

## CHARAKTERYSTYKA MYKSOBAKTERII W WYBRANYCH GLEBACH LEŚNYCH

**Monika Anna MICHAŁOWSKA<sup>1)</sup>, Stefan RUSSEL<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup> Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Zakład Mikrobiologii Rolniczej

<sup>2)</sup> Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach, Zakład Sanitacji Wsi

*Słowa kluczowe: bakterie śluzowe, gleby leśne, mikroflora glebowa, myksobakterie*

### Streszczenie

Myksobakterie są jedną z grup drobnoustrojów, które powszechnie występują w glebie, na rozkładającym się materiale roślinnym, korze oraz odchodach dzikich zwierząt roślinożernych.

Mają one szczególnie interesujące cechy, m.in. zdolność do ruchu ślizgowego, wykazują pewną formę życia społecznego opartego na systemie interakcji międzykomórkowych, objawiającego się poprzez wspólne odżywanie, zbiorowe poruszanie się, a także fascynujący cykl życiowy prowadzący do formowania (w warunkach deficytu składników odżywczych) specyficznych struktur przetrwalnych, określanych mianem ciał owocujących. Myksobakterie odznaczają się ponadto dużym potencjałem do syntezy bioaktywnych substancji o działaniu antybiotycznym, a nawet przeciwnowotworowym. Większość szczepów charakteryzuje się także zdolnością do rozkładu lignin, celulozy, hemicelulozy, skrobi, ksylanu, a nawet całych komórek mikroorganizmów (myksobakterie drapieżne).

Celem badań było określenie liczebności i składu gatunkowego myksobakterii w wybranych glebach leśnych. Badania przeprowadzono na wybranych glebach występujących na terenie Puszczy Białej (gleba opadowo-glejowa i glejobielicowa). Liczebność myksobakterii w badanych glebach określano metodą płytkową. Wyizolowane szczepy poddano charakterystyce makro- i mikromorfologicznej z wykorzystaniem mikroskopii stereoskopowej, świetlnej i skaningowej mikroskopii elektro-nowej.

Wyniki analiz ilościowych wykazały, że powierzchniowe warstwy gleby, tj. poziom poziom ściółki leśnej (Ofh) i poziom próchniczny (A) są najliczniej zasiedlane przez myksobakterie. Wraz ze wzrostem głębokości profilu glebowego liczebność myksobakterii zmniejsza się, osiągając wartości bliskie zeru w poziomie glejowym (IIGg). Największą liczebność myksobakterii stwierdzono w sierpniu, na co znaczący wpływ wywierają optymalne warunki atmosferyczne.

Wyniki analiz jakościowych wykazały, iż we wszystkich poziomach genetycznych obu badanych profili glebowych dominowały myksobakterie celulolityczne z gatunku *Sorangium cellulosum* i *Polyangium compositum*. Ściółka obu gleb była powszechnie zasiedlana przez gatunek *Myxococcus fulvus*.

Reasumując, myksobakterie są tlenowymi drobnoustrojami, zasiedlającymi powierzchniowe warstwy gleby. Istotny wpływ na ich liczebność wywierają zawartość substancji organicznej, wilgotność i pH gleby oraz czynniki atmosferyczne.

## WSTĘP

Myksobakterie są jedną z grup drobnoustrojów, które powszechnie występują w glebie na rozkładającym się materiale roślinnym, korze oraz odchodach dzikich zwierząt roślinożernych (zajęcy, królików, jeleni, saren, owiec, łosi). Najliczniej zasiedlają one powierzchniowe warstwy gleby, jednakże czynnikiem wywierającym ograniczający wpływ na ich występowanie jest odczyn gleby. Bakterie te preferują odczyn lekko kwaśny do lekko zasadowego, przede wszystkim gdy pH jest zbliżone do 7. Nadal istnieje bardzo niewiele danych dotyczących liczebności myksobakterii w glebie. W literaturze przedmiotu podaje się bardzo dużą rozpiętość ich wartości – od 300 do kilkudziesięciu tysięcy komórek myksobakterii w 1 gramie różnych typów gleb. Tak duże zróżnicowanie świadczy o istotnym wpływie czynników środowiskowych, a co za tym idzie – o zależności liczebności myksobakterii od różnych właściwości gleby, tj. odczynu, obecności mikroflory towarzyszącej, temperatury, wilgotności, natlenienia (napowietrzenia), czy wpływu gospodarki człowieka [DWORKIN, KAISER, 1993].

Bakterie te charakteryzują się interesującymi cechami, takimi jak zdolność do ruchu ślizgowego, odbywanego się za pomocą kurczliwych fibryli wprawiających komórkę w ruch pełzający, wspomagany dodatkowo wydzielanym zewnątrzkomórkowo śluzem. Poruszające się komórki pozostawiają na powierzchni podłoża specyficzne ślady w postaci śluzowych szlaków [BURCHARD, 1980; 1981].

