



19th Iranian Soil Science Congress
02-04 December, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۱۴ تا ۱۳ آذر ۱۴۰۴



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



عملکرد سیانوباکترها بر حاصلخیزی خاک و رشد گیاهان

۱ الهام لامی زاده^۱، اکبر حسنی^{۲*}، مهدی نورزاده حداد^۳، حسن اعتصامی^۴

۱- دانشجوی دکتری، علوم و مهندسی خاک گرایش شیمی و حاصلخیزی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۲- دانشیار، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

E-mail: akbar.hassani@znu.ac.ir*

۳- پژوهشکده کشاورزی هسته ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، کرج، ایران.

۴- دانشیار، دانشکده دانشگاه پردیس کشاورزی دانشکده علوم و مهندسی خاک، دانشگاه تهران، تهران، ایران

چکیده

سیانوباکتری‌ها به عنوان گروهی از میکروارگانیسم‌های فتوسنتزکننده، نقش مهمی در تثبیت نیتروژن جو و بهبود حاصلخیزی خاک ایفا می‌کنند. استفاده از سیانوباکتری‌ها به عنوان زیست‌کود در کشاورزی پایدار، می‌تواند علاوه بر کاهش وابستگی به کودهای شیمیایی، سلامت خاک و کیفیت محصولات زراعی را ارتقاء دهد. این میکروارگانیسم‌ها با تولید ترکیبات مغذی و افزایش فعالیت میکروبی خاک، به افزایش بازدهی زراعی کمک می‌کنند و در شرایط محیطی مختلف، به ویژه در خاک‌های فقیر و مناطق خشک، اثربخشی قابل توجهی دارند. در این مقاله، به بررسی ویژگی‌های زیستی و زیست‌محیطی سیانوباکتری‌ها، نقش آن‌ها در تثبیت نیتروژن، تأثیرات زیست‌کودی و کاربردهای کشاورزی آن‌ها پرداخته شده است. همچنین مزایا، محدودیت‌ها و چشم‌اندازهای استفاده از سیانوباکتری‌ها در کشاورزی پایدار و حفظ سلامت خاک مورد تحلیل قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که بهره‌گیری هدفمند از سیانوباکتری‌ها می‌تواند به عنوان راهکاری کارآمد و دوستدار محیط زیست در مدیریت تغذیه گیاهان و بهبود کیفیت خاک مورد استفاده قرار گیرد.

واژگان کلیدی: تثبیت نیتروژن، سیانوباکتر، فیتوهورمون، کود زیستی

مقدمه

متخصصان و پژوهشگران در حوزه محیط زیست معتقدند که هرچند استفاده از کودهای شیمیایی، آبیاری و بهبود خاک روش‌هایی مفید هستند، اما این تکنیک‌ها بسیار پرهزینه، مضر برای اکوسیستم و در بلندمدت منجر به بحران جهانی غذا می‌شوند (Tejada et al., 2006). در نتیجه، استفاده از راهکارهای شیمیایی برای پیشگیری از کمبود مواد مغذی گیاهی و تقویت توان خاک و گیاه به‌ویژه در اراضی کم‌بازده، از اهمیت زیادی برخوردار است. در این زمینه، میکروارگانیسم‌ها به‌ویژه باکتری‌ها و قارچ‌هایی که به رشد گیاهان کمک می‌کنند به عنوان گزینه‌هایی امیدبخش مطرح شده‌اند و می‌توانند به ایجاد خاکی پایدار و حاصل‌خیز کمک کنند (Ramadoss et al., 2013). سیانوباکترها گونه‌ای خاص از پروکاریوت‌های فتوسنتزکننده هستند که به آن‌ها جلبک‌های سبز-آبی نیز گفته می‌شود. این موجودات، در کنار ترکیبات جانبی دیگر، نقش مهمی در تثبیت ترکیبات زیست‌فعال مانند نیتروژن ایفا می‌کنند و از این طریق به گیاهان و خاک یاری می‌رسانند (Singh et al., 2016). طبق نظر Acea و همکاران (۲۰۰۳)، این میکروارگانیسم‌ها در کاهش اثرات مخرب نمک‌های قلیایی مؤثرند. آن‌ها این کار را از طریق کاهش غلظت سدیم در خاک و القای مکانیزم‌های حفاظتی (مانند افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز) انجام می‌دهند.

