

Εργαστήρι Φυλλοφωτογραφίας

Αικατερίνη-Αναστασία ΤΣΙΚΑΛΑΚΗ

Διαδραστική Έκθεση Επιστήμης και Τεχνολογίας, Ιδρυμα Ευγενίδου, tsikalaki@eef.edu.gr

Περίληψη

Η τεχνική της αναλογικής φωτογραφίας μοιράζεται πολλά με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης στα φύλλα των φυτών, γεγονός που μας επιτρέπει παίζοντας και με τις δύο, να εξηγήσουμε με ένα ασυνήθιστο και δημιουργικό τρόπο τα βήματα της φωτοσύνθεσης. Τα φύλλα του γερανιού λειτουργούν σαν φωτογραφικά χαρτιά και εκτίθενται σε φως που περνά μέσα από το αρνητικό. Το άμυλο, το τελικό προϊόν της φωτοσύνθεσης, παίρνει το ρόλο του φωτογραφικού κόκκου, που φτιάχνεται στους χλωροπλάστες και «εμφανίζεται» με τη βοήθεια του ιωδίου. Με την κατάλληλη επεξεργασία, σε ένα φύλλο μπορούμε να εμφανίσουμε εικόνες, τις φυλλοφωτογραφίες, σε μία πορεία που δίνει ευκαιρίες για την κατανόηση της φωτοσύνθεσης και της σημασίας της στην τροφική αλυσίδα.

Λέξεις-κλειδιά: Φωτοσύνθεση, Φωτογραφία, Άμυλο, Μετατροπές Ενέργειας, Φως

Εισαγωγή

Το εργαστήρι Φυλλοφωτογραφίας οργανώθηκε στα πλαίσια των Διαδραστικών Δημερών στη Διαδραστική Έκθεση Επιστήμης και Τεχνολογίας με αφορμή τον εορτασμό για το Παγκόσμιο Έτος Φωτός 2015, κατά τους μήνες Ιούνιο και Ιούλιο. Απευθύνονταν σε παιδιά Ε', ΣΤ' Δημοτικού και Α' Γυμνασίου. Η φωτογραφία αμύλου επιλέχθηκε ως κύρια δραστηριότητα του εργαστηρίου, καθώς πρόκειται για μία εντυπωσιακή απεικόνιση της φωτοσύνθεσης.

Η απεικόνιση αποτελεί σημαντικό μέρος της απόδειξης στη Βιολογία, γεγονός που έχει οδηγήσει πολλούς ερευνητές που ασχολήθηκαν με τη φωτοσύνθεση να εφεύρουν ευφάνταστους τρόπους δημιουργίας «ζωντανών εικόνων», κατά κάποιο τρόπο ανάλογων των φωτογραφιών, που αποκαλύπτουν τις θεμελιώδεις ιδιότητες της φωτοσύνθεσης (Hangarter & Gest 2003). Το 1882, ο Theodore Engelmann (1843-1909) ανέλυσε μία μικροσκοπική δέσμη λευκού φωτός, φώτισε με το φάσμα την *Cladophora*, κάθε κύτταρο της οποίας καταλαμβάνεται σχεδόν εξ' ολοκλήρου από τον χλωροπλάστη και χρησιμοποίησε αεροτακτικά βακτήρια για να δείξει στο μικροσκόπιο από ποια μέρη του φάσματος παραγόταν το οξυγόνο.

Μελετώντας τη φωτοσυνθετική παραγωγή του αμύλου και τη χρήση του στο σκοτάδι από τα πράσινα φυτά, ο Julius von Sachs (1832-1897) χρησιμοποίησε τη χρώση ιωδίου, η οποία αποκάλυψε την ύπαρξη αμύλου στα φύλλα με τη μορφή μπλε ή μωβ κόκκων. Σκιάζοντας μέρη των φύλλων από το φως, κατάφερε να δείξει ότι το φως ήταν απαραίτητο για την παραγωγή του αμύλου. Αντίθετα με το βακτηριοφασματογράφημα του Engelmann, το οποίο αναγκαστικά καταγράφηκε σε σκίτσα, τα φύλλα που είχαν υποστεί χρώση ιωδίου αποτέλεσαν αρκετά σταθερές εικόνες της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας.

Ο Hans Molisch (1856-1937) επέκτεινε το έργο του von Sachs παρασκευάζοντας «φωτογραφίες αμύλου» σε ακέρατα φύλλα, χρησιμοποιώντας κανονικά φωτογραφικά αρνητικά σαν μάσκες πάνω από τα φύλλα που εκτίθενταν στο φως. Σε αυτές τις φωτογραφίες αμύλου η ανάλυση σχετίζεται με το μέγεθος και τον αριθμό των αμυλοκόκκων που παράγονται σε κάθε χλωροπλάστη. Έτσι, εδώ το άμυλο είναι το ανάλογο των κόκκων αργύρου της αναλογικής ασπρόμαυρης φωτογραφίας ή των pixel της ψηφιακής φωτογραφίας.

