

## **Promieniowanie UV-B a wzrost i rozwój roślin zielnych**

*Krystyna Żuk-Golaszewska*

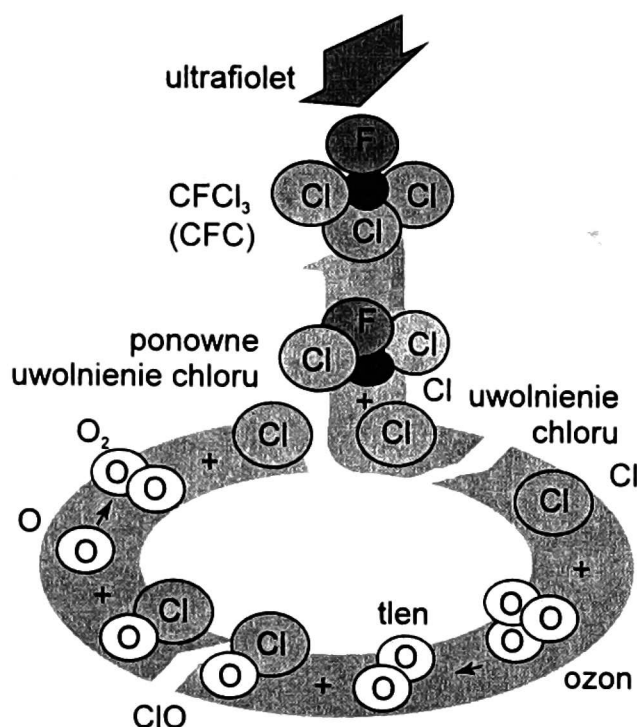
*Katedra Produkcji Roślinnej, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski  
ul. Oczapowskiego 8, 10-718 Olsztyn  
email: kzg@moskit.uwm.edu.pl*

**Słowa kluczowe:** promieniowanie UV-B, rośliny uprawne

### **Wstęp**

Powszechnie znane są dwa źródła promieniowania, pierwszym z nich jest słońce (naturalne źródło), drugim zaś różnego rodzaju lampy skonstruowane przez człowieka. Mogą one emitować promieniowanie ultrafioletowe, którego zakres i dawki są modyfikowane i wyznaczone w zależności od potrzeb. Rozwój cywilizacji spowodował zmniejszenie warstwy ozonowej w atmosferze, która stanowi naturalną ochronę przed emitowanym przez słońce promieniowaniem ultrafioletowym, niekorzystnym zarówno dla ludzi, zwierząt, jak i roślin. Dramatyczne nasilenie w latach osiemdziesiątych tendencji spadkowej zawartości ozonu w atmosferze z groźną „dziurą ozonową” nad biegunem południowym doprowadziło do porozumienia międzynarodowego. W 1985 roku uchwalono konwencję o ochronie warstwy ozonowej. W 1987 roku w ramach tzw. porozumienia montrealskiego podjęto decyzję o stopniowym ograniczaniu emisji substancji odpowiedzialnych za zanik ozonu. Polska podpisała te porozumienia w roku 1990. W Polsce od 1963 roku Obserwatorium Geofizyczne PAN w Belsku prowadzi pomiar całkowitej zawartości ozonu w atmosferze. Od 1979 roku w Ośrodku Aerologii Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Legionowie wykorzystuje się pomiary rozkładu pionowego ozonu do wysokości 35 kilometrów. Wyniki tych pomiarów są przekazywane do Światowego Centrum Danych Ozonowych w Toronto i są uwzględniane w analizach globalnych i regionalnych [20].

Ultrafiolet (UV) obejmuje zakres promieniowania o długości 250–400 nm, podzielony na pasma UV-A (320–400 nm), UV-B (280–320 nm) i UV-C (250–280 nm). W naturalnych warunkach UV w sumarycznej radiacji dochodzi do kilku procent. Najbardziej szkodliwe jest napromieniowanie UV-C (250–280 nm), które jest foto-



Rysunek 1. Rozpad ozonu wg Krzywańskiej za Degórską i Rajewską-Więch [10]

biologicznie niszczące. Od początku lat siedemdziesiątych obserwowany jest znaczny wzrost promieniowania UV-B docierającego do powierzchni ziemi, który jest związany ze spadkiem ilości ozonu w stratosferze (rys. 1), pochłaniającego w największym stopniu ten zakres promieniowania [Larcher 1980 cyt. za Starck i in. 39].

