

مجله ایمنی زیستی

دوره ۱۴، شماره ۳، پائیز ۱۴۰۰

ISSN ۲۷۱۶-۹۸۰۴ الکترونیکی، ISSN ۲۷۱۷-۰۶۳۲ چاپی

ارزیابی باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه و ایجادکننده ایمنی زیستی



[20.1001.1.27170632.1400.14.3.3.4](https://doi.org/10.1001.1.27170632.1400.14.3.3.4)

صدیقه غنائی*

مربی پژوهش مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

ghanaeisedighe60@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۰۳، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۲۹

صفحه ۶۱-۷۴

چکیده

استفاده غیراصولی از منابع خاک، کاهش حاصلخیزی و تخریب خاک و در نهایت کاهش تولید محصول را به دنبال دارد. کودهای شیمیایی به دلیل ارزان تر بودن، آسانی دسترسی و کاربرد و بازگشت سریع سرمایه، رقیب بسیار قدرتمندی برای کودهای زیستی به شمار می‌آیند. بر این اساس، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه و ایجادکننده ایمنی زیستی با رویکرد اصلاح ساختار ریشه گیاهان مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج این بررسی نشان داد، ریزوسفر گیاهان از توسعه و فعالیت جامعه بزرگ و متنوعی از موجودات زنده میکروبی از جمله موجودات تقویت‌کننده رشد گیاه حمایت می‌کند، که می‌توان از این موجودات در کنترل زیستی بیماری‌های گیاهی استفاده کرد. از جمله این عوامل تقویت‌کننده رشد، می‌توان قارچ‌های تریکودرما و سویه‌های باکتری‌های *Bacillus sp.* و *Pseudomonas sp.* را نام برد، که کاربرد زیادی در کنترل زیستی بیماری‌های گیاهی دارند. این میکروارگانیسم‌ها در مطالعه حاضر مورد بررسی قرار گرفته‌اند. یافته‌های پژوهش نشان داد که کاهش هزینه‌های تولید در مقیاس وسیع، کار دشواری است اما با تلاش و پژوهش دقیق قابل دستیابی است. علاوه بر این، تجزیه و تحلیل مزایا، خطرات و محدودیت‌های استفاده از ریزوباکترها نیازمند بررسی جامع و دقیق‌تر است. زیرا انتخاب روش مناسب کنترل بیماری‌های گیاهی بر اساس توازن در نظر گرفته می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بیولوژیک، ریزوسفر، باسیلوس، سودوموناس، PGPR

مقدمه

استفاده غیراصولی از منابع خاک، کاهش حاصلخیزی و تخریب آن و در نهایت کاهش تولید محصول را به دنبال دارد. کودهای شیمیایی از کودهای زیستی کاربرد وسیع‌تری دارند. به عبارت دیگر، کودهای شیمیایی به دلیل داشتن ویژگی‌هایی مانند ارزان‌تر بودن، آسانی دسترسی و کاربرد، بازگشت سریع‌تر سرمایه، رقیب بسیار قدرتمندی برای کودهای زیستی هستند. با این حال، کودهای شیمیایی موجب فرسودگی زمین و از بین رفتن موجودات زنده میکروبی خاک می‌شوند.

به کار گرفتن عوامل زیستی از جمله روش‌های مفید و سازگار با محیط زیست جهت کنترل بیماری‌های گیاهی است. به طوری که وقتی در کنترل بیماری‌های گیاهی از موجودات زنده‌ای استفاده شود، می‌توان بدون ایجاد اثرات نامطلوب به کنترل زیستی عوامل بیماری‌زای گیاهی پرداخت چرا که توان استقرار و زندگی در خاک و گیاه را دارند. همچنین، به طور مستقیم و یا غیرمستقیم قادر به کنترل عوامل بیماری‌زای گیاهی بوده و با تغییر خواص فیزیکی و شیمیایی خاک، فعالیت و جمعیت این موجودات مفید در خاک افزایش می‌یابد. کنترل زیستی به عنوان اساسی‌ترین رکن

مدیریت تلفیقی آفات، تضمین‌کننده بهبود کیفیت و سلامت محصول و نیز افزایش قابلیت صادرات و کاهش خطرات زیست محیطی و سلامت جامعه است. بنابراین، بهترین ابزار مدیریت تلفیقی آفات بوده و به همین سبب در سنوات اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است. این روش نسبت به روش‌های شیمیایی سالم‌تر و ایمن‌تر بوده و به عنوان یک روش پایدار محسوب می‌شود که در نتیجه آن، تعادل اکولوژیکی محیط حفظ شده و به حفظ تنوع زیستی کمک می‌کند. علاوه بر این، عوامل کنترل زیستی اغلب با سایر روش‌های کنترل، بخصوص کنترل شیمیایی سازگار بوده و می‌تواند توأم با آنها مصرف شود.

شناخت و کاربرد جمعیت‌های میکروبی در کشاورزی توجه ویژه‌ای را به خود جلب کرده است (Lucy et al. 2004; Barea et al. 2005).

