

WPLYW STĘŻENIA DWUTLENKU WĘGLA NA INTENSYWNOŚĆ FOTOSYNTETY MOCZARKI KANADYJSKIEJ (*ELODEA CANADENSIS* MICHX) NA PODSTAWIE TEMPA PRZYROSTU BIOMASY

*INFLUENCE OF CARBON DIOXIDE CONCENTRATION ON THE INTENSITY
OF PHOTOSYNTHESIS OF CANADIAN UREA (*ELODEA CANADENSIS* MICHX)
BASED ON THE RATE OF BIOMASS GROWTH*

Remigiusz Biegacz

ABSTRACT

Carbon dioxide is an essential substrate of photosynthesis. It is used in the dark phase. When a plant is deprived of the access to carbon dioxide, it ceases to develop and dies. Land plants take carbon dioxide in gaseous form, and aquatic plants in the form of bicarbonate ions. However, its content in the aquatic and terrestrial environment is much smaller than the optimal value, at which the photosynthesis process reaches the highest intensity. Impact of the percentage of carbon dioxide in atmospheric air and, therefore, on the intensity of photosynthesis and biomass growth of terrestrial plants is easier than water plants. The CO₂ content in water depends primarily on natural factors, i.e. the number of heterotrophs or the intensity of organic matter decomposition processes. The carbon dioxide content in the atmosphere is only 0.03%. As its concentration increases to a maximum of about 1%, photosynthesis efficiency increases. The concentration of carbon dioxide in the air can be increased several times without harmful consequences for life of a plant. This dependence is used during breeding plants in closed rooms, placing there solids of solidified carbon dioxide, i.e. dry ice. Often plants absorb more carbon dioxide than its content in the air, because they also partly use carbon dioxide while breathing and during respiration of soil microorganisms.

The aim of the research was to show the influence of carbon dioxide concentration on the intensity of photosynthesis process and, consequently, the rate of biomass growth in Canadian urea (*Elodea canadensis* Michx). The tests were carried out in three experimental samples with different condensation of carbon dioxide. In monthly cycle measurements of urea biomass growth were made in each of the samples. The intensity of photosynthesis process was evaluated on the basis of the amount of oxygen bubbles released as a by-product of the process. The obtained results indicated the relationship between biomass growth and carbon dioxide concentration in the Canadian urea environment.

Słowa kluczowe: aparat szparkowy, fotosynteza, stężenie CO₂, biomasa

Key words: stomatal apparatus, photosynthesis, CO₂ concentration, biomass

Remigiusz Biegacz, kl. I, I Ogólnokształcące Liceum Akademickie im. Janiny Kossakowskiej-Dębickiej w Kielcach, e-mail: remikbiegacz@wp.pl

Opiekun merytoryczny/*Guardian substantive*: dr hab. Małgorzata Anna Józwiak

Wprowadzenie

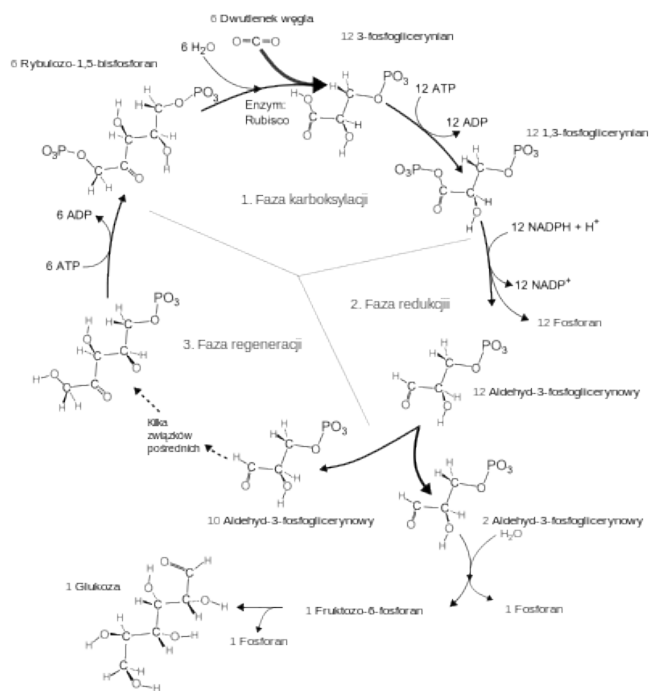
Na przebieg procesu fotosyntezy wpływają dwie grupy czynników, które modyfikują przebieg tego pro-

