



نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار
جلد چهارم، شماره سوم، ۱۳۹۳
<http://ejms.gau.ac.ir>



تأثیر کاربرد سودوموناس‌های فلورسنت حل‌کننده فسفات و کود فسفوری بر رشد و جذب عناصر غذایی در گیاه کنجد

سبچه نیک‌مهر^۱، * عبدالرضا اخگر^۲، شهاب مداح‌حسینی^۳ و وحید مظفری^۴

^۱دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان، آستادیار گروه علوم خاک، دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان، آستادیار گروه زراعت، دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان، ^۲دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان
تاریخ دریافت: ۹۲/۸/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۲/۶

چکیده

باکتری‌های حل‌کننده فسفات از جمله باکتری‌های محرک رشد گیاه هستند که از طریق افزایش حلالیت فسفات‌های نامحلول باعث افزایش رشد و عملکرد گیاه می‌شوند. در این پژوهش اثر کاربرد سودوموناس‌های فلورسنت حل‌کننده فسفات‌های نامحلول و کود فسفات، بر رشد و جذب عناصر غذایی گیاه کنجد مورد ارزیابی قرار گرفت. آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۵ سطح فسفر (P_۰: بدون مصرف کود فسفوری، P_۱: ۱۰۰ کیلوگرم، P_۲: ۲۰۰ کیلوگرم، P_۳: ۴۰۰ کیلوگرم بر هکتار سوپرفسفات تریپل و P_۴: ۱۲۰۰ کیلوگرم بر هکتار سنگ فسفات) و ۳ سطح باکتری (B_۰: بدون تلقیح باکتری، B_۱ و B_۲: باکتری‌های سودوموناس فلورسنت با توانایی بالا در حل فسفات‌های معدنی نامحلول) در ۳ تکرار اجرا شد. نتایج نشان داد تلقیح گیاه کنجد با جدایه‌های باکتری باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک و شاخص کلروفیل و جذب عناصر فسفر، آهن و منگنز در سطح ۱ درصد نسبت به تیمار شاهد شد. سطوح کودی نیز به‌طور معنی‌داری وزن خشک، شاخص کلروفیل، جذب فسفر، آهن، منگنز و مس را در سطح ۱ درصد و جذب روی را در سطح ۵ درصد افزایش دادند. در بررسی اثرات متقابل کاربرد سطوح کودی و تیمار باکتری‌ها مشخص شد که مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل به همراه تلقیح باکتری B_۲ توانست شاخص‌های رشد و جذب فسفر و آهن اندام هوایی را در گیاه کنجد نسبت به تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش دهد که این می‌تواند باعث کاهش مصرف کود فسفوری و آلودگی‌های ناشی از کاربرد سطوح بالای این کود شود.

واژه‌های کلیدی: سودوموناس‌های فلورسنت، باکتری‌های حل‌کننده فسفات، کنجد

* مسئول مکاتبه: arakhgar@yahoo.com

مقدمه

کنجد با نام علمی (*Sesamum indicum* L.) گیاهی یک‌ساله، دولپه، پیوسته گلبرگ و از خانواده Pedaliaceae می‌باشد. این گیاه، یکی از گیاهان دانه‌ای روغنی مهم در کشاورزی سنتی نواحی گرم به‌شمار می‌رود و در ظاهر از قدیمی‌ترین دانه‌های روغنی در جهان است (خواججه‌پور، ۲۰۰۷). استفاده از روغن کنجد در صنعت مواد غذایی، موجب افزایش تقاضا و به دنبال آن افزایش سطح زیر کشت این گیاه شده است اما مشکلاتی چون آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از کاربرد کودهای شیمیایی، افزایش هزینه‌های تولید، تأمین محصول با کیفیت مناسب برای جمعیت رو به افزون جهان (از جمله پیش‌بینی جمعیت ۸۷/۱ میلیون نفر برای کشورمان در سال ۲۰۱۵) و روند نزولی سهم سرانه اراضی کشاورزی (چه در مقیاس جهانی و چه در مقیاس ملی) تجدید نظر در روش‌های افزایش تولید محصولات زراعی را ضروری ساخته است (قلوند و همکاران، ۲۰۰۶؛ رجب‌پورشکیکی و همکاران، ۲۰۰۸). کاربرد کودهای بیولوژیک به‌ویژه باکتری‌های محرک رشد گیاه به‌جای مصرف کودهای شیمیایی از مهم‌ترین راهبردهای تغذیه‌ای در مدیریت پایدار بوم‌نظام‌های کشاورزی می‌باشد (کیزیلکایا، ۲۰۰۸). نتایج پژوهش استفان و همکاران (۲۰۱۳) نشان داد تلقیح دو باکتری ریزوسفری *Bacillus pumilus* و *Bacillus mycoides* به‌عنوان کود زیستی در لوبیای رونده منجر به افزایش فعالیت‌های فتوسنتزی، راندمان مصرف آب، محتوای پروتئین، میزان کلروفیل و عملکرد دانه در گیاه گردید. باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه (PGPR)، از جمله منابع زیستی می‌باشند که از طریق مکانیسم‌های مستقیم و غیرمستقیم باعث افزایش قابلیت و دسترسی عناصر غذایی و در نهایت افزایش رشد گیاه می‌گردند (خالد و همکاران، ۲۰۰۶؛ بردمن و همکاران، ۲۰۰۰). از جمله باکتری‌های PGPR می‌توان به *Azospirillum*، *Pseudomonas*، *Azotobacter*، *Acetobacter* اشاره نمود. باکتری‌های PGPR با استفاده از یک یا چند مکانیسم خاص باعث تحریک رشد گیاه می‌شوند (کلوپر و همکاران، ۱۹۸۹). از مکانیسم‌های مستقیم این باکتری‌ها برای افزایش رشد گیاه می‌توان به افزایش انحلال عناصر غذایی کم‌محلول مانند فسفر، افزایش فراهمی آهن از طریق تولید سیدروفور، تولید هورومون‌های رشدی مانند اکسین و تثبیت نیتروژن اشاره نمود (پینگ و بولند، ۲۰۰۴). طی دو دهه اخیر توانایی تولید ACC deaminase توسط باکتری‌های PGPR نیز به‌عنوان مکانیسم جدیدی برای افزایش رشد گیاه مطرح شده است (کلی و همکاران، ۱۹۹۱). میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات‌های نامحلول قادرند در منطقه

1- Plant Growth Promoting Rhizobacteria

ریزوسفر فعالیت نموده و با کمک ترشحات ریشه ترکیبات نامحلول فسفات مانند تری‌کلسیم‌فسفات را به‌صورت محلول و قابل استفاده برای گیاه درآوردند (صالح‌راستین، ۱۹۹۹). باکتری‌های PGPR با اکسیداسیون ناقص قندها و مواد پلی‌ساکاریدی ترشح شده توسط ریشه گیاه، اسیدهای آلی مانند اسید گلوکونیک، اسید اگزالیک و اسید سیتریک تولید می‌نمایند. مشخص شده نوع و مقدار اسیدهای آلی تولید شده در هر محیط به نوع میکروارگانیسم‌های تولیدکننده آن اسید مربوط می‌شود (ریز و همکاران، ۱۹۹۹). همچنین گزارش شده است اسید گلوکونیک مهم‌ترین و اصلی‌ترین اسید آلی است که توسط باکتری‌های حل‌کننده فسفات از جمله سودوموناس‌ها ترشح می‌شود (ایلمر و شینر، ۱۹۹۲). اسیدهای آلی با کاهش pH خاک در منطقه ریزوسفری، از غیرفعال شدن فسفر در خاک جلوگیری می‌کنند (کپومبلکو و طباطبایی، ۱۹۹۴؛ استیونسون، ۲۰۰۵)، همچنین این باکتری‌ها در تولید آنزیم فسفاتاز و آزادسازی فسفر از ترکیبات آلی فسفردار، تولید مواد بیولوژیک دیگر از جمله هورمون‌های رشد مانند اکسین، جیبرلیک‌اسید و ویتامین‌ها نیز نقش دارند (صالح‌راستین، ۱۹۹۹). الماس و ساغیر (۲۰۰۵) نشان دادند در حضور باکتری ازتوباکتر و *Pseudomonas steria* میزان فسفر در گندم افزایش قابل‌ملاحظه‌ای پیدا کرد. فسفر پس از نیتروژن مهم‌ترین عنصر موردنیاز گیاهان و ریزجانداران می‌باشد و مهم‌ترین نقش آن در فرایندهای بیولوژیک مربوط به تولید و انتقال انرژی است (واگار و همکاران، ۲۰۰۴). گونیاس و همکاران (۲۰۰۵) عنوان کردند در صورتی که غلظت فسفر برگ گیاه کم‌تر از ۲۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک باشد، بر پارامترهای فیزیولوژیکی گیاه اثر سوء می‌گذارد. در پژوهش ساندر و همکاران (۲۰۰۲) کاربرد هم‌زمان باکتری‌های حل‌کننده فسفات و کود شیمیایی فسفات در مقایسه با کاربرد کود شیمیایی فسفات به تنهایی ضمن افزایش ۱۲/۵ درصدی عملکرد نیشکر توانست ۵۰ درصد مصرف سوپرفسفات‌تریپل را از طریق کاربرد سنگ فسفات و باکتری حل‌کننده فسفات و ۲۵ درصد بدون کاربرد سنگ فسفات کاهش دهد. توحیدی‌مقدم و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند تلقیح بذر سویا با باکتری *Bradyrhizobium japonicum* و باکتری‌های حل‌کننده فسفات *Pseudomonas putida* و *Bacillus lentus* به‌همراه نیمی از مقادیر کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم موجب افزایش عملکرد دانه و میزان نیتروژن، فسفر و پتاسیم جذب شده گیاه نسبت به تیمار تنها مصرف کودهای شیمیایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم شد. پژوهش‌ها بر روی جوامع باکتریایی محیط ریشه گیاهان نشان داده که سودوموناس‌های فلورسنت بخش مهمی از باکتری‌های ریزوسفری را تشکیل می‌دهند (بنیزی و همکاران، ۱۹۹۸؛ ولاساک و همکاران، ۱۹۹۲)

