ЮБИЛЕЙНА НАУЧНА КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ЕКОЛОГИЯ (СБОРНИК С ДОКЛАДИ)
Ред. Илиана Г. Велчева, Ангел Г. Цеков ● Пловдив, 1ви ноември 2008 ● стр. 275-284

PROCEEDINGS OF THE ANNIVERSARY SCIENTIFIC CONFERENCE OF ECOLOGY
Eds. Iliana G. Velcheva, Angel G. Tsekov ● Plovdiv, November 1st 2008 ● p. 275-284

БАКТЕРИАЛНИ БИОФИЛМИ – ФИЗИОЛОГИЯ И ЕКОЛОГИЯ

Мариана Мърхова, Соня Костадинова

Пловдивски Университет „Паисий Хилендарски“, Биологически факултет,
Катедра „Биохимия и Микробиология“

Abstract. The bacterial biofilms are aggregated and structured communities of cell, attached to an abiotic or biotic surface. Bacterial attachment is facilitated by adhesins and extracellular polymeric substances. The bacterial communities are enclosed within a matrix of polysaccharides produced by the bacteria in biofilm. Some organisms form monospecies films under certain conditions. Biofilms in nature can contain many different types of microorganism, e.g. bacteria, archaea, protozoa, fungi and algae; each group performing specialized metabolic functions. Bacteria in biofilm display coordinated group behaviors regulated by quorum-sensing systems that detect the density of other bacteria around them. Biofilms occur in almost all known systems that harbour bacteria and often provide a relatively stable microenvironment for propagation and activity. Biofilms profoundly affect human health and industrial productivity. These assemblages are an integral part of the natural environment and can serve beneficial purposes, such as in the treatment of drinking water, wastewater and detoxification of hazardous waste.

Key words: biofilm; quorum sensing; multidrug resistance

ВЪВЕДЕНИЕ

Повечето от забележителните открития относно микробната биохимия и физиология са направени в изследвания, подчинени на „парадигмата“ на чистите култури. През последните две десетилетия в областта на микробиологията постепенно се промени възгледа на изследователите при изучаването на поведението и свойствата на бактериалните клетки. Оказа се, че има значима разлика в качествата, проявени от свободни „планктонни“ клетки в чиста култура и качествата, проявявани от същия вид в естествени условия, където на практика чисти култури рядко се откриват.

Биофилмите се определят като съобщества на микроорганизми и техните извънклетъчни продукти, адхерирали към абиотични или биотични повърхности (DAVEY & O'TOOLE, 2000). Формирането на биофилм започва обикновено с адхезия на клетки от един вид към определена повърхност. В следващите етапи колонизацията продължава и клетките се разпространяват върху повърхността, като към биофилма могат да се асоциират и представители

на други видове. В природни условия комплексни бактериални съобщества участват в биогеохимичния кръговрат, поддържащ биосферата.

Прикрепването на клетките се осъществява с участието на различни адхезини (основно пили и екзополизахариди), чиято основна функция е закрепване към различни структури. Успоредно с нарастването, адхериралите клетки се групират в микроколонии, изградени от 2-10 идентични клетки, разположени близо една до друга. Разрастването на съседните микроколонии една към друга води до формирането на зрял биофилм.

Структура на биофилмите

С развитието на нови методи в микроскопските техники стана възможно изучаването на структурата на биофилмите в реално време. Конфокалната сканираща лазерна микроскопия коренно промени възгледите за триизмерното устройството и функциониране на биофилмите. Бе установено, че биофилми, изградени от клетки на един вид, в лабораторни условия и хетерогенните биофилми в природни условия притежават доста общи черти. Най-общо, клетките в биофилма образуват отделни струпвания (агрегати), разпръснати в матрикс, изграден от екзополизахариди. Така в матрикса се формират пори и подобни на канали пространства, изпълнени с вода и различни метаболити. Тази структура зависи от множество параметри и може да се променя в зависимост от естеството на повърхността, върху която е формиран биофилмът, от количеството и вида на достъпните хранителни вещества, от състава на участващите микроорганизми и т.н. Клетките в подобно „имобилизирано“ състояние се различават значително от свободните, неадхерирали „планктонни“ клетки на същия вид.

