

MAŁGORZATA GUMIENNA, ZBIGNIEW CZARNECKI

Institut Technologii Żywności Pochodzenia Roślinnego
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

ROLA MIKROORGANIZMÓW W SYNTEZIE ZWIĄZKÓW POWIERZCHNIOWO CZYNNYCH

Streszczenie. Celem pracy było scharakteryzowanie mechanizmów i warunków środowiska wpływających na syntezę związków powierzchniowo czynnych pochodzenia mikrobiologicznego. Przedstawiono czynniki ukierunkowujące proces biosyntezy, omówiono rolę fizjologiczną typowych biosurfaktantów oraz przedstawiono ich zastosowanie w różnych gałęziach przemysłu. Większość potencjalnie dostępnych surfaktantów syntetyzuje się z ropy naftowej. Związki te są więc zazwyczaj toksyczne i niebiodegradowalne, dlatego mogą być niebezpieczne dla środowiska. Szybki rozwój biotechnologii, inżynierii genetycznej oraz wzrost świadomości ludzkiej co do potrzeby i konieczności ochrony środowiska naturalnego przyczyniają się do większego zainteresowania „naturalnymi” surfaktantami. Biosurfaktanty są związkami wytwarzanymi w drodze biosyntezy mikrobiologicznej głównie przez bakterie i drożdże i wykazują strukturalną różnorodność cząstek powierzchniowo aktywnych. Mają przewagę nad swoimi chemicznymi odpowiednikami, ponieważ są biodegradowalne, wykazują stabilność w ekstremalnych temperaturach, pH i zasoleniu oraz charakteryzują się małą toksycznością. Ponadto biosurfaktanty wykazują szersze spektrum działania. Dodatkowym czynnikiem jest możliwość dopasowania cech funkcjonalnych biosurfaktantów poprzez wprowadzenie niewielkich zmian w ich strukturze. Zmiany te uzyskuje się, wykorzystując reakcje mikroorganizmu na zmienny skład pożywki oraz podatność samej cząsteczki związku na manipulacje chemiczne i enzymatyczne.

Słowa kluczowe: drobnoustroje, biosynteza, związki powierzchniowo czynne

Wstęp

Związki powierzchniowo aktywne to substancje zdolne do zmniejszania napięcia powierzchniowego cieczy i na granicy faz. Taki charakter wykazuje wiele związków organicznych, jak alkohole, estry, kwasy i inne związki mające niesymetryczne cząsteczki i grupy polarne. Ze względu na swoją aktywność powierzchniową i związane z nią właściwości znajdują one zastosowanie m.in. w przemyśle spożywczym, kosme-

tycznym, farmaceutycznym, naftowym, papierniczym, tekstylnym, a także w rolnictwie i ochronie środowiska (MAZURKIEWICZ 1996, MORELLI i SZAJER 2000, MULLIGAN 2005). W dążeniach do zmniejszenia udziału syntetycznych surfaktantów w tych gałęziach przemysłu zwraca się uwagę na możliwości ich zastąpienia odpowiednikami otrzymanymi poprzez biosyntezę mikrobiologiczną. Biosurfaktanty są to więc powierzchniowo czynne zewnątrzkomórkowe lub wchodzące w skład ściany komórkowej metabolity, wytwarzane przez takie mikroorganizmy, jak: bakterie, drożdże, pleśnie.

Biosurfaktant według FIECHTERA (1992) jest definiowany jako powierzchniowo czynna cząsteczka produkowana przez żywe komórki – w większości przypadków mikroorganizmy. Podobną definicję podają DESAI i DESAI (1993), według których biosurfaktant oznacza związek pochodzenia mikrobiologicznego możliwy do wyizolowania i zastosowania w celu wywierania wpływu na powierzchnie międzyfazowe.

Pierwsze doniesienia na temat biologicznych substancji powierzchniowo czynnych pochodzą z lat czterdziestych ubiegłego stulecia. W latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych nastąpił szybki rozwój badań w zakresie biosurfaktantów. Prowadzone prace badawcze pozwoliły na poznanie i sklasyfikowanie tych związków, które dzieli się na następujące grupy: glikolipidy, lipopeptydy i lipoproteiny, fosfolipidy, naturalne lipidy i tzw. specyficzne biosurfaktanty, do których zalicza się np. całe komórki niektórych drobnoustrojów (DOMAŃSKA i KISIELEWSKA 1996, BEDNARSKI i ADAMCZAK 1999, HOLMBERG 2001, LANG 2002, NITSCHKE i COSTA 2007).

Zainteresowanie biosurfaktantami wynika z faktu, że wykazują one właściwości powierzchniowo czynne typowych surfaktantów chemicznych. Mogą pełnić funkcje emulgatorów, deemulgatorów, rozpuszczalników, detergentów, czynników zwilżających, zmniejszających lepkość, wspomagają działanie antykorozyjne, zmniejszają napięcie powierzchniowe oraz międzyfazowe. Jednocześnie są to związki, które prezentują różnorodność form chemicznych, a co za tym idzie – dużą specyficzność działania w ekstremalnych warunkach środowiska (temperatura, pH, zasolenie). Biosurfaktanty, w odróżnieniu od swych chemicznych odpowiedników, są mniej toksyczne oraz biodegradowalne, dlatego nie skażają środowiska naturalnego. Związki te można produkować z wielu surowców, m.in. z surowców odpadowych (np. odpadów przemysłu tłuszczowego). Zatem biosurfaktanty są potencjalnie użyteczne w wielu gałęziach naszej gospodarki (BOGNOLO 1999, OTTO i IN. 1999, BANAT i IN. 2000, NITSCHKE i COSTA 2007). Szerokie i ogromne możliwości ich wykorzystania wynikają zarówno z wielkiej różnorodności produkowanych substancji, jak i z szerokiej gamy producentów – mikroorganizmów.

Biosurfaktanty w hodowlach mikrobiologicznych

W hodowli mikrobiologicznej istnieją trzy główne miejsca gromadzenia się powierzchniowo czynnych metabolitów:

- 1) wewnątrz komórek drobnoustrojów – to biosurfaktanty obejmujące lipidy błony komórkowej (układu membran) oraz lipidy wewnątrzkomórkowe w formie cieczy i ciał stałych,
- 2) poza komórkami,

3) na powierzchni komórek drobnoustrojów – to biosurfaktanty obejmujące lipidy ściany komórkowej, a także biosurfaktanty pozakomórkowe zdolne do adsorpcji na powierzchni komórki.

