

ANNA LENART-BOROŃ, TOMASZ BANACH

*Katedra Mikrobiologii, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
Al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków
Email: annalenart82@gmail.com*

PROMIENIOWCE GLEBOWE Z RODZAJU *STREPTOMYCES* W ŚRODOWISKU ZANIECZYSZCZONYM METALAMI CIĘŻKIMI

WSTĘP

Człowiek od zarania dziejów zmienia swoje otoczenie. Jest to proces nieunikniony w postępie cywilizacji. Jednak zjawisku temu towarzyszy emisja do środowiska naturalnego wielu szkodliwych związków chemicznych, a ostatnio obserwuje się wzrost ilości tych zanieczyszczeń. Ekosystemy mają ograniczony zakres tolerancji substancji toksycznych, których nadmiar zaburza ich prawidłowe funkcjonowanie oraz wywiera negatywny wpływ na wzrost i metabolizm mikroorganizmów. Szczególnie ważnym, z punktu widzenia mikroorganizmów, środowiskiem jest gleba, która jest najobfitszym rezerwuarem drobnoustrojów, a zarazem proces jej samoczyszczenia przebiega bardzo powoli.

Jedną z najważniejszych grup mikroorganizmów glebowych są promieniowce (*Actinobacteria*), szeroko rozpowszechnione w tym środowisku. Odgrywają istotną rolę w użyźnianiu i mineralizacji gleb czy w degradacji związków trudno rozkładalnych. Wytwarzają wiele metabolitów wykorzystywanych przez inne mikroorganizmy, a także substancje o działaniu antybiotycznym. Mają duże znaczenie gospodarcze, są także wykorzystywane przez przemysł farmaceutyczny. Biorą czynny udział w obiegu pierwiastków w przyrodzie, zarówno mikro-, jak i makroelementów. Ponadto charakteryzują się dużymi zdolnościami do adaptacji do różnych warunków środowiska.

ZNACZENIE PROMIENIOWCÓW GLEBOWYCH

Promieniowce należą do grupy bakterii Gram-dodatnich. Powszechnie występują w glebie, kompostach, wodzie, osadach denicznych itp., gdzie przyczyniają się do degradacji resztek roślinnych i zwierzęcych, a także związków trudno rozkładalnych, np. ligniny, chityny, celulozy, wyższych kwasów tłuszczowych. Mają zdolność do syntezy wielu enzymów, np. nitrogenazy, a także substancji o działaniu antybiotycznym, np. erytromycyny.

Nazwa łacińska promieniowców pochodzi od *Actinomyces bovis*, pierwszego gatunku opisanego przez Bollingera w 1877 r., który wywołuje u bydła aktynomikozę, czyli

promienicę. To przewlekła choroba z ropnymi objawami w jamie ustnej oraz w sąsiadujących miękkich tkankach (SCHAAL i współaut. 2006).

Promieniowce są mikroorganizmami, które bardzo licznie zasiedlają warstwę próchniczną gleby. Ich obecność w środowisku glebowym jest ściśle uzależniona m.in. od właściwości chemicznych, fizycznych oraz fizykochemicznych gleby. Promieniowce, ze względu na zdolności do rozkładu różnych związków chemicznych, w tym polisacharydów oraz związków aromatycznych, odgrywają kluczową rolę w obiegu wielu

pierwiastków w przyrodzie. Uczestniczą także w procesach tworzenia związków humusowych w glebie (BEREZA-BORUTA 2002).

