

Η κατανόηση της χημικής διάστασης της φωτοσύνθεσης από μαθητές γυμνάσιων της Αττικής

Γιώτα Μαρμαρωτή*, Ντία Γαλανοπούλου

Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Χημείας, Ζωγράφου, 15571 Αθήνα, galanopoulou@chem.uoa.gr

Θεματική Ενότητα: Φυσικές έννοιες, εναλλακτικές αντιλήψεις

Επίπεδο Εκπαίδευσης: Γυμνάσιο

Κατηγορία Εργασίας: Πειραματική έρευνα

Περίληψη: Ένα από τα ερευνητικά αντικείμενα του επιστημονικού πεδίου της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών είναι αυτό της καταγραφής των παρανοήσεων των μαθητών. Παρανοήσεις έχουν αναφερθεί για πολλές έννοιες και φαινόμενα των Φυσικών Επιστημών. Ανάμεσα στα βιολογικά θέματα, η Φωτοσύνθεση, ένα κατ' εξοχήν διαθεματικό αντικείμενο, είναι αυτό για το οποίο έχουν καταγραφεί στη διεθνή βιβλιογραφία σημαντικές παρανοήσεις. Οι παρανοήσεις αυτές αφορούν σε όλες τις διαστάσεις της Φωτοσύνθεσης, με πιο μελετημένη αυτή που σχετίζεται με τη διαδικασία θρέψης του φυτού. Η τελευταία έχει μελετηθεί και στην Ελλάδα.

Σκοπός της μελέτης ήταν να διερευνηθεί συνολικά ποιες από τις καταγεγραμμένες στη διεθνή βιβλιογραφία παρανοήσεις παρατηρούνται και στους έλληνες μαθητές της Α' Γυμνασίου, στη διάρκεια της οποίας διδάσκεται η Φωτοσύνθεση. Για το σκοπό αυτό αναπτύχθηκε Ερωτηματολόγιο κλειστού τύπου το οποίο, μετά από διαδικασία αξιολόγησης, διακινήθηκε σε μαθητές 7 σχολικών μονάδων διασκορπισμένων στην ευρύτερη περιοχή της Αττικής. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που αφορούν τόσο στη χημική διάσταση της Φωτοσύνθεσης όσο και στην ενεργειακή, η οποία και θεωρείται η πιο δύσκολη διάσταση του φαινομένου αλλά και συνδέεται άμεσα με τη χημική διάσταση. Από την επεξεργασία των απαντήσεων των μαθητών, τόσο ανά ερώτηση όσο και με διασταύρωση των απαντήσεων του ίδιου μαθητή σε συνδυαζόμενες ερωτήσεις, επιβεβαιώθηκε ότι και στην Ελλάδα οι μαθητές, αν και κατανοούν ότι ο ήλιος δίνει ενέργεια για τη Φωτοσύνθεση, δεν κατανοούν το είδος της ενέργειας αυτής (οι μισοί μαθητές πιστεύουν ότι αυτή είναι θερμότητα ή και θερμότητα). Αναδείχθηκε όμως παράλληλα και η δυσκολία των μαθητών της Α' Γυμνασίου να κατανοήσουν τη Φωτοσύνθεση ως χημική διεργασία. Έτσι, δεν αναγνωρίζουν τόσο τα αντιδρώντα όσο και τα προϊόντα, αλλά κυρίως τα αντιδρώντα της Φωτοσύνθεσης, ενώ εμπλέκουν τη χλωροφύλλη στην αντίδραση είτε ως αντιδρών είτε ως προϊόν.

Λέξεις Κλειδιά: Φωτοσύνθεση, κατανόηση, παρανοήσεις, δευτεροβάθμια εκπαίδευση

A study of greek pupils' understanding of the chemical aspects of photosynthesis

Yiota Marmaroti* and Dia Galanopoulou

University of Athens, Department of Chemistry, Zografou, 15571 Athens, Greece

galanopoulou@chem.uoa.gr

Conference Theme: Scientific concepts, alternative conceptions

Educational Level: Secondary school

Paper Classification: Experimental research

Abstract: Pupils' understanding of scientific concepts and phenomena has been of considerable interest to science education researchers and several studies have investigated misconceptions held by them. Among the biological phenomena, photosynthesis has been rated as one of the most difficult topics, as it is a complex topic with a number of conceptual aspects. Therefore, a number of misconceptions concerning photosynthesis has been revealed. The most important is the one referred to the plant nutrition, which has been also studied in Greece.