Słoneczne promieniowanie nadfioletowe w zakresie długości fali 280–320 nm, zwane promieniowaniem UV-B, wywiera pozytywny i negatywny wpływ na świat biologiczny, w tym także na człowieka. Do pozytywnych zjawisk wywołanych promieniowaniem UV-B należy m in. tworzenie się w skórze witaminy D. Negatywnych skutków jest znacznie więcej. Są to oparzenia, starzenie się skóry, rak skóry, katarakta oczu oraz obniżenie odporności organizmu na różne choroby [1].

Fakt, że pewien zakres promieniowania UV jest zabójczy dla wielu mikroorganizmów wykorzystano praktycznie do dezynfekcji powietrza w laboratoriach mikrobiologicznych, szpitalach, w produkcji grzybni pieczarek, a także do dezynfekcji wody pitnej. W tym celu wykorzystuje się specjalne lampy ultrafioletowe umieszczone w szczelnych, stalowych osłonach. Promieniowanie UV wykorzystano w hydroponicznych uprawach warzyw prowadzonych według technologii NFT (nutrient film technique) opartej na ciągłym przepływie pożywki. Jednakże w hydroponicznym systemie produkcji warzyw jest niebezpieczeństwo infekcji uprawy chorobami, które wniesione przez rośliny do obiegu pożywki mogą rozprzestrzeniać się na całą uprawę. Ponadto stosowanie chemicznych środków ochrony roślin niesie ryzyko gromadzenia się w warzywach pozostałości preparatów. W takiej sytuacji stosowanie promieniowania UV umożliwia rozwiązanie obu tych problemów. Jak podał Babik [1], najwyższą skuteczność w zwalczaniu szkodliwej mikroflory wykazuje promieniowanie UV wynoszące 254 nm.

## Wpływ UV-B na wzrost i rozwój roślin

Gatunki roślin uprawnych różnią się stopniem reakcji na poziom promieniowania UV-B [32, 39, 41]. Jednoliścienne gatunki są mniej wrażliwe na działanie promieniowania niż gatunki roślin dwuliściennych. Sprzyja temu pionowe ułożenie liści, ochronne działanie podstawy pochwy liściowej i zakryty merystem szczytowy [6]. W badaniach Furness i in. [12] pionowa orientacja liści u kozibroda łąkowego (*Tragopogon pratensis*) pełniła rolę ochronną przed promieniowaniem. Z kolei pokrój rozetowy liści i ekspozycja na promieniowanie wierzchołków pędów powodowały większą wrażliwość na UV-B u ostrzenia pospolitego (*Cynoglossum officinale* L.).

W badaniach Granta [14] względne dawki promieniowania oddziałujące na powierzchnię liści soi (*Glicine max* L.) zależały od kąta nachylenia liści względem słońca i umiejscowienia liści na roślinie. Bardziej tolerancyjne na promieniowanie okazały się liście szczytowe. Wynika to częściowo z reakcji heliotropowej liści i ostatecznie z redukcji promieniowania UV-B.

Różnicowanie roślin w kolejnych stadiach rozwojowych i reakcja cech morfologicznych na zwiększone UV-B może wzmacniać efekty konkurencyjności między gatunkami rosnących roślin [12, 29]. W badaniach Matthew i in. [29] nad wpływem promieniowania na wzrost i rozwój koniczyny białej (*Trifolium repens* L.) i rajgrasu (*Arrhenatherum elatius* L.), które prowadzono pod osłonami w różnym stopniu pochłaniającymi promienie UV-B, wykazano, że promieniowanie UV-B pod osłonami redukowało sezonową dominację koniczyny w siewie z rajgrasem w porównaniu z roślinami kontrolnymi rosnącymi bez osłon. Pod wpływem promieniowania nastąpiła 5-procentowa redukcja długości liści na dojrzałych źdźbłach rajgrasu, u młodych roślin zaś redukcja ta wynosiła 25%. Natomiast u koniczyny białej nastąpiła redukcja ogonka liściowego i powierzchni liści. Zmiany w morfologii i pokroju roślin wpłynęły na różną konkurencyjność roślin o światło [2].