Renuka و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهش خود، به نقش سیانوباکترها در احیای خاک‌های شور-قلیایی و اهمیت اقتصادی آن‌ها در بهبود رشد گیاهان برنج و گندم اشاره کرده‌اند. همچنین، این پژوهش نشان می‌دهد که سوخت‌های زیستی می‌توانند به افزایش کارایی فرآیند احیا کمک کنند، به‌ویژه در سیستم‌های تصفیه فاضلاب کارخانه‌های صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

زیست‌شناسی و بوم‌شناسی سیانوباکترها

سیانوباکترها گروهی چندوجهی و بسیار سازگار از پروکاریوت‌های فتوسنتزکننده هستند که در زیستگاه‌های متنوعی از جمله خاک و منابع آبی زندگی می‌کنند. توانایی آن‌ها در انجام فتوسنتز اکسیژنی و تثبیت نیتروژن، آن‌ها را به یکی از عوامل کلیدی در حفظ تعادل اکوسیستم تبدیل کرده است. در این بخش، به بررسی رده‌بندی، سازگاری‌های فیزیولوژیکی، نقش‌های بوم‌شناختی و تعاملات آن‌ها با میکروارگانیسم‌های خاک می‌پردازیم. سیانوباکترها از جمله مقاوم‌ترین موجودات زنده در برابر شرایط دشوار مانند شوری بالا، قلیائیت زیاد و خشکسالی هستند، شرایطی که معمولاً در خاک‌های شور-قلیایی مشاهده می‌شود. این موجودات با تولید پلی‌ساکاریدهای برون‌سلولی و استفاده از ترکیبات سازگار مانند ترهالوز و گلیسین‌بتائین از خود در برابر تنش‌های اسمزی محافظت می‌کنند (Hagemann, 2011). برای مثال، *Leptolyngbya. sp.* توانایی تحمل تا ۲٪ نمک در فاضلاب ناشی از طوفان را دارد و از این‌رو گزینه‌ای مناسب برای احیای خاک‌های شور و قلیایی به شمار می‌رود (Duan et al., 2023). این سازگاری‌ها موجب می‌شود که سیانوباکترها حتی در شرایط نامساعد نیز قادر به انجام فعالیت‌های متابولیکی بوده و رشد گیاه را تسهیل کنند.

رده بندی و تنوع

سیانوباکترها در شاخه‌ی *Cyanophyta* طبقه‌بندی می‌شوند و شامل پنج راسته اصلی هستند: *Pleurocapsales*، *Chroococcales*، *Nostocales*، *Stigonematales*، *Oscillatoriales* و *Nostocales*. این تقسیم‌بندی بر اساس ویژگی‌های ریخت‌شناسی و فیلوژنتیک مولکولی صورت گرفته است (Castenholz et al., 2001). برخی از جنس‌های متداول و مهم در کشاورزی شامل *Calothrix*، *Nostoc*، *Anabaena*، *Leptolyngbya* و *Synechococcus* هستند. این جنس‌ها اشکال ریختی مختلفی را نشان می‌دهند؛ به عنوان مثال، *Synechococcus* دارای فرم تک‌سلولی است، در حالی که *Anabaena* به صورت رشته‌ای ظاهر می‌شود و دارای سلول‌های تخصص‌یافته تثبیت‌کننده نیتروژن موسوم به هتروسیست‌ها می‌باشد (Herrero & Flores, 2008). این ویژگی‌ها باعث شده‌اند که سیانوباکترها بتوانند در زیستگاه‌های گوناگونی از جمله خاک‌های شور و قلیایی که اغلب کشت گندم و برنج در آن‌ها با تنش مواجه است، ساکن شوند (Duan et al., 2023). این موجودات را می‌توان بر اساس توانایی‌شان برای رشد در شرایط خاص طبقه‌بندی کرد: قلیادوست‌ها (*alkaliphiles*)،

سنگزی‌ها (*endolithics*)، شورپسندها (*halophiles*)، کم‌مغذی‌دوست‌ها (*oligotrophics*)، سرمادوست‌ها (*psychrophiles*)، گرمادوست‌ها (*thermophiles*) و پرتوزی‌ها (*radiophiles*) که در جدول ۱ به صورت کامل آورده شده است. قابلیت تثبیت نیتروژن در سیانوباکترها وابستگی به کودهای شیمیایی نیتروژنی را کاهش می‌دهد، که از نظر زیست‌محیطی به کاهش یوتریفیکاسیون و آلودگی کمک می‌کند (Paerl et al., 2011).

