



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΜΕ ΜΙΚΡΟΑΛΓΗ



ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: Μιχάλης Φουντουλάκης
ΣΠΟΥΔΑΣΤΡΙΑ: Καλλιόπη Καλογιαννάκη
ΗΡΑΚΛΕΙΟ 2010

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

- 1. Εισαγωγή**
 - 1.1 Μικροάλγη**
 - 1.2 Χρήσεις μικροαλγών**
 - 1.3 Επεξεργασία υγρών αποβλήτων**
 - 1.4 Χρήση μικροαλγών στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων**
- 2. Υλικά και μέθοδοι**
 - 2.1 Περιγραφή πειράματος**
 - 2.2 Μέθοδοι καταμέτρησης παραμέτρων**
- 3. Αποτελέσματα-Συζήτηση**
 - 3.1 Γενικές παρατηρήσεις**
 - 3.2 Μέτρηση της βιομάζας**
 - 3.3 Μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας**
 - 3.4 Μέτρηση του pH**
- 4. Συμπεράσματα**

Ευχαριστώ για την πολύτιμη βοήθεια και συνεργασία στην εκπόνηση της πτυχιακής μου εργασίας τους καθηγητές Μιχάλη Φουντουλάκη και Στέλιο Τερζάκη. Η ολοκλήρωση του πειράματος και της καταγραφής της εργασίας εκπονήθηκαν με τη καθοδήγηση τους.

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΜΕ ΜΙΚΡΟΑΛΓΗ

1.Εισαγωγή

1.1Μικροάλγη

Περιγραφή

Τα μικροάλγη κατατάσσονται στα ευκαρυωτικά φύκη, που αποτελούν μια πολυφυλετική κατηγορία οργανισμών. Το Βασίλειο των Φυτών (regnum Plantae) συμπεριλαμβάνει τις συνομοταξίες των πράσινων φυκών. Με το όνομα «άλγες» χαρακτηρίζονται συλλογικά πολλές ταξινομημένες ομάδες φυτών και πιο συγκεκριμένα τα λεγόμενα: κυανόφυτα ,χλωρόφυτα, χαρόφυτα, ροδόφυτα, γλαυκόφυτα, διάτομα, φυτοπλαγκτόν, φαιόφυτα, χρυσόφυτα, πυρρόφυτα και ευγληνόφυτα.

Όλα τα παραπάνω είδη αποτελούν απλές φωτοσυνθετικές πηγές με μονοκύτταρα παραγωγικά συστήματα. Σε διαστάσεις κυμαίνονται από μονοκύτταρους οργανισμούς μέχρι μη αγγειακά νηματοειδή ή θαλοειδή φυτά. Υποδιαιρέσεις και ορισμένες κλάσεις αυτών είναι γνωστότερα ως φύκη, λόγω της κατάληξης του ονόματος τους.

Τα φύκη διαφοροποιούνται από τους μύκητες και τα πρωτόζωα κυρίως ως προς την ικανότητα που έχουν να φωτοσυνθέτουν. Τα φύκη ποικίλουν από μονοκύτταρους μικροοργανισμούς μέχρι μεγάλα επιμήκη πολυκυτταρικά συσσωματώματα τα οποία έχουν μήκος έως και 30m. Τα κύτταρα από τα οποία αποτελούνται αυτά τα συσσωματώματα διατηρούνται ανεξάρτητα και αυτό το γεγονός τα διαφοροποιεί από τα φυτά που είναι κι αυτά φωτοσυνθετικοί οργανισμοί. Συστήματα επεξεργασίας λυμάτων όπου παρατηρείται και παρουσία φυκών είναι τα σταλαγματικά φίλτρα και οι λίμνες οξειδωσης.

Η κατάταξη των φυκών βασίζεται κυρίως στον τύπο της χλωροφύλλης που φέρουν, στη δομή του κυττάρου τους και στο είδος του οργανικού υλικού που αποταμιεύεται. Έτσι διακρίνουμε τα χλωρόφυτα, τα χρυσόφυτα, τα πυρρόφυτα, τα ροδόφυτα, τα φαιόφυτα και τα ευγληνόφυτα. Τα είδη των φυκών που παρουσιάζουν ενδιαφέρον σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων είναι τα χλωρόφυτα, τα χρυσόφυτα και τα ευγληνόφυτα.

Τα χλωρόφυτα είναι η κύρια κατηγορία φυκών που απαντώνται σε υδάτινα περιβάλλοντα τα οποία ποικίλουν από ολιγοτροφικά καθαρά νερά μέχρι ευτροφικά αλμυρά νερά. Τα χλωρόφυτα 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 *Spyrogyra*.

Τα χρυσόφυτα περιλαμβάνουν τη σημαντική ομάδα των διατόμων. Τα διάτομα είναι πολύ διαδεδομένα σε γλυκά και αλμυρά υδάτινα συστήματα καθώς και σε ιζήματα και στο έδαφος. Περιέχουν χλωροφύλλες a και c και τα κυτταρικά τους τοιχώματα περιέχουν πυρίτιο. Αποτελούν την πηγή των γεωλογικών σχηματισμών που είναι γνωστοί ως «γη διατόμων» . Χαρακτηριστικά γένη διατόμων είναι τα: *Navicula*, *Tabularia* και, *Synedra*.

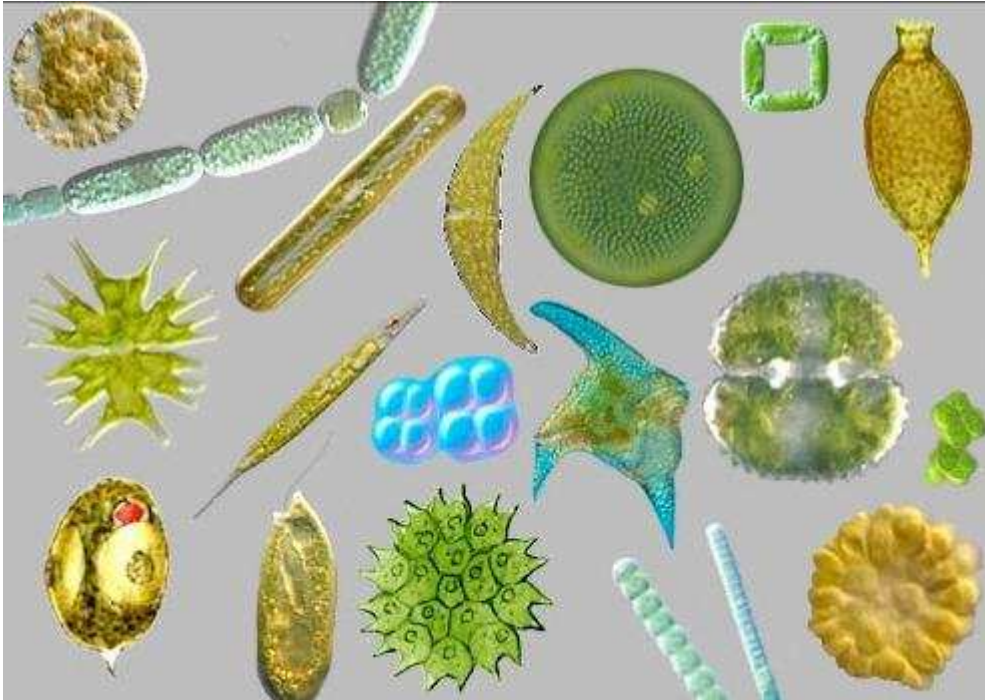
Τα ευγλενόφυτα είναι μονοκύτταροι μικροοργανισμοί που φέρουν ένα ή περισσότερα μαστίγια. Τα μονοβλέφαρα, καθαρού πράσινου χρώματος αχλαδόμορφα επιμήκη μονοκύτταρα μικροφύκη συναντώνται στα στάσιμα γλυκά και ακάθαρτα νερά και ανήκουν στην Τάξη Euglenales, στην ομάδα των Flagellatae (Μαστιγωτά). Τα φύκη αυτά δεν έχουν σταθερό κυτταρικό τοίχωμα αλλά περιβάλλονται από μια δομή που λέγεται πλασμοκάλυμμα. Σε μερικά είδη η δομή αυτή προσδίδει ευκαμψία και το κύτταρο εμφανίζεται να έχει μια ρευστή διαστελλόμενη και συστελλόμενη μορφή. Τυπικό γένος των ευγλενόφυτων είναι το *Euglena*, τα είδη του οποίου .

Περιγραφή

Τα μικροάλγη αποτελούν μια τεράστια ομάδα ετερότροφων φωτοσυνθετικών οργανισμών που δύνανται να καλλιεργηθούν για την παραγωγή ενέργειας. Μπορούν να καλλιεργηθούν κάτω από δύσκολες κλιματικές συνθήκες και μπορούν να παράγουν μεγάλη ποικιλία οικονομικά ενδιαφερόντων βιοπροϊόντων, όπως λίπη, έλαια, σάκχαρα και λειτουργικές βιοενεργές ενώσεις. Παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον στην ανάπτυξη μελλοντικών σεναρίων για παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας. Συγκεκριμένα είδη μικροαλγών είναι αποτελεσματικά στην παραγωγή υδρογόνου και οξυγόνου μέσω της βιοφωτόλυσης, ενώ άλλα παράγουν φυσικά υδρογονάνθρακες κατάλληλους για άμεση χρήση σαν υγρά καύσιμα υψηλής ενέργειας.

Αφού έχουν αναπτυχθεί τα μικροάλγη, η καλλιέργειά τους έχει πολύ μικρότερες οικονομικές απαιτήσεις όσο αφορά τη σοδειά και τη μεταφορά τους, σε σχέση με τις συμβατικές

καλλιέργειες. Επίσης το μικρό τους μέγεθος δίνει πλήθος εξελισσόμενων επιλογών για οικονομικών και αποτελεσματικών. Μπορούν να εξεταστούν εύκολα κάτω από συνθήκες εργαστηρίου και στη βιομάζα τους μπορούν να ενσωματωθούν αποτελεσματικά σταθερά ισότοπα, επιτρέποντας με αυτό τον τρόπο γενετικές και μεταβολικές έρευνες να πραγματώνονται σε πολύ μικρότερη χρονική περίοδο από ότι τα συμβατικά φυτά.



Εικόνα 1. Microalgae sp

Οικολογικές απαιτήσεις

Τα μικροάλγη αντιπροσωπεύουν μια τεράστια ομάδα γενετικής ποικιλομορφίας και υπάρχουν σαν μονοκύτταρα και αποικίες συχνά νηματοειδείς. Είναι διάχυτα διανεμημένα στη βιόσφαιρα και αναπτύσσονται κάτω από την ευρύτερη δυνατή ποικιλία συνθηκών. Μπορούν να καλλιεργηθούν σε υδαρείς συνθήκες, από γλυκού νερού μέχρι υψηλής αλατότητας. Επιβιώνουν σε υγρό, μαύρο έδαφος, στην άμμο της ερήμου και σε όλα τα ενδιάμεσα υποστρώματα. Το ευρύ φάσμα των οικολογικών τους απαιτήσεων παίζει σημαντικό ρόλο στον καθορισμό της ποικιλίας των μεταβολικών προϊόντων που παράγουν.

Πολλαπλασιασμός

Τα μικροάλγη αναπτύσσονται σε συστήματα ανοιχτής καλλιέργειας, όπως πηγές και λίμνες ή σε στενά ελεγχόμενα συστήματα κλειστής καλλιέργειας, ομοίων με αυτών που χρησιμοποιούνται σε εμπορικές διαδικασίες ζύμωσης. Τα πρώτα δεν έχουν μεγάλες απαιτήσεις σε κεφάλαιο και διαχειρίζονται εύκολα, ενώ τα κλειστά απαιτούν υψηλότερες επενδύσεις και