Ta ostatnia grupa biosurfaktantów, związanych z adsorpcją na powierzchni komórki, jest nie tylko potencjalnym źródłem tych związków, lecz także – jako nienaruszona jednostka – stanowi wraz z komórką powierzchniowo czynny komponent zdolny do stabilizacji lub destabilizacji emulsji. Przez cykl hodowli mikroorganizmów zachodzą zjawiska wymiany biosurfaktantów między przedstawionymi wyżej „grupami”. Do zwiększenia tej wymiany podczas hodowli mikroorganizmów – producentów przyczyniają się następujące procesy:

- swoista aktywność metaboliczna komórek w czasie logarytmicznej fazy wzrostu (tj. biosynteza obejmująca acylację polimerów ściany komórkowej i otoczki, sekrecję i uwalnianie biosurfaktantów),
- katalizowana enzymatycznie degradacja komórek podczas ich autolizy, uwalnianie biosurfaktantów w czasie stacjonarnej fazy wzrostu hodowli,
- procesy wynikające z ruchu komórek w hodowli, obejmujące pozbywanie się powierzchniowo czynnych fragmentów ściany komórkowej i otoczki, zawierających polimeryczne struktury,
- procesy fizykochemiczne, takie jak:
 - wyciekanie wewnątrzkomórkowych lipidów z komórek,
 - ekstrakcja biosurfaktantów wewnątrzkomórkowych lub z powierzchni komórki przez nierozpuszczalne w wodzie węglowodorowe substraty,
 - procesy adsorpcji/desorpcji zachodzące na powierzchni komórki oraz dotyczące biosurfaktantów ze zbioru pozakomórkowego.

Najbardziej pożądane w procesie produkcji biotechnologicznej są biosurfaktanty pozakomórkowe. Adsorpcja biosurfaktantów pozakomórkowych na powierzchni komórek mikroorganizmów – producentów, utrudniająca ich wydzielanie z hodowli, zależy od: struktury chemicznej tych związków, charakteru mikrobiologicznej powierzchni komórki, obecności lub nieobecności węglowodorowego substratu w pożywce hodowlanej (HOMMEL i RATLEDGE 1993, ADAMCZAK i BEDNARSKI 2000 a, b, ELSE i IN. 2007).

Czynniki wpływające na proces biosyntezy biosurfaktantów

Źródło węgla. W produkcji ramnolipidów wytwarzanych przez *Pseudomonas* sp. stosowano takie rozpuszczane w wodzie źródła węgla, jak: glicerol, glukoza, mannitol, etanol. Jednakże możliwość uzyskania produktu wydzielanego na zewnątrz osiąga się jedynie przez zastosowanie źródła hydrofobowego, np. n-alkanów (DEZIEL i IN. 1996) czy olejów roślinnych (KITAMOTO i IN. 1990, 1992 a, b, 1993, MERCADE i IN. 1993, ADAMCZAK i BEDNARSKI 2000 a, b, GUMIENNA i IN. 2002 a). Ponadto zastosowanie różnych źródeł węgla w składzie pożywki wpływa na kompozycję produkowanych przez *Pseudomonas* sp. biosurfaktantów, jednakże długość łańcuchów poszczególnych substratów nie wywiera żadnego wpływu na długość łańcucha kwasu tłuszczowego wkomponowanego w cząsteczkę glikolipidu (BEDNARSKI i ADAMCZAK 1999). Z drugiej jednak strony badania innych autorów dowodzą, że jakościowa różnica w składzie

związku jest odzwierciedleniem liczby atomów węgla w cząsteczce alkanu wykorzystwanego do produkcji biosurfaktantów przez szczepy *Acinetobacter* (DESAI i BANAT 1997). Powiązanie między składem estru kwasu tłuszczowego stosowanego jako substrat a składem biosurfaktantów znaleziono również w hodowli *Candida bombicola* (RAU 1996, OGAWA i OTA 2000, HU i YU 2001, CAVALERO i COOPER 2003, GUMIENNA i IN. 2002 b, 2005, FELSE i IN. 2007, GUMIENNA i CZARNECKI 2007).

W przypadku komórek hodowanych na łatwo dostępnym źródle węgla jakim jest glukoza, obserwowano niewielką produkcję biosurfaktantów w ilości 5 g/dm³. W hodowli *Arthrobacter paraffineus* ATCC 19558 zauważono, że dodatkowe wprowadzenie heksadekanu do podłoża zawierającego D-glukozę podczas stacjonarnej fazy wzrostu spowodowało znaczący wzrost wydajności glikolipidów (DESAI i BANAT 1997).

W wielu przypadkach regułą jest, że wyczerpanie się hydrofilowego substratu i rozpoczęcie wykorzystywania lipofilowego źródła w pełni otwiera szlak metaboliczny biosurfaktantów. Badania nad zwiększeniem wydajności opierają się przede wszystkim na optymalizacji składu podłoża i warunków hodowli (ZHOU i KOSARIC 1995, ANGELOVA i SCHMAUDER 1999, GUMIENNA i IN. 2006, GUMIENNA i CZARNECKI 2007).

Źródło azotu. Składniki podłoża hodowlanych oprócz źródła węgla zawierają inne związki, które także mają wpływ na produkcję biosurfaktantów. Spośród soli nieorganicznych sole amonowe i mocznik są preferowane jako źródło azotu do produkcji biosurfaktantów przez *Arthrobacter paraffineus*, jakkolwiek maksymalną produkcję tych związków przez szczepy *Pseudomonas aeruginosa* i *Rhodococcus* sp. uzyskuje się, gdy w podłożu obecne są azotany. Synteza biosurfaktantów przez *Arthrobacter paraffineus* wzrasta dzięki dodatkowi aminokwasów, takich jak: kwas L-asparaginowy, kwas L-glutaminowy, L-asparagina czy L-glicyna do podłoża. Struktura surfaktyny jest uzależniona od koncentracji L-aminokwasów w medium, a wpływ ten objawia się powstaniem dwóch form Val-7 lub Leu-7 surfaktyny (PEYPOUX i MICHEL 1992, PEYPOUX i IN. 1999). Podobna zależność występuje w przypadku lichenyzyzny-A stanowiącej metabolit *Bacillus licheniformis*. Produkcja jej wzrasta dwukrotnie po dodaniu do podłoża hodowlanego kwasu L-glutaminowego i aż czterokrotnie po dodaniu L-asparaginy (YAKIMOV i IN. 1996). W przypadku szczepu *Pseudomonas* 44T1 hodowanego na oliwie i *Rhodococcus* ST-5 (ABU-RUWAIDA i IN. 1991 a) rosnącego na parafinie obserwowano silnie wzmacniający wpływ azotanu na syntezę biosurfaktantów. Zaobserwowano wzrost biosyntezy po 30 h, kiedy w pożywce wyczerpał się azot i hodowla kontynuowana była ze wzrastającym tempem syntezy przez 58 h. U *Pseudomonas aeruginosa* równoczesny wzrost produkcji ramnolipidów i aktywności syntetazy glutaminowej obserwowano po zwolnieniu wzrostu i zmniejszeniu ilości azotu. Zależność ta obowiązuje przy hodowli *Pseudomonas aeruginosa* (BENINCASA i IN. 2002), *Candida tropicalis* II P-4, szczepów *Nocardia* (KOSARIC i IN. 1990, KIM i IN. 2000). Wykazano również, że ograniczenie azotu nie tylko wywołuje nadprodukcję surfaktantów, lecz także wpływa na zmiany kompozycji produkowanych biosurfaktantów (BENINCASA i IN. 2002). Przy stosunku C:N wynoszącym od 16:1 do 18:1 występuje maksymalna produkcja ramnolipidów, natomiast przy stosunku 11:1 znamionującym brak ograniczenia azotu biosurfaktanty nie są wytwarzane (NAKATA i ISHIGAMI 1999).

