

MAGDALENA RYBUS-ZAJĄC

Katedra Fizjologii Roślin
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

WPLYW ZWIĘKSZONEGO PROMIENIOWANIA UV-B NA POZIOM BARWNIKÓW CHLOROPLASTOWYCH I INTENSYWNOŚĆ FOTOSYNTEZY W SIEWKACH OGÓRKA

INFLUENCE OF ENHANCED UV-B RADIATION
ON THE CHLOROPLAST PIGMENTS AND PHOTOSYNTHESIS RATE
IN CUCUMBER SEEDLINGS

Streszczenie. Badano wpływ zwiększonego promieniowania UV-B (16 kJ/m^2 w ciągu doby) na poziom barwników chloroplastowych, intensywność fotosyntezy i wzrost siewek ogórka odmiany mieszańcowej 'Polan' F1 w dwu stadiach rozwojowych. W liścieniach pod wpływem zwiększonej radiacji poziom barwników chloroplastowych i intensywność fotosyntezy wzrastały w porównaniu z kontrolą. W liściach siewek 3-tygodniowych w warunkach stresowych stwierdzono sukcesywny spadek zawartości barwników, intensywności fotosyntezy oraz ograniczenie wzrostu.

Słowa kluczowe: barwniki chloroplastowe, *Cucumis sativus* L., fotosynteza, UV-B

Wstęp

Rośliny rosnące w warunkach naturalnych są narażone na działanie wielu niekorzystnych czynników środowiska. Jednym z nich jest promieniowanie ultrafioletowe, szczególnie w zakresie UV-B. Ilość promieniowania ultrafioletowego docierająca do powierzchni Ziemi sukcesywnie zwiększa się m.in. w wyniku zmniejszania się warstwy ozonowej w stratosferze. Obecny poziom UV-B na powierzchni Ziemi w sezonie uprawy to od 2 do 12 kJ/m^2 na dzień (EXECUTIVE SUMMARY... 2002).

Zwiększone promieniowanie UV ma często szkodliwy wpływ na morfologię, fizjologię i rozwój roślin (MCKENZIE i IN. 2007). Uszkodzenia będące następstwem zwiększonej radiacji dotyczą głównie systemu genetycznego rośliny (np. DNA), błon komór-

kowych i procesu fotosyntezy (HOLLÓSY 2002, KAKANI i IN. 2003). Zaburzenia związane z przebiegiem fotosyntezy obejmują m.in. zmniejszenie aktywności fotosystemu PSII, zmniejszenie aktywności RuBisCo, uszkodzenia tylakoidów chloroplastów, zmiany poziomu barwników chloroplastowych (FROHNMEYER i STAIGER 2003, ŻUK-GOŁA-SZEWSKA i IN. 2003). Skutkuje to zmianami w metabolizmie azotu i w produkcji biomasy oraz spowolnieniem wzrostu (JANSEN i IN. 1998). Niemniej jednak nasilenie uszkodzeń wywołanych stresem radiacyjnym zależy od gatunku rośliny i jej fazy rozwojowej, cech anatomiczno-morfologicznych, warunków środowiskowych, a także dawki i czasu oddziaływania UV-B (SALAMA i IN. 2011).

Ogórek jest rośliną bardzo wrażliwą na oddziaływanie czynników stresowych. Uprawiany w gruncie jest narażony na działanie m.in. zwiększonego promieniowania UV-B.

Celem niniejszej pracy była analiza poziomu barwników chloroplastowych oraz intensywności fotosyntezy w liścieniach i liściach ogórka odmiany mieszańcowej 'Polan' F1 w następstwie oddziaływania zwiększonego promieniowania ultrafioletowego w fazie intensywnego wzrostu. Dodatkowo oceniono wskaźniki wzrostu: świeżę i suchą masę roślin po wykształceniu liści.

