

Η διαπνοή, η μεταφορά νερού και η φωτοσύνθεση στα φυτά μέσω της καθοδηγούμενης διερεύνησης

Μαρία Α. Ξαπλαντέρη και Μαίρη Κοτσιφάκη

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση από τους μαθητές σπουδαίων για τα φυτά διεργασιών στις οποίες σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η ύπαρξη και μεταφορά νερού. Παρουσιάζονται τρεις εργαστηριακές ασκήσεις όπου ο μαθητής καλείται να ανακαλύψει τους παράγοντες που επιδρούν στη μεταφορά νερού μέσω του αγωγού συστήματος των φυτών, τους παράγοντες που επηρεάζουν τη διαπνοή και τέλος τον τρόπο ανίχνευσης του αμύλου καθώς και τις διάφορες χρωστικές που υπάρχουν στα φύλλα.

Εισαγωγή

Το σύνολο του νερού που χρησιμοποιούν τα φυτά απορροφάται από τις ρίζες. Το νερό κινείται από τις ρίζες προς τα φύλλα μέσω του αγωγού ιστού, όπου και ελευθερώνεται με τη μορφή υδρατμών από τα στόματα με τη διαδικασία της διαπνοής. Το 95% του νερού που απορροφούν τα φυτά χάνεται μέσω της διαπνοής, ενώ το υπόλοιπο χρησιμοποιείται για τις φυσιολογικές και βιοχημικές τους λειτουργίες (Ριζοπούλου κ.ά., 2015).

Η μεταφορά του νερού στο αγωγό σύστημα των φυτών είναι θεμελιώδης για το φυτικό οργανισμό καθώς το νερό αποτελεί:

1. τη βασικότερη ουσία για τη σύνθεση των οργανικών ενώσεων
2. άριστο διαλυτικό μέσο, στο οποίο πραγματοποιούνται όλες οι χημικές αντιδράσεις
3. το μέσο με το οποίο οι ουσίες μετακινούνται μέσα στο φυτό
4. πηγή σπαργής για τα φυτικά κύτταρα
5. το κύριο μέσο ρύθμισης της θερμοκρασίας του φυτού (Nilson & Assmann, 2007).

Η συνολική ποσότητα του νερού που απορροφάται και μεταφέρεται μέσα στα φυτά, κινείται λόγω της αρνητικής πίεσης, που δημιουργείται από την εξάτμιση του νερού από τα φύλλα, γνωστή ως διαπνοή. Η κινητήρια δύναμη που προκαλεί τη διαπνοή είναι η διαφορά υδατικού δυναμικού μεταξύ του νερού στο φύλλο και την ατμόσφαιρα (Ριζοπούλου κ.ά., 2015).

Η ταχύτητα της διαπνοής συνδέεται σε μεγάλο βαθμό με το άνοιγμα και το κλείσιμο των στομάτων. Παράλληλα, σε κάθε συγκεκριμένο φυτικό είδος πολλοί άλλοι παράγοντες επηρεάζουν τη διαπνοή, όπως η υδατική επάρκεια, το φως, ο αέρας, η υγρασία, και η θερμοκρασία (Casadebaig, Debaeke & Lecoeur, 2008; Meletiou-Christou & Rhizopoulou, 2012).