Myksobakterie wykazują również pewną formę życia społecznego, opartego na wzajemnej współpracy między komórkami wegetatywnymi, objawiającego się między innymi zbiorowym poruszaniem się, grupowym odżywianiem czy fascynującym cyklem życiowym [DREWS, 1974; DWORKIN, 1985; FINCK, 1950].

W warunkach dostępności związków pokarmowych komórki rozmnażają się i pozostają w fazie wzrostu wegetatywnego. W sytuacji gdy substancje odżywcze ulegną wyczerpaniu, komórki zapoczątkowują kaskadę specyficznych reakcji za pośrednictwem cząsteczek sygnałowych. Dochodzi wówczas do grupowania się komórek w jednym punkcie, co doprowadza do utworzenia tzw. agregatów komórkowych. W obrębie owych agregatów część komórek ulega lizie, zlewają się i formują charakterystyczny dla danego gatunku kształt ciała owocującego. Gdy ciało owocujące osiągnie ostateczny kształt, komórki znajdujące się w jego wnętrzu ulegają procesowi różnicowania w tzw. myksosporę. Są to przetrwalne formy ko-

mórek wegetatywnych o wysokim poziomie odporności na niekorzystne czynniki środowiskowe. Stanowią one 85% suchej masy ciał owocujących i mogą przetrwać w środowisku nawet 25 lat [DAWID, 2000; KAISER, 1989; REICHENBACH, 1986; SHIMKETS, 1990]. Ciało owocujące zbudowane jest z tzw. sporangiów, czyli kulistych struktur gromadzących w swym wnętrzu myksosporę. Dodatkowo u niektórych gatunków sporangia są osadzone na śluzowych trzonkach wynoszących je ponad powierzchnię podłoża [BROCKMAN, 1967; BROCKMAN, TODD, 1974; KUNER, KAISER, 1982; ROSENBERG, 1984; WHITE, 1993].

Specyfika cyklu rozwojowego myksobakterii oraz ich zdolności do ruchu pełzającego są podobne w znacznym stopniu do złożonych cykli życiowych eukariotycznych organizmów, tj. akrazji i śluzowców.

Akrazje to grupa eukariotycznych organizmów zasiedlających środowisko glebowe, których podstawową formą życiową jest pełzak, żyjący swobodnie (pojedynczo) do momentu wyczerpania substancji odżywczych. Deficyt składników pokarmowych, podobnie jak w przypadku myksobakterii, indukuje tworzenie skupisk osobników (analogia w stosunku do agregatów tworzonych przez wegetatywne komórki myksobakterii), określanych mianem nibyśluzni, w których indywidualność poszczególnych osobników zostaje zachowana. Nibyśluznie wytwarzają trzoneczki zbudowane zawsze z żywych pełzaków. Trzoneczki wytwarzają łańcuszki zarodników, nie stwierdza się więc tutaj obecności zarodni. Cała struktura produkująca zarodniki zwana jest sorokarpium (analogia w stosunku do ciał owocowych myksobakterii). Akrazje należą do organizmów wykazujących podobieństwo zarówno do zwierząt (główna postać życiowa to pełzak odżywiający się fagotroficznie), jak i grzybów (wytwarzanie zarodników w specjalnych strukturach). Współcześni przedstawiciele są prawdopodobnie pozostałością z czasów, gdy prymitywne *Eukaryota* zaczynały się dopiero różnicować na trzy zasadnicze szeregi rozwojowe, tj. rośliny, grzyby i zwierzęta.

Śluzowce to organizmy eukariotyczne, których cykl rozwojowy składa się ze stadium wegetatywnego, tutaj śluzni (utwór diploidalny, rozwijający się z dala od światła, poruszający się w poszukiwaniu pokarmu, np. bakterii i innych jednokomórkowych organizmów, które wchłania na drodze fagocytozy, co upodabnia je do prymitywnych zwierząt). Po wyczerpaniu zasobów pokarmowych śluznia wypelza na powierzchnię podłoża, gdzie przekształca się w zależności od cech gatunkowych w różnorodne postacie zarodni (pierwoszczowocnia, zrosłozarodnia, zarodnia wolna) otoczone ścianą (peridium) i wypełnione zarodnikami (sporami) oraz włóśnią (capilitium), ułatwiającą rozsiewanie zarodników (ten etap cyklu rozwojowego przypomina grzyby, a także myksobakterie, w których odpowiednikiem zarodni są ciała owocowe gromadzące w swym wnętrzu myksosporę). Z zarodników – w zależności od warunków siedliskowych – kielkują pływki lub pełzaki łączące się ze sobą w procesie kopulacji (syngamii). W wyniku dalszych podziałów mitotycznych powstaje diploidalna, wielojądrowa śluznia. W niekorzystnych warunkach śluzowce tworzą formy przetrwalne (analogicznie w stosunku do mykso-

bakterii, gdzie funkcję przetrwalną pełnią myksospory) – cysty (pływki lub pełzaki) otoczone grubą ścianą oraz skleroty powstałe z wyschniętych śluzni. Śluzowce mogą przez wiele lat nie ujawniać swojej obecności, będąc w stanie spoczynku w postaci cyst, sklerot (formy przetrwalnikowe o kształcie kulistym lub wrzecionowatym, zbudowane z plektenchymy, zawierające małą ilość wody oraz dużo substancji zapasowych, m. in. tłuszczów) i zarodników. Stan ten zostaje przerwany, gdy zaistnieją warunki odpowiednie do rozwoju [SZWEYKOWSKA, SZWEYKOWSKI, 1999].

