

Wiesław K. Janicki, Aleksander Brzóstowicz*
Zakład Elektrotechniki i Informatyki
*Zakład Fizyki
Akademia Rolnicza w Szczecinie

WPLYW ZWIĘKSZONEGO STĘŻENIA CO₂ NA WZROST SIEWEK ZBÓŻ OZIMYCH

Streszczenie

Zbadano wpływ zwiększonego stężenia CO₂ na wzrost siewek wybranych zbóż ozimych. Kulturę roślin prowadzono na pożywce Hoaglanda przy podwyższonym stężeniu CO₂ (400, 800, 1200 i 1600 ppm). Podwyższone stężenie wpłynęło korzystnie wywołując zwiększenie mierzonych parametrów nawet przy potrojonym i poczwórnym stężeniu CO₂.

Słowa kluczowe: zboża ozime, wzrost, CO₂

Wstęp

Przewiduje się, że obserwowany ciągły wzrost zawartości CO₂ w powietrzu doprowadzi w połowie obecnego stulecia do jego podwojenia. Podwyższone stężenie CO₂ wywołuje u roślin szereg efektów metabolicznych. Jednym z najbardziej poznanych jest wzrost natężenia fotosyntezy C₃, gdy rośliny pozostają w atmosferze o podwyższonym stężeniu CO₂ przez krótki czas. Wyniki badań przeprowadzonych przez różnych autorów nie dają jednoznacznej odpowiedzi dotyczącej reakcji roślin na podwyższone stężenie CO₂ w powietrzu.

W pracy przeanalizowano wpływ podwójnego, potrójnego i poczwórnego stężenia CO₂ na wzrost czterech gatunków zbóż ozimych, po dwie odmiany z każdego gatunku.

Materiał i metody

Badaniami objęto cztery gatunki zbóż ozimych: jęczmień odmiany *Sigra* i *Tramp*; pszenica odmiany *Almari* i *Roma*; pszenżyto odmiany *Alzo* i *Prado*; żyto odmiany *Amilo* i *Wibro*. Ziarniaki poszczególnych odmian i gatunków rozłożono po 100 sztuk do kiełkowników „Szmala” (Kospin, Poddębice) i umieszczano w pojemnikach z pożywką Hoaglanda. Tak przygotowane kiełkowniki (po dwa z każdej odmiany, aby umożliwić pomiary po 14 i 28 dniach wegetacji) umieszczono w czterech minifitotronach skonstruowanych w Zakładzie Fizyki Akademii Rolniczej w Szczecinie. Zastosowano następujące warunki wzrostu: napromieniowanie 200 μmol (fotonów) · m⁻² · s⁻¹ PAR, fotoperiod (czas oświetlania) 12h/12h odpowiednio dzień/noc, temperatura 20°C. Temperatura w kolejnych dniach była zmniejszana codziennie o 2 °C, aż do osiągnięcia 10°C. W każdym minifitotronie utrzymywano inne stężenie CO₂ w atmosferze (400 ppm, 800 ppm, 1200 ppm i 1600 ppm) stosując specjalnie w tym celu skonstruowane układy regulujące dopływ CO₂ do komór.

Pomiary i regulacje stężenia CO₂ dokonywane były przy pomocy czujników CO₂ Air TECH 2600S z dokładnością $\pm 5\%$, (nie więcej niż 50 ppm CO₂). Miernik Air TECH 2600S jest miernikiem typu dyfuzyjnego, przeznaczonym do ciągłego pomiaru stężenia CO₂.

Odpowiedni oświetlenie zapewniły żarniki typu Sont-T-Agro 400 o mocy 400 W. Gęstość strumienia fotonów fotosyntetycznie aktywnych (PPFD) zmierzono fitofotometrem typu FF-01 (SONOPAN). Pomiaru dokonano z dokładnością $\pm 10 \mu\text{mol (fotonów)} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ PAR.

Pomiary biometryczne

Wykonano następujące oznaczenia:

- ❖ długość i szerokość pierwszego liścia;
- ❖ długość korzeni;
- ❖ świeża i sucha masa części nadziemnej siewek;
- ❖ świeża i sucha masa korzeni;
- ❖ zawartości chlorofilu.

Pomiary długości liści i korzeni dokonano z dokładnością do 1 mm.

Szerokość pierwszego liścia zmierzono w połowie długości liścia. Do tego celu wykorzystano suwmiarkę elektroniczną umożliwiającą pomiar z dokładnością 0,03 mm.

