

SEZONOWE ZMIANY LICZEBNOŚCI TLENOWYCH I BEZTLENOWYCH BAKTERII CELULOLITYCZNYCH W WODZIE, GLEBIE I NA POWIERZCHNI ROŚLINNOŚCI ŚRÓDLEŚNYCH MOKRADEŁ W OKOLICY OLSZTYNA

**Stanisław NIEWOLAK¹⁾, Renata BRZOZOWSKA²⁾,
Karolina CZECHOWSKA¹⁾, Zofia FILIPKOWSKA¹⁾,
Ewa KORZENIEWSKA¹⁾**

¹⁾ Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Katedra Mikrobiologii Środowiskowej

²⁾ Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Katedra Inżynierii Ochrony Środowiska

Słowa kluczowe: bakterie celulolityczne, gleba, rozkład celulozy, mokradła, rośliny, woda

Streszczenie

Badano zmienność sezonową liczebności bakterii celulolitycznych w wodzie, glebie i na powierzchni zanurzonych w wodzie oraz na wynurzonych częściach turzycy błotnej (*Carex acutiformis* Ehrb.), a także na jej korzeniach (obumarłych i żywych), w dwóch kolejnych cyklach rocznych (w latach 1993 i 1994). W wodzie liczba bakterii rozkładających celulozę w warunkach tlenowych nie przekraczała $1,4 \cdot 10^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ (NPL). Więcej bakterii celulolitycznych występowało na powierzchni zanurzonych w wodzie fragmentów turzycy błotnej, w glebie okalającej system korzeniowy tej rośliny oraz ryzosferze korzeni ubiegłorocznych i tegorocznych (żywych). W cyklu rocznym z reguły więcej ich występowało latem, wyjątkowo w innym okresie. Różnice w liczebności bakterii celulolitycznych w odpowiednich środowiskach z poszczególnych stanowisk były najczęściej niewielkie. Bakterie rozkładające celulozę w warunkach beztlenowych (*Clostridium* sp.) we wszystkich biotopach występowały w mniejszych ilościach. Często brak ich było w badanej objętości wody lub w badanej masie gleby i poszczególnych części rośliny.

WSTĘP

Substancja organiczna hydromakrofitów, jak np. *Typha* sp., *Phragmites* sp., i zanurzonej roślinności wodnej, jak np. *Lemna* sp., *Elodea* sp., po obumarciu ulega rozkładowi z udziałem różnych grup systematycznych drobnoustrojów. Bardziej złożone części strukturalne tych roślin jak błonnik czy ligniny, ulegają przekształceniom do związków prostszych z udziałem bakterii celulolitycznych (w tym promieniowców) oraz grzybów. Na temat udziału tych drobnoustrojów w procesach mineralizacji celulozy i ligniny w ekosystemach wodnych istnieje niewiele opracowań w dostępnej literaturze, dotyczącej rzek, jezior i mórz [CRAWFORD, 1996; GÜDE, 1978; KADOTA, 1956; KUCZYŃSKA, NIEWOLAK, 2004; KUZNECOV, 1970; LISTON, 1968; OSTERTAG, 1950; SRIDHAR, BÄRLOCHER, 1993; SUBEKROPP, KLUG, 1976; TANAKA, 1991]. Wśród bakterii zdolnych do rozkładu celulozy w wodach wymieniane są głównie rodzaje *Pseudomonas*, *Vibrio*, *Cytophaga* i *Sporocytophaga*. Tylko pojedyncze prace dotyczą występowania bakterii celulolitycznych, zasiedlających powierzchnię roślinności wodnej. DONDESKI i LALKE [1995] badali zdolność rozkładu błonnika wśród bakterii zasiedlających powierzchnię epidermy trzciny pospolitej (*Phragmites australis* Cav. Trin. ex Steud.), porastającej strefę przybrzeżną Zatoki Moty eutroficznego jeziora Jeziorak na Pojezierzu Wschodnio-Pomorskim. Według tych autorów, uzdolnienia takie miało 13% wyizolowanych z rodzaju *Achromobacter*, 20% z grupy *Aeromonas-Vibrio*, 34% z grupy *Arthrobacter-Corynebacterium*, 11% z grupy *Flavobacterium-Cytophaga*, 9% z rodzaju *Pseudomonas*, 4% z rodzaju *Alcaligenes* i po 2% z rodzaju *Bacillus* i z rodziny *Enterobacteriaceae*. LALKE-PORCZYK [1999] podaje, że 20–30% izolowanych z zanurzonych w wodzie powierzchni trzciny pospolitej (*Phragmites australis* Cav. Trin. ex Steud.) w sezonie wegetacyjnym wykazywało właściwości celulolityczne. Takie same właściwości LALKE-PORCZYK i DONDESKI [2005] stwierdzali u 8–13% szczepów zasiedlających ryzosferę tej rośliny. W doświadczeniach przeprowadzonych przez TANAKĘ [1991; 1993] na trzcinie pospolitej z litoralu jeziora Shinhama (zasilanego wodą morską z Zatoki Tokijskiej), zebranej jesienią i przetrzymywanej w pojemnikach z wodą morską do lata następnego roku stwierdzono, iż w pierwszych dwóch miesiącach w rozkładzie błonnika biorą udział głównie bakterie, w późniejszym okresie zaś grzyby nitkowate. W dostępnej literaturze brak jest danych dotyczących sezonowych zmian liczebności bakterii celulolitycznych w środowiskach podmokłych, mimo roli, jaką muszą spełniać w mineralizacji hydromakrofitów i roślin zanurzonych czy wolnopływających po okresie wegetacyjnym oraz olbrzymiej ilości substancji organicznej produkowanej *in situ* w mokradłach, mogącej osiągać do kilkudziesięciu ton suchej masy w ciągu roku [BRIX, 1994]. Na Pojezierzu Mazurskim obszary podmokłe są nieodłączną częścią krajobrazu przyrodniczego, niezbadaną pod względem mikrobiologicznym.

W niniejszym opracowaniu przedstawiono wyniki badań liczebności bakterii rozkładających celulozę w warunkach tlenowych i beztlenowych w wodzie i w glebie okalającej system korzeniowy, w strefie ryzosfery i na powierzchni turzycy błotnej jednego z większych obszarów podmokłych w rejonie Olsztyna. Praca jest częścią szerszego studium mikrobiologicznego, poświęconego m.in. udziałowi bakterii auto- i heterotroficznych w przemianach związków węgla [KORZENIEWSKA i in., 2007], azotu [NIEWOLAK, KORZENIEWSKA, FILPKOWSKA, 2005], fosforu [NIEWOLAK i in., 2008a] i siarki [NIEWOLAK i in., 2008b] oraz dynamiki liczebności promieniowców i grzybów (nitkowatych i drożdżoidalnych) [NIEWOLAK i in., 2007] w tych ekosystemach.