Πολύ σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει τη διαπνοή είναι η θερμοκρασία του αέρα. Η ταχύτητα εξάτμισης του νερού διπλασιάζεται όταν αυξηθεί η θερμοκρασία κατά 10°C, ενώ τα στόματα κλείνουν όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος αέρα είναι μεγαλύτερη από 35°C (Ριζοπούλου κ.ά., 2015). Η σχετική υγρασία είναι επίσης σημαντική, επειδή η ταχύτητα διαπνοής είναι ανάλογη της διαφοράς πίεσης των υδρατμών μεταξύ των μεσοκυττάρων χώρων και της επιφάνειας του φύλλου. Το νερό με τη μορφή υδρατμών κινείται πολύ πιο αργά σε αέρα που είναι ήδη κορεσμένος με υδρατμούς (Tullus et al., 2012). Σε συνθήκες άπνοιας, οι υδρατμοί που διαχέονται από τους στοματικούς πόρους στην ατμόσφαιρα συσσωρεύονται πάνω από το στοματικό πόρο. Δημιουργούν με αυτό τον τρόπο ένα οριακό στρώμα υδρατμών, το πάχος του οποίου εξαρτάται από τη μορφολογία της επιφάνειας του φύλλου (π.χ. ύπαρξη τριχώματος). Το στρώμα αυτό αποτελεί εμπόδιο στην έξοδο των υδρατμών από τον ανοικτό στοματικό πόρο. Όταν φυσάει αέρας, οι υδρατμοί αυτοί απομακρύνονται και η διαπνοή συνεχίζεται (Ριζοπούλου κ.ά., 2015). Παράλληλα, όσον αφορά το φως, όσο μεγαλύτερη είναι η ένταση του φωτός, τόσο μεγαλώνει το άνοιγμα του στοματικού πόρου, άρα πραγματοποιείται εντονότερη διαπνοή και ταυτόχρονα εισέρχεται στο μεσόφυλλο μεγαλύτερη ποσότητα CO₂, άρα και εντονότερη φωτοσύνθεση. Βέβαια, για κάθε φυτικό είδος υπάρχει μια φωτεινή ένταση κορεσμού, μετά από την οποία το μέγεθος του στοματικού πόρου παραμένει σταθερό (Ριζοπούλου κ.ά., 2015).

Διαπνοή και φωτοσύνθεση είναι άρρηκτα συνδεδεμένες. Εκτός από την ένταση του φωτός που προαναφέρθηκε, η συγκέντρωση του CO₂ παίζει σπουδαίο ρόλο. Τα περισσότερα φυτά αυξάνουν τη φωτοσυνθετική τους δραστηριότητα με την αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ (Evans, 2013). Όμως, σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις τα στόματα κλείνουν άρα παρεμποδίζεται η φωτοσύνθεση. Με την αύξηση της θερμοκρασίας ο ρυθμός φωτοσύνθεσης αυξάνει. Μετά τους 35°C όπως προαναφέρθηκε τα στόματα κλείνουν (Ριζοπούλου κ.ά., 2015). Το νερό συμμετέχει άμεσα στις αντιδράσεις της φωτοσύνθεσης ως δότης ηλεκτρονίων στο NADP⁺. Έλλειψη νερού οδηγεί στην ελάττωση του υδατικού δυναμικού των μεσοκυττάρων χώρων, στο κλείσιμο των στομάτων και την παρεμπόδιση της φωτοσύνθεσης (Meletiou-Christou & Rhizopoulou, 2012; Sellin et al., 2014).

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται τρεις εργαστηριακές ασκήσεις για τη διερεύνηση των παραγόντων που επηρεάζουν αυτές τις τρεις σπουδαίες για τα φυτά διεργασίες της διαπνοής, της μεταφοράς νερού και της φωτοσύνθεσης. Η πρώτη εργαστηριακή άσκηση «Μελέτη της μεταφοράς νερού στο αγωγό σύστημα των φυτών» αφορά στη διερεύνηση της μεταφοράς νερού και ουσιών στα φυτά. Η δεύτερη εργαστηριακή άσκηση έχει τίτλο «Διερεύνηση των παραγόντων που επηρεάζουν το ρυθμό διαπνοής». Οι μαθητές καλούνται να προσδιορίσουν τον τρόπο με τον οποίο παράγοντες όπως

η θερμοκρασία και η ταχύτητα του ανέμου επηρεάζουν το ρυθμό διαπνοής στα φυτά. Αντιστοιχούν στην ενότητα «Η μεταφορά και η αποβολή ουσιών στα φυτά» της Βιολογίας Α΄ Γυμνασίου (Μαυρικάκη, Γκούβρα & Καμπούρη, 2013α). Η τρίτη άσκηση με τίτλο «Ανίχνευση αμύλου σε φύλλα κολεού» προτείνεται να διδαχθεί μαζί με την ενότητα «Η παραγωγή θρεπτικών ουσιών στα φυτά – Η φωτοσύνθεση» της Βιολογίας Α΄ Γυμνασίου (Μαυρικάκη, Γκούβρα & Καμπούρη, 2013β). Η τελευταία άσκηση σκοπό έχει την ανίχνευση του αμύλου στα φύλλα κολεού. Είναι επίσης σπουδαία για την εξοικείωση του μαθητή με τις χρωστικές που υπάρχουν στο φύλλο και τους τρόπους απομόνωσής τους από αυτό.

