

Aleksander BRZÓSTOWICZ¹, Andrzej GREGORCZYK²

REAKCJA SIEWEK PSZENŻYTA OZIMEGO NA ZRÓŻNICOWANE NATĘŻENIE OŚWIETLENIA I PODWYŻSZONE STĘŻENIE CO₂

EFFECT OF IRRADIATION AND CO₂ ENRICHMENT ON WINTER TRITICALE SEEDLINGS

¹Katedra Fizyki i Agrofizyki, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
ul. Papieża Pawła VI 3, 71–459 Szczecin, e-mail aleksander.brzostowicz@zut.edu.pl

²Katedra Agronomii, Zakład Doświadczalnictwa, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
ul. Papieża Pawła VI 3, 71–459 Szczecin

Abstract. Biometric measurement and index of greenness of winter triticale seedlings cv. Prado were made after 14 days of growth in controlled conditions. Two levels of photosynthetic photon flux density (PPFD): 400 i 800 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ were set as well as four levels of CO₂ concentration: 400 (control), 800, 1200, 1600 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$. Stimulating effect of higher level of CO₂ concentration on seedlings has been established (to control). Favorable impact of lighting intensity (PPFD) 800 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ and concentration of CO₂ 800 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ on biometric features of analyzed seedlings has been shown.

Słowa kluczowe: dwutlenek węgla, PPFD, pszenżyto, wzrost roślin.

Key words: carbon dioxide, plant growth, PPFD, triticale.

WSTĘP

Pszenżyto ozime jest gatunkiem konkurencyjnym dla innych zbóż, ponieważ charakteryzuje się wiernością plonowania, tolerancją na zakwaszenie gleby oraz dobrą wartością pokarmową (Wolski 1993, Carnide i in. 1996).

Ze względu na postępujący efekt cieplarniany, interesujące są badania wpływu zwiększonego stężenia dwutlenku węgla w atmosferze na wzrost i rozwój roślin uprawnych (Houghton i in. 1990, Maciorowski i in. 1995, Olesen i Bindi 2002), w tym także pszenżyta ozimego. Obecnie stężenie dwutlenku węgla w powietrzu (380 – 400) $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ nie stanowi minimum fizjologicznego i należy oczekiwać, że podwyższona koncentracja tego gazu w atmosferze zwiększy znacznie intensywność fotosyntezy (Havelka i in. 1984, Bunce 1993, Gregorczyk i Stankowski 1998). Zarówno niedobór światła, jak i jego nadmiar mogą być szkodliwe dla roślin. W świetle o małym natężeniu rośliny tracą więcej CO₂ niż są w stanie przyswoić, a przy nadmiernej absorpcji promieniowania świetlnego może zajść zjawisko fotoinhibicji procesu fotosyntezy i wzmożone wytwarzanie niebezpiecznych form aktywnego tlenu, które inicjują wiele niepożądanych reakcji, np. wolnorodnikowe utlenianie lipidów w błonach tylakoidowych (Smille i in. 1988).

Celem pracy było zbadanie wpływu czterech poziomów koncentracji CO₂ w powietrzu na parametry biometryczne i zawartość chlorofilu w siewkach pszenżyta ozimego odmiany 'Prado', przy dwóch poziomach gęstości strumienia fotonów aktywnych fotosyntetycznie (PPFD).

MATERIAŁ I METODY

Ziarniaki pszenżyta odmiany 'Prado' rozłożono do kielkowników Szmala (po 100 w każdym), które potem umieszczono w pojemnikach z pożywką Hoaglanda; następnie przeniesiono je do czterech minifitotronów. Zastosowano następujące warunki wzrostu: gęstość strumienia fotonów czynnych fotosyntetycznie PPFD (ang. photosynthetic photon flux density): 400 i 800 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$; stężenie CO₂ w powietrzu: 400, 800, 1200 i 1600 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$; fotoperiod: 12 h (dzień) na 12 h (noc); temperatura 20°C, która w kolejnych dniach była obniżana o 2°C, aż do uzyskania 10°C. Obniżanie temperatury zastosowano ze względu na to, że badano pszenżyto ozime, które w naturalnych warunkach, na etapie siewki, również rośnie w coraz niższej temperaturze.

Stężenie 400 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ CO₂ (bliskie atmosferycznemu) przyjęto traktować jako kontrolne. Po upływie 14 dni od założenia eksperymentu oznaczono następujące cechy siewek pszenżyta: długość i szerokość pierwszego liścia – za pomocą suwmiarki, świeżą i suchą masę części nadziemnych oraz korzeni – na wadze analitycznej typu WPS-35, liczbę korzeni, zawartość chlorofilu w pierwszym liściu (w jednostkach względnych) – za pomocą chlorofilometru SPAD 502. Uzyskane wyniki – przeliczone na roślinę – opracowano statystycznie, stosując dwuczynnikową analizę wariancji, w układzie kompletnej randomizacji. Najmniejsze istotne różnice między średnimi (NIR) określono wg procedury Tukeya, przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$.

