

Φύλλο εργασίας - Φωτοσύνθεση

Όνοματεπώνυμο ομάδας:

1.....

2.....

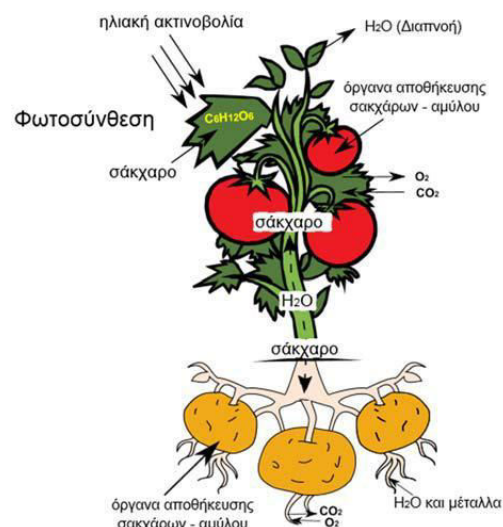
3.....

4.....

Εισαγωγικό μέρος

Φωτοσύνθεση είναι η διεργασία κατά την οποία τα φυτά και ορισμένοι άλλοι οργανισμοί μετασχηματίζουν την ενέργεια του φωτός, συνήθως από τον Ήλιο, σε χημική ενέργεια. Αυτή η χημική ενέργεια αποθηκεύεται σε ενεργειακά πλούσιες οργανικές ενώσεις, κυρίως υδατάνθρακες $[CH_2O]$, που στα φυτά συντίθενται από διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και νερό με απελευθέρωση οξυγόνου (O_2) ως παραπροϊόν (Εικ. 1).

Η φωτοσύνθεση είναι ίσως η σημαντικότερη μεταβολική πορεία που γίνεται στη βίωση, γιατί με τις οργανικές ενώσεις που παράγονται μέσω αυτής συντηρείται η ζωή στο γήινο οικοσύστημα. Όλοι σχεδόν οι οργανισμοί στηρίζονται, άμεσα ή έμμεσα, στην εξασφάλιση της τροφής τους και της αναγκαίας ενέργειας στις οργανικές ενώσεις που παράγουν οι φωτοσυνθέτοντες οργανισμοί. Ταυτόχρονα, η ατμόσφαιρα εμπλουτίζεται με το απαραίτητο για την αναπνοή O_2 . Επομένως, χωρίς τη φωτοσύνθεση δεν θα ήταν δυνατή η συντήρηση και συνέχιση της ζωής στον πλανήτη μας.

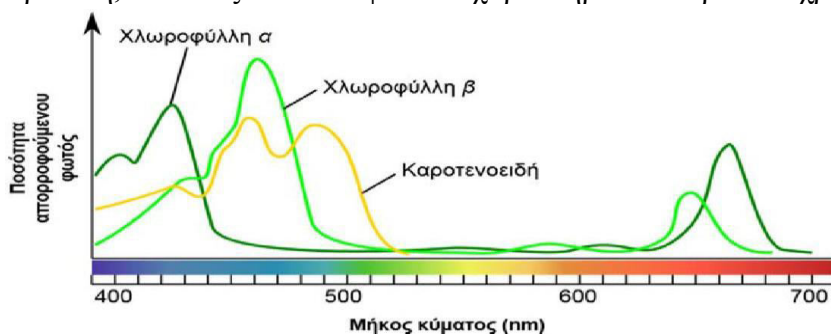


Εικόνα 1 – Η φωτοσύνθεση στα φυτά.

Φωτοσυνθετικές χρωστικές

Στα κύτταρα, η φωτεινή ακτινοβολία δεσμεύεται από τις **φωτοσυνθετικές χρωστικές**. Από αυτές, οι πιο σημαντικές είναι οι **χλωροφύλλες**. Οι **χλωροφύλλες** είναι πολύπλοκες οργανικές ενώσεις που φέρουν ένα κεντρικό άτομο μαγνησίου και είναι διαδεδομένες σε όλα τα φυτά, στα πρώτιστα, στα κυανοφύκη και σε ορισμένα βακτήρια (*βακτηριοχλωροφύλλες*). Οι συνηθέστεροι τύποι χλωροφυλλών είναι η **χλωροφύλλη α**, που συμμετέχει άμεσα στις φωτεινές αντιδράσεις, και η **χλωροφύλλη β**, που διαφέρει ελάχιστα ως προς τη δομή της από τη χλωροφύλλη α. Άλλη σημαντική ομάδα φωτοσυνθετικών χρωστικών είναι τα **καροτενοειδή**.