Czynniki środowiskowe. Czynniki środowiskowe i warunki wzrostu, takie jak: pH, temperatura, dostępność tlenu są elementami oddziałującymi na syntezę biosurfaktantów poprzez swój wpływ na wzrost komórek i ich aktywność. Wartość pH pożywki

odgrywa istotną rolę w produkcji soforolipidów przez *Candida bombicola*, a przejście poza wartość pH 3,5 znacznie zmniejsza tę produkcję (DAVILA i IN. 1992, MCCAFFREY i COOPER 1995). Produkcja ramnolipidów osiąga swe maksimum przy pH 6-6,5 i gwałtownie się zmniejsza przy pH 7. Jednakże zależność ta nie jest regułą w przypadku wszystkich biosyntez. *Nocardia corynbacteroides* produkuje lipidy penta- i disacharydów w zakresie wartości pH 6,5-8 bez istotnej zmiany wydajności. Ponadto napięcie powierzchniowe i krytyczne stężenie miceli (CMC) wytwarzanych przez *Nocardia* sp. biosurfaktantów pozostaje stabilne w pH od 2 do 12, podczas gdy właściwości emulgacyjne są ograniczone wąskim zakresem pH (ABU-RUWAIDA i IN. 1991 a, b, KIM i IN. 2000). Większość jednak znanych biosurfaktantów jest mało stabilna w tak szerokim zakresie pH (ZHANG i MILLER 1992, NITSCHKE i COSTA 2007).

W hodowli *Athrobacter paraffineus* i szczepu *Pseudomonas* DSM-2874 temperatura wywołuje zmiany w kompozycji syntetyzowanych biosurfaktantów. Termofilowe szczepy *Bacillus* rosną i wytwarzają biosurfaktanty w temperaturach wyższych niż 40°C (YUN i PARK 2000). Temperatura hodowli dla niektórych biosurfaktantów nie wywołuje wyraźnej zmiany ich charakterystycznych właściwości, tzn. zdolności do obniżania napięcia powierzchniowego i międzypowierzchniowego (BEDNARSKI i ADAMCZAK 1999, KIM i IN. 2000).

Badania DAVIS i IN. (1999) informują o surfaktantach, których właściwości emulgujące pozostają stabilne nawet po autoklawowaniu w 120°C przez 15 min. Możliwe jest łatwiejsze uzyskanie produktu w sposób czysto mechaniczny; wzrost szybkości mieszania w hodowli *Acinetobacter calcoaceticus* RAG-1 przyczynia się do zmniejszenia się stosunku polimeru związanego z komórką do suchej substancji. Transfer tlenu jest jednym z kluczowych parametrów optymalizacji hodowli *Bacillus subtilis* (MAZURKIEWICZ i KISIELEWSKA 1996). Produkcja ramnolipidu przez *Candida antarctica* również ściśle zależy od warunków natlenienia, jednakże w tym wypadku wyższe tempo natlenienia pociąga za sobą mniejsze wydajności przy równorzędnych składach pożywki (tempo natlenienia 1 vvm daje 45,5 g/dm³, a przy 2 vvm tylko 7,5 g/dm³) (ADAMCZAK i BEDNARSKI 2000 a, b).

Stężenie soli (około 5%) także wpływa na produkcję biosurfaktantów poprzez zmniejszenie aktywności komórkowej mikroorganizmu. Natomiast właściwości samego produktu biosyntezy nie są zależne od koncentracji soli nawet przy tak wysokim stężeniu jak 10%, chociaż obserwuje się pogorszenie ich zdolności do obniżania napięcia powierzchniowego i niewielką redukcję wartości CMC (ABU-RUWAIDA i IN. 1991 b).

Kierunki syntezy biosurfaktantów

Obecnie znane i proponowane są dwie możliwości otrzymywanie biosurfaktantów: poprzez fermentację z udziałem mikroorganizmów i biotransformację (DESAI i DESAI 1993, DESAI i BANAT 1997).

Wyróżnia się cztery podstawowe mechanizmy wytwarzania mikrobiologicznych związków powierzchniowo czynnych na drodze *fermentacji*:

- produkcja biosurfaktantów w warunkach wzrostu mikroorganizmów, gdzie istnieje związek między wzrostem, wykorzystaniem substratu a syntezą biosurfaktan-

tów przez drobnoustrój. Przykładem tego typu reakcji są ramnolipidy wytwarzane przez *Pseudomonas* sp., glikoproteina syntetyzowana przez AP-6 *Pseudomonas fluorescens* 378, powierzchniowo czynny związek wytwarzany przez *Bacillus cereus* IAF 346 oraz biodispersan przez *Bacillus* sp. 343 (COOPER i GOLDENBERG 1987, PERSSON i IN. 1988);

- produkcja w warunkach limitujących wzrost. W procesie tym cechą charakterystyczną jest wzrost ilości biosurfaktantów na skutek ograniczonego dostępu jednego lub kilku składników podłoża ukierunkowujących proces syntezy. Przykładem jest tutaj produkcja biosurfaktantów w stacjonarnej fazie wzrostu przez *Pseudomonas* sp., z powodu ograniczonej ilości azotu i żelaza w podłożu hodowlanym (BENINCASA i IN. 2002), synteza bioemulsyfikatora przez *Candida tropicalis* II-4 (SINGH i IN. 1990) oraz glikolipidu wytwarzanego przez *Nocardia* sp. SFC-D i rozpuszczalnych w wodzie biosurfaktantów produkowanych przez *Candida apicola* (KIM i IN. 2000);
- produkcja biosurfaktantów przez komórki immobilizowane, w których komórki mikroorganizmu nie rozmnażają się, a pomimo to wykorzystują źródło węgla do ich syntezy. Przykładem takiej syntezy jest ramnolipid produkowany przez *Pseudomonas* sp., soforolipid produkowany przez *Candida bombicola* (DESAI i BANAT 1997) i *Candida apicola* (HOMMEL i HUSE 1993);
- produkcja z dodatkiem prekursorów biosurfaktantów. Dodatek prekursorów biosurfaktantów, według niektórych badaczy, może wpłynąć jakościowo i ilościowo na otrzymany produkt (LANG i IN. 2000, HU i JU 2001, RAU i IN. 2001, FELSE i IN. 2007). Na przykład dodawanie związków lipofilowych do podłoża hodowlanego *Candida magnoliae*, *Candida bombicola* i *Candida apicola* powoduje wzrost wydajności biosurfaktantów mniej więcej o 30% (DESAI i BANAT 1997).

