Nova Biologica Reperta 6(1): 70-78 (2019)
Print ISSN: 2423-6330/Online ISSN: 2476-7115
https://nbr.khu.ac.ir; Kharazmi University Press

یافته‌های نوین در علوم زیستی
جلد ۶، شماره ۱، صفحات ۷۰ الی ۷۸ (۱۳۹۸)
انتشارات دانشگاه خوارزمی

اثرات تشکیل بیوفیلم در باکتری‌ها از دیدگاه‌های مختلف

مریم خضری

گروه گیاه‌پزشکی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران؛ (m.khezri@urmia.ac.ir)

چکیده. اجتماعات باکتریایی قادر به تشکیل ساختارهای پیچیده و سه‌بعدی بیوفیلم هستند. تشکیل بیوفیلم جزء باستانی و جدایی‌ناپذیر چرخه زندگی پروکاریوت‌ها و عامل کلیدی بقا آنها در زیستگاه‌های اکولوژیکی مختلف است. در بیوفیلم، باکتری‌ها از حالت سلول آزاد و شناور به‌صورت ساکن درمی‌آیند. حضور در بیوفیلم موجب بروز صفات جدیدی در باکتری‌ها می‌شود که آنها را از سلول‌های آزاد متمایز می‌کند. مقاومت زیاد در برابر تیمارهای ضدمیکروبی و کمبود اکسیژن نتیجه حضور باکتری در بیوفیلم است. بیوفیلم‌ها در پاسخ به سیگنال‌های مختلف محیطی تشکیل می‌شوند و ژن‌های زیادی در تولید آنها دخالت دارند. بیوفیلم می‌تواند درون لوله‌های انتقال مایعات، روی وسایل و دستگاه‌های مورد استفاده در پزشکی، همچنین اعضا مصنوعی کاشته شده در بدن بیماران مشکل‌ساز باشد اما می‌توان از وجود بیوفیلم‌ها در جهت اهداف سودمند مانند پاکسازی آب فاضلاب‌های صنعتی و کشاورزی، تجزیه زیستی فلزات سنگین و فیلترهای زیستی آلودگی‌های هوا استفاده کرد. توانایی تولید بیوفیلم در باکتری‌های بیماری‌زا، مزیتی برای حفظ و بقا آن‌ها در شرایط نامساعد محسوب می‌شود و مشکلات زیادی در راه حذف آنها ایجاد می‌کند، زیرا باکتری‌های موجود در بیوفیلم معمولا در برابر آنتی‌بیوتیک‌ها و سموم شیمیایی مقاومت بالاتری نسبت به سلول‌های آزاد نشان می‌دهند. در ریزوباکتری‌های مفید گیاهی که جهت مهار زیستی بیماری‌های گیاهی یا افزایش رشد و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی استفاده می‌شوند، توانایی تولید بیوفیلم به‌ویژه در فرایند تولید انبوه و تجاری‌سازی آنها به‌مثابهٔ یک مزیت مطرح است. با توجه به اهمیت بیوفیلم باکتریایی در زندگی انسان، این نوشتار به اهمیت بیوفیلم از جنبه‌های مختلف می‌پردازد.

واژه‌های کلیدی. بیماری‌های گیاهی، تجزیه‌زیستی، سلامت انسان، فیلترهای زیستی، مهار زیستی

The effects of biofilm formation in bacteria from different perspectives

Maryam Khezri
Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran; (m.khezri@urmia.ac.ir)

Abstract. Bacterial communities are able to form complex and three-dimensional biofilm structures. Biofilm formation is an ancient and integral component of the prokaryotic life cycle and a key factor for survival in diverse niches. In biofilms, bacterial lifestyle changes from free-floating cells to sessile cells. Presence in biofilms gives new traits to bacteria, which distinguish them from free cells. The presence of bacteria in biofilms results in high resistance to antimicrobial treatments and oxygen deficiency. Biofilms are formed in response to different environmental signals and many genes are involved in their production. Biofilms can be problematic in fluid transfer pipelines, on medical devices, as well as implants in the patients' bodies. However, they can be applied for useful purposes such as treating industrial and agricultural wastewater, bioremediation of heavy metals and in air pollution biofilter systems. The potential of forming biofilms in pathogenic bacteria is an advantage for their survival in unfavorable conditions, and cause a lot of problems in their removal as the bacteria show more resistant to antibiotics and chemical pesticides in biofilms compared with free living cells. The ability to form biofilms in plant-beneficial rhizobacteria used for plant disease biocontrol, plant growth promotion and the improvement of agricultural products quality is an important advantage especially in their mass production and commercializing process. Considering the importance of bacterial biofilms in human life, this paper evaluated the importance of biofilms from different aspects.

Keywords. biocontrol, biofilters, bioremediation, human health, plant disease

Received 02.01.2018/ Revised 13.03.2018/ Accepted 14.05.2018/ Published 01.05.2019

دریافت ۱۳۹۶/۱۰/۱۲/اصلاح ۱۳۹۶/۱۲/۲۲/پذیرش ۱۳۹۷/۰۲/۰۴/انتشار ۱۳۹۸/۰۲/۱۱

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1398.6.1.13.8]
[DOI: 10.29252/nbr.6.1.70]

مقدمه

بیوفیلم یا لایه زیستی جمعیتی از باکتری‌هاست که درون بستری از پلی‌ساکاریدهای خارج سلولی، که توسط خود باکتری‌ها تولید می‌شود، شکل می‌گیرند. این باکتری‌ها به باکتری‌های مجاور و به سطح متصل شده و ویژگی‌های رفتاری کاملا متفاوت با باکتری-های آزاد و شناور دارند. بستر بیوفیلم امکان برهمکنش بین سلول-های موجود در آن را فراهم می‌کند، بنابراین، باکتری‌ها مستقر در بیوفیلم قابلیت‌ها و ویژگی‌های جدیدی کسب می‌کنند که در سلول‌های آزاد مشاهده نمی‌شود (Flemming *et al.*, 2016). اولین بیوفیلم بیش از ۳۰۰ سال پیش توسط ونلیون ونهوک هلندی با بررسی پلاک‌های دهانی خود و دیگران مورد مشاهده و توجه قرار گرفت (De Vos, 2015). ترکیب اصلی بیوفیلم از پلی‌ساکاریدهای خارج سلولی، پروتئین‌ها، لیپیدها و DNA تشکیل شده است (Flemming & Wingender, 2010). در دهه‌های گذشته، به‌دلیل پیشرفت‌های فوق‌العاده در فن‌آوری‌های زیستی و ابزارآلات دقیق آزمایشگاهی، دانش ما از سازوکارهای مولکولی و عوامل مؤثر در تشکیل بیوفیلم که به کلونیزه‌شدن سطوح توسط باکتری‌ها منجر می‌شود، افزایش یافته است (Buttner *et al.*, 2015).