cesu. Są nimi czynniki zewnętrzne, takie jak: woda, światło, temperatura, składniki mineralne, tlen, dwutlenek węgla, jak również wewnętrzne, tj. zawartość barwników, budowa i sprawność aparatów szparko-

wych, budowa chlorenchymy, ilość i ruchy chloroplastów (Berg i in. 2007).

Intensywność fotosyntezy zależy od stopnia stężenia czynników oraz sprawności anatomicznej i fizjologicznej roślin, co w efekcie skutkuje przyrostem ich biomasy. Jednym z decydujących czynników wpływających na przyrost biomasy jest dwutlenek węgla. Jego dostępność i zdolność do pobierania i przechowywania przez rośliny pozwoliła na wyodrębnienie dwóch cykli fotosyntetycznych C_3 i C_4 (Dubert i in. 2016).

Przebieg obydwu rozpoczynają przemiany wymagające dostępu światła, jest to faza świetlna fotosyntezy, oraz przemiany niewymagające dostępu światła, czyli cykl Calvina-Bensona (ryc. 1) lub cykl Hatcha-Slacka. Cykl roślin C_3 Calvina-Bensona wyróżnia trzy fazy: karboksylacyjną, w której CO_2 wiązany jest do rybulozo-1,5-bisfosforanu, redukcijną, w której 3-fosfoglicerynian ulega przekształceniu do aldehydu 3-fosfoglicerynowego, regeneracyjną, w której z cząsteczek aldehydu 3-fosfoglicerynowego zostaje odtworzony akceptor CO_2 – rybulozo-1,5-bisfosforan. Fotosynteza roślin cyklu C_4 , cykl Hatcha-Slacka, jest rodzajem fotosyntezy, w której występuje dodatkowy mechanizm wiązania dwutlenku węgla poprzedzający cykl Calvina-Bensona. Związkiem będącym pierwotnym akceptorem dwutlenku węgla jest tu PEP – fosfoenolopirogronian. Rośliny C_4 cechują się większą wydajnością fotosyntezy i szybszą produkcją biomasy. Cykl



Ryc. 1. Przebieg cyklu Calvina-Bensona

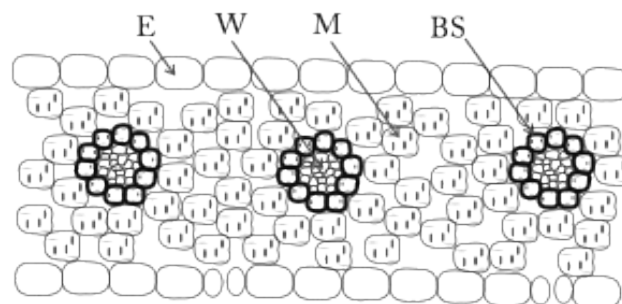
Figure 1. The cycle of Calvin-Benson

Źródło/Source: https://pl.wikipedia.org/wiki/Cykl_Calvina.

ten występuje u roślin rosnących w klimacie gorącym. Mechanizm gromadzenia CO_2 umożliwia u nich przebieg fotosyntezy przy zamkniętych aparatach szparkowych, co powoduje szybki wzrost biomasy, mimo niewielkiego zapotrzebowania na wodę tak trudno dostępną w klimacie o wysokich temperaturach (Szwejkowska 2002). Dodatkowe pobieranie i gromadzenie CO_2 umożliwiają cienkościenne komórki mezofilowe oraz grubościenne komórki pochew okołowiązkowych (ryc. 2).