The purpose of this study was to investigate whether the misconceptions related to all different aspects of photosynthesis are held by Greek pupils of the first year of secondary school. For this purpose, we designed a close-ended questionnaire which covered these aspects and, after evaluation, we administered it to the pupils of 7 schools in Attiki area. In this presentation we discuss the results concerning the chemical nature of photosynthesis, as well the type of energy required for photosynthesis, an aspect connected to the chemistry of photosynthesis. By analyzing and cross-analyzing the answers, we have found that a considerable number of pupils:

- do not understand the type of energy required for photosynthesis (half of them believe that heat is needed)
- can not recognize the reactants and the products of photosynthesis and also consider chlorophyll either as reactant or as a product of photosynthesis.

Keywords: Photosynthesis, understanding, misconceptions, secondary education

Εισαγωγή

Ένα από τα ερευνητικά αντικείμενα του επιστημονικού πεδίου της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών είναι αυτό της καταγραφής των προβλημάτων κατανόησης κατά τη διδασκαλία καθώς και των παρανοήσεων ή εναλλακτικών ιδεών των μαθητών. Οι τελευταίοι αναπτύσσουν εναλλακτικές ιδέες τόσο για φαινόμενα που

έχουν συναντήσει πριν από τη διδασκαλία, όσο και για έννοιες που εισάγονται για πρώτη φορά με τη διδασκαλία (Driver 1989, Garnett, Garnett and Hackling 1995). Τα ίδια προβλήματα κατανόησης και δημιουργίας παρανοήσεων παρατηρούνται και σε θέματα Βιοχημείας (Okeke and Wood-Robinson 1980, Longden 1982), ανάμεσα στα οποία επιλέξαμε να μελετήσουμε τη Φωτοσύνθεση. Η Φωτοσύνθεση φέρει δικαίως τον τίτλο της πιο σημαντικής βιοχημικής πορείας στη γη, καθώς μέσω αυτής παράγεται πρωτογενώς οργανική ύλη από ανόργανα μόρια και άρα θρεπτικές ουσίες τόσο για τους ίδιους τους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς όσο και για τους υπόλοιπους (ετερότροφους) οργανισμούς. Είναι, ωστόσο, γνωστό από τη βιβλιογραφία ότι η Φωτοσύνθεση αποτελεί ένα εξαιρετικά δύσκολο θέμα για τους μαθητές όλων των βαθμίδων (Johnstone and Mahmood 1980, Stavy, Eisen and Yaakobi 1987). Η δυσκολία έγκειται στο ότι έχει πολλές διαστάσεις (φυσιολογική, βιοχημική, ενεργειακή και οικολογική), τις οποίες οι μαθητές δεν μπορούν να αντιληφθούν ταυτόχρονα (Waheed and Lucas 1992) και ακόμη, στο ότι οι μαθητές έχουν προβλήματα στην κατανόηση και των επιμέρους διαστάσεων, με μεγαλύτερη δυσκολία στη διάσταση που σχετίζεται με την ενέργεια (Bell 1985). Αυτό οφείλεται σε μεγάλο ποσοστό στο ότι χρειάζονται πολλές προαπαιτούμενες έννοιες από τη Φυσική, τη Χημεία και τη Βιολογία, για τις οποίες όμως επίσης έχουν καταγραφεί παρανοήσεις και προβλήματα κατανόησης (Simpson and Arnold 1982, Barker and Carr 1989a). Στη διεθνή βιβλιογραφία έχουν μελετηθεί παρανοήσεις σε σχέση με όλες τις διαστάσεις της Φωτοσύνθεσης (Eisen and Stavy 1988, Amir and Tamir 1994), περισσότερο δε μελετημένη είναι αυτή που αφορά στη διαδικασία θρέψης του φυτού (Bell 1985, Barker and Carr 1989b), διάσταση που έχει καταγραφεί και στην Ελλάδα (Zogza 1995, Κύρκος 1999). Ειδικά για τις προαπαιτούμενες χημικές έννοιες, πρέπει να προστεθεί ότι στο ελληνικό σχολείο τα θέματα Βιοχημείας διδάσκονται στο πλαίσιο της Βιολογίας και οι μαθητές δεν μπορούν να χρησιμοποιήσουν για την κατανόησή τους τις χημικές γνώσεις που διδάσκονται παράλληλα (Stavy, Eisen and Yakoobi 1987).