W badaniach Żuk-Gołaszewskiej i in. [45] wykazano że rośliny owsa głuchego (*Avena fatua* L.) i włośnicy zielonej (*Setaria viridis* L.) wyraźnie różniły się w porównaniu z warunkami kontrolnymi (panujące promieniowanie na polu) wysokością roślin, świeżą masą liści i korzeni oraz LAR i LAI. Zawartość chlorofilu w liściach istotnie obniżała się na obiektach z najwyższym poziomem promieniowania zastosowanym w doświadczeniu ( $12 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  UV-B).

Promieniowanie UV-B oddziaływało negatywnie na strukturę błon biologicznych chloroplastów, powodowało inhibicję procesu fotosyntezy, spowalniało wzrost i obniżało plony roślin uprawnych [16].

Możliwe negatywne skutki promieniowania odnoszące się do zmian w morfologii roślin i wpływu na fotosyntezę polegały głównie na redukcji długości i powierzchni liścia, zwiększaniu liczby dodatkowych rozgałęzień i zwijaniu się liści [7, 12, 15, 22, 45]. Z biochemicznego i fizjologicznego punktu widzenia uszkodzenia dotyczyły DNA [19], białek [45], membran [30] oraz aparatu fotosyntetycznego roślin [11, 15,



27, 36, 37]. W badaniach Skórskiej [35] już krótkotrwałe napromieniowanie UV-B oddziaływało na pierwotne reakcje fotosyntezy zachodzące w liściach rzepaku (*Brassica napus* L.). Badaniom poddano liście czterotygodniowych roślin rzepaku odmiany Lirajet i tranzynoodpornego rodu PIV-5972/2/89. W wyniku promieniowania UV-B fotosynteza netto uległa obniżeniu o 25% w porównaniu z warunkami kontrolnymi (pełne nawożenie roślin siarką, fosforem i potasem) oraz o 50% przy niedoborze tych składników [37]. Z dwu badanych odmian rzepaku liście linii tranzynoodpornej wykazały większą tolerancję na zastosowaną dawkę UV-B, co skutkowało ogólnie mniejszą sprawnością aparatu fotosyntetycznego. Rośliny uprawne, takie jak groch (*Pisum sativum* L.), ogórek (*Cucumis sativus* L.), wykazały znacznie mniejszą tolerancję na zastosowaną dawkę UV-B [36].

W badaniach Weih i in. [44] analizowano wpływ nawożenia roślin azotem w warunkach wysokiego promieniowania UV-B. Wykazano wyraźne obniżenie względnego wskaźnika rozwoju roślin odzwierciedlającego relację między powierzchnią liściową, produktywnością powierzchni liściowej oraz produktywnością azotu w liściach.

Bornman i Teramura [4] stwierdzili, że promieniowanie UV-B w warunkach deficytu fosforu u soi powodowało zarówno zwiększenie biomasy roślin, obniżenie fotosyntezy netto, wzrost grubości liści, jak i zmniejszenie wrażliwości niektórych roślin na promieniowanie, co przypisują zwiększonej koncentracji flawonoidów oraz zwiększonej grubości liści roślin rosnących przy niedoborze fosforu.

Zmiany aktywności fotosyntetycznej roślin wskutek radiacji obserwowali Cen i Bornman [5] u fasoli (*Phaseolus vulgaris* L.) oraz Deckmyn i Impens [8] oraz Deckmyn i in. [9] u żyta (*Secale cereale* L.) Z kolei Dai i in. [7] na podstawie wyników badań polegających na traktowaniu promieniami UV-B liści ryżu (*Oryza sativa* L.) odmian wrażliwych przez dwa tygodnie nie miało wpływu na zmiany powierzchni liściowej oraz suchej masy roślin, ale obserwowano redukcję ilości otwieranych szparek oddechowych. Po pięciu tygodniach napromieniowania roślin w szklarni powierzchnia liści i sucha masa odmian wrażliwych była już istotnie zredukowana. Stwierdzono ponadto, że różnice w suchej masie roślin ryżu prowadzonych w warunkach kontrolnych i napromieniowanych były istotnie skorelowane z liczbą otwartych szparek oddechowych oraz gęstością ich rozmieszczenia na powierzchni liścia.