Биофилми могат да се формират в различни природни условия. Структурата на всеки отделен биофилм се формира като резултат от отчитането на редица параметри, уникални за конкретната екологична ниша и микрофлора. В естествени условия рядко се откриват биофилми, изградени от клетките на един бактериален вид. Повечето включват сложни смеси от микроорганизми.

Клетките, които изграждат биофилми, са потопени в матрикс, чийто основен компонент, освен водата (> 97%), са екзополизахариди (ЕПЗ), белтъци, нуклеинови киселини и фосфолипиди (STOODLEY *et al.,* 2002). Екзополизахаридите, синтезирани от микробните клетки, варират в широки граници по състав, химични и физични качества (SUTHERLAND, 2001). Някои полизахариди са неутрални, но повечето са полианионни, което се дължи на присъствието на уронови киселини (D-глюкоронова, D-галактуронова, D-мануронова и др.) или пируват. Някои неорганични групи като форфатни, сулфатни, също могат да придават полианионен статус. Рядко някои ЕПЗ са с поликатионни характеристики (напр. адхезивните полимерни субстанции от *Staphylococcus epidermidis,* свързани с биофилми) (MACK *et al*., 1996). Сред най-добре характеризираните ЕПЗ е алгинатът, за когото е доказано, че участва във формирането на биофилми от *Pseudomonas aeruginosa* при белодробни инфекции и в промишлени системи.

Количеството на ЕПЗ в биофилма зависи от достъпните въглеродни източници и баланса между въглерода и другите хранителни компоненти. Синтезът на екзополизахариди е стимулиран от излишни количества въглерод и недостиг на някои от другите необходими за растежа елементи (азот, калий или фосфат). Забавеният растеж в биофилма също стимулира синтеза на ЕПЗ. Когато бактериите участват в комплексни биофилми и синтезират в изобилно количество ЕПЗ, могат да стабилизират присъствието на други видове, дори когато последните не синтезират ЕПЗ. Допълнително е установено, че съотношението на ЕПЗ в смесените биофилми не е пряко отражение на численото съотношение между видовете в биофилма, нито пък определя участието на всеки вид ЕПЗ в структурата и качествата на съответните биофилми (SKILLMAN *et al*., 1999).

Един от основните въпроси в екологията на биофилмите е как бактериалните видове „усещат“ повърхността, към която могат да се закрепят. Редица изследвания показват, че микроорганизмите отговарят на набор от фактори на средата като ниво на кислорода и въглеродния диоксид, хранителни вещества и химични сигнали от групата на автоиндукторите.

Закрепването на клетките към повърхност често включва два етапа – начална, бърза и обратима физична фаза, следвана от необратими молекулни и клетъчни взаймодествия (KATSIKOGIANNI & MASSIRLIS, 2004). В началните етапи взаимодействието се определя от повърхностни електростатични заряди, хидрофобни взаимодействия, Брауново движение, Ван дер Ваалсови взаимодействия, хемотаксис.

Адхезията на микроорганизмите към повърхността и формирането на биофилм включва редица морфологични, физиологични и генетични промени (промяна в ескпресията на редица гени) в клетките. На лице са специфични физиологични адаптации, които не са обичайни за свободно живеещите бактерии. Една от най-интересните промени е в подвижността на клетките, които се включват в изграждането на биофилми. Представителите на *Proteus, Vibrio* и *Serratia* проявяват подвижност от типа „роене“ в рамките на биофилма, а в свободно състояние са „плуващи“ (DAVEY & O'TOOLE, 2000). При повечето бактериални видове залавянето към определена повърхност води до бързо „изключване“ на подвижността, въпреки че при някои щамове *Pseudomonas spp.* се наблюдава бавно, плъзгащо движение. При изследване на подвижни и неподвижни щамове *P.fluorescens* установяват, че лишените от подвижност клетки по-бавно колонизират повърхността и оставят незаети участъци от субстрата (DONLAN, 2002).