Η μέθοδος που ακολουθείται είναι η καθοδηγούμενη διερεύνηση που στηρίζεται στην καθοδηγούμενη ανακάλυψη και στην ικανότητα του μαθητή να χρησιμοποιεί τις γνώσεις που απέκτησε (Βαϊνιάς, Βλάσση & Καραλιώτα, 2007; Hofstein, 2004). Οι σύγχρονες μέθοδοι διδασκαλίας προσανατολίζονται προς την κατεύθυνση της διερευνητικής μάθησης. Η διερεύνηση του επιστημονικού ερωτήματος μπορεί να είναι επιβεβαιωτική, καθοδηγούμενη, προσανατολισμένη ή ανοιχτή. Στην επιβεβαιωτική και καθοδηγούμενη δίνονται στους μαθητές η προς διερεύνηση ερώτηση, η πειραματική πορεία που θα ακολουθήσουν και τα απαιτούμενα όργανα και υλικά, με τη διαφορά ότι στην καθοδηγούμενη δε γνωρίζουν την έκβαση του πειράματος. Στην προσανατολισμένη δίνεται στους μαθητές μόνο το ερευνητικό ερώτημα, ενώ στην ανοιχτή οι ίδιοι οι μαθητές παράγουν και τα ερωτήματα και την ερευνητική πορεία που θα ακολουθήσουν (Κουμαράς, 2015).

Εργαστηριακή άσκηση 1

Μελέτη της μεταφοράς νερού στο αγωγό σύστημα των φυτών

Φάση προετοιμασίας – Ευαισθητοποίηση

Προαπαιτούμενες γνώσεις για τους μαθητές: ξύλωμα, αγωγός ιστός.

Διατύπωση υποθέσεων

Από ποιους παράγοντες επηρεάζεται η μεταφορά νερού στο ξύλωμα; Η ύπαρξη αέρα στο ξύλωμα επηρεάζει τη μεταφορά;

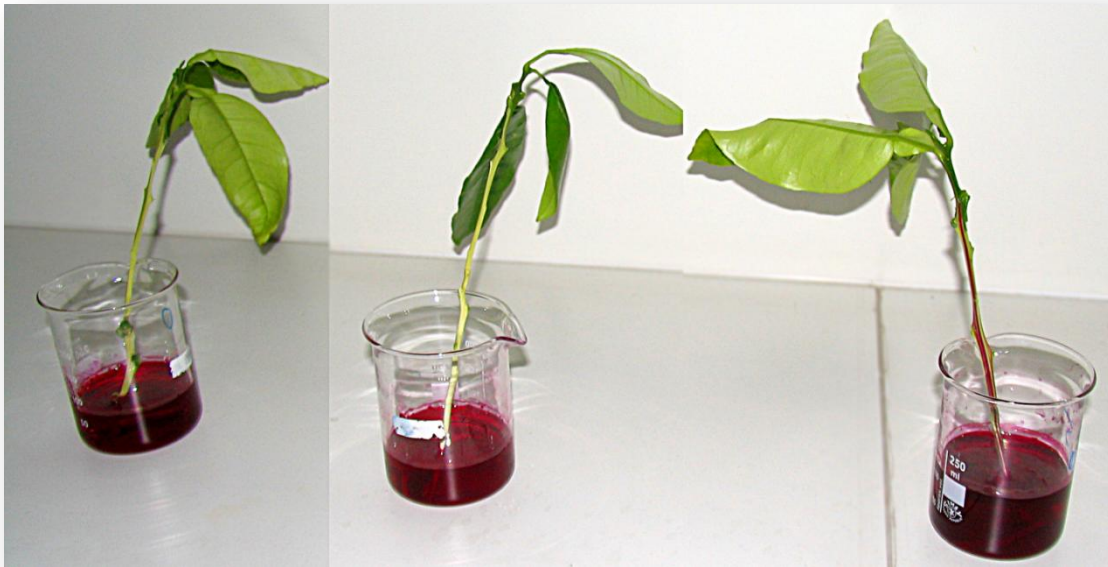
Οργάνωση τάξης

Προτείνεται ο χωρισμός της τάξης σε ομάδες των 2-4 ατόμων. Ανά ομάδα μαθητών απαιτούνται τα εξής όργανα και υλικά: τρεις βλαστοί τριανταφυλλιάς τρέχοντος έτους ή εσπεριδοειδούς (λεμονιά ή φράπα) τρία ποτήρια ζέσεως των 100 mL, διάλυμα φουξίνης 0,1%, νυστέρι, υποδεκάμετρο, χρονόμετρο.