Material i metody

Materiał doświadczalny stanowiły siewki ogórka odmiany mieszańcowej 'Polan' F1 rosnące w kontrolowanych warunkach wzrostu: temperatura – 25/18°C (dzień/noc), promieniowanie fotosyntetycznie czynne PAR – 14 h na dobę (PPFD 120 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$). Do oświetlania użyto lamp Philips 58 W/84. Natężenie PAR mierzono za pomocą fitofotometru FF-01 (Sonopan). Stres wprowadzono poprzez dodatkowe traktowanie 7- i 21-dniowych siewek promieniami UV-B za pomocą lamp Philips TL 20W/0.1 RS (maksimum emisji – 315 nm) o natężeniu 16 kJ/m^2 w ciągu doby (555 mW/m^2) przez 8 h na dobę, sukcesywnie przez dziewięć dni. Natężenie napromieniowania UV-B mierzono za pomocą radiometru VLX 3W. Dawka promieniowania UV-B zastosowana w doświadczeniu jest około 3-3,5 razy większa w porównaniu z mierzalnym promieniowaniem UV-B w słoneczny dzień. Do analiz pobierano liścienie, a w przypadku roślin 21-dniowych – drugi dobrze wykształcony liść. Kontrolę stanowiły siewki nie-traktowane promieniowaniem UV-B.

Oznaczenie poziomu barwników chloroplastowych wykonano według metodyki opisanej w pracy HISCOXA i ISRAELSTAMA (1979). Metoda pozwala na wyekstrahowanie barwników za pomocą sulfotlenku dwumetylu (DMSO) bez maceracji tkanki. Naważki (100 mg) traktowano 5 cm^3 DMSO i inkubowano w łaźni wodnej w temperaturze 65°C przez 60 min. W otrzymanym ekstrakcie oznaczono spektrofotometrycznie zawartość barwników przy odpowiedniej długości fali. Pomiar absorbancji ekstraktu wykonano przy fali o długości 470, 645 i 663 nm. Zawartość barwników wyliczono według wzorów ARNONA (1949) i podano w miligramach na 1 g świeżej masy. Każdy parametr stanowi średnią z pięciu powtórzeń.

Intensywność fotosyntezy netto oznaczano za pomocą analizatora CO_2 typu AirTECH 2500-P przeznaczonego do pomiarów stężenia CO_2 w układach zamkniętych.

Siewki (kontrolne i poddane wcześniejszemu działaniu UV-B) umieszczano w zamkniętej komorze szklanej na godzinę. Komora była oświetlana światłem fotosyntezy aktywnym. Odczytywano stężenie początkowe i końcowe CO₂ w atmosferze komory w celu oznaczenia ubytku gazu. Wynik wyrażano w miligramach CO₂ na 1 g świeżej masy na godzinę.

Oznaczenie świeżej i suchej masy. W celu oznaczenia świeżej masy ważono liście roślin 3-tygodniowych po 2, 7 i 9 dniach trwania stresu. Następnie umieszczano je w suszarce o temperaturze 60-70°C na 3 h. Po wysuszeniu i wystudzeniu ponownie je ważono, uzyskując wartość suchej masy.

Statystyka. Wykonano analizę wariancji ANOVA, wykazując za pomocą testu Tukeya istotne statystycznie różnice między kontrolą a stresem.

Wyniki

Zawartość chlorofilu *a* w liściach roślin kontrolnych na początku i na końcu doświadczenia była zbliżona, a w traktowanych UV-B zmieniała się od 1,71 do 1,45 jednostki i w porównaniu z kontrolą była większa w kolejnych dniach odpowiednio o: 24, 17, 10 i 4%. Zawartość chlorofilu *b* w liściach po napromienieniu UV-B była zbliżona do poziomu kontroli i mieściła się w przedziale od 0,40 do 0,33 jednostki. Po oszacowaniu sumarycznej zawartości chlorofilu w liściach roślin kontrolnych stwierdzono, że była ona dość stabilna. Po napromienieniu wykazano zwiększenie całkowitej ilości chlorofilu od drugiego do siódmego dnia trwania stresu odpowiednio o 20, 13 i 8%.