TEREN BADAŃ

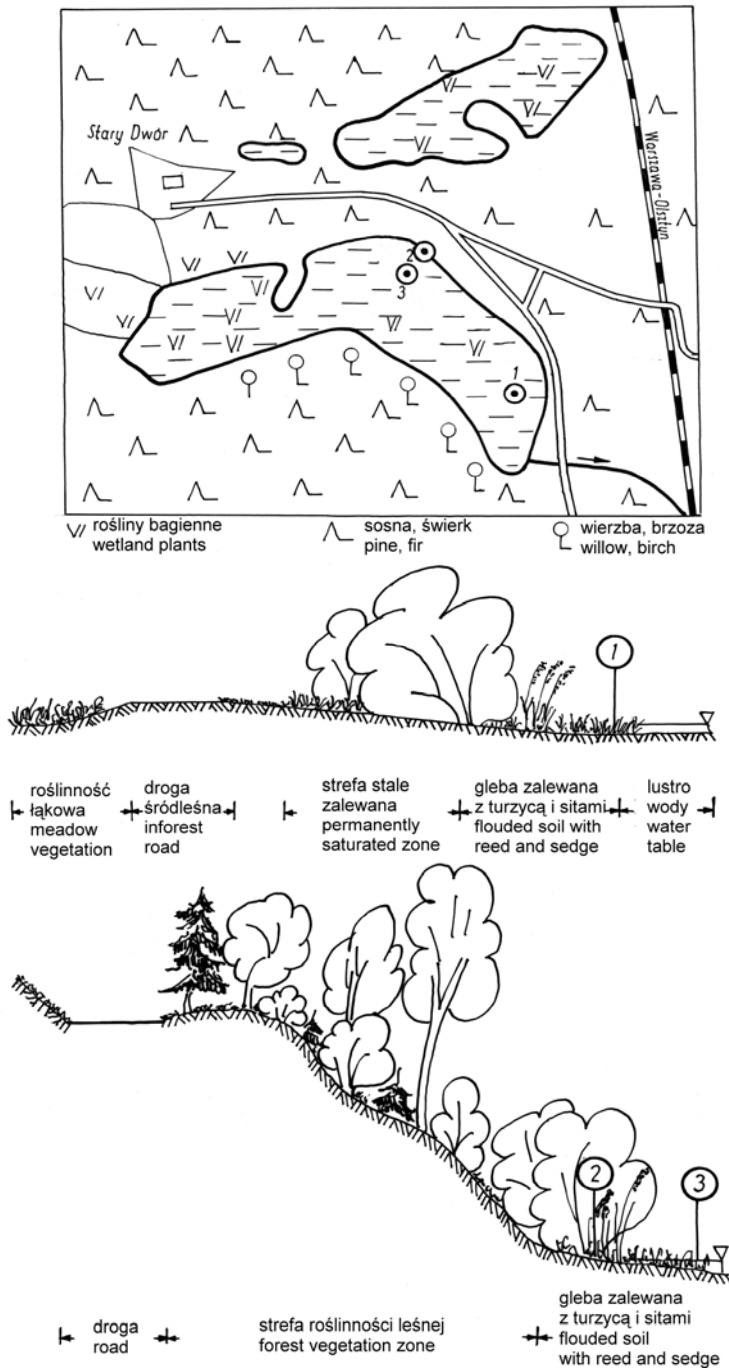
Do badań wytypowano obszar pojeziorny o powierzchni ok. 20 ha, w pobliżu leśniczówki Stary Dwór, ok. 2 km na zachód od Olsztyna, na szerokości geograficznej $53^{\circ}46'$ i długości geograficznej $21^{\circ}27'$. Obszar ten zasilany jest wodami powierzchniowymi, spływającymi ze stoków porośniętych lasem mieszanym (sosna, świerk w partiach górnych, brzoza, wierzba w strefie przybrzeżnej) i wodami podziemnymi. Wzdłuż biegnie kanał szerokości ok. 6 m i głębokości 5–6 m. Wiosną obszar ten jest zalewany wodami roztopowymi, latem poziom wody poza kanałem obniża się do kilkunastu, a w niektórych miejscach kilkudziesięciu cm. Wśród roślin przeważają turzycy (*Carex* sp.) i sity (*Juncus* sp.), które tworzą ciągłe pokrycie lub izolowane kępy otoczone wodą (rys. 1, 2).

MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Badania przeprowadzono w latach 1993 i 1994. Badano wodę oraz zanurzone w niej i wynurzone (napowietrzne) części turzycy błotnej (*Carex acutiformis* Ehrb.), glebę, w której zakorzenione są rośliny, mikroflorę ryzosferową korzeni ubiegłorocznych (martwych) i tegorocznych (żywych). Badania prowadzono w odstępach 1-miesięcznych, w latach 1993 i 1994.

Próbki wody do badań mikrobiologicznych pobierano na 3 stanowiskach (stanowiska 1., 2., i 3., na rys. 1), z głębokości 0,2–0,3 m bezpośrednio do jałowych naczyń szklanych. Stanowisko 1. znajdowało się w odległości ok. 30 m od drogi, prowadzącej skrajem mokradła od strony wschodniej. Stanowiska 2. i 3. znajdowały się na skraju obszaru bagiennego od strony północnej, w odległości ok. 80 m w linii prostej od drogi prowadzącej skrajem wzgórza, porośniętego sosną, od szosy Olsztyn–Warszawa w kierunku leśniczówki Stary Dwór i dalej do miejscowości Naterki, przy trasie linii kolejowej Olsztyn–Toruń.

Bezpośrednio po pobraniu próbek wody na stanowiskach 1. i 2. pobierano do badań całe kępy turzycy błotnej wraz z glebą. Wodę i kępy tej rośliny przewożono do laboratorium, gdzie bezzwłocznie preparowano zanurzone w wodzie części łodyg, wynurzone (napowietrzne) części tej rośliny, korzenie ubiegłoroczne (martwe – szerniałe) i tegoroczne (żywe – zielone) oraz glebę, która oblepiała korzenie. Korzenie przepłukiwano delikatnie wodą bieżącą w celu usunięcia resztek ziemi. Zebrane oddzielnie poszczególne części rośliny cięto na odcinki 0,5–1,0 cm z zachowaniem warunków aseptycznych. Sporządzone 10-gramowe naważki gleby oraz odpowiednich części rośliny przenoszono do 90 cm^3 jałowego roztworu soli fizjologicznej (0,85% NaCl) w kolbach Erlenmajera i wytrząsano przez 30 minut na wytrząsarce. Otrzymaną zawiesinę gleby i poszczególnych części rośliny rozcieńczano w odpowiednim roztworze fizjologicznym NaCl w stosunku (1:10)–(1:10 000). Podobnie rozcieńczano próbki wody pobierane na wytypowanych stanowiskach i przenoszono po 1 cm^3 do 3 próbek z odpowiednią pożywką mineralną oraz paskami bibuły filtracyjnej. Jednocześnie określano suchą masę poszczególnych części turzycy błotnej i gleby (w dwóch powtórzeniach), zgodnie z ogólnie przyjętą metodyką.



