



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

**ΜΕΛΕΤΗ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΑΓΡΟΝΟΜΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΩΝ ΑΠΟ
ΠΥΡΟΛΥΤΙΚΟ ΚΛΙΒΑΝΟ**

**STUDY OF THE PROPERTIES AND THE AGRONOMIC CHARACTERISTICS OF RESIDUES FROM
PYROLYTIC FURNACE**



ΚΥΡΙΤΣΗ ΙΩΑΝΝΑ- ΟΖΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΥ ΜΑΡΙΝΑ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΣΑΜΑΡΑΣ ΠΕΤΡΟΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2019

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η ανάλυση της δραστηριότητας του βιοεξανθρακώματος ως λίπασμα/ ενισχυτής χώματος για την ανάπτυξη φυτών.

Με τον όρο βιοεξανθράκωμα ορίζεται το στερεό, πλούσιο σε άνθρακα, παραμένων υπολείμμα (προϊόν) κατά τη θερμική επεξεργασία στερεών υπολειμμάτων από επεξεργασία αποβλήτων ενός βυρσοδεψίου σε πυρολυτικό κλίβανο παρουσία ελάχιστων ποσοτήτων οξυγόνου, τα οποία παρουσιάζουν ελάχιστη περιεκτικότητα σε άνθρακα.

Τα βιοεξανθρακώματα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν δύο δείγματα που προέκυψαν μετά από πυρόλυση για μεγάλο χρονικό διάστημα (14 ώρες, λευκό δείγμα) και μετά από πυρόλυση για μικρό χρονικό διάστημα (2 ώρες, μαύρο δείγμα). Η διερεύνηση των αγρονομικών χαρακτηριστικών έγινε με την παρακολούθηση της ανάπτυξης ρόκας σε τρία διαφορετικά υποστρώματα: πρότυπο δείγμα εδάφους, τύρφη- περλίτης και εμπορικό υπόστρωμα κομποστοποίησης- άμμος. Σε κάθε υπόστρωμα προστέθηκαν 3 διαφορετικές αναλογίες βιοεξανθρακώματος προκειμένου να βρεθεί ο πλέον αποδοτικότερος συνδυασμός για την ανάπτυξη του φυτού.

Μετά την σπορά του φυτού έγιναν μετρήσεις και καταγράφηκε ο αριθμός των σπόρων που αναπτύχθηκαν και ο μέσος όρος ύψους των φυτών. Ακολούθησε μεταφύτευση των φυτών σε επιλεγμένο υπόστρωμα τύρφης – περλίτη και λευκού βιοεξανθρακώματος. Από μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν παρατηρήθηκε ταχύτερη ανάπτυξη στο υπόστρωμα με αναλογία 1:10.

Summary

The aim of the present study is to study the potential of biochar to be used as a fertilizer / soil amendment for plant cultivation.

Biochar is defined as the solid, carbon-rich residual (product) during thermal treatment of solid wastes produced from tanneries in a pyrolytic furnace in an oxygen deficient environment, that are characterized by low carbon content.

Two biochar samples were used in this study: one was produced during long residence time, 14 hours (white sample) while the second one produced at short reaction time (2 hours, black sample). The study of the agronomic characteristics carried out by monitoring the growth of rocket seeds in three different biochar mixture substrates: standard soil sample, peat-perlite and commercial compost substrate – sand. Three different substrate mixtures were prepared aiming to determine the optimum mixture combination for plant growth.

After plant seeding, measurements were carried out including the number of species that were planted and the average height. Transplantation of the plants followed in the peat-perlite and white biochar substrate. Measurements performed showed a faster growth of the plants in the 1:10 biochar mixture.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη	2
Summary	3
1. Εισαγωγή	5
2. Βιοεξανθράκωμα (biochar)	6
2.1 Οφέλη του βιοεξανθρακώματος στο περιβάλλον	7
2.2 Βιοεξανθράκωμα και επίδραση στα φυτά	11
2.3 Βιομάζα- πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοεξανθρακώματος	12
2.4 Παραγωγή βιοεξανθρακώματος	14
2.5 Παράγοντες που επηρεάζουν το τελικό προϊόν βιοεξανθρακώματος	17
2.6 Επιφάνεια – Πορώδες βιοεξανθρακώματος	20
2.7 Δομή βιοεξανθρακώματος	21
2.8 Μέγεθος βιοεξανθρακώματος	22
3. Υποστρώματα καλλιεργειών	25
3.1 Έδαφος	26
Αμμώδη	27
Αργιλώδη	27
Ασβεστολιθικά	27
Πλεονεκτήματα εδαφικών μειγμάτων	28
Μειονεκτήματα εδαφικών μειγμάτων	28
3.2. Τύρφη	29
3.3. Περλίτης	30
3.4 Διατήρηση συνθηκών υγρασίας και θερμοκρασίας	31
4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	31
4.1 Υλικά και μέθοδοι	32
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	36
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	47

1. Εισαγωγή

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η διερεύνηση των ιδιοτήτων των βιοεξανθρακωμάτων για την εφαρμογή τους ως βελτιωτικά εδάφους. Αρχικά μελετήθηκε η επίδραση της δόσης του βιοεξανθρακώματος στην ανάπτυξη φυτών και προσδιορίστηκε το βιοεξανθράκωμα με τις βέλτιστες ιδιότητες. Στη συνέχεια διερευνήθηκε ο βέλτιστος συνδυασμός βιοεξανθρακώματος - υποστρώματος.

Κατά το δεύτερο κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση του υλικού όπου χρησιμοποιήθηκε, τα οφέλη του ως προς το περιβάλλον και η δομή του βιοεξανθρακώματος. Επίσης παρουσιάζεται ο τρόπος παρασκευής του και ποιοι παράγοντες μπορούν να επηρεάσουν το τελικό προϊόν. Κατά το τρίτο κεφάλαιο αναλύονται τα υποστρώματα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν και ο τρόπος διατήρησης σταθερών συνθηκών ανάπτυξης των φυτών με την μέθοδο της υδροεκνέφωσης. Κατά το τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η πειραματική διαδικασία που πραγματοποιήθηκε κατά την διάρκεια της παρούσας μελέτης, αναλύονται τα υλικά τα οποία χρησιμοποιήθηκαν και οι μέθοδοι που ακολουθήθηκαν. Στο κεφάλαιο πέντε παρουσιάζονται τα αποτελέσματα τα οποία πάρθηκαν, όπου αφορούν το μέσο ύψος και πλάτος φύλλων των φυτών που αναπτύχθηκαν, και παρουσιάζονται σύμφωνα με το υπόστρωμα, τον τύπο βιοεξανθρακώματος αλλά και με την αναλογία βιοεξανθρακώματος-υποστρώματος που χρησιμοποιήθηκε. Τέλος στο έκτο κεφάλαιο, με την βοήθεια στατιστικής ανάλυσης και μέσος διαγράμματος διασποράς, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα.

2. Βιοεξανθράκωμα (biochar)

Το βιοεξανθράκωμα είναι το προϊόν της θερμικής υποβάθμισης των οργανικών υλών απουσία αέρα, και διακρίνεται από τον άνθρακα με την χρήση του ως τροποποιητής εδάφους.

Βιοεξανθράκωμα (biochar) ορίζεται το στερεό, πλούσιο σε άνθρακα, παραμένον υπόλειμμα (προϊόν) της εφαρμογής της πυρόλυσης ή ανθρακοποίησης της βιομάζας, δηλαδή της αποσύνθεσης της κάτω από συνθήκες περιορισμένης παροχής οξυγόνου διαμέσου θερμικής διεργασίας και εμφανίζει ποικίλες χρήσεις. Ακόμη, παράγονται μερικά επιπλέον προϊόντα με τη μορφή αερίων ή ελαίων μαζί με την παραγωγή του βιοεξανθρακώματος. Αυτά τα προϊόντα συνήθως καθίστανται ανακτήσιμα για άλλη χρήση ή απλά προωθούνται προς καύση και απελευθέρωση ενέργειας ως θερμότητα.

Ορισμένα βιοεξανθρακώματα αποσυντίθενται με υψηλή ταχύτητα στα εδάφη ενώ κάποια άλλα εμφανίζονται να επιμένουν για χιλιάδες χρόνια και ως αποτέλεσμα απαιτούνται περισσότερες πληροφορίες για τη συμπεριφορά τους στις εδαφικές εκτάσεις.

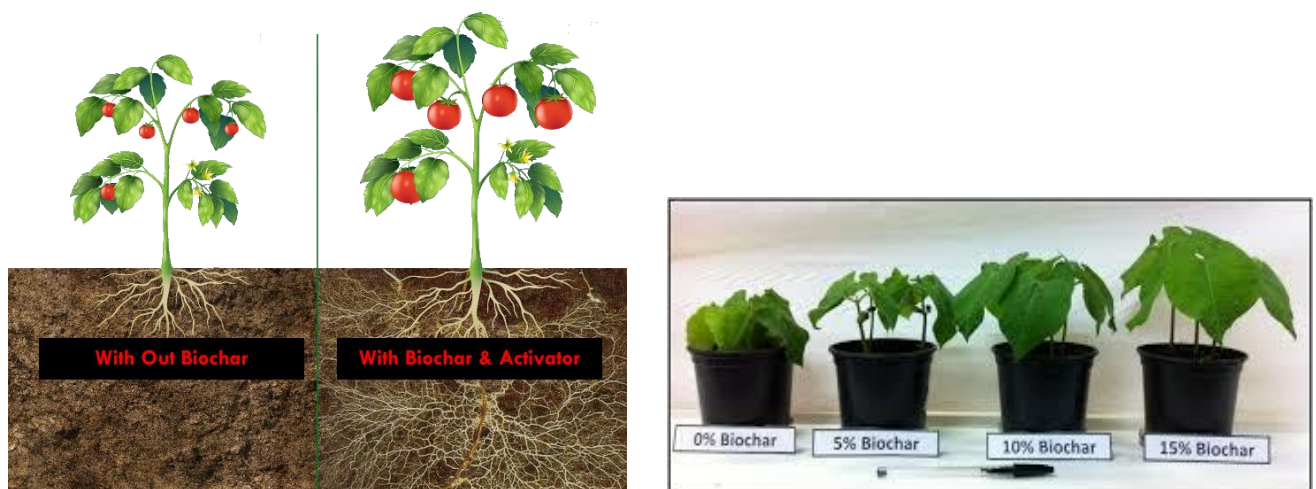
Πιο συγκεκριμένα, το βιοεξανθράκωμα ενδείκνυται να προστεθεί στα εδάφη βελτιώνοντας αισθητά τις ιδιότητες του εδάφους και μειώνοντας αποφασιστικά τις ποσότητες παραγόμενων αερίων στις θερμοκηπιακές εκπομπές. Ακόμη, είναι ικανό να βελτιώσει την αποδοτικότητα του εδάφους αφού φιλτράρει και ευνοεί τη διατήρηση των θρεπτικών συστατικών από το νερό που το διαπερνάει κι επομένως παρέχει και καθοριστική αποθήκευση άνθρακα. Επιπλέον βελτιώνονται οι ιδιότητες του αφού μπορεί να απορροφά οργανικές και ανόργανες ρυπαντικές ουσίες αντικαθιστώντας έτσι άλλες ακριβότερες μεθόδους παρέχοντας παράλληλα σημαντική αξιοποίηση αποβλήτων.

Ο σκοπός της χρησιμοποίησης των βιοεξανθρακωμάτων στον εμπλουτισμό του εδάφους είναι η δυνατότητα που έχουν ως προς τη μείωση της κινητικότητας ουσιών οι οποίες επιθυμείται να αποδεσμευτούν από το νερό μέσω εκρόφησης τους, καθώς είναι τοξικές για τους ζωντανούς οργανισμούς και για τη μέγιστη διατήρηση ορισμένων θρεπτικών συστατικών για τα εδάφη (φώσφορος, κάλιο κ.λ.π.). Τα υλικά αυτά, τα βιοεξανθρακώματα, παρασκευάζονται σε θερμοκρασίες που ξεκινάν από τους 300°C και όχι μεγαλύτερες από 700°C από οργανικό υλικό, που προέρχεται από διάφορες πηγές. Κάποιες

από αυτές τις πηγές αποτελούν τα συσσωρευμένα στερεά λήμματα με μορφή λάσπης (ληματολάσπη), τα οποία συναντώνται σε βιολογικούς καθαρισμούς. Ακόμη, έχει καταγραφεί η παραγωγή τους από οργανικό κλάσμα απορριμμάτων ή και τα ανεπιθύμητα, μηδενικής ή μικρής αξίας, παραπροϊόντα διαδικασιών παραγωγής που λογίζονται συχνά ως φύρα π.χ. φλοιοί καρπών ρυζιού σε ρυζόμυλο. Έχουν παρατηρηθεί αποδόσεις μετατροπής των πρώτων υλών σε βιοεξανθράκωμα ακόμη και μεγαλύτερες του 50%.

Οι δύο κύριες ιδιότητες των βιοεξανθρακωμάτων που το κάνουν πολύτιμο για την προσθήκη του στο χώμα είναι η υψηλή σταθερότητα που παρουσιάζει ως προς την αποσύνθεση καθώς κι η πολύτιμη ιδιότητα του να απορροφά και να διατηρεί θρεπτικά συστατικά σε σύγκριση με διαφορετικά είδη οργανικής ύλης. Επίσης, έχει σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη που συνδέονται με τις παραπάνω ιδιότητες. Κάποια από τα μεγαλύτερης σημασίας οφέλη είναι η αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και της περιβαλλοντικής ρύπανσης ενώ ταυτόχρονα συμβάλλει στη βελτιστοποίηση και ανάπτυξη των εδαφών.

(Lehmann et al., 2006; Παπαδάκης, 2014; Αγραφιώτη, 2014)



Σχήμα1: Απεικόνιση ανάπτυξης φυτών με διάφορες αναλογίες βιοεξανθρακώματος.

2.1 Οφέλη του βιοεξανθρακώματος στο περιβάλλον .

Η αποτελεσματικότητα της χρήσης βιοεξανθρακώματος ως προσέγγιση για την άμβλυνση της κλιματικής αλλαγής βασίζεται στην σχετική ανατροπή της κατά την μικροβιακή

αποσύνθεση και συνεπώς στην επιβράδυνση της επιστροφής του επίγειου οργανικού άνθρακα ως διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Το συνολικό ποσό άνθρακα που μπορεί να αποθηκευτεί δεν περιορίζεται από τις ιδιότητες του εδάφους.

Τα πρώτα αποτελέσματα δείχνουν ότι η βιοενέργεια του βιοεξανθρακώματος δεν οδηγεί μόνο στην ακινητοποίηση του CO₂, αλλά η παρουσία του βιοεξανθρακώματος στο έδαφος μπορεί να μειώσει τις εκπομπές δύο ακόμα πιο δυνατών αερίων που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου: τα οξείδια του αζώτου (NO_x) και το μεθάνιο. Στα πειράματα του θερμοκηπίου, οι εκπομπές NO_x μειώθηκαν κατά 80% και οι εκπομπές μεθανίου εξαλείφθηκαν εντελώς με προσθήκη 20 gkg⁻¹ βιοεξανθράκωμα σε κτηνοτροφική έκταση με γρασίδι (Rondon et al., 2005). Ένας πιθανός μηχανισμός για τη μείωση του μεθανίου και των εκπομπών NO_x είναι η χαμηλότερη νιτροποίηση, πιθανόν λόγω χαμηλότερης ανοργανοποίησης, αποτέλεσμα του υψηλότερου λόγου C:N ή της χαμηλότερης ποιότητας άνθρακα. Ωστόσο στα εδάφη των δασών οι προσθήκες βιοεξανθρακωμάτων βρέθηκαν πρόσφατα να αυξάνουν την ανοργανοποίηση αζώτου εξαιτίας της προσρόφησης και της αδρανοποίησης των δευτερευουσών ενώσεων των φυτών, που υπό φυσιολογικές συνθήκες θα μείωναν τη δραστηριότητα των μικροβίων (DeLuca et al., 2006). Οι επιδράσεις του βιοεξανθρακώματος στον κύκλο αζώτου στο έδαφος και στις σχετικές εκπομπές αερίων που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου σίγουρα απαιτούν περισσότερη προσοχή.

