

## FOTOSYNTEZA I RESPIRACJA FITOPLANKTONU W WODZIE SKAŻONEJ PRZEZ HERBICYDY

Danuta Murawa <sup>1</sup>, Kazimierz Warmiński <sup>1</sup>, Joanna Wiśniewska <sup>1</sup>,  
Bożena Jaworska <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Katedra Ochrony Powietrza i Toksykologii Środowiska,  
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

<sup>2</sup> Katedra Ekologii Stosowanej, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

### Wstęp

Niekontrolowane przedostawanie się do środowiska pestycydów na skutek zabiegów ochronnych powoduje długotrwałe i rozległe skutki toksykologiczne [WANG i in. 1991; PRZYBYLSKI 1998; BIZIUK 2001; SEŃCZUK 2002]. Obecność pestycydów w wodach powierzchniowych i gruntowych stwarza także niebezpieczeństwo zatrucia człowieka w związku z przenoszeniem się tych związków za pośrednictwem łańcuchów pokarmowych od najniższych do najwyższych form organizmów [POLSKA NORMA 1972; ŁOMOTOWSKI 1992; DROŹDZYŃSKI i in. 2001]. Według szeregu autorów [ŁAKOTA 1992; RANKE-RYBICKA i in. 1995, SEŃCZUK 2002] największym zagrożeniem dla wód powierzchniowych i gruntowych są środki chwastobójcze. Związki te wywierając niekorzystny wpływ na procesy fizjologiczne zachodzące w roślinach, mogą powodować obumieranie flory w zbiornikach wodnych [ERNDT 1992; PŁACHTA, ŻYCIŃSKI 1995; BIESZCZAD, SOBOTA 1998]. Wśród organizmów wodnych powszechnie występującymi są glony pozyskujące pokarm na drodze fotosyntezy [KAJAK 2001]. Miernikiem rozwoju glonów w środowisku wodnym jest ilość materii organicznej wyprodukowanej w określonym czasie (produkcja). Oddziaływanie fitotoksyczne herbicydów wobec glonów kształtowane jest warunkami środowiska, zwłaszcza temperaturą i dostępnością światła. Temperatura jest czynnikiem wpływającym na procesy metaboliczne glonów. Wraz z jej wzrostem procesy fotosyntezy i oddychania przebiegają intensywniej. Natężenie światła wpływa nie tylko na skład fitoplanktonu, ale także na jego ilość [STANEK 1993]. Badania trwałości herbicydów w środowisku wodnym pozwalają na ocenę potencjonalnego zagrożenia ze strony tych związków [SADOWSKI 1996]. Należy przy tym podkreślić, że glony są powszechnie stosowanymi organizmami wskaźnikowymi, pozwalającymi na ocenę zagrożeń ze strony ksenobiotyków wobec tych organizmów [KAWECKA, ELORANTA 1994; RASZKA i in. 1998; LONDZIN i in. 2001; ZIELIŃSKI, JAKÓBCZYK-BARANIECKA 2003].

### Materiał i metody badań

Materiałem badawczym były zieleńce (*Chlorophyta*) z rodzajów *Scenedesmus* i *Cladophora glomerata*, złotowiciowce (*Chrysophyceae*) z rodzajów *Chryso-*

*coccus* i *Chromulina* oraz okrzemki (*Bacilliarophyceae*) z rodzajów *Navicula* i *Cymbella*. Fitoplankton poddano działaniu herbicydów: Azoprim 50 WP (atrazyna) i Afalon 450 SC (linuron) w stężeniu 0,3%, Roundup 360 SL (glifosat) w stężeniu 0,6%. W doświadczeniu zastosowano metodę podawaną przez KAJAKA [2001] oraz KAWECKĄ i ELORANTE [1994]. Produkcję fitoplanktonu oznaczono metodą tlenową, polegającą na ekspozycji wody z planktonem w kolbach niezaciemnionych („jasnych”) i zaciemnionych („ciemnych”), w określonym czasie. Kolby zostały umieszczone w komorze wegetacyjnej (typu Microclima). Pomiar stężenia tlenu rozpuszczonego w wodzie były wykonywane po upływie 5, 24, 96, 120, 144 i 168 godzin od założenia doświadczenia, za pomocą mikroprocesowego miernika. Analizę statystyczną wyników wykonano posługując się programem Statistica® 6.0 PL [STATSOFT, INC. 2001]. Uzyskane wyniki poddano analizie wariancji, a następnie wykonano test Duncana dla współczynnika istotności  $p = 0,05$ .