WYNIKI I DYSKUSJA

Na podstawie uzyskanych wyników zaobserwować można, że stężenia CO₂ wynoszące 800 i 1200 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ spowodowały statystycznie istotne przyrosty długości oraz nie wpłynęły na szerokość pierwszego liścia (tab. 1). Korzystny wpływ na szerokość pierwszego liścia miało natężenie oświetlenia 400 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (tab. 1).

Tabela 1. Długość i szerokość pierwszego liścia siewek pszenżyta ozimego odmiany 'Prado' w zależności od natężenia światła (PPFD) – I i stężenia CO₂ – II

Table 1. Length and wide of first leaf of seedlings of winter triticale cv. Prado depending on PPFD (I) and CO₂ concentration (II)

Stężenie CO ₂ CO ₂ concentration [$\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$]	Długość pierwszego liścia Length of first leaf [mm]			Szerokość pierwszego liścia Wide of first leaf [mm]		
	PPFD [$\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$]					
	400	800	średnia mean	400	800	średnia mean
400	109,2	114,6	111,9	4,6	4,5	4,6
800	120,7	120,7	120,7	4,7	4,5	4,6
1200	120,3	114,4	117,3	4,8	4,4	4,6
1600	119,4	109,0	114,2	4,6	4,3	4,5
Średnia – Mean	117,4	114,7	x	4,7	4,4	x
NIR _{0,05} – LSD _{0,05} dla – for:		I – n.s. IxII – 6,0	II – 5,8 IIxI – 8,2	I – 0,07 IxII – 0,13	II – n.s. IIxI – 0,18	

n.s. – różnice nieistotne – differences not significant.

Wartości suchej masy badanych siewek przedstawiono w tabeli 2.

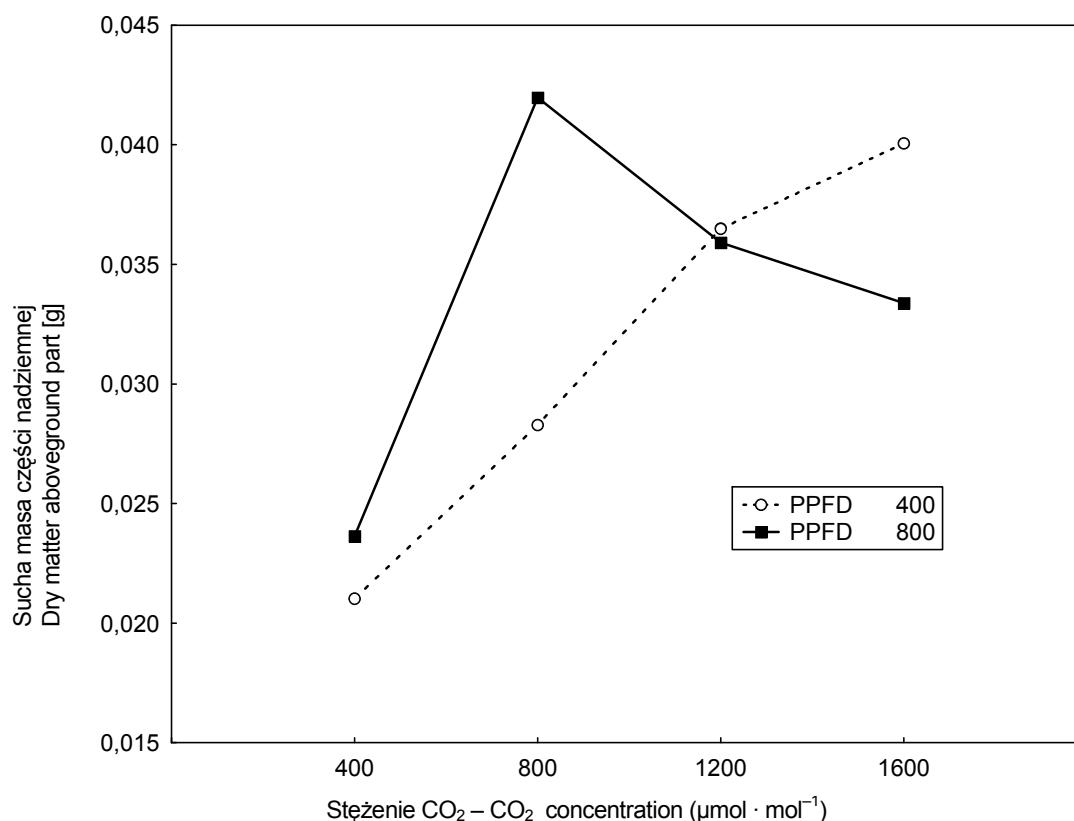
Tabela 2. Sucha masa części nadziemnej i korzeni siewek pszenżyta ozimego odmiany 'Prado' w zależności od natężenia światła (PPFD) – I i stężenia CO₂ – II

