παπαδοπούλου Μαρία για τη συνεχή επιστημονική καθοδήγηση και τις πολύτιμες συμβουλές του, καθώς και για το όμορφο κλίμα συνεργασίας που καλλιέργησε καθόλη την διάρκεια συγγραφής της πτυχιακής μου μελέτης.

Τέλος θα ήθελα θερμά να ευχαριστήσω τους γονείς και την αδελφή μου για την αμέριστη ηθική και υλική συμπαράσταση καθώς και για την ανεξάντλητη υπομονή τους που μου έδειξαν όλα αυτά τα χρόνια.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα απόβλητα ελαιοτριβείων (στερεά και υγρά) αποτελούν ένα σημαντικό περιβαλλοντικό πρόβλημα ιδιαίτερα για τις Μεσογειακές χώρες οι οποίες είναι υπεύθυνες για το μεγαλύτερο μέρος της παγκόσμιας παραγωγής ελαιολάδου. Η απόρριψη τους στο περιβάλλον ρυπαίνει υδροφόρους ορίζοντες και επιφανειακά ύδατα, υποβαθμίζει το έδαφος, προκαλεί τοξικότητα στα φυτά και τους μικροοργανισμούς, και έχει δυσάρεστη οσμή. Η διάθεση τους στο έδαφος μολύνει τα υπόγεια νερά με αποτέλεσμα την μεταβολή της υδρόβιας μικροχλωρίδας και κατά συνέπεια των υδρόβιων κοινονιών, επεμβαίνοντας στην τροφική αλυσίδα. Ωστόσο από πολλές έρευνες διαπιστώθηκε η λιπαντική αξία των υγρών αποβλήτων, αφού οι εφαρμογές τους στο έδαφος οδηγούν τόσο στην αύξηση της οργανικής ουσίας όσο και στην αύξηση της συγκέντρωσης ανόργανων στοιχείων τα οποία είναι απαραίτητα στη θρέψη των φυτικών και υδρόβιων οργανισμών. Όμως, τα υγρά απόβλητα ελαιοτριβείων όπως είναι γνωστό εμφανίζουν έντονη φυτοτοξική δράση, η οποία οφείλεται στις φαινόλες και στα οργανικά οξέα του κατσίγαρου και έχει διαπιστωθεί ότι αποτελεί δυνατό περιορισμό για την εφαρμογή τους σε καλλιεργούμενα εδάφη. Τα ανεπεξέργαστα απόβλητα μπορούν να εφαρμοστούν σε ακαλλιέργητα εδάφη τα οποία θα χρησιμοποιηθούν μόνο μετά την πάροδο κάποιου χρονικού διαστήματος κατά τη διάρκεια του οποίου θα αποικοδομηθούν οι φυτοτοξικές ενώσεις. Όπως και να είναι και η μεν και η δε, επιφέρουν σημαντικές αλλαγές στην εδαφική μικροχλωρίδα, άλλοτε ευνοϊκές και άλλοτε αρνητικές για την ανάπτυξή τους με αναπόφευκτη συνέπεια την αλλαγή της ποιότητας και γονιμότητας του εδάφους. Το γεγονός αυτό μας ώθησε για την πτυχιακή εργασία, να επιλέξουμε το θέμα της επίδρασης της διάθεσης των απόβλητων ελαιοτριβείων στην εδαφική μικροχλωρίδα.

Στο πρώτο κεφάλαιο, αναφέρονται γενικά στοιχεία των υγρών και στερεών αποβλήτων ελαιοτριβείων, πως παράγονται, γενικά ποιοτικά χαρακτηριστικά, υφιστάμενες μεθόδους επεξεργασίας καθώς και η αξιοποίηση τους ως προϊόντα ελαιουργίας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, ακολουθεί ο ρόλος των εδαφικών πληθυσμών, οι μεταβολές τους από τις φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους με θετικές ή δυσμενής επιπτώσεις σε ολόκληρο το εδαφικό οικοσύστημα. Στη συνέχεια, αναλύεται η μικροβιακή χλωρίδα των Υ.Α.Ε.

Στο τρίτο κεφάλαιο, ολοκληρώνεται η εργασία με τις επιδράσεις των αποβλήτων ελαιοτριβείων στην εδαφική μικροχλωρίδα. Η βιβλιογραφική ανασκόπηση που γίνεται, αφορά την επίδραση της εφαρμογής ανεπεξεργαστων υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων στις φυσικοχημικές ιδιότητες και στην ποιότητα και δραστηριότητα των μικροοργανισμών του εδάφους. Επίσης μελετήθηκε η προσθήκη των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων στους παραπάνω βιολογικούς παραμέτρους.

Η διάθεση οργανικών αποβλήτων στο έδαφος μπορεί να εξυπηρετήσει δύο στόχους: την απομάκρυνσή τους και την ταυτόχρονη ανακύκλωση των συστατικών τους. Η εφαρμογή ανεπεξεργαστων υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων στο έδαφος επιδρά στις φυσικοχημικές ιδιότητες και στην αύξηση της αγωγιμότητας του εδάφους. Επίσης επιδρούν και στην μικροβιακή κοινότητα του εδάφους διότι με την προσθήκη τους μεταβάλλεται τόσο το μέγεθος όσο και η σύσταση του πληθυσμού των μικροοργανισμών. Η προσθήκη των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων οδηγεί επίσης σε αύξηση των παραπάνω βιολογικών παραμέτρων αλλά σε μικρότερο βαθμό επειδή η περιεκτικότητά τους σε οργανική ουσία είναι μικρότερη.

ABSTRACT

Olive mill waste (solid and liquid) constitute a major environmental problem especially for the Mediterranean countries, which are responsible for the largest part of the olive oil produced worldwide. The disposal into the environment pollutes aquifers and surface waters, degrading the soil, causing toxicity to plants and microorganisms, and has an unpleasant odor. The disposal in the territory contaminated groundwater resulting alteration of aquatic microflora and therefore aquatic societies, intervening the food chain. Dumping this kind of wastewater untreated to the environment pollutes both surface and groundwater, degrades the soil quality and creates toxic environments and unpleasant odors. Nevertheless many researchers have established the high fertilizing value of these wastes when they are applied to the soil increase the soil organic matter content and the concentration of inorganic elements essential for plant growth. However, olive mill wastewaters are also know to be highly phytotoxic, which is owed in phenols and in organic acids OMW and has proven to be a long limitation to their application to cultivated soils. Untreated wastewater can be applied to fallow soils or to soils that will only be applied to follow soils or to soils that will only be cultivated after a period of time during which the phytotoxic substances will have been degraded. As it is the former and not to bring about significant changes in the soil microflora, sometimes favorable and sometimes negative growth for the inevitable consequence of changing quality and soil fertility. This prompted us to choose a thesis topic of the impact of waste disposal on soil microflora mills.

In the first chapter, are as generally speaking reported elements the humid and solid outcast olive presses, which are produced, as generally speaking qualitative characteristics, existing methods of treatment as well as their exploitation as products olive oil producing factories.

In the second chapter, follow the role of territorial populations, their changes from the physico-chemical attributes of ground with positive or unfavourable repercussions in entire the territorial ecosystem. Continuity, is analyzed the microbial flora of OMW. In the third chapter, is completed the work with the effects of outcast olive presses in the territorial microflora. The literature review is made, the effect of applying untreated OMW on the physicochemical properties and the quality and activity of soil microorganisms. Furthermore the addition of OMW in the above biological parameters.

The disposal of organic waste in the soil can serve two objectives: their removal and the simultaneous recycling of their components. The application of untreated OMW in the soil affects in the physicochemical attributes and in the increase of conductivity. Also, they also affect in the microbial community of soil cause, with their addition are altered as the size as the constitution of population of microorganisms. Increased values of the above-mentioned biological parameters were also observed in the soil that received the bioremediated wastewater but to a lesser degree. That was attributed to the lower quantity of available organic matter and its different composition.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ	3
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	3
ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	4
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΤΟ ΕΛΑΙΟΛΑΔΟ, ΤΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΩΝ ΚΑΙ Η ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥΣ

1.1. Διαδικασία παραγωγής ελαιολάδου	9
1.2. Συστήματα παραγωγής ελαιολάδου	11
1.3. Χαρακτηριστικά και σύνθεση των υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων	15
1.4. Τα συστατικά των στερεών αποβλήτων ελαιοτριβείων	20
1.5. Μέθοδοι επεξεργασίας των υγρών και στερεών αποβλήτων ελαιοτριβείων	21
1.6. Αξιοποίηση των αποβλήτων ελαιουργίας. (Παραγωγή διάφορων προϊόντων και οι εφαρμογές τους ως παραπροϊόντα ελαιουργίας)	31
1.7 Πρόγραμμα ελαιουργίας και αποκατάστασης των εδαφών από τη διάθεση αποβλήτων ελαιοτριβείων	36

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΟΙ ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΟΙ ΤΩΝ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

2.1. Η δομή και ο ρόλος των εδαφικών μικροβιακών πληθυσμών	41
2.2. Η επίδραση των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων του εδάφους στην συμπεριφορά των μικροοργανισμών	47
2.3. Η μικροχλωρίδα των υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων	57

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΔΑΦΙΚΗ ΜΙΚΡΟΧΛΩΡΙΔΑ

3. 1. Ρύπανση των εδαφικών οικοσυστημάτων και επιπτώσεις στην μικροχλωρίδα του εδάφους	60
3. 2. Επίδραση της μακροχρόνιας προσθήκης υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων στις φυσικοχημικές και μικροβιακές ιδιότητες εδάφους	69
3.3. Μεταβολές στην μικροχλωρίδα του εδάφους των αγροοικοσυστημάτων απο τη χρήση των αποβλήτων ελαιοτριβείων στην γεωργία	81

3.4. Αξιοποίηση κομποστοποιημένου πυρηνόξυλου και υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείου σαν εδαφοβελτιωτικό και οι εδαφικοί μικροοργανισμοί.....	94
3.5 Η επίδραση της εφαρμογής των αποβλήτων των ελαιοτριβείων στην κατασταλτική δράση του εδάφους έναντι των φυτοπαθογόνων μικροοργανισμών.....	104
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	111
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	113

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

I.A.K. : Ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων
Y.A.E. : Υγρά απόβλητα ελαιοτριβείων
X.Y.TA: Χώρος υγειονομικής ταφής
BOD: Biological Oxygen Demand
CFE: Chloroform fumigation extraction method
CFU: Colony-forming units
COD: Chemical Oxygen Demand
DNA: Deoxyribonucleic Acid
FI: Fumigation incubation
OMW: Olive-mill wastewater
SIR: Substrate induced respiration method
SRBA: Streptom Rose Bengal Agar

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

<u>Πίνακας 1.</u> Κύρια χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων	16
<u>Πίνακας 2.</u> Υγρά Απόβλητα Ελαιοτριβείων και Περιβάλλον.....	19
<u>Πίνακας 3.</u> Κύρια χαρακτηριστικά των στερεών αποβλήτων ελαιοτριβείων.....	20
<u>Πίνακας 4.</u> Ετήσια παραγωγή πυρηνόξυλου στην Ελλάδα.....	36
<u>Πίνακας 5.</u> Μικροβιακές ομάδες και αντιπροσωπευτικά μεγέθη των πληθυσμών με τους οποίους ανευρίσκονται στο έδαφος	43
<u>Πίνακας 6.</u> Συμμετοχή διαφόρων μικροβιακών ομάδων στην αποικοδόμηση της οργανικής ουσίας (όπως υπολογίζεται από τις αναπνευστικές απώλειες σε C) σε καλλιεργούμενο και ακαλλιεργητο έδαφος.....	46
<u>Πίνακας 7.</u> Χημικά χαρακτηριστικά του ανεπεξέργαστου και επεξεργασμένου εδάφους με Y.A.E.	74
<u>Πίνακας 8.</u> Επίδραση της εφαρμογής των Y.A.E. στο έδαφος στον ολικό αριθμό των διαφόρων ομάδων μικροοργανισμών.....	77
<u>Πίνακας 9.</u> Μεταβολές της ποσότητας των αερόβιων βακτηρίων και μυκήτων (cfu g ⁻¹) στα διάφορα εδαφικά βάρη στο πείραμα με εφαρμογές των OMW.....	83
<u>Πίνακας 10.</u> Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των επεξεργασμένων και μη επεξεργασμένων Y.A.E.	86
<u>Πίνακας 11.</u> Μεταβολές των φυσικών και χημικών παραμέτρων του εδάφους που δέχεται τα μη επεξεργαζόμενα και επεξεργασμένα OMW	87

<u>Πίνακας 12.</u> Ο αριθμός των αερόβιων ετεροτροφικών βακτηρίων CFU ($\times 10^4$) g^{-1} εδάφους που δέχεται τα μη επεξεργαζόμενα και επεξεργασμένα OMW.....	90
<u>Πίνακας 13.</u> Ο ολικός αριθμός των μυκήτων CFU ($\times 10^4$) g^{-1} σε έδαφος με διαφορετικές επεμβάσεις.....	90
<u>Πίνακας 14</u> Αριθμός νιτροποιητών MPN ($\times 10^4$) g^{-1} σε έδαφος με διαφορετικές επεμβάσεις.....	91
<u>Πίνακας 15.</u> Ολικός αριθμός ακτινομυκήτων CFU ($\times 10^4$) g^{-1} σε έδαφος με διαφορετικές επεμβάσεις.....	92
<u>Πίνακας 16.</u> Εδαφολογική ανάλυση κομποστοποιημένου πυρηνόξυλου με απόνερα ελαιουργείων (κατσίγαρος) μετά την αντίδραση FENTON.....	95
<u>Πίνακας 17.</u> Παράμετροι για αξιολόγηση εδαφών	96
<u>Πίνακας 18.</u> Προφυτρωτικά ριζοκτονία των σπόρων μαρουλιού και η επιβίωση των νεαρών φυτών μαρουλιού (μέχρι 28 ημέρες μετά τη σπορά) σε έδαφος κατεργασμένο με OMW, TOMW και ύδωρ, και μολύνονται με <i>Rhizoctonia solani</i>	105

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

<u>Σχήμα 1.</u> Διάγραμμα ροής του παραδοσιακού συστήματος παραγωγής ελαιολάδου ...	12
<u>Σχήμα 2.</u> Διάγραμμα ροής του τριφασικού συστήματος παραγωγής ελαιολάδου.....	13
<u>Σχήμα 3.</u> Διάγραμμα ροής του διφασικού συστήματος παραγωγής ελαιολάδου	14
<u>Σχήμα 4.</u> Ομάδες οργανισμών συνδεδεμένων με το έδαφος	43
<u>Σχήμα 5.</u> Τριγωνικό διάγραμμα ταξινόμησης της εδαφικής υφής (μηχανικής σύστασης) σε κλάσεις	48
<u>Σχήμα 6.</u> Σχηματική αναπαράσταση τυπικού εδαφικού συσσωματώματος.....	50
<u>Σχήμα 7.</u> Εκατοστιαία μεταβολή των βασικών ομάδων μικροοργανισμών (μύκητες, ακτινομύκητες, βακτήρια) σε σχέση με το μάρτυρα (χωρίς λίπανση)	65
<u>Σχήμα 8.</u> Εκτίμηση του μικροβιακού πληθυσμού υπεύθυνου για την ανοργανοποίηση και νιτροποίηση της αζωτούχας οργανικής ύλης με την μέθοδο του Πλέον Πιθανού Αριθμού (MPN)	65
<u>Σχήμα 9.</u> Αριθμός μικροοργανισμών υπεύθυνων για την ανάπτυξη κυτταρίνης υπό διαφορετικές συνθήκες (CFU gr ξηρού εδάφους)	66
<u>Σχήμα 10.</u> Η επίδρασή του μόλυβδου στην ταχύτητα αποσύνθεσης της κυτταρίνης....	66
<u>Σχήμα 11.</u> Δύο-τριδιάστατη εικόνα τομογραφίας του εδάφους (T0: μάρτυρας, T5 και T15: 5 και 15 ετών της εφαρμογής λυμάτων ελαιοτριβείου ελιάς). Μαύρη γραμμή δείχνει την δισδιάστατη αναπαράσταση του εκχλιζείται και αναλύεται σε κυβικά υπό-	

όγκο. Γκρι χρώμα αντιπροσωπεύει το χώμα και το μαύρο χρώμα αντιπροσωπεύει τους πόρους του εδάφους. Δεξιά: Y-Z πλάνο κορυφής; X-Y πλάνο μπροστά; X-Z πλάνο δεξιά πλευρά	72
<u>Σχήμα 12.</u> Αναπνευστική δραστηριότητα του εδάφους σε 10 – 20 cm βάθους	79
<u>Σχήμα 13.</u> Αναπνευστική δραστηριότητα του εδάφους σε 20 – 40 cm βάθους	79
<u>Σχήμα 14.</u> Συνολική εδαφική αναπνοή (ως mg CO ₂ g ⁻¹ ξηρού εδάφους), σε διάφορες επεμβάσεις με μη επεξεργαζόμενα και επεξεργασμένα OMW	88
<u>Σχήμα 15.</u> Μεταβολή του ειδικού αναπνευστικού συντελεστή C-CO ₂ /C _{tot} , που εκφράζεται σε σχέση με τη βασική αναπνοή προς τον ολικό άνθρακα των εξεταζόμενων δειγμάτων	89
<u>Σχήμα 16.</u> Η επί της 100% μεταβολή του αριθμού των μυκήτων, βακτηρίων, ακτινομυκήτων, σε σχέση με το μάρτυρα (χωρίς λίπανση), στην 1 ^η και 2 ^η δειγματοληψία.....	101
<u>Σχήμα 17.</u> Η μεταβολή της μικροβιακής αναπνευστικής δραστηριότητας (Επάνω - R _{basal} – mg CO ₂ - C g ⁻¹ d ⁻¹), της εδαφικής μικροβιακής βιομάζας (κάτω C _{mic} . mg g ⁻¹ dry soil) και της σχέσης - q CO ₂ = R _{basal} /RSIR (στο κέντρο) σε εδαφικά δείγματα με κομπόστ σε συνδυασμό με οργανική (αριστερά) και συμβατική (δεξιά) λίπανση	103
<u>Σχήμα 18.</u> Η επίδραση του κομπόστ στην βιομάζα του φυτού (δεξιά) και στην έντασή της ασθένειας σε πειράματα φυσικά μολυσμένα με <i>Botrytis cinerea</i> P.	106

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ελιά (*Olea europaea* L.) συγκαταλέγεται μεταξύ των αρχαιότερων καλλιεργούμενων δένδρων στον κόσμο. Αποτελεί τη σπουδαιότερη δενδρώδη καλλιέργεια στις χώρες της Μεσογείου, όπου είναι συγκεντρωμένο το 98% των ελαιόδεντρων της γης και το 97% της συνολικής παραγωγής ελαιολάδου (Niaounakis and Halvadakis, 2004). Η Ελλάδα κατέχει την τρίτη θέση στην παραγωγή ελαιολάδου παγκοσμίως, μετά από την Ισπανία και την Ιταλία.

Περίπου 3.500 ελαιοτριβεία λειτουργούν στην Ελλάδα διασκορπισμένα κυρίως σε επαρχίες της Κρήτης, της Πελοποννήσου των Ιόνιων νησιών και της Λέσβου, περιοχές που θεωρούνται άλλωστε ως οι σημαντικότερες ελαιοπαραγωγικές της χώρας, και με δεδομένη την αυξομείωση που παρουσιάζει η ελαιοπαραγωγή από χρονιά σε χρονιά, υπολογίζεται ότι παράγονται κατά μέσο όρο 1.500.000 τόνοι υγρών αποβλήτων (λιόζουμο, κατσίγαρος) και 400.000 τόνοι στερεών υπολειμμάτων-παραπροϊόντων ετησίως (Οιχαλιώτης και Ζερβάκης 1999).

Ένα από τα σημαντικότερα κέντρα παραγωγής ελαιολάδου στην Ελλάδα είναι η Μεσσηνία. Παράγει περίπου 30.000 τόνους ελαιολάδου ανά έτος το οποίο ανέρχεται σε περίπου 14% του συνολικού παραγωγής στη χώρα. Οι ποικιλίες της ελιόδεντρων που κυριαρχούν στην περιοχή Μεσσηνία είναι οι εξής: Καλαμών, Κορωνέικη, Μαστοειδής (Τσουνάτη), και Μαυρελιά. Η ποικιλία Καλαμών καλλιεργείται αποκλειστικά για επιτραπέζιες ελιές και όλες οι άλλες για την παραγωγή ελαιολάδου. Η διαδικασία παραγωγής της ελιάς και ελαιολάδου στη Μεσσηνία ξεκινά γύρω στα τέλη του Οκτωβρίου και ολοκληρώνεται με τα τέλη Ιανουαρίου ή τα μέσα Φεβρουαρίου. Από το συνολικό όγκο των αποβλήτων το 68% αποβάλλεται έμμεσα στο Μεσσηνιακό κόλπο και το υπόλοιπο στο Ιόνιο Πέλαγος (Chatjivanlidis *et al.*, 1996).

Τα υγρά απόβλητα ελαιουργείων (Y.A.E.-olive-mill wastewater, OMW) γνωστά ως λιόζουμα ή κατσίγαρος προέρχονται από τους φυτικούς χυμούς του ελαιοκάρπου που απελευθερώνονται κατά τις φάσεις της μάλαξης της ελαιοζύμης και του διαχωρισμού του ελαιολάδου, καθώς και από το νερό που προστίθεται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας παραλαβής του ελαιολάδου στο ελαιοτριβείο. (Balice and Cera, 1984).

Σχεδόν το σύνολο του όγκου των υγρών αποβλήτων των ελαιουργείων χύνεται χωρίς να έχει υποστεί καμία επεξεργασία σε χείμαρρους (58%), στο έδαφος (20%), στα

ποτάμια και στη θάλασσα (12%) και είναι καταστροφικό για την υδάτινη πανίδα και χλωρίδα (Νταλής, 1988).

Οι σημαντικότεροι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται ο όγκος των παραγόμενων Υ.Α.Ε. είναι:

- Η ποικιλία προέλευσης των ελαιοκάρπου, ο βαθμός ωριμότητας και ο χρόνος εναποθήκευσης πριν την ελαιοποίηση.
- Η μέθοδος παραλαβής του ελαιολάδου από την ελαιοζύμη, με τη κλασική μέθοδο του υδραυλικού πιεστηρίου, με τη μέθοδο φυγοκέντρωσης τριών φάσεων ή με φυγοκέντρωση δύο φάσεων.
- Η ποσότητα νερού που είναι διαθέσιμη για την επεξεργασία του ελαιοκάρπου.

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά σε συνδυασμό με τον τεράστιο όγκο παραγωγής τους με εξαιρετικά άνιση ετήσια κατανομή (τρεις-τέσσερις χειμερινούς μήνες) και με τις αυξημένες τιμές βιολογικής και χημικής απαίτησης σε οξυγόνο αποδίδουν στα Υ.Α.Ε., ένα υψηλό ρυπαντικό δυναμικό και επιβάλλουν την ανάπτυξη και εφαρμογή αυστηρών μέτρων διαχείρισης και επεξεργασίας τους (Mogeno *et al.*, 1987). Ενδεικτικά, η ρυπογόνος δύναμη των Υ.Α.Ε. που παράγονται ετησίως στην Ιταλία εκτιμώνται σε 200.000 τόνους/gr, εκφρασμένη σε χημική απαίτηση οξυγόνο (COD), (2.000.000 τόνοι 0MW/yr με 100 Kg/m³ COD), αντιστοιχεί σε ρυπογόνο δύναμη βοθρολυμάτων που παράγονται επί τρεις μήνες από έναν αστικό πληθυσμό 20.000.000 ανθρώπων (με παραγωγή 40kg COD/yr/άνθρωπο) (Tamburino *et al.*, 1999).

Το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD) για την αποδόμηση των Υ.Α.Ε. είναι μεγαλύτερο και αυτό των αστικών λυμάτων. Συνεπώς εάν τα Υ.Α.Ε. παροχετευτούν σε υδάτινους αποδέκτες (χειμάρρων, λίμνες, θάλασσα) δημιουργούν συνθήκες έλλειψης οξυγόνου και προφανώς καταστροφικές συνθήκες στους περισσότερους οργανισμούς.

Οι εδαφικοί μικροοργανισμοί είναι δέκτες της εδαφικής ποιότητας. Τα Υ.Α.Ε. όπως προαναφέρθηκε διαθέτουν υψηλό οργανικό φορτίο και η εφαρμογή τους στο έδαφος μεταβάλλει τη σύσταση της μικροβιακής κοινότητας του εδάφους τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά. Οι φαινολικές ενώσεις οι οποίες έχουν αντιοξειδωτικές ιδιότητες παρεμποδίζουν την διάσπαση των λιπαρών οξέων ορισμένα από τα οποία είναι τοξικά για τα κατώτερα έμβια όντα. Στα θετικά χαρακτηριστικά των λιόζουμων αναφέρονται η απουσία, ελευθέρων ενώσεων υψηλού περαβαλλοντικού κινδύνου, βαρέων μετάλλων, ή άλλων μη βιοαποικοδομήσιμων συνθετικών οργανικών ενώσεων.

Γενικά οι αρνητικές επιδράσεις των Υ.Α.Ε. στο περιβάλλον σχετίζονται με:

- Την παρεμπόδιση οξυγόνωσης των υδατικών αποδεκτών και της μείωσης του πορώδους του εδάφους λόγω της υψηλής περιεκτικότητας τους σε λιπαρές ουσίες.
- Το περιορισμό της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας σε υδάτινους αποδέκτες, και την αισθητική υποβάθμιση του φυσικού και ανθρωπογενούς περιβάλλοντος, λόγω της υψηλής περιεκτικότητας των Υ.Α.Ε. σε χρωστικές ουσίες.
- Την δημιουργία συνθηκών έλλειψης οξυγόνου και φαινομένων ευτροφισμού σε υδάτινους αποδέκτες λόγω των υψηλών τιμών σε βιολογική απαίτηση οξυγόνου (BOD_5) και χημική απαίτηση οξυγόνου(COD) των Υ.Α.Ε.
- Την πρόκληση φυτοτοξικότητας και βιοτοξικότητας σε φυτικούς και υδρόβιους οργανισμούς, τον περιορισμό του φάσματος δράσης των βιοαποικοδομητών, λόγω της υψηλής συγκέντρωσης των Υ.Α.Ε. σε πολυφαινόλες.

Στο πλαίσιο της παρούσας βιβλιογραφικής πτυχιακής μελέτης μελετήθηκαν οι επιδράσεις που έχουν οι προσθήκες ανεπεξέργαστων και επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων στην δράση του εδάφους και κατά πόσο επηρεάζουν τη φυσική κατάσταση των μικροβιακών εδαφικών οικοσυστημάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΤΟ ΕΛΑΙΟΛΑΔΟ, ΤΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΩΝ ΚΑΙ Η ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥΣ

1.1. Διαδικασία παραγωγής ελαιολάδου

Η παραγωγή ελαιολάδου αποτελεί σημαντικό και διατροφικό τομέα στην Ευρώπη. Είναι χαρακτηριστικό, ότι, περίπου 95% της παγκόσμιας παραγωγής ελαιολάδου παράγεται από μικρές οικογενειακής μορφής επιχειρήσεις στην περιοχή της Μεσογείου (Aktas *et al.*, 2001).

Η Ισπανία κατέχει την πρώτη θέση στην παγκόσμια παραγωγή ελαιόλαδου (42%), ενώ τη δεύτερη θέση κατέχει η Ιταλία (20%). Η Ελλάδα είναι ο τρίτος μεγαλύτερος παραγωγός κατέχοντας το 13% της παγκόσμιας παραγωγής ελαιόλαδου. Περίπου 3.500 ελαιοτριβεία λειτουργούν στην Ελλάδα διασκορπισμένα κυρίως σε επαρχίες της Κρήτης, της Πελοποννήσου των Ιόνιων νησιών και της Λέσβου. Η λειτουργία των ελαιοτριβείων είναι εποχιακή από το Νοέμβριο ως τον Μάρτιο και κάποιες φορές ως τον Ιούνιο. Από τη λειτουργία τους παράγονται ετησίως περίπου 1.500.000 τόνοι υγρών αποβλήτων τα οποία μπορούν να προκαλέσουν σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα κυρίως λόγω των φαινολικών ουσιών που περιέχουν (Israilides *et al.*, 1997).

Η παραγωγή ελαιόλαδου εντοπίζεται στις εγκαταστάσεις εξευγενισμού (ραφίναριες) όπου το μη κατάλληλο για ανθρώπινη χρήση και κατανάλωση ελαιόλαδο υποβάλλεται σε ειδική επεξεργασία, στα πυρηνελαιουργεία όπου ο πυρήνας υποβάλλεται σε επεξεργασία για την παραγωγή πυρηνέλαιου και στα ελαιοτριβεία που παράγεται το ελαιόλαδο, καθώς και στα υγρά και στερεά απόβλητα.

Η επεξεργασία του ελαιόλαδου περιλαμβάνει διάφορα στάδια, όπως την παραλαβή του καρπού, το πλύσιμο των ελιών, την άλεση του ελαιόκαρπου, την μάλαξη, την παραλαβή και τέλος τον καθαρισμό του παραγόμενου ελαιόλαδου. Τα στάδια αυτά περιγράφονται συνοπτικά στη συνέχεια.

Παραλαβή του καρπού: Μετά την συγκομιδή οι ελιές παραδίδονται στις μεταποιητικές μονάδες για επεξεργασία. Η μεταφορά τους γίνεται σε πλαστικά τελάρα αερισμού ή πλαστικούς σάκους. Η επεξεργασία πρέπει να γίνεται το γρηγορότερο δυνατόν. Σε διαφορετική περίπτωση ο καρπός πρέπει να μείνει για μικρό χρονικό διάστημα σε χώρο με καλό αερισμό.

Αποφύλλωση, απομάκρυνση ξένων υλών και πλύσιμο: Όταν ο καρπός φτάνει στο ελαιοτριβείο, περιέχει φύλλα και ξένα υλικά (σκόνη, χώμα, πέτρες κ.ά.) που πρέπει να απομακρυνθούν πριν την εξαγωγή του ελαιόλαδου. Αρχικά, λαμβάνει χώρα η αποφύλλωση, η οποία θεωρείται επιβεβλημένη καθώς η παρουσία των φύλλων προσδίδει στο ελαιόλαδο πικρή γεύση (λόγω της υψηλής συγκέντρωσης σε ελευρωπαΐνη, 90mg/g ξηρού βάρους). Στη συνέχεια, οι καρποί πλένονται με νερό, προκειμένου να απομακρυνθούν τα ξένα υλικά.

Άλεση του καρπού: Στις σύγχρονες εγκαταστάσεις η άλεση γίνεται σε μεταλλικούς μύλους, σφυρόμυλους και σπαστήρες με αντίθετα περιστροφικούς οδοντωτούς δίσκους ή κυλινδροσπαστήρες, ενώ στα παραδοσιακά ελαιοτριβεία η άλεση του καρπού γίνεται με κυλινδρικές μυλόπετρες.

Η άλεση του ελαιόκαρπου στοχεύει στη διάρρηξη των κυττάρων του μεσοκαρπίου, ώστε να διευκολυνθεί η εξαγωγή του ελαίου και να σχηματιστούν μεγαλύτερες σταγόνες, οι οποίες μπορούν να διαχωριστούν ευκολότερα στα επόμενα στάδια επεξεργασίας. Ωστόσο, κατά την άλεση του ελαιόκαρπου οι σταγόνες ελαίου που ελευθερώνονται, σχηματίζουν με τις πρωτεΐνες γαλάκτωμα. Επίσης, απαιτείται προσοχή ώστε η θερμοκρασία της ελαιοζύμης να μην αυξηθεί πάρα πολύ και ο θρυμματισμός του καρπού να μην είναι υπερβολικός, γιατί τότε μπορεί να γίνει αιτία για πικρή γεύση στο ελαιόλαδο.

Μάλαξη της ελαιοζύμης: Μετά την άλεση, η ελαιοζύμη αναμιγνύεται στο μαλακτήρα (ανοξειδωτες δεξαμενές με διπλά τοιχώματα που θερμαίνονται με κυκλοφορία ζεστού νερού του οποίου η θερμοκρασία δεν πρέπει να ξεπερνά τους 25°C. Η μάλαξη αποτελεί βασικό στάδιο της επεξεργασίας, διαρκεί συνήθως 30 λεπτά και συντελεί στην συνένωση των μικρών ελαιοσταγονιδίων σε μεγαλύτερες σταγόνες λαδιού.

Αραίωση της ελαιοζύμης: Στο μαλακτήρα προστίθεται νερό μέχρι και 100% της ποσότητας της ελαιοζύμης (ανάλογα την ωριμότητα του ελαιόκαρπου), πριν την εξαγωγή του ελαιόλαδου σε διφασικούς ή τριφασικούς φυγοκεντρικούς διαχωριστές. Η θερμοκρασία του νερού δεν πρέπει να ξεπερνά τους 30°C.

Εξαγωγή ελαιόλαδου: Η εξαγωγή του ελαιόλαδου από την ελαιοζύμη μπορεί να λάβει χώρα είτε με πίεση είτε με φυγοκέντριση της ελαιοζύμης. Τα φυγοκεντρικά συστήματα

διακρίνονται σε δύο και τριών φάσεων (Vlyssides *et al.*, 1998). Στην επόμενη ενότητα θα γίνει αναλυτική περιγραφή των προαναφερθέντων συστημάτων.

Καθαρισμός ελαιόλαδου: Το τελευταίο στάδιο της παραγωγής ελαιόλαδου περιλαμβάνει τον καθαρισμό του από στερεά σωματίδια (τεμάχια σάρκας, φλοιού, θρύμματα πυρηνόξυλου, κλπ) που βρίσκονται διαλυμένα στην υγρή φάση. Το βάρος των εν λόγω σωματιδίων, υπολογίζεται σε ποσοστό 0.5–1% επί του συνολικού βάρους της υγρής φάσεως και απομακρύνονται με την χρήση παλινδρομικά κινούμενων κόσκινων (κόσκινα απολάσπωσης). Τέλος, ακολουθεί ο τελικός διαχωρισμός του ελαιόλαδου από τα φυτικά υγρά με την χρήση φυγοκεντρικών διαχωριστών.

1.2. Συστήματα παραγωγής ελαιόλαδου

Στις σύγχρονες μονάδες επεξεργασίας ελαιόκαρπου, η παραγωγή ελαιόλαδου βασίζεται κυρίως στις εξής βασικές αρχές:

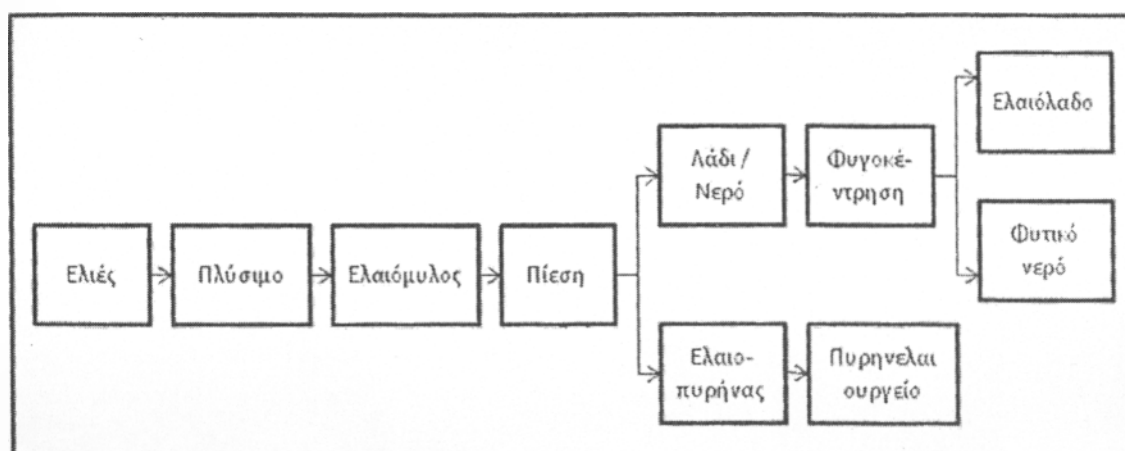
- Πίεσης (παραδοσιακά ή κλασσικά συστήματα)
- Φυγοκέντρισης (συνεχή συστήματα) που με την σειρά τους χωρίζονται σε δύο φάσεων και τριών φάσεων.
- Επιλεκτικού φιλτραρίσματος
- Χημικού διαχωρισμού
- Διαδικασία απομάκρυνσης λίθων

Οι πιο ευρέως διαδεδομένες μέθοδοι είναι αυτές της φυγοκέντρισης και η κλασσική παραδοσιακή μέθοδος της πίεσης. Στα συστήματα πίεσης και στα 3-φασικά φυγοκεντρικά συστήματα, τα απόβλητα είναι και υγρά και στερεά (κατσίγαρος και ελαιοπυρήνα) ενώ στα 2-φασικά συστήματα το απόβλητο που προκύπτει είναι υγρή ελαιοπυρήνα.

◆ Παραδοσιακά συστήματα πίεσης

Από τα πανάρχαια χρόνια μέχρι πρόσφατα, η πίεση της ελαιοζύμης υπήρξε ο μοναδικός τρόπος για την εξαγωγή του ελαιόλαδου. Στα παραδοσιακά ελαιοτριβεία η ελαιοζύμη, μετά τη μάλαξη, τοποθετείται σε ελαιοδιαφράγματα όπου συμπιέζεται και τελικά διαχωρίζεται στη χυμώδη φάση (ελαιόλαδο, φυτικά υγρά και στερεά που

διαφεύγουν από τα ελαιοδιαφράγματα) και στη στερεή φάση (ελαιοπυρήνας). Η χρήση παλινδρομικού κόσκινου συγκρατεί τα στερεά που βρίσκονται στη χυμώδη φάση, ενώ ο διαχωρισμός του ελαιόλαδου από τα φυτικά υγρά ολοκληρώνεται με τη χρήση κάθετου φυγοκεντρικού ελαιοδιαχωριστήρα. Παρόλο που η παραδοσιακή διαδικασία θεωρείται απαρχαιωμένη, εξακολουθεί να εφαρμόζεται σε αρκετές χώρες, μεταξύ των οποίων είναι και η Ελλάδα (Σχήμα 1) (Roig *et al.*, 2006).



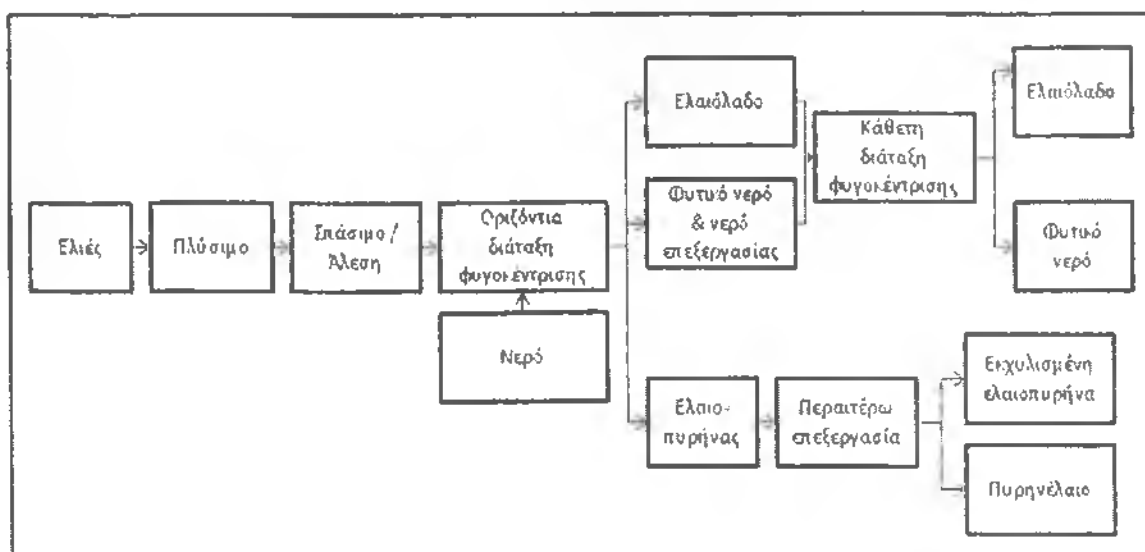
Σχήμα 1. Διάγραμμα ροής του παραδοσιακού συστήματος παραγωγής ελαιόλαδου (www.tdcolive.net).

◆ Φυγοκεντρικά συστήματα τριών φάσεων

Η τριφασική φυγοκεντρική διαδικασία, που αντικατέστησε την παραδοσιακή διαδικασία από τη δεκαετία του 1970, χρησιμοποιείται σήμερα ευρέως για την εξαγωγή του ελαιόλαδου (Σχήμα 2) (Roig *et al.*, 2006). Στα ελαιοτριβεία τριών φάσεων η ελαιοζύμη, αφού αραιωθεί με την απαραίτητη ποσότητα θερμού νερού, οδηγείται σε έναν οριζόντιο φυγοκεντρικό διαχωριστήρα τριών φάσεων, όπου λαμβάνει χώρα ο διαχωρισμός της σε τρία κλάσματα: ένα στερεό κλάσμα (περιεκτικότητα σε υγρασία 40-45%), ένα υγρό κλάσμα που αποτελείται κυρίως από το ελαιόλαδο και μέρος των φυτικών υγρών και ένα δεύτερο υγρό κλάσμα που αποτελείται κυρίως από φυτικά υγρά και μέρος ελαιόλαδου. Στη συνέχεια, ο διαχωρισμός του ελαιόλαδου από τα φυτικά υγρά και πιθανότητα από πολύ μικρά τεμαχίδια στερεών λαμβάνει χώρα σε κάθετους φυγοκεντρικούς ελαιοδιαχωριστήρες.

Ένα σημαντικό μειονέκτημα της τριφασικής διαδικασίας παραγωγής ελαιόλαδου είναι η αύξηση των ποσοτήτων των υγρών αποβλήτων που παράγονται,

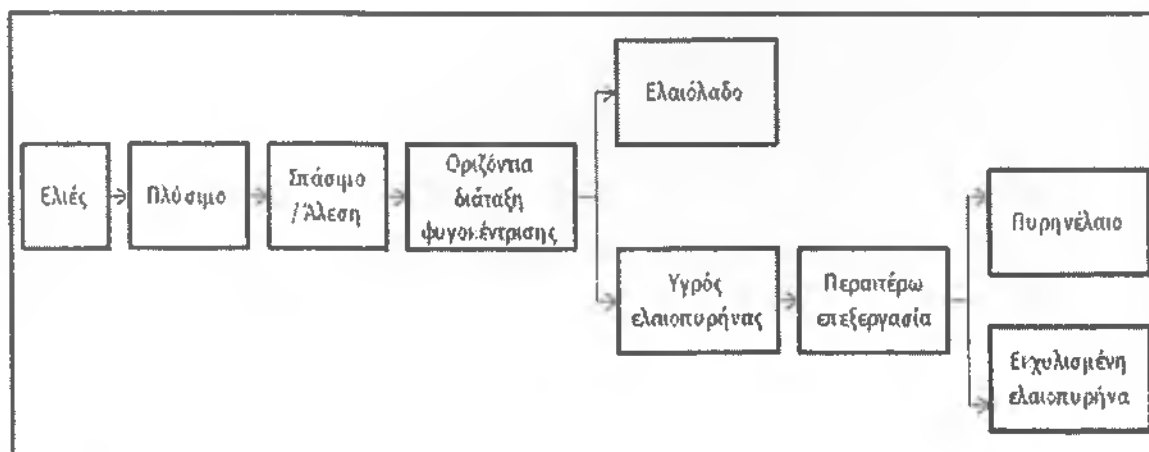
λόγω της αυξημένης κατανάλωσης νερού, συγκριτικά με την παραδοσιακή διαδικασία (1.25-1.75 φορές μεγαλύτερη κατανάλωση νερού) (Vlyssides *et al.*, 2004).



Σχήμα 2. Διάγραμμα ροής του τριφασικού συστήματος παραγωγής ελαιολάδου (www.tdcolive.net).

◆ Φυγοκεντρικά συστήματα δύο φάσεων

Πριν από μερικά χρόνια, εμφανίστηκε ένα νέο σύστημα στην αγορά, το 2-φασικό ελαιουργικό συγκρότημα (αποκαλούμενο επίσης και "οικολογικό σύστημα") από την εταιρία Westfalia Separator (A.G.). Να σημειωθεί ότι στα φυγοκεντρικά ελαιοτριβεία τριών φάσεων για την παραλαβή του ελαιολάδου από τον ελαιόκαρπο απαιτείται αραίωση της ελαιοζύμης με μεγάλη ποσότητα νερού. Αντίθετα στα ελαιοτριβεία δύο φάσεων ο φυγοκεντριτής δεν χρειάζεται αραίωση της ελαιοζύμης με νερό και τη διαχωρίζει τελικά σε δύο μέρη. Όπως παρουσιάζεται και στο επόμενο σχήμα (Σχήμα 3), σε αυτήν τη διαδικασία, τα τελικά προϊόντα είναι το ελαιόλαδο και ο ελαιοπυρήνας στον οποίο ενσωματώνονται τα απόνερα. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, στα διφασικά συστήματα οι ποσότητες των υγρών αποβλήτων που παράγονται, έχουν μειωθεί περίπου κατά 75% συγκριτικά με τα τριφασικά συστήματα (Roig *et al.*, 2006).



Σχήμα 3. Διάγραμμα ροής του διφασικού συστήματος παραγωγής ελαιόλαδου (www.tdcolive.net).

Τα διφασικά συστήματα εξαγωγής ελαιόλαδου πλεονεκτούν έναντι των τριφασικών συστημάτων στα εξής σημεία: (α) η ποσότητα του ελαιόλαδου που παράγεται είναι μεγαλύτερη, καθώς δεν προστίθεται νερό για την αραιώση της ελαιοζύμης, οπότε αποφεύγεται ο σχηματισμός γαλακτώματος ελαίου/ύδατος, (β) η ποιότητα του ελαιόλαδου είναι καλύτερη λόγω της αυξημένης συγκέντρωσης του σε φυσικά αντιοξειδωτικά (πολυφαινόλες), που το καθιστούν σταθερότερο κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης του, (γ) η μειωμένη κατανάλωση νερού και η παραγωγή μίας μικρής ποσότητας υγρών αποβλήτων, (δ) το χαμηλό κόστος κατασκευής και λειτουργίας του καθώς και οι μειωμένες απαιτήσεις σε ενέργεια. Το σοβαρότερο μειονέκτημα της διφασικής διαδικασίας είναι ότι ο ελαιοπυρήνας που προκύπτει, έχει αυξημένη υγρασία, υψηλές συγκεντρώσεις σε σάκχαρα και στερεά, οπότε καθίσταται δύσκολος χειρισμός, η μεταφορά και η επεξεργασία του.

Όπως έχει διαπιστωθεί, η ελαιοκομία αποτελεί για όλη την Περιφέρεια Πελοποννήσου και Δυτικής Ελλάδας σημαντική καλλιέργεια με συνεισφορά στον πρωτογενή τομέα της οικονομίας, στην διατήρηση της βιοποικιλότητας αλλά και βασικό γνώρισμα του τοπίου, ιδιαίτερα για την Πελοπόννησο. Συγκεκριμένα, στη Μεσσηνία είναι προφανές ότι το τοπίο αλλάζει ως προς τη διάθεση των αποβλήτων ελαιοτριβείων δεδομένου, ότι έχει προχωρήσει σε μεγάλο βαθμό η μετατροπή των τριφασικών ελαιοτριβείων σε διφασικά με αποτέλεσμα να έχει μειωθεί σημαντικά ο όγκος των υγρών αποβλήτων (κατσίγαρος) (Αλεξανδρή, 2011). Ο αντιπεριφερειάρχης Παναγιώτης Αλευράς έκανε γνωστό πως από τα 285 ελαιοτριβεία έχουν ήδη μετατραπεί σε διφασικά τα 88, ήτοι κάτι παραπάνω από το ένα τρίτο (Κοντοθανάσης, 2012). Όσον αφορά στα λίγα παραδοσιακά ελαιοτριβεία που εξακολουθούν να

παραμένουν, αυτά θα πρέπει να στηριχθούν για την συνέχιση λειτουργίας τους, αφού αποτελούν μέρος της παράδοσης του τόπου η οποία θα πρέπει να μην χαθεί, μπορούν δε να αποτελέσουν πυρήνες αγροτουριστικής ανάπτυξης.

Πέρα από την μετατροπή των τριφασικών σε διφασικά προέκυψε ότι υπάρχουν ποικίλοι τρόποι για την αξιοποίηση των αποβλήτων ελαιουργίας. Όσον αφορά στον διφασικό ελαιοπυρήνα, η αξιοποίηση του μέσω των πυρηνελουργιών δεν αποτελεί μονόδρομο αλλά είναι μία μόνο από τις διεξόδους.

Στις εναλλακτικές μεθόδους αξιοποίησης των αποβλήτων πρέπει να συνυπολογιστούν η εξουδετέρωση του κασιόγαρου για άδρευση, η χρήση του ελαιοπυρήνα για παραγωγή κομπόστ καθώς και η χρήση του ως βιομάζας για την παραγωγή βιοαερίου (Αλεξανδρής, 2011).

1.3. Χαρακτηριστικά και σύνθεση των υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων

Κατά την εφαρμογή του παραδοσιακού τρόπου εξαγωγής ελαιολάδου και του φυγοκεντρικού συστήματος τριών φάσεων προκύπτουν μία υδάτινη φάση και ένα στερεό παραπροϊόν, γνωστό ως πυρήνας που με περαιτέρω εκχύλιση με οργανικό διαλύτη (συνήθως εξάνιο) παραλαμβάνεται το πυρηνόξυλο και το πυρηνέλαιο. Τα υγρά που αποτελούν την υδάτινη φάση ονομάζονται υγρά απόβλητα ελαιοτριβείων (Y.A.E.-olive-mill wastewater, OMW στην διεθνή βιβλιογραφία) (Borja *et al.*, 1995a; Hamdi, 1992).

Τα Y.A.E. λόγω της ιδιότυπης χημικής τους σύστασης, θεωρούνται από τα πλέον βεβαρημένα αγροτοβιομηχανικά απόβλητα με δυσμενείς επιπτώσεις για το περιβάλλον. Χαρακτηρίζονται από υψηλό οργανικό και ανόργανο φορτίο, όπως αυτό προκύπτει από τις μεγάλες τιμές των παραμέτρων σε χημική απαίτηση σε οξυγόνο (COD) και σε βιολογική απαίτηση σε οξυγόνο (BOD₅). Εάν θεωρήσουμε ότι, από 1 τόνο ελαιόκαρπου παράγονται 0.8 τόνοι υγρών αποβλήτων συγκέντρωσης 80 gCOD/L, το εποχιακό ρυπαντικό φορτίο των υγρών αποβλήτων των ελαιοτριβείων, αντιστοιχεί (ως προς το COD) σε ισοδύναμο ρυπαντικό φορτίο 22 εκατομμυρίων ατόμων για 1 έτος. (Aktas *et al.*, 2001).

Τα φυτικά υγρά του ελαιόκαρπου, το νερό που προστίθεται στα διάφορα στάδια επεξεργασίας του, τα αδιάλυτα οργανικά τεμαχίδια υπό μορφή αιωρήματος καθώς και

γαλακτοποιημένα σταγονίδια ελαίου συνθέτουν τα υγρά απόβλητα των ελαιοτριβείων. Τα χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων (ποσοτικά και ποιοτικά) ποικίλουν και εξαρτώνται άμεσα από την ποικιλία του ελαιόδεντρου, τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής, το στάδιο ωρίμανσης του ελαιόκαρπου, την εποχή συγκομιδής, το χρόνο παραμονής του ελαιόκαρπου στο ελαιοτριβείο και τη διαδικασία παραλαβής του ελαιόλαδου (Paraskeva and Diamadopoulos, 2006).

Τα Υ.Α.Ε. παράγονται κυρίως από τα φυγοκεντρικά ελαιοτριβεία τριών φάσεων και είναι γνωστότερα ως λιόζουμα ή κατσιγάρος. Προέρχονται από το υδατικό κλάσμα του χυμού του ελαιοκάρπου και τα νερά που προστίθενται κατά τις φάσεις της πλύσης, μάλαξης και διαχωρισμού του ελαιολάδου (Οιχαλιώτης και Ζερβάκης, 1999). Χαρακτηρίζονται από σκούρο χρώμα (κόκκινο προς καφέ-μαύρο) είναι όξινα (pH=3-6), θολά, χαρακτηριστικής οσμής, υψηλού οργανικού ρυπαντικού φορτίου, χαμηλής βιοαποδομησιμότητας (λόγος COD/BOD5=2.5-5), υψηλής ηλεκτρικής αγωγιμότητας, πλούσια σε οργανικά και ανόργανα συστατικά (Azbar *et al.*, 2004; Bozja *et al.*, 2006).

