

TOMASZ CŁAPA<sup>1</sup>, MAREK SELWET<sup>1</sup>, DOROTA NAROŻNA<sup>2</sup>

*Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu*

*Wydział Rolnictwa i Bioinżynierii*

<sup>1</sup>*Katedra Mikrobiologii Ogólnej i Środowiskowej*

*Szydlowska 50, 60-655 Poznań*

<sup>2</sup>*Katedra Biochemii i Biotechnologii*

*Dojazd 11, 60-632 Poznań*

*E-mail: t.clapa@up.poznan.pl*

## ŻYCIE W SPOŁECZNOŚCI – WARUNKI POWSTAWANIA BIOFILMU

### WSTĘP

Zachowania społeczne pomiędzy żywymi organizmami są obserwowane w każdej grupie, począwszy od naczelnych, a skończywszy na mikroorganizmach (LEGGETT i współaut. 2014). Interesujące wydają się zachowania i interakcje pomiędzy drobnoustrojami, a w szczególności komunikacja między bakteriami. Bakterie są w stanie wzrastać i funkcjonować jako pojedyncze komórki zwane planktonem, jednak jest to dla nich mało korzystne (HAMMER i BASSLER 2003). Zaobserwowano, że wszystkie procesy geochemiczne, w których biorą udział mikroorganizmy, zachodzą przy odpowiedniej liczbie ich komórek, czyli tzw. quorum (ang. quorum sensing, QS) (LEAR i współaut. 2009). Ta odpowiednia liczba komórek jest w stanie tworzyć oraz funkcjonować jako prymitywny organizm, społeczność osiadłych, przytwierdzonych do podłoża komórek nazywanych biofilmem (DIMITRIU i współaut. 2014).

Dowód, że bakterie są w stanie tworzyć struktury funkcjonujące jako wielokomórkowy organizm jest o tyle ważny, iż do połowy XX w. mikrobiologia skupiała się na tzw. czystych kulturach komórkowych, które można pozyskać poprzez ich izolację, a następnie hodowlę na pożywkach selektywnych, zapewniających odpowiednie warunki wzrostu niezbędne dla danego gatunku (O'TOOLE i współaut. 2000, PAMP i współaut. 2009, ROMLING i BALSALOBRE 2012). Metody hodowlane okazały się niewystarczające, po-

nieważ większa część mikroorganizmów występujących naturalnie w środowisku przyrodniczym (ok. 95% w zależności od środowiska) nie jest w stanie wzrastać na sztucznie przygotowanych podłożach w warunkach laboratoryjnych. Wymagania znacznej części bakterii nie są jeszcze poznane, przez co nie można im zapewnić optymalnych warunków do hodowli (YANG i współaut. 2008, BJARNSHOLT 2013). Rozwiązaniem tego problemu okazały się techniki biologii molekularnej opierające się na analizie kwasów nukleinowych (DNA lub RNA), na podstawie których można określić skład gatunkowy mikroorganizmów współżyjących ze sobą jako biofilm (ROLFS i współaut. 1992, O'TOOLE i współaut. 2000). Rozwój technik obrazowania 3-D oraz barwienia komórek wykazały, że biofilm jest dynamiczną strukturą tworzoną przez żywe komórki mikroorganizmów, wykazującą kompleksowość funkcji biologicznych (HALL-STOODLEY i współaut. 2004).

### CZYM JEST BIOFILM?

Bakterie i grzyby zdolne są do tworzenia społeczności zagregowanych (połączonych ze sobą), mikro- i makrokoloni nazywanych biofilmem, który wykazuje właściwości adhezyjne (przytwierdzające) do podłoża (PRATT i KOLTER 1998). Biofilm cechuje się unikalnym sposobem wzrostu, który pozwala przetrwać tworzącym go mikroorganizmom w niesprzyjających warunkach środowiska. Komórki wchodzące w jego skład otoczo-