Tak więc myksobakterie – będące przedstawicielami organizmów prokariotycznych – mają wiele cech, które obserwujemy u organizmów eukariotycznych, co może świadczyć o ich wysokiej pozycji wśród organizmów nieposiadających jądra komórkowego. W dzisiejszych czasach poszukuje się uzasadnień owych podobieństw w podłożu genetycznym.

Myksobakterie odznaczają się dużym potencjałem w syntetyzowaniu bioaktywnych substancji o działaniu antybiotycznym, a nawet przeciwnowotworowym. Działanie antybiotyczne metabolitów wtórnych polega m.in. na hamowaniu syntezy białek lub inhibicji transportu elektronów w łańcuchu oddechowym grzybów oraz innych gatunków bakterii. Oddziaływanie antynowotworowe prowadzi do zahamowania podziałów komórek nowotworowych w wyniku niszczenia wrzecion podziałowych, doprowadzając ostatecznie do śmierci owych komórek na drodze apoptozy [REICHENBACH, HÖFLE, 1993].

Większość gatunków myksobakterii charakteryzuje się także wysokim poziomem aktywności enzymatycznej, a co za tym idzie – zdolnością do rozkładu m.in. lignin, celulozy, ksylanu czy skrobi. Myksobakterie drapieżne, zwane również mikropredatorami, atakują komórki bakterii czy drożdży, stanowiących dla nich bogate źródło pokarmu [GNOSSPELIUS, 1978; HART, ZAHLER, 1966].

Celem badań było określenie liczebności oraz składu gatunkowego myksobakterii w wybranych glebach leśnych (opadowo-glejowej oraz glejobielicowej) Puszczy Białej. Podjęta praca jest nowatorska, ponieważ do chwili obecnej – poza analizami H. i S. Krzemieniewskich z początków XX w. – nikt nie zajmował się w naszym kraju myksobakteriami. Z dostępnej literatury wynika, że gleby leśne są stosunkowo słabo poznane pod względem występowania tej interesującej grupy mikroorganizmów.

## METODY BADAŃ

Materiał badawczy stanowiły próbki gleb leśnych pobranych z terenu Puszczy Białej, tj. gleby opadowo-glejowej (Nadleśnictwo Ostrów Mazowiecka) oraz glejobielicowej (Nadleśnictwo Wyszaków). Próbki pobierano co miesiąc w okresie od czerwca do września 2006 r. Analizom poddano wszystkie poziomy genetyczne badanych profilów glebowych.

Liczebność myksobakterii w badanych glebach określono, stosując metodę płytkową polegającą na zaszczerpieniu podłoża mikrobiologicznego zawiesiną gleby o znanej masie w rozcieńczeniu  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$  oraz grudkami gleby. W analizach stosowano następujące agarowe podłoża mikrobiologiczne: VY/2 – zawierające komórki drożdży piekarskich z gatunku *Saccharomyces cerevisiae* jako źródło pożywienia i witaminy B<sub>12</sub> [GERTH i in., 1984; RICE, LAMPSON, 1995], agar wodny z solami mineralnymi i krążkiem bibuły filtracyjnej jako źródło węgla oraz CY – zawierające preparat casitone (Difco) jako bogate źródło azotu [BULL, SHETTY, SUBBARAO, 2002]. W celu ograniczenia rozwoju grzybów glebowych do podłoża hodowlanych dodawano cykloheksymid lub nystatynę w ilości  $100 \mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ . Po zaszczerpieniu podłoża hodowle inkubowano w temperaturze 30°C przez 7–30 dni ze względu na różne tempo rozwoju poszczególnych gatunków myksobakterii. Po okresie inkubacji określano liczebność komórek myksobakterii, licząc kolonie oraz strefy występowania ciał owocujących. Uzyskane wyniki wyrażono w jtk (jednostki tworzące kolonie) w 1 g suchej masy gleby.