Πειραματική διαδικασία

Η πειραματική πορεία αναλυτικά είναι η εξής:

1. Αφαιρούμε τα αγκάθια και τα φύλλα από τους βλαστούς αφήνοντας μόνο τρία σύνθετα φύλλα στην κορυφή. Κάνουμε επιφανειακές τομές με το νυστέρι στο φλοιό και τον αφαιρούμε όλο εκτός από την περιοχή των γονάτων των φύλλων που έχουν παραμείνει στο βλαστό.
2. Σε κάθε ένα από τα ποτήρια ζέσεως τοποθετούμε από 50 ml διαλύματος φουξίνης.
3. Τοποθετούμε τον πρώτο βλαστό στο διάλυμα και αφήνουμε τον ίδιο χρόνο (σταθερό) σε όλους τους βλαστούς. Μετράμε το ύψος στον καθένα που έφτασε το διάλυμα. Συμπληρώνουμε την πρώτη γραμμή του Πίνακα της ερώτησης 1 στο Φύλλο Εργασίας 1 (Εικόνα 1).
4. Αφαιρούμε 2 cm από την βάση του δεύτερου βλαστού και τον τοποθετούμε στο δεύτερο ποτήρι ζέσεως. Αφήνουμε τον ίδιο χρόνο (σταθερό) σε όλους τους βλαστούς και μετράμε το ύψος στον καθένα που έφτασε το διάλυμα. Συμπληρώνουμε τη δεύτερη γραμμή του Πίνακα της ερώτησης 1 στο Φύλλο Εργασίας 1 (Εικόνα 1).
5. Τοποθετούμε τον τρίτο βλαστό στο τρίτο διάλυμα και αφαιρούμε 2 cm από τη βάση του ενώ βρίσκεται μέσα στο διάλυμα. Αφήνουμε τον ίδιο χρόνο (σταθερό) σε όλους τους βλαστούς και μετράμε το ύψος στον καθένα που έφτασε το διάλυμα. Συμπληρώνουμε την τρίτη γραμμή του Πίνακα της ερώτησης 1 Φύλλου Εργασίας 1 (Εικόνα 1).
6. Υπολογίζουμε τις ταχύτητες ανόδου και για τις τρεις περιπτώσεις.



Εικόνα 1. βλαστός (αριστερά), βλαστός αφού έχουμε αφαιρέσει 2 cm από τη βάση του (κέντρο), βλαστός αφού έχουμε αφαιρέσει 2 cm από τη βάση του ενώ βρίσκεται μέσα στο διάλυμα (δεξιά).

Εργαστηριακή άσκηση 2

Διερεύνηση των παραγόντων που επηρεάζουν το ρυθμό διαπνοής

Φάση προετοιμασίας – Ευαισθητοποίηση

Προαπαιτούμενες γνώσεις για τους μαθητές είναι ξύλωμα, αγωγός ιστός, διαπνοή.

Διατύπωση υποθέσεων

Επηρεάζεται η διαπνοή από την ταχύτητα του ανέμου; Η αύξηση της θερμοκρασίας επιδρά στη διαπνοή;

Οργάνωση τάξης

Προτείνεται ο χωρισμός της τάξης σε ομάδες των 2-4 ατόμων. Απαιτούμενα όργανα είναι: ζυγός ακριβείας, χρονόμετρο και δύο σεσουάρ θερμού και ψυχρού αέρα. Επίσης, κάθε ομάδα μαθητών για τη διεξαγωγή της άσκησης προμηθεύεται τα εξής υλικά: τρία φύλλα πλατύφυλλου φυτού (π.χ. μολόχα), τρεις ογκομετρικές φιάλες των 100 mL, παραφίλμ ή μεμβράνη, νερό.