Promieniowce są szeroko rozpowszechnione w środowisku naturalnym, występują w glebie, mułach rzek, jeziorach, kompostach, oborniku, ściekach, a także w wielu innych miejscach. Szczególnie dużo jest ich w glebach torfowych. Mogą występować także w innych glebach, nawet w tych o odczynie kwaśnym, pomimo że optymalne pH dla ich wzrostu wynosi około 7. Wykazano, że przeważnie w glebach żyznych ich liczebność jest mniejsza niż pozostałych bakterii, a stosunek ich ilości w glebie wynosi 40:60. W glebach przesuszonych ich liczebność może być zdecydowanie większa. Wśród wielu poznanych promieniowców wyróżnia się gatunki pasożytnicze, które wywołują ciężkie schorzenia u ludzi i zwierząt, np. *Actinomyces israeli* (MCFARLANE i COARD 2010), a także gatunki chorobotwórcze dla roślin wyższych, np. *Streptomyces acidiscabies* (TASHIRO i współaut. 2012). Istnieją również gatunki saprofityczne, charakteryzujące się wysoką aktywnością w rozkładzie i mineralizacji substancji organicznych. Ten proces jest dla nich podstawowym źródłem energii oraz azotu i węgla do budowy własnych komórek. Promieniowce glebowe mają zdolność przeprowadzania różnorodnych procesów, jak redukcja siarczanów do siarkowodoru, azotanów do azotynów, rozkładają pektyny oraz liczne związki organiczne, a także białka z uwolnieniem azotu do podłoża. Produkty rozkładu złożonych związków organicznych mogą być wykorzystane przez inne mikroorganizmy, a także rośliny wyższe (SZEMBER 1995). Stanowią źródło różnorodnych składników, z których tworzona jest próchnica, a także są odpowiedzialne za zapach świeżo zaoranej gleby. Odpowiada za to związek o charakterystycznym zapachu - geosmina (1,10-dimetylo-9-dekalol), produkowana m.in. przez *Streptomyces griseus*, a także przez sinice (SCHLEGEL 2003). Wykazano również, że promieniowce z rodzaju *Streptomyces* żyją w symbiozie z korzeniami roślin wyższych i wiążą azot atmosferyczny, np. *Frankia alni* z drzewem olszą. Wzbogacają w ten sposób glebę w cenny składnik jakim jest azot, wykorzystywany przez rośliny wyższe (SZEMBER 1995).

Wiele promieniowców jest zdolnych do rozkładu celulozy, chityny, ligniny, wyższych kwasów tłuszczowych, sterydów oraz kwasów huminowych, a także innych trudno roz-

kładalnych naturalnych substancji organicznych. Do tej grupy należą *Micromonospora* występujące w glebie oraz w gnijących osadach dennych, które mogą rozkładać celulozę (SCHLEGEL 2003). Duże znaczenie mają także promieniowce innych rodzajów, np. *Frankia* zawiera enzym nitrogenazę i tworzy brodawki u roślin niemotylikowatych, a także *Thermomonospora* i *Thermoactinomyces*, które biorą udział w procesie rozkładania materii organicznej w kompoście (PAUL i CLARK 2000). Obecność promieniowców z rodzaju *Nocardia* została wykryta w emulsjach olejowo-wodnych używanych w procesie walcowania stali i aluminium, w paliwach lotniczych, w benzynie, a także w śluzie biologicznym przy produkcji papieru. Wykazano także, że *Actinomyces elastica* i *A. fuscus* mogą wykorzystywać kauczuk naturalny jako źródło węgla, a promieniowce z rodzaju *Streptomyces* mają zdolność do rozkładu wielu materiałów, np. bawełny, wełny, juty, papieru w książkach. Na uwagę zasługuje *Thermoactinomyces vulgaris*, ponieważ jest jedynym gatunkiem, który wytwarza spory odporne na działanie wysokich temperatur. Jest mikroorganizmem termofilnym, jego optymalna temperatura wzrostu to 55–60°C. Występuje w pyle spleśniałego siana oraz w ciepłych odpadach organicznych (ZYSKI i ŻAKOWSKA 2005).

Występujące w glebie promieniowce mają zdolność do syntezy substancji o charakterze antybiotycznym, które są wytwarzane jako uboczne produkty procesów metabolicznych. Szacuje się, że promieniowce produkują w sumie ponad 6000 antybiotyków, w tym najwięcej wytwarzają promieniowce z rodzaju *Streptomyces* – około 5 000 antybiotyków, *Micromonospora* ponad 400, a *Nocardia* około 300 (LIBUDZISZ i KOWAL 2000). Właściwość ta została szybko wykorzystana do przemysłowej produkcji ponad 90% antybiotyków naturalnych, które mają istotne znaczenie w lecznictwie, np.: tetracyklina (*Streptomyces aureofaciens*), gentamycyna (*Micromonospora purpura*), erytromycyna (*Saccharopolyspora erythraea*), streptomycyna (*Streptomyces griseus*), wankomycyna (*Streptomyces orientalia*), amfoterycyna (*Streptomyces nodosus*), chloromycetyna (*Streptomyces venezuelae*) (CHMIEL i GRUDZIŃSKI 1998). Antybiotyki wytwarzane przez promieniowce z rodzaju *Streptomyces* wykazują działanie przeciwbakteryjne, przeciwgrzybowe oraz przeciwnowotworowe. W Tabeli 1 przedstawiono ważniejsze antybiotyki produkowane

Tabela 1. Antybiotyki produkowane przez promieniowce (LIBUDZISZ i KOWAL 2000).

