



نقش باکتری‌های درون‌رست در کشاورزی پایدار

فائقه اطمینانی^۱، ادیبه اطمینانی^۲ و بهروز حریقی^۱✉

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیار بیماری‌شناسی گیاهی، گروه گیاه‌پزشکی، دانشگاه کردستان، سنندج

۲- کارشناس ارشد زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۱/۲۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۴/۰۱

اطمینانی ف.، اطمینانی ا. و حریقی ب. ۱۳۹۵. نقش باکتری‌های درون‌رست در کشاورزی پایدار. دانش بیماری‌شناسی گیاهی ۵(۲): ۷۱-۸۰.

چکیده

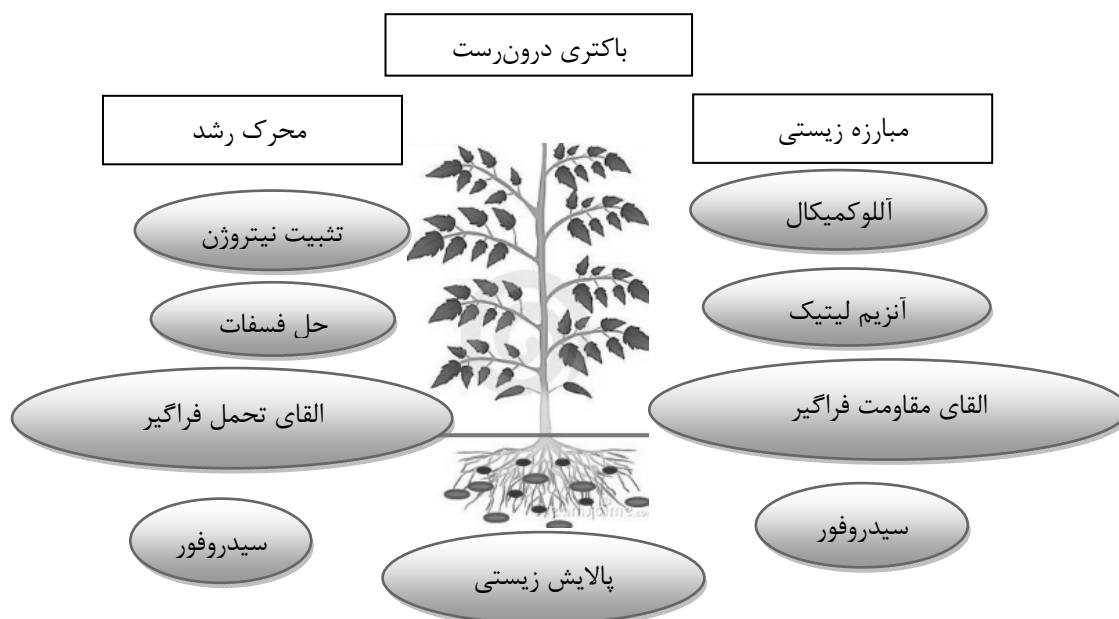
امنیت غذایی، مهم‌ترین چالش جهان امروز است. این چالش در مناطقی که ویژگی‌های اقلیمی و محیطی نامساعد دارند، اهمیت بیشتری دارد. بحران امنیت غذایی موجب تشدید مشکلات زیست‌محیطی و بوم‌شناختی شده است زیرا برای افزایش محصول، سال‌ها افزایش استفاده از کودها و سموم شیمیایی مدنظر بوده است. کاربرد بعضی باکتری‌های درون‌رست که قادر به افزایش عملکرد گیاه میزبان از راه‌هایی همچون تثبیت نیتروژن، حل فسفات، تولید هورمون‌های گیاهی، توانایی مهار زیستی بعضی بیمارگرهای خاک‌زاد و افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌های غیرزیستی می‌باشند، راهی برای رسیدن به کشاورزی پایدار است.