این باکتری‌ها پتانسیل قابل توجهی در بهبود کارایی جذب فسفر توسط گیاه از خود نشان داده‌اند و به علت وسعت انتشار، تنوع گونه‌ای و مقاوم بودن برخی از گونه‌های آن به تنش‌های محیطی، توانسته‌اند به عنوان یک کود بیولوژیک از جایگاه ویژه‌ای برخوردار گردند (کیم و همکاران، ۱۹۸۹). حسن پور و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاه باعث افزایش عملکرد روغن کنجد شد. در این پژوهش سعی شد با جداسازی سودوموناس‌های فلورسنت کارآمد از نظر توانایی در حل فسفات‌های نامحلول و کاربرد آن‌ها در کشت گلخانه‌ای کنجد تأثیر آن‌ها در افزایش رشد و بهبود شرایط تغذیه‌ای این گیاه بررسی شود.

مواد و روش‌ها

جداسازی و خالص‌سازی باکتری‌های سودوموناس فلورسنت: به منظور جداسازی و خالص‌سازی باکتری‌های سودوموناس فلورسنت ابتدا تعداد ۱۰ نمونه خاک به همراه ریشه گیاه کنجد از مزارع تحت کشت این محصول واقع در شهرستان‌های بزم و جیرفت تهیه شد و نمونه‌ها برای جداسازی و خالص‌سازی باکتری‌های سودوموناس فلورسنت به آزمایشگاه بیولوژی دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان منتقل گردیدند. سپس سری رقت‌های 10^{-2} تا 10^{-8} از مخلوط خاک ریزوسفری و ریشه، تهیه و بر روی ظروف پتری‌دیش شامل محیط کشت جامد King B کشت داده شدند. برای تشخیص کلونی‌های شامل خاصیت فلورسانس، پلیت‌ها در معرض نور UV قرار داده شده و کلونی‌های دارای این ویژگی پس از چند بازکشت بر روی محیط کشت جامد King B، خالص‌سازی گردیدند. باکتری‌های سودوموناس فلورسنت خالص شده (۲۰ کلونی) تا زمان استفاده بر روی محیط کشت شیب‌دار در دمای ۴ درجه سلسیوس^۱ درون یخچال نگهداری شدند.

غربالگری جدایه‌های دارای توان انحلال فسفات‌های معدنی نامحلول: توان انحلال فسفات‌های معدنی جدایه‌ها در دو محیط جامد و مایع و در ۳ تکرار ارزیابی شد.

الف- تعیین توان انحلال فسفات‌های معدنی جدایه‌ها در محیط جامد: به این منظور از محیط اسپریر جامد درون پتری‌دیش استفاده شد (اسپریر، ۱۹۵۸). ابتدا سوسپانسیون جدایه‌ها به‌طور جداگانه تهیه، سپس باکتری‌ها با روش قطره‌گذاری در محیط جامد اسپریر (در هر لیتر شامل گلوکز (۱۰ گرم)، عصاره مخمر (۰/۵ گرم)، $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ (۰/۳۲ گرم)، $CaCl_2$ (۰/۱۴ گرم)،

1- Celsius

مسئله تقسیم شد و از سوسپانسیون تازه هر جدایه با جمعیت تنظیم شده (10^{-8} CFU/ml) به میزان ۱۰ میکرولیتر در وسط هر قسمت با روش قطره‌گذاری تلقیح گردید. پلیت‌ها به مدت ۱۲۰ ساعت در دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد داخل انکوباتور نگهداری شدند. پس از این مدت با اندازه‌گیری قطر کلونی و قطر هاله و تعیین نسبت قطر هاله به قطر کلونی توان جدایه‌ها در حل فسفات‌های معدنی نامحلول بررسی گردید.

ب- تعیین توان حل‌کنندگی فسفات‌های معدنی جدایه‌ها در محیط مایع: به منظور بررسی توان جدایه‌ها در انحلال فسفات‌های معدنی نامحلول، از محیط کشت اسپربر مایع استفاده گردید (اسپربر، ۱۹۵۸). پس از هم‌سان نمودن باکتری‌ها در محیط مایع King B، ۱۰۰ میکرولیتر از سوسپانسیون هر باکتری (10^{-8} CFU/ml) به ۳۰ میلی‌لیتر محیط اسپربر مایع انتقال و نمونه‌ها به مدت ۱۲۰ ساعت بر روی شیکر با ۱۵۰ دور در دقیقه و دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد تکان داده شدند. پس از این مدت pH نمونه‌ها قرائت و بلافاصله سوسپانسیون باکتری ساتریفیوژ (با دور ۱۰۰۰۰ و به مدت ۲۰ دقیقه) و ۱ میلی‌لیتر از محلول رویی با ۳ میلی‌لیتر آب مقطر و ۱ میلی‌لیتر معرف آمونیوم مولیبدات-وانادات مخلوط گردید. پس از گذشت ۲۰ دقیقه میزان جذب نور با استفاده از اسپکتروفتومتر در ۴۷۰ نانومتر قرائت و مقدار فسفر آزاد شده توسط هر جدایه با استفاده از منحنی استاندارد تهیه شده از غلظت‌های مختلف KH_2PO_4 محاسبه شد.

آزمایش گلخانه‌ای: این آزمون به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد. تیمارها شامل ۵ سطح کود فسفر (P_۰: بدون کود، P_۱: ۱۰۰ کیلوگرم، P_۲: ۲۰۰ کیلوگرم، P_۳: ۴۰۰ کیلوگرم بر هکتار سوپرفسفات‌تریپل و P_۴: ۱۲۰۰ کیلوگرم بر هکتار سنگ فسفات) و ۳ سطح باکتری (B_۰: بدون تلقیح باکتری، B_۱ و B_۲: باکتری‌های سودوموناس فلورسنت با توانایی بالا در انحلال فسفات‌های معدنی نامحلول) بودند. ترکیب شیمیایی سنگ فسفات رسوبی استفاده شده در این پژوهش که از معدن پارسا واقع در استان فارس استخراج شده و در آزمایشگاه گروه مهندسی معدن دانشکده فنی دانشگاه تهران تجزیه گردیده در جدول ۱ ارائه شده است.

1- Colony Forming Unit

نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار جلد (۴)، شماره (۳) ۱۳۹۳

جدول ۱- ترکیب شیمیایی سنگ فسفات پارسا (کیانی ارثی و همکاران، ۲۰۱۰).