Σκοπός της μελέτης ήταν:

- Η ανάπτυξη Ερωτηματολογίου που να εξετάζει την κατανόηση όλων των επιμέρους διαστάσεων της Φωτοσύνθεσης και
- Η διακίνηση του Ερωτηματολογίου αυτού σε μαθητές της Α' Γυμνασίου, στη διάρκεια της οποίας διδάσκεται η Φωτοσύνθεση, ώστε:
 1. να μελετηθεί η ταυτόχρονη κατανόηση των επιμέρους διαστάσεων της Φωτοσύνθεσης και
 2. να ελεγχθεί ποιες από τις καταγεγραμμένες στη διεθνή βιβλιογραφία παρανοήσεις των επιμέρους διαστάσεων της Φωτοσύνθεσης ισχύουν και στην ελληνική πραγματικότητα.

Μεθοδολογία

Αναπτύχθηκε ερωτηματολόγιο κλειστού τύπου με κυρίαρχο τύπο ερωτήσεων (20 στις 24) τις ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής. Το γεγονός ότι αρκετές από τις παρανοήσεις σχετικά με τη Φωτοσύνθεση έχουν καταγραφεί στη διεθνή βιβλιογραφία, μας επέτρεψε να παρακάμψουμε το προκαταρκτικό στάδιο ερωτήσεων ανοικτού τύπου. Σε αρκετές περιπτώσεις, οι λανθασμένες απαντήσεις στις δικές μας ερωτήσεις προέρχονταν από απαντήσεις μαθητών σε ερωτήσεις ανοικτού τύπου από τη βιβλιογραφία, απαντήσεις που είναι αντιπροσωπευτικές συγκεκριμένων παρανοήσεων. Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του ερωτηματολογίου είναι ότι οι ερωτήσεις αφορούν σε όλες τις διαστάσεις του φαινομένου της Φωτοσύνθεσης. Αν και στη μορφή του ερωτηματολογίου που δόθηκε στους μαθητές οι ερωτήσεις είναι διάσπαρτες, μπορούν να ομαδοποιηθούν σε 6 θεματικές ενότητες, εντός των οποίων υπάρχουν ερωτήσεις συμπληρωματικές ή που ρωτούν το ίδιο πράγμα με άλλο τρόπο. Επιπλέον, κάποιες ερωτήσεις αν και ανήκουν σε διαφορετική θεματική ενότητα, συνδέονται λογικά μεταξύ τους. Οι επιμέρους θεματικές ενότητες είναι: Α. Φυσιολογία, Β. Φωτοσύνθεση και Χημική διεργασία, Γ. Φωτοσύνθεση και Ενέργεια, Δ. Φωτοσύνθεση και Θρέψη, Ε. Φωτοσύνθεση και Αναπνοή και ΣΤ. Φωτοσύνθεση και λειτουργία του οικοσυστήματος. Ο σχεδιασμός του ερωτηματολογίου στηρίχθηκε στο επιστημονικό περιεχόμενο της Φωτοσύνθεσης (Salisbury and Ross 1992) με τους περιορισμούς που βάζει το σχολικό βιβλίο. Μετά το σχεδιασμό του, το ερωτηματολόγιο υποβλήθηκε σε αξιολόγηση από πανεπιστημιακούς στα πεδία της Βιοχημείας και της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών ειδικούς ερευνητές της Φωτοσύνθεσης καθώς και έμπειρους εκπαιδευτικούς της Μέσης Εκπαίδευσης. Κύριος σκοπός της αξιολόγησης ήταν η επικύρωση της κατηγοριοποίησης, ενώ παράλληλα ζητήθηκε από τους αξιολογητές να βαθμολογήσουν τη δυσκολία των ερωτήσεων και να απαντήσουν αν θεωρούν σαφώς διακριτή τη σωστή απάντηση στις ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής.

