19th Iranian Soil Science Congress
2-4 December, 2025

نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۱۱ تا ۱۳ آذرماه 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

اثر باکتریهای بومی تولید کننده پتاسیم و سیدروفور بر شاخص‌های رشد و بیوشیمیایی گیاه یونجه

سید حسن تفرجی *

گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، صندوق پستی: ۴۶۹۷-۱۹۳۹۵ تهران، ایران * **hassantafaroji@pnu.ac.ir**

چکیده

کمبود مواد مغذی مانند پتاسیم و آهن از موانع اصلی تولید بهینه یونجه است. این پژوهش به بررسی تأثیر دو باکتری بومی جداسازی شده از ریزوسفر گیاهان مختلف در جنوب استان فارس شامل جدایه Pseudarthrobacter phenanthrenivorans (آزادکننده پتاسیم) و Pseudomonas alcaliphila (تولیدکننده سیدروفور) بر رشد و کیفیت یونجه پرداخت. نتایج نشان داد که کاربرد این باکتری‌ها به‌طور معنی‌داری شاخص‌های رشدی و بیوشیمیایی گیاه را بهبود می‌بخشد. بیشترین افزایش وزن خشک اندام هوایی (۲۰٪) و محتوای کاروتنوئید (۳۸٪) مربوط به تیمار باکتری حل‌کننده پتاسیم بود. از سوی دیگر، باکتری تولیدکننده سیدروفور باعث افزایش ۴۴٪ در محتوای پروتئین خام شد. این یافته‌ها نشان می‌دهد که تلقیح بذر یونجه با این باکتری‌های بومی، با بهبود فراهمی مواد مغذی، راهکاری مؤثر و زیستی برای افزایش عملکرد و کیفیت غذایی این علوفه ارزشمند در شرایط خاک‌های آهکی است.

واژه‌های کلیدی: باکتری‌های محرک رشد، پتاسیم، سیدروفور، کاروتنوئید، پروتئین خام.

مقدمه

کمبود مواد مغذی به ویژه فسفر و آهن، یکی از موانع اصلی در دستیابی به پتانسیل کامل تولید در محصولات کشاورزی از جمله یونجه (Medicago sativa L.) است. یونجه به دلیل ارزش غذایی بالا و عملکرد مطلوب، یکی از مهم‌ترین علوفه‌ها در جهان محسوب می‌شود. با این حال، دستیابی به عملکرد بهینه و کیفیت برتر آن، مستلزم تأمین مقادیر زیادی کودهای شیمیایی است که استفاده بلندمدت از آنها پیامدهای نامطلوب زیستمحیطی و اقتصادی به همراه دارد (Zhou et al., 2022). در این راستا، کشاورزی پایدار با بهره‌گیری از میکروارگانیسمهای مفید خاک به عنوان کاتالیزوری برای بهبود فراهمی زیستی مواد مغذی و کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی، مورد توجه فراوان قرار گرفته است.

در میان عناصر ضروری، پتاسیم (K) نقش حیاتی در فعال‌سازی آنزیم‌ها، سنتز پروتئین، و تنظیم فشار اسمزی گیاه ایفا می‌کند. اگرچه پتاسیم در بیشتر خاک‌ها به مقدار کافی وجود دارد، اما بخش عمده‌ای از آن در ساختار کانی‌های غیرقابل دسترس برای گیاه تثبیت شده است. باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم (KSB) با تولید اسیدهای آلی و آنزیم‌ها، این کانی‌ها را تجزیه و پتاسیم را برای جذب گیاه آزاد می‌کنند (Etesami et al., 2021). از سوی دیگر، آهن (Fe) که یک ریزمغذی کلیدی برای فرآیندهای متابولیکی مانند فتوسنتز و تثبیت نیتروژن است، در خاک‌های قلیایی و آهکی (مانند اغلب خاک‌های ایران) به شکل غیرقابل جذب (Fe^{3+}) رسوب می‌کند. باکتری‌های تولیدکننده سیدروفور، با ترشح لیگاندهای آلی با میل ترکیبی بسیار بالا برای آهن، آن را کمپلکس و به شکل قابل جذب (Fe^{2+}) در اختیار ریشه گیاه قرار می‌دهند (Vishnupradeep et al., 2022).

