نشریه علمی ترویجی فناوری گیاهان دارویی ایران
دوره ۰۲- شماره ۰۲- پیاپند ۰۳-پاییز و زمستان ۱۳۹۸

سازوکارهای باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد بر شاخص‌های رشد، فیزیولوژی، جذب عناصر غذایی و تولید متابولیت‌های ثانویه در گیاهان دارویی

Mechanisms of plant growth promoting rhizobacteria on growth indices, physiology, nutrient uptake and production of secondary metabolites in medicinal plants

رضا خدادادی[۱]، رضا قربانی نصرآبادی[۲*]

۱. دانشجوی دکتری بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲. استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان (نگارنده مسئول)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۵/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۹/۲٤

چکیده

خدادادی، ر. و قربانی نصرآبادی، ر. سازوکارهای باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد بر شاخص‌های رشد، فیزیولوژی، جذب عناصر غذایی و تولید متابولیت‌های ثانویه در گیاهان دارویی

نشریه علمی ترویجی فناوری گیاهان دارویی ایران، دوره ۰۲- شماره ۲- پیاپند ۳ ۰ پاییز و زمستان ۱۳۹۸: صفحه ٦۹-۵۲.

امروزه به دلیل آگاه شدن جوامع نسبت به عوارض منفی داروهای شیمیایی و آنتی‌بیوتیک‌ها رویکردی عمومی به مصرف گیاهان دارویی در حال افزایش است. این افزایش تقاضا به حدی زیاد است که تامین آن به صورت سنتی غیر ممکن بوده، به همین جهت افزایش سطح زیرکشت گیاهان دارویی، امری اجتناب ناپذیر است. تولید گیاهان دارویی در مقیاس صنعتی نیاز به استفاده از تکنولوژی‌های نوین زیستی داشته که در عین افزایش تولید، کیفیت و سلامت گیاهان دارویی را هم تامین کند. تاثیر مثبت کاربرد باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه بر پارمترهای رشدی، بهبود مواد زیست فعال و همچنین کیفیت گیاهان دارویی به عنوان یک روش نوین زیستی و دوستدار محیط زیست به اثبات رسیده است. باکتری‌های محرک رشد از طریق فراهمی عناصر غذایی برای گیاه با استفاده از مکانیسم حلالیت فسفر، پتاسیم و همچنین تثبیت زیستی نیتروژن و تولید سیدروفور، حفظ تعادل هورمونی درگیاهان با تولید هورمون‌های محرک رشد (اکسین، سیتوکینین، جیبرلین) و همچنین آنزیم ACC- دآمیناز، کنترل زیستی بیمارگرهای گیاهی و همچنین تولید ترکیبات آلی فرار (هیدروژن سیانید)، و نقش محرکی (الیسیتوری) این باکتری‌ها در القای مقاومت سیستمیک در گیاهان دارویی سبب بهبود شاخص‌های رشدی، فیزیولوژیکی و تولید متابولیت‌های ثانویه در گیاهان دارویی می‌شوند. این پژوهش با هدف بررسی مکانیسم‌های رایزوباکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR) بر شاخص‌های رشدی، فیزیولوژی، جذب عناصر غذایی و تولید متابولیت‌های ثانویه در برخی گیاهان دارویی انجام گرفته است.

واژه‌های کلیدی: تکنولوژی نوین زیستی، دوستدار محیط زیست، مقاومت سیستمیک، گیاهان دارویی

* آدرس پست الکترونیکی نگارنده مسئول: rgnasr@yahoo.com

مقدمه

امروزه به دلیل آگاه شدن جوامع نسبت به عوارض منفی داروهای شیمیایی و آنتی‌بیوتیک‌ها رویکردی عمومی به مصرف گیاهان دارویی در حال افزایش است. ایران به عنوان خاستگاه بسیاری از گیاهان دارویی شناخته شده است (۲۳۰۰ گونه دارویی) که گونه‌های آویشن، سنبل‌الطبیب، گل گاوزبان، خاکشیر، بابونه، مریم‌گلی، مرزنجوش، شیرین‌بیان و زعفران از مهم‌ترین آن‌ها می‌باشد. نیاز صنایع دارویی، غذایی و بهداشتی به گیاهان دارویی به عنوان مواد اولیه تولیدات صنایع مذکور، به حدی زیاد است که امکان تامین آن به صورت سنتی و از طبیعت غیر ممکن می‌باشد. بنابراین، افزایش سطح زیرکشت گیاهان دارویی امری اجتناب ناپذیر است. تولید گیاهان دارویی در مقیاس بزرگ نیاز به استفاده از تکنولوژی‌های نوین زیستی دارد که علاوه بر افزایش تولید، کیفیت و سلامت گیاهان دارویی را هم تامین کند (Arun et al., 2012). تاثیر مثبت کاربرد باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد، بر پارمترهای رشدی و همچنین بهبود مواد زیست فعال و کیفیت گیاهان دارویی به عنوان یک روش جدید و دوستدار محیط زیست به اثبات رسیده است (Bafana et al., 2013). باکتری‌ها محرک رشد گیاه گروه نامتجانسی از باکتری‌های ریزوسفری مفید متعلق به جنس‌هایی مانند آسینتوباکتر[۱]، بورخولدریا[۲]، انتروباکتر[۳]، آلکالیجنس[۴]، آرتروباکتر[۵]، آزوسپریلیوم[۶]، ازتوباکتر[۷]، باسیلوس[۸]، سودوموناس[۹]، اکتینومیست[۱۰]، فلاوباکتریوم[۱۱]، ریزوبیوم [۱۲] می‌باشند، که قادرند با یک یا چند سازوکار به صورت مستقیم از راه تغذیه‌ای و فیزیولوژیکی مانند تثبیت نیتروژن، حلالیت فسفر، تولید فیتوهورمون‌های محرک رشد افزایش فراهمی ریزمغذی‌ها با تولید سیدروفور حل‌کردن ترکیبات نامحلول روی کاهش سطح اتیلن در گیاهان با تولید ACC–دآمیناز و یا غیرمستقیم با کنترل عوامل بیماری‌زا از راه تولید ترکیبات مختلف مانند سیانید هیدروژن، سیدروفور، متابولیت‌های ضد قارچ، آنزیم‌های تجزیه کننده و آنتی‌بیوتیک سبب بهبود رشد گیاهان شوند (Glick, 2012). نتایج مطالعات زیادی در

[1]- *Acinetobacter*
[2]- *Burkholderia*
[3] -*Enterobacter*
[4] - *Alcaligenes*
[5]- *Arthrobacter*
[6]- *Azospirillum*
[7]- *Azotobacter*
[8]- *Bacillus*
[9]- *Pseudomonas*
[10]- *Actinomyces*
[11]- *Flavobacterium*
[12]- *Rhizobium*

