Piotr Felski, Krzysztof Służewski
Gimnazjum w Złejwsi Wielkiej
Pracownia Dydaktyki Fizyki
Instytut Fizyki UMK w Toruniu

10. MONITOROWANIE FOTOSYNTEZY I ODDYCHANIA ROŚLIN

Celem tego opracowania jest pokazanie przebiegu i wyników cyklu doświadczeń wspomaganych komputerowo, oraz ich wykorzystania w gimnazjum, a w szczególności na lekcjach biologii. Eksperymenty dotyczą badania zmian stężenia tlenu i dwutlenku węgla w zależności od oświetlenia w izolowanych uprawach kukurydzy.

Cele ogólne:

1. Przedstawienie przebiegu i wyników cyklu doświadczeń wspomaganych komputerowo oraz sposobu ich wykorzystania na lekcjach biologii w gimnazjum.
2. Pokazanie zależności między fotosyntezą, oddychaniem i czynnikami środowiska z wykorzystaniem automatycznego komputerowego rejestratora danych.

Cele operacyjne:

Uczeń:

- planuje badania fotosyntezy i oddychania u roślin w zależności od oświetlenia w izolowanych uprawach kukurydzy,
- odczytuje i interpretuje otrzymane wykresy,
- formułuje wnioski o substratach i produktach,
- podaje informację, że rośliny oddychają zarówno w nocy, jak i w ciągu dnia,
- podaje czynniki wpływające na tempo oddychania y roślin,
- wymienia czynniki limitujące przebieg fotosyntezy,
- definiuje świetlny punkt kompensacyjny, wiąże go ze stanem równowagi dynamicznej,
- formułuje prawo minimum Liebiga.

Stosowane przyrządy i materiały:

czujnik stężenia tlenu wraz z rejestratorem danych i światłomierzem firmy LOGIT
czujnik stężenia dwutlenku węgla wraz z rejestratorem danych firmy LEYBOLD.
oprogramowanie niezbędne do rejestracji danych (INSIGHT i CASSYLAB) dołączone do aparatury.
Butelka plastikowa (tzw. PET) o pojemności ok. 1,5-2,5l
Ziemia do kwiatów
Nasiona kukurydzy
Taśma izolacyjna plastikowa
Plastelina
Arkusz kalkulacyjny (np. EXCEL firmy MICROSOFT).

Badane zjawiska

Fotosyntezę można zdefiniować jako syntezę związków organicznych z prostych substancji mineralnych przy udziale energii świetlnej. Rośliny zielone wymagają zaopatrzenia jedynie w wodę, dwutlenek węgla i sole mineralne. Fotosynteza jest najważniejszym procesem biochemicznym w przyrodzie, ponieważ dzięki niemu gromadzi się energia chemiczna w postaci węglowodanów, białek, lipidów i innych związków organicznych, które służą jako podstawowe źródło energii i budulca dla pozostałych organizmów.

Proces fotosyntezy jest przedstawiany zwykle w postaci prostego równania:

$$6CO_2 + 6H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

Proces ten zachodzi w chloroplastach i jest w rzeczywistości dużo bardziej skomplikowany niż przedstawione równanie obrazujące jedynie stan początkowy i (w dużym uproszczeniu) końcowy procesu. Pod względem chemizmu fotosyntezy rośliny można podzielić na dwie grupy:

-*Rośliny C3*, w których dwutlenek węgla wiązany jest podczas fotosyntezy w cyklu Calvina: są to na ogół rośliny strefy umiarkowanej.

-*Rośliny C4*, w których dwutlenek węgla wiązany jest podczas fotosyntezy w cyklu kwasów dwukarboksylowych. Rośliny te charakteryzują się wysoką wydajnością fotosyntetyczną oraz zdolnością do wyczerpywania dwutlenku węgla z otaczającej je atmosfery do bardzo niskiego stężenia.. O wyborze kukurydzy zdecydowało kilka czynników: przynależność do roślin cyklu C4. [1,2]. dostępność nasion o każdej porze roku (kiełkują nawet te na popcorn), szybki wzrost i łatwość uprawy.