Aktywność	Promieniowce – gatunek	Antybiotyk
przeciwbakteryjna	<i>Micromonospora purpurea</i>	gentamycyny
	<i>Anycolatopsis mediterraei</i>	ryfamycyny
	<i>Streptomyces aureofaciens</i>	tetracykliny
	<i>Streptomyces kanamyceticus</i>	kanamycyny
	<i>Sacharopolyspora etythaea</i>	erytromycyna
	<i>Streptomyces floridae</i>	wiomycyna
	<i>Streptomyces griseus</i>	streptomycyna
	<i>Streptomyces lincolnensis</i>	linkomycyna
	<i>Streptomyces orientalis</i>	wankomycyna
przeciwgrzybowa	<i>Streptomyces nodosus</i>	amfoterycyny
	<i>Streptomyces noursei</i>	nystatyna
	<i>Streptomyces antibioticus</i>	aktynomycyna
	<i>Streptomyces caespitosus</i>	mitomycyna
przeciwnowotworowa	<i>Streptomyces galilaeus</i>	aklarubicyna
	<i>Streptomyces peucetius</i>	daunorubicyna
	<i>Streptomyces verticillus</i>	bleomycyna

przez promieniowce, z uwzględnieniem ich podziału na sposób działania.

Poza antybiotykami promieniowce syntetyzują także różnorodne związki o charakte-

rze pestycydów, fungicydów, insektycydów oraz związki przeciwwirusowe (SCHULZE i KOTHE 2012).

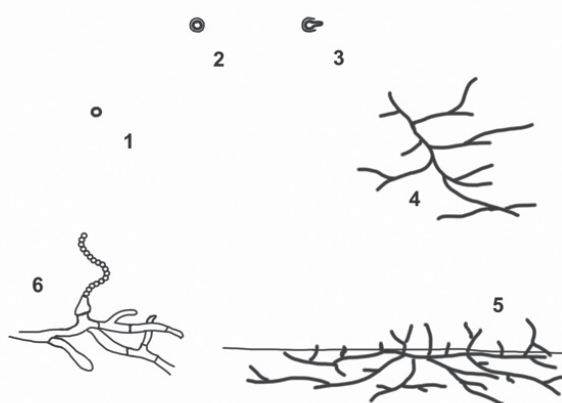
CHARAKTERYSTYKA PROMIENIOWCÓW Z RODZAJU *STREPTOMYCES*

Zgodnie z ostatnimi badaniami molekularnymi opartymi na sekwencji 16S rDNA, promieniowce zostały zaklasyfikowane jako Actinobacteria. Według nowego podziału *Streptomyces* spp. systematycznie należą do królestwa Bacteria, typ Actinobacteria, klasa Actinobacteria, podklasa Actinobacteridae; rząd Actinomycetales, podrząd Streptomycineae, rodzina Streptomycetaceae, rodzaj *Streptomyces*. Nowy podział zaburza dotychczasową systematykę, ponieważ Actinobacteria zawiera szereg różnych rodzajów bakterii, które w potocznym rozumieniu nazwy „promieniowce” się nie mieszczą, jak np. *Micrococcus*, *Bifidobacterium* (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/Taxonomy/Browser/wwwtax.cgi?mode=Undefined&id=201174&lvl=5&lin>).

Promieniowce morfologią i sposobem rozmnażania przypominają grzyby strzępkowe, dlatego w przeszłości były błędnie kla-

syfikowane właśnie jako grzyby. Jednakże w budowie ich komórki i składzie chemicznym ściany komórkowej są wyraźne podobieństwa do bakterii Gram-dodatnich. Komórki mają kształt prostych lub lekko zakrzywionych pałeczek o długości 10–50 µm oraz średnicy 1–1,5 µm (LIBUDZISZ i współaut. 2007).