Table 3. Dry matter of aboveground part and roots of seedlings of winter triticale cv. Prado depending on PPFD (I) and CO₂ (II) concentration

Stężenie CO ₂ CO ₂ concentration [μmol · mol ⁻¹]	Sucha masa części nadziemnej Dry matter aboveground part [g]			Sucha masa korzeni Dry matter roots [g]		
	PPFD [μmol · m ⁻² · s ⁻¹]					
	400	800	średnia mean	400	800	średnia mean
400	0,0210	0,0236	0,0223	0,0106	0,0120	0,0113
800	0,0283	0,0420	0,0351	0,0132	0,0171	0,0151
1200	0,0365	0,0359	0,0362	0,0156	0,0157	0,0157
1600	0,0401	0,0334	0,0367	0,0151	0,0143	0,0147
Średnia – Mean	0,0315	0,0338	x	0,0136	0,0148	X
NIR _{0,05} – LSD _{0,05} dla – for:	I – n.s.		II – 0,0054	I – 0,0009		II – 0,0018
	IxII – 0,0056		IxI – 0,0076	IxII – 0,0018		IxI – 0,0025

Objaśnienia patrz tab. 1 – Explanations see Table 1.

Największe średnie wartości suchej masy zarówno części nadziemnej, jak i korzeni, zaobserwowano u roślin poddanych działaniu koncentracji CO₂ większej niż 400 μmol · mol⁻¹. Obiekty z kombinacji: stężenie wynoszące 800 μmol(CO₂) · mol⁻¹ i PPFD wynoszące 800 μmol · m⁻² · s⁻¹ odznaczały się istotnie największymi wartościami suchej masy (0,042 g) – rys. 1.



Rys.1. Wartości suchej masy części nadziemnej siewek pszenżyta dla dwóch poziomów natężenia oświetlenia (PPFD) i czterech poziomów stężenia CO₂

Fig.1. Values of dry matter of aboveground part of the triticale seedlings for two level of PPFD and four level of CO₂ concentration

Średnia liczba korzeni – przy obu poziomach natężenia oświetlenia – tylko u siewek pszenżyta, rosnących w warunkach kontrolnego stężenia dwutlenku węgla, była istotnie mniejsza (tab. 3). Natomiast wartości PPFD nie różnicowały istotnie analizowanej cechy siewek.

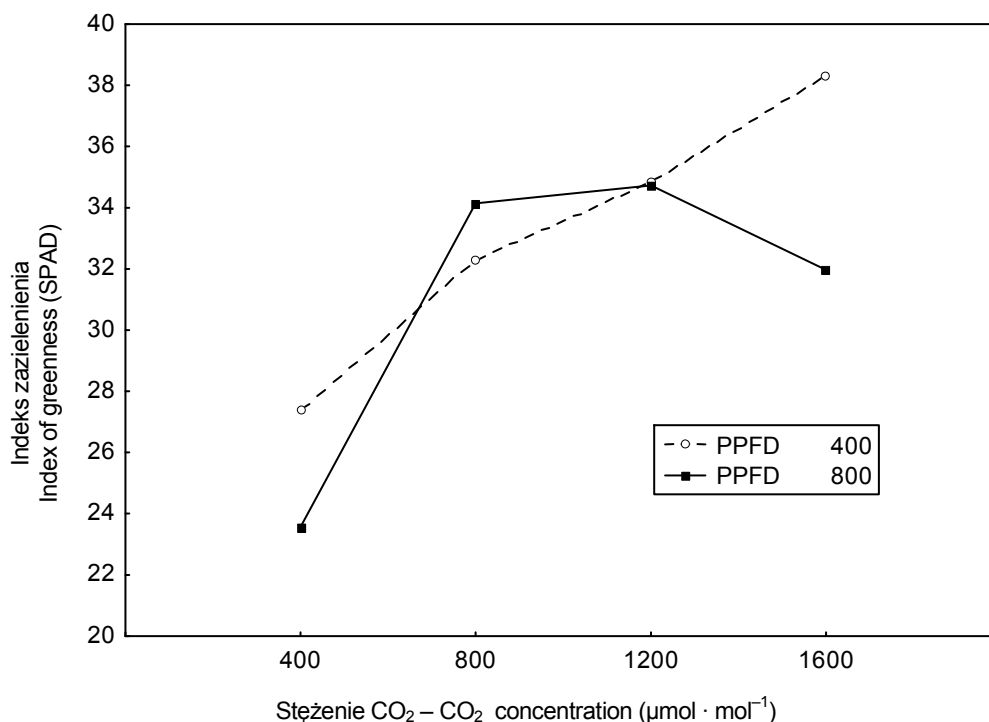
Tabela 3. Liczba korzeni i indeks zazielenienia siewek pszenżyta ozimego odmiany 'Prado' w zależności od natężenia światła (PPFD) – I i stężenia CO₂ – II