تشکیل بیوفیلم در باکتری‌ها راهکاری جهت حفظ و بقا میکروب‌ها در شرایط نامساعد محیطی است. با استفاده از این سازوکار مهم باکتری‌ها می‌توانند از حمله و دفاع میزبان در امان بمانند. باکتری‌های مستقر در بیوفیلم مقاومت بالایی در برابر آنتی-بیوتیک‌ها، سموم شیمیایی، تنش‌های محیطی به‌ویژه تنش خشکی و تغییرات ناگهانی اسیدیته و دمای محیط زیست خود دارند (O'Toole & Kolter, 1998; Khelissa *et al.*, 2017). یک بیوفیلم می‌تواند توسط یک گونه باکتریایی ایجاد شود ولی معمولاً در تشکیل بیوفیلم‌ها گونه‌های مختلف باکتری دخالت دارند. در برخی بیوفیلم‌ها علاوه بر باکتری‌ها می‌توان جمعیت‌هایی از قارچ‌ها، جلبک‌ها، پروتوزوئرها و میکروارگانیسم‌های دیگری را مشاهده کرد (Abee *et al.*, 2011; Kearns, 2008). تنوع زیستی موجود در این جمعیت میکروبی موجبات انعطاف‌پذیری بیشتر در برابر تغییرات محیطی را فراهم می‌آورد، علاوه‌بر این، بستر بیوفیلم یک محیط فیزیکی پایدار برای ارتباط سلول به سلول و انتقال ژن بین باکتری‌های مختلف را ایجاد می‌کند (Madsen *et al.*, 2012). به‌طور کلی، شیوه زندگی باکتری‌ها تحت تأثیر شرایط محیطی قرار دارد و بسیاری از تغییرات موجود در سلول‌های باکتریایی، در پاسخ به نوع و غلظت ترکیبات موجود در زیستگاه اکولوژیکی آنها رخ می‌دهد. تشکیل بیوفیلم در باکتری‌ها در واقع یک نوع سازگاری و پاسخ به تغییر شرایط محیطی است که در نتیجه آن زندگی باکتری‌ها از سلول آزاد به حالت ساکن در بیوفیلم تغییر می‌یابد (Mhatre *et al.*, 2014). ساختار بیوفیلم به شدت تحت تأثیر عوامل فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی محیط اطراف آن، از قبیل میزان آب و اکسیژن قابل استفاده، دما، اسیدیته، فشار اسمزی، مقدار و محتوای منابع غذایی به‌ویژه آهن و میکروارگانیسم‌های حاضر در مجموعه است (Morikawa, 2006; Khezri, 2016; Khezri *et al.*, 2016a). این ساختار پیچیده می‌تواند روی بستر جامد زنده و غیرزنده تشکیل شود ولی وجود یک لایه آب در محیط جهت تشکیل آن ضروری است. بیوفیلم با اتصال سلول‌های آزاد و شناور باکتری به سطح جامد غوطه‌ور در آب شروع می‌شود. نقش تاژک و پیلی تیپ IV در اتصال اولیه سلول باکتری بسیار مهم است (Kobayashi, 2007; Kearns, 2008). با وجود پژوهش‌های فراوانی که در زمینه تشکیل بیوفیلم و عوامل مؤثر در آن انجام شده است، بسیاری از جنبه‌های آن به‌صورت مبهم و ناشناخته باقی مانده است. از عوامل مهم و تعیین‌کننده در تشکیل بیوفیلم، تنظیم مناسب بیان ژن‌های مؤثر در بیوفیلم است. مقایسه باکتری‌ها در دو حالت سلول‌های آزاد با سلول‌های مستقر در بیوفیلم نشان می‌دهد الگوی بیان ژن‌ها کاملا متفاوت بوده و ژن‌های زیادی در این فرایند دخالت دارند (Khezri *et al.*, 2016b). یکی از سیستم‌های تنظیمی باکتری که نقش مهم در تشکیل بیوفیلم دارد، سیستم حدنصاب احساس است. در این سیستم که وابسته به تراکم سلول‌های باکتری است، باکتری ملکول‌های شیمیائی قابل انتشار با وزن مولکولی کم تولید می‌کند که پس از خروج از سلول در اطراف آن تجمع یافته و موجبات ایجاد ارتباط با سلول‌های مجاور را فراهم می‌کند. این ملکول‌های پیام‌رسان که خودالقاءگر نامیده می‌شوند در باکتری‌های گرم منفی عمدتا از گروه ان-اسیل هوموسرین لاکتون‌ها و در باکتری‌های گرم مثبت الیگوپپتیدهای دوجزیی هستند. بسیاری از باکتری‌ها برای هماهنگ کردن رفتارهای وابسته به تراکم خود ازجمله تنظیم مراحل مختلف توسعه بیوفیلم و کنترل جمعیت نهایی آن، از این

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1398.6.1.13.8]
[DOI: 10.29252/nbr.6.1.70]

سیستم پیام‌رسان شیمیایی استفاده می‌کنند (Danhorn & Fuqua, 2007; Li & Tian, 2012).

در تشکیل بیوفیلم پنج مرحله مشخص قابل مشاهده است: الف) سلول‌های شناور و آزاد باکتری به صورت سست به سطح جامد متصل می‌شوند ب) تشکیل میکروکلنی، ترشح پلی‌ساکاریدهای خارج سلولی مانند لعاب و اتصال برگشت‌ناپذیر به سطح ج) تشکیل بیوفیلم بالغ در چند لایه سلولی د) ایجاد ساختار سه‌بعدی و پیچیده بیوفیلم و بلوغ بیشتر که نتیجه آن حفاظت سلول‌های مستقر در بیوفیلم در برابر دفاع میزبان و آنتی‌بیوتیک‌هاست و) رهاشدن سلول‌های باکتری از بیوفیلم بالغ، جهت اتصال به سطوح دیگر و ایجاد بیوفیلم جدید (Unosson, 2015).

بیوفیلم‌ها یکی از گسترده‌ترین و موفق‌ترین شیوه زندگی جمعی میکروب‌ها روی زمین هستند که نقش مهمی در چرخه‌های موجود در خاک، آب، رسوبات و محیط‌های زیرزمینی دارند. ازجمله کاربردهای این اجتماعات میکروبی، می‌توان به پاکسازی آب آشامیدنی، تجزیه پسماندها در فاضلاب‌های صنعتی، کشاورزی و خانگی، تخریب زباله‌های خشک و عمل به عنوان کاتالیزور در فرایندهای بیوتکنولوژیکی مانند تولید سوخت‌های زیستی اشاره کرد (Flemming *et al.*, 2016). از طرفی، تشکیل بیوفیلم می‌توانند باعث بروز مشکلات فراوانی در سلامت انسان، دام‌ها و گیاهان شود. یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های علم پزشکی، کولونیزه شدن دستگاه‌ها و اعضا مصنوعی کاشته شده در بدن بیماران توسط میکروب‌های موجود در بیوفیلم است که گاهی اوقات مشکلات جدی سر راه ادامه معالجه بیماران ایجاد می‌کند (Shirtliff & Leid, 2009). در بحث تولید محصولات کشاورزی نیز می‌توان تشکیل بیوفیلم را از جنبه‌های مختلف در باکتری‌های بیماری‌زا گیاهی و باکتری‌های مفید و مؤثر در مهار زیستی آفات و بیماری‌های گیاهی تحت ارزیابی قرار داد (Khezri *et al.*, 2011; Ghods *et al.*, 2015).

در این نوشتار، با بررسی و مطالعه یافته‌های اخیر دانشمندان گرایش‌های مختلف علمی در زمینه تشکیل بیوفیلم باکتریایی، سعی شده است که اهمیت این اجتماعات میکروبی در زندگی انسان از جنبه‌های مختلف تحت ارزیابی قرار گیرد.