ne są glikokaliksem, tzw. matrix (DREWNIAK i współaut. 2010). Matrix składa się z biopolimerów (ang. extracellular polymeric substances, EPS) (HALL-STOODLEY i współaut. 2004). W jej skład wchodzi polisacharydy, białka, kwasy nukleinowe, substancje powierzchniowo czynne, fosfolipidy oraz woda (BOND i współaut. 2000a, LEAR i współaut. 2009). Taka hydro-żelowa struktura zapewnia ochronę mikroorganizmów przed wysuszeniem oraz zmieniającymi się warunkami fizycznymi (promieniowanie UV, temperatura) oraz chemicznymi (pH czy wysokie stężenie substancji toksycznych) środowiska (BOND i współaut. 2000b, HALL-STOODLEY i współaut. 2004, RAJI i współaut. 2008, EZEUKO i współaut. 2013). Otoczka śluzowa zbudowana jest z wielocukrów, a dzięki kanałom znajdującym się w jej wnętrzu służy do transportu związków odżywczych oraz wymiany gazowej między komórkami. Biofilm może być tworzony zarówno przez komórki jednego gatunku (struktura mono-gatunkowa), jak i przez bakterie należące do różnych gatunków (PRATT i KOLTER 1998). Biofilmy powstają praktycznie w każdym środowisku, które spełnia odpowiednie do tego warunki, tj. wilgotność, dostępność substancji odżywczych. Społeczność ta powstaje na powierzchniach stałych lub na granicy fazy stałej z wodą. Obserwuje się także powstawanie tych struktur na powierzchni oraz wewnątrz organizmów żywych. Fakt, że biofilm może powstawać praktycznie wszędzie sprawia, że może on być zarówno pożyteczny, jak i niebezpieczny dla otoczenia (GONZALEZ-TORIL i współaut. 2003; DREWNIAK i współaut. 2008, 2010).

### JAK POWSTAJE BIOFILM?

Powstawanie biofilmu zależy nie tylko od rodzaju mikroorganizmów wchodzących w jego skład, ale również od powierzchni na której się on tworzy (WU i XI 2009). Procesem inicjującym powstawanie biofilmu jest tworzenie się mikrokolonii przez bakterie formujące następnie jego dojrzałą strukturę (PAMP i współaut. 2008). Dużą rolę w

jego powstawaniu odgrywają biopolimery zewnątrzkomórkowe oraz białka zlokalizowane na powierzchni komórki bakteryjnej. Interesujący wydaje się także proces wyciszenia ekspresji genów odpowiedzialnych za syntezę flagelli (PRATT i KOLTER 1998, STANLEY i LAZZAZERA 2004). Podczas formowania się struktury biofilmu można wyróżnić cztery etapy (Ryc. 1): adhezja odwracalna do powierzchni, adhezja nieodwracalna z syntezą EPS, dojrzewanie oraz uwolnienie komórek biofilmu (NARVÁEZ-ZAPATA i współaut. 2005).

Na nieodwracalną adhezję bakterii do powierzchni wpływa wiele czynników: (i) warunki środowiskowe, tj. temperatura, pH, dostępność składników pokarmowych, itp., (ii) morfologia bakterii, faza wzrostu w jakiej się aktualnie znajdują, rodzaj białek znajdujących się na powierzchni komórki, oraz (iii) powinowactwo do powierzchni, do której ma nastąpić adhezja (ELIAS i BANIN 2012). Na interakcje komórek bakteryjnych z podłożem wpływają jego właściwości fizyko-chemiczne (hydrofobowość, ładunek elektrostatyczny), jak i budowa komórek bakteryjnych (BORDI i DE BENTZMANN 2011). Za proces adhezji do powierzchni odpowiedzialne są oddziaływania elektrostatyczne, kowalencyjne typu węgiel-węgiel oraz wiązania wodorowe. Umożliwiają one zasiedlanie przez komórki takich powierzchni jak tworzywa sztuczne czy metale (HALL-STOODLEY i współaut. 2004). Każdy gatunek bakterii posiada własny „zestaw narzędzi” (białka charakterystyczne dla danego gatunku) wykorzystywany do zasiedlania danej powierzchni (GONZALEZ-TORIL i współaut. 2003, KOŁWZAN 2011, EZEUKO i współaut. 2013). Biofilmy powstające w środowisku naturalnym mogą charakteryzować się różnorodnością kształtu, koloru i wielkości, a jest to związane z czynnikami fizyko-chemicznymi środowiska (STANLEY i LAZZAZERA 2004).