زمینه‌ی کاربرد باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد در گیاهان دارویی مختلف موید این موضوع است که باکتری‌های مذکور از طریق فراهمی عناصر غذایی برای گیاه، حفظ تعادل هورمونی در گیاهان، تاثیر مثبت بر مورفولوژی ریشه، کنترل زیستی بیماری های گیاهی سبب بهبود شاخص‌های رشدی، فیزیولوژیکی و تولید متابولیت‌های ثانویه شده‌اند (Behera et al., 2013, Bhardwaj et al. , 2014). Radika و Rodregez (۲۰۱۱) بیان کردند مایه‌زنی گیاه دارویی نائین هاوندی (*A. paniculata*) با ریزجانداران ریزوسفری سبب تولید بیشترین ماده‌ی خشک گیاه و همچنین عصاره‌ی اندروگرافولید (andrographolide) برگ در مقایسه با شاهد در مرحله گلدهی شده است. Morogapan و همکاران (۲۰۱۳) تاثیر باکتری *Bacillus pumilus* بر روی گیاه دارویی ریحان (*Ocimum sanctum*) را مورد بررسی قرار داده و بیان داشتند که تلقیح باکتری سبب افزایش شاخص‌های رشدی، فیزیولوژیک، جذب عناصر غذایی و همچنین تولید روغن‌های ضروری و بهبود ترکیب آن گردید. این پژوهش با هدف بررسی سازوکارهای باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد (PGPR)[۱۳] بر شاخص‌های رشدی، فیزیولوژیکی، جذب عناصر غذایی و تولید متابولیت‌های ثانویه در برخی گیاهان دارویی انجام گرفته است.

تاثیر باکتری‌های محرک رشد گیاه بر پارامترهای جوانه زنی و رشد گیاهان دارویی

یکی از مشکلات اصلی تکثیر گیاهان دارویی، جوانه‌زنی محدود و رشد نامنظم آن‌ها می‌باشد. استفاده از باکتری‌های محرک رشد در گونه‌های مختلف گیاهان دارویی و معطر سبب یکنواختی در جوانه‌زنی، استقرار مناسب گیاهچه و همچنین بهبود مراحل رشدی گیاه به ویژه مرحله گلدهی که یک دوره حیاتی و مهم برای دستیابی به متابولیت‌های ثانویه بوده، شده است (Shaukat et al., 2006). Ghorbanpour و Hatami (۲۰۱۳) در بررسی مایه‌زنی ۲۰ جدایه‌ی سودوموناس پوتیدا و سودوموناس فلورسنس بر شاخص-های جوانه زنی و رشد گیاه دارویی بذرالبنج (*Hyoscyamus niger*) مشاهده کردند که سویه‌هایی که بیشترین مقدار هورمون اکسین را تولید کردند (*P.putida*-168, *P.fluorescens*-187) بهترین تاثیر را در بهبود جوانه‌زنی و رشد گیاه از خود نشان دادند. همچنین آن‌ها بیان داشتند جدایه‌ی (*P.fluorescens*-187) سبب افزایش طول ریشه و اندام هوایی به ترتیب به میزان (۷۳

[13]- Plant Growth Promoting Rhizobacteria

و۵۱ درصد) در مقایسه با شاهد (عدم مایه-زنی) گردید. jahanian و همکاران (۲۰۱۲) در بررسی تاثیر مایه‌زنی باکتری‌های محرک رشد (ازتوباکتر، آزوسپریلیوم، سودوموناس پوتیدا -٤١، سودوموناس پوتیدا-١٦٨) بر روی جوانه‌زنی و پارامترهای رشدی گیاه دارویی کنگر فرنگی (*Cynara scolymus*) بیان کردند که تیمار کاربرد تلفیقی سودوموناس-١٦٨+ ازتوباکتر بیشترین تاثیر را بر افزایش درصد جوانه زنی، رشد اولیه گیاهچه، وزن ریشه‌چه و ساقه، طول ساقه و همچنین کاهش میانگین زمان جوانه‌زنی را داشت. آن‌ها این موضوع را به تاثیر مثبت هم-افزایی کاربرد تلفیقی باکتری‌های محرک رشدی مولد اکسین (ازتوباکتر) و حل کننده‌ی فسفات (سودوموناس-١٦٨) نسبت دادند. مایه‌زنی گیاه دارویی نعناع فلفلی با ازتوباکتر کروکوکوم سبب افزایش شاخص‌های رشدی شامل ارتفاع گیاه، وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی گردید، باکتری‌های محرک رشد گیاه با سنتز مواد تنظیم‌کننده‌ی رشد مانند: اکسین، سیتوکینین سبب تغییر در مورفولوژی ریشه و بهبود رشد گیاه می‌شوند (Swaefy et al. , 2007). مجموعه‌ای از نتایج تحقیقات مختلف در زمینه بررسی تاثیر باکتری‌های محرک رشد بر روی جوانه‌زنی، استقرار گیاه و مراحل مختلف رشدی گیاهان دارویی نشان می‌دهد که تولید فیتوهورمون‌های گیاهی و ایجاد تعادل تغذیه‌ای در گیاهان توسط باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد از مهمترین سازوکارهای موثر در بهبود شاخص-های رشد و جوانه‌زنی گیاهان دارویی می-باشد. باکتری‌های محرک رشدی با تولید فیتوهورمون‌های تنظیم‌کننده‌ی رشد سبب تحریک تقسیم سلولی، توسعه‌ی سلولی، جوانه‌زنی و ظهور بذر، کنترل رشد ریشه‌ها (با توسعه ریشه‌زایی و مهار رشد طولی ریشه)، بهبود رسیدگی میوه، جلوگیری از ریزش برگ و حفظ تورژسانس سلولی گیاهان دارویی می‌گردد (Porcel et al., 2014). فیتوهورمون-های محرک رشد تولید شده توسط باکتری-های ریزوسفری، ترکیبات آلی هستند که در غلظت‌های پایین تاثیر مثبت بر رشد و فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه داشته و همچنین سبب بهبود تحمل به تنش در گیاهان می‌شوند (Jha and Saraf, 2015). از مهمترین هورمون‌های تولید شده توسط باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد می‌توان اکسین، جیبرلین، سیتوکینین و اتیلن را نام برد (Egamberdieva, 2013). Bharathi (٢٠٠٤) در بررسی سازوکار اثر باکتری‌های محرک رشد بر افزایش میزان جوانه‌زنی گیاهان

پیشنهاد کرد که سنتز هورمون جیبرلین توسط باکتری‌ها سبب فعال شدن آنزیم‌های خاصی نظیر آلفا-آمیلاز (α-amylase) شده که با افزایش فراهمی جذب نشاسته، جوانه‌زنی گیاه بهبود می‌یابد.

