

« Για το 12^ο Καβάλα »

Για τη συνεδρία
« ΕΚΦΕ και πειραματική διδασκαλία »

ΒΙΟΛΟΓΙΑ

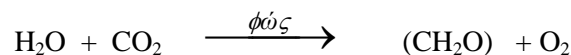
Η σημαντικότερη μεταβολική πορεία στη Βιόσφαιρα: Φωτοσύνθεση

Φωτοσύνθεση: Ένας μεταβολικός δρόμος μέσα από το πείραμα

Γιώργος Α. Χαλκιάπουλος, Υπ. ΕΚΦΕ, Τ. Γκοτσοπούλου Συν. ΕΚΦΕ Ν. Ιωνίας.
Εργαστηριακό Κέντρο Φυσικών Επιστημών Νέας Ιωνίας.
Τηλ: 210 2758108
6977211608
Fax: 2102724478
Mail: mail@ekfe-n-ionias.att.sch.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Όλη η ελεύθερη ενέργεια που καταναλώνεται από τα βιολογικά συστήματα πηγάζει από την ηλιακή ενέργεια που παγιδεύεται από ζωντανούς οργανισμούς μέσω της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης. Η βασική εξίσωση της φωτοσύνθεσης είναι απλή, μάλιστα δε παραπλανητικά απλή:



Σ' αυτή την εξίσωση η ένωση (CH₂O) αντιπροσωπεύει υδατάνθρακα, κυρίως ζαχαρόζη και άμυλο. Ο μηχανισμός της φωτοσύνθεσης είναι πραγματικά πολύπλοκος και απαιτεί τη συμμετοχή και αλληλεπίδραση πολλών πρωτεϊνικών συμπλόκων, φωτοϋποδοχέων, μεταφορείς ηλεκτρονίων και μικρών μορίων. Με αυτή την περίπλοκη λειτουργία 10¹¹ τόνοι διοξειδίου του άνθρακα δεσμεύονται παγκοσμίως κάθε χρόνο.

Με απλά πειράματα επιχειρείται διδακτική προσέγγιση για τι δεσμεύει ένα φυτό όταν φωτοσυνθέτει, ποιος είναι ο ρόλος του φωτός και πόσο υπεύθυνη είναι η χλωροφύλλη. Ακόμα ελέγχεται ο ρυθμός της φωτοσύνθεσης, μετρώντας το παραγόμενο οξυγόνο, χρησιμοποιώντας αισθητήρα πίεσης με το σύστημα MultiLog.

Τέτοια πειράματα, μέσα από τον έλεγχο προϊόντων της αντίδρασης έδωσαν ποιοτικά και ποσοτικά αποτελέσματα της διαδικασίας της αντίδρασης της φωτοσύνθεσης.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

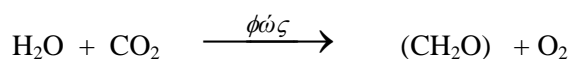
Ο ήλιος είναι η σημαντικότερη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας.

Οι άνθρωποι από νωρίς είχαν αντιληφθεί ότι αυτοί και όλα τα άλλα ζώα μεγαλώνουν και αναπτύσσονται τρώγοντας φυτά, ή τρώγοντας άλλα ζώα που με την σειρά τους τρώνε φυτά. Αλλά ποια είναι η «τροφή» των φυτών;

Υπάρχουν δύο πιθανές πηγές, το έδαφος και ο αέρας. Όμως, τροφή δεν υπάρχει ούτε στην μία πηγή ούτε στην άλλη, αλλά μόνον απλά ανόργανα υλικά όπως διοξείδιο του άνθρακα και νερό.

Αυτό που κάνουν τα φυτά, λοιπόν, είναι να χρησιμοποιούν αυτά τα απλά υλικά από το περιβάλλον τους και να φτιάχνουν ζάχαρη και άλλα σύμπλοκα μόρια στα φύλλα τους. Η παρασκευή σύμπλοκων μορίων από απλά υλικά καλείται σύνθεση και τα φυτά χρειάζονται τον ήλιο για να το κάνουν αυτό. Η διαδικασία με την οποία φτιάχνουν την τροφή τους τα φυτά καλείται φωτοσύνθεση.

