

JAROSŁAW MAZURKIEWICZ

## ZWIĄZKI POWIERZCHNIOWO CZYNNĘ WYTWARZANE PRZEZ MIKROORGANIZMY

### Streszczenie

W publikacji zostały przedstawione związki powierzchniowo czynne produkowane przez mikroorganizmy nazywane biosurfaktantami. Związki te w trakcie wieloletnich badań zostały wyodrębnione i sklasyfikowane. Przedstawiono definicję emulgatorów i biosurfaktantów, a także strukturę ich cząsteczek. Podano trzy główne typy tych związków (glikolipidy, lipopeptydy, i fosfolipidy) różniące się chemiczną budową cząsteczek i mikroorganizmy, które je wytwarzają. Opisano możliwości zastąpienia związków syntetyzowanych chemicznie tymi związkami w rolnictwie i wielu gałęziach przemysłu: spożywczym, kosmetycznym, farmaceutycznym, petrochemicznym i innych.

### Wstęp

Zjawiskiem wytwarzania aktywnych powierzchniowo składników przez mikroorganizmy (tzw. biosurfaktantów) nauka zajmuje się od ponad pięćdziesięciu lat. W trakcie wieloletnich badań zidentyfikowano trzy główne typy biosurfaktantów: glikolipidy, lipopeptydy i fosfolipidy. Fosfolipidy obecne są we wszystkich organizmach, ale rzadko wydzielane są na zewnątrz organizmu. Natomiast glikolipidy i lipopeptydy wytwarzane przez różne mikroorganizmy są wydzielane w dużych ilościach do środowiska hodowlanego.

Wzrastające zainteresowanie ewentualnym zastosowaniem substancji powierzchniowo czynnych produkowanych przez mikroorganizmy wynika z ich różnorodnych właściwości funkcyjnych takich jak: emulgacja, de-emulgacja, zwilżanie, redukcja lepkości, separacja fazowa, zapobieganie korozji.

Biosurfaktanty mogłyby zastąpić surfaktanty pochodzenia chemicznego w rolnictwie i wielu gałęziach przemysłu: spożywczym, kosmetycznym, farmaceutycznym, petrochemicznym a także w budownictwie. W przemyśle spożywczym mogłyby być stosowane jako zamienniki związków emulgujących i powierzchniowo czynnych po-

prawiających konsystencję i teksturę produktów spożywczych. Wiele obecnie stosowanych chemicznych surfaktantów powoduje skażenie środowiska co jest wynikiem ich dużej odporności na biodegradację i akumulacji w ekosystemie. Dlatego też zastosowanie biosurfaktantów zmniejszyłoby znacznie stopień zanieczyszczenia środowiska.

### **Definicja związków powierzchniowo czynnych i emulgatorów**

Związki powierzchniowo aktywne to substancje zdolne do obniżania napięcia powierzchniowego cieczy na granicy faz. Taki charakter wykazuje wiele związków organicznych jak alkohole, estry, kwasy i inne, mające niesymetryczne cząsteczki i grupy polarne [10].

Biosurfaktanty obejmują grupę powierzchniowo czynnych cząsteczek produkowanych przez żywe komórki, głównie drobnoustroje w czasie ich wzrostu. Pełnią one pewne fizjologiczne funkcje, a mianowicie, umożliwiają mikroorganizmom wzrost na substratach nie mieszających się z wodą, przez zmniejszenie napięcia powierzchniowego na granicy dwóch faz [12], co prowadzi do wytworzenia emulsji i ułatwia wykorzystanie tychże substratów. Z tego względu ich działanie może być również nazywane działaniem emulgującym [10]. Nazwa biosurfaktant i bioemulgator jest używana wymiennie. Najczęściej charakteryzując struktury tych związków używamy nazwy biosurfaktant, natomiast nazwy bioemulgator używa się w znaczeniu zastosowawczym.

Emulsje są to trwałe układy dyspersyjne, dwóch nie mieszających się cieczy, w których jedna faza jest rozproszona w drugiej w postaci drobnych kuleczek. Faza zewnętrzna nazywana również dyspersyjną jest ośrodkiem, w którym zawieszono są drobne kuleczki fazy wewnętrznej zdyspergowanej [22]. Przy tworzeniu faz emulsji występuje pewna prawidłowość. Faza wodna zawiera substancje rozpuszczalne w wodzie lub wykazujące powinowactwo do wody, nazywane hydrofilowymi. Natomiast w fazie olejowej występują substancje, które wykazują powinowactwo do oleju i noszą nazwę hydrofobowych.