تأثیر بیوفیلم تولیدشده با باکتری‌ها در بیماری‌های انسانی

اصولاً ماهیت بیوفیلم ایجادشده با باکتری‌های مختلف یکسان است زیرا بیشتر باکتری‌ها دارای سازوکارهایی هستند که به‌وسیلهٔ آنها می‌توانند به سطوح و به یکدیگر متصل شوند. بیوفیلم‌های تولید شده توسط باکتری‌ها می‌توانند تأثیر مخرب فراوانی روی سلامت انسان داشته باشند که در این نوشتار به چند مورد آن اشاره می‌شود. پلاک‌های دندانی، بیوفیلم‌های زرد رنگ هستند که اگر به‌طور مرتب از روی سطح دندان‌ها حذف نشوند، موجب پوسیدگی آنها می‌شوند، این پلاک‌ها که در واقع پلی‌ساکاریدهای‌خارج‌سلولی ایجادشده توسط باکتری‌ها هستند، موجب بوی بد دهان می‌شوند (Zijnge *et al.*, 2010). در پلاک‌های دندانی تنوع میکروبی زیادی دیده می‌شود اما یکی از مهم‌ترین این باکتری‌ها، باکتری گرم مثبت *Streptococcus mutans* است. این باکتری می‌تواند بیوفیلم تولید کند و می‌تواند به‌صورت موفقیت‌آمیزی حفره دهان را کولونیزه کند، در حضور سوکروز رشد کرده و تولید گلوکان و فروکتان می‌کند. این ترکیبات موجب ایجاد بیوفیلم پایدار و تجمع اسید روی دندان‌ها و پوسیدگی آنها می‌شوند (Bedran *et al.*, 2013).

تحقیقات بالینی و آزمایشگاهی متعدد همبستگی بالای بین عفونت‌های بیمارستانی و قابلیت تولید بیوفیلم میکروب‌های مرتبط با آن را نشان می‌دهند. بیوفیلم‌های تولید شده توسط باکتری‌ها، روی اجزا مصنوعی کاشته شده در بدن پخش‌شده و به آلودگی‌های کشنده در بیماران منجر می‌شوند. از جنبه‌های منفی بیوفیلم، کلنیزاسیون این اندام‌های مصنوعی توسط باکتری و ایجاد بیوفیلم روی آنهاست که در مواردی به عمل جراحی مجدد، قطع عضو و حتی مرگ منجر می‌شود. اجزا مصنوعی در پزشکی که به کلنیزاسیون حساس هستند شامل قلب‌های مصنوعی، اعضاء جایگزین بخش‌های مختلف بدن، لنزهای تماسی، دریچه‌های قلب، دندان‌های کاشته‌شده، بخیه‌ها و میله‌های جراحی درون رگ‌ها هستند. باکتری فرصت‌طلب *Staphylococcus epidermidis*، به‌طور معمول یک باکتری بی‌خطر است که به‌وفور روی سطح پوست بدن انسان یافت می‌شود. تحت شرایط خاص، این باکتری قادر به رشد، تکثیر و کولونیزه‌کردن دستگاه‌ها و اجزا مصنوعی کاشته‌شده در بدن انسان است، میزان کولونیزه‌شدن این اجزا به‌طور مستقیم با تولید بیوفیلم باکتری در ارتباط است (Buttner *et al.*, 2015). این باکتری‌ها قادر به ایجاد بیوفیلم پایدار روی وسایل

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1398.6.1.13.8]
[DOI: 10.29252/nbr.6.1.70]

استیل مورد استفاده در پزشکی است که مانع ضدعفونی آنها می‌شود (Hofmann *et al.*, 2014). نتایج مطالعات تجربی و بالینی نشانگر این است که آنتی‌بیوتیک‌ها و گندزداها به‌تنهایی قادر به ریشه‌کنی عفونت‌های ناشی از بیوفیلم ایجادشده روی دستگاه‌ها و اجزا مصنوعی نیستند. در بیشتر موارد، مقادیر بالای آنتی‌بیوتیک برای ازبین‌بردن باکتری‌های موجود در بیوفیلم مورد نیاز است که از نظر پزشکی نیز غیرعملی است، زیرا ازبین بردن بیوفیلم در مواردی موجب ازبین‌رفتن بیمار می‌شود. بنابراین، ارائه راهبردهای جدید براساس چگونگی حمله باکتری‌ها، رشد و جداسازی آنها مورد نیاز است (Wu *et al.*, 2015).

کولونیزه‌شدن مواد غذایی خام و تجهیزات صنعتی مرتبط با تولید غذا

در سال‌های اخیر، تعداد روزافزون بیماری‌ها از مصرف میوه و سبزیجات آلوده به باکتری‌های بیماری‌زای انسان گزارش شده است. استفاده از کودهای آلی در زمان تولید سبزیجات می‌تواند یکی از دلایل قابل قبول برای آلودگی آنها باشد. بیشتر اندام‌های خوراکی گیاهی به صورت خام یا با حداقل فرآوری پس از برداشت مصرف می‌شوند، این امر موجب بالاتررفتن احتمال آلودگی این مواد غذایی به انواع عوامل بیماری‌زا می‌شود (Hofmann *et al.*, 2014). باکتری‌های *Salmonella enteric* و *Listeria monocytogenes* که ازطریق مواد غذایی انسان را بیمار می‌کنند، عامل شیوع بیماری‌های انسانی مهم هستند. این باکتری‌ها قادر به کولونیزه‌کردن و تولید بیوفیلم روی سطح برگ گیاهان هستند، این باکتری‌ها از طریق روزنه‌های هوایی روی برگ قادر به نفوذ به بخش‌های داخلی برگ و استقرار و کلنیزاسیون آن هستند. پلی‌ساکاریدهای‌خارج‌سلولی ایجادشده توسط این گونه باکتری‌ها موجب تثبیت و پایداری عامل بیماری‌زا روی سبزیجات و میوه‌ها شده، به‌طوری که عوامل بیماری با روش‌های ضدعفونی معمولی به راحتی حذف نمی‌شوند (Kroupitski *et al.*, 2009).

از دیگر باکتری‌های مهم تولیدکنندهٔ بیوفیلم مرتبط با بیماری‌های انسانی، دو باکتری *Pseudomonas aeruginosa* و *P. fluorescens* هستند که به دلیل تولید متابولیت‌های متنوع در زیستگاه‌های اکولوژیکی مختلف یافت می‌شوند. در محیط‌های صنعتی بیوفیلم‌ها می‌توانند روی لوله‌ها انتقال مواد توسعه یافته و موجب فساد تدریجی آنها شوند. تشکیل بیوفیلم در لوله‌های انتقال آب، صنایع لبنی به‌ویژه شیر و سایر صنایع غذایی می‌تواند علاوه بر آلودگی میکروبی مواد غذایی، موجب انسداد و خوردگی تجهیزات فلزی شود. سویه‌های مختلف این باکتری‌ها غالباً دارای فنوتیپ‌های مقاوم به مواد ضدعفونی‌کننده بوده و در بیشتر اوقات بیوفیلم ایجادشده روی دستگاه‌های تولیدات محصولات غذایی با اعمال روش‌های بهداشتی حذف نمی‌شود. آلودگی‌های مواد غذایی ناشی از وجود بیوفیلم تشکیل‌شده روی سطوح استیل در فرایند آماده‌سازی مواد غذایی به یکی از مشکلات بزرگ در صنعت غذا تبدیل شده است زیرا هرگونه آلودگی می‌تواند به‌طور مستقیم بر کیفیت و سلامت محصولات غذایی اثرگذار باشد (Marchand *et al.*, 2012; Anand *et al.*, 2014). درک مکانیسم تولید بیوفیلم و بویژه حذف ساختارهای پیچیده تولیدشده توسط این میکروب‌ها از دستگاه‌های فرآوری مواد غذایی همواره به‌منزلهٔ یکی از چالش‌ها در صنعت تولید غذا مطرح بوده است (Fouladynezhad *et al.*, 2013; Meliani & Bensoltane, 2015).