W ostatnich latach uwaga naukowców skierowana została ku produkcji biosurfaktantów na drodze *biotransformacji*. Zainteresowanie to wynika w dużej mierze z podobieństwa pomiędzy komercyjnymi surfaktantami a biosurfaktantami glikolipidowymi (ANGELOVA i SCHMAUDER 1999, VAN BOGAERT i IN. 2007). Mikrobiologiczną syntezę można wykorzystać do uzyskania części hydrofobowej i hydrofilowej biosurfaktantów. Części te mogą być następnie połączone na drodze enzymatycznej. Biotransformacja z udziałem enzymów odznacza się wieloma zaletami. Do najważniejszych należą: specyficzność układów enzymatycznych oraz możliwość przeprowadzenia reakcji w normalnej temperaturze i przy normalnym ciśnieniu (DESAI i BANAT 1997). Przykładem mikrobiologicznych zdolności do produkcji specyficznych kwasów tłuszczowych poprzez transformacje może być konwersja n-alkanów do kwasów α,ω -diolowych przez mutanty *Candida tropicalis* z 70-procentową wydajnością. Innym przykładem może być konwersja kwasu oleinowego do kwasu rycynowego przez bakterię glebową BMD-120. Lipaza uzyskana ze szczepu *Candida cylindracea* umożliwia powstanie D-izomerów sacharozy, glukozy, fruktozy i estrów sorbitolu z kwasów: oleinowego, linołowego i stearynowego z 68-procentową wydajnością. Oprócz wykorzystania lipaz w syntezie kwasów tłuszczowych poprzez transestryfikację możliwe staje się także wykorzystanie ich w produkcji biosurfaktantów (SIEMANN i WAGNER 1993, SARNEY i VULFSON 1995, WU i IN. 1996, WARD i IN. 1997, GUMIENNA i IN. 2003).

Fizjologiczna rola biosurfaktantów

Istnieje wiele teorii tłumaczących wydzielanie biosurfaktantów do środowiska, ale ich funkcja fizjologiczna w życiu mikroorganizmów jako producentów nie jest dokładnie wyjaśniona.

Mechanizm ślizgania u bakterii z rodzaju *Myxococcus* jest spowodowany miejscowym wydzielaniem surfaktantów na końcu komórki, co wytwarza asymetryczną siłę napięcia powierzchniowego, która popycha komórkę do przodu. Fosfolipidy wydzielane przez *Thiobacillus* odgrywają ważną rolę w zwilżaniu nieorganicznych substratów siarkowych (MAZURKIEWICZ 1996, DOMAŃSKA i KISIELEWSKA 1996, DESAI i BANAT 1997).

Większość badaczy przyjmuje, że główną funkcją biosurfaktantów jest umożliwienie mikroorganizmom wzrostu na substratach nie mieszających się z wodą takich jak węglowodory i oleje roślinne.

Fizjologiczna rola biosurfaktantów w rozkładzie pochodnych węglowodoru zależy od rodzaju biosurfaktantów, jakie mikroorganizm wytwarza. Niejonowe biosurfaktanty czynią komórkę drobnoustroju bardziej hydrofobową, ułatwiającą przywiązanie i późniejsze „pobranie” węglowodoru (alkanu) do wnętrza komórki, natomiast anionowe biosurfaktanty, które mają ujemny ładunek, mogące tworzyć micelle, przez „pseudorozpuszczenie” alkanów zwiększają powierzchnię międzyfazową, ułatwiając w ten sposób wykorzystanie tego źródła węgla (HOMMEL i RATLEDGE 1993, VAN BOGAERT i IN. 2007). Mikroskopowe badania komórek drożdży *Candida tropicalis* dowodzą istnienia kanalików w ścianie komórkowej, które pozwalają na przenikanie węglowodórów do cytoplazmy.

Zdolność mikroorganizmu do degradacji węglowodorów i wykorzystanie ich jako pojedynczego źródła węgla i energii jest dobrze poznana i wykorzystana do otrzymywania produktów na szeroką skalę, natomiast mechanizm wylapywania węglowodoru jest kluczowym procesem w ich biotransformacji i biodegradacji, jakkolwiek nie jest jeszcze dobrze poznany. Niemniej jednak trzy drogi neutralizowania alkanów są powszechnie przedstawiane: rozpuszczenie się alkanów w fazie wodnej, bezpośredni kontakt pomiędzy komórką mikroorganizmu a fazą hydrofobową oraz produkcja biosurfaktantów promująca mikroemulsję (ANGELOVA i SCHMAUDER 1999).

Fizjologiczną rolę biosurfaktantów w wykorzystaniu różnych źródeł węgla trudno jest jednoznacznie wyjaśnić. Zagadnienie to należy rozpatrywać indywidualnie w zależności od rodzaju mikroorganizmu – producenta biosurfaktantów.

Zdolność mikroorganizmów do biosyntezy związków powierzchniowo czynnych nie jest stała. Z upływem czasu system genetyczny mikroorganizmu traci umiejętność ekspresji genu kodującego na skutek mutacji oraz braku warunków, w których biosurfaktant byłby konieczny. Mutanty pozbawione zdolności do ich produkcji *Pseudomonas aeruginosa* KY-4025 i *Pseudomonas aeruginosa* PG-201 w obecności hydrofilowego źródła węgla rosną słabiej niż ich „rodzime” szczepy wytwarzające ramnolipidy (glikolipid) (DESAI i BANAT 1997), dlatego też znajomość kodu genetycznego przy produkcji biosurfaktantów staje się kluczowym czynnikiem pozwalającym na wykorzystanie w szerszym zakresie rekombinowanych szczepów. Może to pozwolić na zwiększenie produkcji tych związków, a jednocześnie na otrzymanie związków o bardziej odpowiednich cechach do zastosowania ich w przemyśle (SARNEY i VULFSON 1995, SULIVAN 1998, OLVERA i IN. 1999, LANG 2002, VAN BOGAERT i IN. 2007).

Zastosowanie biosurfaktantów

Technologia żywności. Środki powierzchniowo czynne pochodzenia mikrobiologicznego nie są jeszcze stosowane w przemyśle spożywczym na szeroką skalę, ponieważ najpierw muszą zostać przebadane pod względem cech funkcjonalnych, biologicznych, sensorycznych i wpływu na zdrowie człowieka. Najważniejsze są badania toksykologiczne obejmujące działanie mutagenne i rakotwórcze badanej substancji. Na uwagę zasługuje fakt, że glikolipidowe biosurfaktanty są analogiczne do syntetycznych estrów kwasów tłuszczowych stosowanych w przemyśle spożywczym. W produktach spożywczych duży udział związków powierzchniowo aktywnych występuje przede wszystkim w produkcji margaryny i pewnych modyfikowanych tłuszczów kuchennych. W przypadku margaryny komórki drożdży *Saccharomyces uvarum* po hydrolizie i liofilizacji zastosowano do jej produkcji. Dodatek ich wpływa korzystnie na proces emulgacji (SHEPHERD i IN. 1995).

W Japonii soforolipidy zostały opatentowane jako dodatki do mąki w celu poprawienia jakości i przedłużenia trwałości produktów piekarskich, a także zostały zastosowane jako dodatek do czynnika słodzącego (słodzik), celem udoskonalenia walorów smakowych używek. Szereg biosurfaktantów służy również do dyspergowania rozpuszczalnych w oleju witamin w różnych produktach żywieniowych i napojach.