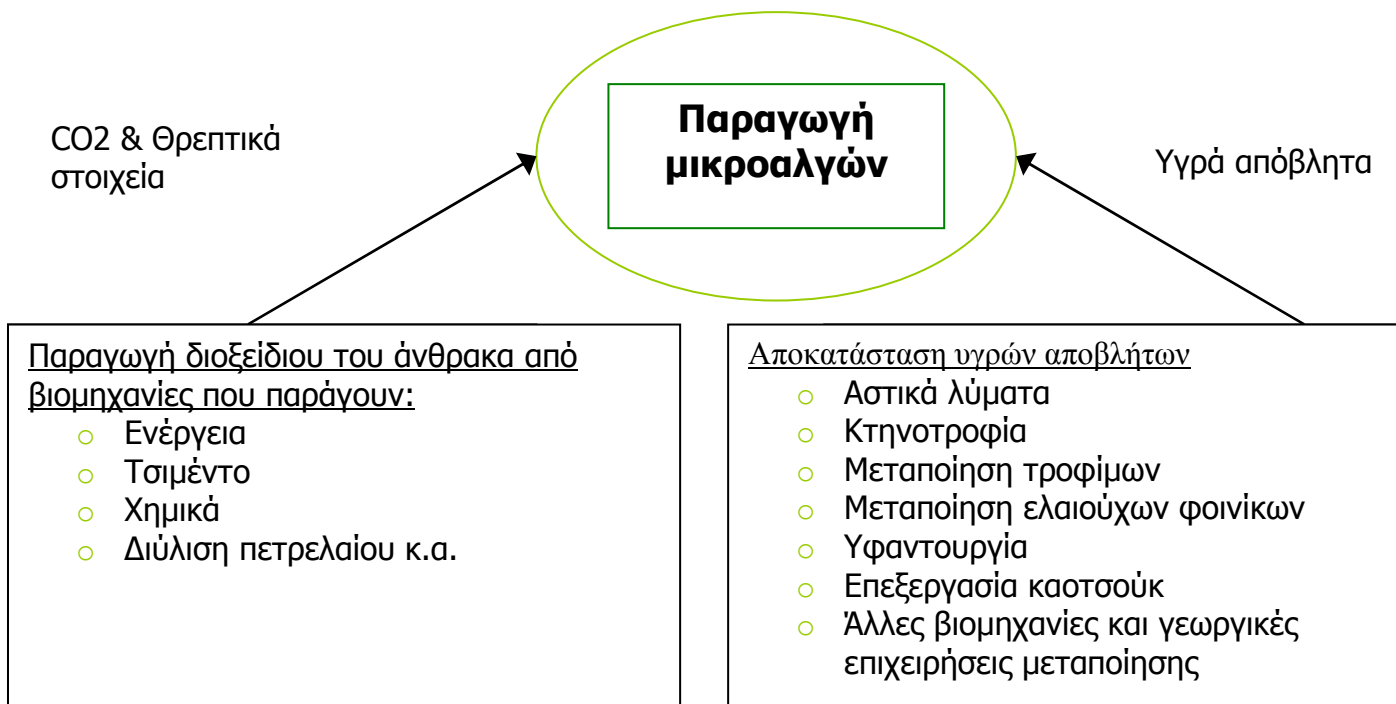
κόστος λειτουργίας. Επίσης τα κλειστά είναι ανεξάρτητα από τις αγροκλιματικές συνθήκες κι ελέγχονται στενά για την άριστη απόδοση και ποιότητα.

Υπάρχουν δύο προσεγγίσεις για την παραγωγή ενέργειας από τη βιομάζα των μικροαλγών, ανάλογα με το συγκεκριμένο οργανισμό και τους υδρογονάνθρακες που παράγουν. Η πρώτη είναι απλά η βιολογική μετατροπή των θρεπτικών στοιχείων σε λιπίδια ή υδρογονάνθρακες. Η δεύτερη διαδικασία εμπεριέχει την θερμοχημική υγροποίηση της βιομάζας των αλγών σε υδρογονάνθρακες προς χρήση. Χαρακτηριστικά είδη αλγών είναι τα: *Scenedesmus* sp, *Chlamydomonas* sp , *Chlorella* sp, *Spirogyra* sp , *Dunaliella* sp , *Euglena* sp, *Prymnesium* sp, *Porphyridium* sp και *Synecoccus* sp.

Ευτροφισμός- Φαινόμενο θερμοκηπίου

Η συνεχής αυξανόμενη συγκέντρωση CO₂ στην ατμόσφαιρα έχει οικολογικές επιπτώσεις στη φωτοσύνθεση και την ανάπτυξη των υδρόβιων φυτών. Η αύξηση του ατμοσφαιρικού CO₂ δύναται να αυξήσει την πρωτογενή παραγωγή φυτοπλαγκτόν στους ωκεανούς και να ενισχύσει τη φωτοσύνθεση και ανάπτυξη κάποιων αλγών. Ακόμη, θα έχει επίδραση στη σύνθεση του ανόργανου άνθρακα σε γλυκά νερά. Με την προσθήκη ανόργανου άνθρακα σε λίμνες με φύκια, και ιδίως σε ευτροφικές αλκαλικές λίμνες όπου κυριαρχούν μικροάλγη, περιορίζεται σε μεγάλο βαθμό η φωτοσύνθεση του φυτοπλαγκτόν.

Κοινά μικροάλγη του γλυκού νερού, όπως το *Chlamydomonas reinhardtii*, *Chlorella pyrenoidosa* και *Scenedesmus obliquus* όταν αναπτύσσονται υπό υψηλές συγκεντρώσεις CO₂ παρουσιάζουν αλλαγές στα φωτοσυνθετικά τους χαρακτηριστικά. Παραδείγματος χάριν



Πίνακας Εισροές που προστίθενται στο διάλυμα των αλγών

1.2.Χρήσεις μικροαλγών

Βρώσιμα παράγωγα

Τα μικροάλλη μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή προϊόντων υψηλής θρεπτικής αξίας, όπως οι βιταμίνες και απαραίτητα λιπαρά οξέα για την ανθρώπινη διατροφή. Οι πληροφορίες που αφορούν την παραγωγή βιταμινών δεν είναι αρκετές, όμως έχει διαπιστωθεί από την απομόνωση ενός μεταλλαγμένου στελέχους *Chlamydomonas* η υψηλή περιεκτικότητα του σε βιταμίνες. Επίσης, απομονώθηκε το *Chlamydomonas eugametos* του γλυκού νερού, που περιέχει σε υψηλά επίπεδα νικοτινικό οξύ και είναι ο παρεμποδιστικός παράγοντας για την πελλάγρα. Έχει αναφερθεί έκκριση βιταμινών B₁₂ και B₁ καθώς και βιοτίνης από κύτταρα του *Chlamydomonas*, καθώς και παραγωγή βιταμινών (ιδίως: φολικού οξέος, παντοθενικού οξέος και βιοτίνης). Τα άλλη μπορούν να συνθέσουν τις περισσότερες βιταμίνες, από τις οποίες κάποιες έχουν υψηλό εμπορικό ενδιαφέρον, όπως η βιταμίνη B₁₂ και E.

Τα λιπαρά οξέα-που είναι συστατικά των λιπιδίων-μπορούν επίσης να ανακτηθούν από μικροάλλη. Τα απαραίτητα λιπαρά οξέα που περιέχονται στη διατροφή του ανθρώπου βρίσκονται σε αφθονία σε κάποια είδη αλγών. Κάποια στελέχη των θαλάσσιων αλγών *Chlorella*, *Porphyridium* και ειδικά το *Isocrysis galbana*, περιέχουν ενδοκυτταρικά απαραίτητα λιπαρά

οξέα σε υψηλά επίπεδα. Στη το γ-λινολεϊκό μπορεί να φτάσει έως και 11% του ξηρού βάρους. Το φαρμακευτικό ενδιαφέρον και η περιορισμένη διαθεσιμότητα του γ-λινολεϊκού οξέος και του EPA (eicosapentanoic acid) παρακίνησε την έρευνα για εναλλακτικές μεθόδους παραγωγής αυτών των οξέων από μικροάλγη. Για αυτό το σκοπό έχουν χρησιμοποιηθεί τα *Spirulina platensis* και *Porphyridium cruentum*.

Υψηλή εμπορική αξία έχουν επίσης οι χρωστικές. Η απόκτηση τους από μια φυσική και οικονομική πηγή όπως τα μικροάλγη θα ήταν εξαιρετικά επωφελής. Τα καροτενοειδή βρίσκουν χρήση στη κοσμετική βιομηχανία και τη γαλακτοβιομηχανία, και αυτά που παρουσιάζουν κυριότερο εμπορικό ενδιαφέρον είναι η β-καροτίνη, το λυκοπένιο, η ζεαξανθίνη, η ασταξανθίνη, η κανταξανθίνη, η κρυπταξανθίνη και η λουτεΐνη. Άλλος ένας θετικός ρόλος των καροτενοειδών είναι η προστασία των μικροαλγών ενάντια στις φωτοοξειδωτικές φθορές προερχόμενες από το οξυγόνο κατά τη διάρκεια υψηλού φωτισμού. Κάποια καροτενοειδή εφαρμόζονται στην υδατοκαλλιέργεια, ενώ άλλα έχουν υψηλή αντιοξειδωτική δράση. Χλωροφύλλη της *Spirulina* έχει χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή αποσμητικών. Το άλγος *Dunaliella bardawii* μπορεί να συσσωρεύσει έως 10% β-καροτίνης στο ξηρό του βάρος, η οποία είναι πιο αποτελεσματική στην απομάκρυνση ριζών οξυγόνου.

Πολυσακχαρίτες

Οι πολυσακχαρίτες χρησιμοποιούνται σαν πυκνωτικό μέσο, μέσον κροκίδωσης και σαν λιπαντικά. Παρότι όλα τα μικροάλγη παράγουν πολυσακχαρίτες, αυτοί εκχυλίζονται κυρίως από τα εξής μακρόφυτα: *Luminaria*, *Macrocystis*, *Gracilaria*, και *Eucheuma*, *Porphyridium cruentum* και *P. Aeruginum*. Το *Porphyridium* παράγει πολυσακχαρίτες που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την ανάκτηση πετρελαίου/ελαίου??? (oil). Ένα θερμοφιλο στέλεχος του *Chlorella* σταδιακά ανεπτυγμένο με αργό ρυθμό αραίωσης στο διάλυμα του, μπορεί να παράγει έως και 50% άμυλο από το ξηρό του βάρος.

Αναβολική παραγωγή λιπιδίων και υδρογονανθράκων

Τα λιπίδια και οι υδρογονάνθρακες βρίσκονται σε ολόκληρη την κυτταρική μάζα των μικροαλγών, αποθηκεύουν έγκλειστα προϊόντα στο κυτόπλασμα και αποτελούν λειτουργικά συστατικά διαφόρων μεμβρανών. Σε κάποιες περιπτώσεις εκκρίνονται εξωκυττάρια αποικισμένα από μικροάλγη, σαν σχεδόν αμιγή ελαιούχα σφαιρίδια. Η λιπιδική σύνθεση μπορεί να ρυθμίζεται με την προσθήκη ή τον περιορισμό συγκεκριμένων στοιχείων στη διατροφή. Για

παράδειγμα η παντελής έλλειψη αζώτου ή πυριτίου και άλλοι παράγοντες που προκαλούν στρες μπορούν να αυξήσουν την συνολική παραγωγή λιπιδίων.

Ο τύπος και το επίπεδο των υδρογονανθράκων που παράγονται συχνά δέχεται επιδράσεις από περιβαλλοντικούς παράγοντες, όπως: το φως, η θερμοκρασία, η συγκεντρωση των ιόντων και το pH. Παρ' ότι δεν είναι ασυνήθιστο να συναντήσουμε τη συγκέντρωση των λιπιδίων σε επίπεδα 20-40% σε ξηρό δείγμα, σε ορισμένες περιπτώσεις η ποσότητα των λιπιδίων που βρίσκεται στα μικροάλγη μπορεί να είναι ασυνήθιστα υψηλή. Η συγκέντρωση υδρογονανθράκων στο ξηρό δείγμα του στελέχους *Botryococcus*, φτάνει έως και 90% σε συγκεκριμένες συνθήκες.

Θερμοχημική υγροποίηση των Μικροαλγών

Η ευκολία της συγκομιδής των μικροαλγών και του χειρισμού τους τα καθιστά εξίσου κατάλληλα για θερμοχημικές διαδικασίες, όπως η υγροποίηση. Ακολουθώντας μια διαδικασία που θυμίζει την προέλευση των προϊόντων πετρελαίου, τα μικροάλγη μετατρέπονται σε ελαιώδεις ουσίες με την επίδραση υψηλής θερμοκρασίας και υψηλής πίεσης. Αποδόσεις της τάξεως 30-40% βαρέως τύπου πετρελαίου μπορούν να αποκτηθούν με τέτοιο τρόπο. Εξαιτίας των υψηλών επιπέδων πρωτεϊνικής ύλης στο σύστημα, πρέπει να ελέγχονται με προσοχή τα επίπεδα του αζώτου που οδηγούν στο σχηματισμό Nox. Επίπεδα της τάξεως 50% υγρών υδρογονανθράκων έχουν αποκτηθεί σε πολύ υψηλή θερμοκρασία, υψηλή πίεση και με τη διαδικασία της υδρογόνωσης, μετά από κατάλυση.

Επεξεργασία και Χειρισμός

Η απευθείας εξαγωγή των υδρογονανθράκων από τα μικροάλγη είναι η ευκολότερη και απλούστερη μέθοδος για την απόκτηση προϊόντων. Αυτό πραγματοποιείται με την χρήση διαλυτών, με την άμεση έκφραση των υγρών λιπιδίων ή με συνδυασμό αυτών των δύο μεθόδων. Η διαδικασία θερμοχημικής υγροποίησης συχνά εξάγει βαριά ελαιώδη ή πηκτώδη υλικά, και χωρίζεται σε διαφορετικά κλάσματα με καταλυτική πυρόλυση. Όπως οι υδρογονάνθρακες έχουν προέλθει από άλλες μορφές ανανεώσιμης βιομάζας, τα λιπίδια των μικροαλγών μπορούν να μετατραπούν σε βενζίνη και καύσιμα diesel.