تجزیهٔ زیستی آلودگی‌های زیست‌محیطی

بیوفیلم‌های میکروبی ایجادشده روی سطوح صنعتی سالانه میلیون‌ها دلار خسارت وارد می‌کنند اما از وجود بیوفیلم‌ها می‌توان در جهت اهداف سودمند نیز استفاده کرد. طی دهه‌های گذشته، فعالیت‌های صنعتی باعث ایجاد ضایعات فراوانی در سیستم‌های اکولوژیکی شده است. آلودگی محیط به فلزات سنگین به دلیل پیشرفت‌های صنعتی و توسعه فناوری‌های جدید به سرعت افزایش یافته است و به صورت یک مشکل جهانی درآمده است. بیشتر این ترکیبات در محیط بسیار پایدار بوده و به آسانی تجزیه نمی‌شوند (Kang *et al.*, 2016). وجود فلزاتی مانند سرب، کادمیوم، نیکل، جیوه، روی و مس در خاک‌ها و اکوسیستم‌های آبی آلوده می‌تواند خطری جدی در سلامت انسان و سایر موجودات زنده باشد. این فلزات که جزو آلاینده‌ترین عناصر محسوب می‌شوند، در محیط زیست تجمع یافته و موجبات اختلال در سیستم‌های بیولوژیکی را فراهم می‌آورند. روش‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی جهت حذف یا کاهش این گونه آلودگی‌ها وجود دارد اما این روش‌ها غالبا همراه با اشکالات و محدودیت‌هایی هستند (Guo *et al.*, 2010). از آنجایی که این ترکیبات هنوز هم در حال تولید و انباشته شدن هستند، یافتن راه حلی مناسب و کارامد جهت تجزیه و حذف آنها مورد توجه محققان دوستدار محیط زیست است

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1398.6.1.13.8]
[DOI: 10.29252/nbr.6.1.70]

(Edwards & Kiellerup, 2013). یکی از راهکارهای کم‌خطر حذف این آلودگی‌ها، تجزیه زیستی است که در آن از میکروارگانیسم‌ها و به‌ویژه باکتری‌ها جهت تجزیهٔ ترکیبات آلوده‌کنندهٔ محیط زیست استفاده می‌شود. این باکتری‌ها ترکیبات آلوده‌کنندهٔ محیط اطراف خود تجزیه کرده و موجب کاهش سمیت آنها می‌شوند (Mohite *et al*., 2010). براساس یافته‌های محققان، استفاده از ترکیب چند گونه باکتریایی به طور همزمان در مقایسه با سیستم تک‌گونه‌ای، می‌تواند نتیجه افزایشی در کاهش سمیت ناشی از فلزات مس، روی و کادمیوم داشته باشد. ازجمله باکتری‌هایی که به‌طور موفقیت‌آمیز در تجزیه فلزات سنگین معرفی شده‌اند می‌توان به *Viridibacillus arenosi*، *Enterobacter cloacae* و *Sporosarcina soli* اشاره کرد (Kang *et al*., 2016). البته باید توجه داشت که استفاده از جمعیت‌های میکروبی در تجزیه زیستی آلاینده‌های محیطی همراه با محدودیت‌هایی است. ازجمله این محدودیت‌ها، کاهش سمیت فلزات سنگین توسط این باکتری‌ها غالباً در شرایط بی‌هوازی انجام می‌شود که ایجاد چنین شرایطی معمولاً در سیستم‌های باز با محدودیت مواجه است. از طرفی، این باکتری قادر به فعالیت در غلظت‌های بالای ترکیبات فلزی سنگین نیستند (Hiriart-Baer *et al*., 2006).

از دیگر کاربردهای باکتری‌های تولیدکنندهٔ بیوفیلم، سم‌زدایی از آب‌های ناسالم فاضلاب‌هاست. کمبود آب آشامیدنی سالم و بهداشتی یکی از مشکلات عمده در بسیاری از کشورهای کم‌درآمد جهان است. در این کشورها گاهی برای رسیدن به آب سالم نیاز به طی مسیر طولانی است. استفاده از باکتری‌های تولیدکنندهٔ بیوفیلم یکی از راهکارهای کاهش آلودگی‌های آب است. بیوفیلم تولید شده موجب حذف موجودات مضر و بیماری‌زای موجود در آب به‌ویژه پروتوزوآها می‌شود، همچنین با ازبین بردن مواد آلی موجود در آب، موجب حذف طعم و بوی نامطبوع آب می‌شود. از دیگر آثار مفید این مجموعه پیچیده میکروبی، شکار عوامل بیماری‌زا توسط میکروارگانیسم‌ها موجود در بیوفیلم است (Wendt *et al*., 2015). از طرف دیگر وجود باکتری‌ها و بویژه باکتری‌هایی تولیدکنندهٔ بیوفیلم، می‌تواند یکی از عوامل محدودکننده در سیستم راکتورهای زیستی غشایی باشد. استفاده از راکتورهای زیستی غشایی یکی دیگر از روش‌های تصفیه و آلودگی‌زدایی پساب‌های صنعتی و خانگی است که در آن از لجن فعال و فیلتر غشایی استفاده می‌شود. در این سیستم باکتری‌ها با اتصال به صفحات غشا، روی آن مستقر شده و با تولید بیوفیلم موجب انسداد منافذ غشا و اختلال در عمل‌کرد آن می‌شوند (Smith *et al*., 2015).

یک فیلتر زیستی که در فضای عمومی آن میکروارگانیسم‌ها رشد نمایند، می‌تواند موجب کاهش آلودگی‌های هوا که غالبا از احتراق سوخت‌های فسیلی ایجاد می‌شوند، شود. فیلتراسیون زیستی را می‌توان به‌صورت حذف و اکسیداسیون گازهای مضر به‌ویژه ترکیبات فرار آلی از هوا توصیف کرد (Vijay Kumar *et al*., 2013). از آنجایی که حذف آلودگی‌های هوا توسط میکروب‌ها رابطه مستقیم با محتوای آب در دسترس آنها دارد، یکی از مسایل موجود استفاده میکروارگانیسم‌ها در فیلترهای زیستی، کاهش عمل‌کرد میکروب‌ها در اثر کاهش رطوبت محیط است (Cercado *et al*., 2012). محتوای میکروبی و انتخاب دما، اسیدیته، رطوبت و محتوای غذایی مناسب از ویژگی‌های اساسی است که در طراحی فیلترهای زیستی باید در نظر گرفته شود. نکته اساسی در عمل‌کرد موفق و افزایش کارآیی فیلترهای زیستی، کنترل و نگه‌داری جمعیت میکروبی زنده و فعال روی سطوح فیلترها است (Vijay Kumar *et al*., 2013).