W celu uzyskania czystych kultur wyizolowane szczepy oczyszczano za pomocą różnorodnych metod, tj.:

- posiewu redukcyjnego;
- transferu ciał owocujących na podłoża wybiórcze (dla myksobakterii celulolitycznych ST21CX [SHIMKETS i in., 2004], CEL3, STAN-6 [REICHENBACH, DWORKIN, 1992] oraz dla myksobakterii drapieżnych podłoża zawierające komórki *Escherichia coli* (coli spot plates, coli cross plates), CAS, MD1 [RICE, LAMPSON, 1995], CT [REICHENBACH, DWORKIN, 1992]);
- ogrzewania zawiesiny ciał owocujących zawierających dojrzałe myksosporę w temperaturze 58°C przez 10 min;
- traktowania zawiesiny ciał owocujących zawierających dojrzałe myksosporę odpowiednią mieszaniną antybiotyków, m.in. cykloheksymidu, nystatyny, chloramfenikolu, streptomycyny, tetracykliny, kanamycyny, erytromycyny, neomycyny, gentamycyny w ilości  $20\text{--}30 \text{ mg}\cdot(50 \text{ ml})^{-1}$  wody.

Oczyszczone szczepy myksobakterii poddano dogłębnej charakterystyce makro- i mikromorfologicznej z wykorzystaniem mikroskopii stereoskopowej, świetlnej oraz skaningowej mikroskopii elektronowej. W klasyfikacji myksobakterii do odpowiedniego gatunku uwzględniono morfologię:

- komórek wegetatywnych (rozmiar, elastyczność, formę zaokrąglenia końców);
- ciał owocujących (kształt, wielkość, barwa, obecność trzonek, tworzenie skupisk, liczba sporangiów w skupisku, forma lokalizacji na i/lub w podłożu);
- myksospor (wielkość, kształt);
- kolonii wegetatywnych (kształt, obecność specyficznych struktur powierzchniowych, tj. grzbietów, oscylujących fal, pierścieni, spiral, żyłowania, a także zdolność do penetracji podłoża, tempo rozprzestrzeniania się po podłożu, barwienie czerwienią Kongo).

## WYNIKI I DYSKUSJA

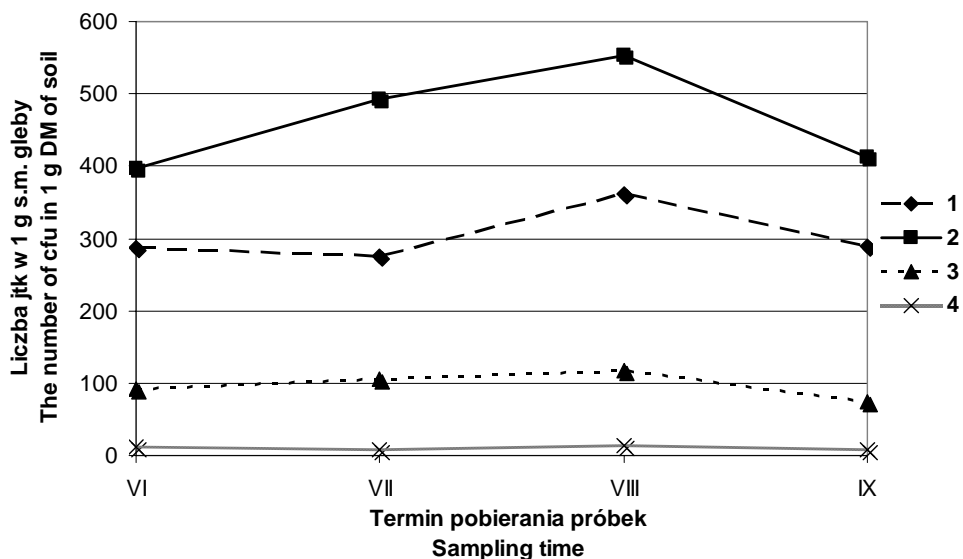
Na liczebność oraz skład gatunkowy myksobakterii występujących w glebie wywiera wpływ wiele czynników środowiskowych, w tym fizyczne oraz chemiczne właściwości gleb (tab. 1). Większą liczebność oraz bogatszy skład gatunkowy myksobakterii stwierdzono w glebie opadowo-glejowej niż w glejobilicowej (rys. 1, tab. 2).

Z danych przedstawionych na rysunku 1. wynika, że powierzchniowe poziomy genetyczne profilu glebowego, tj. poziom ściółki leśnej (Ofh) oraz poziom próchniczny (A) były najliczniej zasiedlane przez myksobakterie, co jest zgodne z wynikami badań KRZEMIENIEWSKIEJ i KRZEMIENIEWSKIEGO [1927b], GÓRNEGO [1975] oraz REICHENBACHA [1999]. W głębszych warstwach gleby, tj. w poziomie skały macierzystej (Cg) oraz w poziomie glejowym (II Gg), liczebność myksobakterii była wyraźnie mniejsza prawdopodobnie w związku z deficytem tlenu, a także znikomą zawartością substancji organicznej, które stwarzają niesprzyjające warunki do bytowania tej grupy drobnoustrojów. Jak podają KRZEMIENIEWSKA i KRZEMIENIEWSKI [1927b] oraz DAWID [2000], ilość, a przede wszystkim jakość związków próchnicznych, jak również fizyczne właściwości gleby są bardzo ważnymi czynnikami w rozsiedleniu myksobakterii.