واژه‌های کلیدی: درون‌رست، جیبرلین، *Burkholderia*

مقدمه

طی دو دهه‌ی اخیر بحث پایداری از اقبال روزافزونی برخوردار بوده است که دلیل آن را می‌توان نگرانی‌های مربوط به زوال منابع محیطی، دغدغه‌های مربوط به کیفیت مواد غذایی از سوی مصرف‌کنندگان و روند نزولی کیفیت زندگی در جوامع روستایی دانست. از سوی دیگر مهم‌ترین چالش کشاورزی ایران در آینده، امنیت غذایی جمعیت در حال رشد است و برای غلبه بر این چالش، باید از رهیافتی سیستمی و مبتنی بر مفاهیم پایداری بهره‌گرفت (کامکار و مهدوی دامغانی ۱۳۸۷). برای دستیابی به کشت بوم‌های پایدار کشاورزی باید کارایی عملیات، فرآیندها و نهاده‌ها را افزایش داد و با جایگزینی نهاده‌های بوم‌سازگار و طبیعت‌دوستانه برای حل بحران اقدام نمود. باکتری‌های درون‌رست

✉مسئول مکاتبه، پست الکترونیک: bharighi@uok.ac.ir



شکل ۱- سازوکارهای باکتری‌های درون‌رست در مبارزه زیستی و تولید مواد محرک رشد گیاهان (Prabhat et al. 201).

(Endophyte) با حفظ بقای خود در جمعیت‌های کم داخل گیاه میزبان، معمولاً نه تنها زیانی به میزبان نمی‌رسانند، بلکه با اعمال سازوکارهای مختلف قادر به تثبیت نیتروژن، حل فسفات، تولید سیدروفور، تولید هورمون‌های رشد گیاهی، مبارزه بیمارگرها، قابلیت القای مقاومت فراگیر و توانایی پالایش زیستی می‌باشند که در شکل ۱ قابل مشاهده است. این باکتری‌های با سازوکارهایی به این شرح به افزایش رشد و نمو گیاهان کمک می‌کنند.

۱- تثبیت نیتروژن

تثبیت زیستی نیتروژن از راه‌های اصلی تأمین نیتروژن مورد نیاز برای گیاهان است. پروکاریوت‌ها (باکتری‌ها و سیانوباکتری‌ها) قادر به تثبیت نیتروژن هستند. باکتری‌های دیازوتروف (Diazotroph) قادرند هم به صورت آزادی و هم طی رابطه همزیستی، نیتروژن اتمسفری را به کمک آنزیم نیتروژناز به آمونیاک تبدیل کنند. یکی از شناخته‌شده‌ترین راه‌ها در سیستم کشاورزی پایدار، استفاده از باکتری‌های ریزوبیوم همزیست با بقولات است؛ اما از اشکالات آن محدود بودن این باکتری‌ها به گونه‌های مشخصی از گیاهان است. لذا باید به دنبال راه‌حل مناسب‌تری بود، باکتری‌های درون‌رست در میزبان‌های مختلف شناسایی شده‌اند که در قیاس با سایر باکتری‌های فراریشه تثبیت کننده نیتروژن، موفق‌تر عمل می‌کنند چرا که قادر به تأمین مستقیم نیتروژن مورد نیاز برای گیاه میزبان خود هستند، از علت‌های برتری باکتری‌های درون‌رست یکی به فضای درون رستی برمی‌گردد که به دلیل غلظت اندک اکسیژن در محیط درون رستی امکان فعالیت آنزیم نیتروژناز فراهم گردیده و از طرف دیگر باکتری‌های درون‌رست کمتر برای دستیابی به مواد غذایی با سایر ریزوموجودات در رقابت هستند و از تنش‌های زیستی و غیرزیستی محیط تا حدود زیادی در امان

هستند. کاربرد باکتری‌های درون‌رست جهت تثبیت نیتروژن و افزایش راندمان محصولات مختلف در کشاورزی پایدار مرسوم شده است. از جمله باکتری‌های درون‌رست دیازوتروف می‌توان *Achromobacter*, *Azoarcus*, *Serratia*, *Klebsiella*, *Herbaspirillum*, *Gluconoacetobacter*, *Burkholderia* را نام برد. باکتری‌های درون‌رست مختلفی از گیاهان غیرلگوم همچون برنج، ذرت، سورگوم و گندم گزارش شده است که قادر به تثبیت نیتروژن هستند (Rothballer et al. 2008). در نیشکر باکتری (*Gluconoacetobacter diazotrophicus*) قادر به تثبیت سالانه ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هر هکتار است. هم‌چنین باکتری دیازوتروف *Azoarcus* در خاک‌های شور و قلیائی قادر به افزایش ۲۰ تا ۴۰ تن محصول در گیاه *kallar grass* می‌باشد (Dobereiner et al. 1993). میزان تثبیت نیتروژن توسط باکتری‌های درون‌رست مختلف در دو گیاه برنج و نیشکر در جدول ۱ آورده شده است.