تاثیر باکتری‌های محرک رشدی بر پارامترهای فیزیولوژیک گیاهان دارویی در شرایط عادی و تنشی

خصوصیات فیزیولوژیک گیاه انعکاسی است از تعاملات پیچیده و متنوع بین ترکیبات فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی خاک که تحت تاثیر شرایط محیطی قرار دارد. تنش‌های زیستی و غیر زیستی با ایجاد اختلال در سازوکارهای مهم فیزیولوژی از قبیل فتوسنتز، تنظیم فشار اسمزی، فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی سبب کاهش رشد و نمو گیاهان می‌گردد (Ashraf, 2004). سلامت و تولید گیاهان در تنش‌های زیستی و غیر زیستی متاثر از تشکیل گونه‌های اکسیژن آزاد (ROS) می-باشد. القای آنزیم‌های تجزیه‌کننده‌ی گونه‌های اکسیژن آزاد (ROS-scavenging) از قبیل سوپراکسید دسموتاز (SOD)، پراکسیداز (POX)، کاتالاز (CAT) و افزایش تولید اسیدآمینه پرولین رایج‌ترین سازوکارهای مقابله با گونه‌های اکسیژن آزاد سنتز شده توسط گیاهان در شرایط تنشی می‌باشد (Munns and Termaat, 1986).

Ghorbanpour و همکاران (۲۰۱۳) در نتیجه تاثیر مایه‌زنی باکتری‌های محرک رشد سودوموناس پوتیدا (PP-168)، سودوموناس فلورسنس (PF-187) بر پارامترهای رشدی، میزان پرولین، محتوی کلروفیل، محتوی نسبی آب برگ (RWC) و همچنین فعالیت آنزیم-های آنتی‌اکسیدانی (CAT ،POX ،SOD) بر روی گیاه دارویی بذرالبنج (*Hyoscyamus niger*) تحت شرایط تنش کم آبی بیان داشتند که مایه‌زنی گیاه با باکتری‌های محرک رشد اثر قابل توجهی در بهبود شاخص‌های رشدی، محتوی کلروفیل، پرولین و فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی گیاه در مقایسه با شاهد داشت. بیشترین تاثیر مثبت در بهبود شاخص‌های رشد و فیزیولوژی گیاه در تیمار مایه‌زنی باکتری سودوموناس فلورسنس (PF) ثبت گردید. Liddycoat و همکاران (۲۰۰۹) نتایج مشابهی در خصوص تاثیر مثبت باکتری محرک رشد (سودوموناس) بر محتوی کلروفیل، پرولین، محتوی نسبی آب برگ تحت تنش خشکی در گیاه دارویی مارچوبه (*Asparagus officinalis* L.) ارائه کردند. آن-ها بیان کردند که باکتری‌های محرک رشد با سنتز آنزیم ACC- دآمیناز سبب کاهش میزان اتیلن تولیدی گیاه در نتیجه‌ی بروز تنش شده

که از این طریق بهبود شاخص‌های فیزیولوژیک گیاه را به دنبال دارد. آنزیم ACC – دآمیناز تولیدی توسط تعداد زیادی از باکتری‌های محرک رشد، مانع از تبدیل ماده ACC به اتیلن شده و از اثرات بازدارندگی رشد ناشی از اتیلن تنشی که در پاسخ به تنش‌های محیطی در گیاه تولید می‌شود، جلوگیری می‌نماید. در واقع آنزیم ACC– دآمیناز به باکتری‌ها امکان می‌دهد که از ACC به عنوان تنها منبع نیتروژن استفاده کند (Shahzad et al., 2013). اتیلن از جمله هورمون‌های گیاهی است که مقدار بسیار کمی از آن (۱۰ میکروگرم در لیتر) در تنظیم بسیاری از فرایندهای رشد و توسعه گیاه نقش دارد (Glick and Bashan, 1997). افزایش ساخت زیستی اتیلن در گیاه و رسیدن غلظت آن به حد کاهش رشد در نتیجه‌ی تنش‌های محیطی، یکی از مهم‌ترین دگرگونی‌های فیزیولوژی می‌باشد که اتیلن تنشی نامیده می-شود (Gamaliro et al., 2012). Heidari و همکاران (۲۰۱۱) در پژوهشی تاثیر جدایه‌های باکتریایی سودوموناس، آزوسپریلیوم، باسیلوس بر میزان پرولین، کربوهیدرات‌های محلول و کلروفیل گیاه دارویی ریحان (*Ocimum basilicum* L.) مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که در نتیجه‌ی مایه‌زنی با سودوموناس و باسیلوس به ترتیب افزایش ۱۷/٦٤، ۱۸/۷۵ درصدی کربوهیدرات‌های محلول و همچنین افزایش ۱٦/۸٦، ٤۱/۸۳ درصدی پرولین مشاهده شد. Lenin and Jayanthi (۲۰۱۲) در پژوهشی تاثیر مایه‌زنی گیاه دارویی پروانش (Catharanthus roseus) با باکتری‌های محرک رشد آزوسپریلیوم، ازتوباکتر، سودوموناس و باسیلوس را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که کاربرد تلفیقی باکتری ازتوباکتر و باسیلوس بیشترین پتانسیل را در افزایش شاخص‌های رشد، فیزیولوژیک و جذب عناصر غذایی از خود نشان داد. Hosseinzadah و همکاران (۲۰۱۱) در بررسی گلدانی اثر مایه‌زنی باکتری‌های محرک رشد ازتوباکتر، سودوموناس، آزوسپریلیوم بر روی گیاه دارویی همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.) بیان کردند که تلقیح باکتری سبب افزایش شاخص‌های رشدی (وزن خشک اندام هوایی و ریشه)، رنگدانه‌های فتوسنتزی (کلروفیلa، کلروفیلb، کارتنوئید و زانتوفیل) و همچنین جذب عناصر غذایی (نیتروژن، فسفر، پتاسیم) گیاه در مقایسه با شاهد (عدم مایه‌زنی) شد. تیمار کاربرد تلفیقی آزوسپریلیوم و سودوموناس بیشترین تاثیر را بر پارامترهای رشد، فیزیولوژی و جذب

عناصر غذایی گیاه داشت. به طور کلی باکتری‌های محرک رشد از طریق سازوکارهای محرک رشدی مانند افزایش فراهمی عناصر غذایی در ریزوسفر (نیتروژن، فسفر، پتاسیم)، تولید هورمون‌های محرک رشدی، تولید سیدروفور، تولید آنزیم ACC-دآمیناز سبب افزایش یا بهبود خصوصیات فیزیولوژیک گیاه در شرایط عادی و تنشی می‌شود (Bhattacharyya and Jha, 2012). با این حال کارایی تاثیر باکتری‌های محرک رشد بر گیاهان به مولفه‌های بیولوژیکی خاک، خواص ژنتیکی و فیزیولوژیکی ریزجاندار و سازگاری آن‌ها با محدودیت‌های مرتبط با اکوسیستم بستگی دارد.