Promieniowce są organizmami tlenowymi, charakteryzują się małymi wymaganiami w stosunku do zawartości substancji odżywczych w podłożach, dobrze rosną na prostych pożywkach. Wykorzystują proste związki organiczne, które są dla nich źródłem energii oraz substancji odżywczych. Korzystają z różnych źródeł węgla, takich jak np. węglowodany, alkohole, kwasy organiczne, a także aminokwasy i dlatego pod względem odżywiania zaliczamy je do organizmów chemoorganotroficznych. Wiele gatunków pro-

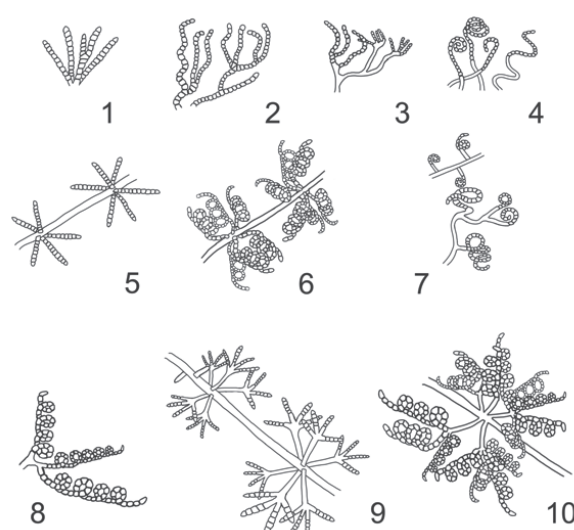


Ryc. 1. Cykl rozwojowy promieniowców z rodzaju *Streptomyces*.

1-zarodnik spoczynkowy, 2- zarodnik zwilżony i napęczniały, 3-zarodnik kiełkujący, 4-grzybnia, 5-zarys struktury kolonii na podłożu agarowym, 6-grzybnia ze strzępką zarodniośną, na której tworzą się zarodniki (wg Chmiel) (wg LIBUDZISZ i KOWAL 2000).

dukuje zewnątrzkomórkowe enzymy, które umożliwiają im metabolizowanie polisacharydów: skrobi, błonnika, hemicelulozy, a także substancji białkowych i tłuszczu (Ryc. 1) (LIBUDZISZ i KOWAL 2000).

Ściana komórkowa promieniowców należących do rodzaju *Streptomyces* ma typową budowę, w peptydoglikanie znajduje się kwas LL-diaminopimelinowy (LL-DAP) oraz mostki glicynowe (LIBUDZISZ i KOWAL 2000). Cechą charakterystyczną jest zdolność do wytwarzania pseudogrzybni powietrznej i substratowej. Pseudogrzybnia powietrzna jest silnie rozwinięta, wyrastają z niej liczne strzępki o różnej długości zwane sporoforami, na których obecne są spory odpowiadające za rozprzestrzenianie w środowisku naturalnym. Wyróżnia się kilka rodzajów sporo-



Ryc. 2. Typy sporoforów wytwarzane przez *Streptomyces*.

1-proste, 2-faliste, 3-wiązkowe, 4-prymitywne spiralne (otwarte pętle), 5-jednookółkowe niespiralne, 6-jednookółkowe spiralne, 7-zamknięte spiralne, 8-otwarte spiralne, 9-dwuokółkowe niespiralne, 10-dwuokółkowe spiralne (wg MADIGAN i współaut. 2000).

forów (Ryc. 2) w zależności od gatunku i od szczepu, mogą być proste, faliste, spiralne, wrzecionowate, splecione itd.

Pseudogrzybnia substratowa jest podobna morfologicznie do grzybni właściwej grzybów strzępkowych, częściowo wrasta w podłoże i odpowiada za pobieranie wody, substancji odżywczych oraz stanowi trzon kolonii właściwej. Promieniowce można różnicować na podstawie typu wytwarzanych sporoforów (Ryc. 2), zabarwienia, kształtu i wielkości kolonii oraz charakterystycznego zapachu (SCHLEGEL 2003).