همچنین افزایش بهای کودهای شیمیایی، لزوم بهره‌برداری پایدار از منابع آب و خاک و نیاز به تولید محصول سالم باعث توجه بیشتر به کودهای زیستی شده است. یکی از انواع کودهای زیستی، کودهای محتوی باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه (plant growth promoting rhizobacteria: PGPR) هستند. باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه می‌توانند به صورت

"غنایی، ارزیابی باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه و ایجادکننده ایمنی زیستی"

مستقیم یا غیرمستقیم باعث افزایش رشد گیاه شوند. سازوکارهای مستقیم شامل تثبیت ناهمزیست نیتروژن، تولید هورمون‌های گیاهی، افزایش قابلیت فراهمی عنصرهای کانی نامحلول مانند فسفر و تولید آنزیم‌هایی چون ACC دآمیناز است (Glick et al. 1999). در سازوکارهای غیرمستقیم نیز این باکتری‌ها، اثرگذاری‌های زیان‌آور یک یا شماری از بیمارگرهای گیاهی را از راه ایجاد مقاومت ساختارمند (سیستمیک) القایی یا اکتسابی، تعدیل یا خنثی می‌کنند (Mahmoudzadeh et al. 2016).

تثبیت نیتروژن مولکولی هوا، افزایش قابلیت جذب عنصرهای غذایی، تولید سیدروفور و افزایش قابلیت استفاده از آهن، اکسایش (اکسیداسیون) گوگرد، کاهش pH، انحلال ترکیب‌های نامحلول فسفات‌ها از راه ترشح اسیدهای آلی و فسفات‌ها از جمله مثال‌های کاربردی این سازوکار هستند (Tilak et al. 2006).

در بسیاری از موارد PGPR می‌تواند تلفیقی از اثرگذاری‌های بالا مانند تثبیت نیتروژن و حل‌کنندگی فسفات را به‌طور همزمان داشته باشد (Rai. 2006). منابع کودهای فسفات در جهان محدود و تولید آن‌ها هزینه‌بر است (Gyaneshwar et al. 2002).

از سویی بازده کودهای فسفری در خاک‌های آهکی بسیار پایین است. میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات که از باکتری‌های محرک رشد گیاه به شمار می‌آیند، با کاهش pH از راه ترشح اسیدهای آلی (استات، لاکتات، اکسالات، تارتارات، سوکسینات، سترات، گلوکونات، کتوگلوکونات و گلیکولات) و یا ترشح یون پروتون می‌توانند ترکیب‌های پیچیده فسفات‌های کلسیم را حل کنند. باکتری‌های ریزوبیوم که شریک‌های همزیست تثبیت‌کننده نیتروژن در لگوم‌ها هستند، همانند دیگر باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه (PGPR) می‌توانند ریشه‌های گیاهان غیرلگومی را اشغال کرده (Chabot et al. 1996) و رشد گیاه را تحریک کنند (Yanni et al. 2001). علاوه بر این، باکتری‌های ریزوبیوم می‌توانند فسفات‌های آلی و کانی را حل کنند (Antoun et al. 1998).

برتری اصلی کاربرد ریزوبیوم‌ها به‌عنوان میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات، تأثیر دوگانه سودمندی بر وضعیت تغذیه‌ای گیاه است که منجر به تثبیت نیتروژن و حل‌کنندگی فسفات می‌شوند (Peix et al. 2001). روابط متقابل هم‌افزایی (سینرژیستی) آن‌ها با قارچ ریشه (میکوریزا) آربسکولار به اثبات رسیده است (Barea et al.

با توجه به مطالب فوق و اهمیت موضوع مورد بحث هدف مطالعه حاضر تحلیل باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه جهت ایجاد ایمنی زیستی است.

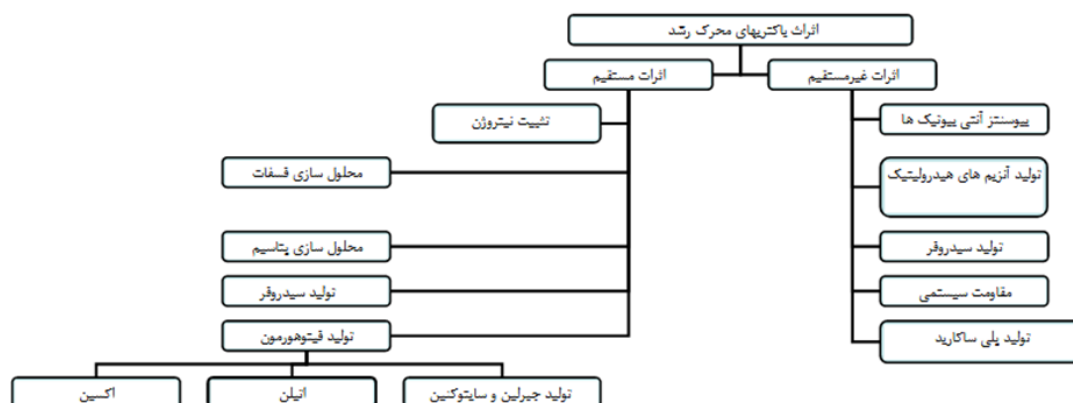
باکتری‌های PGPR

تعداد زیادی از گونه‌های باکتریایی خاک که در ریزوسفر گیاهان زندگی می‌کنند قادرند با مکانیسم‌های متفاوتی رشد گیاه را بهبود بخشند. این باکتری‌ها در مجموع ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR) نامیده می‌شوند. تحقیق در مورد این باکتری‌ها و مکانیسم‌های اثر آنها در تحریک رشد گیاه به منظور بهره‌برداری در تولید کودهای زیستی افزایش یافته است. از مهم‌ترین انواع PGPR باکتری‌های ریزوبیومی هستند (Rostamihira and ghasemi, 2017).