Świeżą i suchą masę zarówno części nadziemnej jak i korzeni wyznaczono przy pomocy wagi laboratoryjnej WPS 36 (Radwag) z dokładnością 0,0001 g. Suchą masę wyznaczono po 12 godzinach suszenia w temperaturze 105°C.

Pomiary biometryczne wykonano po 28 dniach wzrostu siewek dla 100 siewek przy 4 stężeniach CO₂ (400, 800, 1200 i 1600 ppm) mierząc każdy parametr osobno. Wyniki uśredniono dla jednego liścia czy korzenia. Jedynie masę liści i korzeni ważono dla 25 sztuk łącznie, a później uśredniono na jedną sztukę dzieląc przez liczbę siewek. Dla wszystkich pomiarów biometrycznych wyliczono wartość średnią dla każdego wariantu doświadczenia oddzielnie.

Pomiar zawartości chlorofilu w pierwszym liściu wykonano wykorzystując optyczną metodę bezinwazyjnego pomiaru przy pomocy chlorofilometru SPAD 502 (Minolta Co. Ltd., Japonia). Pomiar polegał na umieszczeniu liścia pomiędzy nieruchomą, a ruchomą częścią głowicy. Po lekkim ściśnięciu blaszki liściowej na wyświetlaczu wyświetlany jest wynik w postaci cyfrowej, w tzw. jednostkach SPAD. Otrzymane wartości w jednostkach SPAD mają charakter umowny i nie przedstawiają bezwzględnej zawartości chlorofilu w liściu tym nie mniej pozwalają na porównanie badanych obiektów, gdyż uzyskana wartość jest proporcjonalna do zawartości chlorofilu w badanym liściu. Pomiaru dokonywano w połowie długości pierwszego liścia.

Wyniki i dyskusja

Na podstawie uzyskanych rezultatów w pomiarach biometrycznych można stwierdzić zróżnicowany wpływ CO₂ na wzrost siewek badanych zbóż. Wielu badaczy [Gołębiowska i in. 2003, Sionit in. 1981, Stankowski i in. 1991, Dijkstry i in. 1991, Maciorowski i in. 1995, Gregorczyk i Stankowski 1998, Petersson i in. 1993.] stwierdziło istotny wzrost zarówno świeżej jak i suchej masy, bądź rozmiarów roślin lub ich fragmentów pod wpływem

zwiększonego stężenia CO₂. W badaniach prezentowanej pracy zauważono znacznie większy zakres uwarunkowań badanych cech niż w „cytowanych pracach”.

Wystąpiło zróżnicowanie pomiędzy gatunkami, a w niektórych przypadkach także pomiędzy odmianami, w reakcji na różne stężenia CO₂.

Najbardziej korzystny okazał się wpływ zwiększonego stężenia CO₂ dla rozwoju siewek jęczmienia zarówno części nadziemnej jak i korzeni. W przypadku pszenicy zwiększone stężenie CO₂ miało mały wpływ na wzrost siewek. Choć i tu można zaobserwować, że długość liści oraz świeża masa siewek były największe przy stężeniu 1200 ppm CO₂. Natomiast w przypadku pszenżyta część nadziemna siewek najlepiej rozwijała się przy stężeniu 1200 ppm CO₂. Podobnie przy tym stężeniu świeża masa korzeni była największa. Korzenie pszenżyta były najdłuższe przy kontrolnym stężeniu CO₂. Najbardziej intensywny wzrost części nadziemnej siewek żyta odnotowano przy stężeniu 800 ppm CO₂. Długość korzeni żyta była największa przy stężeniu kontrolnym (400 ppm) ich masa w przypadku odmiany *Amilo* była największa przy stężeniu 1600 ppm, a dla odmiany *Wibro* przy 800 ppm CO₂.

Lepszy rozwój roślin pod wpływem zwiększonego stężenia CO₂ jest w literaturze znany. Jednakże większość badaczy stosuje tylko podwojone stężenie CO₂ i badania prowadzone były na jednym gatunku roślin, a na dodatek czas i inne warunki wzrostu bywają bardzo różne.

Jak pokazały otrzymane i przedstawione w niniejszej pracy badania różne stężenia CO₂ są optymalne dla wzrostu poszczególnych zbóż, a nawet odmian (Tabela 1 i 2).

Tabela 1. Stężenie CO₂ [ppm], przy którym badany parametr biometryczny części nadziemnej był największy.

Table 1. Concentration CO₂ [ppm] which overground parts biometric parametr was biggest.