Τα κυριότερα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων από παραδοσιακά και τριών φάσεων ελαιοτριβεία φαίνονται στον Πίνακα 1 (Vlyssides *et al.*, 2004). Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι οι επιμέρους τιμές μπορεί να ποικίλουν στα διάφορα ελαιοτριβεία ανάλογα με τον τύπο του ελαιοτριβείου, την ποικιλία, την κατάσταση του ελαιοκάρπου και την ποιότητα του νερού.

Πίνακας 1. Κύρια χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων

Παράμετροι	Παραδοσιακά ελαιοτριβεία	Ελαιοτριβεία τριών φάσεων
Ολικά στερεά (g/L)	99.70 ± 28.85	63.5 ± 24.4
Ολικά αιωρούμενα στερεά (g/L)	4.51 ± 3.27	2.8 ± 2.2
Ολικά πτητικά στερεά (g/L)	87.20 ± 27.57	57.37 ± 21.96
Στάχτη (g/L)	9.69 ± 2.58	6.13 ± 2.44
Ολικός οργανικός άνθρακας (g/L)	64.11 ± 10.79	39.82 ± 6.47
Ολικό άζωτο κατά Kjeldahl (g/L)	1.15 ± 0.21	0.76 ± 0.13
Ολικός φωσφόρος (P ₂ O ₅) (g/L)	0.87 ± 0.14	0.53 ± 0.084
pH	4.50 ± 0.60	4.8 ± 0.8
BOD ₅ (g/L)	68.71 ± 12.64	45.5 ± 8.2
COD (g/L)	158.18 ± 32.63	92.5 ± 17.5
Πυκνότητα (g/cm ³)	1.05 ± 0.06	1.048 ± 0.033

Αγωγιμότητα (mmhos/cm)	18 ± 5	12 ± 4
Ολικά σάκχαρα (g/L)	25.86 ± 8.3	16.06 ± 5.92
Λίπη και έλαια (g/L)	2.80 ± 1.03	1.64 ± 0.64
Πολυαλκοόλες (g/L)	4.75 ± 1.77	3.19 ± 1.22
Γλυκερόλη (g/L)	0.10 ± 0.04	0.062 ± 0.023
Ολικές πρωτεΐνες (g/L)	28.3 ± 9.95	17.91 ± 6.88
Οργανικά οξέα (g/L)	4.88 ± 2.41	3.21 ± 1.23
Φαινολικές ενώσεις (g/L)	17.15 ± 4.55	10.65 ± 4.08
Φαινολικά οξέα (g/L)	0.48 ± 0.18	0.28 ± 0.1
Ταννίνες (g/L)	6.74 ± 2.94	4.01 ± 1.54
Πηκτίνες (g/L)	3.25 ± 1.42	2.15 ± 0.76

Πηγή: (Vlyssides *et al.*, 2004)

Το πιο σημαντικό μέρος του οργανικού κλάσματος των υγρών αποβλήτων καταλαμβάνουν τα σάκχαρα με κυριότερα, την φρουκτόζη, μαννόζη, γλυκόζη, σακχαρόζη και μερικές πεντόζες (Borja *et al.*, 2006). Η περιεκτικότητα του ελαιόκαρπου σε σάκχαρα και φαινολικές ενώσεις μειώνεται κατά την ωρίμανση του, με αποτέλεσμα η συγκέντρωση τους στα υγρά απόβλητα να ακολουθεί την ίδια πορεία μείωσης.

Οι φαινολικές ενώσεις που περιέχονται στα υγρά απόβλητα, στις οποίες οφείλονται κυρίως οι χαρακτηριστικές φυτοτοξικές και αντιμικροβιακές ιδιότητες τους, μπορούν να ταξινομηθούν σε δυο ομάδες. Η πρώτη ομάδα αποτελείται από απλές φαινολικές ενώσεις, ταννίνες (φαινολικές ενώσεις μικρού μοριακού βάρους) και φλαβονοειδή (φαινολικές ενώσεις το πολύ 15 ατόμων άνθρακα). Τα κυριότερα φλαβονοειδή που έχουν ανιχνευθεί στα υγρά απόβλητα είναι η απεγινίνη, η λουτεολίνη και η κερκετίνη (Servili *et al.*, 1999). Τα κυριότερα φαινολικά οξέα που έχουν ανιχνευθεί είναι το συριγγικό οξύ, *p*-υδροξυφαινυλοξικό οξύ, βανιλλικό οξύ, βερατρικό οξύ, καφεϊκό οξύ, πρωτοκατεχικό οξύ, κουμαρικό οξύ και κινναμικό οξύ (Balice and Cera, 1984). Η δεύτερη ομάδα αποτελείται από πολυφαινόλες, πολυμερείς ενώσεις καστανόμαυρου χρώματος, οι οποίες έχουν προκύψει από τον πολυμερισμό και την αυτοοξειδωση των φαινολικών ενώσεων της πρώτης ομάδας. Το χρώμα των υγρών αποβλήτων εξαρτάται από την αναλογία μεταξύ των φαινολικών ενώσεων των δυο ομάδων (Borja *et al.*, 2006).

Τα μη φαινολικά οργανικά οξέα (τρυγικό οξύ, οξαλικό οξύ, μηλικό οξύ, γαλακτικό οξύ, φουμαρικό οξύ, κιτρικό οξύ κ.ά.) καθώς και τα λιπαρά οξέα μακριας αλυσίδας (λινελαϊκό οξύ, ελαϊκό οξύ, λινολενικό οξύ κ.ά.) αποτελούν ένα σημαντικό μέρος του οργανικού κλάσματος των υγρών αποβλήτων, ιδιαίτερα από πλευράς φυτοτοξικότητας και αντιμικροβιακής δράσης.

Εκτός από το οργανικό κλάσμα τα Υ.Α.Ε. περιέχουν ανόργανα άλατα τα οποία αποτελούν σύμφωνα με πολλούς ερευνητές λιπαντικά στοιχεία που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν αντικαθιστώντας εξ' ολοκλήρου ή σε μεγάλο βαθμό τη χημική λίπανση σε συνδυασμό με τον εμπλουτισμό του εδάφους σε οργανική ουσία. Έτσι τα απόβλητα αυτά είναι ιδιαίτερα πλούσια σε κάλιο και φώσφορο ενώ περιέχουν σε μικρές ποσότητες και άλλα στοιχεία όπως ασβέστιο, μαγνήσιο, νάτριο. Τέλος, τα υγρά απόβλητα των ελαιοτριβείων περιέχουν πολύτιμα συστατικά, όπως φαινολικές και αντιοξειδωτικές ενώσεις, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πρώτες ύλες στη βιομηχανία παραγωγής φαρμάκων και καλλυντικών. Οι πιο σημαντικές και με μεγάλη εμπορική αξία αντιοξειδωτικές ενώσεις είναι η υδροξυ-τυροσόλη, η τυροσόλη και η ελευρωπαΐνη.

Κανείς δεν μπορεί να αμφισβητήσει ότι τα υγρά απόβλητα των ελαιοτριβείων είναι ένα υδατικό φυτικό εκχύλισμα υψηλού οργανικού ρυπαντικού φορτίου, η άκριτη διάθεση του οποίου μπορεί να έχει σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η πιο συνηθισμένη πρακτική που εφαρμόζεται για τα απόβλητα αυτά είναι η ανεξέλεγκτη διάθεση τους στο έδαφος, σε ποτάμια, σε θάλασσες κ.α. (Εικόνα 1). Είναι όμως κατά κανόνα ελεύθερα ενώσεων υψηλού περιβαλλοντικού κινδύνου δηλαδή, δεν περιέχουν όπως άλλοι τύποι βιομηχανικών αποβλήτων βαρέα μέταλλα, αμίαντο ή μη βιοαποδομήσιμες συνθετικές οργανικές ενώσεις. Στον Πίνακα 2, συνοψίζονται οι αρνητικές επιδράσεις τους στο περιβάλλον σε συσχέτισμό με τα κύρια χαρακτηριστικά τους.



ΕΙΚΟΝΑ 1. Ανεξέλεγκτη απόθεση των υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων (www.ecologygreece.gr).

Πίνακας 2. Υγρά Απόβλητα Ελαιοτριβείων και Περιβάλλον

Χαρακτηριστικά των Υ.Α.Ε.	Αρνητικές επιδράσεις στο περιβάλλον
Υψηλή περιεκτικότητα σε χρωστικές	<ol style="list-style-type: none"> 1. Περιορισμός φωτοσύνθεσης στα νερά λιμνών, ποταμών και θάλασσας. 2. Παρεμπόδιση ορατότητας ψαριών. 3. Αισθητική υποβάθμιση του περιβάλλοντος.
Υψηλή περιεκτικότητα ελαιόλαδο και άλλες λιπαρές ενώσεις	<ol style="list-style-type: none"> 1. Παρεμπόδιση οξυγόνωσης των νερών. 2. Μείωση πορώδους του εδάφους.
Περιεκτικότητα σε πολυφαινόλες	<ol style="list-style-type: none"> 1. Βιοτοξικότητα – φυτοτοξικότητα (φαινόμενα αλληλοπάθειας). 2. Περιορισμός δράσης αποδομητών μικροοργανισμών των Υ.Α.Ε., βιοαποδόμηση από εξειδικευμένες και ολιγάριθμες ομάδες μικροοργανισμών (εμμονή στο περιβάλλον).
Υψηλό ποσοστό άλλων τοξικών ουσιών	<ol style="list-style-type: none"> 1. Αποξυγόνωση υδάτινων αποδεκτών. 2. Φαινόμενα ευτροφισμού.

Χαμηλό pH, υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα	<ol style="list-style-type: none"> 1. Διάβρωση των εδαφών και διείσδυση του στους υπόγειους υδροφορείς. 2. Ακατάλληλο για άδρευση των περισσότερων καλλιεργειών.
--	--

Πηγή: (Αντωνίου, 2001)

1.4. Τα συστατικά των στερεών αποβλήτων ελαιотριβείων

Όπως έχει ήδη είναι γνωστό οι Μεσογειακές χώρες παράγουν ετησίως μεγάλες ποσότητες στερεών αποβλήτων από την επεξεργασία του ελαιόκαρπου, που προκαλούν σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα. Στερεά απόβλητα παράγονται τόσο κατά την παραδοσιακή όσο και κατά την τριφασική και τη διφασική διαδικασία παραγωγής ελαιόλαδου.

Πλέον, το ενδιαφέρον των ερευνητών έχει επικεντρωθεί στην επεξεργασία των στερεών αποβλήτων από τα ελαιотριβεία δυο φάσεων, καθώς πρόκειται για απόβλητο που παράγεται σε τεράστιες ποσότητες με υψηλό ρυπαντικό φορτίο (Πίνακας 3) (Vlyssides and Iaconidou, 2003). Για παράδειγμα, στην Ισπανία, όπου σχεδόν το 90% των ελαιотριβείων είναι δύο φάσεων, παράγονται κάθε χρόνο περίπου 4.000.000 τόνοι στερεών αποβλήτων (International Olive Oil Council, 2012).

Επιπλέον, τα στερεά απόβλητα εκτός από το υψηλό οργανικό φορτίο, έχουν πολυφαινόλες που εμποδίζουν τη δραστηριότητα βακτηρίων και μυκήτων καθώς και υψηλή περιεκτικότητα σε λιπαρά οξέα.

Πίνακας 3. Κύρια χαρακτηριστικά των στερεών αποβλήτων ελαιотριβείων

Παράμετροι	Παραδοσιακά ελαιотριβεία	Ελαιотριβεία τριών φάσεων	Ελαιотριβεία δυο φάσεων
Υγρασία (%)	27.2 ± 1.05	50.23 ± 1.94	56.80 ± 2.19
Λίπη και έλαια (%)	8.72 ± 3.25	3.89 ± 1.45	4.65 ± 1.74
Πρωτεΐνες (%)	4.77 ± 0.02	3.43 ± 0.02	2.87 ± 0.01
Ολικά σάκχαρα (%)	1.38 ± 0.02	0.99 ± 0.01	0.83 ± 0.01
Κυτταρίνη (%)	24.1 ± 0.28	17.37 ± 0.20	14.54 ± 0.17
Ημικυτταρίνη (%)	11.0 ± 0.61	7.92 ± 0.44	6.63 ± 0.37
Τέφρα (%)	2.36 ± 0.15	1.70 ± 0.11	1.42 ± 0.09

Λιγνίνη (%)	14.1 ± 0.29	10.21 ± 0.21	8.54 ± 0.18
Ολικό άζωτο κατά Kjeldahl (%)	0.71 ± 0.01	0.51 ± 0.01	0.43 ± 0.01
Ολικός φώσφορος (P ₂ O ₅) (%)	0.07 ± 0.01	0.05 ± 0.01	0.04 ± 0.01
Φαινολικές ενώσεις (%)	1.14 ± 0.06	0.33 ± 0.04	2.43 ± 0.15
K ως K ₂ O (%)	0.54 ± 0.05	0.39 ± 0.03	0.32 ± 0.03
Ca ως CaO (%)	0.61 ± 0.06	0.44 ± 0.04	0.37 ± 0.04
Ολικός άνθρακας (%)	429 ± 3.42	29.03 ± 2.32	25.37 ± 2.03
C/N	60.7 ± 5.35	57.17 ± 5.03	59.68 ± 5.25
C/P	588.7 ± 51.25	552.9 ± 48.20	577.2 ± 50.31

Πηγή: (Vlyssides and Iaconidou, 2003)

Η απόρριψη τους στο περιβάλλον ή η διάθεση τους στο έδαφος χωρίς προηγούμενη επεξεργασία, δεν αποτελεί λύση του προβλήματος, αλλά καθιστά την κατάσταση χειρότερη δεδομένου ότι υπάρχει κίνδυνος μόλυνσης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα.

1.5. Μέθοδοι επεξεργασίας των υγρών και στερεών αποβλήτων ελαιοτριβείων

Παρακάτω θα γίνει μια σύντομη αναφορά στις μεθόδους επεξεργασίας των υγρών και κατόπιν των στερεών αποβλήτων.

◆ Φυσικές μέθοδοι επεξεργασίας

A) Αραίωση, ιζηματοποίηση, επίπλευση, φυγοκέντριση, διήθηση

Η αραίωση συνήθως εφαρμόζεται, πριν από τις βιολογικές μεθόδους επεξεργασίας, με στόχο την ελάττωση της τοξικότητας των αποβλήτων. Η ιζηματοποίηση, η επίπλευση, η φυγοκέντριση και η διήθηση έχουν σαν στόχο τη δημιουργία θρόμβων και στη συνέχεια την απομάκρυνση τους από το υγρό κλάσμα, ώστε να μειωθεί το οργανικό κλάσμα των αποβλήτων. Δυστυχώς, αυτό δεν μπορεί να επιτευχθεί απόλυτα, εξαιτίας της λεπτά κατανεμημένης και μερικώς γαλακτοποιημένης φύσης των σωματιδίων που αιωρούνται. Επίσης, η εφαρμογή τους παρουσιάζει πολλά προβλήματα, λόγω των μεγάλων ποσοτήτων ιζήματος που παράγονται, το οποίο πρέπει

να επεξεργαστεί περαιτέρω για να διατεθεί με ασφάλεια στο περιβάλλον. Για παράδειγμα, μελέτες έδειξαν ότι η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων με φυγοκέντριση οδήγησε σε μείωση του COD μόλις κατά 21% και μείωση του BOD κατά 15% (Al-Malah *et al.*, 2000).

B) Τεχνολογία μεμβρανών

Στην κατηγορία των φυσικών μεθόδων επεξεργασίας ανήκει η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων των ελαιοτριβείων με μεμβράνες. Η δομή και τα χαρακτηριστικά της μεμβράνης καθορίζουν τη φύση του διαχωρισμού, καθώς η διαπερατότητα εξαρτάται από το μέγεθος των μορίων και των πόρων των μεμβρανών. Ο διαχωρισμός με μεμβράνες διακρίνεται (το μέγεθος των πόρων φθίνει) σε: μικροδιήθηση, υπερδιήθηση, νανοδιήθηση και αντίστροφη ώσμωση. Η τεχνολογία των μεμβρανών χρησιμοποιείται για τη συμπύκνωση, τον καθαρισμό και την κλασματοποίηση υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων και είναι αποτελεσματική για την ανάκτηση και την επαναχρησιμοποίηση υποπροϊόντων αξίας (π.χ. πολυφαινόλες) και νερού, ενώ το συμπύκνωμα μπορεί να αποτεφρωθεί. Ωστόσο, ένα στάδιο προ-φιλτραρίσματος είναι απαραίτητο ώστε να αφαιρεθούν τα μεγάλα αιωρούμενα στερεά σωματίδια, καθώς δημιουργούνται προβλήματα στην ομαλή λειτουργία των μεμβρανών (π.χ. φράξιμο των πόρων) (Paraskeva *et al.*, 2007).

◆ Θερμικές μέθοδοι επεξεργασίας

A) Καύση και Πυρόλυση

Η καύση και η πυρόλυση των υγρών αποβλήτων των ελαιοτριβείων αποτελούν τις πιο διαδεδομένες θερμικές μεθόδους επεξεργασίας. Τα πλεονεκτήματα από την εφαρμογή τους είναι η μείωση του όγκου των αποβλήτων και η ανάκτηση ενέργειας. Ωστόσο, τα μειονεκτήματα τους είναι το υψηλό κόστος καθώς και η πιθανή εκπομπή αέριων τοξικών ρύπων στην ατμόσφαιρα.

B) Εξάτμιση και Απόσταξη

Η εξάτμιση και η απόσταξη ανήκουν στις θερμικές μεθόδους επεξεργασίας, οι οποίες συμπυκνώνουν το οργανικό και ανόργανο περιεχόμενο των υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων. Η ενέργεια για την εξάτμιση προέρχεται από θερμότητα καύσης ή από φυσική πηγή (π.χ. ήλιος). Τα στερεά υπολείμματα που προκύπτουν έχουν υψηλό

ενεργειακό περιεχόμενο, οπότε χρησιμοποιούνται συνήθως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η εξάτμιση και η απόσταξη των υγρών αποβλήτων των ελαιοτριβείων με χρήση ηλιακής ακτινοβολίας οδηγεί σε μείωση του COD κατά περίπου 80% (Potoglou *et al.*, 2004).

Γ) Λίμνες εξάτμισης

Οι λίμνες εξάτμισης είναι απλές εφαρμογές, χαμηλού κόστους, αλλά υπάρχει κίνδυνος ρύπανσης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα εάν η μόνωση της λεκάνης δεν είναι κατάλληλη ή υπάρξει κάποια διαρροή. Κύριο μειονέκτημα της μεθόδου είναι η έντονη δυσοσμία που αναδύεται από τα υγρά απόβλητα των ελαιοτριβείων, η οποία γίνεται αντιληπτή σε μεγάλη απόσταση. Μετά την εξάτμιση των υγρών αποβλήτων, τα στερεά που απομένουν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως λίπασμα αλλά και να επεξεργαστούν περαιτέρω με κομποστοποίηση (Paredes *et al.*, 2003).

◆ Φυσικοχημικές μέθοδοι επεξεργασίας

A) Κροκίδωση

Η κροκίδωση αφορά στη χημική αποσταθεροποίηση κολλοειδών σωματιδίων εξαιτίας της προσθήκης κατάλληλων ηλεκτρολυτών, οι οποίοι μειώνουν το φορτίο των σωματιδίων, με αποτέλεσμα να μειώνονται οι ηλεκτροστατικές απωστικές δυνάμεις και τα κολλοειδή σωματίδια να σχηματίζουν μεγαλύτερα συσσωματώματα, τα οποία καθιζάνουν. Συχνά η προσθήκη ενός κροκιδωτικού μέσου για να προάγει τη συσσωμάτωση είναι απαραίτητη (π.χ. FeCl_3 , AlCl_3 , FeSO_4 , $\text{Ca}(\text{OH})_2$). Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων με $6\text{gAlCl}_3/\text{L}$ οδηγεί σε μείωση του COD κατά 94% και των φαινολικών ενώσεων κατά 91% (Sarika *et al.*, 2005).

B) Προσρόφηση

Η προσρόφηση αφορά στη φυσική σύνδεση των διαλυμένων ουσιών των υγρών αποβλήτων στην επιφάνεια πορωδών στερεών. Συνήθως, ως παράγοντας προσρόφησης χρησιμοποιείται ενεργός άνθρακας. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, η προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα, αφού έχει προηγηθεί κροκίδωση, οδήγησε σε μείωση του COD των υγρών αποβλήτων των ελαιοτριβείων κατά 30% (Kestioglou *et al.*, 2005).

Γ) Οξείδωση

Η οξείδωση μπορεί να οδηγήσει όχι μόνο στη διάσπαση τοξικών ουσιών που περιέχονται στα υγρά απόβλητα των ελαιοτριβείων αλλά και στη σχεδόν πλήρη ανοργανοποίηση τους. Το όζον, ένα ισχυρό οξειδωτικό μέσο, αντιδρά με ενώσεις που περιέχουν αρωματικούς δακτυλίους και διπλούς δεσμούς. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, η μικρή μείωση του COD (18-20%) που παρατηρήθηκε μετά από 2 ώρες οζονισμού υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων αρχικής συγκέντρωσης 10gCOD/L, ίσως οφείλεται στη διάσπαση των μεγάλων οργανικών ενώσεων σε μικρότερες, ενώ παρατηρήθηκε αποχρωματισμός και σχεδόν ολοκληρωτική απομάκρυνση των φαινολικών ενώσεων (Benitez *et al.*, 1999).

Δ) Προηγμένες τεχνικές οξείδωσης

Οι προηγμένες τεχνικές οξείδωσης περιλαμβάνουν τη δημιουργία και τη δράση ριζών υδροξυλίου, οι οποίες δημιουργούνται από μια πηγή οξυγόνου και μια πηγή ενέργειας, είναι ασταθείς αλλά ιδιαίτερα δραστικές. Η πηγή μοριακού οξυγόνου είναι συνήθως το όζον (O_3) ή το υπεροξείδιο του υδρογόνου (H_2O_2), ενώ η υπεριώδης ακτινοβολία (UV) ή η ηλιακή ακτινοβολία είναι η πηγή ενέργειας. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, η επεξεργασία υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων με O_3/UV και H_2O_2/UV στις βέλτιστες τιμές του pH (7 και 2, αντίστοιχα) οδήγησε σε μείωση του COD και των φαινολικών ενώσεων κατά 99%, για 5 ώρες οζονισμού με 535 mg O_3/L και 750-1000 mg H_2O_2/L (Aktas *et al.*, 2001).

Ε) Υγρή οξείδωση

Η οξείδωση των οργανικών συστατικών στην υγρή φάση χρησιμοποιώντας οξυγόνο καλείται υγρή οξείδωση. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται κάτω από συνθήκες υψηλή πίεσης (10-220 bar) και θερμοκρασίας (120-330 °C). Η υγρή οξείδωση με ή χωρίς τη χρήση καταλύτη μπορεί να προάγει την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων των ελαιοτριβείων ή να οδηγήσει στη σχεδόν πλήρη ανοργανοποίηση τους (Rivas *et al.*, 2001). Το μεγαλύτερο μειονέκτημα της υγρής οξείδωσης, είναι η μεγάλη απαίτηση χρόνου για την επαρκή οξείδωση του οργανικού υλικού. Το μεγάλο λειτουργικό κόστος και η μικρή αξιοπιστία του συστήματος σε συνδυασμό με ισχυρή παραγωγή αέριων ρύπων, προς το παρόν, καθιστά την εφαρμογή της προαναφερθείσας μεθόδου οικολογικά και νομικά δύσκολη.

Z) Οξείδωση Fenton

Η οξείδωση Fenton, η οποία συνδυάζει χημική οξείδωση και συσσωμάτωση με χρήση H_2O_2 και προσθήκη $FeSO_4$, αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία. Παράμετροι όπως η συγκέντρωση των ιόντων δισθενούς ή τρισθενούς σιδήρου, η συγκέντρωση του υπεροξειδίου του υδρογόνου, το pH και ο χρόνος αντίδρασης έχουν πρωταρχική σημασία για τη διεργασία. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, πλήρη απομάκρυνση φαινολικών ενώσεων και μείωση του COD κατά 40-60% παρατηρήθηκε όταν υγρά απόβλητα ελαιοτριβείων επεξεργαστήκαν με 2-3g $FeSO_4 \cdot 7H_2O/L$ και 3 ml H_2O_2 (60% w/w) για 2 ώρες περίπου (Vlyssides *et al.*, 2003 and 2004b).

H) Ηλεκτροχημική οξείδωση

Η ηλεκτροχημική οξείδωση των υγρών αποβλήτων των ελαιοτριβείων (Ti/Ta/Pt/Ir ως ηλεκτρόδιο ανόδου) οδηγεί στη σχεδόν πλήρη απομάκρυνση των φαινολικών ενώσεων, χωρίς όμως να επιτυγχάνεται υψηλή απομάκρυνση του COD. Ωστόσο, η ηλεκτροχημική οξείδωση υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων, με ηλεκτρόδιο ανόδου Ti/Ta/Pt/Ir και βέλτιστη αλατότητα 3%NaCl, οδήγησε σε μείωση του COD κατά 71% ύστερα από 8 ώρες αντίδρασης (Giannes *et al.*, 2003).

◆ Βιολογικές μέθοδοι επεξεργασίας

Οι βιολογικές μέθοδοι επεξεργασίας (αερόβιες και αναερόβιες) βασίζονται στην χρησιμοποίηση μικροοργανισμών (βακτήρια, μύκητες κ.ά.) για τη διάσπαση των σύνθετων οργανικών ενώσεων σε απλούστερες. Αποτελούν δηλαδή, τη μεταφορά των φυσικών βιολογικών μεθόδων μετατροπής οργανικών συστατικών (ικανότητα αυτοκαθαρισμού), από τη φύση σε τεχνική κλίμακα. Θεωρούνται φιλικές προς το περιβάλλον, αξιόπιστες και σε αρκετές περιπτώσεις οικονομικά βιώσιμες λύσεις.

A) Αερόβια μέθοδος

Η *κομποστοποίηση* είναι η ελεγχόμενη αερόβια βιολογική επεξεργασία στερεών αποβλήτων μέσω ενός θερμόφιλου σταδίου, κατά το οποίο εκλύεται θερμότητα λόγω των εξώθερμων αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα. Με την ολοκλήρωση της θερμόφιλης φάσης και της φάσης ωρίμανσης προκύπτει ένα σταθεροποιημένο οργανοχουμικό προϊόν, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό (ιδιαίτερα για αμμώδη, αργιλώδη, όξινα, πορώδη και ασβεστώδη εδάφη) ή ως

υπόστρωμα για την καλλιέργεια φυτών καθώς και για τη βιο-αποκατάσταση μολυσμένων εδαφών. Τα υγρά απόβλητα των ελαιοτριβείων μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μέσο ρύθμισης της υγρασίας (αντί του νερού) κατά την διάρκεια κομποστοποίησης διαφόρων στερεών οργανικών υπολειμμάτων (Paredes *et al.*, 2003).

B) Αναερόβια μέθοδος

Η *αναερόβια χώνευση* είναι μια πολύπλοκη βιοχημική διεργασία, κατά την οποία το οργανικό υλικό αποθυμείται κυρίως προς μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα, ενώ είναι δυνατή τόσο η αναερόβια παραγωγή υδρογόνου όσο και η φωτοβιολογική παραγωγή υδρογόνου (Eroglu *et al.*, 2004). Η αραίωση του αποβλήτου, η προσθήκη θρεπτικών συστατικών και η ρύθμιση της αλκαλικότητας θεωρούνται ως αναγκαίες δράσεις για την ομαλή λειτουργία ενός αναερόβιου αντιδραστήρα. Αρκετοί ερευνητές έχουν μελετήσει την επίδραση της αραίωσης των υγρών αποβλήτων των ελαιοτριβείων όχι μόνο με νερό αλλά και με άλλα υγρά απόβλητα (όπως απόβλητα από χοιροστάσια, κοπριά, οικιακά υγρά απόβλητα, υγρά απόβλητα από σφαγεία κ.ά.) στην αναερόβια χώνευση (Angelidaki and Ahning, 1997; Marques *et al.*, 1998).

Τα πλεονεκτήματα της αναερόβιας χώνευσης είναι οι ελάχιστες απαιτήσεις σε ενέργεια, η μικρή απόδοση σε μικροβιακή μάζα και η συνεχής έκλυση αερίου μίγματος, το οποίο είναι ενεργειακά αξιοποιήσιμο. Ωστόσο, τα μειονεκτήματα είναι το υψηλό κόστος εγκατάστασης της μονάδας, ο μεγάλος χρόνος παραμονής του αποβλήτου στον αντιδραστήρα (με τελικά προϊόντα μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα), η πρόκληση δυσάρεστων και ανεπιθύμητων οσμών, η ανάγκη για προεπεξεργασία του αποβλήτου και τέλος η ανάγκη για επιπλέον επεξεργασία του τελικού υγρού προϊόντος.

◆ Μηχανικές μέθοδοι επεξεργασίας στερεών αποβλήτων

A) Συμπύεση

Κατά την συμπύεση, ο υγρός ελαιοπυρήνας και η στερεά φάση που προέρχεται από τα υγρά απόβλητα, συμπέζονται μέσω δίσκων (μεταλλικών ή υφασμάτων) για την παραγωγή ξηρού ελαιοπυρήνα ή ξηρών υπολειμμάτων και υγρών αποβλήτων. Τα στερεά απόβλητα καταβυθίζονται σε μια σχάρα. Ειδικά ξέστρα απομακρύνουν το υπόλειμμα από τους δίσκους και το μεταφέρουν σε ειδική χοάνη που καταλήγει στο θάλαμο συμπύεσης, όπου το υλικό υποβάλλεται σε συμπύεση μέσα σε έναν ειδικά διαμορφωμένο σωλήνα και αποβάλλεται σε πλαστικούς ή άλλους περιέκτες.

B) Ξήρανση

Για την ξήρανση των στερεών αποβλήτων ο απλούστερος τρόπος είναι η εξάτμιση της υγρής φάσης με διασπορά των αποβλήτων στο έδαφος. Η εφαρμογή της μεθόδου εμφανίζει προβλήματα όπως δυσσομία και πιθανότητα ρύπανσης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα εάν το έδαφος δεν είναι κατάλληλο και η υγρή φάση κινείται προς τα βαθύτερα στρώματα του εδάφους. Ύστερα από μελέτη χρησιμοποιήθηκε ξηραντήρας που συνδυάζει ρευστοποιημένη και κινούμενη κλίνη (fluidized/moving bed drier) για την ξήρανση της ελαιοζύμης από 2-φασικά ελαιοτριβεία (Aragón *et al.*, 1998b, 1998c). Το κυριότερο πρόβλημα της μεθόδου ήταν ο έλεγχος της κυκλοφορίας της ελαιοζύμης λόγω της μεγάλης περιεκτικότητας του σε υγρασία (μέχρι και 50–60% αρχική υγρασία) και του υψηλού ιξώδους, καθώς και του θερμού αέρα για τη δημιουργία του κατάλληλου μίγματος ροής μέσω της ρευστοποιημένης κλίνης για βέλτιστη ξήρανση. Κρίθηκε λοιπόν αναγκαίο, στο πρωτοποριακό αυτό σύστημα να πραγματοποιηθούν κάποιες βελτιώσεις. Τα αποτελέσματα έδειξαν καλύτερη κυκλοφορία του αποβλήτου σε ολόκληρο το σύστημα, καλύτερο έλεγχο της τροφοδοσίας από τη ζώνη κίνησης σε αυτήν της ρευστοποιημένης κλίνης και μικρότερη θερμοκρασιακή λειτουργία των ξηραντήρων (60 °C).

Το μεγαλύτερο μειονέκτημα των μεθόδων ξήρανσης, παραμένει η μεγάλη ενεργειακή απαίτηση. Το συγκεκριμένο μειονέκτημα όμως, μπορεί να εξαλειφθεί, αν το προϊόν που παράγεται μετά την ξήρανση, χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ενέργειας με την διεργασία της καύσης.

◆ Βιολογικές μέθοδοι επεξεργασίας στερεών αποβλήτων

Η διάθεση των αποβλήτων στο έδαφος υπό μορφή λιπάσματος, λάσπης ή άλλων αποβλήτων επεξεργασίας τροφίμων, είναι συχνά μια προσιτή εναλλακτική λύση διάθεσης αποβλήτων για τη βιομηχανία. Η μέθοδος αυτή εκμεταλλεύεται την περιεκτικότητα των αποβλήτων σε θρεπτικά συστατικά για την ανάπτυξη των καλλιεργειών, ενώ παράλληλα η ενσωμάτωσή τους στο έδαφος λειτουργεί και ως εδαφοβελτιωτικό. Ο αντικειμενικός σκοπός είναι η μεγιστοποίηση της θρεπτικής χρήσης τους, ελαχιστοποιώντας ταυτόχρονα τον κίνδυνο ρύπανσης. Οι πιο κοινές μέθοδοι εφαρμογής των στερεών αποβλήτων στο έδαφος είναι α) η διασπορά στην επιφάνεια του εδάφους και β) η ενσωμάτωση στο έδαφος (σε βάθος 10-25cm). Στα

μειονεκτήματα της μεθόδου περιλαμβάνεται η όξυνση των εδαφών και η μετάδοση ασθeneιών σε φυτά και ζώα (Brenes *et al.*, 1999).

A) Αερόβια μέθοδος

Κατά την *κομποστοποίηση*, τα στερεά απόβλητα τοποθετούνται σε σωρούς. Λόγω της έντονης βιολογικής δραστηριότητας των βακτηρίων κατά την πρώτη φάση αποικοδόμησης, λαμβάνουν χώρα εξώθερμες αντιδράσεις που οδηγούν σε αύξηση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του σωρού (70-80 °C), συμβάλλοντας παράλληλα στην παστερίωση των στερεών αποβλήτων. Για τη γρήγορη και πλήρη αποικοδόμηση της οργανικής ουσίας θα πρέπει να εξασφαλιστεί ενεργητικός ή παθητικός αερισμός του σωρού. Η διαδικασία κομποστοποίησης ολοκληρώνεται μετά από περίοδο 3-4 μηνών.

B) Αναερόβια μέθοδος

Η *αναερόβια χώνευση* των στερεών αποβλήτων είναι μια διαδικασία που παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τη διαχείριση των αποβλήτων και αποτελεί μια ευρέως εφαρμοσμένη τεχνολογία (Mata-Alvarez *et al.*, 2000). Μια τεχνολογική λύση είναι η ρύθμιση της υδατοπεριεκτικότητας των αποβλήτων σε 90% τουλάχιστον (υγρή ζύμωση) και η επεξεργασία τους σε μικτό βιολογικό αντιδραστήρα (που χρησιμοποιείται επίσης και για τα υγρά απόβλητα). Η δεύτερη λύση είναι η επεξεργασία των αποβλήτων, με περιεκτικότητα νερού 60–70%, σε βιο-αντιδραστήρα σταθερής κλίνης.

Το πρώτο στάδιο στην αναερόβια επεξεργασία είναι η οξίνιση, όπου λαμβάνει χώρα υδρόλυση των οργανικών ουσιών. Το δεύτερο στάδιο που είναι αυστηρά αναερόβιο είναι ο σχηματισμός του μεθανίου. Υπάρχουν διαφορετικές τεχνολογικές προσεγγίσεις: τα δύο στάδια μπορεί να πραγματοποιηθούν σε έναν αντιδραστήρα (διαδικασία ενός σταδίου, *one step process*) ή σε δύο χωριστούς αντιδραστήρες (διαδικασία δύο σταδίων, *two step process*). Ποσοστό 40-50% περίπου της οργανικής ουσίας μετατρέπεται σε βιοαέριο, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας. Το κύριο μειονέκτημα είναι η παραγωγή λάσπης (ιλύος) χαμηλής αξίας (Brenes *et al.*, 1999).

Η ζύμωση στερεών υποπροϊόντων (*solid state fermentation*) είναι μια επεξεργασία κατά την οποία ο ελαιοπυρήνας χρησιμοποιείται ως υπόστρωμα για την ανάπτυξη διάφορων μικροοργανισμών (μύκητες, ζύμες και βακτήρια). Δυστυχώς, η αναερόβια επεξεργασία δεν είναι η καταλληλότερη μέθοδος για τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων των ελαιοτριβείων. Αυτό οφείλεται στη χαμηλή περιεκτικότητα

νερού των στερεών αποβλήτων που προκαλεί προβλήματα κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας, ιδιαίτερα προβλήματα αποφράξεων. Ένας άλλος λόγος είναι το μεγάλο χρονικό διάστημα που απαιτείται για την έναρξη της διαδικασίας (starting-up time), ιδιαίτερα μετά από μια μεγάλη περίοδο παύσης λειτουργίας της μονάδας. Επιπλέον, η μέθοδος απαιτεί περαιτέρω προ-επεξεργασία, όπως προσθήκη ύδατος, που οδηγεί σε αύξηση των λειτουργικών δαπανών. Η εμπειρία από το παρελθόν δείχνει ότι η αναερόβια ζύμωση/χώνευση είναι μη οικονομικά συμφέρουσα μέθοδος επεξεργασίας (Aragon *et al.*, 2000).

◆ **Θερμικές μέθοδοι επεξεργασίας στερεών αποβλήτων**

Η θερμική επεξεργασία των στερεών αποβλήτων ελαιοτριβείων, χρησιμοποιείται για την ελάττωση του όγκου τους και για την παραγωγή ενέργειας. Κατά τη θερμική επεξεργασία, λαμβάνει χώρα μετατροπή των στερεών αποβλήτων σε αέρια, υγρά και στερεά προϊόντα, που συνοδεύεται από έκλυση ενέργειας (θερμότητας). Διακρίνονται τρία είδη θερμικής επεξεργασίας:

- 1) Πυρόλυση, όπου είναι η θερμική επεξεργασία με πλήρη απουσία οξυγόνου
- 2) Καύση με α) στοιχειομετρική ποσότητα οξυγόνου ή
β) με περίσσεια οξυγόνου

3) Αεριοποίηση, όπου γίνεται η μετατροπή των στερεών αποβλήτων σε αέριο και είναι η καύση με ποσότητα οξυγόνου χαμηλότερη της στοιχειομετρικής. Κατά τη διεργασία αυτή, παράγεται καύσιμο αέριο που περιέχει CO, H₂ και υδρογονάνθρακες.

A) Πυρόλυση

Η μέθοδος της πυρόλυσης, είναι ουσιαστικά η θερμική διάσπαση σε πλήρη απουσία οξυγόνου ενός σύνθετου οργανικού υλικού (χημικής ένωσης) σε επί μέρους πτητικά έρη. Περιλαμβάνει τη θέρμανση απουσίας οξυγόνου ή την καύση με περιορισμένη παροχή οξυγόνου και οδηγεί στην παραγωγή ενός αέριου μίγματος υδρογονανθράκων, ενός στερεού υπολείμματος μεγάλης περιεκτικότητας σε άνθρακα και ενός ελαιώδους υγρού. Αυτή η διαδικασία αν και εφαρμόζεται σπάνια, τα απόβλητα με υψηλή θερμιδική αξία που μπορούν να απελευθερώσουν μεγάλο ποσό θερμότητας είναι τα πιο κατάλληλα για αυτήν την μέθοδο.

Σε αντίθεση με τις διεργασίες της καύσης ή της αεριοποίησης που είναι ιδιαίτερα εξώθερμες, η πυρόλυση είναι ενδόθερμη διεργασία και απαιτεί εξωτερική

πηγή θερμότητας. Για αυτό το λόγο πολλές φορές αναφέρεται στη βιβλιογραφία και ως καταστρεπτική απόσταξη (destructive distillation).

Με τη μέθοδο της πυρόλυσης επιτυγχάνεται ελάττωση του όγκου και του βάρους του διατιθέμενου ελαιοπυρήνα, παραγωγή καύσιμης ύλης αλλά και μετατροπή αυτών σε τελικά προϊόντα που διατιθέμενα σωστά δεν ρυπαίνουν το περιβάλλον. Όμως η τεχνική της πυρόλυσης είναι μια σχετικά νέα, αρκετά υποσχόμενη μέθοδος που όμως από τεχνολογικής απόψεως έχει ακόμα σημαντικά μειονεκτήματα όπως είναι η δημιουργία υγρών και στερεών υπολειμμάτων καθώς επίσης και μεγάλες ποσότητες συμπυκνωμένου νερού που απαιτεί περαιτέρω διαχείριση (Brenes *et al.*, 1999).

B) Καύση/Αποτέφρωση

Είναι η πιο γνωστή και ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος. Περιλαμβάνει μια σειρά οξειδωτικών αντιδράσεων σε τρεις φάσεις οι οποίες εναλλάσσονται καθώς αυξάνει η θερμοκρασία. Οι φάσεις αυτές αποτελούνται από την ξήρανση, την καύση των αερίων και την καύση των στερεών.

Αυτή η διεργασία εφαρμόζεται με χρήση ελαιοπυρήνα από διφασικά και τριφασικά ελαιοτριβεία, καθώς και πυρηνόξυλου. Αντιθέτως, η χρήση κατσίγαρου είναι πιο σπάνια. Τα απόβλητα μπορεί να καούν σε ελεγχόμενες εγκαταστάσεις αποτέφρωσης αποβλήτων ή σε λιγότερο ελεγχόμενους φούρνους καύσης.

Τα απόβλητα χρησιμοποιούνται ως καύσιμο υλικό, από το οποίο μπορεί να ανακτηθεί θερμότητα για την παραγωγή θερμικής ή ηλεκτρικής ενέργειας. Έτσι, από 1 τόνο επεξεργασμένων αποβλήτων ελιών μπορεί να παραχθούν 400.000 kcal (≈ 465 kWh) (Anonymous, 2004). Αυτή η μέθοδος επεξεργασίας εφαρμόζεται σε πάρα πολλά ελαιοτριβεία, λόγω της υψηλής θερμογόνου δύναμης του στερεού αποβλήτου (400 kcal/kg), παρόλο που το συνολικό ενεργειακό κέρδος είναι χαμηλό, αφού ένα μέρος της παραγόμενης ενέργειας από την καύση χρησιμοποιείται για τη ξήρανση του στερεού αποβλήτου (Azbar *et al.*, 2004; Roig *et al.*, 2006). Τα προϊόντα της διαδικασίας καύσης είναι: α) Απεαέρια β) Ανόργανη τέφρα γ) Υγρά απόβλητα και δ) Θερμότητα.

Η μέθοδος της αποτέφρωσης υπόκειται σε αυστηρή περιβαλλοντική νομοθεσία. Η Οδηγία 2000/76 για την αποτέφρωση των αποβλήτων τέθηκε σε ισχύ για να εμποδίσει ή να περιορίσει όσο το δυνατό περισσότερο τις αρνητικές συνέπειες στο περιβάλλον, με έμφαση στη ρύπανση του αέρα, του εδάφους, των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων, με τους επακόλουθους κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία. Ο στόχος αυτός θα επιτευχθεί με τη θέσπιση οριακών τιμών εκπομπής για τις εγκαταστάσεις αποτέφρωσης και συν-αποτέφρωσης (co-incineration/co-firing) αποβλήτων εντός της

Κοινότητας και επίσης μέσω της εφαρμογής της Οδηγίας 75/442/ΕΟΚ που καλύπτει τις εγκαταστάσεις αποτέφρωσης και συν-αποτέφρωσης (Οδηγία 2000/76/ΕΚ).

Γ) Αεριοποίηση

Ο όρος αεριοποίηση, συνήθως περιγράφει τη διαδικασία μετατροπής του στοιχειακού άνθρακα, μιας τροφοδοσίας, σε αέριο φορέα ενέργειας δια μέσου της πυρόλυσης και ελεγχόμενης οξείδωσης των προϊόντων της πυρόλυσης σε υψηλή θερμοκρασία. Η οξείδωση των προϊόντων της πυρόλυσης επιτυγχάνεται με οξυγόνο, αέρα, υδρατμό, ή ένα μείγμα αυτών. Λόγω της μεγάλης ιδιαιτερότητας και ανομοιομορφίας της βιομάζας, είναι διαθέσιμοι, διάφοροι δόκιμοι μέθοδοι αεριοποίησης (down draft, up draft, bubbling fluid bed, circulating fluid bed, risers, twin fluid bed, κλπ) (Taralas *et al.*, 2003).

Η μέθοδος αυτή της αεριοποίησης, είναι μια από τις νέες διεργασίες στον τομέα της επεξεργασίας των στερεών αποβλήτων και χρησιμοποιείται σαν εναλλακτική λύση για την αποφυγή των τοξικών αέριων εκπομπών και στερεών καταλοίπων που παράγονται από τη στοιχειομετρική καύση.

1.6. Αξιοποίηση των αποβλήτων ελαιουργίας. (Παραγωγή διάφορων προϊόντων και οι εφαρμογές τους ως παραπροϊόντα ελαιουργίας)

Τα τελευταία χρόνια, το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας έχει επικεντρωθεί, στην επαναχρησιμοποίηση συστατικών αγροτοβιομηχανικών αποβλήτων ή και την εξαγωγή από αυτά, πολυτίμων συστατικών, τα οποία έχουν σημαντικές εφαρμογές σε πολλές ανθρωπογενείς δραστηριότητες.

Οι εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή του ελαιόλαδου, όπως προαναφέρθηκε, παράγουν μεγάλες ποσότητες υγρών και στερεών αποβλήτων οι οποίες προκαλούν πολύ μεγάλα προβλήματα σε περιβαλλοντικό επίπεδο. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας, υπάρχουν πλέον πολλές εφαρμογές για επαναχρησιμοποίηση των υγρών και στερεών αποβλήτων, κάποιες από τις οποίες ήδη εφαρμόζονται και κάποιες είναι ακόμη σε πιλοτικό ή εργαστηριακό επίπεδο οι οποίες όμως δεν παύουν να είναι πολλά υποσχόμενες, προκαλώντας ενδιαφέρον για την καινοτομία τους. Στις παρακάτω ενότητες, γίνεται αναφορά σε μερικές από αυτές τις εφαρμογές.

• Για ζωοτροφή

Η χρήση ελαιοπυρήνας για ζωοτροφή, εξαρτάται άμεσα εάν αυτή προέρχεται από διφασικά ή τριφασικά ελαιοτριβεία και από το εάν είναι επεξεργασμένη, αφαιρώντας το υγρό περιεχόμενό της ή αν είναι ακατέργαστη. Η αποξηραμένη ελαιοπυρήνα που προκύπτει από τα τριφασικά φυγοκεντρικά συστήματα, περιέχει χαμηλή ποσότητα σε πρωτεΐνες (5.5%) και συνεπώς αποτελεί ζωοτροφή χαμηλής διατροφικής αξίας (Harb, 1986). Επιπλέον η υψηλή ποσότητα σε φυσικές ίνες (58%), σε κάλιο και φαινολικές ενώσεις, αποτελούν σημαντικά μειονεκτήματα της χρήσης ελαιοπυρήνας σαν ζωοτροφή, προκαλώντας δυσανεξία και συμπτώματα διάρροιας στους ζωικούς οργανισμούς. Όμως σε πειράματα που έγινε ανάμιξη σε ποσοστό 0,3 και 6% ελαιοπυρήνας με συμβατική τροφή για ανάπτυξη κουνελιών, δεν παρατηρήθηκαν πεπτικές δυσκολίες και καμία αλλαγή στην ποιότητα του παραγόμενου κρέατος και στην ανάπτυξη των ζώων (Carraro *et al.*, 2005).

Έχει επίσης προταθεί η επεξεργασία με καυστικό νάτριο (NaOH) σαν μια προσπάθεια να γίνει η ελαιοπυρήνα περισσότερο εύπεπτη (Nefzaoui *et al.*, 1983) και η προσθήκη άνυδρης αμμωνίας σε μίγμα ακατέργαστης ελαιοπυρήνας και μελάσσας (απόβλητο που προκύπτει από την επεξεργασία της ζάχαρης) και η μετέπειτα αποθήκευσή τους σε δεξαμενές από κοντέινερ πολυβινυλοχλωριδίου (PVC). Η τελευταία μέθοδος, βελτίωσε την θρεπτική αξία της ελαιοπυρήνας, βελτιώνοντας το περιεχόμενό της σε άζωτο (Martillotti, 1983). Στην βιβλιογραφία, η αφαίρεση μέρους των κουκουτσιών που περιέχεται στην ελαιοπυρήνα, αναφέρεται ως η πιο οικονομική λύση για την μετατροπή της ελαιοπυρήνας σε μια πιο εύπεπτη και πλούσια τροφή σε ότι αφορά το πρωτεϊνικό και οργανικό περιεχόμενό της.

• Για λίπασμα

Τα υγρά απόβλητα ελαιοτριβείων, είναι πλούσια σε οργανικό περιεχόμενο, περιέχουν σημαντικές ποσότητες θρεπτικών συστατικών, μετάλλων (3.5-11 g/K₂O, 0.06-2 g/P₂O₅, 0.15-0.5 g/MgO) και ιχνοστοιχείων. Αυτά τα χαρακτηριστικά των OMW, τα καθιστούν κατάλληλα για χρήση τους σαν λιπάσματα, κυρίως στις Μεσογειακές χώρες, αποτελώντας παράλληλα μια οικονομική πηγή ύδατος.

Η χρήση όμως των Υ.Α.Ε. σαν λίπασμα, έχει προκαλέσει ποικίλες αντιδράσεις. Πολλές μελέτες αναφέρουν την παρουσία φυτοτοξικών φαινομένων σε περιπτώσεις όπου η άμεση εφαρμογή στο έδαφος γίνει με Υ.Α.Ε. που δεν έχει πρώτα υποστεί επεξεργασία (Pérez *et al.*, 1992). Η τοξικότητα των υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων, οφείλεται κυρίως στις υψηλές συγκεντρώσεις μεταλλικών αλάτων, στα χαμηλά επίπεδα

pH και στην παρουσία φυτοτοξικών συστατικών όπως οι φαινόλες. Ένα άλλο μειονέκτημα της άμεσης προσθήκης Υ.Α.Ε. σαν λίπασμα, είναι ότι προκαλεί διατροφικές αστάθειες, αφού επηρεάζει τον κύκλο αζώτου στο έδαφος λόγω του υψηλού λόγου C/N που περιέχει (Thompson and Nogales, 1999).

Στην βιβλιογραφία, αναφέρεται η κομποστοποίηση Υ.Α.Ε. (7% στερεά) με άχυρα από σιτάρι, σε στατικούς αεριζόμενους σωρούς. Στο μίγμα, για την βελτιστοποίηση του λόγου C/N προστίθεται ουρία σε ποσοστό 2%. Έπειτα από περίοδο 2 μηνών, το παραγόμενο κομποστ, δεν παρουσίασε φυτοτοξικά φαινόμενα, ενώ παράλληλα τα ικανοποιητικά χημικά και φυσικά χαρακτηριστικά του, το καθιστούν κατάλληλο για χρήση του ως λίπασμα (Tomati, 1995).

Συγκριτικά πειράματα για την χρήση Υ.Α.Ε. τα οποία δεν έχουν υποστεί επεξεργασία, διεξήχθησαν για την εφαρμογή τους στο έδαφος και στην ανάπτυξη φυτών γένους *lolium* στη Νότια Ιταλία. Τα αποτελέσματα έδειξαν σημαντική αύξηση στην ανάπτυξη των φυτών κατά 18.2% για το πρώτο έτος και 41.2% για το δεύτερο, καταδεικνύοντας τη χρήση υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων σαν κατάλληλο ενισχυτικό οργανικό λίπασμα (Montemurro *et al.*, 2004).

❖ Ως εδαφοβελτιωτικό (κομποστοποιημένο πυρηνόξυλο και υγρά απόβλητα ελαιοτριβείου)

Η Ελλάδα εισάγει κάθε χρόνο περίπου 2.000 τόνους κομπόστας αξίας \$300.0000. Το εισαγόμενο compost είναι το 15% περίπου της Ελληνικής αγοράς.

Το κόστος της κομποστοποίησης φυτικών υπολειμμάτων είναι χαμηλότερο από το κόστος που απαιτείται να οδεύσουν σε ένα χώρο υγειονομικής ταφής (Χ.Υ.ΤΑ), ενώ η Ελλάδα είναι υποχρεωμένη κάθε χρόνο να μειώνει τα οργανικά απόβλητα που οδεύουν σε Χ.Υ.ΤΑ στο 35% των ποσοτήτων του '96. Η μείωση αυτή αντιστοιχεί στο 25% στην επόμενη δετία.

Τα ανόργανα λιπάσματα μειώνονται παγκοσμίως (πλην των χωρών του τρίτου κόσμου) κατά 8% κάθε χρόνο. Σε ορισμένες χώρες (ΗΠΑ, Καναδά) η μείωση αυτή φτάνει το 25% τον χρόνο. Μέχρι το 2050 το 30% της σημερινής παγκόσμιας κατανάλωσης λιπασμάτων θα αντικατασταθεί με compost (ακόμα και στις εκτατικές καλλιέργειες την επόμενη δετία).