ZnO	MnO	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂	اکسید
۰/۰۴	۰/۰۱	۲/۴۹	۱۵/۳۹	۱/۰۴	۴۳/۱۰	۰/۵۰	۰/۰۹	۱/۴۱	۱۵/۷	درصد

تهیه مایه تلقیح: از بین جدایه‌های سودوموناس فلورسنت دارای توان انحلال فسفات‌های نامحلول که از ریزوسفر گیاهان کنجد جدا شده بودند دو جدایه برتر در انحلال فسفات (B_1 و B_2) انتخاب گردید. جدایه‌ها به مدت ۴۸ ساعت درون محیط کشت مایع TSB^۱ کشت و پس از هم‌سان نمودن تراکم سوسپانسیون‌ها (10^{-8} CFU/ml) به‌عنوان مایه تلقیح مورد استفاده قرار گرفتند.

آماده‌سازی بذرها برای کشت: برای این منظور ابتدا بذرها به مدت ۳۰ ثانیه در الکل اتانول ۹۶ درصد قرار داده شدند و سپس با هیپوکلرید سدیم ۱۰ درصد ضدعفونی سطحی شدند. برای حذف هیپوکلرید سدیم، بذرها چندین بار (۱۰ بار) با آب مقطر استریل شست‌وشو شدند و سپس در دمای ۲۸ درجه سلسیوس بر روی محیط آب-آگار نگهداری شدند تا جوانه‌دار شوند.

کشت در گلدان‌ها: در این آزمون از گلدان‌های پلاستیکی ۶ کیلوگرمی استفاده شد. برای بستر کشت از یک خاک با بافت متوسط، غیرشور و با میزان فسفر قابل استفاده کم استفاده گردید و سطوح کودی ذکر شده کاملاً با خاک گلدان‌های هر تیمار مخلوط گردید. به خاک همه گلدان‌ها براساس آزمون خاک نیتروژن از منبع اوره (در دو نوبت و در مجموع به‌میزان ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) و پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم (به‌میزان ۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) افزوده شد. در هر گلدان تعداد ۸ بذر کنجد جوانه‌دار شده کشت شد. قبل از کشت رطوبت خاک گلدان‌ها با آب مقطر به ۷۰ درصد FC رسانده شد. هنگام کاشت بذرها، هر بذر با ۱ میلی‌لیتر از سوسپانسیون باکتری با جمعیت 10^8 cfu/ml (تروسلیر و همکاران، ۱۹۹۸) تلقیح گردید و گلدان‌ها با آب مقطر و به‌روش وزنی در حد رطوبت FC آبیاری شدند. پس از سبز شدن بوته‌ها تعداد بوته در هر گلدان به ۵ عدد کاهش یافت. گلدان‌ها به مدت یک‌ماه در گلخانه نگهداری شدند. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده مانند بافت خاک به روش هیدرومتر (بایکاس، ۱۹۵۱)، pH گل اشباع به‌وسیله الکتروود شیشه‌ای (مکلین، ۱۹۸۲)، قابلیت هدایت الکتریکی با استفاده از EC متر، نیتروژن کل با استفاده از دستگاه کج‌لدال (برمنر و مولوانی، ۱۹۸۲)، فسفر قابل استفاده به روش اولسن (اولسن و همکاران، ۱۹۵۴)، پتاسیم با

1- Trypton Soya Bean

سبچه نیکمهر و همکاران

دستگاه فلیمفتومتر Jenwey مدل PFP7، آهن قابل استفاده با روش لیندزی و نورول (۱۹۷۸) اندازه‌گیری و با دستگاه جذب اتمی Awanta مدل GBC-932 تعیین گردید (جدول ۲).

جدول ۲- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه.

بافت خاک	pH گل اشباع	EC (دسی‌زیمنس بر متر)	ازت کل (درصد)	فسفر قابل استفاده (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	آهن (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
لوم شنی	۷/۴۲	۱	۰/۰۲	۰/۴	۵۵	۲/۴۱۶

برداشت: یک ماه پس از کشت، ارتفاع ساقه به وسیله خط‌کش و شاخص کلروفیل برگ توسط دستگاه اسپد (مدل SPAD 502, Minolta, Japan) اندازه‌گیری شد. سپس، اندام هوایی از محل طوقه قطع و سطح برگ به وسیله دستگاه سنجش برگ (مدل CID, CL-202, USA) براساس واحد سانتی‌متر مربع اندازه‌گیری شد. پس از شست‌وشوی نمونه‌ها، بخش هوایی در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد تا خشک شود. در نهایت وزن خشک اندام هوایی اندازه‌گیری و نمونه‌ها پودر گردید. عصاره‌گیری نمونه‌های پودر شده در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به روش خاکستر خشک انجام شد. عناصر آهن، روی، مس و منگنز به وسیله دستگاه جذب اتمی Awanta (مدل GBC-932)، پتاسیم به وسیله فلیمفتومتر Jenwey (مدل PFP7) و فسفر به روش زرد و به وسیله اسپکتروفتومتر (مدل T80UV/VIS Spectrometer) اندازه‌گیری گردید (کوتینی، ۱۹۸۰). در نهایت تجزیه واریانس همه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS صورت گرفت و مقایسه میانگین‌ها بر مبنای آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

بررسی توان جدایه‌های سودوموناس فلورسنت در انحلال فسفات‌های نامحلول: نتایج تجزیه واریانس مربوط به تأثیر جدایه‌های باکتری بر حلالیت فسفر در محیط اسپربر جامد و مایع محتوی تری‌کلسیم فسفات و pH محیط کشت در جدول ۳ ارائه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد جدایه‌های سودوموناس فلورسنت بر حلالیت فسفر و نیز pH محیط کشت در سطح ۱ درصد اثر معنی‌داری دارند.

نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار جلد (۴)، شماره (۳) ۱۳۹۳

جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر جدایه‌ها بر حلالیت تری کلسیم فسفات و pH محیط کشت.

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		غلظت فسفر	pH
جدایه‌ها	۱۹	۷۱۴۴/۶۹**	۰/۲۲۷**
خطا	۴۰	۱۶۷۹/۷	۰/۰۷۶
CV	-	۹/۱۲	۷/۰۵

** معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد.

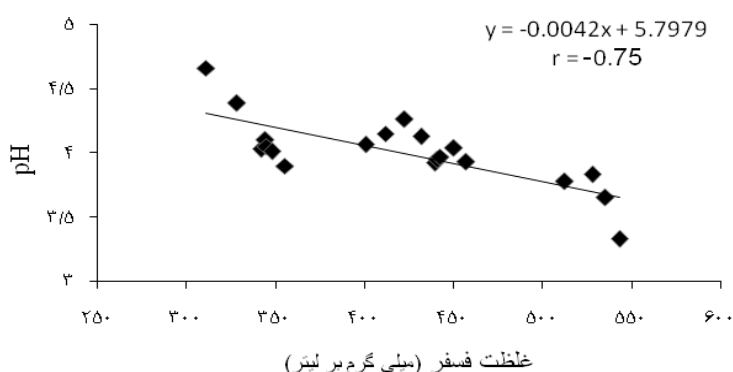
نتایج مقایسه میانگین تأثیر جدایه‌های باکتری بر حلالیت فسفر در محیط مایع نشان داد (جدول ۴) تمامی جدایه‌های سودوموناس فلورسنت قادر به انحلال تری کلسیم فسفات در این محیط بودند. بیشترین حلالیت فسفر با ۵۴۳/۳ میلی گرم بر لیتر از جدایه P_۱ به دست آمد که با جدایه‌های P_۲، P_۴، P_۵، P_۶ و P_{۱۳} در یک سطح آماری قرار گرفت. کمترین حلالیت فسفر نیز در تیمار P_{۱۴} با ۳۲۰/۶۷ میلی گرم بر لیتر مشاهده شد که با جدایه‌های P_{۱۹} و P_{۲۰} اختلاف معنی داری نداشت. تلقیح محیط اسپریر مایع با دو جدایه P_۱ و P_{۱۴} باعث کاهش pH به ترتیب به مقدار ۳/۶ و ۴/۶۶ واحد گردید که با توجه به نتایج مقایسه میانگین مشخص گردید که از نظر کاهش pH جدایه P_۱ به جز با سویه P_۸ و P_{۱۴} با سایر جدایه‌ها اختلاف معنی داری نداشت.

جدول ۴- مقایسه میانگین تأثیر جدایه‌ها بر حلالیت فسفر در محیط جامد و مایع و pH محیط شامل تری کلسیم فسفات.