Do stosowania w żywności polecane są także ramnolipidy z *Pseudomonas aeruginosa* UI 29791 produkowane w hodowli na oleju kukurydzianym. Obiecującymi jako środki dyspergujące i stabilizatory związkami są także lipidy sukcyntrehalozowe i ich sole sodowe. Zaproponowano także, aby biopolimery o dużej masie cząsteczkowej produkowane przez mikroorganizmy zaliczyć do emulgatorów stosowanych w tym przemyśle, np. emulsan z *Acinetobacter calcoaceticus* RAG-1, emulsje z *Phormidium* J-AATCC 39161 (DOMAŃSKA i KISIELEWSKA 1996, MAZURKIEWICZ 1996, MAZURKIEWICZ i KISIELEWSKA 1996, BEDNARSKI i ADAMCZAK 1999). Ponadto wyizolowany z *Candida utilis* nowy bioemulsyfikator znalazł zastosowanie w produkcji sosów typu *dressing*. Wyizolowany związek wykazywał małą lepkość i składał się w 80% z węglowodanów (SHEPHERD i IN. 1995, DESAI i BANAT 1997, BANAT i IN. 2000).

Przemysł kosmetyczny. Biosurfaktanty wchodzi w skład kosmetyków, takich jak szampony, pudry, kremy nawilżające i ochronne. Soforolipidy produkowane przez *Candida bombicola*, zmodyfikowane przez reakcję estryfikacji i oksydacji, są używane w produkcji kremów jako naturalny środek nawilżający. Ponadto znalazły zastosowanie w szamponach oraz żelach do włosów i do ciała (DOMAŃSKA i KISIELEWSKA 1996, BOGNOLO 1999).

W Japonii na bazie lipidów soforozy produkuje się puder o nazwie Sofina. Ostatnio także różne rodzaje emulsanu produkowanego przez *Acinetobacter calcoaceticus* zastosowano jako bioemulgatory w kosmetyce. Przykładem jest krem oczyszczający, który obok innych surfaktantów zawiera 0,2% α -emulsanu i ekstrakt z aloesu (ZHOU i KOSARIC 1995, BANAT i IN. 2000).

Przemysł petrochemiczny. W przemyśle naftowym wykorzystano zarówno producentów, jak i ich produkt – biosurfaktanty do podwyższenia odzysku określonych frakcji ropy naftowej metodami EOR (*Enhanced Oil Recovery*) i MEOR (*Microbially Enhanced Oil Recovery*) (GEORGIOU i IN. 1992, BANAT i IN. 2000). Wykazano, że stosując konwencjonalną metodę pompowania można wykorzystać tylko 30-50% ropy naftowej

ze złóż roponośnych. Technologia bazująca na surfaktantach, które zmniejszają napięcie powierzchniowe i wewnątrzfazowe w ziemi, pozwala na uzyskanie o wiele większej wydajności ropy naftowej (FIECHTER 1992). Eksperymentalne badania z użyciem biosurfaktantów prowadzono w zbiornikach po ropie naftowej. Związek powierzchniowo czynny syntetyzowany przez bakteryjny szczep *Pet 1006* był zastosowany w Kuwejcie do czyszczenia zbiorników po ropie naftowej (DOMAŃSKA i KISIELEWSKA 1996, MAZURKIEWICZ i KISIELEWSKA 1996, BEDNARSKI i ADAMCZAK 1999, BOGNOLO 1999, BANAT i IN. 2000, MULLIGAN 2005).

Metoda EOR polegała na wykorzystaniu samych biosurfaktantów, które rozpuszczają się w opróżnionym zbiorniku po zalaniu wodą. Do efektywnego odzyskania określonych frakcji ropy naftowej surfaktant musi być w stanie zredukować napięcie międzyfazowe na granicy olej/woda do 10^{-2} mN/m. Biosurfaktant, który stosowano w tej metodzie, otrzymano z hodowli szczepu *Bacillus licheniformis*. Metoda EOR okazała się jednak nieekonomiczna (BANAT i IN. 2000).

W 1987 roku wprowadzono na rynek przemysłowy biosurfaktant o nazwie Emulsan, który jest używany do czyszczenia cystern, statków i neutralizowania szkód spowodowanych wyciekami ropy naftowej. Ponadto dodatek Emulsanu do surowej, ciężkiej ropy znacznie usprawnia jej przepływ w rurociągach i przez to obniża koszty transportu (FIECHTER 1992).

Metoda mikrobiologicznego odzysku ropy naftowej MEOR polega na hodowli *in situ* mikroorganizmów produkujących biosurfaktanty. Anaerobowe mikrobiologiczne hodowle wtryskuje się do zbiorników. Mikroorganizmy podczas fermentacji produkują biosurfaktanty, które są podstawowym czynnikiem w zwiększaniu odzysku ropy naftowej. Metoda ta jest ekonomiczna i wzbudza światowe zainteresowanie koncernów naftowych (FIECHTER 1992, BOGNOLO 1999, BANAT i IN. 2000, MULLIGAN 2005).

Ponadto biosurfaktanty z powodzeniem stosowano do usuwania zanieczyszczeń olejowych z powierzchni mórz, zanieczyszczeń ropą naftową, usuwania metali z gleby lub wody oraz zanieczyszczeń olejowych z gleby. Z badań prowadzonych przez BANATA i IN. (2000) wynika, że biosurfaktant z *Pseudomonas aeruginosa* dodany do mieszaniny heksadekanu, heptadekanu, oktadekanu i nanodekanu po 28 h inkubacji w temperaturze 20°C doprowadził do usunięcia wymienionych węglowodorów odpowiednio w 47, 58, 73 i 60%. Predyspozycje biosurfaktantów mikrobiologicznych są wykorzystywane w degradacji składników ropy naftowej z wód morskich skażonych wyciekami z tankowców. Wykazano, że biosurfaktanty syntetyzowane przez drobnoustroje rozwijające się na pożywce z udziałem benzyny lub olejów zwiększają rozpuszczalność i dostępność tych składników (JONES 1998, VASUDEVAN i RAJARAM 2001).

Ostatnie badania SCHIPPERSA i IN. (2000) nad bioremediacją policyklicznych aromatycznych węglowodorów (PAHs) z zastosowaniem szczepu *Spingomonas yanoikuyae* wykazały ponad 80-procentową degradację fenantrenu z gleby, gdzie w celu zwiększenia efektywności rozpuszczania tego związku dodano do podłoża hodowlanego soffrolipidy wytwarzane przez *Candida bombicola*. Ponadto do oczyszczania gleby z PAHs stosuje się także bioemulsyfikator Alasan wyizolowany z bakterii gatunku *Acetobacter radioresistens* oraz biosurfaktant rozpuszczający fenantren uzyskany z hodowli szczepu *Pseudomonas marginalis* (MULLIGAN i IN. 2001, RON i ROSENBERG 2002).