۲- حل فسفات

فسفر بعد از نیتروژن یکی از مهم‌ترین عناصر کلیدی در گیاه به حساب می‌آید. این عنصر در بسیاری از فعالیت‌های متابولیکی همچون فتوسنتز، تنفس و سنتز ماکرومولکول‌ها نقش کلیدی ایفا می‌کند. در سطح سلولی نیز آنچه اهمیت فسفر را نشان می‌دهد حضور ناقل‌های انرژی مانند آدنوزین‌تری‌فسفات است که این ناقل‌ها حاوی فسفات مولکولی بوده و با آزاد کردن هر فسفات، مقدار مشخصی انرژی آزاد می‌کنند لذا انرژی فعالیت‌های سلولی را تأمین می‌نمایند. فسفر به دو فرم آلی و معدنی در خاک وجود دارد که شکل آلی آن به‌صورت ترکیبات فیتین، فسفولیپیدها و اسیدهای نوکلئیک است، این در حالی است که فرم غیرآلی آن به‌صورت کمپلکس‌های معدنی غیر قابل حل می‌باشد که معمولاً بعد از استفاده از کودهای شیمیائی بیشتر تشدید می‌شود. فرم غیر قابل حل در خاک ته‌نشین شده و غیر قابل جذب برای گیاه می‌گردد. از آنجا که کاربرد کودهای شیمیائی نمی‌تواند فرم مطلوب و قابل حل فسفات را به خاک بیفزاید عملاً بخش عمده آن غیر قابل استفاده برای گیاه است. ملاحظه شده که از ۴۰۰ تا ۴۰۰۰ کیلوگرم فسفات استفاده‌شده، تنها یک درصد و در مطلوب‌ترین شرایط تنها ۱۰ تا ۳۰ کیلوگرم آن قابل جذب برای گیاه خواهد بود (Quiquampoix & Mousain 2005). اثر منفی کودهای شیمیائی فسفات بر فعالیت بعضی ریزجانداران مفید خاک و تولید بعضی موادپادزی‌ها توسط آن‌ها مانند اکتیدیون (Actidione) به اثبات رسیده است (Bolan et al. 1996).

جدول ۱- سهم باکتری‌های درون‌رست در تثبیت نیتروژن (Prabhat et al. 2013)

منبع	نیتروژن تثبیت‌شده از هوا (درصد)	گیاه میزبان	باکتری درون‌رست
Baldani & Baldani 2005	۳۱	برنج	<i>Burkholderia</i> sp.
Oliveira et al. 2002	۲۹	نیشکر	<i>Gluconobacter diazotrophicus</i>

بر اساس تحقیقات صورت گرفته استفاده از سوپرفسفات (به مقدار ۹۴ کیلوگرم در هکتار) در جنگل‌های سوزنی‌برگان موجب کاهش تنفس و شاخص متابولیکی (qCO_2) می‌گردد (Chandini & Dennis 2002). لذا ضرورت دارد راه‌حل طبیعت دوستانه و در عین حال از نظر اقتصادی با صرفه‌تر پیشنهاد شود تا مشکلات کودهای شیمیایی تا حدودی برطرف گردد و در نهایت به بهبود عملکرد محصولات زراعی و باغی بینجامد. کاربرد باکتری‌های درون‌رست با قابلیت حل فسفات می‌تواند در این زمینه راهگشا باشد. باکتری‌های حل‌کننده فسفات قادر به آزاد کردن فسفر از فسفات معدنی از طریق تولید ترکیباتی همچون اسیدهای آلی نظیر اسید گلوکونیک، اسید سیتریک و تولید سیدروفور می‌باشند. از طرفی سنتز آنزیم‌هایی مانند فسفاتازهای خارج سلولی، فیتازها و فسفوناتازها، فسفر قابل حل را از ترکیبات آلی خاک آزاد می‌کند. گزارش‌هایی حاکی از نقش مثبت پلی‌ساکاریدهای خارج سلولی این باکتری‌ها در حل فسفات وجود دارد (Sims & Pierzynski 2005).