Bielecki [3] przedstawił skutki naświetlenia promieniami UV-B rozsady pomidorów (*Lycopersicon esculentum* L.). Uszkodzeniu uległy rośliny w promieniu około 10 metrów od źródła promieniowania. Wykazano różny stopień uszkodzeń w zależności od odległości od źródła promieniowania i stopnia zacienienia przez inne rośliny lub elementy konstrukcji. Rośliny znajdujące się blisko źródła promieniowania i bezpośrednio pod nim zostały silnie poparzone i zamary niemal całkowicie. Im dalej od źródła promieniowania znajdowały się rośliny, tym mniejsze były uszkodzenia; nekrozy obejmowały fragmenty blaszki liściowej wystawione bezpośrednio na działanie promieniowania. Rośliny usytuowane jeszcze dalej uległy lekkiemu poparzeniu tylko w niektórych miejscach blaszki liściowej. Obserwowano również lekkie

zbrązowienie łodyg od strony źródła promieniowania. Rośliny znajdujące się niedaleko (na granicy oddziaływania) miały lekko pofałdowane blaszki liściowe i wyglądały zdrowo. Zmiany chorobowe stwierdzono porównując je z roślinami zdrowymi.

Promieniowanie ultrafioletowe, powodując zmiany morforlogiczne warzyw, ziół i roślin ozdobnych, wpływa na ich wartość gospodarczą [17, 25, 28, 34]. Badania prowadzone przez Robakowskiego [32] wykazały, że promieniowanie powodowało zmiany zawartości barwnika w liściach krzewów leśnych borówki czernicy (*Vaccinium myrtillus* L.) i borówki brusznicy (*Vaccinium vitis-idaea* L.). Według Hoffmana [17], u kwiatów i roślin dekoracyjnych wysokie dawki promieniowania UV-B mogą powodować zmiany zarówno korzystne, jak i niekorzystne. Wysoki poziom promieniowania UV-B u chryzantem (*Chrysanthemum indicum* L.) powodował obniżenie zawartości chlorofilu i ujawnienie się żółtego pigmentu u zielono-żółtych odmian i czerwonego u zielono-czerwonych odmian. Degradacja chlorofilu w tym konkretnym wypadku nie wpływała na pogorszenie jakości roślin ozdobnych.

Zbyt wysoka zawartość antocyjanin, wywołana zwiększonym promieniowaniem, może negatywnie wpływać na wzrost roślin, szczególnie we wczesnych etapach rozwoju. Singh [34] stwierdził, że pod wpływem promieniowania odpowiadającego 15-procentowej redukcji ozonu zawartość witaminy C u trzech gatunków roślin strączkowych istotnie się obniżyła. Z kolei Malanga i in. [28] wykazali, że pod wpływem krótkotrwałego (1–2 h) napromieniowania obniżał się poziom witaminy C u wodorostów (*Chlorella vulgaris* BEY.), ale nie w liściach soi (*Glycine max* L.). W badaniach Rao i Ormrod [31] napromieniowanie UV-B powodowało obniżenie ilości kwasu askorbinowego, podczas gdy w badaniach Takeuchiego i in. [42] z ogórkiem nie wystąpiły żadne zmiany w porównaniu z typowym poziomem witaminy C.

Rośliny broniły się przed promieniowaniem poprzez wzmożoną syntezę flawonoidów, furanokumaryn, związków fenolowych oraz związków, które pochłaniały szkodliwe promieniowanie [21, 38, 43]. W badaniach Lynch [21] stres radiacyjny, jakiemu zostały poddane liście kapusty (*Brassica oleracea* L.), spowodował wzrost zawartości związków fenolowych absorbujących promieniowanie. W liściach ruty (*Ruta graveolens* L.) poddanych promieniowaniu nastąpił wzrost furanokumaryn, które umiejscowione na powierzchni kutykuli działały jako czynnik absorbujący promieniowanie ultrafioletowe [13].

