

Mikrofilm bakteryjny – społeczność komórek czy organizm?

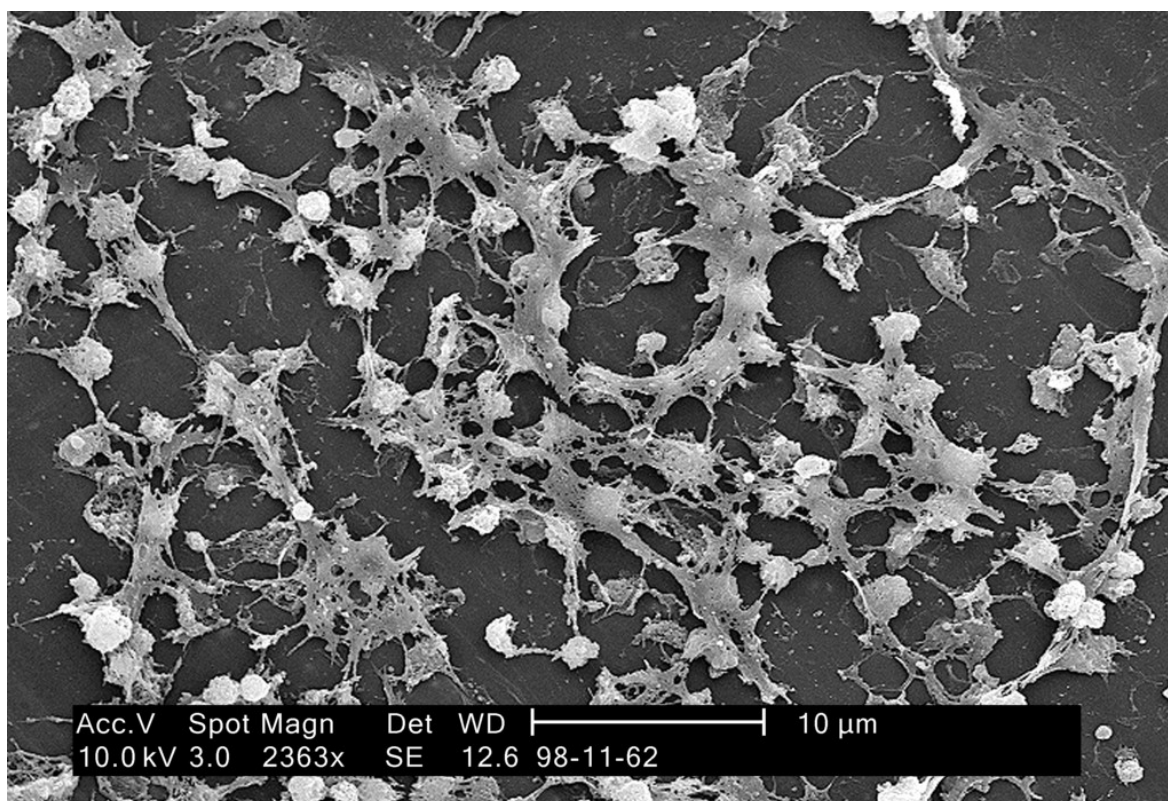


Wspierają nas:

W środowisku naturalnym bakterie bardzo często spotykamy w postaci wielokomórkowych skupisk, zazwyczaj nazywanych społecznościami bakteryjnymi. Należą do nich agregaty, kolonie, konsorcja, biofilmy, maty, kłaczki, kożuchy oraz ciała owocujące bakterii śluzowych. Do specyficznych i wysoce uporządkowanych zespołów mikroorganizmów należą m.in. konsorcja, tworzone pomiędzy dwoma, ściśle współpracującymi ze sobą gatunkami bakterii. Powszechniej występującymi i mniej wyspecjalizowanymi zespołami są biofilmy, nazywane również mikrofilmami bakteryjnymi lub błonami biologicznymi.