Rys. 1. Szkic sytuacyjny mokradła; 1, 2, 3 – stanowiska poboru próbek

Fig. 1. Sketch of the wetland; 1, 2, 3 – sampling sites

Badania mikrobiologiczne w zakresie niniejszej pracy obejmowały oznaczenia najbardziej prawdopodobnej liczby (NPL) tlenowych i beztlenowych bakterii celulolitycznych w 1 cm³ wody lub 1 g suchej masy gleby i poszczególnych części turzycy błotnej. Liczbę bakterii celulolitycznych tlenowych oznaczano na pożywce Hutchinsona, liczbę beztlenowych bakterii celulolitycznych – na pożywce Omeliańskiego, zgodnie z metodyką podaną w podręczniku RODINEJ [1968]. Oznaczając liczebność tlenowych bakterii celulolitycznych, pożywkę Hutchinsona rozlewało do probówek (14x160 mm) cienką warstwą (nie wyżej jak 2 cm) i wkładano po kilka pasków (10x1 cm) bibuły filtracyjnej w taki sposób, aby część każdego z nich wystawała ponad poziom pożywki w probówce. Oznaczając liczebność beztlenowych bakterii celulolitycznych, pożywkę Omeliańskiego rozlewało wysokim słupem (2/3 wysokości) do takich samych probówek, zawierających pociętą w paski (5x1 cm) bibułę filtracyjną oraz rurki Durhama odwrócone dnem do góry. W badaniach użyto bibuły filtracyjnej Whatman nr 1. Oznaczenia te wykonywano w trzech równoległych powtórzeniach w tej samej próbce. Wysiewy inkubowano w temperaturze 25°C przez 7, 14 i 21 dni. Wskaźnikiem zachodzącego procesu rozkładu celulozy przez tlenowe bakterie celulolityczne jest rozkład bibuły filtracyjnej na granicy płynu i powietrza; wskaźnikiem zachodzącego procesu rozkładu celulozy przez beztlenowe bakterie celulolityczne – rozkład bibuły filtracyjnej, gromadzenie się osadu na dnie i gazu w rurkach Durhama. Wszystkie oznaczenia wykonywano w trzech równoległych powtórzeniach tej samej próby. Najbardziej prawdopodobną liczbę (NPL) tych bakterii w 1 cm³ wody lub 1 g suchej masy gleby i części rośliny odczytywano z tablic McCrady'ego [MEYNELL, MEYNELL, 1970]. Ogółem przebadano w ten sposób 51 próbek wody i po 34 próbki gleby oraz poszczególnych części turzycy błotnej.

WYNIKI BADAŃ

Tlenowe bakterie celulolityczne występowały z reguły licznie na zanurzonych w wodzie częściach turzycy błotnej (do $9,0 \cdot 10^3$ komórek·g⁻¹ s.m.), w glebie okalającej system korzeniowy tej rośliny (do $14,0 \cdot 10^3$ komórek·g⁻¹ s.m.) i w ryzosferze korzeni ubiegłorocznych (martwych) (do $13,3 \cdot 10^3$ komórek·g⁻¹ s.m.), mniej licznie na wynurzonych z wody (napowietrznych) częściach tej rośliny (do $5,0 \cdot 10^3$ komórek·g⁻¹ s.m.) oraz w ryzosferze korzeni tegorocznych (żywych) (do $7,8 \cdot 10^3$ komórek·g⁻¹ s.m.). W wodzie ich liczba nie przekraczała $1,4 \cdot 10^3$ komórek·cm⁻³.

Beztlenowe bakterie celulolityczne występowały z reguły rzadko i w minimalnych ilościach w wodzie (do 9,5 komórek·cm⁻³) oraz wyjątkowo w grudniu 1993 r. na wynurzonych z wody (napowietrznych) częściach turzycy błotnej (do 35 komórek·g⁻¹ s.m.) i tegorocznych (żywych) korzeniach tej rośliny (do 90 komórek·g⁻¹ s.m.). Nieco częściej i licznie występowały one na zanurzonych w wodzie częściach turzycy błotnej (do $1,0 \cdot 10^3$ komórek·g⁻¹ s.m. w lipcu 1993 r.) i w glebie okalającej system korzeniowy tej rośliny (do $1,5 \cdot 10^3$ komórek·g⁻¹ s.m. w lipcu 1993 r.).

Różnice w liczebności tlenowych bakterii celulolitycznych na odpowiednich stanowiskach w wodzie, glebie i roślinie najczęściej nie przekraczały 1 rzędu wielkości. Większe różnice (w zakresie 2–3 rzędów wielkości) notowano tylko w przypadku tlenowych bakterii celulolitycznych w ryzosferze korzeni ubiegłorocznych (martwych) w czerwcu 1993 r., marcu i wrześniu 1994 r. oraz korzeni tegorocznych (żywych) we wrześniu 1993 r. (tab. 1, 2).

Tabela 1. Najbardziej prawdopodobna liczba (NPL) bakterii celulolitycznych w wodzie i na powierzchni turzycy błotnej (*Carex acutiformis* Ehrb.) badanego mokradła w okolicy Olsztyna w latach 1993 i 1994

Table 1. Most probable number (MPN) of cellulolytic bacteria in water and on the leaf surface of the sedge (*Carex acutiformis* Ehrb.) in natural wetland near Olsztyn in the years 1993 and 1994

Drobnoustroje Microorganisms	Woda, NPL·cm ⁻³ Water, MPN·cm ⁻³			Turzyca NPL·g ⁻¹ s.m. Sedge MPN·g ⁻¹ DM		
				powierzchnie zanurzone w wodzie submersed stem surfaces		części napowietrzne aerial leaf
	stanowisko site					
	1	2	3	1	2	1
Tlenowe bakterie celulolityczne Aerobic cellulolytic bacteria	140 0–1,4·10 ³	33 0–450	25 0–150	1,73·10 ³ 0–7,5·10 ³	2,74·10 ³ 0–9,0·10 ³	1,8·10 ³ 0–5,0·10 ³
Beztlenowe bakterie celulolityczne Anaerobic cellulolytic bacteria	0,1 0–2,5	0,5 0–9,5	0,1 0–1,5	30 0–370	100 0–1,0·10 ³	3 0–35

Objaśnienia: nad kreską podano wartości średnie, pod – zakres.

Explanations: over line – mean values, under line – range.

Tabela 2. Najbardziej prawdopodobna liczba (NPL) bakterii celulolitycznych w glebie i na korzeniach turzycy błotnej (*Carex acutiformis* Ehrb.) badanego mokradła w okolicy Olsztyna w latach 1993 i 1994