## Wyniki

Dane zestawione w tabeli 1 wykazują, że po upływie 5 godzin od założenia doświadczenia, w kolbach „jasnych” w obiekcie kontrolnym nastąpił nieznaczny przyrost zawartości tlenu (o  $0,5 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ), natomiast w próbach traktowanych herbicydami jej obniżenie (średnio o  $1,5 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ), w porównaniu z wartością początkową wynoszącą  $10,9 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ . Pomiar wykonany po 24 godzinach trwania doświadczenia wykazał dalsze obniżenie stężenia tlenu w próbach traktowanych herbicydami, natomiast jego zawartość w obiekcie kontrolnym utrzymywała się na niezmiennym poziomie. W dalszych etapach doświadczenia stężenie tlenu w próbach kontrolnych wzrastało, natomiast w próbach traktowanych herbicydami Azoprim 50 WP i Afalon 450 SC sukcesywnie malało. Zwraca uwagę przyrost stężenia tlenu w próbach z herbicydem Roundup 360 SL odnotowany po upływie 96 godzin eksperymentu (o  $9,1 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ), utrzymujący się na wysokim poziomie do

Tabela 1; Table 1

Stężenie tlenu w hodowli fitoplanktonu ( $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ) w kolbach „jasnych”  
Oxygen concentration ( $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ) in phytoplankton culture at „light” glasses

Obiekty Objects	Czas pomiaru; Time of measurement						
	założenie doświadczenia beginning of experiment	5 godzin hours	24 godziny hours	96 godzin hours	120 godzin hours	144 godziny hours	168 godzin hours
Kontrola Control	10,9	11,4 b	11,6 c	18,3 b	16,4 b	14,6 b	15,3 b
Azoprim 50 WP	10,9	9,4 a	7,8 a	5,8 a	4,8 a	5,4 a	6,0 a
Afalon 450 SC	10,9	9,6 a	7,9 a	5,5 a	4,7 a	5,5 a	6,2 a
Roundup 360 SL	10,9	9,3 a	8,9 b	20,0 c	18,7 c	19,6 c	20,0 c

a, b, c. oznacza istotne różnice przy  $p = 0,05$ ; means significant differences at  $p = 0.05$

jego zakończenia. Przedstawione dane dowodzą, że w poszczególnych etapach doświadczenia przeprowadzonego w kolbach „jasnych”, badane herbicydy wywierały istotny wpływ na stężenie tlenu w hodowli glonów wodnych. W próbach traktowanych herbicydami Azoprim 50 WP i Afalon 450 SC odnotowano istotne obniżenie zawartości tlenu w porównaniu z kontrolą, największy jego ubytek (odpowiednio o 12,5 i 12,8 mg·dm<sup>-3</sup>) stwierdzono po 96 godzinach trwania eksperymentu. W trakcie wykonywanych pomiarów po 5 godzinach oraz po upływie 24 godzin w próbach traktowanych preparatem Roundup 360 SL stwierdzono istotne obniżenie zawartości tlenu (odpowiednio o 2,1 i 2,7 mg·dm<sup>-3</sup>) w odniesieniu do wartości odnotowanej w obiekcie kontrolnym, natomiast istotny wzrost (w granicach od 1,7 do 5,0 mg·dm<sup>-3</sup>) po 96 godzinach trwania eksperymentu aż do jego zakończenia.

Dane zestawione w tabeli 2 wykazują postępujące w czasie trwania doświadczenia przeprowadzonego w kolbach „ciemnych” obniżenie zawartości tlenu w obiektach kontrolnych wobec wartości odnotowanej w chwili jego założenia (10,9 mg·dm<sup>-3</sup>). Również w próbach traktowanych badanymi herbicydami, poczynając od pomiaru wykonanego po 5 godzinach, a kończąc na pomiarze po 168 godzinach, stwierdzono sukcesywne zmniejszanie zawartości tlenu. W przeprowadzonym doświadczeniu badane herbicydy nie wpływały istotnie na stężenie tlenu w fitoplanktonie, a wartości stwierdzone w kolejnych etapach eksperymentu w próbach traktowanych herbicydami były zbliżone do odnotowanych w obiekcie kontrolnym.