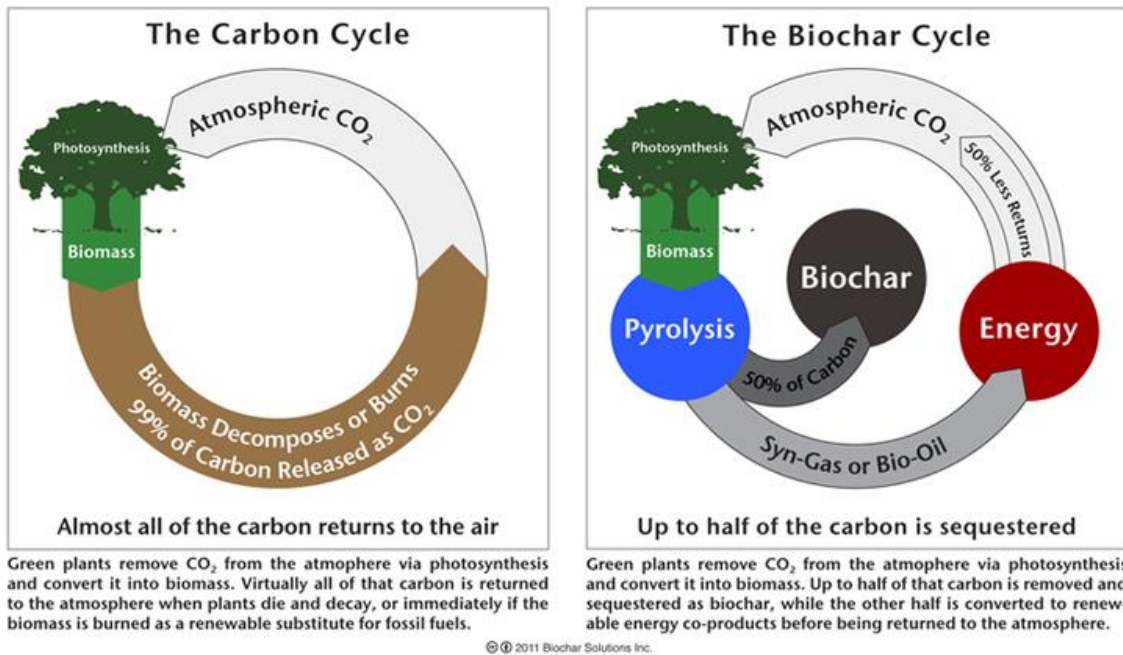
Τόσο η σύνθεση της κοινότητας των αποικοδομητών όσο και οι μεταβολικές διεργασίες μιας ποικιλίας οργανικών ομάδων του εδάφους μπορεί να είναι σημαντικές για τον προσδιορισμό του βαθμού σταθερότητας του βιοεξανθρακώματος στα εδάφη. Οι μεταβολές στην σύνθεση ή τη δραστηριότητα της μικροβιακής κοινότητας που προκαλείται από βιοεξανθράκωμα δεν επηρεάζουν μόνο τους θρεπτικούς κύκλους και την ανάπτυξη των φυτών, αλλά και την κυκλοφορία της οργανικής ύλης του εδάφους.

Το βιοεξανθράκωμα κατά την εφαρμογή του στο έδαφος μπορεί να μειώσει τη ρύπανση με δύο τρόπους: πρώτα, συγκρατώντας στο έδαφος θρεπτικές ουσίες, όπως το άζωτο και τον φώσφορο, και μειώνοντας το ποσό των θρεπτικών ουσιών στο χώμα που διαρρέουν στον υδροφόρο ορίζοντα ή απορρέουν στα επιφανειακά νερά. Δεύτερον, το βιοεξανθράκωμα θα μείωνε τη ρύπανση βελτιώνοντας τη συγκράτηση θρεπτικών ουσιών στο επιφανειακό

έδαφος, με αποτέλεσμα να μειωθεί η ποσότητα λιπάσματος που απαιτείται για να βελτιωθεί η σοδιά. (Lehmann et al., 2003)

Οι επιδράσεις του βιοεξανθρακώματος στις βιολογικές διεργασίες (Lehmann and Rondon, 2006) δεν έχουν εξεταστεί πλήρως, αλλά θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε σημαντικά ευρήματα. Για παράδειγμα, η βιολογική καθήλωση του ατμοσφαιρικού αζώτου από τα κοινά φασόλια βρέθηκε ότι ενισχύεται από την προσθήκη βιοεξανθρακώματος σε ένα υψηλά αποσαθρωμένο έδαφος σαβάνας, κυρίως μέσω του μηχανισμού της υψηλότερης διαθεσιμότητας μικροθρεπτικών ουσιών. Οι υψηλότεροι ρυθμοί βακτηριακής ανάπτυξης με το βιοεξανθράκωμα εξηγούνται από την καλύτερη προσκόλληση και πιθανόν τη φυσική προστασία των μικροοργανισμών εντός της δομής των πόρων. Μια μεγαλύτερη επιφάνεια είναι πιθανόν να οδηγήσει σε καλύτερη ικανότητα συγκράτησης νερού.

Η πυρόλυση δείχνει να προσφέρει επιπλέον ευκαιρίες στη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου κυρίως μέσω της ικανότητας του βιοεξανθρακώματος να μειώνει το CO₂, τα οξείδια του αζώτου και το διοξείδιο του θείου από τα καυσαέρια (Day et al., 2005). Το CO₂ κατακρημνίζεται στις επιφάνειες του βιοεξανθρακώματος διαμέσου μιας εξωθερμικής διαδικασίας (Lee et al., 2003). Μια τέτοια διαδικασία θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να μειώσει τις συνολικές εκπομπές από τα ορυκτά καύσιμα, για παράδειγμα σε συνδυασμό με την καύση κάρβουνου. Παράλληλα το κατακρήμισμα δημιουργεί ένα υψηλής περιεκτικότητας σε άζωτο βιοεξανθράκωμα που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί αντί για αζωτούχο λίπασμα (Day et al., 2005).



Σχήμα2: Ο κύκλος του άνθρακα σε σχέση με τον κύκλο του βιοεξανθρακώματος

Το βιοεξανθράκωμα έχει την ικανότητα να αποκαθιστά και να εξυγιαίνει ρυπασμένα εδάφη, καθώς μπορεί να απορροφά οργανικές και ανόργανες ρυπαντικές ουσίες (Beesley et al., 2011). Η ικανότητα του βιοεξανθρακώματος να απορροφά βαρέα μέταλλα αποδίδεται κυρίως στις ηλεκτροστατικές αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στις αρνητικά φορτισμένες επιφάνειες άνθρακα και στα κατιόντα των μετάλλων, καθώς και στην ανταλλαγή ιόντων ανάμεσα στα επιφανειακά πρωτόνια και τα μεταλλικά κατιόντα. Επίσης, η παρουσία μεταλλικών ακαθαρσιών (π.χ. τέφρα και μεταλλικών οξειδίων), οξειδωτικών ομάδων οξυγόνου (π.χ. καρβοξυλικών και lactonic) και βασικών ομάδων αζώτου θα μπορούσαν να ενισχύσουν επιπλέον την ικανότητα προσρόφησης των ανθρακωδών υλικών (Machida et al., 2006).

Η χρησιμοποίηση του βιοεξανθράκωμα ως ένα φτηνό προσροφητικό υλικό για την αφαίρεση βαρέων μετάλλων από το νερό και τα ρυπασμένα εδάφη έχει αναφερθεί από πολλούς ερευνητές. Η πλειοψηφία των μελετών επικεντρώνονται στην ακινητοποίηση των μεταλλικών κατιόντων, όπως Pb, Cu, Ni και Cd, ενώ λίγη έρευνα είναι διαθέσιμη για την αφαίρεση As(V) και Cr(VI) με χρήση βιοεξανθρακώματος. Για παράδειγμα οι Mohah et al. (2007) μελέτησαν την αφαίρεση As(III) από το νερό με χρήση βιοεξανθρακώματος, το οποίο προήλθε από βιομάζα ξυλείας, δείχνοντας ότι ο φλοιός οξιάς έχει μία ιδιαίτερη ικανότητα

προσρόφησης του As(III). Επιπλέον, οι Mohan et al. (2011) μελέτησαν τη χρήση βιοεξανθράκωματος για την προσρόφηση Cr(VI) στο νερό και βρήκαν ότι το βιοεξανθράκωμα μπορεί να προσροφά χρώμιο, ενώ η μέγιστη προσροφητική ικανότητα ήταν σε μερικές περιπτώσεις 123mg/g.

Ένας διαφορετικός τρόπος έμμεσης επιρροής στη τοξικότητα του εδάφους, από την εφαρμογή πυρολυμένης βιομάζας στο έδαφος οφείλεται στην αλκαλική φύση του υλικού. Το υψηλό pH του υλικού μπορεί να συνεισφέρει στην αντιμετώπιση εδαφών με προβλήματα οξύτητας δίνοντας έτσι τη δυνατότητα βελτίωσης της παραγωγικότητας του εδάφους. Η αλκαλικότητα του υλικού είναι δυνατό να συντελέσει στην απομάκρυνση των ρύπων μέσω της αύξησης του pH του εδάφους. Η ιδιαίτερη αξία της ιδιότητας γίνεται περισσότερο αντιληπτή στην προσπάθεια αντιμετώπισης περιστατικών ρύπανσης του εδάφους οφειλόμενη στην παρουσία βαρέων μετάλλων, σε συνδυασμό με τις δυσκολίες αντιμετώπισης τους από τις συνήθεις μεθόδους αποκατάστασης. Η αύξηση του pH έχει ως αποτέλεσμα τη σταθεροποίηση της πλειονότητας των μετάλλων στο έδαφος. Άμεσο όφελος αποτελεί η μείωση του κινδύνου λήψης από τη χλωρίδα και τη πανίδα της περιοχής.

2.2 Βιοεξανθράκωμα και επίδραση στα φυτά

Οι Lentz και Ippolito (2012) εφάρμοσαν μία φορά βιοεξανθράκωμα από σκληρό ξύλο στα 22,4 mg ha⁻¹ σε ένα έδαφος ερήμου, παρατηρώντας καμία μεταβολή στην απόδοση του σιταριού σε σύγκριση με τον έλεγχο 1 έτους μετά την εφαρμογή. Ωστόσο, παρατηρήθηκε μείωση της απόδοσης κατά 36%, σε σύγκριση με τους ελέγχους, κατά τη διάρκεια του δεύτερου έτους. Με βάση τις συγκεντρώσεις θρεπτικών ουσιών σιταριού καλαμποκιού, η καταστολή της απόδοσης οφείλεται είτε σε μειωμένη θρεπτική ουσία, (N,S, Mn και Cu) διαθεσιμότητα ή πρόσληψη. Η απάντηση ήταν παρόμοια σε μια δράση εκκίνησης που παρατηρείται σε χαμηλά οργανικά εδάφη που περιέχουν C όπου το βιοεξανθράκωμα μπορεί να έχει προκαλέσει μείωση της ορυκτοποίησης του εδάφους σε C, η οποία με τη σειρά της περιορίζεται τουλάχιστον τη διαθεσιμότητα του εδάφους σε N και S. (Ippolito et al., 2012)

Ο Schnell et al. (2012) εφάρμοσε έως 3 mg ha⁻¹ βιοεξανθράκωμα σόργου σε ένα Alfisol (Το "Alf" αναφέρεται στο αλουμίνιο (Al) και στο σίδηρο (Fe)) και στη συνέχεια αναπτύχθηκε ο σόργος για 45 ημέρες. Δεν παρατηρήθηκε να υπάρχει διαφορά στην παραγωγή βιομάζας

μεταξύ των εφαρμογών ελέγχου και βιοεξανθρακώματος, πιθανότατα λόγω των χαμηλών ποσοστών εφαρμογής των βιοεξανθρακωμάτων που χρησιμοποιήθηκαν. (Ippolito et al., 2012)

Ο Kammann et al (2012) πρόσθεσαν βιοεξανθράκωμα από κέλυφος φυσιτικού στα 50 mg ha⁻¹ σε ένα γερμανικό Luvisol και στη συνέχεια αναπτύχθηκε χόρτο σίκαλης. Οι συγγραφείς παρατήρησαν σημαντική αύξηση της απόδοσης της βιομάζας σε σύγκριση με τους ελέγχους. Η αιτία της αύξησης της απόδοσης ήταν άγνωστη, αλλά θα μπορούσε να ήταν η λειτουργία της μειωμένης απώλειας N (απονίτρωση) και επομένως μεγαλύτερη ποσότητα N από τα φυτά που αναπτύσσονται παρουσία βιοεξανθρακώματος.

Οι Gajić και Koch (2012) χρησιμοποίησαν επίσης ένα γερμανικό Luvisol, ανάπτυξης ζαχαρότευτλου σε έδαφος τροποποιημένο με 10 mg ha⁻¹ είτε πολτού ζαχαρότευτλου είτε υδρογονοεξανθράκωμα μπύρας. Και στις δύο μελέτες, η ανάπτυξη των φυτών σταμάτησε ή μειώθηκε δραστικά αμέσως μετά την εμφάνιση τους και η τελική απόδοση της καλλιέργειας μειώθηκε σε σύγκριση με τον έλεγχο. πραγματοποιήθηκε παρόμοια μελέτη χρησιμοποιώντας ένα γερμανικό Cambisol και υδροεξανθρακώματος που εφαρμόζεται σε 30 mg ha⁻¹, παρατηρώντας παρόμοια αποτελέσματα. Η έκθεση είναι συνεπής με προηγούμενες αναφορές που υποδηλώνουν ότι υλικά που περιέχουν σημαντικές ποσότητες βιοδιαθέσιμου C μπορεί να μειώσει το διαθέσιμο φυτικό N και τις αποδόσεις λόγω ακινητοποίησης. (Ippolito et al., 2012)

Αυτά τα αποτελέσματα υποδηλώνουν ότι μερικά βιοεξανθρακώματα και υδροεξανθρακώματα μπορούν να είναι επιζήμια για τις αποδόσεις των καλλιεργειών, ενώ άλλα μπορούν να αυξήσουν την απόδοση της καλλιέργειας. Αυτό που λείπει είναι μια πλήρης μηχανική κατανόηση του τρόπου με τον οποίο τα βιοεξανθρακώματα προκαλούν μείωση της απόδοσης ή αύξηση. (Ippolito et al., 2012)

2.3 Βιομάζα- πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοεξανθρακώματος

Με τον όρο βιομάζα καλείται οποιοδήποτε προϊόν οργανικής προέλευσης. Δύο τύποι βιομάζας διακρίνονται, οι υπολειμματικές μορφές και οι ενεργειακές καλλιέργειες. Στις πρώτες ανήκουν τα αγροτικά απόβλητα, τα ζωικά απόβλητα, τα δασικά απόβλητα, τα

βιομηχανικά απόβλητα και τα δημοτικά απόβλητα. Ενώ στις δεύτερες ανήκουν οι δασικές ενεργειακές καλλιέργειες, και οι γεωργικές ενεργειακές καλλιέργειες.

Η βιομάζα αποτελείται από τρία βασικά δομικά συστατικά την κυτταρίνη, την ημικυτταρίνη και την λιγνίνη. Αυτά τα συστατικά αποτελούν περίπου το 90% της λιγνοκυτταρικής βιομάζας. Το υπόλοιπο 10% καταλαμβάνεται από οργανικά και ανόργανα συστατικά.