اخیراً مطالعات نشان داده‌اند که کاربرد توأم باکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR) با توانایی‌های مکمل، می‌تواند اثر هم‌افزایی داشته و منجر به بهبود شاخص‌های رشدی فراتر از کاربرد تک‌گانه آنها شود. برای مثال، (Sadeghi et al., 2022) گزارش کردند که تلقیح توأم باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم و تولیدکننده سیدروفور، رشد، محتوای کلروفیل و جذب مواد مغذی در گیاه ذرت را به طور معنی‌داری در مقایسه با شاهد افزایش داد. علاوه بر این، این باکتری‌ها می‌توانند با القای مقاومت سیستمیک و تولید فیتوهورمون‌ها، استرس‌های غیرزیستی را نیز تعدیل کنند.

با توجه به اهمیت یونجه در تأمین علوفه و نقش کلیدی باکتری‌های بومی در افزایش فراهمی پتاسیم و آهن، این پژوهش با هدف بررسی اثر باکتری‌های بومی تولیدکننده پتاسیم و سیدروفور بر شاخص‌های رشد، میزان کاروتنوئیدها و پروتئین در گیاه یونجه طراحی شده است.

مواد و روش‌ها

۴۵ نمونه خاک از ریزوسفر محصولات مختلف در مزارع کشاورزی شهر بیرم در جنوب استان فارس جمع‌آوری شد. خاکهای مورد نظر همگی pH قلیایی داشتند و دارای مقادیر زیادی کربنات کلسیم(آهک) بودند. برای جداسازی خاک ریزوسفری، از خاکی که به فاصله ۲-۳ میلی متر از ریشه های مویین فاصله داشت، استفاده شد.

برای جداسازی باکتریهای ریزوسفری در یک ارلن ۲۵۰ میلی لیتری، ۱۰ گرم خاک در ۹۰ میلی لیتر محلول نمکی استریل (۰/۸۵ درصد NaCl) معلق شد. سوسپانسیون خاک در شیکر چرخشی در دمای ۲±۲۸ درجه سانتی گراد و ۱۲۰ دور در دقیقه به مدت ۳۰ دقیقه تکان داده شد. برای دستیابی به محلولی از رقت 10^{-4} تا 10^{-6} ، ۱ میلی لیتر از سوسپانسیون به صورت متوالی رقیق شد و ۱۰۰ میکرولیتر از این محلول سوسپانسیون بر روی محیط استریل نوترینت آگار (۵ گرم پپتون، ۳ گرم عصاره بیف، ۵ گرم نمک کلرید سدیم و ۲۰ گرم آگار) پخش شد. پلیت ها در دمای ۲±۲۸ درجه سانتی گراد به مدت ۴۸ ساعت در انکوباتور BOD انکوبه شدند.

برای اندازه گیری میزان آزاد سازی پتاسیم معدنی نامحلول ۱۰۰ میکرولیتر از سوسپانسیون تازه میکروبی با غلظت 10^8 CFU به ۵۰ میلی لیتر محیط الکساندروف(شامل ساکاروز ۵ گرم در لیتر، $MgSO_4$ ۰/۵ گرم در لیتر، $CaCO_3$ ۰/۱ گرم در لیتر، $FeCl_3$ ۰/۰۰۵ گرم در لیتر، $NaHMoO_4$ ۰/۰۰۲ گرم در لیتر و موسکووایت ۵ گرم در لیتر در pH = 7) افزوده و با سرعت ۱۲۰ دور در دقیقه بر روی شیکر قرار داده شد. سپس ۲ میلی لیتر از محلول کشت شده به میکروتیوب منتقل شده و در روز هفتم پس از انکوباسیون، به مدت ۱۵ دقیقه و ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید و غلظت پتاسیم در ۱ میلی لیتر محلول رویی، پس از رقیق شدن با ۱۰ میلی لیتر آب مقطر به وسیله دستگاه فلیم فتومتر اندازه گیری شد(Savostin, 1972).