Czynnikami zewnętrznymi, które wywierają największy wpływ na aktywność fotosyntetyczną roślin są światło, stężenie dwutlenku węgla, temperatura oraz dostępność wody.

Oddychanie polega na procesach rozkładu złożonych substancji organicznych na prostsze związki z uwalnianiem energii w formie użytkowej.

Oddychanie tlenowe (właściwe) polega na całkowitym utlenieniu substratu kosztem tlenu atmosferycznego na dwutlenek węgla i wodę.

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6\,CO_2 + 6H_2O + \text{energia}$$

Równanie to jest odwróceniem ogólnego równania fotosyntezy. Oddychanie tlenowe jest zasadniczym typem oddychania, przebiegającym w normalnych warunkach we wszystkich komórkach roślin wyższych.

Pomiar intensywności oddychania opiera się zwykle na oznaczaniu ilości wydzielanego dwutlenku węgla, ilości zużytego tlenu lub ilości utlenionego substratu. Intensywność oddychania jest w normalnych warunkach proporcjonalna do potrzeb energetycznych komórki, a zatem do zapotrzebowania na ATP. Jest ona nieustannie dostosowywana do aktualnych potrzeb za pomocą skomplikowanych systemów samoregulujących, działających na zasadzie sprzężeń zwrotnych.

Ponieważ procesy oddechowe przebiegają w mitochondriach rozmieszczonych w cytoplazmie komórek, zatem tkanki o większej zawartości cytoplazmy i mitochondriów wykazują większe natężenie oddychania. Najintensywniej oddychają tkanki merystematyczne, ponieważ zawartość cytoplazmy, a także potrzeby energetyczne są u nich szczególnie duże. Liczne bowiem reakcje biosyntetyczne rosnących komórek wymagają ATP w ilościach przekraczających normalne zapotrzebowanie. Tkanki dojrzale

zawierają zwykle mniej cytoplazmy, a więcej składników nieaktywnych (ścian komórkowych i wakuoli), wskutek czego intensywność oddychania tych tkanek, w przeliczeniu na jednostkę ciężaru, jest słabsza niż w tkankach merystematycznych. Tkanki organów starzejących się (np. żółknące liście i dojrzewające owoce) posiadają jeszcze mniej cytoplazmy oraz niewielkie potrzeby energetyczne i w związku z tym oddychają jeszcze słabiej. Często w końcowym okresie starzenia się liści i owoców można zaobserwować nagły wzrost oddychania (tzw. stadium klimakteryczne Jest on oznaką zaburzeń w funkcjonowaniu mechanizmów regulujących i co za tym idzie w przemianie materii; Najniższą intensywność oddychania wykazują suche nasiona i zarodniki. Przyczyna tego leży jednak nie tyle w małej zawartości cytoplazmy, ile w słabym. jej uwodnieniu.

Ponadto na intensywność oddychania wpływają takie czynniki zewnętrzne, jak temperatura, stężenie tlenu, stężenie dwutlenku węgla, woda, światło, urazy mechaniczne, stymulatory i inhibitory oddychania [2].

Przygotowanie doświadczenia

Przed planowanymi eksperymentami przygotuj uprawę kukurydzy, którą będzie można hermetycznie zamknąć.

1. Butelkę przetnij na wysokości 8-9 cm. Następnie ostrożnie zagnij nad palnikiem brzegi dolnej części do wewnątrz, tak aby część górna dała się na nią nasunąć na ok. 2cm (rys.1).

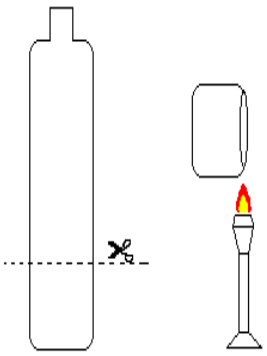
2. W zakrętce butelki wywierć otwór o wielkości odpowiadającej średnicy czujnika.