Ύστερα από μία μελέτη που διεξήχθη από τον Ισραηλίδη Κωνσταντίνο περιγράφεται η κομποστοποίηση των υγρών αποβλήτων ελαιουργείων μετά την επεξεργασία FENTON με το πυρηνόξυλο. Κατά τη κομποστοποίηση το πυρηνόξυλο

αποσυντίθεται μέσω εξώθερμων αντιδράσεων στην θερμόφιλη περιοχή, ενώ η απώλεια της υγρασίας αντικαθίσταται με την προσθήκη υγρών αποβλήτων με σκοπό τη διατήρηση επιθυμητών επιπέδων υγρασίας.

Μετά από ανάμιξη πυρηνόξυλου με υγρά απόβλητα ελαιουργείου (κατσιγάρο) παράχθηκε βελτιωτικό εδάφους και λίπασμα με αερόβια ζύμωση (κομποστοποίηση). Το τελικό προϊόν βρέθηκε ότι ήταν απαλλαγμένο από βαρέα μέταλλα και αφλατοξίνες.

Η φυτοτοξικότητα του πυρηνόξυλου ζυμωμένου και μη, προσδιορίστηκε με τη χρήση σπόρων μαρουλιού (Zucconi *et al.*, 1981). Ο δείκτης βλαστικότητας σε σπόρους μαρουλιού, έφθασε σε επίπεδα άνω του 150 δείχνοντας εξαφάνιση της φυτοτοξικότητας και εμφάνιση φυτοδιέγερσης. Αρχικά πειράματα με φυτά εντατικής και μη καλλιέργειας, έδειξαν ότι το κομποστοποιημένο υλικό, όταν αναμειχθηκε με το χώμα σε συγκεκριμένες αναλογίες, ήταν πολύ καλό εδαφοβελτιωτικό και λίπασμα.

Με δεδομένη την αυξητική τάση του μεγέθους της αγοράς compost στην Ελλάδα (1.200.000 τόνους το 2000 και πρόβλεψη 500.000 τόνους για το 2010) χωρίς να περιλαμβάνονται οι προερχόμενες από τα αστικά απόβλητα, γίνεται φανερό πως το μέλλον των εδαφοβελτιωτικών τύπου κομπόστας στην Ελλάδα είναι πλέον αισιόδοξο.

Η κομπόστα που παράγεται από την αερόβια ζύμωση του πυρηνόξυλου με υγρά απόβλητα ελαιουργείων, αποτελεί ένα φυσικό προϊόν με εν δυνάμει μεγάλη εμπορευσιμότητα ενώ ταυτόχρονα συμβάλει στην οριστική λύση του προβλήματος διάθεσης και διαχείρισης των παραπροϊόντων και αποβλήτων των ελαιουργείων, με προφανές όφελος στην ιδιωτική και εθνική οικονομία (Ισραηλίδης, 2012).

• Για καλλιέργεια εδώδιμων μανιταριών

Η καλλιέργεια των εδώδιμων μανιταριών είναι μια διαδικασία ελεγχόμενης μετατροπής λιγνοκυτταρινούχων υλικών σε προϊόντα υψηλής προστιθέμενης αξίας.

Το γεγονός ότι οι μύκητες του γένους *Pleurotus* αναπτύσσονται σε υποστρώματα που περιέχουν Υ.Α.Ε., οδήγησε στη μελέτη της διάθεσης αυτών για την καλλιέργεια εδώδιμων μανιταριών. Κατά την ανάπτυξη των μανιταριών αυτών προκαλείται μείωση του φαινολικού φορτίου και της τοξικότητας των Υ.Α.Ε., συμβάλλοντας στην αύξηση της απόδοσης παραγωγής εδώδιμων μανιταριών και στη καλύτερη διαχείριση των αποβλήτων αυτών. Η μυκηλιακή βιομάζα στα υγρά απόβλητα στοχεύει και στην παραγωγή μικροβιακής πρωτεΐνης ή και εδαφοβελτιωτικού (Zervakis *et al.*, 1996).

- **Για παραγωγή πρώτων υλών**

Ορισμένα συστατικά που παράγονται από τον κασίγαρο μπορούν να χρησιμοποιηθούν στον εμβολιασμό μειγμάτων ζωοτροφών για πουλερικά, γαλακτωματοποιητές και διάφορες ουσίες (Μπαλατσούρας, 1997).

- ❖ **Παραγωγή πυρηνόξυλου και πυρηνέλαιου και η εφαρμογή τους**

Τα πυρηνελαιουργεία είναι βιομηχανικές μονάδες που επεξεργάζονται τον ελαιοπυρήνα και παράγουν διάφορα προϊόντα όπως πυρηνέλαιο και πυρηνόξυλο. Υπάρχουν δύο βασικά στάδια παραγωγής του πυρηνέλαιου: Η διαδικασία ξήρανσης και η διαδικασία απόσταξης. Κατά τη διαδικασία ξήρανσης, ο ελαιοπυρήνας προωθείται σε μεγάλα οριζόντια κυλινδρικά ξηραντήρια, που θερμαίνονται και περιστρέφονται μέχρι η υγρασία του ελαιοπυρήνα να μειωθεί στο 10-12%. Οι θερμοκρασίες που χρησιμοποιούν τα ξηραντήρια, ανάλογα με την υγρασία και το φόρτο της δουλειάς τους, είναι πάνω από 400 °C κατά την είσοδο του ελαιοπυρήνα και καταλήγουν γύρω στους 80 °C στην έξοδο. Με τον τρόπο αυτόν εξατμίζεται η μεγάλη ποσότητα νερού που περιέχει, γεγονός που καθιστά δυνατή την αφαίρεση του λαδιού. Η απόσταξη του πυρηνέλαιου είναι μια διεργασία όμοια με την παραγωγή των περισσότερων σπορέλαιων. Χρησιμοποιείται το καθαρό εξάνιο (C₆H₁₄) ως διαλυτικό, το οποίο στην κυριολεξία "ξεπλένει" το λάδι μέσα από τον ελαιοπυρήνα. Το μίγμα λαδιού-εξανίου προωθείται έπειτα σε ειδικές δεξαμενές απόσταξης, όπου τα δύο συστατικά διαχωρίζονται τελείως. Μετά από αυτό το στάδιο το πυρηνέλαιο είναι έτοιμο προς αποθήκευση. Το προϊόν αυτό έχει σκούρο πράσινο ή καστανό χρώμα και χρησιμοποιείται κυρίως στη σαπωνοποιία, καθώς και για βρώση μετά από ειδική κατεργασία (ραφινάρισμα) (Βουρδουμπάς και Αντωνάκης, 2008).

Το πυρηνόξυλο είναι ένα παραπροϊόν των βιομηχανιών πυρηνέλαιου. Από 100 kg ελιάς παράγονται 20-25 kg στερεό υπόλειμμα μετά το ελαιόλαδο, 37-40 kg ελαιοπυρήνα, 5 kg φύλλα και 40-44 kg υγρών αποβλήτων. Το πυρηνόξυλο είναι το στερεό υπόλειμμα μετά την εξαγωγή πυρηνέλαιου (Ισραηλίδης, 2012). Ορισμένα πυρηνελαιουργεία διαθέτουν μονάδες διαχωρισμού του πυρηνόξυλου σε δύο τμήματα, το ένα το πλούσιο σε κυτταρίνες και το άλλο πλούσιο σε πρωτεΐνες το οποίο χρησιμοποιείται στη βιομηχανία ζωοτροφών.

Το πυρηνόξυλο αποτελεί έναν σημαντικό ενεργειακό πόρο όχι μόνο για τη Κρήτη αλλά και για όλα τα μέρη που καλλιεργείται η ελιά. Στο πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 4) φαίνονται οι πλουσιότεροι Νομοί της Ελλάδος σε παραγωγή πυρηνόξυλου (Βουρδουμπάς και Αντωνάκης, 2008).

Πίνακας 4. Ετήσια παραγωγή πυρηνόξυλου στην Ελλάδα

ΝΟΜΟΣ	ΠΥΡΗΝΟΞΥΛΟ (Τόνοι/ έτος)
Ηράκλειο	46.766
Μεσσηνία	46.766
Χανιά	32.110
Ηλεία	24.147
Λέσβος	24.048
Λακωνία	23.470
Αχαΐα	18.185
Κέρκυρα	17.558
Εύβοια	16.343
Λασιθί	16.272

Πηγή: (Βουρδουμπάς και Αντωνάκης, 2008)

Συνοψίζοντας από τα προαναφερθέντα διαπιστώνουμε ότι το πυρηνόξυλο αποτελεί ένα σημαντικό ενεργειακό πόρο για όλα τα μέρη που καλλιεργείται η ελιά και η σωστή αξιοποίηση του μπορεί να συμβάλλει στην ενεργειακή επάρκεια και τη μείωση της χρήσης των συμβατικών καυσίμων. Σήμερα το πυρηνόξυλο χρησιμοποιείται στη Κρήτη για παραγωγή θερμότητας σε βιομηχανίες, βιοτεχνίες, κτίρια και θερμοκήπια.

1.7. Πρόγραμμα προστασίας και αποκατάστασης των εδαφών από διάθεση αποβλήτων ελαιοτριβείων

Τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει σε ευρωπαϊκό επίπεδο πολλές προσπάθειες προκειμένου να αναπτυχθούν συστήματα διαχειρίσεις των αποβλήτων της ελαιοπαραγωγικής διαδικασίας σε επίπεδο παραγωγής μονάδων και συνεταιρισμών. Πολλές από τις προσπάθειες αυτές, επί το πλείστον επιτυχημένες, έχουν την χρηματοδότηση της Ευρωπαϊκής Ένωσης και έχουν κυρίως αναπτύξει συστήματα κατεργασίας των αποβλήτων με σκοπό την ανάκτηση των φαινολικών ενώσεων και τη χρήση τους σε άλλους παραγωγικούς τομείς, την ελάττωση του συνολικού οργανικού φορτίου και την παραγωγή εδαφοβελτιωτικών. Τα επιτεύγματα έχουν εφαρμοστεί πειραματικά σε ελαιουργεία με πολύ καλά αποτελέσματα, αλλά η αποδοχή τους από

τον παραγωγικό κλάδο δεν είναι η αναμενόμενη κυρίως λόγω της έλλειψης νομοθετικού πλαισίου και του κόστους τους, το οποίο ακόμα και στην περίπτωση που αυτό δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλο, σίγουρα είναι μικρότερο από την απλή, ανέξοδη διάθεση των αποβλήτων σε δεξαμενές ή σε φυσικούς αποδέκτες.

Επικρατεί βέβαια η άποψη, ότι αν εξαιρεθούν οι τοξικές φαινόλες, τα απόβλητα μπορεί και να έχουν θετική επίδραση στο έδαφος καθώς περιέχουν οργανικά και ανόργανα συστατικά και συνεπώς θα μπορούσαν να βελτιώσουν τη γονιμότητα του εδάφους. Αν και η άποψη αυτή έχει πρακτικά εφαρμοστεί στην άρδευση κάποιων, δενδρωδών κυρίως καλλιεργειών, δεν έχει εμβαθύνει στο λεπτομερή προσδιορισμό των μακροχρόνιων επιπτώσεων που έχει η διάθεση των αποβλήτων στα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του εδάφους.

Το ευρωπαϊκό έργο LIFE 07 ENV/GR/00280 «PROSODOL», έχει ως βασικούς στόχους τη μελέτη των επιπτώσεων της διάθεσης των αποβλήτων ελαιοκομίας στις φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους, την εφαρμογή μεθόδου αποκατάστασης της ποιότητας του εδάφους. Στο πλαίσιο αυτό, αναπτύχθηκε κατάλληλα και εφαρμόστηκε η μέθοδος της βιοαποκατάστασης (στην πιλοτική περιοχή του Ρέθυμνου) στην οποία πραγματοποιείται επιφανειακή διάθεση αποβλήτων για 10 χρόνια. Η μέθοδος βασίζεται στην αποδόμηση του οργανικού φορτίου των αποβλήτων που διατίθενται στο έδαφος με υποβοήθηση της φυσιολογικής λειτουργίας της πανίδας του εδάφους, την διάσπαση και αφομοίωση δηλαδή των οργανικών ρύπων. Έχοντας προσδιορίσει, με σειρά πειραμάτων στο εργαστήριο των Ισπανών εταίρων του έργου, ότι το εδαφικό σύστημα διαθέτει τους απαιτούμενους μικροοργανισμούς, ικανούς να διασπάσουν τις πολυφαινολικές ενώσεις, προσδιορίστηκαν στη συνέχεια οι απαιτούμενες συνθήκες αερισμού, υγρασίας και προσθήκης ή μη θρεπτικών συστατικών έτσι ώστε να βελτιστοποιηθούν οι συνθήκες δράσης των μικροοργανισμών. Η εφαρμογή της μεθοδολογίας για έξι περίπου μήνες οδήγησε σε μείωση των πολυφαινολικών ενώσεων κατά 72% καθώς και σε σημαντική μείωση της περιεκτικότητας του εδάφους σε άζωτο, φώσφορο, κάλιο, διαθέσιμο σίδηρο και μαγγάνιο.

Πρόκειται να ολοκληρωθεί η μελέτη εφαρμογής και καταλληλότητας του φυσικού ζεόλιθου κλινοπτιλόλιθου, σε εδάφη που δέχονται επιφανειακή διάθεση αποβλήτων. Ο φυσικός ζεόλιθος, κλινοπτινόλιθος είναι ένα ορυκτό, κοιτάσματα του οποίου υπάρχουν σε πολλά μέρη του κόσμου καθώς και στην Ελλάδα (Μεταξάδες Βορείου Ελλάδας). Το ορυκτό, εξαιτίας των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών του, έχει δοκιμαστεί και εφαρμοστεί σε πλήθος περιβαλλοντικών εφαρμογών. Μία από αυτές

είναι και η προσθήκη του στο έδαφος για αύξηση της γονιμότητας, δέσμευση βαρέων μετάλλων και άλλων επιβλαβών ουσιών, βελτίωση του αερισμού κ.ά.

Στο έργο PROSODOL τα μέχρι τώρα αποτελέσματα καταδεικνύουν ότι η προσθήκη του κλινοπτιλόλιθου στο έδαφος υποβοηθά τη συγκράτηση φαινολικών ενώσεων αλλά και ανόργανων συστατικών, μαγνησίου και κυρίως του καλίου, με αποτέλεσμα την ελάττωση της διαφυγής προς το υπέδαφος και τον υδροφόρο ορίζοντα. Η συγκράτηση επιτυγχάνεται εξαιτίας της ιδιότητας του κλινοπτιλόλιθου να δεσμεύει κατιόντα και κάποια οργανικά μόρια σε θέσεις του πλέγματός του και να τα καθιστά έτσι δυσκολότερα διαθέσιμα ή εκχυλίσμα. Να σημειωθεί ότι η δράση του δεν αναστέλλει την έκλυση των κατιόντων, επηρεάζει όμως το ρυθμό απελευθέρωσής τους, ο οποίος καθορίζεται από τις επικρατούσες κάθε φορά εδαφικές συνθήκες και πραγματοποιείται με αργότερο ρυθμό.

Η εφαρμογή του στο έδαφος είναι ιδιαίτερα οικονομική, εύκολη και γρήγορη, καθώς το μόνο που απαιτείται είναι στρώσιμο του υλικού επιφανειακά και ανακάτεμα του εδάφους μέχρι 25 εκ.

Σε εξέλιξη βρίσκεται επίσης πειραματισμός συνκομποστοποίησης των αποβλήτων με κλινοπτιλόλιθο και άλλα υλικά τα οποία είναι διαθέσιμα στην πιλοτική περιοχή (κοπριά, άχυρα, ελαιόφυλλα). Ιδιαίτερα σημαντικά αποτελέσματα αναμένονται επίσης από τον πειραματικό ο οποίος έχει ήδη εγκατασταθεί και περιλαμβάνει την διάθεση στο έδαφος αποβλήτων, τα οποία έχουν προηγουμένως κατεργαστεί με την μέθοδο την οποία ανέπτυξε το Πολυτεχνείο Κρήτης στο πλαίσιο του «PROSODOL» και η οποία περιλαμβάνει την ανάμιξη των αποβλήτων με κατσικίσια κοπριά, μέθοδος που οδηγεί στην ελάττωση της συγκέντρωσης των φαινολικών ενώσεων έως και 90%. (Ντούλα κ.ά., 2012).

◆ Πρόγραμμα ήδη σε λειτουργία

Ένα πρόγραμμα που εφαρμόζεται τα τελευταία χρόνια είναι της επειχίρησης BIOTEV, εφευρέτης του οποίου είναι ο Τιμολέων Ε. Βενετσιάνος. Η BIOTEV εφαρμόζει την ολοκληρωμένη διαχείριση οργανικών υπολειμμάτων, για τη δραστηριότητα προσωρινής αποθήκευσης και αξιοποίησης μη επικινδύνων στερεών αποβλήτων που προκύπτουν κυρίως από τη λειτουργία βιοτεχνιών μεταποίησης γεωργικών-κτηνοτροφικών προϊόντων του συγκροτήματος της Ένωσης Αγροτικών Συνεταιρισμών Πάρου (Ελαιοτριβείου, Τυροκομείου και Οινοποιείου). Σκοπός αυτού του προγράμματος είναι η παραγωγή προϊόντων στο πλαίσιο της αειφόρου ανάπτυξης,

με στόχο την συμβολή στη επίλυση του προβλήματος της οικονομικής και κλιματικής κρίσης.

Το εφαρμοζόμενο πρόγραμμα παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον στην αντιμετώπιση και στην εξάλειψη της ατελής διαχείρισης υγρών και στερεών αποβλήτων που μέχρι τώρα γίνεται στους βιολογικούς καθαρισμούς (Δ.Ε.Υ.Α) και τους Χ.Υ.ΤΑ. Η εφαρμογή της πρότασης ΒΙΟΤΕΥ καταργεί την ατμοσφαιρική ρύπανση που προκύπτει από Δ.Ε.Υ.Α και τους Χ.Υ.ΤΑ ενώ παράλληλα αξιοποιεί πλήρως την εναπομένουσα λυματολάσπη και τα στραγγίσματα των χώρων υγειονομικής ταφής. Όλα αυτά γίνονται χωρίς ατελείς καύσεις, χωρίς κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και χωρίς μεγάλες πάγιες κτηριακές και μηχανολογικές εγκαταστάσεις.

Ειδικότερα η υλοποίηση του προγράμματος περιλαμβάνει τη συλλογή, ταξινόμηση, κατεργασία και μεταποίηση:

- ▶ Των υγρών εκχυλισμάτων-αποβλήτων ελαίων και ελαιολάδου (κατσίγαρος) από όλους τους τύπους ελαιοτριβείων (τριών φάσεων, δύο φάσεων και παραδοσιακά.
- ▶ Των υγρών αποβλήτων τυροκομείων
- ▶ Των υπολειμμάτων οινοποιείων (οινολάσπη, στέμφυλα κλπ.
- ▶ Των γεωργικών υποπροϊόντων που προκύπτουν από τις αγροτικές και αστικές δραστηριότητες των πολιτών του Δήμου (κλαδιά, χόρτα, φύλλα, φύκια, πυρήνες, αγριόχορτα
- ▶ Παράλληλα προκύπτουν πρώτες ύλες για την παρασκευή νέων Βιολογικών Προϊόντων

Η πρόταση αυτή είναι μία ολοκληρωμένη πρόταση διότι:

- A) Καταργεί τις ατελείς καύσεις και τις μετακινήσεις αποβλήτων.
- B) Εξαφανίζει δυσοσμίες και περιβαλλοντικές επιπτώσεις υγρών αποβλήτων.
- Γ) Επαναρησιμοποιεί το νερό των αποβλήτων για άδρευση και άλλες χρήσεις.
- Δ) Δίνει πρώτες για την παραγωγή 80 βιοτεχνολογικών προϊόντων που απευθύνονται σε:

- Μονάδες επεξεργασίας λυμάτων (ΔΕΥΑ...) Βιομηχανικές – Ξενοδοχειακές.
- Αγροκαλλιέργειες (Συστήματα φυτοπροστασίας, φυτάδρευσης, εντομοαπωθησης ζιζανιοκτονίας).
- Βιομηχανίες επεξεργασίας νημάτων – υφασμάτων.
- Βιομηχανίες παραγωγής χημικών προϊόντων.
- Βιομηχανίες χαρτιού και παραπροϊόντων.

- Βιομηχανίες ξύλου και παραπροϊόντων.
- Βιομηχανίες κοπής λείανσης μαρμάρου – λιθών.
- Βιομηχανίες επεξεργασίας μετάλλου.
- Υπηρεσίες πυρόσβεσης.
- Βιομηχανίες επεξεργασίας – χρήσης πετροχημικών.

Η πρότυπη μονάδα της BIOTEV για την ολοκληρωμένη διαχείριση των αποβλήτων εφαρμόζεται ήδη επιτυχώς και ενδεικτικά τα 3 τελευταία έτη 2008-2009-2010 η συγκεκριμένη μονάδα διαχειρήθηκε σε ετήσια βάση 2000 m³ στερεών και 7000 τόνων υγρών αποβλήτων πάσης φύσης παράγοντας κατά μέσο όρο 350-400 τόνους στερεού λιπάσματος το οποίο προωθείται στην τοπική αγορά (Bio-ten, 2012).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΟΙ ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΟΙ ΤΩΝ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Το έδαφος αποτελεί ένα εξαιρετικό οικοσύστημα που φιλοξενεί τεράστιο αριθμό μικροοργανισμών, ωφέλιμων και παθογόνων, μία δυναμική βιοκοινότητα, που συνεχώς μεταβάλλεται υπό επίδραση διαφόρων εξωτερικών αβιοτικών παραγόντων (αρνητικών και θετικών). Οι φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους, η ρύπανση, η περιεκτικότητα και η διαθεσιμότητα του εδάφους σε διάφορα θρεπτικά στοιχεία συμβάλουν στις μεταβολές των εδαφικών πληθυσμών, που μπορεί να αποφέρει θετικές ή δυσμενής συνέπειες για το ολόκληρο εδαφικό οικοσύστημα. Στο έδαφος ζουν διάφοροι οργανισμοί σε μία μεγάλη ποικιλία και σε τεράστιους αριθμούς. Στην πλειοψηφία τους είναι κατώτεροι οργανισμοί, και δεν είναι ορατοί με γυμνό μάτι. Οι ζωντανοί αυτοί οργανισμοί αποτελούν ένα μόνο μέρος της οργανικής ουσίας του εδάφους και η μεγάλη τους προσφορά είναι κυρίως η αποσύνθεση των ζωικών και φυτικών υπολειμμάτων του εδάφους (Σινάκης, 2008).

2.1. Η δομή και ο ρόλος των εδαφικών μικροβιακών πληθυσμών

Η ποικιλία της ζωής του εδάφους είναι τεράστια, και ενώ οι περισσότερες μορφές της είναι αόρατες στο γυμνό μάτι, οι αριθμοί τους είναι τόσο υπέρογκοι ώστε το συνολικό τους βάρος είναι αξιόλογο. Η διάσπαση, η σήψη και η επακόλουθη ανακύκλωση των χημικών στοιχείων της οργανικής ύλης αποτελούν μια κύρια λειτουργία της ζωής του εδάφους. Χωρίς την αποικοδόμηση οι θρεπτικές ουσίες θα παρέμεναν στα οργανικά υπολείμματα και δεν θα ήταν στη διάθεση των ζωντανών φυτών.

Οι εδαφικοί οργανισμοί ανάλογα με το μέγεθος τους ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες:

A. ΜΑΚΡΟΠΑΝΙΑΑ: Περιλαμβάνει ασπόνδυλους οργανισμούς όπως μεγάλους γαιοσκώληκες, καθώς και αρκετά σπονδυλόζωα όπως ασπάλακες, τυφλοπόντικες, λαγούς, κουνέλια, νυφίτσες, φίδια, σαύρες κλπ. Τα μεγάλα ζώα αφθονούν στο έδαφος. Συμβάλλουν στην ανάδευση, το ανακάτεμα και την κατεργασία του χώματος. Προσθέτουν οργανική ύλη με τη μορφή της κοπριάς.

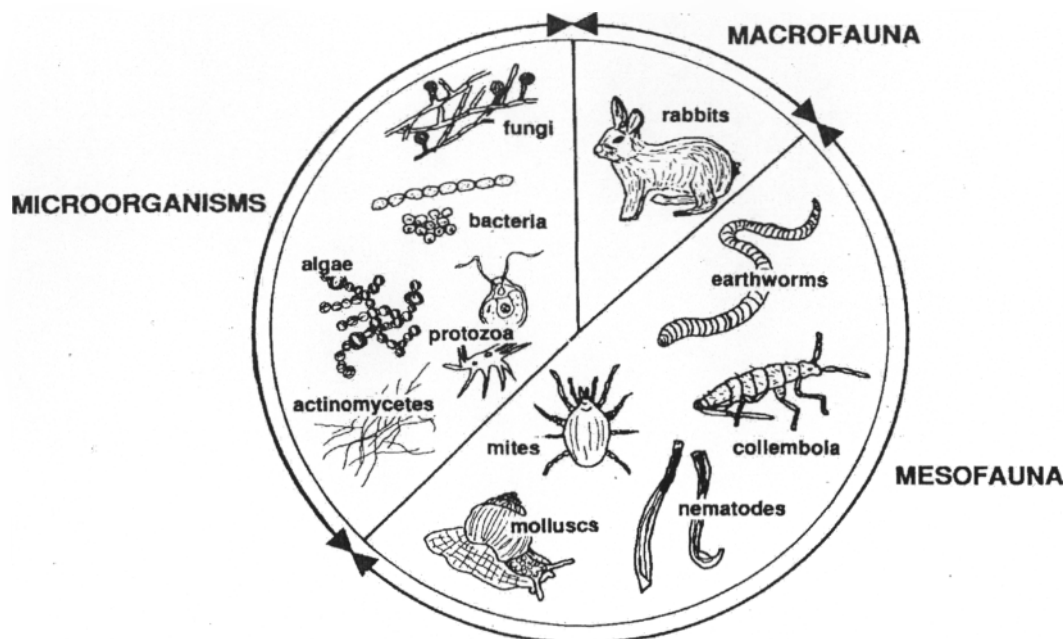
B. ΜΕΣΟΠΑΝΙΑΑ: Περιλαμβάνει μια ετερόκλητη ομάδα ασπόνδυλων οργανισμών μεταξύ των οποίων Νηματώδεις, Αννελίδες και Αρθρόποδα.

Νηματώδεις: Αμεταμερείς σκώληκες. ονομάζονται επίσης horse worms. 10.000 είδη γνωστά, τα μισά από τα οποία ζουν ελεύθερα. Τα περισσότερα 0,5-2 χιλ. ορισμένα μέχρι 10 χιλ. Ζουν στο στρώμα της επιφάνειας, κοντά σε ρίζες. Ορισμένα τρέφονται με αποσυντιθέμενη οργανική ύλη, άλλα τρέφονται με γαιοσκώληκες, νηματόζωα, πρωτόζωα και βακτήρια.

Αννελίδες: Παράδειγμα οι γαιοσκώληκες από τους οποίους στη Βρετανία υπάρχουν 25 διαφορετικά είδη, που ζουν κυρίως στα 15 πρώτα εκατοστά της επιφάνειας του εδάφους. Ρουφάνε χώμα, κοπριά, κομματάκια φυτών, σπόρους, προνύμφες εντόμων (νεκρές και ζωντανές), μικροσκοπικά ζώα. Τα διασπών και αποβάλλουν τα υπολείμματα ως περιττώματα. Αυτά τα περιττώματα έχουν υψηλό ποσοστό θρεπτικών συστατικών. Η διάνοιξη υπόγειων στοών υποβοηθά τον αερισμό του εδάφους, την αποστράγγιση και την ανάπτυξη των φυτών προς τα κάτω. Βελτιώνει τη δομή του εδάφους: το βαρύ χώμα αποκτά μια πιο ανοιχτή διάρθρωση, στο ελαφρύ χώμα οι κόκκοι και τα συσσωματώματα είναι βέβαιο ότι θα γίνουν πιο σταθερά.

Αρθρόποδα: Αρκετές χιλιάδες είδη, π.χ. μυρμήγκια που φτιάχνουν βουναλάκια από χώμα, κολλέμβολα, γρύλλοι, αράχνες, ακάρεα, ισόποδα, διπλόποδα, χηλόποδα, δίπλευρα, παυρόποδα, ψευδοσκορποί, δίπτερα. Πολλά συγκεντρώνονται σε πυκνές ομάδες στα νεκρά φύλλα του δάσους, καταπίνοντας και χωνεύοντας μερικώς κομματάκια φύλλων, μετατρέποντας τα έτσι σε μια μορφή που μπορεί να αποσυντεθεί από τους μύκητες του εδάφους και τα βακτήρια. Συμβάλλουν επίσης στο πορώδες, την αποστράγγιση, το ανακάτεμα και τον αερισμό του χώματος σκάβοντας υπόγειες στοές.

Γ. ΜΙΚΡΟΠΑΝΙΑΑ ΚΑΙ ΜΙΚΡΟΧΛΩΡΙΔΑ: (εδαφικοί μικροοργανισμοί). Οι μικροοργανισμοί του εδάφους ταξινομούνται σε 5 μεγάλες κατηγορίες: Βακτήρια, Μύκητες, Ακτινομύκητες, Φύκη (Αλγη) και Πρωτόζωα (Σχήμα 4).



Σχήμα 4. Ομάδες οργανισμών συνδεδεμένων με το έδαφος (McLaren and Cameron, 1996).

Οι μικροοργανισμοί του εδάφους (βακτήρια, ακτινοβακτήρια, μύκητες και φύκη) συνιστούν την εδαφική μικροχλωρίδα. Από τους μικροοργανισμούς αυτούς, τα βακτήρια αποτελούν την πολυπληθέστερη κατηγορία φθάνοντας σε πληθυσμούς της τάξης του 10^9 /g εδάφους (Πίνακας 5).

Πίνακας 5. Μικροβιακές ομάδες και αντιπροσωπευτικά μεγέθη των πληθυσμών με τους οποίους ανευρίσκονται στο έδαφος

Μικροβιακή ομάδα	Πληθυσμός /g εδάφους
Ιοί	10^{10} - 10^{11}
Βακτήρια	10^8 - 10^9
Ακτινομύκητες	10^7 - 10^8
Μύκητες	10^5 - 10^6
Φύκη	10^3 - 10^6
Πρωτόζωα	10^3 - 10^5
Νηματώδεις	10 - 10^2
Γαιοσκώληκες	

Πηγή: (Sylvia *et al.*, 1998)

Βακτήρια. Είναι μονοκύτταροι μικροοργανισμοί πολύ διαδεδομένοι στη ριζόσφαιρα. Είναι συγκεντρωμένα στα ανώτερα στρώματα του εδάφους, όπου το οξυγόνο και η τροφή από τα φυτικά υπολείμματα αφθονούν. Οι ρίζες περιβάλλονται συχνά εξ ολοκλήρου από μια βακτηριδιακή μεμβράνη. Το σχήμα τους ποικίλλει και τα περισσότερα είναι ετερότροφα και σαπρόφυτα (ζουν σε νεκρά οργανικά υλικά). Απαντώνται σε αποικίες που μοιάζουν με συστάδες γύρω από ανεξάρτητους κόκκους του εδάφους.

i. Τα βακτήρια μπορεί να είναι αερόβιοι, αλλά και αναερόβιοι μικροοργανισμοί. Η δράση τους εντοπίζεται στις εύκολα διασπώμενες πηγές άνθρακα (σάκχαρα, άμυλο) και αζώτου (πρωτεΐνες).

Μία από τις πιο σπουδαίες δραστηριότητες ορισμένων βακτηρίων του εδάφους (νιτροποιητικά), είναι η νιτροποίηση του αμμωνιακού αζώτου NH_4^+ , το οποίο προέρχεται από τη διάσπαση πρωτεϊνών. Κατά τη νιτροποίηση το αμμωνιακό άζωτο μετατρέπεται αρχικά σε νιτρώδες και στη συνέχεια σε νιτρικό ιόν. Τα βακτήρια αυτά ανήκουν στα γένη *Nitrosomonas* και *Nitrobacter*.

Μία σημαντική δραστηριότητα άλλων βακτηρίων του εδάφους είναι η δέσμευση του ατμοσφαιρικού αζώτου. Αυτή γίνεται από βακτήρια του γένους *Rhizobium* που ζουν συμβιωτικά σε φυμάτια του ριζικού συστήματος των ψυχανθών (φασόλια, μπιζέλια, σόγια). Το ατμοσφαιρικό άζωτο ανάγεται (με τη βοήθεια των βακτηρίων) προς αζωτούχες οργανικές ενώσεις που χρησιμοποιούνται από το φυτό ξενιστή.

Η απονιτροποίηση είναι μια διεργασία αντίστροφη της νιτροποίησης, που γίνεται στο έδαφος από βακτήρια με αναγωγή του νιτρικού αζώτου, κάτω από αναερόβιες συνθήκες, προς αέριο άζωτο. Τέλος, υπάρχουν στο έδαφος ειδικευμένα βακτήρια που οξειδώνουν το θείο, το σίδηρο, το μαγγάνιο κ.ά.

ii. **Ακτινομύκητες.** Είναι μονοκύτταροι μικροοργανισμοί ίδιου μεγέθους με τα βακτήρια. Κυρίως αερόβιοι, ετερότροφοι και σαπρόφυτοι οργανισμοί οι οποίοι μπορούν να αποσυνθέτουν δύσκολα διασπώμενες πηγές άνθρακα (λιγνίνη, κυτταρίνη). Σε αντίθεση με τους μύκητες εμφανίζουν μεγάλη ευαισθησία σε χαμηλές τιμές pH με άριστη τιμή ανάπτυξης μεταξύ 6 και 7,5 (Σινάκης, 2008). Είναι νηματοειδή βακτήρια που χαρακτηρίζονται από ανάπτυξη με βλαστικές μορφές που ονομάζονται μικκύλια (mycelium). Η διάμετρος των νηματίων είναι περίπου 1μm. Οι ακτινομύκητες απαντώνται στο νερό, στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων και στο έδαφος. Μερικοί ακτινομύκητες (όπως του γένους *Streptomyces*) προκαλούν μια χαρακτηριστική οσμή (εδάφους) που οφείλεται στην παραγωγή πτητικών ενώσεων οι

οποίες ονομάζονται γεοσμίνες (*geosmins*). Είναι εκείνη η χαρακτηριστική οσμή χώματος και μούχλας, που αναδύεται από ορισμένα χωράφια κατά το όργωμα ιδιαίτερα το φθινόπωρο. Δύο αρκετά γνωστά γένη είναι *Nocardia* και *Streptomyces* (Τσώνης, 2004).

iii. Μύκητες. Είναι πολυκύτταροι αερόβιοι, ετερότροφοι, συνήθως σαπρόφυτοι μικροοργανισμοί, που ζουν κατά εκατομμύρια στο έδαφος (περίπου 1 εκατ./g εδάφους) και διακρίνονται από μία χαρακτηριστική βλαστική μορφή που είναι γνωστή ως μυκκίλιο. Κυριότερες πηγές άνθρακα για τους μύκητες είναι η πηκτίνη, οι ημικυτταρίνες, οι κυτταρίνες και η λιγνίνη. Συμμετέχουν ενεργά, τόσο στην αννοργανοποίηση, όσο και στη χουμοποίηση των οργανικών ενώσεων του εδάφους με μια ποικιλία ειδών εξειδικευμένων για κάθε μετατροπή. Οι μύκητες συμμετέχουν στη σύνθεση οργανικών οξέων, όπως το κιτρικό, οξικό κ.ά. και η δραστηριότητά τους επεκτείνεται και στη δημιουργία φουλβικών οξέων. Επιπλέον, συμμετέχουν και στο μετασχηματισμό των ορυκτών στο έδαφος (Σινάκης, 2008). Χρησιμοποιούν λοιπόν οργανικές ενώσεις ως πηγή άνθρακα και ενέργειας και παίζουν σημαντικό ρόλο στην ανακύκλωση των θρεπτικών συστατικών σε εδαφικά και υδάτινα οικοσυστήματα. Μερικοί μύκητες σχηματίζουν παγίδες όπου εγκλωβίζουν πρωτόζωα και νηματώδη (*nematodes*). Αναπτύσσονται καλά κάτω από ελαφρά όξινες συνθήκες (μέχρι pH = 5). Τα πιο πολλά είδη είναι αερόβιοι μύκητες αλλά υπάρχουν και άλλα είδη (π.χ. ζύμες) που αναπτύσσονται κάτω από αντίξοες συνθήκες. Διακρίνονται σε φυκομύκητες, ασκομύκητες, βασιδιομύκητες και ατελείς μύκητες (Τσώνης, 2004).

iv. Φύκη. Τα φύκη διαφοροποιούνται από τους μύκητες και τα πρωτόζωα κυρίως ως προς την ικανότητα που έχουν να φωτοσυνθέτουν. Είναι δηλαδή αυτότροφοι, φωτοσυνθετικοί μικροοργανισμοί η δράση των οποίων περιορίζεται κοντά στην επιφάνεια του εδάφους. Τα φύκη ποικίλλουν από μονοκύτταρους μικροοργανισμούς, έχουν μεγάλα επιμήκη πολυκυτταρικά συσσωματώματα, τα οποία έχουν μήκος έως και 30 μέτρα. Οι εδαφικές συνθήκες που επηρεάζουν κυρίως την ανάπτυξη των μικροοργανισμών αυτών είναι το pH, η υγρασία, η θερμοκρασία, η ποσότητα και ο τύπος της οργανικής ύλης και τέλος ο αερισμός.

v. Πρωτόζωα. Είναι μονοκύτταροι μικροοργανισμοί, τα κύτταρα περιβάλλονται από κυτταρική μεμβράνη και η κυτταρική μεμβράνη καλύπτεται από λεπτή επιδερμίδα. Το μέγεθός τους κυμαίνεται από 5μm έως 1000 μm.

vi. Νηματώδη. Τα νηματώδη είναι χερσαία μακροασπόνδυλα τα οποία μπορούν να ζούν σε υγρά ή υδάτινα περιβάλλοντα. Στα νηματώδη περιλαμβάνονται

σκουλήκια με μορφή χελιού ή νήματος. Το μήκος των μικροοργανισμών αυτών ποικίλει από 0,5 έως 3,0 mm και το πλάτος τους από 0,02 έως 0,05 mm (Τσώνης, 2004).

Συνοπτικά, λοιπόν η ανάπτυξη βακτηρίων ευνοείται από την πολλή υγρασία, από το ελαφρά όξινο ή αλκαλικό περιβάλλον και από την εύκολα διασπώμενη οργανική ουσία. Οι μύκητες μπορούν να αξιοποιήσουν τις δυσκολότερα διασπώμενες οργανικές ουσίες, δεν ευνοούνται από την πολλή υγρασία, αντίθετα προτιμούν ξηρό, ελαφρά όξινο έως και όξινο περιβάλλον. Η δραστηριότητα όλων των μικροοργανισμών αυξάνεται σε υψηλές θερμοκρασίες και καλό αερισμό με εξαίρεση τους αναερόβιους (Σινάκης, 2008).

Παρ' όλο που οι μύκητες αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό της μικροβιακής βιομάζας του εδάφους τα βακτήρια θεωρούνται το ενεργότερο κλάσμα λόγω των μικροσκοπικών τους διαστάσεων σε συνδυασμό με τον υψηλό πληθυσμό και την ταχύτητα του πολλαπλασιασμού τους (Πίνακας 6). Έτσι, τα βακτήρια και μόνο προσφέρουν σε ένα στρέμμα γόνιμου εδάφους βάθους 15cm, μια έκταση ζωντανής κυτταρικής επιφάνειας που ισοδυναμεί (κατά προσέγγιση) με 187,5 στρέμματα. Επίσης, λόγω των ιδιαίτερων και σε πολλές περιπτώσεις μοναδικών μεταβολικών τους δραστηριοτήτων συμβάλλουν κατά κύριο λόγο στην ανακύκλωση των στοιχείων του εδάφους (Μπαλής, 1986).

Πίνακας 6. Συμμετοχή διαφόρων μικροβιακών ομάδων στην αποικοδόμηση της οργανικής ουσίας (όπως υπολογίζεται από τις αναπνευστικές απώλειες σε C) σε καλλιεργούμενο και ακαλλιέργητο έδαφος

Απώλειες σε C (% του συνόλου)		
	Καλλιεργούμενο έδαφος	Ακαλλιέργητο έδαφος
Βακτήρια	72,8	62,8
Μύκητες	19,3	22,3
Πρωτόζωα	3,7	2,5
Νηματώδεις	0,25	0,16
Μικροαρθρόποδα	0,3	0,11
Γαιοσκώληκες	3,5	11,2

Πηγή: (Beare *et al.*, 1997)

Παρά τους φαινομενικά τεράστιους πληθυσμούς τους οι μικροοργανισμοί του εδάφους υπολογίζεται ότι καταλαμβάνουν μόνο το 0,4% του συνολικού όγκου των εδαφικών πόρων. Αυτό οφείλεται τόσο στην πενία των διαθέσιμων υποστρωμάτων όσο

και στην ανομοιομορφία της δομής του εδάφους. Έτσι, τα οργανικά υποστρώματα που βρίσκονται στους νανοπόρους του εδάφους αποικοδομούνται δύσκολα από τους μικροοργανισμούς επειδή η πρόσβαση σε αυτά είναι μειωμένη. Επίσης η βιοδιαθεσιμότητα των υδατοδιαλυτών ουσιών περιορίζεται μόνο στο κλάσμα των πόρων οι οποίοι είναι πλήρεις με νερό. Τα βακτήρια, λόγω της μονοκύτταρης φύσης τους δεν μπορούν να αποικίσουν αποτελεσματικά στερεά οργανικά υποστρώματα (π.χ. φυτικά υπολείμματα) και δεν μπορούν να μετακινηθούν εύκολα μεταξύ απομακρυσμένων πηγών άνθρακα. Όμως λόγω του μικρού τους μεγέθους, μπορούν να αποικίζουν μικροπόρους στους οποίους είναι αδύνατη η εγκατάσταση μικροοργανισμών μεγαλύτερου μεγέθους. Η πρόσβαση σε πηγές άνθρακα οι οποίες είναι απομακρυσμένες μεταξύ τους επιτυγχάνεται με την ανάπτυξη μυκηλιακών μορφών όπως οι μύκητες και τα ακτινοβακτήρια.

2.2. Η επίδραση των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων του εδάφους στην συμπεριφορά των μικροοργανισμών

Η μακροχρόνια, συχνή και όχι πάντοτε σε κατάλληλες συνθήκες υγρασία οδηγεί σε υποβάθμιση της δομής και συμπύκνωση του εδάφους και κατά συνέπεια επηρεάζει, σχεδόν πάντα αρνητικά, τις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες όπως, φαινομενική πυκνότητα και ολικό πορώδες του εδάφους, μέγεθος και επικοινωνία πόρων, συγκράτηση και κίνηση του νερού, αερισμό, θερμοκρασία και αντοχή του εδάφους (Soane and Van Ouwerkerk, 1994). Όλες αυτές οι ανεπιθύμητες μεταβολές των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων, έχουν ως αποτέλεσμα τη μείωση των αποδόσεων των καλλιεργούμενων φυτών, κυρίως λόγω της περιορισμένης ανάπτυξης του ριζικού τους συστήματος (Panayiotopoulos *et al.*, 1994).

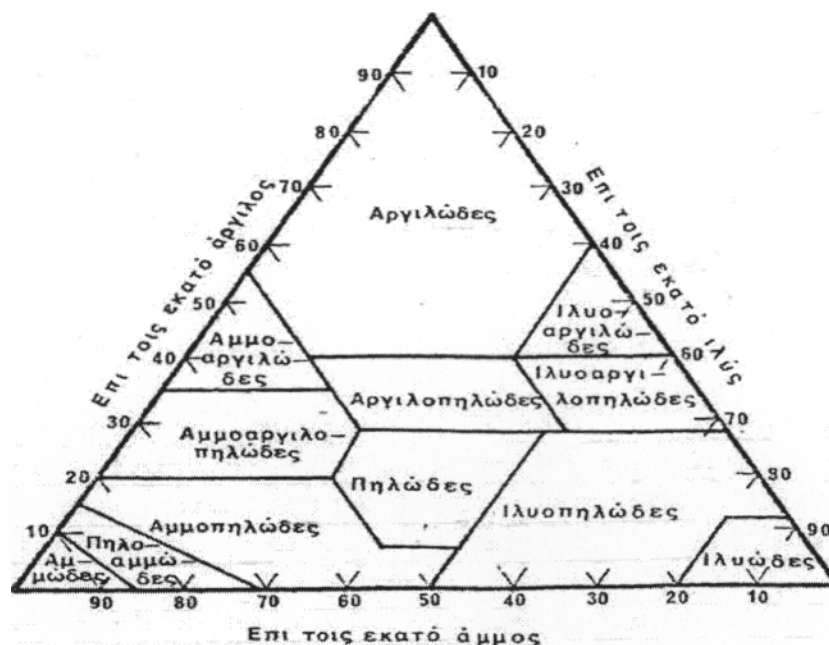
ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Το έδαφος συνίσταται κυρίως από ανόργανα υλικά, νερό, αέρα, νεκρά οργανικά υλικά και ζωντανούς οργανισμούς που συγκροτούν ένα περίπλοκο και ετερογενές περιβάλλον. Οι αναλογίες των συστατικών αυτών δεν είναι σταθερές στα διάφορα εδάφη, ενώ ακόμα και στον ίδιο τύπο εδάφους, μεταβάλλονται ανάλογα με τους χειρισμούς που δέχεται. Η γένεση του εδάφους συντελείται σε μια μακρόχρονη εξελικτική διαδικασία στην πορεία της οποίας το μητρικό πέτρωμα υπό την επίδραση

κλιματικών και βιολογικών παραγόντων μεταπίπτει προοδευτικά στον κοινό αλλά ιδιότυπο αυτό σχηματισμό. Στους κλιματικούς παράγοντες περιλαμβάνονται οι βροχοπτώσεις, ο άνεμος, η θερμοκρασία και το φως. Στους βιολογικούς παράγοντες, οι οποίοι επηρεάζονται από τους κλιματικούς παράγοντες, περιλαμβάνονται τα είδη της χλωρίδας και πανίδας που επικρατούν και η δράση των μικροβιακών πληθυσμών.

Υφή του εδάφους

Γενικά, το μέγεθος των ανόργανων υλικών καθορίζει την υφή του εδάφους. Η υφή (ή μηχανική σύσταση) του εδάφους περιγράφει πόσο χονδρόκοκκο ή λεπτόκοκκο είναι το έδαφος. Το ανόργανο κλάσμα του εδάφους καταλαμβάνει συνήθως το 50% περίπου του όγκου του και προέρχεται άμεσα ή έμμεσα από τα μητρικά πετρώματα. Τα δομικά μέρη του ανόργανου κλάσματος του εδάφους συνίστανται από τεμαχίδια, οι διαστάσεις των οποίων ακολουθούν κανονική κατανομή. Ανάλογα με το μέγεθός τους τα σωματίδια του ανόργανου κλάσματος ταξινομούνται σύμφωνα με το Αμερικάνικο σύστημα σε: άμμο (σωματίδια διαμέτρου 2-0,05 mm), ιλύ (σωματίδια διαμέτρου 0,05-0,002 mm) και άργιλο (σωματίδια διαμέτρου <0,002 mm). Τα εδαφικά αυτά κλάσματα προσδιορίζουν την υφή του εδάφους, η οποία μπορεί να παρασταθεί ως σημείο σ' ένα τριγωνικό διάγραμμα αναφοράς (Σχήμα 5) στο οποίο η κάθε μια από τις πλευρές του εκφράζει αντίστοιχα σε ποσοστιαία κλίμακα την περιεκτικότητα του εδάφους σε άμμο, άργιλο και ιλύ.



Σχήμα 5. Τριγωνικό διάγραμμα ταξινόμησης της εδαφικής υφής(μηχανικής σύστασης) σε κλάσεις (Alexander, 1977)

Δομή του εδάφους

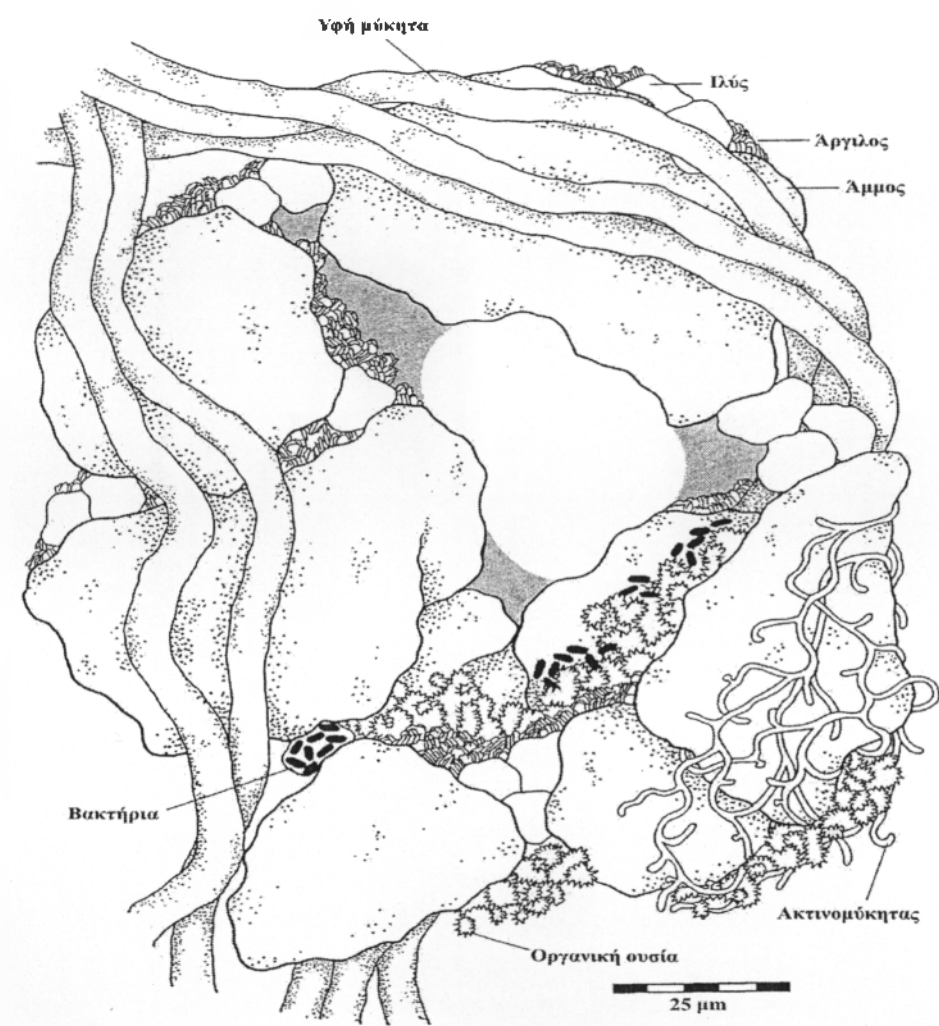
Η δομή του εδάφους αναφέρεται στο σύνολο των συστατικών του. Ο σχηματισμός των εδαφικών συσσωματωμάτων είναι μια διαδικασία κατά την οποία τα εδαφικά τεμαχίδια (άμμος, ιλύς και άργιλος) συνενώνονται μέσω φυσικοχημικών δυνάμεων και μέσω ενώσεων οι οποίες προέρχονται από τις ριζικές εκκρίσεις και τη μικροβιακή δραστηριότητα (Díaz-Zorita *et al.*, 2002). Ο συνδυασμός των συστατικών του εδάφους σε συσσωματώματα καθορίζει τη δομή του εδάφους η οποία έχει άμεση επίδραση στην ικανότητα συγκράτησης του νερού, τον αερισμό, τη θερμοκρασία και τη μηχανική αντοχή (Connolly, 1998). Στο σχηματισμό των εδαφικών συσσωματωμάτων εκτός από αβιοτικούς παράγοντες όπως το μητρικό υλικό, οι κλιματολογικές συνθήκες, οι καλλιεργητικές πρακτικές και το είδος των προσροφημένων κατιόντων (π.χ. τα ιόντα Na^+ τείνουν να διασπών τα εδαφικά συσσωματώματα ενώ τα ιόντα Ca^{++} συμβάλλουν στο σχηματισμό των συσσωματωμάτων) κυρίαρχο ρόλο παίζουν οι βιολογικοί παράγοντες. Οι ρίζες των φυτών διαπερνούν το έδαφος και διασπών τα συσσωματώματα. Η οργανική ουσία του εδάφους συμβάλλει στο σχηματισμό των συσσωματωμάτων, μέσω του σχηματισμού συμπλοκών μαζί με τα ανόργανα τεμαχίδια, τα ανόργανα στοιχεία και τους μικροοργανισμούς του εδάφους. Οι μικροοργανισμοί, μέσω της παραγωγής εξωκυτταρικών πολυσακχαριδίων και υφών τα οποία συνδυάζονται με τα ανόργανα και οργανικά υλικά αποτελούν έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες για το σχηματισμό των εδαφικών συσσωματωμάτων (Σχήμα 6).