## Promieniowanie UV-B a zmiany fizjologiczno-biochemiczne roślin

Mało jest informacji na temat, w jaki sposób promieniowanie UV-B działa na rośliny użytkowe, a szczególnie, jakie mechanizmy obronne wytwarzają te rośliny.

Potencjalny wpływ światła UV-B na procesy metaboliczne i rozwój roślin jest bardzo różnorodny [2, 6, 9, 12, 15, 16, 26, 37, 39]. W badaniach Skórskiej [35] oraz Skórskiej i Murkowskiego [37] nad wpływem napromieniowania UV-B liści rzepaku

(*Brassica napus* var. *oleifera*) stwierdzono obniżenie sprawności pierwotnych reakcji fotosyntezy. Zmiany te miały charakter nieodwracalny. Na podobne zależności zwrócił uwagę Bielecki [3]. Promieniowanie UV oddziałuje silniej na rośliny uprawiane w szklarniach bardzo wczesną wiosną lub późną jesienią aniżeli latem. Epiderma liści jest cieńsza, rośliny są bardzo delikatne i bardziej wrażliwe na działanie UV. Większa wrażliwość może być wynikiem morfologicznych i fizjologicznych cech roślin cieniulubnych. Obok zmian makroskopowych należy się liczyć również ze zmianami wewnątrz komórek rośliny, ponieważ promieniowanie, nawet najslabsze, nie jest dla rośliny obojętne. Chociaż nie wiadomo dokładnie, w jaki sposób promieniowanie UV-B indukowało zmiany komórkowe, to wiadomo, że specyficzna reakcja aktywności genów oraz czynniki środowiskowe determinowały reakcję roślin na to promieniowanie [24]. Interesujące badania w tym zakresie przeprowadzili Steel i Keller [40] oraz Rogiers [33]. Wykazano, że promieniowanie UV-B nie miało wyraźnego wpływu na zawartość chlorofilu i wymianę gazową w roślinie, ale spowodowało efektywniejszą gospodarkę wodną mierzoną stosunkiem fotosyntezy do transpiracji [33]. Wyniki tych badań związane z zawartością karotenoidów i flawonoidów w komórkach liści dowiodły, że koncentracja tych związków w warunkach promieniowania UV-B wzrastała. Badania te ściśle korespondują z badaniami Hopkinsa i in. [14]. Promieniowanie UV-B redukowało indeks mitotyczny, czyli proporcję komórek aktywnych mitotycznie, wydłużało czas podziałów komórkowych, a także powodowało szybsze starzenie się komórek liści w porównaniu z komórkami liścia flagowego pszenicy (*Triticum aestivum* L. cv. Maris Huntsman) pochodzących z obiektu kontrolnego.

Jordan [23] w badaniach nad zmianami w komórkach na poziomie molekularnym wykazał, że DNA było bardzo wrażliwe na wysokie promieniowanie UV-B, przy czym w porównaniu z innym kwasem nukleinowym – RNA, zmiany DNA wywołane promieniowaniem były w większym stopniu niwelowane przez mechanizmy naprawcze rośliny. Podstawowe uszkodzenia DNA były związane z formowaniem fotoproduktów DNA, takich jak CPD (cyclobutane-type pyrimidine dimers) oraz rozrywaniem pasm DNA.

Istnieją mechanizmy naprawcze roślin zabezpieczające roślinę przed szkodliwym promieniowaniem UV-B, takie jak fitoreaktywacja, będąca procesem enzymatycznym powodującym rozszczepianie dimerów. Działa tutaj enzym fotoliaza, który wykorzystuje energię światła. Inne możliwości naprawy DNA to wycinanie i naprawa poreplikacyjna. Jednak w bardzo wysokich dawkach promieniowania mechanizmy te nie działają [3].