شماره جدایه	قطر هاله به کلونی	حل کنندگی فسفات (میلی گرم بر لیتر)	pH	شماره جدایه	قطر هاله به کلونی	حل کنندگی فسفات (میلی گرم بر لیتر)	pH
P _۱	۱/۵۶ ^{hig}	۵۴۳/۳ ^a	۳/۶ ^{cd}	P _{۱۱}	۰/۴۹ ^l	۴۵۴/۵ ^b	۳/۹۲۳ ^{bcd}
P _۲	۲/۴۵ ^{abcde}	۵۰۹/۴۶ ^{ab}	۳/۶۴ ^{cd}	P _{۱۲}	۲/۷ ^{abc}	۴۵۶/۵۷ ^b	۳/۸۷ ^{bcd}
P _۳	۲/۷۹ ^{ab}	۴۳۲/۳۸ ^{bc}	۴/۱۸ ^{abc}	P _{۱۳}	۲/۳۱ ^{bcdefg}	۴۷۵/۰۸ ^{ab}	۳/۵۳ ^d
P _۴	۱/۶۵ ^{fghi}	۴۶۹/۷۳ ^{ab}	۳/۹۶ ^{bcd}	P _{۱۴}	۲/۳۴ ^{bcdef}	۳۲۰/۶۷ ^d	۴/۶۶ ^a
P _۵	۳/۱۵ ^a	۴۷۸/۸۸ ^{ab}	۳/۴۶ ^d	P _{۱۵}	۱/۳ ^{hi}	۴۶۴/۷ ^b	۳/۷ ^{cd}
P _۶	۲/۶ ^{abcd}	۴۷۶/۸۹ ^{ab}	۳/۹۳ ^{bcd}	P _{۱۶}	۱/۹۲ ^{efghd}	۴۴۲/۲۱ ^{bc}	۳/۷۸ ^{cd}
P _۷	۲/۰ ^{cdefgh}	۴۵۹/۳۷ ^b	۳/۸ ^{cd}	P _{۱۷}	۱/۷ ^{efgh}	۴۳۱/۷۳ ^{bc}	۳/۸ ^{cd}
P _۸	۱/۵۶ ^{hig}	۴۵۸/۳۳ ^b	۴/۲ ^{ab}	P _{۱۸}	۱/۶۵ ^{fghi}	۴۵۱/۵۸ ^b	۳/۹۲ ^{bcd}
P _۹	۱/۹۷ ^{cdefgh}	۴۶۱/۲۳ ^b	۳/۹۵ ^{bcd}	P _{۱۹}	۰/۹۴ ^{ji}	۳۳۸/۰۳ ^{cd}	۴/۱ ^{bcd}
P _{۱۰}	۱/۸۴ ^{efghd}	۴۶۱/۵۸ ^b	۳/۹۳ ^{bcd}	P _{۲۰}	۲/۲۸ ^{bcdefg}	۳۷۵/۲۷ ^{cd}	۴/۰۶۶ ^{bcd}

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک در هر ستون بدون اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد به روش دانکن می‌باشند.

نتایج مقایسه میانگین توان حل فسفات جدایه‌های سودوموناس فلورسنت در محیط جامد (جدول ۴) نشان داد بیش‌ترین نسبت قطر هاله به کلونی از جدایه P_۵ با ۳/۱۵ و کم‌ترین مقدار نیز از جدایه P_{۱۱} با ۰/۴۹ واحد به‌دست آمد. جدایه P_۵ با جدایه‌های P_۲، P_۳، P_۶ و P_{۱۲} تفاوت معنی‌داری از نظر آماری نداشت. عباس‌زاده و همکاران (۲۰۰۷) نیز بیش‌ترین شاخص حلالیت فسفات نامحلول را از جدایه سودوموناس فلورسنت R187 با ۴۳۸/۳۸ میکروگرم بر میلی‌لیتر و کم‌ترین مقدار را از جدایه R69 با ۱۵۸/۳۴ میکروگرم بر میلی‌لیتر به‌دست آوردند، همچنین بیش‌ترین شاخص حلالیت در محیط جامد را از سویه R93 به‌میزان ۳/۵۸ واحد مشاهده کردند. محمدیان و علمائی (۲۰۱۰) نیز توانایی حل‌کنندگی فسفات معدنی از کم‌ترین به بیش‌ترین مقدار را در زمان‌های ۴۸ و ۱۲۰ ساعت به‌ترتیب ۱/۷۴-۴۵/۹۴ و ۵/۷۸-۵۵/۳۷ میکروگرم بر میلی‌لیتر از باکتری آزوسپیریلیوم جدایه 3/1/H و 19/2/H گزارش کردند. همچنین هم‌بستگی منفی و معنی‌داری بین انحلال فسفات و pH محیط کشت شامل تری‌کلسیم‌فسفات مشاهده گردید (شکل ۱). این هم‌بستگی منفی ($r = -0.75^*$) می‌تواند تأییدی بر این نکته باشد که جدایه‌های باکتری انحلال فسفات را از طریق تولید اسیدهای آلی افزایش داده‌اند. رابطه منفی بین pH و میزان فسفر حل شده توسط پژوهشگران بسیاری گزارش شده است (یو و همکاران، ۲۰۱۱؛ مارشنر و همکاران، ۲۰۱۰؛ استیکن و همکاران، ۲۰۱۰؛ ریچاردسون و همکاران، ۲۰۰۱؛ یو و همکاران، ۲۰۱۲). مولتا و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند با کاربرد دو باکتری ریزوسفری از سویه‌های *Erwinia* و *Pseudomonas* pH محیط شامل فسفر نامحلول کاهش و به‌دنبال آن میزان فسفر حل شده افزایش یافت، همچنین آن‌ها از طریق آنالیزهای HPLC حضور ارگانیک اسیدهای متعددی با غالبیت ۲- کتوگلوکونیک اسید را مشاهده کردند.



شکل ۱- رابطه بین غلظت فسفر حل شده و pH محیط شامل تری‌کلسیم‌فسفات.

نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار جلد (۴)، شماره (۳) ۱۳۹۳

کیم و همکاران (۱۹۸۹) نیز گزارش کردند باکتری‌های حل‌کننده فسفات معمولاً از طریق ترشح اسیدهای آلی و آنزیم‌های فسفاتاز شکل‌های نامحلول معدنی و آلی فسفر را به شکل‌های قابل‌جذب تبدیل می‌کنند.

انتخاب جدایه‌های سودوموناس فلورسنت برتر در انحلال فسفات‌های نامحلول: با توجه به نتایج به‌دست آمده از آزمون‌های حل فسفات معدنی نامحلول در محیط اسپریر مایع و جامد، دو جدایه P_۳ و P_۵ (در این پژوهش به صورت B_۱ و B_۲ معرفی گردیده‌اند) که بالاترین توان انحلال تری‌کلسیم‌فسفات را داشتند انتخاب و پس از تعیین توانایی آن‌ها در تولید IAA و سیدروفور (جدول ۵) اثر آن‌ها بر خصوصیات کمی و کیفی کنجد مورد بررسی قرار گرفت.

جدول ۵- مقادیر IAA و سیدروفور جدایه‌های مورد استفاده در آزمون گلخانه‌ای.

جدایه	تولید IAA (میکروگرم بر میلی‌لیتر)	تولید سیدروفور (قطر کلونی به قطر هاله)
B _۱	۱/۶۷	۱/۱۴
B _۲	۱۹/۴۶	۱/۱۶

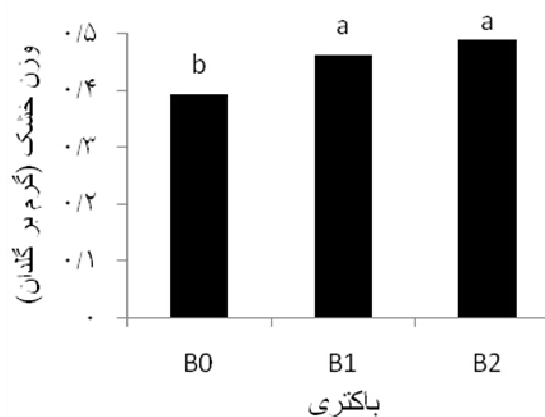
بررسی کارایی جدایه‌های باکتری و کود فسفوری بر شاخص‌های رشد گیاه کنجد: نتایج تجزیه واریانس تأثیر جدایه‌های باکتری و کود فسفر بر شاخص‌های رشد گیاه کنجد در جدول ۶ نشان داده شده است. تیمارهای باکتری بر وزن خشک اندام هوایی، شاخص کلروفیل و ارتفاع ساقه در سطح ۱ درصد و بر سطح برگ در سطح ۵ درصد اثر معنی‌داری داشتند. کود فسفوری توانست بر تمام شاخص‌های رشد اندازه‌گیری شده در سطح ۱ درصد اثر معنی‌داری بگذارد. همچنین اثر باکتری و کود فسفر بر وزن خشک اندام هوایی در سطح ۱ درصد و ارتفاع ساقه در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود.

