

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΥΨΗΛΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΓΡΟΥ ΛΙΠΑΣΜΑΤΟΣ ΑΠΟ ΜΟΝΑΔΕΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Dr.-Ing A. Υφαντής, Δρ. Φ. Αγγελakoπούλου, Ι. Πετρακάκης, Γ. Γιαννακάκης

Sychem, Λεωφόρος Μεσογείων 518, Αγία Παρασκευή, 15342 Αθήνα, Τηλέφωνο:
2106084940, Emails: a.yfantis@sychem.gr, t.angelakopoulou@sychem.gr,
i.petrakakis@sychem.gr, g.giannakakis@sychem.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το υγρό χωνεμένο υπόλειμμα των μονάδων βιοαερίου είναι ένα εξαιρετικό εδαφοβελτιωτικό αλλά η χρήση του περιορίζεται στην διάθεση του χύδην σε χωράφια μετά την αποθήκευση του σε λιμνοδεξαμενές αποθήκευσης με μηδενική προστιθέμενη αξία. Ωστόσο υπάρχει η δυνατότητα με την κατάλληλη επεξεργασία να παραχθεί υψηλής ποιότητας σταθεροποιημένο υγρό λίπασμα με σημαντική προστιθέμενη αξία και δυνατότητα εμπορικής αξιοποίησης σε πάσης φύσης καλλιέργειες συμπεριλαμβανομένων θερμοκηπίων.

Παρουσιάζεται μια καινοτόμος μέθοδος για την παραγωγή υγρού οργανικού λιπάσματος που αναπτύχθηκε από την SYCHEM στον πρότυπο σταθμό παραγωγής Βιοαερίου στην ΒΙΠΕ Ηρακλείου Κρήτης (Βιοενεργειακή Κρήτης). Παρουσιάζονται αποτελέσματα από γεωπονικές δοκιμές και συγκριτικά αποτελέσματα με ευρείας κυκλοφορίας χημικά λιπάσματα σε διάφορες καλλιέργειες.

Προκύπτει εξαιρετική απόδοση καθώς το υγρό λίπασμα που προκύπτει από την διαδικασία καθαρισμού, σταθεροποίησης και συμπύκνωσης διαθέτει υψηλές συγκεντρώσεις από οργανικές ενώσεις, μέταλλα και ιχνοστοιχεία εκτός από άζωτο και φώσφορο που το καθιστά ιδιαίτερα αποτελεσματικό σε σχετικά μικρές αναλογίες. Η σύσταση και η αποτελεσματικότητα του σχετίζονται άμεσα με την τροφοδοσία του βιοαντιδραστήρα που στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι αποκλειστικά με ζωικά υποπροϊόντα.

Η δημιουργία λιπασμάτων υψηλής απόδοσης και αξίας από το χωνεμένο υπόλειμμα των μονάδων βιοαερίου είναι το μέλλον για την μετάβασή τους στην κυκλική οικονομία και την διασφάλιση της ανταγωνιστικότητας τους για την παραγωγή ενέργειας.

Λέξεις Κλειδιά: Βιοαέριο, Λίπασμα, Χωνεμένο Υπόλειμμα

1. Εισαγωγή

Το υγρό χωνεμένο υπόλειμμα των μονάδων βιοαερίου είναι ένα εξαιρετικό εδαφοβελτιωτικό αλλά η χρήση του περιορίζεται στην διάθεση του χύδην σε χωράφια μετά την αποθήκευση του σε λιμνοδεξαμενές αποθήκευσης με μηδενική προστιθέμενη αξία. Ωστόσο υπάρχει η δυνατότητα με την κατάλληλη επεξεργασία να παραχθεί υψηλής ποιότητας σταθεροποιημένο υγρό λίπασμα με σημαντική προστιθέμενη αξία και δυνατότητα εμπορικής αξιοποίησης σε πάσης φύσης καλλιέργειες συμπεριλαμβανομένων θερμοκηπίων.