W początkowej fazie (adhezja odwracalna oraz produkcja polisacharydów) podłoże pokrywa się pojedynczą warstwą komórek i następuje wzmożona synteza oraz wydzielanie biopolimerów zewnątrzkomórkowych. Wskutek tego otoczone śluzem skupisko ko-



Rys. 1. Etapy powstawania biofilmu: (<http://eng-cs.syr.edu/our-departments/biomedical-and-chemical-engineering/research/control-of-bacterial-biofilm-formation/>).

mórek bakteryjnych stymuluje adhezję innych mikroorganizmów. Proces ten jest bardzo dynamiczny i przebiega w ściśle określonym czasie (ELIAS i BANIN 2012). Faza adhezji komórek do danej powierzchni trwa zazwyczaj od kilku sekund do kilku minut. Proces wydzielania biopolimerów oraz agregacja komórek bakteryjnych może zająć od kilku godzin do kilku dni (JOHNSON i współaut. 1998). Jest to zależne od gatunków mikroorganizmów tworzących biofilm, związane z rozpoznawaniem przez bakterie różnego rodzaju związków sygnałowych wydzielanych do otoczenia oraz warunków środowiska w jakim biofilm powstaje (HALL-STOODLEY i współaut. 2004).

Podczas rozwoju biofilmu następuje podział komórek bakteryjnych, który prowadzi do powstawania kolejnych warstw jego struktury. Z monowarstwy odpowiedzialnej za proces pierwotnej kolonizacji podłoża powstają kolejne, co prowadzi do tworzenia mikro-kolonii, a następnie do powstania dojrzałego metabolicznie biofilmu. Następuje podział funkcji pomiędzy bakteriami znajdującymi się w poszczególnych jego warstwach, np. przytwierdzenie do podłoża (KOŁWZAN 2011).

W nowopowstającej, wielokomórkowej strukturze można zauważyć kształtujący się gradient związków chemicznych, w tym różnego rodzaju metabolitów. Dostępność tlenu w poszczególnych warstwach jest zróżnicowana, co prowadzi do aktywacji alternatywnych szlaków oddychania beztlenowego u bakterii znajdujących się w głębszych warstwach biofilmu (BJARNSHOLT 2013). Czynniki stresowe oraz zróżnicowana dostępność substancji odżywczych przyczyniają się do unikatowej różnorodności genetycznej (następuje ekspresja genów wcześniej nieaktywnych) biofilmu. Może dochodzić do przepływu informacji genetycznej pomiędzy bakteriami (wskutek horyzontalnego transferu genów), co prowadzi do ich ewolucji (BORDI i DE BENTZMANN 2011, JIAO i współaut. 2011). Proces uwolnienia komórek z dojrzałego biofilmu następuje w przypadku ograniczonej dostępności substancji pokarmowych w środowisku. Komórki występujące w formie planktonu mogą przyswajać więcej substancji pokarmowych, na skutek większej powierzchni komórki wynikającej z braku połączenia z innymi komórkami czy podłożem (STANLEY i LAZAZZERA 2004).

## BIOFILM A ŚRODOWSIKO ZEWNETRZNE

Biofilm poprzez swoją złożoność strukturalną i genetyczną wykazuje oporność nie tylko na zmieniające się warunki środowi-

ska, ale również na różnego rodzaju związki chemiczne czy preparaty antydrobnoustrojowe, np. antybiotyki (JIAO i współaut. 2011). Poprzez obecność wolnego, zewnątrzkomórkowego DNA (ang. extracellular DNA, eDNA) w matrix, polimer ten wykazuje właściwości anionu, co umożliwia chelatowanie (wiązanie) kationów w glikokaliksie i prowadzi do wytworzenia środowiska bardzo ubogiego w kationy (DRUSCHEL i współaut. 1999).