Inne zastosowania. Biosurfaktanty pochodzenia mikrobiologicznego znalazły ważne, choć sporadyczne zastosowanie w wielu innych przemysłach i procesach wytwór-

czych. Ze względu na swoje właściwości zwilżające, dyspergujące, emulgujące, pieniące, antystatyczne i przeciwkorozyjne m.in. są używane do odpylania gazów, jak również do odzyskania produktów otrzymywanych w postaci pyłu zawieszonego w fazie gazowej. Biosurfaktanty typu „zwilżacz” używane są powszechnie do zwalczania pyłów przemysłowych, szczególnie pyłu węglowego (NOBLE i IN. 1994, BOGNOLO 1999).

Specyficzne właściwości biosurfaktantów wykorzystywane są również w przemyśle papierniczym i tekstylnym. Związki te wykazują zdolności do zmiany kinetyki reakcji hydrolizy celulozy. Zbadano, że celulazy podczas hydrolizy są absorbowane przez celulozę, tworząc przy tym nieaktywne kompleksy, które blokują dalszą hydrolizę. Glikolipidy, a w szczególności soforolipidy, dodane do tego układu chronią enzymy, nie dopuszczając do ich adsorpcji i wytwarzania nieaktywnych związków. Oprócz tego sądzi się, że soforolipidy powodują naruszenie struktury celulozy, czyniąc ją bardziej dostępną dla enzymu, przyspieszając w ten sposób proces hydrolizy celulozy (HELLE i IN. 1993). Ponadto związki te znalazły zastosowanie także w produkcji farb, w górnictwie, w produkcji środków konserwujących drewno oraz w rolnictwie do zwiększenia penetracji aktywnych komponentów w głąb rośliny. Dużym sukcesem zakończyły się także badania nad wprowadzeniem heteropolisacharydów wyizolowanych z hodowli *Macrocystis pyrifera* oraz *Azotobacter vinelandii* i zastosowanych jako środki dyspergujące w procesie produkcji ceramiki. Natomiast biodispersan – polisacharydowo-białkowy kompleks wytwarzany przez *Acinetobacter calcoaceticus* A2 może być stosowany w produkcji farb (BANAT i IN. 2000, RON i ROSENBERG 2002).

Surfaktanty pochodzenia biologicznego, takie jak surfaktyna, ramnolipidy, soforolipidy (w zależności od tworzonej struktury), ze względu na ich anionowy charakter wykorzystuje się do usuwania z gleby cynku i miedzi zanieczyszczonej węglowodorami (SCHIPPERS i IN. 2000, MULLIGAN i IN. 2001).

Podsumowanie

Wzrost świadomości ludzi wobec zagrożeń, jakie mogą powodować syntetyczne substancje powierzchniowo czynne skażające środowisko, doprowadził do dużego zainteresowania biologicznymi surfaktantami jako alternatywą dla istniejących produktów chemicznych i publikowania informacji na ich temat. Związki te wykazują właściwości powierzchniowo czynne typowych surfaktantów chemicznych, prezentując przy tym różnorodność form. Z racji wykazywanych właściwości mogą być wykorzystane w wielu dziedzinach. Dotychczas przeszkodą w ich powszechnym zastosowaniu był koszt związany z ich produkcją, a w szczególności z odzyskaniem i oczyszczeniem produktu. Liczne prace badawcze dotyczące syntezy biosurfaktantów zmierzają w kierunku obniżenia kosztów produkcji poprzez izolację nowych, bardziej wydajnych szczepów lub w kierunku wykorzystania produktów odpadowych.

Literatura

- ABU-RUWAIDA A.S., BANAT I.M., HADITIRTO S., KHAMIS A., 1991 a. Nutritional requirements and growth characteristics of a biosurfactant producing *Rhodococcus* bacterium. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 7: 53-61.
- ABU-RUWAIDA A.S., BANAT I.M., HADITIRTO S., SALEM S., KADARI M., 1991 b. Isolation of biosurfactant producing bacteria – product characterization and evaluation. *Acta Biotechnol.* 11: 315-324.
- ADAMCZAK M., BEDNARSKI W., 2000 a. Influence of medium composition and aeration on the synthesis of biosurfactants produced by *Candida antarctica*. *Biotechnol. Lett.* 22, 4: 313-316.
- ADAMCZAK M., BEDNARSKI W., 2000 b. Wydajność biosyntezy związków powierzchniowo czynnych przez *Candida antarctica* w zależności od składu pożywki i warunków hodowli. *Biotechnology* 50, 3: 181-192.
- ANGELOVA B., SCHMAUDER H.-P., 1999. Lipophilic compounds in biotechnology-interactions with cells and technological problems. *J. Biotechnol.* 67, 1: 13-32.
- BANAT I.M., MAKKAR R.S., CAMEOTRA S.S., 2000. Potential commercial applications of microbial surfactants. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 53, 5: 495-508.
- BEDNARSKI W., ADAMCZAK M., 1999. Biotechnologiczne metody otrzymywania związków powierzchniowo aktywnych. Część II. Synteza związków powierzchniowo aktywnych przez mikroorganizmy. *Biotechnology* 47, 4: 24-43.
- BENINCASA M., CONTIERO J., MANRESA M.A., MORAES I.O., 2002. Rhamnolipid production by *Pseudomonas aeruginosa* LBI growing on soapstock as the sole carbon source. *J. Food Eng.* 54: 283-288.
- BOGNOLO G., 1999. Biosurfactants as emulsifying agents for hydrocarbons. *Coll. Surf.* 152: 41-52.
- CAVALERO D.A., COOPER D.G., 2003. The effect of medium composition on the structure and physical state of sophorolipids produced by *Candida biombicola* ATCC 22214. *J. Biotechnol.* 103: 31-41.
- COOPER D.G., GOLDENBERG B.G., 1987. Surface active agents from two *Bacillus* species. *Environ. Microbiol.* 53: 224-229.
- DAVILA A.M., MARCHAL R., VANDECASTEELE J.P., 1992. Kinetics and balance of a fermentation free from product inhibition: sophorose lipid production by *Candida bombicola*. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 38, 1: 6-11.
- DAVIS D.A., LYNCH H.L., VARLEY J., 1999. The production of surfactin in batch culture by *Bacillus subtilis* ATCC 21332 is strongly influenced by the conditions of nitrogen metabolism. *Enzyme Microb. Technol.* 25: 322-329.
- DESAI J.D., DESAI J.A., 1993. Production of biosurfactants. W: *Biosurfactants: production, properties, applications*. Red. N. Kosaric. Dekker, New York: 65-94.
- DESAI J.D., BANAT I.M., 1997. Microbial production of surfactants and their commercial potential. *Microb. Mol. Biol. Rev.* 61, 1: 47-64.
- DEZIEL E., PAQUETTE G., VILLEMUR R., LEPINE F., BISAILLON J.G., 1996. Biosurfactant production by a soil *Pseudomonas* strain growing on polycyclic aromatic hydrocarbons. *Appl. Environ. Microbiol.* 62: 1908-1912.
- DOMAŃSKA A., KISIELEWSKA E., 1996. Charakterystyka powierzchniowo czynnych metabolitów drobnoustrojów. *Podst. Mikrobiol.* 35, 4: 427-451.
- FELSE P.A., SHAH V., CHAN J., RAO K.J., GROSS R.A., 2007. Sophorolipid biosynthesis by *Candida bombicola* from industrial fatty acid residues. *Enzyme Microb. Technol.* 40: 316-323.
- FIECHTER A., 1992. Biosurfactants: moving towards industrial application. *Trends Food Sci. Technol.* 3: 286-293.
- GEORGIU D., SUNG-CHYR LIN, SHARMA M., 1992. Surface-active compounds from microorganisms. *Biotechnology* 10: 60-68.
- GUMIENNA M., CZARNECKA M., CZARNECKI Z., 2002 a. Kondensat podezodoryzacyjny jako substrat tłuszczowy do biosyntezy związków powierzchniowo czynnych przez drożdże *Candida bombicola*. *Acta Sci. Pol. Technol. Aliment.* 1, 2: 69-80.