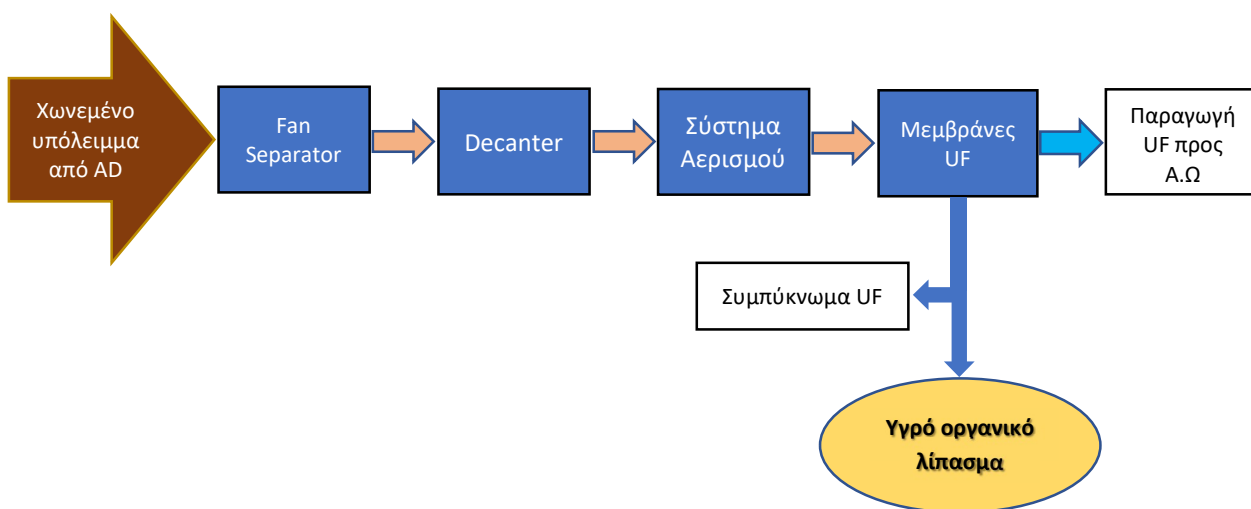
Στην συγκεκριμένη εργασία παρουσιάζεται η διαδικασία παραγωγής σταθεροποιημένου, συμπυκνωμένου, πλήρους θρέψης υγρού λιπάσματος, με την αξιοποίηση υγρού χωνεμένου υπολείμματος από σταθμό παραγωγής βιοαερίου καθώς και τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του. Επισημαίνεται ότι το συγκεκριμένο προϊόν είναι αποτέλεσμα της επεξεργασίας του υγρού χωνεμένου υπολείμματος συγκεκριμένου σταθμού (Βιοενεργειακή Κρήτης στην ΒΙΠΕ Ηρακλείου Κρήτης) που τροφοδοτείται κατά 95 % με ζωικά υποπροϊόντα πάσης φύσης και όχι με φυτικά. Τέλος παρουσιάζονται αποτελέσματα από γεωπονικές δοκιμές σε πάσης φύσης καλλιέργειες συμπεριλαμβανομένων θερμοκηπίων αλλά και την εφαρμογή του σε ελαιόδεντρα.

2. Διαδικασία Παραγωγής

Η επεξεργασία του υγρού χωνεμένου υπολείμματος αποτελείται από τα παρακάτω στάδια και απεικονίζεται στο Σχήμα 1:

- Μηχανικό διαχωρισμό με φίλτρο-κοχλία (fan separator) και φυγοκεντρικό διαχωριστή (decanter)
- Σταθεροποίηση με αερισμό
- Συμπύκνωση με μεμβράνες υπερδιήθησης (ultrafiltration, UF)

Το χωνεμένο υπόλειμμα από τη μονάδα βιοαερίου (AD, Anaerobic Digester) εισέρχεται σε σύστημα μηχανικού διαχωρισμού για την απομάκρυνση του περιεχόμενου στερεού κλάσματος. Το υγρό κλάσμα που προκύπτει οδηγείται σε δεξαμενή αερισμού (αερόβιες συνθήκες), προκειμένου να σταθεροποιηθεί και στη συνέχεια, διέρχεται από σύστημα μεμβρανών υπερδιήθησης ειδικής τεχνολογίας, προκειμένου να υποστεί συμπύκνωση και να προκύψει το εν λόγω υγρό οργανικό λίπασμα.



Σχήμα 1: Διάγραμμα ροής για την παραγωγή υγρού οργανικού λιπάσματος

3. Φυσικοχημική σύσταση

Το υγρό οργανικό λίπασμα που προκύπτει από την διαδικασία διαχωρισμού και συμπύκνωσης σύμφωνα με την προαναφερθείσα επεξεργασία υψηλής ποιότητας, καθώς περιέχει εκτός από άζωτο και σημαντικές συγκεντρώσεις σε μέταλλα και ιχνοστοιχεία, που συμβάλλουν στη βελτίωση της γονιμότητας του εδάφους καθώς και στην αύξηση της ποιότητας και της ποσότητας των καρπών, στις καλλιέργειες που εφαρμόζεται.