Πίνακας Προϊόντα που παράγονται από την επεξεργασία των αλγών

Παραγωγή βιοντίζελ από Μικροάλγη:

Τα μικροάλγη είναι υδρόβιοι φωτοσυνθετικοί μικροοργανισμοί. Όπως και τα φυτά της στεριάς, τα μικροάλγη χρησιμοποιούν ενέργεια από τον ήλιο για τη φωτοσύνθεση, δηλαδή τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε αποθηκευμένη χημική ενέργεια. Τα μικροάλγη είναι αποτελεσματικοί μετατροπείς της ηλιακής ενέργειας λόγω της απλής κυτταρικής τους δομής. Παρουσιάζουν ενδιαφέρον για την παραγωγή βιοντίζελ λόγω του ότι αναπτύσσονται πολύ γρήγορα, αντέχουν σε μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες και το περιεχόμενό τους σε έλαια είναι μεγάλο. Το έλαιό τους μπορεί να αποσπαστεί και να μετατραπεί σε βιοντίζελ. Έχουν απομονωθεί είδη

αλγών που το περιεχόμενό τους σε έλαια ανέρχεται έως και στο 50%, πολύ περισσότερο από οποιοδήποτε χερσαίο φυτό¹. Οι αποδόσεις των αλγών ανά εκτάριο προβλέπεται ότι είναι μεγαλύτερες από οποιοδήποτε είδος χερσαίου φυτού² (π.χ. οι φοίνικες αποδίδουν 6000 λίτρα ελαίου ανά εκτάριο, τα άλγη 9000 λίτρα ελαίου ανά εκτάριο). Το πλεονέκτημα της αλγοκαλλιέργειας έναντι των χερσαίων καλλιεργειών βιοκαυσίμων είναι ότι δεν απαιτεί μείωση στην παραγωγή των τροφίμων, αφού δεν γίνεται χρήση καλλιεργήσιμης γης. Πολλά είδη αλγών αναπτύσσονται σε υφάλμυρα ύδατα ή στο θαλάσσιο νερό και δεν γίνεται υπερεκμετάλλευση των αποθεμάτων γλυκού νερού.

Παραγωγή βιοαερίου από Μακροάλγη:

Η αναερόβια χώνευση είναι μια φυσική διεργασία μέσω της οποίας οι μικροοργανισμοί διασπών τη βιοδιασπώμενη ύλη απουσία οξυγόνου. Από τη διεργασία αυτή παράγεται «βιοαέριο» που αποτελείται κυρίως από μεθάνιο (50%-80%) και διοξείδιο του άνθρακα (20%-50%)¹. Το μεθάνιο είναι το κύριο συστατικό του φυσικού αερίου, το οποίο χρησιμοποιείται σε όλη την Ευρώπη για θέρμανση, μαγείρεμα και σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρισμού. Εάν η διεργασία αυτή λάβει χώρα σε ένα ελεγχόμενο περιβάλλον ώστε να είναι δυνατή η συλλογή και αποθήκευση του προκύπτοντος αερίου, παράγεται μεθάνιο το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μία πηγή ανανεώσιμου καυσίμου. Κατά τη διάρκεια της διεργασίας της αναερόβια χώνευσης παράγονται υποπροϊόντα που είναι πλούσια σε θρεπτικά συστατικά και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως λίπασμα στη γεωργία.

Μέσω της αναερόβιας χώνευσης είναι δυνατή η επεξεργασία σχεδόν κάθε οργανικής ύλης, π.χ. βιοδιασπώμενα απορρίμματα, όπως απορρίμματα χαρτιού, κομμένα χόρτα, αποφάγια, αστικά λύματα, ζωικά απόβλητα και μακροάλγη (θαλάσσια φύκια). Ένα πλεονέκτημα που έχει η χρήση της θαλάσσιας άλγης ως πρώτης ύλης έναντι των χερσαίων φυτών είναι ότι δεν υπάρχει αντικατάσταση των εδώδιμων καλλιεργειών με καλλιέργειες βιοκαυσίμων αφού η θαλάσσια άλγη δεν χρειάζεται ούτε γη ούτε και γλυκό νερό.

Επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων αστικών λυμάτων για άρδευση

Τα επεξεργασμένα αστικά λύματα μπορούν να διατεθούν για διάφορες χρήσεις. Η επαναχρησιμοποίηση του έχει σαν συνέπεια την ορθολογική διαχείριση των υδάτινων πόρων, ιδιαίτερα σε περιοχές με έλλειψη νερού, όπως είναι πολλές περιοχές της Ελλάδας. Το θέμα της ταυτόχρονης αξιοποίησης των θρεπτικών συστατικών που εμπεριέχονται στα επεξεργασμένα αστικά λύματα για κάλυψη των αναγκών θρέψης διαφόρων δέντρων δεν έχει μελετηθεί ακόμα

επαρκώς. Βέβαια, διαφορετική είναι η σύσταση των επεξεργασμένων αστικών λυμάτων ανάλογα με την κατεργασία που έχουν υποβληθεί. Έτσι η συγκέντρωση του ολικού αζώτου είναι μεγαλύτερη στην εκροή της πρωτοβάθμιας επεξεργασίας και πολύ χαμηλή μετά τη βαθμίδα Νιτροποίησης/ Απονιτροποίησης.

Στην περίπτωση άρδευσης δασικών εκτάσεων οι απαιτήσεις υγιεινής των επεξεργασμένων λυμάτων είναι μικρότερες από την περίπτωση άρδευσης γεωργικών εκτάσεων. Έτσι δεν είναι απαραίτητη η απολύμανση ούτε η δευτερογενής επεξεργασία στην περίπτωση αυτή.

1.3 Επεξεργασία υγρών αποβλήτων

Προέλευση αστικών λυμάτων

Στις ημέρες μας θεωρείται αναγκαία για έναν οικισμό η επάρκεια πόσιμου νερού, η ύπαρξη συστήματος διαχείρισης των παραγόμενων αποβλήτων και η διασφάλιση αποδεκτής ποιότητας για το περιβάλλον. Το πόσιμο νερό, που αποτελεί θείο δώρο για τον άνθρωπο μετατρέπεται μετά από τη χρήση του σε υγρά απόβλητα τα οποία είναι ενοχλητικά. Εκεί που τελειώνει το δίκτυο ύδρευσης αρχίζει η παραγωγή των υγρών αποβλήτων που τροφοδοτούν το δίκτυο αποχέτευσης. Η απ' ευθείας διάθεση των υγρών αποβλήτων σε ένα φυσικό (συνήθως υδάτινο) αποδέκτη δεν αποτελεί λύση στο πρόβλημα της διαχείρισης των υγρών αποβλήτων. Τα υγρά απόβλητα περιέχουν διάφορους τύπους ρύπων που βρίσκονται σε αιωρούμενη ή κολλοειδή ή διαλυτή μορφή. Οι ρυπαντικές ουσίες εγκυμονούν κινδύνους για τους φυσικούς αποδέκτες και η απ' ευθείας διάθεση των υγρών αποβλήτων δε θεωρείται σήμερα αποδεκτή πρακτική.

Τα υγρά απόβλητα πρέπει να υποβάλλονται πριν από τη διάθεση τους σε κατάλληλη επεξεργασία ώστε να αμβλύνονται οι επιπτώσεις στους αποδέκτες. Ο καθαρισμός των υγρών αποβλήτων έχει κυρίως ως στόχο την προστασία των υδάτινων πόρων. Για την επιτυχή διαχείριση των υγρών αποβλήτων είναι απαραίτητη η γνώση της προέλευσης τους και των χαρακτηριστικών τους ώστε να υποβληθούν σε κατάλληλη επεξεργασία που είναι αποδεκτή από τους ρυθμούς αυτοκαθαρισμού του αποδέκτη διάθεσης τους. Οι υδάτινοι αποδέκτες επιταχύνουν την αποδόμηση των οργανικών συστατικών με τα οποία φορτίζονται (από τη διάθεση των υγρών αποβλήτων) εφόσον η φόρτιση που δέχονται διατηρείται κάτω από το επίπεδο που αντιστοιχεί στην ικανότητα αυτοκαθαρισμού τους.

Εάν ένας υδάτινος αποδέκτης έχει φορτιστεί πέραν των επιπέδων που αντιστοιχούν στην ικανότητα αυτοκαθαρισμού του αρχίζει η εμφάνιση προβλημάτων και παύει να είναι υγιής. Όταν λοιπόν ο υδάτινος αυτός αποδέκτης χρησιμοποιείται ταυτόχρονα και σαν υδατικός πόρος, από όπου γίνεται υδροληψία νερού που προορίζεται για πόσιμο, απαιτούνται πολυδάπανες εργασίες για την κατάλληλη επεξεργασία, ώστε να ικανοποιούνται οι προδιαγραφές που ισχύουν για την ποιότητα του πόσιμου νερού.

Η αποχέτευση των οικιακών λυμάτων (υγρά απόβλητα που παράγονται από την κατοικία) είναι μια γνωστή πρακτική από την αρχαιότητα. Η επεξεργασία (καθαρισμός) όμως των οικιακών λυμάτων όπως εφαρμόζεται σήμερα αποτελεί σχετικά πρόσφατη εξέλιξη. Διάφορες ασθένειες που ταλαιπώρησαν την ανθρωπότητα κατά το παρελθόν αφού εκδηλώθηκαν υπό μορφή επιδημιών είναι δυνατόν να μεταδοθούν και μέσω του πόσιμου νερού. Μόλις όμως πριν από 100 περίπου χρόνια κατάλαβαν οι άνθρωποι αυτό το γεγονός και συνειδητοποίησαν ότι το πόσιμο νερό πρέπει να είναι απαλλαγμένο από κάθε είδους ρύπανση. Το πόσιμο νερό όμως δε λαμβάνεται μόνο από σχετικά καλά προστατευμένους υπόγειους υδατικούς πόρους αλλά και από επιφανειακά νερά τα οποία είναι συνήθως οι πιο πρόσφοροι αποδέκτες για τα υγρά απόβλητα.

Η λύση θα ήταν να κρατηθούν τα υγρά απόβλητα μακριά από τα επιφανειακά ύδατα, αλλά κάτι τέτοιο σε έναν αριθμό περιπτώσεων δεν ήταν δυνατόν κι έτσι προέκυψε η ανάγκη για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων. Το πρόβλημα των υγρών αποβλήτων γινόταν όλο και πιο έντονο από τις αρχές του 20ού αιώνα και ιδιαίτερα μετά από το δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο οπότε παρατηρήθηκε έντονη συγκέντρωση πληθυσμών στα αστικά κέντρα και ραγδαία βιομηχανική ανάπτυξη.

Η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων κρίνεται απαραίτητη. Η ποσότητα των υγρών αποβλήτων που παράγεται σε καθημερινή βάση από τις διάφορες οικιακές δραστηριότητες γενικά στην Ελλάδα υπολογίζεται στα 150-250 lt ενώ στην Αμερική φτάνει τα 500 lt. Στα υγρά απόβλητα υπάρχει ποικιλία χημικών μορίων αλλά και μικροοργανισμών, η παρουσία των οποίων τα καθιστά επικίνδυνα για τη δημόσια υγεία και ασφάλεια όσο και για το περιβάλλον. Η συγκέντρωση μεγάλου αριθμού κατοίκων σε ένα περιορισμένο χώρο δεν συνδράμει στην επεξεργασία τους από φυσικές διεργασίες, όπως η αποσύνθεση οργανικών ουσιών. Οι διάφορες αυτές φυσικές δραστηριότητες αντιγράφηκαν από τον άνθρωπο και επιταχύνθηκαν ελέγχοντας έναν αριθμό παραμέτρων.

Η έλλειψη ικανοποιητικών ποσοτήτων καθαρού νερού που θα καλύψει τις ανάγκες σε πόσιμο αλλά και αρδευτικό νερό έχει ως αποτέλεσμα τη προσεκτική εξέταση της δυνατότητας επαναχρησιμοποίησης των υγρών αποβλήτων τουλάχιστο για άρδευση. Νερό κατάλληλο για πόσιμο και για άρδευση αντιστοιχεί μόλις στο 3% της συνολικής ποσότητας νερού στον πλανήτη. Ταυτόχρονα η νέα περιβαλλοντική πρακτική ανά τον κόσμο έχει βασιστεί στα πέντε R που αντιπροσωπεύουν τις βασικές αρχές προστασίας του περιβάλλοντος: Reclamation (επανάκτηση), Recycle (ανακύκλωση), Reuse (επαναχρησιμοποίηση), Renuable(ανανεώσιμη) και Reduce (μείωση). Κάτω από αυτό το πρίσμα τα εκατομμύρια χιλιάδες κυβικά μέτρα υγρών αποβλήτων που παράγονται ανά τον κόσμο θα μπορούσαν αν επανακτηθούν, να επαναχρησιμοποιηθούν, δημιουργώντας έτσι μια μορφή ανακύκλωσης που θα οδηγήσει σε μείωση των ποσοτήτων καθαρού νερού που χρησιμοποιούνται στη γεωργία δημιουργώντας μια ανανεώσιμη πηγή νερού.

