Δραστηριότητα 2

ΩΚΕΑΝΟΣ

11 Μαΐου 2017

1. Εισαγωγή

Ο Njord είναι ιχθυοκαλλιεργητής που εκτρέφει ψάρια στο Kattegat. Είναι πολυάσχολος με την οικογενειακή επιχείρηση, οπότε τον βοηθάει η έξυπνη 16χρονη κόρη του Freja.

Πρόσφατα ο Njord αποφάσισε ότι αντί να αγοράζει μικρούς οργανισμούς που χρησιμοποιεί ως τροφή για τα ψάρια του, θα πρέπει να τους παράγει ο ίδιος, ξεκινώντας από φρέσκα μικροφύκη. Τα φωτοσυνθετικά φύκη χρειάζονται νερό, διοξείδιο του άνθρακα, φως και θρεπτικά συστατικά για να αναπτυχθούν. Τα θρεπτικά συστατικά μπορεί να είναι δαπανηρά. Χρειάζεται πολλή ενέργεια για την απομόνωση του αζώτου από την ατμόσφαιρα και ο φώσφορος πρέπει να εξορύσσεται και θα εξαντληθεί κάποια μέρα. Μια εναλλακτική λύση είναι η χρήση λυμάτων, από τα οποία πρέπει να απομακρυνθούν οι προαναφερθείσες ουσίες πριν απορριφθούν στο περιβάλλον. Τα λύματα μετά από αναερόβια επεξεργασμένα έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε άζωτο (N) και φώσφορο (P), αλλά χαμηλή σε οργανικό άνθρακα και έχει αποδειχθεί ότι είναι ένα καλό θρεπτικό μέσο ανάπτυξης των φυκών.

Μια μέρα, η Freja πήγε να βοηθήσει τον πατέρα της και είδε ότι είχε αγοράσει ένα εντυπωσιακό σύνολο πειραματικών φωτοβιοαντιδραστήρων, που τους είχε γεμίσει με λύματα με ένα πάνελ LED να τα φωτίζει.

<u>ΠΡΟΣΟΧΗ: Το μέρος Β του πειράματος 1 έχει μερικά χρονοβόρα βήματα. Ίσως πρέπει να το διαβάσετε και να το ξεκινήσετε πρώτο.</u>

Kattegat, η θάλασσα ανάμεσα στη Δανία και Σουηδία.

2. Μέρος 1: Παραγωγή φυκών (algae) και μετρήσεις επεξεργασίας λυμάτων με φασματοφωτομετρία

Ο Njord άρχισε να διοχετεύει τα λύματα με σταθερό ρυθμό στο φωτοβιολογικό αντιδραστήρα φυκών, ξεχνώντας αναμμένα τα LED, ενώ πήγε στο Kattegat για να ρυθμίσει μερικά κλουβιά ψαριών. Όταν επέστρεψε, παρατήρησε ότι είχαν αναπτυχθεί κάποια φύκια στον αντιδραστήρα, τα οποία βρίσκονταν στη μεγάλη δεξαμενή που έφτιαξε για τη συλλογή των λυμάτων. Μη μπορώντας να εξηγήσει τι συνέβη, κάλεσε τη Freja . Ο Njord έκανε τις ερωτήσεις:

Α. Ποια ποσότητα φυκών παράγω;

Β. Ποια ποσότητα καροτενοειδών παράγουν τα φύκη;

Γ. Ποια ποσότητα θρεπτικών συστατικών απομακρύνονται από τα λύματα; Θα έχουμε κάποιο κέρδος από αυτό;

Η Freja ήρθε και παρακολούθησε προσεκτικά το σύστημα. Τοποθέτησε επίσης ένα μεγάλο πλαστικό δοχείο και περίμενε μια ώρα για να παραλάβει 21,5 L αιωρήματος φυκών από τον αντιδραστήρα (θεώρησε την πυκνότητα 1 kg/L). Στη συνέχεια συνέλεξε μερικά δείγματα για να πάρει μετρήσεις στο σχολείο της, στα οποία έβαλε τις ενδείξεις:

- Δείγμα 1: “Influent” - τα υγρά απόβλητα που εισρέουν στο σύστημα του φωτοβιοαντιδραστήρα.

- Δείγμα 2: “Effluent” - το υγρά απόβλητα με φύκια που ρέουν έξω από το σύστημα του φωτοβιοαντιδραστήρα.

Τώρα πρέπει να βοηθήσετε τη Freja να καταλάβει πώς να απαντήσει στις ερωτήσεις του Njord χρησιμοποιώντας τα εργαλεία που έχει, ειδικά τη φασματοφωτομετρία.

Το φασματοφωτόμετρο είναι μια συσκευή με την οποία ανιχνεύεται το φως ενός επιλεγμένου μήκους κύματος αφού διέλθει μέσω μιας κυψελίδας που περιέχει δείγμα. Η ποσότητα του φωτός που απορροφάται από το δείγμα ονομάζεται Απορρόφηση (A).

όπου είναι η ένταση του προσπίπτοντος φωτός και είναι η ένταση του εξερχόμενου φωτός.

Η απορρόφηση είναι ανάλογη της συγκέντρωσης του δείγματος (), της απόστασης που διανύει το φως () και της σταθεράς () που εξαρτάται από το υλικό. Συνήθως, οι κυψελίδες των φασματοφωτομέτρων έχουν πάχος =1.00 cm.

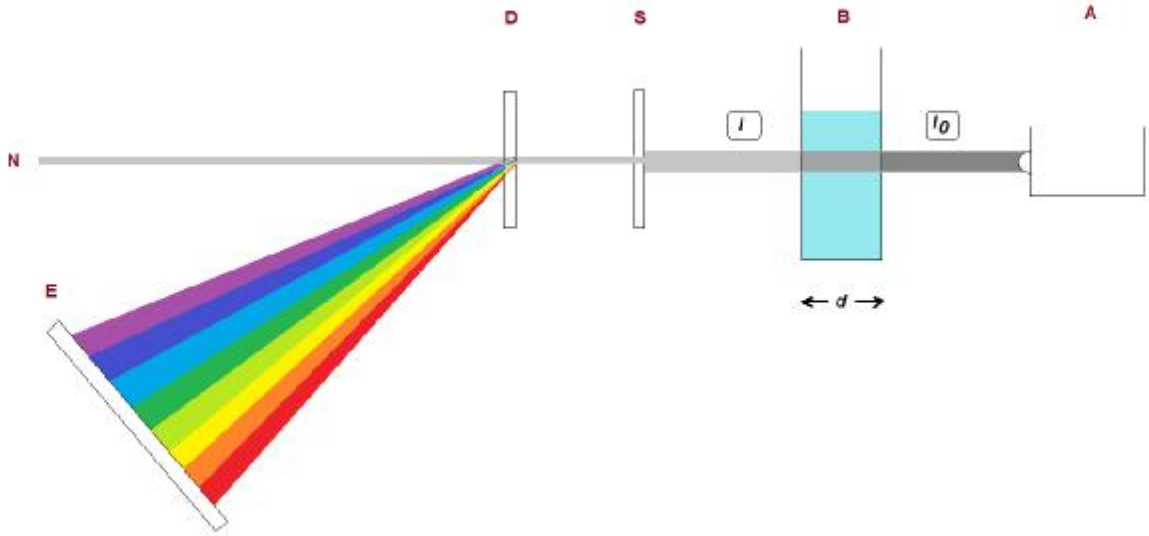


Figure 1.1. Spectrophotometer principle. From right: Lamp (A), Cuvette (B), Slit (S), Diffraction grating (D), Direct beam (N, not used), Detector array (E).

Εικόνα 1.1. Αρχή λειτουργίας φασματοφωτομέτρου. Από δεξιά: Λάμπα (A), Κυψελίδα (B), Οπή (S), Φράγμα περίθλασης (D), Ευθεία δέσμη (N, δεν χρησιμοποιείται), Συστοιχία ανιχνευτών (E).
Φωτογραφία του εσωτερικού του φασματόμετρου φαίνεται στο Παράρτημα B1.

Εκεί, το φράγμα περίθλασης είναι τοποθετημένο προς τα πίσω για να αυξηθεί η ανάλυση και η οπή δεν είναι ορατή.