Μια ενδεικτική φυσικοχημική σύσταση παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 1):

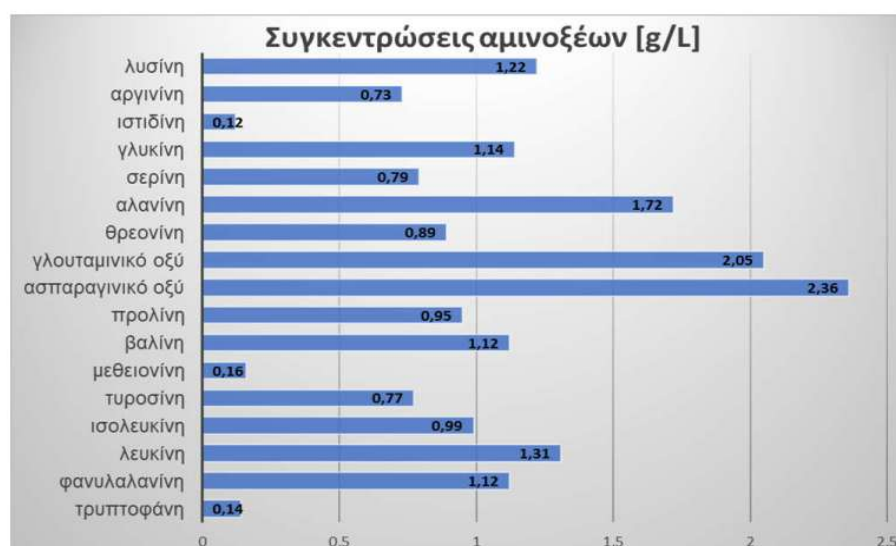
Πίνακας 1: Ενδεικτική Φυσικοχημική Σύσταση υγρού οργανικού λιπάσματος

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ	
Ολικό Άζωτο	0.88 – 1.32 % w/w
Ολικός Οργανικός Άνθρακας	2.08 – 3.12 % w/w
Ασβέστιο	0.48 - 0.72 % w/w
Φώσφορος	0.08 - 0.12 % w/w
Κάλιο	0.14 - 0.20 % w/w
Ψευδάργυρος	408 – 612 mg/Kg
Μαγνήσιο	184 - 276 mg/Kg
pH	8.0 – 8.9

Επίσης, αξιοσημείωτη είναι η υψηλή περιεκτικότητα του σε αμινοξέα (Διάγραμμα 1), γεγονός που το καθιστά ιδιαίτερα ανταγωνιστικό σε σχέση με παρόμοια συμβατικά λιπάσματα του εμπορίου. Η σύσταση και η αποτελεσματικότητα του σχετίζονται άμεσα με την τροφοδοσία του βιοαντιδραστήρα που στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι αποκλειστικά με ζωικά υποπροϊόντα.

Διάγραμμα 1: Περιεκτικότητα του υγρού οργανικού λιπάσματος σε αμινοξέα

Οργανικό βελτιωτικό εδάφους Biosfer-L



Ενδεικτικά, η τροφοδοσία του βιοαντιδραστήρα προέρχεται από απόβλητα σφαγείων (24%), λάσπη χοιροστασίου (44%), κόπρο πουλερικών (11%), τυρόγαλα (11%) και ληγμένα τρόφιμα και απόβλητα από υπεραγορές και εστιατόρια (10%).

Επισημαίνουμε ότι από το πρώτο στάδιο διαχωρισμού (στερεού υγρού) και με ξήρανση προκύπτει επίσης ένα στερεό εδαφοβελτιωτικό με εντυπωσιακά χαρακτηριστικά.

Η παρούσα εργασία εστιάζει στην δραστικότητα του υγρού κλάσματος που επιβεβαιώθηκε με γεωπονικές δοκιμές και σε ορισμένες ελέγχεται και ο συνδυασμός του στερεού και του υγρού κλάσματος.

4. Εφαρμογές – Αποτελέσματα

Για την αξιολόγηση της αποδοτικότητας του υγρού οργανικού λιπάσματος που αναπτύχθηκε από την SYCHEM (με εμπορική ονομασία **BioSfer L** στον πρότυπο σταθμό παραγωγής Βιοαερίου στην ΒΙΠΕ Ηρακλείου Κρήτης εκπονήθηκαν γεωπονικές δοκιμές και προέκυψαν συγκριτικά αποτελέσματα με ευρείας κυκλοφορίας χημικά λιπάσματα σε διάφορες καλλιέργειες.