Όλη η ελεύθερη ενέργεια που καταναλώνεται από τα βιολογικά συστήματα πηγάζει από την ηλιακή ενέργεια που παγιδεύεται από ζωντανούς οργανισμούς μέσω της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης. Η βασική εξίσωση της φωτοσύνθεσης είναι απλή, μάλιστα δε παραπλανητικά απλή:



Σε αυτή την εξίσωση η ένωση (CH₂O) αντιπροσωπεύει υδατάνθρακα, κυρίως ζαχαρόζη και άμυλο. Ο μηχανισμός της φωτοσύνθεσης είναι πραγματικά πολύπλοκος και απαιτεί τη συμμετοχή και αλληλεπίδραση πολλών πρωτεϊνικών συμπλόκων, φωτοϋποδοχέων, μεταφορέων ηλεκτρονίων και μικρών μορίων (Stryer, 1997).

Ο ήλιος μας στέλνει καθημερινά 1000W/m², ενέργεια ισοδύναμη με 17000 φορές την ενέργεια που καταναλώνει ημερησίως ο πλανήτης μας. Τα φύλλα των φυτών, οι καλύτεροι ηλιοσυλλέκτες, φωτοσυνθέτουν με απόδοση ενέργειας που φθάνει το 40% της προσλαμβανόμενης ενέργειας. Με αυτή την περίπλοκη λειτουργία 10¹¹ τόνοι διοξειδίου του άνθρακα δεσμεύονται παγκοσμίως κάθε χρόνο.

Ένα σύνολο ποικίλων οργανισμών μπορεί να φωτοσυνθέσει, από τα κυανοβακτήρια μέχρι τα ψηλότερα δέντρα. Η φωτοσύνθεση λαμβάνει χώρα στις εσωτερικές μεμβράνες των κυττάρων. Στα φωτοσυνθετικά βακτήρια η πρωτοπλασματική μεμβράνη, εσωτερικά, είναι η έδρα της φωτοσύνθεσης, ενώ στα ευκαρυωτικά πράσινα φυτά η φωτοσύνθεση λαμβάνει μέρος σε ειδικά οργανίδια, που εμπεριέχονται στα κύτταρα και καλούνται χλωροπλάστες.

Το πλήθος των ενζύμων που συμμετέχουν και οι παράγοντες που λαμβάνουν μέρος, επηρεάζοντας θετικά ή αρνητικά την απόδοση της αντίδρασης, κάνουν αυτόν τον μεταβολικό δρόμο από βιοχημικής, φυσιολογικής και συνθετικής πλευράς εξαιρετικά περίπλοκο.

Υπάρχει, όμως το πείραμα, διδακτική μέθοδος, που βοηθάει στην παρατήρηση, ανακάλυψη, βιοματική και διαδικασιακή μάθηση. Τέτοια πειράματα, μέσα από έλεγχο προϊόντων ή αντιδρώντων της αντίδρασης δίνουν ποιοτικά και ποσοτικά αποτελέσματα της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης (Αργύρης, 1991).

Σκοπός είναι, με απλά πειράματα επιστημονικής δεοντολογίας (στο εργαστήριο και στο σπίτι) να παρασύρει ο εκπαιδευτικός τον μαθητή του στον μεταβολικό δρόμο του διοξειδίου του άνθρακα μέσα στην βίωση.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

Με οδηγούς το Αναλυτικό Πρόγραμμα Σπουδών, το Διαθεματικό Ενιαίο Πλαίσιο Προγραμμάτων Σπουδών και στοιχεία από το Βρετανικό Αναλυτικό πρόγραμμα των High schools και δραστηριότητες (activities) από την Ελληνική και Βρετανική βιβλιογραφία, σχεδιάστηκαν και πραγματοποιήθηκαν στα εργαστήρια του ΕΚΦΕ ΝΕΑΣ ΙΩΝΙΑΣ με την συμμετοχή των συνεργατών του, ένα πρόγραμμα με απλά διδακτικά πειράματα για την φωτοσύνθεση.