غربالگری اولیه برای جدایه های PGPR تولیدکننده سیدروفور، با لکه گیری و کشت یک شبه محلول باکتریایی رشدیافته بر روی صفحات آبی کروم آزرول سولفونات (CAS) انجام شد و در ۱۳ درجه سانتیگراد انکوبه شد. تشکیل یک ناحیه روشن با هاله رنگی مایل به زرد، صورتی یا سفید اطراف کلونی در محیط آبی تیره، نشان دهنده تولید سیدروفور است. تجزیه و تحلیل کمی سیدروفور با استفاده از روش شاتل CAS انجام شد. پس از ۱۰ دقیقه انکوباسیون در دمای اتاق، جذب در طول موج ۶۳۰ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر (Perkin Elmer, Lambda2) ثبت شد. واحد سیدروفور (٪) با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد:

$$\text{واحد سیدروفور (٪)} = \frac{Ar - As}{Ar} \times 100$$

که در آن، Ar جذب مرجع در ۶۳۰ نانومتر، As جذب نمونه در ۶۳۰ نانومتر است (Alexander & Zuberer, 1991).

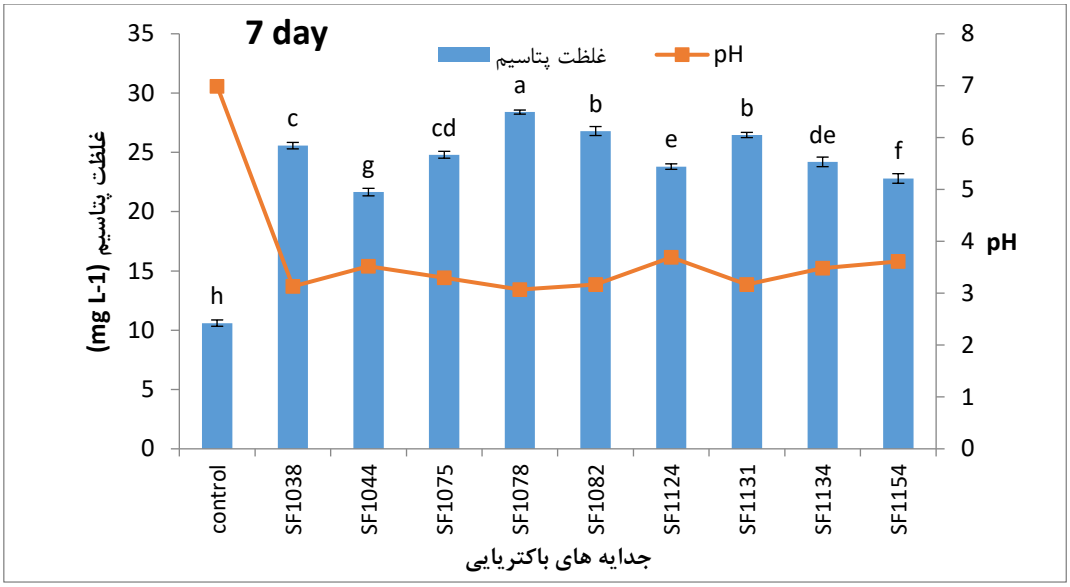
برای شناسایی مولکولی جدایه‌های PGPR ، ژن 16S rRNA از DNA ژنومی جدا شده از باکتری با استفاده از پروتکل‌های استاندارد PCR تکثیر شد. از پرایمرهای (5′-AGAGTTTGATCCTGGCTCAG-3′) 27F و (5′-TACGGTTACCTTGTTACGACTT-3′) 1492R برای تکثیر ژن ریبوزومی 16S rRNA استفاده شد. محصولات PCR با الکتروفورز روی ژل آگارز ۱ درصد به مدت ۱ ساعت و رنگ‌آمیزی با اتیدیوم بروماید جدا شدند. محصولات تکثیر یافته (با اندازه حدود ۱۵۰۰ جفت باز) در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. محصول PCR تحت توالی‌یابی چرخه‌ای در جهت رو به جلو قرار گرفت. واکنش زنجیره‌ای پلیمراز (PCR) با استفاده از ترموسایکلر (Bio-Rad T100, USA) انجام شد.

برای آزمایش گلخانه ای بذرها از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر و نهال تهیه شد. بذرهای تلقیح‌شده با PGPR های منتخب به روش (Singh et al., 2020) در هوا خشک شدند و بذرهای خیس‌شده با آب مقطر بدون جدایه باکتری نیز به عنوان شاهد استفاده شدند. بذر یونجه در گلدان پلاستیکی با سه تکرار از هر تیمار PGPR کاشته شد و حداقل سه بوته در هر گلدان نگهداری شد.

میزان کارتنویید کل به روش(Lichtenthaler & Wellburn, 1983) و پروتئین به روش (Bradford, 1976) اندازه گیری گردید. همه آزمایش‌ها در سه تکرار انجام شد. داده‌های به‌دست‌آمده از طریق تحلیل واریانس (ANOVA) با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶ مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین، میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد ($P \leq 0.05$) مقایسه شدند.