جدول ۱- (تقسیم بندی سیانوباکتری ها (Pavitra Nandagopa et al., 2021))

سیانو باکتر	زیستگاه‌ها	کلاس
<i>Microcoleus</i> sp., <i>Pleurocapsa</i> sp., <i>Synechococcus</i> sp., <i>Cyanobacterium</i> sp., <i>Spirulina subsalsa</i> , <i>Spirulina platensis</i> , <i>Spirulina maxima</i> , and <i>Arthrospira</i> sp.	باتلاق‌های بسیار شور، دریاچه یا برکه‌های قلیایی-شور، چشمه آب گرم، چشمه آب گرم قلیایی، دریاچه آتشفشانی قلیایی-شور، کویر سودا	قلیادوست‌ها
Cyanobacteria cannot survive under this condition	حوضچه‌های گوگرد و زهکشی اسیدی معادن	اسیدوفیل‌ها
Chroococciopsis-like cyanobacterium	سنگ‌ها، گرانیت‌ها و کوارتزیت‌ها در بیابان، آب شیرین	اندولیتیک
<i>Synechococcus</i> sp., <i>Leptolyngbya</i> sp., <i>Nodosilinea</i> sp., and <i>Geitlerinema</i> sp.	دریاچه‌های فوق شور، تالاب‌های ساحلی فوق شور، چشمه‌های شور، دشت‌ها و برکه‌های نمکی	هالوفیل
<i>Dolichospermum lemmerma</i>	مناطق ساحلی دریایی و آب شیرین	الیکوتروفیک‌ها
<i>Nostoc</i> sp., <i>Leptolyngbya</i> sp., <i>Oscillatoria</i> sp. and <i>Phormidium</i> sp.	آلب و مناطق قطبی	روان دوست
<i>Synechococcus</i> sp., <i>Thermosynechococcus vulcanus</i> , <i>Leptolyngbya</i> sp., <i>Thermosynechococcus elongatus</i> , and <i>Phormidium</i> sp.	پوسته‌های خاک مناطق متروکه حرارتی	گرمادوست
<i>Synechocystis</i> sp., <i>Chroococcus minutus</i> , <i>Leptolyngbya</i> sp., <i>Trichodesmium</i> and <i>Crocospaera</i>	دریایی، آب شیرین و کویری	رادیفیل‌ها

توسعه رشد گیاه

سیانوباکتری‌ها فیتوهورمون‌های مؤثری در رشد گیاه مانند اکسین، جیبرلین و سیتوکینین را تولید می‌کنند (Ahmed et al., 2014). اسید ایندول-۳-استیک توسط گونه‌های *Anabaena* و *Nostoc* تولید می‌شود که باعث افزایش طول سلول‌ها و تحریک رشد ریشه‌های برنج و گندم می‌شود (Hussain & Hasnain., 2011). در گندم، اکسین تولیدشده توسط *Calothrix ghosei* طول ساقه را در مدت ۹۰ روز بین ۱۰ تا ۱۵ درصد افزایش داد (Karthikeyan et al., 2007). جیبرلین‌های تولیدی *Nostoc* باعث افزایش عملکرد دانه برنج به میزان ۱۲٪ از طریق افزایش پنجه‌زنی شدند (Prasanna et al., 2015). سیتوکینین‌های تولیدشده توسط *Anabaena* پیری را به تأخیر انداخته و فتوسنتز در گندم را طولانی‌تر کردند (Swarnalakshmi et al., 2013). همه این فیتوهورمون‌ها به صورت هم‌افزا تولید می‌شوند که ساختار و بهره‌وری گیاهان را بهبود می‌بخشند. سیستم‌های ریشه‌ای اندام‌های اصلی جذب مواد مغذی و آب هستند و به حفظ آبرسانی گیاه، به ویژه در خاک‌های شور-قلیایی که استرس شوری باعث محدود شدن رشد ریشه می‌شود، کمک می‌کنند (Munns & Tester, 2008). این امر از طریق تنظیم شرایط خاک با واسطه فیتوهورمون‌ها انجام می‌شود. علاوه بر آن، رشد ریشه با استفاده از *P. sabiniae* و *Leptolyngbya* sp. RBD05 نیز بهبود یافته است. در این راستا، طول ریشه گندم در مدت ۹۰ روز بیش از ۷۰٪ افزایش یافته و جذب مواد مغذی و مقاومت در برابر تنش را بهبود داده است (Duan et al., 2023). تلقیح با *Anabaena* باعث افزایش ۲۵٪ زیست‌توده ریشه

در برنج شد و در نتیجه جذب آب بهبود یافت (Rana et al., 2012) بهبود توسعه ریشه عاملی مهم در ارتقای عملکرد توسط سیانوباکتری‌ها در مناطق با شرایط محیطی سخت است.