گرچه جمعیت پایین و میزان کم فعالیت این گونه میکروارگانیسم‌ها موجب می‌شود که فرایند پاکسازی محیط زیست با سرعت مناسب پیش نرود، اما از آنجایی که باکتری‌های موجود در بیوفیلم مقاومت بیشتری در برابر شرایط نامساعد محیطی مانند تراکم سلولی، کمبود اکسیژن و فشار اسمزی از خود نشان می‌دهند، توانایی تولید بیوفیلم توسط این دسته باکتری‌ها می‌تواند گزینه‌های مناسبی برای غربال‌گری این باکتری‌ها در تجزیه آلاینده‌های محیطی باشند (Prigent-Combaret *et al*., 1999; Das *et al*., 2012). دوام، ساختار پیچیده سه بعدی و تنوع زیاد ژنتیکی موجود در بیوفیلم‌ها آنها را گزینه‌های مناسبی در حل مسایل آلودگی‌های زیست‌محیطی کرده است (Edwards & Kiellerup, 2013). با توجه به کارآمد بودن استفاده از جمعیت‌های میکروبی در کاهش آلودگی‌های زیست محیطی، مطالعه جهت بررسی محدویت‌های استفاده از توده‌های زیستی و رفع مشکلات ناشی از کاربرد آنها ضروری به‌نظر می‌رسد.

اهمیت بیوفیلم در باکتری‌های همراه گیاه

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1398.6.1.13.8]
[DOI: 10.29252/nbr.6.1.70]

اخیرا محققان توجه زیادی به استفاده از باکتری‌های آنتاگونیست در مهار زیستی بیماری‌های گیاهی و بهبود کمی و کیفی رشد محصولات کشاورزی نشان داده‌اند. استفاده روزافزون از ترکیبات شیمیایی به‌صورت کودها و سموم دفع آفات و بیماری‌های گیاهی موجب بروز آلودگی‌های جدی در محیط زیست، سلامت انسان و سایر موجودات شده است. به‌همین دلیل، دانشمندان به‌دنبال یافتن روش‌های جایگزین این ترکیبات مضر در کنترل آفات و بیماری-های گیاهی و بهبود رشد گیاهان هستند. استفاده از عوامل مهار زیستی است که قابلیت‌های بالا در تولید متابولیت‌های ثانویه مؤثر در کاهش یا مهار بیماری‌های گیاهی دارند، یکی از راهکارهایی است که مورد استقبال محققان واقع شده است (Ongena *et al.*, 2007; Zhao *et al.*, 2014; Bardin *et al.*, 2015; Yi *et al.*, 2016). غالب باکتری‌های عامل مهار زیستی بیماری‌های گیاهی در خاک اطراف ریشه که ریزوسفر نامیده می‌شود، مستقر هستند. ریشه گیاه بخش زیادی از ترکیبات تثبیت‌شده را به‌صورت ترکیبات غنی از قندها و اسیدهای آلی ازطریق ریشه به محیط خاک ترشح می‌کند، به‌همین دلیل منطقه ریزوسفر مکان مناسبی جهت رشد و تکثیر انواع مختلف میکروارگانیسم‌ها است (Kamilova *et al.*, 2006; Carvalhais *et al.*, 2011). باکتری‌های مفید خاک که با عنوان باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد گیاه (PGPR) شناخته می‌شوند، سازگاری بقا در خاک را به‌دست آورده‌اند و موجب افزایش فاکتورهای رشدی و عمل‌کرد گیاه می‌شوند، تعدادی نیز به‌منزلهٔ عوامل مهار زیستی بیماری‌های گیاهی فعالیت می‌کنند (Moustaine *et al.*, 2017). نتایج مطالعات محققان مختلف نشان می‌دهد که بیوفیلم تولید شده توسط باکتری-های مفید، در کنترل بیماری می‌تواند تأثیرگذار باشد (Morikawa, 2006; Khezri *et al.*, 2011). از باکتری‌های مؤثر در مهار زیستی بیماری‌های گیاهی که مطالعات فراوانی روی آنها انجام شده است، می‌توان به باکتری‌های *Bacillus subtilis* (Ehrenberg, 1835)، *B. cereus* (Frankland & Frankland, 1887) و باکتری‌های سودوموناد فلورسنت اشاره کرد (Santhanam *et al.*, 2015**;** Kong *et al.*, 2016; Niu *et al.*, 2016). سویه‌های مختلف این باکتری‌ها دارای پتانسیل بالایی در تولید انواع متابولیت‌های ثانویه مانند بیوفیلم، بیوسورفکتانت‌ها، ترشحات مایع خارج سلولی، ترکیبات فرار ضدقارچی، آنتی‌بیوتیک‌ها و آنزیم‌های مختلف بوده و از روش-های مختلف موجب کاهش بیماری می‌شوند (Jamil *et al.*, 2007; Zhao *et al.*, 2014; Zeriouh *et al.*, 2014; Khezri, 2015). در یک پژوهش امکان کنترل بیماری باکتریایی خال‌زدگی گوجه‌فرنگی با استفاده از سویه *B. subtilis* 6051 روی گیاه مدل آرابیدوپسیس مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد، کاهش بیماری به‌طور مستقیم به تولید بیوفیلم توسط باکتری آنتاگونیست بستگی دارد (Bais *et al.*, 2004). در پژوهش مشابه دیگر، کاهش بیماری قارچی فوزاریوز گندم با تولید بیوفیلم سویه‌های باکتری آنتاگونیست تحت مطالعه، همبستگی مثبت نشان دادند (Khezri *et al.*, 2011). باکتری‌های مختلف، رفتارهای متفاوتی در کلنیزاسیون سطح ریشه گیاهان دارند (Fan *et al.*, 2012). عواملی مانند ویژگی‌های سطح ریشه، نوع تغذیه، آب آزاد و در دسترس میکروب‌ها شدیداً ساختار بیوفیلم تولید شده در ریزوسفر و ریزوپلان را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Ramey *et al.*, 2004). از طرفی، توانایی کلنیزاسیون ریشه گیاه با میزان بیوفیلم تولیدشده با باکتری رابطهٔ تنگاتنگ دارد. مراحل ابتدایی کلنیزاسیون ریشه در استقرار باکتری نقش مهمی ایفا می‌کنند. باکتری‌هایی که پتانسیل بالا در تولید بیوفیلم دارند، به‌سرعت ریشه را کولونیزه کرده و روی آن تثبیت می‌شوند (Boyd *et al.*, 2014). نتیجه بررسی انجام شده روی باکتری‌های مفید مستقر روی ریشه گندم توسط نشان داد، میزان کلنیزاسیون ریشه همبستگی بالایی با بیوفیلم تولید شده توسط سویه‌های باکتری دارد (Khezri, 2017). تحرک تاژکی باکتری، از عواملی است که در مراحل اولیه کلنیزاسیون و تشکیل بیوفیلم می‌تواند بسیار تأثیرگذار باشد، البته باید توجه داشت که باکتری‌ها پس از استقرار در بیوفیلم تاژک خود را از دست می‌دهند (Barahona *et al.*, 2010). در پژوهشی که به‌منظور بررسی رابطه بین تحرک باکتری، تولید بیوفیلم و به دنبال آن کلنیزاسیون ریشه انجام شد، مشخص شد موتانت سه‌گانه KSW، ایجادشده از باکتری مفید *P. fluorescens* F113 که توانایی بالاتری در تحرک نسبت به سویه تیپ وحشی داشت، به‌میزان بالاتری ریشه گیاهان گوجه‌فرنگی و توت‌فرنگی را کولونیزه کرد و موجب کاهش بیماری‌های فوزاریومی و فیتوفترایی شد (Barahona *et al.*, 2011).