Wiadomo, że bakterie żyjące w formie osiadłych kolonii wytwarzają unikalną formę oporności. Sam biofilm jest strukturą wykazującą największą oporność na czynniki fizyko-chemiczne środowiska, w którym występuje (YANG i współaut. 2008). Matrix zewnątrzkomórkowa służy w tym wypadku nie tylko jako ochrona przed środowiskiem zewnętrznym, ale jest również rusztowaniem budującym i podtrzymującym strukturę biofilmu (DREWNIAK i współaut. 2010). Stanowi ona ochronę przeciwko drapieżnikom, np. pierwotniakom, będącym w stanie żywić się komórkami bakteryjnymi nie występującymi w formie biofilmu. Bierze także udział w kształtowaniu się sieci komunikacyjnej. Bakterie w samym biofilmie mogą wykazywać (i) zwiększoną tolerancję na różnego rodzaju związki chemiczne lub (ii) być odporne na nie. Jest to spowodowane strukturą 3-D biofilmu, wskutek czego, poszczególne warstwy z jakich jest on zbudowany, przyczyniają się do gradientowego przepływu składników odżywczych. Tlen, związki chemiczne oraz oddziaływanie różnego rodzaju czynników środowiskowych przyczyniają się do zwiększonej oporności na nie (JOHNSON i współaut. 1998, O'TOOLE i współaut. 2000, GONZALEZ-TORIL i współaut. 2003). Prowadzi to do sytuacji, w której komórki bakteryjne znajdujące się w zewnętrznej warstwie biofilmu są narażone w większym stopniu na różnego rodzaju czynniki fizyko-chemiczne niż te znajdujące się w wewnętrznych warstwach. Ponadto, związki wchodzące w skład matrix mogą wiązać i/lub neutralizować różnego typu substancje chemiczne (HALL-STOODLEY i współaut. 2004).

W biofilmie zachodzi swoista współpraca pomiędzy mikroorganizmami, polegająca na obopólnej korzyści bądź rywalizacji pomiędzy bakteriami. Oddziaływanie te przejawiają się współzawodnictwem o składniki pokarmowe, skuteczniejszym procesem uwalniania składników odżywczych czy zwiększoną opornością na ekstremalne warunki środowiska zewnętrznego (ELIAS i BANIN 2012). Należy wspomnieć również o współpracy komórek tworzących biofilm na poziomie metabolicznym. Proces ten, określany jako komensalizm, polega na wykorzystaniu przez bakterie produktów przemiany materii wytworzonych

przez inną grupę bakterii (JOHNSON i współaut. 1998).

## KOMUNIKACJA BAKTERII

Bakterie są w stanie komunikować się pomiędzy sobą w celu regulacji procesów fizjologicznych i metabolicznych (HAMMER i BASSLER 2003). Mechanizm ten został opisany jako wyczuwanie zagęszczenia (ang. quorum sensing). Sygnały chemiczne wydzielane na zewnątrz komórki i biorące udział w tym procesie są określane jako autoinduktory. Związki te są rozpoznawane przez odpowiednie białka-receptory, znajdujące się na powierzchni komórek (KISHEN i HAAPASALO 2012). Proces komunikacji pomiędzy komórkami bakteryjnymi następuje w skutek przekroczenia krytycznego stężenia autoinduktorów w środowisku. Stężenie autoinduktorów jest związane z liczbą komórek danej populacji bakterii (O'TOOLE i współaut. 2000, DIMITRIU i współaut. 2014). Wskutek działania tego mechanizmu komórki bakteryjne są w stanie kontrolować oraz aktywować ekspresję odpowiednich genów (WATERS i BASSLER 2005). Możliwość komunikacji przyczynia się do podziału funkcji pomiędzy komórkami tworzącymi biofilm, możliwością adaptacji do różnych czynników fizyko-chemicznych, biosyntezy metabolitów wtórnych, produkcji enzymów i toksyn czy też wirulencji bakterii (KISHEN i HAAPASALO 2012). Komunikowanie się komórek bakteryjnych sprawia, że biofilm jest w stanie funkcjonować oraz reagować na warunki fizyko-chemiczne jak prymitywny, wielokomórkowy organizm (KOŁWZAN 2011).