WPLYW ZANIECZYSZCZEŃ GLEB METALAMI CIĘŻKIMI NA POPULACJĘ PROMIENIOWCÓW

Większość produkowanych zanieczyszczeń organicznych może zostać rozłożona przez mikroorganizmy naturalnie występujące w środowisku. Bardzo poważnym problemem może jednak stać się emisja do otoczenia metali ciężkich, ponieważ mogą one zalegać w glebie przez setki, a nawet tysiące lat oraz mogą włączać się do obiegu pierwiastków w przyrodzie. Źródłem metali ciężkich w środowisku naturalnym mogą być procesy wietrzenia skał, erupcje wulkanów, parowanie

oceanów oraz procesy glebotwórcze. Istotny wpływ ma także działalność człowieka i związany z nią przemysł chemiczny, wydobywczy, energetyczny, metalurgiczny oraz gospodarka komunalna i komunikacja. Na terenach zakładów przemysłowych, głównie hut metali, a także w ich sąsiedztwie, zaobserwowano zwiększone stężenia metali ciężkich, a wartości te niejednokrotnie kilkukrotnie przekraczają obowiązujące normy. Zmiany te nie są obojętne dla środowiska (SEŃCZUK 2005).

Metale ciężkie są to pierwiastki o ciężarze właściwym powyżej $4,5 \text{ g/cm}^3$ (z wyjątkiem lantanowców i aktynowców). W grupie tej znajdują się pierwiastki o właściwościach biogennych, np. żelazo, miedź, cynk, kobalt i inne, oraz pierwiastki niebędące biogennymi, np. ołów, kadm, rtęć. Pierwiastki pierwszej grupy zaliczane są do tzw. szarej strefy i w niskich stężeniach są niezbędne żywym organizmom, natomiast w wyższych stężeniach oddziałują toksycznie. Pierwiastki drugiej grupy są zaliczane do tzw. czarnej strefy i nie są potrzebne do prawidłowego funkcjonowania organizmów, wykazując działanie toksyczne w bardzo niskich stężeniach (BADURA 1997).

Metale ciężkie emitowane do środowiska ulegają w glebach różnym transformacjom w zależności od ich typu, zawartości koloidów organicznych i nieorganicznych, zawartości związków pochodzących z rozkładu biomasy, metabolitów wtórnych czynnie wydzielanych przez systemy korzeniowe roślin oraz przez mikroorganizmy, w zależności od odczynu czy zawartości wody w glebie (ALVAREZ i współaut. 2012). Substancje rozpuszczalne mogą być przekształcane w nierozpuszczalne, mogą wiązać się jonowymiennie z koloidami glebowymi oraz sorpcyjnie, a także łączyć się kompleksowo i chelatowo z wysoko- i niskocząsteczkowymi składnikami gleby. Powstałe produkty mogą inaczej oddziaływać na elementy abiotyczne ekosystemów, fizykochemiczne właściwości koloidów glebowych, a także na elementy biotyczne, rośliny, zwierzęta i mikroorganizmy. Metale ciężkie mogą zaburzać funkcjonowanie poszczególnych enzymów glebowych, ważnych ze względu na aktywny udział w rozkładzie biomasy (MOCEK-PLÓCINIĄK 2010). Nadmierna ilość miedzi w glebie jest czynnikiem modyfikującym aktywność enzymatyczną, działa hamująco na enzymy gleby. WYSZKOWSKA i KUCHARSKI (2003) stwierdzili, że wysokie wartości stężenia miedzi w glebie powodowały zmniejszenie średniej aktywności enzymów, np. dehydrogenazy, ureazy, fosfatazy kwaśnej i fosfatazy alkalicznej. Hamują także namnażanie się mikroorganizmów w glebie, zwłaszcza promieniowców. Wykazano, że wyższe stężenia cynku powodowały zahamowanie ich sporulacji (ABBAS i EDWARDS 1989). Istotne znaczenie mają związki kompleksowe, ponieważ mogą zwiększać lub zmniejszać działanie toksyczne oraz mutagenne na organizmy żywe. Wynika to z faktu, że powstające związki kompleksowe z metalami ciężkimi mogą uła-

twiać lub utrudniać przenikanie ich przez błony cytoplazmatyczne do wnętrza komórek, a po wnikięciu mogą być dezaktywowane poprzez wytrącanie, jako nierozpuszczalne fosforany, związki białkowe zawierające duże ilości grup siarkowych lub usuwane z komórki do środowiska. Mogą łączyć się z ważniejszymi centrami aktywnymi i blokować je, a także wiążąc się z DNA wywierać działanie mutagenne. Gdy niskie stężenie metali ciężkich w glebie występuje długo, zachodzą wówczas dwa zjawiska: (i) selekcji mniej opornych komórek na dany metal na bardziej odporne oraz (ii) adaptacji, czyli przystosowania się danej populacji komórek do aktualnie występujących warunków. W efekcie końcowym może to doprowadzić do zmian w funkcjonowaniu całego ekosystemu, ponieważ w przypadku, gdy jakaś populacja mikroorganizmów pełniąca ważną rolę w środowisku zostanie wyeliminowana ze względu na małą zdolność przystosowania do niekorzystnych czynników, to zostanie ona zastąpiona przez nową populację o innych właściwościach fizjologicznych. Po ważniejszym zaburzeniu w funkcjonowaniu ekosystemu może okazać się nagromadzenie produktów niecałkowitego rozkładu biomasy o wyższej toksyczności, niż sam czynnik wywołujący to zjawisko (BADURA 1997).