Εδαφικοί πόροι

Οι πόροι του εδάφους παίζουν σπουδαίο ρόλο στην κίνηση του νερού και την ανταλλαγή των αερίων. Τα αμμώδη εδάφη έχουν μικρότερο ποσοστό σε πόρους (35-50%) από τα λεπτόκοκκα αργιλώδη εδάφη (40-60%). Εκτός από το ποσοστό των πόρων στο έδαφος, ιδιαίτερη σημασία έχει η κατανομή του μεγέθους τους. Διακρίνονται κυρίως δύο κατηγορίες: οι μακροπόροι, με διάμετρο 30-100 μm οι οποίοι επιτρέπουν την ταχεία ανταλλαγή των εδαφικών αερίων και διακίνηση του νερού και αυτοί χαρακτηρίζουν τα αμμώδη εδάφη και οι μικροπόροι με διάμετρο μικρότερη των 30 μm οι οποίοι περιορίζουν την κίνηση του νερού και χαρακτηρίζουν τα αργιλώδη εδάφη. Η κατανομή του μεγέθους των πόρων επιδρά στον αερισμό, στη διαθεσιμότητα του νερού και στην υδατοϊκανότητα του εδάφους και συνεπώς στην κατανομή των διαφόρων ομάδων μικροοργανισμών στο έδαφος. Οι μικροοργανισμοί οι οποίοι εντοπίζονται σε

πόρους μεγάλης διαμέτρου υφίστανται εντονότερα τις επιδράσεις της ξήρανσης σε σχέση με τους μικροοργανισμούς που ζουν σε πόρους μικρότερης διαμέτρου (Van Gestel *et al.*, 1996).

Η παρουσία πόρων μικρής διαμέτρου μειώνει επίσης τη δυνατότητα πρόσβασης των μικροοργανισμών στην οργανική ουσία που βρίσκεται σε αυτούς. Ιδιαίτερη σημασία για τη βιοαποικοδόμηση ουσιών που εισάγονται στο έδαφος, έχει το ποσοστό των εδαφικών νανοπόρων (διάμετρο της τάξης των nm). Έχουν αναφερθεί περιπτώσεις εμμονής βιοαποικοδομήσιμων ουσιών στο έδαφος λόγω της διάχυσής τους στους νανοπόρους οι οποίοι είναι τόσο μικροί ώστε η μικροβιακή ή ενζυμική δράση να είναι απαγορευτική σε αυτούς (Sylvia *et al.*, 1998).



Σχήμα 6. Σχηματική αναπαράσταση τυπικού εδαφικού συσσωματώματος (Sylvia *et al.*, 1998).

ΧΗΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Το εδαφικό pH αποτελεί μια παράμετρο η οποία μας δίνει τις σημαντικότερες πληροφορίες για τις χημικές ιδιότητες του εδάφους. Ελέγχεται από τα εδαφικά κolloειδή (άργιλοι και οργανική ουσία) και από τα προσροφημένα σε αυτά ανόργανα κατιόντα. Οι τιμές του στο έδαφος καθορίζουν τη διαθεσιμότητα των ανόργανων στοιχείων προς τους μικροοργανισμούς και τα φυτά. Επίσης οι τιμές του καθορίζουν τα φυτικά είδη που θα επικρατήσουν στο φυσικό τοπίο, τα είδη των καλλιεργειών που θα μπορέσουν να αποδώσουν στη γεωργική γη, καθώς και τα είδη των μικροβιακών κοινοτήτων και τις αντιδράσεις τους. Εδάφη με pH μεταξύ 6-7 θεωρείται ότι παρέχουν σε ικανοποιητικό βαθμό τα περισσότερα απαραίτητα στοιχεία για τα φυτά αν και η γενίκευση αυτή δεν ισχύει για όλες τις καλλιέργειες και όλους τους τύπους εδαφών (Brady and Weil, 1996). Σε εδάφη όπως αυτά της χώρας μας όπου η βροχόπτωση είναι μικρή, το εδαφικό pH τείνει να έχει αλκαλικές τιμές λόγω του ότι τα ιόντα που συνεισφέρουν στην αλκαλική αντίδραση (Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ και Na^+) δεν ξεπλένονται και συσσωρεύονται αντικαθιστώντας τα ιόντα H^+ και Al^{+++} τα οποία συνεισφέρουν στην όξινη αντίδραση του εδάφους. Σε εδάφη με αντίδραση ελαφρώς ή μέτρια αλκαλική, το μολυβδαίνιο και όλα τα μακροστοιχεία εκτός από τον φώσφορο, είναι άμεσα διαθέσιμα, ενώ μειώνεται η διαθεσιμότητα των Fe, Mn, B, Zn, Cu και Co.

Η αλατότητα του εδάφους

Η αλατότητα του εδάφους (η οποία προσδιορίζεται με τη μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους) έχει άμεση επίδραση στις βιολογικές του ιδιότητες διότι επιδρά άμεσα στο υδατικό δυναμικό το οποίο προσδιορίζει τη διαθεσιμότητα του νερού στους μικροοργανισμούς και τα φυτά. Έτσι, υψηλή συγκέντρωση διαλυμένων αλάτων μπορεί να οδηγήσει σε συνθήκες απαγορευτικές για τη μικροβιακή ή φυτική αύξηση ή σε συνθήκες όπου μπορούν να αναπτυχθούν μόνο αλόφιλοι οργανισμοί. Η αλατότητα ενός εδάφους σε αιώρημα 1:5 με νερό μπορεί να χαρακτηριστεί ως χαμηλή (<0,3 mS/cm), ικανοποιητική (0,3-0,65 mS/cm), υψηλή (0,65-1 mS/cm) και πολύ υψηλή (>1 mS/cm) (Παπαστελάτος, 1995).

Η Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων (I.A.K.)

Τα εδαφικά κolloειδή (άργιλος και οργανική ουσία) φέρουν συνήθως αρνητικό φορτίο και προσελκύουν τα κατιόντα του εδαφικού διαλύματος ώστε να δημιουργείται μια δυναμική ισορροπία μεταξύ των προσροφημένων κατιόντων και των κατιόντων του εδαφικού διαλύματος. Η συγκράτηση των κατιόντων στα κolloειδή είναι αντιστρεπτή,

εάν άλλα κατιόντα στο εδαφικό διάλυμα έχουν επαρκή συγκέντρωση ώστε να αντικαταστήσουν τα προσροφημένα κατιόντα. Το ολικό ποσό των ανταλλάξιμων κατιόντων ανά μονάδα βάρους του εδάφους αποτελεί την I.A.K. και σχετίζεται άμεσα με την ικανότητα του εδάφους να συγκρατεί τα κατιόντα και στη συνέχεια να τα διαθέτει στα φυτά και τους μικροοργανισμούς. Έτσι, ιόντα H^+ ανταλλάσσονται από τις ρίζες των φυτών και τους μικροοργανισμούς με απαραίτητα για τη θρέψη τους κατιόντα όπως Ca^{++} , K^+ , Mg^{++} κ.α. (Brady and Weil, 1996).

Η διάθεση των υγρών αποβλήτων όπως προαναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, αποτελεί το μεγαλύτερο πρόβλημα που συνδέεται με την επιβάρυνση του περιβάλλοντος από την ελαιοκαλλιέργεια, και ένα από τα ελάχιστα ανάλογα προβλήματα που προκύπτουν σε όλο τον κύκλο παραγωγής της ελιάς και του ελαιολάδου. Η εφαρμογή των Υ.Α.Ε. στο έδαφος ελαιώνων έχει αποδειχθεί πειραματικά ότι μπορεί να αποτελέσει μια εναλλακτική, χαμηλού κόστους πρακτική, η οποία θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και για τον εμπλουτισμό του εδάφους σε θρεπτικά στοιχεία όπως το K, χωρίς περαιτέρω αρνητικές επιδράσεις στο έδαφος, στα υπόγεια ύδατα και στα ελαιόδεντρα (Chartzoulakis *et al.*, 2010).

Μελετήθηκαν οι επιδράσεις από την εφαρμογή υγρών αποβλήτων ελαιουργείων στα χαρακτηριστικά τριών τύπων εδάφους (ελαφρύ, μέσο, βαρύ) και στη σύσταση του νερού στράγγισης. Τα εδάφη τοποθετήθηκαν σε μικρά λυσίμετρα, κατασκευασμένα με σωλήνες διαμέτρου 14 cm, προσομοιώνοντας ένα εδαφικό προφίλ βάθους 85cm, με πρόβλεψη για συλλογή στο κατώτερο σημείο τους, του νερού στράγγισης. Εφαρμόστηκαν δύο χειρισμοί: α) εφαρμογή Υ.Α.Ε και β) μάρτυρας. Στον πρώτο χειρισμό εφαρμόστηκαν, κατά την περίοδο Ιανουαρίου – Μαρτίου 2008, στην επιφάνεια του εδάφους ποσότητες Υ.Α.Ε που αντιστοιχούσαν σε 58,5m³ ανά στρέμμα σε τρεις δόσεις. Ένα μήνα μετά την τελευταία εφαρμογή Υ.Α.Ε, εφαρμόστηκε σε διάρκεια τριών ημερών ποσότητα νερού η οποία αντιστοιχούσε σε συνολική βροχόπτωση ύψους 325 mm. Στη φάση αυτή πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες εδάφους σε δύο βάθη (10-20 cm και 75-85 cm), καθώς και αναλύσεις του νερού στράγγισης. Το pH, η ηλεκτρική αγωγιμότητα, το ποσοστό οργανικής ουσίας και η συγκέντρωση P στο έδαφος δεν επηρεάστηκαν από την εφαρμογή Υ.Α.Ε. Παρατηρήθηκε αύξηση της συγκέντρωσης K στο επιφανειακό στρώμα εδάφους σε ποσοστό 250,92 και 98% για το ελαφρύ, μέσο και βαρύ έδαφος αντίστοιχα, ενώ στα 75-85cm η αύξηση της συγκέντρωσης K ήταν αναλογικά μικρότερη (89,33 και 25% αντίστοιχα). Στα εδάφη όπου εφαρμόστηκαν Υ.Α.Ε ανιχνεύθηκαν συγκεντρώσεις

φαινολών, σε αντίθεση με τις μηδενικές τιμές του μάρτυρα, χωρίς όμως να παρουσιασθούν σημαντικές διαφοροποιήσεις οφειλόμενες στον τύπο εδάφους ή το βάθος δειγματοληψίας. Η σύσταση του νερού στράγγισης, δεν παρουσίασε διαφοροποίηση ως προς το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD) και τη συγκέντρωση νιτρικών και P, μεταξύ των δύο χειρισμών. Όπου εφαρμόστηκαν Υ.Α.Ε., ανιχνεύθηκαν στο νερό στράγγισης, παρουσιάστηκε αυξημένη λόγω της εφαρμογής Υ.Α.Ε. στο ελαφρύ και στο μέσης σύστασης έδαφος, αλλά όχι στο βαρύ έδαφος. Συμπερασματικά, ο τύπος του εδάφους μπορεί να επηρεάσει τις επιδράσεις της εφαρμογής Υ.Α.Ε. στις ιδιότητες του εδάφους και στη σύσταση του νερού στράγγισης και πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά την επιλογή των ελαιώνων, όπου θα εφαρμοσθούν Υ.Α.Ε. (Psarras *et al.*, 2009).

Τα φυτικά υπολείμματα τα οποία ενσωματώνονται στο έδαφος αποτελούν το κύριο υπόστρωμα για το σχηματισμό της οργανικής ουσίας του εδάφους. Καθώς αυτά αποικοδομούνται από τους μικροοργανισμούς το μεγαλύτερο μέρος του άνθρακα απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα ως CO₂ ή ενσωματώνεται στη μικροβιακή βιομάζα. Ένα μικρότερο μέρος του άνθρακα του οποίου η δομή έχει μετασχηματιστεί, παραμένει στο έδαφος ως οργανική ουσία (Sylvia *et al.*, 1998). Επομένως, η οργανική ουσία του εδάφους προέρχεται από φυτικούς και ζωικούς οργανισμούς, ζωντανούς και νεκρούς, καθώς επίσης και από τα υπολείμματα και απορρίμματα τους, ανεξάρτητα από το στάδιο αποσύνθεσης τους. Ο όρος οργανική ουσία χρησιμοποιείται πολλές φορές συνώνυμα με τον όρο χούμο του εδάφους, που είναι το τελικό προϊόν της αποσύνθεσης (Σινάκης, 2008).

Η περιεκτικότητα των εδαφών σε οργανική ουσία, παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις στα διάφορα εδάφη και είναι το αποτέλεσμα της ισορροπίας μεταξύ της προστιθέμενης ποσότητας οργανικής ουσίας, των κατά τόπους εδαφοκλιματικών συνθηκών και του συστήματος γεωργικής εκμετάλλευσης. Στα Ελληνικά εδάφη το ποσοστό της οργανικής ουσίας κυμαίνεται μεταξύ 1 και 2,5%. Είναι φανερό, λοιπόν, ότι τα Ελληνικά εδάφη χαρακτηρίζονται ως φτωχά σε οργανική ουσία.

Παρ' όλο που η ποσότητα της οργανικής ουσίας του εδάφους δεν υπερβαίνει το 5% του συνολικού όγκου του εδάφους, η επίδρασή της στις φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους είναι τεράστια. Με το σκοτεινό της χρώμα κάνει πιο σκούρο το επιφανειακό στρώμα του εδάφους, πράγμα που επιτρέπει τη γρήγορη θέρμανση του την άνοιξη, με αποτέλεσμα το έδαφος να γίνεται πιο πρώιμο. Εξαιτίας του ότι έχει μικρότερη πλαστικότητα και συνοχή από την άργιλο, η οργανική ουσία στα εδάφη, μετριάξει τα χαρακτηριστικά αυτά και σε συνδυασμό με τη συμβολή της στη

δημιουργία σταθερών συσσωματωμάτων προάγει τον καλύτερο αερισμό και στράγγιση των εδαφών αυτών. Αντίθετα, στα αμμώδη εδάφη η οργανική ουσία δημιουργεί τις προϋποθέσεις για τη συγκράτηση περισσότερου νερού, τόσο με τη δική της αυξημένη απορροφητική ικανότητα, όσο και μέσω της βελτίωσης του πορώδους του εδάφους που συνεπάγεται η παρουσία της.

Ακόμα, επειδή η οργανική ουσία έχει μεγάλη I.A.K. με την παρουσία της στο έδαφος αυξάνεται η ικανότητα του να συγκρατεί θρεπτικά στοιχεία, ιδιότητα που είναι πολύ χρήσιμη ειδικά για τα αμμώδη εδάφη.

Τέλος, εκτός των προαναφερόμενων σημαντικών επιδράσεων της οργανικής ουσίας στο έδαφος, η οργανική ουσία θεωρείται επιπλέον ότι είναι πηγή θρεπτικών στοιχείων (ανοργανοποίηση). Ακόμα, με τον όξινο χαρακτήρα της συμβάλλει στη διαλυτοποίηση από τη στερεή φάση ανόργανων συστατικών, προάγει τη χρησιμοποίηση ορισμένων μικροστοιχείων από τα φυτά και τέλος αποτελεί τη μοναδική πηγή ενέργειας για τους μικροοργανισμούς του εδάφους, πολλοί από τους οποίους παίζουν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη των φυτών (Σινάκης, 2008).

Ανάλογα με το βαθμό που η οργανική ουσία γίνεται διαθέσιμη στους μικροοργανισμούς, μπορούμε να διακρίνουμε τις εξής ομάδες:

(i) Εύκολα αφομοιώσιμες ενώσεις του άνθρακα, οι οποίες προέρχονται από ριζικές εκκρίσεις ή από ενζυμική διάσπαση μακρομορίων (μονοσακχαρίτες, αμινοξέα, νουκλεοτίδια, αρωματικά και αλειφατικά μόρια μικρού μοριακού βάρους)

(ii) Μακρομόρια με εξισορροπημένη στοιχειακή σύσταση δηλαδή με επαρκή συμμετοχή ανόργανων στοιχείων στο οργανικό μόριο (πρωτεΐνες, νουκλεϊκά οξέα, λιπό-και γλυκό πρωτεΐνες). Συνήθως τα μόρια αυτά αποικοδομούνται από εξωκυτταρικά ένζυμα και θεωρούνται εύκολα αφομοιώσιμα διότι περιέχουν και κύρια ανόργανα στοιχεία (φώσφορο, κάλιο, ασβέστιο) απαραίτητα για την αύξηση των μικροοργανισμών.

(iii) Δομικά συστατικά των κυτταρικών τοιχωμάτων των φυτών, τα οποία είναι μακρομόρια με μη εξισορροπημένη στοιχειακή σύσταση (μικρή περιεκτικότητα σε τέφρα) όπως είναι οι λιγνινοκυτταρινούχες ενώσεις οι ημικυτταρίνες, οι πηκτίνες κ.ά. Η αποικοδόμηση των μορίων αυτών είναι δυσκολότερη και συχνά απαιτείται η συμμετοχή κοινοτήτων μικροοργανισμών οι οποίοι αλληλεπιδρούν μεταξύ τους (μικροοργανισμοί οι οποίοι παράγουν υδρολυτικά ένζυμα, σιδηρούχα, αζωτοδεσμευτικά βακτήρια, μυκηλιακοί μικροοργανισμοί οι οποίοι θα μεταφέρουν τα θρεπτικά στοιχεία τα οποία εκλείπουν από άλλες περιοχές).

(iv) Συντηρημένη οργανική ουσία όπως ο χούμος, η οποία αποτελείται από εκείνα τα τελικά προϊόντα του μικροβιακού μεταβολισμού ή των αβιοτικών φυσικοχημικών αντιδράσεων, τα οποία είναι ανθεκτικά στην αποικοδόμηση ή σε επιπλέον μετασχηματισμό (Ραπίκον, 1999).

Ο χούμος αποτελεί το μεγαλύτερο αλλά και το πιο δύσκολα βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα της οργανικής ουσίας. Για το σχηματισμό του, ο οποίος είναι άρρηκτα συνδεδεμένος με την αποικοδόμηση της οργανικής ουσίας στο έδαφος, έχουν προταθεί διάφοροι μηχανισμοί.

Με βάση τη θεωρία της μικροβιακής σύνθεσης, κατά την αποικοδόμηση μη λιγνινοχων υποστρωμάτων από μύκητες (π.χ. κυτταρίνη) συντίθενται πολυφαινολικές ενώσεις οι οποίες στη συνέχεια οξειδώνονται ενζυμικά σε κινόνες. Αυτές συμπυκνώνονται με ενώσεις που έχουν αμινομάδες και σχηματίζουν το χούμο. Κατά τη θεωρία του σχηματισμού κινονών από τη λιγνίνη, οι φαινολικές ουσίες που απελευθερώνονται κατά την αποικοδόμηση της λιγνίνης συμπυκνώνονται με ενώσεις που έχουν αμινομάδες και σχηματίζουν το χούμο. Οι παραπάνω θεωρίες είναι πιθανό να ισχύουν η κάθε μια χωριστά ή και οι δύο σε συνδυασμό σε αερόβια εδάφη. Σε εδάφη κατακλυσμένα με κακή αποστράγγιση όπου σχηματίζεται τύρφη, ενδεχομένως η θεωρία του μετασχηματισμού των φυτικών υπολειμμάτων να παίζει το σπουδαιότερο ρόλο στο σχηματισμό του χούμου. Με βάση τη θεωρία αυτή η λιγνίνη αποικοδομείται ατελώς από τους μικροοργανισμούς και γίνεται μέρος του χούμου. Αυτή μετασχηματίζεται με υδροξυλιώσεις και οξειδώσεις των $-OCH_3$ σε $-COOH$ και αντιδρά με ουσίες που έχουν αμινομάδες σχηματίζοντας χουμικές ενώσεις (Sylvia *et al.*, 1998).

Ο κύριος μηχανισμός για το σχηματισμό του χούμου σχετίζεται με την ικανότητα των φαινολικών ουσιών να υπόκεινται σε ενζυμικές ή αυτοοξειδωτικές αντιδράσεις πολυμερισμού. Οι μικροοργανισμοί του εδάφους παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στο σχηματισμό του χούμου παράγοντας φαινολάσες (monophenol monooxygenases) και υπεροξειδάσες οι οποίες σχετίζονται με τον ενζυμικό πολυμερισμό των φαινολικών ουσιών. Το αποτέλεσμα είναι ο άμεσος σχηματισμός προϊόντων συμπύκνωσης από υδροξυφαινόλες, υδροξυβενζοϊκά οξέα και άλλες αρωματικές ενώσεις τα οποία συνδέονται χημικά με μερικώς αποικοδομημένες πρωτεΐνες, αμινοξέα, αμινοσάκχαρα, υδατάνθρακες και άλλες ουσίες οι οποίες προέρχονται από την αποσύνθεση των φυτικών υπολειμμάτων ή αποτελούν προϊόντα μεταβολισμού των μικροοργανισμών.

Για την μελέτη της επίδρασης των εξωτερικών παραγόντων στην ποσότητα και δραστηριότητα εδαφικής μικροχλωρίδας χρησιμοποιηθήκαν διάφοροι μέθοδοι, όπως η μέτρηση του αριθμού ζωντανών ή βιώσιμων μονάδων για την εκτίμηση του μικροβιακού πληθυσμού, η μέτρηση της μικροβιακής βιομάζας (C_{mic}), και της μικροβιακής δραστηριότητας με την μέτρηση της μικροβιακής αναπνοής και πολλά άλλα. Στην σύγχρονη εδαφική μικροβιολογία οι μεταβολικές δραστηριότητες του εδαφικού μικροβιακού πληθυσμού και συνάμα ο ρυθμός αύξησης των μικροοργανισμών έμμεσα προσδιορίζεται με τους παρακάτω τρόπους: απορρόφηση οξυγόνου, έκλυση του διοξειδίου του άνθρακα CO_2 (εδαφική αναπνοή), έκλυση θερμότητας ATP, ενζυμική ενεργότητα (Anderson and Domsch, 1978; Brookes and McGrath, 1984; Brookes *et al.*, 1986; Zibilsje, 1994; Insam *et al.*, 1996; Akmal *et al.*, 2005). Ως τόσο οι μέθοδοι που επικράτησαν είναι η μέτρηση της βασικής αναπνοής των μικροοργανισμών (soil Basal microbial respiration method - Rbasal (R_{mic}), (Alef, 1995; Insam *et al.*, 1996) και η μέτρηση της αναπνοής του εδάφους, μετά από την πρόσθεσή στο υπόστρωμα ενεργητικού υλικού π.χ. διαλύματος γλυκόζης, σύμφωνα με την μέθοδο - Substrate induced respiration method (SIR) (Anderson and Domsch, 1978; Wardle and Parkinson; 1990; Horwath and Paul, 1994). Αυτός είναι και ο λόγος που επιλέξαμε αυτούς τους μεθόδους για την παρακάτω μελέτη της μικροβιακής κοινότητας στα εξεταζόμενα εδαφικά δείγματα.

Ένας βασικός παράγοντας σε αυτές της περιπτώσεις είναι ο προσδιορισμός της μικροβιακής βιομάζας. Γίνεται συνήθως με το προσδιορισμό, είτε του μικροβιακού άζωτου N, είτε (που είναι και επικρατέστερο) του μικροβιακού άνθρακα C της μικροβιακής βιομάζας (Vance *et al.*, 1987; Horwath and Paul, 1994), και οι μέθοδοι προσδιορισμού της είναι γνωστοί ως Chloroform fumigation extraction method (CFE), και Fumigation incubation (FI) (Jenkinson and Pawlson, 1976) και SIR (Anderson and Domsch, 1978).

Μερικές μελέτες συμπέραναν, ότι η επίδραση των εξωτερικών παραγόντων στην εδαφική μικροχλωρίδα καλύτερα εκφράζεται με την μέτρηση της μεταβολής του ενεργού μικροβιακού πληθυσμού, παρά με την μέτρηση της ολικής εδαφικής μικροβιακής βιομάζας. Για αυτό, επίσης προτείνεται ο υπολογισμός της ποσότητας του εκλυόμενου κατά την αναπνοή διοξειδίου του άνθρακα CO_2 (R_{basal}) ανά μονάδα βιομάζας (C_{mic}). Η σχέση R_{basal}/C_{mic} αναφέρεται ως μεταβολικό πηλίκου - metabolic quotient ($q\ CO_2$) (Insam, 1996). Από την άλλη άποψη η διαδικασία προσδιορισμού της μικροβιακής βιομάζας C_{mic} , που γίνεται με βιοχημικούς ή κινητικούς μεθόδους είναι αρκετά χρονοβόρα και επιπλέον απαιτεί την διεύρυνση του

συντελεστή μετατροπής (coefficient), (Panikov, 1991; Anderson and Domsch, 1993; Insam *et al.*, 1996.). Κατά συνέπια τα αποτελέσματα των ερευνών, που γίνονται υπό διαφορετικές συνθήκες δεν είναι δυνατών να συγκρίνονται μεταξύ τους. Για αυτό προτείνεται στον υπολογισμό του μεταβολικού πηλίκου ($q\text{ CO}_2$), η μέτρηση της μικροβιακής βιομάζας (C_{mic}) να αντικατασταθεί με την RSIR, δηλαδή να μετρηθεί η ταχύτητα του εκλυόμενου κατά την αναπνοή του διοξειδίου του άνθρακα CO_2 , μετά από την πρόσθεσή στο υπόστρωμα ενεργητικού υλικού (Wardle and Parkinson, 1990). Έτσι το μεταβολικό πηλίκιο ($q\text{ CO}_2$) μεταμορφώνεται ως σχέση της ποσότητας του εκλυόμενου κατά την αναπνοή διοξειδίου του άνθρακα CO_2 από μη εμπλουτισμένο έδαφος (soil Basal microbial respiration) – Rbasal, και της ποσότητας του εκλυόμενου CO_2 από το έδαφος εμπλουτισμένο με εύκολα αφομοιώσιμα υποστρώματα, δηλαδή $q\text{ CO}_2 = R_{\text{basal}}/RSIR$.

2.3. Η μικροχλωρίδα των υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων

Εκτός από τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά, στα απόβλητα υπάρχει και η μικροβιακή χλωρίδα. Στο ελαιουργικό απόβλητο η μικροβιακή χλωρίδα έχει την ικανότητα οξειδωσης των φαινολικών συστατικών σε νέες φαινολικές ενώσεις.

Στα ελαιουργικά απόβλητα, η γνώση για τη μικροβιακή χλωρίδα είναι ιδιαίτερα περιορισμένη. Η ανίχνευση και η μελέτη των μικροοργανισμών είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα διότι παίζουν καθοριστικό ρόλο στη λειτουργία των αναερόβιων αντιδραστήρων. Κατά τη διαδικασία της έκθλιψης του ελαιοκάρπου (διαδικασία έκπλυσης ελαιοκάρπου, οριζόντιος διαχωριστήρας και τελική εκροή αποβλήτων), υπάρχει μεγάλη διακύμανση στον αριθμό των αποικιών τόσο μεταξύ των τριών σταδίων όσο και μεταξύ των δειγματοληψιών σε κάθε στάδιο. Σε γενικές γραμμές μετά από μελέτη πολλών ερευνητών ανιχνεύτηκαν ετερότροφοι, νηματοειδείς μύκητες και ζύμες, με το στάδιο της έκπλυσης του ελαιοκάρπου να παρουσιάζει τον μεγαλύτερο αριθμό αποικιών με επικρατούντες τους ετερότροφους μικροοργανισμούς. Στον οριζόντιο διαχωριστήρα όπου πραγματοποιείται μάλαξη του ελαιοπολτού σε κυμαινόμενες θερμοκρασίες από 22 έως 32⁰C, οι φυσικοχημικές συνθήκες (πλέον όξινο pH, σημαντική αύξηση 44 ολικών στερών, αύξηση λιπών, αύξηση θερμοκρασίας) ήταν λιγότερο ευνοϊκές για την ανάπτυξη των μικροβιακών πληθυσμών (Amaral *et al.*, 2008).

Βακτήρια. Διάφορες, μη συνήθειες μορφές βακτηρίων, που παρουσιάζουν σημαντικό ενδιαφέρον σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας αποβλήτων είναι τα βακτήρια με θύλακα, τα βακτήρια με βλαστούς καθώς και τα βακτήρια με άλλες μορφολογίες που αντιστοιχούν στα λεγόμενα νηματοειδή βακτήρια.

Βακτήρια με θύλακα (sheathed bacteria): Είναι νηματοειδείς μικροοργανισμοί που περιβάλλονται από μια σωληνοειδή δομή η οποία καλείται θύλακας, οι οποίοι απαντώνται σε ρυπασμένα νερά και σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων. (Ένα γένος βακτηρίων με θύλακα είναι το γένος *Sphaerotilus*).

Βακτήρια με βλαστούς (budding bacteria): Μετά από προσκόλληση σε μια επιφάνεια μερικά βακτήρια παλλαπλασιάζονται με εκβλάστηση δημιουργώντας υφές στο άκρο των οποίων σχηματίζεται ένα μάτι. Το μάτι αποκτά ένα μαστίγιο και στη συνέχεια σχηματίζεται μια νέα υφή με ένα νέο μάτι στο άκρο της. Το γένος *Hyphomicrobium* αποτελεί παράδειγμα βακτηρίων με βλαστούς.

Ακτινομύκητες (Actinomycetes): Το γένος *Nocardia* απαντάται σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας ρευμάτων και νερού και αποδομούν υδατάνθρακες και διάφορες άλλες δύσκολα διασπώμενες οργανικές ενώσεις. Επίσης ευθύνονται για τον σχηματισμό αφρού σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων.

Φύκη. Συστήματα επεξεργασίας λυμάτων, στα οποία παρατηρείται και παρουσία φυκών, είναι τα σταλαγματικά φίλτρα και οι λίμνες οξειδωσης. Τα είδη των φυκών που παρουσιάζουν ενδιαφέρον σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων είναι:

Χλωρόφυτα: Είναι η κύρια κατηγορία φυκών που απαντώνται σε υδάτινα περιβάλλοντα τα οποία ποικίλουν από ατροφικά καθαρά νερά μέχρι ευτροφικά αλμυρά νερά. Παρουσιάζουν μια ποικιλία κυτταρικής οργάνωσης αλλά μόνο μονοκυτταρικοί και νηματοειδείς τύποι απαντώνται σε υδάτινα συστήματα. Μερικά είναι κινητά και φέρουν μαστίγιο. Το τελικό προϊόν της φωτοσύνθεσης είναι το άμυλο και αποθηκεύεται σε θέσεις που ονομάζονται πυρηνοειδή. Τα πιο κοινά γένη χλωρόφυτων είναι τα *Chlamydomonas*, *Scenedesmus* και *Spyrogira*.

Χρυσόφυτα: Περιλαμβάνουν την ομάδα των διατόμων. Τα διάτομα είναι πολύ διαδεδομένα σε γλυκά και αλμυρά υδάτινα συστήματα καθώς και σε ιζήματα στο έδαφος. Τα πιο κοινά γένη χλωρόφυτων είναι τα *Navicula*, *Tabularia* και *Synedra*.

Ευγλενόφυτα: Είναι μονοκύτταροι μικροοργανισμοί που φέρουν ένα ή περισσότερα μαστίγια. Τυπικό γένος των ευγλενόφυτων είναι το *Euglena* (Τσώνης, 2004).

Πρωτόζωα. Τα είδη που παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων είναι τα σαρκομαστιγοφόρα (sarcomastigophora) και τα βλεφαριδοφόρα (ciliophora).

Τα σαρκομαστιγοφόρα περιλαμβάνει τα υποείδη μαστιγοφόρα (mastigophora) και σαρκώδη ή αμοιβαδοειδή (sarcodina, amoebae). Τα μαστιγοφόρα έχουν ένα ή περισσότερα μαστίγια τα οποία χρησιμοποιούνται ως οργανίδια για κίνηση και δημιουργία ρευμάτων μεταφοράς τροφής. Διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες στα φυτομαστιγοφόρα και στα ζωομαστιγοφόρα.

Τα φυτομαστιγοφόρα έχουν συνήθως δύο μαστίγια ενώ τα ζωομαστιγοφόρα έχουν περισσότερα μαστίγια. Απαντώνται και οι δύο κατηγορίες σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων (σταλαγματικά φίλτρα, συστήματα ενεργού ιλύος, λίμνες οξείδωσης).

Τα σαρκώδη ή αμοιβαδοειδή χαρακτηρίζονται από την ύπαρξη συσταλτικών και διασταλτικών ψευδοποδίων τα οποία χρησιμεύουν ως οργανίδια για κίνηση και διατροφή. Κοινά είδη αμοιβαδοειδών πρωτόζωων που απαντώνται σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων είναι τα *Amoeba proteus*, *Valhkampfia vahlkampfii* και *Amoeba guttula*.

Τα βλεφαριδοφόρα απαντώνται σε μεγαλύτερη ποικιλία από τα άλλα πρωτόζωα σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων. Χαρακτηρίζονται από την ύπαρξη βλεφαρίδων οι οποίες είναι διευθετημένες κατά τέτοιο τρόπο στην επιφάνειά τους ώστε να διευκολύνουν λειτουργίες όπως η κίνηση ή η διατροφή. Τα βλεφαριδοφόρα διακρίνονται σε ολότριχα, σε σπειρότριχα, σε περίτριχα και σε απομυζητικά.

Νηματώδη. Χαρακτηριστικά είδη νηματωδών που απαντώνται σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων είναι τα *Arhabditid* και *Diplogasterid* (Τσώνης, 2004).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΔΑΦΙΚΗ ΜΙΚΡΟΧΛΩΡΙΔΑ

3.1. Η ρύπανση των εδαφικών οικοσυστημάτων και επιπτώσεις στην μικροχλωρίδα του εδάφους

Το έδαφος μαζί με τα υδάτινα οικοσυστήματα, είναι ο κύριος αποδέκτης της ανθρωπογενούς ρύπανσης. Οι βιομηχανικές, βιοτεχνικές και εμπορικές δραστηριότητες ρυπαίνουν σε μεγάλο βαθμό το έδαφος.

Υπερβολικές ποσότητες γεωργικών και κτηνοτροφικών απόβλητων, λιπασμάτων και φυτοφάρμακων ρυπαίνουν σε μεγάλο βαθμό καλλιεργημένες εκτάσεις. Ατυχήματα και διαρροές πετρελαίου, απόβλητα ορυχείων και λατομείων είναι μερικές άλλες αιτίες ρύπανσης εδαφών. Το έδαφος γίνεται αποδέκτης και των ατμοσφαιρικών ρύπων (οργανικών και ανόργανων) που κατακρημνίζονται με αργούς ρυθμούς ανάλογα με τις συνθήκες και τη γεωμορφολογία των περιοχών. Συστατικά οργανικών και ανόργανων ρύπων στο νερό της βροχής μέσω του εδάφους καταλήγουν στα υπόγεια νερά. Οι συντελεστές κατανομής ρύπων μεταξύ εδαφών και νερού, εδάφους και ατμόσφαιρας, εδάφους και οργανικών συστατικών, παίζουν σημαντικό ρόλο για τον τελικό διασκορπισμό, μεταφορά, επανεξάτμιση και συσσώρευση ρύπων στα εδάφη (Dragun *et al.*, 1997; Siegrist and McCarty, 1987).

Οι συντελεστές κατανομής προκαθορίζουν και την τοξικότητα ρύπων στα φυτά και στα χερσαία ζώα, τη διάσπαση από φυσικές διεργασίες μέσα στο έδαφος και τη βιοαποικοδόμηση τους μέσω των εδαφικών μικροοργανισμών. Αυτά είναι τα βασικά προβλήματα της περιβαλλοντικής τοξολογίας σε σχέση με τους τοξικούς και επικίνδυνους χημικούς ρύπους στα εδάφη. Μελέτες για τις συγκεντρώσεις τους και τους μηχανισμούς τοξικότητας χρησιμεύουν για την εκτίμηση του κινδύνου για το περιβάλλον των ζωντανών οργανισμών και την υγεία του ανθρώπου (Jury *et al.*, 1987; Brown *et al.*, 1990). Ένας από σημαντικούς παράγοντες ρύπανσης του εδάφους είναι τα υγρά και στερεά απόβλητα αρχικά εναποτίθενται και επεξεργάζονται σε χερσαίες εγκαταστάσεις.

Για τη ρύπανση των εδαφών μπορούμε πιο απλά να πούμε ότι είναι η απόθεση στερεών ή υγρών επικίνδυνων ουσιών στο φυσικό έδαφος. Τα ρυπασμένα εδάφη μπορούν να οριστούν ως τα εδάφη όπου η παρουσία επικίνδυνων ουσιών έχει επιβεβαιωθεί σε επίπεδα που ξεπερνούν την αποδεκτή επικινδυνότητα ή η

συγκέντρωση των ρύπων σε αυτά ξεπερνά τα σχετικά επιτρεπτά όρια συγκέντρωσης που ορίζονται από τις σχετικές νομοθετικές ρυθμίσεις (Scullion, 2006).

Ορισμένες από τις βασικές αιτίες ρύπανσης των εδαφών είναι:

- τα λιπάσματα και φυτοφάρμακα των γεωργικών εκμεταλλεύσεων.
- τα υγρά και στερεά απόβλητα των κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων.
- τα υγρά και στερεά απόβλητα των χημικών βιομηχανιών τα αστικά και νοσοκομειακά απόβλητα που διατίθενται σε χώρους.
- υγειονομικής ταφής και αποτέφρωσης σε υψηλές θερμοκρασίες.
- η ρύπανση από την εκμετάλλευση του πετρελαίου, λιπαντικών υλών και ελαστικών τροχοφόρων.
- η ρύπανση από απόβλητα μεταλλευτικών και λατομικών επιχειρήσεων.
- η ρύπανση από βαρέα μέταλλα που προέρχονται από χημικές βιομηχανίες, καύση στερεών και υγρών ορυκτών καυσίμων και άλλες διεργασίες εμπλουτισμού ή καθαρισμού μεταλλευμάτων.

Το έδαφος δέχεται όλες αυτές τις τοξικές και επικίνδυνες χημικές ουσίες και παρασκευάσματα ή απόβλητα, τα οποία ανάλογα με τη γεωμορφολογία του εδάφους και άλλες εξωγενείς συνθήκες ρυπαίνουν τοπικά το έδαφος μαζί με τα εδαφικά οικοσυστήματα με σοβαρές επιπτώσεις και στην μικροχλωρίδα του εδάφους.

Η εδαφική μικροχλωρίδα, αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι του εδαφικού οικοσυστήματος, και χαρακτηρίζεται ως ένα δυναμικό σύστημα που περικλείει ένα τεράστιο αριθμό μικροοργανισμών: μυκήτων, βακτηρίων, ακτινομυκήτων. Αλλά, δεν θα είχε κανένα ενδιαφέρον η μελέτη τους, αν οι μικροοργανισμοί αυτοί δεν είχαν καθοριστική (δραστική) συμμετοχή στις τροφικές αλυσίδες των ζωντανών οργανισμών. Είναι καθιερωμένο στην φύση, τα φυτά (οι παραγωγοί), να μεταφέρουν μέσω της τροφικής τους αλυσίδας τα απαραίτητα στοιχεία στα φυτοφάγα και από εκεί στα σαρκοφάγα ζώα. Προκειμένου να επιστρέψουν τα στοιχεία αυτά ξανά στους «παραγωγούς» και να κλείσει ο κύκλος, υπεισέρχονται στην κυκλική διαδικασία οι αποικοδομητές που είναι οι μικροοργανισμοί (βακτήρια, μύκητες κ.ά.), οι οποίοι διασπών απεκκρίσεις, περιττώματα και νεκρά οργανικά συστατικά σε απλούστερα, τα οποία προσλαμβάνονται και επαναχρησιμοποιούνται από τους παραγωγούς. Γι' αυτό οι μικροοργανισμοί του εδάφους παίζουν σπουδαίο ρόλο στην αλυσίδα ανακύκλωσης των θρεπτικών στοιχείων (ο κύκλος του νερού και οι βιοχημικοί κύκλοι του αζώτου, του άνθρακα και του φωσφόρου), που έχουν σχέση με τη γονιμότητα του εδάφους (μετατρέπουν πολλά θρεπτικά στοιχεία σε αφομοιώσιμες για τα φυτά μορφές)

(Κουκουλάκης κ.ά., 2000; (Kaschuk *et al.*, 2010). Έτσι, στα οικοσύστημα που δημιουργήθηκαν επί πολλά χρόνια, οι πληθυσμοί των μικροοργανισμών, σχηματίζουν διάφορες κοινωνίες, αλληλεπιδρούν μεταξύ τους, και κάθε δυσμενής αλλαγή που προκύπτει από τις βιομηχανικές, βιοτεχνικές, εμπορικές και ανθρώπινες δραστηριότητες, είναι υπεύθυνη για τις μεταβολές των περιβαλλοντικών συνθηκών των εδαφικών οικοσυστημάτων, για την ανάπτυξη της εδαφικής μικροχλωρίδας και της ανταγωνιστικής δράσης της.

Στην περίπτωση των **λιπασμάτων** (νιτρικό και θειικό αμμώνιο, ουρία, φωσφορικά άλατα, άλατα καλίου) το έδαφος εμπλουτίζεται με θρεπτικά συστατικά για τα φυτά, αλλά δεν προσθέτουν τίποτα στην περίπτωση των χουμικών και των απαραίτητων εδαφικών ιχνοστοιχείων. Το αποτέλεσμα είναι η μείωση της οργανικής ύλης, η πορώδης υφή του εδάφους αλλοιώνεται και η συγκράτηση του νερού στο έδαφος μειώνεται. Με τη μείωση του νερού αυξάνεται η απώλεια θρεπτικών συστατικών και μειώνεται η γονιμότητα του εδάφους. Η προσπάθεια των γεωργών να αυξήσουν την απόδοση (χωρίς τη σωστή διαχείριση του προβλήματος) οδηγεί στην αύξηση της τοξικότητας των νιτρικών και άλλων λιπασμάτων στο έδαφος και στα νερά (Sawhney *et al.*, 1989; Verhoef and Brussaard, 1990).

Παρόμοια προβλήματα ρύπανσης δημιουργούν ορισμένα από τα **φυτοφάρμακα** και οι μεταβολίτες τους στο έδαφος. Η συσσώρευση των υπολειμμάτων φυτοφαρμάκων σε γεωργικές εκτάσεις έχει ως αποτέλεσμα την πρόκληση τοξικών φαινομένων στους χερσαίους οργανισμούς, στους γαιοσκώληκες, τους νηματώδεις και τους μικροοργανισμούς, οι οποίοι με το χρόνο υποβαθμίζουν την υφή και την ποιότητα των εδαφών. Ιδιαίτερα προβλήματα προκαλούν τα φυτοφάρμακα που βιοαποικοδομούνται με αργούς ρυθμούς (μη βιοδιασπάσιμα) ή κατά τη διάσπασή τους παράγουν τοξικούς μεταβολίτες (Somerville and Walker, 1990; Martin, 1995).

Τα **βαρέα μέταλλα** είναι επίσης ένας σημαντικός παράγοντας ρύπανσης των εδαφών. Αν και οι χαμηλές συγκεντρώσεις μετάλλων μπορούν να γίνουν αποδεκτές από ορισμένα φυτά χωρίς να προκαλούν τοξικές βλάβες, οι υψηλές συγκεντρώσεις έχουν αρνητικές επιδράσεις στην ενζυμική λειτουργία σε χερσαία ζώα και τους γαιοσκώληκες, νηματώδεις και μικροοργανισμούς των εδαφών (Hopkin, 1989; Van Kessel *et al.*, 1989).

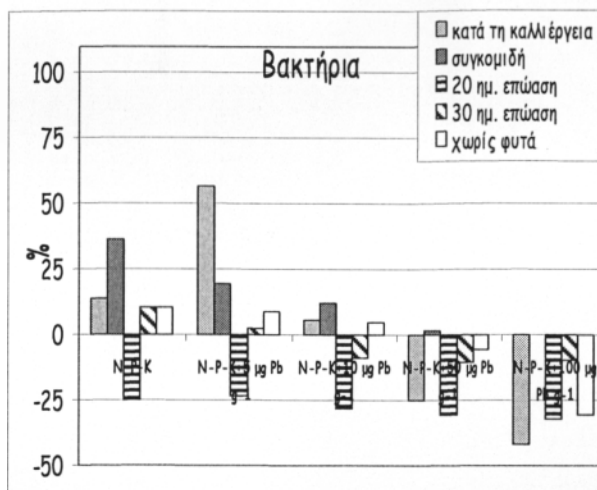
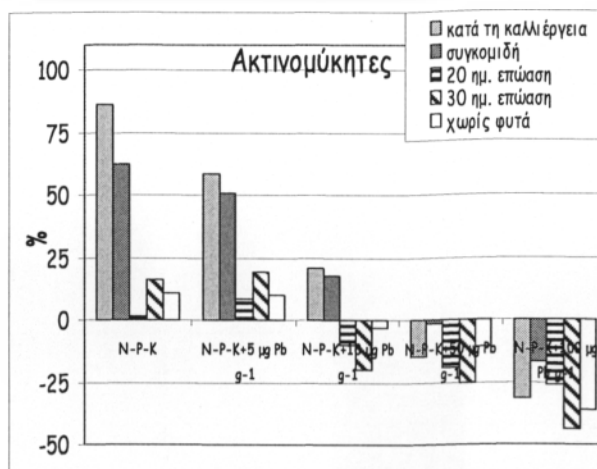
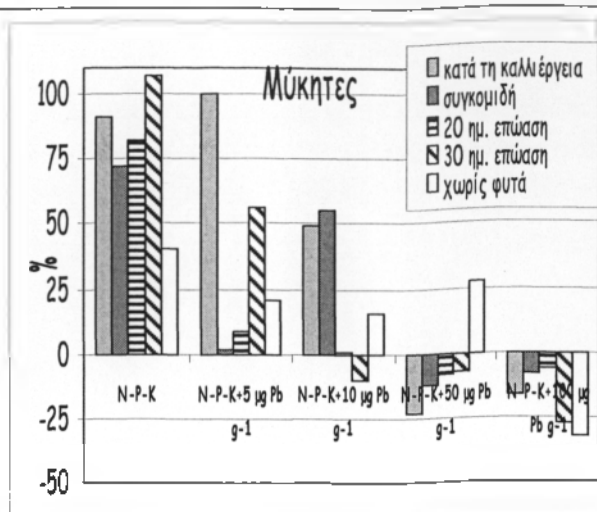
Μεταξύ των άλλων η εδαφική χλωρίδα απειλείται από την υπερβολική συσσώρευση των βαρέων μετάλλων στο έδαφος, για να θεωρούνται αυτά ως ιχνοστοιχεία, που είναι απαραίτητα για το μεταβολισμό των μικροοργανισμών, και ακόμα να εξαλειφθούν αποσυνθέτοντας από το έδαφος. Η μόλυνση του εδάφους με

βαρέα μέταλλα στη μορφή των κατιόντων τους οδηγεί στην μείωση της μικροβιακής βιομάζας και στην μεταβολή της μικροβιακής ποικιλομορφίας, εξαιτίας της βιωσιμότητας των ευαίσθητων ομάδων μικροοργανισμών και την ανάπτυξη των άλλων ανθεκτικών ομάδων (Babich and Stotzky, 1985).

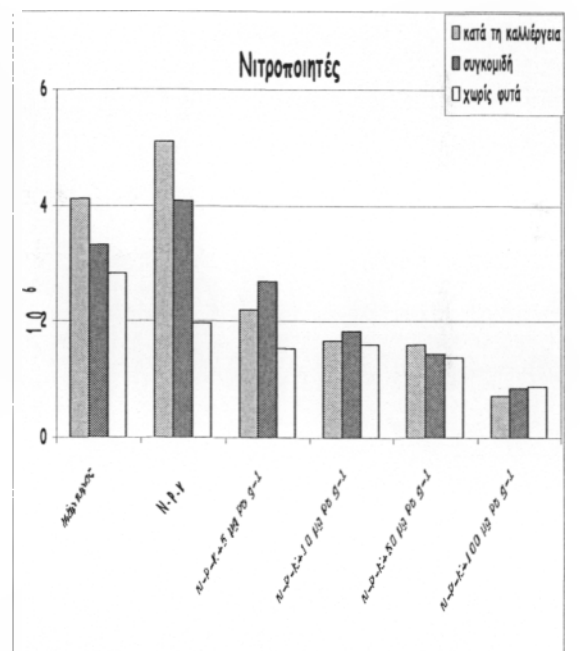
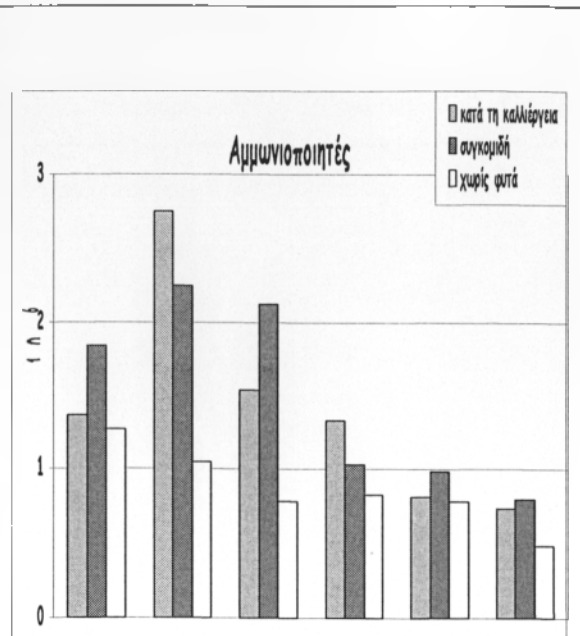
Περισσότερο από όλα τα άλλα μέταλλα χρησιμοποιήθηκε ο μόλυβδος με αποτέλεσμα συσσώρευσης στο περιβάλλον σε υψηλά επίπεδα αδύνατον να αποικοδομηθεί λόγω φυσικών του ιδιοτήτων. Ανήκει στην κατηγορία των βαρέων μετάλλων που χαρακτηρίζονται ως μέταλλα με χαμηλή κινητικότητα, γι' αυτό όταν καταλήγουν στο έδαφος με μορφή διάφορων αλάτων συσσωρεύονται σύντομα σε μεγάλες τοξικές ποσότητες. Τα πειράματα διαφόρων ερευνητών δείχνουν την αρνητική επίδραση του. Έτσι το έδαφος που πάρθηκε από 15 χιλ. από ένα χυτήριο μόλυβδου και περιείχε μεταξύ των άλλων 28.000 ppm Pb, είχε λιγότερα αριθμό βακτηρίων, ακτινομυκήτων, μυκήτων σε σχέση με τα εδάφη (απέιχαν 1000χιλ. από ένα χυτήριο) στα οποία η ποσότητα του μόλυβδου πλησίαζε στα 703 ppm Pb, ή σε δείγματα εδάφους με συγκέντρωση μόλυβδου 1.100 ppm Pb (παρθήκαν 2χμ. μακριά από το χυτήριο ψευδαργιρού). Χαμηλότεροι αριθμοί βακτηρίων, ακτινομυκήτων και μυκήτων παρατηρήθηκαν σε έδαφος μολυσμένο με απόβλητα ορυχείου και το οποίο περιείχε και 21.230 ppm Pb από ότι έδαφος με συγκέντρωση 274 ppm Pb. Αναμφισβήτητα ο βαθμός επίδρασης των βαρέων μετάλλων στους μικροβιακούς πληθυσμούς και την δραστηριότητά τους εξαρτάται από τις εδαφικές συνθήκες, από φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους, την παρουσία άλλων στοιχείων (π.χ. το άζωτο, κάλιο, φώσφορο των λιπασμάτων κ.ά.), από το είδος του φυτού που καλλιεργείται (Akmal *et al.*, 2005). Επίσης, διαφορετικές φυσιολογικές κατηγορίες μικροοργανισμών αντιδρούν διαφορετικά, ανάλογα με την συγκέντρωση και το είδος του μετάλλου. Τα βαρέα μέταλλα επιδρούν αρνητικά πάνω στις διαδικασίες σχετικά με το κύκλο του N, όπως ανοργανοποίηση του N, αμμωνιοποίηση, νιτροποίηση. Παρόλο που η πρόσθεση των 5000 ppm Cd και Zn ή του 10.000 ppm Pb μειώνει την αμμωνιοποίηση της πεπτόνης δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ της μείωσης της αμμωνιοποίησης και της μείωσης των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων. Η νιτροποίηση της πεπτόνης είχε ανασχαιτηθεί με την πρόσθεση 1.000 ppm Cd ή Zn και 10.000 ppm Pb και ήταν πιο ευαίσθητο σε σχέση με την διαδικασία της αμμωνιοποίησης. Τα 1000 ppm Cd δεν επηρέασε την αμμωνιοποίηση στα όξινα εδάφη ενώ η νιτροποίηση μειώθηκε από 500 ppm Cd και ακόμα περισσότερο στα 1.000 ppm του Cd (Babich and Stotzky, 1985).