بهبود حاصلخیزی خاک

سیانوباکتری‌ها نه تنها بر رشد گیاه اثر می‌گذارند، بلکه ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک را نیز با افزایش ظرفیت نگهداری آب، تثبیت خاک، دسترسی به مواد مغذی و فعالیت‌های میکروبی بهبود می‌بخشند. سیانوباکتری‌ها باعث فعال شدن زیستی خاک از طریق افزایش میکروارگانیسم‌های مفید و آنزیم‌های خاک مانند دهیدروژناز و فسفاتاز می‌شوند. این فعالیت‌ها چرخه مواد مغذی را تقویت کرده و زیست‌دسترسی پذیری عناصر معدنی را بهبود می‌بخشند (Kaushik, 2021). در خاک‌های گندم، تلقیح با *Leptolyngbya sp. RBD05* باعث افزایش ۶۰٪ فعالیت دهیدروژناز شد که نشانگر رشد بالای میکروبی بود. (Duan et al., 2023). در مزارع برنج، فعالیت فسفاتاز در حضور *Anabaena* تا ۴۰٪ افزایش یافت که نشان‌دهنده بهبود چرخه فسفر است (Rana et al., 2012). افزایش فعالیت‌های زیستی خاک به بهبود پایداری سیستم زراعی کمک می‌کن.

سیانوباکتری‌ها با افزایش زیست‌دسترسی پذیری عناصر غذایی کلیدی مانند نیتروژن، فسفر، آهن و سایر ریزمغذی‌ها، نقش مهمی در تغذیه گیاه ایفا می‌کنند. آن‌ها این عملکرد را از طریق مکانیسم‌هایی همچون تثبیت نیتروژن، حل‌لیت بخشی فسفات‌های نامحلول، تولید سیدروفورها و تنظیم pH ریزوسفر انجام می‌دهند. بسیاری از سیانوباکتری‌ها مانند *Anabaena*، *Nostoc* و *Aulosira* توانایی تثبیت نیتروژن اتمسفری را از طریق هتروسیت‌ها دارند. این فرآیند نیتروژن مولکولی (N_2) را به آمونیوم (NH_4^+) قابل استفاده برای گیاه تبدیل می‌کند، به‌ویژه در سیستم‌های زراعی کم‌نیتروژن مانند شالیزارها. برای مثال، تلقیح *Anabaena* در برنج به اندازه ۲۰-۳۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هر هکتار تأمین کرد (Singh et al., 2016). در گندم نیز، ترکیب سیانوباکتری‌ها با باکتری‌های همیار نیتروژن‌دار، باعث کاهش نیاز به کودهای شیمیایی شد (Kaushik, 2021). سیانوباکتری‌ها می‌توانند مقاومت گیاهان را در برابر تنش‌های غیرزیستی نظیر شوری، خشکی، دمای بالا، و سمیت فلزات سنگین افزایش دهند. این اثرات از طریق سازوکارهایی چون تولید ترکیبات اسمولیت، آنتی‌اکسیدان‌ها، القای بیان ژن‌های مقاوم به تنش، و بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاه انجام می‌شود. سیانوباکتری‌ها با تولید ترکیبات اسمولیتی مانند پرولین، گلیسین بتائین و پلی‌ساکاریدهای خارج سلولی (EPS)، به حفظ تعادل اسمزی در گیاهان کمک می‌کنند. برای نمونه، تلقیح برنج با *Anabaena sp.* تحت شرایط شور (8 dS/m EC)، موجب افزایش وزن خشک گیاه و کاهش تجمع Na^+ در بافت‌ها شد (Yandigeri et al., 2011). همچنین، EPS‌های ترشح‌شده سدّی زیستی بر سطح ریشه تشکیل داده و جذب نمک را کاهش می‌دهند. در شرایط کم‌آبی، سیانوباکتری‌ها با بهبود وضعیت آبی خاک از طریق افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت با (EPS) پلی‌ساکاریدهای برون سلولی، افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند سوپراکسید دیسموتاز (SOD) و پراکسیداز (POD)، و القای تولید ترکیبات حفاظتی در گیاه، نقش حمایتی دارند. تلقیح گندم با *Nostoc sp.* در تنش خشکی باعث افزایش محتوای نسبی آب برگ و تثبیت عملکرد گردید (Kaushik et al., 2021). برخی سیانوباکتری‌های مقاوم به گرما می‌توانند تحمل گیاهان به دمای بالا را بهبود دهند، از طریق تولید شوک پروتئین‌ها، افزایش بیان ژن‌های مقاوم به دما، و کاهش آسیب اکسیداتیو. مطالعات نشان داده‌اند تلقیح با سوش‌های ترموفیلیک، در ذرت و سویا منجر به کاهش صدمات ناشی از گرما و حفظ فتوسنتز شده است. سیانوباکتری‌ها از طریق بیوجذب، تولید کمپلکس‌های زیستی با فلزات، و القای آنزیم‌های سم‌زدا، می‌توانند اثرات منفی فلزات سنگین مانند کادمیم، سرب و آرسنیک را در گیاه کاهش دهند. در مطالعه‌ای، تلقیح خاک آلوده به کادمیم با سیانوباکتری *Fischerella sp.* باعث کاهش جذب کادمیم در گوجه‌فرنگی و بهبود رشد آن شد. تلقیح خاک با سیانوباکتری‌ها موجب افزایش تنوع میکروبی، به‌ویژه باکتری‌های ریزوسفری سودمند مانند *Bacillus*، *Pseudomonas* و *Azospirillum* می‌شود. این افزایش تنوع غالباً ناشی از ترشح ترکیبات زیستی نظیر اسیدهای آمینه، ویتامین‌ها و قندها از سوی سیانوباکتری‌ها است. به عنوان مثال، تلقیح برنج با *Nostoc sp.* باعث افزایش جمعیت باکتری‌های حل‌کننده فسفات و تثبیت‌کننده نیتروژن شد (Prasanna et al., 2012). فعالیت‌های آنزیمی خاک مانند دهیدروژناز، فسفاتاز، و اوره‌از پس از