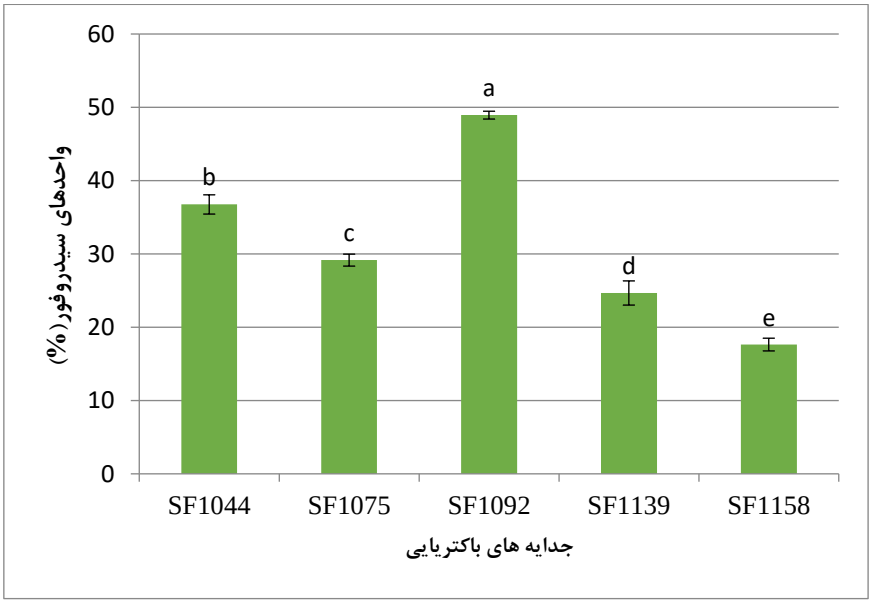
نتایج و بحث

میزان آزادسازی پتاسیم در محیط الکساندروف ، جهت برآورد کمی آزادسازی پتاسیم مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج آن در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱- برآورد کمی آزادسازی پتاسیم در محیط الکساندروف در مدت زمان ۷ روز بعد از انکوباسیون.

بر اساس نتایج شکل (۱) جدایه SF1078 در ۷ روز پس از انکوباسیون بیشترین غلظت پتاسیم را در محیط الکساندروف حاوی پتاسیم آلومینوسیلیکات نشان داد و اختلاف معنی داری با بقیه جدایه ها و تیمار شاهد داشت که در نتیجه کاهش pH در محیط نسبت به تیمار شاهد (control)حاصل شده است. این جدایه بعنوان جدایه برتر جهت شناسایی مولکولی و تلقیح با بذر یونجه انتخاب شد.



شکل ۲- درصد واحدهای سیدروفور در جدایه های غربالگری اولیه.

در شکل (۲) درصد واحدهای سیدروفور در جدایه های غربالگری اولیه نشان داده شده است. همانطور که مشخص است جدایه SF1092 بیشترین درصد واحدهای سیدروفور را داشته است و جدایه های SF1044 و SF1075 با اختلاف معنی داری در سطح

پنج درصد بوسیله آزمون چند دامنه ای دانکن در رتبه های بعدی هستند. بنابراین جدایه SF1092 بعنوان جدایه برتر جهت شناسایی مولکولی و تلقیح با بذر یونجه انتخاب شد.

بر اساس شناسایی مولکولی مبتنی بر توالی‌یابی ناحیه 16S rRNA جدایه های برتر در زمینه آزادسازی پتاسیم و تولید سیدروفور به ترتیب متعلق به و هستند که اطلاعات آنها در جدول (۱) آمده است.