1.4 Χρήση μικροαλγών στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων

Τα άλγη εκτός από φως και CO₂ απαιτούν για την ανάπτυξη τους νερό και θρεπτικά στοιχεία, όπως τα φυτά. Όλα αυτά τα στοιχεία βρίσκονται σε επεξεργασμένα ή μη λύματα προερχόμενα από κτηνοτροφία, και μπορούν να ανακυκλωθούν για τη διατήρηση των πόρων και τη μείωση του κόστους των υποστρωμάτων των καλλιεργειών των αλγών. Συνεπώς κάποιες ερευνητικές ομάδες απέδειξαν την ικανότητα διαφόρων αλγών να χρησιμοποιούν ζωικά απόβλητα σαν μέσον ανάπτυξης. Έχει αναφερθεί πρόσφατα η χρήση τύρφης καθαρισμού των μικροαλγών, η οποία έχει αποικιστεί από νηματοειδή άλγη του γλυκού νερού, για την επεξεργασία ακατέργαστων κοπράνων των χοίρων (Kebede-Westhead et al, 2006). Η βιομάζα των μικροαλγών συγκομίζεται με ταυτόχρονη απομάκρυνση N, P και βαρέων μετάλλων.

Τα μακρο- και μικροάλγη μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μετατροπή, απομάκρυνση ή την απομόνωση ρύπων, όπως τοξικότητες θρεπτικών στοιχείων, ξеноβιοτικών και βαρέων μετάλλων από λύματα, ή CO₂ από εξατμίσεις. Αυτές οι εφαρμογές είναι γνωστές με τον όρο phycoremediation, δηλαδή «αποκατάσταση από φύκη» σε ελεύθερη μετάφραση. Οι διαδικασίες επεξεργασίας αποφέρουν τη βιομάζα των αλγών, ένα προϊόν που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή χημικών, βιοκαυσίμων η βιοαερίων σαν υποπροϊόντα.

Βιοδιάσπαση των ρύπων με χρήση μικροαλγών

Η βιοδιάσπαση εκφράζει τη συσσώρευση και συγκέντρωση των ρύπων από υδατικά διαλύματα με τη χρήση βιολογικών υλικών, επιτρέποντας έτσι την ανάκτηση και τη περιβαλλοντικά

αποδεκτή διάθεση των ρύπων. Για αυτό το σκοπό συνήθως χρησιμοποιείται μικροβιακή βιομάζα ή βιομάζα φυτών.

Η υψηλή συγκέντρωση ανόργανων ενώσεων του αζώτου αποτελεί αξιοσημείωτο πρόβλημα στην επεξεργασία των λυμάτων. Αυτό επηρεάζει απευθείας την ποιότητα του νερού για οικιακή και βιομηχανική χρήση. Συχνά η πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια επεξεργασία δεν είναι αποτελεσματικές στην απομάκρυνση των ενώσεων αζώτου και φωσφόρου. Για να αποφευχθεί η δευτερογενής μόλυνση που προέρχεται από τη τριτοβάθμια επεξεργασία των λυμάτων, προτιμώνται βιοτεχνολογικές διαδικασίες και όχι χημικές. Τα συστήματα με μικροάλγη μπορούν να εξαλείψουν τις ενώσεις αζώτου και φωσφόρου, που είναι υπεύθυνες για το πρόβλημα του ευτροφισμού.

Η χρήση των μικροαλγών για βιοαπομάκρυνση έχει αρκετά πλεονεκτήματα: α) χρήση οικονομικής και άφθονης πηγής ενέργειας- του ηλιακού φωτός β) την παραγωγή βιομάζας για ζωοτροφή και γ) την παραγωγή ενώσεων υψηλής προστιθέμενης αξίας και χημικών. Αντίθετα τα μικροάλγη παρουσιάζουν προβλήματα στην απομάκρυνση της βιομάζας από την πορεία του νερού, ώστε προτείνεται η ακινητοποίηση τους ή η χρήση ανώτερων φυτών σαν εναλλακτική λύση για την απομάκρυνση των θρεπτικών στοιχείων.

Ακόμη, έχει διαδοθεί ευρέως η χρήση βιοαντιδραστήρων. Είναι ένα σημαντικό εργαλείο στις εφαρμοσμένες διαδικασίες που χρησιμοποιούν μικροοργανισμούς. Οι βιολογικοί αντιδραστήρες είναι ένας σχετικά νέος τύπος αντιδραστήρα που προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα στις βιολογικές διαδικασίες μεγάλης κλίμακας. Το περιεχόμενο αυτού του τύπου αντιδραστήρα αναδεύεται με ρεύμα αέρα ή άλλων αερίων, που προωθεί την ανταλλαγή της αέριας φάσης και του μέσου και εξαρτάται από τη γεωμετρία του συστήματος. Χρησιμοποιούνται με μικροοργανισμούς σε διαδικασίες παραγωγής και βιολογικής απομάκρυνσης, όπως η ανόργανη απομάκρυνση αζώτου, η βιολογική αναρόφηση μετάλλων ή η συσσωρευση τους.

Απομάκρυνση θρεπτικών στοιχείων

Τα μικροάλγη συχνά εφαρμόζονται στην τριτογενή επεξεργασία αστικών λυμάτων σε λίμνες ωρίμανσης, ή σε δημοτικά συστήματα επεξεργασίας λυμάτων, μικρής ή μεσαίας κλίμακας. Συστήματα όπως τα Προηγμένα Ολοκληρωμένα Συστήματα Τεχνολογίας Λιμνάζοντων Λυμάτων (Advanced Integrated Wastewater Pond Systems) είναι διαθέσιμα στο εμπόριο. Τα συνήθη σχέδια προαιρετικά περιέχουν λίμνες, σχετικά βαθιές και εξυπηρετούν την επιφανειακή

ανάπτυξη των μικροαλγών, και μικρές, ρηχές λιμνες (High-Rate Algal Ponds) με μεγάλη περιεκτικότητα σε άλγη, που στηρίζονται σε μηχανική ανάδευση για να μεγιστοποιήσουν την παραγωγή των αλγών και την απομάκρυνση του βιολογικά απαιτούμενου οξυγόνου (BOD). Οι HRAPs είναι οι πιο αποδοτικοί αντιδραστήρες για τη διαχείριση υγρών αποβλήτων και τη δέσμευση της ηλιακής ενέργειας. Χρησιμοποιούνται ήδη στην επεξεργασία των αποβλήτων από χοιροστάσια. Η βιομάζα των μικροαλγών μπορεί να συγκομιστεί από τις HRAPs για ζωοτροφή και αποτελεί ένα στάδιο στην ολοκληρωμένη διαχείριση της ανακύκλωσης των κτηνοτροφικών αποβλήτων. Σε αυτήν πρώτα γίνεται η αναερόβια επεξεργασία των οργανικών σε μεγάλο βαθμό υγρών αποβλήτων, κι έπειτα η επεξεργασία των αποβλήτων με μικροάλγη. Η χρήση μιας συγκεκριμένου είδους σύνθεσης μικροαλγών θα διευκόλυνε τη συγκομιδή των καθιζημάτων, μετά την κροκίδωση. Η παραγωγή ποιοτικών βιομηχανικών υδάτων και βιομάζας αλγών επιφέρει κέρδη μέχρι 2-4 χρόνια από την αρχή της καλλιέργειας. Με κόστος παραγωγής 0.4-0.6€ /m³ η αντίστοιχη απόδοση 2-4kg⁻¹ ξηρού βάρους μικροαλγών θεωρείται ικανοποιητική. Η παραγωγή βιοκαυσίμων σε συνδυασμό με την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων και με την ανακύκλωση λιπασμάτων, αποτελεί μια βραχυπρόθεσμη εφαρμογή (σε 5-10 χρόνια) αφού τα άλγη ήδη χρησιμοποιούνται σε αυτό τον τομέα (van Harmelen and Oonk 2006).

Απομάκρυνση οργανικών ρύπων

Τα είδη *Chlorella* και *Scenedesmus* έχουν χρησιμοποιηθεί στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων που περιέχουν οργανικούς ρύπους από χαρτοβιομηχανίες και ελαιουργεία. Ωστόσο, τα ετεροτροφικά μικροάλγη συχνά βγαίνουν εκτός συναγωνισμού από τα βακτήρια γιατί έχουν χαμηλότερους ρυθμούς ανάπτυξης. Εντούτοις, τα άλγη και τα βακτήρια μπορούν να συνδεθούν κι ενωμένα να καθαρίσουν τα υγρά απόβλητα. Τα άλγη παράγουν οξυγόνο με τη βοήθεια της φωτοσύνθεσης, ελαττώνοντας συνεπώς την ανάγκη εξωτερικού αερισμού των αποβλήτων. Αυτή τους η δυνατότητα είναι ιδιαίτερα χρήσιμη όταν πτητικοί ρύποι πρέπει να διασπώνται αερόβια χωρίς να εξατμίζονται λόγω μηχανικού αερισμού. Τα άλγη παράγουν οξυγόνο για τα βακτήρια, που μπορούν να αποικοδομήσουν επικίνδυνους οργανικούς ρύπους. Η βιομάζα που παράγεται από την επεξεργασία υγρών αποβλήτων δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί προς ανθρώπινη βρώση, ή στην κτηνοτροφία. Υπάρχουν προοπτικές για εφαρμογή τους στην παραγωγή χημικών στοιχείων υψηλής αξίας. Περισσότερο εφαρμόσιμος είναι ο συνδιασμός της επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων με τη χρήση αλγών και βακτηρίων με τη μείωση CO₂ και τη παραγωγή βιομεθανίου.

Απομάκρυνση βαρέων μετάλλων

Τα βιολογικά συστήματα για την αφαίρεση μεταλλικών ιόντων από μολυσμένα υγρά απόβλητα αναδεικνύονται σαν εν δυνάμει εναλλακτική για τις χημικές κατεργασίες. Η διαδικασία περιλαμβάνει την προσθήκη χημικών για καθίζηση των μετάλλων ή την ανταλλαγή ρητίνης για τη δέσμευση τους. Άλλες μέθοδοι είναι η προσρόφηση ενεργού άνθρακα, η ηλεκτροδιάλυση και η αντίστροφη ώσμωση. Η χρήση των μικροαλγών στη βιοτεχνολογία, για την αφαίρεση βαρέων μετάλλων και ραδιονουκλεϊδίων από τα υγρά απόβλητα, παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Παράλληλα με την απομάκρυνση των τοξικών στοιχείων, μπορούν αν ανακτηθούν πολύτιμα στοιχεία μετά από κατάλληλη επεξεργασία του φορτίου της μικροβιακής βιομάζας.

Η βιομάζα των αλγών μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν οικονομικό βιοϋλικό για την παθητική απομάκρυνση των τοξικών βαρέων μετάλλων. Για το σκοπό αυτό τα πιο κατάλληλα και υποσχόμενα άλγη είναι τα φαιοφύκη, λόγω της βιοχημικής σύνθεσης των κυτταρικών τους τοιχωμάτων. Η σχετική συγγένεια της ακατέργαστης βιομάζας του *Sargassum* για διάφορα δισθενή κατιόντα μετάλλων έχει τις ακόλουθες συγκεντρώσεις: $Cu > Ca > Cd > Zn > Fe$.

Η παθητική πρόσληψη ονομάζεται βιοαπορόφηση. Το ιόν του μετάλλου προσδένεται στο κυτταρικό τοίχωμα με δύο τρόπους: 1) ανταλλαγή ιόντων, όπου τα ιόντα βαρέων μετάλλων αντικαθιστούν τα μονοσθενή και δισθενή του κυτταρικού τοιχώματος 2) σύνθετος σχηματισμός μεταξύ ιόντων του μετάλλου και λειτουργικών ομάδων που βρίσκονται στο κυτταρικό τοίχωμα. Η βιοαπορόφηση είναι αντιστρεπτή και ταχεία (πραγματοποιείται σε 5-10 λεπτά). Το σύνολο των μετάλλων που συγκεντρώνεται για την κάθε μονάδα βιομάζας είναι ανάλογο με τη συγκέντρωση των μεταλλικών ιόντων στο διάλυμα. Η βιοαπορόφηση επηρεάζεται από το pH και την παρουσία άλλων ιόντων στο μέσον που μπορούν να κατακρημνίσουν βαρέα μέταλλα σαν αδιάλυτα άλατα. Δεν επηρεάζεται από μεταβολικούς παρεμποδιστές, «αποσυμπλοκείς» (uncouplers), φωτεινές ή σκοτεινές αντιδράσεις.

Ενεργός πρόσληψη

Παράλληλα με την κατανάλωση μεταλλικών ιόντων για την ανάπτυξη των μικροαλγών συσσωρεύονται μεταλλικά ιόντα ενδοκυττάρια. Τα βαρέα μέταλλα μπορούν να κατακρημνηστούν από δευτερογενείς μεταβολίτες. Αυτές οι διαδικασίες χρειάζονται ενέργεια για την πραγματοποίησή τους και είναι ευαίσθητες σε μεταβολές του pH, της θερμοκρασίας, της ιοντικής ισχύος, του φωτός κ.α. παραμέτρων. Αναστέλλονται υπό την απουσία ενεργειακής πηγής και σε συνθήκες χαμηλής θερμοκρασίας. Η ενεργός πρόσληψη είναι πιο αποτελεσματική από τη βιοαπορόφηση σε χαμηλές συγκεντρώσεις μεταλλικών ιόντων.