Charakter hydrofilowy lub hydrofobowy związków występujących w emulsji wynika z budowy a ściślej, z polarności cząsteczki. Związki polarne, które zawierają w cząsteczce takie grupy jak: karboksylową -COOH, hydroksylową -OH, aldehydową -CHO, mają charakter hydrofilowy. Związki wykazujące własności hydrofobowe mają charakter niepolarny, gdyż zawierają w cząsteczce długi łańcuch węglowodorowy ( np. związki szeregu homologicznego węglowodorów) a mało grup polarnych [10].

Istnieje wiele teorii tłumaczących wydzielanie biosurfaktantów do środowiska, ale ich funkcja biologiczna nie jest dokładnie poznana. U bakterii z rodzaju *Myxococcus* tzw. bakterii ślizgowych ruch powoduje miejscowe wydzielanie surfaktantu na tylnym końcu komórki, co wytwarza asymetryczną siłę napięcia powierzchniowego,

która popycha komórkę do przodu. Fosfolipidy wydzielane przez *Thiobacillus* odgrywają znaczną rolę przy zwilżaniu nieorganicznych substratów siarkowych. Biosurfaktanty wydzielane przez *Bacillus* np. surfaktyna syntetyzowana przez *B. subtilis* wykazuje właściwości antybiotyczne.

### **Klasyfikacja i budowa związków powierzchniowo czynnych produkowanych przez drobnoustroje**

Biosurfaktanty mogą być klasyfikowane ze względu na chemiczną budowę ich cząsteczek. Cząsteczka biosurfaktanta zawiera hydrofobową grupę składającą się z tłuszczowego łańcucha węglowodorowego i hydrofilową grupę, która może zawierać estrową lub alkoholową grupę funkcyjną tłuszczy, karboksylową grupę kwasów tłuszczowych lub aminokwasów, grupy fosforanowe zawarte w fosfolipidach oraz węglowodanową część glikolipidów [12].

Charakteryzując budowę chemiczną surfaktantów produkowanych przez mikroorganizmy stwierdzono, że większość tych związków to glikolipidy [8]. Możemy je podzielić na kilka grup w zależności od występujących w nich węglowodanów.

Dość często występujące glikolipidy to pozakomórkowe związki zawierające trehalozę wytwarzane przez bakterie z rodzaju *Corynebacterium* [8, 9].

Duvnjak [11] wyodrębnił ten typ związków wykazujących silne właściwości powierzchniowo czynne i emulgujące z płynów pochodzących *Arthrobacter paraffineus* ATCC 19558 rosnącego na n-parafinach. Każda cząsteczka zawierała trehalozę i dwa  $\beta$ -hydroksy- $\alpha$ -rozgałęzione kwasy tłuszczowe (kwasy korynomykolinowe).

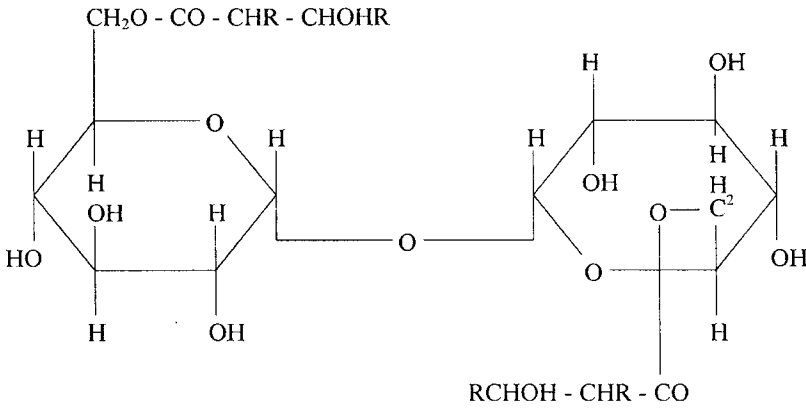
Inny biosurfaktant zawierający trehalozę syntezowany przez *Rhodococcus species* H13-A [24] jest anionowym glikolipidem zawierającym jeden większy i dziesięć mniejszych elementów. Jego hydrofilowa grupa składa się z trehalozy acylowanej nasyconymi i nienasyconymi kwasami tłuszczowymi o liczbie C<sub>10</sub> do C<sub>22</sub>, mykolinowymi kwasami o liczbie C<sub>35</sub> do C<sub>40</sub>, kwasami heksanowymi i dodekanowymi oraz kwasami 10-metylo heksadekanowymi i oktadekanowymi.