نقش باکتری‌های محرک رشد در سنتز متابولیت‌های ثانویه گیاهان دارویی

متابولیت‌های ثانویه گیاهان دارویی منابع منحصر به فردی برای تولید داروها، عطرها، اسانس‌ها، مکمل‌های غذایی و سایر ترکیبات مهم صنعتی هستند. نقش اصلی متابولیت‌های ثانویه در گیاهان حفاظت از گیاهان در برابر حمله آفات، پاتوژن‌ها و همچنین افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌های زیستی و غیر زیستی می‌باشد. با توجه به اینکه بخش اعظم بازار گیاهان دارویی، به تولید و عرضه متابولیت‌های ثانویه مشتق شده از گیاهان مربوط می‌شود، لذا سنتز متابولیت‌های ثانویه گیاهان دارویی از ارزش اقتصادی بسیار بالایی برخوردار است. تحریک تولید متابولیت‌ها با روش‌های مختلف از جمله کشت سلولی گیاه، دست ورزی محیط‌های کشت سلولی با استفاده از محرک‌های زیستی (از طریق فعال کردن مکانیسم‌های موثر در القای متابولیت-های ثانویه)، اعمال تنش‌های مختلف محیطی و همچنین کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاه دارای اهمیت می‌باشد (Zhou et al., 2006). باکتری‌های محرک رشد گیاه با روش‌های مختلف سبب افزایش تولید متابولیت‌های ثانویه در گیاهان می‌شوند. Van Loon و Glick (۲۰۰٤) بیان نمودند که باکتری‌های غیر بیماریزای محرک رشد گیاه از طریق مکانیسم ISR (مقاومت سیستمیک القا شده) سبب تحریک بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه در گیاهان می‌شوند. همچنین آن‌ها از باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد به عنوان محرک‌های زیستی یاد کرده، که پتانسیل تحریک سنتز متابولیت‌های ثانویه در گیاهان را دارا می‌باشند. محرک‌های زیستی (شامل هورمون‌های اکسین، جیبرلین و...) دارای منشا طبیعی بوده که از میکروارگانیسم‌ها شامل قارچ‌ها، باکتری‌ها و یا ترکیبات شیمیایی دیواره سلولی گیاهان حاصل می‌گردد، که از

این طریق موجب افزایش تولید متابولیت‌های ثانویه در گیاهان می‌شوند (Namdeo, 2007). ترشح ترکیبات آلی فرار (VOCs) توسط باکتری‌های محرک رشد مکانیسم موثر دیگری در افزایش تولید متابولیت‌های ثانویه در گیاهان می‌باشد (Banchio et al., 2009). Santoroو همکاران (۲۰۱۱) در مطالعه‌ی اثر تولید ترکیبات آلی فرار (VOCs) توسط باکتری‌های محرک رشد (سودوموناس فلورسنس، باسیلوس سابتیلیس، آزوسپریلیوم لیپوفروم) بر ترکیبات اسانس گیاه دارویی نعناع فلفلی (*Mentha piperita*) بیان کردند که به ترتیب تولید اسانس‌های بتاپینین، پولگون، مونوتروپن در گیاهان تلقیح شده با باکتری باسیلوس سابتیلیس که ترکیبات آلی فرار آزاد می‌کند، افزایش یافت. از جمله مکانیسم‌های دیگر باکتری‌های محرک رشد که از طریق افزایش شاخص‌های رشدی و فیزیولوژی به طور غیر مستقیم سبب تحریک تولید متابولیت‌های ثانویه در گیاهان می‌شوند، می‌توان افزایش انحلال عناصر غذایی کم محلول مانند فسفر، تولید آنزیم ACC-دآمیناز، تولید هورمون‌های رشد گیاهی مانند اکسین، سیتوکینین، تثبیت بیولوژیک نیتروژن و تولید سیدروفور را نام برد (Badalamenti, 2004). Giri و همکاران (۲۰۰۳) در پژوهشی بیان نمودند باکتری‌های محرک رشد گیاه از طریق تاثیری که بر عوامل مرتبط با تولید ماده‌ی خشک دارند، سبب افزایش بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه در گیاهان دارویی می‌گردند. Ghorbanpour و همکاران (۲۰۱۳) تاثیر باکتری‌های محرک رشد سودوموناس پوتیدا (PP-168) و سودوموناس فلورسنس (PP-187) بر تغییرات محتوی و عملکرد تروپان آلکالوئید هیوسیامین (HYO) و اسکوپولامین (SCO) در اندام هوایی و ریشه گیاه دارویی بذرالبنج (*Hyoscyamus niger*) تحت سطوح مختلف تنش خشکی (۳۰، ۶۰، ۹۰ درصد ظرفیت زراعی) در مراحل رشد رویشی، گلدهی کامل و رسیدگی دانه بررسی کردند. مقدار SCO ریشه در تیمارهای مایه‌زنی باکتری و همچنین شاهد به طور معنی‌داری با افزایش سطوح خشکی تا سطح ۶۰ درصد ظرفیت زراعی افزایش قابل توجهی داشت و در بالاترین سطح خشکی (۹۰ درصد ظرفیت زراعی) مقدار SCO به جزء در تیمار مایه‌زنی باکتری سودوموناس فلورسنس در سایر تیمارها کاهش یافت، به طوریکه بالاترین مقدار SCO ریشه در تیمار تلقیح باکتری سودوموناس فلورسنس در سطح خشکی ۹۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده گردید. مقدار SCO اندام هوایی با افزایش سطوح خشکی

دارای تغییرات مشابه با ریشه بوده که تنها در تیمار مایه‌زنی باکتری سودوموناس فلورسنس افزایش معنی‌داری از خود نشان داد. همچنین مقدار HYO در ریشه و اندام هوایی با افزایش سطوح خشکی در تیمار تلقیح باکتری سودوموناس فلورسنس بیشترین مقدار بود که با تیمار مایه‌زنی سودوموناس پوتیدا در یک گروه آماری قرار گرفتند. آن‌ها بیان داشتند که تاثیر تیمارها بر تغییرات عملکرد آلکالوئیدها (HYO,SCO) دارای روند یکسان مشابه با محتوی آلکالوئیدها بوده است. Santoro و همکاران (۲۰۱۱) تاثیر باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد (سودوموناس فلورسنس، آزوسپریلیوم برازیلنس) بر ترکیبات عمده اسانس گیاهی نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) بررسی و گزارش کردند که تیمار سودوموناس فلورسنس سبب افزایش ۲ درصدی زیست‌ساختی ترکیب غالب اسانس (پولگون و منتون) گردید. Cappellari و همکاران (۲۰۱۳) تاثیر باکتری های ریزوسفری محرک رشد (آزوسپریلوم برازیلنس، سودوموناس فلورسنس) را بر ترکیبات شیمیایی اسانس گیاه جعفری معطر (*Togetes minuta*) بررسی و بیان داشتند که آزوسپریلیوم برازیلنس باعث افزایش ای-اوسیمنون (غالب‌ترین ترکیب اسانس) و ای-تاقتون به ترتیب به میزان ۷۱ و ٦٦ درصد گردید که با تیمار کاربرد سودوموناس فلورسنس در یک گروه آماری قرار گرفت. تولید متابولیت‌های ثانویه و انباشت آن در گیاهان تحت تاثیر عوامل فیزیولوژیکی، ژنتیکی، شرایط محیطی قرار دارد، در این میان باکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR) با توجه به نقش موثر در تغذیه گیاه، بهبود شاخص‌های رشدی، فیزیولوژی و همچنین افزایش تحمل به تنش‌های زیستی و غیر زیستی به عنوان یک استراتژی پایدار و دوست‌دار محیط زیست، در بهبود تولید متابولیت‌های ثانویه در گیاهان در نظر گرفته می‌شود. استفاده از باکتری‌های محرک رشد سبب دستیابی به تولید پایدار متابولیت‌های ثانویه مهم در گیاهان با استفاده از حداقل مواد شیمیایی می‌گردد.