Υλικά

Κοινή χρήση μεταξύ ομάδων

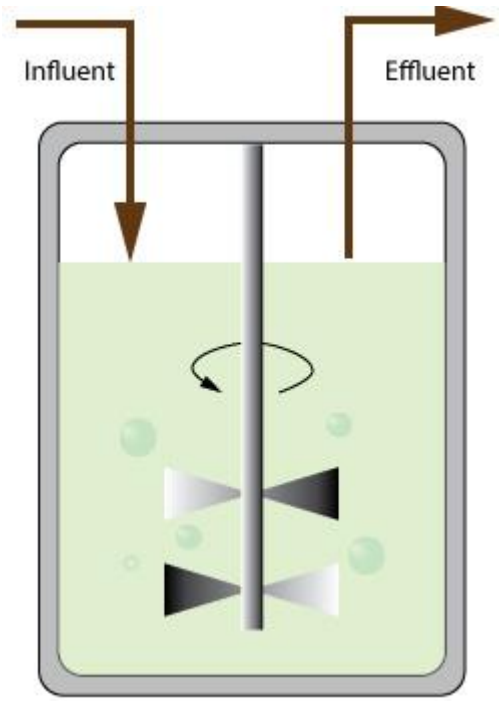
- Θερμικές μονάδες ρυθμισμένες στους 60 ° C
- Δοχείο πάγου
- Καταψύκτης
- Φτυάρι για πάγο

Για κάθε πάγκο

- Υπολογιστής με πρόγραμμα LoggerPro
- Υπολογιστής τσέπης
- Φασματόμετρο με οπτική ίνα SpectroVis για εκπομπή φωτός
- Μαύρο ύφασμα για το φασματόμετρο
- Φυγόκεντρος με οδηγίες για σωλήνες των 2 mL
- Αναμικτήρας Vortex
- Πηγή λευκού φωτός
- 4 στηρίγματα για δοκιμαστικούς σωλήνες 50/15/2 mL
- Χαρτί φακών για τον καθαρισμό των κυψελίδων
- 2 Χρονόμετρα
- Υδροβολέας
- Μικρό δοχείο πάγου
- Δοχείο στερεών απορριμμάτων
- Δοχείο οργανικών + ανόργανων αποβλήτων
- Πλαστικό δοχείο των 250 mL
- Χαρτοπετσέτες
- Σαπούνι
- Προστατευτικά γυαλιά

Για κάθε ομάδα

- Πλαστικό κουτί με:
  - Visocolor school kit για το προσδιορισμό των ιόντων Αμμωνίου και φωσφορικών ιόντων
  - 3 γυάλινα δοχεία με καπάκι
  - Πλαστικό κουτάλι
- 50 mL νερό εισροής (influent) σε γυάλινο μπουκάλι με βιδωτό καπάκι
- 50 mL νερό εκροής με φύκια (influent) σε γυάλινο μπουκάλι με βιδωτό καπάκι
- Βαθμονομημένοι σωλήνες φυγοκέντρησης
  - 2 x 50 mL **(προσέξτε που βρίσκεται η χαραγή των 50 mL)**
  - 6 x 15 mL
  - 16 x 2 mL
- Κυψελίδες πάχους 1.00 cm
  - 16 x 4,5 mL
  - 4 x 1.5 mL
- 20 σταγονόμετρα μίας χρήσης 1.0 mL με βαθμονόμηση 0.25 mL
- 25 mL αιθανόλη 96% σε σταγονομετρικό φιαλίδιο
- Κουτί με LED
- Πλαστικός χάρακας 20 cm
- 3 μολύβια
- Σημειωματάριο
- Μαύρος αδιάβροχος μαρκαδόρος
- Προστατευτικά γάντια



Εικόνα 1.2. Απλοποιημένο διάγραμμα ροής
Δείτε το υγρό εισροής (influent) και το υγρό εκροής (effluent)
Στο παράρτημα Α1 παρουσιάζεται ένα λεπτομερές διάγραμμα ενός εργαστηριακού αντιδραστήρα φυκών

Α. Ποια ποσότητα φυκών παράγω;

Όταν οι τεχνολόγοι θέτουν την παραπάνω ερώτηση, το αποτέλεσμα (ογκομετρική παραγωγικότητα (VP)) θα πρέπει να εκφράζεται σε μάζα ξηρών φυκών ανά όγκο περιεχομένου του αντιδραστήρα και ανά μονάδα χρόνου. Συχνά χρησιμοποιείται ως μονάδα μέτρησης: $g \cdot L^{-1}$ day^{-1}. Σε έναν αντιδραστήρα συνεχούς ροής, η ογκομετρική παραγωγικότητα (VP) μπορεί να υπολογιστεί εύκολα πολλαπλασιάζοντας το ρυθμό αραιώσεως (D) με τη συγκέντρωση των φυκών .

Όπου είναι η συγκέντρωση ξηρής μάζας σε g ξηρής μάζας /L και ο ρυθμός αραίωσης D είναι σε day^{-1}.

Ο ρυθμός αραίωσης μπορεί να υπολογιστεί με τον παρακάτω τρόπο, τον οποίο βρήκε η Freja στην Wikipedia:

Ρυθμός αραίωσης

Σε σταθερή κατάσταση, ο ειδικός ρυθμός ανάπτυξης (μ) του μικροοργανισμού ισούται με τον ρυθμό αραίωσης (D). Ο ρυθμός αραίωσης ορίζεται ως η ταχύτητα ροής του υγρού (F) ανά όγκο καλλιέργειας (V) στον βιοαντιδραστήρα

Ερώτηση 1.1

Δεδομένου ότι η Freja συνέλεξε 21,5 L υγρού εκροής (effluent) / ώρα και ο αντιδραστήρας έχει όγκο 400 L, ποιος είναι ο ρυθμός αραίωσης σε μονάδες day^{-1} ;

Καταγράψτε τους υπολογισμούς και την απάντησή σας στον πίνακα 1.1. του φύλλου απαντήσεων.

Η φασματοφωτομετρία χρησιμοποιείται συνήθως από τους βιοτεχνολόγους ως ένας γρήγορος τρόπος μέτρησης του ξηρού βάρους της κυτταρικής βιομάζας σε ένα σύστημα. Η φασματοφωτομετρία δεν αποτελεί την τέλεια τεχνική, καθώς τα κύτταρα, εκτός από απορρόφηση, προκαλούν και σκέδαση του φωτός. Εντούτοις μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περιορισμένο εύρος κυτταρικής πυκνότητας. Επίσης είναι πολύ ταχύτερη από το φιλτράρισμα, το στέγνωμα και τη ζύγιση της βιομάζας. Υπολογίστε αρχικά τη συγκέντρωση της ξηρής μάζας σε g/ L - από τη μετρηθείσα απορρόφηση στα 750 nm (A_{750}), χρησιμοποιώντας τον τύπο, τον οποίο σας έδωσε η Freja:

Μέτρηση απορρόφησης

Βάλτε σε λειτουργία και βαθμονομήστε το φασματοφωτόμετρο με απιονισμένο νερό.

Ερώτηση 1.2

Λάβετε ένα πλήρες φάσμα απορρόφησης για όλα τα μήκη κύματος με το εναιώρημα των εκχυλισμάτων φυκών σε κυψελίδα πάχους 1,00 cm. Βλ. **Εικόνα 1.1.** Αποθηκεύστε το φάσμα (από το File menu) – η ομάδα σας θα το χρειαστεί στην ερώτηση 2.3.

Μετρήστε την απορρόφηση των φυκών (algae) στο νερό εκροής στα 750 nm **σε κυψελίδα 1.00 cm.**

<u>Θυμηθείτε να ανακατεύετε το αιώρημα πριν από κάθε μέτρηση, καθώς καθιζάνει πολύ γρήγορα.</u>

Καταγράψτε τις μετρήσεις σας στον πίνακα 1.2 του φύλλου απαντήσεων.

Χρησιμοποιήστε τον τύπο για να υπολογίσετε τη συγκέντρωση της ξηρής μάζας σε g/L.

Καταγράψτε τους υπολογισμούς και την απάντησή σας στον πίνακα 1.2 του φύλλου απαντήσεων.

Ερώτηση 1.3

Ποια είναι η ποσότητα φυκών (algae) που παράγεται; Με άλλα λόγια, ποια είναι η ογκομετρική παραγωγικότητα σε $g \cdot L^{-1}$ day^{-1};

Καταγράψτε τους υπολογισμούς και την απάντησή σας στον πίνακα 1.3. του φύλλου απαντήσεων.