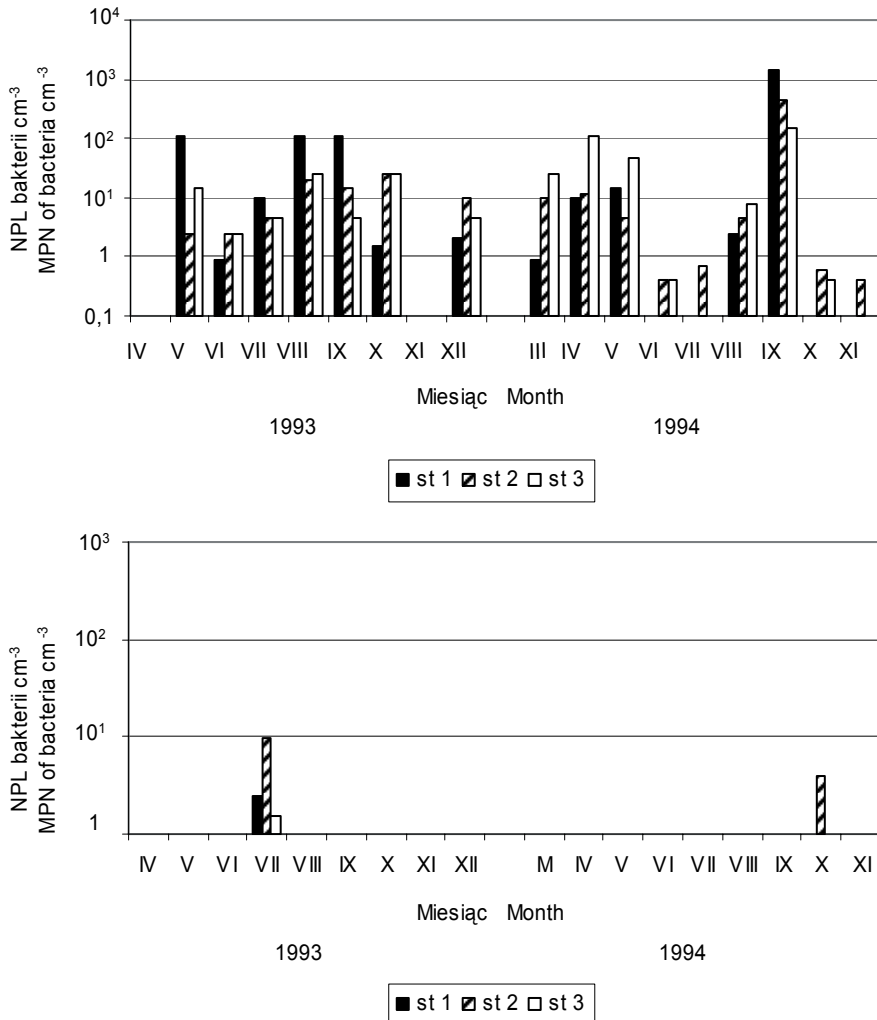
Table 2. Most probable number (MPN) of cellulolytic bacteria in the soil rhizosphere and sedge roots in natural wetland near Olsztyn in the years 1993 and 1994

Drobnoustroje Microorganisms	Gleba, NPL·g ⁻¹ s.m. Rhizosphere soil, MPN·g ⁻¹ DM		Turzyca, NPL·g ⁻¹ s.m. Sedge, MPN·g ⁻¹ DM			
			korzenie martwe dead roots		korzenie żywe living roots	
	stanowisko site					
	1	2	1	2	1	2
Tlenowe bakterie celulolityczne Aerobic cellulolytic bacteria	458 0–2,8·10 ³	1,475·10 ³ 0–14,0·10 ³	260 0–1,68·10 ³	2,53·10 ³ 0–13,3·10 ³	285 11,0–1,1·10 ³	1,7·10 ³ 23,0–7,8·10 ³
Beztlenowe bakterie celulolityczne Anaerobic cellulolytic bacteria	58 0–940	154 0–1,5·10 ³	273 0–4,4·10 ³	290 0–3,7·10 ³	10 0–80	10 0–90

Objaśnienia jak pod tabelą 1.

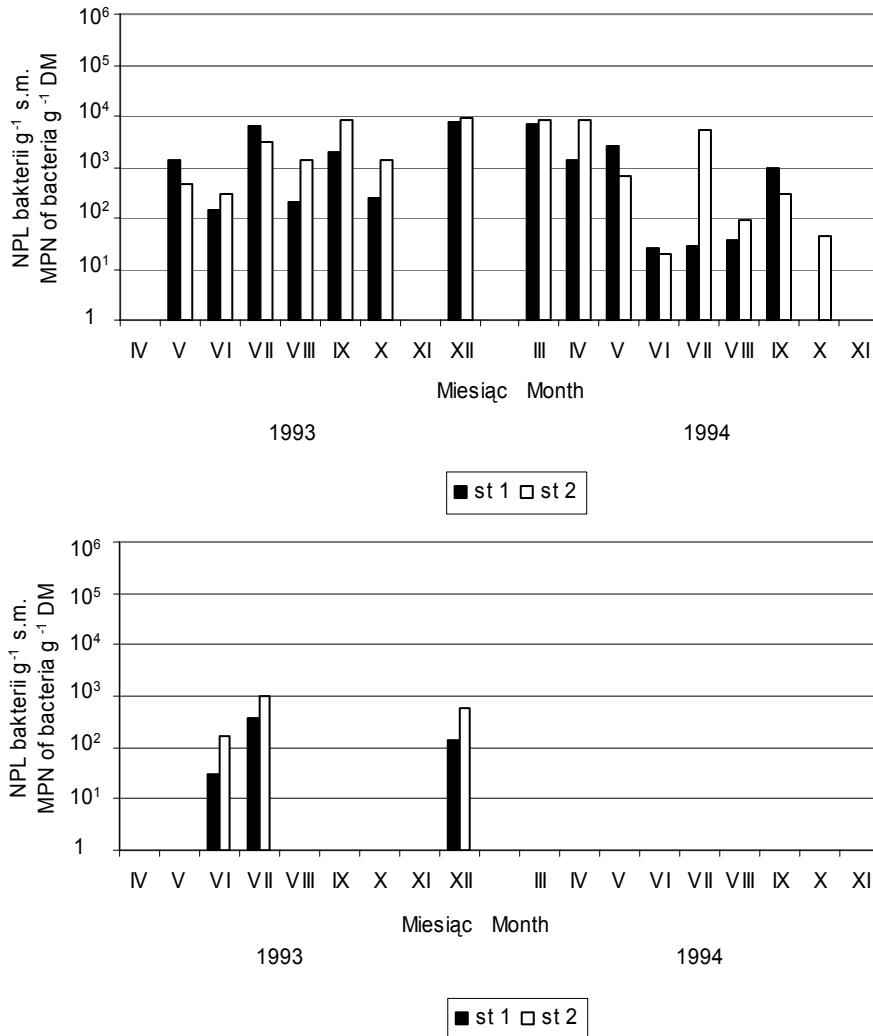
Explanations as in Tab. 1.

Sezonowe zmiany liczebności tlenowych bakterii celulolitycznych charakteryzowały się z reguły liczniejszym występowaniem w badanych ekosystemach w różnych miesiącach letnich (lipiec, sierpień i wrzesień) oraz jesienią (w grudniu 1993 r.), rzadziej zimą i wczesną wiosną (w marcu, kwietniu i maju 1994 r.). Beztlenowe bakterie celulolityczne występowały częściej i w nieco większych ilościach w czerwcu, lipcu i grudniu 1993 r. (rys. 2–7).