Και οι δύο αυτοί μηχανισμοί μπορούν να λειτουρήσουν στα μικροάλλα, και η σημασία τους εξαρτάται από το είδος του άλλου, τις συνθήκες καλλιέργειας και τις χημικές ιδιότητες των μετάλλων.

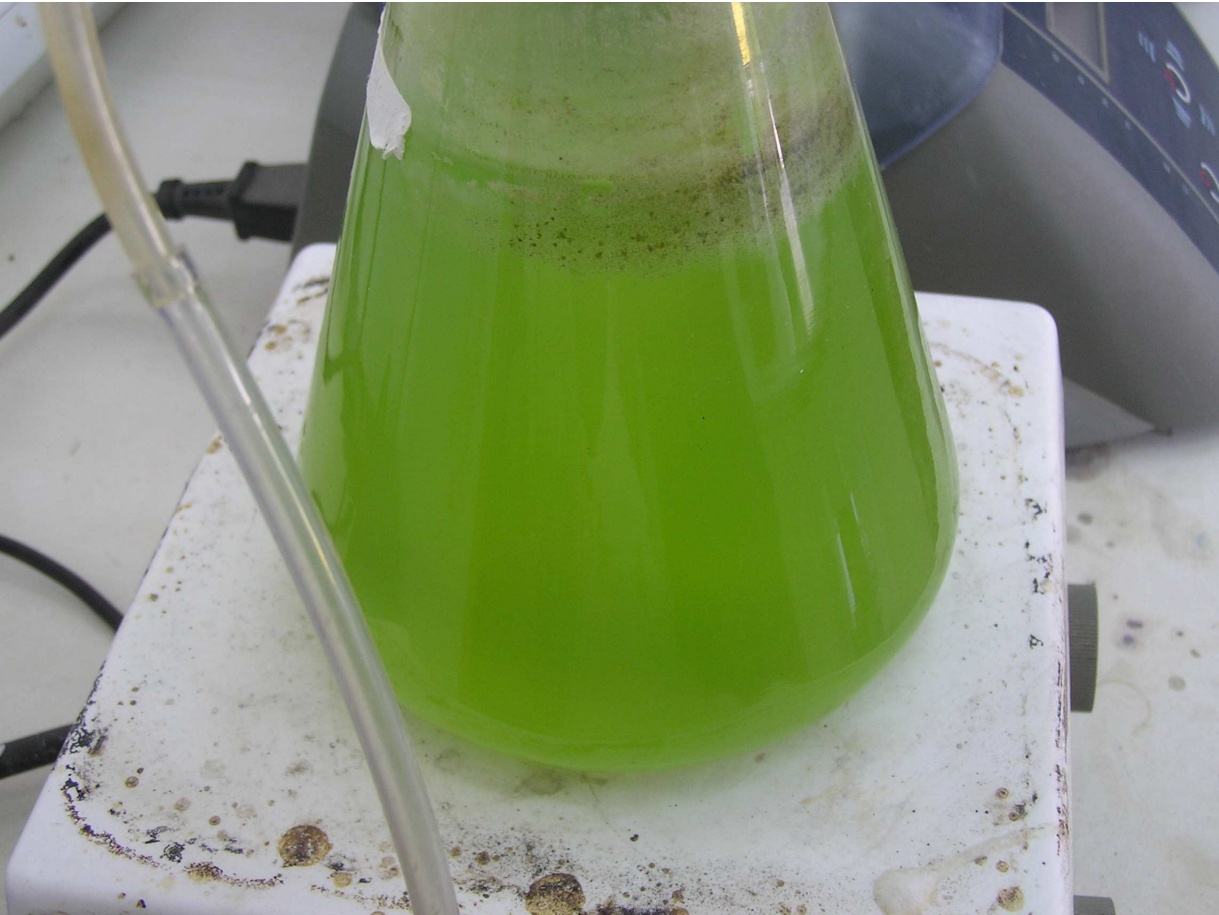
Εξαιρετικά ενδιαφέροντα είναι η ανοχή των βαρέων μετάλλων στα μικροάλλα.

2. Υλικά και Μέθοδοι

2.1 Περιγραφή πειράματος

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Διαχείρισης Στερεών Υπολειμμάτων και Υγρών Αποβλήτων της Σχολής Γεωπονίας του ΤΕΙ Κρήτης. Οι μετρήσεις κάλυψαν το χρονικό διάστημα 05 Ιουλίου έως και 30 Ιουλίου. Στόχος του πειράματος ήταν η καταμέτρηση του ρυθμού ανάπτυξης της βιομάζας των μικροαλγών και της επίδρασης τους στην ηλεκτρική αγωγιμότητα (E.C.) και το pH των λυμάτων.

Το αρχικό διάλυμα που χρησιμοποιήσαμε περιείχε ml μικροαλγών, τα οποία , 200ml επεξεργασμένων υγρών απόβλητων με τη μέθοδο απολύμανσης UV και μικρή ποσότητα στερεών θρεπτικών στοιχείων [0,5gr KH_2PO_4 και 0,5gr $\text{NH}_4)_2\text{FE}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$]. Από το αρχικό διάλυμα σε κάθε μέτρηση αφαιρούσαμε 200ml και τα αντικαθιστούσαμε με 200ml υγρών αποβλήτων. Από το δείγμα των 200ml του αρχικού διαλύματος καταμετρήθηκε η βιομάζα των μικροαλγών η ηλεκτρική αγωγιμότητα (E.C.) και το pH. Η βιομάζα των αλγών μετρήθηκε σε δείγμα στερεάς μορφής, έπειτα από αναρρόφηση και αποξήρανση, μέσω της διαδικασίας που περιγράφεται παρακάτω, ενώ η E.C. και το pH σε μέρος του δείγματος.



Εικόνα . Το διάλυμα επάνω στη συσκευή ανάδευσης

Σε κάθε δείγμα, ξεκινώντας από το αρχικό, πραγματοποιήσαμε τα ίδια βήματα: Αφαίρεση 200ml από το διάλυμα για την πραγματοποίηση των μετρήσεων και προσθήκη 200ml υγρών αποβλήτων, ώστε το αρχικό διάλυμα να ανανεώνεται συνεχώς. Το διάλυμα εμπλουτίζονταν συνεχώς με O_2 και αναδεύονταν με τη χρήση 2 συσκευών, για να δημιουργηθούν συνθήκες κατάλληλες για την ανάπτυξη των αλγών.

Ακολουθεί αναλυτική καταγραφή των υλικών και μεθόδων για τις παραμέτρους που εξετάσαμε στο παρόν πείραμα.



Εικόνα .Διάλυμα μικροαλγών πάνω στη συσκευή ανάδευσης

2.2. Παράμετροι πειράματος

Οι παράμετροι τους οποίους εξετάσαμε στο πείραμα συνίστανται στη βιομάζα των αναπτυσσόμενων στο δείγμα μικροαλγών, την ηλεκτρική αγωγιμότητα (E.C.) και το pH του διαλύματος. Τα εργαστηριακά σκεύη που χρησιμοποιήθηκαν για τη διεξαγωγή του πειράματος είναι τα εξής:

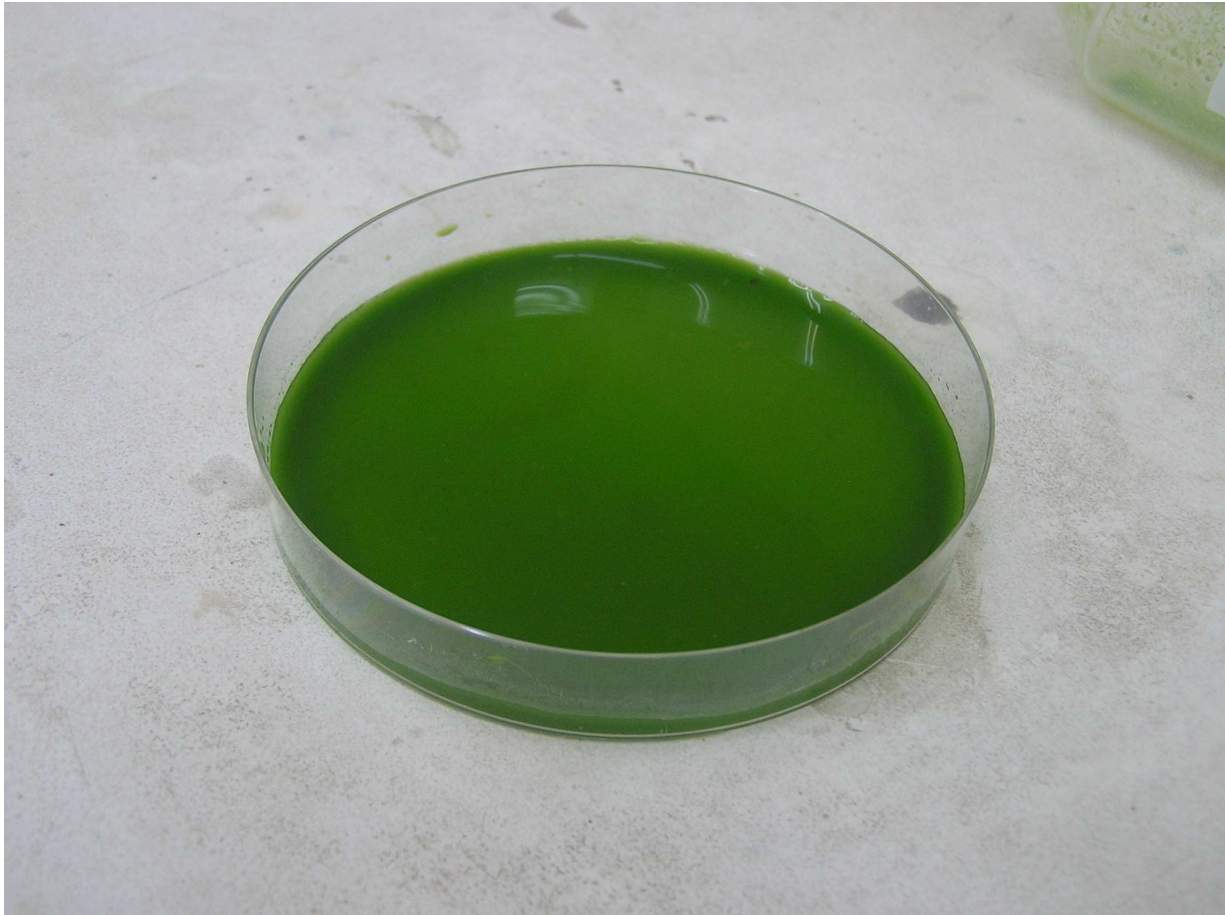
- Κωνική φιάλη 1000ml
- Ογκομετρικός κύλινδρος 1000ml
- Ποτήρι βρασμού
- Υδροβολέας
- Συσκευή ανάδευσης
- Μαγνητάκι για ανάδευση εσωτερικά της ογκομετρικής φιάλης
- Σωλινίσκος παροχής O₂

Προσδιορισμός Βιομάζας μικροαλγών

Για τη μέτρηση της βιομάζας των μικροαλγών χρησιμοποιήσαμε τα εξής όργανα:

- ✧ Αντλία αναρρόφησης (Εικόνα)
- ✧ Φίλτρα Whatman Ø55mm (gr)
- ✧ Ηλεκτρικός αναλυτικός ζυγός Sartorius handy (Εικόνα)
- ✧ Κλίβανος ξήρανσης (Εικόνα)
- ✧ Λαβίδα

Η διαδικασία που ακολουθήσαμε ήταν η εξής: Τοποθετήσαμε ένα φίλτρο στην υποδοχή του μηχανήματος αναρρόφησης, κάτω από το ειδικό ποτήρι. Πήραμε 10ml δείγματος από το διάλυμα και το τοποθετήσαμε στο ποτήρι. Βλέποντας το κουμπί της συσκευής γυρισμένο στην ένδειξη vacuum προχωράμε, πατώντας το κουμπί ON της αντλίας. Η αντλία προσροφά το δείγμα μέσω του σωληνίσκου αφήνοντας στο φίλτρο τη βιομάζα των μικροαλγών. Τοποθετούμε το φίλτρο με τη χρήση της λαβίδας στον κλίβανο ξήρανσης, ο οποίος έχει θερμοκρασία 114-120C°. Δύο ημέρες μετά μετράμε την ξηρή βιομάζα στον ηλεκτρικό αναλυτικό ζυγό (Sartorius handy), πατώντας On/Off και T. Η ένδειξη στην οθόνη πρέπει να είναι μηδέν, και η μπίλια στο πίσω μέρος της συσκευής ρυθίζει την ισορροπία της. Ο ζυγός δίνει τα αποτελέσματα με ακρίβεια τεσσάρων δεκαδικών ψηφίων.



