19th Iranian Soil Science Congress
16-18 September, 2025

نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۱۱ تا ۱۳ آذر ۱۴۰۴

مدیریت جامع‌نگر و هوشمند خاک و آب
Holistic and Smart Soil and Water Management
دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran

۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

اکتینوباکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPA)؛ راهکار زیستی برای افزایش فراهمی عناصر غذایی و بهبود حاصلخیزی خاک

الهام شمشیری پور[1*]، احمد اصغرزاده[2] ، مهدیه شمشیری پور[3]، فرهاد رجالی[4] و بهمن خوشرو[5*]

۱-کارشناس ارشد بیوتکنولوژی خاک، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
E-mail: eshmashiripour@gmail.com

۲- دانشیار موسسه تحقیقات خاک و آب کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

۳- محقق موسسه تحقیقات خاک و آب کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

۴- استاد پژوهش موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

۵- محقق پسادکتری موسسه تحقیقات خاک و آب کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
E-mail: bahmankhoshru@yahoo.com

چکیده

کاهش حاصلخیزی خاک و افزایش مصرف کودهای شیمیایی، کشاورزی جهان را با چالش‌های محیطی و اقتصادی مواجه کرده است. استفاده از ریزجانداران مفید خاک، به‌ویژه اکتینوباکتری‌ها، به عنوان راهکاری پایدار در کنار کودهای آلی و شیمیایی در حال گسترش است. این گروه از میکروب‌ها با توانمندی‌های متابولیک گوناگون، می‌توانند سلامت خاک را بهبود داده و رشد گیاه را تحریک کنند. مطالعه حاضر به بررسی اکتینوباکتری‌ها محرک رشد گیاه (PGPA[1]) می‌پردازد: سازوکارهای اصلی شامل افزایش دستیابی به عناصر غذایی (حل فسفات و پتاسیم، تولید سیدروفور)، تولید هورمون‌های گیاهی (اکسین، جیبرلین، سیتوکینین) و کنترل زیستی بیماری‌ها است. شواهد گلخانه‌ای و مزرعه‌ای کاربرد این باکتری‌ها را به‌عنوان کودهای زیستی تأیید می‌کند از اینرو کودهای زیستی حاوی اکتینوباکتری‌ها می‌توانند منبع قدرتمند فرمولاسیون‌های زیستی برای افزایش حاصلخیزی خاک و عملکرد محصولات زراعی باشند. آینده این حوزه به عبور از محدودیت‌های کنونی از طریق کنسرسیوم‌های میکروبی، مهندسی ژنوم و بهینه‌سازی فرمولاسیون‌ها برای تحقق پتانسیل کامل در کشاورزی پایدار تأکید می‌کند.

کلمات کلیدی: حل‌کنندگان فسفات، سیدروفور، کشاورزی پایدار، کنترل‌گری، کود زیستی.

۱ مقدمه

در قرن بیستم انقلاب سبز با تکیه بر نهاده‌های پرانرژی مانند کودهای شیمیایی، تولید محصولات کشاورزی و تأمین نیازهای غذایی جمعیت رو به رشد جهانی را افزایش داد (Jote et al., 2023). اما کاربرد بی‌رویه این کودها منجر به آبشویی نیترات و فسفات، اشباع شدگی[2]، مناطق مرده آبی[3] و انتشار گازهای گلخانه‌ای مانند N_2O شد و ساختار خاک، مواد آلی و تعادل یونی را مخدوش کرد (Filonchyk et al., 2024; Pahalvi et al., 2021). از این رو، نیاز به کشاورزی پایدار که به حفظ منابع طبیعی و سلامت اکوسیستم اهمیت دهد، حس شده و کودهای زیستی به عنوان گزینه‌های جایگزین و یا مکمل کودهای شیمیایی مطرح شدند (Akanmu et al., 2023).

در خاک‌های طبیعی، اکتینوباکتری‌ها که باکتری‌های رشته‌ای و گرم‌مثبت بوده و به دلیل تولید ژئوسمین موجب بوی خاص خاک می شوند، اهمیت اکولوژیکی دارند (Bhatti et al., 2017). این ریزجانداران قادر به تجزیه پلیمرهای مقاومی چون لیگنین، سلولز و کیتین بوده و نقشی کلیدی در چرخه عناصر غذایی و تشکیل هوموس ایفا می‌کنند. همچنین به دلیل تولید متابولیت‌های ثانویه مانند آنتی‌بیوتیک‌ها می‌توانند فعالیت‌های زیستی متنوعی دا شته با شند (Javed et al., 2021). گروهی از این باکتری‌ها با نام PGPA پتانسیل زیادی در تعامل با گیاهان نشان داده اند (Anwar et al., 2016) و در ریزو سفر از طریق حل کردن فسفات، تولید سیدروفور برای جذب