پروکاریوت‌های بیماری‌زای گیاهی از عوامل مهم در کاهش محصولات کشاورزی محسوب می‌شوند. قابلیت تولید بیوفیلم می-تواند به صورت مستقیم و غیرمستقیم بر بیماری‌زایی این گونه

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1398.6.1.13.8]
[DOI: 10.29252/nbr.6.1.70]

باکتری‌ها نیز اثرگذار باشد. باکتری خاکزی *Ralstonia solanacearum* عامل بیماری پژمردگی باکتریایی در تعدادی از گیاهان ازجمله سیب‌زمینی، گوجه‌فرنگی، توتون و موز است که قادر به کولونیزه کردن آوند چوبی گیاه است. شدت بیماری‌زایی سویه‌های بیماری‌زا آن با میزان تولید بیوفیلم رابطه مستقیم دارد (Yao & Allen, 2007). بیماری اقتصادی آتشک درختان میوه دانه‌دار توسط باکتری گرم منفی *Erwinia amylovora* (Burrill, 1882) ایجاد می‌شود. این باکتری قادر به تولید پلی-ساکاریدهای خارج سلولی آمیلووران و لوان است که در ایجاد و شدت بیماری‌زایی، همچنین تشکیل بیوفیلم باکتری مؤثر هستند (Koczan *et al.*, 2009). نتیجه تحقیقات دانشمندان نشان می-دهد در بسیاری از باکتری‌های بیماری‌زای گیاهی مهم از قبیل *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* عامل پژمردگی و شانکر باکتریایی گوجه‌فرنگی و پاتووارهای مختلف *P. syringae* تولید بیوفیلم در کولونیزه‌کردن بخش‌های مختلف گیاه و ایجاد علایم بیماری تأثیرگذار است (Ahmadzadeh, 2013; Tancos *et al.*, 2013; Ghods *et al.*, 2015).

نتیجه‌گیری

بیوفیلم به عنوان جمعیت‌های باکتریایی مختلف که توسط یک بستر پلیمری پوشیده شده‌اند، شناخته می‌شود. این پوشش پلی-ساکاریدی نقش حفاظت از سلول‌های موجود در بیوفیلم در شرایط نامساعد محیطی را به عهده دارد و قابلیت‌های فراوانی جهت حفظ و بقا باکتری‌ها در شرایط نامساعد محیطی به آنها اعطا می‌کند. با توجه به حضور باکتری‌ها در زیستگاه‌های اکولوژیکی مختلف، بیوفیلم تشکیل شده توسط آنها می‌تواند تأثیرات مثبت یا منفی در زندگی انسان داشته باشد. کولونیزه‌شدن وسایل و دستگاه‌های مورد استفاده در پزشکی، اجزا مصنوعی کاشته شده در بدن بیماران، وجود پلاک‌های دندانی که موجب پوسیدگی دندان و بروز بیماری‌های دهانی می‌شود، همچنین تولید بیوفیلم در باکتری‌های بیماری‌زای انسانی، جانوری و گیاهی موجب بروز مشکلات عدیده در ازبین‌بردن باکتری‌ها می‌شود، زیرا بیوفیلم مانع از تأثیر گندزداها، آنتی‌بیوتیک‌ها و سموم شیمیایی به باکتری‌های مضر می‌شود. از طرفی، تأثیر برجسته باکتری‌های تجزیه‌کنندهٔ فلزات سنگین موجود در خاک‌ها و آب‌های آلوده، باکتری‌های تصفیه-کنندهٔ آب فاضلاب‌ها و هوای آلوده، همچنین باکتری‌های مفید مؤثر در بهبود رشد گیاهان را نمی‌توان نادیده گرفت. با عنایت به موضوعات مطرح شده، با افزایش سطح دانش و بررسی جنبه‌های مختلف زندگی باکتری‌ها، می‌توان از باکتری‌های تولیدکنندهٔ بیوفیلم در جهت بهبود کیفیت زندگی بشر بهره گرفت.

REFERENCES

Abee, T., Kovacs, A.T., Kuipers, O.P. and Van der Veen, S. 2011. Biofilm formation and dispersal in Gram-positive bacteria. – Curr. Opin. Biotech. 22: 172-179.

Ahmadzadeh, M. 2013. Biological control of plant diseases, plant probiotic bacteria. – University of Tehran Press, pp: 479.

Anand, S., Singh, D., Avadhanula, M. and Marka, S. 2014. Development and control of bacterial biofilms on dairy processing membranes. – Compr. Rev. Food Sci. F. 13: 18-33.

Bais, H.P., Fall, R. and Vivanco, J.M. 2004. Biocontrol of *Bacillus subtilis* against infection of Arabidopsis roots by *Pseudomonas syringae* is facilitated by biofilm formation and surfactin production. – Plant Physiol. 134: 307-319.

Barahona, E., Navazo, A., Martinez-Granero, F., Zea-Bonilla, T., Perez-Jimenez, R.M., Martin, M. and Rivilla, R. 2011. *Pseudomonas fluorescens* F113 mutant with enhanced competitive colonization ability and improved biocontrol activity against fungal root pathogens. – Appl. Environ. Microb. 77: 5412-5419.

Barahona, E., Navazo, A., Yousef-Coronado, F., Aguirre de Carcer, D., Martinez-Granero, F., Espinosa-Urgel, M., Martin, M. and Rivilla, R. 2010. Efficient rhizosphere colonization by *Pseudomonas fluorescens* f113 mutants unable to form biofilms on abiotic surfaces. – Environ. Microbiol. 12: 3185-3195.

Bardin, M., Ajouz, S., Comby, M., Lopez-Ferber, M., Graillot, B., Siegwart, M. and Nicot, P.C. 2015. Is the efficacy of biological control against plant diseases likely to be more durable than that of chemical pesticides? – Front. Plant Sci. 6: 566, doi: 10.3389/fpls.2015.00566.

Bedran, T.B.L., Azelmat, J., Spolidorio, D.P. and Grenier, D. 2013. Fibrinogen-induced *streptococcus* mutans biofilm formation and adherence to endothelial cells. – BioMed Res. Int. doi: 10.1155/2013/431465.

Boyd, C.D., Smith, T.J., El-Kirat-Chatel, S., Newell, P.D., Dufrêne, Y.F. and O'Toole, G.A. 2014. Structural features of the *Pseudomonas fluorescens* biofilm adhesin LapA required for LapG-dependent cleavage, biofilm formation and cell surface localization. – J. Bacteriol. 196: 2775-2788.