3. Przygotuj podłoże; ziemię do kwiatów wypraż w temperaturze 105^{O}C w celu usunięcia fauny glebowej. Jej obecność wpływałaby na zmiany stężenia CO_2.

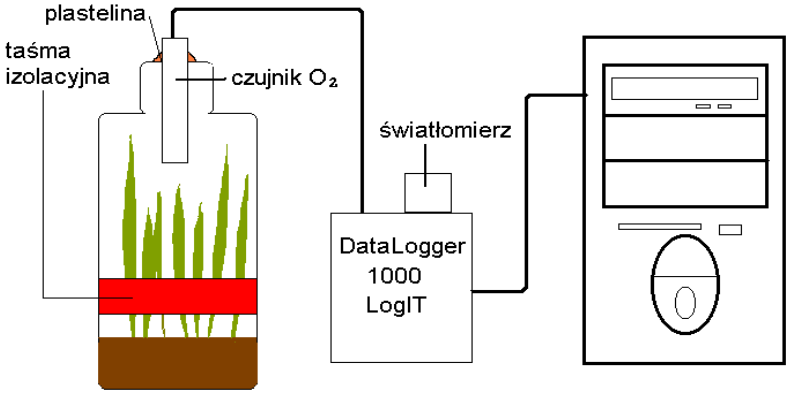
4. Po umieszczeniu 5cm warstwy ziemi w dolnej części butelki wysiej 25-30 ziaren kukurydzy na głębokość do 1cm. Przy podlewaniu uważaj, aby nie zalać nasion, ponieważ pojemnik jest bez odpływu. Po około dwóch tygodniach, gdy siewki osiągną wys. 12-15cm, możesz zmontować zestaw.

5. Czujnik umieść w otworze nakrętki i uszczelnij plasteliną.

6. Na uprawę nasuń górną część butelki i szczelnie zaklej taśmą izolacyjną (rys.2).

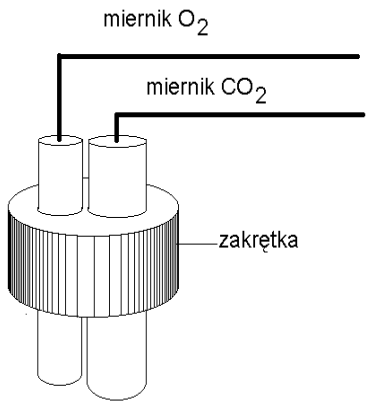


Rys.1



Rys.2 Schemat zestawu do doświadczeń

Uwagi :