استفاده از سیانوباکتری‌ها به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌یابد. این آنزیم‌ها در چرخه‌های زیستی عناصر مغذی (نیتروژن، فسفر و کربن) نقش دارند. برای نمونه، در یک مطالعه، خاک تحت کشت ذرت که با سیانوباکتری‌ها تیمار شده بود، افزایش معنی‌داری در فعالیت دهیدروژناز و فسفاتاز نشان داد (Meena et al., 2020).

در چشم‌انداز آینده، سیانوباکتری‌ها به عنوان زیست‌کودهای هوشمند و پایدار، نقش محوری در تحول کشاورزی ایفا خواهند کرد؛ با ادغام فناوری‌های نوین مانند AI و IoT، گونه‌هایی نظیر *Anabaena* و *Leptolyngbya* می‌توانند به‌طور دقیق در خاک‌های شور-قلیایی و خشک تلقیح شوند تا تثبیت نیتروژن را تا ۳۰ کیلوگرم در هکتار افزایش دهند، فیتوهورمون‌ها را برای بهبود رشد ریشه (تا ۷۰٪) تولید کنند و با EPS، ظرفیت نگهداری آب خاک را ارتقا بخشند، که این امر مصرف کودهای شیمیایی را ۴۰-۵۰٪ کاهش می‌دهد و بازدهی محصولات مانند برنج و گندم را در مناطق آسیب‌دیده از تغییرات اقلیمی تا ۳۰٪ بهبود می‌بخشد؛ همزمان، پتانسیل تولید سوخت‌های زیستی از بیومس آن‌ها، اقتصاد دایره‌ای را تقویت کرده و تا سال ۲۰۵۰، کشاورزی را به سمت مدل کربن‌صفر سوق می‌دهد، در حالی که چالش‌هایی مانند مقیاس‌پذیری با تحقیقات ژنتیکی و حمایت‌های دولتی برطرف می‌شود، و این موجودات به ابزاری کلیدی برای امنیت غذایی جهانی و حفظ سلامت اکوسیستم تبدیل خواهند شد.