Mechanizmy oporności drobnoustrojów na metale ciężkie są dość skomplikowane, a wśród nich można wyróżnić mechanizmy wewnątrzkomórkowe i zewnątrzkomórkowe. Jony metali znajdujących się wewnątrz komórek drobnoustrojów mogą być aktywnie wydzielane przez systemy transportowe komórek. Związki, które są rozkładane w cytozolu mogą zostać związane, a następnie usunięte na zewnątrz komórki (HAFERBURG i KOTHE 2007). Metale mogą być także wydzielane na zewnątrz komórki poprzez połączenie ze związkami chelatującymi. Struktura błony komórek jest podatna na wiązanie dużych ilości metali ciężkich za zasadzie sorpcji; zapobiega to ich napływowi do wnętrza komórek (NRIAGU 1996). Wiele bakterii ma specyficzne transportery, które odpowiadają za wydzielanie toksycznych metabolitów i metali ciężkich (NIES 2003). Charakteryzują się one wysokim powinowactwem substratowym, przez co możliwe jest utrzymanie niskiego stężenia metali wewnątrz cytozolu. Innym mechanizmem jest unieruchamianie szkodliwych metali i wydalanie ich np. w formie szczawianów. Jeżeli toksyczne metale przenikną do wewnątrz komórki i nie zosta-

ną usunięte przez systemy transportowe, to nastąpi aktywacja cytoplazmatycznych mechanizmów ochronnych (MAJZLIK i współaut. 2011).

Wrażliwość promieniowców z rodzaju *Streptomyces* na metale ciężkie zależy od fazy rozwojowej: wegetatywnej lub generatywnej. Kielkujące formy konidialne podlegają skomplikowanym przemianom morfogenetycznym. Miedź nie wpływa na procesy kiełkowania konidiów promieniowców, ponieważ jest ważnym mikroelementem. Jej obecność jest niezbędna do prawidłowego funkcjonowania oksydazy cytochromowej. Natomiast kadm ma odmienne działanie, wyraźnie hamuje przechodzenie jasnej fazy kiełkowania konidiów promieniowców w fazę ciemną. Formy wegetatywne *Streptomyces* charakteryzują się mniejszą wrażliwością na kadm, niż ich kiełkujące konidia (ADAMSKA i współaut. 2002).

Mechanizmy oporności promieniowców z rodzaju *Streptomyces* na metale ciężkie są obecnie tematem wielu intensywnych badań. Podejmowane są próby analizowania wpływu wydzielanych zewnątrzkomórkowych produktów na występowanie tego zjawiska, a także wzmożonej aktywności wielu enzymów, m. in. reduktazy. Wykazano, że co najmniej 8 na 13 genów kodujących oporność zostało nabytych na drodze horyzontalnego transferu genów. Przewiduje się, że ATPaza typu P jest odpowiedzialna za transport kationów dwuwartościowych, która jest regulowana przez represor typu Cad-C. Na tej podstawie stwierdzono, że to one nadają oporność promieniowcom z rodzaju *Streptomyces* na działanie cynku i kadmu (LIN i współaut. 2011).

WYSZKOWSKA i KUCHARSKI (2003) przeprowadzili doświadczenie wazonowe mające na celu określenie wpływu miedzi na wzrost mikroorganizmów w glebie. Uzyskane wyniki wskazały, że wysokie stężenie metali ciężkich w glebie ma ujemny wpływ na li-

czebność drobnoustrojów. Zaobserwowano zmniejszenie liczebności mikroorganizmów oraz zachwianie równowagi biologicznej; najbardziej wrażliwe były bakterie, nieco mniej promieniowce, a najmniej grzyby.