**Tabela 1.** Charakterystyka profilów gleby opadowo-glejowej oraz gleby glejobilicowej

**Table 1.** Characteristics of soil profiles of pseudogley and gley-podzol

Profil Profile	Typ gleby Type of soil	Poziom genetyczny Genetic horizon	Głębokość Depth cm	pH (H <sub>2</sub> O)	pH (KCl)	Zawartość Content %		C:N
						C	N	
14	opadowo-glejowa pseudogley	Ofh	1–2	4,3	4,0	8,38	0,52	16,11
		A	3–16	4,2	3,7	2,48	0,13	18,51
		Cg	17–40	4,8	4,3	0,34	0,04	9,44
		II Gg	41–200	5,0	3,4	0,09	0,02	5,29
33	glejobilicowa gley-podzol	Ofh	1–3,5	4,0	3,3	28,95	1,33	21,84
		A	3,6–13	3,3	2,8	6,32	0,28	22,25
		Ees	14–18	3,8	3,2	1,21	0,06	19,52
		B	19–35	4,4	4,0	1,60	0,08	18,19
		II Gg	36–60	4,8	3,5	0,04	–	–



Rys. 1. Ogólna liczba myksobakterii w 1 g suchej masy gleby opadowo-glejowej; poziomy genetyczne gleby: 1 – Ofh, 2 – A, 3 – Cg, 4 – IIGg

Fig. 1. Total number of myxobacteria in 1 g dry mass of pseudogley; horizons of the soil: 1 – Ofh, 2 – A, 3 – Cg, 4 – IIGg

**Tabela 2.** Skład gatunkowy i częstotliwość izolacji myksobakterii w glebie opadowo-glejowej

**Table 2.** Species composition and frequency of isolation of myxobacteria in pseudogley

Gatunek myksobakterii Species of myxobacteria	Częstotliwość izolacji, % Frequency of isolation, %
<i>Sorangium cellulosum</i>	38,00
<i>Polyangium compositum</i>	37,25
<i>Myxococcus fulvus</i>	16,75
<i>Angiococcus disciformis</i>	2,75
<i>Nannocystis exedens</i>	2,00
<i>Polyangium soreliatum</i>	1,50
<i>Polyangium septatum</i>	1,00
<i>Polyangium aureum</i>	0,50
<i>Cystobacter fuscus</i>	0,25

Analizy ilościowe polegały również na określeniu liczebności myksobakterii w różnych porach roku. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że liczebność myksobakterii w glebie opadowo-glejowej zwiększała się od czerwca, osiągając największe wartości w sierpniu. Można to tłumaczyć optymalnymi warunkami atmosferycznymi, tj. wysoką temperaturą oraz umiarkowanymi opadami,

zapewniającymi sprzyjające warunki do wzrostu i rozwoju mikroorganizmów. We wrześniu zaobserwowano zmniejszenie liczebności myksobakterii, związane prawdopodobnie z obniżeniem się temperatury powietrza, a także zwiększeniem intensywności opadów atmosferycznych.

W literaturze można znaleźć bardzo zróżnicowane dane dotyczące sezonowej zmienności występowania drobnoustrojów w glebie. Wielu badaczy uważa, że zmienność liczebności drobnoustrojów jest ściśle uzależniona od klimatu, szczególnie w rejonach o dużych sezonowych wahaniami temperatury i wilgotności [GRANATSTEIN i in., 1987; KIRCHNER, WOLLUM, KING, 1993; SRIVASTAVA, 1992; TATE i in., 1991; VARDAKIS, 1988].

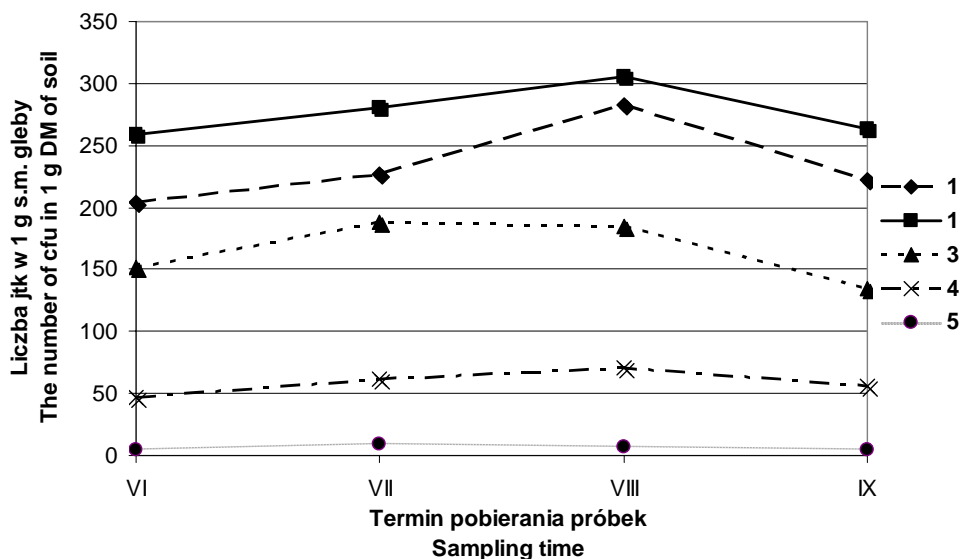
W glebie opadowo-glejowej dominowały celulołityczne gatunki myksobakterii, tj. *Sorangium cellulosum* oraz *Polyangium compositum*, należące do podrzędu *Sorangineae* (tab. 2), których obecność obserwowano we wszystkich badanych poziomach genetycznych profilu glebowego. Powierzchniowe warstwy gleby, zwłaszcza poziom ściółki leśnej, były również powszechnie zasiedlane przez gatunek *Myxococcus fulvus*, przedstawiciela podrzędu *Cystobacterineae*. W glebie tej stwierdzono również obecność agarolitycznego gatunku *Nannocystis exedens*. Częstotliwość izolacji pozostałych gatunków myksobakterii nie przekraczała 1,50%.