[1] Plant Growth-Promoting Actinobacteria
[2] Nutrient enrichment
[3] Dead zones

آهن، و تولید هورمون‌هایی مانند اکسین، به تقویت تغذیه گیاه و کنترل عوامل بیماری‌زا کمک می‌کنند؛ بنابراین PGPA ابزارهای حیاتی برای بهبود تغذیه و سلامت خاک محسوب می‌شوند (Abdellatif et al., 2024).

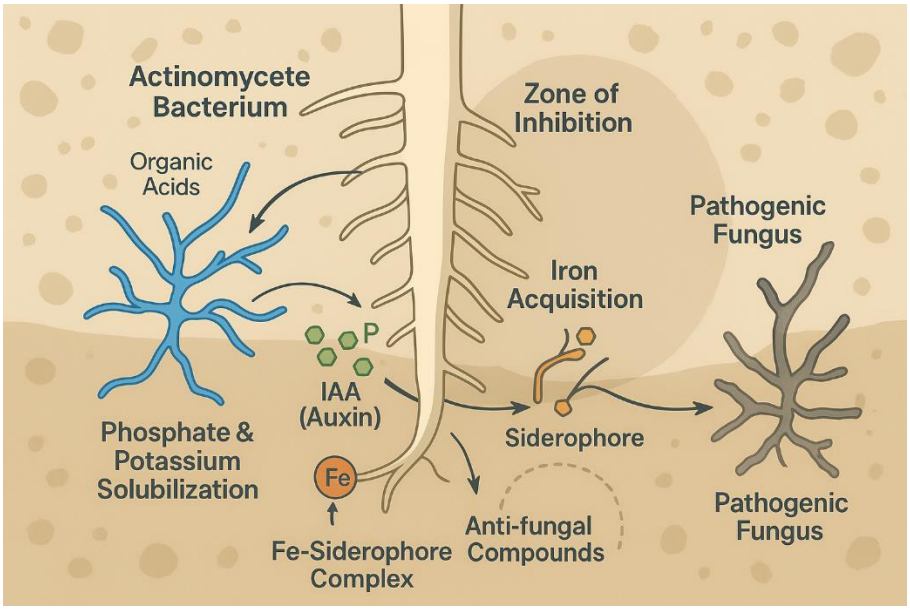
هدف مقاله مروری حاضر، جمع‌بندی جامع و تحلیلی دانش فعلی درباره اکتینوباکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPA) است. و به سازوکارهای بیوشیمیایی و مولکولی که PGPA از طریق آنها به تقویت تغذیه گیاه کمک می‌کند پرداخته و به بررسی کاربردهای عملی این ریزجانداران به‌عنوان کودهای زیستی برای افزایش حاصلخیزی خاک و بهره‌وری محصولات کشاورزی می‌پردازد. در نهایت، شکاف‌های دانش فعلی و چشم‌اندازهای آتی تحقیق برای بهره‌برداری کامل از پتانسیل این ریزجانداران در کشاورزی پایدار ارائه می‌شود.

۲ سازوکارهای تحریک رشد گیاه توسط اکتینوباکتری‌ها

اکتینوباکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPA) از طریق مجموعه‌ای از سازوکارهای بیوشیمیایی پیچیده، به صورت مستقیم و غیرمستقیم، رشد گیاه را تقویت کرده و به سلامت خاک کمک می‌کنند. این توانمندی‌ها عمدتاً در سه دسته کلی طبقه‌بندی می‌شوند: ۱) افزایش دسترسی گیاه به عناصر غذایی ضروری از طریق فرآیندهایی مانند انحلال فسفات، آزادسازی پتاسیم و تولید سیدروفور برای جذب آهن؛ ۲) تولید و تنظیم فیتوهورمون‌ها برای تحریک رشد ریشه و اندام هوایی؛ و ۳) حفاظت از گیاه در برابر تنش‌های محیطی از طریق کنترل بیولوژیک عوامل بیماری‌زا و کاهش اثرات تنش‌های غیرزیستی. جزئیات این مکانیسم‌های کلیدی، مولکول‌های درگیر و اثرات نهایی آن‌ها در جدول ۱ و شکل ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- برخی از سازوکارهای کلیدی اکتینوباکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPA)