Rys. 2. Sezonowe zmiany liczebności bakterii celulolitycznych w wodzie badanego mokradła; st. 1, 2, 3 – stanowiska poboru próbek

Fig. 2. Seasonal changes in the numbers of cellulolytic bacteria in water of wetland under study; st. 1, 2, 3 – sampling sites

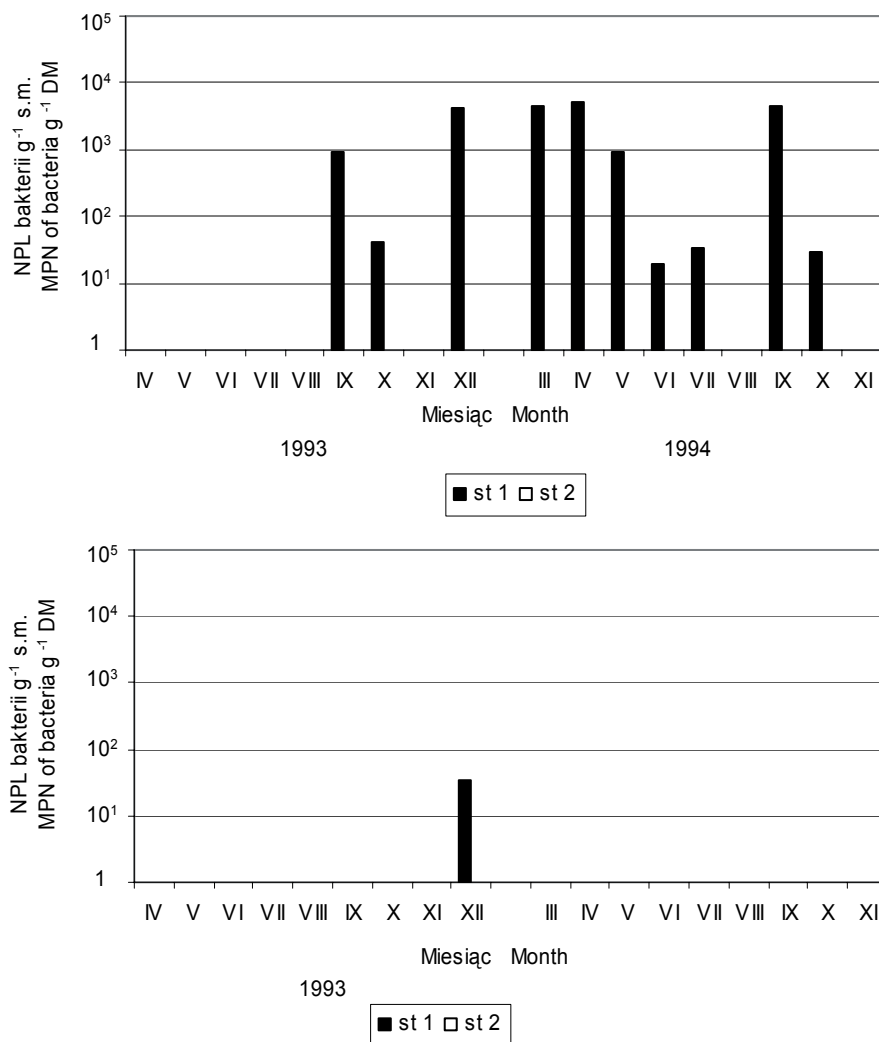


Rys. 3. Sezonowe zmiany liczebności bakterii celulołitycznych na zanurzonych w wodzie częściach turzycy błotnej (*Carex acutiformis* Ehrb.); st. 1, 2 – stanowiska poboru próbek

Fig. 3. Seasonal changes in the numbers of cellulolytic bacteria on submersed stem surfaces of the sedge (*Carex acutiformis* Ehrb.); st. 1, 2 – sampling sites

DYSKUSJA WYNIKÓW

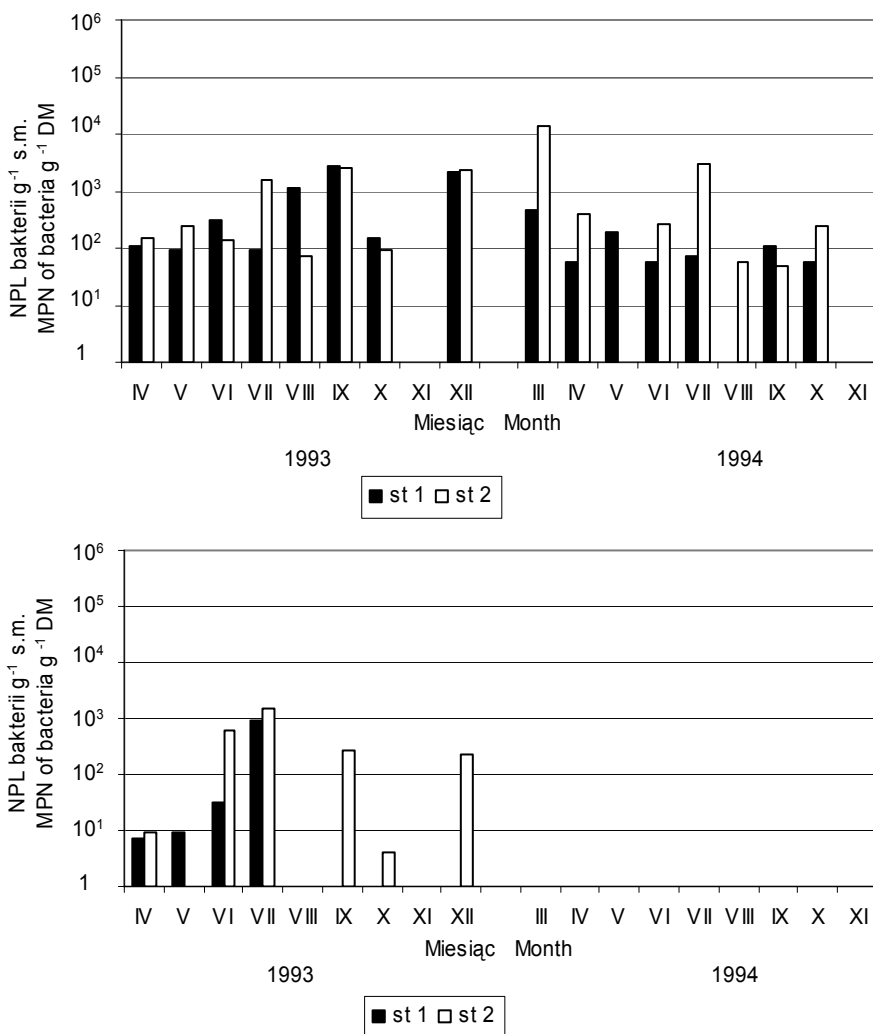
W wodzie badanego mokradła liczba tlenowych bakterii celulołitycznych mieściła się w zakresie podawanym dla niektórych jezior obwodu moskiewskiego [KUZNECOV, 1970] oraz północno-wschodnich obszarów Polski [KUCZYŃSKA, NIEWOLAK, 2004]. Maksymalna



Rys. 4. Sezonowe zmiany liczebności bakterii celulołitycznych na wynurzonych z wody (napowietrznych) częściach turzycy błotnej (*Carex acutiformis* Ehrb.); st. 1, 2 – stanowiska poboru próbek