Zawartość karotenoidów w kontroli zmieniała się od wartości 4,07 do 4,52 jednostki, a w UV-B – od 4,19 do 5,43 jednostki odpowiednio w kolejnych dniach. Ilość karotenoidów w liściach traktowanych UV-B w porównaniu z kontrolą zwiększała się więc sukcesywnie w czasie trwania doświadczenia o 3, 9, 20 i 20% (tab. 1).

Intensywność fotosyntezy netto w liściach kontrolnych wynosiła: 2,66, 2,79, 3,02 i 2,89 jednostki odpowiednio w terminach oznaczeń, a w poddanych działaniu UV-B: 2,85, 2,81, 3,15 i 3,17 jednostki. Generalnie intensywność fotosyntezy w następstwie stresu utrzymywała się na stabilnym poziomie zbliżonym do kontroli (rys. 1 A).

W liściach roślin kontrolnych zawartość chlorofilu *a* zmieniała się w kolejnych dniach od wartości 1,99 do 1,89 jednostki, a w liściach roślin traktowanych UV-B – od 1,62 do 1,71 jednostki. Po traktowaniu UV-B zawartość chlorofilu *a* w porównaniu z kontrolą zmniejszała się. Koncentracja chlorofilu *b* w liściach po napromienieniu UV-B była również mniejsza niż w kontroli i zawierała się w przedziale od 0,37 do 0,40 jednostki. Zmiany ilości chlorofilu *a* i *b* wpłynęły na sumaryczną zawartość chlorofilu w liściach; stwierdzono zmniejszenie ilości barwników po potraktowaniu UV-B odpowiednio o 20, 12, 24 i 12% w porównaniu z kontrolą w kolejnych dniach doświadczenia.

Zawartość karotenoidów w liściach roślin kontrolnych zmieniała się od wartości 6,14 do 5,45 jednostki, a w liściach roślin traktowanych UV-B – od 5,50 do 5,63 jednostki. Ilość karotenoidów w liściach traktowanych UV-B w porównaniu z kontrolą zmniejszała się do siódmego dnia napromienienia o 10, 8 i 7%, jedynie w dziewiątym dniu odnotowano niewielki wzrost (tab. 2).

Tabela 1. Zawartość barwników chloroplastowych w liścieniach (mg/g ś.m.)
Table 1. Content of chloroplast pigments in cotyledons (mg/g f.w.)

Dni napromienienia Irradiation days	Kontrola – Control				UV-B			
	chlorofil chlorophyll			karotenoidy carotenoids	chlorofil chlorophyll			karotenoidy carotenoids
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a + b</i>		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a + b</i>	
2	1,38 (±0,08)	0,39 (±0,05)	1,76 (±0,13)	4,07 (±0,13)	1,71* (±0,15)	0,40 (±0,03)	2,12** (±0,17)	4,19* (±0,08)
5	1,46 (±0,17)	0,39 (±0,03)	1,86 (±0,20)	4,32 (±0,08)	1,71** (±0,1)	0,39 (±0,04)	2,11** (±0,08)	4,73** (±0,13)
7	1,26 (±0,04)	0,31 (±0,01)	1,58 (±0,03)	4,63 (±0,03)	1,39* (±0,16)	0,31 (±0,03)	1,70** (±0,05)	5,55** (±0,09)
9	1,39 (±0,06)	0,37 (±0,02)	1,76 (±0,05)	4,52 (±0,15)	1,45* (±0,03)	0,33 (±0,06)	1,77 (±0,03)	5,43** (±0,10)

*Różnice istotne ($\alpha < 0,05$). **Różnice wysoce istotne ($\alpha < 0,01$).