Επαναλαμβάνοντας τα πειράματα τυποποιήσαμε μέσα και μεθόδους, ώστε να είναι εφικτή η πραγματοποίηση κάποιων πειραμάτων στην τάξη, είτε ως πείραμα επίδειξης, είτε σε ομάδες μαθητών ή ως εργασία στο σπίτι. Συντάξαμε ένα πρωτόκολλο εργασιών μελέτης (tests) τμημάτων φυτού (βολβός, φύλλο κ.α.), επιλέγοντας ως αντιδραστήρια το αραιό lugol και το Benedict's διάλυμα.

| Ανίχνευση σακχάρου σε φυτό | Ανίχνευση αμύλου σε φύλλο γερανιού |
|--|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Τοποθετούμε λίγα κομμάτια από βολβό κρεμμυδιού σε ένα γουδί και προσθέτουμε λίγη άμμο. 2. Αλέθουμε τα κομμάτια του βολβού με ένα γουδοχέρι και καλύπτουμε με νερό. 3. Φιλτράρουμε το περιεχόμενο του γουδιού σε ένα δοκιμαστικό σωλήνα μέχρι ύψος περίπου 1cm. 4. Ρίχνουμε ίδια ποσότητα Benedict's διάλυμα στο δοκιμαστικό σωλήνα. Τοποθετούμε το δοκιμαστικό σωλήνα σε δοχείο με βραστό νερό, μέχρις ότου βράσει το περιεχόμενο. 5. Επαναλαμβάνουμε το βήμα 4 έχοντας τοποθετήσει στο δοκιμαστικό σωλήνα λίγο νερό, ώστε να χρησιμοποιηθεί ως μάρτυρας. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Βυθίζουμε το φύλλο σε δοχείο με βραστό νερό για περίπου 10s. Έτσι θα απονεκρωθεί και θα μαλακώσει. 2. Αφού σβήσουμε τον λύχνο, βάζουμε το φύλλο σε δοκιμαστικό σωλήνα που περιέχει αιθανόλη. Τοποθετούμε το δοκιμαστικό σωλήνα στο δοχείο με το βραστό νερό για περίπου 10min. Η αιθανόλη θα αποχρωματίσει το φύλλο. 3. Κινούμε το φύλλο μπρος-πίσω μέσα στο δοχείο με το νερό. Έτσι θα απομακρυνθεί η αιθανόλη και θα μαλακώσει το φύλλο. 4. Τοποθετούμε το φύλλο σε τρυβλίο Petri και το καλύπτουμε με αραιό lugol. |
| | <p><i>Το σκούρο-μπλέ χρώμα πιστοποιεί την παρουσία αμύλου.</i></p> |
| <p><i>Πράσινο, καφέ ή κόκκινο χρώμα σημαίνει παρουσία σακχάρου</i></p> | |

Σε κάθε πείραμα ελέγχαμε έναν παράγοντα που επιδρούσε στην φωτοσύνθεση, προσπαθώντας να κρατήσουμε σταθερούς τους υπόλοιπους.

Προσπαθήσαμε να δείξουμε πειραματικά, ότι ένα φυτό δεσμεύει διοξείδιο του άνθρακα όταν φωτοσυνθέτει. Το φως είναι απαραίτητο για την φωτοσύνθεση και ότι η χλωροφύλλη, όπου υπάρχει στο φύλλο είναι και εκεί που φωτοσυνθέτει (δίχρωμο φύλλο κισσού).