Gatunek	Odmiana	Średnia długość pierwszego liścia	Średnia szerokość pierwszego liścia	Średnia świeża masa części nadziemnej (m _{sr})	Średnia sucha masa części nadziemnej (m _s)	Uwodnienie	Średnia zawartość chlorofilu w pierwszym liściu
Jęczmień	<i>Sigra</i>	1600	1600	1600	1600	1600	1600
	<i>Tramp</i>	1600	1600	1600	1600	1600	1600
Pszenica	<i>Almari</i>	1200	1600	ni	1200	1600	1600
	<i>Roma</i>	1200	ni	ni	1200	ni	800
Pszenżyto	<i>Alzo</i>	1200	ni	1200	1200	ni	1600
	<i>Prado</i>	1200	ni	1200	1200	1600	1200
Żyto	<i>Amilo</i>	800	400	800	800	400	800
	<i>Wibro</i>	800	1200	800	800	400	800

ni – różnice nieistotne przy poziomie $\alpha=0,05$.

Shigemi i in. (1979) stwierdzili, że pszenica i jęczmień nie reagują szybko na zmiany stężenia CO₂ co konfrontując z wynikami prezentowanymi w pracy okazuje się być zgodne w przypadku pszenicy, bowiem zaobserwowano bardzo małe zmiany lub brak zmian mierzonych wielkości biometrycznych przy różnych stężeniach CO₂ w porównaniu do kontroli. Jednakże u jęczmienia stwierdzono wyraźne zróżnicowanie cech biometrycznych obu odmian przy różnych stężeniach CO₂ zarówno po 14 jak i po 28 dniach wzrostu co jest zgodne raczej z wynikami Peterssona i in. (1993).

Stwierdzony przez niektórych badaczy [Chaduri i in. 1990, Rabha i in. 1998] lepszy wzrost korzeni roślin z większego stężenia CO₂ potwierdza się w przypadku ich masy oraz długości korzeni jęczmienia i pszenicy. Natomiast pszenżyto i żyto najdłuższe korzenie miało przy kontrolnym stężeniu CO₂.

Ponadto zaobserwowano nieznaczne choć w większości statystycznie istotne zwiększenie zawartości chlorofilu pod wpływem podwyższonego stężenia CO₂ co nie potwierdza uogólnień Peterssona i in. (1993), że CO₂ nie wpływa na zawartość chlorofilu.

Tabela 2. Stężenie CO₂ [ppm], przy którym badany parametr biometryczny korzeni był największy.

Table 2. Concentration CO₂ [ppm] which roots biometric parametr was biggest.

Gatunek	Odmiana	Średnia długość korzenia	Średnia świeża masa korzeni	Średnia sucha masa korzeni	Liczba korzeni
Jęczmień	<i>Sigra</i>	1600	1600	1600	1600
	<i>Tramp</i>	1600	1600	1600	1600
Pszenica	<i>Almari</i>	1200	1200	1200	1200
	<i>Roma</i>	1600	1200	1200	1200
Pszenżyto	<i>Alzo</i>	400	1200	800	1200
	<i>Prado</i>	400	1200	400	1200
Żyto	<i>Amilo</i>	400	1200	1600	1200
	<i>Wibro</i>	400	800	800	800

Mechanizmy odpowiedzialne za intensywniejszy wzrost roślin pod wpływem zwiększonego stężenia CO₂ są ogólnie znane i opisywane w fizjologii roślin. Jednakże odpowiedź na pytanie dlaczego poszczególne gatunki czy odmiany zbóż, przy zastosowaniu odpowiednio dużego stężenia CO₂ rozwijają się słabiej jest dość trudna. Na podstawie prac niektórych badaczy [Kimball i in. 1993, Matysik i Nowak 1986, Sowiński in. 1991, Szente i in. 1998, Bazarz i Fajer 1992] można przypuszczać, że hamowanie wzrostu i rozwoju przy zbyt dużym stężeniu CO₂ spowodowane jest zamykaniem aparatów szparkowych, zmniejszeniem transpiracji, a przez to wzrostem temperatury co hamuje przepływ składników pokarmowych z korzeni do liści, powodując ich niedobór. Mechanizm ten wydaje się być prawdopodobny, gdyż zanotowane uwodnienie części nadziemnej i korzeni było najwyższe przy stężeniu CO₂, dla którego wyznaczone wielkości biometryczne były największe.