Πειραματική διαδικασία

Η πειραματική πορεία αναλυτικά είναι η εξής:

1. Σε κάθε μία από τις τρεις κωνικές φιάλες βάζουμε νερό 100 mL.
2. Τοποθετούμε ένα φύλλο στην καθεμία ώστε το κοτσάνι του να είναι μέσα στο νερό και κλείνουμε το στόμιο κάθε φιάλης αεροστεγώς με παραφίλμ ή μεμβράνη.
3. Ζυγίζουμε τις τρεις φιάλες και καταγράφουμε το αρχικό βάρος στον Πίνακα 1 του φύλλου εργασίας 2.



Εικόνα 2. Τοποθετούμε τη φιάλη σε απόσταση 40 cm από το σεσουάρ, ώστε ο αέρας να χτυπά την κάτω επιφάνεια του φύλλου.

4. Τοποθετούμε τη μία φιάλη που θα αποτελέσει το μάρτυρα σε σημείο του εργαστηρίου με σταθερές συνθήκες και τις άλλες δύο σε απόσταση 40 cm από τα δύο σεσουάρ, ένα σεσουάρ σε κάθε φιάλη, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2. Ο αέρας να χτυπά την κάτω επιφάνεια του φύλλου, καθώς εκεί βρίσκονται σχεδόν όλα τα στόματα.

5. Θέτουμε ταυτόχρονα σε λειτουργία τα σεσουάρ, ώστε ο αέρας να χτυπά την κάτω επιφάνεια του φύλλου. Το ένα σεσουάρ στο ένα φύλλο το ρυθμίζουμε να βγάζει ζεστό και το άλλο κρύο αέρα.
6. Ζυγίζουμε τις φιάλες κάθε 10 λεπτά και καταγράφουμε τις παρατηρήσεις μας στο φύλλο εργασίας 2 στον Πίνακα της άσκησης 1.
7. Υπολογίζουμε την % μεταβολή του βάρους των δειγμάτων.

Εργαστηριακή άσκηση 3

Ανίχνευση αμύλου σε φύλλα κολεού

Φάση προετοιμασίας – Ευαισθητοποίηση

Προαπαιτούμενες γνώσεις για τους μαθητές είναι: φωτοσύνθεση, άμυλο, χλωροφύλλη.

Διατύπωση υποθέσεων

Ποιες χρωστικές υπάρχουν στα φύλλα; Πώς μπορούμε να απομακρύνουμε τις χρωστικές από το φύλλο; Πώς ανιχνεύουμε το άμυλο που συντίθεται κατά τη φωτοσύνθεση;

Οργάνωση τάξης

Προτείνεται ο χωρισμός της τάξης σε ομάδες των 2-4 ατόμων. Απαιτούμενο όργανο είναι θερμική πλάκα. Επίσης, φυτό κολεού σε γλάστρα. Κάθε ομάδα μαθητών για τη διεξαγωγή της άσκησης προμηθεύεται τα εξής υλικά: φύλλο αλουμινόχαρτο, αιθυλική αλκοόλη, διάλυμα ιωδιούχου καλίου, νερό, 6 τριβλία, 2 ποτήρια ζέσεως.

Πειραματική διαδικασία

Η πειραματική πορεία αναλυτικά είναι η εξής:

1. Καλύπτουμε με αλουμινόχαρτο για τουλάχιστον 48 ώρες ένα φύλλο κολεού σε φυτό που βρίσκεται εκτεθειμένο στην ηλιακή ακτινοβολία.
2. Κόβουμε το καλυμμένο και ένα ακόμα φύλλο από το φυτό (Εικόνα 3, αριστερά).
3. Τοποθετούμε τα φύλλα σε νερό που βράζει μέχρι να απομακρυνθούν οι υδατοδιαλυτές χρωστικές. Σύντομα η κεντρική περιοχή του φύλλου αποχρωματίζεται (Εικόνα 3, κέντρο).



Εικόνα 3. Φύλλο κολεού (αριστερά), β. φύλλο κολεού μετά από βρασμό σε νερό (κέντρο), φύλλο κολεού μετά από βρασμό σε αιθυλική αλκοόλη (δεξιά).