Στα πειράματα το 2005-2006 σε μη θερμαινόμενο θερμοκήπιο του ΑΤΕΙ Καλαμάτας μελετήθηκε η επίδραση διαφόρων επιπέδων μόλυβδου (Pb) στο έδαφος (0,

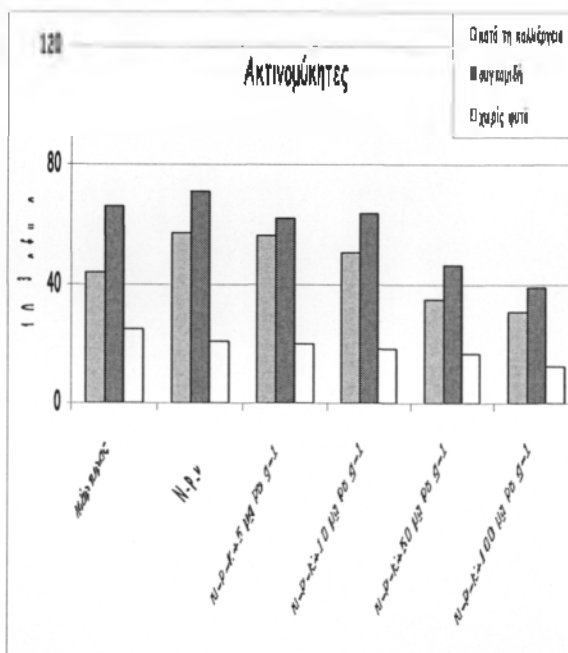
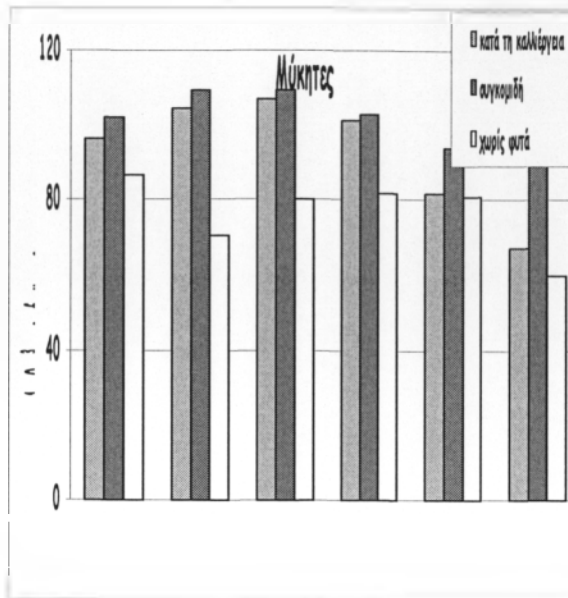
5, 10, 50 και 100 $\mu\text{g g}^{-1}$) σε μορφή $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, στην απόδοση του σπανακιού, στη δραστηριότητα και στον πληθυσμό της μικροχλωρίδας του εδάφους. Δεν παρατηρηθήκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων ως προς τη παραγωγή νωπής βιομάζας. Διαπιστώθηκαν σημαντικές μεταβολές σε όλες τις ομάδες των μικροοργανισμών σε σχέση με την αύξηση των επιπέδων Pb στα εδαφικά δείγματα (Σχήμα 7). Στα υψηλότερα επίπεδα Pb και ιδιαίτερα στις επεμβάσεις με N-P-K και 100 $\mu\text{gPb g}^{-1}$ μειώθηκε σημαντικά ο αριθμός των βακτηρίων και ακτινομυκήτων. Ο μικροβιακός πληθυσμός των αμμωνιοποιητών και ιδιαίτερα των νιτροποιητών μειώθηκε σημαντικά με την αύξηση των επιπέδων μόλυβδου στο έδαφος (Σχήμα 8) υποδηλώνοντας τη μείωση της ταχύτητας ανοργανοποίησης και νιτροποίησης και συνεπώς έλλειψη των αφομοιώσιμων για τα φυτά μορφών αζώτου. Ο αριθμός των μυκήτων και ακτινομυκήτων υπεύθυνων για την αποσύνθεση της κυτταρίνης δεν μεταβλήθηκε σημαντικά με την αύξηση των επιπέδων μόλυβδου έως τα 10 $\mu\text{g g}^{-1}$ (Σχήμα 9). Στις επεμβάσεις με υψηλά επίπεδα μόλυβδου (50 και 100 $\mu\text{gPb g}^{-1}$) ο αριθμός των μυκήτων και ακτινομυκήτων ήταν σχετικά χαμηλός. Τα παραπάνω υποδηλώνουν την παρεμπόδιση της αποσύνθεσης ανακύκλωσης της οργανικής ουσίας στο έδαφος και κατά συνέπεια της διαθεσιμότητας των θρεπτικών στοιχείων σε περίπτωση υψηλών συγκεντρώσεων εδαφικού Pb. Οι απώλειες της μάζας της κυτταρίνης ήταν μικρές στα εδαφικά δείγματα με 50 και 100 $\mu\text{gPb g}^{-1}$ συγκριτικά με αυτά των 0-10 $\mu\text{gPb g}^{-1}$ όπου διατηρήθηκαν σε σχετικά υψηλά επίπεδα (Σχήμα 10). Για τις συγκεκριμένες πειραματικές συνθήκες: α) τα υψηλά επίπεδα Pb (50-100 $\mu\text{g g}^{-1}$) είχαν ισχυρή αρνητική επίδραση στην μικροχλωρίδα του εδάφους σε σύγκριση με το μάρτυρα και ήταν ασθενέστερη όπου αναπτύχθηκαν φυτά. Η μείωση του βαθμού αποσύνθεσης της κυτταρίνης, κύριο συστατικό των φυτικών υπολειμμάτων και η χαμηλή βιωσιμότητα των ευαίσθητων ομάδων μικροοργανισμών σε συνθήκες τοξικότητας Pb μπορεί να έχει αποτέλεσμα τη σταδιακή συσσώρευση των οργανικών ουσιών, την ανάπτυξη ανθεκτικών ομάδων και αλλαγές στο οικοσύστημα (Παπαδοπούλου κ.ά., 2009).



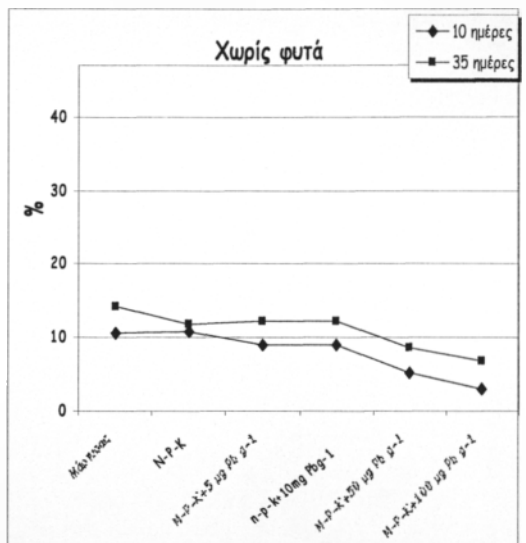
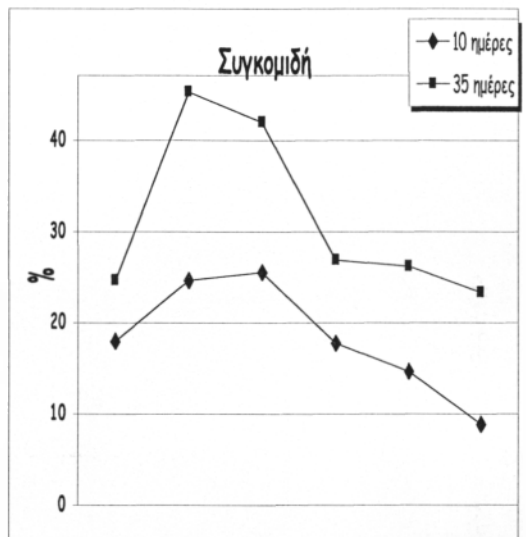
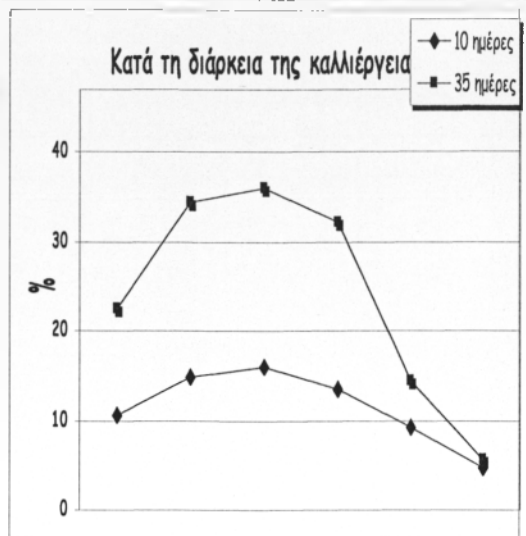
Σχήμα 7. Εκατοστιαία μεταβολή των βασικών ομάδων μικροοργανισμών (μύκητες, ακτινομύκητες, βακτήρια) σε σχέση με το μάρτυρα (χωρίς λίπανση) (Παπαδοπούλου κ.ά., 2009).



Σχήμα 8. Εκτίμηση του μικροβιακού πληθυσμού υπεύθυνου για την ανοργανοποίηση και νιτροποίηση της αζωτούχας οργανικής ύλης με την μέθοδο του Πλέον Πιθανού Αριθμού (MPN) (Παπαδοπούλου κ.ά., 2009).



Σχήμα 9. Αριθμός μικροοργανισμών υπεύθυνων για την ανάπτυξη κυτταρίνης υπό διαφορετικές συνθήκες (CFU gr ξηρού εδάφους) (Παπαδοπούλου κ.ά., 2009).



Σχήμα 10. Η επίδρασή του μόλυβδου στην ταχύτητα αποσύνθεσης της κυτταρίνης (Παπαδοπούλου κ.ά., 2009).

Τα **τοξικά απόβλητα** επεξεργασίας γεωργικών προϊόντων και από βιομηχανικές εγκαταστάσεις, λόγω των τοξικών και επικίνδυνων ουσιών που περιέχουν (αλογονομένες ουσίες, πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες, τοξικοί διαλύτες, βαρέα μέταλλα, κλπ) προκαλούν διάφορα προβλήματα ρύπανσης στο εδαφικά οικοσυστήματα.

Σημαντικό πρόβλημα ρύπανσης εδαφών αποτελούν το **πετρέλαιο**, τα προϊόντα δύλισης, τα λιπαντικά και οι διάφοροι διαλύτες που είναι προϊόντα της χημικής βιομηχανίας πετρελαίου. Η ρύπανση από πετρέλαιο και τα προϊόντα του προκύπτει κατά τις χερσαίες μεταφορές, τις διαρροές από εργοστάσια, τις βιοτεχνίες και τις αποθήκες τους, τις παλαιές εγκαταστάσεις διυλιστηρίων, τα πρατήρια υγρών καυσίμων και τα διάφορα ατυχήματα σε εγκαταστάσεις άντλησης πετρελαίου. Η τοξικότητα του πετρελαίου λόγω της ύπαρξης αδιάλυτων υδρογονανθράκων, πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων και πτητικών αρωματικών ενώσεων καθιστά τη ρύπανση επικίνδυνη για τους χερσαίους οργανισμούς, τη χλωρίδα και τους μικροοργανισμούς του εδάφους (Calabrese and Kosteckí, 1989; Li *et al.*, 2001).

Τα απόβλητα των ελαιουργείων συγκαταλέγονται στα ιδιαίτερα τοξικά, από άποψη ρυπαντικού φορτίου, αγροτοβιομηχανικά απόβλητα. Δεδομένου ότι από 1 τόνο επεξεργάσιμου ελαιοκάρπου παράγονται μόλις 200 κιλά ελαιόλαδο και ταυτόχρονα 400-1.200 λίτρα υγρά απόβλητα και 400-800 κιλά στερεά απόβλητα (ανάλογα τη μέθοδο που χρησιμοποιείται), γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η ρύπανση που προκαλείται από τα ελαιουργεία είναι ένα από τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά προβλήματα που απασχολούν τις χώρες της Μεσογείου.

Τα μεγαλύτερα προβλήματα δημιουργούνται από τα υγρά απόβλητα των ελαιουργείων. Τα απόνερα αυτά όπως προκύπτουν από τα ελαιοτριβεία, εκχύνονται αρκετές φορές, μέχρι και σήμερα, σε κοντινούς υδάτινους αποδέκτες όπως ρεματιές, ποτάμια, λίμνες και θάλασσες. Στις περιπτώσεις αυτές δημιουργούνται τεράστια προβλήματα μόλυνσης των υπογείων υδάτων λόγω της τοξικότητας των αποβλήτων, καθώς και μία γενικότερη υποβάθμιση του περιβάλλοντος γύρω από τα ελαιοτριβεία. Είναι σύνηθες το φαινόμενο της καταστροφής των υδάτινων συστημάτων στα σημεία απόρριψης των αποβλήτων αυτών, λόγω της έλλειψης οξυγόνου που παρατηρείται (καταναλώνεται για την οξείδωση των οργανικών ουσιών), από ομάδες μικροοργανισμών που αναπτύσσονται και επικρατούν σε αυτούς τους αποδέκτες.

Ωστόσο και τα στερεά απόβλητα των ελαιουργείων μπορούν να δημιουργήσουν σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα, ιδιαίτερα όταν διατεθούν χωρίς καμία επεξεργασία. Το στερεό υπόλειμμα, που προκύπτει κατά την παραγωγική διαδικασία,

χαρακτηρίζεται από το υψηλό οργανικό φορτίο και από τη μεγάλη περιεκτικότητα σε αδρανή στοιχεία (όπως άλλωστε και τα υγρά απόβλητα). Θεωρείται ως ένα παραπροϊόν δύσκολο στη διαχείριση του, εξαιτίας: α) της μεγάλης τιμής του χημικά και βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου (COD, BOD₅) που έχει, β) της υψηλής συγκέντρωσης σε λιπαρά οξέα που αναστέλλει την ανάπτυξη των μικροοργανισμών και γ) της μεγάλης περιεκτικότητας του σε φαινόλες, που παρεμποδίζει τις μικροβιακές δραστηριότητες. Η αποθήκευσή του ή η διάθεσή του στο έδαφος χωρίς προεπεξεργασία δεν αποτελεί λύση για το περιβάλλον. Αντιθέτως οξύνεται ακόμη περισσότερο το πρόβλημα, ιδιαίτερα όταν υπάρχουν υγρές διαρροές που μολύνουν τον υδροφόρο ορίζοντα ή παρατηρούνται αλλαγές στη μορφολογία του εδάφους. Τα υγρά απόβλητα ελαιοτριβείων παρουσιάζουν υψηλό βαθμό μεταλλαξιγόνου δράσης. Παρόμοια γονοτοξική δράση παρουσιάζουν και οι στάχτες των αποβλήτων που έχουν κατεργασθεί με πυρολυτική καύση σε αποτεφρωτήρες (Μπλίκια, 2009).

Το περιβαλλοντικό πρόβλημα των Υ.Α.Ε. παρουσιάζεται σαν ρυπαντική μόλυνση ή τοξικότητα που εκδηλώνεται στο εδαφικό περιβάλλον. Οι φυτοτοξικές ιδιότητες των υγρών αποβλήτων των ελαιοτριβείων οφείλονται σε φαινολικές ενώσεις, πτητικά, οργανικά οξέα (οξικό οξύ και φορμικό οξύ), πολυαλκοόλες και άλλα μόρια. Με αυτόν το τρόπο ο κατσίγαρος επηρεάζει την ορμονική λειτουργία των φυτών, νεκρώνει τα νεαρά σποριόφυτα, αποκόπτει τα φύλλα και τους καρπούς, εμποδίζει την ανάπτυξη των σπόρων και των νέων φυτών ιδιαίτερα τα ποώδη φυτά. Όταν όλα τα προηγούμενα συστατικά βρεθούν σε υψηλές συγκεντρώσεις, δηλαδή να γίνει απευθείας διάθεσης των υγρών αποβλήτων των ελαιοτριβείων σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις, τότε επηρεάζουν αρνητικά ιδιαίτερα τα φυτά που βρίσκονται σε βλαστικό στάδιο. Επίσης οι αρνητικές επιδράσεις των Υ.Α.Ε. στα φυτά μετά από άρδευση, εντοπίζονται κυρίως στην υψηλή αγωγιμότητα που εμφανίζουν, το χαμηλό pH και την τοξικότητα ορισμένων ιόντων που περιέχουν (Paredes *et al.*, 1987).

Όπως έχει αναφερθεί τα υγρά απόβλητα ελαιοτριβείου παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον από περιβαλλοντικής απόψεως. Όμως αυτά τα απόβλητα έχουν διπλό ρόλο: είναι μία πηγή για ανάκτηση χρήσιμων προϊόντων και ταυτόχρονα ένα απόβλητο για διαχείριση. Τα ΥΑΕ έχουν υψηλό οργανικό φορτίο, αιωρούμενα στερεά, και λιπίδια και παράλληλα παράγονται σε μεγάλες ποσότητες. Πολλοί επιστήμονες εργάζονται πάνω στην εύρεση αποδοτικών, και από άποψη κόστους, εναλλακτικών μεθόδων διαχείρισης. Για να επιτευχθεί αυτός ο σκοπός διάφορες μέθοδοι, αλλά και συνδυασμοί αυτών, έχουν εφαρμοστεί, συμπεριλαμβανομένου χημικών, μηχανικών, φυσικών, βιολογικών και θερμικών μεθόδων (Μπλίκια, 2009).

Ερευνητές μελέτησαν σε τριετή πειράματα την αλληλεπίδραση της δόσης του προστιθέμενου ΟΜW σε σχέση, με καλλιεργούμενα φυτά (*Triticum aestivum* L., *Hordemum vulgare* L., *Helianthus annuus* L. κ.α.) και σε ζιζάνια (*Picris echinoides* L., *Sinapis arvensis* L., κ.ά.) (Bonari *et al.*, 1993). Οι ερευνητές ανέφεραν ότι η αρνητική αλληλεπίδραση των ΟΜW στα φυτά σχετίζεται με το χρόνο που μεσολαβεί από τη διάθεση του απόβλητου μέχρι την εγκατάσταση της καλλιέργειας. Συγκεκριμένα για φύτευση σε χρονικό διάστημα 60 ημερών, από την προσθήκη ΟΜW σε δόσεις 40-80 m³/ha, δεν παρατηρήθηκε φυτοτοξικότητα. Ενδιαφέρον εμφανίζουν δεδομένα για την δράση των ΟΜW σε ζιζάνια, όπου το *Rumex crispus* εμφάνισε την μεγαλύτερη ευαισθησία για δόσεις πάνω από 40 m³/ha.

3.2.Επίδραση της μακροχρόνιας προσθήκης υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων στις φυσικοχημικές και μικροβιακές ιδιότητες του εδάφους

Αναμφισβήτητα, τα Υ.Α.Ε. που παράγονται κατά την εξαγωγή του ελαιόλαδου από τα παραδοσιακά και τα φυγοκεντρικά ελαιοτριβεία τριών φάσεων έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά τα οποία εξαρτώνται από τη διαδικασία παραγωγής και τον τύπο των ελιών που χρησιμοποιούνται και κατά συνέπεια και διαφορετική επίδραση. Αλλά, επειδή τα υγρά απόβλητα περιέχουν φαινόλες, οξέα, μεταλλικά στοιχεία και οργανικές ενώσεις, η άμεση εφαρμογή αυτών των αποβλήτων στο έδαφος επηρεάζει σημαντικά τις φυσικοχημικές (συγκέντρωση ολικού, αμμωνιακού, νιτρικού αζώτου, οργανικού άνθρακα, pH και ηλεκτρική αγωγιμότητα) και μικροβιακές ιδιότητες του εδάφους, ασκώντας μια επιλεκτική δράση στους μικροοργανισμούς του (Paredes *et al.*, 1987; Piotrowska *et al.*, 2006).

Έχουν γίνει πολλές μελέτες σε Πανεπιστήμια και Ερευνητικά Κέντρα των σημαντικότερων ελαιοπαραγωγικών χωρών της Μεσογείου, που αφορούν τις ενδεχόμενες μεταβολές στις φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους το οποίο δεχόταν ανεπεξέργαστα Υ.Α.Ε. Εξίσου πολυσυζητημένο θέμα είναι η δυνατότητα διάθεσης των ΟΜW στο έδαφος και σε καλλιέργειες των φυτών. Μια άποψη βασίζεται στο γεγονός ότι η ευρεία χρήση (φυσικοχημικών ή βιολογικών) μεθόδων διαχείρισης των ΟΜW με δυνατότητα διάθεσης τους σε υδάτινους αποδέκτες παρεμποδίζεται στο υψηλό τους

κόστος, στην απαίτηση πολύπλοκου και πολυδάπανου εξοπλισμού και στην αδυναμία μείωσης του αρχικού ρυπαντικού φορτίου σε επίπεδα επιτρεπτά από την Κοινοτική Περιβαλλοντική Νομοθεσία. Έτσι η μέθοδος που προτείνει την παροχέτευση των ΟΜW σε καλλιεργημένη γη (φερτάρδευση ή υδρολίπανση-fertirrigation) έχει αρκετή ερευνητική εμπειρία με πολύ θετικά αποτελέσματα. Η διάθεση των ΟΜW στο έδαφος γίνεται με ή χωρίς προκατεργασία, με χρήση απλής τεχνολογίας και χαμηλό κόστος, και εκμεταλλεύεται δυο βασικά χαρακτηριστικά των αποβλήτων:

- Την φυτική του προέλευση και την φυσική επεξεργασία χωρίς προσθήκη συνθετικών χημικών ουσιών.
- Την μεγάλη λιπαντική αξία που έχουν, λόγω της αυξημένης συγκέντρωσης που εμφανίζουν σε οργανική ουσία και ανόργανα θρεπτικά συστατικά καλίου, φωσφόρου και ιχνοστοιχείων.

Κατά τον Fiestas (1977, 1982) στην Ισπανία είναι διαδεδομένη η άρδευση ελαιώνων με τα ΟΜW σε ξηροθερμικές περιοχές όπου υπάρχει έλλειψη αρδευτικού νερού, αφού πρώτα είχαν εξουδετερωθεί με ασβέστη (Μπαλατσούρας 1997).

Διαπιστώθηκε αύξηση στην αγωγιμότητα από 0,3 mSc/cm κατά το χρονικό διάστημα των εφαρμογών του αποβλήτου (και η παράμετρος αυτή συνδέθηκε με τη μείωση της βλαστικότητας των σπόρων). Στη συνέχεια η αγωγιμότητα μειώθηκε στα 0,82 mSc/cm και 0,57 mSc/cm σε χρονικό διάστημα 16 και 71 ημερών μετά το τέλος της διάθεσης των Υ.Α.Ε. στο έδαφος αντίστοιχα. Επίσης αυξήθηκε σημαντικά η Ι.Α.Κ., καθώς και η περιεκτικότητα σε Na, Mg και ιδιαίτερα σε K, το οποίο έχει ευεργετική επίδραση στην γονιμότητα των εδαφών. Παρατηρήθηκε αύξηση στον οργανικό άνθρακα και στο συνολικό άζωτο του εδάφους ενώ η αναλογία C/N αυξήθηκε κατά 30-40% (λόγω του υψηλού C/N του αποβλήτου). Τέλος το pH έμεινε πρακτικά αμετάβλητο (παρά την όξινη αντίδραση του αποβλήτου) (Paredes *et al.*, 1987). Ενώ άλλες μελέτες αναφέρουν ότι αμέσως μετά την προσθήκη των ΟΜW στο έδαφος, το pH μειώθηκε και επανήρθε αργότερα στην αρχική του τιμή, ενώ καμία μεταβολή δεν παρατηρήθηκε σε βάθος κάτω από τα 40cm της επιφάνειας (Tomati *et al.*, 1992).

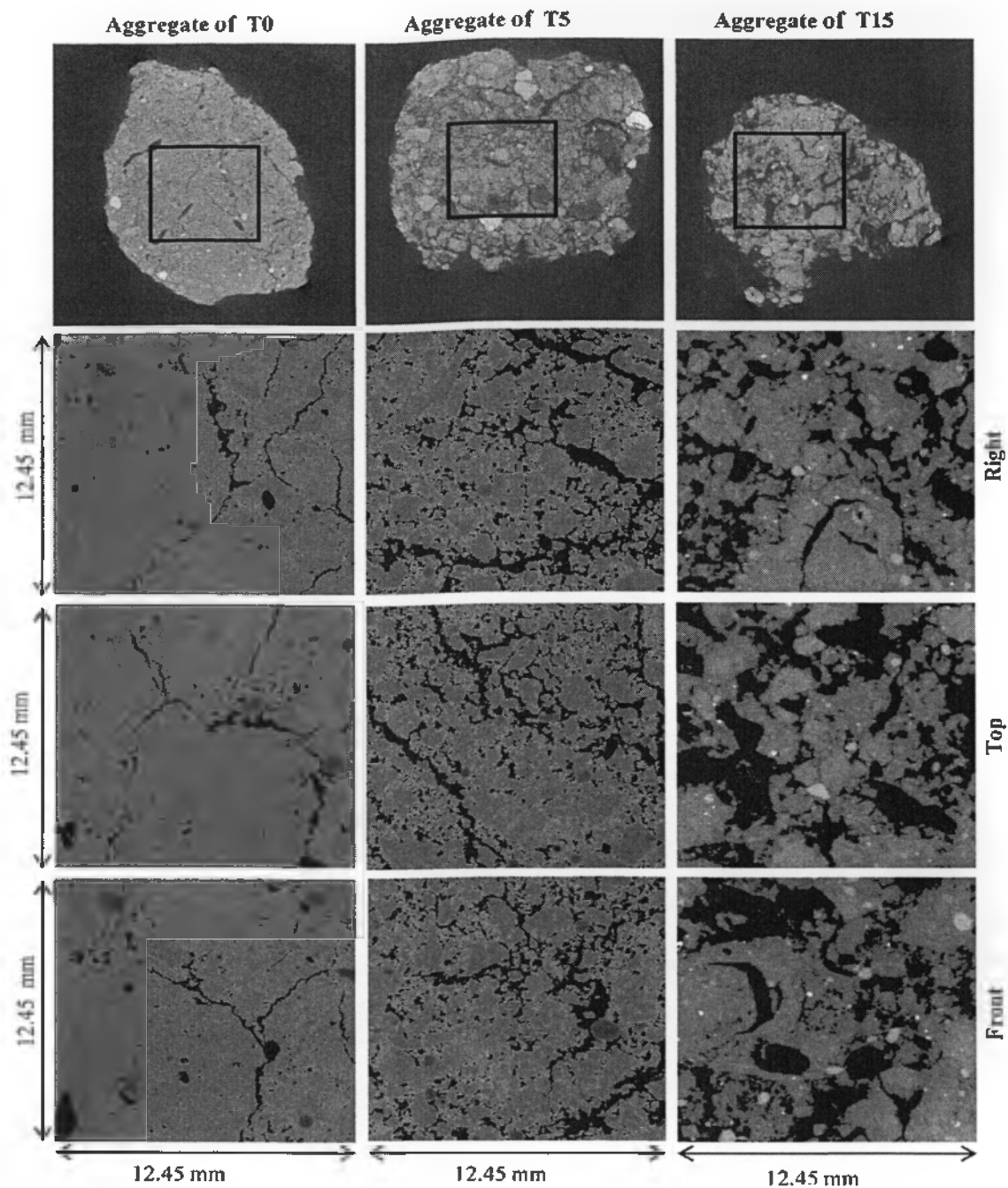
Σε έδαφος που δεχόταν συνεχείς προσθήκες Υ.Α.Ε., αυξάνεται ο οργανικός άνθρακας και το ολικό άζωτο, μειώνεται το νιτρικό και αμμωνιακό άζωτο και αυξάνεται το pH και η αγωγιμότητα (Χατζηπαυλίδης, 1999).

Σε άλλη έρευνα μελετήθηκε η επίδραση των υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων στον κύκλο του αζώτου, όπου διαπιστώθηκε ότι η συγκέντρωση νιτρικών ιόντων (NO₃⁻-N) στο έδαφος που δέχθηκε Υ.Α.Ε. ήταν σε χαμηλότερο επίπεδο τις πρώτες οκτώ εβδομάδες του πειράματος σε σύγκριση με το έδαφος-μάρτυρα. Επίσης, διαπιστώθηκε

ότι η συγκέντρωση του ολικού N παρουσίασε τάσεις μείωσης καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος εκτός από τις 4 πρώτες εβδομάδες. Το έδαφος κατά την περίοδο που δέχθηκε ΥΑΕ εμφάνισε παρεμπόδιση της νιτροποίησης, άρα και του διαθέσιμου N στα φυτά. Η αισθητή μείωση των αμμωνιακών και νιτρικών ιόντων μετά την 8^η εβδομάδα του πειράματος αποδίδεται πιθανότατα σε αφομοίωσή τους από την αυξημένη μικροβιακή χλωρίδα του εδάφους ή σε απονιτροποίηση (Morisot and Tournier, 1986).

Μετά την εφαρμογή των νωπών Υ.Α.Ε. σε έδαφος για 3 διαδοχικά έτη, δεν παρατηρήθηκαν αρνητικά αποτελέσματα στο έδαφος και τα φυτά ενώ η σύνθεση του νερού αποστράγγισης σε βάθος από 2 m δεν άλλαξε. Οι μόνες σημαντικές αλλαγές στη σύνθεση του εδάφους που παρατηρήθηκαν κατά τη διάρκεια των πειραμάτων ήταν η αύξηση του εδάφους σε K και των συνολικών φαινολών (Paredes *et al.*, 1987; Levi-Minzi *et al.*, 1992; Mechri *et al.*, 2008). Η αύξηση του εδάφους σε K μπορεί να αυξήσει τη γονιμότητα του εδάφους και να συμβάλλει στη μείωση της χρήσης χημικών λιπασμάτων. Λόγω της υψηλής ποσότητας οργανικής ύλης και μακροθρεπτικών συστατικών (ιδιαίτερα κάλιο), τα Υ.Α.Ε. θα μπορούσαν να θεωρηθούν ως ένα χρήσιμο και χαμηλού κόστους τροποποίησης λίπασμα. Επιπλέον, με την εφαρμογή των Υ.Α.Ε. στο έδαφος αυξήθηκε η αναπνευστική δραστηριότητα σε σχέση με το μη κατεργασμένο έδαφος, ο οποίος σχετίζεται σε μεγάλο βαθμό με την αποσύνθεση της οργανικής ύλης στο έδαφος. Υψηλότερη αναπνευστική δραστηριότητα δείχνει την ικανότητα των μικροοργανισμών να αξιοποιήσουν και να αποσυνθέσουν μεταβλητά οργανικά υποστρώματα που εισάγονται με τον κατσίγαρο. Η συγκέντρωση του K και των φαινολικών ενώσεων στο έδαφος ήταν σημαντικά υψηλότερη στο άνω στρώμα του εδάφους (0-25 cm), υποδεικνύοντας ότι παρά το γεγονός ότι τα Υ.Α.Ε. εφαρμόστηκαν κατά τη διάρκεια της περιόδου των βροχών, τόσο το K και οι φαινόλες δεν προχώρησαν γρήγορα σε όλη την κατατομή του εδάφους (Di Serio *et al.*, 2008).

Σε μία άλλη έρευνα άρδευσης του κατσίγαρου για 5 και 15 χρόνια στο έδαφος έδειξε αύξηση της συνολικής σταθερότητας του εδάφους, ως αποτέλεσμα αύξησης του περιεχομένου της οργανικής ύλης των τόπων του κατσίγαρου.



Σχήμα 11. Δύο-τριδιάστατη εικόνα τομογραφίας του εδάφους (T0: μάρτυρας, T5 και T15: 5 και 15 ετών της εφαρμογής λυμάτων ελαιοτριβείου ελιάς). Μαύρη γραμμή δείχνει την δισδιάστατη αναπαράσταση του εκχλιζεται και αναλύεται σε κυβικά υπό-όγκο. Γκρι χρώμα αντιπροσωπεύει το χώμα και το μαύρο χρώμα αντιπροσωπεύει τους πόρους του εδάφους. Δεξιά: Y-Z πλάνο κορυφής; X-Y πλάνο μπροστά; X-Z πλάνο δεξιά πλευρά (Mahmoud *et al.*, 2012).

Επιπλέον η εφαρμογή των Υ.Α.Ε. μείωσε αποτελεσματικά την διάχυση των συντελεστών σε συσσωματώματα, επειδή η οργανική ύλη τους σχηματίζει μία επικάλυψη επί των συσσωματωμάτων και εμποδίζει τους πόρους των στομάτων. Επίσης χαρακτηρίζονται από την συγκολλητική συμπεριφορά που επηρεάζει τη συσσωμάτωση και τη δομή της φυτικής γης δια δεσμεύσεως μικρο-συσσωματωμάτων για να σχηματίσουν μαζί μακρο-μεγέθη και μεγαλύτερα διαστήματα μεταξύ των πόρων μικρο-αδρανών υλικών (Σχήμα 11). Κατά συνέπεια, η χρήση των Υ.Α.Ε. για άρδευση για μεγάλες χρονικές περιόδους μεταβάλλει την επιφανειακή στοιβάδα του εδάφους και την καθιστά κατακερματισμένη, η οποία μπορεί να αυξήσει τον κίνδυνο για προνομιακή μεταφορά ουσιών (Mahmoud *et al.*, 2012).

Η μακροπρόθεσμη εφαρμογή των ανεπεξέργαστων υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων μειώνει την κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα, και αυξάνει την κλίση του εδάφους απομακρύνοντας το νερό (Mahmoud *et al.*, 2010). Η ενισχυμένη περιεκτικότητα σε οργανική ύλη των Υ.Α.Ε. επιπλέον αυξάνει τη ρόφηση και υποβαθμίζει τις διεργασίες, και η εφαρμογή τους μπορεί συνεπώς να επιβραδύνει την κινητικότητα των φυτοφαρμάκων (Cox *et al.*, 1997).

Σε γενικές γραμμές, τα Υ.Α.Ε. παρουσιάζουν μια εξαιρετικά υψηλή βιολογική και χημική απαίτηση σε οξυγόνο, μία υψηλή περιεκτικότητα σε οργανική ύλη (πολυσακχαρίτες, σάκχαρα, πολυαλκοόλες, πρωτεΐνες οργανικά οξέα και έλαιο), και περιέχουν μεγάλες ποσότητες αιωρούμενων στερεών και μεταλλικά στοιχεία (Niaounakis and Halvadakis, 2004). Επιπλέον, περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις φαινολικών ενώσεων οι οποίες είναι φυτοτοξικές και δύσκολα βιοαποικοδομούνται (Mekki *et al.*, 2007; Νικολοπούλου and Kalogerakis, 2007). Σε μία μελέτη ερευνητών ανιχνεύτηκαν φαινολικές ενώσεις σε βάθος 1,2 m τέσσερις μήνες μετά την τελευταία εφαρμογή των Υ.Α.Ε. με αποτέλεσμα να εκχυλίζεται ένα μέτριο φυτοτοξικό υπόλειμμα φαινολικού κλάσματος από το επιφανειακό στρώμα του χώματος ένα χρόνο μετά. Η χρήση των Υ.Α.Ε. έχει αποδειχθεί ότι αναστέλλει την δράση μυκορριζικού αποικισμού των μυκήτων της ρίζας, η οποία μειώνει την θρεπτική πρόσληψη από τα ελαιόδεντρα. (Mechria *et al.*, 2011).

Πίνακας 7. Χημικά χαρακτηριστικά του ανεπεξέργαστου και επεξεργασμένου εδάφους με Υ.Α.Ε.

Ανεπεξέργαστα και επεξεργασμένα εδάφη με Υ.Α.Ε.					
10–20 εκ. εδάφους		8 l/mq		16 l/mq	
		Ia	IIb	I	II
pH	6.9	6.6	6.3	6.2	5.9
EC (1:2.5 mS/cm/20 - C)	0.07	0.13	0.13	0.19	0.10
Οργανική ουσία (%)	1.40	1.70	1.63	1.96	1.93
C/N	6.86	9.90	9.27	9.32	8.81
Σύνολο πολυφαινολών (καφεϊνικό οξύ mg/100 g)	0.14	0.24	0.21	0.34	0.24
Εναλασσόμενο κάλιο (K ₂ O mg/kg)	129.40	329.80	313.30	477.50	289.20
Εξομοιοποιημένος φώσφορος (P ₂ O ₅ mg/kg)	13.90	100.30	117.75	128.90	81.15
20–40 εκ. εδάφους					
pH	6.4	6.1	6.1	6.9	6.6
EC (1:2.3 mS/cm/20 - C)	0.05	0.12	0.07	0.16	0.06
Οργανική ουσία (%)	1.36	1.60	1.53	1.89	1.81
C/N	6.18	9.03	8.17	8.94	8.67
Σύνολο πολυφαινολών (caffeic acid mg/100 g)	0.13	0.20	0.15	0.29	0.28
Εναλασσόμενο κάλιο (K ₂ O mg/kg)	74.70	166.50	129.50	371.40	129.20
Εξομοιοποιημένος φώσφορος (P ₂ O ₅ mg/kg)	44.60	86.30	53.30	95.40	47.70

^a 1 μήνα μετά από επεξεργασία με Υ.Α.Ε.

^β 2 μήνες μετά από επεξεργασία με Υ.Α.Ε

Πηγή: (Di Serio *et al.*, 2008)

Στον Πίνακα 7 αναφέρονται τα χημικά χαρακτηριστικά του εδάφους πριν και μετά την επεξεργασία με Υ.Α.Ε. Το pH, αμέσως μετά την εξάπλωση των Υ.Α.Ε. ήταν ελαφρώς χαμηλότερο στα ανώτερα στρώματα του εδάφους (10-20 cm), λόγω του γεγονότος ότι η δράση των Υ.Α.Ε. ήταν μάλλον όξινη (pH 4,4).

Μετά από ένα μήνα επεξεργασμένων απόβλητων ελαιοτριβείων στο έδαφος, παρατηρήθηκε αύξηση στην ηλεκτρική αγωγιμότητα. Αυτή η παράμετρος, μετά από δύο μήνες, επιστρέφει στις αρχικές τιμές, εκτός από το ανώτερο στρώμα που κατεργάστηκε με 8l/mq Υ.Α.Ε., όπου φαίνεται να είναι μη αναστρέψιμη. Αυτή η επίδραση παρατηρήθηκε και από άλλους συγγραφείς (Paredes *et al.*, 1987). Η συγκέντρωση των αναγωγικών ουσιών (συνολικές φαινόλες) αυξήθηκε μόλις μετά την εξάπλωση των Υ.Α.Ε. στα ανώτερα στρώματα του εδάφους. Δύο μήνες μετά την εξάπλωση των Υ.Α.Ε. η συνολική περιεκτικότητα των φαινολών μειώνεται πιθανώς λόγω της ενσωμάτωσης στο χουμικό κλάσμα της οργανικής ύλης στο έδαφος και λόγω κατανομής που προκαλείται από ειδικά βακτήρια και ζύμες.

Σε μη κατεργασμένο έδαφος η αναλογία C/N μειώνεται με την αύξηση του βάθους επίτευξης τιμής περίπου 6,0 (Πίνακας 7). Η συνολική περιεκτικότητα σε άνθρακα αυξήθηκε μετά την εξάπλωση των Υ.Α.Ε. λόγω της υψηλής ποσότητας οργανικής ύλης που παρουσιάζουν προς τα ανώτερα στρώματα του εδάφους. Ο κατσίγαρος έχει μια χαμηλή περιεκτικότητα σε N, καταλήγοντας σε μία αύξηση του 20-30% στο έδαφος C/N αναλογία (Πίνακας 7) (Paredes *et al.*, 1987). Η αναλογία C/N είναι σημαντική λόγω αυτού που συμβαίνει όταν η οργανική ουσία ενσωματώνεται στα χώματα. Τα αποτελέσματα έδειξαν μετά την εξάπλωση του κατσίγαρου αναλογία C/N μεταξύ 8 και 9, δείχνοντας την ισορροπημένη μεταλλοποίηση και την παραγωγή του φυτοχώματος.

Η αύξηση στο περιεχόμενο του K και του P (που εκφράζονται ως ανταλλάξιμο κάλιο και διαθέσιμος φώσφορος) έχει μια ευεργετική επίδραση στην εδαφολογική γονιμότητα επομένως η χρήση των Υ.Α.Ε. βοηθάει στη μείωση, ή στην αποφυγή, των χημικών λιπασμάτων την άνοιξη με ένα οικονομικό και οικολογικό πλεονέκτημα (Di Serio *et al.*, 2008).

Η προσθήκη των Υ.Α.Ε. στο έδαφος έχει ως συνέπεια τη μεταβολή τόσο του μεγέθους όσο και της σύστασης του πληθυσμού των μικροοργανισμών. Έτσι μετά την προσθήκη των αποβλήτων παρατηρήθηκε αύξηση κατά 20 φορές στον αριθμό των βιώσιμων αναπαραγωγικών μονάδων (c.f.u.) των μικροοργανισμών και μεταβολή στην αναλογία με την οποία εμφανίζονται οι διάφοροι πληθυσμοί στο έδαφος. Έρευνα έδειξε ότι η διάθεση του κατσίγαρου στο έδαφος, αύξησε το πληθυσμό των βακτηρίων

συγκριτικά με το πληθυσμό του φυσικού εδάφους χωρίς διάθεση κατσίγαρου. Τα είδη των βακτηρίων που επωφελήθηκαν ήταν τα μη σπορογόνα gram θετικών ακτινομύκητων, σε αντίθεση με τα σπορογόνα βακίλων (Paredes *et al.*, 1986). Οι ίδιοι ερευνητές επίσης διαπίστωσαν αύξηση της αγωγιμότητας του εδάφους και τοξικότητα σε βλαστώντα σπέρματα (Paredes *et al.*, 1987).

Μεταξύ των μικροοργανισμών που ευνοούνται από την εφαρμογή των Υ.Α.Ε στο έδαφος είναι και τα αζωτοδεσμευτικά βακτήρια. Επειδή το απόβλητο χαρακτηρίζεται από πλούσιες πηγές C για τους μικροοργανισμούς ενώ αντίθετα είναι φτωχό σε N, προσφέρει ένα ιδιαίτερα ευνοϊκό περιβάλλον για την ανάπτυξη των ελεύθερα διαβιούντων αζωτοδεσμευτικών μικροοργανισμών. Έτσι οι επαναλαμβανόμενες μακροχρόνιες προσθήκες αποβλήτου στο έδαφος οδηγούν προοδευτικά στην αύξηση και στον εμπλουτισμό του με αζωτοδεσμευτικά βακτήρια, κυρίως με μέλη του γένους *Azotobacter* (Balis *et al.*, 1996).

Επίσης ερευνητές μελέτησαν την επίδραση που έχει η εφαρμογή του κατσίγαρου και στον πληθυσμό των μυκήτων. Παρατηρήθηκε ότι πριν την επεξεργασία του εδάφους με κατσίγαρο κυριαρχούσε το γένος *Scopulariopsis* και σε μικρότερους αριθμούς τα γένη *Penicillium* και *Cladosporium*. Μετά την εφαρμογή του κατσίγαρου, οι πληθυσμοί των γενών *Scopulariopsis* και *Cladosporium* μειώθηκαν σημαντικά, το γένος *Penicillium* κυριάρχησε ενώ εμφανίστηκαν και άλλα γένη όπως τα *Geotrichum* και *Aspergillus*. Ένα μήνα μετά την επεξεργασία του εδάφους με το απόβλητο παρατηρήθηκε αύξηση του πληθυσμού όλων των ομάδων μικροοργανισμών (μύκητες, ζύμες, βακτήρια), ενώ έξι μήνες μετά οι πληθυσμοί των διαφόρων κατηγοριών είχαν επανέλθει στην αρχική κατάσταση (Tardioli *et al.*, 1997).

Τα υγρά απόβλητα ελαιοτριβείων ενεργώντας σαν ένα εκλεκτικό υπόστρωμα για την ανάπτυξη της μικροβιακής χλωρίδας, παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον σε δοκιμές αύξησης της επισχετικότητας του εδάφους (soil suppressiveness) έναντι εδαφογενών φυτοπαθογόνων. Δοκιμές σε έκθεση τριών υδρόβιων οργανισμών (*Vibrio fischeri*, *Thamnocephalus platyurus*, *Daphnia magna*) οδήγησε σε υψηλές τιμές οξείας τοξικότητας (Paixao *et al.*, 1999). Τα υγρά απόβλητα των ελαιοτριβείων προκάλεσαν παρεμποδιστική δράση στην ανάπτυξη παθογόνων μυκήτων του γένους *Phytophthora*, *Fusarium* και *Rhizium* (Χατζηπαυλίδης κ.ά., 1986; Flouri *et al.* 1990; Balis *et al.*, 1991; Argeiti *et al.*, 2001) και στελεχών του ίδιου είδους *Rhizoctonia solani* (Kotsou *et al.*, 2004), αλλά ταυτόχρονα θεωρήθηκαν και άλλοι βιολογικοί παράγοντες υπεύθυνοι για τη μείωση του πληθυσμού τους (Φλουρή κ.ά., 1988).

Επίσης ο κατσίγαρος έχει ισχυρή παρεμποδιστική δράση σε πολλά είδη εδαφογενών βακτηρίων και μυκήτων (*Lactobacillus*, *Bacillus*, *Chaetomium*, *Geotrichum*, *Rhizoctonia*) λόγω της υψηλής περιεκτικότητας του σε φαινολικά συστατικά. Όμως αρκετοί ερευνητές αναφέρουν την ύπαρξη μικροοργανισμών (ζύμης *Torulopsis utilis*, *Saccharomyces* και *Candida*) όπου μπορούν να παράγουν αποικίες στα υγρά απόβλητα με δυνατότητα αποτοξικοποίησής τους (Ραίχαιο *et al.*, 1999).

Πίνακας 8. Επίδραση της εφαρμογής των Υ.Α.Ε. στο έδαφος στον ολικό αριθμό των διαφορών ομάδων μικροοργανισμών.

Ανεπεξέργαστα εδάφη	Επεξεργασμένα εδάφη με Υ.Α.Ε				
	8 l/mq		16 l/mq		
	Ia	IIb	I	II	
10–20 εκ. εδάφους					
Ολική μικροχλωρίδα (CFU/g)	2.8x10 ⁸	7.2x10 ⁸	>10 ⁹	8.0x10 ⁸	>10 ⁹
Μύκητες (CFU/g)	2.5x10 ⁶	1.3x10 ⁷	7.0x10 ⁷	2.6x10 ⁷	1.1x10 ⁸
Ακτινομύκητες (CFU/g)	1.0x10 ⁷	1.9x10 ⁷	2.1x10 ⁷	2.2x10 ⁷	3.5x10 ⁷
Αμμωνιοποιητές (N/g)	>10 ⁻⁹	>10 ⁻⁹	>10 ⁻⁹	>10 ⁻⁹	>10 ⁻⁹
Απονιτροποίηση (N/g)	4.5x10 ⁷	3.0x10 ⁷	2.5x10 ⁸	3.0x10 ⁷	1.5x10 ⁸
Αζωτοδεσμευτές (N/g)	6.1x10 ²	2.5x10 ⁴	1.5x10 ⁴	1.5x10 ⁵	2.0x10 ⁴
Νιτροποιητές (N/g)	1.5 x10 ⁵	2.0x10 ⁴	4.4x10 ⁴	7.5x10 ⁵	4.5x10 ³
Νιτριποιητές (N/g)	4.5 x10 ⁴	9.5x10 ³	1.4x10 ⁴	4.5x10 ⁴	2.5x10 ³
20–40 εκ. εδάφους					
Ολική μικροχλωρίδα (CFU/g)	1.1x10 ⁸	4.7x10 ⁸	5.0x10 ⁸	6.5x10 ⁸	8.0x10 ⁸
Μύκητες (CFU/g)	1.8x10 ⁶	1.0x10 ⁷	2,4x10 ⁷	1.9x10 ⁷	4.0x10 ⁷
Ακτινομύκητες (CFU/g)	5.3x10 ⁶	1.1x10 ⁷	1.3x10 ⁷	1.4x10 ⁷	1.5x10 ⁷
Αμμωνιοποιητές (N/g)	>10 ⁻⁹	>10 ⁻⁹	>10 ⁻⁹	>10 ⁻⁹	>10 ⁻⁹
Απονιτροποίηση (N/g)	9.5x10 ⁶	2.0x10 ⁷	4.5x10 ⁷	1.5x10 ⁷	6.5x10 ⁷
Αζωτοδεσμευτές (N/g)	4.5x10 ²	1.1x10 ³	9.5x10 ²	6.2x10 ³	7.5x10 ³

Νιτροποιητές (N/g)	2.5×10^5	1.2×10^5	6.5×10^4	1.6×10^5	7.5×10^3
Νιτριποιητές (N/g)	4.5×10^4	1.5×10^4	4.5×10^3	4.5×10^4	4.5×10^3

^a 1 μήνα μετά από επεξεργασία με Υ.Α.Ε.

^β 2 μήνες μετά από επεξεργασία με Υ.Α.Ε

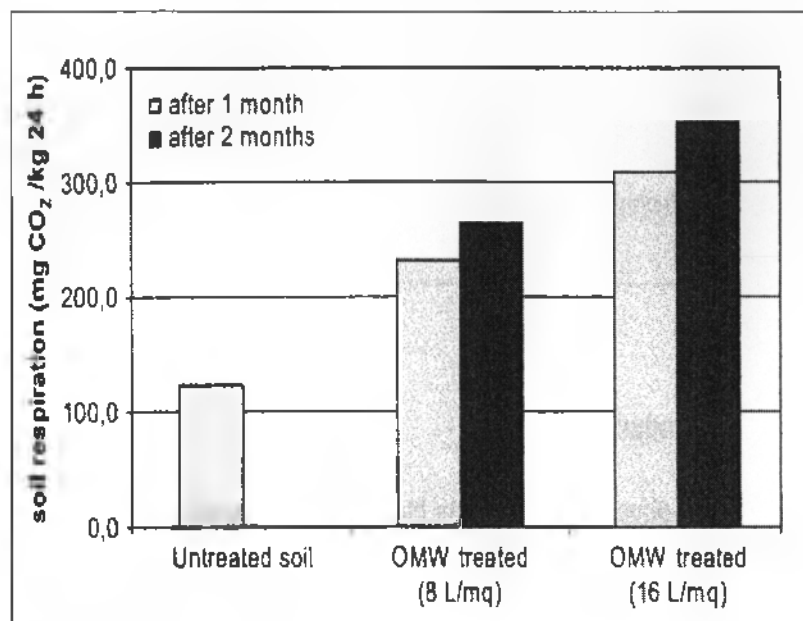
^γ Αποτελέσματα ως υψηλότερης θετικής αραίωσης.