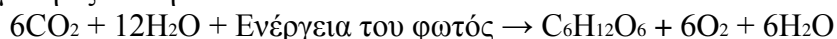
Οι παραπάνω χρωστικές απορροφούν διαφορετικά μήκη κύματος του φωτός (Εικ. 1.2) Τα μήκη κύματος που απορροφώνται από μία ουσία απουσιάζουν από το ανακλώμενο φως. Οι χλωροφύλλες, για παράδειγμα, απορροφούν κυρίως την μπλε και την ερυθρή ακτινοβολία και ανακλούν την πράσινη, δίνοντας έτσι στα φυτά το χαρακτηριστικό πράσινο χρώμα.



Εικόνα 2 Μήκη κύματος απορρόφησης χλωροφυλλών α, β και καροτενοειδών

Η φωτοσύνθεση στα φυτά: μια διαδικασία σε δύο στάδια

Η φωτοσυνθετική διεργασία κατά την οποία τα χλωροφυλλούχα φυτά παράγουν οργανικές ενώσεις (όπως γλυκόζη) και οξυγόνο από διοξείδιο του άνθρακα και νερό είναι δυνατόν να συνοψιστεί στην ακόλουθη απλοποιημένη εξίσωση:



Στην παραπάνω αντίδραση το νερό εμφανίζεται και στα δύο σκέλη της εξίσωσης (επειδή κατά τη φωτοσύνθεση δεν καταναλώνεται μόνο νερό αλλά και συντίθεται) και γι' αυτόν τον λόγο συχνά παρουσιάζεται ακόμη πιο απλοποιημένη ως: $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + \text{Ενέργεια του φωτός} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$. Ωστόσο, η πιο απλοποιημένη εκδοχή υποδηλώνει ότι το ελεύθερο οξυγόνο προέρχεται εξ ημισείας από το CO_2 και το H_2O , ενώ, στην πραγματικότητα, το οξυγόνο προέρχεται αποκλειστικά από τη διάσπαση του H_2O .

Για την ακρίβεια, η φωτοσύνθεση πραγματοποιείται σε δύο επιμέρους στάδια μέσω μιας σειράς πολύπλοκων χημικών αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα στους χλωροπλάστες, οι οποίες είναι γνωστές ως **φωτεινές** και **σκοτεινές αντιδράσεις** (οι τελευταίες ονομάζονται επίσης και *φωτοανεξάρτητες αντιδράσεις* ή *κύκλος του Calvin*). «Φωτεινές αντιδράσεις» ονομάζονται επειδή απαραίτητη προϋπόθεση για να πραγματοποιηθούν είναι η ύπαρξη φωτός, σε αντιδιαστολή με τις «σκοτεινές αντιδράσεις» που μπορούν να πραγματοποιηθούν και στο σκοτάδι (δεν απαιτείται άμεσα η παρουσία φωτός)

Μέσα που χρησιμοποιούμε

Συσκευές

- πηγή φωτός (με λυχνία 100 Watt ή μεγαλύτερη),

Υλικά

- φρέσκα φύλλα σπανακιού (ή άλλου φυτού χωρίς πολλές επιδερμικές τρίχες, π.χ., κισσός),
- φελλοτρυπητήρας ή πλαστικά καλαμάκια του καφέ μεγάλης διαμέτρου,
- πλαστικές σύριγγες των 20 ml, χωρίς βελόνα,
- υάλινα ποτήρια ζέσεως ή διαφανή πλαστικά κύπελλα των 100 και 500 ml,

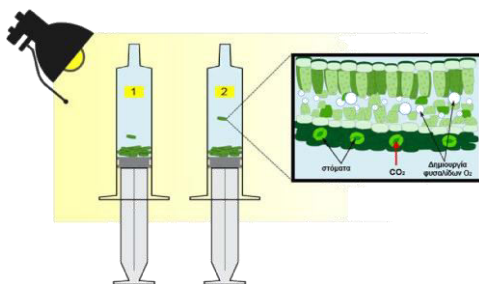
Διαλύματα

- διάλυμα 0,5% όξινου ανθρακικού νατρίου (NaHCO_3 - μαγειρική σόδα),
- αραιό διάλυμα υγρού απορρυπαντικού (1 κουταλάκι απορρυπαντικού πιάτων σε 50 ml νερό),

Πειραματική διαδικασία

Στο πείραμα αυτό θα διαπιστώσετε τη διεργασία της φωτοσύνθεσης στα φύλλα των φυτών χρησιμοποιώντας μικρούς δίσκους φύλλων, τους οποίους θα κόψετε από φύλλα σπανακιού.