Развитието на биофилмите, както и освобождаването на клетки се регулира в зависимост от плътността на популацията чрез кворумни сигнали. Хидрофобността на клетъчната повърхност, присъствието на фимбрии и флагели, както и продукцията на ЕПЗ определят скоростта на закрепване на бактериалните клетки. Повърхностни структури с неполярни участъци като фимбриите, други белтъци и компоненти на стената на Грам-положителните бактерии (миколеви киселини) най-вероятно участват в закрепването към

хидрофобни субстрати, докато ЕПЗ и липополизахаридите са по-важни в закрепването към хидрофилни материали. Флагелите също имат значение за закрепването, но по-скоро тяхната роля е в преодоляването на силите на отблъскване, отколкото като адсорбенти или адхезини (DONLAN, 2002).

Екология на биофилмите

„Комуналният“ живот на клетките в структурата на биофилма им дава редица предимства: непрекъснат поток на метаболити, „кворумна“ сигнализация, защита от неблагоприятни фактори на околната среда, обмен на генетичен материал, бърза колонизация на нови екологични ниши и др. Редица данни показват, че клетките в биофилма проявяват повишена устойчивост към токсични метали, антибиотици, органични токсини, дезинфектанти и др. Част от тази устойчивост се дължи на полимерния матрикс, в който са потопени клетките. Значително по-голям дял от тази устойчивост е свързан с различния физиологичен статус на клетките в биофилма. Във всеки един момент в биофилма са представени както бързо растящи клетки, така и такива в относителен покой. Неактивните клетки, например, проявяват значително по-висока резистентност към антибиотици.

В рамките на биофилма е установено, че нарастват възможностите за генетичен обмен между клетките. Сравнително неподвижното състояние на бактериалните клетки в полимерния матрикс прави възможно по-честото и успешно протичане на конюгацията – един от трите природни процеса на генетичен пренос. Конюгативните пили при *E.coli* действат като адхезивен фактор и определят триизмерната структура на биофилмите, формирани от *E.coli* (DONLAN, 2002). Смята се, че наличието на свободни молекули ДНК в екзополизахаридния матрикс най-вероятно стимулира и трансформацията, тъй като ДНК в това си състояние е по-защитена от хидролиза.

„Кворумна“ сигнализация

Синтезът, секрецията и отчитането на нивата на дифузни сигнални молекули е основен механизъм на клетъчна сигнализация при бактериите (SCHAUDER & BASSLER, 2001; WATERS & BASSLER, 2005).

Забележителна характеристика на клетките в биофилма е „колективното“ им поведение. В последните десетилетия бе установено, че редица бактериални видове разполагат със сигнални системи, основани на различни химически сигнали, които им помагат прецизно да отчитат и контролират плътността на бактериалната популация. Тази способност наричат „чувство за кворум“ или „кворумна сигнализация“. Количеството на секретираните автоиндукторни молекули зависи от плътността на популацията и при достигане на праговото ниво клетките отчитат тази концентрация като сигнал за промяна в поведението. Различни бактериални видове използват кворумна сигнализация, за да контролират набор от фенотипове и поведения. В сърцето на бактериалните комуникации са междуклетъчните химични сигнали, които действат като думи на комуникационен език. Тези молекули показват различна структура, някои принадлежат към семейството на сигналните

молекули, други изглежда са уникални. Природата на сигналната молекула повлиява специфичността и разпознаването, като така диктува кога комуникацията ще е между бактерии от един вид или ще протече между различни видове, окупирали една и съща екологична ниша. Качества, свързани с отчитане на плътността на популацията или с наличието на „кворум“ са биолуминисценцията, спорулацията, компетентността, синтезът на адхезини, продукцията на екзополизахариди, биосърфактанти, вирулентни фактори и др.