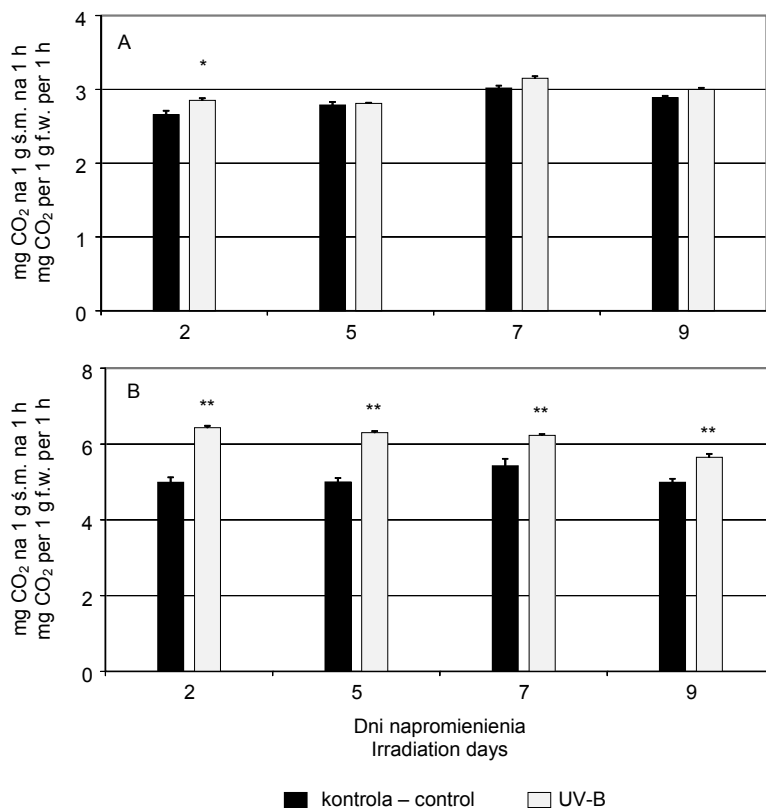
*Significant differences ($\alpha < 0.05$). **High significant differences ($\alpha < 0.01$).

Tabela 2. Zawartość barwników chloroplastowych w liściach (mg/g ś.m.)
Table 2. Content of chloroplast pigments in leaves (mg/g f.w.)

Dni napromienienia Irradiation days	Kontrola – Control				UV-B			
	chlorofil chlorophyll			karotenoidy carotenoids	chlorofil chlorophyll			karotenoidy carotenoids
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a + b</i>		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a + b</i>	
2	1,99 (±0,08)	0,50 (±0,05)	2,50 (±0,13)	6,14 (±0,13)	1,62* (±0,15)	0,37* (±0,03)	2,00** (±0,17)	5,5** (±0,08)
5	1,88 (±0,17)	0,48 (±0,03)	2,35 (±0,20)	6,23 (±0,08)	1,59** (±0,1)	0,41* (±0,04)	2,06** (±0,08)	5,74** (±0,13)
7	2,02 (±0,04)	0,53 (±0,01)	2,54 (±0,03)	6,27 (±0,03)	1,55** (±0,16)	0,38** (±0,03)	1,93** (±0,05)	5,85* (±0,09)
9	1,89 (±0,06)	0,51 (±0,02)	2,41 (±0,05)	5,45 (±0,15)	1,71* (±0,03)	0,40** (±0,06)	2,12* (±0,03)	5,63* (±0,10)

*Różnice istotne ($\alpha < 0,05$). **Różnice wysoce istotne ($\alpha < 0,01$).

*Significant differences ($\alpha < 0.05$). **High significant differences ($\alpha < 0.01$).



