

ELŻBIETA SKÓRSKA

RAFAŁ LEWANDOWSKI

Zakład Fizyki

Akademia Rolnicza w Szczecinie

Porównanie reakcji trzech odmian owsa na promieniowanie UV-B

Comparison of reactions of three oat varieties to UV-B radiation

Pod wpływem zastosowanej dawki promieniowania UV-B ($UV-B_{BE} = 4 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$, 15 dni) w roślinach owsa (*Avena sativa* L.) rosnących w kontrolowanych warunkach temperatury ($17^{\circ}\text{C}/15^{\circ}\text{C}$, dzień/noc) i oświetlenia ($PPFD = 150 \text{ } \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) nastąpiły niekorzystne zmiany cech biometrycznych oraz fizjologicznych. Biorąc pod uwagę cechy biometryczne, spośród badanych trzech odmian (Akt, Bajka i Cacko) najbardziej wrażliwe okazały się rośliny nieoplewionej odmiany Cacko, które miały, w porównaniu z roślinami kontrolnymi, skrócone i zwężone liście oraz zmniejszoną suchą masę roślin. Rośliny tradycyjnej odmiany Bajka wykazały większą tolerancję na zastosowaną dawkę UV-B, także w mniejszym stopniu miały naruszony aparat fotosyntetyczny niż badane odmiany nieoplewione Akt i Cacko.

Słowa kluczowe: *Avena sativa*, formy oplewione, formy nieoplewione, fotosynteza, owies, promieniowanie UV-B, ultrafiolet

Under influence of the UV-B radiation ($UV-B_{BE} = 4 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$, 15 days), plants of oat (*Avena sativa* L.) growing in controlled conditions of the temperature ($17^{\circ}\text{C}/15^{\circ}\text{C}$, day/night) and light ($PPFD = 150 \text{ } \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) showed undesirable changes of the biometrical and physiological features. Considering the biometrical features, from among the examined three varieties (Akt, Bajka, Cacko), the most sensitive was the naked Cacko variety it had shortened and stenosed leaves, and diminished dry mass of plants. Plants of the traditional husked Bajka variety showed higher tolerance to the used UV-B dose, had less disturbed photosynthetic apparatus than the investigated naked varieties Akt and Cacko.

Key words: *Avena sativa*, husked forms, naked forms, oat, photosynthesis, ultraviolet, UV-B radiation

WSTĘP

W ostatnim okresie wśród roślin zbożowych coraz większe zainteresowanie wzbudza owies ze względu na swe walory żywieniowo-fizjologiczne (Maciejewicz-Ryś i Sokół, 1999). Jego ziarno w stosunku do innych zbóż zawiera o 10–25% więcej białka, 3–4 razy więcej tłuszczu, a także więcej żelaza, wapnia, magnezu, manganu, cynku i lecytyny (Pizło i in., 1999). Wyróżnia się ponadto wysokim poziomem błonnika pokarmowego, a także

uznaje się je za dobre źródło tiaminy, kwasu pantotenowego i witaminy E. Białka owsa bogate są w aminokwasy egzogenne (Gąsiorowski, 1999).

Coraz większą popularność na świecie i w Polsce zyskuje nowa, nieoplewiona forma owsa (Nita, 1999; Tobiasz-Salach i Bobrecka-Jamro, 2002). Nagoziarniste, pozbawione plewki odmiany charakteryzują się w porównaniu z formą oplewioną mniejszą zawartością włókna surowego, większą zawartością białka i tłuszczu oraz korzystnym udziałem nienasyconych kwasów tłuszczowych. Czyni to je odmianami o większej energii metabolicznej i większej wartości biologicznej, przez co są szczególnie atrakcyjne w żywieniu ludzi i zwierząt (Nita, 1999; Petkov i in., 1999).

Od kilku lat prowadzone są kompleksowe badania nad nowymi odmianami owsa, w tym także te związane z ich wrażliwością na działanie różnych czynników stresowych środowiska. Wraz ze zmieniającym się klimatem coraz większego znaczenia nabiera tolerancja roślin na zwiększony poziom promieniowania UV-B, tj. promieniowania optycznego o długości fali w zakresie 280–320 nm (Caldwell i in., 1994; Sullivan, 1997). Ma ono bowiem na ogół szkodliwy wpływ na rozwój roślin uprawnych ze względu na to, że białka, kwasy nukleinowe oraz niektóre inne związki zawarte w roślinach pochłaniają promieniowanie słoneczne w tym zakresie. Może to niekorzystnie wpływać na procesy fizjologiczne i biochemiczne, a w efekcie prowadzić do zmniejszenia plonu (Caldwell i in., 1994). We wcześniejszych pracach stwierdzono, że odmiany owsa w późnej fazie rozwojowej różnią się wrażliwością aparatu fotosyntetycznego na promieniowanie UV-B (Skórska, 1999), a także młode rośliny owsa odmiany Bajka lepiej tolerują obecność tego promieniowania podczas wzrostu niż inne odmiany oplewione i nieoplewione (Skórska i Lewandowski, 2002).