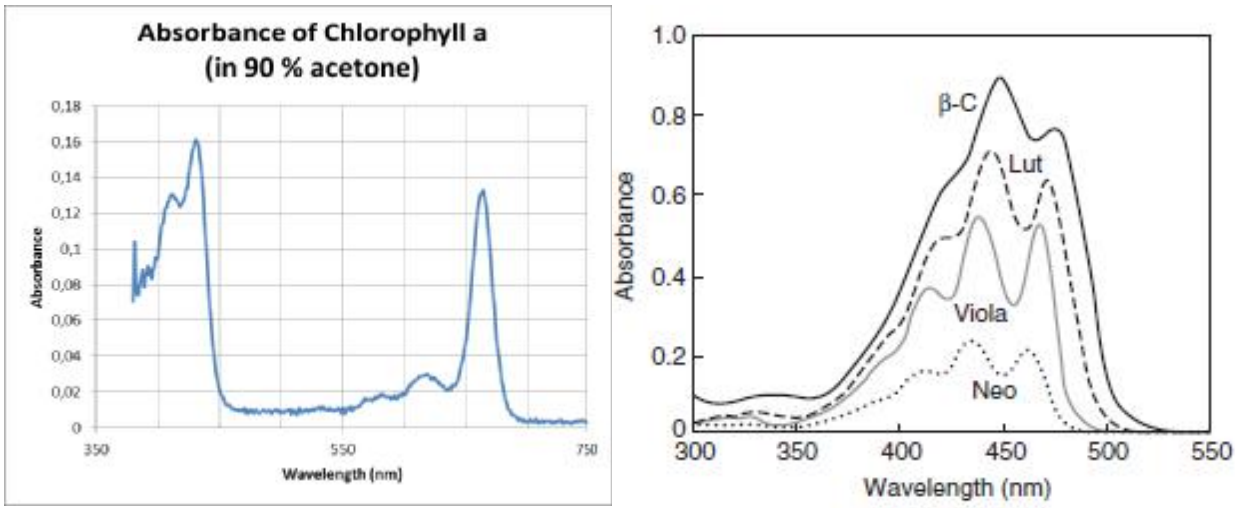
Ερώτηση 1.4

Πόσο θα μπορούσε να παράγει ο αντιδραστήρας αν λειτουργούσε με τον ίδιο ρυθμό για ένα χρόνο; (Δείξτε τον τρόπο που εργαστήκατε).

Καταγράψτε τους υπολογισμούς και την απάντησή σας στον πίνακα 1.4. του φύλλου απαντήσεων.

Β. Ποια ποσότητα καροτενοειδών παράγουν τα φύκια (algae);

Πολλοί λόγοι για τους οποίους τα ψάρια θεωρούνται υγιεινή τροφή είναι επειδή τρώνε οργανισμούς που τρέφονται με φύκια (algae). Πολλά φύκια περιέχουν καροτενοειδή, τα οποία είναι βοηθητικές φωτοχρωματικές ουσίες. Τα καροτενοειδή, ιδιαίτερα η ασταξανθίνη (Astaxanthin), αποτελούν ένα μικρό μέρος της διατροφής του σολομού, στα οποία οφείλει το ωραίο ροζ-κόκκινο χρώμα του. Αυτά τα μόρια, ως ισχυρά αντιοξειδωτικά, θεωρούνται πολύ υγιεινά για τον άνθρωπο. Επειδή τόσο οι χλωροφύλλες, όσο και τα καροτενοειδή απορροφούν το φως στην περιοχή 450-500 nm (**Εικόνα 1.3**), η μέτρηση των καροτενοειδών απευθείας στα κυτταρικά εκχυλίσματα μπορεί να είναι δύσκολη. Ως εκ τούτου, οι επιστήμονες έχουν αναπτύξει τρόπους για την εκτίμηση της περιεκτικότητας σε καροτενοειδή συγκρίνοντας τις κορυφές του φάσματος απορρόφησης σε διαφορετικά μήκη κύματος.



Εικόνα 1.3. Φάσμα απορρόφησης διαλύματος χλωροφύλλης σε ακετόνη σε σύγκριση με μείγμα beta-carotein, lutein, violaxanthin, και neolaxanthin (από τους Lichtenhaler και Buschmann, 2001).

Ακολουθήστε το παρακάτω πρωτόκολλο για την εκχύλιση και τη μέτρηση των χρωστικών ουσιών:

<u>Προσέξτε ότι αυτό το πειραματικό βήμα μπορεί να είναι χρονοβόρο και να υπάρξει συμφόρηση.</u>

Πρωτόκολλο

1. Ισορροπήστε τη φυγόκεντρο- δείτε τις οδηγίες που βρίσκονται δίπλα στη φυγόκεντρο. Οι σωλήνες που τοποθετούνται ο ένας απέναντι στον άλλο, πρέπει να έχουν τον ίδιο όγκο υγρού, ώστε η μάζα να είναι κατανεμημένη ομοιόμορφα.

2. 2 mL καλλιέργειας φυγοκεντρείται στις 6000 rpm για 5 min.

3. Αφαιρέστε και απορρίψτε το υπερκείμενο υγρό (supernatant). Προσέξτε - το ίζημα (pellet) μπορεί να βρίσκεται στα τοιχώματα του σωλήνα.

4. Προσθέστε 2 mL αιθανόλης 96% στο ίζημα. Ανακινήστε για να ξεκινήσει η διάλυση του ιζήματος (pellet).

5. Κρατήστε το σωλήνα στον αναμικτήρα Vortex για 5 λεπτά, ώστε να διαταραχθεί πλήρως το ίζημα.

6. Διατηρήστε το σωλήνα στους 60 ° C (encubate) για 40 λεπτά. Στη συνέχεια, τοποθετήστε το σωλήνα στο παγόλουτρο για 15 λεπτά.

7. Φυγοκεντρείστε ξανά.

8. Μεταφέρετε το υπερκείμενο υγρό (supernatant) στην κυψελίδα, φροντίζοντας να μην διαταράξετε το ίζημα. Εισάγετε την κυψελίδα του 1.00 cm στο φασματοφωτόμετρο με τέτοιο προσανατολισμό, ώστε το φως να μπορεί να τη διαπεράσει. Μετρήστε το φάσμα απορρόφησης του υπερκείμενου υγρού.

Χρησιμοποιήστε τις παρακάτω εξισώσεις για να υπολογίσετε τις συγκεντρώσεις της χλωροφύλλης a (), της χλωροφύλλης b () και των συνολικών καροτενοειδών ():

Σε διάλυμα αιθανόλης 96%:

όπου είναι η απορρόφηση στα 470 nm, η απορρόφηση στα 649 nm και η απορρόφηση στα 664 nm.

Ερώτηση 1.5

Ποιες ήταν οι τιμές απορρόφησης , , and που λάβατε;

Καταγράψτε την απάντησή σας στον πίνακα 1.5. του φύλλου απαντήσεων.

Ερώτηση 1.6

Τι υπολογίσατε για τα , και ;

Καταγράψτε τους υπολογισμούς και την απάντησή σας στον πίνακα 1.6. του φύλλου απαντήσεων.

Ερώτηση 1.7

Ποια είναι η ποσότητα χλωροφύλλης (a+b) και καροτενοειδών περιέχουν τα φύκια (σε mg ανά g ξηρής μάζας φυκών);

Καταγράψτε τους υπολογισμούς και την απάντησή σας στον πίνακα 1.7. του φύλλου απαντήσεων.

Ερώτηση 1.8

Ποιος είναι ο ρυθμός παραγωγής αυτών των μορίων;

Καταγράψτε τους υπολογισμούς και την απάντησή σας στον πίνακα 1.8. του φύλλου απαντήσεων.

Γ. Ποια ποσότητα θρεπτικών συστατικών απομακρύνουν τα φύκια από τα λύματα;

Για να απαντήσει σε αυτό η Freja χρησιμοποίησε δύο kits χρωματομετρικών δοκιμών που βρήκε σε ντουλάπι του σχολείου και ακολούθησε τις οδηγίες. Μετρήστε το άζωτο (N) και τον φωσφόρο (P) στο νερό εισροής (influent) και στο νερό εκροής (effluent).