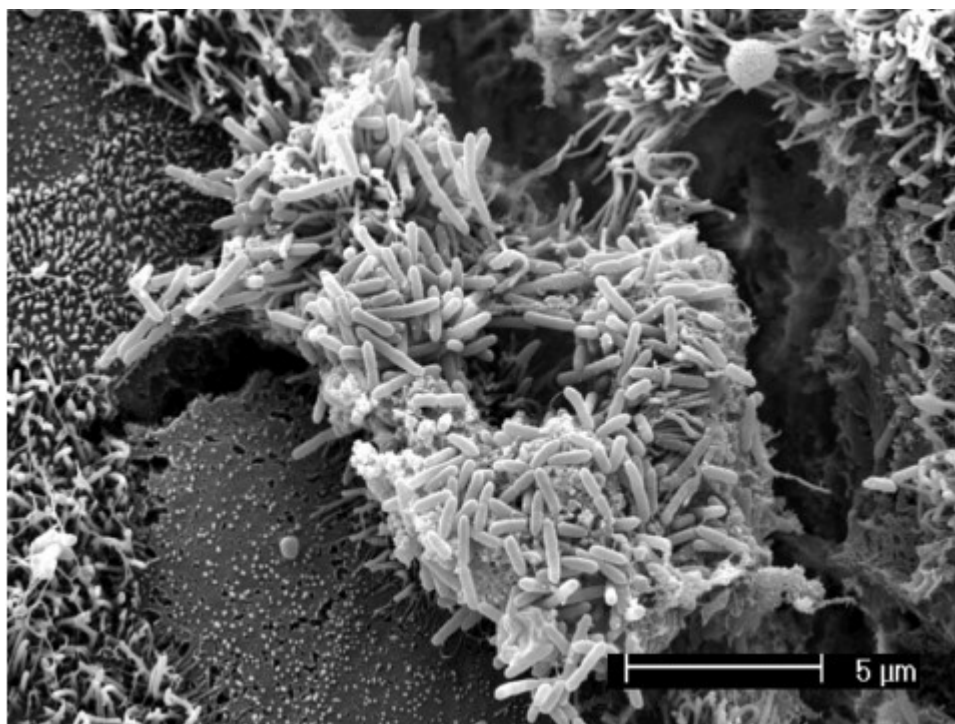
Biofilmy są wszędzie!

Pomimo tego, że nie istnieje jedna, powszechnie akceptowana definicja biofilmu, można go określić jako wielokomórkowy zespół złożony z mikroorganizmów jednego lub wielu gatunków czy rodzajów. Jest to społeczność komórek, które są trwale związane z jakąś powierzchnią (nie można ich usunąć łagodnym przemywaniem) i są otoczone tzw. macierzą (ang. *matrix*), złożoną najczęściej w dużym stopniu z polisacharydów. Poza bakteriami, w skład biofilmu mogą wchodzić grzyby, glony i pierwotniaki.



Biofilm tworzony przez *Pseudomonas aeruginosa* (pałeczkę ropy błękitnej), ©Rabin, N. *et al.*, 2015

Chociaż czasami ich nie zauważamy lub nie zdajemy sobie sprawy z ich obecności, biofilmy występują niezwykle licznie w środowisku, w naszym codziennym otoczeniu, a nawet w nas samych. Niektóre godne uwagi przykłady biofilmów obejmują osad kanalizacyjny, który blokuje nasze rury i systemy wodne, błoto, które znajdujemy na skałach w pobliżu zbiorników wodnych, świecące organy świetlne w morskiej kałamarnicy oraz brud, który rośnie w muszlach toaletowych i prysznicach. Ponadto biofilmy mają duży wpływ na zdrowie ludzi. Powłoka płytki nazębnej powstająca na naszych zębach, przewlekła kolonizacja dróg oddechowych u pacjentów z mukowiscydozą i warstwa mikroorganizmów, która pojawia się na powierzchniach śluzówki w postaci pleśniawki u niemowląt to biofilmy. Co więcej, wiele postępów w technologii medycznej zapewniło nowe i niebezpieczne nisze do tworzenia mikrofilmów bakteryjnych. Wszczepione urządzenia medyczne, takie jak cewniki i sztuczne zastawki serca, zapewniają powierzchnie do wzrostu mikroorganizmów, utrzymując w ten sposób rezerwę drobnoustrojów zdolnych do wywoływania zakażeń.



Biofilm
*Pseudomonas
aeruginosa* na
warstwie betonu z
widoczną macierzą
polisacharydową.
©E. Tamashiro,
2008

Życie w biofilmie przynosi bakteriom wiele korzyści. Badania wykazały, że komórki tworzące błonę biologiczną są bardziej odporne na działanie temperatury oraz środków przeciwbakteryjnych, takich jak środki dezynfekcyjne, surfaktanty i antybiotyki. Wydaje się, że głównym powodem tej oporności jest otoczenie komórek biofilmu lepkiem polimerem tworzącym macierz zewnątrzkomórkową, który ogranicza dyfuzję substancji