Επίσης, έγινε έλεγχος της φυτοτοξικότητας του συγκεκριμένου οργανικού λιπάσματος, μέτρηση των δεικτών βλαστικότητας και αξιολόγηση των φυτοθρεπτικών χαρακτηριστικών αυτού.

Σε κάποιες δοκιμές χρησιμοποιήθηκε και το στερεό κλάσμα (με ξήρανση) με εμπορικό όνομα Biosfer S.

4.1. Καλλιέργεια αγγουριού

Για την καλλιέργεια αγγουριού χρησιμοποιήθηκε θερμοκηπιακή εγκατάσταση έκτασης περίπου 100 m² εντός αγροκτήματος στην περιοχή Φοινικιά, περιφερειακά της πόλης του Ηρακλείου (γεωγραφικό στίγμα θερμοκηπίου: 35°16'09.7"N 25°05'45.1"E).



Φωτογραφία 1: Όψη του θερμοκηπίου που πραγματοποιήθηκε η δοκιμή

Κατά την δοκιμή χρησιμοποιήθηκαν πιστοποιημένα φυτώρια αγγουριάς, ποικιλίας «Beautysun RZ F1-Hybrid (22-553)». Η εγκατάσταση των φυτών έγινε σε γλάστρες των 9 L με πιάτο απορροής και η άρδευση έγινε στάγδην.

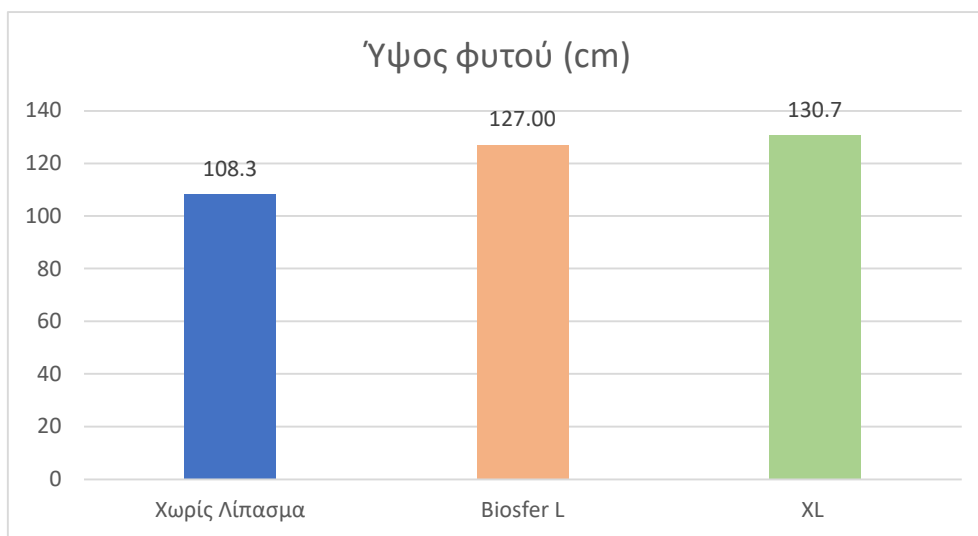
Για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των υπό εξέταση υλικών, πραγματοποιήθηκαν συνολικά 21 χειρισμοί, οι οποίοι περιλαμβάνουν 7 διαφορετικά υποστρώματα και 3 διαφορετικές αρδεύσεις. Η βασική σύσταση του υποστρώματος μάρτυρα περιείχε **30% v/v περλίτη και 70% v/v κοκκινόχωμα**, ενώ στην **άρδευση, ως μάρτυρας** χρησιμοποιήθηκε νερό χωρίς επιπλέον υδρολίπανση (χωρίς λίπανση, ΧΛ).

Επίσης, για τη συγκριτική αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας του **BioSfer L**, χρησιμοποιήθηκαν εμπορικά προϊόντα αντίστοιχων χαρακτηριστικών. Συγκεκριμένα, για την συγκριτική αξιολόγηση του BioSfer L, χρησιμοποιήθηκε υγρό ενισχυτικό θρέψης με περιεκτικότητα σε ολικό άζωτο (TN) 2% (**εφεξής καλούμενο XL**).

Κατά τη διάρκεια των δοκιμών, λαμβάνονταν μετρήσεις για τις ακόλουθες παραμέτρους, κάθε 7-10 ημέρες.