Fig. 4. Seasonal changes in the numbers of cellulolytic bacteria on aerial leaf surfaces of the sedge (*Carex acutiformis* Ehrb.); st. 1, 2 – sampling sites

ich liczebność, stwierdzana okresowo w wodzie na stanowisku 3. stanowiła zaledwie 1,5% ogólnej liczby bakterii heterotroficznych, oznaczanych równolegle na podłożu z tryptonem, glukozą i ekstraktem drożdżowym [KORZENIEWSKA i in., 2007]. Czynnikiem ograniczającym liczebność beztlenowych bakterii celulołitycznych w tym środowisku mogły być warunki tlenowe. Niewielka głębokość (od kilkunastu do kilkudziesięciu cm) na stanowiskach 1., 2. i 3. sprawia, iż tlen może łatwo dyfundować z powietrza do dna. Obecność tych bakterii w lipcu 1993 r. w wodzie na wszystkich 3 stanowiskach może być związana z ograni-

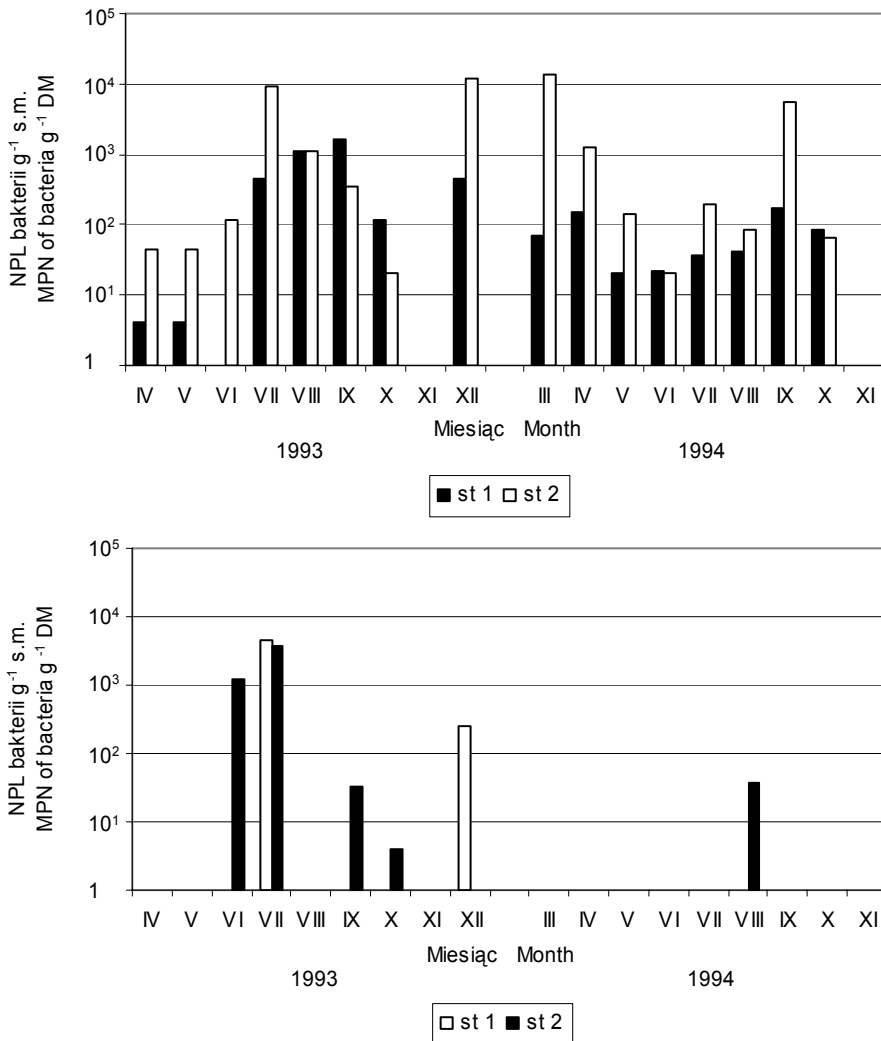


Rys. 5. Sezonowe zmiany liczebności bakterii celulozylitycznych w glebie systemu korzeniowego turzycy błotnej (*Carex acutiformis* Ehrb.); st. 1, 2 – stanowiska poboru próbek

Fig. 5. Seasonal changes in the numbers of cellulolytic bacteria in rhizosphere soil of the sedge (*Carex acutiformis* Ehrb.); st. 1, 2 – sampling sites

czoną w tym czasie ilością tlenu rozpuszczonego w wodzie, spowodowaną jego zużyciem na procesy oddechowe licznej populacji bakterii heterotroficznych w wyższej temperaturze.

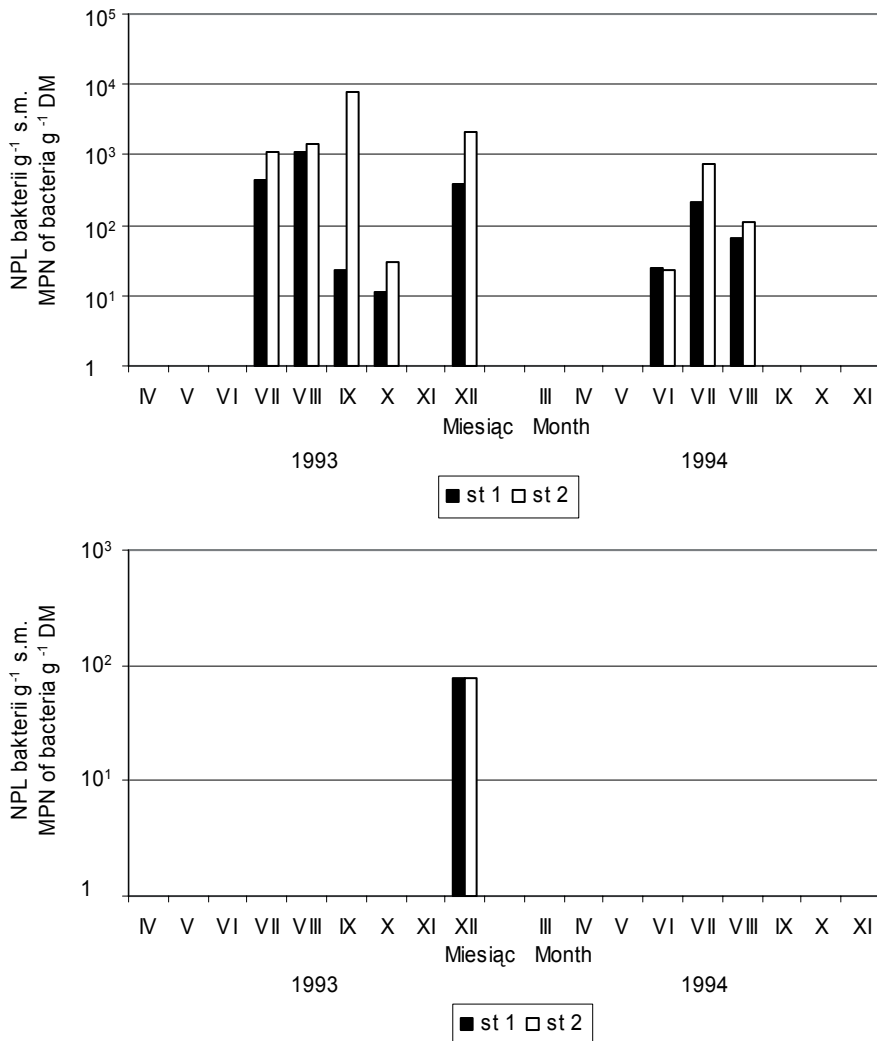
Dostępnością substratu tłumaczy się większą liczebność tlenowych bakterii celulozylitycznych na zanurzonych w wodzie częściach turzycy błotnej, a także na wynurzonych (napowietrznych) jej częściach, w glebie okalającej system korzeniowy tej rośliny oraz w ryzosferze ubiegłorocznych (martwych) i tegorocznych (żywych) korzeni. W glebie okalającej system korzeniowy turzycy błotnej maksymalna liczebność tych drobnoustrojów,