Buttner, H., Mack, D. and Rohde, H. 2015. Structural basis of *Staphylococcus epidermidis* biofilm formation: mechanisms and molecular interactions. – Front. Cell. Infect. Mi. 5: 14, doi: 10.3389/fcimb.2015.00014.

Carvalhais, L.C., Dennis, P.G., Fedoseyenko, D., Hajirezaei, M.R., Borriss, R. and Von Wiren, N. 2011. Root exudation of sugars, amino acids, and organic acids by maize as affected by nitrogen, phosphorus,

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1398.6.1.13.8]
[DOI: 10.29252/nbr.6.1.70]

potassium, and iron deficiency. – J. Plant Nutr. Soil Sc. 174: 3-11.

Cercado, B., Auria, R., Cardenas, B. and Revah, S. 2012. Characterization of artificially dried biofilms for air biofiltration studies. – J. Environ. Sci. Heal. A. 47: 940-948.

Danhorn, T. and Fuqua, C. 2007. Biofilm formation by plant-associated bacteria. – Annu. Rev. Microbiol. 61: 40-422.

Das, N., Geetanjali Basak, L.V., Abdul Salam, J. and Abigail, M.E.A. 2012. Application of biofilms on remediation of pollutants- an overview. – J. Microbiol. Biotech. Res. 2: 783-790.

De Vos, E.M. 2015. Microbial biofilms and the human intestinal microbiome. – N. P. J. Biofilms and Microbiomes. 1: 15005, doi:10.1038/npjbiofilms.2015.5.

Edwards, S.J. and Kjellerup, B.V. 2013. Applications of biofilms in bioremediation and biotransformation of persistent organic pollutants, pharmaceuticals/personal care products, and heavy metals. – Appl. Microbiol. Biot. 79: 9909-9921.

Fan, B., Borriss, R., Bleiss, W. and Wu, X. 2012. Gram-positive rhizobacterium *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42 colonizes three types of plants in different patterns. – J. Microbiol. 50: 38-44.

Flemming, H.C., Wingender, J., Szewzyk, U., Steinberg, P., Rice, S.A. and Kjelleberg, S. 2016. Biofilms: an emergent form of bacterial life. – Nat. Microbiol. 14: 563, doi:10.1038/nrmicro.2016.94.

Flemming, H.C. and Wingender, J. 2010. The biofilm matrix. - Nat. Rev. Microbiol. 8: 623-633.

Fouladynezhad, N., Afsah-Hejri, L., Rukayadi, Y., Nakaguchi, Y., Nishibuchi, M. and Son, R. 2013. Efficiency of four Malaysian commercial disinfectants on removing *Listeria monocytogenes* biofilm. – Int. Food Res. J. 20: 1485-1490.

Ghods, S., Sims, I.M., Moradali, M.F. and Rehm, B.H.A. 2015. Plant pathogen *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* forms biofilms composed of a novel exopolysaccharide: Growth control by bactericidal compounds. – Appl. Environ. Microbiol. 81: 4026-4036.

Guo, H., Luo, S., Chen, L., Xiao, X., Xi, Q., Wei, W., Zeng, G., Liu, C., Wan, Y., Chen, J. and He, Y. 2010. Bioremediation of heavy metals by growing hyper accumulator endophytic bacterium *Bacillus* sp. L14. – Bioresource Technol. 101: 8599-8605.

Hiriart-Baer, V.P., Fortin, C., Lee, D.Y. and Campbell P.G. 2006. Toxicity of silver to two freshwater algae, *Chlamydomonas reinhardtii* and *Pseudokirchneriella subcapitata*, grown under continuous culture conditions: Influence of thiosulphate. – Aquat. Toxicol. 78: 136-148.

Hofmann, A., Fischer, D., Hartmann, A. and Schmid, M. 2014. Colonization of plants by human pathogenic bacteria in the course of organic vegetable production. – Front. Microbiol. 5:191, doi: 10.3389/fmicb.2014.00191.

Jamil, B., Hasan, F., Hameed, A. and Ahmed, S. 2007. Isolation of *Bacillus subtilis* MH-4 from soil and its potential of polypeptidic antibiotic production. – Pak. J. Pharm. Sci. 20: 26-31.

Kamilova, F., Kravchenko, L.V., Shaposhnikov, A.I., Azarova, T., Makarova, N. and Lugtenberg, B. 2006. Organic acids, sugars, and L-tryptophane in exudates of vegetables growing on stonewool and their effects on activities of rhizosphere bacteria. – Mol. Plant-Microbe Int. 19: 250-256.

Kang, C.H., Kwon, Y.J. and So, J.S. 2016. Bioremediation of heavy metals by using bacterial mixtures. – Ecol. Eng. 89: 64-69.

Kearns, D.B. 2008. Division of labour during *Bacillus subtilis* biofilm formation. – Mol. Microbiol. 67: 229-231.

Khelissa, S.O., Abdallah, M., Jama, C., Faille, C. and Chihib, N.E. 2017. Bacterial contamination and biofilm formation on abiotic surfaces and strategies to overcome their persistence. – J. Mate. Environ. Sci. 8: 3326-3346.

Khezri, M., Ahmadzadeh, M., Salehi Jouzani, Gh., Behboudi, K., Ahangaran, A., Mousivand, M. and Rahimian, H. 2011. Characterization of some biofilm-forming *Bacillus subtilis* and evaluation of their biocontrol potential against *Fusarium culmorum*. – J. Plant Pathol. 93: 373-382.

Khezri, M. 2015. Biofilm formation in probiotic bacterium *Bacillus subtilis*. – Plant Pathol. Sci. 5: 52-62.

Khezri, M. 2016. Influence of some environmental and nutritional conditions on biofilm formation of probiotic *Bacillus subtilis* strains. – Biol. Cont. Pes. Plant Dis. 4: 157-165.

Khezri, M., Ahmadzadeh, M. and Salehi-Jouzani, Gh. 2016a. *Fusarium culmorum* affects expression of biofilm formation key genes in *Bacillus subtilis.* – Braz. J. Microbiol. 47: 47-54.

Khezri, M., Ahmadzadeh, M., Salehi Jouzani, Gh. and Sharifi, R. 2016b. A new gene involving in biofilm formation of *Bacillus subtilis*. – Mod. Genet. J. 11: 245-259.

Khezri, M. 2017. Effect of biofilm by plant probiotic rhizobacteria on root colonization and growth of wheat. – Biol. Cont. Pes. Plant Dis. 6: 93-102.

Kobayashi, K. 2007. *Bacillus subtilis* pellicle formation proceeds through genetically defined morphological changes. – J. Bacteriol. 189: 4920-4931.

Koczan, J.M., McGrath, M.J., Zhao, Y. and Sundin, G.W. 2009. Contribution of *Erwinia amylovora* exopolysaccharides amylovoran and levan to biofilm formation: implications in pathogenicity. – Phytopathology. 99: 1237-1244.

Kong, H.G., Kim, N.H., Lee, S.Y. and Lee, S.W. 2016. Impact of a recombinant biocontrol bacterium, *Pseudomonas fluorescens* pc78, on microbial community in tomato rhizosphere. – Plant Pathol. J. 32: 136-144.

Kroupitski, Y., Golberg, D., Belausov, E., Pinto, R., Swartzberg, D., Granot, D. and Sela, S. 2009. Internalization of *Salmonella enterica* in leaves is induced by light and involves chemotaxis and penetration through open stomata. – Appl. Environ. Microbiol. 75: 6076-6086.