دسته سازوکار	مکانیسم ویژه	مولکول/آنزیم کلیدی	اثر نهایی بر گیاه	منبع
بهبود تغذیه	حل کردن فسفات نامحلول	اسیدهای آلی (گلوکونیک، سیتریک)، آنزیم فسفاتاز	افزایش دسترسی به فسفر	Javed et al., 2021; Abdellatif et al., 2024
بهبود تغذیه	آزادسازی پتاسیم	اسیدهای آلی	افزایش دسترسی به پتاسیم از کانی‌ها	Rawat et al., 2016; Bopin et al., 2022
بهبود تغذیه	جذب آهن	سیدروفورها (نوع هیدروکسامات)	افزایش جذب آهن و رقابت با پاتوژن	Kapoor et al., 2025; Lindsay et al., 1982
تحریک هورمونی	تولید اکسین	ایندول استیک اسید (IAA)	تحریک توسعه سیستم ریشه	Hayat et al., 2021; Abdellatif et al., 2024
کاهش تنش غیرزیستی	کاهش اثرات تنش خشکی/شوری	آنزیم ACC دآمیناز	کاهش هورمون استرس (اتیلن) و افزایش مقاومت گیاه	Kour et al., 2024
کنترل زیستی	مهار پاتوژن‌های گیاهی	آنتی‌بیوتیک‌ها، آنزیم‌های تجزیه‌کننده (کیتیناز)	حفاظت گیاه در برابر بیماری‌های خاک‌زاد	Abdelaziz et al., 2023



شکل ۱- نمایش شماتیک سازوکارهای چندگانه اکتینوباکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPA) در ریزوسفر، شامل افزایش فراهمی عناصر غذایی، تحریک هورمونی (تولید IAA) و کنترل زیستی.

۳ کاربرد عملی PGPA در بهبود حاصلخیزی و سلامت خاک

اثربخشی سازوکارهای مولکولی و بیوشیمیایی اکتینوباکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPA) در مطالعات کاربردی متعددی به اثبات رسیده است (Javed et al, 2021; Silva et al, 2022). پتانسیل PGPA که در آزمایشگاه مشاهده شده، در محیط واقعی نیز تایید شده است. تلقیح خاک یا بذر با سویه‌های منتخب اکتینوباکتری، نتایج مثبتی در گیاهان زراعی ازجمله افزایش جوانه‌زنی، رشد رویشی و عملکرد دانه در گندم و ذرت با سویه‌های بومی *Streptomyces* دارد (Nozari et al., 2021; Shan et al., 2025). در گوجه‌فرنگی، PGPA علاوه بر رشد، مقاومت در برابر بیماری‌های خاک‌زاد مانند پژمردگی فوزاریومی را نیز بهبود می‌بخشد. این اثرات ناشی از ترکیب بهبود تغذیه (جذب بهتر فسفر و آهن) و کنترل زیستی بیماری‌ها است که پتانسیل دوگانه PGPA را در کشاورزی نشان می‌دهد (Abdelaziz et al., 2023).

۳-۱ تاثیر بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و زیستی خاک

تأثیر PGPA فراتر از رشد گیاه است و به بهبود سلامت خاک نیز کمک می‌کند. این ریزجانداران با تولید ترکیبات خارج سلولی مانند اگزوپلی‌ساکاریدها، مانند یک چسب زیستی، ذرات خاک را به هم پیوند می‌دهند و خاکدانه‌های پایدار تشکیل می‌دهند که نفوذپذیری آب و هوا را افزایش داده و فرسایش خاک را کاهش می‌دهد (Bhatti et al., 2017). همچنین، فعالیت مداوم اکتینوباکتری‌ها در تجزیه مواد آلی مقاوم، میزان ماده آلی خاک و تشکیل هوموس را افزایش می‌دهد، و سطح فعالیت آنزیم‌هایی مانند دهیدروژناز، فسفاتاز و اوره‌آز را بالا می‌برد، که شاخص‌هایی مهم برای خاک زنده و حاصلخیز هستند. بنابراین PGPA به صورت غیرمستقیم، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک را نیز بهبود می‌بخشد (Javed et al., 2021).