N–ацилхомосериновите лактони (AHL) са сред най–изследваните семейства сигнални молекули. В течение на много години изследователите са предполагали, че AHL са свързани с регулация на биолуминисценцията при няколко вида морски вибриони, напр. симбиотичната бактерия *Vibrio fischeri*. При *V. fischeri* малки сигнални молекули участват в една от най–забележителните характеристики на вида – способността да произвеждат светлина (биолуминисценция) при висока клетъчна плътност. Сега вече е ясно, че много видове Грам–отрицателни бактерии продуцират AHL и ги използват за регулиране на набор от поведения. При повечето Грам–отрицателни бактерии сигналът се генерира от *N*–AHL синтаза, представител на транскрипционните регулатори от LuxR семейството. *N*–AHL автоиндукторите се свързват със съответните LuxR-тип белтъци само при достигане на прагова концентрация. Свързването на автоиндуктора контролира транскрипционната активност на LuxR за регулацията на експресията на редица гени, между които и *luxI*. Така се установява положителна обратна връзка за синтеза на *N*–AHL в някои системи за кворумна сигнализация, основани на *N*–AHL (RYAN & MAXWELL, 2008).

Освен при биолуминисценцията *N*–AHL се използват от редица Грам-отрицателни бактерии за регулацията на качества като конюгативен пренос на плазмиди, подвижност, синтез на антибиотици, продукция на вирулентни фактори, формиране на биофилми и др.

Сигнални системи, основани на използването на автоиндуктор – 2 (AI-2), се установяват както при Грам-положителни, така и при Грам-отрицателни микроорганизми. Широкото разпространение на AI-2 и LuxS води до предположението, че AI-2 функционира като междувидов сигнал (SCHAUDER & BASSLER, 2001). В подкрепа на това е установената възможност клетки, които не синтезират AI-2, да отговарят на този сигнал (RICKARD *et al*., 2006).

Редица изследвания на сигнал с неизяснена структура – AI-3, показват, че той участва в активирането на транскрипцията на вирулентни гени при ентерохеморагични *Escherichia coli* O157:H7. Интересно е, че този сигнал е необходим за «отговора» на бактериите на еукариотните хормони епинефрин и норепинефрин. AI-3 се синтезира от комплексната чревна микрофлора, от коменсални щамове *E.coli, Klebsiella pneumoniae* и *Enterobacter cloacae*, както и от редица патогенни щамове *E.coli*, *Shigella spp., Salmonella spp.* и др. (WALTERS *et al.,* 2006).

Грам-положителните бактерии често изпозват модифицирани пептиди като сигнали за регулиране на качества като вирулентност, компетентност,

продукция на бактериоцини и др. Повечето автоиндукторни пептиди (AIP) се образуват в резултат на разграждането на предшественици и последваща модификация. Сигналите, освободени от клетките, изискват специализирани преносители, а възприемането на сигнала се осигурява от сензорна хистидинова киназа, локализирана в цитоплазмената мембрана. Много Грам-положителни бактерии използват пептидните сигнали в комбинация с друг тип кворумни сигнали (RYAN & MAXWELL, 2008).

При стрептомицетите сигнали от групата на γ-бутиролактоните се използват за контрал на морфологичната диференциация и продукцията на вторични метаболити (BASSLER & LOSICK, 2006). Интересното е, че тези съединения са структурни аналози на AHL, но въпреки това не е установена кръстосана междувидова сигнализация. В научните изследвания през последните години се коментират и други сигнални молекули: дикетопиперазини (HOLDEN, *et al.,* 2000), дифузни фактори, индол, и дори антибиотиците, които са считани за бактериални „оръжия“ (LINARES *et al*., 2006). В ниски концентрации те могат да са благоприятни за развитието на чувствителните бактерии в природни условия. *P. aeruginosa* и *E.coli* реагират на субинхибиторни концентрации на аминогликозидни антибиотици чрез формирането на устойчиви към антибиотика биофилми (RYAN & MAXWELL, 2008).