Proces komunikacji różni się pomiędzy komórkami Gram-dodatnimi, a Gram-ujemnymi oraz pomiędzy poszczególnymi gatunkami bakterii (WATERS i BASSLER 2005). Pojedynczy gatunek może wytwarzać kilka rodzajów autoinduktorów. Różnicowanie autoinduktorów polega na dużej różnorodności związków chemicznych, służących jako związki sygnałowe wykorzystywane przez bakterie (MILLER i BASSLER 2001). W komórkach bakterii Gram-ujemnych quorum sensing opiera się na wykorzystaniu dwóch składników: N-acylo homoseryny laktonewej (ang. acylated homoserine lactone, AHL) i białka regulatorowego znajdującego się w cytoplazmie, odpowiedzialnego za proces regulacji transkrypcji DNA. Autoinduktory mogą swobodnie dyfundować na zewnątrz komórki bakteryjnej, a ich stężenie w środowisku wzrasta wraz ze wzrostem populacji (SCHAUDER i współaut. 2001, BORDI i DE BENTZMANN 2011, WATERS i BASSLER 2005). Po osiągnięciu wymaganego stężenia sygnały te mogą wpływać na fenotyp i funkcjonowa-

nie komórek. AHL mogą wykazywać różnicę w budowie kwasu tłuszczowego i liczbie atomów węgla w łańcuchu. Autoinduktory posiadające długi łańcuch węglowy wymagają aktywnego transportu (z wykorzystaniem energii) przez błonę bakteryjną (TOLKER-NIELSEN i MOLIN 2000, FEDERLE i BASSLER 2003, DIMITRIU i współaut. 2014).

Komunikacja bakterii Gram-dodatnich zachodzi poprzez wykorzystanie autoinduktorów oligopeptydowych (ang. autoinducing oligopeptides, AIPs). W procesie ich syntezy uczestniczy receptor kinazy histydynowej, który jest związany z błoną komórkową. Cząsteczki te nie dyfundują przez błonę komórkową, ale są wychwytywane przez transportery oligopeptydowe znajdujące się na jej powierzchni. Poza autoinduktorami specyficznymi dla danego gatunku bakterii, występują jeszcze autoinduktory niespecyficzne, służące do komunikacji pomiędzy mikroorganizmami nienależącymi do tego samego gatunku. Związki te są w stanie kontrolować ekspresję genów odpowiedzialnych za np.: bioluminescencję, wirulencję czy produkcję toksyn (O'TOOLE i współaut. 2000, LI i współaut. 2002, WATERS i BASSLER 2005, JIAO i współaut. 2011, ELIAS i współaut. 2012, KISHEN i HAAPASALO 2012).

## STRESZCZENIE

Wszystkie organizmy żywe podlegają wpływom innych organizmów wykazując różnego rodzaju zachowania społeczne. Mikroorganizmy nie są wyjątkiem. Komórki bakterii wolno żyjących (planktonicznych) są w stanie nie tylko wydzielać związki sygnałowe ale także mogą je odbierać. Proces komunikacji bakterii opierający się na tego typu sygnałach chemicznych jest szczególnie ważny w wielokomórkowych strukturach, jakie mogą tworzyć bakterie, czyli biofilmach. Takie społeczności bakteryjne są w stanie wzrastać w wielu środowiskach biotycznych jak i abiotycznych, niejednokrotnie w warunkach ekstremalnych. Proces komunikacji pomiędzy komórkami jest bardzo ważny, umożliwia nie tylko dzielenie się funkcjami fizjologiczno-metabolicznymi, ale również sprzyja ewolucji bakterii wskutek horyzontalnego transferu genów.

Istotne jest poznanie nie tylko sposobu komunikacji pomiędzy mikroorganizmami, ale także warunków w jakich może zachodzić oraz procesów metabolicznych, którymi może ona sterować.

## LITERATURA

- BJARNSHOLT T., 2013. *The role of bacterial biofilms in chronic infections*. Acta Pathol. Microbiol. Immunol. Scand. 121 (Suppl. 136), 1-51.
- BOND P. L., DRUSCHEL G. K., BANFIELD J. F., 2000a. *Comparison of acid mine drainage microbial communities in physically and geochemically distinct ecosystems*. Appl. Environ. Microbiol. 66, 4962-4971.
- BOND P. L., SMRIGA S. P., BANFIELD J. F., 2000b. *Phylogeny of microorganisms populating a thick, subaerial, predominantly lithotrophic biofilm at an extreme acid mine drainage site*. Appl. Environ. Microbiol. 66, 3842-3849.