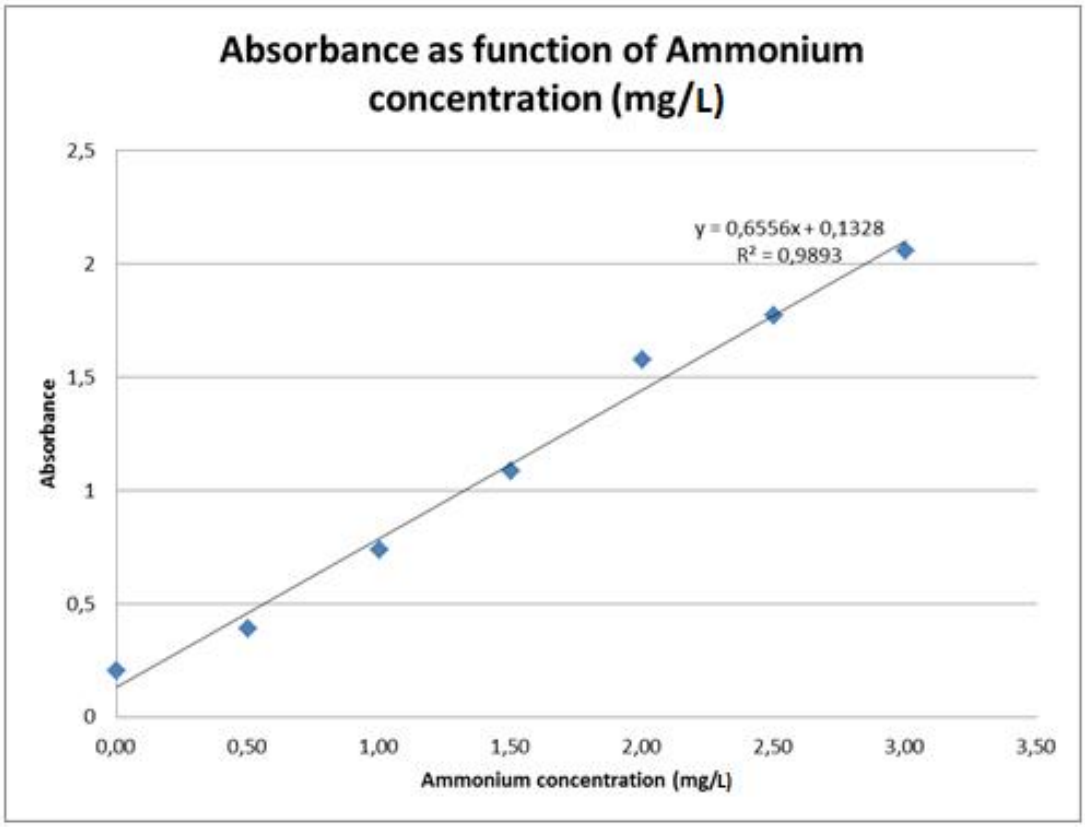
Σημείωση: Οι συγκεντρώσεις N και P στο νερό εισροής που σας δίνεται διαφέρουν από τις συγκεντρώσεις στα κανονικά λύματα, προκειμένου να καταστεί δυνατή η μέτρηση με λιγότερο κόπο.

Χρησιμοποιήστε τη φυγόκεντρο για να απομακρύνετε τα φύκια από τουλάχιστον 4 x 2 mL του δείγματος εκροής (effluent). Αποθηκεύστε το υπερκείμενο υγρό για έλεγχο. Το ίζημα από τα φύκια δε θα χρειαστεί.

Προσδιορισμός ιόντων Αμμωνίου

Αραιώστε το νερό εισροής κατά 50 φορές πριν από την ανάλυση χρησιμοποιώντας πλαστικό σταγονόμετρο και βαθμονομημένο δοκιμαστικό σωλήνα. Το νερό εκροής δε χρειάζεται αραίωση.

1. Γεμίστε με το δείγμα ένα γυάλινο φιαλίδιο μέχρι την χαραγή των 5 mL, χρησιμοποιώντας ένα πλαστικό σταγονόμετρο.
2. Προσθέστε 10 σταγόνες του αντιδραστηρίου με ένδειξη NH_4 – 1
3. Βιδώστε το φιαλίδιο και ανακατέψτε καλά.
4. Προσθέστε μια κοφτή κουταλιά του αντιδραστηρίου με ένδειξη NH_4 – 2 (το κουτάλι βρίσκεται είναι μέσα στο kit).
5. Βιδώστε το φιαλίδιο και ανακατέψτε μέχρι να διαλυθεί η σκόνη.
6. Περιμένετε 5 λεπτά
7. Ανοίξτε το φιαλίδιο και προσθέστε 4 σταγόνες του αντιδραστηρίου με ένδειξη NH_4 – 3
8. Βιδώστε το φιαλίδιο και ανακατέψτε καλά
9. Περιμένετε 5 λεπτά
10. Διαβάστε την τιμή της απορρόφησης στα 700 nm
11. Χρησιμοποιήστε την πρότυπη καμπύλη της **Εικόνας 1.4** για να υπολογίσετε τη συγκέντρωση



Εικόνα 1.4. Πρότυπη καμπύλη απορρόφησης σε συνάρτηση με τη συγκέντρωση ιόντων αμμωνίου.

Ερώτηση 1.9

Ποιες τιμές (δείτε το φύλλο απαντήσεων) προσδιορίσατε για το ιόν NH_4^+ στο υγρό εισροής (influent);

Ποιες τιμές (δείτε το φύλλο απαντήσεων) προσδιορίσατε για το ιόν NH_4^+ στο υγρό εκροής (effluent);

Ποιο είναι το εκατοστιαίο ποσοστό απομάκρυνσης των ιόντων NH_4^+;

Ποιος είναι ο ρυθμός απομάκρυνσης των ιόντων σε ;

Καταγράψτε τους υπολογισμούς και τις απαντήσεις σας στον πίνακα 1.9. του φύλλου απαντήσεων.

Προσδιορισμός φωσφορικών ιόντων

Αναμένουμε πολύ υψηλότερα επίπεδα συγκέντρωσης $PO4^{3-}$, τόσο στο υγρό εισροής, όσο και στο υγρό εκροής, οπότε παρακαλούμε να αραιώσετε τα αρχικά δείγματα υγρού εισροής και εκροής κατά 10 φορές πριν ξεκινήσετε το πείραμα. Χρησιμοποιήστε πλαστικό σταγονόμετρο και βαθμονομημένο δοκιμαστικό σωλήνα.

1. Γεμίστε με το δείγμα ένα γυάλινο φιαλίδιο μέχρι την χαραγή των 5 mL, χρησιμοποιώντας ένα πλαστικό σταγονόμετρο.

2. Προσθέστε 6 σταγόνες του αντιδραστηρίου με ένδειξη PO_4 - 1

3. Βιδώστε το φιαλίδιο και ανακατέψτε καλά.

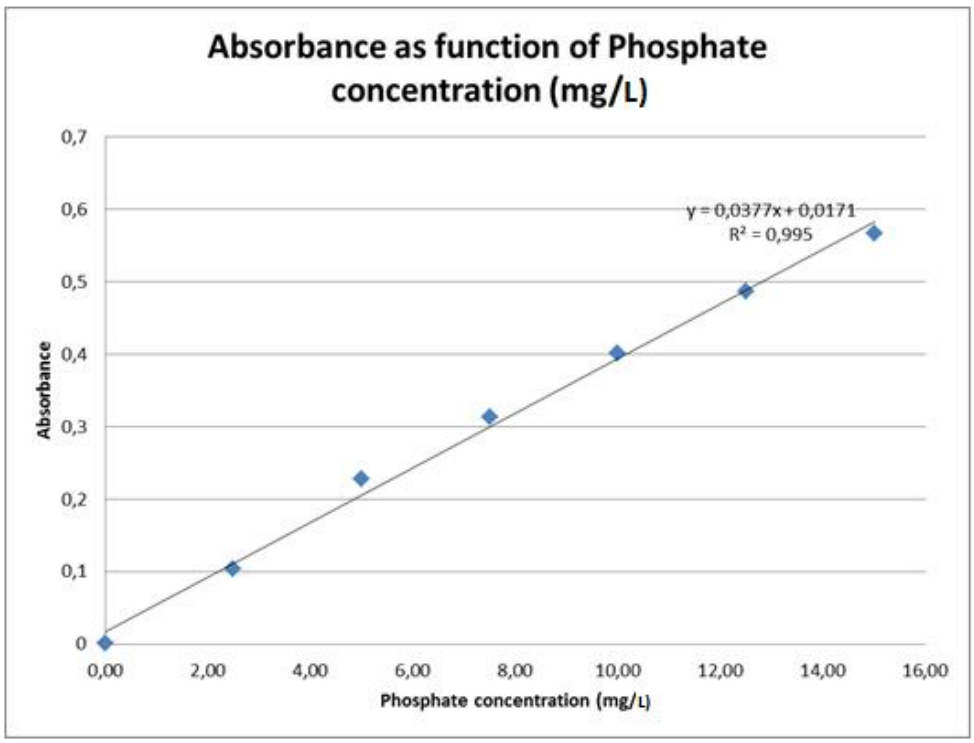
4. Προσθέστε 6 σταγόνες του αντιδραστηρίου με ένδειξη PO_4 – 2

5. Βιδώστε το φιαλίδιο και ανακατέψτε καλά.