Ο τύπος της βιομάζας που θα επιλεγθεί εξαρτάται από το προϊόν που θα παραχθεί, καθώς η σύσταση της αρχικής βιομάζας είναι καθοριστική για τα χημικά χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες του τελικού προϊόντος. Η επιλογή της βιομάζας απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή καθώς ενδέχεται να εμπεριέχει επικίνδυνες και τοξικές ουσίες. (Αγραφιώτη , 2014)

Πίνακας 1: τρέχουσα δυναμική παραγωγής βιοεξανθρακώματος

Πηγή της βιομάζας	Τρέχουσες δυνατότητες για την παραγωγή βιοεξανθρακώματος/ PGC yr-1
Υποκαθιστώντας την εξανθράκωση για την καύση σε τροπικά εδάφη	0,190-0,213
Απόβλητα παραγωγής ξυλάνθρακα	0,008
Υπολείμματα της δασοκομίας	0,021
Φλοιός ρυζιού	0,038
Κοχύλια φυστικιών	0,002
Αστικά απόβλητα	0,03
Εάν το τρέχον ποσοστό της παραγωγής ενέργειας από βιομάζα ήταν από πυρόλυση	0,18

(Woolf, 2008)

Ο Kloss et al,. χαρακτηρίζει τα βιοεξανθρακώματα που προήλθαν από 3 διαφορετικές πρώτες ύλες και πυρολήθηκαν σε διαφορετικές θερμοκρασίες. Σε γενικές γραμμές τα με βάση το άχυρο βιοεξανθρακώματα έχουν μεγαλύτερες διαλυτές συγκεντρώσεις από τα με βάση το ξύλο βιοεξανθρακώματα, αν και οι συγκεντρώσεις θρεπτικών ουσιών δεν ήταν αρκετά υψηλές για να χρησιμοποιηθούν ως λίπασμα εδάφους. Η αύξηση της θερμοκρασίας πυρόλυσης αύξησε την επιφανειακή περιοχή του βιοεξανθρακώματος η οποία μπορεί να ωφελήσει αμμώδη εδάφη, αυξάνοντας τις θέσεις απορρόφησης ή μπορεί να βελτιώσει τη

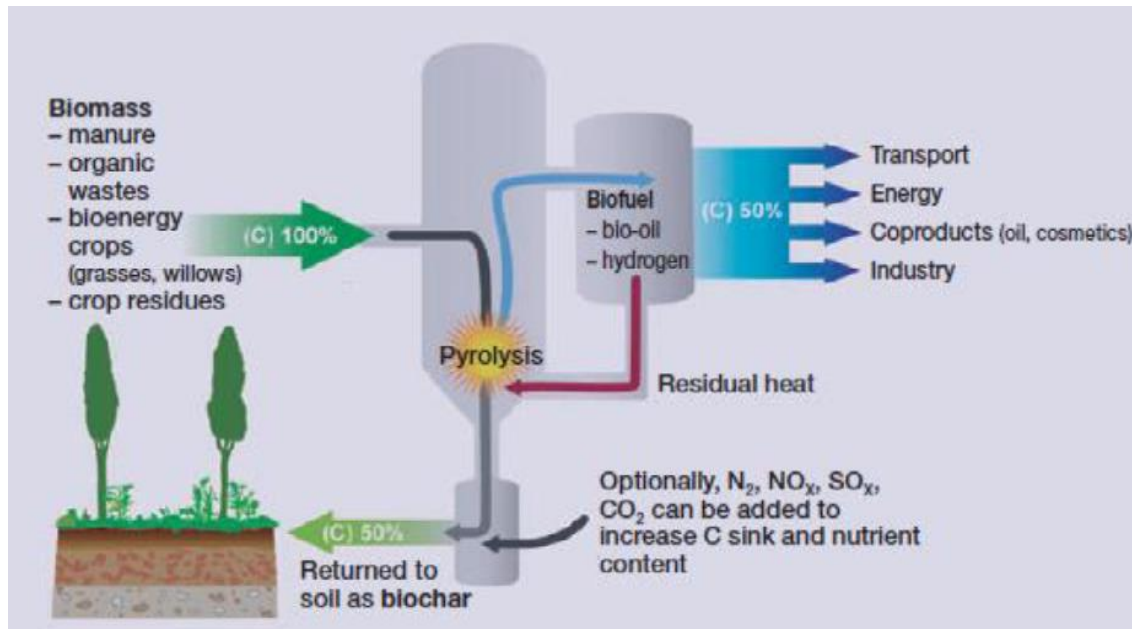
συγκράτηση ρύπων στα εδάφη. Η αύξηση της θερμοκρασίας πυρόλυσης επηρεάζει τον πολυκυκλικό αρωματικό υδρογονάνθρακα (PAH) του βιοεξανθρακώματος. Οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAHs) είναι σχετικά ανυπεράσπιστοι και δυνητικά τοξικοί και σχηματίζονται κατά τη διάρκεια ατελής καύσης. Η αύξηση της θερμοκρασίας αύξησε την περιεκτικότητα του με βάση το άχυρο βιοεξανθρακώματος σε αρωματικό υδρογονάνθρακα ενώ η περιεκτικότητα του βιοεξανθρακώματος σε αρωματικό δακτύλιο με βάση το ξύλο μειώθηκε με την αύξηση της θερμοκρασίας πυρόλυσης. (Ippolito et al., 2012)

Ένας παράγοντας που καθορίζει το πώς μπορεί να παραχθεί πολύ βιοεξανθράκωμα είναι η ύπαρξη ανταγωνιστικών απαιτήσεων για βιομάζα. Ίσως το πιο σημαντικό παράδειγμα που προκύπτει μεταξύ χρήσης της βιομάζας για την παραγωγή ενέργειας και χρήση της για παραγωγή βιοεξανθρακώματος.

Όταν το βιοεξανθράκωμα προστίθεται στο έδαφος, ουσιαστικά επιλέγεται να παραιτηθεί από μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας - η ενέργεια που θα μπορούσε να απελευθερωθεί από την καύση του κάρβουνου. Έτσι, ακόμα κι αν μπορεί να ληφθεί κάποια ενέργεια μαζί με την παραγωγή βιοεξανθρακώματος, αυτό θα είναι πάντα μικρότερη από την ποσότητα της ενέργειας που μπορεί να ληφθεί με πλήρη καύση της αρχικής βιομάζας. Ως εκ τούτου, τίθεται το ερώτημα ως προς το αν είναι πιο αποτελεσματική όσον αφορά την αποτροπή εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα να χρησιμοποιούν βιομάζα ως πηγή ενέργειας για να εκτοπίσει τα ορυκτά καύσιμα ή εάν θα ήταν καλύτερο να απομονώνουν ένα κλάσμα του άνθρακα στην βιομάζα ως βιοεξανθράκωμα και την κάλυψη της ζήτησης ενέργειας από άλλες πηγές (συμπεριλαμβανομένων των ορυκτών καυσίμων). Από την ανάλυση αυτή προέκυψε ότι σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις η μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα είναι μεγαλύτερη εάν η βιομάζα χρησιμοποιείται για την παραγωγή βιοεξανθρακώματος ή αν η ίδια βιομάζα είχε χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενέργειας για να εκτοπίσει τα ορυκτά καύσιμα. (Woolf, 2008)

2.4 Παραγωγή βιοεξανθρακώματος

Όταν η βιομάζα υφίσταται πυρόλυση, παράγονται τρία είδη προϊόντων, το στερεό με την μορφή εξανθράκωμα, το υγρό (έλαιο) και το αέριο.



Σχήμα3: Σχηματική απεικόνιση παραγωγής βιοεξανθράκωματος

Όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα η πυρόλυση απαιτεί τη χρήση των κλιβάνων και ο φούρνος θερμαίνει τη βιομάζα σε μία διαδικασία αντίδρασης 3 σταδίων. Στο αρχικό στάδιο της παραγωγής η βιομάζα χάνει νερό και άλλα υπολείμματα. Στην συνέχεια, το υπόλειμμα περνάει από περαιτέρω πυρόλυση και αρχίζει να σχηματίζει βιοεξανθράκωμα. Τέλος το βιοεξανθράκωμα που παράγεται αρχίζει να αποσυντίθεται σχηματίζοντας τον άνθρακα πλούσιο σε ξυλοκάρβουνο που χρησιμοποιείται για εφαρμογή.

Η κατανομή των προϊόντων αυτών είναι σε συνάρτηση ορισμένων λειτουργικών παραμέτρων. Αυτές μπορούν να μεγιστοποιηθούν για την αύξηση της παραγωγής εξανθράκωματος, ελαίου ή αερίου αναλόγως το σκοπό, ενώ για το βιοεξανθράκωμα οι Lua et. al, (2004) συμπεραίνουν ότι η θερμοκρασία πυρόλυσης είναι αυτή που έχει τη μεγαλύτερη σημασία για την απόδοσή του, ενώ ο ρυθμός πυρόλυσης έχει την αμέσως

μεγαλύτερη σημασία. Η παροχή του αερίου και ο χρόνος παραμονής είναι παράγοντες μικρότερης σημασίας σύμφωνα με τα πειραματικά τους αποτελέσματα.

Για την παραγωγή υψηλής απόδοσης βιοεξανθρακώματος, απαιτούνται συγκεκριμένες συνθήκες πυρόλυσης. Ως απόδοση (yield) (%) της πυρόλυσης σε βιο-εξανθράκωμα ορίζεται ο λόγος της παραγόμενης μάζας βιοεξανθρακώματος προς την αρχική μάζα, εκφρασμένη επί τοις εκατό.

Τροποποιημένα βιοεξανθρακώματα

τα τροποποιημένα βιοεξανθρακώματα ήρθαν στο προσκήνιο με σκοπό την παρέμβαση στις φυσικοχημικές ιδιότητες του βιοεξανθρακώματος, κυρίως για την ενίσχυση της προσροφητικής του ικανότητας. Η τροποποίηση αυτή γίνεται με δύο τρόπους, είτε με αλλαγές στην διεργασία παραγωγής είτε με εμποτισμό του υλικού, πριν ή μετά την θερμική επεξεργασία, με τα κατάλληλα χημικά μέσα.

Διάφορες μελέτες έδειξαν ότι καλύτερες και περισσότερες ευεργετικές ιδιότητες βιοεξανθρακώματος έχουμε όταν αυτό έχει ενεργοποιηθεί με ατμό. Τα βιοεξανθρακώματα που έχουν ενεργοποιηθεί με ατμό βρέθηκαν να μειώνουν τις ενεργές ομάδες της επιφάνειας και να βελτιώνουν την προσροφητική τους ικανότητα έναντι των Zn, Cu και των φαινολών.

Επίσης μελέτες έδειξαν ότι χημική ενεργοποίηση με KOH του βιοεξανθρακώματος οδηγεί σε αύξηση του όγκου των πόρων με αποτέλεσμα μεγαλύτερη προσροφητική ικανότητα σε σχέση με το μη ενεργοποιημένο. Οι μελέτες επίσης έδειξαν 100% απομάκρυνση του Cu και Cd.

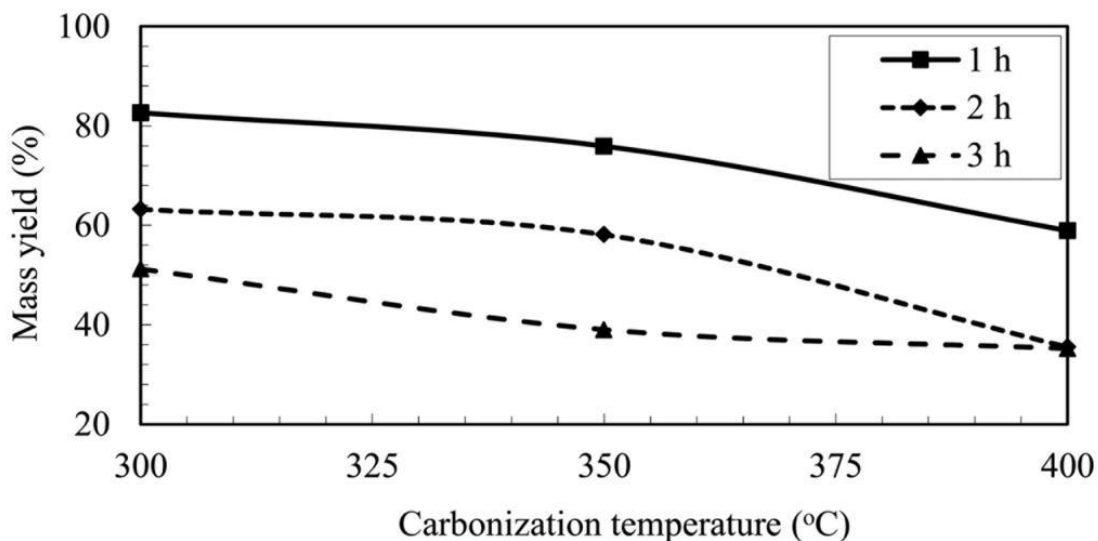
Μια άλλη μέθοδος τροποποίησης είναι η αναερόβια χώνευση της βιομάζας πριν από την πυρόλυση. Η αναερόβια χώνευση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μια νέα μέθοδος ενεργοποίησης για την παραγωγή αποτελεσματικών προσροφητικών υλικών. Τα υλικά που προκύπτουν είναι πολύ αποτελεσματικά στην απομάκρυνση μίγματος βαρέων μετάλλων.

Μία τεχνική τροποποίησης που έχει αρχίσει πρόσφατα, να κερδίζει έδαφος στην επιστημονική κοινότητα είναι η αλλαγή της χημικής σύστασης της επιφάνειας των βιοεξανθρακωμάτων μέσω του εμποτισμού τους με διάφορα χημικά στοιχεία, όπως σίδηρο

(Fe), μαγνήσιο (Mg), αργίλιο (Al) κ.ά, με σκοπό τη βελτίωση της προσροφητικής τους ικανότητας έναντι ορισμένων βαρέων μετάλλων, κατά βάση ανιόνικων. (Αγραφιώτη, 2014)

2.5 Παράγοντες που επηρεάζουν το τελικό προϊόν βιοεξανθρακώματος

Όπως προαναφέρθηκε την πιο σημαντική επίδραση στην απόδοση της διεργασίας σε εξανθράκωμα κατέχει η θερμοκρασία πυρόλυσης. Όταν αυξάνει η θερμοκρασία μειώνεται το στερεό υπόλειμμα, ελαττώνεται το υγρό κλάσμα και αυξάνονται τα αέρια προϊόντα. Για την υψηλή απόδοση εξανθρακώματος απαιτούνται χαμηλές θερμοκρασίες και χαμηλοί ρυθμοί θέρμανσης. Σύμφωνα με τους Masek et al., 2011 σε πειράματα που πραγματοποιήσαν παρατηρήθηκε σημαντική μείωση της απόδοσης, από τους 350°C στους 550°C για διάρκεια πυρόλυσης 60min. Στο Σχήμα 4 παρουσιάζεται η απόδοση βιοεξανθρακώματος ενός είδος γρασιδιού (switchgrass) σε σχέση με τη θερμοκρασία.



(Masek et al., 2011)

Σχήμα 4: Απόδοση βιοεξανθρακώματος σε σχέση με την θερμοκρασία για τρεις διαφορετικούς χρόνους αντίδρασης

Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται πως η θερμοκρασία επηρεάζει την απόδοση της πυρολυόμενης βιομάζας μειώνοντάς την κάποιες φορές έως μέχρι 50%. Ακόμα η απόδοση

δείχνει να μειώνεται όσο αυξάνεται η διάρκεια της πυρόλυσης με υψηλότερη απόδοση βιοεξανθρακώματος στα 60 min.

Κάθε είδος πυρόλυσης διαφοροποιείται κυρίως στο βαθμό πυρόλυσης, για το λόγο αυτό είναι μία από τις παραμέτρους που παίζουν σημαντικό ρόλο στα τελικά προϊόντα που παράγονται. Ο χαμηλός ρυθμός πυρόλυσης ευνοεί την παραγωγή βιοεξανθρακώματος ενώ από την άλλη τα έλαια και τα αέρια ελαχιστοποιούνται.

Αργή πυρόλυση

Η αργή πυρόλυση έχει χρησιμοποιηθεί ως μέσο παραγωγής αλκοόλης, πίσσας και ξυλάνθρακα.