- BORDI CH., DE BENTZMANN S., 2011. *Hacking into bacterial biofilms: a new therapeutic challenge*. Ann. Intens. Care 1, 1-19.
- DIMITRIU T., LOTTON C., BENARD-CAPELLE J., MISEVIC D., BROWN S. P., LINDNER A. B., TADDEI F., 2014. *Genetic information transfer promotes cooperation in bacteria*. Proc. Natl. Acad. Sci. 111, 11103-11108.
- DREWNIAK L., STYCZEK A., MAJDER-LOPATKA M., SKŁODOWSKA A., 2008. *Bacteria, hypertolerant to arsenic in the rocks of an ancient gold mine, and their potential role in dissemination of arsenic pollution*. Environ. Pollut. 156, 1069-1074.
- DREWNIAK L., MATLAKOWSKA R., REWERSKI B., SKŁODOWSKA A., 2010. *Arsenic release from gold mine rocks mediated by the activity of indigenous bacteria*. Hydrometallurgy 104, 437-442.
- DRUSCHEL G. K., 1999. *Acid mine drainage biogeochemistry at Iron Mountain, California*. Geochim. Transact. 5, 13.
- ELIAS S., BANIN E., 2012. *Multi-species biofilms: living with friendly neighbors*. FEMS Microbiol. Rev. 36, 990-1004.
- EZEUKO C. C., SEN A., GATES I. D., 2013. *Modelling biofilm-induced formation damage and biocide treatment in subsurface geosystems*. Microb. Biotechnol. 6, 53-66.
- FEDERLE M. J., BASSLER B. L., 2003. *Interspecies communication in bacteria*. J. Clin. Investig. 112, 1291-1299.
- GONZALEZ-TORIL E., LLOBET-BROSSA E., CASAMAYOR E. O., AMANN R., AMILS R., 2003. *Microbial ecology of an extreme acidic environment, the Tinto River*. Appl. Environ. Microbiol. 69, 4853-4865.
- HALL-STOODLEY L., COSTERTON J. W., STOODLEY P., 2004. *Bacterial biofilms: from the natural environment to infectious diseases*. Nat. Rev. Microbiol. 2, 95-108.
- HAMMER B. K., BASSLER B. L., 2003. *Quorum sensing controls biofilm formation in Vibrio cholerae: Biofilms in V. cholerae*. Mol. Microbiol. 50, 101-104.
- JIAO Y., D'HAESELEER P., DILL B. D., SHAH M., VERBERKMOES N. C., HETTICH R. L., BANFIELD J. F., THELEN M. P., 2011. *Identification of biofilm matrix-associated proteins from an acid mine drainage microbial community*. Appl. Environ. Microbiol. 77, 5230-5237.
- JOHNSON D. B., 1998. *Biodiversity and ecology of acidophilic microorganisms*. FEMS Microbiol. Ecol. 27, 307-317.
- KISHEN A., HAAPASALO M., 2012. *Biofilm models and methods of biofilm assessment*. Endodont. Topics 22, 58-78.
- KOEWZAN B., 2011. *Analiza zjawiska biofilmu – warunki jego powstawania i funkcjonowania*. Ochrona środowiska 33, 3-14.
- LEAR G., NIYOGI D., HARDING J., DONG Y., LEWIS G., 2009. *Biofilm bacterial community structure in streams affected by acid mine drainage*. Appl. Environ. Microbiol. 75, 3455-3460.
- LEGGETT H. C., BROWN S. P., REECE S. E., 2014. *War and peace: social interactions in infections*. Philosoph. Transact. Royal Soc. B: Biol. Sci. 369, 20130365-20130365.
- LI Y.-H., TANG N., ASPIRAS M. B., LAU P. C. Y., LEE J. H., ELLEN R. P., CVITKOVITCH D. G., 2002. *A quorum-sensing signaling system essential for genetic competence in Streptococcus mutans is involved in biofilm formation*. J. Bacteriol. 184, 2699-2708.
- MILLER M. B., BASSLER B. L., 2001. *Quorum sensing in bacteria*. Ann. Rev. Microbiol. 55, 165-199.
- NARVÁEZ-ZAPATA J. A., RODRÍGUEZ-ÁVILA N., ORTEGA-MORALES B. O., 2005. *Method for recovery of intact DNA for community analysis of marine intertidal microbial biofilms*. Mol. Biotechnol. 30, 51-55.
- O'TOOLE G., KAPLAN H. B., KOLTER R., 2000. *Biofilm formation as microbial development*. Ann. Rev. Microbiol. 54, 49-79.
- PAMP S. J., STERNBERG C., TOLKER-NIELSEN T., 2009. *Insight into the microbial multicellular lifestyle via flow-cell technology and confocal microscopy*. Cytometry A 75A, 90-103.
- PRATT L. A., KOLTER R., 1998. *Genetic analysis of Escherichia coli biofilm formation: roles of flagella, motility, chemotaxis and type I pili*. Mol. Microbiol. 30, 285-293.
- RAJI A. I., MÖLLER C., LITTHAUER D., VAN HEERDEN E., PIATER L. A., 2008. *Bacterial diversity of biofilm samples from deep mines in South Africa*. Biokemistri 20, 53-62.
- ROLFS A., SCHULLER I., FINCKH U., WEBER-ROLFS I., 1992. *PCR: Clinical Diagnostics and Research*. Springer Lab Manuals.
- RÖMLING U., BALSALOBRE C., 2012. *Biofilm infections, their resilience to therapy and innovative treatment strategies*. J. Intern. Med. 272, 541-561.
- SCHAUDER S., SHOKAT K., SURETTE M. G., BASSLER B. L., 2001. *The LuxS family of bacterial autoinducers: biosynthesis of a novel quorum-sensing signal molecule*. Mol. Microbiol. 41, 463-476.
- STANLEY N. R., LAZAZZERA B. A., 2004. *Environmental signals and regulatory pathways that influence biofilm formation*. Mol. Microbiol. 52, 917-924.
- TOLKER-NIELSEN T., MOLIN S., 2000. *Spatial organization of microbial biofilm communities*. Microb. Ecol. 40, 75-84.
- WATERS CH. M., BASSLER B. L., 2005. *Quorum sensing: cell-to-cell communication in bacteria*. Ann. Rev. Cell Develop. Biol. 21, 319-346.
- WU J., XI C., 2009. *Evaluation of Different Methods for Extracting Extracellular DNA from the Biofilm Matrix*. Appl. Environ. Microbiol. 75, 5390-5395.
- YANG Y., SHI W., WAN M., ZHANG Y., ZOU L., HUANG J., QIU G., LIU X., 2008. *Diversity of bacterial communities in acid mine drainage from the Shen-bu copper mine, Gansu province, China*. Electr. J. Biotechnol. 11, 1-12.