Επιχειρήσαμε να ανιχνεύσουμε το παραγόμενο O_2 με αντιδραστήρια σε διάλυμα (όπως το $NaHSO_3$) και όχι με το γνωστό «άναμμα της παρασχίδας ξύλου». Ο λόγος, η «σηματοποιούμενη» ατμόσφαιρα οξυγόνου ήταν κορεσμένη από υδρατμούς και η ανίχνευση αποτύγχανε.

Το Σύστημα Συγχρονικής λήψης και Απεικόνισης (MultiLog) μας έβαλε δειλά-δειλά την ποσοτικοποίηση των πειραμάτων της Βιολογίας.

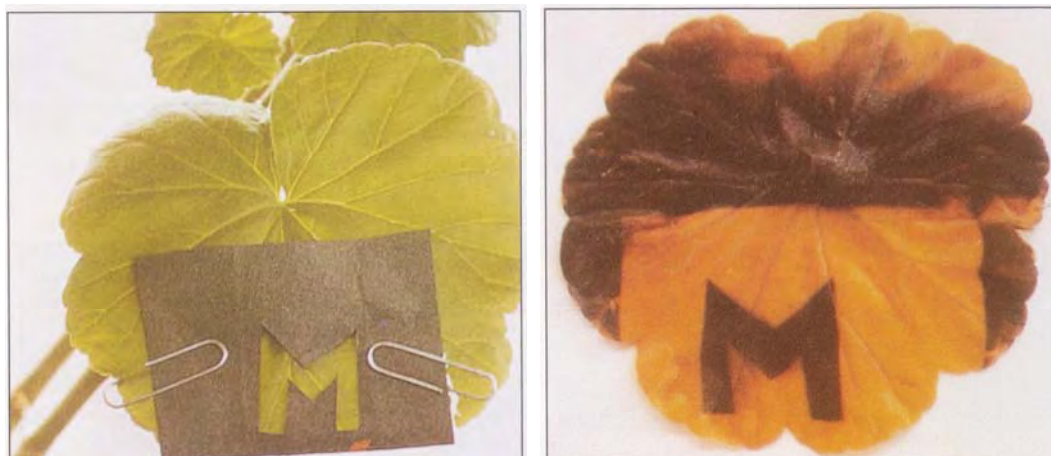
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τέσσερεις κυρίως παράγοντες είναι υπεύθυνοι για τον ρυθμό της φωτοσύνθεσης των φυτών. Το φως, το διοξείδιο του άνθρακα, η θερμοκρασία και το νερό με τα ιόντα-ιχνοστοιχεία που είναι διαλυμένα σε αυτό (υπεύθυνα για τα κατάλληλα ένζυμα του κύκλου των αντιδράσεων) .

ΦΩΣ

α) Είναι το φως αναγκαίο για την φωτοσύνθεση;

Επιλέξαμε μία ομάδα φύλλων του φυτού γεράνι και ακολουθήσαμε δύο δρόμους. Πρώτα καλύφθηκαν καλά όλα τα φύλλα της ομάδας με αλουμινόχαρτο για δύο ημέρες. Με αυτόν τον τρόπο επιβάλλαμε κοινή αφετηρία χλωροφύλλης σε όλα τα φύλλα της ομάδας. Κατόπιν αποκαλύφθηκαν τα μισά φύλλα και τα άλλα μισά παρέμειναν στο σκοτάδι για επτά ημέρες. Ο έλεγχος του αμύλου με αραιό lugol δίνει την εικόνα 1.