PGPRها به جز باکتری‌های ریزوبیوم همزیست، شامل باکتری‌های مفید ریزوسفری دیگر نظیر باکتری‌های جنس *Bacillus*، *Acetobacter*، *Azotobacter*، *Pseudomonas*، *Azospirillum*، *Herbaspirillum*، *Enterobacter* و همچنین بسیاری از باکتری‌های ناشناخته است. استفاده از PGPR به منظور بهبود رشد گیاه در بخش‌های مختلف دنیا افزایش یافته است (Lyu et al. 2020).

2005). مطالعات متعددی به بررسی و ارزیابی کارایی باکتری‌های ریزوسفری به عنوان محرک رشد در گیاهان مختلف می‌پردازند. از جمله این مطالعات مطالعه بشارتی و همکاران (۱۳۹۵) در ارزیابی تأثیر باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد بر بهبود شاخص‌های رشد گیاه سویا است که به این نتیجه دست یافتند که کارایی باکتری‌های سودوموناس در افزایش شاخص‌های رشد سویا بهتر از کارایی جدایه‌های باسیلوس و ریزوبیوم بود که دلیل احتمالی این موضوع به خاصیت محرک رشدی باکتری‌های سودوموناس مربوط می‌شود (Besharati et al. 2017). در پژوهشی دیگر محمودزاده و همکاران (۱۳۹۴)، در بررسی خود با موضوع تأثیر باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه و قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا بر خصوصیات ریخت‌شناسی و غلظت عناصر پرمصرف گیاه دارویی نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) در شرایط گلخانه به این نتیجه دست یافتند که کاربرد باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد و قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا نقش مفید و مؤثری در بهبود خصوصیات رشدی و غلظت عناصر غذایی در گیاه دارویی نعناع فلفلی دارد (Mahmoudzadeh et al. 2016).

"غنایی، ارزیابی باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه و ایجادکننده ایمنی زیستی"



شکل ۱- اثرات مستقیم و غیرمستقیم باکتری‌های محرک رشد روی گیاهان (Lyu et al. 2020).

Camellia sinensis را مورد بررسی قرار داده‌اند. این باکتری‌ها موجب بیان ژن *acdS*، تحت کنترل یک پیشبرنده ریشه شده و در نتیجه باعث تسهیل رشد گیاه، افزایش تولید دانه و بذر با کیفیت و دارای میزان روغن بالا در مزارع شور، می‌شوند. برخی از باکتری‌های PGPR با تولید سیدروفورهای خارج سلولی، رشد گیاه را تقویت می‌کنند که به کنترل چندین بیماری گیاهی کمک می‌کند، زیرا سیدروفورها آهن را نیز از دسترس عامل بیماری خارج کرده و از پیشرفت بیماری جلوگیری می‌کنند (Lucas. 2011; Lyu et al. 2020).

برخی از ترکیبات علامت‌دهنده میکروبی، تحمل گیاه به تنش را در شرایط نامساعد محیطی افزایش می‌دهند. این ترکیبات شامل فیتوهورمون‌ها و برخی ترکیبات علامت‌دهنده مخصوص هستند (Majumdar and Chakraborty, 2017).

ضعف گیاه و عدم رشد کافی در اثر عوامل مختلف غیرزنده منجر به حمله عوامل بیماری‌زای فرصت‌طلب می‌شود. بر این اساس بهبود رشد گیاه می‌تواند آن را از حمله عوامل بیماری‌زا حفظ کند. باکتری‌های PGPR از انواع مکانیسم‌های مستقیم و غیرمستقیم برای تحریک و بهبود رشد گیاه استفاده می‌کنند. مکانیسم‌های مستقیم شامل انحلال فسفات معدنی و معدنی کردن فسفات آلی به شکل قابل جذب برای گیاه، تثبیت نیتروژن، فراهم کردن آهن با ایجاد سیدروفور، تولید هورمون‌هایی نظیر جیبرلیک اسید، اکسین و سیتوکینین و تولید آنزیم ACC deaminase است. آنزیم ACC deaminase، با کاهش میزان اتیلن در ریشه‌های گیاهان در حال رشد منجر به افزایش طول ریشه و در نتیجه افزایش رشد گیاه می‌شود. پژوهشگران مزایای بالقوه استفاده از باکتری‌های محرک رشد در گیاهان به‌خصوص گیاهان تراریخته مانند

افزایش رسوب لیگنین در بافت اپیدرمی گیاه ارزن است که در واقع نوعی پاسخ دفاعی گیاه به عامل بیماری *Sclerospora graminicola* محسوب می‌شود (Panpatte et al. 2016).

از مکانیسم‌های دیگر ریزوباکترها در کنترل عوامل بیماری‌زا تولید ترکیبات پتیدی با فعالیت ضد میکروبی، مانند باکتریوسین پلی میکسین، سیرکولین و کولیستین است. باکتریوسین‌ها سموم پروتئینی هستند که توسط برخی از ریزوباکترها ترشح شده و با آسیب رساندن به سلول‌های سینوژنیک باکتری (bacterial synogenic cells)، قادر به سرکوب گونه‌های باکتریایی مشابه یا متابولیکی هستند (Paulitz and Belanger, 2001). سلول‌های سینوژنیک در بیش از ۳۰۰۰ گونه گیاهی مانند Linaceae, Rosaceae, Euphorbiaceae, Olacaceae, Clusiaceae, Gramineae, Filicaceae و نیز در موجودات دیگری مانند باکتری‌ها، قارچ‌ها، گل‌سنگ‌ها، بندپایان یا حشرات گزارش شده است. HNL‌ها همچنین در گیاهان غیرسیانوزنی مانند *Arabidopsis thaliana* کشف شدند.