Взаимоотношения в биофилмите

Често в рамките на биофилмите могат да бъдат наблюдавани взаимоотношения като конкуренция, симбиоза и дори хищничество. Някои свободно живеещи първаци (*Bdelovibrio spp.*), бактериофаги, полиморфонуклеарни лимфоцити в еукариотните гостоприемници могат да атакуват бактериални биофилми и да участват във формирането на комплексни биофилми.

Конкуренция е била наблюдавана в биофилми, формирани от *Klebsiella pneumoniae* и *P.aeruginosa* (STEWART *et al.,* 1997). Двата вида стабилно присъстват в биофилма, въпреки че *P.aeruginosa* расте значимо по-бавно в смесения биофилм. Клетките на този вид създават основа на биофилма, докато *K.pneumoniae* формира отделни микроколонии, като така най-вероятно си осигурява по-добър достъп до хранителни вещества и кислород. Изгодата е взаимна – *P.aeruginosa* колонизира бързо повърхностите и си осигурява дългосрочно предимство, а *K.pneumoniae* преживява благодарение на способността си да се закрепва върху биофилми на *P.aeruginosa* и да конкурира *P.aeruginosa* в повърхностните слоеве на биофилма.

Редица бактериални патогени имат способност да формират биофилми – *Staphylococcus aureus, Sallmonella typhimurium, Vibrio cholerae, E.coli, Helicobacter pylori* и др. Въпреки способността им да се закрепват към различни повърхности, този тип микроорганизми не успяват да съществуват продължително време в биофилм поради специфичните им метаболитни потребности и неспособност за конкуренция с други видове. Но е установено,

че някои патогени могат на използват „под наем“ биофилми, формирани от безвредни коменсални щамове (DONLAN, 2002).

Разпространение на биофилмите

Биофилмите са повсеместно разпространени. Подобни структури могат да се открият на повърхността на скални масиви, по повърността на застояли водоеми, върху камъни на дъното в течащи води. Биофилми могат да бъдат открити в редица промишлени установки, свързани с хранителната и ферментационна промишленост. Формирането на биофилми е сериозен проблем и за корабоплаването, тъй като намалява в някои случаи с 20% скоростта на този вид превоз като води и до по-голям разход на гориво. Развитието на бактериални съобщества в тръбите на охладителните системи нарушава топлообмена.

В природни условия бактериални съобщества участват в образуването и разграждането на редица органични съединения, в пречистването на редица отпадни продукти, в кръговрата на азота, сярата и др. Повечето от тези процеси изискват усилията на бактерии с различни метаболитни способности. Изследвания в биореактори и обогатителни култури показват, че в процесите на пречистване на отпадни и подпочвени води, както и в нитрификацията участват биофилми. Подобни съобщества се откриват в екологични ниши с изключително разнообразни и в някои случаи екстремни условия. Примери в това отношение са биофилмите от цианобактерии, открити в топли, геотермални извори в Йелоустонския Национален парк, както и в повърхностните слоеве на леда в Антарктика. Колективният живот на микроорганизмите в подобни крайни условия осигурява прецизно протичане на процеси като фотосинтеза, азотна фиксация и ферментация (DAVEY & O'TOOLE, 2000).

Голямо количество бактериални видове се свързват с повърхността и/или вътрешността на растителните клетки. Представителите на р.*Rhizobium* нормално съществуват в симбиоза в корените на редица растения и благоприятстват развитието им, усвоявайки атмосферен азот. Формирането на биофилми е етап от развитието и на редица растителни патогени (*Erwinia sp.* и др.).