Jak podają KRZEMIENIEWSKA i KRZEMIENIEWSKI [1927a, b] oraz DAWID [2000], w glebach kwaśnych występuje charakterystyczna flora myksobakterii z przewagą przedstawicieli należących do rodzajów *Sorangium* i *Polyangium* oraz niektórych gatunków z rodzaju *Myxococcus*, m. in. *Myxococcus fulvus*. Zgodnie z danymi opublikowanymi przez KRZEMIENIEWSKĄ i KRZEMIENIEWSKIEGO [1927a, b], odczyn gleby odgrywa decydującą rolę w rozsiedleniu i składzie gatunkowym myksobakterii.

W glebie glejobilicowej stwierdzono znacznie mniejszą liczebność oraz różnorodność gatunkową myksobakterii (rys. 2, tab. 3), na co znaczący wpływ wywierają bardzo kwaśny odczyn gleby (spowodowany dużą przepuszczalnością i małą zasobnością w kationy zasadowe skał macierzystych, z których gleba powstała) oraz występowanie wody gruntowej, wywołujących oglejenie oddolne gleby oraz deficyt tlenu atmosferycznego.

Na podstawie wyników przeprowadzonych analiz stwierdzono, że największa liczebność myksobakterii w glebie glejobilicowej, analogicznie jak w glebie opadowo-glejowej, występowała w wierzchnich poziomach genetycznych profilu glebowego, tj. w poziomie ściółki leśnej (Ofh) oraz w poziomie próchnicznym (A). Pośrednią liczebność myksobakterii odnotowano w poziomie eluwialnym, czyli wymywania (Ees). Zwiększenie głębokości profilu glebowego, a co się z tym wiąże – niedobór tlenu i substancji organicznej, powodowało wyraźne zmniejszenie liczebności, co jest zgodne z wynikami badań KRZEMIENIEWSKIEJ i KRZEMIENIEWSKIEGO [1927a, b] oraz REICHENBACHA [1999].





Rys. 2. Ogólna liczba myksobakterii w 1 g suchej masy gleby glejobilicowej; poziomy genetyczne gleby: 1 – Ofh, 2 – A, 3 – Ees, 4 – B, 5 – IIGg

Fig. 2. Total number of myxobacteria in 1g dry mass of gley-podzol; horizons of the soil: 1 – Ofh, 2 – A, 3 – Ees, 4 – B, 5 – IIGg

**Tabela 3.** Skład gatunkowy i częstotliwość izolacji myksobakterii w glebie glejobilicowej

**Table 3.** Species composition and frequency of isolation of myxobacteria in gley-podzol

Gatunek myksobakterii Species of myxobacteria	Częstotliwość izolacji, % Frequency of isolation, %
<i>Sorangium cellulosum</i>	55,60
<i>Polyangium compositum</i>	27,00
<i>Myxococcus fulvus</i>	11,40
<i>Coralloccoccus coralloides</i>	3,20
<i>Angiococcus disciformis</i>	2,40
<i>Polyangium septatum</i>	0,60
<i>Polyangium aureum</i>	0,20

Liczebność myksobakterii – identycznie jak w glebie opadowo-glejowej – zwiększała się od czerwca, osiągając maksimum w sierpniu. Wczesną jesienią, tj. we wrześniu zaobserwowano mniejszą liczebność myksobakterii niż w miesiącach letnich, co ma bezpośredni związek z ochłodzeniem oraz większą ilością opadów atmosferycznych.

Wyraźnym dominantem wśród myksobakterii wyizolowanych z gleby glejobilicowej jest gatunek *Polyangium compositum* (tab. 3). Z dużą częstotliwością izo-

lowano również myksobakterie należące do *Sorangium cellulosum*. Ze ściółki leśnej izolowano przede wszystkim gatunek *Myxococcus fulvus* oraz w nieco mniejszym stopniu *Coralloccoccus coralloides*. Pozostałe gatunki stanowią znikomy odsetek ogólnej ilości wyizolowanych myksobakterii. Uzyskane wyniki potwierdzają dane przedstawione w pracach KRZEMIENIEWSKIEJ i KRZEMIENIEWSKIEGO [1927a, b] oraz DAWIDA [2000].