Średnie roczne stężenie CO_2 w atmosferze jest stałe i wynosi około 0,03% (300 ppm). Stężenie tego gazu w wodach morskich i śródlądowych jest wyższe niż w atmosferze i wynosi około 0,6%. Głównym źródłem CO_2 są procesy rozkładu materii organicznej zachodzące w glebie przeprowadzane przez mikroorganizmy, procesy oddychania wszystkich żywych organizmów, procesy spalania paliw w wyniku działalności człowieka, źródła mineralne i wyziewy wulkaniczne.

Drogi emisji dwutlenku węgla do wnętrza liścia to głównie aparaty szparkowe, tylko nieznaczna jego część przenika przez skórę. Transport CO_2 z aparatów szparkowych do przestworów międzykomórkowych, a następnie do wnętrza chloroplastów odbywa się bardzo wolno. Drogę tę CO_2 pokonuje w postaci cząsteczkowej, w formie H_2CO_3 lub jonu HCO_3^- . Stałe i niezakłócone dostawy CO_2 gwarantują szybki przyrost biomasy roślinnej i rytmiczność zachodzenia faz fenologicznych roślin (Kopcewicz, Lewak 2009; Kopcewicz, Lewak, Gabryś 2005).



Ryc. 2. Liście roślin o fotosyntezie typu C_4 zawierają komórki mezofilowe o cienkich ścianach, komórki te zawierają chloroplasty – M i komórki pochew okołowiązkowych o grubych ścianach komórkowych także zawierające chloroplasty – BS, otaczające wiązkę przewodzącą – W, oraz komórki epidermy – E niezawierające chloroplastów

Figure 2. Plant leaves with photosynthesis type C_4 contain mesophyll cells with thin walls, the cells contain chloroplasts – M and cells of hemispheres with thick cell walls also contain chloroplasts – BS, surrounding the conductive beam – W, and epidermis – E cells do not contain chloroplasts

Źródło/Source: https://pl.wikipedia.org/wiki/Cykl_Calvina.

Charakterystyka obiektu badań

Moczarka kanadyjska (*Elodea canadensis* Michx) to bylina unosząca się w wodzie, należąca do rodziny żabiściekowatych. Pochodzi z Ameryki Północnej, skąd w XIX wieku została przywieziona do Europy. Dzięki szerokiemu zakresowi tolerancji ekologicznej określana jest jako gatunek inwazyjny (Gatunki obce w Polsce 2010-02-13). Występuje w wodach słodkich, stojących, tworząc zwarte skupiska (Tołpa, Radomski 1985).

Na zimę przyjmuje postać pączków oraz ulistnionych pędów zalegających na dnie zbiornika. Łodyga moczarki kanadyjskiej może osiągać długość do 3 metrów. Jest ulistniona i gęsto rozgałęziona (fot. 1). Posiada podługne, zaokrąglone na końcach liście, występujące po trzy w okółku (fot. 2). Kwiaty moczarki są tylko żeńskie, zielonkawe lub czerwone, wystające z wody. Moczarka kanadyjska rozmnaża się wegetatywnie przez fragmentację pędów. Najlepiej rośnie w wodach przezroczystych, żyznych, bogatych w wapń i potas (powyżej 3 mg/l tlenku potasu K_2O). Nie toleruje jednak wód bardzo żyznych i silnego fawowania. Roślina ta jest pokarmem dla kręgowców wodnych ryb, ptaków, bobrów czy piżmaków. Tworzy kożuchy na powierzchni wody (Szozkiewicz i in.. 2010). Jest miejscem rozrodu oraz stanowi schronienie dla ryb, płazów i bezkręgowców wodnych. Często wykorzystywana jest w akwarystyce jako roślina do akwarium i oczek wodnych. Niekiedy wykorzystywana jest do produkcji paszy dla zwierząt i zielonych nawozów. We florze Polski gatunek ma status inwazyjnego kenofita /agrofita (Kłosowscy 2001).