Glikolipidy zawierające trehalozę wyizolowano również z wielu innych szczepów rodzaju *Arthrobacter* oraz *Mycobacterium*, *Brevibacterium*, *Corynebacterium* i *No-cardia* [8].

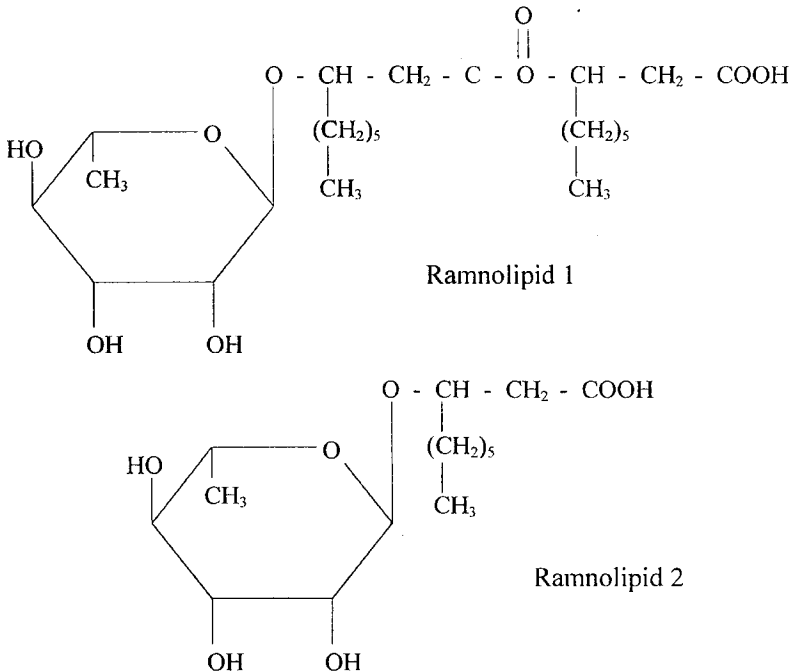
Glikolipidy zawierające ramnozę i kwas  $\beta$ -hydroksykarboksylowy były produkowane przez wiele szczepów gatunku *Pseudomonas aeruginosa* [20] i *Pseudomonas fluorescens* [12]. Składają się one z jednej lub dwóch cząsteczek kwasu kaprylowego połączonych wiązaniem D-glikozydowym [12].

Edwards i Hayashi [cyt z 8] scharakteryzowali ramnolipid pochodzący ze szczepu *Pseudomonas aeruginosa* jako związek zawierający oprócz ramnozy dwie cząsteczki

kwasu β-hydroksydekanowego. Związek ten wytwarzał bardziej stabilne emulsje niż handlowe surfaktanty TWEEN 20 i Noigen EA 141.



Rys. 1. Struktura glikolipidu zawierającego diester trehalozy i dwa kwasy mykolinowe (lub korynomykolinowe) [10].



Rys. 2. Dwie różne formy ramnolipidów syntezowanych przez *Pseudomonas aeruginosa* [12].

Następna grupa glikolipidów to związki zawierające soforozę, a produkowane głównie przez różne gatunki drożdży z rodzaju *Torulopsis* [7].

Soforolipidy wyizolowane z *Torulopsis magnoliae* zawierały soforozę połączoną wiązaniem glikozydowym z hydroksylową grupą kwasu hydroksykarboksylowego [13]. Podobny związek jest wytwarzany przez *Torulopsis gropengiesseri* [8].

Innym typem glikolipidów są biosyntezone przez mikroorganizmy (np. *Lactobacillus fermenti*)  $\alpha$ - i  $\beta$ -dwuglukozylodwuglicerydy, dwuramnozylo-, dwugalaktozylo- i galaktozyloglukozylodwuglicerydy oraz w dużo mniejszej ilości mono-, tri- i tetraglukozylodwuglicerydy [8].