Oddziaływanie metali ciężkich na mikroorganizmy występujące w glebie, w tym także na promieniowce, jest procesem złożonym. Zależy od zawartości form łatwo dostępnych, warunków glebowych, a w mniejszym stopniu od ich ilości (MOCEK-PLÓCINIAK i SAWICKA 2006).

Metale ciężkie mogą korzystnie wpływać na wtórny metabolizm mikroorganizmów. Istnieją badania (PAUL i BNERJEE 1983) dotyczące wpływu dodatku metali do pożywek hodowlanych, na wydajność produkcyjną szczepu *Streptomyces galbus*, wytwarzającego antybiotyk o właściwościach przeciwwgrzybiczych. Wydajność wzrośnie, jeżeli pożywki fermentacyjne będą uzupełnione miedzią, cynkiem lub żelazem. Natomiast jeśli podłoże będzie zawierało nikiel i kadm, to wydajność tego szczepu zostanie znacznie obniżona. Niektóre szczepy *Streptomyces* w badaniach eksperymentalnych wykazywały zdolność do bioakumulacji cynku, miedzi i kadmu (MAJZLIK i współaut. 2011).

Niektóre promieniowce pod wpływem wysokich stężeń metali ciężkich mogą nabywać oporność, dzięki czemu przeżywają w tych niekorzystnych warunkach, giną natomiast te, które nie nabyły tej oporności. Pośrednim skutkiem ograniczenia różnorodności promieniowców może być wyginięcie szczepów ważnych pod względem funkcjonalnym dla środowiska, zubożenie mikroflory gleby, a także zmiany właściwości fizykochemicznych gleby. Niniejsza praca pokazuje, że skażenie środowiska metalami ciężkimi jest poważnym problemem środowiskowym. Zjawisko to należy monitorować i kontrolować, aby zapobiec nieodwracalnym zmianom w ekosystemie.

PROMIENIOWCE GLEBOWE Z RODZAJU *STREPTOMYCES* W ŚRODOWISKU ZANIECZYSZCZONYM METALAMI CIĘŻKIMI

Streszczenie

Promieniowce bardzo licznie występują w warstwie próchnicznej gleby, uczestniczą w procesach przemiany materii, wytwarzają substancje wykorzystywane przez inne mikroorganizmy, a także substancje o właściwościach antybiotycznych. Skażenie gleb metalami ciężkimi może ograniczać bioróżnorodność omawianych mikroorganizmów w tym środowisku.

W niniejszej pracy scharakteryzowano najczęściej występujące w glebach promieniowce glebowe, należące do rodzaju *Streptomyces* i ich zachowanie w środowisku glebowym zanieczyszczonym metalami ciężkimi, które jest poważnym problemem środowiskowym. Zjawisko to należy monitorować i kontrolować, aby zapobiec nieodwracalnym zmianom w ekosystemie.

ACTINOBACTERIA *STREPTOMYCES* SPP IN THE HEAVY METAL-CONTAMINATED ENVIRONMENT

Summary

Actinobacteria are very common in the humus layer of soils. This important group of microorganisms takes part in metabolism, produces antibiotics and other substances which are necessary to other soil microbial groups. The heavy metal contamination of soils may limit the biodiversity of the discussed microorganisms. The present study charac-

terizes the most frequently occurring soil actinobacteria – *Streptomyces* spp. and their reactions to the heavy metal contaminated environment. Heavy metal contamination is a very serious environmental problem, which needs to be monitored in order to prevent the irreversible changes in the ecosystem.