W klasyfikacji roślin wodnych roślina ta zaliczana jest do zakorzenionych elodeidów. Rozmnaża się głównie wegetatywnie. W miejscach masowego występowania jest bardzo kłopotliwa, ponieważ przyczynia się do zarastania i wypłykania zbiorników wodnych (Matuszkiewicz 2006; Lampert, Sommer 2001). Klasyfikacja moczarki kanadyjskiej według nomenklatury taksonomicznej:

Królestwo: rośliny

Gromada: okrytonasienne

Klasa: jednoliścienne

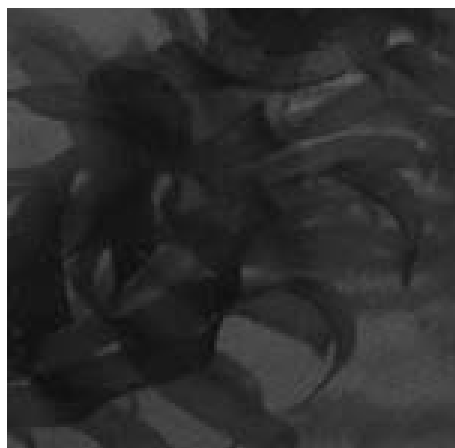
Rząd: żabiściekowce

Rodzina: żabiściekowate

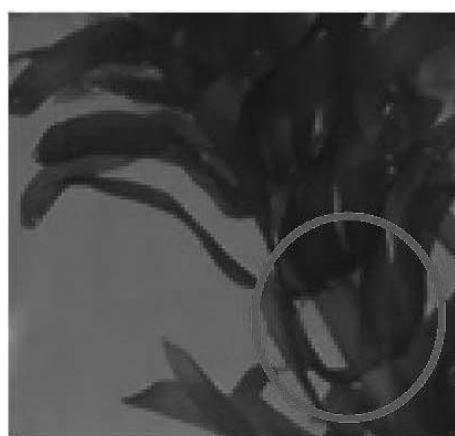
Rodzaj: moczarka

Gatunek: moczarka kanadyjska (*Elodea canadensis* Michx)

(Szweykowska, Szweykowski 2003).



Fot. 1. Rozgałęzienia ulistnionych pędów (fot. Józwiak)
Photo 1. Branches of foliage shoots (photo. Józwiak)



Fot. 2. Okółkowe ułożenie liści na łodydze (fot. Józwiak)
Photo 2. Circular arrangement of leaves on the stem (photo. Józwiak)

Metodyka pracy

Przebieg doświadczenia zaplanowano na okres sześciu miesięcy począwszy od listopada do marca. W tym celu w trzech słojach umieszczono po jednej gałązce moczarki kanadyjskiej takiej samej wielkości (długość pędu 14 cm). Do pierwszego słoja wiano wodę kranową, do drugiego – wodę kranową, ale przegotowaną i ostudzoną, a do trzeciego wodę gazowaną (woda mineralna) (fot. 3). W pierwszej fazie badań każdy słoje oświetlono lampką z żarówką 60 V przez 2 godziny. Następnie po pierwszej godzinie oświetlania policzono pęcherzyki gazu w słojach każdej próby. Liczenie pęcherzyków gazu powtórzono po upływie drugiej godziny trwania doświadczenia. Doświadczenie prowadzono przez 10 dni, każdorazowo doświetlając roślinę przez dwie godziny, a następnie pozostawiając każdą próbkę w naturalnym oświetleniu dobowym. Wodę

w słojach codziennie wymieniano, powtarzając liczenie pęcherzyków gazu. Celem analizy zmian biomasy moczarki co dwa miesiące dokonywano pomiaru masy moczarki na laboratoryjnej wadze elektronicznej z dokładnością do setnych części po przecinku (fot. 4, 5, 6). Uzyskano w ten sposób cztery wyniki masy, począwszy od próbki początkowej/kontrolnej. Celem badania było wykazanie wpływu stężenia dwutlenku węgla na intensywność fotosyntezy, a w związku z tym przyrostu biomasy rośliny. Wyniki doświadczenia zestawiono tabelarycznie (Szmeja 2006).