Li, Y.H. and Tian, X. 2012. Quorum sensing and bacterial social interactions in biofilms. – Sensors 12: 2519-2538.

Madsen, J.S., Burmolle, M., Hansen, H.L. and Sorensen, S.J. 2012. The interconnection between biofilm formation and horizontal gene transfer. – FEMS Immun. Med. Mic. 65: 183-195.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1398.6.1.13.8]
[DOI: 10.29252/nbr.6.1.70]

Marchand, S., De Block, J., De Jonghe, V., Coorevits, A., Heyndrickx, M. and Herman, L. 2012. Biofilm formation in milk production and processing environments; influence on milk quality and safety. – Compr. Rev. Food Sci. F. 11: 133-147.

Meliani, A. and Bensoltane, A. 2015. Review of *Pseudomonas* attachment and biofilm formation in food industry. – Poult. Fish. Wild. Sci. 3: 1, doi:10.4172/2375-446X.1000126.

Mhatre, E., Monterrosa, R.G. and Kovacs, A.T. 2014. From environmental signals to regulators: modulation of biofilm development in Gram-positive bacteria. – J. Basic Microb. 54: 616-632.

Mohite, B.V., Jalgaonwala, R.E., Pawar, S. and Morankar, A. 2010. Isolation and characterization of phenol degrading bacteria from oil contaminated soil. – Inn. Rom. Food Biotech. 7: 61-65.

Morikawa, M. 2006. Beneficial biofilm formation by industrial bacteria *Bacillus subtilis* and related species. – J. Biosci. Bioeng. 101(1): 1-8.

Moustaine, M., Elkahkahi, R., Benbouazza, A., Benkirane, R. and Achbani, E.H. 2017. Effect of plant growth promoting rhizobacterial (PGPR) inoculation on growth in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) and characterization for direct PGP abilities in Morocco. – Int. J. Environ. Agri. Biotech. 2: 590-596.

Niu, D., Xia, J., Jiang, C., Qi, B., Ling, X., Lin, S., Zhang, W., Guo, J., Jin, H. and Zhao, H. 2016. *Bacillus cereus* AR156 primes induced systemic resistance by suppressing miR825/825* and activating defense-related genes in *Arabidopsis*. – J. Integr. Plant Biol. 58: 426-439.

O'Toole, G.A. and Kolter, R. 1998. Initiation of biofilm formation in *Pseudomonas fluorescens* WCS365 proceeds via multiple convergent signaling pathways: a genetic analysis. – Mol. Microbiol. 28: 449-461.

Ongena, M., Jourdan, E., Adam, A., Paquot, M., Brans, A., Joris, B., Arpigny, J.L. and Thonart, P. 2007. Surfactin and fengycin lipopeptides of *Bacillus subtilis* as elicitors of induced systemic resistance in plants. – Environ. Microbiol. 9: 1084-1090.

Prigent-Combaret, C., Vidal, O., Dorel, C. and Lejeune, P. 1999. Abiotic surface sensing and biofilm-dependent regulation of gene expression in *Escherichia coli*. – J. Bacteriol. 181: 5993-6002.

Ramey, B.E., Koutsoudis, M., von Bodman, S.B. and Fuqua, C. 2004. Biofilm formation in plant-microbe associations. – Curr. Opin. Microbiol. 7: 602-609.

Santhanam, R., Luu, V.T., Weinhold, A., Goldberg, J., Oh, Y. and Baldwin, I.T. 2015. Native root-associated bacteria rescue a plant from a sudden-wilt disease that emerged during continuous cropping. – PNAS. 112: 36. doi: 10.1073/pnas.1505765112.

Shirtliff, M.E. and Leid, J. 2009. The role of biofilms in device-related infections. – Springer Series in Biofilm. doi: 10.1007/978-3-540-68119-9.

Smith, A.L., Skerlos, S.J. and Raskin, L. 2015. Membrane biofilm development improves COD removal in anaerobic membrane bioreactor wastewater treatment. – Microb. Biothecnol. 8: 883-894.

Tancos, M.A., Chalupowicz, L., Barash, I. and Manulis-Sasson, S. 2013. Tomato fruit and seed colonization by *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* through external and internal routes. – Appl. Environ. Microbiol. 79: 6948-6957.

Unosson, E. 2015. Antibacterial strategies for titanium biomaterials. Doctoral Thesis. – Acta Universitatis Upsaliensis, Uppsala, Sweden. pp: 72.

Vijay kumar, K., Sridevi, V., Harsha, N., Chandana lakshmi, M.V.V. and Rani, K. 2013. Biofiltration and its application in treatment of air and water pollutants-A review. – IJAIEM 2: 226-231.

Wendt, C., Ives, R., Hoyt, A.L., Conrad, K.E., Longstaff, S., Kuennen, R.W. and Rose, J.B. 2015. Microbial removals by a novel biofilter water treatment system. – Am. J. Trop. Med. Hyg. 92: 765-772.

Wu, H., Moser, C., Wang, H.Z., Hoiby, N. and Song, Z.J. 2015. Strategies for combating bacterial biofilm infections. - Int. J. Oral Sci. 7: 1-7.

Yao, J. and Allen, C. 2007. The plant pathogen *Ralstonia solanacearum* needs aerotaxis for normal biofilm formation and interactions with its tomato host. – J. Bacteriol. 189: 6415-6424.

Yi, H.S., Ahn, Y.R., Song, G.C., Ghim, S.Y., Lee, S., Lee, G., Ryu, C.M. and Song, G.C. 2016. Impact of a bacterial volatile 2, 3-butanediol on *Bacillus subtilis* rhizosphere robustness. – Front. Microbiol. 7: 993, doi: 10.3389/fmicb.2016.00993.

Zeriouh, Z., de Vicente, A., Perez-Garcia, A. and Romero, D. 2014. Surfactin triggers biofilm formation of *Bacillus subtilis* in melon phylloplane and contributes to the biocontrol activity. – Environ. Microbiol. 16: 2196-2211.

Zhao, Y., Selvaraj, J.N., Xing, F., Zhou, L., Wang, Y., Song, Y., Tan, X., Sun, L., Sangare, L., Folly, Y.M.E. and Liu, Y. 2014. Antagonistic action of *Bacillus subtilis* strain SG6 on *Fusarium graminearum*. – PLOS ONE 9: 92486, doi:10.1371/journal.pone.0092486.

Zijnge, V., van Leeuwen, M.B.M., Degener, J.E., Abbas, F., Thurnheer, T., Gmur, R. and Harmsen, H.J.M. 2010. Oral biofilm architecture on natural teeth. – PLOS ONE 5: 9321, doi:10.1371/journal.pone.0009321.

*****

How to cite this article:

Khezri, M. 2019. Effects of biofilm formation in bacteria from different perspectives. – Nova Biologica Rep. 6: 70-78.

خضری، م. ۱۳۹۸. اثرات تشکیل بیوفیلم در باکتری‌ها از دیدگاه‌های مختلف. – یافته‌های نوین در علوم زیستی ۶: ۷۸-۷۰.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.24236330.1398.6.1.13.8]

[DOI: 10.29252/nbr.6.1.70]