6. Περιμένετε 10 λεπτά

7. Διαβάστε την τιμή της απορρόφησης στα 700 nm

8. Χρησιμοποιήστε την πρότυπη καμπύλη της **Εικόνας 1.5** για να υπολογίσετε τη συγκέντρωση.



Εικόνα 1.5. Πρότυπη καμπύλη απορρόφησης σε συνάρτηση με τη συγκέντρωση φωσφορικών ιόντων.

Ερώτηση 1.10

Ποιες τιμές (δείτε το φύλλο απαντήσεων) προσδιορίσατε για το ιόν PO_4^{3-} στο υγρό εισροής (influent);

Ποιες τιμές (δείτε το φύλλο απαντήσεων) προσδιορίσατε για το ιόν PO_4^{3-} στο υγρό εκροής (effluent);

Ποιο είναι το εκατοστιαίο ποσοστό απομάκρυνσης των ιόντων PO_4^{3-};

Ποιος είναι ο ρυθμός απομάκρυνσης των ιόντων PO_4^{3-} σε ;

Καταγράψτε τους υπολογισμούς και τις απαντήσεις σας στον πίνακα 1.10. του φύλλου απαντήσεων.

Ερώτηση 1.11

Χρησιμοποιήστε τον ρυθμό απομάκρυνσης και ανάπτυξης των θρεπτικών συστατικών για να εκτιμήσετε την περιεκτικότητα N και P στα φύκια.

Καταγράψτε τους υπολογισμούς και την απάντησή σας στον πίνακα 1.11. του φύλλου απαντήσεων.

Ερώτηση 1.12

Ποια είναι η ετήσια εξοικονόμηση σε Δανικές κορώνες (DKK) ανά L αντιδραστήρα, δεδομένου ότι ο φόρος στη Δανία είναι 5 DKK ανά kg N και 110 DKK ανά kg PO_4^{3-};

Καταγράψτε τους υπολογισμούς και την απάντησή σας στον πίνακα 1.12. του φύλλου απαντήσεων.

3. Μέρος 2. Σχεδιάζοντας ένα σύστημα φωτισμού για την παραγωγή φυκών (algae) με χρήση LED.

Αφού ανέλυσε το φάσμα απορρόφησης η Freja ρώτησε τον πατέρα της, "Γιατί χρησιμοποιείς LED που εκπέμπουν φως ημέρας;" Και ο Njord απάντησε: "Επειδή υποθέτω ότι τα φύκη χρειάζονται φως της ημέρας για να αναπτυχθεί!" "Ναι", είπε η Freja, "Αυτό είναι αλήθεια, αλλά χρειάζεται μόνο μέρος αυτού."

Να συγκρίνετε τις μετρήσεις απορρόφησης που κάνατε στην **Ερώτηση 1.2** για τα φύκη (algae) στο νερό με το φάσμα στην **Εικόνα 1.3** της χλωροφύλλης a στην ακετόνη.

Ερώτηση 2.1

Ποια χρώματα μπορεί η Freja να διαπιστώσει από την **Εικόνα 1.3** ότι είναι σχετικά με τη φωτοσύνθεση; Να προσδιορίσετε τις περιοχές των μηκών κύματος για τη χλωροφύλλη a. Να προσέξετε ότι στην ακετόνη αυτές είναι μετατοπισμένες σχετικά με αυτές που θα παρατηρούσατε στο νερό για τα φύκη σας.

Να καταγράψετε την απάντησή σας στο κουτί 2.1 του φύλλου απαντήσεων.

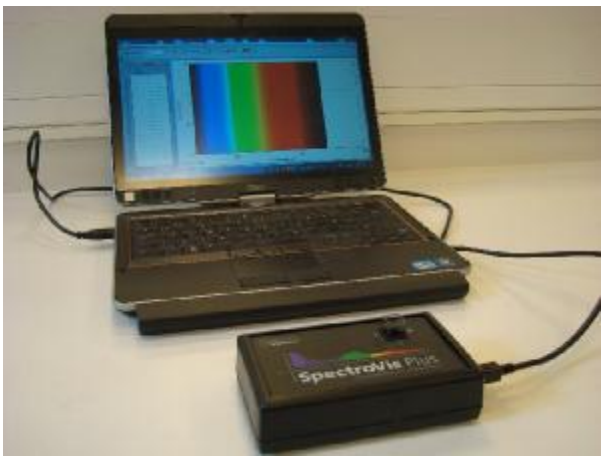
Η Freja συνέχισε:

"Αφήστε με να σας δείξω πόση οικονομία μπορείτε να έχετε στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας απλά παρέχοντας το αναγκαίο φως. Θα χρησιμοποιήσω ως παράδειγμα το κόκκινο μέρος του φάσματος."

Ερώτηση 2.2

Ποια φάσματα θα πρέπει η Freja να συγκρίνει για το παράδειγμά της;

Να σημειώσετε / τσεκάρετε την απάντηση ή τις απαντήσεις σας στο κουτί 2.2 του φύλλου απαντήσεων.

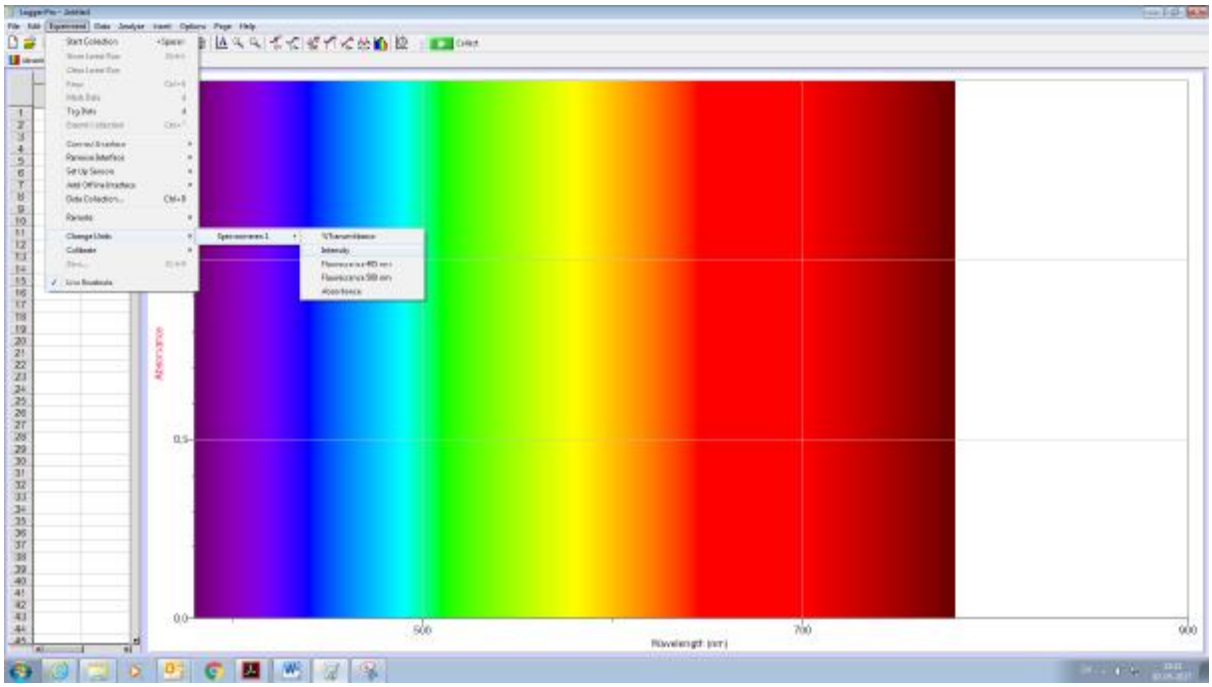


Μέτρηση απορρόφησης.
Φασματοφωτόμετρο με κυψελίδα (cuvette) και καλώδιο συνδεδεμένο σε υπολογιστή με LoggerPro.