Celem pracy było porównanie niektórych cech biometrycznych i fizjologicznych nowych nieoplewionych odmian (Akt i Cacko) młodych roślin owsa rosnących w obecności promieniowania UV-B z tradycyjną oplewioną odmianą Bajka.

MATERIAŁ BADAWCZY

Nasiona owsa (*Avena sativa* L.) odmiany Bajka oraz odmian nieoplewionych Akt i Cacko otrzymano ze Stacji Hodowli Roślin w Strzelcach k. Kutna. Namoczone ziarniaki ułożono na wilgotnej bibule filtracyjnej (po 20 szt.) w odległości 1 cm od górnej krawędzi i przykryto wilgotnym paskiem bibuły, po czym zwijano w rulon. W ten sposób przygotowane rulony włożono (po 3) do krystalizatorów (150 cm³) i do każdego nalano warstwę 50% pożywki Hoaglanda o wysokości 1 cm, którą codziennie uzupełniano. Wszystkie krystalizatorki podzielono na dwie części i umieszczono na obrotowych stolikach, zamontowanych w dwóch termoluminostatach (lampy LRF 250, PPFD = 150 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, fotoperiod 12 h, temperatura 17°C/15°C, dzień/noc, wilgotność 50%). W jednym z termoluminostatów była dodatkowo zainstalowana lampa VL-115 (Vilber Lourmat, Francja), będąca źródłem promieniowania ultrafioletowego, której widmo emisyjne, a także schemat termoluminostatu opisano w pracy Skórskiej (2000). Pięciodniowe siewki poddano napromienianiu UV-B (2 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$, 3 $\text{h}\cdot\text{d}^{-1}$, 15 dni), co odpowiadało dawce biologicznie efektywnej UV-B_{BE} ok. 4 $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, obliczonej wg Caldwell

i wsp. (1977). Siewki kontrolne rosły bez UV-B w drugim termoluminostacie. Pomiary wykonano, gdy rośliny znajdowały się w fazie rozwojowej 11–12 DC wg Zadoksa.

METODY POMIAROWE

Wykonano pomiary długości i szerokości pierwszego liścia, suchej masy roślin oraz zawartości chlorofilu przy użyciu chlorofilometru SPAD 502 (Minolta). Zawartość flawonoidów oznaczano na podstawie absorbancji etanolowych ekstraktów liści, przy długości fali 305 nm, w przeliczeniu na suchą masę liści ($A_{305} \cdot g^{-1}$). Natężenie fotosyntezy netto mierzono przy użyciu gazoanalizatora LCA-4 (ADC) w kamerze PLC-4, w której umieszczano liście roślin, oświetlone czerwonymi diodami LED o natężeniu PPFD ok. $900 \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$. Wyniki pomiaru, wyrażone w $\mu mol CO_2 \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$, odczytywano w 8 minucie od włożenia liści do kamery pomiarowej. Parametr F_v/F_o , proporcjonalny do aktywności kompleksu rozkładu wody, związany z wydajnością wydzielania tlenu oraz rzeczywistą wydajnością kwantową fotosystemu II (Y) zmierzono przy użyciu fluorymetru PAM-200 (Walz), stosując światło aktyniczne i nasycające o natężeniu PPFD odpowiednio 120 i $3000 \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$.

Wyniki przedstawiono jako średnie arytmetyczne z 20 wyników pomiarów wysokości, szerokości najmłodszego liścia i zawartości chlorofilu oraz 5, 3 i 6 biologicznych powtórzeń pomiarów odpowiednio: zawartości flawonoidów, fotosyntezy netto i fluorescencji (parametry F_v/F_o i Y). Przeprowadzona dwuczynnikowa analiza wariancji pozwoliła na separację grup jednorodnych dla wyznaczonych cech ($p < 0,05$). Suchą masę pojedynczej rośliny obliczono na podstawie całkowitej suchej masy 15 roślin.