۳- تولید هورمون‌های رشد گیاهی

اکسین که از معمول‌ترین پیش ماده‌های آن اسید ایندول استیک است، از هورمون‌های ضروری برای رشد و نمو گیاهان است که به طول شدن سلول، حفظ غالبیت جوانه انتهایی، کمک به تشکیل بافت‌های آوندی کمک می‌نماید (Reinhold-Hurek & Hurek 2011). اسید ایندول استیک در غلظت‌های پایین مانع از سنتز اتیلن می‌گردد این در حالی است که در غلظت‌های بالا در افزایش سنتز اتیلن نقش دارد. بسیاری از باکتری‌های درون‌رست متعلق به جنس‌های مختلف مانند *Flavobacterium*، *Pseudomonas*، *Bacillus*، *Erwinia* قادر به القای تولید بیشتر اسید ایندول استیک در گیاه میزبان هستند و باعث بهبود رشد گیاهان مختلفی از جمله سویا، سیب‌زمینی، ارکیده، توت‌فرنگی و بسیاری از درختان می‌شوند. بعضی از این باکتری‌ها هم‌چنین با تولید آنزیم آمینوسیکلوپروپان کربوکسیلیک اسید دامیناز (Acc deaminase) قادر به تنظیم سطح اتیلن می‌گردند در حقیقت اسید آمینوسیکلوپروپان کربوکسیلیک یک پیش ماده غیر پروتئینی است که به اتیلن اکسید می‌شود و باکتری‌های درون رست تولیدکننده آنزیم آمینوسیکلوپروپان کربوکسیلیک اسید دامیناز با تجزیه اسید آمینوسیکلوپروپان کربوکسیلیک و استفاده از آن به عنوان منبع کربن و نیتروژن از مقدار پیش ماده اتیلن تا حدودی کاسته و امکان افزایش رشد گیاه میزبان را در شرایط نامساعد محیطی فراهم می‌سازند. باکتری‌های القا کننده تولید اسید ایندول استیک با تولید و توسعه ریشه قادر به تأمین آب مورد نیاز خود هستند و می‌توانند در القای مقاومت فراگیر (Induced systemic resistance) گیاه میزبان در شرایط تنش آبی نقش ایفا کنند. باکتری‌های درون رست دیگری متعلق به جنس‌های آزوسپریلیوم، گلوکونونیتروژنوباکتر و هرباسپریلیوم قادر به تولید هورمون جیبرلین در میزبان خود می‌گردند باکتری *Pantoea agglomerans* قادر به تولید هم‌زمان هورمون‌های گیاهی آبسزیک اسید، جیبرلین، سیتوکینین و ایندول اسید استیک است (Bottini et al. 2004).

جدول ۲- تاثیر باکتری‌های درون‌رست بر تحمل گیاهان به تنش‌های محیطی (Yang et al. 2009).

اثر	فعالیت	ماده باکتریایی تولیدشده	باکتری
باعث افزایش طول ریشه طی تنش می‌گردد	ممانعت از تنش اتیلن	آمینوسیکلوپروپان کربوکسیلات دهیدروژناز	<i>Achromobacter piechaudii</i> ARV8
کاهش تجمع سدیم	تنظیم ناقل‌های پتاسیم طی تنش شوری	ترکیبات آلی فرار	<i>Bacillus subtilis</i> GB03
ممانعت از تخریب سلولی	حذف اُکسیدانت‌های تولیدشده طی تنش	آنتی‌اکسیدانت	<i>Pseudomonas mendocina</i>
تنظیم باز شدن روزنه‌ها و افزایش رشد گیاه	تأثیر بر سیگنال‌های اسید آبسزیک	سیتوکینین	<i>Paenibacillus polymyxa</i>

۴- القای تحمل فراگیر

بعضی باکتری‌های درون‌رست در شرایط نامساعد محیطی مانند تنش‌های خشکی، شوری، کمبود یا بیش‌بود مواد غذایی، دماهای بالا و حضور فلزات سنگین قادر به افزایش تحمل گیاه می‌گردد. به افزایش تحمل گیاهان در برابر تنش‌های غیرزیستی القای تحمل فراگیر (Induced Systemic Tolerance) اطلاق می‌شود. القای این تحمل از راه تولید مواد مختلف مانند ۱- آمینوسیکلوپروپان ۱- کربوکسیلات دامیناز، آنتی‌اکسیدانت‌ها، سیتوکینین یا ترکیبات آلی فرار (Volatile organic compounds) صورت می‌گیرد (جدول ۲).