## Podsumowanie

---

Rozwój cywilizacyjny świata spowodował zmniejszenie warstwy ozonowej, a przez to zwiększenie szkodliwego promieniowania ultrafioletowego UV-B. Problemem tym zajmuje się obecnie coraz większe grono badaczy, którzy analizują wpływ promieniowania UV-B na różne gatunki roślin zarówno z punktu widzenia zmian w skali mikro, na poziomie molekularnym, zmian fizjologicznych, biochemicznych,



morfologicznych, jak i konsekwencji gospodarczych. W świetle przedstawionej literatury, odnoszącej się przede wszystkim do roślin zielnych, problem promieniowania UV-B jest wciąż otwarty. Wyniki przeprowadzonych badań nie zawsze są jednoznaczne, a formułowane wnioski trudno uogólnić, bowiem odnoszą się one przede wszystkim do konkretnych doświadczeń. Dlatego też, z uwagi na specyficzną reakcję różnych gatunków roślin, analiza wpływu promieniowania UV-B na szerokie spektrum roślin wydaje się być uzasadniona. Inna będzie zwykle reakcja roślin dziko rosnących, inna zaś roślin użytkowych. Z dotychczasowych badań wynika, że rośliny cechuje różna wrażliwość na promieniowanie UV-B, stopień wywołanych zmian zaś u niektórych gatunków może być w pewnym stopniu neutralizowany przez swoiste mechanizmy obronne roślin. Należy przypuszczać, że nagromadzenie wyników wielu badań nad promieniowaniem UV-B przyczyni się do lepszego rozumienia tego problemu w kontekście potencjalnego zagrożenia dla świata roślin.

## Literatura

---

- [1] Babik J. 1995. Promieniowanie UV w ogrodnictwie. *Owoce* 1: 10–11.
- [2] Barnes P.W., Jordan P.W., Flint W.G., Caldwell M.M. 1988. Competition, morphology and canopy structure in wheat (*Triticum aestivum* L.) and wild oat (*Avena fatua* L.) exposed to enhanced ultraviolet-B radiation. *Funct. Ecol.* 2: 391–330.
- [3] Bielecki K. 1993. Wpływ promieniowania UV na procesy metaboliczne roślin. *Ochr. Rośl.* 11: 11–12.
- [4] Bornman J., Teramura A.H. 1993. Effects of ultraviolet-B radiation on terrestrial plants. W: Environmental UV photobiology, red. A.R. Young et al., Plenum Press, New York, 14: 427–477.
- [5] Cen Y., Bornman J.P. 1990. The response of bean plants to UV-B radiation under different irradiances of background visible light. *J. Exp. Bot.* 41(232): 1489–1495.
- [6] Cline M.C., Salisbury F.B. 1966. Effects of ultraviolet radiation on the leaves of higher plants. *Radiat. Bot.* 6: 151–166.
- [7] Dai Q., Peng S., Chavez A.Q., Vergara B.S. 1995. Effects of UVB radiation on stomatal density and opening in rice (*Oryza sativa* L.). *Ann. Bot.* 76(1): 65–70.
- [8] Deckmyn G., Impens I. 1997. The ratio UV-B photosynthetically active radiation (PAR) determines the sensitivity of rye to increased UV-B radiation. *Environ. Exp. Bot.* 37(1): 3–12.
- [9] Deckmyn G., Impens I., Rozema J. 1997. Combined effects of enhanced UV-B radiation and nitrogen deficiency on the growth, composition and photosynthesis of rye (*Secale cereale*) UV-B. *Plant. Ecol.* 128(1–2): 235–240.
- [10] Degórska D., Rajewska-Więch B. 1992. Dziura ozonowa – zagrożenie czy przestroga? *Przyr. Pol.* 6: 12–13.
- [11] DeLong J.M., Steffen K.L. 1997. Photosynthetic function, lipid peroxidation, and  $\alpha$ -tocopherol content in spinach leaves during exposure to UV-b radiation. *Can. J. Plant Sci.* 77(3): 435–459.