Podsumowując uzyskane wyniki, można stwierdzić, że gleba opadowo-glejowa stanowi dogodniejsze środowisko bytowania myksobakterii niż glejobilicowa. Ma to odzwierciedlenie w wynikach ilościowych – w glebie opadowo-glejowej liczebność myksobakterii była ponad 1,5-krotnie większa niż w glejobilicowej. Wyniki analiz jakościowych również wskazują, że gleba opadowo-glejowa ma lepsze właściwości, czego dowodem jest w niej większe bogactwo gatunkowe myksobakterii w stosunku do gleby glejobilicowej. Wynika to przede wszystkim z umiarkowanej wilgotności oraz większej wartości pH gleby opadowo-glejowej. Odczyn jest bardzo istotną właściwością chemiczną gleby, która w pewnym stopniu wywiera wpływ na kształtowanie się określonych zespołów roślinnych [KĘPKA, ZARĘBA, CHOJNICKI, 1987], decyduje o różnorodności gatunkowej i liczebności występujących w niej mikroorganizmów oraz o dostępności makro- i mikroskładników pokarmowych, warunkujących prawidłowe funkcjonowanie organizmów żywych [KOZANECKA, CHOJNICKI, 1998].

## WNIOSKI

1. Myksobakterie zasiedlają przede wszystkim powierzchniowe poziomy genetyczne badanych gleb, co ma bezpośredni związek z zawartością substancji odżywczych i tlenowymi wymaganiami owych mikroorganizmów.
2. Występowanie i różnorodność gatunkowa myksobakterii w znacznym stopniu zależą od typu gleby.
3. Badane gleby leśne są najliczniej zasiedlane przez celulolityczne myksobakterie z podrzędu *Sorangineae*, które odgrywają ważną rolę w obiegu węgla w przyrodzie.

## LITERATURA

- BROCKMAN E. R., 1967. Fruiting myxobacteria from the South Carolina Coast. *J. Bacteriol.* vol. 94 s. 1253–1254.
- BROCKMAN E. R., TODD R. L., 1974. Fruiting myxobacters as viewed with a scanning electron microscope. *Int. J. System. Bacteriol.* vol. 24 s. 118–124.
- BULL C. T., SHETTY K. G., SUBBARAO K. V., 2002. Interactions between myxobacteria, plant pathogenic fungi, and biocontrol agents. *Plant Dis.* vol. 86 s. 889–896.
- BURCHARD R. P., 1980. Gliding motility of bacteria. *Bio Sci.* vol. 30 s. 157–162.