Μέθοδος φωτογραφίας αμύλου

Σε αυτό το βιοματικό εργαστήριο χρησιμοποιούμε μία παραλλαγή της μεθόδου του Molisch (1914, 1920, ανασκόπηση Gest 1991). Το φυτό που χρησιμοποιείται είναι το γεράνι *Pelargonium hortorum*. Το γεράνι επωάζεται για 48 ώρες στο σκοτάδι, με σκοπό να καταναλώσει όλο το άμυλο που έχει αποθηκευτεί στα φύλλα του. Έπειτα, αφαιρούνται υγιή και ανεπτυγμένα φύλλα μαζί με το μίσχο τους και τοποθετούνται σε ένα «σάντουιτς» γυαλιού με την εξής διάταξη: τζάμι, μαύρο πανί εμποτισμένο με διάλυμα 5% διττανθρακικού νατρίου (μαγειρική σόδα) σε νερό βρύσης, φύλλο με την κάτω πλευρά να εφάπτεται στο πανί, αρνητικό (τρεις διαφάνειες τυπωμένες σε εκτυπωτή Laser ή μία πάνω από την άλλη, ώστε να πετύχουμε όσο πιο σκούρο αρνητικό γίνεται), τζάμι.



Εικόνα 1. Το «σάντουιτς» από γυαλί με τα φύλλα και τα αρνητικά τοποθετείται κάθετα μέσα σε τρυβλίο με νερό βρύσης ώστε οι μίσχοι των φύλλων να βρέχονται



Εικόνα 2. Φύλλο που έχει αποχρωματιστεί μετά από βρασμό σε αιθανόλη 80%

Το σάντουιτς συγκρατείται από κλιπ χαρτιών τοποθετείται μέσα σε δοχείο με νερό ώστε οι μίσχοι των φύλλων να βρέχονται (Εικόνα 1). Οι διατάξεις εκτίθενται σε πολύ ισχυρό λευκό φως (διαφανοσκόπιο) για 60-90 λεπτά. Μετά την έκθεση τα φύλλα αποσπώνται από τη διάταξη και ρίχνονται σε νερό που βράζει για 60-90 δευτερόλεπτα ώστε να μαλακώσουν. Μετά την έκθεση, τα φύλλα μεταφέρονται σε 80% αιθανόλη που βράζει, έως ότου αποχρωματιστούν πλήρως (Εικόνα 2). Στη συνέχεια, τα φύλλα τοποθετούνται το πολύ για 30 δευτερόλεπτα σε νερό που βράζει, πλένονται με νερό θερμοκρασίας δωματίου και αφήνονται σε τρυβλίο με νερό βρύσης και αρκετό αντιδραστήριο Lugol (0,2g I₂, 5g KI σε 100 mL dH₂O), ώστε το διάλυμα να πάρει χρώμα σκούρο κεραμιδι, και λίγο ξύδι (2-3 mL). Μετά από

20-30 λεπτά οι αμυλόκοκκοι θα έχουν ξεκινήσει να βάφονται και η εικόνα να εμφανίζεται (Εικόνα 3).



Εικόνα 3. Φωτογραφία αμύλου σε φύλλα από γεράνι *Pelargonium hortorum* από ψηφιακά αρνητικά που τυπώθηκαν σε διαφάνειες με εκτυπωτή laser

Συμπληρωματικά πειράματα και επιδείξεις για το Εργαστήρι Φυλλοφωτογραφίας

Εκτός από την παρασκευή της φωτογραφίας αμύλου, πραγματοποιήθηκαν συμπληρωματικές πειραματικές επιδείξεις με σκοπό να τεκμηριώσουν τις πληροφορίες που δίνονται κατά τη διάρκεια του εργαστηρίου, απαντώντας σε ερωτήματα που προέκυπταν σε κάθε βήμα.

Τι κοινό έχουν οι φωτογραφίες με τα φύλλα;

Το φως. Για να εξηγήσουμε το ρόλο του φωτός και του φιλμ στη φωτογραφία δείχνουμε την έκθεση αυτοσχέδιου φωτογραφικού χαρτιού με χλωριούχο άργυρο σε δυνατό φως έχοντας τοποθετήσει πάνω του φιλμ με ένα απλό σχήμα. Όπου φωτίζεται το φωτογραφικό χαρτί, ο χλωριούχος άργυρος αποδομείται σε χλώριο και άργυρο και μαυρίζει, αποκαλύπτοντας το σχήμα που απεικονίζεται στο φιλμ.