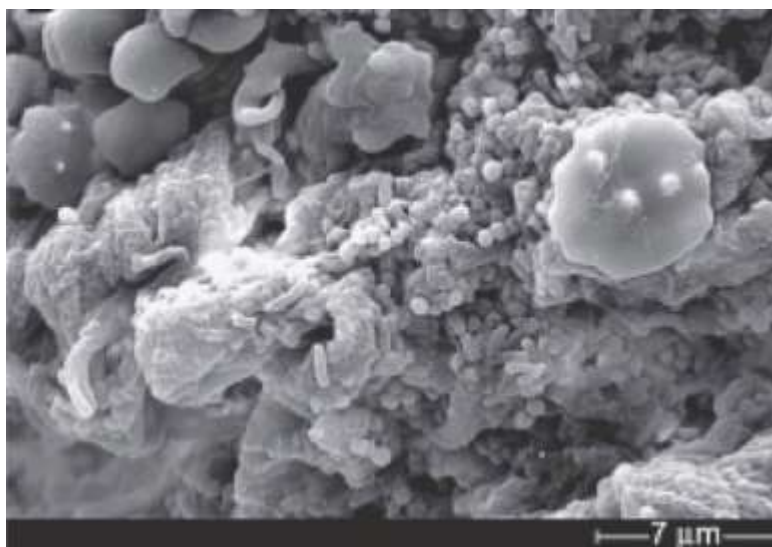
przeciwbakteryjnych do wnętrza biofilmu, a także zmniejsza skuteczność działania komórek obronnych organizmu zaatakowanego żywiciela. Macierz zewnątrzkomórkowa chroni też mikroorganizmy przed fagocytozą i wysychaniem.

Jak powstają biofilmy?

Skoro biofilmy są tak powszechne, jak w takim razie powstają? Możemy wyróżnić 4 główne etapy formowania:

1. Adhezja odwracalna – komórki planktoniczne, czyli występujące pojedynczo, przyczepiają się do powierzchni stałej. Bezpośrednie obserwacje żywych komórek za pomocą kontrastu fazowego lub mikroskopii konfokalnej wykazały, że komórki planktoniczne są przyciągane do powierzchni i wydają się „eksplorować” obszar powierzchni, który napotykają po raz pierwszy w serii „zachowań” specyficznych dla gatunku.
2. Adhezja nieodwracalna – następuje kolonizacja powierzchni, komórki zaczynają się ze sobą komunikować i wytwarzać macierz zewnątrzkomórkową.
3. Dojrzewanie biofilmu – biofilm rośnie, powstają w nim liczne kanały wodne i struktury wypiętrzone.
4. Uwalnianie komórek – pojedyncze komórki lub nawet całe grupy komórek mogą się oderwać od biofilmu i ruszyć na poszukiwanie nowych, bardziej korzystnych warunków.

Mikrofilm na trudno gojącej się ranie – różne gatunki mikroorganizmów, James, G.A. *et al*, 2008



Należy jednak mieć na uwadze, że przedstawione powyżej etapy powstawania mikrofilmu nie zawsze wyglądają dokładnie w ten sposób. Cechy biofilmu i sposób jego

formowania zależą od warunków środowiskowych, rodzaju kolonizowanej powierzchni, związków uwalnianych do macierzy zewnątrzkomórkowej oraz gatunków tworzących go mikroorganizmów. Możliwe jest, że istnieje tyle typów biofilmów, ile jest rodzajów bakterii, które je tworzą, a nawet ten sam gatunek może tworzyć odmienne biofilmy w różnych warunkach środowiska. Istnieją jednak pewne charakterystyczne, podstawowe cechy, które możemy przypisać większości biofilmów:

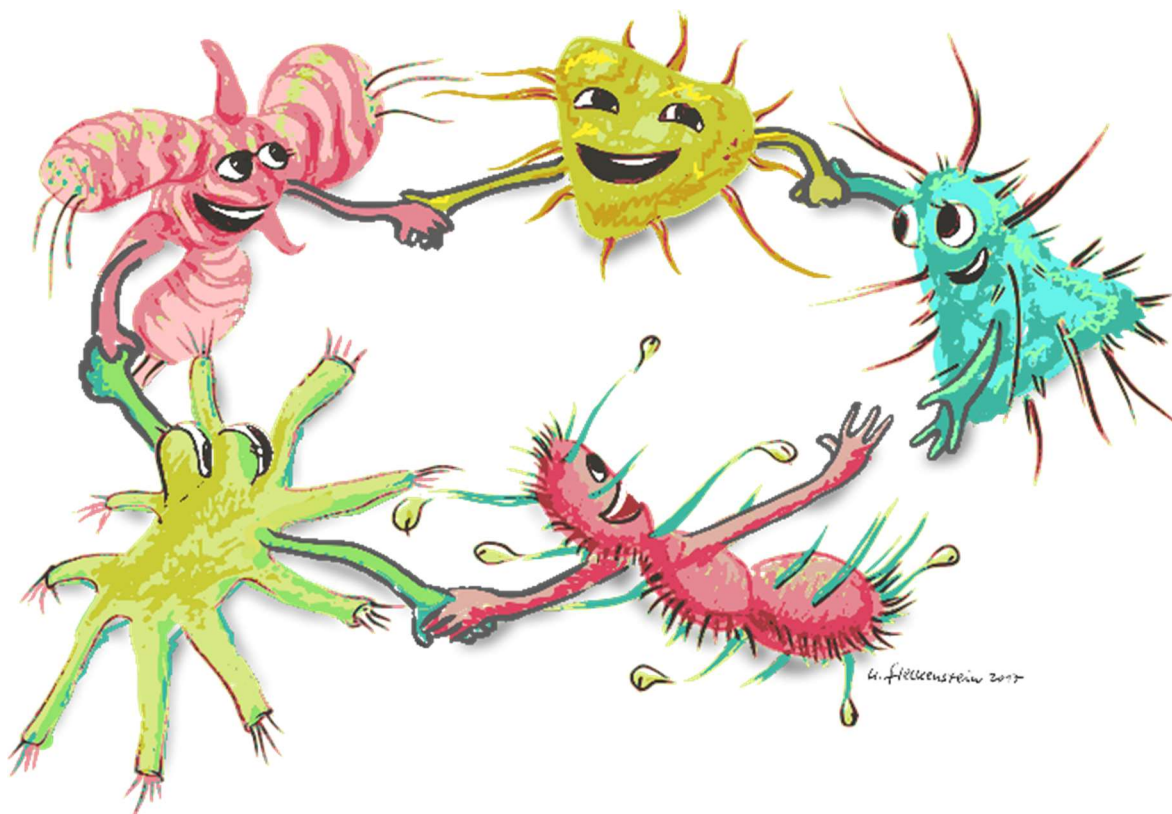
- komórki mikroorganizmów są otoczone wspólną macierzą zewnątrzkomórkową (ECM – *extracellular matrix*); w skład macierzy wchodzi egzopolisacharydy, białka, glikoproteiny, glikolipidy, zewnątrzkomórkowy DNA, nierozpuszczalne składniki biotyczne oraz składniki abiotyczne;
- przylegają do podłoża stałego – jest to warunek niezbędny;
- zwykle zanurzone są w wodzie lub poddawane działaniu wody;
- są metabolicznie zintegrowane dzięki komunikowaniu się komórek.

Wyczuwalna obecność

Nie bez powodu biofilmy noszą miano społeczności. Tworzące je bakterie nie są zbieraniną przypadkowych, obojętnych na siebie komórek. Przekazywanie informacji pomiędzy bakteriami odbywa się na drodze chemicznej, często z wykorzystaniem skomplikowanej maszyneryi molekularnej. W biofilmie komórki komunikują się za pomocą pęcherzyków błonowych i nanorurek. Pęcherzyki błonowe powstają w trakcie uwypuklenia i oderwania fragmentu błony komórkowej, wewnątrz nich mogą być przenoszone białka, lipidy, a nawet fragmenty chromosomowego DNA i plazmidy. Nanorurki, czyli cylindryczne mostki błoniaste, stanowią stosunkowo mniej zbadany typ połączeń międzykomórkowych. Niemniej jednak coraz więcej dowodów wskazuje, że struktury nanorurek pośredniczą w przepływie cytoplazmy między sąsiadującymi komórkami tego samego, jak i różnych gatunków.

Poza pęcherzykami błonowymi i nanorurkami w biofilmie mamy do czynienia z jeszcze jednym, niezwykle ważnym zjawiskiem umożliwiającym komunikację międzykomórkową. Mowa tutaj o tzw. *quorum sensing*, czyli wyczuwaniu liczebności. Proces *quorum sensing* umożliwia i reguluje bakteryjne zachowanie grupowe. Mechanizm tego zjawiska opiera się na wydzielaniu i wykrywaniu przez bakterie cząsteczek zwanych autoinduktorami, których stężenie jest zależne od gęstości komórek. Im większa będzie gęstość komórek produkujących cząsteczki autoinduktora, tym większe będzie jego stężenie w środowisku

otaczającym komórki. Kiedy stężenie autoinduktora osiąga pewien poziom progowy, jego cząsteczki wpływają na procesy chemiczne wewnątrz komórek bakteryjnych, powodując synchroniczne zmiany w całej populacji. Wyczuwanie liczebności jest ściśle powiązane z powstawianiem biofilmu, a dokładniej z wytwarzaniem macierzy zewnątrzkomórkowej. Wiele gatunków aktywuje produkcję macierzy przy wysokiej gęstości komórek. Ewolucyjne uzasadnienie tej strategii wydaje się jasne: duża gęstość komórek zwiększa