Πηγή: (Di Serio *et al.*, 2008)

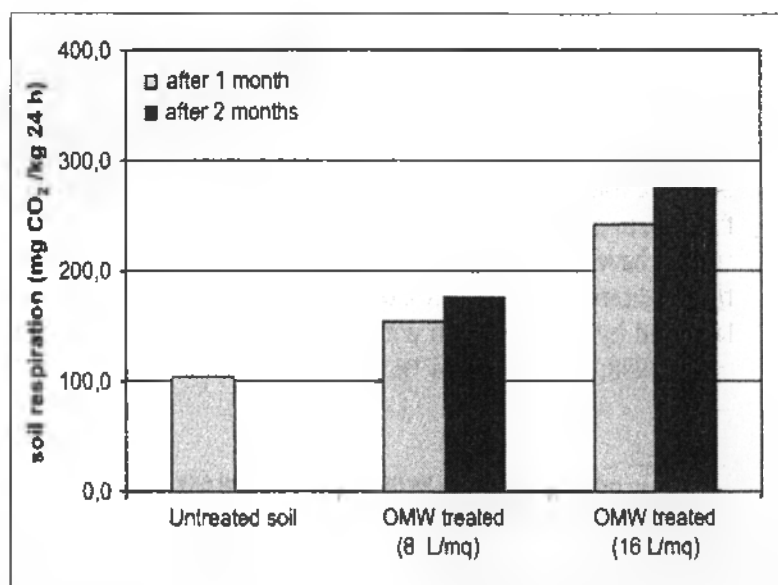
Στον Πίνακα 8 έχει αναφερθεί η εξάπλωση του μικροβιακού πληθυσμού στο έδαφος πριν και μετά την επεξεργασία με τον κατσίγαρο. Η εξάπλωση του κατσίγαρου προκαλεί μια αύξηση στη συνολική μικροχλωρίδα του εδάφους. Ωστόσο, είναι πιθανό ότι επιβλαβείς επιπτώσεις σε ορισμένες ομάδες μικροοργανισμών του εδάφους μπορούν να προκύψουν μετά από έκθεση σε ορισμένα χημικά, ακόμη και σε μικροοργανισμούς με την ικανότητα να αποικοδομούν τις ουσίες αυτές. Η ίδια βακτηριακή διαδραματίζει έναν σημαντικό ρόλο στην ανακύκλωση της οργανικής ύλης στη φύση, με την πρωτολυτική τους δραστηριότητα και ικανότητα να σπάσει σύνθετα οργανικά μόρια. Νηματοειδείς (μούχλες) και μη-νηματοειδείς (ζύμες) μύκητες μετατρέπουν δύσκολο το αφομοιώσιμο το οργανικό υλικό σε μορφές που μπορούν να χρησιμοποιήσουν άλλοι οργανισμοί. Οι μυκητιακές υφές δεσμεύουν τα φυσικά σωματίδια του εδάφους μαζί, δημιουργώντας σταθερά μεγέθη που βοηθούν στην αύξηση της διείσδυσης του νερού και υδατοϊκανότητας του εδάφους. Εκτός αυτού, είναι απαραίτητες για τη διατήρηση θρεπτικών ουσιών στο έδαφος. Οι ακτινομύκητες είναι μια ευρεία ομάδα βακτηρίων που σχηματίζει το νήμα-όπως νημάτια στο έδαφος και είναι σημαντικοί αποικοδομητές στον κύκλο του άνθρακα υποβαθμίζοντας την κυτταρίνη και την χιτίνη. Τα αποτελέσματα του πειράματος μας επιβεβαιώνουν ότι την αύξηση των συγκεντρώσεων σε μύκητες και ακτινομύκητες, ιδίως στην επιφανειακά στρώματα επεξεργασίας με Υ.Α.Ε. (Πίνακας 8) (Di Serio *et al.*, 2008).

Όσον αφορά τον κύκλο του αζώτου οι μικροοργανισμοί, οι συγκεντρώσεις των κύριων ομάδων είναι υπεύθυνοι για την αποσύνθεση του σε οργανικές μορφές αζώτου στο έδαφος με τη μορφή αμμωνίου (αμμωνιοποιητές) και η μετατροπή νιτρικού αζώτου ή υποξειδίου του αζώτου αερίου (νιτροποίηση) παραμένουν σε υψηλά επίπεδα στο έδαφος με κατεργασμένα και ακατέργαστα Υ.Α.Ε. (Πίνακας 8). Τόσο η νιτριποίηση και νιτροποίηση ανεστάλησαν πιθανότητα εξαιτίας της μείωση του pH (που προέρχονται από την εξάπλωση του κατσίγαρου) και τη συσσώρευση του σε μορφή αμμωνίου (που προκύπτουν από τη δραστηριότητα αμμωνιακών και το άζωτο-στερεοποιημένων βακτηρίων). Οι βασικές παράμετροι της ποιότητας της μικροβιολογικής ικανότητας του εδάφους είναι η αναπνευστική δραστηριότητα (RA) και η χωρητικότητα της

μικροχλωρίδας να αποσυνθέσει το υπόστρωμα (αριθμός και τα είδη των μικροοργανισμών). Αυτοί είναι οι βασικοί δείκτες της ικανότητας ανοργανοποίησης της μικροβιακής βιομάζας.



Σχήμα 12. Αναπνευστική δραστηριότητα του εδάφους σε 10 – 20 cm βάθους (Di Serio *et al.*, 2008)



Σχήμα 13. Αναπνευστική δραστηριότητα του εδάφους σε 20 – 40 cm βάθους (Di Serio *et al.*, 2008)

Στα Σχήματα 12 και 13, αναφέρονται οι αναπνευστικές δραστηριότητες των εδάφων μετά την εξάπλωση του κασιόγαρου, όπου παρατηρήθηκε αύξηση της αναπνευστικής δραστηριότητας (Respiration Activities–RA) σε σχέση με το μη

επεξεργασμένο εδάφος, ειδικά στο ανώτερο τμήμα του εδάφους (10-20 cm) και για τη διατριβή αντιμετωπίζεται με 16l/mq των λυμάτων μύλο ελιάς. Η RA σχετίζεται σε μεγάλο βαθμό με την αποσύνθεση της οργανικής ύλης στο έδαφος. Υψηλότερη RA δείχνει την ικανότητα των μικροοργανισμών να αξιοποιήσουν και να αποσυνθέσουν μεταβλητά οργανικά υποστρώματα που εισήχθησαν με τα ποσά του κατσίγαρου. Τα αποτελέσματα αυτού του πειράματος επιβεβαιώνουν την οικονομική και περιβαλλοντική αξία του κατσίγαρου εξαπλώνεται σε καλλιεργούμενα εδάφη αφού δεν επάγει τοξικές επιδράσεις στο έδαφος, βοηθά στη μείωση, ή την αποφυγή, του χημικού λιπάσματος με μακροθρεπτικά συστατικά (Di Serio *et al.*, 2008).

Παρά το γεγονός ότι έχουν προταθεί πολλές εξελιγμένες μεθόδους για την εξάλωση του κατσίγαρου όπως είναι η αναερόβια και η αερόβια επεξεργασία (Ντάλης κ.ά., 1996) ή τη χρήση με την τεχνολογία μεμβράνης (Canpera *et al.*, 1988; Turano *et al.*, 2002), η πρακτική τους εφαρμογή στις περισσότερες περιπτώσεις είναι περιορισμένη λόγω των υψηλών επενδύσεων ή του κόστους λειτουργίας και της τεχνολογικής γνώσης που απαιτείται. Ειδικά σε περιοχές όπως η Κρήτη, η Ελλάδα, όπου το μέγεθος των ελαιοτριβείων (OM) των επιχειρήσεων είναι μικρό (ετήσια παραγωγική ικανότητα περίπου 1500 τόνοι και ως επί το πλείστον αποτελείται από συστήματα 3-φάσεων) με μία μεγάλη διασπορά στο νησί, τέτοιες προηγμένες εγκαταστάσεις επεξεργασίας OMW έχουν εφαρμοστεί σε ένα πρώιμο στάδιο. Η κυρίαρχη τρέχουσα πρακτική στο νησί της Κρήτης και στις Ν. Αφρικανικές χώρες είναι η αποθήκευση του κατσίγαρου σε ανοικτές δεξαμενές εξάτμισης. Παρά το χαμηλό κόστος της μεθόδου, με τα προβλήματα της ρύπανσης των υδάτινων σωμάτων (λόγω προβλημάτων διαρροής), δυσάρεστες οσμές του πολλαπλασιασμού των εντόμων κατά τη διάρκεια της αιχμής της τουριστικής περιόδου είναι τα μεγάλα μειονεκτήματα (Niaounakis and Halvadakis, 2006).

3.3. Μεταβολές στην μικροχλωρίδα του εδάφους των αγροοικοσυστημάτων από τη χρήση των αποβλήτων ελαιοτριβείων στην γεωργία

Εδώ και χιλιάδες χρόνια τα υγρά απόβλητα υπήρχαν ως πηγή ρύπανσης, αλλά τα τελευταία χρόνια έχει γίνει ιδιαίτερα έντονη η επίδραση τους στο περιβάλλον εξαιτίας της αύξησης παραγωγής της ελιάς και στην συσσώρευση ελαιοτριβείων μεγάλης δυναμικότητας. Τα έντονα περιβαλλοντικά προβλήματα που δημιουργούνται με την απόρριψη των αποβλήτων ελαιοτριβείων και πυρηνελαιουργείων στο έδαφος απαιτεί μια ολοκληρωμένη οικονομικά βιώσιμη λύση, περιβαλλοντικά αποδεκτή και τεχνικά εφικτή.

Δεδομένου ότι, τα απόβλητα ελαιοτριβείων περιέχουν ένα τεράστιο ποσοστό οργανικής ύλης, όπως έχει αναφερθεί (COD μεταξύ 40 και 210 g dm³ και BOD₅ μεταξύ 10 και 150 g dm³, είναι πλούσια σε άζωτο (N), ο φωσφόρος (P), κάλιο (K) και μαγνήσιο (Mg) θα μπορούσαν να εφαρμοστούν στη γεωργία. Το να βρεθούν καλύτερες μέθοδοι χρήσης του κασίγαρου σε γεωργικές εκτάσεις θα συμβάλλει και στην ανακύκλωση, τόσο της οργανικής ύλης όσο και των θρεπτικών στοιχείων στο σύστημα καλλιέργειας του εδάφους. Επιπλέον η άρδευση με υγρά απόβλητα έγινε μια κοινή πρακτική σε ξηρές και ημίξηρες περιοχές, όπου χρησιμοποιήθηκε ως ένα εύκολο διαθέσιμο και φθινό προϊόν σε σχέση με το καθαρό νερό (Aggelakis *et al.*, 1999). Ήδη τα φρέσκα OMW χρησιμοποιήθηκαν ως λιπάσματα στην κηπουρική και στην καλλιέργεια της ελιάς (Cox *et al.*, 1997, Ben Rouina *et al.*, 1999, Cereti *et al.*, 2004).

Αρκετές επιστημονικές μελέτες αφορούν την εφαρμογή των νωπών OMW στην επιφάνεια του εδάφους του ελαιώνα (*Olea europaea L.*) ως εναλλακτική μέθοδο χαμηλού κόστους για τη διάθεση των αποβλήτων. Μια από αυτές είναι του Χατζουλάκη που πραγματοποιήθηκε στην Κρήτη (Chartzoulakis, 2010). Τα OMW εφαρμοστήκαν σε ένα ελαιώνα με δέντρα 20 χρονών κατά τη διάρκεια του χειμώνα για 3 διαδοχικά έτη, πραγματοποιήθηκαν εφαρμογές του κασίγαρου κατώτατο όριο σε ετήσιο ρυθμό 420 m³ ha⁻¹. Μελετήθηκαν οι συνέπειες της άρδευσης για τις βιολογικές ιδιότητες του εδάφους και τη σύνθεση του (pH, EK, N, P, K, οργανική ύλη και το περιεχόμενο φαινολικών), η απόδοση, η φωτοσύνθεση και η θρεπτική κατάσταση των δέντρων. Οι πιο σημαντικές επιπτώσεις στην σύνθεση του εδάφους όπως δείχνουν τα αποτελέσματα αφορούν την σημαντική αύξηση της διαθεσιμότητας του K, η οποία ενισχύει την γονιμότητα του εδάφους, καθώς και την αύξηση των φαινολικών ενώσεων

από την επεξεργασία με ΟΜW του εδάφους. Ωστόσο, βρέθηκε ότι οι φαινόλες αποσυντίθενται ταχέως και δεν παρατηρήθηκε μεταγενέστερα καμία τάση συσσώρευσης. Γενικά δεν υπάρχουν άλλες αρνητικές συνέπειες στις ιδιότητες του εδάφους και τη συμπεριφορά των φυτών που παρατηρήθηκαν όλη την πειραματική περίοδο, ούτε και η σύνθεση του νερού αποστράγγισης επηρεάζεται από την εφαρμογή του κατσίγαρου. Αν και έχουν αναφερθεί θετικά αποτελέσματα ακόμη και για την εφαρμογή του κατσίγαρου σε ετήσιες καλλιέργειες (García-Ortiz *et al.*, 1999), η οποίες είναι πιο ευαίσθητες στην τοξικότητα, οι έρευνες σχετικά με τις επιδράσεις στην ελιά έρχονται σε αντίθεση με τα δέντρα, και στις περισσότερες περιπτώσεις αφορούν τα δέντρα της νεότερης ηλικίας. Ερευνητές παρατήρησαν υποτοξικά αποτελέσματα στους νέους ελαιώνες με υψηλές δόσεις (Briccoli-Bati and Lombardo, 1990), ενώ άλλοι ερευνητές ανέφεραν ότι ακόμη και με υψηλές δόσεις κατσίγαρου, δεν μειώθηκε η ανάπτυξη των νεαρών φυτών ελιάς. Επίσης έχει αναφερθεί ότι σε υψηλές δόσεις η εφαρμογή ήταν φυτοτοξική με νέκρωση των φυτών (Ben-Rouina *et al.*, 1999). Από περιβαλλοντική άποψη, η αδιάκριτη διάθεση του κατσίγαρου στο έδαφος μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την ποιότητα των υπόγειων υδάτων. Επιπλέον μελετητές ανέφεραν ότι η διασπορά των ΟΜW στο έδαφος έχει οδηγήσει σε αύξηση των φαινολικών ενώσεων των υπόγειων υδάτων κατά τη διάρκεια του χειμώνα (όταν τα ελαιοτριβεία είναι ενεργά), σε σύγκριση με σε δείγματα που λαμβάνονται κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού (Spandre and Dellomonaco, 1996)

Τα αποτελέσματα του Χατζηζουλάκη έδειξαν ότι η ελεγχόμενη εφαρμογή του κατσίγαρου αυξάνει την γονιμότητα του εδάφους, προσφέροντας την ευκαιρία να ανακυκλώνουν τις διάφορες ενώσεις (Chartzoulakis, 2010). Λόγω της υψηλής ποσότητάς τους σε οργανική ύλη και μακροθρεπτικών συστατικών (ιδιαίτερα του καλίου), η εφαρμογή του κατσίγαρου θα μπορούσε να θεωρηθεί ως ένα χρήσιμο για την γεωργία, χαμηλού κόστους τροποποίησης και λίπασμα.

Σχετικά πρόσφατα πραγματοποιήθηκαν μελέτες των επιπτώσεων ψεκασμού με υγρά αποβλήτα ελαιοτριβείου πάνω από 6 διαδοχικά έτη σε γεωργικό εδαφικό οικοσύστημα της Τυνησίας (Magdich *et al.*, 2012). Έχουν εφαρμοστεί σε καλλιέργεια ελιάς τρία επίπεδα κατσίγαρου (50, 100 και 200 m³ ha⁻¹) πάνω από έξι διαδοχικά χρόνια και μετρήθηκαν οι αποδόσεις της καλλιέργειας ελιάς, η συσσώρευση των φαινολικών ενώσεων, η φυτοτοξικότητα και οι μικροβιακές αλλαγές σε διαφορετικά βάθη του εδάφους. Η παραγωγή της ελιάς έδειξε βελτιώσεις με την εφαρμογή του κατσίγαρου. Αυξάνεται η ποσότητα των πολυφαινολικών με την αύξηση των επιπέδων του κατσίγαρου σε όλα τα εδαφικά βάθη. Ωστόσο, δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές αλλαγές

των εξεταζόμενων παραμέτρων σε χαμηλότερη δόση του κατσίγαρου αν και ήταν κοντά στο μάρτυρα.

Στα επιφανειακά στρώματα (0-40 cm) εδάφους, ταυτοποιήθηκαν πέντε φαινολικές ενώσεις πάνω από 6 συναπτά έτη της εφαρμογής του κατσίγαρου. Για όλες της επεμβάσεις η μικροβιακή αύξηση ήταν στενά συνδεδεμένη με τις ποσότητες κατσίγαρου που εφαρμόστηκε στην καλλιέργεια ως λίπασμα. Τα δεδομένα της στατιστικής επεξεργασίας έδειξαν μια ισχυρή σχέση μεταξύ της περιεκτικότητας σε πολυφαινόλες και μικροοργανισμούς του εδάφους, καθώς και μια αρνητική για τον δείκτη βλάστησης της τομάτας. Η μικροβιακή εξέταση έδειξε μία μείωση του βάθους σε όλες τις αναλύσεις εδάφους, ενώ τα συνολικά ποσοστά αερόβιων μεσόφιλων βακτηριδίων ήταν υψηλότερα από εκείνα των μυκήτων (Πίνακας 9). Το αποτέλεσμα αυτό οφείλεται στην επίδραση ρύθμισης του εδάφους με ένα ουδέτερο pH, ευνοϊκό για βακτηριακή ανάπτυξη (Matthies *et al.*, 1997). Επιπλέον, ο συνολικός αριθμός αερόβιων βακτηρίων και ο αριθμός των μυκήτων σε κατεργασμένα εδάφη με OMW αυξήθηκε σε σύγκριση με εκείνο του μάρτυρα. Το ίδιο αποτέλεσμα βρέθηκε όταν χρησιμοποιήθηκε ο κατσίγαρος για την τροποποίηση του εδάφους (Ammar and Ben Rouina, 1999; Saadi *et al.*, 2007). Πιο πρόσφατα, παρατήρηθηκε μια αύξηση του συνόλου των αερόβιων βακτηρίων, ζυμών και μυκήτων στο έδαφος μολυσμένα με OMW (Jarboui *et al.*, 2008; Magdich *et al.*, 2012).

Πίνακας 9. Μεταβολές της ποσότητας των αερόβιων βακτηρίων και μυκήτων (cfu g⁻¹) στα διάφορα εδαφικά βάθη στο πείραμα με εφαρμογές των OMW.

Δοσολογία OMW (m ³ year ⁻¹)	Β α θ ο ς (cm)	Ο αριθμός των αερόβιων βακτηρίων (×10 ⁶) και μυκήτων (×10 ⁵) μετά από την εφαρμογή των OMW					
		Πρώτη εφαρμογή		Δεύτερη εφαρμογή		Τρίτη εφαρμογή	
		Βακτήρια	Μύκητες	Βακτήρια	Μύκητες	Βακτήρια	Μύκητες
Μάρτυρας	0–20	8.2±2.7	4.2±0.1	9.1±1.2	3.6±0.3	7.8±1.4	5.7±0.1
	20–40	6.0±0.6	3.5±0.1	8.9±2.5	2.1±0.1	6.6±2.2	3.3±0.1
	40–60	3.4±1.4	2.5±0.3	5.4±0.5	1.4±0.3	4.2±0.5	1.8±1.4
	60–80	1.9±1.3	1.4±0.1	3.9±2.1	0.6±0.2	3.4±1.4	0.8±0.1
50	0–20	8.5±4.1	7.8±0.2	11.0±4.2	10.0±0.1	16.0±3.6	13.0±1.2
	20–40	5.3±1.5	4.4±0.1	8.6±4.1	8.6±0.2	11.0±2.1	6.6±0.2

	40–60	4.2±2.2	2.0±0.1	5.7±2.1	2.3±0.1	8.3±0.5	2.2±0.1
	60–80	2.1±0.6	1.5±0.3	3.2±1.2	1.7±0.1	4.5±1.3	1.3±0.1
100	0–20	9.3±2.1	9.6±0.1	13.0±2.3	14.0±0.1	16.7±2.6	18.0±2.0
	20–40	6.4±3.5	7.2±0.2	9.5±2.3	6.9±0.1	11.0±3.2	8.0±0.3
	40–60	3.7±1.5	2.7±0.1	6.5±2.2	2.2±1.6	7.7±1.5	4.6±0.1
	60–80	2.8±1.2	2.0±0.1	3.2±2.1	1.4±0.1	4.8±2.3	1.5±0.2
200	0–20	8.5±0.6	11.0±1.1	14.0±4.1	13.0±0.1	10.0±0.2	8.5±1.2
	20–40	7.7±2.2	7.6±0.7	9.7±2.7	6.5±0.1	8.8±2.5	5.4±0.2
	40–60	5.1±1.6	4.6±0.3	8.2±1.6	3.4±0.2	5.6±1.9	3.1±0.4
	60–80	4.5±3.5	2.4±0.4	6.5±3.3	2.3±0.1	4.0±1.5	1.5±0.1

Πηγή: (Magdich *et al.*, 2012)

Ακόμα με την εφαρμογή του κασιόγαρου στο έδαφος σε έναν ελαιώνα, και η επίδραση του στις κοινότητες των μικροοργανισμών του εδάφους μελέτησαν ερευνητές με την μέθοδο ανάλυσης εστερο-συνδεδεμένων μεθυλεστέρων λιπαρών οξέων (EL-FAME). Σε αυτήν την έρευνα τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η γεωπονική εφαρμογή του κασιόγαρου έχει σημαντικές επιπτώσεις στην μικροβιακή κοινότητα του εδάφους. Η ποσότητες των βακτηρίων ήταν σχετικά πιο μειωμένες από αυτές των μυκήτων και ακτινομυκητών, ενώ όπως διαπιστώθηκε τα εδάφη με την εφαρμογή κασιόγαρου είχαν ένα αυξημένο δείκτη μυκήτων. Ειδικοί δείκτες FAME έδειξε μια σημαντική μείωση των Gram-θετικών βακτηριδίων. Ωστόσο, η σχετική αναλογία των Gram-αρνητικών βακτηρίων δεν ήταν σημαντικά διαφορετική μετά την αγρονομική εφαρμογή του κασιόγαρου. Οι αλλαγές ενδεχομένως είναι συνδεδεμένες με μια τροποποιημένη ποσότητα υποστρώματος, δηλαδή η διαθεσιμότητα των υποστρωμάτων μετά την εισαγωγή της πολύπλοκης φύσεως του κασιόγαρου, που επίσης περιέχει πολυφαινόλες υψηλού μοριακού βάρους (Mechri *et al.*, 2010). Η σύνθετη φύση του κασιόγαρου, η οποία περιέχει επίσης τοξικούς οργανικούς μεταβολίτες (Linares *et al.*, 2003), και αντιβακτηριακές φαινολικές ουσίες (Aktas *et al.*, 2001), ήταν πιθανώς υπεύθυνη για τις αρνητικές επιδράσεις που παρατηρούνται στα θετικά κατά Gram βακτηρίδια, ιδιαίτερα στο έδαφος με την υψηλότερη ποσότητα κασιόγαρου, πιθανώς επειδή ο κασιόγαρος θέτει τα Gram-θετικά βακτηρίδια κάτω από την πίεση, εξουδετερώνοντας έτσι τα ευεργετικά αποτελέσματα με την προσφορά της στο οργανικό υπόστρωμα. Προφανώς, τα Gram-αρνητικά βακτήρια ήταν ταχύτερα αναπτυσσόμενα και πιο ενεργά και ανταγωνιστικά για τα διαθέσιμα υποστρώματα απελευθερώνοντας τον κασιόγαρο από

τα gram-θετικά βακτήρια. Τα Gram-αρνητικά βακτηρίδια έχουν εξεταστεί σε μελέτη να είναι ανθεκτικά στο στρες, μεγαλώνουν πιο γρήγορα από ό,τι τα θετικά κατά Gram βακτήρια OMW σε τροποποιημένο έδαφος, και τείνουν να είναι σε θέση να μεταβολίζουν σύνθετα υποστρώματα άνθρακα περισσότερο εύκολα από ό,τι θετικά κατά Gram βακτήρια (Mechri *et al.*, 2010).

Ωστόσο, η βιοαποικοδόμηση των εν λόγω απόβλητων στη φύση είναι δύσκολη επειδή ασκούν μια ισχυρή αντιβακτηριακή δράση εξαιτίας των φαινολικών ενώσεων που περιέχουν. Γι' αυτό προτείνεται πριν από τη χρησιμοποίησή τους στην άρδευση, τα OMW να υποβληθούν σε μια επεξεργασία με διάφορους μεθόδους, όπως η αερόβια επεξεργασία, η αναερόβια χώνευση και η κομποστοποίηση (Ehaliotis *et al.*, 1999; Paredes *et al.*, 2000; Rinaldi *et al.*, 2003). Η προσθήκη τέτοιων ενώσεων μπορεί να προκαλέσει σημαντικές αλλαγές στη δομή και τη λειτουργία της μικροβιακής κοινότητας, η οποία με τη σειρά της μπορεί να επηρεάσει την βιωσιμότητα του εδάφους για τη γεωργία (Cabrera *et al.*, 1996; Cox *et al.*, 1997; Rinaldi *et al.*, 2003).

Από αυτή την άποψη ενδιαφέρον προκαλούν οι μελέτες που αφορούν την επίδραση των ανεπεξέργαστων και βιολογικά επεξεργαζόμενων υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείου στα χαρακτηριστικά του εδάφους και των μικροβιακών κοινοτήτων (Mekki *et al.*, 2006). Η προ-επεξεργασία του κατσίγαρου στα πειράματα αυτά έγινε με την χρήση ενός μύκητα *Phanerochaete chrysosporium* της λευκής σήψης, όπου ακολουθείται μια αναερόβια χώνευση, προκειμένου να επαναχρησιμοποιήσουν τα λύματα στον τομέα της γεωργίας.

Μετά από την βιολογική επεξεργασία των υγρών αποβλήτων μειώνεται η τοξικότητά τους σε 38% και περιείχε μόνο 1,58 g^l φαινολικά όπως φαίνεται στον πίνακα 10, και το COD (21,9 g^l) του επεξεργασμένου κατσίγαρου παρέμεινε σε υψηλά επίπεδα (Πίνακας 10). Ο κατσίγαρος μετά από την βιολογική επεξεργασία περιείχε ακόμα αξιόλογες συγκεντρώσεις N, P, και K, σχετικά μη τοξικές και περιείχε χαμηλές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων. Χώρια από το COD, BOD₅ και το χούμο, η ποιότητα του όταν κατεργάστηκε με OMW ήταν υψηλή και θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για άρδευση μετά από δοκιμές στο αγρό.

Πίνακας 10. Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των επεξεργασμένων και μη επεξεργασμένων Υ.Α.Ε.

Χαρακτηριστικά	Μη επεξεργασμένα ΥΑΕ (OMW)	Βιολογικά επεξεργασμένα ΥΑΕ (OMW)
pH (25 I °C)	5.46	7.6
Ηλεκτρική αγωγιμότητα (25 I °C) (dSm ⁻¹)	8.7	11.3
Αλμυρότητα (g I ⁻¹)	5.9	9.7
Χρώμα (απορροφητικότητα 395 nm)	82	44
UV (απορροφητικότητα 280 nm)	368	38
BOD ₅ (g I ⁻¹)	34.4	4.5
COD (g I ⁻¹)	117	21.9
Γλυκόζη (g I ⁻¹)	12	Δεν ανιχνεύτηκε
Υπόλειμμα στερεών (g I ⁻¹)	26	Δεν ανιχνεύτηκε
Ολικά στερεά (%)	11.4	2.5
Ολικά πτητικά (%)	9.3	1.42
Ολικά διακεκομμένα στερεά (g I ⁻¹)	8.9	3.5
Πτητικά διακεκομμένα στερεά (g I ⁻¹)	6.5	2.7
Άζωτο(g I ⁻¹)	1.58	1.72
Φώσφορος (g I ⁻¹)	0.84	1.12
Κάλιο (g I ⁻¹)	5.2	4.4
Φαινόλες (g I ⁻¹)	8.395	1.265
Ολικές πολυφαινόλες (g I ⁻¹)	9.200	1.578
Υπόλειμμα στερεών (g I ⁻¹)	9.2	Δεν ανιχνεύτηκε
Toxicity by LUMISTox (% inhibition)	100	38

Πηγή: (Mekki *et al.*, 2006)

Οι εδαφικές αναλύσεις έδειξαν ότι στα αγροτεμάχια που τροποποιήθηκαν με OMW, το έδαφος είχε πιο σκούρο χρώμα σε σχέση με το μάρτυρα. Μετά την ξήρανση, τα τροποποιημένα εδάφη έδειξαν υψηλότερη πυκνότητα και σκληρότητα.

Αξιοσημείωτο είναι η μεταβολή του εδαφικού pH το οποίο αυξήθηκε μέχρι 9,2 όταν το έδαφος τροποποιήθηκε με το βιολογικά επεξεργασμένο κατσίγαρο (P4), ενώ

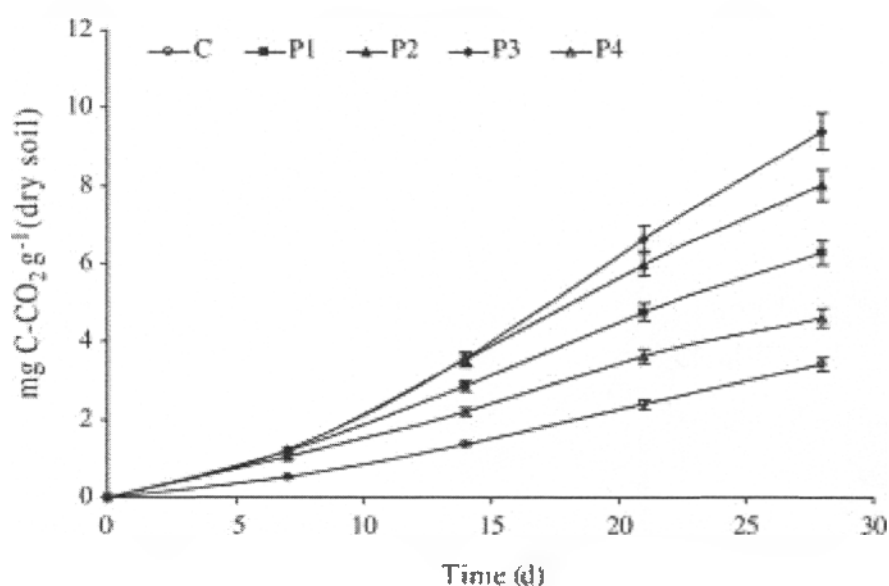
μειώθηκε ελαφρώς σε 7,4 όταν χόμα τροποποιήθηκε με ανεπεξέργαστο κατσίγαρο (P₃, Πίνακας 11). Στον πίνακα 11 τα αποτελέσματα των αναλύσεων δείχνουν ότι το περιεχόμενο του εδάφους σε θρεπτικά συστατικά σε ολικό άνθρακα (C_{tot}), ολικό αζώτο, P, K, Mg και χούμο, η ικανότητα συγκράτησης της υγρασίας αυξήθηκαν μετά την εξάπλωση επεξεργασμένου ή μη επεξεργασμένου κατσίγαρου. Η αναλογία C/N παρέμεινε σταθερή στο έδαφος με τροποποιημένο κατσίγαρο, ενώ αυξήθηκε αναλογικά στο έδαφος που τροποποιήθηκε με ακατέργαστο κατσίγαρο.

Πίνακας 11. Μεταβολές των φυσικών και χημικών παραμέτρων του εδάφους που δέχεται τα μη επεξεργαζόμενα και επεξεργασμένα OMW.

Χαρακτηριστικά	C	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄
Κατανομή του μεγέθους σωματιδίων στον έλεγχο του εδάφους	89.82	Δ.Α	Δ.Α	Δ.Α	Δ.Α
	7.44	Δ.Α	Δ.Α	Δ.Α	Δ.Α
	2.74	Δ.Α	Δ.Α	Δ.Α	Δ.Α
Περιεκτικότητα σε υγρασία (%)	1.14	1.13	1.15	1.07	0.82
pH (KCl)	7.9	7.9	7.6	7.4	9.2
Αλμυρότητα (mg kg ⁻¹)	69	240	336.5	447.5	473
P (mg g ⁻¹)	0.02	0.03	0.08	0.08	0.05
P (διαλυμένο σε νερό) (mg g ⁻¹)	0.001	0.003	0.016	0.12	0.027
K (mg g ⁻¹)	0.14	1.05	1.60	1.80	2.42
Mg (mg g ⁻¹)	0.25	0.35	0.40	0.37	0.33
Na (mg g ⁻¹)	0.02	0.17	0.03	0.04	0.31
Ca (mg g ⁻¹)	14.70	19.80	16.20	15.80	14.70
N _{tot} (mg g ⁻¹)	0.23	0.56	0.95	0.91	0.45
N-NH ₄ (mg g ⁻¹)	0.0312	0.044	0.055	10.089	0.088
C _{tot} (mg g ⁻¹)	2.001	8.002	15.504	16.999	4.001
Χούμος (mg g ⁻¹)	4	16	31	34	8
C/N	8.7	14.29	16.32	18.68	8.89

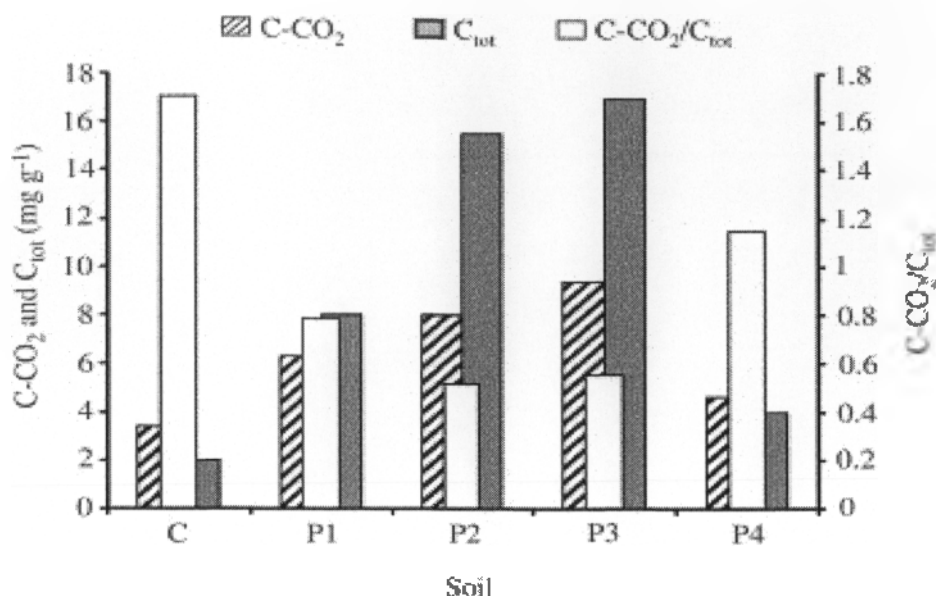
P₁, P₂ και P₃: Εδαφος επεξεργασμένο με 50, 100 και 200 m³ ha⁻¹ μη τροποποιημένο OMW, P₄: έδαφος επεξεργασμένο με 400 m³ ha⁻¹ OMW μετά από βιολογική επεξεργασία. Η επέμβαση - C είναι μάρτυρας. Δ.Α: Δεν ανιχνεύτηκε (Mekki *et al.*, 2006)

Σύγχρονοι ερευνητές πραγματοποίησαν μια σειρά δοκιμών για την μελέτη των προαναφερόμενων συνθηκών στην ποσότητα και δραστηριότητα της εδαφικής μικροχλωρίδας. Μια μέτρηση είναι αυτή της εδαφικής αναπνοής, με την μέθοδο παγίδευσης του παραγόμενου κατά την αναπνοή των μικροοργανισμών το CO₂ (Mekki *et al.*, 2006). Στα εδάφη που έγινε χρήση του επεξεργασμένου αποβλήτου εμφάνισαν σημαντικά υψηλότερη αναπνοή του εδάφους σε σύγκριση με το μάρτυρα (χρήση ανεπεξέργαστων αποβλήτων) από την πρώτη εβδομάδα την επώασης των δειγμάτων εδάφους. Ωστόσο, χρήση του μη επεξεργασμένου κατσίγαρου, προκαλεί την καθυστέρηση παραγωγής της εκκίνησης του CO₂ την 3η εβδομάδα (σχήμα 14).



Σχήμα 14. Συνολική εδαφική αναπνοή ως mg CO₂ g⁻¹ ξηρού εδάφους σε διάφορες επεμβάσεις (Mekki *et al.*, 2006)

Ο ειδικός ρυθμός αναπνοής που εκφράζεται ως η αναλογία C-CO₂/C_{tot} για τα διάφορα δείγματα εδάφους φαίνεται στο σχήμα 14. Μειώθηκε, η αναλογία C-CO₂/C_{tot} από 1,7 στο έδαφος μάρτυρα σε 0,5 το έδαφος που χρησιμοποιήθηκε 100m³ ha⁻¹ ανεπεξέργαστος κατσίγαρος και μειώθηκε ελαφρά σε 1,15 στο έδαφος που τροποποιήθηκε με 400 m³ ha⁻¹ επεξεργασμένου κατσίγαρου.



Σχήμα 15. Μεταβολή του ειδικού αναπνευστικού συντελεστή $C-CO_2/C_{tot}$, που εκφράζεται σε σχέση με τη βασική αναπνοή προς τον ολικό άνθρακα των εξεταζόμενων δειγμάτων (Mekki *et al.*, 2006)

Ο επεξεργασμένος κατσίγαρος αύξησε τον συνολικό αριθμό μεσόφιλων μικροοργανισμών, αλλά προκάλεσε την μείωση του αριθμού των μυκήτων και νιτροποιητών. Οι ακτινομύκητες και τα σπόρια δεν έδειξαν ευαισθησία στην εισαγωγή, ούτε του επεξεργασμένου, ούτε του μη επεξεργασμένου κατσίγαρου. Τα κολοβακτηρίδια συνολικά σημείωσαν αύξηση σε υψηλότερες δόσεις του επεξεργασμένων και μη επεξεργασμένου κατσίγαρου. Μια τοξική επίδραση του μη επεξεργασμένου κατσίγαρου παρατηρήθηκε σε δόση από $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Αυτή η τοξικότητα ήταν πιο σημαντική όταν εφαρμόστηκε στο έδαφος ο κατσίγαρος σε δόση $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, όπου η μικροχλωρίδα του συνόλου μεσόφιλων ζυμών και μυκήτων, ακτινομυκήτων και νιτροποιητών παρεμποδίζεται σοβαρά εκτός από τα συνολικά κολοβακτηρίδια και σπορία.

Γενικά, ο συνολικός αριθμός μικροοργανισμών ο οποίος μετρήθηκε με την μέθοδο διαδοχικών αραιώσεων αυξάνεται με την αύξηση της υγρασίας του εδάφους, και τα OMW ενισχύουν την ικανότητα του εδάφους να συγκροτεί το νερό. Αυτή είναι μια από αιτίες για την αύξηση του συνολικού αριθμού μικροχλωρίδας που παρατηρήθηκε σε επεμβάσεις P₁, P₂ και P₄ σε όλες τις δειγματοληψίες (Πίνακας 11). Ωστόσο, σε $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ανεπεξέργαστων OMW, το σύνολο των βακτηρίων παρέμεινε σε πολύ υψηλότερες τιμές σε σύγκριση με το έδαφος μάρτυρα, αλλά χαμηλότερο σε σύγκριση με τις άλλες δόσεις του κατσίγαρου (Mekki *et al.*, 2006).

Πίνακας 12. Ο αριθμός των αερόβιων ετεροτροφικών βακτηρίων CFU ($\times 10^4$) g^{-1} εδάφους που δέχεται τα μη επεξεργαζόμενα και επεξεργασμένα ΟΜΩ.

	ΦΕΒΡ.	ΜΑΗΣ	ΙΟΥΝΗΣ	ΣΕΠΤ.	ΝΟΕΜ.
C	34±2	69±4.05	24.5±1.44	57±3.35	21.5±1.26
P ₁	85±4.95	77±4.52	45.5±2.67	48.5±2.85	83±4.88
P ₂	121±7.11	89±5.32	45.5±2.67	48.5±2.85	161±9.46
P ₃	66±3.9	72±4.23	57±3.35	43.5±2.55	92±5.4
P ₄	90±5.3	101±5.93	57±3.35	60±3.52	158±9.29

Τα δεδομένα εκφράζονται ως μέση τιμή (τρεις επαναλήψεις) και η τυπική απόκλιση για τις μονάδες σχηματισμού αποικίας ανά γραμμάριο ξηρού εδάφους (Mekki *et al.*, 2006)

Είναι γνωστό, ότι οι πληθυσμοί των μυκήτων του εδάφους κατέχουν τα σημαντικά ένζυμα που διασπούν της σύνθετες ενώσεις, όπως είναι η λιγνίνη και πολυφαινόλες του κατσίγαρου (Borke *et al.*, 2002). Κατά συνέπεια, ο πληθυσμός αυτός των μυκήτων είχε ευνοηθεί από την εισαγωγή των ακατέργαστων ΟΜΩ, όπου το pH και αναλογία C/N ήταν επίσης πιο ευνοϊκή σε σύγκριση με το μάρτυρα. Σε σύγκριση με τον μάρτυρα στα εδάφη που δέχονται τα ακατέργαστα ΟΜΩ βρέθηκε μια συνολική υψηλή ποσότητα των μυκήτων στο έδαφος (Πίνακας 12). Η εισαγωγή στο έδαφος του κατσίγαρου μετά από την βιολογική του επεξεργασία επέδρασε αρνητικά στο συνολικό αριθμό των μυκήτων εδάφους. Σε όλες τις ημερομηνίες των δειγματοληψιών, ο αριθμός μυκήτων CFU ήταν χαμηλότερος από τον εκείνο του μάρτυρα.

Πίνακας 13. Ο ολικός αριθμός των μυκήτων CFU ($\times 10^4$) g^{-1} σε έδαφος με διαφορετικές επεμβάσεις

	ΦΕΒΡ.	ΜΑΗΣ	ΙΟΥΝΗΣ	ΣΕΠΤ.	ΝΟΕΜ.
C	3.5±1.11	3±0.95	3±0.95	1.3±0.41	2.7±0.85
P ₁	10±3.17	11.5±3.64	17±5.38	15.5±4.9	14.7±4.65
P ₂	5.5±1.74	5±1.58	15±4.75	10±3.17	13.5±4.27
P ₃	7.5±2.37	4.6±1.45	11±3.48	4.1±1.29	11.2±3.55
P ₄	1.82±0.57	1.85±0.58	2.85±0.9	1.74±0.55	1.35±0.42

Πηγή: (Mekki *et al.*, 2006)

Εδάφη του μάρτυρα (C), και των επεμβάσεων P₁ και P₂ (επέμβαση με 50 και 100 m³ ha⁻¹ ανεπεξέργαστου κατσίγαρου αντίστοιχα δεν είχαν σημαντικές διαφορές στον αριθμό των νιτροποιητών. Αντιθέτως, η εισαγωγή στο έδαφος 200 m³ ha⁻¹ ανεπεξέργαστου κατσίγαρου (P₃) μείωσε τον αριθμό των νιτροποιητών. Η μείωση αυτή ήταν πιο σημαντική σε επέμβαση με 400 m³ ha⁻¹ (P₄) επεξεργασμένο ΟΜΩ (Πίνακας 14).

Πίνακας 14. Αριθμός νιτροποιητών MPN (x10⁴) g⁻¹ σε έδαφος με διαφορετικές επεμβάσεις

	ΦΕΒΡ.	ΜΑΗΣ	ΙΟΥΝΗΣ	ΣΕΠΤ.	ΝΟΕΜ.
C	3.6±0.47	4.7±0.62	3.2±0.42	2.8±0.37	3.8±0.5
P ₁	2.6±0.34	4.5±0.59	3.4±0.45	2.4±0.31	3.1±0.41
P ₂	2±0.26	4.2±0.55	2.6±0.34	2.4±0.31	2.8±0.37
P ₃	1.9±0.25	2.8±0.37	1.7±0.22	1.1±0.14	1.1±0.14
P ₄	0.46±0.06	0.48±0.063	0.51±0.07	0.07±0.009	0.9±0.11

Πηγή: (Mekki *et al.*, 2006)

Ο αριθμός των ακτινομύκητων CFU αυξήθηκε στο έδαφος με την δόση του κατσίγαρου μέχρι 100 m³ ha⁻¹. Σε 200 m³ ha⁻¹ ανεπεξέργαστου κατσίγαρου, ο αριθμός CFU παρέμεινε υψηλότερος από εκείνο του μάρτυρα (C) και του P₁ (50 m³ ha⁻¹). Ωστόσο, ήταν χαμηλότερη από P₂ (100 m³ ha⁻¹) (Πίνακας 15).

Οι ακτινομύκητες του εδάφους διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στον κύκλο της οργανικής ύλης στη φύση, λόγω της ικανότητας τους στην διάσπαση των σύνθετων οργανικών μορίων. Οι ακτινομύκητες ενισχύονται από την ακατέργαστη τροποποίηση του κατσίγαρου. Η εισαγωγή του οργανικού υλικού, μπορεί ενδεχομένως να λειτουργήσει και ως τοξικές ουσίες και πηγές θρεπτικών συστατικών, και έχει αποδειχθεί ότι διεγείρει εκλεκτικά συγκεκριμένους πληθυσμούς (Atlas *et al.*, 1991)

Πίνακας 15. Ολικός αριθμός ακτινομυκήτων CFU ($\times 10^4$) g^{-1} σε έδαφος με διαφορετικές επεμβάσεις

	ΦΕΒΡ.	ΜΑΗΣ	ΙΟΥΝΗΣ	ΣΕΠΤ.	ΝΟΕΜ.
C	0.6±0.08	2.1±0.28	2±0.26	2±0.26	3.5±0.46
P ₁	7±0.93	14.5±1.93	8±1.06	10±1.33	12.8±1.7
P ₂	11±1.46	18.5±2.46	15.5±2.06	10.5±1.39	17.2±2.29
P ₃	5±0.66	18±2.39	12±1.59	5.5±0.73	14.7±1.95
P ₄	13.29±1.77	17.5±2.33	15.6±2.07	12.29±1.63	15.7±2.09

Πηγή: (Mekki *et al.*, 2006)

Αυτή η μελέτη απέδειξε ότι το έδαφος που τροποποιήθηκε με διαφορετικές συγκεντρώσεις του ανεπεξέργαστου κατσίγαρου και βιολογικά επεξεργασμένου παρουσιάζει μεταβολές στην δομή του και την υφή του. Κατά συνέπια η προσθήκη του μη επεξεργασμένου ή βιολογική επεξεργασία κατσίγαρου στο έδαφος δημιούργησε κάποιες τροποποιήσεις στις μέσες τιμές για το συνολικό αριθμό των μικροοργανισμών και την κατανομή τους. Τα αποτελέσματα έδειξαν μια αρχική αύξηση του αριθμού των CFU στις περισσότερες ομάδες μικροχλωρίδας μετά την τροποποίηση του εδάφους με το κατσίγαρο, εξαιρούνται οι νιτροποιητές ο αριθμός των οποίων μειώθηκε. Σύμφωνα με αυτή τη διαπίστωση μελέτες έδειξαν αύξηση του ολικού μικροβιακού πληθυσμού στα εδάφη μολυσμένα με κατσίγαρο. Με την αύξηση της συγκέντρωσης του κατσίγαρου όμως, ο συνολικός αριθμός των μικροοργανισμών μειώνεται, όπως διαπιστώθηκε από την προαναφερόμενη έρευνα. Όπως επίσης βρέθηκε και επίδραση των OMW στους μικροοργανισμούς υπευθύνους για την νιτροποίηση.

Μερικοί συγγραφείς ανέφεραν ότι η μεταβολή του αριθμού σε ορισμένες ομάδες βακτηριδίων νιτροποίησης οφείλεται στην αύξηση του pH και σε ορισμένες εναπομείναντες πολυφαινολικές ενώσεις του κατσίγαρου που είναι τοξικές γι' αυτή την ευαίσθητη κατηγορία των μικροοργανισμών (Paredes *et al.*, 1987).

Με βάση όλες τις προηγούμενες μελέτες και τα αποτελέσματα η επίδραση της μακροχρόνιας χρήσης των OMW στη λιπαντική άρδευση για τη μικροβιακή κοινότητα, τη γονιμότητα και τις φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους παραμένουν ασαφείς. Ωστόσο, ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στην δυνατότητα άρδευσης του επεξεργασμένου κατσίγαρου με ρητή αναφορά στις βασικές καλλιέργειες γεωργικού ενδιαφέροντος. Οι ακόλουθες κατευθυντήριες γραμμές θα πρέπει να τηρούνται για τη

διασπορά του κατσίγαρου στο έδαφος, όπου δεν υπερβαίνει τα $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ ανεπεξέργαστου κατσίγαρου, και να μειώσει τη δόση του επεξεργασμένου κατσίγαρου μέχρι $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ για να αποφευχθεί η αύξηση της αλατότητας του εδάφους;

- Ολοκληρώνοντας μία τελευταία τριτοβάθμια επεξεργασία του κατσίγαρου για τη μείωση του υπολειπόμενου χρωματισμού και την τοξικότητα των υγρών αποβλήτων.
- Οργώνοντας συχνά για να διατηρηθεί μία μέγιστη δραστηριότητα της μικροχλωρίδας του εδάφους και να αποφευχθούν οι ξηρές συνθήκες του εδάφους.

3.4. Αξιοποίηση κομποστοποιημένου πυρηνόξυλου και υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείου σαν εδαφοβελτιωτικό. Εκτίμηση του πυρηνόξυλου σαν εδαφοβελτιωτικό

Τα ανόργανα λιπάσματα μειώνονται παγκοσμίως (πλην των χωρών του τρίτου κόσμου) κατά 8% κάθε χρόνο. Σε ορισμένες χώρες (ΗΠΑ, Καναδά) η μείωση αυτή φτάνει το 25% το χρόνο. Μέχρι το 2050 το 30% της σημερινής παγκόσμιας κατανάλωσης λιπασμάτων θα αντικατασταθεί με compost (ακόμα και στις εντατικές καλλιέργειες).

Με δεδομένη την αυξητική τάση του μεγέθους της αγοράς compost στην Ελλάδα (120.000 τόνοι το 2000 και πρόβλεψη 500.000 τόνοι για το 2010) χωρίς να περιλαμβάνονται οι προερχόμενες από τα αστικά απόβλητα, γίνεται φανερό πως το μέλλον των εδαφοβελτιωτικών τύπου κομπόστας στην Ελλάδα είναι πλέον αισιόδοξο. Η κομπόστα που παράγεται από την αερόβια ζύμωση του πυρηνόξυλου με υγρά απόβλητα ελαιουργείων (κατσίγαρο), αποτελεί ένα φυσικό προϊόν με εν δυνάμει μεγάλη εμπορευσιμότητα ενώ ταυτόχρονα συμβάλει στην οριστική λύση του προβλήματος διάθεσης και διαχείρισης των παραπροϊόντων και αποβλήτων των ελαιουργείων, με προφανές όφελος στην ιδιωτική και εθνική οικονομία (Israilides *et al.*, 1997). Το τελικό προϊόν βρέθηκε ότι ήταν απαλλαγμένο από βαρέα μέταλλα και αφλατοξίνες. Ένα παραπροϊόν των βιομηχανιών πυρηνελαίου είναι το πυρηνόξυλο, το στερεό υπόλειμμα μετά την εξαγωγή πυρηνελαίου. Με άλλα λόγια κατά τη συγκοστοποίηση το πυρηνόξυλο αποσυντίθεται μέσω εξώθερμων αντιδράσεων στην θερμόφιλη περιοχή, ενώ η απώλεια της υγρασίας αντικαθίσταται με την προσθήκη υγρών αποβλήτων με

σκοπό τη διατήρηση επιθυμητών επιπέδων υγρασίας. Το τελικό προϊόν είναι ένα καλό εδαφοβελτιωτικό. Παρακάτω δίνονται τα βασικά χαρακτηριστικά του εδαφοβελτιωτικού (Πίνακας 16).

Πίνακας 16. Εδαφολογική ανάλυση κομποστοποιημένου πυρηνόξυλου με απόνερα ελαιουργείων (κατσίγαρος) μετά την αντίδραση FENTON.

Παράμετρος	Τιμή
Υδατοϊκανότητα (%)	248,7
Χουμικό Οξύ (%)	5,84
Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (mS/cm) (1:2)	2,18
pH	7,70
Οργανική ουσία (%)	74,15
CEC (meq/100g)	52
CaCO ₃ (%)	4,2
Ολικές Φαινόλες (ppm)	190
Ολικά σάκχαρα (%)	0,31 ± 0,01
Δείκτης Βλαστικότητας	154
Μικροοργανισμοί (CFU/g)	3,6x10 ⁸ - 5,1x10 ¹⁰

Πηγή: (Israilides *et al.*, 1997)

ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Στοιχεία	Ολικά	Ανταλλάξιμα
N	15.05 (mg/100g)	445.0 (ppm)
P (OLSEN)		17.6 (meq/100g)
K		2.76 (meq/100g)
Na		30.29 (meq/100g)
Ca	3.25 (%)	5.25 (meq/100g)
Mg	0.45 (%)	
Fe	88.00 (ppm)	4.46 (ppm)
Mn	13.5 (ppm)	46.8 (ppm)
Zn	49.7 (ppm)	20.6 (ppm)
Cu	26.7 (ppm)	3.69 (ppm)
(SO ₄) ⁻²	34.4 (ppm)	

Πηγή: (Israilides *et al.*, 1997)

Η υδατοϊκανότητα της κομπόστας 248.7, θεωρείται αρκετά υψηλή, και έτσι συνεισφέρει στην βελτίωση των επιπέδων υγρασίας στα μείγματα με έδαφος. Το CaCO₃, το pH και η ηλεκτρική αγωγιμότητα (≤ 5.0 mS/cm) ακολουθούν τα κριτήρια για μια καλή κομπόστα σύμφωνα με Ευρωπαϊκές προδιαγραφές. Η ολική σε κατιόντα εναλλακτική ικανότητα (CEC) των 55 meq/100g θεωρείται πολύ υψηλή και αυτό διευκολύνει την διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων στα φυτά (Πίνακας 17).