۴ تجاری‌سازی و چشم‌انداز آینده

۴-۱ موانع و محدودیت‌های کاربرد میدانی

تبدیل سویه میکروبی موثر در آزمایشگاه به کود زیستی[4] موفق و تجاری با چالش‌هایی مانند حفظ زنده‌مانی و کارایی از آزمایشگاه تا مزرعه روبه‌رو است. اکتینوباکتری‌ها با اسپورهایشان نسبت به باکتری‌ها مقاوم‌اند، اما ماندگاری در انبار[5]، حساسیت به دما و فرابنفش و رقابت با ریزجانداران خاک باید مدیریت شود (Yadav et al., 2024). تفاوت نتایج آزمایشگاهی و عملکرد مزرعه به پیچیدگی اکوسیستم خاک برمی‌گردد. سویه PGPA ممکن است در خاک با رقابت سویه‌های بومی روبه‌رو شود و استقرار آن دشوار گردد. همچنین ناسازگاری سویه-میزبان و تأثیر متغیرهای محیطی مانند pH، شوری، رطوبت و دما می‌تواند کارایی و زنده‌مانی سویه تلقیح‌شده را کاهش دهد (Ibáñez et al., 2023).

۴-۲ رویکردهای نوین برای افزایش کارایی کودهای زیستی حاوی PGPA

با وجود پتانسیل PGPA، تبدیل آن‌ها به ابزار کشاورزی با چالش‌هایی روبه‌رو است. اما رویکردهای نوین علم بیوتکنولوژی از جمله استفاده از کنسرسیوم‌های میکروبی به جای استفاده از یک سویه منفرد و بهره‌گیری از ژنومیک و مهندسی متابولیک مانند شناسایی ژن‌های کلیدی مسئول صفات محرک رشد و استفاده از ابزارهای مهندسی متابولیک، مانند تکنولوژی CRISPR[6] جهت تقویت[7] ژن‌های مفید در یک سویه و یا حتی انتقال ژن‌های جدید به سویه و تولید یک ابر سویه با کارایی بهینه که برای یک هدف خاص تولید می شود جهت مقابله با این چالش ها کمک‌کننده می باشند (Yadav et al., 2024). همچنین با بهینه‌سازی فرمولاسیون کودهای زیستی با استفاده از تکنیک‌های مدرن مانند نانوانکپسولاسیون[8] و قراردادن سلول‌های باکتری در یک پوشش محافظ با هدف جلوگیری از آسیب تو سط تنش‌های محیطی مانند خشکی و اشعه فرابنفش که موجب آزاد سازی کنترل شده[9] آن‌ها در خاک می شود می توان تاحد زیادی بر این محدودیت‌ها فائق آمد (Bose et al, 2023).

۴-۳ سویه‌های بومی ایران

ایران با اقلیم‌های متنوع و اکوسیستم‌های منحصربه‌فرد، مخصوصا پهنه های گسترده کویری و خشک، گنجینه ژنتیکی بزرگی از ریزجانداران مقاوم دارد. بهترین راهکار برای کشاورزی کشور، غربالگری و بهره‌برداری از پتانسیل بومی به جای واردات است (Yavarian et al., 2024). پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آتی بر جداسازی اکتینوباکتری‌ها از مناطق بکر کویری و خشک متمرکز شوند؛ سویه‌هایی که به تنش‌های محیطی عادت دارند، به طور طبیعی با شرایط مزرعه ایرانی سازگارترند و در نتیجه کارایی و پایداری کودهای زیستی را افزایش می‌دهند و به حفظ ذخایر ژنتیکی و خودکفایی در تولید نهاده‌های زیستی کمک می‌کنند. بقای بسیاری از گیاهان بیابانی، علاوه بر مقاومت ذاتی و ژنتیکی، مدیون همزیستی و همیاری با مجموعه از ریزجانداران مفید است که بسیاری از اسرار آنها هنوز افشاء نشده است و راه طولانی در این مسیر وجود دارد.

۵ نتیجه‌گیری

این مقاله مروری نشان می‌دهد اکتینوباکتری‌ها نقش حیاتی و چندجانبه‌ای همچون حل کنندگی فسفات، تولید سیدروفور، تنظیم هورمون های گیاهی و کنترل زیستی در خاک-گیاه دارند که سلامت و حاصلخیزی خاک را افزایش داده و به تثبیت اکوسیستم ریزوسفر کمک می‌کنند. اکتینوباکتری‌های PGPA پتانسیل عظیمی برای نیل به کشاورزی پایدار و امنیت غذایی دارند و می‌توانند ، ضمن افزایش

[4] Biofertilizer
[5] Shelf-life
[6] Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats
[7] Overexpress
[8] Nano-precapsulation
[9] Slow-release

کارایی کودها و سموم شیمیایی، موجب کاهش وابستگی به نهاده‌های شیمیایی و افزایش مقاومت خاک و کمک به تاب آوری محصولات کشاورزی در مواجهه با تغییرات اقلیمی شوند. با این وجود، برای بهره‌برداری کامل از این پتانسیل به پژوهش‌های بیشتر نیاز است، به ویژه در زمینه درک تعاملات مزرعه، غربالگری سویه‌های بومی سازگار با اقلیم‌های مختلف و توسعه فرمولاسیون‌های هوشمند و کنسرسیوم‌های میکروبی مؤثر(Abdellatif et al., 2024).