1. **Ύψος του κεντρικού στελέχους του φυτού:** Ύψος της κορυφής του πιο ψηλού στελέχους του κάθε φυτού, από το χώμα.
2. **Αριθμός των φύλλων:** Στη μέτρηση περιλαμβάνονται και τα φύλλα που τυχόν αφαιρέθηκαν από τα φυτά (κλάδεμα, φυλλόπτωση, ασθενικά φύλλα).
3. **Διάμετρος του κεντρικού στελέχους:** Μέτρηση με ηλεκτρονικό παχύμετρο πάνω από την επιφάνεια της κάθε γλάστρας.
4. **Αριθμός των σχηματιζόμενων ανθών:** Οπτική μέτρηση του αριθμού των ανθών ανά ταξιανθία σε κάθε φυτό.
5. **Αριθμός των σχηματιζόμενων καρπών:** Οπτική μέτρηση του αριθμού των σχηματιζόμενων καρπών (σε μέγεθος μπιζελιού) ανά ταξιανθία σε κάθε φυτό.
6. **Νωπό βάρος καρπών.** Το ζύγισμα των καρπών πραγματοποιήθηκε με ζυγό ακρίβειας δυο δεκαδικών ψηφίων.
7. **Νωπό και ξηρό βάρος φυτού.** Μετά την ολοκλήρωση του πειράματος πραγματοποιήθηκε ζύγιση των φυτών για τον προσδιορισμό του νωπού και του ξηρού βάρους ολόκληρου του φυτού αλλά και ξεχωριστά του υπόγειου (ρίζας) και του υπέργειου μέρους. Το υπόγειο μέρος του φυτού διαχωρίζεται και το υπόλοιπο φυτό (βλαστοί και φύλλα), και ζυγίζεται με ηλεκτρονικό ζυγό ακριβείας δυο δεκαδικών ψηφίων. Στη συνέχεια τα φυτά τοποθετούνται σε ειδικό φούρνο με μηχανικό αερισμό για ξήρανση (θερμοκρασία 80° C) για 3-4 ημέρες, μέχρι σταθερού όγκου ξηρού βάρους. Στη συνέχεια τα δείγματα ζυγίστηκαν πάλι και υπολογίστηκε η επί τοις εκατό περιεκτικότητα σε ξηρή ουσία.

Ενδεικτικά δίνονται παρακάτω συγκεντρωτικά αποτελέσματα των χειρισμών.

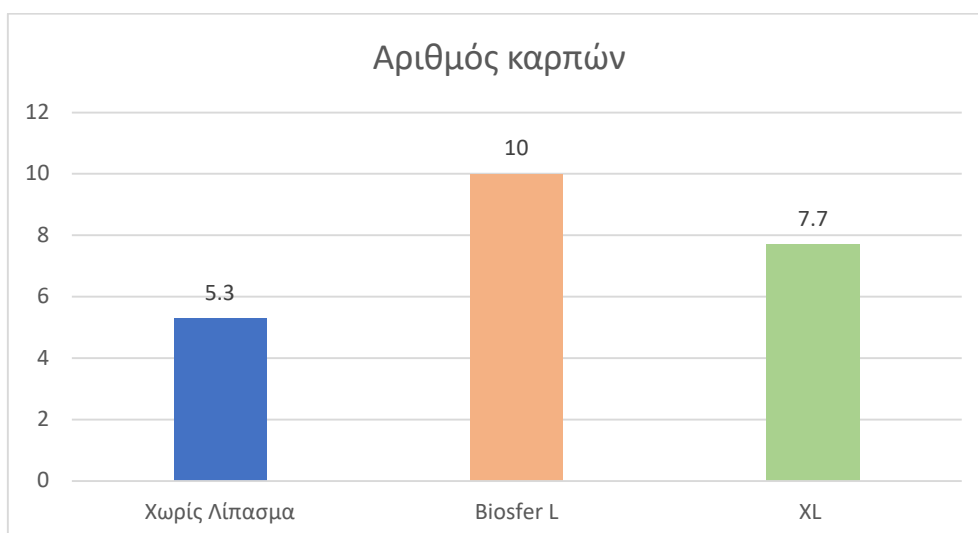


Διάγραμμα 2: Ύψος φυτού. Από αριστερά προς δεξιά : Χωρίς Λίπασμα, Biosfer L, Εμπορικό ενισχυτικό θρέψης TN 2%