- GUMIENNA M., CZARNECKA M., CZARNECKI Z., 2005. Effect of selected lipid substrates on the process of biosynthesis of surface-active compounds by the *Candida bombicola* yeasts. Electr. J. Pol. Agric. Univ. Ser. Food Sci. Technol. 8, 2. [<http://www.ejpau.media.pl/volume8/issue2/abs-12.html>].
- GUMIENNA M., CZARNECKI Z., 2007. Effect of selected fat substrates on structure and properties of synthesised biosurfactants. W: Środowiskowe źródła zagrożeń zdrowotnych. Monografia. Red. A. Kaczor, A. Borzęcki, M. Iskra. Wschód, Lublin: 891-899.
- GUMIENNA M., LASIK M., ROSZYK H., CZARNECKI Z., 2002 b. Kwas oleinowy źródłem węgla o właściwościach hydrofobowych w biosyntezie związków powierzchniowo czynnych przez szczep *Candida bombicola*. Żywn. Nauka Technol. Jakość. 31, 2: 43-53.
- GUMIENNA M., ZAWIRSKA-WOJTASIAK R., CZARNECKA M., CZARNECKI Z., 2003. Effect of fat substrate on extracellular lipolytic activity of *Candida bombicola* ATCC 22214. Pol. J. Food Nutr. Sci. 12/53, 3: 15-20.
- GUMIENNA M., ZAWIRSKA-WOJTASIAK R., PIOTROWSKA-CYPLIK A., CZARNECKI Z., 2006. The use of waste fat substrate to biosynthesis of surface active compounds. Pol. J. Environ. Stud. 15, 2b/IV: 1118-1122.
- HELLE S.S., DUFF S.J.B., COOPER D.G., 1993. Effect of surfactants on cellulose hydrolysis. Biotechnol. Bioeng. 42: 611-617.
- HOLMBERG K., 2001. Natural surfactants. Curr. Opin. Colloid. 6: 148-159.
- HOMMEL R.K., HUSE K., 1993. Regulation of sophorose lipid production by *Candida apicola*. Biotechnol. Lett. 15, 8: 853-858.
- HOMMEL R.K., RATLEDGE C., 1993. Biosynthetic mechanisms of low molecular weight surfactants and their precursors molecules. W: Biosurfactants: production, properties, applications. Red. N. Kosaric. Dekker, New York: 3-54.
- HU Y., JU L.-K., 2001. Sophorolipid production from different lipid precursors observed with LC-MS. Enzyme Microb. Technol. 29: 593-601.
- JONES W., 1998. Practical applications of marine bioremediation. Curr. Opin. Biotechnol. 9: 300-304.
- KIM S.H., LIM E.J., LEE S.O., LEE J.D., LEE T.H., 2000. Purification and characterization of biosurfactants from *Nocardia* sp. L-417. Biotechnol. Appl. Biochem. 31: 249-253.
- KITAMOTO D., FUZISHIRO T., YANAGISHITA H., NAKATE T., NAKAHARA T., 1992 a. Production of mannosylerythritol lipids as biosurfactants by resting cells of *Candida antarctica*. Biotechnol. Lett. 14, 2: 305-310.
- KITAMOTO D., HANESHI K., NAKAHARA T., TABUCHI T., 1990. Production of mannosyl-erythritol lipids by *Candida antarctica* from vegetable oils. Agric. Biol. Chem. 54: 37-40.
- KITAMOTO D., NAKATE T., NAKAO N., NAKAHARA T., 1992 b. Intracellular accumulation of mannosylerythritol lipids as a storage material by *Candida antarctica*. Appl. Microbiol. Biotechnol. 36, 6: 768-772.
- KITAMOTO D., YANAGISHITA H., SHINBO T., NAKATE T., KAMISAWA C., NAKAHARA T., 1993. Surface active properties and antimicrobial activities of mannosylerythritol lipids as biosurfactants by *Candida antarctica*. J. Biotechnol. 29, 1-2: 91-96.
- KOSARIC N., CHOI H.Y., BŁASZCZYK R., 1990. Biosurfactant production from *Nocardia* SEC-D. Tenside Surfact. Deterg. 27, 5: 294-297.
- LANG S., 2002. Biological amphiphiles (microbial biosurfactants). Curr. Opin. Colloid 7: 12-20.
- LANG S., BRAKEMEIER A., HECKMAN R., SPÖCKNER S., RAU U., 2000. Production of native and modified sophorose lipids. Himica Oggi/Chem. Today 18, 10: 76-79.
- MAZURKIEWICZ J., KISIELEWSKA E., 1996. Poszukiwanie szczepów z rodzaju *Bacillus* produkujących związki powierzchniowo czynne. Żywn. Technol. Jakość 6, 1: 51-60.
- MAZURKIEWICZ J., 1996. Związki powierzchniowo czynne wytwarzane przez mikroorganizmy. Żywn. Technol. Jakość 8, 3: 60-70.
- MCCAFFREY W.C., COOPER D.G., 1995. Sophorolipids production by *Candida bombicola* using self-cycling fermentation. J. Ferment. Bioeng. 79, 2: 146-151.