برخی از سویه‌های باکتری‌های PGPR با تولید پروتئازها در کنترل قارچ‌های بیماری‌زای گیاهی نقش به‌سزایی دارند. پروتئازها مهم‌ترین آنزیم‌های

ریزوباکترها همچنین برای سرکوب عوامل بیماری‌زا از روش‌های متنوع مانند سنتز ترکیبات ضد بیمارگر، مانند سیانید هیدروژن، آنتی‌بیوتیک‌ها (Maksimov et al. 2011)، پپتیدهای ضد میکروبی، باکتریوسین‌ها و آنزیم‌هایی مانند پروتئاز و لیپاز که از مکانیسم‌های شناخته‌شده در کنترل زیستی هستند، استفاده می‌کنند (McDonald and Stukenbrock, 2016).

تولید سیانید هیدروژن یکی از سازوکارهای بسیار مهم کنترل زیستی بیمارگرهای گیاهی است. سیانید هیدروژن یک متابولیت ثانویه است که توسط برخی از باکتری‌ها مانند *Pseudomonas fluorescens* تولید شده و نقش بسیار مهمی در کنترل بیمارگرهای گیاهی دارد (Miljaković et al. 2020). مکانیسم دیگر باکتری‌های PGPR، در کنترل بیماری‌ها، تولید آنتی‌بیوتیک است. این باکتری‌ها با تولید آنتی‌بیوتیک از رشد یا فعالیت متابولیکی سایر میکروارگانیسم‌ها جلوگیری می‌کنند (Mishra et al. 2015). آنها می‌توانند با اختلال در سنتز دیواره سلولی بیمارگر، تأثیر بر ساختارهای غشایی و مهار تشکیل عوامل آغازگر در زیر واحد کوچک ریبوزوم، عامل بیماری را از بین ببرند (Nazari and Smith, 2020). به عنوان مثال باکتری *Bacillus pumilus* INR-7 قادر به

"غنایی، ارزیابی باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه و ایجادکننده ایمنی زیستی"

شده‌اند که نقش مهمی در سرکوب بیمارگرهای گیاهی دارند (Radzki et al. 2013).

مکانیسم رقابت و سرعت عمل ریزوباکترها در اشغال ریشه میزبان از دیگر مکانیسم‌های موثر در کنترل بیمارگرهای گیاهی است. باکتری‌های PGPR با اشغال سریع ریشه و در راستای جذب مواد غذایی بیشتر برای خود و جلوگیری از رشد موجودات دیگر، قادرند با سایر میکروارگانیسم‌های خاک رقابت کرده و اثرات مخرب عوامل بیماری‌زای گیاهی را کاهش دهند (Raza et al. 2016). علاوه بر این، باکتری‌های PGPR با ایجاد مقاومت سیستمیک در گیاهان نسبت به عوامل بیماری‌زا، قادر به افزایش توانایی دفاع گیاه، در مواجهه با این عوامل هستند (Salomon et al. 2017).

مقاومت القایی در بسیاری از گونه‌های گیاهی شناسایی و نشان داده شده است و در برابر طیف وسیعی از عوامل بیماری‌زای گیاهی از جمله باکتری‌ها، قارچ‌ها، ویروس‌ها و حتی علیه آفات گیاهی مؤثر شناخته شده است (Savary et al. 2019). تحقیقات نشان داده است که ترکیبات آلی فرار (volatile organic compounds) تولید شده توسط باکتری‌های PGPR نقش بسزایی در تقویت رشد گیاه و تحریک مقاومت سیستمیک (ISR)

فعال در پدیده پارازیتیسم قارچی و کنترل زیستی هستند (Punja et al. 2016). به عنوان مثال، در سال‌های اخیر یک باکتری دارای خاصیت آنتاگونیستی با توانایی تولید پروتئاز قوی به نام *Bacillus amyloliquefaciens* از ریزوسفر گیاه کف هندی، جداسازی شد که فعالیت آنتاگونیستی قابل توجهی در برابر قارچ‌های عامل بیماری مانند *Macrophomina*, *Fusarium oxysporum*, *Fusarium* و *Alternaria alternata phaseolina semitectum* دارد (Qiao et al. 2017).

تولید لیپاز توسط باکتری‌های ریزوسفر نیز مانند تولید پروتئاز از مکانیسم‌های کنترل بیمارگرهای گیاهی بشمار می‌رود. آنزیم لیپاز طی عمل لیپولیز تری گلیسیرید را به دو جزء گلیسرول و اسیدهای چرب تبدیل می‌کند (McDonald and Stukenbrock, 2016). لیپازها به میزان قابل توجهی توسط جانوران، گیاهان و میکروارگانیسم‌ها تولید می‌شوند (Raaijmakers et al. 2002). در بین باکتری‌ها جنس‌های *Bacillus*, *Acinetobacter*, *Acromobacter* و *Pseudomonas* و از میان قارچ‌ها جنس‌های *Geotrichum* و *Rhizopus* به عنوان میکروارگانیسم‌های تجاری اصلی و منابع لیپاز خارج سلولی شناسایی و معرفی

دارند (Sharma et al. 2001; Shen et al. 2013). علی‌رغم اینکه القای مقاومت سیستمیک در کنترل بیمارگرهای گیاهی مکانیسمی غیرمستقیم است اما به‌عنوان یک راهکار اصلی برای جلوگیری از تلفات زیستی در محصولات به شمار می‌رود.