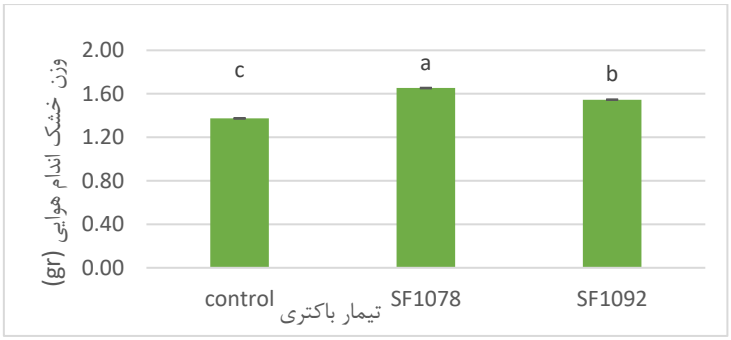
جدول ۱- شناسایی مولکولی جدایه های برتر در زمینه آزادسازی پتاسیم و تولید سیدروفور

شماره جدایه	جدایه برتر	نزدیکترین تطابق پایگاه داده NCBI	درصد مشابهت (٪)	طول باند (bp)	شماره دسترسی Genbank
SF1078	آزادسازی پتاسیم	Pseudarthrobacter phenanthrenivorans	98.14%	983	OL979177.1
SF1092	تولید سیدروفور	Pseudomonas alcaliphila	94.80%	672	OL979228.1

جدایه‌های برتر در این مطالعه به جنس‌های Pseudarthrobacter و Pseudomonas تعلق داشتند. این یافته با مطالعات اخیر مطابقت دارد که نشان می‌دهند این جنس‌ها از جمله ساکنین رایج و مؤثر ریزوسفر گیاهان هستند و نقش مهمی در حل کردن مواد معدنی و تولید سیدروفور ایفا می‌کنند. به طور خاص،گونه‌های Pseudarthrobacter به دلیل توانایی در تجزیه ترکیبات آلی و معدنی پیچیده شناخته شده‌اند (Li et al., 2021). از سوی دیگر، جنس Pseudomonas، به ویژه گونه‌های مرتبط با P. alcaliphila، به عنوان یکی از قوی‌ترین تولیدکنندگان سیدروفور و محرک‌های رشد گیاه در شرایط استرس‌زا مورد تأیید قرار گرفته‌اند (Goswami & Deka, 2020).

نتایج مطالعات گلخانه ای نشان داد تیمارهای باکتری SF1078 متعلق به جنس سودآرتروباکتر و SF1092 متعلق به جنس سودوموناس نسبت به شاهد (بدون تلقیح باکتریایی) اثرات مثبت و معنی داری را نشان دادند. بر اساس نتایج شکل (۳) جدایه SF1078 بالاترین وزن خشک اندام هوایی یونجه را نشان داد و بعد از آن جدایه SF1092 قرار گرفت که هر دو جدایه اختلاف معنی داری را با تیمار شاهد در سطح ۵ درصد نشان دادند و به ترتیب ۲۰ و ۱۳ درصد افزایش عملکرد را نسبت به تیمار شاهد داشته اند.

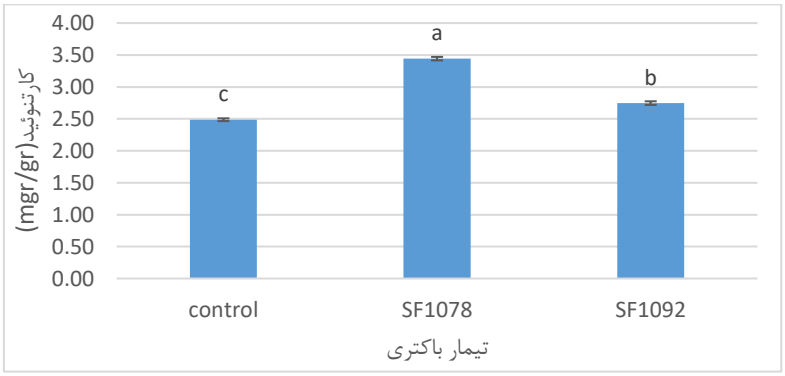
افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی یونجه در تیمارهای باکتریایی، به ویژه با جدایه Pseudarthrobacter sp. (SF1078)، را می‌توان مستقیماً به نقش این باکتری‌ها در بهبود فراهمی عناصر غذایی کلیدی، به‌ویژه پتاسیم و آهن، نسبت داد. پتاسیم یک عنصر حیاتی در تنظیم فشار اسمزی، فعال‌سازی آنزیم‌ها و انتقال مواد فتوسنتزی است. مطالعات اخیر نشان داده‌اند که باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم (KSB) مانند Pseudarthrobacter با ترشح اسیدهای آلی و آنزیم‌ها، سیلیکات‌های معدنی را تجزیه و پتاسیم را برای جذب گیاه آزاد می‌کنند، که این امر منجر به بهبود رشد رویشی و افزایش زیست‌توده می‌شود (Etesami et al., 2021). به موازات آن، جدایه Pseudomonas sp. (SF1092) با تولید سیدروفور، فراهمی آهن را در خاک قلیایی افزایش داده است. آهن برای تشکیل کلروفیل و فرآیند فتوسنتز ضروری است. بهبود این فرآیندها منجر به تولید بیشتر کربوهیدرات‌ها و در نهایت افزایش biomass می‌شود (Vishnupradeep et al., 2022). اثر هم‌افزایی احتمالی این دو مکانیسم (تأمین همزمان K و Fe) می‌تواند دلیل برتری جدایه SF1078 باشد، چرا که پتاسیم نقش گسترده‌تری در فرآیندهای رشد کلی گیاه ایفا می‌کند.