۵- پالایش زیستی

باکتری‌های درون‌رست قادر به پالایش زیستی آلاینده‌ها از محیط‌زیست هستند. این دسته از باکتری‌ها با استفاده از ترشحات ریشه و ترکیبات غذایی گیاه می‌توانند به عنوان منبع انرژی، قادر به تجزیه آلاینده از محیط مجاور خود می‌باشند. برای مثال دانشمندان متوجه شده‌اند باکتری درون‌رست جداسازی شده از بذر تنباکو، قادر به کاهش سمیت کادمیوم است. برخی از باکتری‌های درون‌رست به دلیل مقاومت به فلزات سنگین، می‌توانند در گیاه پالایی و رفع آلودگی‌های خاک و آب نقش مؤثری ایفا نمایند. اخیراً باکتری‌های درون‌رست از جنس *Pseudomonas* به‌منظور تجزیه سوخت، تولوئن و فلزات سنگین مورد توجه طرفداران محیط‌زیست قرار گرفته‌اند. به‌علاوه مهندسان ژنتیک با القای ژن‌های آنزیم تجزیه‌کننده آلاینده‌ها به باکتری‌های فاقد این توانایی، امکان پالایش هرچه بیشتر محیط را فراهم ساخته‌اند (De Bashan et al. 2012).

۶- نقش باکتری‌های درون‌رست در مبارزه زیستی با بیمارگرهای گیاهان

جهت کاهش خسارت بیمارگرهای گیاهی، کاربرد ریزموجودات، در مقایسه با سایر روش‌ها، اقتصادی‌تر به نظر می‌رسد در عین حال به پایداری و حفاظت فلور خاک کمک می‌کند. زمانی مبارزه زیستی موفق عمل می‌کند که در شرایط متفاوت محیطی، غلظت‌های یونی متفاوت، اسیدیته و دماهای مختلف فعال باقی بماند. مبارزه‌کننده‌های زیستی با تولید ترکیبات تعارضی، رقابت برای جذب آهن، سمیت‌زدایی و تجزیه فاکتورهای بیماری‌زایی به صورت مستقیم و با القای مقاومت فراگیر در گیاهان در برابر بیمارگرها، ایجاد رقابت بر سر فضای زیستی و ترکیبات غذایی، اختلال در بقا و تأثیر بر جوانه‌زنی و هاگ‌زایی بیمارگر به صورت غیرمستقیم در مبارزه زیستی بیمارگر نقش دارند (Lugtenberg & Kamilova 2009). مثال‌هایی از توانایی باکتری‌های درون‌رست در مبارزه بیمارگرها در جدول ۳ آورده شده است. سازوکارهای بازدارندگی باکتری‌ها از رشد و تکثیر بیمارگرها عبارتند از:

۶-۱- توانایی تعارضی: باکتری‌های درون رست با سازوکارهای مختلفی مانند تولید موادپادزی، سیدروفور و سنتز آنزیم‌های لیتیک قادر به ممانعت از رشد بیمارگرهای قارچی می‌گردند. ترکیبات شیمیایی مختلف به‌عنوان عامل مبارزه‌کننده زیستی شناخته شده‌اند. باکتری‌های گرم منفی مانند سودوموناس قادر به تولید هیدروژن سیانید (HCN)، پیولوتورین (Pyoleutorin)، پیرولنترین (Pyrrolnitrin)، ۲ و ۴ دی استیل فلوروگلوکوسینول (2,4-dicetylphloroglucinol)، فنازین ۱- کربوکسیلیک اسید (16-Phenazin-1-carboxylic acid) و فنازین ۱- کربوکسامید (Phenazine-1- carboxamide) هستند (Lugtenberg & Kamilova 2009).