Χαρακτηριστικά της βραδείας πυρόλυσης είναι :

- Μέγιστοι χρόνοι παραμονής στερεών και πτητικών, τυπικά μεγαλύτερο από 5 sec για πτητικά.
- Οι χρόνοι παραμονής στερεών μπορεί να είναι λεπτά, ώρες ή και μέρες.
- Σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες αντιδραστήρα, αλλά όχι κατά ανάγκη λιγότερο από 400°C
- Ατμοσφαιρική πίεση με πολύ χαμηλές ταχύτητες θέρμανσης που κυμαίνονται από 0,01 °C/s έως 2°C/s

Οι John M. Beeckmans et al. 1971, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η παροχή αερίου είναι αυτή που επηρεάζει την περιεκτικότητα του βιοεξανθράκωμα σε άνθρακα, επομένως αποτελεί μια σημαντική παράμετρο για την παραγωγή. Πιο συγκεκριμένα σε πειράματά τους εφαρμόστηκαν 4 διαφορετικές παροχές αδρανούς αερίου κατά τη διάρκεια της πυρόλυσης λημματολάσπης, διατηρώντας σταθερή τη θερμοκρασία πυρόλυσης. Στη συνέχεια προσδιορίστηκε η επί τοις εκατό (%) περιεκτικότητα του βιοεξανθρακώματος σε οργανικό άνθρακα.

Πίνακας 2: Περιεκτικότητα άνθρακα για 4 διαφορετικούς ρυθμούς παροχής αερίου σε θερμοκρασία πυρόλυσης 700oC με χρόνο παραμονής 90min.

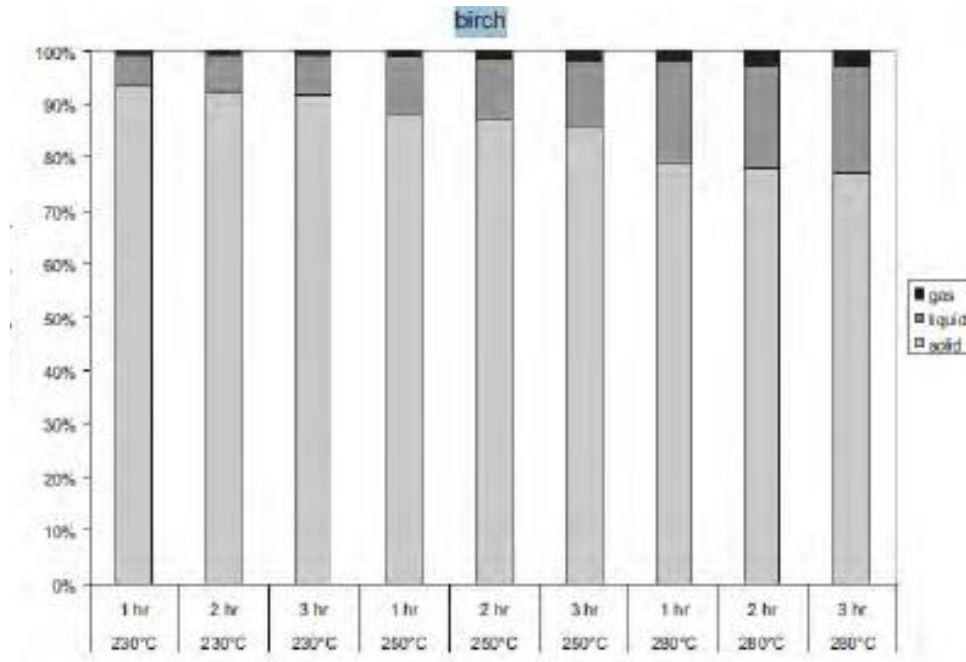
Παροχή αερίου (L/min)	Περιεκτικότητα βιοεξανθρακώματος σε άνθρακα
15	8,5
25	10,2
30	8,4
60	4,1

(Beeckmans et al. 1971)

Η βέλτιστη παροχή αερίου ήταν 25 L/min η οποία είχε ως αποτέλεσμα τη μέγιστη περιεκτικότητα του βιοεξανθράκωμα σε άνθρακα. Η περαιτέρω αύξηση της παροχής προκαλεί αισθητή μείωση στην περιεκτικότητα άνθρακα. (Beeckmans et al. 1971)

Αεριοποίηση της βιομάζας ορίζεται ως η ολική μετατροπή του οργανικού τμήματος του στερεού πρωτογενούς υλικού σε αέριο με θέρμανση και με την παρουσία ενός οξειδωτικού μέσου, όπως ο αέρας, το οξυγόνο ή ο ατμός (Βαμβούκα, 2009). Οι θερμοκρασίες για την αεριοποίηση της βιομάζας είναι υψηλότερες από 900°C και για την βελτίωση της θερμιδικής αξίας του παραγόμενου αερίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί οξυγόνο αντί για αέρα (Παπαγεωργίου, 2010). Η αεριοποίηση αποτελείται από μια σειρά θερμοχημικών φαινομένων, τα οποία λαμβάνουν χώρα σε τρία στάδια : α) ξήρανση, β) πυρόλυση και γ) αεριοποίηση. Στην πραγματικότητα, η αεριοποίηση αποτελεί ένα στάδιο της πυρόλυσης. Όπως και στην πυρόλυση, η περιεκτικότητα σε τέφρα και το μέγεθος των σωματιδίων είναι οι παράγοντες που επηρεάζουν τον σχεδιασμό των συστημάτων αεριοποίησης.

Στα συστήματα αεριοποίησης προβλέπεται και καθαρισμός των παραγόμενων αερίων, καθώς περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις σε αιωρούμενα σωματίδια, αλκαλικές ενώσεις και πίσσα. Οι αλκαλικές ενώσεις, η πίσσα και τα σωματίδια μπορεί να προκαλέσουν διάβρωση των τοιχωμάτων των κυλίνδρων, καθώς επίσης και να οδηγήσουν σε ατελή καύση στους θαλάμους αεριοποίησης, γι' αυτό τον λόγο είναι απαραίτητη η χρήση κυκλώνων, σακκόφιλτρων ή συσκευών διήθησης για τον καθαρισμό των ρύπων.



(Παπαγεωργίου, 2010)

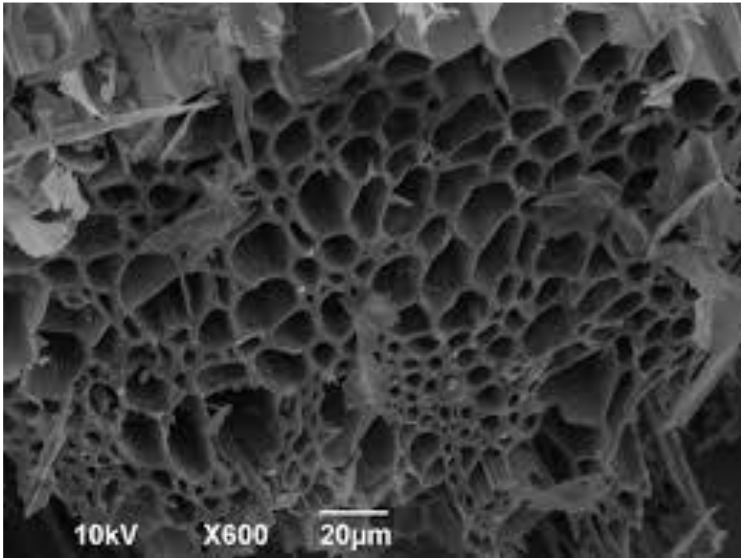
Σχήμα 5: Απόδοση ανθρακοποίησης ξύλου σημύδας μετά από 1,2 και 3 ώρες στους 230°C, 250°C και 280°C

2.6 Επιφάνεια – Πορώδες βιοεξανθρακώματος

Κατά τη διάρκεια της πυρόλυσης, η απώλεια μάζας της πρώτης ύλης στη μορφή πτητικών οργανικών ενώσεων, αφήνει κενά που δημιουργούν ένα εκτεταμένο δίκτυο πόρων και ρωγμών. Έτσι λοιπόν καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται, παράγεται εξανθράκωμα με μεγαλύτερο πορώδες και επιφάνεια. Συνεπώς γίνεται κατανοητό πως οι συνθήκες πυρόλυσης επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό το πορώδες του εξανθρακώματος. Εκτός από τις συνθήκες πυρόλυσης, σημαντικό ρόλο στο πορώδες και στην επιφάνεια παίζει η πρώτη ύλη που χρησιμοποιείται. Για το λόγο αυτό και σύμφωνα με τον Brown et al. 2011, τα βιοεξανθρακώματα χωρίζονται σε:

- Μικροπορώδη (<2nm)
- Μεσοπορώδη (2-50 nm)
- Μακροπορώδη (>50nm)

Ακόμα το μέγεθος των πόρων του βιοεξανθράκωμα επηρεάζει σημαντικά και τις εδαφικές παραμέτρους (κατακράτηση νερού – θρεπτικών), ενώ συνδέονται άμεσα με την ικανότητα προσρόφησης ιχνοστοιχείων και οργανικού υλικού. Για τον προσδιορισμό της επιφάνειας του εξανθράκωματος η κύρια μέθοδος είναι η αέρια απορρόφηση καθώς και η απορρόφηση με N₂ (Ματζαβίνος,

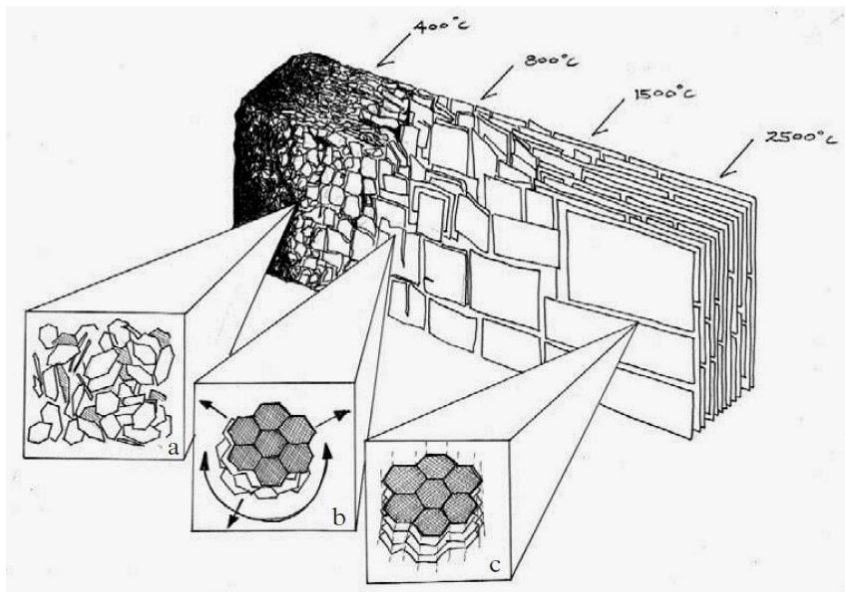


Σχήμα 6: Εικόνα από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο που δείχνει την πορώδη δομή του βιοεξανθράκωματος

2.7 Δομή βιοεξανθράκωματος

Η δομή του βιοεξανθράκωματος είναι γενικά άμορφη στις χαμηλές θερμοκρασίες πυρόλυσης <400°C. Στις υψηλές θερμοκρασίες >700°C δημιουργείται κρυσταλλική δομή με ισχυρά συζευγμένες ενώσεις. Σε ακόμα υψηλότερες θερμοκρασίες η δομή γίνεται γραφιτική με τις συζευγμένες στοίβες αρωματικού άνθρακα να είναι παράλληλες και σχεδόν ευθυγραμμισμένες .

Στο σχήμα 7 φαίνεται αναλυτικά η δομή των βιοεξανθράκωμάτων για θερμοκρασίες από 300°C μέχρι 2500°C.



Σχήμα 7: Ιδανική δομή του βιοεξανθρακώματος σε υψηλές θερμοκρασίες πυρόλυσης
 α) αυξημένη αναλογία αρωματικού άνθρακα σε άμορφη μάζα, β) στοίβες φύλλων συζευγμένου αρωματικού άνθρακα, γ) δομή γραφίτη

2.8 Μέγεθος βιοεξανθρακώματος

Ανάλογα με το είδος της πυρόλυσης και το είδος της βιομάζας, επηρεάζεται το μέγεθος των σωματιδίων του βιοεξανθρακώματος. Όταν εφαρμόζεται ακαριαία πυρόλυση, το βιοεξανθράκωμα αποτελείται από λεπτόκοκκη σκόνη, ενώ στη συμβατική πυρόλυση παράγεται χονδρόκοκκο και μεγάλο σε μέγεθος βιοεξανθράκωμα. Το μέγεθος των σωματιδίων του, παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον σε περίπτωση που πρόκειται να πραγματοποιηθεί εφαρμογή στο έδαφος, καθώς επηρεάζει την επίδρασή του στο έδαφος.
 .(clinical.bioiatriki.gr)

Στις εικόνες 8 & 9 παρουσιάζεται η μορφή που έχει το Βιοεξανθράκωμα από συμβατική και ακαριαία πυρόλυση .(clinical.bioiatriki.gr]:



Σχήμα 8: Συμβατική πυρόλυση



Σχήμα 9: Ακαριαία πυρόλυση

Στην συμβατική πυρόλυση, στους 150°C ξεκινά η ξήρανση της βιομάζας. Μεταξύ 220-250°C τα προϊόντα βρίσκονται σε υγρή φάση περιέχοντας οξειδία του άνθρακα και μικρή συγκέντρωση πίσσας. Η πίσσα παράγεται περίπου στους 280°C. Στους 300°C αρχίζει ο πολυμερισμός της κυτταρίνης και στους 350°C ο σχηματισμός του εξανθράκωματος. Τα κυτταρινικά υλικά είναι κύριες πηγές πτητικών ουσιών, όμως μόνο το 8-15% του βάρους τους μετατρέπεται σε εξανθράκωμα υπό συμβατικές συνθήκες πυρόλυσης, δηλαδή χαμηλό ρυθμό παροχής θερμότητας, ατμοσφαιρική πίεση και μέγιστες θερμοκρασίες μεταξύ 400-450°C

Γενικά θεωρείται ότι όταν το μέγεθος των σωματιδίων αυξάνει, η διαφορά θερμοκρασίας του «πυρήνα» του σωματιδίου και της επιφάνειας μεγαλώνει, με την επιφάνεια προφανώς να έχει υψηλότερη θερμοκρασία. Το γεγονός αυτό πιθανώς να εξηγεί την αύξηση της απόδοσης της πυρόλυσης σε εξανθράκωμα. (Laszlo et al., 1997)

Πρόσθετα πλεονεκτήματα από την υιοθέτηση της χρήσης πυρολυμένης βιομάζας ως μεθόδου για την αποκατάσταση του εδάφους είναι δυνατό να προσδιοριστούν στην εφαρμογή της. Η δυνατότητα *in situ* εφαρμογής της προσφέρει άμεσα οικονομικά και χρονικά οφέλη συγκριτικά με τις *ex situ* μεθόδους. Επιπρόσθετα οικονομικά οφέλη προέρχονται από το τρόπο εφαρμογής της πυρολυμένης βιομάζας. Ο προφανής και απλούστερος τρόπος είναι η απόθεση της κατάλληλης ποσότητας πυρολυμένης βιομάζας στο προς αποκατάσταση έδαφος και ίσως η ανάμειξη του με το έδαφος.

Για την εφαρμογή δεν απαιτείται εξειδικευμένο προσωπικό καθώς και εξειδικευμένος μηχανολογικός εξοπλισμός. Ο απαραίτητος εξοπλισμός μπορεί να είναι ίδιος με αυτόν που χρησιμοποιείται στις γεωργικές εργασίες. Ο παραπάνω τρόπος εφαρμογής είναι πιθανό να

αντιμετωπίσει τη ρύπανση που εμφανίζεται σε σχετικά μικρό βάθος. Για την αντιμετώπιση της ρύπανση σε μεγαλύτερα βάθη θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί η τεχνική της διάνοιξης υδραυλικών ρωγμών η οποία ήδη χρησιμοποιείται για την εφαρμογή άλλων μεθόδων σε μεγάλα βάθη.