Στη συνέχεια περιγράφεται η διαδικασία που θα ακολουθήσετε για να διαπιστώσετε την παραγωγή O_2 κατά την πορεία των φωτεινών αντιδράσεων της φωτοσύνθεσης.

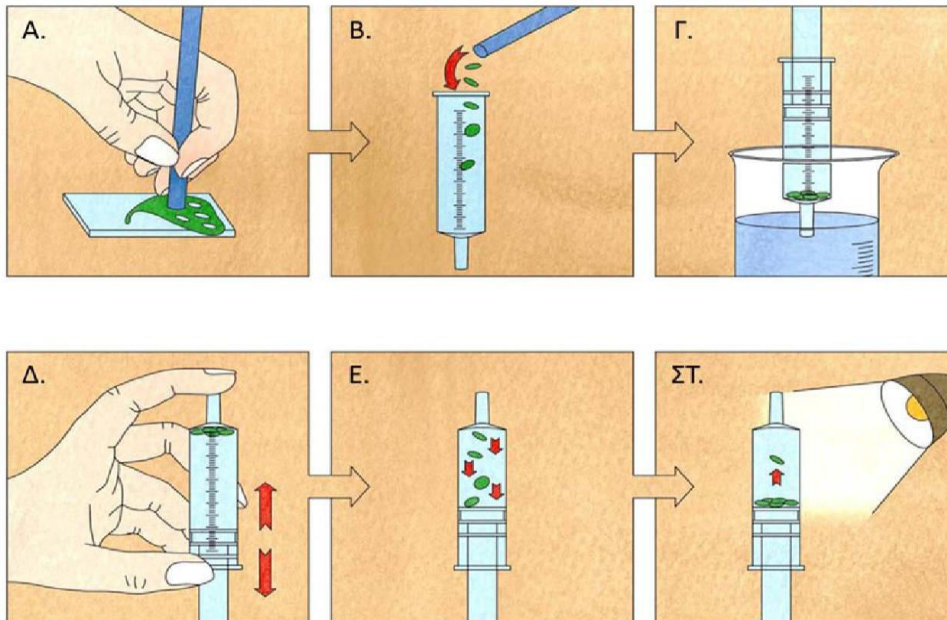


Εικόνα 3 – Η τεχνική των πλωτών δίσκων για τη μελέτη της φωτοσύνθεσης στα φύλλα των φυτών.

Βήματα:

1. Αρχικά θα προετοιμάσετε το διάλυμα 0,5% όξινου ανθρακικού νατρίου διαλύοντας 2,5 gr μαγειρικής σόδας (~ ½ κουταλάκι του γλυκού) σε 500 ml νερού.
2. Γεμίστε μέχρι τη μέση ένα ποτήρι με το διάλυμα του όξινου ανθρακικού νατρίου και με τη χρήση σταγονόμετρου προσθέστε 2-3 σταγόνες αραιού διαλύματος υγρού απορρυπαντικού. Αναδέψτε ελαφρά με μία υάλινη ράβδο ή ένα πλαστικό καλαμάκι, αποφεύγοντας το σχηματισμό φυσαλίδων. Εάν σχηματιστούν φυσαλίδες προσθέστε περισσότερο διάλυμα όξινου ανθρακικού νατρίου.
3. Χρησιμοποιώντας τον τρυπητήρα φελλών ή ένα πλαστικό καλαμάκι του καφέ, κόψτε 10 ομοιόμορφους δίσκους φύλλων από ένα τρυφερό φύλλο σπανακιού. Πιέστε το καλαμάκι κάθετα στο φύλλο και με περιστροφικές κινήσεις διαχωρίστε τους δίσκους. Αποφύγετε να τρυπήσετε σε περιοχές όπου υπάρχουν νεύρα του φύλλου.
4. Αφαιρέστε το έμβολο από μία πλαστική σύριγγα των 20 ml και τοποθετήστε στο εσωτερικό της τους δίσκους του φύλλου φυσώντας το καλαμάκι ή με τη βοήθεια μιας λαβίδας, προσέχοντας να μην τραυματιστούν οι δίσκοι. Βεβαιωθείτε ότι όλοι οι δίσκοι βρίσκονται στην αρχή της σύριγγας (κοντά στο στόμιο) και επανατοποθετήστε το έμβολο. Πιέστε το έμβολο σχεδόν μέχρι το τέλος, προσέχοντας να μην συνθλίψετε τους δίσκους του φύλλου.
5. Αναρροφήστε ~10 ml διαλύματος NaHCO_3 /απορρυπαντικού (Εικ. 4Γ) και στη συνέχεια αναστρέψτε τη σύριγγα σε κάθετη θέση. Χτυπήστε ελαφρά με το χέρι σας τη σύριγγα ώστε όλοι οι δίσκοι να ξεκολλήσουν από τα τοιχώματα. Οι δίσκοι κανονικά θα πρέπει να επιπλέουν στο διάλυμα. Σπρώξτε προσεκτικά το έμβολο προς τα μέσα προκειμένου να αποβάλλεται όσον αέρα έχει παραμένει στη σύριγγα.
6. Με τον δείκτη του ενός χεριού σφραγίστε το στόμιο της σύριγγας και με το άλλο σας χέρι τραβήξτε το έμβολο προς τα έξω για να δημιουργήσετε υποπίεση στο εσωτερικό της σύριγγας (Εικ. 4.Δ). Κρατήστε το έμβολο σε αυτή τη θέση για περίπου 10 δευτερόλεπτα. Κανονικά, αν έχετε σφραγίσει καλά το στόμιο της σύριγγας θα πρέπει να συναντήσετε δυσκολία στο τράβηγμα του εμβόλου και θα βλέπετε μικρές φυσαλίδες αέρα να απελευθερώνονται από τις άκρες των δίσκων του φύλλου. Στη συνέχεια και ενώ κρατάτε ακόμη σφραγισμένο το στόμιο της σύριγγας, πιέστε το έμβολο προς τα μέσα (Εικ. 4.Δ).
7. Απελευθερώστε το στόμιο και χτυπήστε ελαφρά τα τοιχώματα της σύριγγας. Οι δίσκοι του φύλλου θα πρέπει τώρα να αρχίσουν σιγά-σιγά να βυθίζονται στο διάλυμα (Εικ. 4. Ε).
8. Επαναλάβετε τα στάδια 6 και 7 προκειμένου να επιτύχετε την καταβύθιση όλων των δίσκων (1-2 επαναλήψεις θα πρέπει να είναι αρκετές). Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στην εκτέλεση των σταδίων αυτών, καθώς οι πολλές επαναλήψεις μπορεί να βλάψουν την ακεραιότητα των φυτικών κυττάρων στους δίσκους, οδηγώντας σε αποτυχία του πειράματος.
9. Αφού αφαιρέσετε το έμβολο της σύριγγας, ρίξτε τους δίσκους μαζί με το διάλυμα σε ένα ποτήρι που έχετε γεμίσει μέχρι τη μέση με φρέσκο διάλυμα όξινου ανθρακικού νατρίου. Σιγουρευτείτε ότι όλοι οι δίσκοι έχουν κατακάσει στον πυθμένα του ποτηριού. Ανάψτε τη λάμπα (την οποία έχετε τοποθετήσει σε απόσταση ~20 cm από την άκρη του ποτηριού)
10. Παρατηρήστε τι συμβαίνει με τους δίσκους των φύλλων καθώς προχωρά η φωτοσύνθεση (βλέπε Εικ. 4. ΣΤ). Συνεχίστε την παρατήρηση για τα επόμενα 15-20 λεπτά. Στο τέλος κάθε χρονικής στιγμής χτυπάτε ελαφρά με το χέρι σας τα τοιχώματα του ποτηριού, για να σιγουρέψετε ότι κάποιοι από τους δίσκους δεν έχουν «κολλήσει» στα τοιχώματα.

11. Παράλληλα, επαναλάβετε την όλη διαδικασία (στάδια 2-10) υπό τις παρακάτω νέες πειραματικές συνθήκες:
- καλύπτοντας το ποτήρι με τους δίσκους του φύλλου στο στάδιο 9 με μία μαύρη πλαστική σακούλα ή ένα χάρτινο κουτί κατάλληλων διαστάσεων ή βάζοντας το ποτήρι σε ένα συρτάρι, για να μην υπάρχει φως (δοκιμασία στο σκοτάδι)
 - χρησιμοποιώντας σε όλα τα στάδια σκέτο καθαρό νερό με απορρυπαντικό, αντί δηλαδή για διάλυμα NaHCO_3 /απορρυπαντικού (δοκιμασία χωρίς NaHCO_3).