Wyniki doświadczenia



Fot. 3. Słoje z moczarką kanadyjską przed rozpoczęciem doświadczenia (fot. Józwiak)

Photo 3. Jars with Canadian urea before starting the experimenting (7.10.2017) (photo. Józwiak)



Fot. 4. Waga moczarki kanadyjskiej hodowanej w wodzie gazowanej po 2 miesiącach prowadzenia badań (10,7 g) 11.12.2017 r.

Photo 4. Weight of Canadian urea kept in sparkling water after 2 months of testing (10,7 g) 11.12.2017



Fot. 5. Waga moczarki kanadyjskiej hodowanej w przegotowanej wodzie kranowej po 2 miesiącach prowadzenia badań (5,0 g) 11.12.2017 r.

Photo 5. Weight of Canadian urea kept in boiled tap water after 2 months of testing (5,0 g) 11.12.2017



Fot. 6. Waga moczarki kanadyjskiej hodowanej w wodzie kranowej po 2 miesiącach prowadzenia badań (7,3 g) 11.12.2017 r.

Photo 6. Weight of Canadian urea kept in tap water after 2 months of testing (7,3 g) 11.12.2017



Fot. 7. Waga moczarzki kanadyjskiej hodowanej w wodzie gazowanej w dniu 8.01.2018 r. po 4 miesiącach prowadzenia badań (10 g)

Photo 6. Weight of Canadian urea kept in sparkling water after 4 months of testing (10 g) 8.01.2018



Fot. 7. Waga moczarzki kanadyjskiej hodowanej w przegotowanej wodzie kranowej w dniu 8.01.2018 r. po 4 miesiącach prowadzenia badań (8,5 g)

Photo 7. Weight of Canadian urea kept in sparkling water after 4 months of testing (8,5 g) 8.01.2018



Fot. 8. Waga moczarzki kanadyjskiej hodowanej w wodzie kranowej w dniu 8.01.2018 r. 4 miesiącach prowadzenia badań (6,9 g)

Photo 8. Weight of Canadian urea kept in sparkling water after 4 months of testing (6,9 g) 8.01.2018

Tabela 1. Wyniki badania ilości pęcherzyków gazu uwalnianych przez moczarzkę kanadyjską w zależności od rodzaju wody
Table 1. The results of the study of the amount of gas bubbles released by the Canadian urea depending on the type of water

	Liczba pęcherzyków gazu w słoju z przegotowaną wodą kranową po pierwszej i drugiej godzinie oświetlania	Liczba pęcherzyków gazu w słoju z wodą kranową po pierwszej i drugiej godzinie oświetlania	Liczba pęcherzyków gazu w słoju z wodą gazowaną po pierwszej i drugiej godzinie oświetlania
1	7, 13	54, 66	69, 57
2	9, 10	69, 78	67, 48
3	6, 11	58, 63	71, 49
4	8, 12	61, 70	74, 51
5	9, 9	68, 79	77, 55
6	8, 9	64, 82	73, 51
7	6, 14	66, 88	73, 47
8	4, 6	63, 81	71, 43
9	5, 6	67, 83	74, 40
10	4, 7	64, 84	69, 46

Tabela 2. Biomasa moczarzki kanadyjskiej w kolejnych terminach pomiaru
Table 2. Canadian urea biomass in subsequent measurement dates

Rodzaj wody	Biomasa moczarzki w kolejnych terminach pomiaru [g]			
	próbka kontrolna	po 2 miesiącach	po 4 miesiącach	po 6 miesiącach
kranowa	11,6 g	7,3 g	7,9 g	10,2 g
kranowa przegotowana	11,6 g	5,0 g	8,5 g	8,7 g
gazowana	11,6 g	10,7 g	10,0 g	8,8 g