Βιομάζα αλγών

Η μεγάλη αύξηση στον παγκόσμιο πληθυσμό κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών και η αναζήτηση καλύτερης ποιότητας ζωής έχουν επιφέρει μεγάλες απαιτήσεις στην παγκόσμια παραγωγή διατροφικών προϊόντων. Εφόσον πρέπει να δημιουργηθούν νέες πηγές διατροφής η προοπτική της υποστήριξης της συμβατικής γεωργίας από μη συμβατική πηγή, όπως τις πρωτεΐνες μονοκύτταρων μικροαλγών. Η ενδεχόμενη παραγωγή τροφών από ορισμένα μικροάλγη έχει μελετηθεί εκτενώς τα τελευταία χρόνια και έχει διαπιστωθεί η διατροφική αξία της πρωτεΐνης από άλγη. Το πράσινο άλγος *Scenedesmus acutus* και *Chlorella* και το κυανοβακτήριο *S.platensis* παρουσιάζουν ενδιαφέρον για μαζική καλλιέργεια. Τα άλγη αναπτύσσονται σε λίμνες (ή σε ορισμένες περιπτώσεις σε αντιδραστήρες) ξηραίνονται και πωλούνται σε χάπια ή σκόνη. Σε υποτροπικό κλίμα με λίγη συννεφιά η παραγωγή ξηρής μάζας της *Spirulina* σε ετήσια βάση μετριάζει το εκτιμώμενο κόστος της παραγωγής. Όταν οι περιβαλλοντικοί παράγοντες που περιορίζουν την ανάπτυξη είναι μηδαμνοί, πρέπει να ταυτοποιούνται οι υπόλοιποι περιοριστικοί παράγοντες για να βελτιωθεί η παραγωγικότητα της *Spirulina* σε εξωτερικές καλλιέργειες. Έχει περιγραφεί πρόσφατα ένας αντιδραστήρας που εξαναγκάζει την κυκλοφορία της καλλιέργειας σε διαφανείς σωλήνες, τοποθετημένους στο έδαφος και ενωμένους μεταξύ τους πολλαπλώς.

Προς το παρόν, το κύριο πρόβλημα για την εμπορευματοποίηση της βιομάζας των μικροαλγών είναι το υψηλό κόστος παραγωγής και οι ακόμα υψηλότερες τιμές πώλησης. Η συνολική παραγωγή υγιεινών διατροφικών προϊόντων από άλγη είναι περίπου 2,000 τόνοι το χρόνο σε ξηρό βάρος.



Εικόνα .Αντλία αναρρόφησης



Εικόνα .Κλίβανος ξήρανσης



Εικόνα . Ηλεκτρικός αναλυτικός ζυγός

Ηλεκτρική Αγωγιμότητα

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (Electrical Conductivity, EC) ενός θρεπτικού διαλύματος είναι ένα μέγεθος που εκφράζει την ικανότητα του διαλύματος αυτού να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα στην πραγματικότητα είναι η ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα ενός αγωγού ηλεκτρικού ρεύματος η οποία ως γνωστόν εξαρτάται από την φύση του αγωγού. Στα θρεπτικά διαλύματα, η ηλεκτρική αγωγιμότητα οφείλεται στην παρουσία των διαλυμένων σε αυτά ιόντων, τα οποία προέρχονται ή από το νερό άρδευσης ή από την προσθήκη ανόργανων λιπασμάτων. Η (ειδική) ηλεκτρική αγωγιμότητα (Ca) ορίζεται ως το αντίστροφο της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, ρ : ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα

$$Ca = 1/\rho$$

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (ή αλατότητα) εκφράζεται σε $\mu\text{mhos/cm}$ ή mS/cm στους $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Υψηλές τιμές αλατότητας εκφράζουν αυξημένη οσμωτική πίεση στο εδαφικό διάλυμα, που

σχετίζεται με μείωση της διαθεσιμότητας νερού στα φυτά. Επίσης μπορούν να προκληθούν αποφράξεις σε αγωγούς μικρής διαμέτρου, σε σταλάκτες και διανεμητές νερού.

- Η ικανότητα ενός υδατικού διαλύματος να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα οφείλεται στην παρουσία ιόντων.
- Συνεπώς: όσο πιο πολλά ιόντα είναι διαλυμένα στο νερό τόσο μεγαλύτερη είναι η ικανότητά του να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα.
- Συνεπώς, η EC είναι ανάλογη της συνολικής συγκέντρωσης ιόντων στο διάλυμα.
- Όμως, η EC δεν μας δίνει πληροφορίες για το είδος των ιόντων (K^+ , Na^+ , SO_4^{2-} , κ.λπ.) που περιέχονται στο υδατικό διάλυμα.

Με βάση την τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και αναλογικά με το έδαφος και την αντοχή στα άλατα, τα νερά άρδευσης ταξινομούνται σε πέντε κατηγορίες καταλληλότητας:

1. Κατηγορία C_1 : Νερά χαμηλής αλατότητας κατάλληλα για όλα σχεδόν τα εδάφη και τα φυτά. Αυτά έχουν ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) $<250\mu\text{mhos/cm}$ στους 25°C
2. Κατηγορία C_2 : Νερά μέτριας αλατότητας, μπορούν να χρησιμοποιηθούν με μέτρια έκπλυση, και για καλλιέργειες μετρίως ανθεκτικές στα άλατα. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα σε αυτά κυμαίνεται μεταξύ $250-750\mu\text{mhos/cm}$.
3. Κατηγορία C_3 : Νερά μέσης αλατότητας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν εφόσον εξασφαλίζεται επαρκής έκπλυση, σε εδάφη με καλή στράγγιση και σε καλλιέργειες μετρίως ανθεκτικές στα άλατα. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα σε αυτά κυμαίνεται μεταξύ 750 και $2.250\mu\text{mhos/cm}$.
4. Κατηγορία C_4 : Νερά υψηλής αλατότητας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εδάφη πολύ διαπερατά με επαρκή έκπλυση και για ανθεκτικές καλλιέργειες στα άλατα.
5. Κατηγορία C_5 : Νερά υψηλής αλατότητας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν περιστασιακά και κάτω από ειδικές και αυστηρά ελεγχόμενες συνθήκες. Αυτά τα εδάφη πρέπει να είναι πολύ διαπερατά με έκπλυση και στράγγιση πολύ καλή και οι καλλιέργειες πολύ ανθεκτικές στα άλατα. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι σε αυτά μεταξύ $4.000-6000\mu\text{mhos/cm}$.

Βαθμονόμηση (calibration) του οργάνου

1. Πατάμε zero
2. Πατάμε READ CELL CONST → Βλέπουμε την ένδειξη 1.050, αν ΟΧΙ το ρυθμίζουμε με το κουμπί του.
3. Επαναφέρουμε το κουμπί READ CELL CONST

4. Ξεπλένουμε τα ηλεκτρόδια
5. Γυρνάμε το τελευταίο κουμπί από STAND BY σε 20 mmhos
6. Πατάμε το READ
7. Για το κλείσιμο ακολουθούμε την αντίστροφη διαδικασία

Μέτρηση E.C.

Τοποθετούμε το ηλεκτρόδιο στο διάλυμα

Καταγράφουμε την ένδειξη της αγωγιμότητας και της θερμοκρασίας

Από τη θερμοκρασία που καταγράψαμε και από τον πίνακα βρίσκουμε το συντελεστή f . Η ηλεκτρική αγωγιμότητα στους 25°C υπολογίζεται από τον τύπο:

$$EC_{25} = EC \cdot f$$

Επιτρεπόμενα όρια για άρδευση	
Χωρίς πρόβλημα	→ <0,75mS/cm
Αυξανόμενο πρόβλημα	→ 0,75 - 3.0mS/cm
Σοβαρό πρόβλημα	→ >3.0 mS/cm



Εικόνα Ηλεκτρικό αγωγιμόμετρο Crison

Προσδιορισμός pH

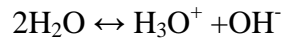
Το pH είναι ένας εύχρηστος τρόπος έκφρασης της συγκέντρωσης των ιόντων υδρογόνου $[H^+]$ σε ένα υδατικό διάλυμα. Πιο συγκεκριμένα, ορίζεται ως ο αρνητικός δεκαδικός λογάριθμος της συγκέντρωσης των ιόντων υδρογόνου $[H^+]$ στο διάλυμα.

$$pH = -\log[H^+]$$

Χρησιμοποιείται ευρέως για την έκφραση της ενεργού οξύτητας ενός διαλύματος. Διαλύματα για τα οποία η τιμή του pH είναι μικρότερη του 7 χαρακτηρίζονται ως όξινα, ενώ με pH μεγαλύτερο από 7 χαρακτηρίζονται αλκαλικά. Τέλος, τα διαλύματα με $pH=7$ ονομάζονται ουδέτερα. Τα ιδανικά όρια μέσα στα οποία πρέπει να κυμαίνονται οι τιμές του για το αρδευτικό νερό είναι από 6,5-8,5.

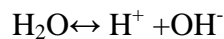
Ιονισμός του νερού και κλίμακα pH

Η παρουσία κάποιου οξέος στο νερό κάνει τα μόρια του νερού να συμπεριφέρονται σαν λήπτες πρωτονίων, ενώ η παρουσία κάποιας βάσης σε αυτό, κάνει τα μόρια του νερού να συμπεριφέρονται σαν δότες πρωτονίων. Η σημαντικότερη όμως ιδιότητα του νερού είναι ότι παίζει το ρόλο του δότη και του λήπτη πρωτονίων συγχρόνως, ως προς τον ίδιο του τον εαυτό. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται αυτοδιάσταση ή αυτοϊονισμός του νερού.



Η αντίδραση αυτή θεωρείται αυθόρμητη και γίνεται σε πολύ μικρό βαθμό. Όπως έχει αποδειχθεί, σε θερμοκρασία δωματίου ιονίζεται ένα μόριο νερού από 10^8 μόρια.

Τα μόρια του νερού στην υγρή κατάσταση συνδέονται μεταξύ τους με δεσμούς υδρογόνου. Ο δεσμός υδρογόνου είναι ηλεκτροστατικής φύσης, όπου ένα άτομο υδρογόνου που ανήκει σε ένα μόριο νερού, εξαιτίας της μεγάλης ηλεκτροθετικότητας του, έλκεται από το ένα αδέσμευτο ζευγάρι ηλεκτρονίων του οξυγόνου κάποιου γειτονικού μορίου νερού. Πολλές φορές όμως, γίνεται απόσπαση του πρωτονίου από το ένα μόριο νερού και η ταυτόχρονη μεταφορά του στο άλλο μόριο. Συμβαίνει δηλαδή ταυτόχρονη μεταφορά πρωτονίου από το ένα μόριο νερού στο άλλο που έχει ήδη χάσει το πρωτόνιο του. Στο νερό, όπως είναι επόμενο, κάποιο μικρό ποσοστό μορίων νερού βρίσκονται διστάμενα. Ούτε ένα μόριο νερού δε βρίσκεται σε αυτή την κατάσταση για μεγάλο χρονικό διάστημα και η ισορροπία αποκαθίσταται σχεδόν αμέσως. Έχει αποδειχθεί, ότι η μεταφορά ενός πρωτονίου από το ένα μόριο στο άλλο γίνεται με συχνότητα 1000 φορές περίπου στο δευτερόλεπτο. Απλούστερα:



Εφαρμόζοντας το νόμο της δράσης των μαζών για την παραπάνω Χ.Ι.:

$$K' = [\text{H}^+] \cdot [\text{OH}^-] / [\text{H}_2\text{O}]$$

Η συγκέντρωση του νερού στα υδατικά διαλύματα είναι συνήθως μεγάλη και σχεδόν πάντα σταθερή στα αραιά διαλύματα. Έτσι η παραπάνω σχέση μετατρέπεται σε:

$$K' \cdot [\text{H}_2\text{O}] = K_w = [\text{H}^+] \cdot [\text{OH}^-]$$

Όπου: K' η φαινομενική σταθερά της Χ.Ι. και K_w η σταθερά του ιοντικού γινομένου του νερού ($K_w = 1,0 \cdot 10^{-14}$ στους 25°C). Ισχύει δηλαδή ότι: $K_w = [\text{H}^+] \cdot [\text{OH}^-] = 1,0 \cdot 10^{-14}$

Η παραπάνω σχέση ισχύει όχι μόνο για το καθαρό νερό αλλά και για τα υδατικά διαλύματα. Διαλύματα όπου $[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] = 1,0 \cdot 10^{-7} \text{ M}$ χαρακτηρίζονται ως ουδέτερα. Στα όξινα διαλύματα η συγκέντρωση των ιόντων H^+ είναι μεγαλύτερη από τη συγκέντρωση των ιόντων OH^- και αντίθετα, στα αλκαλικά ή βασικά διαλύματα η συγκέντρωση των ιόντων OH^- είναι μεγαλύτερη από τη συγκέντρωση των ιόντων H^+ .

Οι όξινες και συγχρόνως βασικές ιδιότητες του νερού παίζουν σημαντικό ρόλο τόσο στον τομέα των πειραμάτων όσο και των εφαρμογών. Για παράδειγμα από την οξύτητα ή την αλκαλικότητα του εδάφους εξαρτάται η δυνατότητα εγκατάστασης και η φυσιολογική ανάπτυξη σε αυτό κάποιας καλλιέργειας. Για πρακτικούς λόγους η συγκέντρωση των ιόντων H^+ σε ένα

υδατικό διάλυμα εκφράζεται ως ο αρνητικός λογάριθμος της συγκέντρωσης των ιόντων υδρογόνου, η οποία εκφράζεται με τη βοήθεια του **pH**.