منابع

Abdelaziz, A.M., Hashem, A.H., El-Sayyad, G.S., El-Wakil, D.A., Selim, S., Alkhalifah, D.H. and Attia, M.S., 2023. Biocontrol of soil borne diseases by plant growth promoting rhizobacteria. Tropical Plant Pathology, 48(2), pp.105-127.

Abdellatif, A.A., Gebily, D.A., Elmaghraby, M.M., Sahu, P.K., Thakur, B. and Kaur, S., 2024. Transforming Roles of Actinobacteria in Sustainable Agriculture: From Soil Health and Plant Productivity Perspective. Metabolomics, Proteomics and Gene Editing Approaches in Biofertilizer Industry: Volume II, pp.299-338.

Akanmu, A.O., Olowe, O.M., Phiri, A.T., Nirere, D., Odebode, A.J., Karemera Umuhoza, N.J., Asemoloye, M.D. and Babalola, O.O., 2023. Bioresources in organic farming: implications for sustainable agricultural systems. Horticulturae, 9(6), p.659.

Anwar, S., Ali, B. and Sajid, I., 2016. Screening of rhizospheric actinomycetes for various in-vitro and in-vivo plant growth promoting (PGP) traits and for agroactive compounds. Frontiers in microbiology, 7, p.1334.

Bhatti, A.A., Haq, S. and Bhat, R.A., 2017. Actinomycetes benefaction role in soil and plant health. Microbial pathogenesis, 111, pp.458-467.

Bopin, S. and Prajapati, K., 2022. Growth promoting effect of potassium solubilizing actinomycetes and their ability to promote wheat (Triticum aestivum) growth. Intern J Food Nutri Sci, 11(2), pp.1902-1913.

Bose, J.C., Sarwan, J., Narang, J., Mittal, K. and Sharma, H., 2023. Futuristic Approaches in Biofertilizer Industry Through Metabolomics, Proteomes, and Gene Editing. In Metabolomics, Proteomes and Gene Editing Approaches in Biofertilizer Industry (pp. 265-287). Singapore: Springer Nature Singapore

Filonchyk, M ., Peterson, M.P., Zhang, L., Hurynovich, V. and He, Y., 2024. Greenhouse gases emissions and global climate change: Examining the influence of CO2, CH4, and N2O. Science of The Total Environment, 935, p.173359.

Hayat, S., Ashraf, A., Aslam, B., Asif, R., Muzammil, S., Zahoor, M.A., Afzal, M., Saqalein, M., Siddique, M.H. and Muzammil, A., 2021. Actinobacteria: Potential Candidate as Plant Growth. Plant stress physiology, p.387.

Javed, Z., Tripathi, G.D., Mishra, M. and Dashora, K., 2021. Actinomycetes–the microbial machinery for the organic-cycling, plant growth, and sustainable soil health. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 31, p.101893.

Kapoor, P., Joshi, P., Pal, M. and Parkash, V., 2025. Actinobacteria as Proficient Biocontrol Agents for Combating Fungal Diseases in Forest Plant Species. Journal of Basic Microbiology, p.e70030.

Kour, D., Khan, S.S., Kour, H., Kaur, T., Devi, R., Rai, A.K. and Yadav, A.N., 2024. ACC deaminase producing phytomicrobiomes for amelioration of abiotic stresses in plants for agricultural sustainability. Journal of Plant Growth Regulation, 43(4), pp.963-985

Jote, C.A., 2023. The impacts of using inorganic chemical fertilizers on the environment and human health. Organic and Medicinal Chemistry International Journal, 13(3), p.555864.