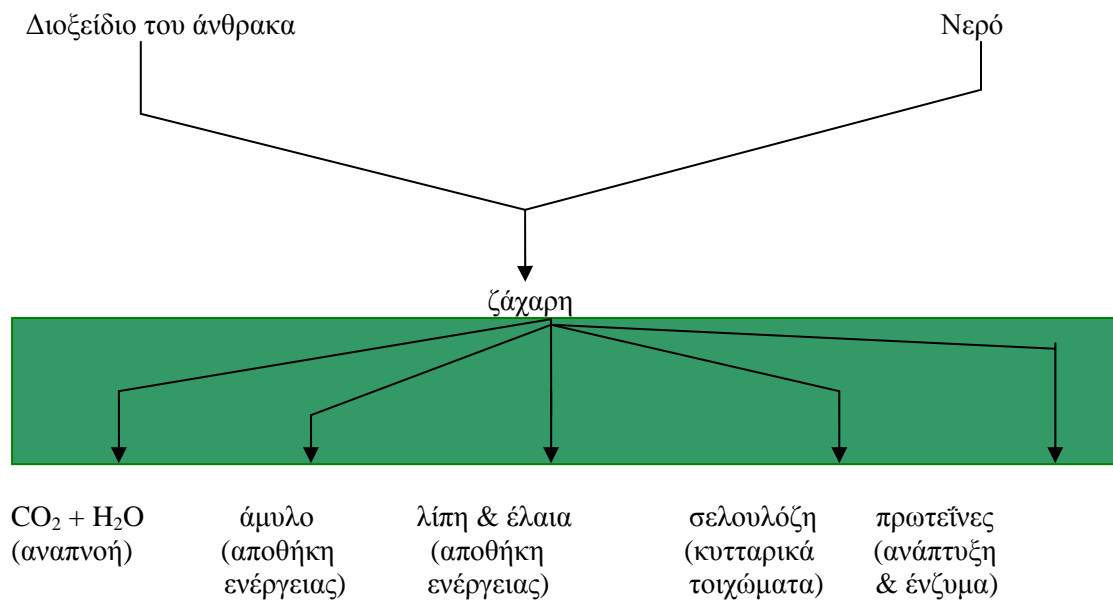
Εικόνα 1 (starch print) (Roberts M., 1995)

Σε φυτό με μαλακά φύλλα (γεράνι, σπανάκι, μαϊντανός κ.α.) ακολουθώντας το πρωτόκολλο, κάνουμε έλεγχο αμύλου, όπου μετά την εκχύλιση η χρώση με αραιό lugol δίνει πολύ καλά αποτελέσματα. Χαρακτηριστικά σε αυτήν τη χρώση εμφανίζονται τα νεύρα του φύλλου σχεδόν εντελώς λευκά, μια και εκεί δεν υπάρχουν κύτταρα για να υπάρξει χλωροφύλλη. Το άμυλο, φαίνεται ότι, είναι μια από τις πρώτες ενώσεις που σχηματίζονται. Αυτό μεταφέρεται σε άλλες θέσεις του φυτού κατά την νύχτα, όταν σταματά το φαινόμενο της φωτοσύνθεσης (wikipedia 2007). Τα αποτελέσματα της χρώσης φαίνονται στην εικόνα 2.



Εικόνα 2 (ΕΚΦΕ Ν. Ιωνίας., 2008).

Σε κομμάτια από βολβό κρεμμυδιού, ακολουθώντας το πρωτόκολλο, με το Benedict's διάλυμα, διαπιστώνουμε την παρουσία ζαχάρου. Χρωματίζεται καφέ το διάλυμα μετά από θέρμανση. Στον βολβό του κρεμμυδιού, που είναι υπόγειος, ανιχνεύουμε ζάχαρο, μια και το φως είναι αναγκαίο για να υπάρξει χλωροφύλλη. Η χλωροφύλλη υπάρχει στις πράσινες περιοχές του φυτού, ενώ εκεί όπου απουσιάζει το πράσινο, μάλλον απουσιάζει και η χλωροφύλλη. Φαίνεται ότι ομοιοστατικός μηχανισμός, ειδικά στους ευκαρυωτικούς φυτικούς οργανισμούς, δομεί και αποδομεί την χλωροφύλλη, ανάλογα με τις συνθήκες περιβάλλοντος.



Πίνακας 1. Μεταβολικοί δρόμοι της ζάχαρης στα φυτά (Roberts., 1995).