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس تأثیر باکتری و کود فسفر بر برخی شاخص‌های رشد گیاه کنجد.

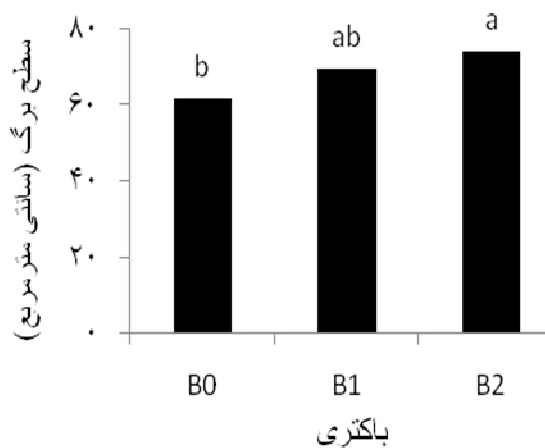
منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		وزن خشک	سطح برگ	ارتفاع ساقه
باکتری	۲	۰/۰۳۶۴**	۵۹۴/۰۲*	۶/۵۰۵**
فسفر	۴	۰/۰۷**	۷۰۰/۹۸**	۱۱/۰۰۶**
باکتری × فسفر	۸	۰/۰۲۲**	۱۲۶/۱ ^{ns}	۲/۵۳۵*
CV	-	۸/۳۱	۱۸/۷۸	۸/۲۷

* معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و ^{ns} غیرمعنی‌دار.

مقایسه میانگین تأثیر جدایه‌های باکتری بر شاخص‌های رشد گیاه کنجد در شکل‌های ۲ تا ۵ نشان داده شده است. باکتری B_1 و B_2 باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک و ارتفاع ساقه نسبت به شاهد شدند (شکل‌های ۲ و ۴). همچنین سطح برگ و شاخص کلروفیل تحت تأثیر جدایه B_2 نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری یافت (شکل‌های ۳ و ۵).

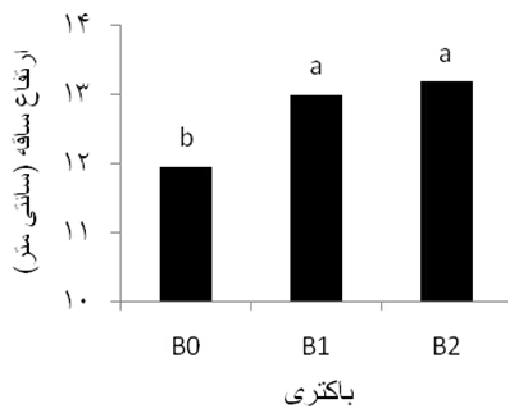


شکل ۲- تأثیر جدایه‌های باکتری بر وزن خشک اندام هوایی.

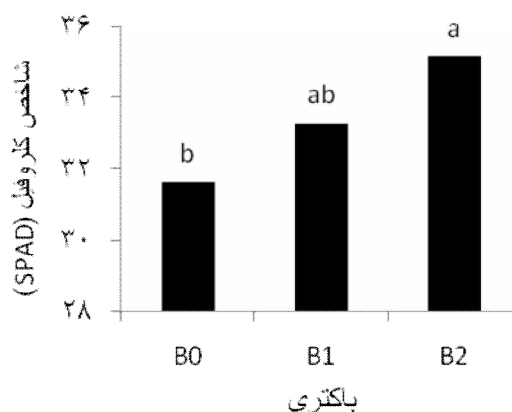


شکل ۳- تأثیر جدایه‌های باکتری بر سطح برگ.

نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار جلد (۴)، شماره (۳) ۱۳۹۳



شکل ۴- تأثیر جدایه‌های باکتری بر ارتفاع ساقه.

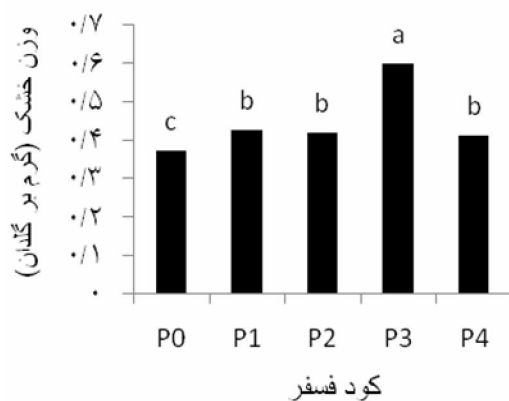


شکل ۵- تأثیر جدایه‌های باکتری بر شاخص کلروفیل.

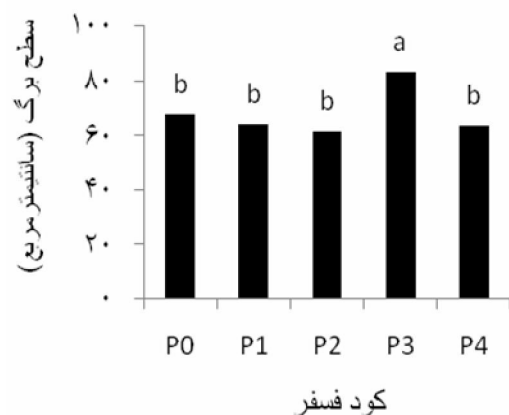
این نتایج با پژوهش‌های گذشته مطابقت دارد. حسن‌زاده و همکاران (۲۰۰۸) افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی جو به وسیله سویه‌ای از سودوموناس پوتیدا (S_2) که قادر به انحلال فسفات و تولید هورمون اکسین بود را گزارش کردند. همچنین افزایش وزن خشک ذرت و میزان کلروفیل برگ گندم در نتیجه تلقیح باکتری‌های محرک رشد گزارش شده است (سادات، ۲۰۰۷؛ شاهارونا و همکاران، ۲۰۰۶). از مکانیسم‌های احتمالی باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد در افزایش و بهبود رشد گیاه می‌توان به توانایی آن‌ها در افزایش مقدار عناصر قابل دسترس، تولید هورمون‌های محرک رشد مانند IAA و تولید ACC deaminase اشاره نمود (کلی و همکاران، ۱۹۹۱؛ گلیک، ۱۹۹۵).

سبچه نیکمهر و همکاران

مقایسه میانگین سطوح کود فسفوری نشان داد که سطح کودی ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات، تمامی شاخص‌های رشد اندازه‌گیری شده را نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش داد (شکل‌های ۶ تا ۹). سطوح کودی ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات و همچنین سنگ فسفات تنها باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی نسبت به شاهد شدند (شکل ۶). بین سطوح کودی ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات با سنگ فسفات در وزن خشک اندام هوایی، ارتفاع ساقه و سطح برگ اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد.

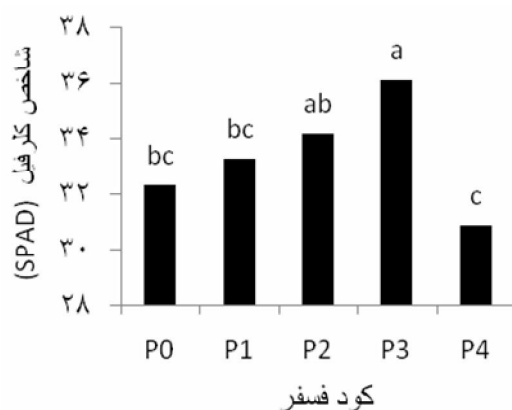


شکل ۶- تأثیر سطوح کود فسفوری بر وزن خشک اندام هوایی.