Käeppeli i Fiechter [16] wyizolowali kompleks polisacharydowo lipidowy ze ściany komórek drożdży z gatunku *Candida tropicalis*, hodowanych na substratach węglowodorowych. Wykazywał on właściwości biosurfaktantów i emulgatorów.

Polimer wyizolowany ze szczepu *Arthrobacter* RAG-1 o ciężarze cząsteczkowym  $9,76 \cdot 10^5$ , zawierał D-galaktozaminę (20–30 % masy cząsteczki), niezidentyfikowany kwas amino – uronowy (33 %), D-glukozę (5 %) i kwasy tłuszczowe (15 %) [25].

*Acinetobacter calcoaceticus* RAG-1 jest organizmem produkującym Emulsan – handlowy biosurfaktant. Jest to pozakomórkowy lipoheteropolisacharydowy, polianionowy bioemulgator o ciężarze cząsteczkowym  $10^6$  [15].

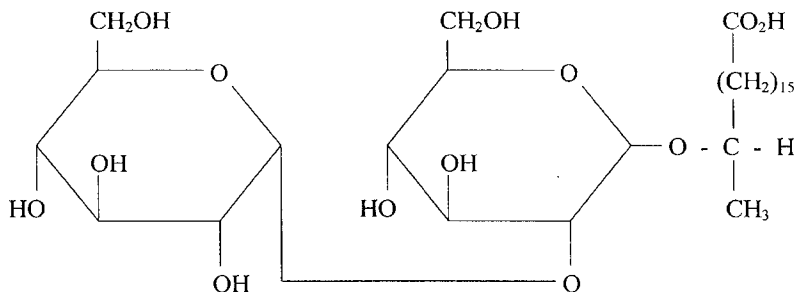
Druga duża grupa biosurfaktantów to związki zawierające aminokwasy. Można tu wymienić lipopeptydy otrzymane w hodowlach różnych bakterii i drożdży [8]. Najczęściej opisywanym jest lipopeptyd syntezowany przez *Bacillus subtilis* nazywany surfaktyną lub subtilizyną [3, 9]. Cząsteczka tego surfaktanta zawiera siedem aminokwasów w strukturze pierścieniowej (Glu - Leu - Leu - Val - Asp - Leu - Leu) związanych wiązaniami kowalentnymi z jednej strony z karboksylową grupą, a z drugiej z hydroksylową grupą  $\beta$ -hydroksykwasów tłuszczowych. Dwa aminokwasy (kwas asparaginowy i kwas glutaminowy) mają wolne karboksylowe grupy funkcyjne. Związek ten wykazuje bardzo silne właściwości obniżania napięcia powierzchniowego [8, 12]. Inny gatunek rodzaju *Bacillus* - *B. mesentericum* – wytwarza związek zawierający kwas  $\beta$ -hydroksykarboksylowy, L-asparaginę, L-glutaminę, L-walinę, L-leucynę i D-leucynę [8]. Podobny biosurfaktant wytwarzany jest przez *Bacillus licheniformis*, w którym lipofilna część kwasu tłuszczowego połączona jest wiązaniem D-glikozydowym z hydrofilną peptydową strukturą pierścieniową [12].

*Corynebacterium lepus* wytwarza lipopeptydy aktywne powierzchniowo. Stanowią one 35 % masy białek i zawierają nasycone kwasy tłuszczowe i kwasy korynomykolinowe [9].

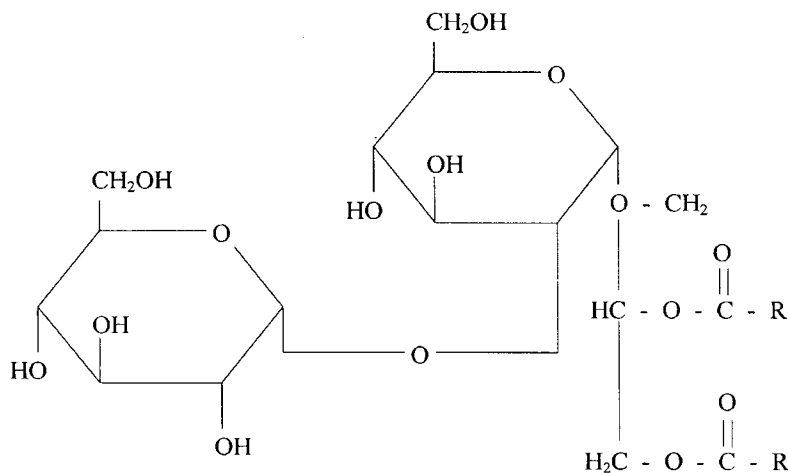
Wilkinson wyizolował lipid z *Pseudomonas rubescens* zawierający tylko jeden aminokwas – ornitynę i wykazujący właściwości emulgujące. Podobny lipid wyizolowano z *Thiobacillus thiooxidans* [8]. *Agrobacterium tumefaciens* wytwarza lipid, w