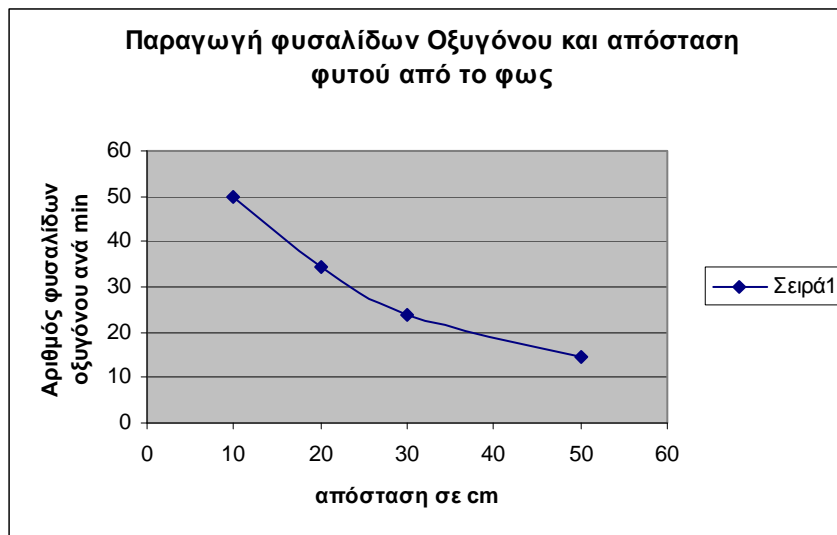
Με το υδροχαρές φυτό *Elodea* (Canadian pondweed), σε ανεστραμμένο δοκιμαστικό σωλήνα, ανιχνεύουμε την παραγωγή φυσαλίδων αερίου. Ο έλεγχος του παραγόμενου αερίου, γίνεται με τον αποχρωματισμό του κυανού του μεθυλενίου από το όξινο θειώδες νάτριο. Η διάταξη φαίνεται στην εικόνα 3.



Εικόνα 3 (ΕΚΦΕ Ν. Ιωνίας., 2008)

β) Ποιό ρόλο παίζει η απόσταση της φωτεινής πηγής;

Μετράμε τον ρυθμό παραγωγής φυσαλίδων οξυγόνου, ενός υδρόβιου φυτού, σε διαφορετικές αποστάσεις. Η καταγραφή αρχίζει μετά 15min για να σταθεροποιηθεί ο ρυθμός παραγωγής των φυσαλίδων και να οδηγηθούμε σε κάποιο γράφημα. Χρησιμοποιούμε οικονομική λάμπα ψυχρού φωτισμού 26W (αναλογεί σε 300W λάμπας πυρακτώσεως). Αρχική απόσταση 10cm, μετά 20cm, 30cm και τέλος 60cm.



Πίνακας 2. Γράφημα αριθμού φυσαλίδων O₂ με την απόσταση του φυτού.

ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΓΧΡΟΝΙΚΗΣ ΛΗΨΗΣ ΚΑΙ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ

Το πείραμα αποτελείται από δύο μπουκάλια, το ένα χρησιμοποιήθηκε σαν μάρτυρας (αναφορά). Προσθέσαμε στο ένα Elodea (Canadian pondweed). Η οικονομική λάμπα που χρησιμοποιήσαμε, είχε δύο επιπρόσθετα πλεονεκτήματα. Το ένα επειδή παράγει ψυχρό φωτισμό δεν μετέβαλλε την θερμοκρασία του νερού του υδρόβιου φυτού, ούτε κατά έναν βαθμό της κλίμακας Κελσίου και το άλλο πήραμε τελικά μεγάλη τιμή έντασης (300W).