شکل ۳- تاثیر تیمارهای باکتریایی بر وزن خشک اندام هوایی یونجه

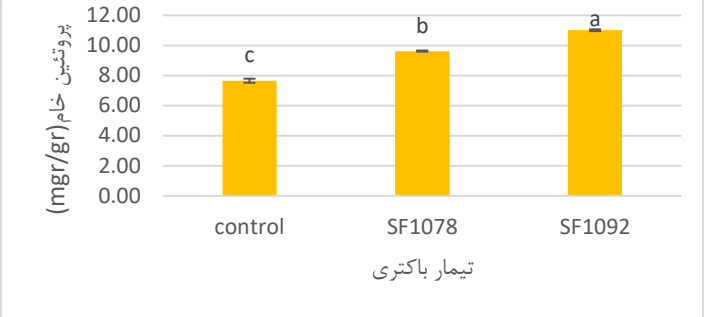
همچنین بر اساس نتایج شکل (۴) جدایه SF1078 بالاترین تولید کاروتنوئید در یونجه را نشان داد و بعد از آن جدایه SF1092 قرار گرفت که هر دو جدایه اختلاف معنی داری را با تیمار شاهد در سطح ۵ درصد نشان دادند و به ترتیب ۳۸ و ۱۰ درصد افزایش تولید کاروتنوئید را نسبت به تیمار شاهد داشته اند.

افزایش چشمگیر غلظت کاروتنوئیدها در گیاهان تلقیح‌شده، به‌ویژه با جدایه SF1078 (۳۸٪ افزایش)، نشان‌دهنده بهبود وضعیت فیزیولوژیکی و کاهش استرس اکسیداتیو در گیاه یونجه است. کاروتنوئیدها نه تنها به عنوان رنگدانه‌های فرعی فتوسنتزی عمل می‌کنند، بلکه نقش مهمی در محافظت از دستگاه فتوسنتزی در برابر استرس‌های نوری (Photo-oxidative stress) به عنوان آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی ایفا می‌کنند. بهبود فراهمی پتاسیم توسط SF1078 می‌تواند به طور مستقیم بر کارایی فتوسنتز تأثیر بگذارد، زیرا پتاسیم در باز و بسته شدن روزنه‌ها و تنظیم تعادل آب گیاه نقش دارد که خود بر میزان جذب CO_2 و در نتیجه کارایی فتوسنتز مؤثر است. هنگامی که فتوسنتز افزایش می‌یابد، نیاز به محافظت در برابر گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) تولیدشده نیز بیشتر می‌شود و گیاه با سنتز بیشتر کاروتنوئیدها به این نیاز پاسخ می‌دهد (Sachdev et al., 2021). علاوه بر این، برخی از PGPR ها توانایی تولید پیش‌سازهای کاروتنوئید یا القای مسیرهای سیگنالینگ مرتبط با سنتز آنتی‌اکسیدان‌ها را دارند (Kang et al., 2022).



شکل ۴- اثر تیمارهای باکتریایی بر تولید کاروتنوئید یونجه

همچنین نتایج مطالعات گلخانه ای نشان داد تیمارهای باکتری SF1092 متعلق به جنس سودوموناس و SF1078 متعلق به جنس سودآرتروباکتر نسبت به شاهد (بدون تلقیح باکتریایی) اثرات مثبت و معنی داری را بر تولید پروتئین نشان دادند. بر اساس نتایج شکل (۵) جدایه SF1092 بالاترین تولید پروتئین یونجه با میانگین ۱۱،۰۱ میلی گرم بر گرم را نشان داد و بعد از آن جدایه SF1078 با میانگین ۹،۶۲ میلی گرم بر گرم قرار گرفت که هر دو جدایه اختلاف معنی داری را با تیمار شاهد با میانگین ۷،۶۵ میلی گرم بر گرم در سطح ۵ درصد نشان دادند و به ترتیب ۴۴ و ۲۶ درصد افزایش تولید پروتئین خام را نسبت به تیمار شاهد داشته اند.