نقش باکتری‌های PGPR در اصلاح ساختار ریشه گیاهان (RSA: regulation of plant root system architecture)

نوع ساختار ریشه گیاهان در گونه‌های گیاهی مختلف متفاوت است. ساختار ریشه‌ها در پاسخ به تغییر شرایط اقلیمی، زیستی، ادافیکی (edaphic) که در خاک رخ می‌دهد، بسیار قابل انعطاف است. به کنترل‌های زیست‌محیطی که به خاک وابسته هستند، عوامل ادافیک می‌گویند. توزیع عناصر غذایی در خاک به‌صورت ناهمگن است و گیاهان می‌توانند وجود مواد مغذی را حس کرده و منابع بیشتری را برای رشد به سیستم ریشه اختصاص دهند و رشد ریشه را به سمت این منابع هدایت کنند. به‌عنوان مثال می‌توان به افزایش عمق ریشه در حبوبات، گندم و ذرت مقاوم به خشکی و افزایش رشد ریشه‌ای به سمت قسمتی از خاک برای جستجوی فسفر اشاره کرد. عوامل متعددی مانند مواد غذایی و مسیرهای خاص مولکولی و

برخی از باکتری‌های PGPR احتمالاً باعث القاء سیگنال‌های هورمونی در گیاه شده و در نتیجه باعث افزایش تراکم و طول ریشه می‌شود. معماری سیستم ریشه (RSA)، شامل توپولوژی سیستم ریشه، توزیع فضایی ریشه‌های اصلی و جانبی، تعداد و اندازه ریشه‌ها است. باکتری‌های PGPR، به‌طور عمده باعث تغییر ساختار ریشه از طریق تغییرات هورمونی به نفع گیاه می‌شوند (Singh et al. 2017). این باکتری‌ها می‌توانند توسعه و رشد ریشه را از طریق تولید هورمون‌های گیاهی، متابولیک‌های ثانویه و آنزیم‌ها متعادل کنند و از این طریق باعث عملکرد بهتر ریشه در جذب مواد غذایی می‌شوند. به نظر می‌رسد بهبود رشد گیاه با افزایش تعداد و طول ریشه‌های فرعی و موئین (Smith et al. 2015) منجر به کاهش توانایی ایجاد عفونت توسط عوامل بیماری‌زای گیاهی می‌شود. این باکتری‌ها با تغییر در رونویسی ژن و بیوسنتز متابولیت‌ها در سلول‌های گیاهی، باعث تغییر در فیزیولوژی ریشه میزبان می‌شوند (Suresh et al. 2010).

موانع استفاده از ریزوباکترها

درحالی‌که بازار کنترل زیستی مبتنی بر PGPRها در حال گسترش است، اما به‌طور گسترده مورد

"غنایی، ارزیابی باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه و ایجادکننده ایمنی زیستی"

کاربرد گسترده ریزوباکترها است (Vejan et al. 2016).

بنابراین باید بقاء و استقرار روی ریشه به‌عنوان مشخصه اصلی در هنگام شناسایی و معرفی جدایه‌های مفید توسط پژوهشگران در نظر گرفته شود. چالش بعدی، لزوم انتخاب روش مناسب تولید، فرمولاسیون، حمل‌ونقل، نگهداری و ذخیره‌سازی محصولات PGPR است. بنابراین، به دنبال شناسایی سویه‌های میکروبی بالقوه قابل استفاده، دستیابی به عواملی مانند بهبود فرمولاسیون و قابلیت ماندگاری طولانی‌مدت در طی مراحل تولید، محیط‌های مختلف کشت و شرایط رشد نیز باید مورد توجه قرار گیرد (Vidyasagar et al. 2019).

ماندگاری باکتری‌های PGPR را از طریق کاهش دمای ذخیره‌سازی و یا اصلاح ترکیبات افزودنی و همراه در ترکیب می‌توان افزایش داد (Yonesi et al. 2015). در بین فرمولاسیون‌های مختلف، فرمولاسیون مایع از محبوب‌ترین اشکال است (Zhang et al. 2013). نکته حائز اهمیت این است که استفاده از عوامل طبیعی برای مبارزه با عوامل بیماری‌زا می‌تواند تنوع زیست‌محیطی را تغییر داده و یا باعث تهدید آن باشد. این موضوع یکی از چالش‌های مهم قانونی و اخلاقی در کاربرد این

استفاده قرار نمی‌گیرد و کماکان استفاده از سموم دفع آفات شیمیایی در تولید محصولات زراعی مورد توجه است (Tilak et al. 2005). برای درک بهتر از کاربرد ریزوباکترها در کنترل زیستی عوامل بیماری‌زای گیاهی به پژوهش‌های بیشتری نیاز است. زیرا در حالت ایده‌آل یک باکتری PGPR بایست دارای ویژگی‌های مفید زیادی مانند رشد سریع در شرایط آزمایشگاهی برای تولید تجاری، داشتن باکتری‌های ریزوسفری بالا، قابلیت افزایش رشد گیاه، داشتن طیف گسترده‌ای از متابولیت‌های فعال زیستی، ایمن و سازگار بودن با محیط‌زیست و سازگاری با سایر ریزوباکتری‌های محیط باشد. علاوه بر این، یک‌سویه باکتری مفید باید دارای توانایی تحمل و دوام در شرایط نامساعد محیطی نیز باشد (Vacheron et al. 2013).