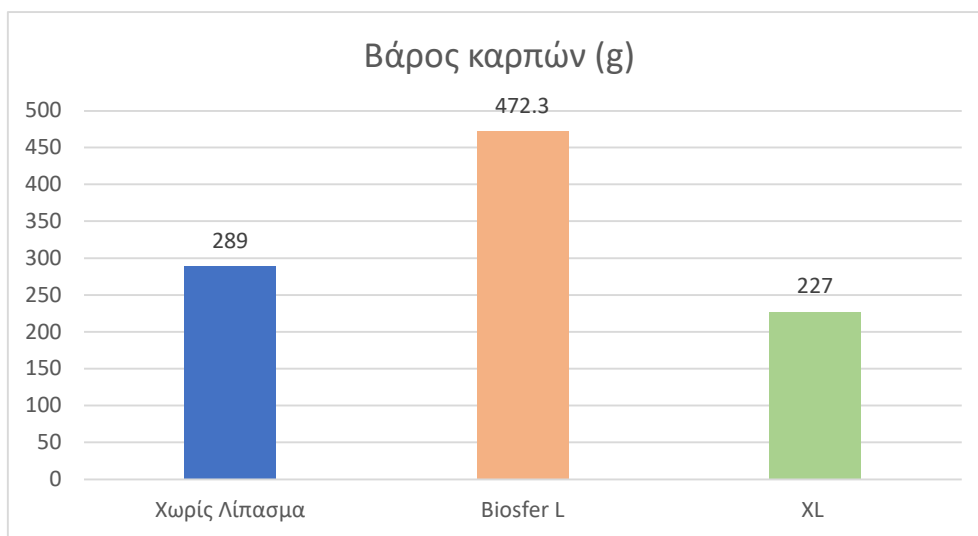
Στις δύο μετρήσεις με λίπασμα εμφανίζεται μια σαφής επίδραση στην ανάπτυξη του φυτού συντελώντας σε τελικό ύψος μεγαλύτερο κατά 17,3 και 20,7% σε σχέση με το δείγμα στο οποίο δεν έγινε λίπασμα (**Διάγραμμα 2**). Τα αποτελέσματα μεταξύ Biosfer L και του εμπορικού ενισχυτικού θρέψης δεν εμφανίζουν αξιοσημείωτη διαφορά.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, το ίδιο μοτίβο αποτυπώνεται και στις υπόλοιπες γενικές παραμέτρους (αριθμός φύλλων, διάμετρος κεντρικού στελέχους) όπου εμφανίζεται ομοιότητα στις μετρήσεις των φυτών στα οποία έχει εφαρμοστεί η λίπασμα.

Σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο ενισχυτικών θρέψης εμφανίζεται στην παραγωγή των φυτών σε Αριθμό καρπών και Βάρος καρπού.



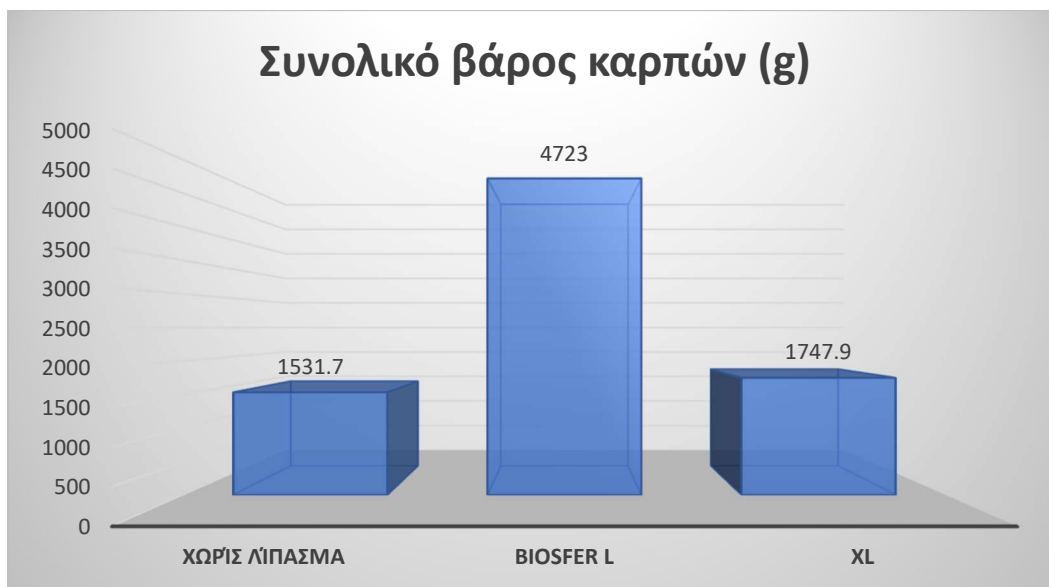
Διάγραμμα 3: Αριθμός Καρπών ανά φυτό. Από αριστερά προς δεξιά : Χωρίς Λίπασμα, Biosfer L, Εμπορικό ενισχυτικό θρέψης TN 2%