4. Αφαιρούμε τα φύλλα από το νερό και παρατηρούμε τις αλλαγές. Καταγράφουμε τις παρατηρήσεις μας στο Φύλλο εργασίας 3.
5. Τοποθετούμε τα φύλλα σε ζεστή αλκοόλη μέχρι να απομακρυνθούν οι λιποδιαλυτές χρωστικές (Εικόνα 3, δεξιά). Παρατηρούμε τις αλλαγές και καταγράφουμε τις παρατηρήσεις μας στο Φύλλο εργασίας 3.
6. Τοποθετούμε κάθε φύλλο σε ένα τριβλίο και με το σταγονόμετρο καλύπτεται η επιφάνειά του με διάλυμα ιωδιούχου καλίου. Περίπου δέκα σταγόνες είναι αρκετές αρκεί να απλωθούν ομοιόμορφα πάνω σε όλα το φύλλο (Εικόνα 4 και Εικόνα 5) .
7. Παρατηρούμε τις αλλαγές και καταγράφουμε τις παρατηρήσεις μας στο Φύλλο εργασίας 3.



Εικόνα 4. Φύλλο κολεού μετά από χρώση με διάλυμα ιωδιούχου καλίου.



Εικόνα 5. Φύλλο κολεού καλυμμένο με αλουμινόχαρτο (αριστερά) μετά από βρασμό (κέντρο) και από χρώση με διάλυμα ιωδιούχου καλίου (δεξιά).

Συλλογή και οργάνωση δεδομένων, αναλυτική επεξεργασία δεδομένων

Στο πρώτο πείραμα είναι ιδιαίτερα εμφανής χωρίς να αφήνει καμία αμφιβολία στο μαθητή η μεταφορά του νερού μέσω του αγωγού συστήματος. Πλεονεκτεί από άλλες ασκήσεις που προτείνονται καθώς η μεταφορά του νερού γίνεται αντιληπτή άμεσα και σε μία εργαστηριακή ώρα. Η άσκηση 5 του εργαστηριακού οδηγού της Α΄ Γυμνασίου προτείνει τομή βλαστού και παρατήρηση στο μικροσκόπιο. Απαιτεί δύο ημέρες για την παρατήρηση αλλά και λεπτές τομές βλαστού που συνήθως δυσκολεύουν τους μαθητές (Μαυρικάκη, Γκούβρα & Καμπούρη, 2013γ).

Στη δεύτερη άσκηση γίνεται σαφές πώς επιδρούν στη διαπνοή δύο πολύ σπουδαίοι παράγοντες η θερμοκρασία και η ταχύτητα του ανέμου. Τα φυτά είναι οργανισμοί ποικιλόθερμοι, ωστόσο η θερμοκρασία των ιστών τους σπανίως είναι ίση με τη θερμοκρασία της ατμόσφαιρας που τα περιβάλλει, αντίθετα με ό,τι πιστεύουν οι μαθητές. Η τελική θερμοκρασία των φύλλων, εξαρτάται από το ποσό της θερμότητας που απορροφά από το περιβάλλον και από τις επιστρεφόμενες προς το περιβάλλον θερμικές απώλειες. Η ταχύτητα διάχυσης του CO_2 από την ατμόσφαιρα και συνεπώς, η ταχύτητα της φωτοσύνθεσης και η ταχύτητα διαπνοής εξαρτώνται από αυτή τη θερμοκρασία του φύλλου με άμεση συνέπεια στην παραγωγικότητα του φυτού (Μανέτας κ.ά., 2015). Άσκηση που αφορά τη διαπνοή απουσιάζει από τον εργαστηριακό οδηγό της Α΄ Γυμνασίου.

Τέλος, για την ανίχνευση του αμύλου χρησιμοποιήθηκαν φύλλα κολεού. Σε αντίθεση με φύλλα άλλων φυτών, ο κολεός αποτελεί άριστη επιλογή ώστε να διακρίνουν οι μαθητές τις διαφορετικές χρωστικές που υπάρχουν στο φύλλο, αλλά και ότι η φωτοσύνθεση πραγματοποιείται μόνο στα πράσινα μέρη του φύλλου όπου υπάρχει η χλωροφύλλη.