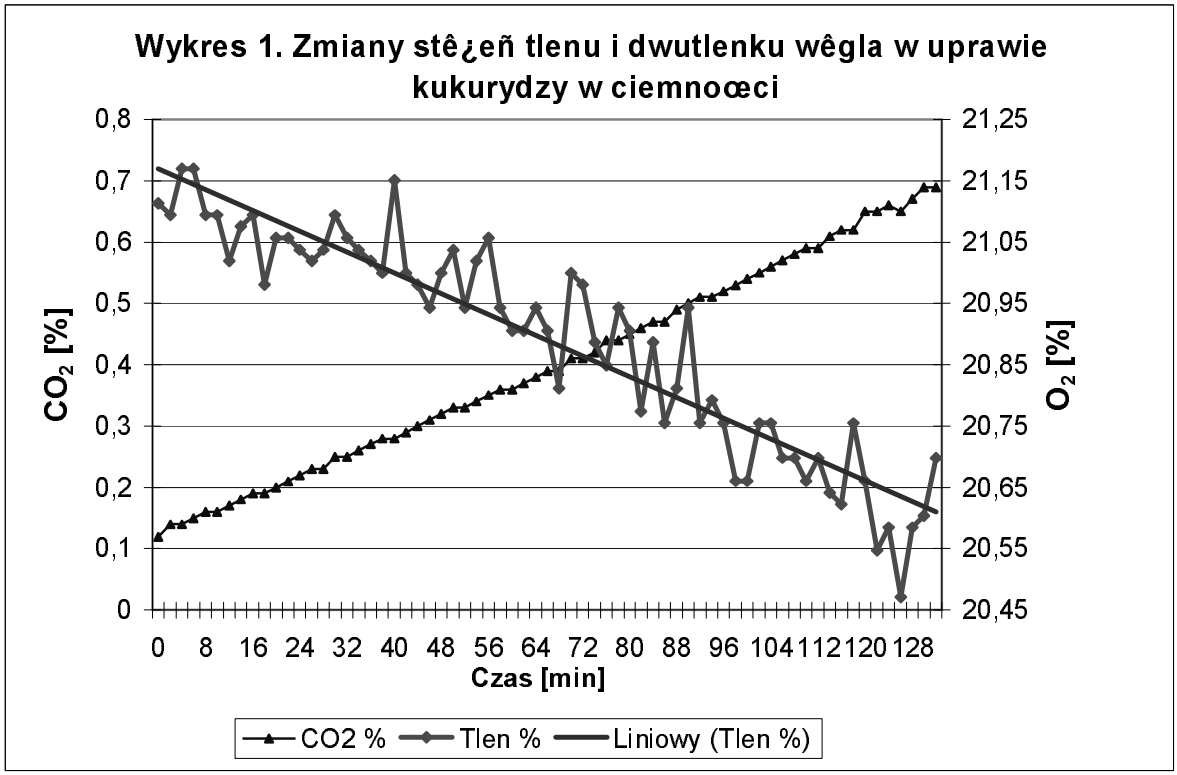
Jeżeli chcesz jednocześnie mierzyć stężenie tlenu i dwutlenku węgla, musisz zastosować butelkę z szerszą zakrętką (rys. obok) lub umieścić dodatkowy czujnik w ścianie butelki.
Para wodna, która skrapla się w uprawie, może powodować czasami zakłócenia pracy czujników tlenu. Gdy para skropli się na elektrodzie, czujnik mierzy stężenie tlenu w kropli wody, a wartości podawane są w mg/l. Nadmiernemu skraplaniu się pary wodnej można zapobiec nie podlewając roślin bezpośrednio przed doświadczeniami. W przypadku wystawienia roślin na bezpośrednie działanie promieni słonecznych należy osłonić część butelki zawierającą podłoże; zapobiegnie to nadmiernemu ogrzaniu się ziemi, parowaniu wody i jej skraplaniu na ściance butelki i na czujnikach.

Wykonanie doświadczenia 1 (monitorowanie oddychania)

Zestaw z czujnikami tlenu i dwutlenku węgla umieść w ciemności na ok. dwie godziny, ustawiając interwał rejestracji danych na dwie minuty. Uzyskane dane przenieś ·do arkusza kalkulacyjnego Excel i sporządź wykres (niestandardowy, z dwiema osiami Y za pomocą kreatora wykresów).

Dyskusja wyników i wnioski

Do przykładowej analizy wyników posłużę się wykresami z wcześnie wykonanych doświadczeń [3]. Do danych pomiarowych stężenia tlenu zastosowano metodę regresji liniowej (w kreatorze wykresów polecenie „dodaj linię trendu"). Po opracowaniu danych powstały **wykres 1** poddano analizie podczas lekcji. Pozwala to uczniom na samodzielne sformułowanie wniosku, że rośliny oddychają w ciemności. Wykres umożliwia uczniom prześledzenie zmian ilościowych tlenu i dwutlenku węgla, rośliny oddychając pobierają O_2 i wydzielają CO_2 w stosunku 1:1.
Doświadczenie można powtórzyć przy słabym oświetleniu (np. ok. 700Lx). Wynik będzie



podobny (wykres nieznacznie "spłaszczony"), co udowadnia, że rośliny oddychają także w ciągu dnia. Na tym samym zestawie wzbogaconym o rejestrator temperatury można badać wpływ temperatury na tempo (intensywność) oddychania, umieszczając zestaw w mieszaninie wody i lodu, a następnie w łaźni wodnej o temp. 30,40 i 50 ^{O}C.