Διάγραμμα 4: Βάρος Καρπών ανά φυτό. Από αριστερά προς δεξιά : Χωρίς Λίπανση, Biosfer L, Εμπορικό ενισχυτικό θρέψης TN 2%

Από τα ανωτέρω αποτελέσματα, είναι εμφανές ότι τα φυτά στα οποία έγινε εφαρμογή του υγρού λιπάσματος πλήρους θρέψης **Biosfer L** αποδίδουν συνολική παραγωγή **4723 γραμμάρια ανά φυτό**, δηλαδή ποσοστιαία το **Biosfer L** οδήγησε σε **αύξηση της παραγωγής κατά 208%** σε σχέση με την καλλιέργεια στην οποία δεν έγινε εφαρμογή λίπανσης (**Διάγραμμα 3 & Διάγραμμα 4**).

Τα φυτά στα οποία εφαρμόστηκε εμπορικό ενισχυτικό θρέψης TN 2% μετρήθηκε **12,5%** μεγαλύτερη παραγωγή, συγκριτικά με την καλλιέργεια στην οποία δεν έγινε εφαρμογή λίπανσης (**Διάγραμμα 5**).



Διάγραμμα 5: Συνολικό βάρος καρπών ανά φυτό

Περαιτέρω έλεγχοι πραγματοποιήθηκαν με 10% , 20% και 30% κομπόστ ακολουθώντας την ίδια λογική σύγκρισης μεταξύ Biosfer S και κοινού εμπορικού προϊόντος με 2% περιεκτικότητα σε ολικό άζωτο. Τα αποτελέσματα, που δεν αποτελούν μέρος της συγκεκριμένης μελέτης, έδειξαν ότι ο συνδυασμός Biosfer S/Biosfer L απέδωσε 40%

περισσότερους καρπούς και αντίστοιχα οι καρποί είχαν 61% υψηλότερο βάρος από τον αντίστοιχο συνδυασμό εμπορικού κομπόστ/εμπορικού λιπάσματος.

Ακολουθεί ενδεικτική φωτογραφική τεκμηρίωση, ως προς τις καλλιέργειες στις οποίες έγινε εφαρμογή αυτού και των σχετικών αποτελεσμάτων.

Φωτογραφία 2 & 3: 51 και 63 ημέρες καλλιέργειας (13 και 25/11/21). Στην μπροστινή σειρά των φυτών γίνεται υδρολίπανση με BioSfer L ενώ η πίσω σειρά δέχεται 100% αρδευτικό νερό. Παρατηρείται εμφανώς καλύτερη εικόνα των φυτών όταν γίνεται υδρολίπανση με BioSfer L.



4.2. Ελαιώνες

Επιπλέον των ελέγχων με λίπανση σε φυτά εντός θερμοκηπίου, έγινε έλεγχος της απόδοσης σε δέντρα Ελιάς σε ελαιώνες σε διάφορες περιοχές εντός του νομού Ηρακλείου Κρήτης.

Ενδεικτική δοκιμασία σε ελαιώνα με εφαρμογή διαφυλλικού ψεκασμού (**BioSFer L**) στις ελιές δεξιά του πρανούς. Αριστερά του πρανούς, δεν ήταν εφικτός ο πλήρης διαφυλλικός ψεκασμός και πραγματοποιήθηκε απομακρυσμένος ψεκασμός μόνο από την μια πλευρά (δεξιά του πρανούς). Ο μερικός ψεκασμός των δέντρων οδήγησε στην αξιοσημείωτη μερική άνθιση μόνο της πλευράς, που ακόμα και απομακρυσμένα, έγινε λίπανσή της (**Φωτογραφία 4**).



Φωτογραφία 4: Οπτική σύγκριση δέντρων Ελιάς μερικής λίπανσης (αριστερά) και με διαφυλλική λίπανση (δεξιά).