۶-۱-۱- تولید موادپادزی: نقش موادپادزی تولیدشده به‌وسیله هر عامل مبارزه‌کننده زیستی جهت مبارزه بیمارگر قارچی ممکن است بسته به گونه آن متفاوت باشد. مبارزه *Sclerotinia sclerotiorum* به کمک پیرولنترین تولیدشده توسط باکتری *Pseudomonas chlororaphis* PA23 در ابتدا صورت می‌پذیرد درحالی‌که فنازین در تشکیل بیوفیلم اثر می‌گذارد، اما فنازین تولیدشده از باکتری *Pseudomonas chlororaphis* strain 1391 جهت مبارزه پوسیدگی فوزاریومی ریشه و میوه توت‌فرنگی مؤثر است. سایر ترکیبات ممانعت‌کننده مانند اسید گلوکونیک (gluconic acid)، ۲ هیدروکسی -۵- پروپیل رزورسینول (2-hexyl-5-propyl resorcinol)، میونومیسین (munumbicin) و تعدادی از ترکیبات آلی فرار ۲،۳ بوتانیدیول (butanediol) توسط باکتری تولید می‌گردند (2008 Backman & Sikora). میزان تولید موادپادزی به فاکتورهای غذایی، نوع کربن، عناصر زائد و تأثیر سایر ترکیبات محیطی بستگی دارد (Compant et al. 2005).

۶-۱-۲- سیدروفور: در شرایط کمبود آهن، تعدادی از عوامل مبارزه‌کننده زیستی قادر به تولید سیدروفور هستند که به‌عنوان کلات‌کننده آهن بوده و آن را به فرم قابل استفاده برای گیاه میزبان تبدیل می‌نمایند و از دسترس

جدول ۳- مبارزه زیستی با بیمارگرهای گیاهی به کمک باکتری‌های درون‌رست (Prabhat et al. 2013).

بیمارگر	گیاه میزبان	باکتری درون‌رست
<i>Colletotrichum falcatum</i>	نیشکر	<i>Pseudomonas. fluorescens</i> Ep1
<i>Botrytis cinerea</i>	انگور	<i>Burkholderia phytofirmans</i> PsJN
<i>Verticillium dahliae</i>	گوجه‌فرنگی	<i>Burkholderia phytofirmans</i> PsJN
<i>Ceratocystis fagacearum</i>	بلوط	<i>Pseudomonas. Putida</i> 5-48
<i>F.oxysporum</i> f.sp. <i>psi</i>	نخود	<i>Bacillus pumilus</i> SE34
<i>F.oxysporum</i> f.sp. <i>vasinfectum</i>	پنبه	<i>Bacillus pumilus</i> SE34
<i>Pseudomonas syringae</i>	آرابیدوپسیس	<i>Bacillus cereus</i> AR156

ریز موجودات بیمارگر خارج می‌سازند. تولید سیدروفور برای فعالیت باکتری‌های دیازوتروف که برای فعالیت آنزیم نیتروژناز خود به آهن و مولیبدن نیاز دارند، بسیار حیاتی به نظر می‌رسد (Rajkumar et al. 2010).

۳-۱-۶- تولید آنزیم‌های هیدرولیتیک: تولید آنزیم‌های هیدرولیتیک مانند کیتیناز، بتا ۱ و ۳ گلوکاناز، پروتئاز و لامیناریناز یکی دیگر از سازوکارهای مهار زیستی است. برای مثال باکتری‌های *Serratia marcescens* و *Paenibacillus* sp. برای مبارزه با *Sclerotium rolfsii* و *Fusarium oxysporum* f.sp. *cucumerinum* قادر به ترشح کیتیناز هستند و باکتری *Bacillus cepacia* جهت نابودی قارچ‌های *Rhizoctonia solani* و *R. rolfsii* و *Pythium ultimum* آنزیم بتا ۱ و ۳ گلوکاناز تولید می‌کند. تولید پروتئاز و کیتیناز از سازوکارهای متداول برای فعالیت تعارضی گونه‌های *Enterobacter* و *Pantoea* جهت حذف *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum* به شمار می‌آید (Compant et al. 2005, Backman & Sikora 2008).