Tabela 2; Table 2

Stężenie tlenu w hodowli fitoplanktonu (mg·dm<sup>-3</sup>) w kolbach „ciemnych”  
Oxygen concentration (mg·dm<sup>-3</sup>) in phytoplankton culture at „dark” glasses

Obiekty Objects	Czas pomiaru; Time of measurement						
	założenie doświadczenia beginning of experiment	po 5 godzinach after 5 hours	po 24 godzinach after 24 hours	po 96 godzinach after 96 hours	po 120 godzinach after 120 hours	po 144 godzinach after 144 hours	po 168 godzinach after 168 hours
Kontrola Control	10,9	9,6 a	8,5 a	5,7 a b	4,7 a b	4,6 a b	4,7 a b
Azoprim 50 WP	10,9	9,2 a	8,0 a	6,2 b	5,0 b	5,2 b	5,6 a
Afalon 450 SC	10,9	9,6 a	7,9 a	5,1 a	3,7 a	3,6 a	3,6 a
Roundup 360 SL	10,9	9,3 a	8,0 a	6,0 b	4,5 a b	4,8 a b	5,1 a b

Oznaczenia tak jak w tabeli 1; Symbols as in Table 1

Wyniki przedstawione w tabeli 3 dowodzą, że zastosowanie herbicydu Roundup 360 SL wpłynęło na ponad dwukrotnie wyższą produkcję fitoplanktonu w porównaniu z odnotowaną w obiekcie kontrolnym (4,36 mg·dm<sup>-3</sup>). W próbach traktowanych środkami Azoprim 50 WP i Afalon 450 SC stwierdzono zahamowanie tego procesu. Wielkość respiracji fitoplanktonu, prowadzącej do ubytku stężenia tlenu stwierdzono po zastosowaniu herbicydu Afalon 450 SC. Była ona w tym obiekcie o 17% wyższa od wyniku kontrolnego (6,2 mg·dm<sup>-3</sup>), natomiast w obiek-

Tabela 3; Table 3

Produkcja i respiracja fitoplanktonu ( $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ )  
 Productivity and respiration of phytoplankton ( $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ )

Objekty Objects	Produkcja Productivity P	Respiracja Respiration R	Produkcja brutto Productivity gross P + R
Kontrola; Control	4,36	6,2	10,6 b
Azoprim 50 WP	- 4,87	5,27	0,4 a
Afalon 450 SC	- 4,7	7,27	2,6 a
Roundup 360 SL	9,1	5,8	14,9 c

tach traktowanych preparatami Azoprim 50 WP i Roundup 360 SL nieznacznie niższa od odnotowanej w kontroli. Najwyższą produkcję fitoplanktonu brutto stwierdzono w obiekcie traktowanym herbicydem Roundup 360 SL ( $14,9 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ), najniższą zaś ( $0,4 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ) po zastosowaniu środka Azoprim 50 WP. Ocena statystyczna wyników dowodzi, że produkcja fitoplanktonu brutto ulegała istotnemu zwiększeniu (o 40%) pod wpływem herbicydu Roundup 360 SL natomiast istotnemu obniżeniu po zastosowaniu środków Azoprim 50 WP (o 96%) i Afalon 450 SC (o 75%), w porównaniu z wynikiem kontrolnym, wynoszącym  $10,6 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ .

### Dyskusja

Środki chwastobójcze wywołują w roślinach wrażliwych zaburzenia procesów fizjologicznych [STANEK 1993]. W środowisku wodnym, niekorzystne oddziaływanie herbicydów widoczne jest zwłaszcza wobec glonów, przy czym procesy te stymulowane są obecnością światła [RÓŻAŃSKI 1992]. W przeprowadzonym doświadczeniu dostępność światła determinowała działanie badanych preparatów.

W warunkach pełnego oświetlenia, stężenie tlenu w hodowli fitoplanktonu ulegało obniżeniu pod wpływem herbicydów Azoprim 50 WP i Afalon 450 SC, natomiast bez dostępu światła związki te wpływały korzystnie na zawartość tlenu. W doświadczeniach modelowych prowadzonych przez BOGACKĄ i CEGŁOWSKIEGO [1994] stwierdzono, że działanie chwastobójcze herbicydów mocznikowych stosowanych bez dostępu światła zanika, natomiast w miarę zwiększania się jego intensywności – wzrasta. Jak podaje RÓŻAŃSKI [1992] atrazyna i niektóre jej metabolity nawet w niskich stężeniach ( $0,1 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) hamują procesy wzrostu i fotosyntezy alg. W badaniach SUMMERSA [1980] dotyczących wpływu herbicydów bispirydylowych na oddychanie alg dowiedziono, że intensywność tego procesu wzrastała bez dostępu światła, natomiast malała w warunkach pełnego oświetlenia. Wyniki uzyskane w niniejszych badaniach dają podstawę do ich kontynuacji w świetle bardzo nielicznych informacji na ten temat w dostępnym piśmiennictwie.