Wnioski

Podsumowując rezultaty badań biometrycznych siewek wybranych zbóż ozimych można stwierdzić, że:

- ❖ nastąpił intensywny rozwój siewek jęczmienia pod wpływem zwiększonego stężenia CO₂;
- ❖ zwiększone stężenie CO₂ miało mały wpływ na cechy biometryczne siewek pszenicy;
- ❖ najintensywniejszy wzrost siewek pszenżyta wystąpił pod wpływem potrójnego stężenia CO₂;
- ❖ u żyta najintensywniejszy wzrost wystąpił przy podwójnym stężeniu CO₂.

Bibliografia:

- Gołębiowska D., Brzostowicz A., Połomska B. 2003. Wpływ podwyższonego stężenia CO₂ oraz napromieniowania na rozwój koniczyny białej (*Trifolium repens* L.), Zeszyty Problemowe Nauk Rolniczych, 492, 85-91, Warszawa.
- Siont N., Mortensen D.A., Strain B.R., Hellmers H. 1981. Growth response of wheat to CO₂ enrichment and different levels of mineral nutrition. *Agronomy Journal* 37: 1023-1027.
- Stankowski S., Dijkstra P., Jansen M.J.H. 1991. Root restriction and the effect of CO₂ enrichment on yield and yield components of spring wheat. Poster abstracts International Workshop CO₂ and Biosphere, Wageningen, Holandia: 15.
- Dijkstra P., Stankowski S., Jansen M.J.H. 1991. Plant density and the effect CO₂ enrichment on yield and yield components of spring wheat. Poster International Workshop CO₂ and Biosphere, Wageningen, Holandia: 16
- Maciorowski R., Stankowski S., Dijkstra P. 1995. Opis wzrostu roślin pszenicy jarej (*Triticum aestivum*) przy różnym stężeniu CO₂ w powietrzu za pomocą funkcji logistycznej. *Hodowla Roślin Aklimatyzacja i Nasiennictwo*, t. 39, z.6: 123-131.
- Gregorczyk A., Stankowski S. 1998. Wskaźnikowa analiza wzrostu roślin pszenicy jarej rosnącej w atmosferze o normalnym i podwojonym stężeniu CO₂. *Fragmenta Agronomica* (XV) Nr 1(57): 53-62.
- Pettersson R., Lee H.S.J. 1993. Jarvis P.G.: The effect of CO₂ concentration on barley. *Vegetatio* 104/105: 462-463.
- Shigemi A., Moss D.N. 1972. Differential stomatal response between C₃ and C₄ species to atmospheric CO₂ concentration and light.: *Crop Sci.* 12:789-793.
- Chaudhuri U.N. Kirksam M.B. Kanemasu E.T. 1990. Root growth of winter wheat under elevated carbon dioxide and drought. *Crop. Sci.* 30: 853-857.
- Rabha B.K. Uprety D.C. 1998. Effects of elevated CO₂ and moisture stress on *Brassica juncea*. *Photosynthetica* 35 (4): 597-602.
- Kimball B. A., Mauney J. R., Nakayama F. S., Idso S. B. 1993. Effects of increasing atmospheric CO₂ on vegetation, *Vegetatio*, 104/105, 65-75.
- Matysiak B. Nowak J. 1996a. Dokarmianie gerbery dwutlenkiem węgla, uprawa mikrosadzonek gerbery w warunkach szklarniowych.: *Owoce-Warzywa-Kwiaty* 6: 17-18.
- Matysiak B., Nowak A. 1996b. Wpływ podłoża na wzrost *Anthurium x cultorum*, *Dieffenbachia* i *Spathiphyllum* Ex Vitro w zależności od stężenia CO₂ w atmosferze. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* z. 429: 241-244.
- Sowiński P., Parys E., Dembiński E., Falpus J., Romanowska E., Ślaski J. 1991. Rośliny w zmieniającym się klimacie: efekt szklarniowy. *Wiadomości Botaniczne* 35(3/4): 17-34.
- Szente K., Nagy Z., Tuba Z. 1998. Enhanced water use efficiency in dry loess grassland species grown at elevated air CO₂ concentration. *Photosynthetica* 35 (4): 637-640.
- Bazarz F. A., Fajer E.D. 1992. Rośliny w świecie bogatym w dwutlenek węgla. *Świat Nauki* 3: 18-25.

INFLUENCE OF ENLARGED CONCENTRATION OF CO₂ ON GROWTH OF WINTER CEREALS' SEEDLINGS

Summary

Influence of high CO₂ concentration on some winter cereals' seedlings was tested in lab experiments. The seedlings were grown on Hoagland medium at CO₂ concentrations of 400, 800, 1200, 1600 ppm. The high concentration of CO₂ enhanced parameters, even at threefold and quadruple CO₂ levels.

Key words: winter cereal, carbon dioxide, growth.