Τελική αξιολόγηση και μεταφορά μάθησης στην καθημερινή ζωή

Ζητάμε από τους μαθητές να θέσουν ερωτήματα. Είναι για παράδειγμα δυνατόν, αν και το δυναμικό νερού των φύλλων είναι υψηλό, τα στόματα να κλείσουν αν η ατμόσφαιρα είναι ξηρή ή πώς συσχετίζονται η μορφολογία των φύλλων, η μικρή ή μεγάλη φυλλική επιφάνεια σε σχέση με την

ένταση του φωτός ή τη σχετική υγρασία του αέρα; Ποιες οι άμεσες συνέπειες στη φωτοσύνθεση και την παραγωγικότητα των φυτών; Ζητάμε να σχεδιάσουν οι ίδιοι ένα πείραμα για να εξάγουν συμπεράσματα για τα ερωτήματά τους. Συζητάμε για τις προεκτάσεις της μέτρησης της σχετικής υγρασίας της ατμόσφαιρας σε θέσεις που υπάρχουν καλλιέργειες. Επίσης, για τις πιθανές μελλοντικές συνέπειες της αύξησης της υγρασίας της ατμόσφαιρας λόγω της υπερθέρμανσης του πλανήτη.

Συζήτηση

Οι ασκήσεις που προτείνονται στην παρούσα εργασία μπορούν να αποτελέσουν πολύτιμο εργαλείο στους διδάσκοντες του μαθήματος της Βιολογίας Α΄ Γυμνασίου στην κατανόηση δύσκολων εννοιών για τους μαθητές. Οι έννοιες που παρουσιάζονται αποτελούν αντικείμενο διαφορετικών κεφαλαίων του σχολικού βιβλίου της Α΄ Γυμνασίου. Η φωτοσύνθεση παρουσιάζεται στο 2^ο κεφάλαιο με τίτλο «Πρόσληψη ουσιών και πέψη», ενώ η μεταφορά νερού και η λειτουργία των στομάτων στο 3^ο κεφάλαιο με τίτλο «Μεταφορά και αποβολή ουσιών», χωρίς να συσχετίζονται μεταξύ τους οι διεργασίες αυτές. Οι εργαστηριακές ασκήσεις που προτείνονται επομένως, μπορούν να βοηθήσουν τους μαθητές να συνδυάσουν αυτές τις άρρηκτα συνδεδεμένες μεταξύ τους διεργασίες της διαπνοής, της μεταφοράς νερού μέσω του αγωγού συστήματος των φυτών και της φωτοσύνθεσης και να κατανοήσουν πώς η μία έχει άμεση συνέπεια στην άλλη, αλλά και τους παράγοντες που τις επηρεάζουν. Μπορούν να αποτελέσουν επίσης μέρος εργασίας project στο πλαίσιο του προγράμματος σπουδών για το Γυμνάσιο.

Αναφορές

- Casadebaig, P., Debaeke, P. & J. Lecoeur. (2008). Thresholds for leaf expansion and transpiration response to soil water deficit in a range of sunflower genotypes. *European Journal of Agronomy* 28(4), 646-654.
- Evans, J. R. (2013). Improving Photosynthesis. *Plant Physiology* 162, 1780-1793.
- Hofstein, A. (2004). The laboratory in Chemistry Education: Thirty years of experience with developments, implementation, and research. *Chemistry Education: Research and Practice*, 5, 247-264.
- Meletiου-Christou, M.-S. & Rhizopoulou, S. (2012). Constraints of photosynthetic performance and water status of four evergreen species co-occurring under field conditions. *Botanical Studies* 53, 325-334.
- Nilson, S. E. & Assmann, S. M. (2007). *Plant Physiology* 143, 19-27.
- Sellin, A., Niglas, A., Ōunapuu-Pikas, E., & Kupper, P. (2014). Rapid and long-term effects of water deficit on gas exchange and hydraulic conductance of silver birch trees grown under varying atmospheric humidity. *BMC Plant Biology* 14:72.
- Tullus, A., Kupper, P., Sellin, A., Parts, L., Sober, J., Tullus, T., Lohmus, Kr., Sober, A. & Tullus, H. (2012). Climate Change at Northern Latitudes: Rising Atmospheric Humidity Decreases Transpiration, N-Uptake and Growth Rate of Hybrid Aspen. *PLoS ONE*, 7 (8), 42648.
- Βαϊνάς, Δ., Βλάσση Μ. & Καραλιώτα Α. (2007). Εφαρμογή της καθοδηγούμενης διερευνητικής μεθόδου κατά τη διδασκαλία μιας εργαστηριακής άσκησης χημείας (αντιδράσεις απλής αντικατάστασης). *Διδακτική Φυσικών Επιστημών και Νέες Τεχνολογίες στην Εκπαίδευση*, 5(B), 716-724.
- Κουμαράς, Π. (2015). Η Φυσική δεν είναι μόνο εννοιολογικό περιεχόμενο, είναι επίσης μεθοδολογία λύσης (καθημερινών) προβλημάτων και στάση ζωής. *Φυσικές Επιστήμες στην Εκπαίδευση*, 6, πρόσβαση 15/07/2015. URL: http://physcool.web.auth.gr/images/teyxos_6/Koumaras%2019-28.pdf.