Εικόνα 4 – Πειραματική διαδικασία για τη μελέτη της φωτοσύνθεσης σε φύλλα με την τεχνική των πλωτών δίσκων

Ερωτήσεις:

- Γιατί όταν δημιουργήσατε κενό στη σύριγγα οι δίσκοι σπανακιού βυθίζονται;
- Γιατί χρησιμοποιήσατε το αραιό διάλυμα του όξινου ανθρακικού νατρίου;
- Γιατί αφού βυθίστηκαν οι δίσκοι χρειάστηκε να πιέσετε στη συνέχεια τη σύριγγα;
- Γιατί χρησιμοποιήσατε και λίγο κρεμοσάπουνο στο διάλυμά σας;
- Εξηγήστε τις παρατηρήσεις σας κατά τη διάρκεια του χρόνου, συγκρίνοντας τη συμπεριφορά των δίσκων στα ποτήρια που ήταν στο φως, στο σκοτάδι καθώς και αυτών που ήταν στο φως αλλά με καθαρό νερό χωρίς διάλυμα όξινου ανθρακικού νατρίου.
- Ποιοί περιβαλλοντικοί παράγοντες θα μπορούσαν να επηρεάσουν τον ρυθμό της φωτοσύνθεσης στο πείραμα με τους πλωτούς δίσκους φύλλων που εκτελέσατε;
- Αν συνεχίσετε να παρατηρείτε τους πλωτούς δίσκους των φύλλων για αρκετό χρονικό διάστημα θα διαπιστώσετε ότι σιγά-σιγά αρχίζουν να καταβυθίζονται και πάλι. Μπορείτε να σκεφτείτε γιατί συμβαίνει αυτό;

Απαντήσεις (για τους καθηγητές)

- 1) Οι δίσκοι των φύλλων κανονικά επιπλέουν σε ένα υδατικό διάλυμα, εξαιτίας του αέρα που παγιδεύεται στα διάκενα του σπογγώδους παρεγχύματος στο μεσόφυλλο του φύλλου. Με τη δημιουργία υποπίεσης, αφαιρείται ο αέρας, οπότε η πυκνότητα των δίσκων αυξάνεται, βαραίνουν και αρχίζουν σιγά-σιγά να βυθίζονται στο διάλυμα.
- 2) Το διάλυμα που θα χρησιμοποιήσετε περιέχει όξινα ανθρακικά ιόντα, αλλιώς διττανθρακικά ιόντα (HCO_3^-), τα οποία θα χρησιμεύουν ως πηγή CO_2 για τη φωτοσύνθεση. Γιαυτό πιέζεται η σύριγγα ώστε τα ιόντα να εισέλθουν στα διάκενα του μεσόφυλλου του φύλλου.
- 3) Το απορρυπαντικό βοηθά στη διάρρηξη της κηρώδους επικάλυψης της επιδερμίδας των φύλλων και δρα ως επιφανειοδραστικός παράγοντας που μειώνει την επιφανειακή τάση, διευκολύνοντας έτσι τη διείσδυση του διαλύματος όξινου ανθρακικού νατρίου στα διάκενα του μεσόφυλλου.
- 4) Καθώς η φωτοσύνθεση προχωρά απελευθερώνεται O_2 που δημιουργεί φυσαλίδες στα διάκενα του μεσόφυλλου, προκαλώντας την άνωση των δίσκων. Ο ρυθμός με τον οποίο οι δίσκοι αρχίζουν να επιπλέουν και πάλι είναι μια έμμεση μέτρηση του ρυθμού φωτοσύνθεσης.
- 5) Μετά από κάποιο χρόνο θα κλείσουν οι πόροι, οπότε θα σταματήσει η φωτοσύνθεση. Το οξυγόνο που υπάρχει στους δίσκους θα φύγει και αφού δεν θα παράγεται άλλο, οι δίσκοι θα βυθιστούν.

Σημ: Η βασική ιδέα της παραπάνω δραστηριότητας προήλθε από τα θέματα Βιολογίας του πανελλήνιου διαγωνισμού EUSO 2018 Βορείου Ελλάδας.

Μουρούζης Παναγιώτης 2019