WYNIKI I DISKUSJA

Zastosowana dawka napromieniowania UV-B spowodowała niekorzystne zmiany w roślinach badanych odmian owsa. Napromieniowane rośliny w porównaniu z roślinami kontrolnymi charakteryzowały się zmniejszoną o kilkanaście procent szerokością liścia, a ponadto rośliny odmiany Cacko miały o 30% mniejszą jego długość (tab. 1). Także w roślinach tej ostatniej odmiany nastąpił prawie 20% ubytek suchej masy, w przypadku odmiany Bajka o 11%, natomiast w roślinach odmiany Akt nastąpił niewielki wzrost, przypuszczalnie związany ze zwiększeniem grubości liści, podobnie jak w innych naszych doświadczeniach (Skórska, 2000).

Negatywny wpływ promieniowania UV-B stwierdzono także w przypadku większości cech fizjologicznych badanych odmian (tab. 2). Szczególnie wyraźnie widoczne jest obniżenie, w stosunku do roślin kontrolnych, wartości parametru F_v/F_o , które świadczy o zmniejszeniu aktywności kompleksu rozkładu wody, związanej z obniżeniem wydajności wydzielania tlenu. Zaobserwowano to w roślinach wszystkich trzech badanych odmian, przy czym w przypadku odmiany Bajka o 36%, a odmian Akt i Cacko — prawie o 60%. Napromieniowane rośliny odmian Akt i Cacko miały niemal o 30% niższą wydajność fotosystemu II (Y), a także zawierały o około 20% mniej chlorofilu.

Tabela 1

Cechy biometryczne kontrolnych oraz poddanych napromieniowaniu UV-B roślin owsa
Biometrical features of the control oat plants and the plants subjected to UV-B radiation

Badana cecha Analysed feature	Odmiana Variety					
	Akt		Bajka		Cacko	
	kontrola control	UV-B	kontrola control	UV-B	kontrola control	UV-B
Długość liścia Leaf length (mm)	239 ^a	226 ^a	253 ^a	226 ^a	226 ^a	158 ^b
Szerokość liścia Leaf width (mm)	4,58 ^b	4,06 ^c	5,37 ^a	4,43 ^{bc}	5,08 ^a	4,13 ^{bc}
Sucha masa rośliny Plant dry mass (mg)	16,6	19,2	23,0	20,4	18,2	14,9

^{abc} Średnie oznaczone tymi samymi literami (dla jednej cechy — w wierszu) nie różnią się istotnie na poziomie 0,05 (test Newmana-Keula)

^{abc} The means marked by the same letters (for one feature — in a line) do not differ significantly at the level 0.05 (Newman-Keul's test)

Tabela 2

Cechy fizjologiczne kontrolnych oraz poddanych napromieniowaniu UV-B roślin owsa
Physiological features of the control oat plants and the plants subjected to UV-B radiation

Badana cecha Analysed feature	Odmiana Variety					
	Akt		Bajka		Cacko	
	kontrola control	UV-B	kontrola control	UV-B	kontrola control	UV-B
F _v /F _o (wydajność wydzielania tlenu Efficiency of oxygen evolving)	2,50 ^a	1,06 ^c	2,42 ^a	1,55 ^b	2,45 ^a	1,00 ^c
Y (wydajność kwantowa fotosystemu II Quantum efficiency of photosystem II)	0,628 ^a	0,460 ^c	0,617 ^a	0,548 ^b	0,628 ^a	0,472 ^c
Natężenie fotosyntezy netto Net photosynthesis intensity (μmol CO ₂ ·m ⁻² ·s ⁻¹)	7,25 ^{ab}	3,84 ^c	6,07 ^b	8,82 ^a	8,27 ^{ab}	6,34 ^{ab}
Zawartość chlorofilu Content of chlorophyll (SPAD)	33,2 ^a	26,5 ^c	36,7 ^a	34,6 ^a	36,3 ^a	29,7 ^b
Zawartość flawonoidów Content of flavonoids (A ₃₀₅ ·g ⁻¹)	430 ^a	493 ^a	457 ^a	467 ^a	499 ^a	494 ^a

^{abc} Średnie oznaczone tymi samymi literami (dla jednej cechy — w wierszu) nie różnią się istotnie na poziomie 0,05 (test Newmana-Keula)

^{abc} The means marked by the same letters (for one feature — in a line) do not differ significantly at the level 0.05 (Newman-Keul's test)

Ponadto rośliny odmiany Akt poddane działaniu UV-B charakteryzowały się zmniejszonym o połowę natężeniem asymilacji CO₂ (fotosyntezy netto). Bardziej tolerancyjne pod tym względem okazały się rośliny odmiany Bajka — pod wpływem UV-B nie zmieniła się zawartość chlorofilu, a natężenie fotosyntezy netto nawet nieco wzrosło. Zawartość flawonoidów, związków pochłaniających promieniowanie w zakresie ultrafioletowym, była we wszystkich odmianach podobna i nie uległa zmianie pod wpływem zastosowanego stresu.