### Wnioski

1. W warunkach pełnego oświetlenia, w miarę upływu czasu, stężenie tlenu w hodowli fitoplanktonu ulegało obniżeniu pod wpływem herbicydów Azo-

- prim 50 WP i Afalon 450 SC, natomiast Roundup 360 SL wpływał stymulująco w tym zakresie.
2. W hodowli fitoplanktonu, przeprowadzonej bez dostępu światła, stężenie tlenu nie zależało od obecności herbicydów.
  3. Produkcja fitoplanktonu brutto była najwyższa w obiekcie traktowanym herbicydem Roundup 360 SL. Preparaty Azoprim 50 WP i Afalon 450 SC hamowały produkcję fitoplanktonu.

### Literatura

- BIESZCZAD S., SOBOTA J. 1998. *Zagrożenie, ochrona i kształtowanie środowiska przyrodniczego*. Wydawnictwo AR we Wrocławiu: 280 ss.
- BIZIUK M. 2001. *Pestycydy, występowanie, oznaczanie i unieszkodliwianie*. WN-T, Warszawa: 276 ss.
- BOGACKA T., CEGŁOWSKI B. 1994. *Rozkład wybranych herbicydów diazynowych i mocznikowych w środowisku wodnym*. Wiadomości IMGW 17(2): 57–71.
- DROZDZYŃSKI D., WALOŃCZYK S., DĄBROWSKI J. 2001. *Badanie pozostałości środków ochrony roślin w wybranych studniach województwa wielkopolskiego (1999–2000)*. Postępy w Ochronie Roślin/Progress in Plant Protection 41(2): 581–586.
- ERNDT E. 1992. *Erozja gleb a zanieczyszczenie wód pestycydami*. Zeszyty Naukowe AR w Krakowie 32: 133–147
- KAJAK Z. 2001. *Hydrobiologia – limnologia. Ekosystemy wód śródlądowych*. PWN, Warszawa: 359 ss.
- KAWECKA B., ELORANTA P.V. 1994. *Zarys ekologii glonów wód słodkich i środowisk lądowych*. PWN, Warszawa: 251 ss.
- LONDZIN W., FOCHTMAN P., KLIMACH A. 2001. *Kontrola toksyczności środków ochrony roślin wobec pożytecznych organizmów wodnych, glebowych i pszczół*. Instytut Przemysłu Organicznego, Oddział w Pszczynie. Zakład Badań Ekotoksykologicznych: 44–51.
- ŁAKOTA S. 1992. *Potrzeba określenia dopuszczalnych wartości pestycydów w wodach przeznaczonych do hodowli ryb*. Pestycydy 1: 17–18.
- ŁOMOTOWSKI I. 1992. *Wpływ rolnictwa na jakość wód naturalnych na przykładzie zlewni doświadczalnej Ciesielska Woda*. Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu, Melioracje 40: 353–366.
- PLACHTA J., ŻYCIŃSKI D. 1995. *Wpływ zanieczyszczeń wód substancjami powierzchniowo-czynnymi i środkami ochrony roślin na organizmy wodne*. Roczniki PZH 1: 175–179.
- POLSKA NORMA 1972. *Woda i ścieki. Badania zawartości pestycydów. Postanowienia ogólne i zakres normy*. Polski Komitet Normalizacyjny.
- PRZYBYLSKI Z. 1998. *Stosowanie środków ochrony roślin a ochrona wód powierzchniowych*. Ochrona Roślin 42(1): 12–15.
- RANKE-RYBICKA B., PLACHTA J., ŻYCIŃSKI D. 1995. *Wpływ zanieczyszczenia wód substancjami powierzchniowo-czynnymi i środkami ochrony roślin na organizmy wodne*. Roczniki PZH 2: 175–179.