którym ornityna jest zastąpiona lizyną. Natomiast *Gluconobacter cerinus* wytwarzał lipid z ornityną i tauryną nazwany Cerilipin [12].

Do tej grupy biosurfaktantów można również zaliczyć substancje – pochodne białek. Jedną z nich zwaną serafobiną o ciężarze 70 kDa, izolowano z powierzchni komórek szczepu *Serratia marcescens*. Była ona zdolna do tworzenia emulsji z heksadekanem [1].



Rys. 3. Struktura soforozo - lipidu izolowanego z rodzaju *Torulopsis* [8].

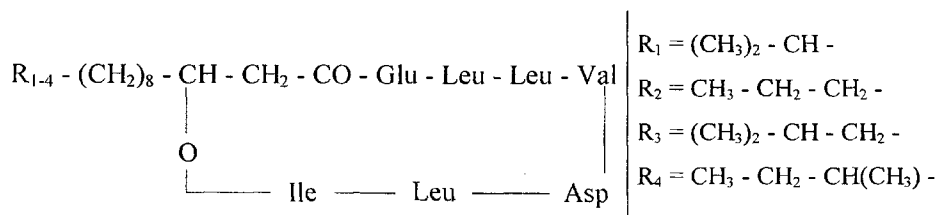


Rys. 4. Ogólna struktura  $\alpha$  - dwuglukozylodwuglicerydu. R oznacza alkilowy wymiennik [8].

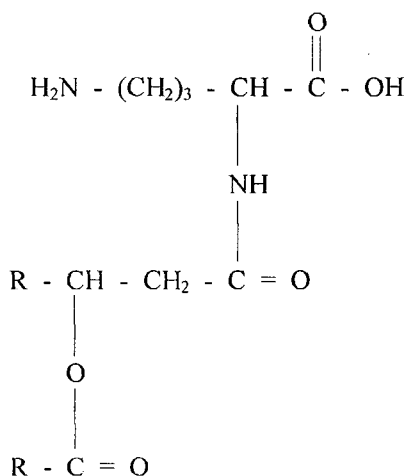
W drożdżach *Torulopsis petrophilum* występuje powierzchniowo czynny glikolipid i emulgująca proteina [12]. Inny mikroorganizm – *Candida lipolitica* – wytwarza 27.6 kDa kompleks proteinowo pochodny o nazwie liposan, złożony w 83 % z węglowodanów [5]. Podobny kompleks zdolny do emulgowania heksadekanu i wody otrzymano z hodowli *P. aeruginosa* i *P. fluorescens*, gdy źródłem węgla były n-alkany [8, 12].

Trzecia grupa związków powierzchniowo czynnych to fosfolipidy.

Z hodowli gatunku *Corynebacterium lepus* wyizolowano mieszaninę różnych fosfolipidów mających zdolność do obniżania napięcia powierzchniowego. Mieszanina ta zawierała: fosfatoglicerol, fosfatodilinozytol, fosforan fosfatoglicerolu, mannozyd fosfatolinozytoli i kardiolipin [8, 11].



Rys. 5. Struktura powierzchniowo - czynnego lipopeptydu wytwarzanego przez *Bacillus licheniformis* [12].



Rys. 6. Struktura lipidu zawierającego ornitynę izolowanego z *Pseudomonas rubescens* [8].

*Thiobacillus thiooxidans* wytwarza pozakomórkowe fosfolipidy aktywne powierzchniowo: fosfatodilinozytol, fosfatodiglicerol i kwas fosfatydowy [2]. Do mikroorganizmów wytwarzających fosfolipidy należą również: *Corynebacterium alkanolyticum*, *Candida tropicalis* i *Micrococcus cerificans* [8].