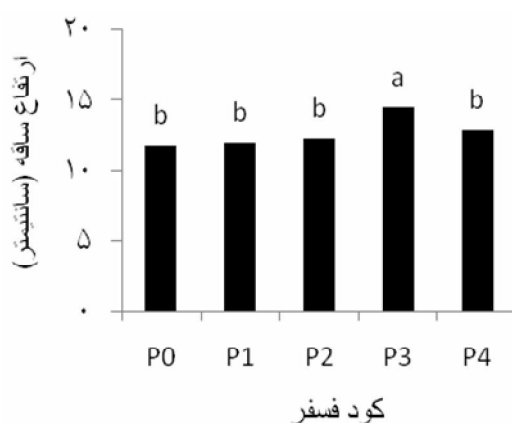


شکل ۷- تأثیر سطوح کود فسفوری بر سطح برگ.

نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار جلد (۴)، شماره (۳) ۱۳۹۳



شکل ۸- تأثیر سطوح کود فسفوری بر شاخص کلروفیل.



شکل ۹- تأثیر سطوح کود فسفوری بر ارتفاع ساقه.

اولخ و همکاران (۲۰۰۳) گزارش کردند کاربرد ۶۰ و ۸۰ کیلوگرم در هکتار P_2O_5 به ترتیب در گندم و سویا اثر قابل توجه و مؤثری بر افزایش عملکرد داشته است. آن‌ها تفاوت عملکرد این دو گیاه در پاسخ به کاربرد کود فسفر را به اختلاف فصل رشد در گندم و سویا نسبت دادند؛ زیرا شرایط خاک مانند دما و رطوبت و همچنین اختلاف در توانایی این گیاهان در جذب فسفر خاک بر عملکرد محصول مؤثر است. نوروژی و همکاران (۲۰۱۰) روند افزایشی وزن خشک و تر ساقه پسته را با کاربرد ۰، ۳۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک گزارش نمودند.

کاربرد کود فسفر و باکتری در تمام تیمارهای مورد آزمایش باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی نسبت به شاهد شده است (جدول ۷). بیش‌ترین وزن خشک از تیمار ۴۰۰ کیلوگرم کود سوپرفسفات در نبود تلقیح باکتری و سپس، همین سطح کودی با باکتری B_۲ به‌دست آمد. این دو تیمار تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند اما نسبت به تیمارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم سوپرفسفات و همچنین ۱۲۰۰ کیلوگرم سنگ فسفات در تلقیح و نبود تلقیح با جدایه‌های باکتری وزن خشک اندام هوایی را به‌طور معنی‌داری افزایش دادند. کم‌ترین وزن خشک نیز از تیمار شاهد (مصرف نکردن کود و باکتری) به‌دست آمد. تیمار ۴۰۰ کیلوگرم کود فسفر و باکتری B_۱ هر چند وزن خشک را نسبت به شاهد به‌طور معنی‌دار افزایش داد اما نسبت به تیمار ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ کیلوگرم کود در تلقیح باکتری B_۲ تفاوت معنی‌داری نشان نداد. تیمار مصرف نکردن کود در تلقیح باکتری B_۲، ۱۰۰ کیلوگرم کود در نبود تلقیح و تلقیح باکتری B_۱، ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات و سنگ فسفات در نبود تلقیح باکتری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند، همچنین تیمار سنگ فسفات در تلقیح باکتری B_۲ با تیمار مصرف نکردن کود سوپرفسفات در تلقیح باکتری B_۱، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم سوپرفسفات در تلقیح باکتری B_۲ تفاوت معنی‌داری نداشت و تیمار سنگ فسفات در تلقیح باکتری B_۱ نیز با تیمار ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم سوپرفسفات در تلقیح باکتری B_۱ و ۱۰۰ کیلوگرم در نبود تلقیح باکتری تفاوت معنی‌داری نداشت. یو و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند کاربرد تلفیقی باکتری‌های حل‌کننده فسفات و کود فسفر وزن خشک نهال‌های گردو را به‌طور معنی‌دار افزایش داد. نتایج پژوهش برومندراد و همکاران (۲۰۱۱) بر روی گیاه ریحان نشان داد، کاربرد کود بیولوژیک بارور ۲ و کود شیمیایی سوپرفسفات‌تریپل منجر به افزایش معنی‌دار سطح برگ و وزن تک‌بوته نسبت به تیمار شاهد گردید. ارزیابی نتایج نشان داد در تیمارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات در تلقیح باکتری B_۱ و سنگ فسفات در نبود تلقیح باکتری هر چند ارتفاع ساقه نسبت به شاهد افزایش یافت اما معنی‌دار نبود (جدول ۷). سایر تیمارها باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع ساقه شدند. بیش‌ترین ارتفاع ساقه از تیمار ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفره و باکتری B_۲ و کم‌ترین ارتفاع در تیمار شاهد مشاهده گردید. تیمارهای ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر در تلقیح و نبود تلقیح باکتری، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم کود در تلقیح باکتری B_۲ و سنگ فسفات در تلقیح با باکتری B_۱ و B_۲ تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. برومندراد و همکاران (۲۰۱۱) نیز افزایش ارتفاع ساقه در کاربرد هم‌زمان کود بیولوژیک و فسفری را گزارش کرده‌اند.

نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار جلد (۴)، شماره (۳) ۱۳۹۳

جدول ۷- نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل کود فسفر و باکتری بر شاخص‌های رشد کنبجد.

ارتفاع ساقه (سانتی متر)	وزن خشک (گرم در گلدان)	تیمار
۹/۸۴ ^d	۰/۲۶۱ ^h	B.P.
۱۳/۵۱ ^{abc}	۰/۵۴ ^{cd}	B.P.
۱۲/۱ ^{bc}	۰/۳۲۸ ^g	B.P.
۱۱/۸ ^{bc}	۰/۳۷۲ ^{fg}	B.P _۱
۱۱/۵۳ ^{cd}	۰/۳۸۳ ^{fg}	B.P _۱
۱۲/۷۳ ^{abc}	۰/۵۳۲ ^{cd}	B.P _۱
۱۲/۱۸ ^{bc}	۰/۳۳۸ ^g	B.P _۲
۱۱/۶۳ ^{cd}	۰/۴۱۹ ^{fe}	B.P _۲
۱۳ ^{abc}	۰/۵۰۳ ^{cd}	B.P _۲
۱۴/۳۳ ^a	۰/۶۴۵ ^a	B.P _۳
۱۴/۶ ^a	۰/۵۵ ^{bc}	B.P _۳
۱۴/۷۳ ^a	۰/۶۱ ^{ab}	B.P _۳
۱۱/۶ ^{cd}	۰/۳۵۱ ^g	B.P _۴
۱۳/۶۷ ^{ab}	۰/۴۱۹ ^{fe}	B.P _۴
۱۳/۳ ^{abc}	۰/۴۷۲ ^{de}	B.P _۴

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک در هر ستون بدون اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد به روش دانکن می‌باشد.

بررسی کارایی جدایه‌های باکتری و کود فسفر بر جذب عناصر غذایی اندام هوایی گیاه کنبجد: نتایج تجزیه واریانس نشان داد کاربرد جدایه‌های باکتری بر جذب فسفر، آهن و منگنز در سطح ۱ درصد و بر جذب روی و مس در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۸). کود فسفر تأثیر معنی‌داری بر جذب فسفر، آهن، منگنز و مس در سطح ۱ درصد و همچنین جذب روی در سطح ۵ درصد داشت. برهم‌کنش کود فسفر و باکتری نیز تأثیر معنی‌داری بر جذب فسفر، آهن و منگنز در سطح ۱ درصد داشت.

سبچه نیکمهر و همکاران

جدول ۸- نتایج تجزیه واریانس تأثیر باکتری و کود فسفر بر جذب برخی عناصر غذایی در گیاه کنجد.

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		فسفر	آهن	روی	منگنز
باکتری	۲	۰/۱۵۱**	۱۲۳/۵۸۲**	۱۲/۰۸۵*	۷۴/۶۷۲**
فسفر	۴	۰/۶۲۹**	۱۰۴/۵۸۵**	۸/۳۸۲*	۳۵/۶۸۸**
باکتری × فسفر	۸	۰/۰۸**	۱۰۲/۳۷۲**	۳/۶۶۶ ^{ns}	۶۱/۱۷۶**
CV	-	۱۵/۱۶۸	۱۱/۵۵	۲۵/۶۹۹	۱۳/۱۰۲

* معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد، ** معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد و ^{ns} غیر معنی دار.