- RASZKA A., NIERZĘDZKA E., FOCHTMAN P. 1998. *Ocena toksycznego działania chemicznych środków ochrony roślin na organizmy wodne*. Postępy w Ochronie Roślin/Progress in Plant Protection 38(2): 583–586.
- RÓŻAŃSKI L. 1992. *Przemiany pestycydów w organizmach żywych i środowisku*. PWRiL, Warszawa: 275 ss.
- SADOWSKI J. 1996. *Dynamika rozkładu herbicydów w wodach powierzchniowych*. Postępy w Ochronie Roślin/Progress in Plant Protection 36(2): 280–282.
- SEŃCZUK W. 2002. *Toksykologia. Podręcznik dla studentów, lekarzy, farmaceutów*. PZWL, Warszawa: 887 ss.
- STANEK R. 1993. *Fotosynteza i wzrost odpornych na triazyny roślin Erigeron canadensis L. w warunkach zróżnicowanej ilości światła*. Annue Universite Maria Curie-Skłodowska 1: 59–68.
- STATSOFT, INC. 2001. *STATISTICA (data analysis software system), version 6*, <www.statsoft.com>.
- SUMMERS L.A. 1980. *The bipyridinium herbicides*. Academic Press Inc. London: 449 ss.
- WANG Y.S., TSAI H.S., CHEN Y.L. 1991. *Mineralization and metabolism of the herbicide isoproturon in aqueous environments*. Journal of Pesticide Science 16(1): 19–25.
- ZIELIŃSKI J., JAKÓBCZYK-BARANIECKA J. 2003. *Znaczenie testów biodegradacyjnych w ograniczaniu ryzyka długotrwałego skażenia środowiska pozostałościami pestycydów*. Zeszyty Edukacyjne 9: 52–53.

**Słowa kluczowe:** wody powierzchniowe, fitoplankton, herbicydy, fotosynteza, produkcja, respiracja

### Streszczenie

Przeprowadzone badania miały na celu ocenę wpływu herbicydów na procesy fotosyntezy i respiracji fitoplanktonu. Eksperyment wykonano w komorze wegetacyjnej. Glony wodne poddano działaniu herbicydów: Azoprim 50 WP (atrazyna), Afalon 450 SC (linuron), Roundup 360 SL (glifosat). Pomiary stężenia tlenu wykonywano po upływie 5 godzin, 1 doby oraz 4, 5, 6, 7 dób od założenia eksperymentu.

Stwierdzono, że w warunkach pełnego oświetlenia, w miarę upływu czasu, stężenie tlenu w hodowli glonów wodnych traktowanych herbicydami Azoprim 50 WP i Afalon 450 SC malało, natomiast wzrastało pod wpływem preparatu Roundup 360 SL po upływie czwartej doby doświadczenia.

Przy braku dostępu światła, w czasie trwania eksperymentu, stężenie tlenu w hodowli glonów traktowanych herbicydami kształtowało się na poziomie wyników kontrolnych. Spośród badanych herbicydów, jedynie Roundup 360 SL wpływał korzystnie na produkcję fitoplanktonu brutto, natomiast Azoprim 50 WP i Afalon 450 SC hamowały ten proces.

## PHOTOSYNTHESIS AND RESPIRATION OF PHYTOPLANKTON IN HERBICIDE-CONTAMINATED WATER

*Danuta Murawa*<sup>1</sup>, *Kazimierz Warmiński*<sup>1</sup>, *Joanna Wiśniewska*<sup>1</sup>, *Bożena Jaworska*<sup>2</sup>

Department of Air Protection And Environmental Toxicology,  
University of Warmia and Mazury, Olsztyn

<sup>2</sup>Department of Applied Ecology, University of Warmia and Mazury, Olsztyn

**Key words:** surface water, phytoplankton, herbicides, photosynthesis, productivity, respiration

### Summary

The study dealt with the effect of herbicides on the photosynthesis and respiration processes of phytoplankton. The experiment was performed in a growth chamber. Aquatic algae were exposed to the following herbicides: Azoprim 50 WP (atrazine), Afalon 450 SC (linuron), Roundup 360 SL (glyphosate). Oxygen concentration was measured after 5, 24, 96, 120, 144 and 168 hrs from establishing of the experiment. It was observed that under conditions of continuous lighting the oxygen concentration decreased with the time in aquatic algae cultures treated with Azoprim 50 WP and Afalon 450 SC, whereas it increased after 96 hours in the cultures treated with Roundup 360 SL. In the case of lack of light, oxygen concentration in herbicide-treated algal cultures was similar as in the control. Among the herbicides examined, only Roundup 360 SL positively affected the gross primary productivity of phytoplankton, while Azoprim 50 WP and Afalon 450 SC inhibited this process.

Prof. dr hab. **Danuta Murawa**  
Katedra Ochrony Powietrza i Toksykologii Środowiska  
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski  
Pl. Łódzki 2  
10-724 OLSZTYN-KORTOWO  
e-mail: murawa@uwm.edu.pl