Η έρευνα έγινε σε ένα δείγμα συνολικά 292 μαθητών της Α' Γυμνασίου 7 σχολικών μονάδων της Αττικής. Για την αντιπροσωπευτικότητα των δειγμάτων, τα σχολεία ήταν διασκορπισμένα τόσο σε περιοχές του κέντρου (Κυψέλη, Καλλιθέα) όσο και σε περιοχές εκτός κέντρου όπως η Ανατολική Αττική (Μαραθώνας, Ν. Μάρκη) και η Δυτική Αττική (Ν. Λιόσια). Η διακίνηση του ερωτηματολογίου έγινε στο τέλος της σχολικής χρονιάς ώστε να έχει διδαχτεί το κεφάλαιο "Αναπνοή στα φυτά", καθώς μία από τις θεματικές ενότητες, αφορά τη σχέση Φωτοσύνθεσης-Αναπνοής. Το ερωτηματολόγιο δόθηκε ομαδικά σε όλους τους μαθητές κάθε τμήματος, ο καθένας από τους οποίους το συμπλήρωσε ανώνυμα. Η συμπλήρωση έγινε μέσα στην τάξη και στην διάρκεια μίας διδακτικής ώρας.

Αποτελέσματα

Στην παρουσίαση αυτή επιλέξαμε να δώσουμε τα αποτελέσματα που αφορούν στη χημική διάσταση της Φωτοσύνθεσης, για την οποία δεν υπάρχουν δεδομένα από τη βιβλιογραφία, αλλά και στην ενεργειακή

διάσταση του φαινομένου, που συνδέεται άμεσα με τη χημική: οι μαθητές φαίνεται να μην αντιλαμβάνονται τη Φωτοσύνθεση ως διαδικασία μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε χημική που αποθηκεύεται στο μόριο της παραγόμενης γλυκόζης.

Στη θεματική ενότητα "Φωτοσύνθεση και Χημική Διεργασία" εντάσσονται 6 ερωτήσεις (5 πολλαπλής επιλογής, ενώ σε μία ζητείται συμπλήρωση κενών). Από την ανάλυση των απαντήσεων των μαθητών στην ερώτηση "Ποιο από τα παρακάτω ζεύγη ουσιών χρειάζονται τα φυτά για να φωτοσυνθέσουν" (Πίνακας 1), φαίνεται ότι οι μαθητές επέλεξαν όλες τις δυνατές απαντήσεις και ότι μόνο το 33,9 % των μαθητών απαντά σωστά ότι τα αντιδρώντα είναι το διοξείδιο του άνθρακα και το νερό. Φαίνεται, δηλαδή, οι μαθητές να μην αναγνωρίζουν τα αντιδρώντα της Φωτοσύνθεσης.

Απαντήσεις	(%)
A. οξυγόνο και νερό	30,1
B. διοξείδιο του άνθρακα και οξυγόνο	11,0
Γ. γλυκόζη και οξυγόνο	23,3
Δ. διοξείδιο του άνθρακα και νερό	33,9
Δεν απάντησαν	1,7

Πίνακας 1: % Κατανομή των απαντήσεων του συνόλου των μαθητών στην ερώτηση "Ποιο από τα παρακάτω ζεύγη ουσιών χρειάζονται τα φυτά για να φωτοσυνθέσουν"

Σχετικά με την αναγνώριση των προϊόντων, όπως φαίνεται από τις απαντήσεις των μαθητών στην ερώτηση "Ποιο από τα παρακάτω ζεύγη ουσιών παράγουν τα φυτά με τη Φωτοσύνθεση" (Πίνακας 2), το πρόβλημα είναι μικρότερο (62,3% απαντούν σωστά).