Τι παράγουν τα φύλλα μέσω της φωτοσύνθεσης;

Τη γλυκόζη, η οποία αποθηκεύεται ως άμυλο. Παρατηρούμε παραδείγματα τροφών που περιέχουν άμυλο (μακαρόνια, αλεύρι, ποπ-κόρν) μακροσκοπικά, αλλά και λεπτή τομή πατάτας στο μικροσκόπιο. Το άμυλο φαίνεται να είναι λευκό και είναι δύσκολο να εμφανιστεί μία φωτογραφία από κάτι λευκό, όμως μπορούμε να το βάλουμε με ιώδιο: σταγόνες αραιού διαλύματος ιωδίου στα μακροσκοπικά δείγματα και στην τομή πατάτας στο μικροσκόπιο. Το ιώδιο βάφει το άμυλο μπλε.

Πού ακριβώς φτιάχνεται το άμυλο;

Στους χλωροπλάστες των κυττάρων των φύλλων. Παρατηρούμε φύλλα από *Egeria densa* στο μικροσκόπιο, στα οποία οι χλωροπλάστες, αφού εκτεθούν για λίγο στο φως, κινούνται μαζί με το κυτταρόπλασμα. Φωτίζοντας εκλεκτικά τους χλωροπλάστες, θα παραχθεί άμυλο μόνο σε εκείνους που φωτίστηκαν και όσο περισσότερο φωτίζονται τόσο πιο πολλοί και πιο μεγάλοι αμυλόκοκκοι θα παράγονται.

Σε τι χρησιμεύει το άμυλο;

Το άμυλο και η γλυκόζη είναι τροφή για τα φυτά, αλλά και όλους τους οργανισμούς που χρησιμοποιούν οξυγόνο. Στο άμυλο αποθηκεύεται η ηλιακή ενέργεια που δεσμεύεται κατά τη

φωτοσύνθεση. Θερμαίνουμε χλωρικό κάλιο σε πυρίμαχο δοκιμαστικό σωλήνα και μόλις λιώσει ρίχνουμε πολύ μικρή ποσότητα αμύλου (κορν φλάουρ). Προκύπτει μία έντονη αντίδραση κατά την οποία παράγεται μία ζωηρή φλόγα. Η ενέργεια που περιείχε το άμυλο απελευθερώθηκε με τη βοήθεια του οξυγόνου του χλωρικού καλίου.

Τι παράγουν τα φυτά εκτός από άμυλο;

Οξυγόνο, το απαραίτητο μόριο για την εκμετάλλευση του αμύλου. Παρατηρούμε βίντεο από ενυδρείο με *Egeria densa*, όπου το φυτό παράγει φυσαλίδες οξυγόνου. Εναλλακτικά, μπορούμε να μαζέψουμε το οξυγόνο από το ενυδρείο μας και να κάνουμε το πείραμα αντίστροφης οξυγόνου, όπου αναζωπυρώνεται ένα πυρακτωμένο ξυλάκι.

Εκπαιδευτική αξιοποίηση

Το Εργαστήρι Φυλλοφωτογραφίας μας δίνει την ευκαιρία να μιλήσουμε για το ρόλο του φωτός στη φωτοσύνθεση και τη σημασία του στην παρασκευή της γλυκόζης και κατ' επέκταση του αμύλου, ξεκινώντας από τη φωτογραφία, που δεν αποτελεί μέρος της σχολικής ύλης, δίνοντας σαν αποτέλεσμα τις ανατρεπτικές φυλλοφωτογραφίες που οι συμμετέχοντες μπορούν να κρατήσουν ως ενθύμιο. Η χρήση δίστιχων ερωτημάτων και πειραμάτων-απαντήσεων φιλοδοξεί να εξοικειώσει τους συμμετέχοντες με το σχεδιασμό πειραματικών διαδικασιών με στόχο να αποδεικνύουν τις υποθέσεις τους. Μεγάλο ενδιαφέρον θα έχει η ανταπόκριση των μαθητών στο περιβάλλον της σχολικής τάξης, όπου προτείνεται η χρήση φύλλου εργασίας κατάλληλα δομημένου, ώστε οι μαθητές να καταγράφουν τις παρατηρήσεις τους κατά τη διάρκεια των πειραμάτων και ο εκπαιδευτικός να ελέγχει τις προϋπάρχουσες και νέες γνώσεις τους. Το εργαστήριο απευθύνεται σε ευρύ ηλικιακό φάσμα μαθητών, με το πλεονέκτημα ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για να διδαχθεί η φωτοσύνθεση, αλλά και για να εφαρμοστούν οι γνώσεις για τη φωτοσύνθεση.

Βιβλιογραφία

- Hangarter, R. P. & Gest, H. (2004). Pictorial demonstration of photosynthesis, *Photosynthesis Research*, 80, 421–425.
- Gest, H. (1991). The legacy of Hans Molisch (1856-1937), photosynthesis savant, *Photosynth Res.*, 30(1), 49-59.
- Walker (1992). *Energy, plants and man*. Oxygraphics Ltd; 2 r.e. edition.

Ευχαριστώ θερμά τη Βασιλική Κιούπη, τον Ιωάννη Αλεξόπουλο και την Ελισάβετ Μπούσιου για την πολύτιμη βοήθειά τους.