- Μανέτας, Ι., Γραμματικόπουλος, Γ., Πετροπούλου, Γ. & Ψαράς, Γ. (2015). Φυτά και περιβάλλον. Στο *Εργαστηριακές ασκήσεις φυσιολογίας φυτών*. Αθήνα: Αθήνα: Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα.
- Μαυρικάκη, Ε., Γκούβρα, Μ. & Καμπούρη, Α. (2013α). Μεταφορά και αποβολή ουσιών. Στο *Α΄ Γυμνασίου Βιολογία*. Αθήνα: Ι.Τ.Υ.Ε. «Διόφαντος».
- Μαυρικάκη, Ε., Γκούβρα, Μ. & Καμπούρη, Α. (2013β). Πρόσληψη ουσιών και πέψη. Στο *Α΄ Γυμνασίου Βιολογία*. Αθήνα: Ι.Τ.Υ.Ε. «Διόφαντος».
- Μαυρικάκη, Ε., Γκούβρα, Μ. & Καμπούρη, Α. (2013γ). Άσκηση 5: Η μεταφορά ουσιών στα φυτά. Στο *Βιολογία Α΄ Γυμνασίου Εργαστηριακός Οδηγός*. Αθήνα: Ι.Τ.Υ.Ε. «Διόφαντος».
- Ριζοπούλου, Σ., Γεωργίου, Κ., Θάνος, Κ., Μελετίου-Χρήστου Μ.-Σ., Ρούσσης, Α. (2015). Διαπνοή ανώτερων φυτών. Στο *Εργαστηριακές Ασκήσεις Φυσιολογίας Φυτών*. Αθήνα: Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα.



Η Μαρία Ξαπλαντέρη είναι Βιολόγος μόνιμη εκπαιδευτικός στο 2ο Γυμνάσιο Καλαμάτας. Έχει PhD στη Βιολογία, MSc στη Βιοχημεία και MSc στις Σπουδές στην Εκπαίδευση. Έχει διδάξει για αρκετά χρόνια ως επιστημονικός συνεργάτης στην Τριτοβάθμια εκπαίδευση (ΤΕΙ Πελοποννήσου και ΕΑΠ) Βιοχημεία και Βιολογία. Έχει δημοσιεύσει περισσότερες από 10 ερευνητικές εργασίες σε διεθνή επιστημονικά περιοδικά. Τα ενδιαφέροντά της είναι η χρήση του πειράματος και των ΤΠΕ στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστήμων.



Η Μαίρη Κοτσιφάκη είναι Καθηγήτρια Εφαρμογών στο Τμήμα Τεχνολόγων Γεωπόνων του Τ.Ε.Ι. Πελοποννήσου. Είναι Βιολόγος, πτυχιούχος του Πανεπιστημίου Πατρών και κάτοχος Μεταπτυχιακού Διπλώματος με εξειδίκευση στην Ανατομία και Φυσιολογία Φυτών, από το Midwestern State University των Η.Π.Α. Τα ενδιαφέροντά της αφορούν τη μελέτη των επιπτώσεων και της προσαρμογής των φυτών στα σύγχρονα οικοσυστήματα.