Ostatnią omawianą grupą biosurfaktantów są związki zawierające w cząsteczce kwasy tłuszczowe i tłuszcze.

Oder [21] opisał mikroorganizmy produkujące pozakomórkowe kwasy tłuszczowe, zdolne do rozkładu frakcji parafinowych. Wśród tych mikroorganizmów były

bakterie z rodzaju *Pseudomonas*, *Mycococcus*, *Acinetobacter* i grzyby z rodzaju *Penicillium* i *Aspergillus*.

*Micrococcus cerificans* wytwarza pozakomórkowe kwasy tłuszczowe, gdy jest hodowany na węglowodorach bez rozpuszczalnych substratów [19].

Kwasy tłuszczowe i tłuszcze znajdują się we wszystkich komórkach mikroorganizmów i są często wydzielane pozakomórkowo. Większość tych tłuszczów zawiera kwasy karboksylowe, alkohole, estry, monoglicerydy, diglicerydy i triglicerydy [8].

Tabela 1

Produkty biotechnologiczne związane z produkcją i preparowaniem żywności [17]

Produkt	Zastosowanie
Kwasy organiczne, ich sole i pochodne	Czynniki kontroli pH, środki ukwaszające, środki konserwujące, substancje stabilizujące barwę, wzmacniające żelowanie, topniki, substancje redukujące mętność itp.
Mono/oligosacharydy	Słodziki stosowane do diet i „zdrowej żywności”
Polisacharydy	Zagęstniki, czynniki wiążące wodę, substancje żelujące, czynniki pieniające, substancje zmieniające własności reologiczne, składniki odżywcze
Aminokwasy, peptydy	Składniki hydrolizatów białkowych stosowanych np. w zupach w pro-szku, czynniki antymikrobiologiczne (nizyna, bakteriocydyna), glutaminian sodu wzmagający odczucie smaku.
Proteiny	Produkcja biomasy SCP (single cell protein) jako dodatki do żywności
Enzymy	Podpuszczka pochodzenia mikrobiologicznego, enzymy w procesie kruszenia mięsa, proteazy zmieniające właściwości wypiekowe mąki, enzymy w procesie stabilizacji i klarowania piwa, amylazy, glukoamylazy i pullulanazy do hydrolizy skrobi, izomeraza glukozy do produkcji syropu z fruktozy, enzymy degradujące pektynę (np. przy produkcji soków owocowych), inwertaza do produktów kandyzowanych.
Lipidy i ich pochodne	Specjalne tłuszcze i oleje, czynniki emulgujące i deemulgujące, środki poprawiające smarowność, czynniki zwilżające
Inne substancje przydatne w produkcji żywności	Witaminy z grupy B, kwas L-askorbinowy (wit C), specjalne zapachy (waniliowy, owocowy, grzybowy, miętowy, cebulowy itp.), barwniki, substancje wzmagające odczucie smaku (np. 5'-nukleotydy)

## Zastosowanie biosurfaktantów

Związki aktywne powierzchniowo i emulgatory znalazły szerokie zastosowanie w wielu gałęziach przemysłu takich jak: farmaceutyczny, spożywczy, kosmetyczny, papierniczy, tekstylny, metalurgiczny, naftowy, petrochemiczny oraz w rolnictwie. Większość tych związków jest syntezowana chemicznie z ropy naftowej jako surowca



nieodnawialnego. Zainteresowanie związkami produkowanymi biologicznie wzrosło dopiero w ciągu ostatnich dziesięcioleci [12, 18].

W przemyśle spożywczym biosurfaktanty mogłyby zastąpić tradycyjnie stosowane chemicznie syntetyzowane związki emulgujące i powierzchniowo czynne poprawiające konsystencję i teksturę produktów spożywczych. Nie są one jeszcze stosowane na szeroką skalę ze względu na różne czynniki. Biosurfaktanty muszą najpierw być przebadane zgodnie z przepisami obowiązującymi dla substancji dodatkowych dozwolonych do stosowania w żywności pod względem cech funkcjonalnych, biologicznych, sensorycznych i wpływu na zdrowie człowieka. W Japonii, gdzie ograniczenia prawne dotyczące użycia nowych dodatków są dość liberalne, soforolipidy otrzymywane metodami biotechnologicznymi zostały opatentowane jako dodatki do mąki w celu poprawienia jakości i przedłużenia trwałości produktów piekarskich. Zhydrolizowane i liofilizowane ściany komórek drożdży *Saccharomyces uvarum* zostały opatentowane jako surfaktanty do produkcji margaryny [17].