نقش باکتری‌های محرک رشد در جذب عناصر غذایی در گیاهان دارویی

فعالیت ریزجانداران خاک برای پویایی و فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان مانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم، منیزیم و سایر ریزمغذی‌ها بسیار مهم می‌باشد (Egamberdieva, 2011). مطالعات زیادی در زمینه کاربرد باکتری‌های محرک رشد (PGPR) در چندین گیاه دارویی از قبیل

رازیانه (Lakshmipathy et al., 2001)، سوسن (Selvaraj et al., 2008)، گندواش (*Artemisia annua* L.) (Kapoor et al., 2007) نشان از افزایش غلظت عناصر غذایی مانند پتاسیم، فسفر، روی، مس، آهن در اندام هوایی گیاه دارد. Prasad و همکاران (۲۰۱۲) افزایش رشد گیاه و فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز قلیایی و فسفاتاز اسیدی را در اندام هوایی و ریشه گیاه دارویی داوودی (*Chrysanthemum indicum* L.) در نتیجه مایه‌زنی با باکتری حل‌کننده فسفات سودوموناس فلورسنس و قارچ گلوموس مشاهده کردند. کاربرد باکتری‌های حل‌کننده‌ی فسفات بورخلدریا، انتروباکتر و سراتیا همراه با سنگ فسفات سبب افزایش ۵۷۶-۸۶ درصدی فسفر قابل جذب در خاک و همچنین افزایش ۲۷۳-۶۳/۹ درصدی غلظت فسفر در اندام هوایی گیاه دارویی استویا (*Stevia rebaudiana*) نسبت به شاهد شده است (Gupta et al., 2011). با وجود زیاد بودن غلظت فسفر کل در خاک ولی غلظت فسفر محلول که فرم قابل جذب برای گیاه بوده در خاک کم می‌باشد (Marschner et al., 2006). اغلب کودهای فسفر و پتاسیم به راحتی برای گیاه قابل دسترس نمی‌باشند و استفاده از آن‌ها اغلب سبب افزایش عملکرد ناچیزی در گیاهان می‌شود (Chabot et al., 1996). ریزجاندارانی که توانایی انحلال فسفات را دارا می‌باشند، از طریق معدنی کردن فسفر آلی و انحلال فسفات‌های رسوب یافته، سبب بهبود فراهمی فسفر برای گیاهان می‌شوند (Chen et al., 2006). گزارش‌های متفاوت و متعددی در زمینه‌ی توانایی انحلال فسفات-های معدنی، دی‌کلسیم فسفات، هیدروکسی آپاتیت و سنگ فسفات توسط گونه‌های مختلف باکتریایی وجود دارد، که در این میان جنس‌های باکتری Bacillus، pseudomonas، Rhizobium، Burkholderia، Agrobacterium، Pantoea، Achromobacter، Flavobacterium مشاهده می‌شود (Egamberdiyeva and Höflich, 2004). سازوکارهای انحلال فسفات‌های معدنی نامحلول توسط باکتری‌های ریزوسفری حل‌کننده‌ی فسفات شامل: کاهش pH از طریق ترشح اسیدهای آلی با وزن مولکولی پایین از قبیل مالیک، سوکسینیک، فوماریک، سیتریک، تارتاریک، گلوکونیک و استیک اسید، ترشح برخی ترکیبات محلول ، مانند سیدروفور، پروتون‌ها، هیدروکسیل‌ها و ترشح آنزیم‌های خارج سلولی می‌باشد، همچنین برخی از ریزوباکتری‌های محرک رشد با قابلیت تولید آنزیم فسفاتاز، توانایی معدنی کردن فسفر آلی

خاک را دارا می‌باشند (Saravanan et al., 2016). Singh و همکاران (۲۰۱۳) بیان کردند که مایه‌زنی گیاه دارویی کولئوس فورس-کوهلی (*Coleus forskohlii*) با باکتری سودوموناس مونتلی به ترتیب سبب افزایش ۲۰، ٦۰، ٤۳ درصدی نیتروژن، فسفر و پتاسیم گردید. Arora و همکاران (۲۰۰۱) در پژوهشی بیان کردند که کاربرد باکتری رایزوبیوم ملیلوتی در گیاه دارویی باقلا مخملی (*Mucuna pruriens*) که توانایی تثبیت بیولوژیک نیتروژن را دارد، سبب افزایش گره‌زایی موثر (SE>100) در گیاه، بهبود شاخص‌های رشدی و همچنین افزایش ۳۸ درصدی محتوی نیتروژن اندام هوایی نسبت به شاهد گردید. تثبیت بیولوژیک نیتروژن یک فرآیند بیوشیمیایی است که توسط انواع خاصی از پروکاریوت‌ها (دی-ازتروف) که توانایی لازم برای سنتز آنزیم نیتروژناز را دار می‌باشند، انجام می‌گیرد (Franche et al., 2009). نیتروژناز یک آنزیم بیولوژیکی است که به طور طبیعی در دی-ازوتروف‌های (باکتری و آرکئا که قادر به جذب و تثبیت نیتروژن مولکولی هستند) همزیست، همیار و آزادزی وجود دارد. در حالت آزادزی، باکتری در حین زندگی آزاد و مستقل خود نیتروژن مولکولی را نیز تثبیت می‌کند. این ریزجانداران در فرآیند تثبیت نیتروژن مولکولی از مواد آلی خاک به عنوان منبع انرژی استفاده می‌نمایند، ازتوباکتر، آزوموناس، درکسیا، سودوموناس، باسیلوس، انتروباکتر از مهمترین دی‌ازوتروف‌های آزاد-زی می‌باشند (Vessey, 2003). در حالت همزیستی باکتری بدون میزبان قادر به تثبیت نیتروژن نبوده، در این حالت یک ارتباط پیوسته و انتخابی و اغلب اجباری بین دو عضو همزیست برقرار شده و اندام مشترکی به نام گره تشکیل شده که محل اصلی تثبیت نیتروژن مولکول می‌باشد (Singh et al., 2013). تعدادی از باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد (PGPR) مواد کی‌لیت‌کننده‌ای با وزن مولکولی کم به نام سیدروفور ترشح می-کنند که تمایل زیاد به جذب آهن و سایر ریزمغذی‌ها شامل کاتیون‌های مس، روی و مولیبدن دارند. سیدروفورها با آهن و سایر ریزمغذی‌ها تشکیل کمپلکس داده و سبب تحرک و فراهمی عناصر کم‌مصرف در خاک شده و به این ترتیب بهبود تغذیه گیاه را به دنبال دارد. Ordookhani و همکاران (۲۰۱۱) افزایش غلظت آهن منگنز و مس را در گیاه دارویی ریحان (*Ocimum basilicum* L.) در نتیجه مایه‌زنی با باکتری‌های محرک رشد (سودوموناس پوتیدا، ازتوباکتر کروکوکوم و