Τα αποτελέσματα αυτά διερευνήθηκαν περαιτέρω με μια άλλου τύπου ανάλυση, στην οποία συγκρίνεται τι απαντά ο ίδιος μαθητής σε συμπληρωματικές ερωτήσεις της ίδιας θεματικής ενότητας. Η ανάλυση αυτή, για την οποία χρησιμοποιήθηκε το σχολείο της Κυψέλης, επικυρώνει σε μεγάλο βαθμό τα αποτελέσματα. Για παράδειγμα, από τη διασταυρούμενη ανάλυση των απαντήσεων του ίδιου μαθητή στις παραπάνω ερωτήσεις, φαίνεται ότι μόνο το 25,9% των μαθητών απαντά ότι κατά τη Φωτοσύνθεση αντιδρούν διοξείδιο του άνθρακα και νερό και παράγονται γλυκόζη και οξυγόνο, απαντά δηλαδή σωστά ταυτόχρονα και στις δύο ερωτήσεις.

Απαντήσεις	(%)
A. οξυγόνο και νερό	14,4
B. διοξείδιο του άνθρακα και νερό	7,9
Γ. διοξείδιο του άνθρακα και γλυκόζη	14,7
Δ. οξυγόνο και γλυκόζη	62,3
Δεν απάντησαν	0,6

Πίνακας 2: % Κατανομή των απαντήσεων του συνόλου των μαθητών στην ερώτηση "Ποιο από τα παρακάτω ζεύγη ουσιών παράγουν τα φυτά με τη Φωτοσύνθεση"

Αυτό, επομένως, που καθορίζει τη σωστή απάντηση είναι η κατανόηση των αντιδρώντων. Είναι μάλιστα ενδιαφέρον το ότι σε πολλές περιπτώσεις, όπως προκύπτει από τη διασταυρούμενη ανάλυση, ο ίδιος μαθητής επιλέγει ζεύγη που περιέχουν την ίδια ουσία και στα αντιδρώντα και στα προϊόντα. Οι μαθητές αυτοί δεν αντιλαμβάνονται ότι, όταν γίνεται μια χημική αντίδραση, οι αρχικές ουσίες μετατρέπονται σε άλλες ουσίες. Άρα, ουσιαστικά, δεν κατανοούν τη διαδικασία της χημικής αντίδρασης. Τέλος, όπως φαίνεται από τις απαντήσεις των μαθητών σε άλλη ερώτηση της ίδιας θεματικής ενότητας για το ρόλο της χλωροφύλλης, αν και το 42,8% των μαθητών απαντά ότι η χλωροφύλλη είναι απαραίτητη για τη Φωτοσύνθεση, το 32,2% των μαθητών την εμπλέκει στη χημική διεργασία είτε ως προϊόν (22,6%) είτε ως αντιδρών (9,6%).

Απαντήσεις	(%)
A. ηλιακή ενέργεια και θερμότητα	38,7
B. μόνο θερμότητα	2,7
Γ. μόνο ηλιακή ενέργεια	45,9
Δ. καμία ενέργεια	11,3
Δεν απάντησαν	1,4

Πίνακας 3: % Κατανομή των απαντήσεων του συνόλου των μαθητών στην ερώτηση "Ποιο είδος ενέργειας είναι απαραίτητο για τη Φωτοσύνθεση"

Στη θεματική ενότητα «Φωτοσύνθεση και Ενέργεια» εντάσσονται 4 ερωτήσεις (3 πολλαπλής επιλογής και μία του τύπου "σωστό-λάθος"). Από την ανάλυση των απαντήσεων των μαθητών στην ερώτηση "Ποιο είδος ενέργειας είναι απαραίτητο για τη Φωτοσύνθεση" (Πίνακας 3), φαίνεται ότι οι μαθητές έχουν πρόβλημα στο να αναγνωρίσουν το είδος της ενέργειας αυτής, παρατήρηση που συμφωνεί με τη βιβλιογραφία (Bell 1985). Συγκεκριμένα, το 45,9% των μαθητών απαντά ότι είναι απαραίτητη μόνο η ηλιακή ενέργεια, το 38,7% όμως των μαθητών απαντά ότι είναι απαραίτητη ηλιακή ενέργεια και θερμότητα. Ωστόσο, οι μαθητές κατανοούν ότι ο ήλιος δίνει ενέργεια για τη Φωτοσύνθεση. Έτσι, σε άλλη ερώτηση της ίδιας θεματικής ενότητας στην οποία ζητείται να απαντηθεί ποιος είναι ο ρόλος του ήλιου, το 78,4% των μαθητών απαντά ότι δίνει την ενέργεια που