Μέτρηση εκπομπής.
Φασματοφωτόμετρο με μονάδα οπτικής ίνας και καλώδιο συνδεδεμένο σε υπολογιστή με LoggerPro.

Εικόνα 2.1a

Εικόνα 2.1b. Λεπτομέρεια της μονάδας οπτικής ίνας που έχει συνδεθεί για τις μετρήσεις εκπομπής. Να προσέξετε πώς ταιριάζουν τα βέλη.



Εικόνα 2.2. "Change units" κάτω από το "Experiment" για να ρυθμίσετε τη λειτουργία του φασματοφωτομέτρου.
Επιλέξτε "Absorption" για την απορρόφηση και "Intensity" για το φάσμα εκπομπής.
Να κοιτάξετε το Παράρτημα Β.

Να μετρήσετε την κορυφή απορρόφησης των φυκών στην ερυθρή περιοχή του φάσματος (ή να ανασύρετε το φάσμα που σώσατε στην **Ερώτηση 1.2**)! Να κρατήσετε το διάγραμμα, αλλά να

αλλάξετε τη ρύθμιση στο “intensity” στο Logger Pro (να ακολουθήσετε τον σύνδεσμο Experiment -> Change Units ->…). Να σημειώσετε ότι το διάγραμμα (φάσμα) απορρόφησης τώρα παρουσιάζει μία βύθιση, όπου το φως απορροφάται.

Στα ακόλουθα, όπου πρόκειται να διερευνήσετε το φάσμα εκπομπής από διάφορες φωτεινές πηγές, να κρατήσετε αυτή τη ρύθμιση.

Ερώτηση 2.3

Να μετρήσετε το φάσμα εκπομπής της κόκκινης LED που θα βρείτε στην μπάρα με τις διόδους διαφόρων χρωμάτων (multicolour diode bar)! (Ρυθμίστε την με τον περιστροφικό διακόπτη και χρησιμοποιήστε το μαύρο πανί κατά τη μέτρηση, αν θέλετε). Να δείξετε το φάσμα αυτό μαζί με το φάσμα από την Ερώτηση 2.2 στο ίδιο διάγραμμα με την ένταση (intensity) στον y-άξονα[1].

Να εκτυπώσετε το διάγραμμά σας με τον αριθμό της ομάδας. Τιτλοδοτήστε το ως “Graph 2.3”.

Ερώτηση 2.4

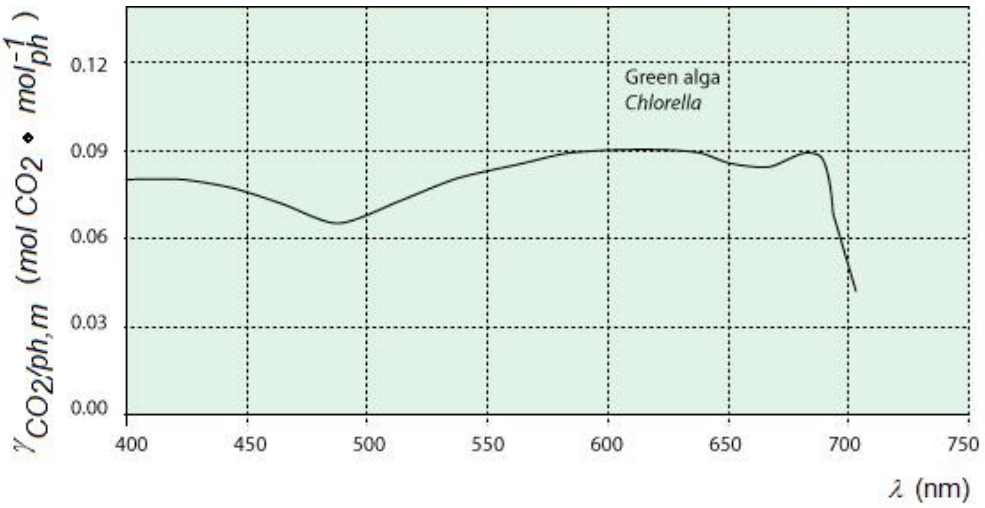
Κατά πόσα νανόμετρα θα πρέπει να μετατοπιστεί το μήκος κύματος του φωτός της κόκκινης LED ώστε να ταυτίζεται / συμπίπτει με τη βύθιση του φάσματος απορρόφησης για τα φύκη στο ερυθρό;

Να καταγράψετε την απάντησή σας στο κουτί 2.4 του φύλλου απαντήσεων.
Να προσθέσετε τις μετρήσεις σας των απαραίτητων αριθμών στο ”Graph 2.3”.

“OK”, είπε η Freja. “Ας το μελετήσουμε αυτό. Δεν ακούγεται σωστό ότι τα φυτά μπορούν να μεγαλώσουν μόνο με πολύ συγκεκριμένα χρώματα. Ας μελετήσουμε τη βιβλιογραφία...”

Α, είπε ο Njord, νομίζω ότι το βρήκα. “Τα φυτά μπορούν να συλλέγουν επίσης φωτόνια μεγαλύτερης ενέργειας και να τα μεταφέρουν στη χλωροφύλλη προς χρήση. (Βλέπετε, το φως αποτελείται από κβάντα, που αποκαλούνται φωτόνια, και απορροφάται μόνο ως πλήρη φωτόνια.) Η συλλογή γίνεται από τα καροτενοειδή (carotenoids). Βλέπετε το παρακάτω διάγραμμα δείχνει την κατανάλωση CO_2 από φύκη φωτισμένα από φως διαφορετικών συχνοτήτων. Αυτό δείχνει ότι τα πράσινη φύκη, η Chlorella, συλλέγει φωτόνια μεταξύ 400 nm and 680 nm σχεδόν με την ίδια αποδοτικότητα, που ονομάζεται κβαντική απόδοση (quantum efficiency) . Ακριβέστερα: όταν η ενέργεια μεταφέρεται στη χλωροφύλλη a απορροφάται εκεί με απόδοση , η οποία καλείται κβαντική απόδοση (quantum efficiency).”

1 Όταν φωτίζεις το φασματοφωτόμετρο με φως από ισχυρή φωτεινή πηγή, μπορεί να προκύψει στο διάγραμμα μία επίπεδη περιοχή σε συγκεκριμένα διαστήματα, λόγω κορεσμού. Μπορείτε να το αποφύγετε αυτό, είτε ελαττώνοντας τον χρόνο δειγματοληψίας (να ακολουθήσετε τον συνδεσμο Experiment -> Set up sensors -> Spectrometer…), ή πιο απλά, μετακινώντας τη φωτεινή πηγή λίγο πιο μακριά από το όργανο (προσέχοντας να αποφύγετε διάχυτο φως από άλλες πηγές).



Εικόνα 2.3. Η κατανάλωση CO_2 (σε mole/mole απορροφούμενων φωτονίων) σε συνάρτηση με το μήκος κύματος του φωτονίου. Η κατανάλωση μπορεί να θεωρηθεί ως ανάλογη της κβαντικής απόδοσης .
Σύμφωνα με τους After Emerson, Robert, και Charlton M. Lewis. "The dependence of the quantum yield of Chlorella photosynthesis on wave length of light." American Journal of Botany (1943): 165-178.

Ερώτηση 2.5

Ποια διαδικασία σηματοδοτεί στο φυτό η κατανάλωση CO_2;

Να τσεκάρετε την απάντησή σας στο κουτί 2.5 του φύλλου απαντήσεων.