- BURCHARD R. P., 1981. Gliding motility of prokaryotes: ultrastructure, physiology and genetics. *Ann. Rev. Microbiol.* vol. 35 s. 497–529.
- DAWID W., 2000. Biology and global distribution of myxobacteria in soils. *FEMS Microbiol. Rev.* vol. 24 403–427.
- DREWS G., 1974. *Mikrobiologisches Praktikum*. Wyd. 2. Berlin: Springer-Verl. s. 27–47.
- DWORKIN M., 1985. *Developmental biology of the bacteria*. California: Benjamin/Cummings Publ. Co., Reading M.A. s. 25–117.
- DWORKIN M., KAISER D., 1993. *Myxobacteria*. Wyd. 2. Washington DC: Am. Soc. Microbiol. Press s. 112–124.
- FINCK G., 1950. Biologische und stoffwechselfysiologische Studien an Myxococcaceen. *Arch. Mikrobiol.* vol. 15 s. 358–388.
- GERTH T., TROWITZSCH W., PIEHL G., SCHULZE R., LEHMANN J., 1984. Inexpensive media for mass cultivation of myxobacteria. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* vol. 19 s. 23–28.
- GNOSPILIUS G., 1978. Myxobacterial slime and proteolytic activity. *Arch. Microbiol.* vol. 116 s. 51–59.
- GÓRNY M., 1975. *Zoekologia gleb leśnych*. Warszawa: PWRiL s. 112–197.
- GRANATSTEIN D. M., BEZDICEK D. F., COCHRAN V. L., ELLIOT F., HAMMEL J., 1987. Long-term tillage and rotation effects on soil microbial biomass, carbon and nitrogen. *Biol. Fert. Soil.* vol. 5 s. 265–270.
- HART B. A., ZAHLER S. A., 1966. Lytic enzyme produced by *Myxococcus xanthus*. *J. Bacteriol.* vol. 92 s. 1632–1637.
- KAISER D., 1989. Multicellular development in myxobacteria. W: *Genetics of bacterial diversity*. Pr. zbior. Red. A. Hopwood, K. F. Chater. London: Acad. Press s. 243–263.
- KĘPKA M., ZARĘBA R., CHOJNICKI J., 1987. Gleby i zespoły leśne w rezerwacie „Rybitew” Kampinoskiego Parku Narodowego. *Folia Forest. Pol.* vol. 29 s. 5–23.
- KIRCHNER M. J., WOLLUM A. G., KING D., 1993. Soil microbial population and activities in reduced chemical input agroecosystems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* vol. 57 s. 1289–1295.
- KOZANECKA T., CHOJNICKI J., 1998. Mangan dostępny i rozpuszczalny w 20% HCl w glebie płowej sadu jabłoniowego. *Rocz. Gleb.* vol. 45 s. 97–107.
- KRZEMIENIEWSKA H., KRZEMIENIEWSKI S., 1927a. Miksobakterje Polski. Uzupełnienie. *Acta Soc. Bot. Polon.* vol. 5 s. 79–98.
- KRZEMIENIEWSKA H., KRZEMIENIEWSKI S., 1927b. Rozsiedlenie miksobakteryj. *Acta Soc. Bot. Polon.* vol. 5 s. 104–128.
- KUNER J. M., KAISER D., 1982. Fruiting body morphogenesis in submerged cultures of *Myxococcus xanthus*. *J. Bacteriol.* vol. 151 s. 458–461.
- REICHENBACH H., 1986. The myxobacteria: common organisms with uncommon behaviour. *Microbiol. Sci.* vol. 3 s. 268–274.
- REICHENBACH H., 1999. The ecology of the myxobacteria. *Env. Microbiol.* vol. 1 s. 15–21.
- REICHENBACH H., DWORKIN M., 1992. *The myxobacteria*. W: *The prokaryotes*. Pr. zbior. Red. A. Balows, H. G. Trüper, M. Dworkin, W. Harder, K. H. Schleifer. Wyd. 2. New York: Springer-Verlag s. 3416–3487.
- REICHENBACH H., HÖFLE G., 1993. Biologically active secondary metabolites from myxobacteria. *Biotechnol. Adv.* vol. 11 s. 219–277.
- RICE S. A., LAMPSON B. C., 1995. Phylogenetic comparison of retron elements among the Myxobacteria: Evidence for vertical inheritance. *J. Bacteriol.* vol. 177 s. 37–45.
- ROSENBERG E., 1984. *Myxobacteria. Development and cell interactions*. New York: Springer s. 109–125.
- SHIMKETS L. J., 1990. Social and developmental biology of the myxobacteria. *Microbiol. Rev.* vol. 54 s. 473–501.

- SRIVASTAVA S. C., 1992. Microbial C, N and P in dry tropical soils: seasonal changes and influence of soil moisture. *Soil Biol. Biochem.* vol. 24 s. 711–714.
- SZWEYKOWSKA A., SZWEYKOWSKI J., 1999. *Botanika. Systematyka. T. 2.* Warszawa: PWN s. 472–476.
- TATE K. R., SPEER T. W., ROSS D. J., PARFITT R. L., WHALE K. N., COWLING J. C., 1991. Temporal variations in some plant and soil P pools in two soils of widely different P fertility status. *Plant Soil* vol. 132 s. 219–232.
- The myxobacteria, 2004. Wyd. 3. Pr. zbior. Red. L. J. Shimkets, M. Dworkin, H. Reichbach. New York: Springer ss. 318.
- VARDAVAKIS E., 1988. Seasonal fluctuations of aerobic cellulolytic bacteria and cellulose and respiratory activities in a soil profile under a forest. *Plant Soil* vol. 115 s. 145–150.
- WHITE D., 1993. Myxospore and fruiting body morphogenesis. W: *Myxobacteria*. Wyd. 2. Pr. zbior. Red. M. Dworkin, D. Kaiser. Washington, DC: Am. Soc. Microbiol. s. 307–332.

Monika Anna MICHAŁOWSKA, Stefan RUSSEL

### CHARACTERISTICS OF THE MYXOBACTERIA IN SELECTED FOREST SOILS

*Key words: forest soils, myxobacteria, slime bacteria, soil microflora*

#### S u m m a r y

The aim of the present paper was to establish the size of myxobacterial population and species composition of myxobacteria in selected forest soils (pseudogley and gley-podzol) of Puszcza Biała. The number of myxobacteria was determined by the plate method using appropriate microbiological media. Isolated and purified strains were identified on the basis of their macro- and micromorphology using stereoscopic, light and scanning electron microscope (SEM).

The results showed that the highest number of myxobacteria was found in upper horizons of the soils (forest litter and humus horizons). The highest numbers of myxobacteria were found in the summer with the maximum in August. Two species of the cellulolytic myxobacteria: *Sorangium cellulosum* and *Polyangium compositum* dominated in the whole profile of analysed soils. Furthermore, *Myxococcus fulvus* was commonly found in forest litter.

---

Recenzenci:

*prof. dr hab. Lesław Badura*

*prof. dr hab. Stefan Martyniuk*

Praca wpłynęła do Redakcji 19.09.2007 r.