Ramnolipidy z *Pseudomonas aeruginosa* UI 29 791 produkowane z wysoką wydajnością (ok. 40 g/l) w hodowli na oleju kukurydzianym są polecane do stosowania w żywności. Zaproponowano także aby biopolimery o wysokiej masie cząsteczkowej produkowane przez mikroorganizmy zaliczyć do emulgatorów stosowanych w tym przemyśle np. emulsan z *Acinetobacter calcoaceticus* RAG-1, emulsjan z *Phormidium* J-AATCC 39161 [17].

W przemyśle naftowym wykorzystano biosurfaktanty do zwiększenia odzysku oleju ze źródeł ropotwórczych – metoda MEOR [12] i EOR [14]. Wykazano, że stosując metodę bazującą na biosurfaktantach można uzyskać o wiele większą wydajność oleju niż przy konwencjonalnej metodzie pompowania. Spowodowane to jest zmniejszeniem napięcia powierzchniowego i wewnątrzfazowego w ziemi przez zastosowanie mikroorganizmów produkujących te związki [12]. W metodzie EOR wykorzystano biosurfaktant produkowany przez halotolerancyjny szczep *Bacillus licheniformis*.

W 1987 roku opatentowano biosurfaktant o handlowej nazwie Emulsan, który został użyty do oczyszczania zbiorników, statków i neutralizowania szkód spowodowanych wyciekiem ropy naftowej. Biosurfaktant ten również wykorzystano w cytowanej wyżej metodzie MEOR i EOR. Dodatek Emulsanu do surowego oleju powoduje łatwiejszy przepływ tego oleju w rurociągach i przez to zmniejszenie kosztów transportu [14].

Biosurfaktanty mogą być wykorzystane w produkcji kosmetyków takich jak: szampony, kremy nawilżające i ochronne. Soforolipidy produkowane przez *Torulopsis bombicola* po pewnej chemicznej modyfikacji, zostały użyte w produkcji kremów jako naturalny środek nawilżający [4].

Biosurfaktanty ze względu na ich łatwą biodegradację i możliwość wykorzystania produktów ubocznych jako surowca mogłyby zastąpić tradycyjnie wykorzystywane komponenty. Jak dotąd produkcja biosurfaktantów jest jeszcze stosunkowo niewielka ze względu na wysokie koszty produkcji. Wynika to głównie z małej produktywności szczepów, kosztownych procesów produkcji i konieczności używania drogich substratów. Prace badawcze dotyczące biosurfaktantów zmierzają w kierunku obniżenia kosztów produkcji poprzez izolację nowych, bardziej wydajnych szczepów wykorzystujących tanie i łatwo dostępne źródła węgla i energii. Duże możliwości w udoskonalaniu szczepów stwarza inżynieria genetyczna. [13].