Ερώτηση 2.6

Να μετρήσετε το φάσμα εκπομπής για την πράσινη LED στη μπάρα διόδων (diode bar)! Διαβάστε την κορυφή από τα μήκη κύματος. Για την Chlorella, στην **Εικόνα 2.3**, να βρείτε τον λόγο της κβαντικής απόδοσης σε αυτό το μήκος κύματος προς την κβαντική απόδοση στο μήκος κύματος της κορυφής για την κόκκινη LED. Να δείξετε πώς «διαβάζετε» τους απαραίτητους αριθμούς από το διάγραμμα.

Να εκτυπώσετε το διάγραμμα και να γράψετε τους υπολογισμούς και την απάντησή σας στο κουτί 2.6 του φύλλου απαντήσεων.

"Ετσι, δεν είναι τελικά τόσο περιττό να χρησιμοποιήσω LEDs (διόδους) λευκού φωτός", είπε ο Njord, "μοιάζουν να ταιριάζουν σχεδόν τέλεια με το εύρος μηκών κύματος που προκαλούν τη φωτοσύνθεση, που αποκαλείται επίσης «ενεργή φωτοσυνθετική περιοχή» ("the photosynthetic active regime", PAR). Βλέπετε το φάσμα από μόνοι σας!"

Ερώτηση 2.7

Να μετρήσετε το φάσμα του λαμπτήρα λευκού LED και να το συγκρίνετε με το φάσμα απορρόφησης των φυκών.

Να εκτυπώσετε το διάγραμμα και να καταγράψετε τις απαντήσεις σας στο κουτί 2.7 του φύλλου απαντήσεων.

“Λοιπόν, είναι πιο πολύπλοκο από αυτό. Έχετε μεγαλύτερες απώλειες από αυτό που δείχνουν οι κβαντικές αποδόσεις (quantum efficiencies)!” απάντησε η Freja. “Βλέπετε, το φως έρχεται σε κβάντα, που αποκαλούνται φωτόνια, και μπορεί να απορροφηθεί μόνο πλήθος ακεραίου αριθμού (ολόκληρων) κβάντων. Η ενέργεια ενός κβάντου φωτός ορισμένης συχνότητας είναι ανάλογη της συχνότητας αυτής. Η σταθερά *h* της αναλογίας ονομάζεται σταθερά του Planck και η τιμή της είναι ή . (1 THz = 10^{12} Hz) Η τελευταία μονάδα μέτρησης περιέχει τη μονάδας ενέργειας electronvolt και είναι πρακτική για τις ατομικές διαδικασίες. Ένα electronvolt είναι η ενέργεια που ένα ηλεκτρόνιο κερδίζει όταν περνά μέσα από μία μπαταρία ενός volt, , και είναι is . Η ταχύτητα του φωτός *c* δίνεται από το γινόμενο του μήκους κύματος επί τη συχνότητα.

Ερώτηση 2.8

Χρησιμοποιώντας τον πίνακα στο φύλλο απαντήσεων, να υπολογίσετε την ενέργεια σε eV ενός φωτονίου στο μήκος κύματος της κορυφής της πράσινης LED, στο μήκος κύματος της κορυφής της κόκκινης LED και στη βύθιση του φάσματος απορρόφησης του κόκκινου για το δείγμα φυκών σας.

Να καταγράψετε την απάντησή σας στο κουτί 2.8 του φύλλου απαντήσεων. Να δηλώσετε τα μήκη κύματος που χρησιμοποιήσατε για τον υπολογισμό σας και τις σχετιζόμενες συχνότητες με αυτά τα μήκη κύματος.

Ερώτηση 2.9

Πόση ενέργεια (σε eV) απαιτείται να απορροφηθεί στη βύθιση του κόκκινου για τη χλωροφύλλη, ώστε να γίνει το βήμα της αντίδρασης που απαιτεί ένα φωτόνιο; Πόσο τοις εκατό ενέργεια χάνεται, αν η ενέργεια παρέχεται από ένα πράσινο, σε σχέση με ένα κόκκινο LED και η ενέργεια του φωτονίου μεταφέρεται από τα καροτενοειδή στη χλωροφύλλη; Ποιες είναι οι αντίστοιχες αποδόσεις στην κατανάλωση ενέργειας;

Να καταγράψετε την απάντησή σας στο κουτί 2.9 του φύλλου απαντήσεων.

Ερώτηση 2.10

Ποιο ποσοστό φωτεινής ενέργειας χάνεται αν ο Njord χρησιμοποιήσει πράσινες LEDs για να «τροφοδοτήσει» την κόκκινη απορρόφηση στη χλωροφύλλη αντί για LEDs που έχουν βελτιστοποιηθεί για αυτήν την απορρόφηση; Να θυμηθείτε να λάβετε υπόψη σας ότι η κόκκινη, η κίτρινη και η πράσινη LEDs είναι παρόμοιες σε κατασκευή και μπορούμε να θεωρήσουμε ότι μετατρέπουν με την ίδια απόδοση / αποδοτικότητα την εισερχόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε εξερχόμενη φωτεινή ενέργεια. Επίσης, να λάβετε υπόψη τις κβαντικές αποδόσεις (quantum efficiencies). Τέλος, να σημειώσετε ότι τα φύκη μπορούν επίσης να λάβουν ενέργεια προς χρήση στη χλωροφύλλη μέσω της απορρόφησης πράσινου φωτός από τα καροτενοειδή.

Να καταγράψετε την απάντησή σας στο κουτί 2.10 του φύλλου απαντήσεων.

4. Μέρος 3. Αλληλεπιδράσεις Θηρευτή – Θηράματος.

Σημείωση: Θα χρειαστεί να χρησιμοποιήσετε και να μελετήσετε προσεκτικά το Παράρτημα (Appendix) C για να λύσετε αυτό το μέρος.

Η Freja είπε στον πατέρα της, Njord, "Τα μικροφύκη (microalgae) είναι πολύ καλά για να χρησιμοποιηθούν ως τροφή για τα κωπήποδα (copepods). Τα κωπήποδα μπορούν στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν ως τροφή για ψάρια. Στο σχολείο, έχουμε πάρει μερικά βίντεο σχετικά με το πόσο γρήγορα μπορούν να κολυμπήσουν διαφορετικά είδη κωπηπόδων και την απόσταση διαφυγής τους από ένα ψάρι. "

Τα βίντεο βρίσκονται στην επιφάνεια εργασίας του υπολογιστή. Χρησιμοποιώντας την ανάλυση βίντεο του "Logger Pro", βρείτε ποιο από τα δύο είδη κωπηπόδων θα επιλέξουμε ως τροφή για τα ψάρια, όταν το ψάρι έχει μια απόσταση αντίδρασης (reaction distance) από το θήραμα κωπήποδο των 5 mm και επιτίθεται με ταχύτητα 200 mm/s μέχρι την απόσταση των 20 mm. Ανατρέξτε στο Παράρτημα C1 (Appendix C1) για εισαγωγή στα κωπήποδα και στο Παράρτημα C2 (Appendix C2) για την πειραματική διάταξη-βιντεοσκόπηση.

Η Freja ζήτησε από τον Njord να διαβάσει τα παρακάτω!

Διερευνούμε πειραματικά την «απόσταση εντοπισμού του θηρευτή» και την «ταχύτητα διαφυγής» για δύο διαφορετικά είδη κωπηπόδων. Εισάγουμε ένα είδος κωπήποδου τη φορά στο ενυδρείο, για να παρατηρήσουμε την «απόσταση εντοπισμού των θηρευτών» και την «ταχύτητα διαφυγής». Για το λόγο αυτό θα αναλύσουμε δύο βίντεο κλιπ: στο βίντεο κλιπ 1 φαίνεται η συμπεριφορά διαφυγής του είδους *Centropages hamatus*, στο βίντεο κλιπ 2 φαίνεται η συμπεριφορά διαφυγής του είδους *Temora longicornis*. Και τα δύο βίντεο κλιπ βιντεοσκοπούνται στα 500 καρέ ανά δευτερόλεπτο και το οριζόντιο πλάτος των καρέ είναι 39 mm.

Ανοίξτε τα βίντεο κλιπ με το Logger Pro. Πάρτε μετρήσεις για το χρόνο σε δευτερόλεπτα ρυθμίζοντας “Movie Options” – “frame rate”. Χρησιμοποιήστε τη λειτουργία “Set Scale” για να μετατρέψετε τις αποστάσεις σε mm.