LITERATURA

- ABBAS A., EDWARDS C., 1989. *Effects of metals on a rare Streptomyces species*. Appl. Environ. Microbiol. 55, 2030–2035.
- ADAMSKA M., BADURA L., SMYŁA A., WIELGOSZ E., 2002. *Wrażliwość konidii promieniowców w różnych fazach kiełkowania na jony kadmu i miedzi*. Agricultura. 57, 139–146.
- ALVAREZ A., CATALANO S. A., AMOROSO M. J., 2012. *Heavy metal resistant strains are widespread along Streptomyces phylogeny*. Mol. Phylogenet. Evol. 66, 1083–1088.
- BADURA L., 1997. *Metale ciężkie w ekosystemach lądowych, a ekotoksykologia*. [W:] *Drobnoustroje w środowisku – występowanie, aktywność i znaczenie*. Wydawnictwo Akademia Rolnicza w Krakowie, Kraków, 13–26.
- BEREZA-BORUTA B., 2002. *Wybrane właściwości enzymatyczne promieniowców z rodzaju Streptomyces wyizolowanych spod uprawy ziemniaka*. Agricultura 1, 27–36.
- CHMIEL A., GRUZIŃSKI S., 1998. *Biotechnologia i chemia antybiotyków*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- HAFERBURG G., KOTHE E., 2007. *Microbes and metals: interactions in the environment*. J. Basic Microbiol. 47, 453–467.
- LIBUDZISZ Z., KOWAL K., 2000. *Mikrobiologia techniczna*. Wydawnictwo Politechnika Łódzka, Łódź.
- LIBUDZISZ Z., KOWAL K., ŻAKOWSKA Z., 2007. *Mikrobiologia techniczna: Mikroorganizmy i środowiska ich występowania*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- LIN Y., HAO X., JOHNSTONE L., MILLER S. J., BALTHUS D. A., RENSING C., WEI G., 2011. *Draft genome of Streptomyces zinciresistens K42, a novel metal-resistant species isolated from copper-zinc mine tailings*. J. Bacteriol. 193, 6408–6409.
- MADIGAN M. T., MARTINKO J. M., PARKER J., 2000. *Brock biology of microorganisms*. Prentice Hall College Div. New Jersey.
- MAJZLIK P., STRASKY A., ADAM V., NEMEC M., TRNKOVA L., ZEHALEK J., HUBALEM J., PROVAZNIK I., KIZEK R., 2011. *Influence of zinc(II) and copper(II) ions on Streptomyces bacteria revealed by electrochemistry*. Int. J. Electrochem. Sci. 6, 2171–2191.
- MCFARLANE M. E. C., COARD K. C. M., 2010. *Actinomycosis of the colon with invasion of the abdominal wall: An uncommon presentation of a colonic tumour*. Int. J. Surg. Case Rep. 1, 9–11.
- MOCEK-PLÓCINIĄK A., 2010. *Wykorzystanie aktywności enzymatycznej do oceny antropogenicznych zmian wywołanych przez metale ciężkie w środowisku glebowym*. Nauka Przyroda Technologia 4, 1–10.
- MOCEK-PLÓCINIĄK A., SAWICKA A., 2006. *Wpływ miedzi i ołowiu na liczebność mikroorganizmów w glebach w pobliżu huty miedzi „Legnica”*. Zesz. Nauk. UP we Wrocławiu 546, 261–270.
- NIES D. H., 2003. *Efflux-mediated heavy metal resistance in prokaryotes*. Fems Microbiol. Rev. 27, 313.
- NRIAGU J. O., 1996. *A history of global metal pollution*. Science 272, 223–224.
- PAUL A. K., BNERJEE A. K., 1983. *Determination of optimum conditions for antibiotic production by Streptomyces galbus*. Folia Microbiol. 28, 397–405.
- PAUL E. A., CLARK F. E., 2000. *Mikrobiologia i biochemia gleb*. Wydawnictwo Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin.
- SCHAAL K. P., YASSIN A. F., STACKEBRANDT E., 2006. *The family Actinomycetaceae: The genera Actinomyces, Actinobaculum, Arcanobacterium, Varibaculum, and Mobiluncus*. Prokaryotes 3, 430–537.
- SCHLEGEL H. G., 2003. *Mikrobiologia ogólna*. Wydawnictwo PWN, Warszawa.
- SCHULZE E., KOTHE E., 2012. *Heavy metal-resistant Streptomyces in soil*. Soil Biol. 12, 163–182.
- SENCZUK W., 2005. *Toksykologia współczesna*. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa.
- SZEMBER A., 1995. *Zarys mikrobiologii rolniczej*. Wydawnictwo AR Lublin, Lublin.
- TASHIRO N., MANABE K., SAITO A., MIYASHITA K., 2012. *Identification of potato scab-causing Streptomyces sp. occurring in strongly acid in Saga Prefecture in Japan*. J. Gen. Plant Pathol. 78, 353–359.
- WYSZKOWSKA J., KUCHARSKI J., 2003. *Liczebność drobnoustrojów w glebie zanieczyszczonej metalami ciężkimi*. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 492, 427–433.
- ZYSKI B., ŻAKOWSKA Z., 2005. *Mikrobiologia materiałów*. Wydawnictwo Politechnika Łódzka, Łódź.