**KOSMOS Vol. 65, 3, 463–468, 2016**

LIVE IN THE COMMUNITY – BIOFILM FORMATION

TOMASZ CŁAPA<sup>1</sup>, MAREK SELWET<sup>1</sup>, DOROTA NAROŻNA<sup>2</sup>

*Poznan University of Life Sciences, Faculty of Agronomy and Bioengineering, <sup>1</sup>Department of Genaral and Environmental Microbiology, Szydlowska 50, 60-655 Poznań; <sup>2</sup>Department of Biochemistry and Biotechnology, Dojazd 11, 60-632 Poznań; e-mail: t.clapa@up.poznan.pl*

Summary

All living organisms interact with each other and may exhibit cooperative behavior. Bacteria are not an exception. Free-living cells (planctonic cells) are able to communicate to each other by using specific types of chemical compounds. Such communication processes between bacterial cells are particularly important in multicellular structures, referred to as biofilms. Those structures are able to grow both in biotic and abiotic environments, in many cases even in very extreme conditions. The cell-communication processes are so important in bacterial biofilms for they provide sharing of physiological and metabolic functions between different species and thus stimulation of horizontal gene transfer that leads to bacterial evolution. Therefore, of importance is not only discovery and understanding of the communication system between microorganisms, but also of the conditions in which they may occur and influence cellular metabolic processes.