Η εφαρμογή υδρολίπανσης με δοσολογία 10L/δένδρο **BioSFer L** (συνολική ετήσια δοσολογία) παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα καθώς εμφανίζει πρωιμότητα στην καρπόδεση. Στο συγκεκριμένο ελαιώνα δεν εφαρμόστηκε διαφυλλικός ψεκασμός. Η **φωτογραφία 5α** λήφθηκε στις 03 Απριλίου 2021 σε ελαιώνα του Ηρακλείου (υψόμετρο 200 m) και η πρωιμότητα είναι εμφανής.



Φωτογραφία 5α: Πρωιμότητα στην καρπόδεση



Φωτογραφία 5β: Υδρολίπανση με διαφυλλικό ψεκασμό

Η πρωιμότητα εμφανίζεται και σε άλλους ελαιώνες όπου έγινε εφαρμογή **BioSFer L 10 L/ δένδρο**. Στον συγκεκριμένο ελαιώνα εκτελέστηκε υδρολίπανση χωρίς διαφυλλικό ψεκασμό. Οι ταξιανθίες έχουν ήδη διαχωρισθεί και η πρωιμότητα είναι εμφανής. Η φωτογραφία λήφθηκε στις 07 Φεβρουαρίου 2021 (**Φωτογραφία 5β**).

Η εφαρμογή του **Biosfer L** παρουσιάζει άμεση απόκριση είτε εκτελείται με υδρολίπανση είτε με διαφυλλικό ψεκασμό, γεγονός που δείχνει την υψηλή βιοδιαθεσιμότητα των θρεπτικών του συστατικών.

Η εφαρμογή σε δοσολογίες 7-10 L/δένδρο (μόνο υδρολίπανση, χωρίς διαφυλλικό ψεκασμό), αμέσως μετά την συγκομιδή και η απόκριση της ελιάς ήταν άμεση. Η φωτογραφία λήφθηκε στις 24 Νοεμβρίου 2020. **Ο συγκεκριμένος ελαιώνας δεν είχε λιπανθεί τα 5 προηγούμενα έτη.** (Φωτογραφία 6)



Φωτογραφία 6: Λίπανση σε ελαιώνα του Ηρακλείου Κρήτης

5. Συμπεράσματα

Το υγρό χωνεμένο υπόλειμμα των μονάδων αναερόβιας χώνευσης για παραγωγή βιοαερίου με κατάλληλη επεξεργασία και με κατάλληλη τροφοδοσία του βιοαντιδραστήρα μπορεί να αποτελέσει ένα υψηλής ποιότητας σταθεροποιημένο υγρό οργανικό λίπασμα με **σημαντική προστιθέμενη αξία** και δυνατότητα **εμπορικής αξιοποίησης** σε πάσης φύσης καλλιέργειες συμπεριλαμβανομένων θερμοκηπίων.

Δύναται να εμφανίζει υψηλές συγκεντρώσεις από οργανικές ενώσεις, μέταλλα και ιχνοστοιχεία, εκτός από άζωτο και φώσφορο, που το καθιστά ιδιαίτερα αποτελεσματικό σε σχετικά μικρές αναλογίες.

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του υγρού οργανικού λιπάσματος:

- Είναι σταθεροποιημένο και συμπυκνωμένο προϊόν
- Αποτελεί υλικό πλήρους θρέψης
- Είναι απαλλαγμένο από σπόρια ζιζανίων, οπότε στις καλλιέργειες που θα εφαρμοστεί ΔΕΝ πρόκειται να αναπτυχθούν ζιζάνια
- Είναι παστεριωμένο
- Παρουσιάζει υψηλή συγκέντρωση σε αμινοξέα
- Η εφαρμογή του επιτυγχάνει πρωιμότητα συγκομιδής (δηλαδή ταχύτερη ανάπτυξη του φυτού και πιο γρήγορη συγκομιδή)
- Η εφαρμογή του ενισχύει τη βιοποικιλότητα του εδάφους και βελτιώνει τις φυσικοχημικές του ιδιότητες

Περαιτέρω έρευνα απαιτείται για την βελτιστοποίηση των συστημάτων επεξεργασίας του υγρού χωνεμένου υπολείμματος που προέρχεται από σταθμούς παραγωγής βιοαερίου σε συνάρτηση με την τροφοδοσία τους με στόχο να προκύπτουν λιπάσματα με τα καλύτερα δυνατά χαρακτηριστικά σε σχέση με τα οργανικά υπολείμματα που τροφοδοτούν το αναερόβιο βιοαντιδραστήρα.