Ερώτηση 3.1

Για κάθε ένα από τα 2 κωπήποδα, πραγματοποιώντας τα παρακάτω 13 βήματα, προσδιορίστε:

- την απόσταση εντοπισμού του θηρευτή (σε mm) των δύο ειδών κωπήποδων (δηλ. την απόσταση μεταξύ του άκρου της πιπέτας και του κωπήποδου, τη στιγμή που αρχίζει να διαφεύγει).
- την απόσταση άλματος (σε mm) των δύο ειδών κωπήποδων.
- την ταχύτητα άλματος (σε mm / s) των δύο ειδών κωπήποδων.

Ø Γράψτε την απάντησή σας στο φύλλο απαντήσεων, πλαίσιο 3.1.

1. Σε ποια χρονική στιγμή (σε s) το κωπήποδο ξεκινά το άλμα;
2. Σε ποια χρονική στιγμή (σε s) το κωπήποδο τελειώνει το άλμα;
3. Ποια είναι η απόσταση (σε mm), στην κατεύθυνση z, από την άκρη της πιπέτας μέχρι το κωπήποδο, όταν το κωπήποδο ξεκινά το άλμα;
4. Ποια είναι η απόσταση (σε mm), στην κατεύθυνση z, από την άκρη της πιπέτας μέχρι το κωπήποδο, όταν το κωπήποδο τερματίσει το άλμα;
5. Εκτυπώστε το γράφημα της κατεύθυνσης z σε συνάρτηση με το χρόνο για το άλμα, και επισυνάψτε το με τα φύλλα απαντήσεων (answer sheets).
6. Ποια είναι η απόσταση (σε mm), στην κατεύθυνση x, από την άκρη της πιπέτας μέχρι το κωπήποδο, όταν το κωπήποδο ξεκινά το άλμα;
7. Ποια είναι η απόσταση (σε mm), στην κατεύθυνση x, από την άκρη της πιπέτας μέχρι το κωπήποδο, όταν το κωπήποδο τερματίσει το άλμα;
8. Ποια είναι η απόσταση (σε mm), στην κατεύθυνση y, από το άκρο της πιπέτας μέχρι το κωπήποδο, όταν το κωπήποδο ξεκινά το άλμα;
9. Ποια είναι η απόσταση (σε mm), στην κατεύθυνση y, από την άκρη της πιπέτας μέχρι το κωπήποδο, όταν το κωπήποδο τερματίσει το άλμα;
10. Εκτυπώστε τα x και y ως συνάρτηση του χρόνου στο ίδιο γράφημα, και επισυνάψτε τα με τα φύλλα απαντήσεων (answer sheets). **Θυμηθείτε να γράψετε τη χώρα σας και το γράμμα της ομάδας σας πριν εκτυπώσετε.**

Για τα επόμενα τρία βήματα, μπορείτε να χρησιμοποιήσετε τις εξισώσεις 1, 2 και 3 κάτω από τις ερωτήσεις για να υπολογίσετε τις αποστάσεις και τις ταχύτητες και στις τρεις διαστάσεις.

11. Ποια είναι η απόσταση (σε mm) από την άκρη της πιπέτας μέχρι το κωπήποδο όταν το κωπήποδο ξεκινά το άλμα ≈ «απόσταση εντοπισμού του θηρευτή»;
12. Ποια είναι η απόσταση άλματος (jump distance) (σε mm);
13. Ποια είναι η ταχύτητα διαφυγής (escape speed) (σε mm/s);

Εξίσωση 1: «Απόσταση εντοπισμού του θηρευτή (Predator detection distance)»

Εξίσωση 2: «Απόσταση άλματος (Jump distance)»

Εξίσωση 3: «Ταχύτητα διαφυγής (Escape speed)»

Τα , είναι αντίστοιχα οι θέσεις x, y και z του κωπήποδου στην αρχή του άλματος και , , οι θέσεις x, y and z του κωπήποδου στο τέλος του άλματος.

Ερώτηση 3.2

Γνωρίζουμε ότι το είδος ψαριού στο σύστημα υδατοκαλλιέργιας μας, μπορεί να εντοπίσει τα κωπήποδα σε απόσταση των 5 mm. Επιπλέον, τα ψάρια επιτίθονται με σταθερή ταχύτητα 200 mm/s για απόσταση 20 mm.

Μπορούν τα κωπήποδα να ξεφύγουν από την επίθεση ενός ψαριού; Για να απαντήσετε, θεωρείστε κίνηση σεμία διάσταση και χρησιμοποιήστε την ταχύτητα διαφυγής σαν μέση ταχύτητα κίνησής τους. Οπτικοποιήστε σχεδιάζοντας τρεις γραμμές σε ένα γράφημα για τις θέσεις του ψαριού και των δύο κωπηπόδων (στον κατακόρυφο άξονα) σε σχέση με τον χρόνο (οριζόντιος άξονας) από τη στιγμή που τα κωπήποδα άρχισαν το άλμα.

- Γράψτε την απάντησή σας στο φύλλο απαντήσεων, πλαίσιο 3.2.

Ερώτηση 3.3

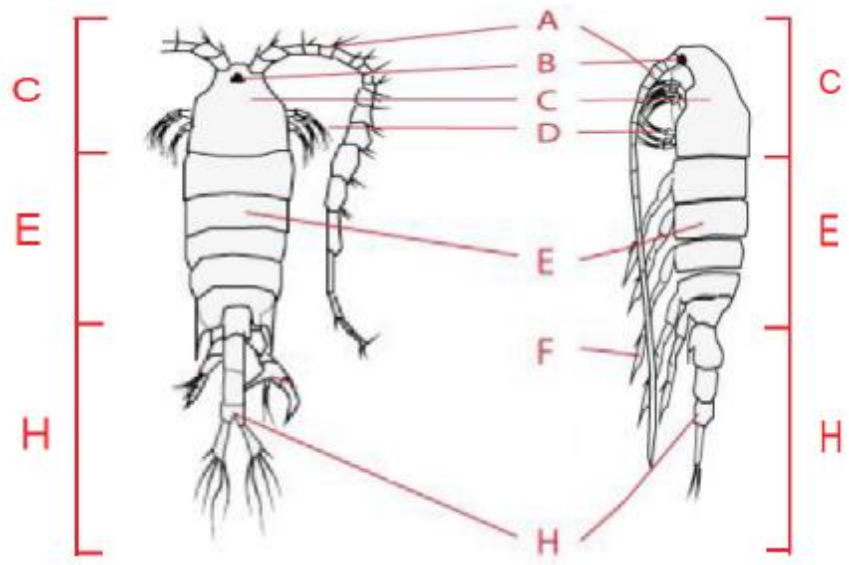
Ποιο είδος κωπηπόδου είναι το καταλληλότερο για τη διατροφή των ψαριών στο σύστημα υδατοκαλλιέργειας;

- Γράψτε την απάντησή σας στο φύλλο απαντήσεων, πλαίσιο 3.3.

Ερώτηση 3.4

Σε ποια ομάδα ζώων ανήκουν τα κωπήποδα;

- Βάλτε τικ (V) στην απάντηση σας στο φύλλο απαντήσεων, πλαίσιο 3.4.



Εικόνα 3.1. Σχηματική αναπαράσταση ενός κωπήποδου, που φαίνεται από δύο πλευρές.

Ερώτηση 3.5

Από ποιες πλευρές απεικονίζονται τα κωπήποδα στην Εικόνα 3.1;

- Βάλτε τικ (√) στις απαντήσεις σας στο φύλλο απαντήσεων, πλαίσιο 3.5.

Ερώτηση 3.6

Μπορείτε να αντιστοιχήσετε τα ονόματα των δομών με τα γράμματα της Εικόνας 3.1;

- Δώστε τα αντίστοιχα γράμματα (Εικόνα 3.1) στα ονόματα των δομών και γράψτε την απάντησή σας στο φύλλο απαντήσεων, πλαίσιο 3.6.

Ερώτηση 3.7

Πολλά κωπήποδα συνθέτουν έλαια. Ποια πλεονεκτήματα τους προσφέρει αυτή η λειτουργία;

- Βάλτε τικ (√) στις απαντήσεις σας στο φύλλο απαντήσεων, πλαίσιο 3.7.

ΤΕΛΟΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ 2