Οι δυνατότητες παραγωγής πυρολυμένης βιομάζας με διαφορετικά χαρακτηριστικά καθιστά δυνατή την εξειδίκευση του υλικού με στόχο τη προσαρμογή στα διαφορετικά χαρακτηριστικά της περιοχής και τη καλύτερη δυνατή απόδοση. Η πυρολυμένη βιομάζα μπορεί να συνδυαστεί με διάφορα υλικά όπως οργανική ύλη, άζωτο, φώσφορο και οξείδια του σιδήρου τα οποία παρέχουν τη δυνατότητα προσθήκης συστατικών στο έδαφος για την περαιτέρω αύξηση της βιοποικιλότητας του εδάφους και την ομαλή ανασυγκρότηση των φυτών τα οποία μπορεί να έχουν επηρεαστεί από την τοξικότητα των ρύπων. Τέλος, η δυνατότητα συνεργασίας με άλλες μεθόδους, η χρήση πρώτων υλών οι οποίες υπό διαφορετικές συνθήκες θα κατέληγαν σε χώρους επεξεργασίας απορριμμάτων συμβάλλουν με αυτό το τρόπο στην ανακύκλωση υλικών καθώς χρησιμοποιούνται παραπροϊόντα από διάφορες βιομηχανίες.

Παρά τα εμφανή πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η χρήση πυρολυμένης βιομάζας κρίνεται απαραίτητο να αναφερθούν και οι αρνητικές επιπτώσεις από τη χρήση της. Το πρώιμο στάδιο εξέλιξης της μεθόδου στο οποίο βρίσκεται, ο μεγάλος αριθμός πιθανών συνδυασμών πρώτης ύλης, χαρακτηριστικών της και συνθηκών παραγωγής (Hilber and Bucheli, 2010) καθώς και η έλλειψη εμπειρίας από τους πιθανούς τρόπους εφαρμογής, είναι παράμετροι που δρουν αρνητικά για την εμπορική ανάπτυξη της μεθόδου. Συγκεκριμένα η χρήση διαφορετικών πρώτων υλών για την παραγωγή πυρολυμένης βιομάζας, σε συνάρτηση με την εξάρτηση της ποιότητας και της αποτελεσματικότητας του τελικού προϊόντος από τις πρώτες ύλες δυσχεραίνει σημαντικά την ανταλλαγή πληροφοριών. Είναι χαρακτηριστικό πως ίδια φυτά με διαφορετική προέλευση μπορούν να εμφανίσουν προϊόν με διαφορετικά ποιοτικά χαρακτηριστικά. Οι παράμετροι αυτοί καθιστούν δύσκολη την παραγωγή ενός προϊόντος το οποίο να μπορεί να ανταποκριθεί με επιτυχία σε διαφορετικούς οργανικούς και ανόργανους ρύπους. Συνεπώς για την αποκατάσταση του εδάφους απαιτείται ο προσδιορισμός των ρύπων προς αντιμετώπιση και στη συνέχεια η επιλογή του καταλληλότερου υλικού (Zhang et al., 2013). Η έλλειψη

συγκεκριμένων πληροφοριών σχετικά με τις συνθήκες παραγωγής και η γενικότερη έλλειψη συντονισμού στην παρουσίαση των προϊόντων δυσχεραίνουν την υιοθέτηση της μεθόδου. Ακόμη η αύξηση της ποσότητας του υλικού στο έδαφος με σκοπό τη μείωση της ποσότητας των ρύπων σε μικρότερο χρονικό διάστημα είναι πιθανό να οδηγήσει σε παρατηρήσιμες μεταβολές των φυσικών και χημικών χαρακτηριστικών του εδάφους όπως η διεισδυτικότητα του νερού, το pH, οι οξειδοαναγωγικές συνθήκες κτλ. Επιπλέον μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένη διαθεσιμότητα των θρεπτικών ουσιών επιδρώντας στους μικροοργανισμούς, τα φυτά και γενικότερα στην ποιότητα του εδάφους. Τέλος, είναι πιθανό να μην μπορεί να αντιμετωπίσει ρύπους με πολύ μικρές συγκεντρώσεις και να μην είναι δυνατή η επίτευξη στόχων αν αυτοί απαιτούν το θεωρητικό μηδενισμό της συγκέντρωσης των ρύπων.

Κατά την παρούσα μελέτη για την σπορά των φυτών χρησιμοποιήθηκαν 3 διαφορετικά υποστρώματα των οποίων τα χαρακτηριστικά θα αναλυθούν στο παρακάτω κεφάλαιο.

3. Υποστρώματα καλλιεργειών

Ως υπόστρωμα εννοείται οποιοδήποτε υλικό ή σκεύασμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη φυτών εκτός εδάφους.

Τα υποστρώματα που χρησιμοποιούνται σήμερα στην κηποκομία, μπορούν να χωριστούν σε 3 κατηγορίες:

A) Υποστρώματα για την ανάπτυξη σποροφύτων.

B) Υποστρώματα για την καλλιέργεια κηπευτικών και ανθοκομικών φυτών (δρεπτά λουλούδια).

Γ) Υποστρώματα για την ανάπτυξη καλλωπιστικών φυτών και θάμνων σε δοχεία.

Τη βάση των υποστρωμάτων μπορεί να αποτελέσουν υλικά οργανικής φύσης ή ανόργανης, τα οποία χρησιμοποιούνται είτε μόνα τους είτε σε ανάμειξη μεταξύ τους.

Διάφορα οργανικά υλικά χρησιμοποιούνται για την παρασκευή καλλιεργητικών υποστρωμάτων. Μερικά από αυτά είναι οι πευκοβελόνες, οι τα εξωτερικά τμήματα των

δένδρων, το πριονίδι και πλήθος από υπολείμματα καλλιεργειών οργανικού περιεχομένου όπως φλούδες και φλοιοί. Ωστόσο, η τύρφη είναι το πιο σημαντικό οργανικό υλικό για την παρασκευή υποστρωμάτων.

Τα ανόργανα υλικά που χρησιμοποιούνται είτε μόνα τους, είτε σε ανάμιξη με οργανικά υλικά ως υποστρώματα στις εκτός εδάφους καλλιέργειες έχουν είτε φυσική προέλευση (άμμος) είτε τεχνητή (περλίτης, πετροβάμβακας κ.α.). Όσα έχουν παρασκευαστεί τεχνητά αποτελούν το τελικό αποτέλεσμα της επεξεργασίας διαφόρων φυσικής προέλευσης ανόργανων υλικών.

Συνήθως, η επικράτηση κάποιου συγκεκριμένου υλικού σχετίζεται με την τοπική του διαθεσιμότητα, το κόστος καθώς επίσης και το επίπεδο της τοπικής εμπειρίας στην χρήση τους. Ορισμένα υλικά χρησιμοποιούνται παραδοσιακά για συγκεκριμένες καλλιέργειες.

(Ασημακόπουλος, 2013)

3.1. Έδαφος

Το έδαφος (soil) αποτελεί το ανώτατο στρώμα του φλοιού της γης, δηλαδή το καλλιεργήσιμο επιφανειακό στρώμα σε πάχος 35 έως και 50 cm. Το βρισκόμενο κάτω του εδάφους στρώμα λέγεται υπέδαφος. Το υπέδαφος φτάνει στο 1,5 ως 2 mm., ως εκεί δηλαδή που φθάνουν οι ρίζες των φυτών και μπορεί να πραγματοποιηθεί η γεωργική εκμετάλλευσή του.

Το έδαφος προήλθε από την αποσάθρωση (διάβρωση) των πετρωμάτων της επιφάνειας της Γης και οφείλεται σε φυσικά φαινόμενα όπως η βροχή, η οξείδωση καθώς και στις δραστηριότητες των ζωντανών οργανισμών.

Πιο συγκεκριμένα, αναφορικά με τη χλωρίδα που βρίσκεται στα εδάφη, τα αυτοφυή φυτά (χόρτα, θάμνοι, δέντρα) με τις ρίζες τους το αποσαθρώνουν κάθε μέρα και το πλουτίζουν με τροφές που παίρνουν απ' τον αέρα (άζωτο κλπ.), με τα φύλλα τους και τους κορμούς τους.

Ανάλογα το πλουτίζουν και τα είδη του ζωϊκού βασιλείου. Όσα απ' αυτά ζουν ενδόγεια ζωή δηλαδή εσωτερικά της Γης όπως τα έντομα, το ρηγματώνουν και έτσι τα θρεπτικά συστατικά εισέρχονται ευκολότερα στο έδαφος μεταφέροντας μέσα του οργανικές ουσίες.

Όσα ζουν «υπέργεια» ζωή, το αποσαθρώνουν με τις φωλιές τους, τα σκαλισμάτά τους και το πλουτίζουν με τα υπολείμματα των τροφών τους και με τα κόπρανά τους. Όλες αυτές οι οργανικές ουσίες, που προέρχονται από τους ζωικούς οργανισμούς, παρασέρνονται ευκολότερα από τα νερά των βροχών και αποθέτονται όπου λιμνάζουν τα ρυάκια και οι ποταμοί.

Όλες οι αλλοιώσεις που γίνονται στο έδαφος, μερικές από τις οποίες αναφέρθηκαν και παραπάνω, το κάνουν να διαφέρει από το υπέδαφος και σε συνεκτικότητα και σε απόχρωση. Λίγες βέβαια οργανικές ουσίες παρασύρονται με τα ύδατα και φθάνουν ως το υπέδαφος.

Τα γνωστά καλλιεργήσιμα εδάφη διακρίνονται στις παρακάτω γενικές κατηγορίες:

Αμμώδη

Τα εδάφη αυτά (κύριο συστατικό τους η άμμος) είναι χαλαρά και αφράτα, εύκολα στην καλλιέργεια. Τα φυτά, που δεν έχουν βαθιές ρίζες, δεν βρίσκουν πολλές θρεπτικές ουσίες στα εδάφη αυτά, δε στηρίζονται γερά, όταν φυσά δυνατός άνεμος τα ισοπεδώνει ή τα ξεριζώνει και όταν ανεβαίνει πολύ η θερμοκρασία, παύουν να αναπτύσσονται, αν δεν αφυδατωθούν τελείως.

Αργιλώδη

Σε αυτά πλεονάζει ο άργιλος (χώμα που χρησιμοποιούν στην κεραμοποιία). Τα εδάφη αυτά (κόκκινο χρώμα χώματος) έχουν μεγάλη συνεκτικότητα και δύσκολα περνάνε μέσα τους το νερό, ο ήλιος κι ο αέρας.

Ασβεστολιθικά

Διαθέτουν λευκό χρώμα χώματος και προέρχονται από ασβεστολιθικά πετρώματα κι έχουν τα μειονεκτήματα των αργιλωδών εδαφών. Διορθώνονται, αν τους προστεθεί άμμος ή κοπριά, όπως στα αργιλώδη.

Ανάμεικτα

Τα εδάφη αυτά παρουσιάζεται να έχουν απ' όλα τα κύρια συστατικά (άργιλο, άμμο, ασβέστιο και οργανικές ουσίες). Τα περισσότερα εδάφη που καλλιεργούνται στη Ελλάδα είναι ανάμεικτα.

Αξίζει ακόμη να σημειωθεί πως η εντατική και πολύχρονη καλλιέργεια του εδάφους το εξαντλεί από τις θρεπτικές του ουσίες οι οποίες καταναλώνονται από τα φυτά, γι' αυτό χρειάζεται η ενίσχυση και ο εμπλουτισμός τους με τις παρακάτω μεθόδους:

- Με ζωική λίπανση.
- Με φυτική λίπανση.
- Με χημική λίπανση.
- Με αγρανάπαυση.

Τέλος, τα διάφορα εδάφη εμφανίζουν τόσο πλεονεκτήματα όσο και μειονεκτήματα, τα οποία αναλύονται πιο λεπτομερώς παρακάτω:

Πλεονεκτήματα εδαφικών μειγμάτων

- Το βασικό τους πλεονέκτημα είναι ότι, στην περίπτωση καλής ποιότητας εδάφους, περιέχουν θρεπτικά στοιχεία και η θρέψη των φυτών ιδιαίτερα σε ό,τι αφορά το άζωτο και το φώσφορο είναι εύκολη.
- Τροφοπενίες, ιδιαίτερα σε ότι αφορά στα ιχνοστοιχεία, σπάνια παρουσιάζονται.
- Χάρη στις ρυθμιστικές ιδιότητες των κολλοειδών του εδάφους, αποφεύγονται οι απότομες και απρόβλεπτες μεταβολές στη συμπεριφορά των φυτών.

Μειονεκτήματα εδαφικών μειγμάτων

- Δυσκολία στο να ανιχνευτεί κατάλληλο έδαφος το οποίο να μην προκαλεί προβλήματα, ιδιαίτερα κατά την αποστείρωσή του με υδρατμό.
- Δυσκολία στην εύρεση μεγάλων αποθεμάτων της ίδιας ποιότητας εδάφους για να εξασφαλιστεί η συνεχής παραγωγή της ίδιας ποιότητας μείγματος.
- Το έδαφος πρέπει να διατηρείται υπό ξήρανση και να υποστεί αποστείρωση πριν από τη χρησιμοποίησή του.
- Το παρασκευαζόμενο μείγμα έχει υψηλή πυκνότητα και συνεπώς είναι δύσκολος ο χειρισμός του (ανάμειξη, μεταφορά κ.λ.π.).

- Η παρασκευή του μείγματος θέλει ιδιαίτερη επιμέλεια προκειμένου να επιτευχθεί καλή ανάμειξη.
- Σε μερικές περιπτώσεις και το κόστος παρασκευής είναι υψηλό.

3.2. Τύρφη

Η τύρφη (peat) σχηματίζεται με τη μερική αποδόμηση φυτών που ευδοκιμούν και αναπτύσσονται σε τοποθεσίες με αυξημένη συχνότητα βροχοπτώσεων, αυξημένη ατμοσφαιρική υγρασία και καλοκαιρινή θερμοκρασία που χαρακτηρίζεται σχετικά χαμηλή. Επίσης, παρατηρείται συχνά η τύρφη να αναπτύσσεται πολύ καλά και στο περιβάλλον λιμνών κι ιδιαίτερα στον πυθμένα τους. Σε τέτοιες ελώδεις περιοχές δηλαδή σε βάλτους και στάσιμα τέλματα με ρηχά νερά, με την πάροδο του χρόνου έχουν δημιουργηθεί πλούσιες εκτάσεις από κοιτάσματα τύρφης, στα οποία η τύρφη εξορύσσεται με συγκεκριμένο συνδυασμό επεξεργασιών. Ύστερα, η τύρφη συνήθως συσκευάζεται σε βιομηχανική κλίμακα.

Στην ελληνική χλωρίδα συναντάται η μαύρη τύρφη. Πιο συγκεκριμένα, βρίσκεται στον πυθμένα των λιμνών που έχουν αποξηρανθεί ή σε τόπο ελωδών εκτάσεων.

Όταν συμβαίνει εξόρυξη της τύρφης, από τις εκτάσεις των βορείων ψυχρών περιοχών, αφαιρείται το επάνω στρώμα του εδάφους που φέρει τη βλάστηση και κάτω από αυτήν εξορύσσεται η ξανθιά τύρφη, το υλικό που δεν έχει αποσυνθεθεί σε μεγάλο βαθμό και έχει αρκετούς κενούς χώρους. Στα βαθύτερα στρώματα βρίσκεται σε μεγαλύτερες ποσότητες η μαύρη τύρφη, που είναι περισσότερο αποσυντεθειμένη και έχει σαφώς πιο περιορισμένους κενούς χώρους. Είναι τύρφη κατώτερης ποιότητας και οι ιδιότητες της συνήθως βελτιώνονται εάν υποστεί κατάψυξη.

Η τύρφη είναι γενικά πολύ φτωχή σε θρεπτικά συστατικά, ενώ το pH της κυμαίνεται από 2 έως και 4.

(Puustjarvi and Robertson, 1975)



Σχήμα10. Τύρφη, είδος *Sphagnum Moss*.

3.3. Περλίτης

Ο περλίτης αποτελεί ένα ηφαιστειακό, υαλώδες, αργιλλοπυριτικό πέτρωμα προερχόμενο από όξινη λάβα που εκχύθηκε επιφανειακά ή υποθαλάσσια και η οποία ύστερα ψύχθηκε και στερεοποιήθηκε ταχύτατα.

Οι συνθήκες ψύξης και στερεοποίησής του είναι τέτοιες που δεν επιτρέπουν στα άτομα του να τοποθετηθούν σε σχηματισμούς κρυσταλλικού πλέγματος (matrix), γεγονός που έδωσε τον χαρακτηριστικό υαλώδη ιστό στον περλίτη. Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας που έχει επιδράσει στο σχηματισμό του περλίτη είναι η παρουσία νερού και διαφόρων αερίων που παγιδεύονται στη μάζα του τη στιγμή ψύξης και στερεοποίησης του.