Table 4. Roots number and index of greenness of seedlings of winter triticale cv. Prado depending on PPFD (I) and CO₂ (II) concentration

Stężenie CO ₂ CO ₂ concentration [μmol · mol ⁻¹]	Liczba korzeni Roots number			Index of greenness [SPAD]		
	PPFD [μmol · m ⁻² · s ⁻¹]			400	800	średnia mean
	400	800	średnia mean	400	800	średnia mean
400	5,78	6,32	6,05	27,4	23,6	25,5
800	6,43	6,63	6,53	32,3	34,1	33,2
1200	6,53	6,33	6,43	34,8	34,7	34,8
1600	6,39	5,95	6,17	38,3	32,0	35,1
Średnia-Mean	6,28	6,30	x	33,2	31,1	x
NIR _{0,05} – LSD _{0,05} dla – for:	I – n.s.		II – 0,41	I – 0,9		II – 1,7
	IxII – 0,43		IxI – 0,57	IxII – 1,8	IxI – 2,4	

Objaśnienia patrz tab. 1 – Explanations see Table 1.

Najmniejsze średnie zawartości chlorofilu w pierwszym liściu uzyskano przy najniższym stężeniu dwutlenku węgla, a największe – przy poczwórnej (w stosunku do kontroli) zawartości CO₂ (tab. 3). Z kolei zwiększenie PPFD do 800 μmol · m⁻² · s⁻¹ wywołało spadek koncentracji chlorofilu. Dla wartości indeksu zazielenienia (38,3 SPAD) najbardziej stymulująca okazała się kombinacja czynników doświadczalnych: PPFD – 400 μmol · m⁻² · s⁻¹ i koncentracja dwutlenku węgla – 1600 μmol(CO₂) · mol⁻¹ (rys. 2).



Rys. 2. Wartości indeksu zazielenienia siewek pszenżyta dla dwóch poziomów natężenia oświetlenia (PPFD) i czterech poziomów stężenia CO₂

Fig. 2. Values of index of greenness of the triticale seedlings for two level of PPFD and four level of CO₂ concentration

Z dwóch poziomów PPFd, użytych w doświadczeniu, natężenie światła $400 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ dodatkowo wpłynęło na średnie wartości szerokości pierwszego liścia oraz indeks zazielenienia. Większą wartość świeżej masy części nadziemnej oraz suchej masy korzeni stwierdzono natomiast przy PPFd na poziomie $800 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. W przypadku pozostałych cech różnice między średnimi dla tego czynnika doświadczalnego były statystycznie nieistotne. Pomiarów tych samych siewek pszenżyta wykonane po 28 dniach wykazały, że bardziej stymulujące wzrost roślin okazało się natężenie światła $800 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, które wpłynęło dodatkowo na średnie wartości świeżej masy pierwszego liścia, jego szerokość oraz liczbę korzeni (Brzóstowicz i in. 2006).

Spośród czterech stężeń dwutlenku węgla po 14 dniach eksperymentu zdecydowanie niekorzystne działanie na rośliny miała koncentracja CO_2 równa $400 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$. Siewki pszenżyta rosnące w takim powietrzu odznaczały się najmniejszymi średnimi wartościami świeżej i suchej masy części nadziemnej oraz korzeni, a także indeksu zazielenienia. Jest to zgodne z wynikami badań Sionta i in. (1981) i Maciorowskiego i in. (1995), którzy udowodnili dla roślin pszenicy inhibitujące działanie najmniejszego stężenia CO_2 ($400 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$) oraz dodatni wpływ podwojonego stężenia dwutlenku na akumulację suchej masy roślin.