Quorum sensing, ©Kazek

prawdopodobieństwo, że wydzielanie związków chemicznych nastąpi tylko w stanie biofilmu, gdzie zapewnia przewagę konkurencyjną, a nie w stanie planktonicznym, w którym przypuszczalnie jest marnotrawstwem zasobów.

Organizm czy społeczność?

Biorąc pod uwagę przytoczone cechy biofilmów oraz „umiejętności” bakterii je tworzących, nasuwa się pytanie, czy biofilmy stanowią społeczności pojedynczych osobników, czy może jednak osiadłe, wielokomórkowe organizmy? Bakterie działają znacznie wydajniej w skoordynowanej zbiorowości niż mogłyby jako autonomiczne

osobniki. Złożoność organizacji biofilmów i różnorodność wzajemnych powiązań między ich składnikami pozwala niektórym badaczom uznawać te formy za analogiczne do organizmów wielokomórkowych, a mikroorganizmy w biofilmach za wyspecjalizowane komórki. Jednak koncepcja ta napotyka poważne zastrzeżenia, przede wszystkim ze względu na zasadnicze różnice między komórkami tkanek organizmu wielokomórkowego a komórkami bakteryjnymi. Chociaż bakterie znajdujące się w biofilmie mogą przystosować się do warunków środowiskowych, nie ulegają one żadnemu trwałemu różnicowaniu, które odróżniałoby je od komórek planktonicznych - po rozpadzie biofilmy powracają do pierwotnej formy planktonowej. Z drugiej strony, komórki tkanek organizmów wielokomórkowych zachowują cechy właściwe komórkom określonej tkanki nawet w hodowli komórkowej. W tym przypadku różnicowanie jest nieodwracalne, ponieważ nie reaguje na sygnały otoczenia. Podstawową koncepcją rozwoju organizmów



„Społeczność
bakterii” ©Science
Picture

wielokomórkowych jest model wektorowy, który zakłada obecność pewnych punktów kontrolnych - po przejściu tych punktów komórki nie mogą „cofnąć” procesu różnicowania. W przeciwieństwie do różnicowania tkanek, procesy tworzenia i rozpadu biofilmów można odwrócić, są one całkowicie zależą od sygnałów z otoczenia.

Dlatego też poprawniejsze jest przyrównywanie biofilmów do „społeczności” lub, bardziej literacko, „miasta mikroorganizmów”. Takie miasta powstają w celu

zapewnienia mieszkańcom różnych udogodnień. Jeśli życie w takim mieście staje się mniej wygodne, jego mieszkańcy odchodzą. Mieszkańcy tego miasta wybierają sobie dogodnych sąsiadów, istnieje komunikacja między dzielnicami, a także środki komunikacji i ochrona przed niekorzystnymi warunkami środowiskowymi.

Źródła:

1. Baidya A.K., Ben-Yehuda S., Bhattacharya S., Dubey G.P., Mamou G. 2018. Bacterial nanotubes: a conduit for intercellular molecular trade. *Current Opinion in Microbiology*. Vol. 42: 1-6.
2. Baj. J., Markiewicz Z. 2015. Biologia molekularna bakterii. Warszawa. Wydawnictwo Naukowe PWN.
3. Costerton J.W. 1999. Introduction to biofilm. *International Journal of Antimicrobial Agents*. Vol 11: 217–221.
4. Foster K.R., Levin S.A., Nadell C.D., Xavier J.B., 2008. The Evolution of Quorum Sensing in Bacterial Biofilms. *PLOS Biology*. Vol. 6(1): 14.
5. Kołwzan B. 2011. Analiza zjawiska biofilmu – warunki jego powstawania i funkcjonowania. *Ochrona środowiska*. Vol.33, nr 4: 3-14
6. Mitchel A.P., Nobile C.J. 2007. Microbial biofilms: e pluribus unum. *Current Biology*. Vol: 17(10): 349-353.
7. Nikolaev Y.A., Plakunov V.K. 2007. Biofilm—“City of Microbes” or an Analogue of Multicellular Organisms? *Microbiology*. Vol. 76(2): 125–138.