Το υαλώδες αυτό ορυκτό που έχει λάμψη όμοια με το μαργαρίτη (pearl), (εξ ου και το όνομα περλίτης) είναι λευκού χρώματος..

Ο περλίτης περιέχει 2 - 6% κρυσταλλικό νερό και όταν θερμανθεί γρήγορα διογκώνεται σε μια αφρώδη μάζα τουλάχιστον 10-20 φορές μεγαλύτερη από τον αρχικό της όγκο. Η ιδιότητα του αυτή χρησιμοποιείται από τη βιομηχανία για τη δημιουργία ενός κοκκώδους υλικού με πλούσιο πορώδες, το οποίο έχει μεγάλη ικανότητα συγκράτησης νερού, συνθήκη

που τον καθιστά ιδιαίτερα χρήσιμο και δημοφιλή σε πολλές εφαρμογές όπως και η χρήση του ως υπόστρωμα καλλιεργειών.

3.4 Διατήρηση συνθηκών υγρασίας και θερμοκρασίας

Κατά την διάρκεια της παρούσας μελέτης ήταν απαραίτητο να διατηρούνται σταθερές οι συνθήκες υγρασίας και θερμοκρασίας για την βέλτιστη ανάπτυξη των φυτών. Η κατάλληλη μέθοδος για την σταθεροποίηση των συνθηκών ήταν η υδροεκνέφωση. Παρακάτω αναλύονται τα χαρακτηριστικά αυτής της μεθόδου.

Υδροεκνέφωση ή υδρονέφωση είναι ένα από τα συνηθέστερα συστήματα ψύξης στα φυτά καλλιέργειας στο θερμοκήπιο.

Με το σύστημα αυτό εκτοξεύονται πολύ λεπτές σταγόνες νερού στο χώρο του θερμοκηπίου πάνω από τα φυτά από ειδικούς εκτοξευτές (μπεκ). Η εκτόξευση γίνεται με σύστημα αντλιών και σωλήνων, που φέρουν τα ακροφύσια.

Καλύτερα αποτελέσματα δίνει η εφαρμογή υψηλής πίεσης, η οποία δημιουργεί σταγόνες διαμέτρου < 30μ, που εξατμίζονται αμέσως μειώνοντας τη θερμοκρασία κατά 5 – 14°C. Αντίθετα, οι μεγαλύτερες σταγόνες που δημιουργεί η χαμηλή πίεση μειώνουν τη θερμοκρασία μόνο κατά 2,5°C.

Η λειτουργία του συστήματος ελέγχεται από θερμοστάτες και χρονόμετρα ή από ηλεκτρονικά φύλλα. Το νερό πρέπει να μην περιέχει άλατα γιατί προκαλεί τοξικότητα στα φυτά, φραγή στα μπεκ, καταστροφή των σωλήνων και προβλήματα στην λειτουργία των ηλεκτρονικών φύλλων.

Κρίνεται σημαντικό να σημειωθεί πως το σύστημα ομίχλης είναι κατάλληλο ιδιαίτερα για τα ριζωτήρια γιατί εκτός από μείωση της θερμοκρασίας εξασφαλίζει και τις ιδανικότερες συνθήκες υγρασίας. Χρησιμοποιείται επίσης σε καλλιέργειες ανθοκομικών για κομμένα λουλούδια. (Θεοδωρακόπουλος, 2003)

4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

4.1 Υλικά και μέθοδοι

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι να αναλυθεί η δραστηριότητα του βιοεξανθρακώματος ως λίπασμα/ ενισχυτής χρώματος για την ανάπτυξη ρόκας. Το βασικό υλικό, το βιοεξανθράκωμα, παραλήφθηκε από εγκατάσταση επεξεργασίας δέρματος. Τα υπολείμματα δέρματος μετά από καύση τους 14 ώρες (άσπρου χρώματος βιοεξανθράκωμα) και μετά από 2 ώρες (μαύρου χρώματος βιοεξανθράκωμα) ήταν έτοιμα για περαιτέρω επεξεργασία.

Κατά την διεκπεραίωση της πειραματικής διαδικασίας έγιναν δύο κατηγοριών πειράματα. Το πρώτο πείραμα αφορούσε το χρονικό διάστημα από την φύτευση των σπόρων μέχρι την μεταφύτευση και είχε σκοπό τον προσδιορισμό βιοεξανθρακώματος με τις βέλτιστες ιδιότητες. Το δεύτερο πείραμα μελετάτε την περίοδο μετά την μεταφύτευση των φυτών και μέχρι την συγκομιδή τους και είχε σκοπό την διερεύνηση της βέλτιστης αναλογίας βιοεξανθρακώματος-υποστρώματος.

Για την διεξαγωγή της πειραματικής διαδικασίας χρησιμοποιήθηκαν τα ακόλουθα:

- Υλικό εξέτασης: 2 δείγματα βιοεξανθρακωμάτων (A, M)
- Άλεση και κοσκίνηση σε μέγεθος 0,5 mm
- Υποστρώματα (πρότυπο δείγμα εδάφους, τύρφη – περλίτης 1:2, εμπορικό υπόστρωμα κομποστοποίησης– άμμος 1:4)
- Σπόροι φυτού *Eruca Sativa*

Τα αρχικά στάδια επεξεργασίας του βιοεξανθρακώματος ήταν η άλεση και η κοσκίνηση. Η άλεση έγινε χειροκίνητα με γουδί ενώ η κοσκίνηση με μηχάνημα κοσκίνησης 5 κόσκινων με άνοιγμα οπών 1 mm, 0,5 mm, 0,25mm 0,125mm και 0,063 mm και δονούμενο. Κατά την διάρκεια της κοσκίνησης όλα τα κλάσματα παραλαμβάνονταν και αποθηκεύονταν για την επόμενη χρήση τους, εκτός από το πρώτο κλάσμα (>1mm) το οποίο ξανά αλέθονταν και κοσκινιζόταν από την αρχή μέχρις ότου το ποσοστό του ήταν αμελητέο. Αυτή η διαδικασία επαναλήφθηκε δύο φορές και για τα δύο βιοεξανθρακώματα, άσπρο και μαύρο. Παραλήφθηκαν όλα τα κλάσματα και χρησιμοποιήθηκαν για εμπλουτισμό των υποστρωμάτων.

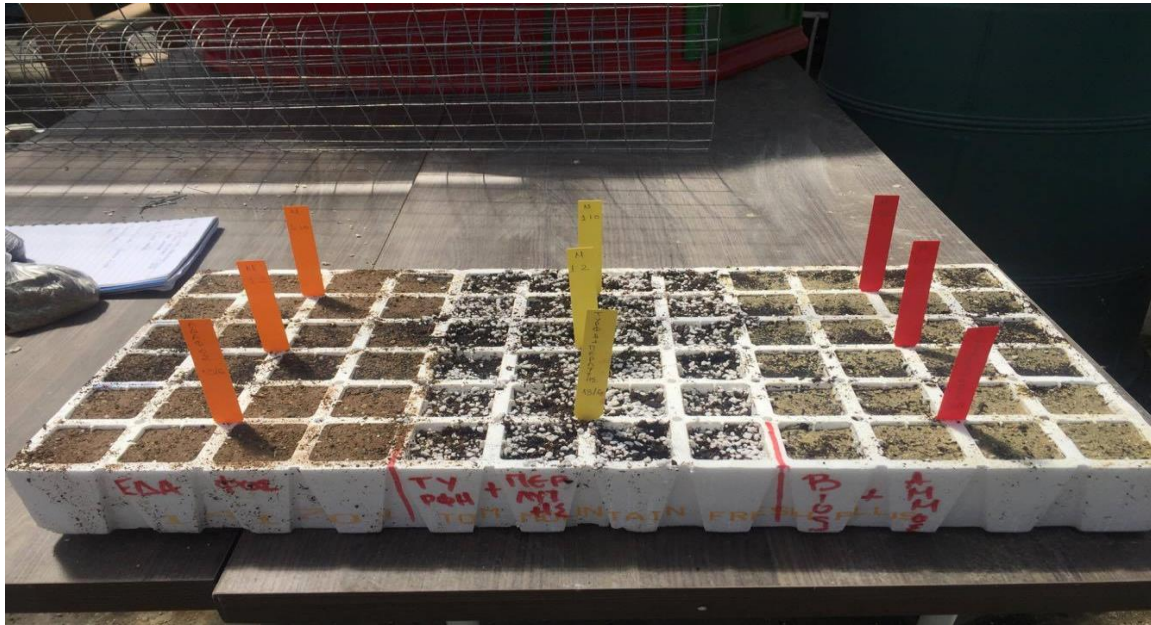
Στην συνέχεια επιλέχθηκαν τρία υποστρώματα για την καλλιέργεια των φυτών όπου και συλλέχθηκαν σε μεγάλες ποσότητες για την πλήρη κάλυψη της διεργασίας φυτέματος και μεταφύτευσης. Τα υποστρώματα που επιλέχθηκαν είναι το πρότυπο δείγμα εδάφους, τύρφη-περλήτης με αναλογία 1:2 αντίστοιχα και εμπορικό υπόστρωμα κομποστοποίησης-άμμος με αναλογία 1:4 αντίστοιχα.

Για την φύτευση των σπόρων ρόκας χρησιμοποιήθηκαν 2 τελάρα φελιζόλ με 72 θέσεις στο καθένα ένα για το κάθε βιοεξανθράκωμα.



Σχήμα11: Τελάρα που χρησιμοποιήθηκαν και σηματοδοτήθηκαν

Το κάθε τελάρο χωρίστηκε σε τρία ίσα κομμάτια. 24 θέσεις για το κάθε υπόστρωμα ξεχωριστά. Το κάθε υπόστρωμα χωρίστηκε επίσης σε 3 ίσα κομμάτια καθώς το βιοεξανθράκωμα μπήκε σε διαφορετικές αναλογίες. Σε κάθε υπόστρωμα υπήρχε το τυφλό όπου εκεί δεν υπήρχε καθόλου ποσότητα του βιοεξανθρακώματος και ήταν μόνο πρότυπο δείγμα εδάφους, τύρφη-περλήτης και εμπορικό υπόστρωμα κομποστοποίησης-άμμος. Το τυφλό κάθε υποστρώματος καταλάμβανε 8 θέσεις. Η επόμενη αναλογία βιοεξανθρακώματος-υποστρώματος είναι 1:2 αντίστοιχα και καταλάμβανε και αυτή η αναλογία 8 θέσεις. Οι υπόλοιπες 8 θέσεις που απομένουν χρησιμοποιούν την αναλογία



Σχήμα12: Γέμισμα των θέσεων με υποστρώματα και αναλογίες του βιοεξανθρακώματος.

Οι ίδιες αναλογίες χρησιμοποιήθηκαν και στο δεύτερο βιοεξανθράκωμα.

Πρότυπο δείγμα εδάφους- biochar (10:1)	Τύρφη/περλήτης-biochar (10:1)	Άμμος/biosolids-biochar (10:1)
Πρότυπο δείγμα εδάφους – biochar (2:1)	Τύρφη/περλήτης-biochar (2:1)	Άμμος/biosolids-biochar (2:1)
Πρότυπο δείγμα εδάφους (τυφλό)	Τύρφη/περλήτης (τυφλό)	Άμμος/biosolids (τυφλό)

Σχήμα 13 : Σχηματική απεικόνιση του διαχωρισμού των θέσεων.

Τα μίγματα φτιάχτηκαν και υπολογίστηκαν σύμφωνα με την ποσότητα που χρειάστηκε και στην μεταφύτευση. Οι ποσότητες υπολογίστηκαν με γυάλινο περιέκτη των 250 mL και οι γλάστρες 1lt που χρησιμοποιήθηκαν χρειάστηκαν 3 γυάλινοι περιέκτες μίγματος για την πλήρωση τους. Κατά την μεταφύτευση θα χρησιμοποιηθούν και οι 8 δοκιμές ανά υπόστρωμα και ανά αναλογία υποστρώματος και βιοεξανθρακώματος. Έτσι υπολογίστηκαν οι ποσότητες που θα χρειαστούν. Σύμφωνα με τα παραπάνω και με το γεγονός ότι κάθε

οκτάδα θέσεων θέλει περίπου 3 γυάλινους περιέκτες μίγματος, έχουμε τις εξής ποσότητες υποστρωμάτων:

Πίνακας 3: ποσότητες υποστρωμάτων για την πειραματική διαδικασία

Υπόστρωμα	Γυάλινοι περιέκτες
Πρότυπο δείγμα εδάφους	72
Τύρφη- περλίτης (1:2)	24 τύρφη- 40 περλίτη
Εμπορικό υπόστρωμα κομποστοποίησης- άμμος (1:4)	15 εμπορικό υπόστρωμα κομποστοποίησης- 57 άμμος

Η ποσότητα των δύο τύπων βιοεξανθρακωμάτων θα είναι 40 γυάλινοι περιέκτες έκαστος.

Η διαδικασία της φύτευσης έχει ως εξής:

- Αρχικά σηματοδοτήθηκαν και διαχωρίστηκαν τα φελιζόλ σύμφωνα με τις παραπάνω πληροφορίες που δόθηκαν.
- Έπειτα γεμίσθηκαν οι θέσεις με τα μίγματα που φτιάχτηκαν.
- Έγινε διαβροχή των υποστρωμάτων και υπήρχε μικρή αναμονή έως ότου αποστραγγίσουν λίγο τα υποστρώματα.
- Στην συνέχεια ανοίχτηκαν τρύπες ακριβώς στο κέντρο κάθε θέσης βάθους, το πολύ, 2,5 cm με την βοήθεια ενός μολυβιού



Σχήμα 14: Άνοιγμα τρυπών στα υποστρώματα με την βοήθεια ενός μολυβιού.

- Τοποθετήθηκαν σε αυτές 5-6 σπόροι του φυτού ρόκας
- Έπειτα οι σπόροι καλύφθηκαν και έγινε και πάλι διαβροχή τους.
- Στην συνέχεια τα φελιζόλ τοποθετήθηκαν σε υδρονέφωση
- Παρακολουθήσεις γινόντουσαν 1-2 φορές την εβδομάδα και πάρθηκαν μετρήσεις για το ύψος του βλαστού, το πλάτος και το μήκος των φύλλων της ρόκας.
- Αυτή η διαδικασία επαναλήφθηκε δύο φορές, για το άσπρο και το μαύρο βιοεξανθράκωμα, αντίστοιχα.