اشغال و استقرار مؤثر روی ریشه یکی از ویژگی‌های مهم باکتری‌های PGPR است، زیرا تنها در صورت استقرار سویه‌های مؤثر ریزوباکترها در ریزوسفر و یا بافت‌های ریشه، عملکرد آنها در برابر عوامل بیماری‌زا به بهترین نحو نشان داده می‌شود. عملکرد نامناسب باکتری‌های PGPR تلقیح‌شده به دلیل بقای ضعیف در خاک، عدم تعامل با ارگانیسم‌های میکروبی بومی و سایر عوامل محیطی، از موانع بزرگ

باکتری‌ها است زیرا باعث ایجاد محدودیت در ورود گونه و یا جمعیت جدید به محیط خاک می‌شود (Bhardwaj et al. 2014). در این راستا، استفاده از PGPR در شرایط گلخانه تجاری که محیطی نسبتاً کنترل‌شده را در مقایسه با شرایط مزرعه فراهم می‌کند، ساده‌تر بوده و اثرات منفی کمتری نسبت به کاربرد آن در اکوسیستم دارد (Mahmoudzadeh et al. 2015).

تجزیه و تحلیل مزایا و خطرات و محدودیت‌های استفاده از ریزوباکترها نیازمند بررسی جامع و دقیق‌تر است. زیرا انتخاب روش مناسب کنترل بیماری‌های گیاهی بر اساس این توازن در نظر گرفته می‌شود. از آنجایی که شیوه عملکرد باکتری‌های PGPR متنوع است، شناسایی، ارزیابی عملکرد و ثبت سویه‌های بالقوه نیازمند زمان نسبتاً زیادی است و علاوه بر آن، نیاز به پشتیبانی بخش دانشگاهی و صنعتی نیز دارد. نکته مهم دیگر، مسئله تردید کشاورزان در پذیرش استفاده از این باکتری‌ها به منظور کنترل بیماری‌های گیاهی در سطح مزرعه است. زیرا تولیدکنندگان محصولات زراعی در این زمینه اطلاعات کافی نداشته و تأثیرات نسبتاً کندی را در روند کنترل بیماری مشاهده می‌کنند. بنابراین معرفی این باکتری‌ها و برگزاری کارگاه‌های آموزشی برای ارائه اطلاعات

لازم به بهره‌برداران، در جهت ترویج برنامه‌های کاربردی در مبارزه زیستی با استفاده از ریزوباکترها می‌تواند مفید و کمک‌کننده باشد.

نتیجه‌گیری

کنترل زیستی بر پایه استفاده از باکتری‌های PGPR دستاوردی ارزنده در کاهش مصرف سموم شیمیایی در کشاورزی و محیط‌زیست دارد. این باکتری‌ها با مکانیسم‌های مختلف موجب سرکوب عوامل بیماری‌زای گیاهی شده و در کنترل بیماری‌های گیاهی نقش بسزایی دارند. بر این اساس، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه و ایجادکننده ایمنی زیستی با رویکرد اصلاح ساختار ریشه گیاهان مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج این پژوهش در بررسی مطالعات انجام شده توسط پژوهشگران نشان داد که کاربرد این باکتری‌ها نتایج چشمگیر و رضایت‌بخشی در شرایط گلخانه‌ای داشته است ولی کاربرد گسترده‌تر محصولات زیستی PGPR مستلزم پژوهش‌ها و مطالعات بیشتر است. زیرا اثربخشی در مزرعه و مقبولیت آن توسط کشاورزان موضوعی مهم‌تر بوده تا از لحاظ قابلیت کنترل بیماری در شرایط مزرعه اطمینان حاصل شود. با توجه به اینکه این

"غنایی، ارزیابی باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه و ایجادکننده ایمنی زیستی"

باکتری‌ها تاثیر فراوانی بر میزان تولید محصولات کشاورزی دارند، باید مطالعات در مزارع و به صورت عملی در نمونه‌های کوچک باشد. از آنجایی که گلخانه‌ها محیط‌های بسته و تحت کنترلی دارند می‌توانند مکانی عالی برای ارزیابی اثربخشی استفاده از باکتری‌های PGPR و مطالعه آنها تحت تنش‌های غیرزیستی باشند. نتایج این بررسی نشان داد که ریزوسفر گیاهان از توسعه و فعالیت جامعه بزرگ و متنوعی از موجودات زنده میکروبی از جمله موجودات تقویت‌کننده رشد گیاه حمایت می‌کند، که می‌توان از این موجودات در کنترل بیولوژیک بیماری‌های گیاهی استفاده کرد. براساس نتایج موفقیت‌آمیز در آزمایشات گلخانه‌ای و قدرت بالای بازدارندگی از رشد عوامل بیماری‌زا توسط باکتری‌های PGPR و ایمن بودن آن برای محیط‌زیست، می‌توان به اجرای مبارزه زیستی جهت مدیریت بیماری یا بهبود رشد گیاهان در سطوح وسیع‌تر امیدوار بود. بنابراین، با توسعه استفاده از توان باکتری‌های محرک رشد در کشاورزی می‌توان به سمت کشاورزی پایدار گام برداشت و ضمن تولید عملکرد قابل قبول، از آلودگی محیط‌زیست جلوگیری کرده و باعث بقاء و پایداری اکوسیستم شد.