نتیجه‌گیری

استفاده از سیانوباکتری‌ها به‌عنوان زیست‌کود، فرصتی ارزشمند برای بهبود پایداری کشاورزی و حفظ منابع خاک فراهم می‌سازد. این موجودات فتوسنتزکننده نه تنها قادر به تثبیت زیستی نیتروژن هستند، بلکه به بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک کمک می‌کنند. از طریق افزایش ماده آلی، فعالیت آنزیمی و تنوع میکروبی در خاک، سیانوباکتری‌ها نقشی مؤثر در ارتقاء بهره‌وری زراعی ایفا می‌کنند. همچنین، استفاده از آن‌ها می‌تواند مصرف کودهای شیمیایی را کاهش داده و پیامدهای منفی زیست‌محیطی ناشی از کاربرد این نهاده‌ها را به حداقل برساند. افزون بر این، سیانوباکتری‌ها با تولید مواد زیست‌فعال، بهبود قابلیت دسترسی به ریزمغذی‌ها، و تحریک رشد گیاه، موجب افزایش تاب‌آوری گیاهان در برابر تنش‌های محیطی می‌شوند. توانایی آن‌ها در مقاوم‌سازی ساختار خاک و ارتقاء نگهداری رطوبت نیز در راستای کاهش اثرات تغییر اقلیم حائز اهمیت است. به‌طور کلی، ادغام سیانوباکتری‌ها در شیوه‌های مدیریت حاصلخیزی خاک، گامی مهم در جهت توسعه کشاورزی اقلیمی هوشمند، حفاظت از منابع طبیعی، و افزایش امنیت غذایی به شمار می‌رود. با این حال، انجام مطالعات بیشتر در خصوص پویایی‌های زیستی، تعامل با سایر میکروارگانیسم‌ها، و کاربرد در مقیاس وسیع، برای بهره‌برداری کامل از پتانسیل‌های این موجودات ضروری است.

فهرست منابع

- Acea, M. J., Prieto-Fernández, Á., & Diz-Cid, N. (2003). Cyanobacterial inoculation of heated soils: Effect on microorganisms of C and N cycles and on chemical composition in soil surface. *Soil Biology and Biochemistry*, 35(4), 513–524. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(03\)00005-1](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(03)00005-1)
- Ahmed, M., Stal, L. J., & Hasnain, S. (2014). Biofilm formation and indole-3-acetic acid production by cyanobacteria isolated from rice fields. *Journal of Applied Phycology*, 26(2), 949–957. <https://doi.org/10.1007/s10811-013-0136-8>
- Castenholz, R. W. (2001). Phytoplankton. In *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology* (Vol. 1, pp. 473–599). Springer.
- Duan, G., Zhang, Y., Wang, S., Chen, X., Li, H., & Zhao, Y. (2023). Cyanobacterium (*Leptolyngbya* sp. RBD05) and bacterium (*Paenibacillus sabiniae*) enriched from brewery wastewater promote the growth of wheat seedling in saline-alkali soil. *Frontiers in Environmental Science*, 11, Article 1203382. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1203382>
- Hagemann, M. (2011). Molecular biology of cyanobacterial salt acclimation. *FEMS Microbiology Reviews*, 35(1), 87–123. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2010.00234.x>