۲-۶- القای مقاومت فراگیر: باکتری‌های درون‌رست قادر به بهبود مقاومت گیاه میزبان در برابر حمله بیمارگرها می‌شوند که در اصطلاح به آن القای مقاومت فراگیر می‌گویند. ترکیبات تولید شده توسط باکتری‌ها به‌عنوان ایستور با القای مقاومت در گیاه میزبان به لیگاندهای احتمالی خود متصل شده که این ایستورها می‌تواند لیپوپلی‌ساکاریدها، تاژک، سیدروفور، موادپادزی و یا مواد آلی فرار باشند. اغلب اتیلن و جاسمونات قادر به القای این نوع مقاومت در گیاهان می‌گردند (Van loon 2007). مقاومت القایی فراگیر موجب تقویت دیواره سلولی، تغییر پاسخ متابولیکی و فیزیولوژی میزبان و تولید مؤثر در دفاع، مانند ترکیبات فنولی و پروتیین‌های مرتبط با بیماری‌زائی (PR-1, PR-2, PR-5)، کیتیناز، پراکسیداز، فنیل‌آلانیل‌آمونیا لیا، فیتوالکسین و اکسیداز می‌گردد. این مواد گیاه میزبان را از حمله بعدی بیمارگر مصون می‌دارند، اگرچه این مصونیت بسته به نوع ژنوتیپ گیاه میزبان متفاوت خواهد بود (Compant et al. 2005).

۳-۶- مبارزه زیستی با نماتدها: تعدادی از باکتری‌های ریزوسفری و درون رست قادر به مبارزه نماتدهای بیمارگر می‌باشند. برای مثال از باکتری‌های شناخته‌شده می‌توان به *Pseudomonas spp.* و *Bacillus spp.* اشاره نمود که با سازوکارهای مختلفی همچون تولید مواد پادزیستی مختلف مانند ۲ و ۴ دی استیل فلوروگلوکوسینول، هیدروژن سولفید، کیتیناز و هیدروژن سیانید قادر به فعالیت تعارضی بر علیه نماتدهای انگل گیاهان هستند (Tian et al. 2007).

نتیجه‌گیری

توانایی مؤثر باکتری‌های درون‌رست در افزایش رشد گیاه میزبان در شرایط متفاوت محیطی می‌تواند راه‌حل نویدبخشی برای تأمین غذای جمعیت گرسنه مردم جهان باشد. آن‌ها از راه‌هایی همچون تثبیت نیتروژن، حل فسفات، تولید هورمون‌های گیاهی، توانایی مهار زیستی بعضی بیمارگرهای خاک‌زاد و افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌های غیرزیستی، باعث افزایش رشد، نمو و عملکرد گیاهان می‌شوند. بنابراین پژوهش‌های بیشتر برای یافتن جدایه‌های کارآمد این باکتری‌ها و تکثیر و کاربرد آن‌ها برای افزایش تولید محصولات کشاورزی، باغی و جنگلی و رسیدن به کشاورزی آلی (Organic) پایدار پیشنهاد می‌شود.

References

منابع

۱. کامکار ب. و مهدوی دامغانی ع. ا. ۱۳۸۷. مبانی کشاورزی پایدار. جهاد دانشگاهی مشهد، ۳۱۵ ص.
2. Backman P. A. & Sikora R. A. 2008. Endophytes: An emerging tool for biological control. *Biological Control* 46:1-3.
3. Baldani J. I. & Baldani V. L. D. 2005. History on the biological nitrogen fixation research in graminaceous plants: special emphasis on the Brazilian experience. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 77:549-579.
4. Biswas J. C., Ladha J. K., Dazzo F. B., Yanni Y. G. & Rolfe B. G. 2000. Rhizobial inoculation influences seedling vigor and yield of rice. *Agronomy Journal* 92:880-886.
5. Bolan N. S., Currie L. D. & Baskaran S. 1996. Assessment of the influence of phosphate fertilizers on the microbial activity of pasture soils. *Biology and Fertility of Soils* 21:284-292.
6. Bottini R., Cassán F. & Piccoli P. 2004. Gibberellin production by bacteria and its involvement in plant growth promotion and yield increase. *Applied Microbiology and Biotechnology* 65:497-503.
7. Chandini M. T. & Dennis P. 2002. Microbial activity, nutrient dynamics and litter decomposition in a Canadian rocky mountain pine forest as affected by N and P fertilizers. *Forest Ecology and Management* 159:187-201.