Rys. 1. Wpływ zwiększonego promieniowania UV-B na intensywność fotosyntezy netto ogórka: A – liścienie, B – liście
 Fig. 1. Effect of progressive UV-B radiation on netto photosynthesis rate in cucumber: A – cotyledons, B – leaves

Intensywność fotosyntezy w liściach kontrolnych wynosiła: 4,99, 5,00, 5,43 i 4,99 jednostki odpowiednio w terminach oznaczeń, a w liściach poddanych działaniu UV-B – 6,75, 5,50, 6,23 i 5,65 jednostki. Intensywność fotosyntezy w następstwie stresu była większa niż w kontroli o 35, 39, 14 i 13% odpowiednio w kolejnych terminach oznaczeń, lecz jednocześnie zmniejszała się w miarę trwania doświadczenia (rys. 1 B).

Wykazano również zahamowanie wzrostu liści w następstwie zwiększonej radiacji, co potwierdza wartość świeżej masy; przyrost masy w kontroli po 9 dniach wyniósł 1,057 g, a w liściach po napromienieniu UV-B jedynie 0,744 g (tab. 3). W przypadku suchej masy zaobserwowano zależność przeciwną: przyrost w liściach roślin kontrolnych był mniejszy i wyniósł 0,108 g, a w poddanych działaniu UV-B był większy i wyniósł 0,185 g (tab. 3).

Tabela 3. Świeża i sucha masa liści (g)
Table 3. Fresh and dry weight of leaves (g)

Dni napromienienia Irradiation days	Kontrola – Control		UV-B	
	świeża masa fresh weight	sucha masa dry weight	świeża masa fresh weight	sucha masa dry weight
2	0,890 ($\pm 0,050$)	0,081 ($\pm 0,001$)	1,016* ($\pm 0,012$)	0,100 ($\pm 0,005$)
7	1,542 ($\pm 0,130$)	0,173 ($\pm 0,020$)	1,695* ($\pm 0,180$)	0,292** ($\pm 0,017$)
9	1,947 ($\pm 0,110$)	0,189 ($\pm 0,010$)	1,760** ($\pm 0,060$)	0,285** ($\pm 0,020$)

*Różnice istotne ($\alpha < 0,05$). **Różnice wysoce istotne ($\alpha < 0,01$).

*Significant differences ($\alpha < 0.05$). **High significant differences ($\alpha < 0.01$).

Dyskusja

W badaniach prowadzonych na roślinach ogórka w fazie intensywnego wzrostu wegetatywnego stwierdzono, że w liściach poddanych działaniu zwiększonego promieniowania UV-B dochodzi do wzrostu zawartości chlorofilu i barwników karotenoidowych, natomiast w liściach obserwowano zmniejszenie ilości barwników. Zwiększenie ilości barwników pochłaniających promieniowanie świetlne u odmian uprawnych roślin wiąże się prawdopodobnie z ich zwiększoną tolerancją na stres spowodowany promieniowaniem UV-B (ROBAKOWSKI 1998, FROHNMEYER i STAIGER 2003) lub może być elementem adaptacji roślin do warunków zwiększonego promieniowania (ROBAKOWSKI i LAITAT 1999). Powyższy fakt stwierdzono wcześniej w badaniach własnych ogórka odmiany 'Dar', gdzie w liściach poddanych działaniu zwiększonego promieniowania UV-B dochodziło do wzrostu zawartości chlorofilu i barwników karotenoidowych (RYBUS-ZAJĄC 2009). U odmiany 'Dar' wykazano ponadto, iż zwiększone promieniowanie UV-B uruchamia w roślinach (liścienie i liście) mechanizmy obronne względem nadmiaru promieniowania ultrafioletowego związane z kumulacją związków fenolowych i zwiększoną aktywnością systemu antyoksydacyjnego (KUBIŚ i RYBUS-ZAJĄC 2008, RYBUS-ZAJĄC 2009, RYBUS-ZAJĄC i KUBIŚ 2010).