Πίνακας 17. Παράμετροι για αξιολόγηση εδαφών

pH		CaCO₃ (%)	
< 4.5	Εξαιρετικά Όξινο	< 0.5	Φτωχό σε Ca
4.5-5.0	Πολύ ισχυρά Όξινο	0.5-2.0	Μετρίως εφοδιασμένο
5.1-5.5	Ισχυρά Όξινο	2.0-20.0	Ικανοποιητικά πλούσιο
5.6-6.0	Μέτρια Όξινο	20.0-40.0	Πολύ πλούσιο
6.1-6.5	Ελαφρά Όξινο	> 40.0	Ασβεστώδες
6.6-7.3	Ουδέτερο		
7.4-7.8	Ελαφρά Αλκαλικό		
7.9-8.4	Μέτρια Αλκαλικό		
8.5-9.0	Ισχυρά Αλκαλικό		

Ολική σε κατιόντα Εναλλακτική Ικανότητα (CEC=meq/100g εδάφους)		Οργανική ουσία (%)	
> 30	Πολύ υψηλή	< 1	Πολύ φτωχό
30-25	Υψηλή	1-2	Φτωχό
24-18	Μέτρια	2-3	Μετρίως εφοδιασμένο
17-13	Μέση	3-5	Ικανοποιητικά εφοδιασμένο
13-8	Χαμηλή	>5	Πλούσιο εφοδιασμένο
< 8	Πολύ χαμηλή		

Διαθέσιμος P (mgP/kg)	Διαθέσιμο K (meqK/100g)

	Εκτατικές καλλιέργειες και κηπευτικά	Θερμοκήπια
Πολύ ανεπαρκές	0-10	0-10
Ανεπαρκές	6-15	11-25
Μέτρια επαρκές	-	-
Επαρκές	16-25	26-30
Υπέρ επαρκές	26-45	31-50

	Εκτατικές καλλιέργειες και κηπευτικά	Θερμοκήπια
Πολύ ανεπαρκές	0-0.129	0-0.255
Ανεπαρκές	0.130-0.255	0.256-0.384
Μέτρια επαρκές	0.256-0.384	0.385-0.512
Επαρκές	0.385-0.639	0.513-0.767
Υπέρ επαρκές	>0.767	>0.767

Ηλεκτρική αγωγιμότητα (mS/cm)	
< 2	Κανονικά εδάφη
> 2	Αλατούχα εδάφη

Άζωτο (%) gN/100 g	
Φτωχό	< 0.15
Μετρίως εφοδιασμένο	0.15 - 0.2
Πλούσιο εφοδιασμένο	> 0.2

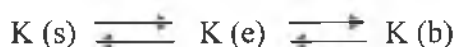
Πηγή: (Israilides *et al.*, 1997)

Άζωτο: Η ικανότητα του εδάφους να παρέχει άζωτο στα φυτά βασίζεται στην περιεκτικότητά του σε οργανική ουσία. Ο προσδιορισμός των κυρίως αφομοιώσιμων μορφών π.χ. νιτρικών και αμμωνίας, δεν βοηθά πολύ, μιας και η συγκέντρωσή τους αλλάζει ταχέως στο έδαφος μέσα σε ώρες και εξαρτάται από παράγοντες που επηρεάζουν την μικροβιακή δράση, όπως η υγρασία και η θερμοκρασία. Γι' αυτό και η εκτίμηση του ολικού αζώτου στο έδαφος χρησιμοποιείται σαν κατά προσέγγιση της ικανότητάς του δείκτη να δίνει άζωτο στα φυτά (Cabreria *et al.*, 1999). Η συγκέντρωση του αζώτου στην επιφάνεια των περισσότερων εδαφών κυμαίνεται από 0.02-0.25% ενώ εδάφη πλούσια σε N έχουν περιεκτικότητα >0.2g N/100g εδάφους (Πίνακας 17). Το ζυμωμένο πυρηνόξυλο είχε συγκέντρωση N, 1505 mg N/100 g. Ο λόγος C/N ήταν περίπου 23-25 στο τέλος της ζύμωσης. Τιμές του λόγου C/N γύρω στο 20 είναι ενδεικτικές ποικίλων οργανικών λιπασμάτων όπως κοπριά, κομποστοποιημένα ψυχανθή κτλ.

Φώσφορος: Το περιεχόμενο σε ανταλλάξιμο (διαθέσιμο) P του ζυμωμένου πυρηνόξυλου ήταν 445ppm (Πίνακας 16). Συνήθως τα εδάφη περιέχουν P από 0.02-0.2% και σε σπάνιες περιπτώσεις πάνω από 0.5% (Calonoulos, 1968). Αντίθετα με το

άζωτο, ο αφομοιώσιμος P είναι πολύ πιο σημαντικός σε σύγκριση με τον ολικό P. Σύμφωνα με τον πίνακα 17 αυτό δείχνει ότι ο διαθέσιμος P είναι υπεραρκετός για τα εδάφη εντατικών καλλιεργειών και κηπευτικών, όσο και για εδάφη θερμοκηπίων.

Κάλιο: Το ολικό K στο κομποστοποιημένο πυρηνόξυλο βρέθηκε ότι ήταν από 1.1-1.2 g/100g εδάφους. Το K στα εδάφη, αντίθετα με το άζωτο και το φώσφορο βρίσκεται σε ανόργανη μορφή, σαν διαλυτό (s), ανταλλάξιμο (e) και δεσμευμένο (b). Ανάμεσα σε αυτές τις μορφές υπάρχει μία ισορροπία σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα (Calonoulios, 1968):



Η περιεκτικότητα των ελληνικών εδαφών σε K θεωρείται αρκετή μια που τα περισσότερα από αυτά περιέχουν περισσότερο από 0.004%. Το διαθέσιμο K στο ζυμωμένο πυρηνόξυλο προσδιορίστηκε στο 17.6 meq/100 g (Πίνακας 17). Αυτό είναι πάνω από αρκετό για εδάφη εντατικής καλλιέργειας και κηπευτικών αλλά και θερμοκηπίων (Πίνακας 18).

Θείο: Το S θεωρείται ένα απαραίτητο μακροστοιχείο για την ανάπτυξη των φυτών και των ζώων. Αν και στις περισσότερες περιπτώσεις οι ποσότητες του S στα εδάφη είναι αρκετές για την ανάπτυξη των περισσότερων φυτών, υπάρχουν περιπτώσεις έλλειψης του S σε μερικά φυτά με υψηλότερες απαιτήσεις, όπως καπνός, τριφύλλι και σταυρανή (Calonoulios, 1968). Τα φυτά λαμβάνουν το S σαν SO_4^{2-} μέσω του ριζικού τους συστήματος κι ένα πολύ μικρό μέρος από τα φύλλα σαν SO_2 . Η κανονική συγκέντρωση του SO_4^{2-} στα εδαφικά διαλύματα είναι 25-100 ppm. Η συγκέντρωση του SO_4^{2-} στο ζυμωμένο πυρηνόξυλο ήταν 34,36 ppm, που δείχνει την επάρκεια του S για τα περισσότερα καλλιεργούμενα φυτά (Πίνακες 16 και 17).

Ολικές Φαινόλες, ολικά σάκχαρα και μικροβιακό φορτίο: Οι ολικές φαινόλες μειώθηκαν στα 190 ppm στο ζυμωμένο πυρηνόξυλο, μία μείωση πάνω από 97% σε σύγκριση με την αρχική συγκέντρωση στον κατσίγαρο (Πίνακας 17). Τα ολικά σάκχαρα επίσης μειώθηκαν από 1.83 ± 0.1 % σε 0.31 ± 0.01 % (83 %).

Το μικροβιακό φορτίο, (CFU /g) ήταν της τάξης του 10^6 στο μη ζυμωμένο και 10^8 - 10^{10} στο ζυμωμένο πυρηνόξυλο. Αυτή η αύξηση είναι μια καλή ένδειξη επιτυχούς ημιστερεάς ζύμωσης.

Φυτοτοξικότητα: Ο Δείκτης Βλαστικότητας Δ.Β στο ζυμωμένο πυρηνόξυλο έδειξε μια φυτοδιέγερση στην βλάστηση των σπόρων μαρουλιού. Αυτό μπορεί να αποδοθεί μάλλον στη μείωση των φαινολικών ουσιών σαν αποτέλεσμα της κομποστοποίησης, όσο και στην παρουσία παραγόντων που διεγείρουν την ανάπτυξη των φυτών και οι

οποίοι προέρχονται από την ζύμωση (αυξίνες). Οι μειωμένες αποδόσεις όταν το ποσοστό της κομπόστας στο έδαφος υπερβαίνει το 20-25% μπορεί να αποδοθεί στην αυξημένη συγκέντρωση ορισμένων στοιχείων όπως Fe, Mn, Cu και Zn καθώς και στην μείωση της ικανότητας άντλησης νερού λόγω αυξημένης αλατότητας (Mitsios, 1999).

Η ενσωμάτωση των οργανικών αποβλήτων στο έδαφος, εκτός του ότι είναι μια πολύτιμη προσέγγιση για τη δέσμευση του C, μπορεί να οδηγήσει σε πρόσθετα οφέλη, όπως η πρόληψη της διάβρωσης, η της σταθεροποίησης των μεγεθών της γονιμότητας του εδάφους και της βελτίωσης (Sampedro *et al.*, 2009). Για το σκοπό αυτό, θα μπορούσε να είναι πιθανοί υποψήφιοι τα στερεά υπολείμματα από την διαδικασία εξαγωγής ελαιολάδου (TPOMW). Μεταξύ αυτών, τα στερεά υπολείμματα μετά από την επεξεργασία του ελαιοπυρήνα, που αναφέρεται ως (DOR), θα μπορούσε να είναι πιο αποδεκτικά με την βιολογική αναβάθμιση ή την αποτοξίνωση από τους μύκητες της λευκής σήψη σε σχέση με άλλα απόβλητα ελαιοτριβείου οφείλεται για τη μεγαλύτερη σταθερότητα της ενδιάμεσης αποθήκευσης και των καλύτερων ιδιοτήτων της υφής (Sampedro *et al.*, 2009). Οι κύριοι στόχοι της μελέτης του Sampedro και των συνεργατών του είναι: (i) να διερευνηθεί η επίδραση προσθήκης από DOR στο έδαφος και στην ποικιλομορφία και την δομή των βακτηρίων και μυκήτων, (ii) να εκτιμηθεί κατά πόσο κάποια απόβλητα προ-επεξεργασμένα πριν από την εφαρμογή τους (π.χ. με το μύκητα της λευκής σήψης *Phlebia sp*) στο έδαφος θα μπορέσουν να επηρεάσουν την ανάπτυξη της μικροχλωρίδας και (iii) να εξακριβωθεί κατά πόσον είναι δυνατόν οι αλλαγές στη δομή μικροβιακής κοινότητας να μπορέσουν να συνδεθούν με τις αλλαγές στις δραστηριότητες ορισμένων ενζύμων όπως DH-ase, FDAH-ase, όξινη φωσφατάση και αρλσουφατάση. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την ανάλυση Deoxyribonucleic Acid (DNA) (DNA εκχύλιση, την ενίσχυση PCR) και PLFA αναλύσεις. Ολικό DNA κοινότητας εκχυλίστηκε από 250 mg του ανασυσταθέντος δείγματος εδάφους χρησιμοποιώντας το DNA Extraction Kit Power Soil (MoBio Laboratories, Carlsbad, CA) ακολουθώντας τις οδηγίες του κατασκευαστή. Την παρούσα μελέτη παρέχει σαφείς ενδείξεις ότι μη επεξεργασμένα DOR, που χρησιμοποιείται σε επίπεδο εφαρμογής, δεν είναι τόσο τοξικό για τους μικροοργανισμούς του εδάφους, όπως πίστευαν προηγουμένως (Benitez *et al.*, 2004). Αντίθετα, η ενσωμάτωση του αυξάνει τη μικροβιακή δραστηριότητα των πληθυσμών και πιθανόν να οφείλεται στην προσθήκη οργανικής ύλης. Επίσης, η ποικιλομορφία των μυκήτων και η σχετική αφθονία τους φαίνεται να επηρεάζεται θετικά. Έτσι, προτείνεται ότι DOR προ-επεξεργασμένο που στοχεύουν στην εξάλειψη δυνητικά τοξικές ενώσεις μπορεί να μην είναι αναγκαία.

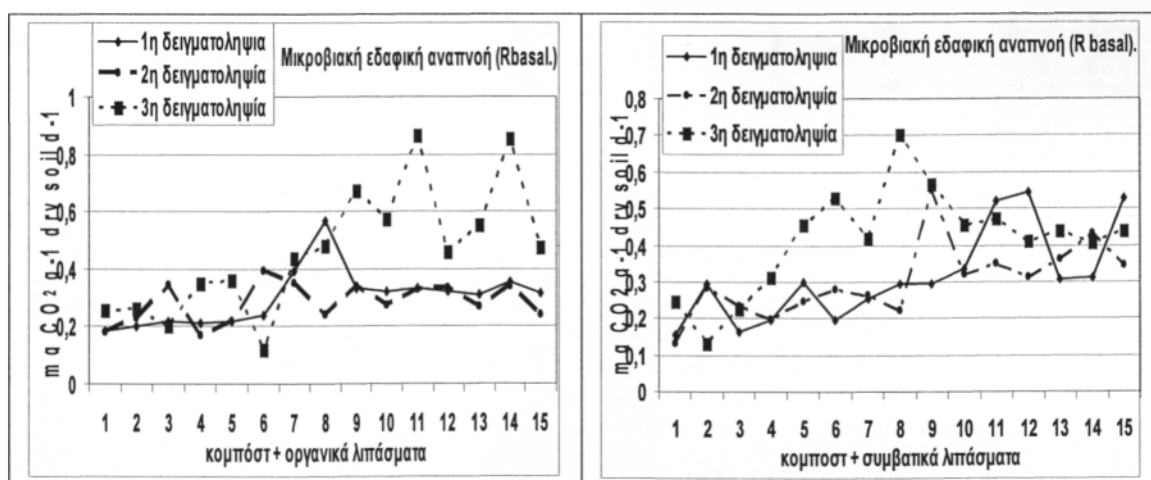
Τα κομποστοποιημένα υλικά των αποβλήτων των ελαιοτριβείων μπορεί να αποτελέσουν πηγή παροχής θρεπτικών στοιχείων στα φυτά και αντιμετώπισης φυτοπαθογόνων μυκήτων.

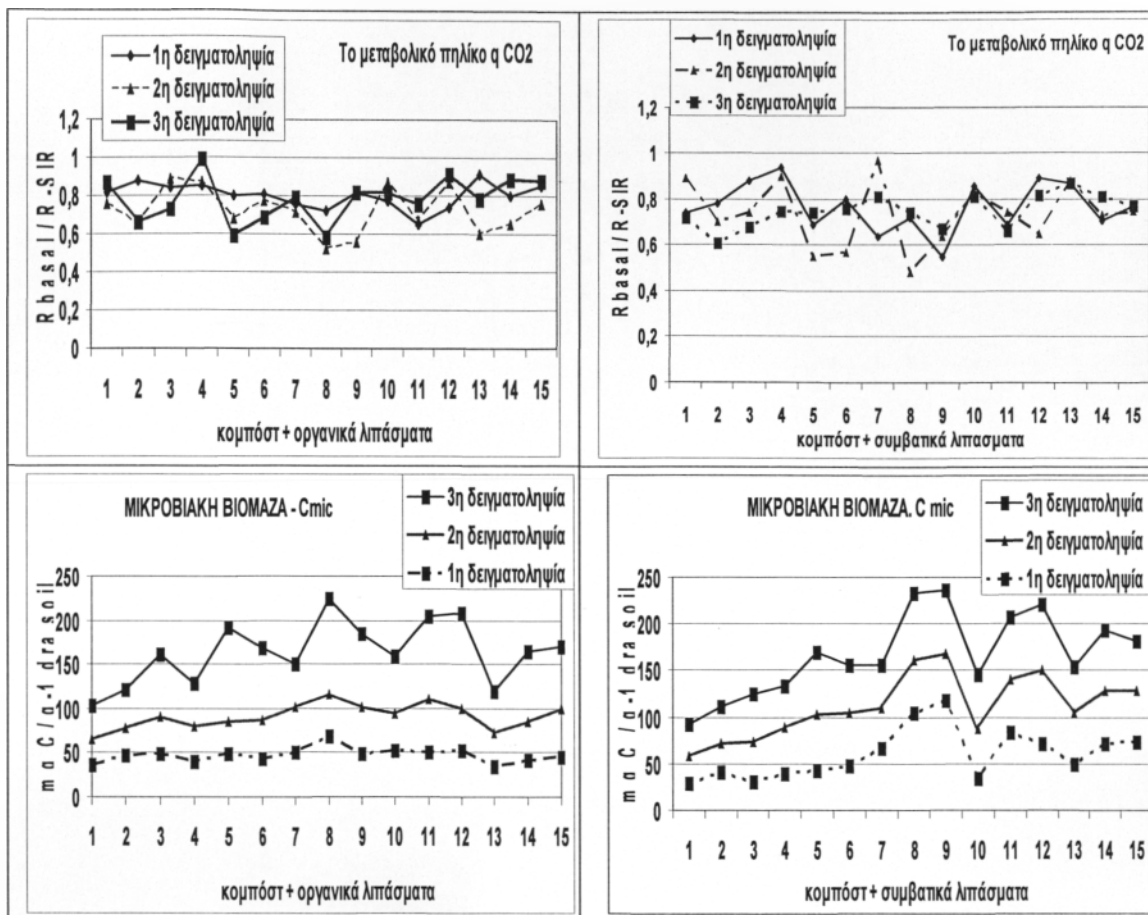
Πειραματικός πραγματοποιήθηκε, στο εργαστήριο Εδαφολογίας και Λιπασματολογίας του Α.Γ.Ε.Ι Καλαμάτας από μία ομάδα μελετητών, σε δοχεία ανάπτυξης μαρουλιού, με σκοπό την μελέτη της επίδρασης στην εδαφική μικροχλωρίδα διαφόρων αναλογιών εδαφοβελτιωτικού κομπόστ (% κ.ό.) από απόβλητα των ελαιοτριβείων σε συνδυασμό με 3 επίπεδα Ν οργανικής και συμβατικής προέλευσης. Εξετάστηκε επίσης και η πιθανότητα ελέγχου με την προσθήκη του κομπόστ στο έδαφος και των παθογόνων μυκήτων που σχηματίζουν σκληρώτια (Coley-Smith and Cooke, 1971). Σε αυτήν την κατηγορία ανήκει ο μύκητας *Botrytis cinerea* που προσβάλλει την βάση και τα φύλλα του φυτού, προκαλεί σήψη των φυτικών ιστών και αποτελεί αιτία της τέφρας σήψης πολλών ανθοκηπευτικών (Ayers and Adams, 1981). Για την μικροβιακή ανάλυση έγιναν τρεις δειγματοληψίες εδάφους από τα δοχεία ανάπτυξης μαρουλιού. Οι δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν 20 και 70 ημέρες μετά τη φύτευση και μετά τη συγκομιδή. Για τη μελέτη της επίδρασης των εξωτερικών παραγόντων στην εδαφική μικροχλωρίδα προσδιορίστηκε η μικροβιακή βιομάζα με την μέθοδο fumigation-extraction method, όπου μετρήθηκε η ποσότητα του μικροβιακού άνθρακα της μικροβιακής βιομάζας (C min). Μετρήθηκε η βασική εδαφική αναπνοή (R_{basal} ή R_{mic}) και η εδαφική αναπνοή, μετά από προσθήκη του ενεργητικού υλικού, (SIR ή RSIR), σύμφωνα με την μέθοδο τριών ερευνητών αντίστοιχα (Anderson and Domsch, 1990); (Horwath and Paul, 1994); (Alef, 1995). Επίσης υπολογίστηκε το μεταβολικό πηλίκιο ως εξής: $qCO_2 = R_{basal}/RSIR$. Η καταμέτρηση του αριθμού διάφορων ομάδων εδαφικών βακτηρίων, μυκήτων, ακτινομυκήτων και εδαφογενών φυτοπαθογόνων πραγματοποιήθηκε *in vitro* με την μέθοδο των βιώσιμων μονάδων (Colony-forming units, CFU). Για την εκτίμηση του μικροβιακού πληθυσμού, μετά από διαδοχικές αραιώσεις του εδαφικού δείγματος, χρησιμοποιήθηκαν θρεπτικά υποστρώματα όπως το Tryptic soy Agar, Streptom Rose Bengal Agar (SRBA) και το Starch-casein Agar (SKA), για την καταμέτρηση του ολικού αριθμού βακτηρίων, μυκήτων, ακτινομυκήτων αντίστοιχα (Germida, 1993). Εξετάστηκε επίσης η δυνατότητα παρεμπόδισης της φυτοπαθογόνα δράσης του μύκητα του γένους *Botrytis*. Η εκτίμηση της έντασης της προσβολής που μετρήθηκε στα πειράματα φυσικά μολυσμένα με *Botrytis cinerea* P., πραγματοποιήθηκε με κριτήρια τον αριθμό των προσβεβλημένων φύλλων, καθώς και του αριθμού αυτών πάνω στα οποία αναπτύχθηκε η εξάνθηση από τα κονίδια του μύκητα. Η ένταση των συμπτωμάτων της ασθένειας στα

προσβεβλημένα φύλλα εκφράστηκε ανάλογα με το επίπεδο προσβολής τους σε κλίμακα από 0 - 4, όπου 0 - φύλλα της βάσης χωρίς συμπτώματα, 1 - με κηλίδα σήψης 1 – 5 mm, 2 – με κηλίδα σήψης 6 – 10 mm, 3 – με κηλίδα 1 – 15 mm, 4 – με κηλίδα σήψης μεγαλύτερη από 15 mm.

Η εφαρμογή του κομπόστ στο έδαφος σε συνδυασμό με συμβατική λίπανση ευνόησε σημαντικά την αύξηση της υπέργειας νωπής και ξηρής βιομάζας μαρουλιού (μέχρι 177 g και 16 g αντίστοιχα) σε σύγκριση με τους υπόλοιπους συνδυασμούς.

Η καταμέτρηση των ανεπτυγμένων πάνω στα θρεπτικά υποστρώματα αποικιών έδειξε ότι ο αριθμός μικροοργανισμών ειδικά των βακτηρίων ήταν αυξημένος σε εδάφη με λίπανση. Ο αριθμός των μυκήτων ανά γραμμάριο ξηρού βάρους εδάφους ήταν αυξημένος με την προσθήκη του κομπόστ των αζωτούχων λιπασμάτων. Ο συνδυασμός του κομπόστ με λίπανση οργανικής προέλευσης σε υψηλές δόσεις προκάλεσε μικρή μείωση της μικροβιακής κοινότητας, αλλά και αύξηση του αριθμού τους στα εδαφικά δείγματα στο τέλος της βλαστικής περιόδου του φυτού ξενιστή. Πολλοί ερευνητές έχουν διαπιστώσει ότι το κομπόστ είναι ευεργετικό υπόστρωμα για την ανάπτυξη της εδαφικής μικροχλωρίδας. Συμφωνούν ότι η εφαρμογή του κομπόστ στο έδαφος βελτιώνει τις φυσικοχημικές ιδιότητες του και η συνεχής περοχή οργανικής ουσίας δημιουργεί ένα ευνοϊκό περιβάλλον για την ανάπτυξή τους (Ayers and Adams, 1981); (Argeiti *et al.*, 2001).

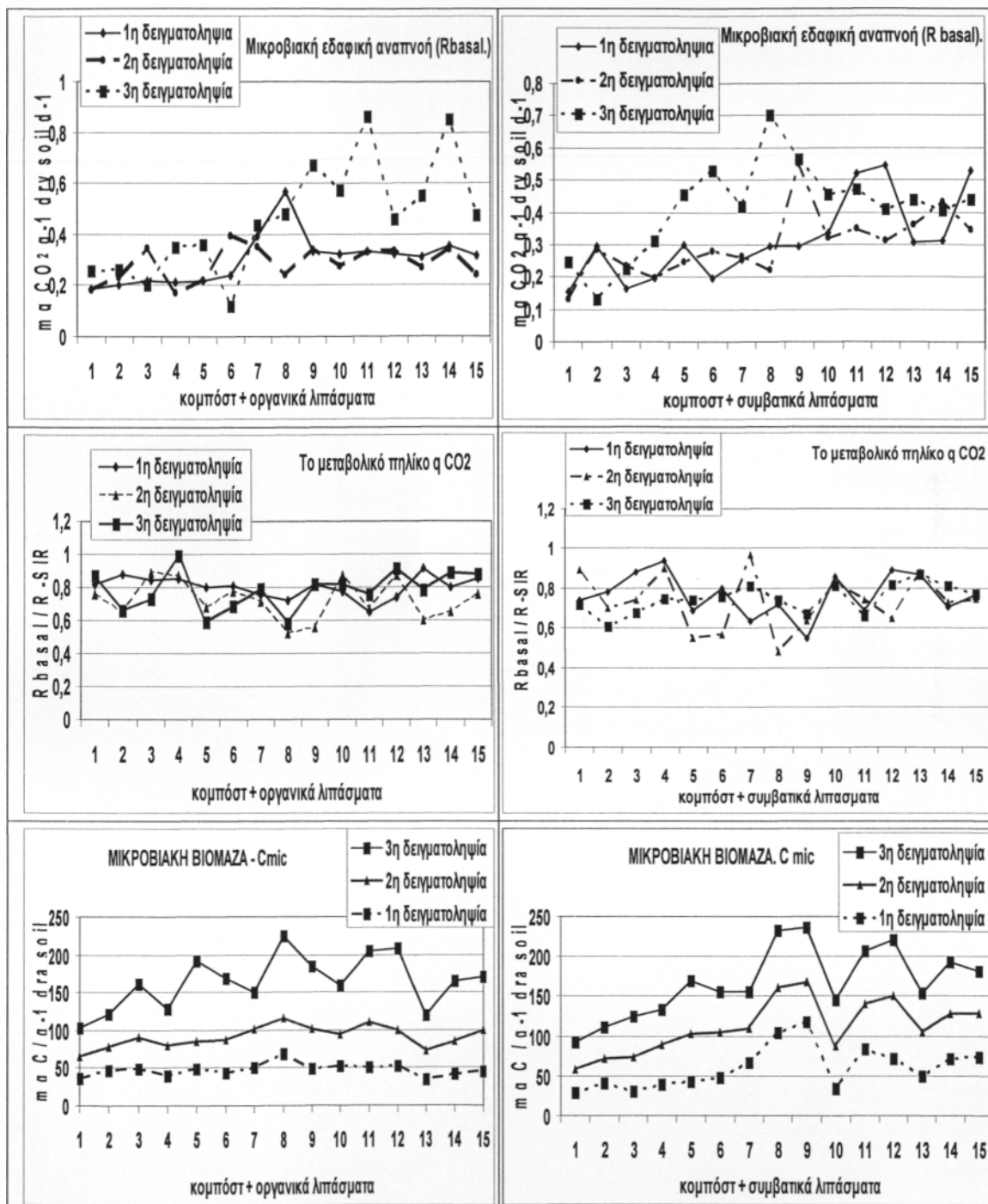




Σχήμα 16. Η επί της 100% μεταβολή του αριθμού των μυκήτων, βακτηριών, ακτινομυκήτων, σε σχέση με το μάρτυρα (χωρίς λίπανση), στην 1^η και 2^η δειγματοληψία (Παπαδοπούλου κ.ά., 2011)

Από τα στοιχεία του σχήματος 16 διαπιστώθηκε αύξηση της εδαφικής αναπνοής σε επεμβάσεις με υψηλά επίπεδα του κομπόστ. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι η μεταβολική δραστηριότητα των μικροοργανισμών υπό διαφορετικά συστήματα διαχείρισης του εδάφους εξαρτάται από την συγκέντρωση της οργανικής ουσίας, την ισορροπία των θρεπτικών στοιχείων, καθώς και από την N-ουχο λίπανση. Οι παραπάνω παράγοντες έχουν άμεση σχέση με το λόγο οργανικής ουσίας προς μικροβιακή βιομάζα, (C_{org}/C_{mic}) καθώς και τον λόγο του άνθρακα προς το άζωτο (C/N). Το μεταβολικό πηλίκιο (qCO_2) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της αντίδρασης των μικροοργανισμών στο στρες και αντανακλά την ικανότητα τους στην μετατροπή του οργανικού C σε μικροβιακή βιομάζα. Στα εδαφικά δείγματα μετά την προσθήκη διάφορων επιπέδων κομπόστ σε συνδιασμό με οργανικά και συμβατικά λιπάσματα (σχήμα οι τιμές του μεταβολικού πηλίκου των τριών δειγματοληψιών κυμαίνονται από 0,52-0,99 στις επεμβάσεις με οργανικά και από 0,48-0,97 στα συμβατικά λιπάσματα. Οι μικρότερες τιμές του qCO_2 παρατηρήθηκαν στις επεμβάσεις 5% κ.ο. κομπόστ +N0,15P0.10K 0,10 και 10% κ.ο. κομπόστ +N0,15P0.10K 0,10, εξαιτίας του υψηλού

RSIR σε σχέση με το Rbasal. Σε συνθήκες μη ευνοϊκές για την ανάπτυξη του μικροβιακού πληθυσμού, όπως είναι ο συνδυασμός του κομπόστ με λίπανση, η τιμή του qCO_2 αυξάνεται έως 0,75-0,99 που υποδηλώνει μίωση του βαθμού αύξησης της βιομάζας.



Σχήμα 17. Η μεταβολή της μικροβιακής αναπνευστικής δραστηριότητας (Επάνω -Rbasal - $mg\ CO_2 - C\ g^{-1}\ d^{-1}$), της εδαφικής μικροβιακής βιομάζας (κάτω Cmic. $mg\ g^{-1}\ dry\ soil$) και της σχέσης - $qCO_2 = Rbasal/RSIR$ (στο κέντρο) σε εδαφικά δείγματα με κομπόστ σε συνδυασμό με οργανική (αριστερά) και συμβατική (δεξιά) λίπανση (Παπαδοπούλου κ.ά., 2011)

Η μικροβιακή βιομάζα (Cmic) στα εδαφικά δείγματα γενικά αυξήθηκε στο τέλος της βλαστικής περιόδου του μαρουλιού (70 ημέρες μετά τη φύτευση). Η ποσότητα της μικροβιακής βιομάζας (σχήμα 17) στις μεταχειρίσεις με υψηλές συγκεντρώσεις κομπόστ παρέμενε σχεδόν στα ίδια επίπεδα σε σχέση με το μάρτυρα, ενώ σε συνδυασμό με τα συμβατικά λιπάσματα ήταν υψηλότερη στα δείγματα της πρώτης δειγματοληψίας, προφανώς λόγω πιο ισορροπημένης αναλογίας οργανικού άνθρακα και αζώτου. Ωστόσο στα εδαφικά δείγματα της επόμενης δειγματοληψίας παρατηρήθηκε μείωση της μικροβιακής βιομάζας. Αντίθετα αποτελέσματα παρατηρήθηκαν στα εδαφικά δείγματα που πάρθηκαν στις επεμβάσεις κομπόστ μαζί με οργανικά λιπάσματα. Η αύξηση της μικροβιακής βιομάζας πιθανό να οφείλεται στην υψηλή ακόμα οργανική ουσία ή στην ανάπτυξη των μικροοργανισμών ικανών για την αποσύνθεση της οργανικής ουσίας που ενσωματώθηκε στο έδαφος (κομπόστ) (Παπαδοπούλου κ.ά., 2011).

3.5. Κατασταλτικότητα του φυτοπαθογόνου

Τα Υ.Α.Ε. χαρακτηρίζονται από υψηλό οργανικό φορτίο, αλλά από έντονη οξειδωτική, αντιμικροβιακή και φυτοτοξική δράση. Όπως προκύπτει από τις ελάχιστες έρευνες που έχουν γίνει μέχρι σήμερα, η αύξηση και η δράση μιας μεγάλης ποικιλίας βακτηρίων και μυκήτων παρεμποδίζεται, ενώ πολλά είδη μικροοργανισμών ευνοούνται από την εφαρμογή των υγρών αποβλήτων (Ayers and Adams, 1981; Saiz-Jimener *et al.*, 1986; Fiestas *et al.*, 1992). Έτσι παρεμποδίζεται η ανάπτυξη πολλών ειδών βακτηρίων του γένους *Lactobacillus*, *Bacillus*, *Chaetomium*, καθώς και μυκήτων εδάφους του γένους *Geotrichum*, *Rhizopus*, *Rhizoctonia* που θεωρούνται ευαίσθητα στα φαινολικά συστατικά των αποβλήτων (Saiz-Jimener *et al.*, 1986). Άλλα είδη μικροοργανισμών του εδάφους όπως οι ζύμες του γένους *Saccharomyces*, *Candida*, *Torulopsis*, οι μύκητες του γένους *Penicillium*, *Aspergillus*, *Rhizopus*, *Alternaria*, *Fusarium* και τα βακτήρια του γένους *Aerobacter*, *Escherichia*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, παράγουν αποικίες σε υποστρώματα με υγρά απόβλητα των ελαιοτριβείων, επιδεικνύοντας την ευνοϊκή επίδραση των συστατικών τους (Fiestas and Borja, 1992). Έχει βρεθεί ότι τα αζωτοδεσμευτικά βακτήρια του γένους *Azotobacter* είναι ικανά να συνθέτουν N χρησιμοποιώντας σαν υπόστρωμα τα συστατικά των αποβλήτων των ελαιοτριβείων (Ballis, 1996; Ehalotis, 1999). Επιπλέον, η ζιζανιοκτόνο δράση του κατσίγαρου

(Ghosheh *et al.*, 1999), και η ικανότητά του να προκαλεί καταστολή εναντίον εδαφογενών παθογόνων των φυτών είναι επιπλέον άξια (Kotsou *et al.*, 2004).

Εξετάστηκε η επίδραση των λυμάτων (κατσιγάρος) ελαιουργείου, ενός σημαντικού ρύπου γεωργικής προέλευσης, στην κατασταλτική ιδιότητα του εδάφους κατά του φυτοπαθογόνου μύκητα *Rhizoctonia solani* στον οποίο οφείλεται η σηψιρριζία των διάφορων φυτών. Το έδαφος υποβλήθηκε σε επεξεργασία με OMW και στη συνέχεια εμβολιάστηκε με το παθογόνο 45 ημέρες μετά την τελευταία επέμβαση, ενώ οι σπόροι μαρουλιού φυτεύτηκαν σε τέσσερις διαδοχικές χρονικές περιόδους μετά την εισαγωγή του παθογόνου.

Το έδαφος που έχει υποβληθεί προηγουμένως σε επεξεργασία με OMW είχε σημαντικά μειωμένες αποικίες του μύκητα *Rhizoctonia solani* σε σύγκριση με τον μάρτυρα (έδαφος κατεργασμένο με νερό). Επίσης εξετάστηκε η επισχετικότητα του εδαφούς στο οποίο προστέθηκε το υγρό απόβλητο ελαιοτριβείου μετά την αερόβια επεξεργασία του (TOMW), αλλά δεν βρέθηκε να έχει σημαντική επίδραση στην ανάπτυξη του μύκητα σε σχέση με το μάρτυρα.

Η επεξεργασία του εδάφους με OMW προκαλεί την αύξηση της εδαφικής αναπνοής που υποδηλώνει την ανάπτυξη των βακτηριακών πληθυσμών των OMW σε επεξεργασμένο έδαφος και ήταν σημαντικά υψηλότερη σε σύγκριση με το χώμα που λάμβαναν νερό και TOMW (το υγρό απόβλητο ελαιοτριβείου μετά την αερόβια επεξεργασία με το *Azotobacter vinelandii*). Το συμπέρασμα είναι ότι τα αποτελέσματα δείχνουν η προσθήκη του OMW και αρχικά του TOMW στο έδαφος δημιουργεί ένα πλούσιο σε θρεπτικά συστατικά περιβάλλον που κυριαρχείται από βακτήρια. Ένα τέτοιο περιβάλλον παρέχει δυσμενείς συνθήκες ανάπτυξης για το *R. solani*. Επίσης, το ποσοστό των φυτών που προσβλήθηκαν από το μύκητα *R. solani* ήταν σημαντικά μικρότερο στις επεμβάσεις με προσθήκη αποβλήτων σε σχέση με το μάρτυρα (πίνακας 18). Η επισχετικότητα του εδάφους σε αυτή την περίπτωση συσχετίζεται με την αυξημένη μικροβιακή δραστηριότητα (Kotsou *et al.*, 2004).

Πίνακας 18. Προφυτρωτικά ριζοκτονία των σπόρων μαρουλιού και η επιβίωση των νεαρών φυτών μαρουλιού (μέχρι 28 ημέρες μετά τη σπορά) σε έδαφος κατεργασμένο με OMW, TOMW και ύδωρ, και μολύνονται με *Rhizoctonia solani*

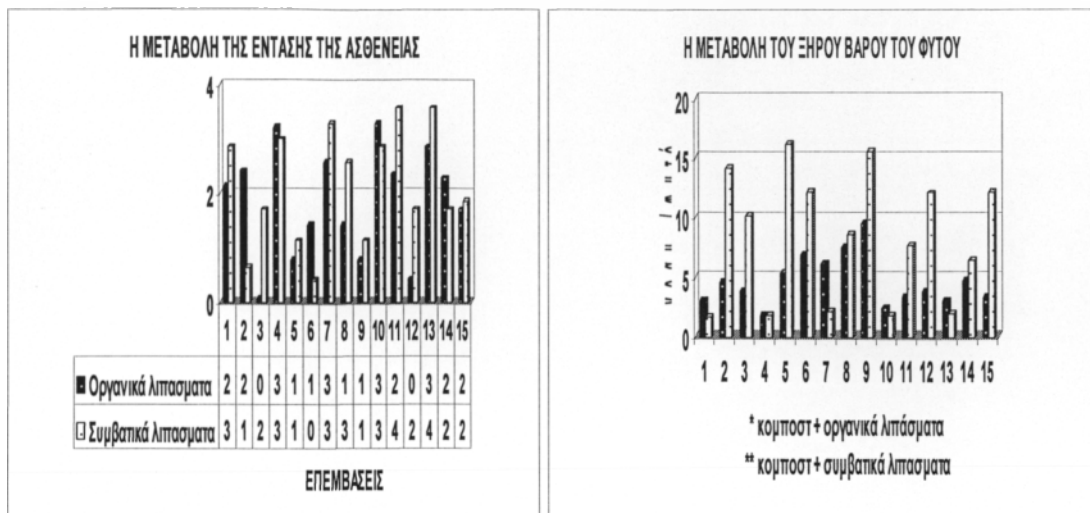
Χρόνος σποράς	Προφυτρωτικά ριζοκτονία (%)			Επιβίωση (%)		
	Νερό	TOMW	OMW	Νερό	TOMW	OMW
Πρώτη σπορά (day 45)	78.0 (±3.9)a	39.5 (±2.0)b	45.3 (±6.8)b	1.7 (±4.1)a	0.0 (±0.0)a	16.0 (±9.7)b

Δεύτερη σπορά (day 50)	100 (±0.0)a	96.5 (±1.8)a	27.8 (±4.0)b	0.0 (±0.0)a	2.7 (±2.0)a	7.8 (±3.2)a
Τρίτη σπορά (day 55)	83.1 (±8.1)a	65.2 (±14.1)a	6.0 (±2.8)b	3.4 (±2.5)a	.0 (±2.7)a	8 44.0 (±7.8)b
Τέταρτη σπορά (day 60)	78.0 (±4.8)a	59.2 (±6.2)a	15 (±4.7)b	5.0 (±7.0)a	11.7 (±12.6)a b	17.5 (±14.1)b
Συντελεστής		<i>F</i> -value	<i>P</i> -value		<i>F</i> -value	<i>P</i> -value
Αποτελέσματα της αμφίδρομης ανάλυσης διακύμανσης						
Επιδράσεις επεξεργασμένων		156.024	<0.001		29.756	<0.001
Επίδραση του χρόνου σποράς		25.38	<0.001		8.542	<0.001
Αλληλεπιδράσεις		12.58	<0.001		2.783	<0.019

Πηγή: (Kotsou *et al.*, 2004)

Ερευνητές μελέτησαν την βιοτοξική δράση του κατσίγαρου στους παθογόνους μύκητες εδάφους σε *in vitro* πειράματα. Η παρεμπόδιση της ανάπτυξης του *Phytophthora* ήταν άμεση και πλήρης ακόμα και σε χαμηλές συγκεντρώσεις κατσίγαρου, ενώ η παρεμπόδιση του *F. oxysporum f. sp radicis-lycopersici* ήταν μερική εκτός από πολύ υψηλές συγκεντρώσεις λιόζουμων (Argeiti *et al.*, 2001).

Η ταχύτατη ανάπτυξη της τεφράς σήψης της ασθένειας που προκαλείται από το μύκητα *Botrytis cinerea* P. ευνοήθηκε από συνθήκες χαμηλής θερμοκρασίας, απότομες μεταβολές της υγρασίας που επικρατούσαν στην διάρκεια του πειράματος. Τα παραπάνω προκάλεσαν την ραγδαία ανάπτυξη του παθογόνου μύκητα και την αύξηση του αρχικού μολύσματος. Όμως, ο συνδυασμός του κομπόστ με τα οργανικά λιπάσματα δεν έδειξε να επηρεάζει την ένταση της προσβολής, τη μόλυνση και τη σήψη των φύλλων. (Σχήμα 18) (Παπαδοπούλου κ.ά., 2011).



Σχήμα 18. Η επίδραση του κομπόστ στην βιομάζα του φυτού (δεξιά) και στην έντασή της ασθένειας σε πειράματα φυσικά μολυσμένα με *Botrytis cinerea* P. (Παπαδοπούλου κ.ά. 2011)

Η παρουσία του κομπόστ καθυστέρησε το σχηματισμό των σκληρωτίων του παθογόνου μύκητα *Botrytis cinerea* Pers, σε *in vitro* καλλιέργειες, έτσι μειώνεται με αυτόν τον τρόπο η πηγή μόλυνσης των φυτών, αλλά και ευνόησε την ανάπτυξη της ανταγωνιστικής μικροχλωρίδας στο έδαφος, όπως π.χ τα *Coniothyrium mnitans* και *Sporidesmium sclerotiorum* τα οποία παρασιτούν τα σκληρώτια των *Sclerotinia*, *Sclerotium*, *Botrytis* (Ayers and Adams, 1981).

Ο βιολογικός έλεγχος των παθογόνων είτε με καταστολή του παθογόνου είτε με προστασία του φυτού από την μόλυνση αποτελεί ένα ισχυρό όπλο για την αύξηση της απόδοσης. Για την ερμηνεία της επισχετικότητας που εκδηλώθηκε στα εξεταζόμενα εδάφη η μελέτη των συγκεκριμένων βιολογικών παραμέτρων έδειξε αύξηση της μικροβιακής δραστηριότητας, και πιθανόν αυτή η αύξηση του ολικού πληθυσμού των βακτηρίων, η αύξηση πληθυσμού των μικροοργανισμών, είναι ικανή στον αποικισμό της οργανικής ουσίας καθώς και η αύξηση του πληθυσμού των βακτηρίων, τα οποία παράγουν αντιμυκητιακές ενώσεις συμβάλουν σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό στην εκδήλωση της επισχετικότητας. Οι μικροοργανισμοί αυτοί είναι ενδεχομένως αποτελεσματικότεροι στον αποικισμό των φυτικών ριζών παρέχοντας τους μεγαλύτερη προστασία από τα παθογόνα, βελτιώνουν την ανάπτυξη των φυτών είτε προστατεύοντας τα από παθογόνους μικροοργανισμούς είτε εκκρίνοντας ουσίες οι οποίοι δρουν ως ορμόνες (Safiyazon *et al.*, 1995). Το έδαφος με εισαγόμενη οργανική ουσία μπορεί να έχει να διατηρήσει για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα σε υψηλά ποσοστά τους μικροοργανισμούς επειδή περιέχουν σημαντικές ποσότητες εύκολα αφομοιώσιμων οργανικών ουσιών. Παίζει ρόλο και η ποσότητα, και η σύσταση της

οργανικής ουσίας. Η αύξηση της οργανικής ουσίας στο έδαφος οδηγεί στην αύξηση του πληθυσμού των ανταγωνιστικών βακτηρίων, και επιπλέον οι μικροοργανισμοί αυτοί να είναι ενεργοί σε αντίθεση με όποιο λόγο έλλειψης υποστρώματος ενδεχομένως να βρίσκονται σε αδρανείς μορφές (σπόρια, εντοσπόρια).

Υστερα από μελέτες διαπιστώθηκε, ότι η προσθήκη των OMW στο έδαφος επέβαλε σημαντικές αυξήσεις στον πληθυσμό των μυκήτων και ακτινομυκήτων, ενώ μικροβιακές ομάδες που συμμετέχουν στο επεξεργασμένο έδαφος με N ανταποκρίθηκε σε OMW διαφόρων τρόπων (Di Siero *et al.*, 2008). Σε μια παρόμοια μελέτη, με την εφαρμογή OMW στο εδάφους μύκητες εδάφους και ζυμομύκητες διεργέθησαν, ενώ η δράση ακτινομυκήτων προσωρινά αναστάλθηκε στην υψηλότερη δόση OMW (El Hassani *et al.*, 2007). Ωστόσο, στις περισσότερες μελέτες εκτιμήθηκαν οι επιδράσεις χρησιμοποιώντας μεθόδους απαρίθμησης καλλιεργειών, οι οποίες παρέχουν μια έμμεση και ενδεχομένως προκατειλημμένη εικόνα της μικροβιακής κατάστασης τους εδάφους. Είναι πλέον διαδεδομένο ότι μόνο 1-5% των μικροοργανισμών του εδάφους μπορεί να καλλιεργηθεί *in vitro* (Rappe and Giovannoni, 2003) και η ανάπτυξη των καλλιεργειών-ανεξάρτητων μεθόδων φωσφολιπιδίων, όπως ανάλυση λιπαρών οξέων (PLFAs) και μετουσίωση ηλεκτροφόρησης πηκτωμάτων (DGGE), έχουν προχωρήσει σε σημαντικές γνώσεις για την οικολογία των μικροοργανισμών του εδάφους (Janssen, 2003; Marzorati *et al.*, 2008). Πρόσφατα, εφαρμόστηκε η PLFA ανάλυση για τον εντοπισμό πιθανών επιδράσεων του κατσίγαρου σχετικά με τη δομή της μικροβιακής κοινότητας (Mechri *et al.*, 2007). Αυτοί διαπίστωσαν ότι η προσθήκη των OMW σε δόσεις που υπερβαίνουν τα 30 m³ ha⁻¹ κατέληξε σε αύξηση μυκήτων εδάφους και σε μείωση των gram αρνητικών βακτηριδίων και ακτινομυκήτων και σε μείωση των θετικά κατά Gram βακτηριδίων. Ωστόσο, πρόσφατες μελέτες ανέφεραν ότι η προοδευτική επανειλημμένη εφαρμογή του αραιωμένου ή του μη αραιωμένου κατσίγαρου είναι μια ελκυστική εναλλακτική λύση η οποία επιτρέπει στη φυσική εξασθένηση της φυτοτοξικότητας του κατσίγαρου (Hanifi and Hadrami, 2008a; El Hassani, 2007). Η πρακτική αυτή θα μπορούσε να είναι πολύ χρήσιμη για εδάφη της Μεσογείου σε περιοχές που έχουν έλλειψη νερού και επιτρέπει τη σταδιακή εφαρμογή υψηλού συνολικού φορτίου του κατσίγαρου. Οι συνέπειες μιας τέτοιας εφαρμογής κατσίγαρου για άρδευση με οργανικά λιπάσματα στη μικροβιακή κοινότητα του εδάφους δεν έχουν διερευνηθεί ακόμα. Ο κύριος στόχος αυτής της μελέτης ήταν να προσδιοριστούν πιθανές επιπτώσεις της καθημερινής άρδευσης με οργανικά λιπάσματα με αραιωμένο απόβλητο OMW σχετικά με τη συνολική δομή του εδάφους στην κοινότητα βακτηρίων και μυκήτων. Τα εδάφη που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή τη μελέτη συλλέχθηκαν από την περιοχή της

Βελίκας στη Μεσσηνία στη Νότια Πελοπόννησο της Ελλάδας και χαρακτηρίστηκαν ως αμμοαργιλώδη (LS) και αμμοπηλώδη (SL). Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε μια καλλιέργεια-ανεξάρτητη με προσέγγιση της DGGE. Επιπλέον, οι επιδράσεις της ταυτόχρονης χρήσης αζωτούχων λιπασμάτων στη μικροβιακή κοινότητα του εδάφους διερευνήθηκαν λαμβάνοντας υπόψη ότι τα OMW με γνώμονα την ακινητοποίηση σε N επεξεργασμένα χώματα μετριάζεται, στην πράξη, με ταυτόχρονη λίπανση N.

Η επαναλαμβανόμενη εφαρμογή του κατσίγαρου σε γεωργικό έδαφος έχει έχουν προταθεί ως ένα χρήσιμο και αποτελεσματικό μέσο για την ανακύκλωση προϊόντων αγροτοβιομηχανικών αποβλήτων, αλλά τα αποτελέσματά του στη μικροβιακή κοινότητα του εδάφους έχουν ελάχιστα μελετηθεί. Καθημερινή εφαρμογή του αραιωμένου OMW, μόνο του ή σε συνδυασμό με τη γονιμοποίηση N οδήγησαν σε σημαντικές αλλαγές στις μικροβιακές κοινότητες στη μελέτη των δύο εδαφών. Πολυδιάστατη στατιστική ανάλυση DGGE έδειξε ότι η προσθήκη των OMW χωρίς N λίπασμα σε δύο δόσεις επιπέδων, 900 και 1800 m³ ha¹ (συνολικός όγκος για χρονικό διάστημα τριών μηνών περιόδου), κατέληξε σε σημαντικές αλλαγές στην κοινότητα των μυκήτων στο έδαφος και αυτές οι αλλαγές έγιναν πιο έντονες κατά την εφαρμογή υψηλότερου ρυθμού. Ένα δοσοεξαρτώμενο αποτέλεσμα των OMW στη δομή των μυκήτων στην κοινότητα του εδάφους έχει επίσης αναφερθεί από μελετητές, οι οποίοι βρήκαν μια σημαντική αύξηση της PLFA-δείκτης των μυκήτων σε εδάφη τα οποία είχαν υποβληθεί σε αγωγή μία φορά με 150 m³ OMW ha¹ εφαρμοσμένη ένα χρόνο πριν (Mechri *et al.*, 2008). Η συνεχής άρδευση των εδαφών με μειωμένα αποτελέσματα κατσίγαρου σε εμπλουτισμό του εδάφους με εύκολα αποσυντιθέμενα πηγές άνθρακα και ανόργανα θρεπτικά συστατικά, αυξημένες ποσότητες πολυμερισμού φαινολών και ταυτόχρονη ακινητοποίηση του N (Levi-Minzi *et al.*, 1992; Sierra *et al.*, 2001; Gioacchini, 2007). Η παραπάνω δραματική αλλαγή στη θρεπτική κατάσταση του εδάφους μπορεί να ευνοήσει ορισμένες ομάδες μυκήτων, ενώ παρεμποδίζει την ανάπτυξη των άλλων. Για παράδειγμα πολλαπλασιασμό ζυμών σε οικοσυστήματα πλούσια σε εύκολα βιοδιασπώμενο άνθρακα (Thormann, 2006). *Cryptococcus*, ζύμες που αναπτύσσονται εύκολα σε εδάφη (Vishniac, 2006) και αποικοδομούν φαινολικά (Bergauer *et al.*, 2005), ενώ άλλες (*Geotrichum*, *Candida*, *Yarrowia*) φαίνεται να χρησιμοποιούν άμεσα το οργανικό κλάσμα κατσίγαρου (Giannoutsou *et al.*, 2004; Lanciotti *et al.*, 2005). Άλλες συγκεκριμένες ομάδες σαπρόφυτων, όπως οι μυκήτες λευκής σήψης μπορεί να εκμεταλλεύονται την διάθεση των ανθεκτικών πηγών άνθρακα όπως φαινολικά παρόντες σε OMW (Kissi *et al.*, 2001; Aggelis *et al.*, 2002) και ευνοούνται από την έλλειψη σε ορυκτά N (Fog, 1988). Εναλλακτικά, οι αλλαγές που

προκαλούνται στην κοινότητα των μυκήτων μετά από καθημερινή εφαρμογή στο έδαφος του αραιωμένο απόβλητο OMW θα μπορούσε να αντικατοπτρίζει επίσης τον εμπλουτισμό του εδάφους με μύκητες που προήλθε από το ίδιο το OMW. Προηγούμενες μελέτες έδειξαν ότι η μικροβιακή κοινότητα του κατσίγαρου αποτελείται κυρίως από νηματοειδείς μυκήτες και ζυμομυκήτες (Millan *et al.*, 2000; Amaral *et al.*, 2008). Άλλοι πρότειναν ότι ζύμες ήταν τα κύρια μικροβιακά συστατικά του κατσίγαρου με *Candida* και στελέχη *Pichia*, όπου είναι κυρίαρχοι αποικοδομητές των σακχάρων και φαινολικών ενώσεων χαμηλής μοριακής μάζας (Ben Sassi *et al.*, 2006; Ben Sassi *et al.*, 2008; Ntougias *et al.*, 2008). Μια διαφορετική εικόνα λήφθηκε κατά την εφαρμογή του κατσίγαρου όταν συμπληρώθηκε με γονιμοποίηση N. Αυτή η κατεργασία είχε συμπεριληφθεί σε πειραματικό σχεδιασμό, προκειμένου να ερευνηθεί αν η αναμενόμενη διαδικασία N-ακινητοποίησης που επιβάλλονται από την εφαρμογή του OMW στο έδαφος μπορούσε να θεραπευθεί με την εξωγενή προσθήκη του N και ποιες είναι οι επιπτώσεις αυτής της απόφασης για τη μικροβιακή κοινότητα του εδάφους.