είναι απαραίτητη για τη Φωτοσύνθεση. Από τη διασταυρούμενη ανάλυση των απαντήσεων του ίδιου μαθητή στις δύο αυτές ερωτήσεις, φαίνεται ότι μόνο το 43,1% των μαθητών απαντά ταυτόχρονα ότι ο ήλιος δίνει ενέργεια για τη Φωτοσύνθεση και ότι η ενέργεια που είναι απαραίτητη για το φαινόμενο είναι μόνο η ηλιακή. Δηλαδή, μόνο το 43,1% απαντά σωστά ταυτόχρονα και στις 2 ερωτήσεις. Το ποσοστό αυτό είναι παρόμοιο με το ποσοστό των μαθητών που κατανοεί τη σημασία της ηλιακής ενέργειας για τη Φωτοσύνθεση.

Τα συμπεράσματα της μελέτης αυτής κινούνται σε 2 επίπεδα. Καταρχάς, επιβεβαιώνεται η ύπαρξη στους μαθητές των ελληνικών σχολείων της γνωστής από τη βιβλιογραφία παρανόησης σχετικά με την ενεργειακή διάσταση της Φωτοσύνθεσης. Έτσι, και οι μαθητές των ελληνικών σχολείων, αν και αντιλαμβάνονται ότι ο ήλιος δίνει ενέργεια, θεωρούν ότι αυτή είναι ή μόνο θερμότητα ή και θερμότητα. Θεωρούμε αξιοσημείωτο το ότι, αν και για να ακολουθήσουμε την ορολογία του σχολικού βιβλίου στις ερωτήσεις δεν αναφερθήκαμε σε φωτεινή ενέργεια αλλά σε ηλιακή, η χρησιμοποίηση του επιθέτου «ηλιακή» δεν απέτρεψε τους μαθητές από το να επιλέξουν τις απαντήσεις "ηλιακή ενέργεια και θερμότητα" ή μόνο "θερμότητα". Αποδεικνύεται έτσι ότι η πεποίθηση των μαθητών, ότι για να γίνει Φωτοσύνθεση ο ήλιος δίνει θερμότητα, είναι εδραιωμένη. Βεβαίως, η έννοια της ενέργειας είναι εξαιρετικά δύσκολη (Watts 1983) και πάντως δεν έχει αναπτυχθεί επαρκώς στους μαθητές της Α' Γυμνασίου.

Στη μελέτη αυτή αναδεικνύονται και τα προβλήματα στην κατανόηση της Φωτοσύνθεσης ως χημικής διεργασίας. Σημαντικό ποσοστό των μαθητών δεν μπορεί να αναγνωρίσει τα προϊόντα, κυρίως όμως τα αντιδρώντα της Φωτοσύνθεσης και εμπλέκει τη χλωροφύλλη στη χημική διεργασία είτε ως αντιδρών είτε ως προϊόν. Οι δυσκολίες αυτές είναι σε μεγάλο βαθμό αναμενόμενες αφού, σύμφωνα και με τη βιβλιογραφία, οι μαθητές έχουν παρανοήσεις και προβλήματα κατανόησης των προαπαιτούμενων χημικών εννοιών. Για παράδειγμα, οι μαθητές δεν κατανοούν τις διαφορές στις ιδιότητες των χημικών ενώσεων και των στοιχείων που τις αποτελούν. Χαρακτηριστικά, για να συνοψίσουν τις δυσκολίες στην κατανόηση της Φωτοσύνθεσης, οι Arnold και Simpson (1980) αναφέρουν ότι οι μαθητές δεν μπορούν να καταλάβουν ότι ένα στοιχείο, ο άνθρακας (ο οποίος στην καθαρή του μορφή είναι στερεό) υπάρχει μέσα στο διοξείδιο του άνθρακα (το οποίο είναι ένα άχρωμο αέριο της ατμόσφαιρας). Επίσης, οι μαθητές δεν κατανοούν τη χημική μεταβολή. Για παράδειγμα, χαρακτηριστικές αντιλήψεις των μαθητών είναι ότι τα παραγόμενα προϊόντα είναι με κάποιο τρόπο να προϋπήρχαν στα αρχικά υλικά ή ότι τα παραγόμενα προϊόντα είναι μια τροποποιημένη μορφή του αρχικού υλικού (Anderson 1986). Θα πρέπει, τέλος, να προστεθεί ότι οι χημικές γνώσεις των μαθητών της Α' Γυμνασίου στην Ελλάδα περιορίζονται σε αυτές του Δημοτικού σχολείου, καθώς στην Α' Γυμνασίου δεν γίνεται διδασκαλία Χημείας. Η τελευταία αυτή παρατήρηση θεωρούμε ότι πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν από αυτούς που έχουν την ευθύνη σχεδιασμού του Αναλυτικού Προγράμματος του Γυμνασίου.