- [12] Furness N., Upadhyaya M.K., Ormrod D.P. 1999. Seedling growth and leaf surface morphological responses of three rangeland weeds to ultraviolet-B radiation. *Weed Science* 47(4): 427–434.
- [13] Głowiak K., Wierzchowska-Renke K., Kozyra M., Zobel A.M. 1996. Wpływ promienienia UV na zawartość i lokalizację furanokumaryn w ziele *Ruta graveolens* L. *Herba Pol.* 42(4): 303–308.
- [14] Grant R.H. 1999. Ultraviolet-B and photosynthetically active radiation environment of inclined leaf surface in a maize canopy and implications for modelling. *Agricult. Forest. Meteorolog.* 95(3): 187–201.
- [15] Greenberg B.M., Wilson M.I., Huang X-D., Duxbury C.L., Gerhaddt K.E., Gensemer R.W. 1997. The effects of ultraviolet-B radiation on higher plants. W: *Plants for Environmental Studies*. Wang W., Goursuch J., Hughes J.S., red. Lewis Publishers (CRC Press), Boca Raton, FL: 1–35.
- [16] Gumiński S. 1990. O wpływie światła niebieskiego i nadfioletowego na zjawiska morfogeniczne i niektóre metaboliczne u roślin. *Wiad. Bot.* 34(3): 5–13.
- [17] Hoffman S. 1999. Die Wirkung von UV-Strahlung auf Blatt-und Blütenfarbe von Zierpflanzen. *Gartenbauwissenschaft* 64(2): 88–90.
- [18] Hopkins L., Bond M.A., Tobin A.K. 2002. Ultraviolet-B radiation reduces the rates of cell division and elongation in the primary leaf of wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Maris Huntsman). *Plant Cell Environ.* 25(5): 617–624.
- [19] Landry L.G., Stapleton A.E., Lim J., Hoffman P., Hays J.B., Walbot V., Last R.L. 1997. An *Arabidopsis* photolyase mutant is hypersensitive to ultraviolet-B radiation. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 94: 328–332.
- [20] Lityńska Z. 1992. Problem zaniku warstwy ozonowej. *Gaz. Obs.* 15: 5.
- [21] Lynch J.M., Wierzchowska-Renke K., Zobel A.M. 1996. Short-term and long-term influence of UV-A radiation on *Brassica oleracea* L. *Herba Pol.* 42(4): 248–251.
- [22] Jansen M. 2002. Ultraviolet-B radiation effects of plants: induction of morphogenic responses. *Physiol. Plant.* 116(3): 423–442.
- [23] Jordan B. 1996. The effects of ultraviolet-B radiation on plants. A molecular perspective. *Adv. in Bot. Res.* 22: 98–162.
- [24] Jordan B. 2002. Molecular responses of plant cells to UV-B radiation. Source [www.niwa.cri.nz/rc/atoms/uvconference/Jordan.html](http://www.niwa.cri.nz/rc/atoms/uvconference/Jordan.html)
- [25] Krizek D.T., Britz S.J., Mirecki R.M. 1998. Inhibitory effects of ambient levels of solar UV-A and UV-B radiation on growth of cv. New Red Fire lettuce. *Physiol. Plant.* 103: 1–7.
- [26] Krupa S.V., Kickert R.N. 1989. The greenhouse effect: Impacts of ultraviolet-B (UV-B) radiation, carbon dioxide (O<sub>3</sub>) on vegetation. *Environ. Pollut.* 61: 263–393.
- [27] Mackernes S.A.H., Surplus S.L., Jordan B.R., Thomas B. 1998. Effects of supplementary ultraviolet-B radiation on photosynthetic transcripts at different stages of leaf development and light levels in pea (*Pisum sativum* L.): role of active oxygen species and antioxidant enzymes. *Photochem. and Photobiol.* 68(1): 88–96.
- [28] Malanga G.A., Garrison W.J., Puntarulo S. 1999. N-Acetylcysteine-dependent protection against UV-B damage in two photosynthetic organisms. *Plant Sci.* 141: 129–137.