References

- Antoun H, Beauchamp, CJ, Goussard N, Chabot R, Lalande R. (1998).** Potential of *Rhizobium* and *Bradyrhizobium* species as plant growth promoting Rhizobacteria on non-legumes. *Plant and Soil*. 204: 57–67.
- Barea JM, Pozo MJ, Azco'n R, Azco'n-Aguilar C. (2005).** Microbial co-operation in the rhizosphere. *Journal of Experimental Botany*. 56: 1761–1778.
- Besharati H, Pashapour Sh, Rezazadeh M. (2017).** The evaluation of plant growth promoting rhizobacteria effect for improving soybean growth indices. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 47(4): 671–87.
- Bhardwaj D, Ansari MW, Sahoo RK, Tuteja N. (2014).** Biofertilizers function as key player in sustainable agriculture by improving soil fertility, plant tolerance and crop productivity. *Microbe Cell Fact*. 13: 66.
- Chabot R, Antoun H, Kloepper JW, Beauchamp CJ. (1996).** Root colonization of maize and lettuce by bioluminescent *Rhizobium leguminosarum* biovar phaseoli. *Applied and Environmental Microbiology*. 62: 2767–2772.
- Glick BR, Patten CL, Holguin G, Penrose DM. (1999).** Biochemical and genetic mechanisms used by plant growth promoting bacteria. Imperial College Press, London, UK, pp. 86–179.

فهرست منابع

- Gyaneshwar P, Kumar LJ, Parekh PS. (2002).** Role of microorganisms in induced by ACC deaminase containing PGPR. The American Phythological Society, MPMI. 17(8): 865–871.
- Lucas J. (2011).** Advance in plant disease and pest management. Journal of Agricultural Science. 149: 91–114.
- Lucy M, Reed E, Glick BR. (2004).** Applications of free living plant growth-promoting rhizobacteria. Antonie Leeuwenhoek. 86: 1–25.
- Lyu D, Backer R, Subramanian S, Smith D. (2020).** Phytomicrobiome coordination signals hold potential for climate change-resilient agriculture. Frontiers in Plant Science. 11: 634.
- Mahmoudzadeh M, Rasouli Sedghiani M, Asgari Lajair H. (2016).** The effect of rhizosphere bacteria stimulating plant growth and *Arbuscular mycorrhiza* fungi on morphological characteristics and concentrations of high consumption elements of peppermint (*Mentha piperita* L.) in greenhouse conditions. Science and Technology of Greenhouse Cultivation. 6 (24): 155–167.
- Majumdar S, Chakraborty U. (2017).** Optimization of protease production from plant growth promoting *Bacillus amyloliquefaciens* showing antagonistic activity against phytopathogens. International Journal of Pharma and Bio Sciences. 8: 635–642.
- Maksimov IV, Abizgil'dina RR, Pusenkova LI. (2011).** Plant growth promoting *Rhizobacteria* as alternative to chemical crop protectors from pathogens (review). Applied Biochemistry and Microbiology. 47: 333–345.
- McDonald BA, Stukenbrock EH. (2016).** Rapid emergence of pathogens in agro-ecosystems: global threats to agricultural sustainability and food security. Philosophical Transactions of the Royal Society Biological Sciences. 371: 20160026.
- Miljković D, Marinković J, Balešević-Tubić S. (2020).** The significance of *Bacillus* spp. in disease suppression and growth promotion of field and vegetable crops. Microorganisms. 8: 1037.
- Mishra J, Tewari S, Singh S, Arora N. (2015).** Biopesticides: where we stand? Plant microbe's symbiosis: applied facets in plant microbes symbiosis: Applied facets. Ed. Arora N. ResearchGate.
- Nazari M, Smith DL. (2020).** A PGPR-produced bacteriocin for sustainable agriculture: a review of thuricin 17 characteristics and applications. Frontiers in Plant Science. 11: 916.
- Panpatte DG, Jhala YK, Shelat HN, Vyas RV. (2016).** *Pseudomonas fluorescens*: a promising biocontrol agent and PGPR for sustainable agriculture in Microbial inoculants in sustainable agricultural productivity. Eds. Singh D., Singh H. and Prabha R, 1: 257–270.
- Paulitz TC, Belanger RR. (2001).** Biological control in greenhouse systems. Annual Review of Phytopathology. 39: 103–133.
- Peix A, Rivas-Boyer AA, Mateos PF, Ridriguez-Barrueco C, Martinez-Molina E, Velazquez E. (2001).** Growth promotion of chickpea and barley by a phosphate solubilizing strain of *Mesorhizobium mediterraneum* under growth chamber conditions, Soil Biology and Biochemistry. 33: 103–110.
- Punja ZK, Rodriguez G, Tirajoh A. (2016).** Effects of *Bacillus subtilis* strain qst 713 and storage temperatures on post-harvest disease development on greenhouse tomatoes. Crop Protection. 84: 98–104.
- Qiao J, Yu X, Liang X, Liu Y, Borriss R, Liu Y. (2017).** Addition of plant-growth-promoting *Bacillus subtilis* pts-394 on tomato rhizosphere has no durable impact on composition of root microbiome. BMC Microbiology. 17:131.
- Raaijmakers JM, Vlami M, de Souza JT. (2002).** Antibiotic production by bacterial biocontrol agents. Antonie van Leeuwenhoek. 81: 537.
- Radzki W, Mañero F, Algar E, Lucas J, García-Villaraco A, Ramos B. (2013).** Bacterial siderophores efficiently provide iron to iron-starved tomato plants in hydroponics culture. Antonie van Leeuwenhoek. 104: 321–330.
- Rai MK. (2006).** Hand book of microbial biofertilizers. Food products press, an imprint of the aworth press, Inc. p.p. 137–182.