Σημασία του pH

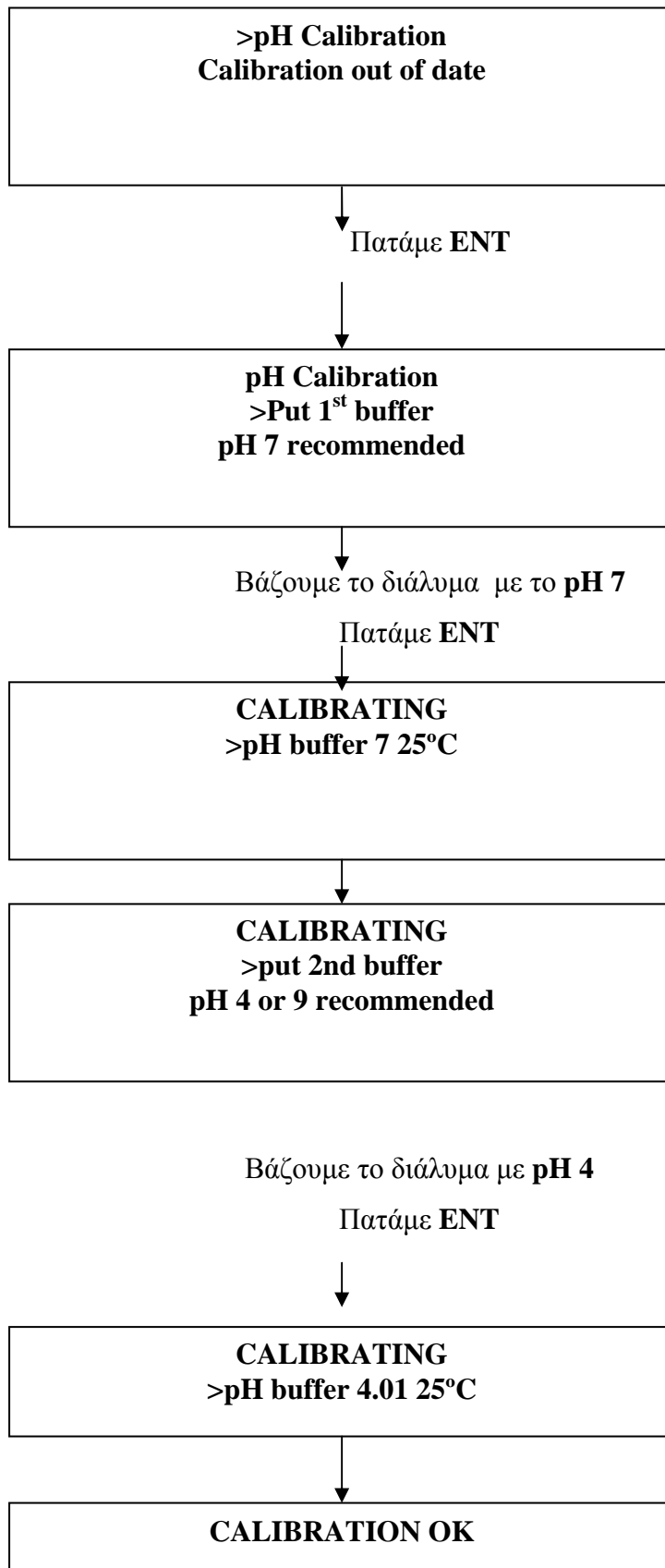
- Επηρεάζει τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων στο εδαφικό διάλυμα.
- Επηρεάζει τη δραστηριότητα των μικροοργανισμών στο έδαφος.
- Ακραίες τιμές του σχετίζονται με τροφοπενίες σε διάφορα θρεπτικά στοιχεία.
- Σχετίζεται με τοξικότητες διαφόρων στοιχείων.

<u>Αντίδραση</u>	<u>pH</u>
Ισχυρά όξινη	3-4
Όξινη	4-5
Ασθενής όξινη	5-6
Ουδέτερη	7
Ασθενώς αλκαλική	7-8
Αλκαλικά	8-9
Ισχυρά αλκαλική	9-11

Πίνακας . Σχέση αντίδρασης

εδάφους από το pH

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$$

Βαθμονόμηση (calibration) του οργάνου



Εικόνα . Πεχάμετρο, Crison pHMeter GLP21

3.Αποτελέσματα- Συζήτηση

3.1 Γενικές παρατηρήσεις

Οι μετρήσεις που λάβαμε σε αυτό το πείραμα ακολούθησαν γενικά πορεία σταθερώς αύξουσα στην περίπτωση της βιομάζας, ενώ στην περίπτωση των EC και pH ήταν σταθερά φθίνουσα. Τα αποτελέσματα που λάβαμε ακολουθούν στον Πίνακα 1.

ΗΜ/ΝΙΑ μετρησης	Βιομάζα(gr)	EC	f	EC₂₅	p.H.
05/07	0,1828				
07/07	0,1838	5,00(32,8C°)	0,861	4,305	8,17
09/07	0,1877	4,07 (30C°)	0,907	3,691	7,70
12/07	0,1867	3,83(31,6 C°)	0,880	3,370	7,90
14/07	0,1825	3,21(31,3 C°)	0,884	2,838	6,70
16/07*	0,1807	2,53(33,4 C°)	0,858	2,171	7,20
19/07	0,1884	2,10(32,1 C°)	0,870	1,827	7,60
21/07	0,1827	2,41(32,7 C°)	0,861	2,075	9,13
23/07**	0,1804	2,03(32,2 C°)	0,870	1,766	8,21
26/07	0,1818	2,04(31,8 C°)	0,877	1,789	8,49
28/07	0,1812	2,02(30,8 C°)	0,894	1,806	8,65
30/07	0,1878	1,93(29,1 C°)	0,921	1,778	8,40

Πίνακας1. Μετρήσεις

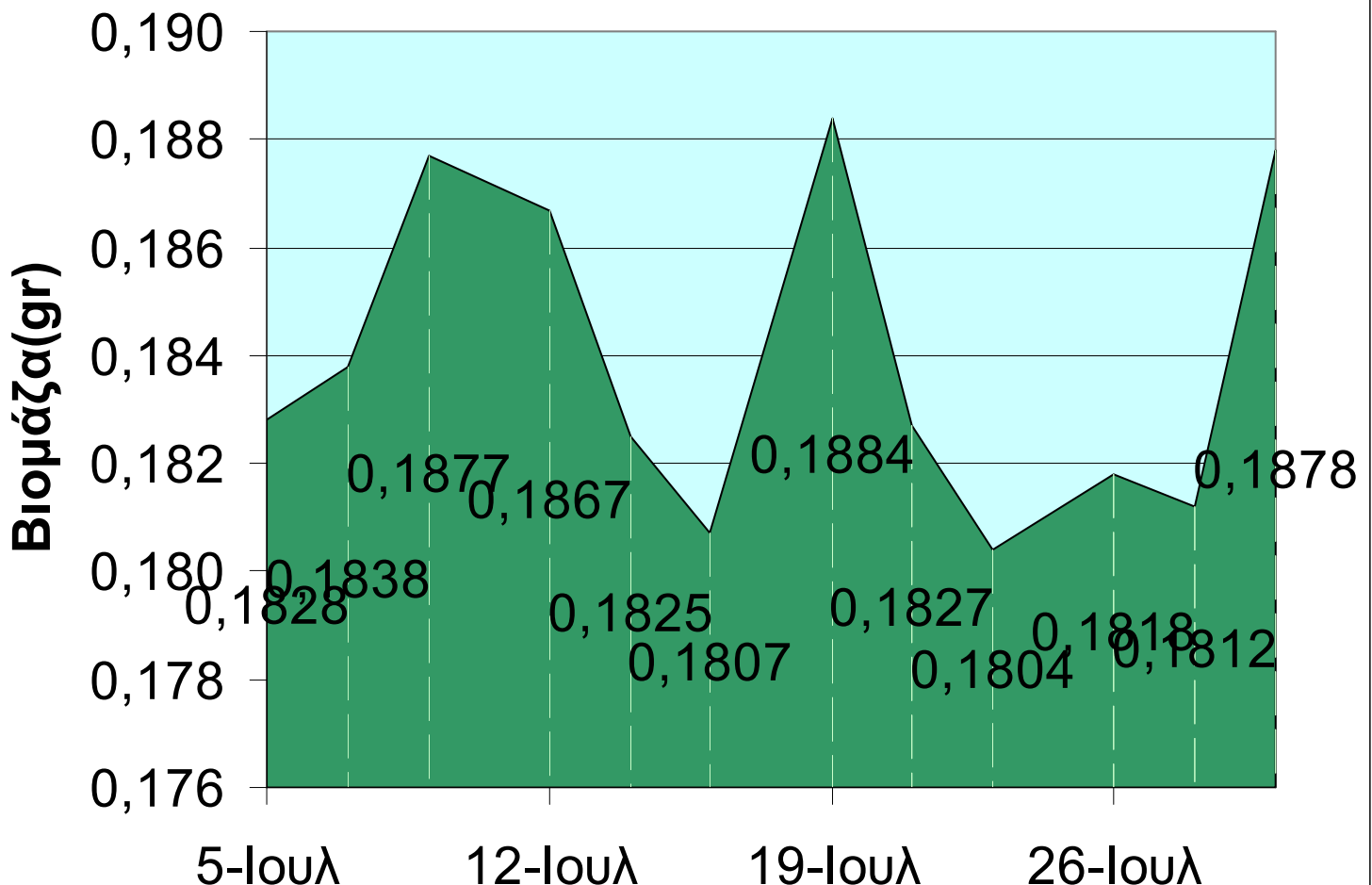
*Από τη μέτρηση αυτή και ως το τέλος του πειράματος χρησιμοποιήσαμε καινούριο δείγμα αποβλήτων ίδιας προέλευσης.

**Αφαιρέθηκαν 100ml από το αρχικό διάλυμα

3.2 Μέτρηση της βιομάζας

Οι μετρήσεις της βιομάζας ακολούθησαν ανοδική πορεία, με σαφή πτώση κατά τις επεμβάσεις μας στο διάλυμα των μικροαλγών (χρήση καινούριων αποβλήτων στις 16/07 και αφαίρεση 100ml από αρχικό διάλυμα για την εκχύλιση λάσπης από βιομάζα στις 23/07). Άρα αν λάβουμε υπ' όψιν αυτές τις δύο επεμβάσεις, κάποιες πτωτικές τάσεις που παρουσιάζονται στο διάγραμμα βρίσκουν εξήγηση. Στο διάγραμμα που ακολουθεί δεν έχει αφαιρεθεί από τις τιμές της βιομάζας η μάζα του φίλτρου. Το φίλτρο που χρησιμοποιήσαμε στο πείραμα ζύγιζε 0,1725 και αφαιρώντας τη μάζα του βρίσκουμε την καθαρή τιμή της βιομάζας. Ο πίνακας δείχνει την καθαρή τιμή της βιομάζας σε mgf έπειτα από την αφαίρεση της μάζας του φίλτρου.

Τιμές Βιομάζας



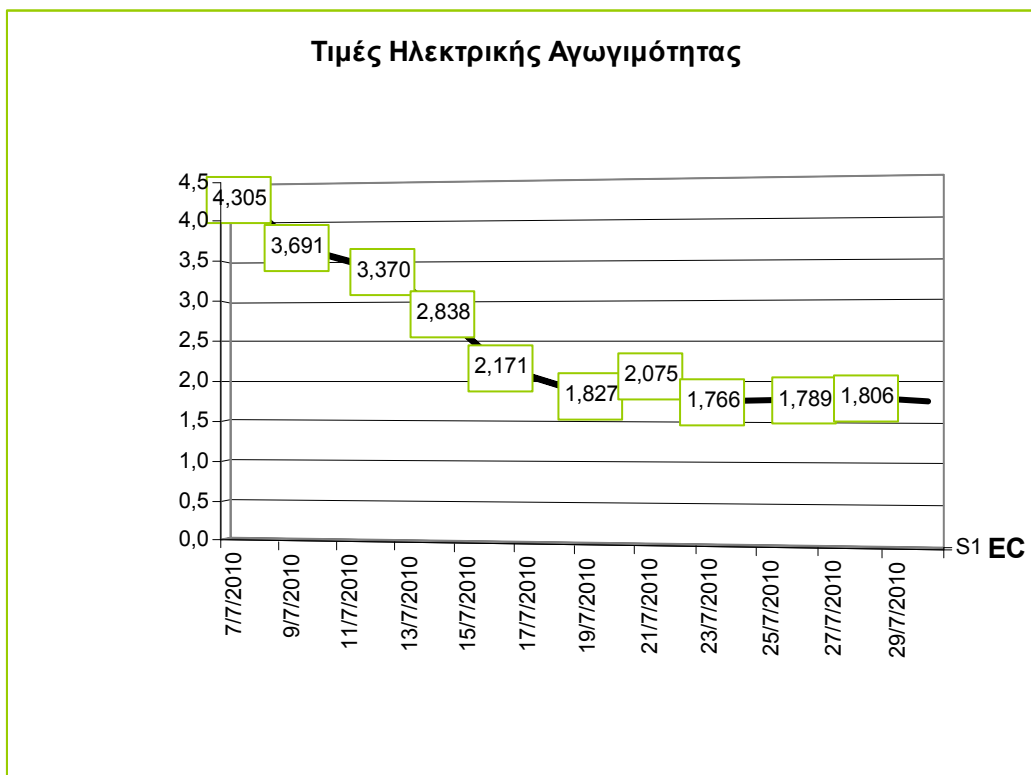
	Βιομάζα (gr) με φίλτρο	Βιομάζα χωρίς φίλτρο(mgr)
5-Ιουλίου	0,1828	1,03
7-Ιουλίου	0,1838	1,13
9-Ιουλίου	0,1877	1,52
12-Ιουλίου	0,1867	1,42
14-Ιουλίου	0,1825	1,00
16-Ιουλίου	0,1807	0,82
19-Ιουλίου	0,1884	1,59
21-Ιουλίου	0,1827	1,02
23-Ιουλίου	0,1804	0,79
26-Ιουλίου	0,1818	0,93
28-Ιουλίου	0,1812	0,87
30-Ιουλίου	0,1878	1,53