- MERCADE M.E., MANRESA M.A., ROBERT M., ESPUNY M.J., ANDRES C. DE, GUINEA J., 1993. Olive oil mill effluent (OOME) new substrate for biosurfactant production. *Bioresour. Technol.* 43: 1-6.
- MORELLI J.J., SZAJER G., 2000. Analysis of surfactants: Part I. *J. Surfact. Deterg.* 3, 4: 539-552.
- MULLIGAN C.N., 2005. Environmental applications for biosurfactants. *Environ. Pollut.* 133: 183-198.
- MULLIGAN C.N., YONG R.N., GIBBS B.F., 2001. Surfactant-enhanced remediation of contaminated soil: a review. *Eng. Geol.* 60: 371-380.
- NAKATA K., ISHIGAMI Y., 1999. A facile procedure of remediation for oily waste with rhamnolipid biosurfactant. *J. Environ. Sci. Health Part A* 34, 5: 1129-1142.
- NITSCHKE M., COSTA S.G.V.A.O., 2007. Biosurfactants in food industry. *Trends Food Sci. Technol.* 18: 252-259.
- NOBLE I., COLLINS M., PORTER N., VARLEY J., 1994. An investigation of the physico-chemical basis of foaming in fungal fermentations. *Biotechnol. Bioeng.* 44: 801-807.
- OGAWA S., OTA Y., 2000. Influence of exogenous natural oils on the ω -1 and ω -2 hydroxy fatty acid moiety of sophorose lipid produced by *Candida bombicola*. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 64: 2466-2468.
- OLVERA C., GOLDBERG J.B., SANCHEZ R., SOBERON-CHAVEZ G., 1999. The *Pseudomonas aeruginosa* algC gene product participates in rhamnolipid biosynthesis. *FEMS Microbiol. Lett.* 179: 85-90.
- OTTO R.T., DANIEL H.J., PEKIN G., MÜLLER-DECKER K., FÜRSTENBERGER G., REUSS M., SYLDATK C., 1999. Production of sophorolipids from whey II. Product composition, surface active properties, cytotoxicity and stability against hydrolases by enzymatic treatment. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 52, 4: 495-501.
- PERSSON A., OESTERBERG E., DOSTALEK M., 1988. Biosurfactants production by *Pseudomonas fluorescens* 378: growth and product characteristics. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 29: 1-4.
- PEYPOUX F., BONMATIN J.M., WALLACH J., 1999. Recent trends in the biochemistry of surfactin. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 51, 5: 553-563.
- PEYPOUX F., MICHEL G., 1992. Control biosynthesis of Val-7 and Leu-7 surfactins. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 36, 4: 515-517.
- RAU U., HAMMEN S., HECKMANN R., WRAY V., LANG S., 2001. Sophorolipids: a source for novel compounds. *Ind. Crops. Prod.* 13: 85-92.
- RAU U., MANZKE C., WAGNER F., 1996. Influence of substrate supply on the production of sophorose lipids by *Candida bombicola* ATCC 22214. *Biotechnol. Lett.* 18, 2: 149-154.
- RON E.Z., ROSENBERG E., 2002. Biosurfactants and oil bioremediation. *Curr. Opin. Biotechnol.* 13: 249-252.
- SARNEY D.B., VULFSON E.N., 1995. Application of enzymes to the synthesis of surfactants. *Trends Biotechnol.* 13: 164-172.
- SCHIPPERS C., GEBNER K., MÜLLER T., SCHEPER T., 2000. Microbial degradation of phenanthrene by addition of a sophorolipid mixture. *J. Biotechnol.* 83: 189-198.
- SHEPHERD R., ROCKEY J., STUTHERLAND I.W., ROLLER S., 1995. Novel bioemulsifiers from microorganisms for use in foods. *J. Biotechnol.* 40: 207-217.
- SIEMANN M., WAGNER F., 1993. Prospects and limits for the production of biosurfactants using immobilized biocatalysts. W: *Biosurfactants: production, properties, applications*. Red. N. Kosaric. Dekker, New York: 99-133.
- SINGH H.M., SAINI V., ADHIKARI D.K., DESAI J.D., SISTA R., 1990. Production of bioemulsifier by SCP producing strain of *Candida tropicalis* during hydrocarbon fermentation. *Biotechnol. Lett.* 12, 10: 743-746.
- SULLIVAN E.R., 1998. Molecular genetics of biosurfactants production. *Curr. Opin. Biotechnol.* 9: 263-269.
- VAN BOGAERT I.N.A., SAERSENS K., DE MUYNCK C., DEVELTER D., SOETAERT W., VANDAMME E., 2007. Microbial production and application of sophorolipids. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 76: 23-34.
- VASUDEVAN N., RAJARAM P., 2001. Bioremediation of oil sludge-contaminated soil. *Environ. Int.* 26: 409-411.
- WARD O.P., FANG J., LI Z., 1997. Lipase-catalyzed synthesis of sugar ester containing arachidonic acid. *Enzyme Microb. Technol.* 20: 52-56.

- WU X.Y., JÄSKELÄINEN S., LINKO Y.Y., 1996. An investigation of crude lipases for hydrolysis, esterification and transesterification. *Enzyme Microb. Technol.* 19: 226-231.
- YAKIMOV M.M., FREDRICKSON H.L., TIMMIS K.N., 1996. Effect of heterogeneity of hydrophobic moieties on surface activity of lichenysin A, lipopeptide biosurfactant from *Bacillus licheniformis* BAS50. *Biotechnol. Appl. Biochem.* 23: 13-18.
- YUN U.J., PARK H.D., 2000. Overproduction of extracellular polysaccharide possessing high lipid emulsion stabilizing effects by *Bacillus* sp. *Biotechnol. Lett.* 22, 8: 647-650.
- ZHANG Y., MILLER R.M., 1992. Enhanced octadecane dispersion and biodegradation by a *Pseudomonas* rhamnolipid surfactant (biosurfactant). *Appl. Environ. Microbiol.* 58: 3276-3282.
- ZHOU Q.H., KOSARIC N., 1995. Utilization of canola oil and lactose to produce biosurfactant with *Candida bombicola*. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 72, 1: 67-71.

THE SURFACE-ACTIVE COMPOUNDS OF MICROBIOLOGICAL ORIGIN

Summary. The research concerned the characterisation of mechanisms and environmental conditions influencing the surface-active compounds, of microbiological origin, synthesis. The study undertook the factors which carry out biosynthesis process, the role of typical biosurfactants and their application in different branches of industry. Most of potentially available surfactants are the chemical surfactants synthesized from oil. These compounds are dangerous for environment because of their toxicity and unbiodegradability. The intensive development of biotechnology, genetic engineering and increase of human responsibility for environment protection contribute to "natural" surfactants interest. Biosurfactants are compounds produced through microbiological biosynthesis, mainly by bacteria and yeasts, with structural variety of surface-active compounds. Biosurfactants have the advantage over chemical ones because they are biodegradable, stable in extreme temperatures, pH value and salinity and they are of low toxicity. As opposed to chemical surfactants, biosurfactants demonstrate wider action range. The functional features of biosurfactants may be adapted by inserting not large changes into their structure. These changes are obtained using microorganisms reaction on changing culture-medium compounds and susceptibility of molecule to chemical and enzymatic manipulation.

Key words: microorganisms, synthesis, surface-active compound

Adres do korespondencji – Corresponding address:

Małgorzata Gumienna, Instytut Technologii Żywności Pochodzenia Roślinnego, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Wojska Polskiego 31/33, 60-624 Poznań, Poland, e-mail: gumienna@up.poznan.pl

Zaakceptowano do druku – Accepted for print:

7.06.2010

Do cytowania – For citation:

*Gumienna M., Czarnecki Z., 2010. Rola mikroorganizmów w syntezie związków powierzchniowo czynnych. *Nauka Przyr. Technol.* 4, 4, #51.*