- [29] Matthew C., Hoffmann A., Rapson G.L., McKenzie R.L., Kemp P.D., Osborne M.A. 1996. Growth of ryegrass and white clover under canopies with contrasting transmission of ultraviolet-B radiation. *Proc. Ann. Conf. Agron. Soc. New Zeal.* 26: 23–30.
- [30] Murphy T.M. 1983. Membranes as targets of ultraviolet radiation. *Physiol. Plant.* 58: 381–388.
- [31] Rao M.V., Ormrod D.P. 1995. Ozone exposure decreases UV-B sensitivity in a UV-B sensitive flavonoid mutant of *Arabidopsis*. *Photochem. and Photobiol.* 61: 71–78.
- [32] Robakowski P. 1999. Impact of ultraviolet-B radiation on two species of forest dwarf shrubs: bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) i cowberry (*Vaccinium vitis-idaea* L.). *Pol. J. Ecol.* 47(1): 3–13.
- [33] Rogiers S. 2002. UV-B effects on grapevines. Source [www.csu.edu.au/nwgic/pages/research/grape\\_winequality.htm](http://www.csu.edu.au/nwgic/pages/research/grape_winequality.htm)
- [34] Singh A. 1996. Growth, physiological and biochemical responses of three tropical legumes to enhanced UV-B radiation. *Can. J. Bot.* 74:135–139.
- [35] Skórska E. 1996. Reakcja rzepaku na promieniowanie ultrafioletowe UV-B. *Rośl. Oleiste.* 17: 287–282.
- [36] Skórska E. 1996. Changes induced by short-term ultraviolet (UV-B) radiation on photosynthetic activities in pea and rape leaves. *Folia Histochem. Cytobiol.* 34(2): 44.
- [37] Skórska E., Murkowski A. 1997. Wpływ napromieniowania UV-B na fotosyntezę liści rzepaku. *Rośl. Oleiste* 18: 112–118.
- [38] Skórska E. 2000. The effect of ultraviolet-B radiation on triticales plants. *Folia Univ. Agricult. Stetin.* 206(82): 249–254.
- [39] Starck Z., Chołuj D., Niemyska B. 1995. Fizjologiczne reakcje roślin na niekorzystne czynniki środowiska. Wydaw. SGGW Warszawa: 116 ss.
- [40] Steel C., Keller M. 2000. Influence of UV-B irradiation on the carotenoid content of vitis vinifera tissues. *Biochem. Soc.* 28(6): 883–885.
- [41] Strid A., Chow W.S., Anderson J.M. 1994. UV-B damage and protection at the molecular level in plants. *Photosynth. Res.* 39: 463–473.
- [42] Takeuchi Y., Kubo H., Kasahara H., Sakaki T. 1996. Adaptive alterations in the activities of scavengers of active oxygen in cucumber cotyledons irradiated with UV-B. *J. Plant Physiol.* 147: 589–592.
- [43] Teramura A.H., Sullivan J.H. 1994. Effects of UV-B radiation on photosynthesis and growth of terrestrial plants. *Photosynth. Res.* 39: 463–473.
- [44] Weih M., Johanson U., Gwynn-Jones D. 1998. Growth and nitrogen utilization in seedlings of mountain birch (*Betula pubescens* ssp. *tortuosa*) as affected by ultraviolet radiation (UV-A and UV-B) under laboratory and outdoor conditions. *Trees: Struct. Funct.* 12(4): 201–204.
- [45] Żuk-Gołaszewska K., Upadhyaya M.K., Gołaszewski J. 2003. The effect of UV-B radiation on plant growth and development. *Plant Soil Environ.* 49(3):135–140.

## **Impact of ultraviolet-B radiation on growth and development of the plants – literature review**

---

**Key words:** UV-B radiation, crop, plant growth

### Summary

Paper presents a review of the recent literature dealing with the UV-B radiation, its effect on physiological processes of plant growth and development, cellular changes, concentration of chemical compounds and changes in morphological plant traits.

The reasons of increasing UV-B radiation level are rapidly developing civilization and decreasing of ozone layer. It was stated that the plant reaction to UV-B irradiation depends on plant species and environment conditions. Destructive effects of UV-B radiation to plants may be – to some extent – neutralized by defence mechanisms, a form of specific plant adaptation to stress, however, under conditions of strong UV-B irradiation such mechanisms are not sufficient.