Wiadomo, iż zmiany poziomu barwników chloroplastowych są w dużej mierze zależne od samej rośliny: jej pochodzenia, zmienności genetycznej, wieku, możliwości adaptacyjnych, warunków środowiska (Salama i in. 2011). Zwiększenie zawartości barwników chloroplastowych w roślinach uprawnych w warunkach zwiększonej radiacji wykazali w swoich doświadczeniach DECKMYN i IMPENS (1998), POULSON i IN. (2006), SANGTARASH i IN. (2009), natomiast obniżenie poziomu barwników odnotowali SMITH i IN. (2000), COSTA i IN. (2002), GABERŇČIK i IN. (2002), QADERI i IN. (2007), MISHRA i IN. (2008). Nie stwierdzili istotnych różnic w poziomie barwników pod wpływem UV-B w przeprowadzonych eksperymentach BARSIG i MALZ (2000) oraz CECHIN i IN. (2007).

Zmiany intensywności fotosyntezy wykazały zbieżność z poziomem barwników chloroplastowych. Zwiększona radiacja nie ograniczała intensywności procesu w liścieniach. W warunkach zwiększonego promieniowania UV-B podstawą utrzymania proce-

su fotosyntezy na stabilnym poziomie w liściach mógł być prawdopodobnie podwyższony poziom karotenoidów, które pełnią funkcje ochronną wobec chlorofilu i są mniej wrażliwe na promieniowanie UV niż chlorofil (PFUNDEL i IN. 1992).

W liściach stwierdzono z kolei sukcesywne zmniejszanie się intensywności fotosyntezy w miarę wydłużania czasu ekspozycji na UV-B, co powodowało zahamowanie wzrostu blaszek liściowych. Wyniki badań wielu autorów wskazują na negatywny wpływ promieniowania UV-B na proces fotosyntezy, co może powodować zmniejszenie produkcji biomasy (TEVINI i IN. 1981, SMITH i IN. 2000, CORREIRA i IN. 2005, AGRAWAL i RATHORE 2007, HAN i IN. 2009). Pomimo ograniczenia przyrostu świeżej masy liści roślin w warunkach stresowych stwierdzono u nich jednocześnie większy przyrost suchej masy. Sugeruje to wystąpienie zaburzeń w eksporcie pierwotnych produktów fotosyntezy z liści, prowadzących do nadmiaru akumulacji skrobi asymilacyjnej.

Na podstawie uzyskanych wyników można wnioskować o większej odporności ogórka odmiany mieszańcowej 'Polan' F1 na napromienienie UV-B w fazie liścieni niż w fazie rozwoju liści. Może to być związane z podwyższonym poziomem barwników karotenoidowych w fazie liścieni, pełniących ochronną rolę w stosunku do chlorofilu i utrzymujących proces fotosyntezy w warunkach intensywnego promieniowania UV-B na stabilnym poziomie.

Wnioski

1. Zwiększona radiacja nie obniżała poziomu barwników chloroplastowych ani nie zmniejszała intensywności fotosyntezy w liściach. W liściach obserwowano powolny spadek poziomu barwników i intensywności fotosyntezy.

2. Stwierdzono zahamowanie wzrostu i jednocześnie wzrost ilości suchej masy siewek po wykształceniu liści w warunkach zwiększonej radiacji.

3. Uzyskane wyniki mogą wskazywać na zwiększoną odporność ogórka badanej odmiany na napromienienie UV-B jedynie w fazie liścieni.