Βιβλιογραφία

- Amir R. and Tamir P. (1994) In-depth analysis of misconceptions as a basis for developing research-based remedial instruction: The case of Photosynthesis. *The American Biology Teacher* **56**, 94-100
- Anderson B. (1986) Pupils' explanations of some aspects of chemical reactions. *Science Education* **70**, 549-563
- Arnold B. and Simpson M. (1980) The concept of Photosynthesis at "O" grade-why pupil difficulty occur. *Scottish Association for Biological Education Newsletter* **5**, 4
- Barker M. and Carr M. (1989a) Teaching and learning about Photosynthesis. Part I: An assessment in terms of students' prior knowledge. *International Journal of Science Education* **11**, 49-56
- Barker M. and Carr M. (1989b) Photosynthesis-can our pupils see the wood for the trees? *Journal of Biological Education* **23**, 41-44
- Bell B. (1985) Students' ideas about plant nutrition: what are they? *Journal of Biological Education* **19**, 213-218
- Driver R. (1989) Students' conceptions and the learning of Science. *International Journal of Science Education* **11**, 481-490
- Eisen Y. and Stavvy R. (1988) Students' understanding of Photosynthesis. *The American Biology Teacher* **50**, 208-213
- Garnett P., Garnett P. and Hackling M. (1995) Student's alternative conceptions in Chemistry: A review of research and implications for teaching and learning. *Studies in Science Education* **25**, 69-95
- Johnstone A. and Mahmood N. (1980) Isolating topics of high perceived difficulty in school biology. *Journal of Biological Education* **14**, 163-166
- Κύρκος Χ. (1999) Η εξέλιξη των βιολογικών γνώσεων για την ταυτότητα, διατροφή, αναπνοή και ανάπτυξη των φυτών. Διδακτορική Διατριβή, Αθήνα
- Longden B. (1982) Genetics-are there inherent learning difficulties? *Journal of Biological Education* **16**, 135-140
- Okeke F. and Wood-Robinson C. (1980) A study of Nigerian pupils' understanding of selected biological concepts. *Journal of Biological Education* **14**, 329-338
- Salisbury F.B. and Ross C.W. (1992) Plant Physiology, 4th edition, Wadsworth

- Simpson M. and Arnold B. (1982) Availability of prerequisite concepts for learning biology at certificate level. *Journal of Biological Education* **16**, 65-72
- Stavy R., Eisen Y. and Yaakobi D. (1987) How students aged 13-15 understand photosynthesis. *International Journal of Science Education* **9**, 105-115
- Waheed T. and Lucas A. (1992) Understanding interrelated topics: Photosynthesis at age 14⁺. *Journal of Biological Education* **26**, 193-199
- Watts D. (1983) Some alternative views of energy. *Physics Education* **18**, 213-217
- Zogza V. (1995) Biological education in Greece. The presentation of biological concepts in the textbooks of primary and secondary education in Greece. Proceedings of the Unesco Conference on Textbooks, Patras

Ευχαριστούμε τη Δρ. Μ. Τσιμίλλη-Μιχαήλ για τη βοήθεια της στην κατάρτιση του Ερωτηματολογίου και τη Δρ. Α. Κουκά για τις χρήσιμες συζητήσεις στη διάρκεια διεξαγωγής της έρευνας.