آزوسپریلیوم لیپوفروم) مولد سیدروفور گزارش کردند. Tank & Saraf (۲۰۰۳) در پژوهشی تاثیر باکتری محرک رشد ازتوباکتر کروکوکوم بر روی گیاه دارویی شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum*. L.) بیان داشتند که مایه‌زنی باکتری به ترتیب سبب افزایش ٥٦ درصدی غلظت آهن، ٤٥ درصدی غلظت روی در بافت گیاهی گردید. به طور کلی، ٥٠٠ ساختار سیدروفوری تولیدی توسط میکروارگانیسم‌های خاکزی شناخته شده است، که بر اساس ساختار مولکولی و نوع پیوندها به چهار گروه باکتریایی و سه گروه قارچی تقسیم بندی شده اند. سیدروفورهای باکتریایی شامل: گروه فنول کاتکول‌ها از جمله انتروباکتین (بالاترین میل ترکیبی برای جذب آهن را دارد)، گروه هیدروکسامات از جمله ائروباکتین و فروکسامین‌ها (اغلب توسط اعضای خانواده انتروباکتریاسه و اکتینومیست-ها تولید می‌شوند)، که بیش‌ترین غلظت در خاک را دارا می‌باشد و همچنین نقش مهمی در افزایش رشد گیاه دارد (Noumavo et al., 2016). Yadegari و همکاران (2010) در ارزیابی کاربرد باکتری تیوباسیلوس همراه با گوگرد (٦٠٠، ٤٠٠، ٢٠٠ کیلوگرم در هکتار) و کود آلی (کود دامی) بر پارامترهای رشدی و جذب عناصر غذایی در گیاه دارویی بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) نشان دادند که بیشترین مقادیر مس و منگنز زیست-توده‌ی گیاه پس از برداشت در شروع گلدهی در تیمار تلقیح باکتری تیوباسیلوس همراه با ٤٠٠ کیلوگرم گوگرد و ماده‌ی آلی مشاهده گردید. کاربرد گوگرد به تنهایی، تاثیر معنی-داری بر گیاه ندارد بدین ترتیب توصیه کودی گوگرد همراه با کاربرد مایه تلقیح حاوی باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد تاثیر معنی‌داری بر عملکرد گیاهان زراعی دارد. استفاده از باکتری‌های اکسید کننده گوگرد، ضمن تامین نیاز غذایی گیاه به گوگرد، با اسیدی کردن محیط، سبب افزایش فراهمی عناصر غذایی مانند آهن، روی و فسفر می‌شود و در نتیجه بهبود رشد گیاه را به دنبال دارد (Havlin et al., 2005). بررسی‌های انجام شده توسط Salimpour و همکاران (۲۰۰۰) نشان داد که کاربرد خاک فسفات (با حدود ۳۰ درصد P2o5) همراه با گوگرد، مایه تلقیح تیوباسیلوس و باکتری‌های حل‌کننده‌ی فسفات می‌تواند عملکردی معادل کود سوپرفسفات تریپل را در گیاه ایجاد نماید و همچنین سبب افزایش معنی‌دار جذب فسفر و آهن در مقایسه با شاهد شود.

یافته‌های ترویجی

شناخت کافی از تعامل مثبت یا منفی بین باکتری‌های محرک رشد و گیاهان دارویی یک رویکرد موثر و دوستدار محیط زیست در جهت بهبود پارامترهای رشدی، فیزیولوژیکی، جذب عناصر غذایی و بالطبع بهبود ترکیبات دارویی در گیاهان دارویی می‌باشد. اغلب پژوهش‌های انجام شده در زمینه تاثیر باکتری-های ریزوسفری محرک رشد موید این موضوع است که کاربرد باکتری‌های محرک رشد سبب افزایش قابل توجهی در پارامترهای رشدی (افزایش درصد جوانه‌زنی، وزن خشک اندام هوایی و ریشه، طول ساقه و...)، فیزیولوژی (محتوی کلروفیل، محتوی نسبی آب برگ، پرولین، قندهای محلول، آنزیم‌های آنتی اکسیدانی)، جذب عناصر غذایی (نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، روی و...) و همچنین تولید متابولیت‌های ثانویه در گیاهان دارویی می‌گردد. نتایج این تحقیقات نشان می‌دهد که مکانیسم تاثیر مثبت باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد بر گیاهان دارویی به علت دارا بودن پتانسیل‌های محرک رشدی از قبیل: فراهمی عناصر غذایی، تولید هورمون-های رشدی (اکسین، سیتوکینین، جیبرلین) و حفظ تعادل آن‌ها در گیاه (آنزیم ACC-دآمیناز)، و همچنین تولید ترکیبات آلی فرار (VOCs) و نقش محرکی این باکتری‌ها در القای مقاومت سیستمیک در گیاهان دارویی (ISR) می‌باشد. با این وجود درک کاملی از سازوکارهای تاثیر باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد در بهبود پارامترهای رشدی گیاهان دارویی به خصوص تولید متابولیت-های ثانویه وجود ندارد. به طور کلی استفاده از باکتری‌های محرک رشد یک روش مناسب برای افزایش رشد و تولید ترکیبات زیست فعال در گیاهان دارویی و همچنین استراتژی پایدار و دوستدار محیط زیست در جهت حذف یا کاهش کودها و مکمل‌های شیمیایی، آفت‌کش‌ها در تولید گیاهان دارویی می‌باشد.

Reference

Ashraf, M., Hasnain, S., Berge, O. and Mahmood, T. 2004. Inoculating wheat seedlings with exopolysaccharide-producing bacteria restricts sodium uptake and stimulates plant growth under salt stress. Biology and Fertility of Soils, 40:157-162.

Arun, B., Gopinath, B. and Sharma, S. 2012. Plant growth promoting potential of bacteria isolated on N free media from rhizosphere of *Cassia occidentalis*. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 28:2849-2857.

Arora, N.K., Kang, S.C., and Maheshwari, D.K., 2001. Isolation of siderophore-producing strains of *Rhizobium meliloti* and their biocontrol potential against Macrophomina phaseolina that causes charcoal rot of groundnut. Current Science-Banglor, 81:673-677.