Rys. 6. Sezonowe zmiany liczebności bakterii celulolitycznych na „martwych” korzeniach turzycy błotnej (*Carex acutiformis* Ehrb.); st. 1, 2 – stanowiska poboru próbek

Fig. 6. Seasonal changes in the numbers of cellulolytic bacteria on dead roots of the sedge (*Carex acutiformis* Ehrb.); st. 1, 2 – sampling sites

stwierdzana na stanowisku 2. w marcu 1994 r., była porównywalna z podawanymi dla gleb leśnych, gdzie ich liczba nie przekraczała $15,8 \cdot 10^3$ komórek $\cdot g^{-1}$ s.m. [ACEA, CARBALLAS, 1996]; stanowiła ona zaledwie 0,6% ogólnej liczby bakterii heterotroficznych, oznaczanych równolegle na podłożu z tryptonem, glukozą i ekstraktem drożdżowym [KORZENIEWSKA i in., 2007]. Udział tych bakterii na zanurzonych w wodzie częściach łodyg i korzeniach turzycy błotnej był jeszcze mniejszy i wynosił zaledwie 0,2%, a na wynurzonych (napowietrznych) jej częściach tylko 0,0003%. Obecność znaczącej liczby tlenowych bakterii



Rys. 7. Sezonowe zmiany liczebności bakterii celulozylitycznych na „żywych” korzeniach turzycy błotnej (*Carex acutiformis* Ehrb.); st. 1, 2 – stanowiska poboru próbek

Fig. 7. Seasonal changes in the numbers of cellulolytic bacteria on living roots surface of the sedge (*Carex acutiformis* Ehrb.); st. 1, 2 – sampling sites

celulozylitycznych w glebie okalającej system korzeniowy turzycy błotnej oraz na jej korzeniach może być związana nie tylko z obecnością substratu, ale także z dyfuzyjnym przepływem tlenu z górnych części rośliny do jej części podziemnych wskutek różnicy ciśnień. Jak podaje BRIX [1997], system korzeniowy roślin wodnych (hydromakrofitów) może uwalniać do ryzosfery do 0,02 do 0,12 mg O₂·m⁻²·d⁻¹, stwarzając odpowiednie warunki dla bakterii tlenowych zasiedlających takie ekosystemy. Korzenie – uwalniając tlen do gleby – sprzyjają tworzeniu lokalnych mikrostref tlenowych. Może to stymulować zarówno minera-

lizację substancji organicznej przez drobnoustroje, jak również rozwój bakterii nityfikacyjnych, utleniających amoniak [GERSBERG i in., 1986; NIEWOLAK, FILIPKOWSKA, KORZENIEWSKA, 2005]. Powstałe azotany mogą być wykorzystane przez rośliny lub ulec denitryfikacji. Te ostatnie, jak również najaktywniejsze frakcje organiczne wydzielin komórkowych roślin (aminokwasy i inne) mogą być źródłem azotu dla bakterii celuloitycznych, rozkładających błonnik w glebie [ERICSSON, BLAUCHETTE, ANDER, 1992; JOHANSEN, BINNERUP, 2002; WIRTH, ULRICH, 2002].

Większa liczebność tlenowych bakterii celuloitycznych w wodzie, glebie, turzycy błotnej i na jej korzeniach latem mogła być związana z warunkami abiotycznymi (temperaturą), zaś jesienią i wczesną wiosną – z dostępnością substratu. Latem nierozłożony błonnik z sezonu jesiennego (wskutek niskiej temperatury zimą) może być jeszcze dostępny dla bakterii celuloitycznych, kiedy temperatura w środowisku osiągnie wartości bardziej optymalne [HOPE, BURNS, 1987]. Większa liczebność tych drobnoustrojów, stwierdzana w niektórych ekosystemach badanych w grudniu 1993 r. (w wodzie, na powierzchni zanurzonych w niej i wynurzonych – napowietrznych częściach, w glebie i ryzosferze korzeni ubiegłorocznych), może mieć związek z brakiem organizmów antagonistycznych lub osłabieniem ich funkcji fizjologicznych. Większa liczebność beztlenowych bakterii celuloitycznych, stwierdzana w lipcu 1993 r. w wodzie, na powierzchni zanurzonych w niej części turzycy błotnej, w glebie i ryzosferze korzeni ubiegłorocznych, może być uwarunkowana wyższą temperaturą środowiska i pojawianiem się mikronisz o ograniczonym dostępie tlenu (wskutek jego zużycia na procesy oddechowe innych drobnoustrojów heterotroficznych).

WNIOSKI

1. Bakterie celuloityczne tlenowe i beztlenowe stanowią nieliczną grupę drobnoustrojów heterotroficznych w badanych ekosystemach mokradła, wyrażaną ułamkiem procentu.

2. Wśród bakterii rozkładających celulozę w wodzie, glebie i na powierzchni różnych części turzycy błotnej przeważają tlenowce. Bakterie rozkładające celulozę w warunkach beztlenowych reprezentowane są rzadko i najczęściej w niewielkich ilościach.

3. Różnice w liczebności obu tych grup bakterii celuloitycznych na poszczególnych stanowiskach w wodzie były z reguły niewielkie (w zakresie 1 rzędu wielkości); sporadycznie w glebie i ryzosferze korzeni ubiegłorocznych i tegorocznych osiągały większe wartości (w zakresie 1–3 rzędów wielkości).

4. W sezonowym wzroście liczebności tlenowych i beztlenowych bakterii celuloitycznych latem znaczenie może mieć temperatura środowiska, jesienią i wczesną wiosną – dostępność określonych substratów (celulozy), zimą (pod koniec marca) również zahamowanie aktywności organizmów antagonistycznych.

Praca wykonana w ramach tematu badawczego Projekt KBN 03 030 207.