- Herrero, A., & Flores, E. (2008). *The cyanobacteria: Molecular biology, genomics, and evolution*. Caister Academic Press.
- Hussain, A., & Hasnain, S. (2011). Phytostimulation and biofertilization in wheat by cyanobacteria. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*, 38(1), 85–92. <https://doi.org/10.1007/s10295-010-0833-3>
- Karthikeyan, N., Prasanna, R., Nain, L., & Kaushik, B. D. (2007). Evaluating the potential of plant growth promoting cyanobacteria as inoculants for wheat. *European Journal of Soil Biology*, 43(1), 23–30. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2006.11.001>
- Kumar, P., & Sharma, P. K. (2020). Soil salinity and food security in India. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, Article 533781. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.533781>
- Malhi, G. S., Kaur, M., & Kaushik, P. (2021). Impact of climate change on agriculture and its mitigation strategies: A review. *Sustainability*, 13(3), 1318. <https://doi.org/10.3390/su13031318>
- Meena, R. S., Kumar, S., Datta, R., Lal, R., Vijayakumar, V., Brtnicky, M., ... & Marfo, T. D. (2020). Impact of agrochemicals on soil microbiota and management: A review. *Land*, 9(2), 34. <https://doi.org/10.3390/land9020034>
- Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 651–681. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>
- Nandagopal, P., Steven, A. N., Chan, L. W., Rahmat, Z., Jamaluddin, H., & Mohd Noh, N. I. (2021). Bioactive metabolites produced by cyanobacteria for growth adaptation and their pharmacological properties. *Biology*, 10(10), 1061. <https://doi.org/10.3390/biology10101061>
- Paerl, H. W., Otten, T. G., & Kudela, R. (2020). Mitigating the expansion of harmful algal blooms across the freshwater-to-marine continuum. *Environmental Science & Technology*, 54(8), 4689–4694. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c00897>
- Prasanna, R., Pattanayak, S., & Nain, L. (2012). Cyanobacteria as potential biofertilizers in agriculture: Recent advances. *Indian Journal of Biotechnology*, 11(3), 258–265.
- Prasanna, R., Bidiarani, N., Babu, S., Hossain, F., Shivay, Y. S., & Nain, L. (2015). Cyanobacterial inoculation elicits plant defense response and enhanced Zn mobilization in maize hybrids. *Cogent Food & Agriculture*, 1(1), 998507. <https://doi.org/10.1080/23311932.2014.998507>
- Ramadoss, D., Lakkineni, V. K., Bose, P., & Ali, S. K. (2013). Mitigation of salt stress in wheat seedlings by halotolerant bacteria isolated from saline habitats. *SpringerPlus*, 2(1), 6. <https://doi.org/10.1186/2193-1801-2-6>
- Rana, A., Joshi, M., Prasanna, R., Shivay, Y. S., & Nain, L. (2012). Biofortification of wheat through inoculation of plant growth promoting rhizobacteria and cyanobacteria. *European Journal of Soil Biology*, 50, 118–126. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2012.01.005>
- Renuka, N., Prasanna, R., Sood, A., Ahluwalia, A. S., Bansal, R., & Singh, P. (2018). Exploring the efficacy of wastewater-grown microalgal biomass as a biofertilizer for wheat. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(7), 6608–6620. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-1005-8>
- Singh, J. S., Kumar, A., Rai, A. N., & Singh, D. P. (2016). Cyanobacteria: A precious bio-resource in agriculture, ecosystem, and environmental sustainability. *Frontiers in Microbiology*, 7, 529. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00529>
- Swarnalakshmi, K., Prasanna, R., Kumar, A., Singh, N., & Prasad, H. (2013). Evaluating the influence of novel cyanobacterial biofilmed nitrogen fixers on nutrient uptake in wheat. *Field Crops Research*, 151, 78–86. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.05.005>
- Tejada, M., Gonzalez, J. L., García-Martínez, A. M., & Parrado, J. (2008). Application of a green manure and composted cow manure to a soil: Effects on soil biological and chemical properties and plant growth. *Bioresource Technology*, 99(3), 655–664. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.12.013>

Yandigeri, M. S., Yadav, A. K., Meena, K. K., & Pabbi, S. (2011). Effect of phosphate-solubilizing cyanobacteria in the rhizosphere soil of rice. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 27(7), 1719–1724.
<https://doi.org/10.1007/s11274-010-0324-1>

The function of cyanobacteria on soil fertility and plant growth

Elham Lamizadeh¹, Akbar Hassani^{2*}, Mehdi Norzadeh Hadad³, Hassan Etesami⁴

1- PhD student of Soil Science, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran

2- Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran. (E-mail: akbar.hassani@znu.ac.ir*)

3- Nuclear Agriculture Research Institute, Nuclear Science and Technology Research Institute, Karaj, Iran

4- Department of Soil Science, University of Tehran, Tehran, Iran

Abstract

Cyanobacteria, as a group of photosynthetic microorganisms, play an important role in fixing atmospheric nitrogen and improving soil fertility. The use of cyanobacteria as biofertilizers in sustainable agriculture can, in addition to reducing dependence on chemical fertilizers, improve soil health and crop quality. These microorganisms help increase crop yields by producing nutrient compounds and increasing soil microbial activity and are significantly effective in various environmental conditions, especially in poor soils and arid regions. In this article, the biological and environmental characteristics of cyanobacteria, their role in nitrogen fixation, biofertilizer effects and agricultural applications are reviewed. The advantages, limitations and prospects of using cyanobacteria in sustainable agriculture and maintaining soil health are also analyzed. The results show that targeted use of cyanobacteria can be used as an efficient and environmentally friendly solution in managing plant nutrition and improving soil quality.

Keywords: Cyanobacteria, biofertilizer, nitrogenfixation, phytohormone