Ryc. 3. Liczba pęcherzyków gazu po pierwszej godzinie oświetlenia

Fig. 3. Number of gas bubbles after the first hour of lighting



Ryc. 4. Liczba pęcherzyków gazu uwalnianych po drugiej godzinie badania

Fig. 4. Number of gas bubbles after the second hour of lighting



Ryc. 5. Liczba pęcherzyków gazu uwalnianych przez moczarkę zanurzoną w wodzie przegotowanej

Fig. 5. Comparing the amount of gas bubbles after the first and the second hour of lighting in boiled water



Ryc. 6. Liczba pęcherzyków gazu uwalnianych przez moczarkę zanurzoną w wodzie kranowej po pierwszej i drugiej godzinie naświetlenia

Fig. 6. Comparing the amount of gas bubbles after the first and the second hour of lighting in tap water



Ryc. 7. Liczba pęcherzyków gazu uwalnianych przez moczarkę zanurzoną w wodzie gazowanej po pierwszej i drugiej godzinie naświetlenia

Fig. 7. Comparing the amount of gas bubbles after the first and the second hour of lighting in sparkling water

Podsumowanie

Podstawowym czynnikiem wpływającym na intensywność przebiegu procesu fotosyntezy jest stężenie i dostępność CO_2 , zatem fotosynteza zachodząca w komórkach miękiszu asymilacyjnego jest zależna od ilości dwutlenku węgla w środowisku. Im ilość tego gazu jest większa, tym intensywniej wnika przez aparaty szparkowe do komórek asymilacyjnych, i wówczas proces fotosyntezy zachodzi intensywniej. Widocznym efektem wzrostu intensywności fotosyntezy jest szybszy przyrost biomasy organizmu obserwowany w dłuższych przedziałach czasowych, natomiast obserwacje krótkoczasowe, pozwalające wnioskować o intensywności przebiegu fotosyntezy, to obserwacje ilości pęcherzyków tlenu uwalnianego po reakcjach fotolizy jako uboczny produkt reakcji. Zastosowane w prowadzonych eksperymentach trzy odmienne warunki środowiska różniły się zawartością CO_2 . Prowadzone obserwacje i pomiary wykazały, że

w każdej analizowanej próbce następował spadek masy moczarki kanadyjskiej w pierwszych dwóch miesiącach prowadzonych badań, a następnie notowano jej przyrost z wyjątkiem hodowli w wodzie gazowanej (tab. 2). Woda gazowana zawiera dużą ilość dwutlenku węgla, dlatego proces fotosyntezy powinien zachodzić w niej najintensywniej. Spadek przyrostu biomasy w tych warunkach spowodowany był najprawdopodobniej zakwaszonym środowiskiem, co doprowadziło do spadku intensywności fotosyntezy i zmniejszenia biomasy rośliny. Przetworzona woda kranowa zawiera najmniej dwutlenku węgla, z tego powodu fotosynteza zachodzi w niej wolniej i mniej intensywnie, o czym świadczy ilość wydzielanych pęcherzyków gazu podczas naświetlania (tab. 1). Hodowana w niej moczarka kanadyjska posiadała najmniejszą biomasa i najwolniej się rozwijała.