Jak wiadomo, reakcja roślin na stres UV-B zależy od gatunku, co się wiąże z genetycznymi mechanizmami przystosowawczymi (Caldwell i in., 1994). Przeprowadzone

badania potwierdziły, iż owies, podobnie jak niektóre inne gatunki (np. groch, fasola, rzepak) jest wrażliwy na silną dawkę promieniowania UV-B (Skórska, 1999, 2000). Wrażliwość ta przejawia się w zmniejszeniu długości i powierzchni liści, a także ubytku suchej masy roślin, co w przypadku żyta stwierdzili Deckmyn i Impens (1997). Autorzy ci nie stwierdzili zmiany zawartości chlorofilu, zanotowali natomiast prawie 40% wzrost zawartości flawonoidów, co było uwarunkowane zastosowaniem mniejszej dawki promieniowania UV-B. Synteza tych związków zależy bowiem od zastosowanej dawki promieniowania ultrafioletowego i przy dużej dawce UV-B może mieć miejsce obniżenie zawartości związków absorbujących w tym zakresie promieniowania (Caldwell i in., 1994). Takie właśnie zmiany stwierdzono we wcześniejszym doświadczeniu (Skórska i Lewandowski, 2002), w którym tylko w roślinach odmiany Bajka nie nastąpił ubytek zawartości flawonoidów, w odróżnieniu od wszystkich pozostałych badanych odmian owsa. Duże znaczenie mają tu także warunki świetlne, przy których rosną rośliny w obecności UV-B: promieniowanie fotosyntetycznie czynne (PAR) ma działanie osłabiające uszkodzenia wywołane przez promieniowanie UV-B (Adamse i Britz, 1992). Deckmyn i wsp. (1994) potwierdzili, że niski poziom PAR nasilał uszkodzające działanie UV-B, powodujące obniżenie asymilacji CO₂, zmniejszenie masy liści i korzeni oraz zawartości chlorofilu w roślinach fasoli. W doświadczeniu opisywanym w tej pracy poziom zawartości flawonoidów nie uległ istotnej zmianie, co można wytłumaczyć tym, że przy podobnej dawce UV-B_{BE} zastosowano o 20% wyższe natężenie PAR.

Promieniowanie UV-B na ogół wywołuje zmniejszenie suchej masy roślin, co stwierdzono w przypadku wielu gatunków roślin uprawnych (Sullivan, 1997), w tym także zbożowych (Li i in., 1999, 2000).

Zmniejszenie intensywności fotosyntezy netto, zaobserwowane w przypadku odmian Akt i Cacko, ma miejsce w przypadku roślin wrażliwych na różne czynniki stresowe środowiska, ponieważ aparat fotosyntetyczny jest miejscem bardzo czułym i szybko na nie reagującym. Niekoniecznie jednak pomiar natężenia asymilacji CO₂ jest najlepszym wskaźnikiem stresu UV-B (Allen i in., 1998), ponieważ gatunki tolerancyjne mogą nie wykazywać zmian tego wskaźnika, jak to zaobserwowano w przypadku roślin odmiany Bajka.

Dlatego szczególnie przydatne w tego typu badaniach są metody fluorescencyjne, które w sposób nieinwazyjny dają informację o funkcjonowaniu fotosystemu II (Schreiber i in., 1994; Sharma i in., 1998). W przypadku takiego czynnika stresowego, jakim jest promieniowanie UV-B, bardzo czułym wskaźnikiem uszkodzeń jest parametr F_v/F_o (Skórska, 2000), związany z aktywnością kompleksu rozkładu wody na donorowej stronie fotosystemu II (Schreiber i in., 1994).

Reasumując można stwierdzić, że zastosowana dawka promieniowania UV-B oddziaływała niekorzystnie na funkcjonowanie aparatu fotosyntetycznego badanych roślin owsa, przy czym najmniej wrażliwe były rośliny odmiany Bajka. Biorąc pod uwagę analizowane cechy biometryczne, największą wrażliwość wykazały rośliny odmiany Cacko, a nieco mniejszą — odmiany Akt.