Ambawade, M.S., and Pathade, G.R., 2013. Prevalence of Azospirillum isolates in tomato rhizosphere of coastal areas of Cuddalore district, Tamil Nadu. Int Journal Recent Science Research, 4:1610–1613.

Badalamenti, F., 2004. The essential oils of the Mediterranean region. International Federation of Essential Oil and Aroma. In: Green C (ed.) Proceedings of the IFEAT international conference.Trades (FEAT), London, 77–97.

Bharathi, S., 2004. Development of botanical formulations for the management of major fungal diseases of tomato and onion. PhD Thesis, Tamil Nadu Agricultural University, Coimbatore, India, 152.

Banchio, E., Xie, X., Zhang, H., and Pare, P.W., 2009. Soil bacteria elevate essential oil accumulation and emissions in sweet basil. Journal of agricultural and food chemistry, 57(2): 653-657.

Bafana, A., 2013. Diversity and metabolic potential of culturable root-associated bacteria from Origanum vulgare in sub-Himalayan region. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 29:63-74.

Behera, B.C., Singdevsachan, S.K., Mishra, R.R., Dutta, S.K., and Thatoi, H.N., 2014. Diversity, mechanism and biotechnology of phosphate solubilising microorganism in mangrove—a review. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 3:97-110.

Bhardwaj, D., Ansari, M.W., Sahoo, R.K., and Tuteja, N., 2014. Biofertilizers function as key player in sustainable agriculture by improving soil fertility, plant tolerance and crop productivity. Microbial cell factories, 13(1):66.

Bhattacharyya, P.N., and Jha, D.K., 2012. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 28(4): 1327-1350.

Cappellari, L., Santoro, M.V., Nievas, F., Giordano, W., and Banchio, E., 2013. Increase of secondary metabolite content in marigold by inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria. Applied soil ecology, 70: 16-22.

Chabot, R., Antoun, H., and Cescas, M.P., 1996. Growth promotion of maize and lettuce by phosphate-solubilizing *Rhizobium leguminosarum* biovar. phaseoli. Plant and soil, 184(2): 311-321.

Chen, Y.P., Rekha, P.D., Arun, A.B., Shen, F.T., Lai, W.A., and Young, C.C., 2006. Phosphate solubilizing bacteria from subtropical soil and their tricalcium phosphate solubilizing abilities. Applied soil ecology, 34(1): 33-41.

Egamberdiyeva, D., and Höflich, G., 2004. Effect of plant growth-promoting bacteria on growth and nutrient uptake of cotton and pea in a semi-arid region of Uzbekistan. Journal of Arid Environments, 56(2): 293-301.

Egamberdieva, D., Berg, G., Lindstrom, K., and Rasanen, L., 2010. Root colonising Pseudomonas spp. improve growth and symbiosis performance of fodder galega (*Galega orientalis* LAM) grown in potting soil. Europe Journal Soil Biology, 46(3-4): 269-272.

Egamberdieva D., 2011. Role of microorganisms in nitrogen cycling in soils. In: Miransari M (ed) Soil nutrients. Nova Science, New York, 159–176.

Egamberdieva, D., Jabborova, D., and Mamadalieva, N., 2013. Salt tolerant Pseudomonas extremorientalis able to stimulate growth of *Silybum marianum* under salt stress. Med Aromat Plant Science Biotechnol, 7: 7-10.

Franche, C., Lindström, K., and Elmerich, C., 2009. Nitrogen-fixing bacteria associated with leguminous and non-leguminous plants. Plant and soil, 321(1-2): pp.35-59.

Ghorbanpour, M., Ghafarzadegan, R., Khavazi, K., and Hatami, M., 2013. Two main tropane alkaloids variations of black henbane (*Hyoscyamus niger*) under PGPRs inoculation and water deficit stress induction at flowering stage. Journal of Medicinal Plants, 1(45): 29-42.

Ghorbanpour, M., Hatami, M., and Khavazi, K., 2013. Role of plant growth promoting rhizobacteria on antioxidant enzyme activities and tropane alkaloid production of Hyoscyamus niger under water deficit stress. Turkish Journal of Biology, 37: 350-360.

Ghorbanpour, M., and Hatami, M., 2014. Biopriming of *Salvia officinalis* Seed with Growth Promoting Rhizobacteria Affects Invigoration and Germination Indices. Journal Biology Environ. Science, 8(22): 29-36.

Giri, B., Kapoor, R., and Mukerji, K.G., 2003. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi and salinity on growth, biomass, and mineral nutrition of *Acacia auriculiformis*. Biology and Fertility of Soils, 38(3): 170-175.

Gupta, M., Bisht, S., Singh, B., Gulati, A., and Tewari, R., 2011. Enhanced biomass and steviol glycosides in *Stevia rebaudiana* treated with phosphate-solubilizing bacteria and rock phosphate. Plant growth regulation, 65(3): 449-457.

Havlin, J.L., Beaton, J.D., Tisdale, S.L., and Nelson, W.L., 2005. Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management New Jersey: Pearson prentice hall.350 p.

Harish Kumar R.C.D., and Maheshwari D.K., 2011. Effect of plant growth promoting rhizobia on seed germination, growth promotion and suppression of Fusarium wilt of fenugreek (Trigonella foenum-graecum L.). Crop Protection, 30:1396–1403.

Heidari, M., Mousavinik, S.M., and Golpayegani, A., 2011. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) effect on physiological parameters and mineral uptake in basil (*Ociumum basilicm* L.) under water stress. ARPN Journal Agricalture Biology Science, 6: pp.6-11.

Hosseinzadah, F., Satei, A., and Ramezanpour, M.R., 2011. Effects of mycorhiza and plant growth promoting rhizobacteria on growth, nutrients uptake and physiological characteristics in *Calendula officinalis* L. Middle East Journal of Scientific Research, 8(5): 947-953.

Jahanian, A., Chaichi, M.R., Rezaei, K., Rezayazdi, K., and Khavazi, K., 2012. The effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on germination and primary growth of artichoke (*Cynara scolymus*). International Journal of Agriculture and Crop Sciences, 4(14): 923-929.

Jha, C.K., and Saraf, M., 2015. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): a review. Journal of Agricultural Research and Development, 5(2): 108-119.

Kapoor, R., Chaudhary, V. and Bhatnagar, A.K. 2007. Effects of arbuscular mycorrhiza and phosphorus application on artemisinin concentration in *Artemisia annua* L. Mycorrhiza, 17(7): 581-587.

Lakshmipathy, R., Chandrika, K., Gowda, B., Balakrishna, A.N., and Bagyaraj, D.J., 2001. Response of Saraca asoca de Wilde to inoculation with Glomus mosseae, Bacillus coagulans and Trichoderma harzianum. Journal Soil Biology Ecology, 21(1-2): 76-80.

Lenin, G., and Jayanthi, M., 2012. Efficiency of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on enhancement of growth, yield and nutrient content of *Catharanthus roseus*. International Journal Research Pure Appl Microbiology, 2(4): 37-42.