Literatura

- AGRAWAL S.B., RATHORE D., 2007. Changes in oxidative stress defense system in wheat (*Triticum aestivum* L.) and mung bean (*Vigna radiata* L.) cultivars grown with and without mineral nutrients and irradiated by supplemental ultraviolet-B. *Environ. Exp. Bot.* 59: 21-33.
- ARNON D.J., 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiol.* 24: 1-15.
- BARSIG M., MALZ R., 2000. Fine structure, carbohydrates and photosynthetic pigments of sugar maize leaves under UV-B radiation. *Environ. Exp. Bot.* 43: 121-130.
- CECHIN I., FUMIS T.F., DOKKEDAL A.L., 2007. Growth and physiological responses of sunflower plants exposed to ultraviolet-B radiation. *Cienc. Rural.* 37: 85-90.
- CORREIRA C.M., MOUTINHO PEREIRA J.M., COUTINHO J.F., BJÖRN L.O., TORRES-PEREIRA J.M.G., 2005. Ultraviolet-B radiation and nitrogen affect the photosynthesis of maize: a Mediterranean field study. *Eur. J. Agron.* 22: 337-347.
- COSTA H., GALLEGOS S.M., TOMARO M.L., 2002. Effect of UV-B radiation on antioxidant defense system in sunflower cotyledons. *Plant Sci.* 162: 939-945.

- DECKMYN G., IMPENS I., 1998. Effects of solar UV-B irradiation on vegetative and generative growth of *Bromus catharticus*. Environ. Exp. Bot. 40: 179-185.
- EXECUTIVE SUMMARY. Final. UNEP/WMO "Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2002". Prepared by the Scientific Assessment Panel of the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer. Released by WMO/UNEP on 23 August 2002. 2002. UNEP, Nairobi.
- FROHNMEYER H., STAIGER D., 2003. Ultraviolet-B radiation-mediated responses in plants. Balancing damage and protection. Plant Physiol. 133: 1420-1428.
- GABERŇČIK A., VONČINA M., TROŇT T., GERM M., BJÖRN L.O., 2002. Growth and production of buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) treated with reduced, ambient and enhanced UV-B radiation. J. Photochem. Photobiol. B 66: 30-36.
- HAN C., LIU Q., YANG Y., 2009. Short-term effects of experimental warming and enhanced ultraviolet-B radiation on photosynthesis and antioxidant defense of *Picea asperata* seedlings. Plant Growth Regul. 58: 153-162.
- HISCOX J.D., ISRAELSTAM G.F., 1979. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. Can. J. Bot. 57: 1332-1334.
- HOLLÓSY F., 2002. Effects of ultraviolet radiation on plant cells. Micron 33: 179-197.
- JANSEN M.A.K., GABA V., GREENBERG B.M., 1998. Higher plants and UV-B radiation: balancing damage, repair and acclimation. Trends Plant Sci. 3: 131-135.
- KAKANI V.G., REDDY K.R., ZHAO D., SAILAJA K., 2003. Field crop responses to ultraviolet-B radiation: a review. Agric. For. Meteorol. 120: 191-218.
- KUBIŚ J., RYBUS-ZAJĄC M., 2008. Drought and enhanced UV-B radiation differentially alter the antioxidant system in cucumber leaves. Acta Biol. Crac. Ser. Bot. 50: 35-41.
- MCKENZIE R.L., AUCAMP P.J., BAIS A.F., BJÖRN L.O., ILYAS M., 2007. Changes in biologically-active ultraviolet radiation reaching the Earth's surface. Photochem. Photobiol. Sci. 6: 218-231.
- MISHRA V., SRIVASTAVA G., PRASAD S.M., ABRAHAM G., 2008. Growth, photosynthetic pigments and photosynthetic activity during seedling stage of cowpea (*Vigna unguiculata*) in response to UV-B and dimethoate. Pestic. Biochem. Physiol. 92: 30-37.
- PFUNDEL E.E., PAN R.S., DILLEY R.A., 1992. Inhibition of violaxanthin deep oxidation by ultraviolet-B radiation in isolated chloroplasts and intact leaves. J. Plant Physiol. 98: 1372-1380.
- POULSON M.E., BOEGER M.R.T., DONAHUE R.A., 2006. Response of photosynthesis to high light and drought for *Arabidopsis thaliana* grown under a UV-B enhanced light regime. Photosynth. Res. 90: 79-90.
- QADERI M.M., REID D.M., YEUNG E.C., 2007. Morphological and physiological responses of canola (*Brassica napus*) siliques and seeds to UV-B and CO₂ under controlled environment conditions. Environ. Exp. Bot. 60: 428-437.
- ROBAKOWSKI P., 1998. Wpływ promieniowania ultrafioletowego UV-B o podwyższonym natężeniu na rośliny. Kosmos 47: 95-105.
- ROBAKOWSKI P., LAITAT E., 1999. Effects of an enhanced ultraviolet-B irradiation on photosynthetic apparatus of several forest coniferous tree species from different locations. Acta Physiol. Plant. 21: 283-296.
- RYBUS-ZAJĄC M., 2009. Czy zwiększone promieniowanie UV-B modyfikuje poziom barwników chloroplastowych oraz związków fenolowych w siewkach ogórka. Nauka Przyr. Technol. 3, 3, #72.
- RYBUS-ZAJĄC M., KUBIŚ J., 2010. Effect of UV-B radiation on antioxidative enzymes activity in cucumber cotyledons. Acta Biol. Crac. Ser. Bot. 52: 97-102.
- SALAMA H.M.H., AL WATBAN A.A., AL-FUGHOM A.T., 2011. Effect of ultraviolet radiation on chlorophyll, carotenoid, protein and proline contents of some annual desert plants. Saudi J. Biol. Sci. 18: 79-86.