Καθημερινή εφαρμογή του εδάφους με αραιωμένο OMW είτε μόνη είτε σε συνδυασμό με λίπανση με αζωτούχα λιπάσματα είχε ποικίλα αποτελέσματα σχετικά με τη δομή της μικροβιακής κοινότητας σε δύο διαφορετικά εδάφη που θα μπορούσαν να συνοψίζονται ως εξής:

1. Η προσθήκη των OMW επηρέασε σημαντικά τη δομή στη κοινότητα των μυκήτων, ενώ είχε μικρή επίδραση και εξαρτάται κυρίως από το τύπο του εδάφους επί της βακτηριακής κοινότητας.

2. Τα αποτελέσματα του κατσίγαρου σχετικά με τη δομή της κοινότητας του μύκητα ήταν δοσο-εξαρτώμενα όταν τα OMW εφαρμόστηκαν χωρίς N γονιμοποίηση. Ωστόσο, λίπανση με αζωτούχα λιπάσματα εν μέρη με OMW έχει συνέπειες για τους μύκητες του εδάφους.

3. Οι παρατηρούμενες αλλαγές στις κοινότητες των μικροοργανισμών του εδάφους μετά την προσθήκη OMW φαίνεται να οφείλεται στην ικανότητα του κατσίγαρου να αλλάξει δραστικά τη θρεπτική κατάσταση του οικοσυστήματος του εδάφους και οφείλονται λιγότερο σε μια άμεση τοξική επίδραση των φαινολικών τους συστατικών (Rousidou *et al.*, 2010).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Παρά τις προσπάθειες που έχουν καταβληθεί τα τελευταία 50 χρόνια, τα απόβλητα των ελαιοτριβείων εξακολουθούν να αποτελούν σημαντικό περιβαλλοντικό πρόβλημα, λόγω του γεγονότος ότι καμία ικανοποιητική λύση δεν έχει βρεθεί ακόμη που να είναι τεχνικά εφικτή, οικονομικά βιώσιμη και κοινωνικά αποδεκτή. Τα απόβλητα των ελαιουργείων σήμερα θεωρούνται και είναι το υπ' αριθμόν ένα πρόβλημα επιπτώσεων γεωργικής παραγωγής, διότι η ελαιοκομία αποτελεί το 40% της γεωργικής παραγωγής της χώρας μας. Τα δε απόβλητα από ένα μέτριο ελαιουργείο υπολογίζονται, κατά μέσο όρο, σε 50 – 60 κυβικά μέτρα ημερησίως. Εφόσον αυτά δεν διαχειρίζονται, δημιουργούν πρόβλημα μεγέθους ίσου με τα αστικά λύματα μιας πόλης 50.000 κατοίκων. Για την αντιμετώπιση της σοβαρής για την Ελλάδα περιβαλλοντικής ρύπανσης απαιτείται ολοκληρωμένη διαχείριση των υγρών και στερεών αποβλήτων.

Ο κασίγαρος έχει υψηλό οργανικό φορτίο, το οποίο σε συνάρτηση με ευεργετικές για τον ανθρώπινο οργανισμό ουσίες που λέγονται πολυφαινόλες και δυστυχώς καταλήγουν στον κασίγαρο αφού διαλύονται στο νερό, δεν επιτρέπει την απευθείας διάθεσή του στο περιβάλλον. Για την επεξεργασία και διάθεσή του έχουν δοκιμαστεί διάφορες μέθοδοι σε εργαστηριακή και πραγματική κλίμακα. Πολλοί επιστήμονες εργάζονται πάνω στην εύρεση αποδοτικών, και από άποψη κόστους, εναλλακτικών μεθόδων διαχείρισης. Έχουν εφαρμοστεί διάφορες τεχνικές κατά περίπτωση που παρουσιάζουν ορισμένα μειονεκτήματα τεχνικής ή οικονομικής φύσεως και δεν έχουν επιλύσει ικανοποιητικά το πρόβλημα. Για παράδειγμα, με την αντίστροφη όσμωση βγαίνει από τον κασίγαρο νερό κατάλληλο ακόμη και για να το πει κανείς, αλλά η διαδικασία έχει πολύ μεγάλο κόστος.

Από τη συνδυασμένη αξιολόγηση των μέχρι τώρα δεδομένων κρίνεται αναγκαία μια ολοκληρωμένη αντιμετώπιση, η οποία θα προϋποθέτει την ταυτόχρονη εφαρμογή μιας σειράς επεμβάσεων σε διαφορετικά επίπεδα. Οι επεμβάσεις αυτές θα πρέπει να αρχίζουν από τον τρόπο καλλιέργειας της ελιάς μειώνοντας τις χημικές εισροές και να ολοκληρώνεται με την παραλαβή των προϊόντων και παραπροϊόντων των ελαιοτριβείων, τα οποία θα προκαλούν όσο το δυνατόν λιγότερες ή και καθόλου περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Στο τελευταίο αυτό στάδιο επεισέρχεται η βιολογική επεξεργασία της βιοαποδόμησης των υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων αποκλειστικά ή σε συνδυασμό με απλές φυσικοχημικές προεργασίες.

Είναι φανερό ότι στα οικοσύστημα που δημιουργήθηκαν επί πολλά χρόνια οι πληθυσμοί που σχηματίζουν διάφορες κοινότητες αλληλεπιδρούν με τρόπους

επωφελείς ή επιβλαβείς. Η ποσότητα (και η ποιότητα) των πληθυσμών καθορίζεται από τα ενδιαιτήματα τους (από φυσικοχημικές ιδιότητες τους), και κατά ένα μεγάλο βαθμό από τις φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδαφικού περιβάλλοντος. Αυτά τα δεδομένα υποχρεώνουν να προχωρήσουν οι έρευνες σε βάθος για την ταξινομική κατανομή των μικροοργανισμών, και την ποσοτική μεταβολή του πληθυσμού τους, ώστε να γίνει κατανοητό ο πραγματικός ρόλος τους και οι αλληλεπιδράσεις τους. Παράλληλα είναι απαραίτητη η εξέταση των χημικών και φυσικών συνθηκών που χαρακτηρίζουν τον κάθε τύπο εδάφους από τις οποίες εξαρτάται η επικράτηση των πληθυσμών στα οικοσυστήματα και η δραστηριότητα τους.

Μερικοί μικροοργανισμοί για την καλύτερη ανάπτυξη τους χρειάζονται ειδικούς παράγοντες ανάπτυξης, ένα συγκεκριμένο περιβαλλοντικό pH, χαμηλή ποσότητα οξυγόνου. Τα φυσικά, χημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά ενός συγκεκριμένου εδάφους όπως π.χ. η παρουσία των φυτών επηρεάζουν τους αριθμούς και τις δραστηριότητες των ποικίλων μικροοργανισμών.

Η σημαντικότητα της μελέτης των μικροβιολογικών κοινοτήτων υποστηρίζεται και από το γεγονός ότι έχουν άμεση σχέση με την γονιμότητα της γης, καθώς λαμβάνουν μέρος σε διάφορες φυσικές διεργασίες όπως στη δέσμευση του αζώτου, στη νιτροποίηση, στην απονιτροποίηση, στον κύκλο του άνθρακα, συμμετέχουν στην δέσμευση του οργανικού άνθρακα, στην απελευθέρωση του CO₂ κ.ά.

Στα ελαιουργικά απόβλητα, η γνώση για τη μικροβιακή χλωρίδα είναι ιδιαίτερα περιορισμένη. Όμως, με τη χρήση μικροοργανισμών (βακτηρίων και μυκήτων) έχει τη δυνατότητα, όπως έχει αποδειχθεί από τα ερευνητικά αποτελέσματα να μειώσει τη ρυπαντική δράση των Υ.Α.Ε. και να οδηγήσει στην παραγωγή νέων προϊόντων προστιθέμενης αξίας, όπως τα εδαφοβελτιωτικά, οι ζωοτροφές και τα εδώδιμα μανιτάρια.

Όπως και να είναι η κατάσταση με τη νομοθεσία, θα πρέπει σε κάθε περίπτωση η διαχείριση τόσο των στερεών και υγρών αποβλήτων από τα ελαιουργεία να γίνεται με τέτοιο τρόπο, ώστε να διασφαλίζεται η δημόσια υγεία. Επίσης θα πρέπει να λαμβάνονται όλα τα μέτρα για την προστασία των νερών, του αέρα, του εδάφους, της χλωρίδας, της πανίδας, του τοπίου, των περιοχών γύρω από αυτά που παρουσιάζουν ιδιαίτερο οικολογικό, πολιτιστικό ή και αισθητικό ενδιαφέρον και δεν θα πρέπει να δημιουργούνται ενοχλήσεις από οσμές ή θορύβους. Είναι λοιπόν επόμενο στην εποχή μας να γίνονται προσπάθειες, ώστε να αναπτυχθούν ολοκληρωμένες και οικονομικά βιώσιμες μέθοδοι επεξεργασίας των αποβλήτων/παραπροϊόντων των ελαιουργείων, σε όλες σχεδόν τις χώρες που αντιμετωπίζουν αυτό το έντονο περιβαλλοντικό π

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ

Αλεξανδρής Π. (2011). *Απόβλητα με οικονομική αξία από τα ελαιουργεία*. Διαθέσιμο στη σελίδα: <http://www.agronews.gr/?pid=158&la=1&aid=70625>. Τελευταία επίσκεψη: 29/7/12.

Αντωνίου Θ. (2001). *Συγκριτική Αξιολόγηση Βασιδιομοκλήτων στην μείωση πολυφαινολικού φορτίου και φυτοτοξικότητας Υγρών Αποβλήτων Ελαιουργείων*. Διπλωματική Διατριβή Ειδίκευσης, Ηράκλειο Κρήτης.

Βουρδουμπάς Γ. και Αντωνάκης Κ. (2008). *Δυνατότητες χρησιμοποίησης του πυρηνόξυλου για τη θέρμανση των νοσοκομείων Χανίων και Ηρακλείου Κρήτης (ΠΕ.ΠΑ.Γ.Ν.Η)*. Διαθέσιμο στη σελίδα: http://www.e-ecology.gr/DiscView.asp?mid=1366&forum_id=7&ForumDiscussions_Page=5.

Τελευταία επίσκεψη: 9/9/12.

Ισραηλίδης Κ.Ι. (2012). *Αξιοποίηση κομποστοποιημένου πυρηνόξυλου και υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείου σαν εδαφοβελτιωτικό*. Διαθέσιμο στη σελίδα: <http://Kallithea.hua.gr/compost.net/dhmosievseis.htm>. Τελευταία επίσκεψη: 8/9/12.

Κοντοθανάσης Κ. (2012). *Διφασικά ένα στα τρία ελαιοτριβεία στην Καλαμάτα*. Διαθέσιμο στη σελίδα: <http://www.olivenews.gr/el/category/29/Olive-mill-waste>. Τελευταία επίσκεψη: 29/7/12.

Κουκουλακης Π. Χ. , Σιμωνης Α.Δ. και Γκερτσης Α.Κ. 2000. *Οργανική ουσία του εδάφους. Το πρόβλημα των ελληνικών εδαφών*. Αθήνα: Αθ. Σταμούλης.

Μπαλατσούρας Δ.Γ. (1997). *Το ελαιόλαδο-Σύγχρονη Ελαιοκομία*. Αθήνα: ΑΤΕΙ Αθήνας.

Μπαλής Κ. (1986). *Σημειώσεις στο μάθημα της μικροβιολογίας εδάφους*. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Μπλίκια Π. (2009). *Βιοτεχνολογικές μέθοδοι επεξεργασίας υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείου*. Διδακτορική διατριβή. Πανεπιστημίου Πατρών. Τμήμα Χημικών Μηχανικών.

Νταλής, Δ. (1988). *Η ρύπανση του περιβάλλοντος και το πρόβλημα των αποβλήτων ελαιουργείων. Η αερόβια επεξεργασία τους*. Πρακτικά του Επιστημονικού Συνεδρίου. Οι ελαιώνες του Αιγαίου. Μυτιλήνη: Ελλάδα 25-27/2/1988.

Ντούλα Μ.Κ., Καββαδίας Β., Θεοχαρόπουλος Σ., Κουλουμπής Π. (2012). *Στρατηγικές για τη βελτίωση και προστασία του εδάφους στις Μεσογειακές χώρες*. Ημερίδα. Διάθεση αποβλήτων ελαιοτριβείων και προστασία του περιβάλλοντος. Ινστιτούτο Εδαφολογίας Αθηνών. Διαθέσιμο στη σελίδα <http://www.prosodol.gr/?q=el>. Τελευταία επίσκεψη: 23/9/12.

ΟΔΗΓΙΑ 2000/76/ΕΚ του Ευρωπαϊκού κοινοβουλίου και συμβουλίου της 4 Δεκεμβρίου 2000, για την αποτέφρωση των αποβλήτων.

Οιχαλιώτης Δ.Κ. και Ζερβάκης Ι.Γ. (1999). Τα απόβλητα και παραπροϊόντα των ελαιοτριβείων δύο και τριών φάσεων. ΕΘΙΑΓΕ, Ινστιτούτο Ελαίας και Οπωροκηπευτικών Καλαμάτας. *Ελιά και Ελαιόλαδο*, 14, σελ. 52-59.

Παπαδοπούλου Μ., Καββαδίας Β., Πασχαλίδης Χ., Βαβουλίδου Ε., Κορίκη Α. (2009). Μελέτη της επίδρασης των επιπέδων Pb στην απόδοση και μικροχλωρίδα του εδάφους σε καλλιέργεια σπανακιού. Πρακτικά του 23^{ου} Επιστημονικού Συνεδρίου της Ελληνικής Εταιρείας της Επιστήμης των Οπωροκηπευτικών (ΕΕΕΟ). Χανιά: Ελλάδα 23-26/10/2007.

Παπαδοπούλου Μ., Καββαδίας Β., Πασχαλίδης Χ., Βαβουλίδου Ε., Κορίκη Α. (2011). Η επίδραση του κομπόσι από απόβλητα ελαιοτριβείων και της λίπανσης στην ανάπτυξη της εδαφικής μικροχλωρίδας και του βοτρυτή (*Botrytis cinerea P.*) σε καλλιέργεια μαρουλιού. Πρακτικά του 24^{ου} Πανελληνίου Συνέδριου της Ελληνικής Εταιρείας της Επιστήμης των Οπωροκηπευτικών (ΕΕΕΟ). Βέροια Ημαθίας: Ελλάδα 20 – 23/10/2009.

Παπαστελάτος Χ. (1995). *Μια πρώτη προσέγγιση για την αξιολόγηση του αποτελέσματος των εδαφολογικών αναλύσεων*. ΕΘΙΑΓΕ, Ινστιτούτο Ελαίας και οπωροκηπευτικών, ΠΕΓΕΑΛ Ξυλοκάστρου.

Περδικάτσης Β., Μανούτσογλου Ε., Σπάρταλη Ν., Μωραϊτης Δ. και Πεντάρη Δ. (2004). *Συμπεριφορά υγρών αποβλήτων ελαιουργείων σε πετρώματα διαφόρου λιθολογίας*.

Σινάνης Κ. (2008). *Εδαφολογία*. Ηράκλειο: ΤΕΙ Κρήτη.

Τσώνης Σ. (2004). *Επεξεργασία λυμάτων*. Πάτρα: ΑΤΕΙ Πάτρας.

Φλουρή Φ., Χατζηπαυλίδης Ι., Μπαλής Κ., Σέρβης Δ. και Τζεράκης Σ. (1988). Εφαρμογή των Υ.Α.Ε. στο έδαφος. Πρακτικά Επιστημονικού Συνεδρίου. *Οι ελαιώνες του Αιγαίου. Οι ελαιώνες του Αιγαίου*. Μυτιλήνη: Ελλάδα 25-27/2/1988.

Χατζηπαυλίδης Ι. (1999). *Επιπτώσεις των υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων στην δυναμική και τις δράσεις των μικροβιακών πληθυσμών εμπλουτισμού στο έδαφος*. Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Γεωπονικής Βιοτεχνολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών.

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

Akmal M., Wang H.Z., Wu J.J., Xu J.M. and Xu D.F. (2005). Changes in enzymes activity, substrate utilization pattern and diversity of soil microbial communities under cadmium pollution. *Journal of Environmental Sciences*, 17 (5), pp. 802-807.

Aktas E.S., Imre S. and Ersoy L. (2001). Characterization and lime treatment of olive mill wastewater. *Water Research*, 35 (9), pp. 2336-2340.

Alef K. (1995). Estimation of soil respiration. In: Alef K. and Nannipieri P. eds. *Methods in Soil Microbiology and Biochemistry*. New York: Academic Press. pp. 464-470.

Alexander M. (1997). *Soil Microbiology*, New Work: John Wiley and Sons

Al-Malah K., Azzam M.O.J. and Abulai N.I. (2000). Olive mills effluent (OME) wastewater post-treatment using activated clay. *Separ. Purif. Technol.*, 20, pp. 225-234.

Amaral C., Lucas M.S., Coutinho J., Crespi A.L., do Rosario Anjos M., Pais C. (2008). Microbiological and physicochemical characterization of olive mill wastewaters from a continuous olive mill in Northeastern Portugal. *Bioresource Technology*, 99 (15), pp. 7215-7223.

Ammar E. and Ben Rouina B. (1999). Potential horticultural utilization of olive oil processing waste water. *Acta Horti*, 472, pp. 741-4.

Anderson J.P.E. and Domsch K.I. (1978). A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 10, pp. 215-221.

Anderson T.H and Domsch K.H. (1993). The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 25, pp. 393-395.

Angelakis A.N., Marecos Do Monte M.H.F., Bontoux, L. And Asano T. (1999). The status of wastewater reuse practice in the Mediterranean basin: need for guidelines. *Water Res.*, 33 (10), pp. 2201-2217.

Angelidaki I. and Ahring B.K. (1997). Co digestion of olive mill wastewaters with manure, household waste or sewage sludge. *Biodegradation*, 8, pp. 221-226.

Anonymous (2004). Handbook for the prevention and minimisation of waste and valorisation of by-products in European agro-food industries. *Agro food wastes minimisation and reduction network*, pp. 349.

Aragón J.M., Karagouni A., Bolle F., Geissen K., Danil P., Russel N. and Balis C. (2000). Project IMPROLIVE: *Improvements of Treatments and Validation of the Liquid-Solid Waste from the Two-Phase Olive Oil Extraction*. (FAIR CT96-1420)-Final Report-Annex A2.

Aragón J.M., Palancar M.C., Torrecilla J.S. and Aparicio J.T. (1998b). Modelling Fluidized Bed Driers by Artificial Neural Network. *Chemical Engineering Congress, Chisa*.

Aragón J.M., Palancar M.C., Torrecilla J.S. and Serrano M. (1998c). Drying a High Viscosity Solid-Liquid Waste in Fluidized-Moving Bed. *Chemical Engineering Congress, Chisa*.

Argeiti G., Ehaliotis C., Katsaris P., Zervakis G. and Papadopoulou K. (2001). Effect of olive mill wastes on soil-borne phytopathogenic fungi. *Phytopathologia Mediterranea*, 40, pp. 201.

Atlas R.M., Horowitz A., Krichevsky M. and Bej A.K. (1991). Response of microbial populations to environmental disturbances. *Microb. Ecol.*, 22, pp. 249-256.

- Ayers W.A. and Adams P.B. (1981). *Mycoparasitism and its application to biological control of plant diseases*. pp. 91-103.
- Azbar N., Bayram A., Filibeli A., Muezzinoglu A., Sengul F. and Ozer A. (2004). Waste management options in olive oil production: a review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 34, pp. 209-247.
- Babich H. and Stotzky G. (1985). Heavy metal toxicity to microbe-mediated ecologic processes: a review and potential application to regularly policies. *Environmental research*, 36, pp. 111-137.
- Balice V. and Cera O. (1984). Acid phenolic fraction on the olive vegetation water determined by a gas chromatographic method. *Grasas y Aceites*, 25, pp. 178-180.
- Balis C., Chatzipavlidis I. and Flouri F. (1996). Olive mill waste as a substrate for nitrogen fixation. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 38, pp. 169-178.
- Balis C., Chjatjipavlidis J. and Flouri F. (1991). Integrated management of olive oil mills wastewaters. *Management of olive mills wastes*, pp. 66-74.
- Beare M. H., Vikram Reddy M., Tiam G. and Srivastava S. C. (1997). Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function in the tropics: the role of decomposer biota. *Applied Soil Ecology*, 6, pp. 87-108.
- Ben Rouina B., Taamallah H. and Ammar E. (1999). Vegetation water used as a fertilizer on young olive plants. *Acta Horticult*, 474 (1), pp. 353-355.
- Ben Sassi A., Boularbah A., Jaouad A., Walker G., Boussaid A. (2006). A comparison of olive mill wastewaters (OMW) from three different processes in Morocco. *Proc. Biochem.*, 41, pp.74-78.
- Ben Sassi A., Ouazzani N., Walker G.M, Ibsouda S., El Mzibri M. and Boussaid A. (2008). Detoxification of olive mill wastewaters by Moroccan yeast isolates. *Biodegradation*, 19, pp. 337-346.
- Benitez E., Melgar R. and Nogales R. (2004). Estimating soil resilience to a toxic organic waste by measuring enzyme activities. *Soil Biol. Biochem.*, 36, pp. 1615-1623.

- Benitez F.J., Beltran-Heredia J., Torregrosa J. and Acero J.L. (1999). Treatment of olive mill wastewaters by ozonation, aerobic degradation and the combination of both treatments. *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 74, pp. 639-646.
- Bergauer P., Fonteyne P., Nolard N., Schinner F. and Margesin R. (2005). Biodegradation of phenol and phenol-related compounds by psychrophilic and cold-tolerant alpine yeasts. *Chemosphere*, 59, pp. 909-918.
- Bio-tev. (2012). Διαχείριση-Αποβλήτων. Διαθέσιμο στη σελίδα: <http://www.bio-tev.gr/el/Διαχείριση-Αποβλήτων.html?tmpl>. Τελευταία επίσκεψη: 17/10/12.
- Bonari E., Macchi M., Angelini L.G. and Ceccarini, L. (1993). The waste waters from olive oil extraction: Their influences on the germinative characteristics of some cultivated and weed species. *Agric. Med.*, 123, pp. 273-280.
- Borja R., Martin A., Alonso V., Garcia I. and Banks C.J. (1995a). Influence of different aerobic pre-treatments on the kinetics of anaerobic digestion of olive mill wastewater. *Water Research*, 29, pp. 489-495.
- Borja R., Rincon B. and Raposo F. (2006). Anaerobic biodegradation of two-phase olive mill solid wastes and liquid effluents: kinetic studies and process performance. *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 81, pp. 1450-1462.
- Borken W., Muhs A. and Beese F. (2002). Changes in microbial and soil properties following compost treatment of degraded temperate forest soils. *Soil Biol. Biochem.*, 34, pp. 403-412.
- Brady N.C and Weil R.R. (1996). *The Nature and Properties of Soils*. Prentice-Hall International.
- Brenes M., García A., García P., Rios J.J. and Garrido A. (1999). Phenolic compounds in Spanish olive oils. *J. Agric. Food Chem.*, 47 (9), pp. 3535-3540.
- Bricoli-Bati C. and Lombardo N. (1990). Effects of olive oil waste water irrigation on young olive plants. *Acta Horticulturae*, 286, pp. 489-491.
- Brookes J.M., Cox H.B., Bryant W.R., Kennicutt and Man R.G. and MC Donald T.J. (1986). Association of gas hydrates and oil seepage in the Gulf of Mexico. *Organic Geochemistry*, 10, pp. 221-234.

- Brookes P.C. and MC Grath S.P. (1984). Effect of metal toxicity on the size of the soil microbial biomass. *J. Soil Sci.*, 35, pp. 219-220.
- Brown K.W., Barbee G.C., Thomas J.C. and Murray H.E. (1990). Detecting organic contaminants in the unsaturated zone using soil and soil-pore water samples. *Hazard Waste Hazard Mat*, 7, pp. 151-168.
- Cabrera F., Lopez R., Martinez-Bordiu A. Dupuy de Lome E. Murillo J.M. (1996). Land treatment of olive oil mill wastewater. *Int. Biodeterior. Biodegrad.*, 38 (3-4), pp. 215-225.
- Cabrera F., Lopez R., Martinez-Bordiu A., Dupuy de Lome E. and Murillo J.M. (1996). Land treatment of olive oil mill wastewater. *Int. Biodeterior. Biodegrad.*, 38 (3-4), pp. 215-225.
- Calabrese EJ, Kostecki PT, eds (1989). *Petroleum Contaminated Soils*. Chelsea: Lewis Publishers.
- Canepa P., Marignetti N., Rognoni U. and Calcari S. (1988). Olive Mills Wastewater Treatment by Combined Membrane Processes. *Water Research*, 22, pp. 1491.
- Carraro L., Trocino A. and Xiccato G. (2005). Dietary supplementation with olive stone meal in growing rabbits. *Italian Journal of Animal Science*, 4 (3), pp. 88–90.
- Cereti C.F., Rossini F., Federici F., Quarantino D., Vassilev N. and Fenice M. (2004). Reuse of microbially treated olive mill wastewater as fertiliser for wheat (*Triticum durum* Desf.). *Bioresource Technol.*, 91, pp. 135-140.
- Chartzoulakis K., Psarras G., Moutsopoulou M. and Stefanoudaki E. (2010). Application of olive mill wastewater to a Cretan olive orchard: Effects on soil properties, plant performance and the environment. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 138, pp. 293-298.
- Chatjipavlidis I., Antonakou M., Demou D., Flouri F., Balis C. (1996). Bio-fertilization of olive oil mills liquid wastes. The pilot plant in Messinia, Greece. *International Biodeterioration and Biodegradation*, pp. 183-187.
- Coley-Smith J.R and Cooke R.C. (1971). Survival and germination of fungal sclerotia. *Ann. Rev. Phytopathology*, 9, pp. 65-92.

- Connolly R.D. (1998). Modeling effects of soil structure on the water balance of soil-crop systems: a review. *Soil and Tillage Research*, 48, pp. 1-19.
- Cox L., Celis R., Hermosin M.C., Becker A. and Cornejo J. (1997). Porosity and herbicide leaching in soils amended with olive mill wastewater. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 65, pp. 151.
- Dalis D., Anagnostidis K., Lopez A., Letsiou I. and Hartmann L. (1996) Anaerobic digestion of total raw olive-oil wastewater in a two-stage pilot-plant (up-flow and fixed-bed bioreactors). *Bioresource Technology*, 57, (3), pp. 237-243.
- Di Serio M.G., Lanza B., Mucciarella M.R., Russi F., Iannucci E., Marfisi P. and Madeo A. (2008). Effects of olive mill wastewater spreading on the physico-chemical and microbiological characteristics of soil. *Intern. Biodet. Boidegr.*, 62 (4), pp. 403-407.
- Diaz-Zorita M., Perfect E. and Grove J.H. (2002). Disruptive methods for assessing soil structure. *Soil and Tillage Research*, 64, pp. 3-22.
- Donnelly K.C., Brown K.W. and Thomas J.C. (1990). Bacterial mutagenicity of leachate water from municipal sewage sludge-amended soils. *Environ Toxicol. Chem.*, 9, pp. 443-451.
- Dragun J. (1998). *The Soil Chemistry of Hazardous Materials*. 2nd ed. Amherst, MA: Amherst Scientific Press. pp. 830.
- Ehaliotis C., Papadopoulou K., Kotsou M., Mari I. and Balis C. (1999). Adaptation and population dynamics of *Azotobacter vinelandii* during aerobic biological treatment of olive-mill wastewater. *FEMS Microbiol. Ecol.*, 30, pp. 301-311.
- El Hassani F.Z., Zinedine A., Mdaghri Alaui S., Aissam H., Errachidi F., Merzouki M. and Benlemlih M. (2007). Effect of olive mill vegetable water spreading on soil microbial communities and soil properties. *World J. Agri. Sci.*, 3, pp. 663-669.
- Eroglu E., Gunduz U., Yucel M., Turker L. and Eroglu I. (2004). Photobiological hydrogen production by using olive mill wastewater as a sole substrate source. *J Hydrogen Energy Int.*, 29, pp. 163-171.
- Flouri F., Chatjipavlidis J., Balis C., Servis D. and Tjedakis S. (1990). Effect of olive mills wastes on soil fertility. *In Symposium on Treatment of OMW*, pp. 85-101.

- Fog K. (1988). The effect of added nitrogen on the rate of decomposition of organic matter. *Biol. Rev.*, 63, pp. 433-462.
- Garcia-Ortiz A., Beltran G., Uceda M., Hermoso M., Gonzalez P., Ordonez R. and Giraldez J.V. (1999). Vegetation water application effects on soils and plants. *ISHS Acta Hortic.*, 474, pp. 155-157.
- Germida J.J. (1993). Cultural Method for Soil Microorganisms. In: Carter M.R. ed. *Soil Sampling and Method of Analysis*. Canada: Canadian Society of Soil Science. pp. 263-273.
- Giannes A., Diamadopoulos E. and Ninolakis M. (2003). Electrochemical treatment of olive oil mill wastewater using a Ti/Ta/Pt/Ir electrode. Proc 3rd Int. Conf on oxidation technologies for water and wastewater treatment, pp. 527-530.
- Giannoutsou E.P., Meintanis C., Karagouni A.D. (2004). Identification of yeast strains isolated from a two-phase decanter system olive oil waste and investigation of their ability for its fermentation. *Biores. Technol.*, 93, pp. 301-306.
- Gioacchini P., Manici L.M., Ramieri N.A., Marzadori C., Ciavatta C. (2007). Nitrogen dynamics and microbial response in soil amended with either olive pulp or its by products after biogas production. *Biol. Fertil. Soils*, pp. 43621-630.
- Gonzalez M.D., Moreno E., Quevedo-Sarmiento J. and Ramos-Cormenzana A. (1990). Studies on antibacterial activity of waste waters from olive oil mills (Alpechin): inhibitority activity of phenolic and fatty acids. *Chemosphere*, 20, pp. 423-432.
- Hamdi M. (1992). Toxicity and biodegradability of olive mill wastewater in batch anaerobic digestion. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 37, pp. 155-163.
- Hanifi S. and El Hadrami I. (2008b). Olive mill wastewaters fractioned soil application for safe agronomic reuse in Date Palm (*Phoenix dactylifera* L.) fertilization. *J. Agron.*, 7, pp. 63-69.
- Hanifi S.I. and El Hadrami I. (2008a). Phytotoxicity and fertilizing potential of olive mill wastewaters for maize cultivation. *Agron. Sustain. Dev.*, 28, pp. 313-319.
- Harb M. (1986). Using the olive pomace for fattening the Awassi lambs. *Dirasat*, 13 (2), pp. 37-53.

- Hopkin S.P. (1989). *Ecophysiology of Metals in Terrestrial Invertebrates*. Amsterdam: Elsevier Applied Science.
- Horwath W.R and Paul E.A. (1994). Microbial biomass. In: Weaver R.W., Angle S., Bottomley P. and Bezdiecek D. eds. *Soil Science Society of America*. Madison. pp. 753-773.
- Houk V.S. and DeMarini D.M. (1988). Use of the microscreen phage-induction assay to assess the genotoxicity of 14 hazardous industrial wastes. *Environ Mol Mutag*, 11, pp. 13-29.
- Insam H., Hutchinson T.C. and Reber H.H. (1996). Effects of heavy metals stress on the metabolic quotient of the soil microflora. *Soil Biol. Biochem.*, 28, pp. 691-694.
- International Olive Oil Council (2012). *Olive Growing, a Time-Revered Tradition*. Available at: <http://www.internationaloliveoil.org>. Τελευταία επίσκεψη: 8/9/12.
- Israilides C.J., Vlyssides A.G., Mourafeti V.N and Karvouni G. (1997). Olive oil wastewater treatment with the use of an electrolysis system. *Bioresource Technology*, 61, pp. 163-170.
- Israilides C.J., Vlyssides V.N., Mourafeti V.N. and Karvouni G. (1997). Olive oil wastewater treatment with the use of an electrolysis system. *Bioresource Technology*, 61, pp. 163-170.
- Janssen P.H. (2006). Identifying the dominant soil bacterial taxa in libraries of 16S rRNA and 16S rRNA genes. *Appl. Environ. Microbiol.*, 72, pp. 1719-1728.
- Jarboui R., Sellami .F, Kharroubi A., Gharsallah N. and Ammar E. (2008). Olive mill wastewater stabilization in open air ponds: impact on clay–sandy soil. *Bioresour Technol*, 99, pp. 7699-708.
- Jenkinson D.S. and Powlson D.S. (1976). The effect of biotical treatments on metabolism in soil. V. *Soil Biology and Biochemistry*, 8, pp. 209-213.
- Jury W.A., Focht D.D. and Farmer W.J. (1987). Evaluation of pesticide groundwater pollution potential from standard indices of soil-chemical adsorption and biodegradation. *J. Environ Quall*, 16, pp. 422-428.

- Kaschuk G., Alberton O. and Hungria M. (2010). Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: Lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. *Soil Biology and Biochemistry*, 42, pp. 1–13.
- Kestioglou K., Yonar T. and Azbar N. (2005). Feasibility of physiochemical treatment and advanced oxidation processes (AOP) as a means of pre-treatment of olive mill effluent (OME). *Process Biochemistry*, 40, pp. 2409-2416.
- Kissi M., Mountadar M., Assobhei O., Gargiulo E., Palmieri G., Giardina P. and Sannia G. (2001). Roles of two white-rot basidiomycete fungi in decolorisation and detoxification of olive mill wastewater. *Appl. Microb. Biotech.*, 57, pp. 221-226.
- Kotsou M., Mari I., Lasaridi K., Chatzipavlidis I., Balis C. and Kyriakou A. (2004). The effects of olive oil mill wastewater (OMW) on soil microbial communities and suppressiveness against *Rhizoctonia solani*. *Applied Soil Ecology*, 26, pp. 113-121.
- Lanciotti R., Gianotti A., Baldi D., Angrisani R., Suzzi G., Mastrocola D., Guerzoni M.E. (2005). Use of *Yarrowia lipolytica* strains for the treatment of olive mill wastewaters. *Biores. Technol.*, 96, pp. 317-322.
- Levi-Minzi R., Saviozzi A., Riffaldi R. and Falzo L. (1992). Lo smaltimento in campo delle acque di vegetazione. Effetti sulle proprietà del terreno. *Olivae*, 40, pp. 20-25.
- Li J.B., Huang G.H. and Zeng G.M. (2001). An integrated decision support system for the management of petroleum-contaminated sites. *J. Environ Sci. Health*, 36, pp. 1163-1186.
- Linares A., Caba J.M., Ligeró F., de la Rubia T. and Martínez J. (2003). Detoxification of semisolid olive-mill wastes and pine-chip mixtures using *Phanerochaete flavidoalba*. *Chemosphere*, 51, pp. 887-891.
- Magdich S., Jarboui R., Rouina Béchir B., Boukhris M. and Ammar E. (2012). A yearly spraying of olive mill wastewater on agricultural soil over six successive years: Impact of different application rates on olive production, phenolic compounds, phytotoxicity and microbial counts. *Science of the Total Environment*, 430, pp. 209-216.
- Mahmoud M., Janssen M., Haboub N., Nassour A., Lennartz B. (2010). The impact of olive mill wastewater application on flow and transport properties in soils. *Soil and Tillage Research*, 107, pp. 36-41.

- Mahmoud M., Janssen M., Peth S., Horn R. and Lennartz B. (2012). Long-term impact of irrigation with olive mill wastewater on aggregate properties in the top soil. *Soil and Tillage Research*, 124, pp. 24-31
- Marques I.P., Teixeira A. and Rodrigues L. (1998). Anaerobic treatment of olive mill wastewater with digested piggery effluent. *Water Environ Res*, 70, pp. 1056-1061.
- Martillotti F. (1983). Use of olive by-products in animal feeding. *Animal Production and Health Division*, Rome.
- Martin A. (1995). How toxic are toxic chemicals in soil? Critical Review. *Environ Sci. Technol.*, 29, pp. 2713-2717.
- Marzorati M., Wittebolle L., Boon N., Daffonchio D. and Verstraete W. (2008). How to get more out of molecular fingerprints: practical tools for microbial ecology. *Environ. Microbiol.*, 10, pp. 1571-1581.
- Mata-Alvarez J., Macé S. and Llabrés P. (2000). Anaerobic digestion of organic solid wastes: an overview. *Research achievements and perspectives*, 74 (1), pp. 3–16.
- Matthies C., Erhard H.P. and Drake H.L. (1997). Effects of pH on the comparative culturability of fungi and bacteria from acidic and less acidic forest soils. *J Basic Microbiol.*, 37 (5), pp. 335-43.
- McLaren R.G. and Cameron K.C. (1996). *Soil science: Sustainable production and Environmental protection*. Auckland: Oxford University Press.
- Mechri B., Ben Mariem F., Braham M., Ben Elhaj S. and Hammami M. (2008). Change in soil properties and soil microbial community following land spreading of olive mill wastewater affects olive trees key physiological parameters and abundance of arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Biol. Biochem.*, 40, pp. 152–61.
- Mechri B., Chehab H., Attia F., Mariem F.B., Braham M. and Hammami M. (2010). Olive mill wastewater effects on the microbial communities as studied in the field of olive trees by analysis of fatty acid signatures. *European Journal of Soil Biology*, 46, pp. 312-318
- Mechri B., Echbili A., Issaoui M., Braham M., Elhadj S.B. and Hammami M. (2007). Short term effects in soil microbial community following agronomic application of olive mill wastewaters in a field of olive trees. *Appl. Soil Ecol.*, 36, pp. 216-223.

Mechria B., Chehebb H., Boussadiab O., Attia B.F., Ben Mariemb F., Brahab M. and Hammamia M. (2011). Effects of agronomic application of olive mill wastewater in a field of olive trees on carbohydrate profiles, chlorophyll a fluorescence and mineral nutrient content. *Environmental and Experimental Botany*, 71, pp. 184–191.

Mekki A., Dhouib A. and Sayadi S. (2006). Changes in microbial and soil properties following amendment with treated and untreated olive mill wastewater. *Microbiological Research*, 161, pp. 93-101.

Mekki A., Dhouib A. and Sayadi S. (2007). Polyphenols dynamics and phytotoxicity in a soil amended by olive mill wastewaters. *Journal of Environmental Management*, 84, pp. 131-140.

Millan B., Lucas R., Robles A., Garcia T., Alvarez de Cienfuegos G. and Galvez A., (2000). A study on the microbiota from olive-mill wastewater (OMW) disposal lagoons, with emphasis on filamentous fungi and their biodegradative potential. *Microbiol. Res.*, 155, pp. 143-147.

Montemurro F., Convertini G. and Ferri D. (2004). Mill wastewater and olive pomace as amendments for rye-grass. *Agronomie*, 24, pp. 481-486.

Moreno E.C., Kresak M., Lane J.J., and Hay D.I. (1987). Adsorption of Proteins, Peptides and Organic Acid from Binary Mixtures on to Hydroxyapatite. *Langmuir*, 3 (5), pp. 11-519.

Morisot A. and Tournier J-P. (1986). Repercussions agronomiques de l'epandage d'effluents et dechets de moulins a huile d'olive. *Agronomie*, 6, pp. 235-241.

Nefzaoui A., Hellings Ph. and Vanbelle M. (1983). Ensiling olive pulp with ammonia: effects on voluntary intake and digestibility measured by sheep. 34th Annual Meeting of the EAAP Study Commission, Madrid.

Niaounakis M. and Halvadakis C.P. (2004). *Olive-mill Waste Management: Literature Review and Patent Survey*. Greece: Typothito-George Dardanos.

Niaounakis M. and Halvadakis C.P. (2006). *Olive-mill Waste Management: Literature Review and Patent Survey*. Greece: Typothito-George Dardanos.

- Nikolopoulou M. and Kalogerakis N. (2007). Design of a phytoremediation strategy for olive mill wastewater treatment. Conference on Environmental Science and Technology. Kos Island: Greece 5-7 September 2007.
- Ntougias S. and Zervakis G.I. (2008). Microbial diversity in olive mill wastes. In: Proceedings of the 1st National Symposium of the Society of Mikrobiokosmos. Athens: Institute of Democritus, pp. 159-161.
- Paixao S.M., Mendonca E., Picado A. and Anselmo A.M. (1999). Acutetotoxicity evaluation of Olive Mill Wastewaters: A comparative study of three aquatic organisms Inc. *Environ. Toxicology*, 14, pp. 263-269.
- Panayiotopoulos K.P., Papadopoulou C.P. and Hatjiioannidou A. (1994). Compaction and penetration resistance of an alfisol and entisol and their influence on root growth of maize seedlings. *Soil Tillage Res.*, 31, pp. 323-337.
- Panikov N.S. (1991). Understanding and prediction of soil microbial community dynamics under global chang. *Applied Soil Ecology*, 11, pp. 161-176.
- Panikov N.S. (1999). Understanding and prediction of soil microbial community dynamics under global chang. *Applied Soil Ecology*, 11, pp. 161-176.
- Paraskeva C.A., Papadakis V.G., Tsarouchia E., Kanellopoulou D.G. and Koutsoukos P.G. (2007). *Membrane processing for olive mill wastewater fractionation. Desalination*, 213, pp. 218-229.
- Paraskeva P. and Diamantopolos E. (2006). Technologies for olive mill wastewater (OMW) treatment: a review. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 81, pp. 1475-1485.
- Paredes C., Cegarra J., Bernal M.P. and Roig A. (2003). Use of olive mill wastewater for composting of organic wastes and the effect of the compost on plant yield and soil properties. *Proc. 2nd Eur. Bioremediation Conf Chania*, pp. 563-566.
- Paredes C., Roig A., Bernal M.P., Sanchez-Monedero M.A., Cegarra J. (2000). Evolution of organic matter and nitrogen during co-composting of olive mill wastewater with solid organic wastes. *Biol. Fert. Soils*, 32 (3), pp. 222-227.

- Paredes M.J., Monteoliva-Sanchez M., Moreno E., Perez J., Ramos-Cormenzana A. and Martinez J. (1986). Effect of wastewaters from olive oil extraction plants on the bacterial population of soil. *Chemosphere*, 15, pp. 59-664.
- Paredes M.J., Moreno E., Ramos-Cormenzana A. and Martinez J. (1987). Characteristics of soil after pollution with wastewaters from olive oil extraction plants. *Chemosphere*, 16, pp. 1557-1564.
- Perez J.D., De la Rubia T., Moreno J. and Martinez J. (1992). Phenolic content and antibacterial activity of olive oil waste waters. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 11, pp. 489-495.
- Piotrowska A., Iamarino G., Antonietta R.M. and Gianfreda L. (2006). Short-term effects of olive mill waste water (OMW), on chemical and biochemical properties of semiarid Mediterranean soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 38, pp. 600-610.
- Potoglou D., Kouzeli-Katsiri A. and Haralambopoulos D. (2004). Solar distillation of olive mill wastewater. *Renew Energy*, 29, pp. 569-579.
- Psarras A.C., Iliopoulou E.F., Kostaras K. and Lappas A.A. (2009). Investigation of advanced laboratory deactivation techniques of FCC catalysts via FTIR acidity studies. *Pouwels Microporous and Mesoporous Materials*, 120, pp. 141-146.
- Rappe M.S. and Giovannoni S.J. (2003). The uncultured microbial majority. *Ann. Rev. Microbiol.*, 57, pp. 369-394.
- Rinaldi M., Rana G. and Introna M. (2003). Olive-mill wastewater spreading in southern Italy: effects on a durum wheat crop. *Field Crops Res.*, 84, pp. 319-326.
- Rivas J.F., Beltran F.J., Gimeno O. and Acedo B. (2001). Wet air oxidation of wastewater from olive oil mills. *Chem. Eng. Technol.*, 24, pp. 415-421.
- Roig A., Cayuela M.L. and Sanchez-Monedero M.A. (2006). An overview on olive mill wastes and their valorisation methods. *Waste Management*, 26, pp. 960-969.
- Rousidou C., Papadopoulou K., Zervakis G., Singh B.K. Ehaliotis C., Karpouzas D.G. (2010). Repeated application of diluted olive mill wastewater induces changes in the structure of the soil microbial community *European Journal of Soil Biology*, 46, pp. 34-40.

- Saadi I., Laor Y., Raviv M. and Medina S. (2007). Land spreading of olive mill wastewater: effects on soil microbial activity and potential phytotoxicity. *Chemospher*, 66, pp. 75–83.
- Sampedro I., Giubilei M., Cajthaml T., Federici E., Federici F., Petruccioli M. and D'annibale A. (2009). Short-term impact of dry olive mill residue addition to soil on the resident microbiota. *Bioresource Technology*, 100, pp. 6098–6106
- Sarika R., Kalogerakis N. and Mantzavinos D. (2005). Treatment of olive mill effluents, part II: Complete removal of solids by direct flocculation with polyelectrolytes. *Environ Int.*, 31, pp. 297-304.
- Sawhney B.L and Brown K. eds (1989). *Reactions and Movements of Organic Chemicals in Soils*. Madison: American Society of Agronomy Inc.
- Scullion J. (2006). Remediating polluted soils. *Naturwissenschaften*, 93, pp. 51-65.
- Servili M., Baldioli M., Selvaggini R., Miniati E., Machioni A. and Montedoro G. (1999). High performance liquid chromatography evaluation of phenols in olive fruit, virgin oil, vegetation waters and pomace in 1D and 2D nuclear resonance characterization. *J Am Oil Chem. Soc*, 76, pp. 873-882.
- Siegrist H. and McCarty P.L. (1987). Column methodologies for determining sorption and biotransformation potential for chlorinated aliphatic compounds in aquifers. *Journal of Contaminant Hydrology*, 2, pp. 31-50.
- Siegrist H. and McCarty PL. (1987). Column methodologies for determining sorption and biotransformation potential of chlorinated aliphatic compounds in aquifers. *J. Contam Hydrol*, 2, pp. 31-50.
- Sierra J., Marti E., Montserrat G., Cruanas R., Garau M.A. (2001). Characterization and evaluation of a soil affected by olive oil mill wastewater disposal. *Sci. Total Environ.*, pp. 207-214.
- Silkowski M.A. and Plewa M.J. (1990). Analysis of the genotoxicity of municipal incinerator ash. *Environ Mol Mutag*, 15, pp. 55-59.
- Soane B.D and Van Ouwerker K.C. (1994). *Soil Compaction in Crop Production*. (Amsterdam: Elsevier science: B.V.).

- Somerville L. and Walker C.H. (1990). Pesticide Effects on Terrestrial Wildlife. In: Somerville L. and Greaves M.P. eds. *Pesticide Effects on Soil Microflora*. London: Taylor and Francis.
- Spandre R., Dellomonaco G. (1996). Polyphenols pollution by olive-mill wastewaters in Tuscany, Italy. *J. Environ. Hydrol.*, 4, pp. 1-13.
- Sylvia D.M., Fuhrmann J.J., Hartel P.G. and Zuberer D.A. (1998). Principles and applications of soil microbiology.
- Taralas G., Kontominas M.G. and Corella J. (2003). Ενεργειακή αξιοποίηση παραπροϊόντων βιομηχανίας τροφίμων: Αεριοποίηση Ελληνικού ελαιοπυρήνα. Διαθέσιμο στη σελίδα: http://library.tcc.gr/digital/m2045/m2045_taralas.pdf. Τελευταία επίσκεψη: 9/9/12.
- Tardioli S., Banne E. and Santori F. (1997). Species-specific selection on soil fungal population after oil mill waste-water treatment. *Chemosphere*, 34, pp. 2329-2336.
- Thompson R.B. and Nogales R. (1999). Nitrogen and carbon mineralization in soil of vermin – composted and unprocessed dry olive cake (“orujo seco”) produced from two – stage centrifugation for olive oil extraction. *Journal of Environmental Science and Health B*, 34, pp. 917-928.
- Thormann M.N. (2006). The role of fungi in boreal peatlands. In: Wieder R.K. and Vitt D.H. Eds. *Boreal Peatland Ecosystems*. Berlin: Springer-Verlag, pp. 101-123.
- Tomati U. (1995). Bioremediation of Olive – mill wastewater. *Waste Management and Research*, 13 (6), pp. 509–518.
- Tomati U. and Galli E. (1992). The fertilizing value of waste waters from the olive processing industry. In: Kubat J. ed. *Humus, its Structure and Role in Agriculture and Environmental*. Barking: Elsevier Science Publisher. pp. 117-126.
- Turano C., Coppari S., Altieri F. and Ferraro A. (2002) Proteins of the PDI family: unpredicted non-ER locations and functions. *Journal of Cellular Physiology*, 193, pp. 154-163.
- Van Gestel M., Merckx R. and Vlassak K. (1996). Spatial distribution of microbial biomass in microaggregates of a silty-loam soil and the relation with resistance of microorganisms to soil drying. *Soil Biology Biochemistry*, 20, pp. 503-510.

- Van Kessel W.H.M., Brocades Zaalberg R.W. and Seinen W. (1989). Testing environmental pollutants on soil organisms: a simple assay to investigate the toxicity of environmental pollutants on soil organisms using cadmium chloride and nematodes. *Ecotoxicol Environ Saf.*, 18, pp. 181-190.
- Vance E.D., Brookes P.C. and Jenkinson D.S. (1987). An extraction method for measuring soil microbial biomass. *Soil Bil. Biochem.*, 19, pp. 703-707.
- Verhoef H.A. and Brussaard L. (1990). Decomposition and nitrogen mineralization in natural and agroecosystems: the contribution of soil animals. *Biogeochemistry*, 11, pp. 175-211.
- Vishniac H.S. (2006). A multivariate analysis of soil yeasts isolated from a latitudinal gradient. *Microb. Ecol.*, 52, pp. 90-103.
- Vlyssides A.G. and Iaconidou K. (2003). *Olive oil production in Greece*. Cordoba, Spain: EU IMPEL Olive Oil Workshop.
- Vlyssides A.G., Loizides M. and Karlis P.K. (2004). Integrated strategic approach for reusing olive oil extraction by-products. *Journal of Cleaner Production*, 12, pp. 603-611.
- Vlyssides A.G., Loizidou M., Gimouhopoulos K. and Zorpas A. (1998). Olive oil processing wastes production and their characteristics in relation to olive oil extraction methods. *Fresenius Envir. Bull.*, 7, pp. 308-313.
- Vlyssides A.G., Loukakis H.N., Israilides C., Barampouti E.M. and Mai S. (2003). Detoxification of olive mill wastewater using a Fenton process. *Proc 2nd Eur. Bioremediation Conf Chania*, pp. 531-534.
- Vlyssides A.G., Loukakis H.N., Karlis P.K., Barampouti E.M. and Mai S. (2004b). Olive mill wastewater detoxification by applying pH related Fenton's oxidation process. *Fresenius Envir. Bull.*, 13, pp. 501-504.
- Wardle D.A and Parkinson D. (1990). Comparison of physiological techniques for estimating the response of soil microbial biomass to soil moisture. *Soil Biology and Biochemistry*, 22, pp. 817-823.
- Zervakis G., Yiatras P. and Balis C. (1996). Edible mushrooms from olive oil mill wastes. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 38, pp. 237-243.

Zibilsje L.M. (1994). Carbon mineralization. In: Weaver R.W et al., eds. *Methods of soil Analysis*. Argon: Madison. pp. 835-859.

Zucconi F., Pero A., Forte M., and Bertoldi M. (1981). Evaluating toxicity of immature compost. *Biocycle*, 22, pp. 54-57.