Liddycoat, S.M., Greenberg, B.M., and Wolyn, D.J., 2009. The effect of plant growth-promoting rhizobacteria on asparagus seedlings and germinating seeds subjected to water stress under greenhouse conditions. Canadian journal of microbiology, 55(4): 388-394.

Marschner, P., Solaiman, Z., and Rengel, Z., 2006. Rhizosphere properties of Poaceae genotypes under P-limiting conditions. Plant and Soil, 283: 11-24.

Munns, R., and Termaat, A., 1986. Whole-plant responses to salinity. Functional Plant Biology, 13(1): 143-160.

Namdeo, A.G., 2007. Plant cell elicitation for production of secondary metabolites: a review. Pharmacognosy Reviews, 1(1): 69-79.

Noumavo, P.A., Agbodjato, N.A., Baba-Moussa, F., Adjanohoun, A., and Baba-Moussa, L., 2016. Plant growth promoting rhizobacteria: Beneficial effects for healthy and sustainable agriculture. African Journal of Biotechnology, 15(27): 1452-1463.

Ordookhani, K., Sharafzadeh, S., and Zare, M., 2011. Influence of PGPR on growth, essential oil and nutrients uptake of sweet basil. Advances in Environmental Biol, 5(4): 672-7.

Porcel, R., Zamarreño, Á.M., García-Mina, J.M., and Aroca, R., 2014. Involvement of plant endogenous ABA in Bacillus megaterium PGPR activity in tomato plants. BMC plant biology, 14(1): 36.

Prasad, K., Aggarwal, A., Yadav, K., and Tanwar, A., 2012. Impact of different levels of superphosphate using arbuscular mycorrhizal fungi and *Pseudomonas fluorescens* on Chrysanthemum indicum L. Journal of soil science and plant nutrition, 12(3): 451-462.

Salimpour S., Mirzashahi K., Daryashenas A., and Malakouti M.J., 2000. Effect of dose and method application of zinc sulfate on oilseed rape in Safiabad-e-Dezful, Journal of Soil and Water, 12(12): 22-27 (in Persian with English abstract.)

Santoro, M.V., Zygadlo, J., Giordano, W., and Banchio, E., 2011. Volatile organic compounds from rhizobacteria increase biosynthesis of essential oils and growth parameters in peppermint (*Mentha piperita*). Plant Physiology and Biochemistry, 49(10): 1177-1182.

Selvaraj, T., Rajeshkumar, S., Nisha, M.C., Wondimu, L., and Tesso, M., 2008. Effect of Glomus mosseae and plant growth promoting rhizomicroorganisms (PGPR's) on growth, nutrients and content of secondary metabolites in Begonia malabarica Lam. Maejo International Journal of Science and Technology, 2(3): 516-525.

Saravanan, D., Radhakrishnan, M., and Balagurunathan, R., 2016. Isolation of plant growth promoting substance producing bacteria from Niligiri hills with special reference to phosphatase enzyme. Journal of Chemical and Pharmaceutical Research, 8:698-703.

Shahzad, S.M., Arif, M.S., Riaz, M., Iqbal, Z., and Ashraf, M., 2013. PGPR with varied ACC-deaminase activity induced different growth and yield response in maize (Zea mays L.) under fertilized conditions. European journal of soil biology, 57: 27-34.

Shaukat, K., Afrasayab, S., and Hasnain, S., 2006. Growth responses of Helianthus annus to plant growth promoting rhizobacteria used as a biofertilizers. International Journal of Agricultural Research, 1(6): 573-581.

Singh, R., Soni, S.K., and Kalra, A., 2013. Synergy between Glomus fasciculatum and a beneficial Pseudomonas in reducing root diseases and improving yield and forskolin content in Coleus forskohlii Briq. under organic field conditions. Mycorrhiza, 23(1): 35-44.

Suhag, M., 2016. Potential of biofertilizers to replace chemical fertilizers. International journal of journal of Advanced research in science, engineering and technology, 3(5): 163-167.

Tank, N., and SARAF, M., 2003. Phosphate solubilization, exopolysaccharide production and indole acetic acid secretion by rhizobacteria isolated from *Trigonella foenum-graecum*. Indian Journal of Microbiology, 43(1): 37-40.

Van Loon, L.C., and Glick, B.R., 2004. Increased plant fitness by rhizobacteria. In Molecular ecotoxicology of plants, 177-205.

Vessey, J.K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. Plant and soil, 255(2): 571-586.

Yadegari, M., and Barzegar, R., 2010. Effect of sulfur and thiobacillus on nutrient absorption, vegetative growth and essential oil production in lemon balm (*Melissα officinαlis* L.) Herbal Medicines Journal, 1:45-30 (in persian).

Zhou, L.G., and Wu, J.Y., 2006. Development and application of medicinal plant tissue cultures for production of drugs and herbal medicinals in China. Natural Product Reports, 23(5): 789-810.

Mechanisms of plant growth promoting rhizobacteria on growth indices, physiology, nutrient uptake and production of secondary metabolites in medicinal plants

R. khodadadi[1], R. Ghorbani Nasrabadi[2*]

1. Ph.D Student of soil biology and biotechnology, Gorgan University of Agricultural sciences and Natural Resources
2. Associated Professor, Department of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources (Corresponding Author)

Received: August 2019 Accepted: December 2019

Abstract

Khodadadi, R., Ghorbani Nasrabadi, R. Mechanisms of plant growth promoting rhizobacteria on growth indices, physiology, nutrient uptake and production of secondary metabolites in medicinal plants
Iranian Medicinal Plants Technology. Vol 02, No. 02, 2020. Page 05 :52-69 (in Persian).

Nowadays, the general approach to the use of medicinal plants is increasing because of the growing awareness of the negative side effects of chemical drugs and antibiotics. due to traditionally high demand for the medicinal plants, it has been impossible to cater for entire market needs, so increasing the cultivation of medicinal plants is inevitable. Production of medicinal plants on an industrial scale requires the use of new bio-technologies that also enhance the production, quality and health of medicinal plants. The positive effect of application of plant growth promoting bacteria on growth parameters, improvement of bioactive compounds as well as quality of medicinal plants as a new bio-friendly and environmentally friendly method has been demonstrated. Growth promoting bacteria by nutrient supply to the plant using phosphorus and potassium solubilization mechanism, as well as biological nitrogen fixation and siderophore production, maintaining hormonal balance in plants by producing growth hormones (auxin, cytokinin, gibberellin) and ACC-deaminase, bio-control of plant pathogens, as well as production of volatile organic compounds and hydrogen cyanide) and the role of elicitors in inducing systemic resistance in medicinal plants, improve growth, physiological and production of secondary metabolites in medicinal plants. The aim of this study was to investigate the mechanisms of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on growth parameters, physiology, nutrient uptake and production of secondary metabolites in some medicinal plants.

Keywords: New biological technology, environment eco-friendly, systemic resistance, medicinal plants