Το χρονικό διάστημα των 13min (5min για να κορεσθεί το διάλυμα με οξυγόνο και 8min ο ρυθμός της φωτοσύνθεσης) είναι αρκετά ικανοποιητικό σε συνθήκες τάξης και η ανάλυση των δεδομένων που ακολουθεί, οδηγεί στο παρακάτω γράφημα του οποίου η κλίση της γραμμής παλινδρόμησης αποτελεί τον καθαρό ρυθμό αντίδρασης του πειράματος.



ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μπορούμε να εντάξουμε, ευρύτερα την διαδικασία της φωτοσύνθεσης στα σχολικά πειράματα. Όσο περισσότερη ποικιλία παρουσιάζει η πειραματική προσέγγιση, τόσο αυξάνει το ενδιαφέρον γι' αυτόν τον μεταβολικό δρόμο, που αποτελεί την βάση της αλυσίδας τροφής της Βιόσφαιρας. Οι δεξιότητες και πειραματικές επιλογές αναπτύσσονται στην πορεία και αντί π.χ. να κλείσουμε μια γλάστρα με γεράνι ή σπανάκι σε νάιλον με ασβεστόνερο (CO₂), εφαρμόζουμε το ίδιο σε διαφορετικά φύλλα του ίδιου φυτού. Ειδικά ο έλεγχος κάποιου

παράγοντα σε κάθε επανάληψη έδινε διαφοροποιημένα αποτελέσματα και αφορμή για νέες συζητήσεις και νέες θεωρητικές περιπλανήσεις μεταξύ μας.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αργύρης Π. Ι., (1991). *Θεματική Βιολογία*, Θεσσαλονίκη.
- Ίδρυμα Ευγενίδου., (1990). *Η Βιολογική Επιστήμη Μοριακή προσέγγιση*, Αθήνα.
- Μαργαρίτης Χ. Α. , Γαλανόπουλος Β. Κ., Κεραμάρης Κ.Ε., Μαρίνος Ε.Σ., Παπασιδέρη Ι.Σ., Στραβοπόδης Δ.Ι., Τρουγκάκος Ι.Π. (2004). *Βιολογία Κυττάρου*, Ιατρικές εκδόσεις Λίτσας.
- Παιδαγωγικό Ινστιτούτο (2000). *Ενιαίο Πλαίσιο Προγραμμάτων Σπουδών*, Αθήνα.
- Παιδαγωγικό Ινστιτούτο (2002). *Διαθεματικό Ενιαίο Πλαίσιο Προγραμμάτων Σπουδών κα Αναλυτικά Προγράμματα Σπουδών Υποχρεωτικής Εκπαίδευσης*, Αθήνα.
- Παιδαγωγικό Ινστιτούτο (2006). *Επιμόρφωση στελεχών Δ.Ε. Τεύχος Επιμορφωτικού Υλικού*, Αθήνα 2006
- Σαλαμαστράκης Σ., Καυάλης Α., Μπουρμπουχάκης Ι.-Ε., Περάκη Β. (2007). *Βιολογία Γενικής Παιδείας Β' Γεν.*, Παιδαγωγικό Ινστιτούτο, Αθήνα.
- Συντυχάκης Μ. Φαλτσέτας Ν. (1986). *Βιολογία και πείραμα*, Αθήνα.
- Σύστημα Συγχρονικής Λήψης και Απεικόνισης., (1996). *MultiLog Πειράματα.*, Αμαξοτεχνική Α.Ε.Β.Ε., Θεσσαλονίκη.
- Nuffield J., (1970). *Combined Science teachers' Guide II*, Penguin Books.
- Clark N. J.Jr, Switzer L. R. (1992). *Πειραματική Βιοχημεία*, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο.
- Clarke E., *Biology Objective and Completion Tests for O level*. John Murray Albemarle Street London.
- Kilgour O. F. G., *Work Out Biology GCSE*. MACMILLAN.
- Liffen C. L., (1990). *Structured Questios for GCSE Biology*. Hodder and Stoughton, London.
- Roberts M. B. V., (1984). *Biology, a functional approach*, Nelson.
- Roberts M., (1995). *Biology Nelson Science*, Nelson.