8. Compant S., Duffy B., Nowak J., Clément C. & Barka E. A. 2005. Use of plant growth-promoting bacteria for biocontrol of plant diseases: principles, mechanisms of action, and future prospects. *Applied and Environmental Microbiology* 71:4951–4959.
9. De-Bashan L. E., Hernandez J. P. & Bashan Y. 2012. The potential contribution of plant growth-promoting bacteria to reduce environmental degradation– A comprehensive evaluation. *Applied Soil Ecology* 61:171–189.
10. Dobereiner J., Reis V. M., Paula M. A. & Olivares F. 1993. Endophytic diazotrophs in sugarcane cereals and tuber crops. Pp. 671-674. *In: R. Palacios J. Moor. & W.E. Newton (ed.). New Horizons in Nitrogen Fixation. Kluwer, Dordrecht.*
11. Lugtenberg B. & Kamilova F. 2009. Plant-growth-promoting rhizobacteria. *Annual Review of Microbiology* 63:541–556.
12. Oliveira A. L. M., Urquiaga S., Döbereiner J. & Baldani J. I. 2002. The effect of inoculating endophytic N₂-fixing bacteria on micro-propagated sugarcane plants. *Plant & Soil* 242:205–215.
13. Prabhat N. J., Garima G., Prameela J. & Rajesh M. 2013. Association of rhizospheric/endophytic bacteria with Plants: A Potential gateway to sustainable agriculture. *Greener Journal of Agricultural Sciences* 3:073-084.
14. Quiquampoix H. & Mousain D. 2005. Enzymatic hydrolysis of organic phosphorus. Pp. 89-112. *In: B.L. Turner, E. Frossard & D.S. Baldwin (eds.). Organic Phosphorus in the Environment. CAB International, Wallingford, UK.*
15. Rajkumar M., Ae N., Prasad M. N. & Freitas H. 2010. Potential of siderophore-producing bacteria for improving heavy metal phytoextraction. *Trends in Biotechnology* 28:142-149.
16. Reinhold-Hurek B. & Hurek T. 2011. Living inside plants: bacterial endophytes. *Current Opinion in Plant Biology* 14:435–443.
17. Rothballer M., Eckert B., Schmid M., Fekete A., Schloter M., Lehner A., Pollmann S. & Hartmann A. 2008. Endophytic root colonization of gramineous plants by *Herbaspirillum frisingense*. *Federation of European Microbiological Societies* 66:85–95.
18. Sims J. T. & Pierzynski G. M. 2005. Chemistry of phosphorus in soils. Pp. 151–192. *In: A. M. Tabatabai. & D. L. Sparks (ed.). Chemical processes in soil. SSSA book series 8. SSSA, Madison.*
19. Tian B., Yang J. & Zhang K. 2007. Bacteria used in the biological control of plant-parasitic nematodes: populations, mechanisms of action, and future prospects. *FEMS Microbial Ecology* 61:197–213.
20. Van Loon L. C. 2007. Plant responses to plant growth-promoting rhizobacteria. *European Journal of Plant Pathology* 119:243–254.
21. Yang J., Kloepper J. W. & Ryu C. 2009. Rhizosphere bacteria help plants tolerate abiotic stress. *Trends Plant Science* 14:1-4.



Role of Endophytic Bacteria in Sustainable Agriculture

FAEGHEH ETMINANI¹, ADIBEH ETMINANI² & BEHRUZ HARIGHI¹✉

1. MSc. Student and Associate Professor, Department of Plant Protection, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran (✉Corresponding author, E.mail: bharighi@uok.ac.ir)

2. MSc. of Agronomy, Islamic Azad University of Sanandaj, Sanandaj, Iran

Received: 22.06.2015

Accepted: 10.02.2016

Etminani F., Etminani A. & Harighi B. 2016. Role of endophytic bacteria in sustainable agriculture. *Plant Pathology Science* 5(2):71-80.

Abstract

Food security is one of the most challenges in the world. This problem is more important in regions with unsuitable agricultural system conditions. Use of chemical pesticides to protect crops against plant pathogens and insects has been increasing over the last decades. Chemical fertilizers increase the yield but usually reduce soil fertility and harm to environment. Therefore, application of endophytic bacteria as alternative fertilizers can be used in sustainable agriculture without affecting environment. Endophytic bacteria use various mechanisms to enhance plant growth such as nitrogen fixation, solubilization of phosphate, production of phytohormones like auxin, cytokinin and gibberellin, production of Hydrogen cyanide and Siderophore as an antimicrobial compounds to control of soilborne disease and increasing plant resistance to abiotic disorders. Knowledge about endophytic bacteria- plant interaction can provide effective strategy to develop sustainable agriculture in order to ensure yield improvement without affecting environment.

Key words: Endophyte, Gibberallin, *Burkholderia*