- Raza W, Ling N, Yang L, Huang Q, Shen Q. (2016). Response of tomato wilt pathogen *Ralstonia solanacearum* to the volatile organic compounds produced by a biocontrol strain *Bacillus amyloliquefaciens* SQR-9. Scientific Reports. 6: 24856.
- Rostamihira M, Ghasemi S. (2017). Development of sustainable agriculturen by using plant growth promoting rhizobacteria (PGPR). Conference on organic vs. conventional agriculture.
- Salomon MV, Funes Pinter I, Piccoli P, Bottini R. (2017). Use of plant growth-promoting rhizobacteria as biocontrol agents: induced systemic resistance against biotic stress in plants in Microbial applications. Biomedicine, agriculture and industry. ed. Kalia V. C. 2: 133–152.
- Savary S, Willocquet L, Pethybridge SJ, Esker P, McRoberts N, Nelson A. (2019). The global burden of pathogens and pests on major food crops. Nature Ecology & Evolution. 3(3): 430–439.
- Sharma R, Chisti Y, Chand Banerjee U. (2001). Production, purification, characterization and applications of lipases. Biotechnology Advances. 19: 627–662.
- Shen X, Hu H, Peng H, Wang W, Zhang X. (2013). Comparative genomic analysis of four representative plant growth-promoting rhizobacteria in pseudomonas. BMC Genomics. 14: 271.
- Singh VK, Singh AK, Kumar A. (2017). Disease management of tomato through PGPB: current trends and future perspective. 3 Biotechnology. 7(4): 255.
- Smith D, Praslickova D, Ilangumaran G. (2015). Inter-organismal signaling and management of the phytomicrobiome. Frontiers in Plant Science. 6: 722.
- Suresh A, Pallavi P, Srinivas P, Praveen Kumar V, Jeevan Chandra S, Ram Reddy S. (2010). Plant growth promoting activities of *Pseudomonas fluorescent* associated with some crop plants. African Journal of Microbiology Research. 14: 1491–1494.
- Tilak KVBR, Ranganayaki N, Pal KK, De R, Saxena AK, Shekhar Nautiyal C, Tripathi AK, Johri BN. (2005). Diversity of plant growth and soil health supporting bacteria. Current Science. 89: 136–150.
- Tilak KV, Rangayanki N, Manoharachari C. (2006). Synergistic effects of plant-growth promoting rhizobacteria and hizobiumon nodulation and nitrogen fixation by pigeonpea (*Cajanus cajan*). European Journal of Soil Science, 57: 67–71.
- Vacheron J, Desbrosses G, Bouffaud ML, Touraine B, Moënné-Loccoz Y, Muller D, Legendre L, Wisniewski-Dyé F, Prigent-Combaret C. (2013). Plant growth-promoting rhizobacteria and root system functioning. Frontiers in Plant Science. 4: 356
- Vejan P, Abdullah R, Khadiran T, Ismail S, Nasrulhaq Boyce A. (2016). Role of plant growth promoting rhizobacteria in agricultural sustainability: a review. Molecules. 21: 573.
- Vidyasagar M, Prakash S, Mahajan V, Shouche YS, Sreeramulu K. (2009). Purification and characterization of an extreme Halothermophilic protease from a Halophilic bacterium *Chromohalobacter* sp. Brazilian Journal of Microbiology. 40: 12–19.
- Yanni YG, Rizk RY, Corich V, Squartini A, Ninke K, Philip-Hollingworth S, Orgambide G, de Bruijn F, Stolfus J, Buckley D, Schmidt TM, Mateos PF, Ladha JK, Dazzo FB. (2001). Natural endophytic association between *Rhizobium leguminosarum* bv. trifolii and rice roots and assessment of its potential to promote rice growth. Plant and Soil. 194: 99–114.
- Yonesi S, Asgharzadeh A, Darvish Kojouri F. (2015). Study of plant growth-promoting properties of strans of *Bacillus* bacteria. 2nd International Conference on Agricultural Engineering and Natural Resources.
- Zhang Y, Lubberstedt T, Xu M. (2013). The genetic and molecular basis of plant resistance to pathogens. Journal of Genetics and Genomics. 40: 23–35.

Evaluation of Rhizosphere Bacteria Stimulating Plant Growth and Promote Biosecurity

Sedighe Ghanaei*

M.Sc., Member of scientific board Research Institute of Forests and Rangeland, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO) Research Institute of Forests and Rangeland, Tehran.

ghanaeisedighe60@gmail.com

Abstract

Improper use of soil resources leads to reduced fertility and soil degradation, and ultimately reduced crop production. Chemical fertilizers are a very strong competitor to biofertilizers because they are cheaper, easier to access, and faster return on investment. Accordingly, the aim of this study was conducted to evaluate the rhizosphere bacteria that stimulate plant growth and provide biosecurity with the approach of modifying the root structure of plants. The study showed that the rhizosphere supports the development and activity of a large and diverse community of microbial organisms, including organisms in plant growth, which can be used in the biological control of plant diseases. *Bacillus* sp. and *Pseudomonas* sp. It also causes an increase in all biological diseases. These microorganisms are investigated in the present study. Findings showed that reducing production costs on a large scale is a difficult task but can be achieved with careful research. In addition, the analysis of the benefits, risks, and limitations of the use of Rhizobacteria requires a more comprehensive and detailed investigation. Because the choice of appropriate method of plant disease control is based on balance.

Keywords: Biological, Rhizosphere, *Pseudomonas*, *Basillus*, PGPR.