Natomiast Janicki i Brzóstowicz (2005), badając wpływ podwójnego, potrójnego i poczwórnego – w stosunku do aktualnego, atmosferycznego stężenia dwutlenku węgla – na takie same parametry biometryczne siewek pszenżyta ozimego, wykazali najkorzystniejsze działanie stężenia CO_2 równego $1200 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$, przy PPFd $200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.

Po upływie dalszych dwóch tygodni zdecydowanie najkorzystniejsze działanie na rośliny miała koncentracja CO_2 równa $800 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$. Siewki pszenżyta rosnące w takim powietrzu miały największe średnie wartości wszystkich analizowanych cech biometrycznych, a także zawartości chlorofilu (Brzóstowicz i in. 2006).

Za pomocą obliczeń analizy wariancji udowodniono dla wszystkich cech istotność interakcji PPFd i stężenie CO_2 . Największą wartość suchej masy części nadziemnej i korzeni (odpowiednio $0,0420 \text{ g}$ i $0,0171 \text{ g}$) oraz liczby korzeni (6,6) uzyskano na obiektach o natężeniu oświetlenia $800 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ i stężeniu $800 \mu\text{mol}(\text{CO}_2) \cdot \text{mol}^{-1}$ (pow.). Dla wartości indeksu zazielenienia (38,3 SPAD) najbardziej stymulująca okazała się kombinacja czynników doświadczalnych: PPFd – $400 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ i koncentracja dwutlenku węgla – $1600 \mu\text{mol}(\text{CO}_2) \cdot \text{mol}^{-1}$.

WNIOSKI

1. Stymulującym przyrost suchej masy części nadziemnej i korzeni siewek roślin pszenżyta odmiany 'Prado' okazało się kilkakrotnie zwiększone – w stosunku do aktualnego – stężenie dwutlenku węgla w atmosferze.

2. W odniesieniu do większości analizowanych cech stwierdzono korzystne działanie następującej kombinacji czynników doświadczalnych: natężenia oświetlenia $800 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ i stężenia dwutlenku węgla $800 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$.

PIŚMIENNICTWO

Brzóstowicz A., Gregorczyk A., Kopecka J. 2006. Wpływ zróżnicowanego natężenia oświetlenia i podwyższonego stężenia CO_2 na wzrost siewek pszenżyta ozimego odmiany Prado. Folia Univ. Agric. Stetin. 247 (100), 15–19.

- Bunce J.A.** 1993. Effects of doubled atmospheric carbon dioxide concentration on the responses of assimilation and conductance to humidity. *Plant Cell Environ.* 16, 189–197.
- Carnide V.P., Guedes-Puinto H., Mascarenhas-Ferreira A., Sequeira C.** 1996. Effect of the seeding rate on forage field and quality of triticale [w: *Triticale: Today and Tomorrow*]. Eds. H. Guedes-Puinto, N. Darvey, V.P. Carnide. Kluw. Acad. Publ., Dordrecht, 835–841.
- Gregorczyk A., Stankowski S.** 1998. Wskaźnikowa analiza wzrostu roślin pszenicy jarej rosnącej w powietrzu o zróżnicowanym stężeniu CO₂. *Fragm. Agro.* 57(1), 53–63.
- Havelka U.D., Wittenbach V.A., Boyle M.G.** 1984. CO₂ enrichment effects on wheat yield and physiology. *Crop Sci.* 24, 1163–1168.
- Houghton J.T., Jenkins G.J., Ephraums J.J.** 1990. *Climate change: The IPCC Scientific Assessment* [w: *Intergovernmental Panel on Climate Change*]. Cambridge Univ. Press.
- Janicki W., Brzóstowicz A.** 2005. Wpływ zwiększonego stężenia CO₂ na wzrost siewek zbóż ozimych. *Inż. Rol.* 3 (36), 211–218.
- Maciorowski R., Stankowski S., Dijkstra P.** 1995. Opis wzrostu roślin pszenicy jarej przy różnym stężeniu CO₂ w powietrzu za pomocą funkcji logistycznej. *Hod. Rośl. Aklim. Nasienn.* 39 (6), 123–132.
- Olesen J.E., Bindi M.** 2002. Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy. *Eur. J. Agron.* 16, 239–262.
- Siont N., Mortensen D.A., Strain B.R., Hellmers H.** 1981. Growth response of wheat to CO₂ enrichment and different levels of mineral nutrition. *J. Agron.* 37, 1023–1027.
- Smille R.M., Hetherington S.E., He J., Nott R.** 1988. Photoinhibition at chilling temperatures. *Aust. J. Plant Physiol.* 15, 207–222.
- Wolski T.** 1993. Pszenżyto ozime hodowli Danko w Europie. *Biul. IHAR* 187, 139–142.