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Μετά από την διαδικασία της φύτευσης των σπόρων γινόντουσαν τακτικές μετρήσεις στον αριθμό, το ύψος και το πλάτος φύλλων των φυτών. Έπειτα από 30 μέρες ολοκληρώθηκε η διαδικασία παρακολούθησης των φυτών και υπολογίστηκε ο μέσος όρος του ύψους των φυτών και ο μέσος όρος του πλάτους των φύλλων. Τα αποτελέσματα που προαναφέρθηκαν αναλύονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4: Πίνακας αποτελεσμάτων από την σπορά μέχρι πριν την μεταφύτευση

	Biochar	Υπόστρωμα	Χρώμα Biochar	N	Μέσο ύψος (cm)	Μέσο πλάτος φύλλων (cm)
1	1:10	Έδαφος	Λευκό	1	3,500	0,575
2	1:10	Έδαφος	Λευκό	3	3,000	0,625
3	1:10	Έδαφος	Λευκό	4	6,150	0,825
4	1:10	Έδαφος	Λευκό	2	4,300	0,825
5	1:10	Έδαφος	Λευκό	2	5,400	0,550
6	1:10	Έδαφος	Λευκό	2	5,200	1,025
7	1:10	Έδαφος	Λευκό	2	4,050	0,800
8	1:10	Έδαφος	Λευκό	2	6,850	0,850
9	1:2	Έδαφος	Λευκό	3	4,530	0,700
10	1:2	Έδαφος	Λευκό	5	5,240	0,750
11	1:2	Έδαφος	Λευκό	2	5,650	0,300
12	1:2	Έδαφος	Λευκό	1	1,100	0,400
13	1:2	Έδαφος	Λευκό	3	6,070	0,875
14	1:2	Έδαφος	Λευκό	3	6,170	0,875
15	1:2	Έδαφος	Λευκό	2	5,350	0,950
16	1:2	Έδαφος	Λευκό	1	7,400	0,875
17	τυφλό	Έδαφος	Λευκό	4	3,950	0,800
18	τυφλό	Έδαφος	Λευκό	2	7,400	1,125
19	τυφλό	Έδαφος	Λευκό	5	6,440	0,875
20	τυφλό	Έδαφος	Λευκό	2	3,450	0,425
21	τυφλό	Έδαφος	Λευκό	3	4,370	0,950
22	τυφλό	Έδαφος	Λευκό	1	8,000	0,950
23	τυφλό	Έδαφος	Λευκό	5	4,780	0,850
24	1:10	Έδαφος	Μαύρο	2	3,750	0,900
25	1:10	Έδαφος	Μαύρο	3	6,170	0,840
26	1:10	Έδαφος	Μαύρο	1	7,300	0,950
27	1:10	Έδαφος	Μαύρο	1	5,500	0,900

28	1:10	Έδαφος	Μαύρο	1	7,900	*
29	1:10	Έδαφος	Μαύρο	1	6,500	1,150
30	1:10	Έδαφος	Μαύρο	3	5,070	0,900
31	1:2	Έδαφος	Μαύρο	1	7,500	1,080
32	1:2	Έδαφος	Μαύρο	1	7,000	0,850
33	1:2	Έδαφος	Μαύρο	1	6,000	0,900
34	1:2	Έδαφος	Μαύρο	2	5,850	0,870
35	1:2	Έδαφος	Μαύρο	1	9,000	*
36	τυφλό	Έδαφος	Μαύρο	3	4,670	1,080
37	τυφλό	Έδαφος	Μαύρο	1	6,500	1,125
38	τυφλό	Έδαφος	Μαύρο	3	4,500	0,817
39	τυφλό	Έδαφος	Μαύρο	1	7,500	1,130
40	1:10	Τύρφη & περλίτης	Λευκό	3	5,100	0,725
41	1:10	Τύρφη & περλίτης	Λευκό	3	4,570	0,800
42	1:10	Τύρφη & περλίτης	Λευκό	4	4,375	0,700
43	1:10	Τύρφη & περλίτης	Λευκό	2	5,950	0,975
44	1:10	Τύρφη & περλίτης	Λευκό	3	4,370	0,775
45	1:10	Τύρφη & περλίτης	Λευκό	3	6,300	0,775
46	1:10	Τύρφη & περλίτης	Λευκό	1	5,000	0,700
47	1:10	Τύρφη & περλίτης	Λευκό	4	4,975	0,725
48	1:2	Τύρφη & περλίτης	Λευκό	2	6,300	0,700

49	1:2	Τύρφη & περλίτης	Λευκό	5	6,420	0,600
50	1:2	Τύρφη & περλίτης	Λευκό	3	6,630	0,600
51	1:2	Τύρφη & περλίτης	Λευκό	1	6,200	0,900
52	1:2	Τύρφη & περλίτης	Λευκό	2	5,750	0,925
53	1:2	Τύρφη & περλίτης	Λευκό	3	5,870	0,575
54	1:2	Τύρφη & περλίτης	Λευκό	3	4,670	0,850
55	1:2	Τύρφη & περλίτης	Λευκό	2	5,400	0,700
56	τυφλό	Τύρφη & περλίτης	Λευκό	4	5,475	0,850
57	τυφλό	Τύρφη & περλίτης	Λευκό	2	5,800	0,850
58	τυφλό	Τύρφη & περλίτης	Λευκό	3	5,570	0,675
59	τυφλό	Τύρφη & περλίτης	Λευκό	3	5,430	0,800
60	τυφλό	Τύρφη & περλίτης	Λευκό	3	7,530	1,050
61	τυφλό	Τύρφη & περλίτης	Λευκό	5	6,160	0,725
62	τυφλό	Τύρφη & περλίτης	Λευκό	3	4,870	0,550
63	τυφλό	Τύρφη & περλίτης	Λευκό	3	5,230	0,575
64	1:10	Τύρφη & περλίτης	Μαύρο	1	4,800	0,700

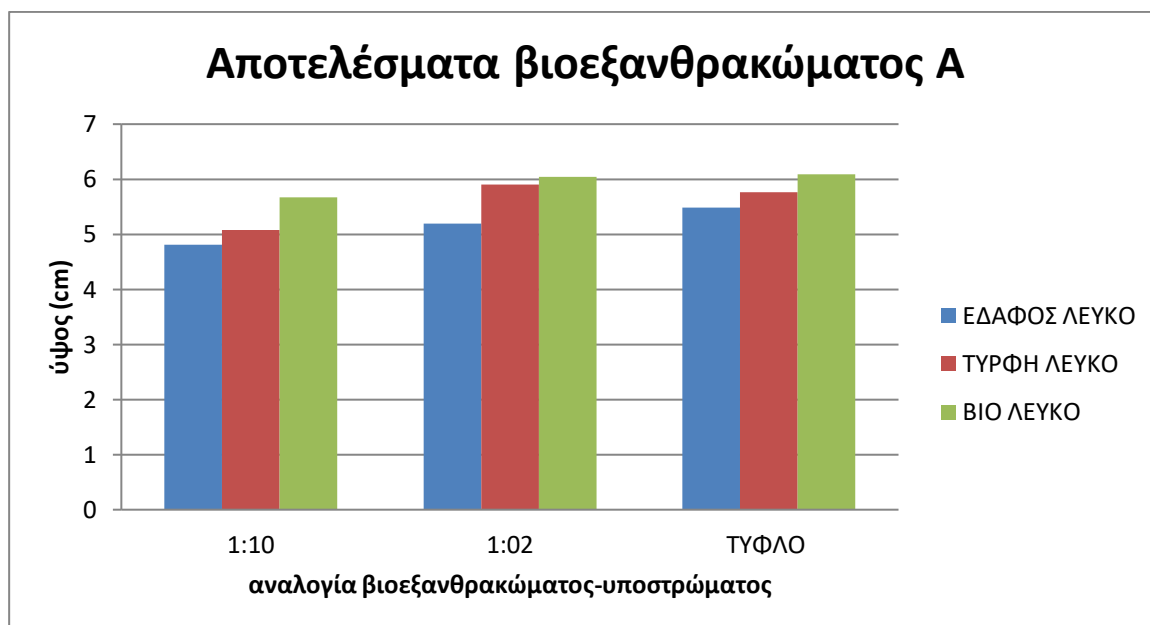
		περλίτης				
65	1:10	Τύρφη & περλίτης	Μαύρο	1	5,700	0,830
66	1:10	Τύρφη & περλίτης	Μαύρο	1	7,000	0,900
67	1:2	Τύρφη & περλίτης	Μαύρο	1	6,000	0,875
68	1:2	Τύρφη & περλίτης	Μαύρο	1	4,100	0,800
69	τυφλό	Τύρφη & περλίτης	Μαύρο	1	5,600	0,900
70	τυφλό	Τύρφη & περλίτης	Μαύρο	1	6,200	0,950
71	τυφλό	Τύρφη & περλίτης	Μαύρο	1	5,100	0,900
72	τυφλό	Τύρφη & περλίτης	Μαύρο	2	5,550	0,925
73	τυφλό	Τύρφη & περλίτης	Μαύρο	1	5,900	0,800
74	1:10	Biosolids & άμμος	Λευκό	4	6,225	0,800
75	1:10	Biosolids & άμμος	Λευκό	1	4,700	0,725
76	1:10	Biosolids & άμμος	Λευκό	1	6,200	1,100
77	1:10	Biosolids & άμμος	Λευκό	5	5,900	0,850
78	1:10	Biosolids & άμμος	Λευκό	3	7,030	0,900
79	1:10	Biosolids & άμμος	Λευκό	2	3,950	0,575

		άμμος				
80	1:2	Biosolids & άμμος	Λευκό	4	6,500	0,700
81	1:2	Biosolids & άμμος	Λευκό	1	7,200	0,875
82	1:2	Biosolids & άμμος	Λευκό	1	5,600	0,850
83	1:2	Biosolids & άμμος	Λευκό	4	4,675	0,875
84	1:2	Biosolids & άμμος	Λευκό	4	4,375	0,675
85	1:2	Biosolids & άμμος	Λευκό	3	5,730	0,775
86	1:2	Biosolids & άμμος	Λευκό	3	7,170	1,050
87	1:2	Biosolids & άμμος	Λευκό	1	7,100	0,750
88	τυφλό	Biosolids & άμμος	Λευκό	5	5,740	0,650
89	τυφλό	Biosolids & άμμος	Λευκό	4	6,875	0,775
90	τυφλό	Biosolids & άμμος	Λευκό	2	5,500	0,550
91	τυφλό	Biosolids & άμμος	Λευκό	3	4,970	0,850
92	τυφλό	Biosolids & άμμος	Λευκό	5	5,440	0,725
93	τυφλό	Biosolids & άμμος	Λευκό	3	6,600	0,975
94	τυφλό	Biosolids &	Λευκό	1	7,500	1,200

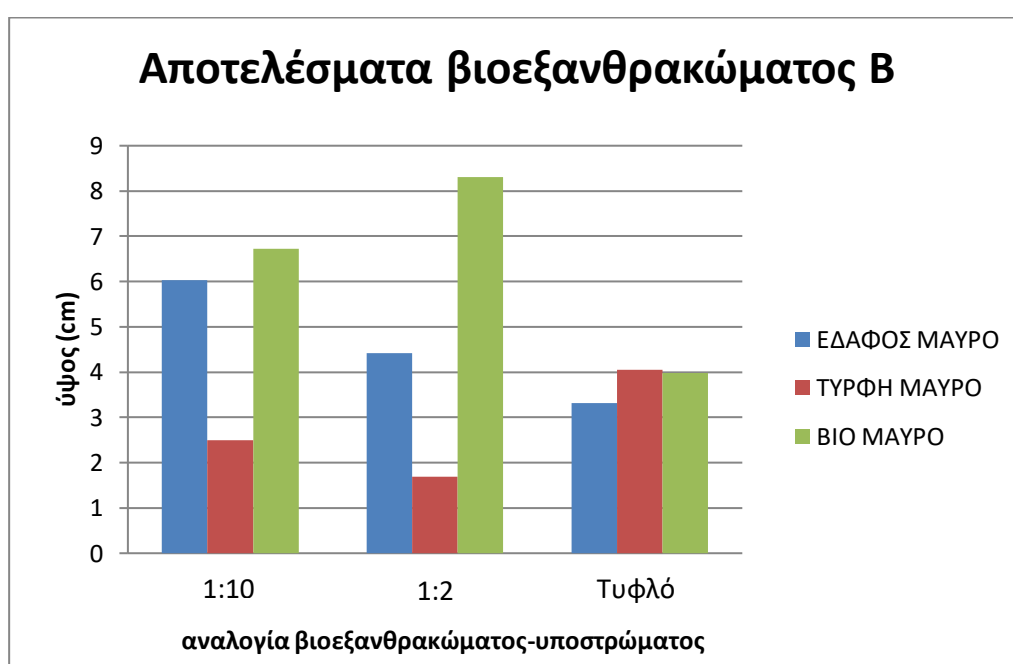
		άμμος				
95	1:10	Biosolids & άμμος	Μαύρο	1	7,900	1,100
96	1:10	Biosolids & άμμος	Μαύρο	1	8,400	1,400
97	1:10	Biosolids & άμμος	Μαύρο	1	5,700	0,770
98	1:10	Biosolids & άμμος	Μαύρο	1	4,300	1,540
99	1:10	Biosolids & άμμος	Μαύρο	2	7,300	1,110
100	1:2	Biosolids & άμμος	Μαύρο	1	9,600	*
101	1:2	Biosolids & άμμος	Μαύρο	1	8,000	1,280
102	1:2	Biosolids & άμμος	Μαύρο	1	9,300	1,400
103	1:2	Biosolids & άμμος	Μαύρο	1	7,800	1,067
104	1:2	Biosolids & άμμος	Μαύρο	1	8,900	1,240
105	1:2	Biosolids & άμμος	Μαύρο	2	6,250	0,925
106	τυφλό	Biosolids & άμμος	Μαύρο	3	6,670	0,810
107	τυφλό	Biosolids & άμμος	Μαύρο	1	8,200	1,050
108	τυφλό	Biosolids & άμμος	Μαύρο	1	5,600	0,900
109	τυφλό	Biosolids &	Μαύρο	1	7,350	1,160

		άμμος				
--	--	-------	--	--	--	--

Η διαφορά στον αριθμό των μετρήσεων που υπήρχε είναι γιατί σε κάποιες από τις δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν δεν υπήρξε κάποια ανάπτυξη του φυτού. Σύμφωνα με τις παραπάνω μετρήσεις παρελήφθησαν τα εξής αποτελέσματα:



Σχήμα 15: Σύγκριση υποστρωμάτων λευκού βιοεξανθρακώματος σε σχέση με την αναλογία του μέσα σε αυτά.



Σχήμα 16: Σύγκριση υποστρωμάτων μαύρου βιοεξανθρακώματος σε σχέση με την αναλογία του μέσα σε αυτά

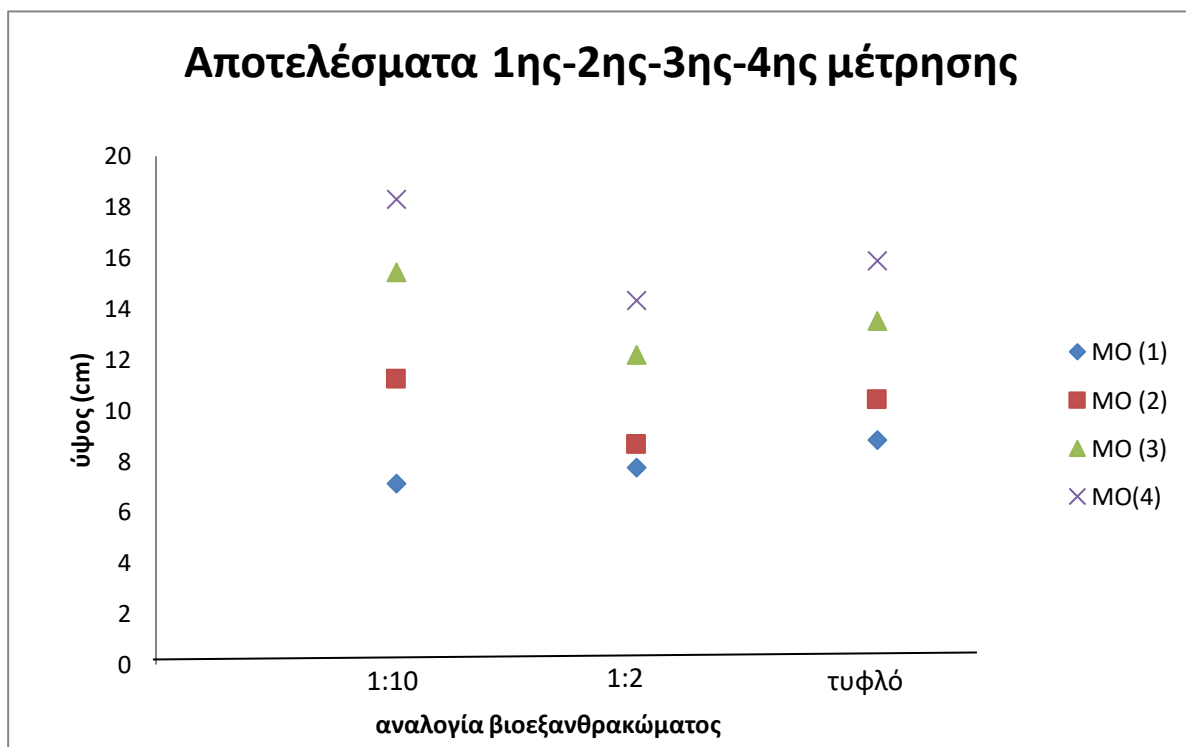
Όταν τα φυτά είχαν το κατάλληλο μέγεθος, χωρίς να υποστούν κάποιο τραυματισμό, μεταφυτεύτηκαν σε γλάστρες για την καλύτερη ανάπτυξη τους. Για την μεταφύτευση χρησιμοποιήθηκαν τα ήδη έτοιμα υποστρώματα από την διαδικασία της φύτευσης. Στην μεταφύτευση αποφασίστηκε να μελετηθεί η ανάπτυξη σε ένα μόνο κοινό υπόστρωμα και σε ένα μόνο από τα δύο βιοεξανθρακώματα. Το υπόστρωμα που επιλέχθηκε ήταν το τύρφη- περλίτης καθώς είναι το πλέον συνηθέστερο υπόστρωμα στην αγορά και το βιοεξανθράκωμα που επιλέχθηκε ήταν το λευκό καθώς είχε πιο σταθερά αποτελέσματα. Έτσι παρελήφθησαν τα παρακάτω αποτελέσματα μετρήσεων μετά την μεταφύτευση:

Πίνακας 5: Πίνακας αποτελεσμάτων από την μεταφύτευση έως την συγκομιδή

A/A	Biochar	Date	N	Μέσο ύψος (cm)	Μέσο πλάτος φύλλων (cm)
4	1:10	1η μέτρηση	2	6,300	1,366
5	1:10	1η μέτρηση	3	6,930	1,541
6	1:10	1η μέτρηση	3	7,266	0,962
7	1:10	1η μέτρηση	1	8,600	1,800
8	1:10	1η μέτρηση	4	6,525	1,335
9	1:2	1η μέτρηση	2	7,500	1,250
11	1:2	1η μέτρηση	3	6,900	1,033
13	1:2	1η μέτρηση	2	6,850	1,142
15	1:2	1η μέτρηση	1	9,600	1,500
16	1:2	1η μέτρηση	2	7,900	1,370
17	τυφλό	1η μέτρηση	3	7,466	1,650
18	τυφλό	1η μέτρηση	2	10,000	1,290
19	τυφλό	1η μέτρηση	3	8,866	1,386
21	τυφλό	1η μέτρηση	3	8,700	1,615
23	τυφλό	1η μέτρηση	2	9,133	1,269

25	1:10	2η μέτρηση	1	10,600	2,528
26	1:10	2η μέτρηση	3	9,600	1,883
28	1:10	2η μέτρηση	2	10,750	1,500
30	1:10	2η μέτρηση	3	13,866	1,853
32	1:10	2η μέτρηση	4	11,350	1,735
33	1:2	2η μέτρηση	2	9,050	1,395
34	1:2	2η μέτρηση	2	8,550	1,425
37	1:2	2η μέτρηση	2	8,850	1,388
38	1:2	2η μέτρηση	2	8,100	1,107
40	1:2	2η μέτρηση	2	8,700	1,666
42	τυφλό	2η μέτρηση	2	11,750	1,680
43	τυφλό	2η μέτρηση	3	10,666	1,870
44	τυφλό	2η μέτρηση	3	8,650	1,584
45	τυφλό	2η μέτρηση	3	10,666	2,088
48	τυφλό	2η μέτρηση	2	10,300	1,652
50	1:10	3η μέτρηση	3	13,000	2,380
51	1:10	3η μέτρηση	3	13,550	2,291
53	1:10	3η μέτρηση	3	14,330	2,820
54	1:10	3η μέτρηση	3	17,450	2,005
55	1:10	3η μέτρηση	1	18,800	2,427
57	1:2	3η μέτρηση	2	11,850	1,752
60	1:2	3η μέτρηση	1	10,800	1,116
61	1:2	3η μέτρηση	2	11,650	1,630
62	1:2	3η μέτρηση	2	9,233	1,294
63	1:2	3η μέτρηση	1	17,400	1,854
65	τυφλό	3η μέτρηση	2	11,130	2,152
66	τυφλό	3η μέτρηση	2	14,900	1,800
68	τυφλό	3η μέτρηση	3	12,500	2,415
70	τυφλό	3η μέτρηση	2	13,450	1,938
71	τυφλό	3η μέτρηση	2	15,533	2,588
76	1:10	4η μέτρηση	2	15,550	3,080

77	1:10	4η μέτρηση	3	18,900	2,870
78	1:10	4η μέτρηση	3	19,430	2,600
79	1:10	4η μέτρηση	1	21,600	3,700
80	1:10	4η μέτρηση	4	16,025	2,600
81	1:2	4η μέτρηση	2	14,450	2,020
82	1:2	4η μέτρηση	2	11,750	2,200
84	1:2	4η μέτρηση	1	11,880	1,440
85	1:2	4η μέτρηση	2	13,800	2,350
87	1:2	4η μέτρηση	1	19,700	2,030
89	τυφλό	4η μέτρηση	2	12,570	2,290
90	τυφλό	4η μέτρηση	2	17,200	2,080
91	τυφλό	4η μέτρηση	2	17,330	2,220
93	τυφλό	4η μέτρηση	3	14,970	2,680
95	τυφλό	4η μέτρηση	2	17,300	2,600



Σχήμα 17: Διάγραμμα διασποράς της ανάπτυξης των φυτών σε συνάρτηση με την αναλογία βιοεξανθρακώματος.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν μετά την εκπόνηση των παραπάνω πειραμάτων είναι ότι στο αρχικό στάδιο, πριν την μεταφύτευση, παρατηρείται μεγαλύτερη ανάπτυξη των φυτών στο εμπορικό υπόστρωμα κομποστοποίησης-άμμος χωρίς καμία προσθήκη βιοεξανθρακώματος. Επίσης μια παρόμοια ανάπτυξη υπάρχει στο ίδιο υπόστρωμα αλλά με αναλογία 1:2 στο λευκό βιοεξανθρακώμα. Πολύ παρόμοιες αναπτύξεις υπάρχουν σε όλες τις αναλογίες του υποστρώματος τύρφη-περλίτης. Ακόμα στο υπόστρωμα του πρότυπο δείγμα εδάφους και σε όλες τις αναλογίες υπάρχει μια παρόμοια ανάπτυξη αλλά αρκετά χαμηλότερη από τα άλλα υποστρώματα. Η ανάπτυξη που παρατηρείται στο μαύρο βιοεξανθράκωμα, εκτός από το υπόστρωμα τύρφη περλίτη όπου η ανάπτυξη είναι ελάχιστη και με πολλές δοκιμές να μην έχουν δώσει καθόλου ανάπτυξη, είναι ικανοποιητική. Καλύτερη ανάπτυξη παρατηρείται στο εμπορικό υπόστρωμα κομποστοποίησης- άμμος και αναλογία 1:2 μαύρο βιοεξανθράκωμα, όπου είναι και η μεγαλύτερη ανάπτυξη που παρατηρείται γενικώς. Παρόλο που τα καλύτερα αποτελέσματα είναι για το υπόστρωμα εμπορικό υπόστρωμα κομποστοποίησης- άμμος και για το βιοεξανθράκωμα M επιλέχθηκε για την συνέχιση του πειράματος το υπόστρωμα τύρφη- περλίτης και το βιοεξανθράκωμα A. Η τύρφη- περλίτης είναι ένα πολύ κοινό και πιο διαδεδομένο υπόστρωμα και το βιοεξανθράκωμα A έχει δώσει πιο σταθερές μετρήσεις από ότι το M.

Έτσι κατά το στάδιο της μεταφύτευσης και ως την συγκομιδή η καλύτερη ανάπτυξη έγινε στην αναλογία βιοεξανθρακώματος- υποστρώματος 1:10. Με το πέρασμα των μερών διαπιστώνουμε ότι η αναλογία 1:10 έχει σταθερή ανάπτυξη της τάξεως περίπου 19cm ύψος ενώ οι αναλογίες 1:2 και τυφλό έχουν ανάπτυξη 14cm και 16cm αντίστοιχα.

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

B. Yu, Y. Zhang, A. Shukla, S. S. Shukla, K. L. Dorris, 2000. The removal of heavy metal from aqueous solutions by sawdust adsorption—removal of copper. *Journal of Hazardous Materials* 80, p: 33–42.

Beesley L., Moreno-Jiménez E., Gomez-Eyles J.L., Harris E., Robinson B., Sizmur T., (2011), “A review of biochars’ potential role in the remediation, revegetation and restoration of contaminated soils”, *Environmental Pollution* 159: 3269-3282.

Bhatnagar, M. Sillanpää, 2010. Utilization of agro-industrial and municipal waste materials as potential adsorbents for water treatment – A review. *Chemical Engineering Journal* 157, p: 277-296»

Bunt C. A. (1976). *Modern Potting Composts*, George & Unwin Ltd., London.

Clarke R. M. and Cummins, E. (2015). Evaluation of “classic” and emerging contaminants resulting from the application of biosolids to agricultural lands: A review. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 21, 492-513.

Dana M.N. and Rosie Lerner (2017). *Planting & Transplanting Landscape Trees and Shrubs*, Purdue University Cooperative Extension Service West Lafayette, IN, Department of Horticulture.

Day D, Evans RJ, Lee JW, and Reicosky D. 2005. Economical CO₂, SO_x, and NO_x capture from fossil-fuel utilization with combined renewable hydrogen production and large-scale carbon sequestration. *Energy* **30**: 2558–79.

DeLuca TH, MacKenzie MD, Gundale MJ, and Holben WE. 2006. Wildfire-produced charcoal directly influences nitrogen cycling in ponderosa pine forests. *Soil Sci Soc Am J* **70**: 448–53.

Esben W. Bruun, 2011. Application of Fast Pyrolysis Biochar to a Loamy soil - Effects on carbon and nitrogen dynamics and potential for carbon sequestration. *Biomass Bioenergy* 35 p: 1182-1189

James A. Ippolito,* David A. Laird, and Warren J. Busscher, 2012. Environmental Benefits of Biochar. *Journal of Environmental Quality* 41 p: 967-972.

J. Yanik, C. Kornmayer, M. Saglam, M. Yüksel, 2007. Fast pyrolysis of agricultural wastes: Characterization of pyrolysis products. *Fuel Processing Technology* 88, p: 942-947.

John M. Beeckmans and Park C. Ng, 1971. Pyrolyzed Sewage Sludge: Its Production and Possible Utility Faculty of Engineering Science. University of Western Ontario, London, Ontario, Canada, Volume 5, Number 1.

K. Laszlo, A. Bota, L.G. Nagy, 1997. Characterization of activated carbons from waste materials by adsorption from aqueous solutions. *Carbon* 35, p: 593-598.

Kiniven M.D. and Puustjarvi V. (1972). *Organic Soils and Peat Materials for Sustainable Agriculture*.

Lee JW and Li R. 2003. Integration of coal-fired energy systems with CO₂ sequestration through NH₄HCO₃ production. *Energy Convers Manage* **44**: 1535-46.

Lehmann J, da Silva Jr JP, Steiner C, *et al.* 2003. Nutrient availability and leaching in an archaeological anthrosol and a ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant Soil* **249**: 343-57.

Lehmann J, Gaunt J, and Rondon M. 2006. Biochar sequestration in terrestrial ecosystems: a review. *Mitig Adapt Strategy Global Change* **11**: 403-27.

Liang B, Lehmann J, Solomon D, *et al.* 2006. Black carbon increases cation exchange capacity in soils. *Soil Sci Soc Am* **J70**: 1719-30.

M. K. Hossain, V. Strezov, P. F. Nelson, 2009. Thermal characterisation of the products of wastewater sludge pyrolysis. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 85, p: 442-446

Montanarella L., and Lugato E., (2013), "Review: The Application of Biochar in the EU: Challenges and Opportunities", *Agronomy*, 3: 462-473;doi:10.3390/agronomy3020462.

Padulosi S. and Pignone D. (1996). *Rocket: A Mediterranean Crop for the World*, International Plant Genetic Resources Institute, Padova, Italy.

Pietikäinen J, Kiikkilä O, and Fritze H. 2000. Charcoal as a habitat for microbes and its effects on the microbial community of the underlying humus. *Oikos* **89**: 231–42.

Puustjarvi V. and Robertson R. A. (1975) Physical and Chemical Properties. In: Robinson, D.W. and Lamb, J.G.D., Eds., *Peat in Horticulture*, *Academic Press*, London, 23-38.

Rondon M, Ramirez JA, and Lehmann J. 2005. Charcoal additions reduce net emissions of greenhouse gases to the atmosphere. In: *Proceedings of the 3rd USDA Symposium on Greenhouse Gases and Carbon Sequestration in Agriculture and Forestry*; 2005 Mar 21–24; Baltimore, MD. Baltimore, MD: University of Delaware. p 208.

Vasilyeva G.K., Strijakova E.R., and Shea P.J., (2006), "Use of activated carbon for soil bioremediation", *Soil and Water Pollution Monitoring, Protection and Remediation*, 3-23: 309 – 322

Wang L.K, Shammass N.K, Hung, Yung-Tse (2007). *Biosolids treatment processes*, Totowa, N.J: Humana Press.

Woolf D. , 2008. Biochar as a soil amendment: A review of the environmental implications.

Wright Clifford A. (2001). *Mediterranean Vegetables*. *The Harvard Common Press*, Boston, USA.

zabaniotou A., Karabelas A., (1999), the evritania (Greece) demostresion study on Egyptian biomass combustion in circulating fluidized bed. *Applied energy*, 86, 2644-2650

Ελληνική βιβλιογραφία

Αγραφιώτη Ε. (2014). Παραγωγή εξανθρακώματος από βιομάζα για περιβαλλοντικές εφαρμογές, Χανιά.

Αγραφιώτη Ε. «Πυρόλυση βιομάζας για την παραγωγή εξανθρακώματος», Χανιά 2010

Ασημακόπουλος Ι. Η. (2013). Λιπάσματα Λιπάνσεις, Εκδόσεις ΕΜΒΡΥΟ, Αθήνα.

Θεοδωρακόπουλος Α. (2003). Χρήση καυστήρων μεικτής καύσης για τη θέρμανση των θερμοκηπίων", Πτυχιακή εργασία, ΑΤΕΙ Ηρακλείου, Σχολή Τεχνολόγων Γεωπονίας, Τμήμα Θερμοκηπιακών Καλλιεργειών και Ανθοκομίας, Ηράκλειο.

Ματζαβίνος Διονύσης, «Βιολογικές διεργασίες στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων», Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά

Παναγιωτόπουλος Π. Κ. (2008). Εδαφολογία, Εκδόσεις Άγιος-Σάββας Δ. Γαρταγάνης, Θεσσαλονίκη.

Παπαγεωργίου Α. 2010, Διπλωματική εργασία: πηγές ενέργειας: παραγωγή ενέργειας από βιομάζα-βιοκαύσιμα, Βόλος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

Παπανδριανού Μ. και Τσερπέ Β. (1997). Πτυχιακή Εργασία: Τα οργανικά και ανόργανα υποστρώματα στις θερμοκηπιακές καλλιέργειες. Η γεωργική αξιοποίηση αποβλήτων ελαιουργείων - Δοκιμαστική χρήση προϊόντος βιομετατροπής τους σε θερμοκηπιακές καλλιέργειες. Τ.Ε.Ι. Καλαμάτας, Τμήμα Θερμοκηπιακών καλλιεργειών και ανθοκομίας.

Χαρίτος, (1989). Διεθνείς και ελληνικές ποικιλίες και χαρακτηριστικά του περλίτη, Εκδόσεις ΑΘΗΝΑ, Αθήνα.

Ιστοσελίδες (Ιούνιος-Ιούλιος 2018)

<https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/11959?fgcd=&manu=&format=&count=&max=25&offset=&sort=default&order=asc&qlookup=arugula&ds=&qt=&qp=&qa=&qn=&q=&ing=>

<https://www.arboretum.harvard.edu/plants/herbaria/herbarium-of-the-arnold-arboretum/>

<https://xomata.gr/blog/>

<http://www.mdpi.com/1996-1073/7/2/548/htm>

<http://books.google.gr/books?id=UONAkQ6w2qgC&pg=PA164&lpg=PA164&dq=subiaco+pyrolysis+plant&source=bl&ots=bgRdCkzIks&sig=t13DNP7YRJsR0sEtKyNwclWV77I&hl=el&sa=X&ei=z-JYT9r0D-Pc4QT3ppy0Dw&ved=0CDgQ6AEwAg#v=onepage&q&f=true>

<http://www.clinical.bioiatriki.gr/analysis/pdfs/a272.pdf>