Khoshru, B., Mitra, D., Nosratabad, A.F., Reyhanitabar, A., Mandal, L., Farda, B., Djebaili, R., Pellegrini, M., Guerra-Sierra, B.E., Senapati, A. and Panneerselvam, P., 2023. Enhancing manganese availability for plants through microbial potential: A sustainable approach for improving soil health and food security. Bacteria, 2(3), pp.129-141

Ibáñez, A., Garrido-Chamorro, S., Vasco-Cárdenas, M.F. and Barreiro, C., 2023. From lab to field: biofertilizers in the 21st century. Horticulturae, 9(12), p.1306

Mitra, D., Mondal, R., Khoshru, B., Senapati, A., Radha, T.K., Mahakur, B., Uniyal, N., Myo, E.M., Boutaj, H., Sierra, B.E.G. and Panneerselvam, P., 2022. Actinobacteria-enhanced plant growth, nutrient acquisition, and crop protection: Advances in soil, plant, and microbial multifactorial interactions. Pedosphere, 32(1), pp.149-170.

Nozari, R.M., Ortolan, F., Astarita, L.V. and Santarém, E.R., 2021. Streptomyces spp. enhance vegetative growth of maize plants under saline stress. Brazilian Journal of Microbiology, 52(3), pp.1371-1383.

Pahalvi, H.N., Rafiya, L., Rashid, S., Nisar, B. and Kamili, A.N., 2021. Chemical fertilizers and their impact on soil health. In Microbiota and biofertilizers, Vol 2: Ecofriendly tools for reclamation of degraded soil environs (pp. 1-20). Cham: Springer International Publishing.

Rawat, J., Sanwal, P. and Saxena, J., 2016. Potassium and its role in sustainable agriculture. In Potassium solubilizing microorganisms for sustainable agriculture (pp. 235-253). New Delhi: Springer India.

Shan, H., Wen, H., Zhang, J., Wang, Y., Lu, L., Liu, Y., Yang, B. and Ji, W., 2025. Synergistic Role of Streptomyces Composite Inoculants in Mitigating Wheat Drought Stress Under Field Conditions. Plants, 14(3), p.366

Silva, G.D.C., Kitano, I.T., Ribeiro, I.A.D.F. and Lacava, P.T., 2022. The potential use of actinomycetes as microbial inoculants and biopesticides in agriculture. Frontiers in Soil Science, 2, p.833181.

Wei, X., Xie, B., Wan, C., Song, R., Zhong, W., Xin, S. and Song, K., 2024. Enhancing soil health and plant growth through microbial fertilizers: Mechanisms, benefits, and sustainable agricultural practices. Agronomy, 14(3), p.609 Yadav, A. and Yadav, K., 2024. Challenges and opportunities in biofertilizer commercialization. SVOA Microbiol, 5(1), pp.1-14.
Yavarian, S., Jafari, P., Akbari, N. and Feizabadi, M., 2024. Isolation and Molecular Identification of Native Plant Growth-promoting Bacillus Strains from the Soil around Tehran Province. *Journal of Microbial Biology*, *12*(47), pp.17-37.

Plant Growth-Promoting Actinobacteria (PGPA); A Biological Solution for Increasing Nutrient Availability and Improving Soil Fertility.

Elham Shamshiripour[1]*, Ahmad Asgharzadeh[2], Mahdieh Shamshiripour[3], Farhad Rejali[4] and Bahman Khoshru[5]*

[1] MSc in Soil Biotechnology, Soil and Water Research Institute (SWRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
*E-mail: eshmashiripour@gmail.com
[2] Associate Professor, Soil and Water Research Institute (SWRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
[3] Researcher, Soil and Water Research Institute (SWRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
[4] Research Professor, Soil and Water Research Institute (SWRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
[5] Postdoctoral Researcher, Soil and Water Research Institute (SWRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
*E-mail: bahmankhoshru@yahoo.com

Abstract

Declining soil fertility and the increasing use of chemical fertilizers have presented global agriculture with significant environmental and economic challenges. The application of beneficial soil microorganisms, particularly actinobacteria, is expanding as a sustainable solution. This group of microbes, possessing diverse metabolic capabilities, can improve soil health and stimulate plant growth. This review examines plant growth-promoting actinobacteria (PGPA), focusing on their primary mechanisms: enhancing nutrient availability (phosphate and potassium solubilization, siderophore production), producing phytohormones (auxin, gibberellin, cytokinin), and biocontrol of diseases. Greenhouse and field evidence confirms the practical application of these bacteria as biofertilizers. It is concluded that native actinobacteria can serve as a potent source for developing bio-formulations to increase soil fertility and crop yields. The future of this field relies on overcoming current limitations through the use of microbial consortia, genome engineering, and optimized formulations to fully realize their potential in sustainable agriculture.

Keywords: Biocontrol, Biofertilizer, Phosphate solubilizers, Siderophore, Sustainable agriculture.