Πίνακας .Η βιομάζα των μικροαλγών έπειτα από την αφαίρεση της μάζας του φίλτρου (0,1725gr)

3.3 Μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας

Η καταμέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο ηλεκτρικό αγωγιμόμετρο του εργαστηρίου έδωσε τα αποτελέσματα που δίδονται στον πίνακα. Η περαιτέρω τυπική διαδικασία για την εύρεση της EC_{25} έχει ως εξής: Από τον πίνακα για τη διόρθωση των δεδομένων αγωγιμότητας των διαλυμάτων βρήκαμε με τη βοήθεια του συντελεστή f εν αντιστοιχία με τη θερμοκρασία της εκάστοτε ημερομηνίας την EC_{25} . Με τη μετατροπή αυτή το τελικό αποτέλεσμα αντιστοιχεί σε θερμοκρασία $25^{\circ}C$. Η ακόλουθη εξίσωση δείχνει τη μεταβολή που προκαλεί στη μέτρηση μας ο παράγοντας της θερμοκρασίας (f_t):

$$EC_{25} = EC_t \cdot f_t$$

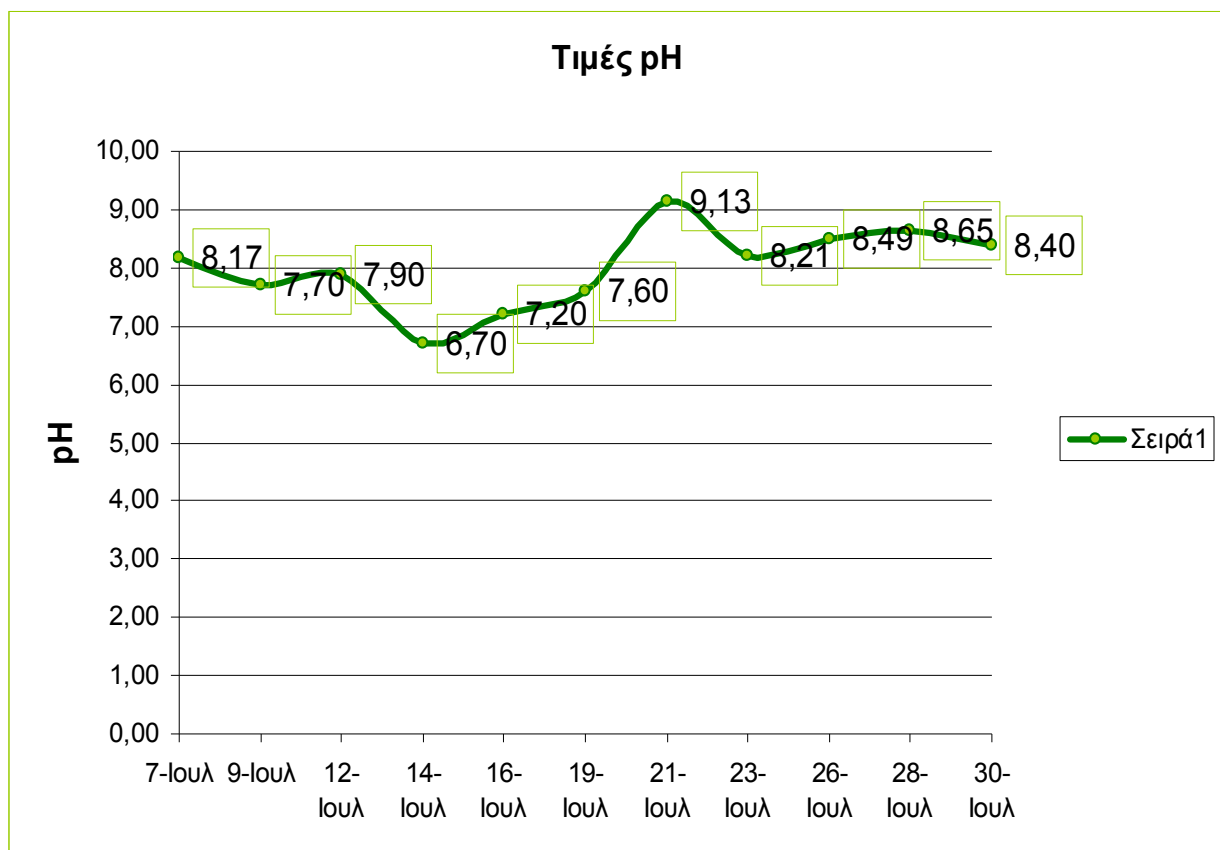


Εικόνα . Σχεδιάγραμμα EC

Οι μετρήσεις της ηλεκτρικής αγωγιμότητας που πήραμε έδωσαν την πτωτική καμπύλη της εικόνας , συνεπώς τα στελέχη των μικροαλγών συντέλεσαν στην μείωση της EC του διαλύματος των αποβλήτων.

3.4 Μέτρηση του pH

Τα αποτελέσματα της μέτρησης του pH όπως δείχνει το Σχεδιάγραμμα 3,ακολούθησαν πτωτική πορεία έως τις 21 Ιουλίου. Οι τιμές του δείγματος κυμαίνονται από τα όρια του ασθενώς όξινου (6,70) έως αλκαλικού (9,13).



4.Συμπεράσματα

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του πειράματος, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι τα μικροάλγη μπορούν να συνεργήσουν στην διαδικασία της επεξεργασίας των αποβλήτων, αφού βελτιώνουν τις τρεις παραμέτρους που εξετάσαμε.

Αναλυτικότερα, από τις μετρήσεις της βιομάζας των μικροαλγών, παρατηρούμε ότι ακολουθήθηκε αυξητική πορεία έως τη σταθεροποίηση των τιμών. Συνεπώς, το διάλυμα των αποβλήτων και θρεπτικών ουσιών επέφερε σταδιακή αύξηση της συγκέντρωσης των μικροαλγών. Η συνεχής απορρόφηση των θρεπτικών στοιχείων σε υψηλή συγκέντρωση και των βαρέων μετάλλων από τα στελέχη των μικροαλγών αποτελεί ένα στάδιο πριν την απομάκρυνση της βιομάζας τους. Στην ουσία, τα στελέχη θρέφονται με τα στοιχεία που για το διάλυμα των αποβλήτων θεωρούνται πιθανή πηγή μολυσμάτων, τοξικοτήτων ή ευτροφισμού κατά την απελευθέρωση τους στο περιβάλλον. Η ικανότητά τους αυτή τα καθιστά ένα δυναμικό χειρισμό στην επεξεργασία των αποβλήτων, με επιπλέον πλεονεκτήματα όσο αφορά τη χρήση της βιομάζας σε τομείς όπως η γεωργία ή η παραγωγή στερεών καυσίμων.

Συγκεκριμένα, η βιομάζα των μικροαλγών, έπειτα από χημικές αναλύσεις θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί είτε για την παραγωγή οργανικών λιπασμάτων είτε ως θρεπτικό διάλυμα σε υδροπονικές καλλιέργειες. Άλλωστε ήδη κυκλοφορούν στο εμπόριο λιπάσματα που προέρχονται από φύκη, που εφαρμόζονται ακόμη και για βιολογική καλλιέργεια. Για τέτοιες εφαρμογές της βιομάζας των μικροαλγών απαιτούνται κατάλληλοι χειρισμοί και περαιτέρω διαδικασίες για την ασφάλη αλλά και επικερδή διάθεση των προϊόντων στο εμπόριο από τις βιομηχανίες λιπασμάτων.

Από τα παραπάνω συμπαιρένουμε ότι η χρήση της βιομάζας στην επεξεργασία των μικροαλγών επιφέρει πολλαπλά οφέλη: 1.απομακρύνει τις βλαβερές χημικές ουσίες των αποβλήτων, καθιστώντας τα επαναχρησιμοποιήσιμα στην άρδευση των καλλιεργειών 2.Βρίσκει εφαρμογή σε βιομηχανικές μονάδες για παραγωγή λιπασμάτων ή στερεών καυσίμων 3.Μελλοντικές διαφορετικές χρήσεις της βιομάζας είναι πιθανες μετά από επεξεργασία. Θα πρέπει να δωθεί προσοχή στην περαιτέρω χρήση της βιομάζας, καθώς η προέλευση των αποβλήτων μπορεί να επιφέρει κινδύνους. Γι' αυτό και προτιμώνται απόβλητα που έχουν υποστεί μια πρωτογενή επεξεργασία, όπως για παράδειγμα με UV. Ωστόσο πιθανές πηγές μολύσματος

μπορούν να δημιουργήσουν περιορισμένα προβλήματα στην καλλιέργεια και στην ποιότητα της παραγωγής, στην περίπτωση εφαρμογής λιπασμάτων της βιομάζας.

Από τα αποτελέσματα που έδωσαν οι μετρήσεις της ηλεκτρικής αγωγιμότητας συμπεραίνουμε ότι τα μικροάλγη

Όσον αφορά τις τιμές του pH, η πορεία που ακολούθησαν ήταν πτωτική, έως ότου αρχίσει να σταθεροποιείται το pH, έπειτα από την μέγιστη ένδειξη του πεχάμετρου. Δηλαδή το διάλυμα από μετρίως αλκαλικό σταδιακά αυξάνοταν σε οξύτητα, μέχρι την επέμβαση μας στις 23/07 (αφαιρέσαμε 100 ml δείγματος από το διάλυμα), οπότε και οι ενδείξεις του πεχάμετρου τείνουν στο ελαφρώς αλκαλικό. Οι τελικές μετρήσεις δείχνουν σταθεροποίηση της τιμής του pH στο επίπεδο του ελαφρώς αλακλικού (~8,50). Ένα τέτοι διάλυμα

Βιβλιογραφία

Ying Yang¹ and Kunshan Gao^{1,2} 2003. «Effects of CO₂ concentrations on the freshwater microalgae, *Chlamydomonas reinhardtii*, *Chlorella pyrenoidosa* and *Scenedesmus obliquus* (Chlorophyta)», ¹ Marine Biology Institute, Shantou University ²Institute of Hydrobiology, The Chinese Academy of Sciences (Σελίδες:)

Keri B. Cantrell et al 2008. «Livestock waste-to-bioenergy generation opportunities», United States Department of Agriculture, Coastal Plains soil, Water and Plant Resaerch Center (Σελίδες:)

Anders S Carlsson, Jan B van Beilen, Ralf Möller and David Clayton, 2007 «Micro- and macro-algae: Utility for industrial Applications», EPOBIO: Realising the Economic Potential of Sustainable Resources – Bioproducts from Non-food Crops (Σελίδες:)

Carlos Vilchez, Ines Garbayo, Maria V. Lobato and Jose M. Vega, 1997 «Microalgae-mediated chemicals production and wastes removal», Departamento di Quimica y Ciencias de los materials, Escuela Politechnica Superior, Universidad de Huelva, Huelva, Spain (Σελίδες:)

Ευαγγελία Δηλαβεράκη, 2003 «Σημειώσεις Χημείας» Τμήμα Τεχνολογίας Γεωπονίας, ΤΕΙ Κρήτης(Σελίδες)

Θρασύβουλος Β. Μανιός «Επεξεργασία και Αξιοποίηση Υγρών Αποβλήτων» Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης (Σελίδες:3,)

Κων. Γκανιάτσα 1967 «Συστηματική Βοτανική» Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (Σελίδες:)

Σ Τσώνης, 2004 «Επεξεργασία Λυμάτων» Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πολυτεχνική Σχολή (Σελίδες:)

Πρόσβαση στο Διαδίκτυο

Microalgae, Morton Satin, Chief Agro-Industries and Post-Harvest Management Service (Σελίδες:2,3)

<http://www.fao.org/ag/ags/Agasi/MICROALG.htm>

Βικιπαίδεια, η ελεύθερη εγκυκλοπαίδεια, Φύκη (Σελίδες:2,)

Άλλες τεχνολογίες, Άλγη (Σελίδες:)

http://www.aquaret.com/index.php?option=com_content&view=article&id=183&Itemid=326&lang=el