شکل ۵- اثر تیمارهای باکتریایی بر تولید پروتئین یونجه

افزایش قابل توجه محتوای پروتئین خام در یونجه تحت تأثیر هر دو باکتری، به ویژه جدایه سیدروفورساز Pseudomonas (۴۴٪ افزایش)، از مهم‌ترین یافته‌های این پژوهش است که اهمیت باکتری‌ها را در بهبود کیفیت غذایی علوفه نشان می‌دهد. این افزایش را می‌توان از دو منظر توضیح داد:

اول، تأمین نیتروژن غیرمستقیم: آهن یک کوفاکتور ضروری برای آنزیم‌های کلیدی در مسیر تثبیت بیولوژیکی نیتروژن، از جمله نیتروژناز و لگ‌هموگلوبین، است. با فراهم‌کردن آهن قابل جذب برای گیاه، باکتری‌های سیدروفورساز مانند SF1092 به طور غیرمستقیم کارایی تثبیت نیتروژن را در گره‌های ریشه یونجه (که یک لگوم است) افزایش می‌دهند. نیتروژن بیشتر مستقیماً به معنای سنتز بیشتر اسیدهای آمینه و پروتئین است (Goswami & Deka, 2020).

دوم، نقش کلی در متابولیسم: پتاسیم آزادشده توسط جدایه SF1078 نیز در فعال‌سازی آنزیم‌های دخیل در سنتز پروتئین و انتقال نیترات در گیاه نقش دارد. کمبود پتاسیم می‌تواند منجر به تجمع نیترات و کاهش تبدیل آن به پروتئین شود. بنابراین، تأمین بهینه پتاسیم نیز می‌تواند سنتز پروتئین را تسهیل کند (Yaghoubi Khanghahi et al., 2021). برتری جدایه سیدروفورساز در این بخش احتمالاً به دلیل نقش محوری و مستقیم آهن در سنتز پروتئین و تثبیت نیتروژن است.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه به وضوح نشان داد که کاربرد باکتری‌های بومی آزادکننده پتاسیم و تولیدکننده سیدروفور، به ویژه جدایه‌های Pseudarthrobacter phenanthrenivorans و Pseudomonas alcaliphila، می‌تواند به عنوان یک راهکار زیستی مؤثر برای بهبود شاخص‌های رشدی و کیفی یونجه در خاک‌های آهکی مورد استفاده قرار گیرد. این باکتری‌ها از طریق افزایش فراهمی مواد مغذی ضروری، موجب افزایش معنی‌دار عملکرد، محتوای کاروتنوئید و پروتئین خام شدند. بنابراین، تلقیح بذر با این باکتری‌ها می‌تواند به عنوان یک جایگزین پایدار و سازگار با محیط زیست برای کاهش مصرف کودهای شیمیایی و دستیابی به کشاورزی پایدار در کشت یونجه توصیه شود. انجام مطالعات در شرایط مزرعه‌ای برای ارزیابی دقیق‌تر کارایی این باکتری‌ها پیشنهاد می‌گردد.

منابع

Alexander, D., & Zuberer, D. (1991). Use of chrome azurol S reagents to evaluate siderophore production by rhizosphere bacteria. Biology and Fertility of Soils, 12, 39-45 .

Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical biochemistry, 72(1-2), 248-254 .