Rybus-Zajac M., 2012. Wpływ zwiększonego promieniowania UV-B na poziom barwników chloroplastowych i intensywność fotosyntezy w siewkach ogórka. *Nauka Przyr. Technol.* 6, 3, #47.

- SANGTARASH M.H., QADERI M.M., CHINNAPPA C.C., REID D.M., 2009. Differential sensitivity of canola (*Brassica napus*) seedlings to ultraviolet-B radiation, water stress and abscisic acid. *Environ. Exp. Bot.* 66: 212-219.
- SMITH J., BURRITT D., BANNISTER P., 2000. Shoot dry weight, chlorophyll and UV-B absorbing compounds as indicators of a plant's sensitivity to UV-B radiation. *Ann. Bot.* 86: 1057-1063.
- TEVINI M., IVANZIK W., THOMA U., 1981. Some effects of enhanced UV-B irradiation on the growth and composition of plants. *Planta* 153: 388-394.
- ŻUK-GOŁASZEWSKA K., UPADHYAYA M.K., GOŁASZEWSKI J., 2003. The effect of UV-B radiation on plant growth and development. *Plant Soil Environ.* 43: 153-140.

INFLUENCE OF ENHANCED UV-B RADIATION ON THE CHLOROPLAST PIGMENTS AND PHOTOSYNTHESIS RATE IN CUCUMBER SEEDLINGS

Summary. The effect of increased UV-B radiation (16 kJ/m² per day) on the level of chloroplast pigments and rate of photosynthesis and growth of seedlings of cucumber in two stages was examined. In the cotyledons subjected to UV-B radiation content of chloroplast pigments and photosynthesis rate was higher than in controls. In the leaves of 3-week-old seedlings increased UV-B radiation limited chloroplast pigments level, intensity photosynthesis and growth.

Key words: chloroplast pigments, *Cucumis sativus* L., photosynthesis, UV-B

Adres do korespondencji – Corresponding address:

Magdalena Rybus-Zajac, Katedra Fizjologii Roślin, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Wołyńska 35, 60-637 Poznań, Poland, e-mail: magrybus@up.poznan.pl

Zaakceptowano do druku – Accepted for print:
15.02.2012

Do cytowania – For citation:

Rybus-Zajac M., 2012. Wpływ zwiększonego promieniowania UV-B na poziom barwników chloroplastowych i intensywność fotosyntezy w siewkach ogórka. *Nauka Przyr. Technol.* 6, 3, #47.