Еукариотните гостоприемници се оказват подходящ субстрат за залавянето на единични бактериални клетки и следващо струпване на няколко клетки, формиращи микроколонии, потопени в матрикс. Пример за това е зъбната плака. За доста от бактериалните инфекции се оказа, че биофилм-формиращият капацитет на асоциираните патогенни видове е един от определящите фактори за протичането на инфекциозния процес. Съчетани с все повече нарастващите случаи на множествена резистентност при бактериални патогени, биофилмите се превръщат в сериозен медицински проблем.

Множествената резистентност може да се определи като способност на клетките да преживяват леталното действие на поне три вида антимикробни препарати от различни класове. Главно четири механизма участват в

осигуряването на такава устойчивост: 1) ензимно детоксификация; 2) генетична промяна в структурата на мишената за действие на антибиотика; 3) променена пропускливост на клетъчната мембрана; 4) активен транспорт (*efflux* „изпомпване“) на антибиотика (GODSEY *et al*., 2002). В последните години стана ясно, че бактериите притежават системи, придаващи им множествена лекарствена устойчивост - *multidrug resistance pumps* (MDR). Efflux помпите се оказаха отговорни за транспорта на антибиотика извън клетката. Изследваните до днес системи за множествена лекарствена устойчивост се систематизират в пет големи семейства: ABC (ATP binding cassete), MFS (major facilitator superfamily), SMR (small multidrug resistance), RND (resistance, nodulation, division), MATE (multidrug and toxic compound extrusion) (PIDDOCK, 2006). Съчетанието на тази устойчивост със структурните особености на биофилма води в някои случаи до 100x различие в минималната инхибираща концентрация (MIC) на антибиотика, отчетена в лабораторните тестове спрямо планктонни клетки, и отчетената MIC на клетките в биофилма.

Екологично значение на биофилмите

Съвременното познаване на структурата и особеностите на биофилмите значително промениха подходите на изследователите в микробната екология. През последните десетилетия микроорганизмите показаха, че в колективен маниер на съществуване могат да заемат екологични ниши, които са неблагоприятни за единично живеещи планктонни клетки. Биофилмът осигурява на клетките благоприятна, сравнително постоянна микросреда, в която хранителните вещества се усвояват пълноценно.

Познаването на етапите във формирането на биофилми и физиологията на тези съобщества позволява те да бъдат впрегнати в осъществяването на полезни и конструктивни цели. Добър пример в тази насока е използването на имобилизирани върху филтри смесени микробни биофилми в пречиствателните станции, като по този начин се отстраняват по-голямата част от органичните съединения. Биофилми участват и в отстраняването на петролни замърсявания в океаните и моретата.

Биофилмите представляват сложни микробни съобщества и изучаването им дава коренно различен подход в решаването на проблеми в промишлеността и здравеопазването, свързани с микроорганизми. Заедно с това става възможно и разработването на нови стратегии за управление и контрол на биофилми с неблагоприятни активности, както и създаването и експлоатацията на микробни съобщества с желани характеристики.

БЛАГОДАРНОСТИ

Публикацията е финансирана по проект на МОН ВУЛ 321/07.

ЛИТЕРАТУРА

BASSLER B., R. LOSICK. 2006 Bacterially speaking. – Cell, 125: 237 – 246.

DONLAN R. 2002. Biofilms: microbial life on surfaces. – Emerg.Infect. Dis. 8(9): 881-890.

GODSEY M., E. ZHELEZNOVA HELDWEIN, R. BRENNA. 2002. Structural biology of multidrug resistance gene regulators. – The J.Biol.Chem., 277(43): 40169-40172.

HOLDEN M., S. SWIFT P. WILLIANS. 2000. New signal molecules on the quorum-sensing block. – Trends Microbiol., 8*:* 101-104

KATSIKOGIANNI M., Y. MISSIRLIS. 2004. Concise review of mechanisms of bacterial adhesion to biomaterials and of techniques used in estimating bacteria – material interactions. – Eur. Cell Mater., 8: 37-57.