#### LITERATURA

- [1] Bar-Ness R., Rosenber M.: Putative role of a 70 kDa outer – surface protein in promoting cell – surface hydrophobicity of *Serratia marcescens* RZ. J. Gen. Microbiol., **135**, 1989, 2274-2281.
- [2] Beebe J.L., Umbreit W.W.: Extra cellural lipid of *Thiobacillus thiooxidans*. J. Bacteriol., **108**, 1971, 612-614.
- [3] Bernheimer A.W., Avigad L.S.: Nature and properties of a cutolitic agent produced by *Bacillus subtilis*. J. Gen. Microbiol., **61**, 1970, 361-369.
- [4] Brown M. J.: Biosurfactant for cosmetic applications. Int. J. Cosmetic Sci., **3**, 1991, 61-64.
- [5] Cirigliano M.C., Carmon G.M.: Purification and characterisation of liposan, a bioemulsifier from *Candida lipolitica*. Appl. Environ. Microbiol., **50**, 1985, 846-850.
- [6] Cooper D.G., Mac Donald C.R., Duff S.J.B., Kosaric N.: Enhanced production of surfactin from *Bacillus subtilis* by continuous product removal and metal cation additions. Appl. Environ. Microbiol., **42**, 1981, 408-412.
- [7] Cooper D.G., Paddock D.A.: Production of a biosurfactant from *Torulopsis bombicola*. Appl. Environ. Microbiol., **47**, 1984, 173-176.
- [8] Cooper D.G., Zajic J.E.: Surface – active compounds from microorganisms. Adv. Appl. Microbiol., **26**, 1980, 229-253.
- [9] Cooper D.G., Zajic J.E., Gerson D.F. Production of surface – active lipids by *Corynebacterium lepus*. Appl. Environ. Microbiol., **37**, 1979, 4-10.
- [10] Cygańska J., Witwicka J. Emulgatory i emulsje w przemyśle spożywczym WPLiS. Warszawa 1967.
- [11] Duvnjak Z., Cooper D.G., Kosaric N.: Production of surfactant by *Arthrobacter paraffineus* ATCC 19558. Biotechnol. Bioeng., **24**, 1982, 165-175.
- [12] Fiechter A.: Biosurfactant: moving towards industrial application. TIBTECH, **10**, 1992, 208-217.
- [13] Gorin P.A.J., Spencer J.F.T., Tullock A.P.: Hydroxy fatty acids glycosides of sophorose from *Torulopsis magnoliae*. Can. J. Chem., **39**, 1961, 846-855.
- [14] Jenneman G.E., Mc Inerney M.J., Knapp R.M.: A halotolerant, biosurfactant – producing *Bacillus species* potentially usefull for Enhanced Oil Recovery. Del. Ind. Microbiol., **24**, 1983, 485-492.
- [15] Jenny K. Käeppli O., Fiechter A.: Biosurfactants from *Bacillus licheniformis*: structural analysis and characterisation. Appl. Microbiol. Biotechnol., **36**, 1991, 5-13.
- [16] Käeppli O., Fiechter A.: Component from the cell surface of the hydrocarbon - utylising yeast *Candida tropicalis* with possible relation to hydrocarbon transport. J. Bacteriol., **131**, 1977, 917-921.
- [17] Kosaric N.: Biosurfactants: production – properties – applications. New York 1993.
- [18] Kosaric N., Gray N.C.C., Cairns W.L.: Microbial emulsifiers and de - emulsifiers. Biotechnol., **3**, 1983, 575-592.

- [19] Makula R.A., Finnerty W.R.: Microbial assimilation of hydrocarbons: Cellular distribution of fatty acids. *J. Bacteriol.*, **112**, 1972, 398-407.
- [20] Mulligan C.N., Gibbs B.F.: Correlation of nitrogen metabolism with biosurfactant production by *Pseudomonas aeruginosa*. *Appl. Environ. Microbiol.*, **55**, 1989, 3016-3019.
- [21] Odier E.: Croissance microbienne et accidents de stockage des reservoirs de carburants. *Ann. Microbiol. (Paris)*, **127B**, 1976, 213-225.
- [22] Pijanowski E., Dłużewski M., Dłużewska A.: *Ogólna technologia żywności*. WNT, Warszawa 1984.
- [23] Shabtai Y., Gutnick D.L.: Tolerance of *Acinetobacter calcoaceticus* RAG-1 to the cationic surfactant cetyltrimethylammonium bromide: role of the bioemulsifier emulsan. *Appl. Environ. Microbiol.*, **49**, 1986, 192-197.
- [24] Singer M.E.V., Finnerty W.R., Tunelid A.: Physical and chemical properties of a biosurfactant synthesised by *Rhodococcus species* H13-A. *J. Can. Microbiol.*, **36**, 1990, 746-750.
- [25] Zuckenberg A., Diver A. Peeri Z., Gutnick D.L., Rosenberg E.: Emulsifier of *Arthrobacter* RAG-1: chemical and physical properties. *Appl. Environ. Microbiol.*, **37**, 1979, 414-420.

## SURFACE ACTIVE AGENTS PRODUCED BY MICROORGANISMS

### Summary

In this paper, surface active agents produced by microorganisms named biosurfactants are been discussed. This compounds have being identified and classified after long-term researches. The definition of biosurfactants and emulsifier, and their chemical structures and compositions were reviewed. Three main types of different biosurfactants have been identified : glycolipids, lipopeptides and phospholipids, which differ in molecular structures depending on their microbial producers. It can replace surface active compounds of chemical origin in such areas like agriculture and industries ( food, cosmetics, pharmaceutical, petrochemical and building) ☒