Doświadczenie 2 (monitorowanie fotosyntezy)

Do przeprowadzenia doświadczeń z monitorowaniem fotosyntezy wybierz dni słoneczne.

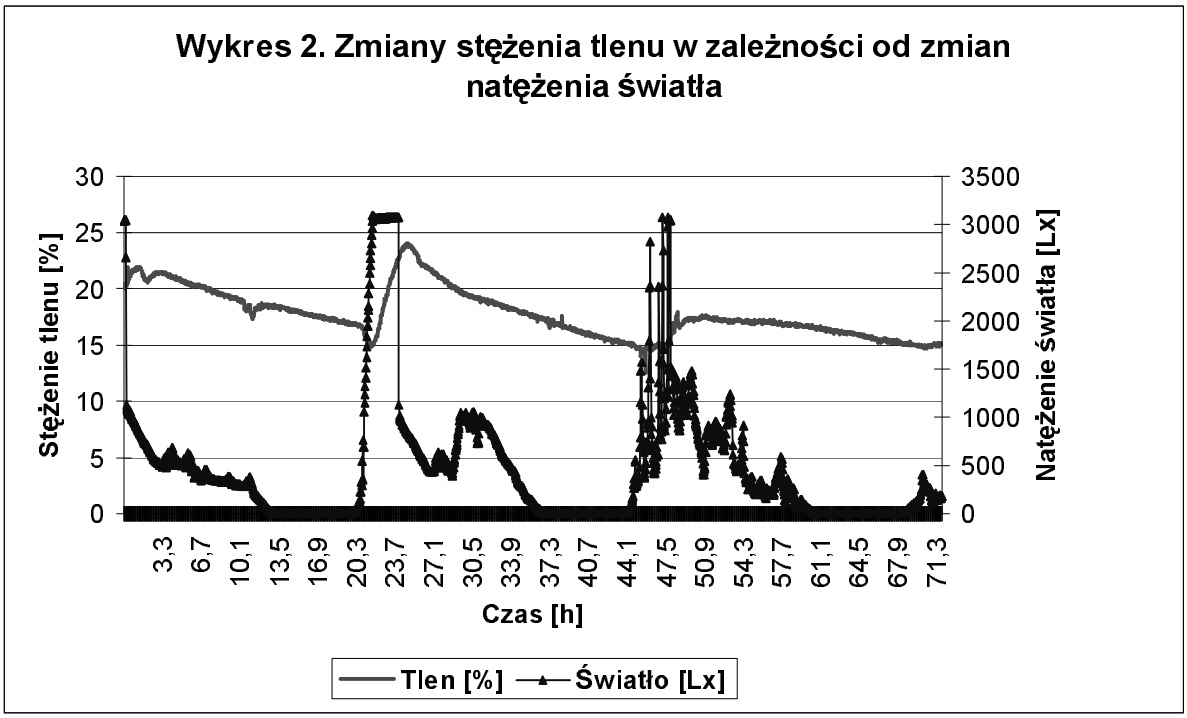
Zestaw z czujnikiem tlenu i światłomierzem umieść na parapecie okna na 72 godziny ustawiając interwał rejestracji danych na dwie minuty. Uzyskane dane przenieś do arkusza kalkulacyjnego Excel i sporządź wykres (za pomocą kreatora wykresów, niestandardowy, z dwiema osiami Y.)