LINARES J., I. GUSTAFSIN, F. BAQUERO, J. MARTINEZ. 2006. Antibiotics as intermicrobial signaling agents instead of wepons. – Proc.NAtl.Acad.Sci USA*.,* 103: 19484-19489.

MACK D., W. FISHER, A. KROKOTSCH, K. LEOPOLD, R. HARTMANN, H. EGGE , R. LAUFS. 1996. The intercellular adhesion involved in biofilm accumulation of *Staphylococcus epidermidis* is linear *β*-1, 6-linked glucosaminoglycan: purification and structural analysis. - J.Bacteriol., 178: 175-183.

PIDDOCK L. 2006. Multidrug-resistance efflux pumps – not just for resistance. Nature Rev. Microbiol., 4: 629-636.

RIKARD A., R. PALMER, D. BLEHERT, S. CAMPAGNA, M. SEMMELHACK, P. EGLAND, B. BASSLER, P. KOLENBRANDER. 2006. Autoinducer 2: a consentration-dependent signal for mutualistic bacterial biofilm growth. – Mol.Microbiol., 60: 1446-1456.

RYAN R., D. MAXWELL. 2008. Diffusible signals and interspecies communication in bacteria*.* – Microbiology, 154: 1845-1858.

SCHAUDER S., B. BASSLER. 2001. The languages of bacteria. – Genes Dev., 15: 1468-1480.

SKILLMAN L., I. SUTHERLAND, M. JONES. 1999. The role of exopolysaccharide in dual species biofilm development. – J. Appl. Microbiol., 85: 13-18.

STOODLEY P., K. SAUER, D. DAVIES, J. COSTERTON. 2002. Biofilms as complex differentiated communities. – Annu. Rev. Microbiol., 56: 187 – 209.

STEWART P., A. CAMPER, S. HANDRAN, C – T. HUANG, M. WARNECKE. 1997. Spatial distribution and coexistence of *Klebsiella pneumoniae* and *Pseudomonas aeruginosa* in biofilms. – Microb Ecol., 33: 2-10.

SUTHERLAND I. 2001. Biofilm exopolysaccharides: a strong and sticky framework. - Microbiology, 147: 3-9.

WALTERS M., M. SIRCILI, V. SPERANDIO. 2006. AI-3 synthesis is not dependent on *luxS* in *Escherichia coli.* – J.Bacteriol., 188: 5668-5681.

WATERS C., B. BASSLER. 2005. Quorum sensing: cell-to-cell communication in bacteria. – Annu Rev Cell Dev Biol, 21: 319-346.

BACTERIAL BIOFILMS – PHYSIOLOGY AND ECOLOGY

Mariana Marhova, Sonya Kostadinova

University of Plovdiv „St. Paisii Hilendarski", Faculty of Biology,
Department of Biochemistry and Microbiology

(Summary*)*

The bacterial biofilms are aggregated and structured communities of cell, attached to an abiotic or biotic surface. Bacterial attachment is facilitated by adhesins and extracellular polymeric substances. The bacterial communities are enclosed within a matrix of polysaccharides produced by the bacteria in biofilm. Some organisms form monospecies films under certain conditions. Biofilms in nature can contain many different types of microorganism, e.g. bacteria, archaea, protozoa, fungi and algae; each group performing specialized metabolic functions. Bacteria in biofilm display coordinated group behaviors regulated by quorum-sensing systems that detect the density of other bacteria around them. Biofilms occur in almost all known systems that harbour bacteria and often provide a relatively stable microenvironment for propagation and activity. Biofilms profoundly affect human health and industrial productivity. These assemblages are an integral part of the natural environment and can serve beneficial purposes, such as in the treatment of drinking water, wastewater and detoxification of hazardous waste.