LITERATURA

- Adamse P., Britz S. J. 1992. Amelioration of UV-B damage under high irradiance. I. Role of photosynthesis. *Photochem. Photobiol.* 56 (5): 645 — 650.
- Allen D. J., Nogues S., Baker N. R. 1998. Ozone depletion and increased UV-B radiation: is there a real threat to photosynthesis? *J. Exp. Botany*, 49 (328): 1775 — 1788.
- Caldwell M. M. 1977. The effects of solar UV-B radiation (280–315 nm) on higher plants: implication of stratospheric ozone reduction. In: *Research in Photobiology*. Castellani A. (ed.). Plenum Publishing, London: 597 — 607.
- Caldwell, M. M., Flint, S. D., Searles, P. S. 1994. Spectral balance and UV-B sensitivity of soybean: a field experiment. *Plant Cell Environ.* 17: 267 — 276.
- Deckmyn G., Martens C., Impens I. 1994. The importance of the ratio UV-B/ photosynthetic active radiation (PAR) during leaf development as determining factor of plant sensitivity to increased UV-B irradiance: effects on growth, gas exchange and pigmentation of bean plants. *Plant, Cell Environ.* 17: 295 — 301.
- Deckmyn G., Impens I. 1997. Combined effects of enhanced UV-B radiation and nitrogen deficiency on the growth, composition and photosynthesis of rye (*Secale cereale*). *Plant Ecol.* 128: 235 — 240.
- Gąsiorowski H. 1999. Współczesny pogląd na walory fizjologiczno-żywnościowe owsa. *Żywność. Nauka, Technologia, Jakość. Supl.* 1 (18): 193 — 195.
- Li Y., Yue M., Wang X. L., Hu Z. D. 1999. Competition and sensitivity of wheat and wild oat exposed to enhanced UV-B radiation at different densities under field conditions. *Environ. Exp. Botany* 41: 47 — 55.
- Li Y., Yanqun Z., Haiyan C., Jianjun C., Jilong Y., Haiyuan Ch., Jilong Y., Hu Z. 2000. Intraspecific responses in crop growth and yield of 20 wheat cultivars to enhanced ultraviolet-B radiation under field conditions. *Field Crops Res.* 67: 25 — 33.
- Maciejewicz-Rys J., Sokół K. 1999. Wartość pokarmowa ziarna owsa oplewionego (*Avena sativa* L.) i nagoziarnistego (*A. sativa* var. *nuda*). *Żywność. Nauka, Technologia, Jakość. Supl.*, 1 (18): 272 — 278.
- Nita Z. T. 1999. Stan aktualny i nowe kierunki hodowli owsa w Polsce. *Żywność. Nauka, Technologia, Jakość. Supl.* 1 (18): 186 — 192.
- Petkov K., Piech M., Łukaszewski Z., Kowieska A. 1999. Porównanie składu chemicznego i wartości pokarmowej owsa nieoplewionego i oplewionego. *Żywność. Nauka, Technologia, Jakość. Supl.* 1 (18): 253 — 259.
- Pizło H., Bobrecka-Jamro D., Tobisz-Salach R. 1999. Skład chemiczny nowych rodów owsa uprawianego w warunkach Beskidu Niskiego. *Żywność. Nauka, Technologia, Jakość. Supl.* 1 (18): 142 — 146.
- Schreiber U., Bilger W., Neubauer C. 1994. Chlorophyll fluorescence as a noninvasive indicator for rapid assessment of *in vivo* photosynthesis. In: *Ecophysiology of photosynthesis*. E. D. Schulze, M. M. Caldwell (eds.). *Ecol. Stud.* 100: 49 — 70.
- Sharma P. K., Anand P., Sankhalkar S., Shetye R. 1998. Photochemical and biochemical changes in wheat seedlings exposed to supplementary ultraviolet-B radiation. *Plant Sci.* 132: 21 — 30.
- Skórska E., 1999. The effect of UV-B radiation on the chlorophyll fluorescence parameters of the husked and the naked oat. *Acta Agrobot.* 52 (1–2): 149 — 152.
- Skórska E. 2000. Reakcja wybranych roślin uprawnych na promieniowanie UV-B. *Rozprawy nr 192. Akademia Rolnicza w Szczecinie*.
- Skórska E., Lewandowski R. 2002. Preliminary studies on susceptibility of selected varieties of oats to high UV-B radiation. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 481: 395 — 399.
- Sullivan J. H. 1997. Effects of increasing UV-B radiation and atmospheric CO₂ on photosynthesis and growth: implications for terrestrial ecosystems. *Plant Ecol.*, 128: 194 — 206.
- Tobiasz-Salach R., Bobrecka-Jamro D. 2002. Wpływ gęstości siewu na plonowanie owsa oplewionego i nagoziarnistego. *Fragm. Agronom.* 2 (74): 71 — 78.