Dyskusja wyników i wnioski

Zamieszczony poniżej **wykres 2** ilustruje wyniki rejestracji [3]. W ciągu pierwszych dwóch godzin pomiaru obserwujemy wahania stężenia tlenu, następne dziesięć godzin rejestracji przynosi wyraźny spadek stężenia tlenu, co udowadnia przewagę wiązania tlenu w procesie oddychania nad jego uwalnianiem podczas fotosyntezy przy słabym oświetleniu. Po wschodzie Słońca (20 godzina pomiarów) i zwiększeniu wartości natężenia światła powyżej 3000Lx obserwujemy wzrost stężenia tlenu. Pozwala to na wprowadzenie pojęcia świetlnego punktu kompensacyjnego, gdzie procesy wydzielania tlenu w procesie fotosyntezy i jego wiązania w procesie oddychania osiągają stan równowagi. Dla natężenia światła powyżej tego punktu obserwujemy wzrost stężenia tlenu.

Istotne jest także to, że wzrost stężenia tlenu jest ograniczony; czynnikiem ograniczającym (limitującym fotosyntezę) jest wyczerpujący się w uprawie dwutlenek węgla.

Po spadku wartości natężenia światła poniżej punktu kompensacyjnego obserwujemy spadek stężenia tlenu.



Pomiar stężenia dwutlenku węgla w tym doświadczeniu nie jest konieczny, gdyż uczniowie po doświadczeniu pierwszym doskonale wiążą spadek stężenia tlenu ze wzrostem stężenia dwutlenku węgla i odwrotnie.

Wnioski

Wyposażenie pracowni biologicznej w detektory i czujniki pozwala na wkraczanie w obszary do tej pory niedostępne dla uczniów. Mogą samodzielnie projektować i wykonywać doświadczenia, korzystając z najnowszych osiągnięć nauki i techniki. Szkoła staje się dla ucznia atrakcyjna.

Użycie komputera i elektroniki w pracowni biologicznej umożliwia dokładne prześledzenie długotrwałych doświadczeń w czasie rzeczywistym oraz podnosi efektywność pracy, automatyzując rejestrację danych i skracając czas ich opracowania.

Ilustrowanie skomplikowanych i nakładających się na siebie procesów fizjologicznych doświadczeniami i samodzielne „odkrywanie" praw rządzących tymi procesami zachęca uczniów do poznawania natury zjawisk i ułatwia ich zrozumienie. Można przypuszczać, że wiedza zdobywana w ten sposób jest trwała.

Zastosowanie ICT do rozwiązywania postawionych problemów pobudza uczniów do większego zainteresowania samym problemem.

Stosowanie metod i środków ICT pozwala na atrakcyjne pokazanie interdyscyplinarności zagadnień biologii i jej ścisłych związków z fizyką, chemią i matematyką.

Uzasadnienie badań

Przyrodnik, badając otaczającą rzeczywistość, obserwuje ją, planuje doświadczenia, dokonuje pomiarów, rejestruje i opracowuje wyniki, modeluje badane sytuacje i sprawdza poprawność tych modeli, a opisane wyniki prac rozpowszechnia. We wszystkich tych czynnościach wspomóc może go komputer. W związku z tym elementy technologii informacyjnej i komunikacyjnej (ang. ICT – *Information and Communication Technology*) powinny stać się integralną częścią nauczania przedmiotów przyrodniczych, w tym także biologii. ICT będzie szczególnie pomocna w realizacji osiągnięć przewidzianych podstawą programową, dotyczących analizowania i interpretowania wyników obserwacji i doświadczeń wraz z oceną ich wiarygodności [4]. Proponowane w opracowaniu badania dotyczą zmian stężenia tlenu i dwutlenku węgla w zależności od oświetlenia w izolowanych uprawach kukurydzy.

Literatura:

[1] Czerwiński W., Fizjologia roślin, Wydawnictwo naukowe PWN. Warszawa 1981.

[2] Kopcewicz J., Lewak S., Podstawy fizjologii roślin, Wydawnictwo naukowe PWN.

[3] Felski P., Służewski K., Badanie fotosyntezy i oddychania roślin z wykorzystaniem technologii informacyjnej, Nauczanie przedmiotów przyrodniczych nr 7, Toruń 2003.

[4] Turło J., Komputery w nauczaniu przedmiotów przyrodniczych, 45 minut, nr 4 (10), 1977.