Etesami, H., Jeong, B. R., & Glick, B. R. (2021). Potential use of Bacillus species as microbial inoculants for biocontrol of plant diseases and plant growth promotion. Plant Cell Reports, *40*(9), 1769–1801. https://doi.org/10.1007/s00299-021-02755-7

Etesami, H., Jeong, B. R., & Rizwan, M. (2021). Contribution of arbuscular mycorrhizal fungi and/or bacteria to enhancing plant drought tolerance under natural soil conditions: Effectiveness of autochthonous or allochthonous strains. Pedosphere, 31(3), 454–467. https://doi.org/10.1016/S1002-0160(20)60041-7

Goswami, M., & Deka, S. (2020). Plant growth-promoting rhizobacteria—alleviators of abiotic stresses in soil: A review. Pedosphere, 30(1), 40–61. https://doi.org/10.1016/S1002-0160(19)60839-8

Kang, S. M., Khan, A. L., Hamayun, M., & Lee, I. J. (2022). Ameliorative effect of Burkholderia sp. SRB-1 on the growth and antioxidant system of soybean under drought stress. Plant Stress, 4, 100077. https://doi.org/10.1016/j.stress.2022.100077

Lichtenthaler, H. K., & Wellburn, A. R. (1983). Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. In: Portland Press Ltd.

Sachdev, S., Ansari, S. A., & Ansari, M. I. (2021). Abiotic stress and reactive oxygen species: Generation, signaling, and defense mechanisms. Antioxidants, 10(8), 1226. https://doi.org/10.3390/antiox10081226

Sadeghi, S., Ahmadian, J., Sadeghi, A., & Labafzadeh, S. R. (2022). A synergic effect of potassium-release and siderophore-producing bacteria on the growth and nutrient uptake of maize (Zea mays L.). Journal of Plant Nutrition, *45*(10), 1554–1567. https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2027975

Savostin, P. (1972). Microbial transformation of silicates. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde, 132*(1), 37-45 .

Singh, A., Sharma, J., Paichha, M., & Chakrabarti, R. (2020). Achyranthes aspera (prickly chaff flower) leaves- and seeds-supplemented diets regulate growth, innate immunity, and oxidative stress in Aeromonas hydrophila-challenged Labeo rohita. Journal of Applied Aquaculture, 32(3), 250-267.

Vishnupradeep, R., Bruno, L. B., Taj, Z., Karthik, C., Challabathula, D., Tripti, Kumar, A., Freitas, H., & Rajkumar, M. (2022). The plant growth promotion by siderophore-producing bacteria in plants grown in saline soil. Microbiological Research, *264*, 127170. https://doi.org/10.1016/j.micres.2022.127170

Vishnupradeep, R., Bruno, L. B., Taj, Z., Karthik, C., Challabathula, D., Tripti, Kumar, A., & Freitas, H. (2022). The plant growth promotion by Streptomyces spp. in a rice–Amaranthus rotation system. Microbiological Research, 256, 126956. https://doi.org/10.1016/j.micres.2021.126956

Yaghoubi Khanghahi, M., Pirdashti, H., Rahimian, H., Nematzadeh, G., & Ghajar Sepanlou, M. (2021). The role of potassium solubilizing bacteria (KSB) in the sustainable management of agricultural soils. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 21(1), 70–84. https://doi.org/10.1007/s42729-020-00344-5

Zhou, C., Ma, Z., Zhu, L., Xiao, X., Xie, Y., Zhu, J., & Wang, J. (2022). Rhizobacterial strain Bacillus megaterium BOFC15 induces cellular polyamine changes that improve plant growth and drought resistance. International Journal of Molecular Sciences, *23*(16), 8876. https://doi.org/10.3390/ijms23168876

The Effect of Native Potassium-Releasing and Siderophore-Producing Bacteria on the Growth and Biochemical Indicators of Alfalfa

Seyed Hassan Tafaroji
Department of Agriculture, Payame Noor University (PNU), P.O.Box 19395-4697, Tehran, Iran

Abstract:

Nutrient deficiencies such as potassium and iron are major constraints to optimal alfalfa production. This research investigated the effects of two native bacterial strains isolated from the rhizosphere of various plants in southern Fars province, including Pseudarthrobacter phenanthrenivorans (potassium-releasing) and Pseudomonas alcaliphila (siderophore-producing), on the growth and quality of alfalfa. The results demonstrated that the application of these bacteria significantly improved the growth and biochemical indicators of the plants. The highest increases in dry weight of aerial parts (20%) and carotenoid content (38%) were observed in the treatment with the potassium-solubilizing bacteria. On the other hand, the siderophore-producing bacterium led to a 44% increase in crude protein content. These findings indicate that inoculating alfalfa seeds with these native bacteria, by enhancing nutrient availability, is an effective and biological strategy for increasing the yield and nutritional quality of this valuable forage under calcareous soil conditions.

Keywords: Plant Growth-Promoting Rhizobacteria, Potassium, Siderophore, Carotenoid, Crude Protein.