Literatura

- Berg J. M., Tymoczko J. L., Stryer L., Clarke N. D., Szweykowska-Kulińska Z., Jarmołowski A., Augustyniak H., 2007. Biochemia, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, s. 327. ISBN 978-83-01-14379-4.
- Dubert F., Kozik R., Krawczyk S., Kula A., Marko-Worłowska M., Zamachowski W., 2016. Biologia na czasie 2, Nowa Era, Warszawa.
- Gatunki obce w Polsce. Instytut Ochrony Przyrody PAN. [dostęp 2010-02-13]. https://pl.wikipedia.org/wiki/Cykl_Calvina.
- Jasnowski M., Kowalski W., Friedrich S., Starczewska H. Hydrobotanika, Akademia Rolnicza w Szczecinie, Szczecin, s. 333.
- Kłosowski G., Kłosowski S., 2001. Rośliny wodne i bagno, Multico, Warszawa, s. 104-105.
- Kopcewicz J., Lewak S., 2009. Fizjologia roślin, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Kopcewicz J., Lewak S., Gabryś H., 2005. Fizjologia roślin. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, s. 93. ISBN 83-01-14549-8.
- Lampert W., Sommer U., 2001. Ekologia wód śródlądowych, tłum. Joanna Pijanowska, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, s. 107–115. ISBN 83-01-13387-2.
- Matuszkiewicz W., 2006. Przewodnik do oznaczania zbiorowisk roślinnych Polski. Wyd. Naukowe PWN, Warszawa, ISBN 83-01-14439-4.
- Szmeja J., 2006. Przewodnik do badań roślinności wodnej, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk, s. 17.
- Szoszkiewicz K., Zbierska J., Jusik S., Zgoła T., 2010. Makrofitowa metoda oceny rzek: Podręcznik metodyczny do oceny i klasyfikacji stanu ekologicznego wód płynących w oparciu o rośliny wodne. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, s. 62.
- Szweykowska A., 2002. Fizjologia roślin. Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza, Poznań, s. 91,94. ISBN 83-232-0815-8
- Szweykowska A., Szweykowski J. (red.), 2003. Słownik botaniczny, Wiedza Powszechna, Warszawa, ISBN 83-214-1305-6.
- Tołpa S., Radomski J., 1985. Botanika, Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa.

STRESZCZENIE

Dwutlenek węgla to niezbędny substrat procesu fotosyntezy. Jest on wykorzystywany w fazie ciemnej. Gdy roślina zostaje pozbawiona dostępu do dwutlenku węgla, przestaje się rozwijać i ginie. Rośliny lądowe pobierają dwutlenek węgla w postaci gazowej, a rośliny wodne w postaci jonów wodorowęglanowych. Jednak jego zawartość w środowisku wodnym i lądowym jest znacznie mniejsza niż optymalna wartość, przy której proces fotosyntezy osiąga największą intensywność. Wpływ na procentowy udział CO₂ w powietrzu atmosferycznym, a w związku z tym na intensywność fotosyntezy i przyrost biomasy roślin lądowych jest łatwiejszy niż roślin wodnych. Zawartość CO₂ w wodzie zależy przede wszystkim od czynników naturalnych, tj. ilości heterotrofów czy intensywności procesów rozkładu materii organicznej. Zawartość dwutlenku węgla w atmosferze wynosi tylko 0,03%. Wraz ze wzrostem jego stężenia do osiągnięcia maksymalnej wartości około 1% zwiększa się wydajność fotosyntezy. Stężenie dwutlenku węgla w powietrzu można zwiększyć kilkunastokrotnie bez szkodliwych następstw dla życia rośliny. Zależność tę wykorzystuje się podczas uprawy roślin w zamkniętych pomieszczeniach, umieszczając tam bryły zestalonego dwutlenku węgla, czyli suchego lodu. Często rośliny przyswajają więcej dwutlenku węgla niż jego zawartość w powietrzu, ponieważ częściowo zużywają także dwutlenek węgla powstały podczas ich oddychania oraz oddychania drobnoustrojów glebowych.

Celem prowadzonych badań było wykazanie wpływu stężenia dwutlenku węgla na intensywność przebiegu procesu fotosyntezy, a co za tym idzie tempa przyrostu biomasy moczarki kanadyjskiej (*Elodea canadensis* Michx).

Badania przeprowadzono w trzech próbkach eksperymentalnych z różnym stężeniem CO₂. W cyklu miesięcznym wykonywano pomiary przyrostu biomasy moczarki w każdej z próbek. Intensywność przebiegu

procesu fotosyntezy oceniano na podstawie ilości pęcherzyków tlenu uwalnianego jako uboczny produkt procesu. Uzyskane wyniki wskazały zależność między przyrostem biomasy a stężeniem CO_2 w środowisku życia moczarki kanadyjskiej.