LITERATURA

- ACEA M.J., CARBALLAS T., 1996. Changes in physiological groups of microorganisms in soils following wildfire. *FEMS Microbiol. Ecol.* 20 s. 33–39.
- BRIX H., 1994. Functions of macrophytes in constructed wetlands. *Water Sci. Tech.* 29 s. 71–78.
- BRIX H., 1997. Do macrophytes play a role in constructed wetland? *Water Sci. Tech.* 35 s. 11–17.
- CRAWFORD D.L., 1996. The role of actinomycetes in the decomposition of lignocellulose. *FEMS Symp.* 34 s. 715–728.
- DONDERSKI W., LALKE E., 1995. Physiological properties of epiphytic bacteria isolated from lesser reedbed (*Typha angustifolia* L.). *Acta Univ. Nicolai Copernici 19 Limnol. Papers* 95 s. 13–22.
- ERIKSSON K.E.L., BLAUCHETTE R.A., ANDER P., 1992. Microbial and enzymatic degradation of wood components. Ch. 2.6. Cellulose degradation by bacteria. Berlin: Springer s. 137–158.
- GERSBERG R.M., ELKINS B.U., LYON S.R., GOLDMAN C.R., 1986. Role of aquatic plants in wastewater treatment by artificial wetlands. *Water Res.* 20 s. 363–368.
- GÜDE H., 1978. Polysaccharide degradation by aquatic *Cytophaga* population in a eutrophic lake and in mixed cultures. *Verh. Inter. Ver. Limnol.* 20 s. 2233–2237.
- HOPE C.F.A., BURNS R.G., 1987. Activity, origins and location of cellulose in a silt loam soil. *Biol. Fertil. Soils* 5 s. 164–170.
- JOHANSEN J.E., BINNERUP S.J., 2002. Contribution of Cytophaga-like bacteria to the potential of turnover carbon, nitrogen and phosphorus by bacteria in the rhizosphere of barley (*Hordeum vulgare* L.). *FEMS Microbiol. Ecol.* 45 s. 298–306.
- KADOTA H., 1956. A study of the marine aerobic cellulose-decomposing bacteria. *Mem. Coll. Agr. Kyoto Univ.* 74 s. 128.
- KORZENIEWSKA E., BRZOZOWSKA R., CZECHOWSKA K., FILIPKOWSKA Z., NIEWOLAK S., 2007. Seasonal changes in the numbers of some physiological groups of heterotrophic bacteria in the water, soil and plants of the wetlands near Olsztyn. *Arch. Env. Prot.* vol. 33 no. 4 s. 29–36.
- KUCZYŃSKA A., NIEWOLAK S., 2004. Bakterie celulozowe, mineralizujące lecytynę, rozpuszczające fosforan trójwapienny i redukujące siarczany w wodzie jezior dystroficznych na obszarze Włocławskiego Parku Narodowego. *Rocz. Augustowsko-Suwalski* 4 s. 175–185.
- KUZNECOV S.I., 1970. Mikroflora ozer i jeje geochimicheskaja dejatelnost'. Leningrad: Izd. Nauka. ss. 440.
- LALKE-PORCZYK E., 1999. Występowanie, rozwój i aktywność metaboliczna bakterii epifitycznych makrofitów. Toruń: UMK maszyn. ss. 141.
- LALKE-PORCZYK E., DONDERSKI W., 2005. The role of bacteria growing on the root system of the common reed (*Phragmites australis* [Cav.] Trin. ex. Steudel) in the metabolism of organic compounds. *Pol. J. Env. St.* 1 s. 57–64.
- LISTON J., 1968. Distribution, taxonomy and function of heterotrophic bacteria on the sea floor. *Bull. Misaki Mar. Biol. Inst. Kyoto Univ.* 12 s. 97–104.
- MEYNELL G.G., MEYNELL E., 1970. Theory and practice in experimental bacteriology. Cambridge: Univ. Press ss. 347.
- NIEWOLAK S., BRZOZOWSKA R., CZECHOWSKA K., FILIPKOWSKA Z., KORZENIEWSKA E., 2007. Sezonowe zmiany liczebności promieniowców i grzybów (nitkowatych i drożdżoidalnych) w wodzie, glebie i roślinności śródleśnych mokradeł w okolicy Olsztyna. *Woda Środ. Obsz. Wiej.* t. 7 z. 2 (20) s. 5–25.
- NIEWOLAK S., BRZOZOWSKA R., CZECHOWSKA K., FILIPKOWSKA Z., KORZENIEWSKA E., 2008a. Sezonowe zmiany liczebności bakterii mineralizujących lecytynę i rozpuszczających fosforan trójwapienny w wodzie, glebie i roślinności śródleśnych mokradeł w okolicy Olsztyna. (w przygotowaniu).

- NIEWOLAK S., BRZozowska R., CZECHOWSKA K., FILIPKOWSKA Z., KORZENIEWSKA E., 2008b. Sezonowe zmiany liczebności bakterii redukujących siarczany w wodzie, glebie i roślinności śródlęśnych mokradł w okolicy Olsztyna. (w przygotowaniu).
- NIEWOLAK S., KORZENIEWSKA E., FILIPKOWSKA Z., 2005. Seasonal changes in the numbers of nitrogen cycle bacteria in the water, soil and plants of the wetlands near Olsztyn. Acta Univ. Nicolai Copernici. Limnol. Papers 25 s. 105–122.
- OSTERTAG H., 1950. Abbau der Cellulose im städtischen Abwasser und im Vorfluter. Städtehygiene 1 s. 206–210.
- RODINA A.G., 1968. Mikrobiologiczne metody badania wód. Warszawa: PWRiL ss. 468.
- SRIDHAR K.R., BÄRLOCHER F., 1993. Seasonal changes in microbial colonization of fresh and dried leaves. Arch. Hydrobiol. 128 s. 1–12.
- SUBERKROPP K., KLUG M.J., 1976. Fungi and bacteria associated with leaves during processing in a woodland stream. Ecol. 57 s. 707–719.
- TANAKA Y., 1991. Microbial decomposition of reed (*Phragmites communis*) leaves in a saline lake. Hydrobiol. 220 s. 119–129.
- TANAKA Y., 1993. Aerobic cellulolytic bacterial flora associated with decomposition of *Phragmites* leaf litter in a seawater lake. Hydrobiol. 265 s. 145–154.
- WIRTH S., ULRICH A., 2002. Cellulose-degrading potentials and phylogenetic classification of carboxymethyl-cellulose decomposing bacteria isolated from soil. System. Appl. Microbiol. 25 s. 584–591.

Stanisław NIEWOLAK, Renata BRZozowska, Karolina CZECHOWSKA,
Zofia FILIPKOWSKA, Ewa KORZENIEWSKA

**SEASONAL CHANGES
IN THE NUMBERS OF AEROBIC AND ANAEROBIC CELLULOLYTIC BACTERIA
IN WATER, SOIL AND ON PLANTS OF MID-FOREST WETLANDS NEAR OLSZTYN**

Key words: bacteria, cellulolytic, plants, soil, water, wetland

S u m m a r y

The distribution and seasonal changes in the number of cellulose-degrading bacteria in the water, soil and on the surface of aerial leaves and immersed parts of the sedge (*Carex acutiformis* Ehrb.) and on dead and live roots in two consecutive year cycle in 1993 and 1994 were examined. In the water of the examined wetland the number of cellulose-degrading bacteria under aerobic conditions did not exceed $1.4 \cdot 10^3 \text{ cm}^{-3}$. More bacteria were found on immersed parts of the sedge, in the soil surrounding its root system and on dead and live roots surface. Bacteria were most numerous in the summer and only exceptionally occurred in other periods. The differences in their numbers from respective habitats in particular sampling sites were often small. Under anaerobic conditions the cellulose-degrading bacteria (*Clostridium* sp.) were less frequent in all habitats. They often were absent from the examined water volume or soil mass and on particular plant parts.

Recenzenci:

dr inż. Ewa Górską

prof. dr hab. Stefan Russel

Praca wpłynęła do Redakcji 20.11.2007 r.