نتایج مقایسه میانگین جدایه‌ها نشان داد هر دو جدایه جذب عناصر غذایی را افزایش دادند (جدول ۹). جذب فسفر، آهن، منگنز و مس در تیمار با جدایه B_۲ نسبت به شاهد افزایش معنی داری نشان داد. باکتری B_۲ نسبت به B_۱ جذب آهن را بیش تر افزایش داد به طوری که این افزایش جذب معنی دار شد. جدایه B_۱ توانست جذب روی و منگنز را نسبت به شاهد به طور معنی داری افزایش دهد. دفریتاس و جرمیدا (۱۹۹۰) گزارش کرده‌اند باکتری‌های سودوموناس فلورسنت با افزایش انشعابات ریشه و تارهای کشنده می‌توانند باعث افزایش جذب عناصر غذایی شوند، همچنین اسیدهای آلی تولید شده توسط این باکتری‌ها می‌توانند از طریق تشکیل کمپلکس‌های محلول با یون‌های فلزی و پیوند شده با فسفر مانند کلسیم، آلومینیوم و آهن، علاوه بر آزادسازی فسفر باعث افزایش جذب این عناصر غذایی گردند (عمر، ۱۹۹۸) یانگ و همکاران (۲۰۱۳) افزایش فعالیت آنزیم فسفاتاز و به دنبال آن افزایش جذب فسفر در نتیجه تلقیح ذرت با یک باکتری حل‌کننده فسفات را گزارش کردند. همچنین افزایش دسترسی فسفر در اثر کاربرد میکروارگانیسم‌های محرک رشد از طریق تولید آنزیم فیتاز تأیید شده است (ساراواداکومار و همکاران، ۲۰۱۳). استیکن و همکاران (۲۰۱۰) در پژوهشی روی توت‌فرنگی نشان دادند با کاربرد باکتری سودوموناس BA-8 و باسیلوس M3 میزان روی برگ‌های توت‌فرنگی افزایش یافت.

نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار جلد (۴)، شماره (۳) ۱۳۹۳

جدول ۹- تأثیر تیمارهای باکتری بر جذب برخی عناصر غذایی اندام هوایی گیاه کنجد.

(میکروگرم بر گلدان)			(میلی گرم بر گلدان)		
مس	منگنز	روی	آهن	فسفر	باکتری
۴/۵۶ ^b	۱۵/۲۹ ^b	۵/۲۹ ^b	۲۴/۶۴ ^c	۰/۷۵۱ ^b	B.
۴/۷۸ ^{ab}	۱۸/۰۶ ^a	۷/۰۱۹ ^a	۲۷/۷۴ ^b	۰/۸ ^b	B _۱
۵/۳۹ ^a	۱۹/۷۱ ^a	۵/۷۳ ^b	۳۰/۳۷ ^a	۰/۹۴۳ ^a	B _۲

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک در هر ستون بدون اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد به روش دانکن می‌باشد.

تمامی سطوح کودی جذب فسفر را نسبت به شاهد به‌طور معنی‌دار افزایش دادند که بیش‌ترین جذب فسفر در ۴۰۰ کیلوگرم سوپرفسفات به‌دست آمد (جدول ۱۰). اعمال ۱۰۰ و ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات افزایش معنی‌دار جذب مس نسبت به شاهد و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کاهش معنی‌دار جذب آهن، روی و منگنز را به‌دنبال داشت. مطالعات بر این نکته تأکید دارند که برهم‌کنش روی و فسفر در غلظت‌های بالای فسفر باعث کاهش حلالیت و انتقال روی از ریشه به اندام هوایی می‌گردد (سامنر و فارینا، ۱۹۸۶). راثی‌پور و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند افزایش سطح کود فسفوری غلظت فسفر را به‌طور متوسط ۱۵ درصد افزایش و غلظت روی را ۵/۵ درصد نسبت به شاهد کاهش داد. کاربرد سنگ فسفات باعث کاهش معنی‌دار آهن و منگنز نسبت به شاهد شد که این کاهش جذب احتمالاً می‌تواند به‌دلیل حضور روی در سنگ فسفات و اثر رقابتی بین این عناصر باشد. آدیلگلو (۲۰۰۳) اثر آنتاگونیسمی افزایش سطوح کود روی و به‌دنبال آن کاهش جذب آهن ذرت را گزارش کرد. رجایی و همکاران (۲۰۰۹) نیز کاهش آهن و منگنز شاخه‌های لیمو را با کاربرد روی مشاهده کردند و دلیل آنرا اثر آنتاگونیسمی روی با سایر عناصر کم‌مصرف گزارش کردند.

جدول ۱۰- تأثیر مقادیر کود فسفر بر جذب برخی عناصر غذایی اندام هوایی گیاه کنجد.

(میکروگرم بر گلدان)			(میلی گرم بر گلدان)		
مس	منگنز	روی	آهن	فسفر	کود فسفره
۴/۲۴ ^c	۱۹/۳۸ ^{ab}	۶/۵۳ ^a	۲۹/۵۸ ^a	۰/۴۸۸ ^d	P.
۵/۱۶ ^b	۱۷/۶ ^{bc}	۵/۷۸ ^{ab}	۲۹/۶۲ ^a	۰/۹۲۶ ^b	P _۱
۴/۹ ^{bc}	۱۵/۸۹ ^c	۴/۵۴ ^b	۲۶/۳۵ ^b	۰/۸۹۷ ^b	P _۲
۶/۰۶۳ ^a	۱۹/۹۹ ^a	۶/۱ ^{ab}	۳۰/۲۳ ^a	۱/۱۸ ^a	P _۳
۴/۱۷ ^c	۱۵/۵۸ ^c	۷/۱۲ ^b	۲۲/۱۲۳ ^c	۰/۶۶۴ ^c	P _۴

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک در هر ستون بدون اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد به روش دانکن می‌باشد.

مقایسه میانگین کاربرد کود فسفوری و باکتری (جدول ۱۱) نشان داد تنها در تیمار مصرف نکردن کود فسفر و باکتری B_۲ جذب فسفر نسبت به شاهد معنی دار نبود و سایر تیمارها افزایش معنی دار جذب این عنصر را نسبت به شاهد نشان دادند. بیشترین جذب فسفر متعلق به کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات و باکتری B_۲ و کمترین جذب فسفر از تیمار شاهد به دست آمد. تیمار ۱۰۰ کیلوگرم کود فسفره و باکتری B_۲ نسبت به تیمار ۴۰۰ کیلوگرم کود در نبود تلقیح و تلقیح با باکتری B_۲ تفاوت معنی داری نداشتند که احتمالاً به دلیل توانایی بالای جدایه B_۲ در حل فسفر نامحلول و افزایش جذب فسفر اندام هوایی بدون مصرف بیش تر کود فسفر بوده است. تیمارهای مصرف نکردن کود در تلقیح باکتری B_۱، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم کود در نبود تلقیح و تلقیح جدایه B_۱ و تیمار سنگ فسفات در تمامی سطوح باکتری تفاوت معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد نسبت به یکدیگر نداشتند که می تواند ناشی از توانایی کم تر جدایه B_۱ در حل فسفر نامحلول باشد. علت جذب بالای فسفر در تیمار ۴۰۰ کیلوگرم کود فسفر و باکتری B_۱ نیز احتمالاً نه به دلیل حضور این سویه بلکه ناشی از مصرف بیش تر فسفر کودی در این تیمار بوده است، همچنین تیمار سنگ فسفات در کاربرد تمامی سطوح باکتری با تیمار ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات در تلقیح باکتری B_۲ و ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات در کاربرد تمامی سطوح باکتری تفاوت معنی داری داشت. پنهوار همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند تلقیح باکتری های حل کننده فسفات همراه با کود شیمیایی سوپرفسفات تریپل باعث افزایش دسترسی فسفر خاک، جذب فسفر و رشد اندام هوایی برنج شده است. نتایج مشابهی در تلقیح چهار باکتری حل کننده فسفر بر رشد زردآلو در یک خاک شامل تری کلسیم فسفات گزارش شده است (گوپتا و همکاران، ۲۰۱۲). بالاترین جذب آهن در تیمار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات با باکتری B_۲ به دست آمده است (جدول ۱۰). تیمارهای ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات و باکتری B_۲ و مصرف نکردن کود فسفر با باکتری B_۱ نیز افزایش معنی دار جذب آهن نسبت به تیمار شاهد را نشان دادند. در سایر تیمارها افزایش جذب آهن نسبت به شاهد معنی دار نبود، همچنین تیمارهای سنگ فسفات و سطوح باکتری با تیمار ۱۰۰ و ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات در تلقیح باکتری B_۲ تفاوت معنی داری داشتند. کمترین جذب آهن از سنگ فسفات و باکتری B_۲ و در نبود تلقیح باکتری دیده شد ولی این کاهش جذب نسبت به شاهد معنی دار نبود. همچنین افزایش جذب منگنز در تیمارهای مصرف نکردن کود فسفر در تلقیح باکتری B_۲ و B_۱، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر در تلقیح باکتری B_۲، ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات در نبود تلقیح و تلقیح جدایه های B_۱ و B_۲ و سنگ فسفات با باکتری B_۱ نسبت به شاهد معنی دار بود (جدول

نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار جلد (۴)، شماره (۳) ۱۳۹۳

۱۱). بالاترین جذب منگنز در مصرف نکردن کود فسفر و تلقیح با باکتری B_۱ و کم‌ترین مقدار جذب نیز در تیمار شاهد مشاهده شد. علت افزایش جذب منگنز در این تیمار ممکن است به دلیل حضور نداشتن فسفر باشد زیرا براساس پژوهش‌های مورگان و مسکاگنی (۱۹۹۱) گیاهان مختلف پاسخ‌های متفاوتی به کاربرد فسفر می‌دهند. به‌عنوان مثال، کاربرد فسفر در سیب‌زمینی منجر به افزایش بیش از حد منگنز و در برنج باعث کاهش جذب این عنصر گردیده است. تیمار سنگ فسفات در نبود تلقیح و تلقیح باکتری B_۲ تفاوت معنی‌داری با شاهد و تیمارهای مصرف ۱۰۰ کیلوگرم کود در نبود تلقیح و تلقیح باکتری B_۱ و B_۲ ۲۰۰ کیلوگرم کود در نبود تلقیح باکتری نداشت. پورابراهیمی و احتشامی (۲۰۱۰) گزارش کردند کاربرد تلفیقی کود فسفره و سودوموناس فلورسنت حل‌کننده فسفر جذب آهن در جو علوفه‌ای را افزایش داد. اکین (۲۰۱۱) در پژوهشی روی آفتاب‌گردان گزارش کرد کاربرد تلفیقی کود فسفره و باکتری باسیلوس حل‌کننده فسفر، افزایش قابل‌توجه همه عناصر پرمصرف و کم‌مصرف بذر را به‌دنبال داشت.

جدول ۱۱- اثرات متقابل کود فسفر و باکتری بر جذب برخی عناصر غذایی در اندام هوایی گیاه کنجد.

میکروگرم بر گلدان		(میلی‌گرم بر گلدان)	
منگنز	آهن	فسفر	تیمار
۱۲/۴۱۳ ^g	۲۴/۰۶۳ ^{cde}	۰/۳۱۷۸ ^g	B.P.
۲۶/۹۸ ^a	۳۴/۹۴۵ ^b	۰/۶۶۵۶ ^{ef}	B.P.
۱۸/۷۵۶ ^{cde}	۲۹/۷۲۹ ^{bc}	۰/۴۷۸۵ ^{fg}	B _۲ P.
۱۴/۱۴۱ ^{fg}	۲۴/۳۳۵ ^{cde}	۰/۷۴۲۴ ^e	B.P _۱
۱۳/۸۱۷ ^{fg}	۲۳/۲۲۶ ^{de}	۰/۷۴۹۶ ^e	B.P _۱
۲۴/۸۳ ^{ab}	۴۱/۲۹۸ ^a	۱/۲۸۵۷ ^a	B _۲ P _۱
۱۴/۱۲۷ ^{fg}	۲۶/۶۲۳ ^{cd}	۰/۷۹۲۱ ^e	B.P _۲
۱۴/۹۹ ^{efg}	۲۵/۷۳۸ ^{cd}	۰/۸۶۳۴ ^{de}	B.P _۲
۱۸/۵۵۶ ^{cde}	۲۶/۷۰۶ ^{cd}	۱/۰۳۳۸ ^{cd}	B _۲ P _۲
۲۲/۰۵ ^{bc}	۲۸/۸۴۳ ^{cd}	۱/۲۷۶۴ ^{ab}	B.P _۳
۱۷/۴۵۴ ^{def}	۲۶/۷۵ ^{cd}	۱/۰۵۵۹ ^{bcd}	B.P _۳
۲۰/۴۷۷ ^{cd}	۳۵/۱۱ ^b	۱/۲۰۲۴ ^{abc}	B _۲ P _۳
۱۳/۷۳۹ ^{fg}	۱۹/۳۳ ^e	۰/۶۲۵۵ ^{ef}	B.P _۴
۱۷/۰۸۲ ^{def}	۲۸/۰۳۷ ^{cd}	۰/۶۵۴۱ ^{ef}	B.P _۴
۱۵/۹۲۶ ^{efg}	۱۹/۰۱۱ ^e	۰/۷۱۲۹ ^e	B _۲ P _۴

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک در هر ستون بدون اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد به روش دانکن می‌باشد.

منابع

1. Abbaszadeh, P., Saleh Rastin, N., Asadi Rahmani, H., Khavazi, K., Ashraf Soltanitoullard, A., and Hemmati, V. 2007. Introduction of fluorescent Pseudomonads as inorganic phosphate solubilizing bacteria. The 10th Congress of Soil Science, Karaj, Iran.
2. Adiloglu, A. 2003. The effect of zinc application on the methods which can be used to determine available iron content of soils. Archives of Agronomy and Soil Science. 49: 275-281.
3. Akhgar, A.R., Salehrastin, N., Khavazi, K., and Shoarainejati, A.R. 2007. Isolation, Identification and Determination of ACC Deaminase Activity of rizosfera bacteria of Canola in Saline soils. J. Water Soil. 22: 1. 69-81.
4. Almas, Z., and Saghir, K. 2005. Interactive effect of rhizotrophic microorganisms on growth, yield and nutrient uptake of wheat. Can. J. Microbiol. 28: 2079-2092.
5. Aulakh, M.S., Pasricha, N.S., and Bahl, G.S. 2003. Phosphorus fertilizer response in an irrigated soybean-wheat production system on a subtropical, semiarid soil. Field Crops Research. 80: 99-109.
6. Benizri, E., Courtade, A., Picard, C., and Guchert, A. 1998. Role of maize root exudates in the production of auxins by *Pseudomonas fluorescens*. Soil Biology and Biochemistry. 30: 1481-1484.
7. Boroumandrad, A., Sajedi, N., Changizi, M., and Sibi, M. 2011. The effect of compound application of chemical fertilizers and Plant Growth Promoting bacteria on yield of maize. The first National Conference of Achieving to Sustainable Agriculture, Payamenoor University of Khuzestan, Iran.
8. Bouyoucos, G.J. 1951. A calibration of hydrometer method for making mechanical analysis of soil. Agron. J. 43: 434-438.
9. Bremner, J.M., and Mulvaney, C.S. 1982, P 595-624. In: Page, A.L. (ed.), Method of soil analysis, part 2, chemical and microbiological properties. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
10. Burdman, S., Jurkevitch, E., Okan, Y., Subba Rao, N.S., and Dommergues, Y.R. 2000. Recent advances in the use of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) in agriculture. Microbial interaction in agriculture and forestry. 2: 229-250.
11. Cottenie, A. 1980. Methods of Plant Analysis. In: Soil and Plant Testing. FAO Soils Bulletin. 38: 64-100.
12. De Freitas, J.R., and Germida, J.J. 1990. A root tissue culture system to study winter wheat-rhizobacteria interactions. Applied Microbiology and Biotechnology. 33: 589-595.
13. Ekin, Z. 2011. P-solubilizing bacteria and phosphorus fertilizer applications to sunflower improve seed set, seed filling efficiency and concentration of macro and micro nutrients of seeds. Turk. J. Field Crops. 16: 183-189.

14. Esitken, A., Yildiz, H.E., Ercisli, S., Donmez, M.F., Turan, M., and Gunes, A. 2010. Effects of plant growth promoting bacteria (PGPB) on yield, growth and nutrient contents of organically growth strawberry. *Scientia Horticulturae*. 124: 62-66.
15. Ghalavand, A., Hamidi Dehghanshoar, M., Malakouti, M.J., Asgharzade, A., and Chokan, R. 2007. Application of bio-fertilizers, Ecological strategy for the sustainable management of agricultural. The 9th Congress of Agronomy Sciences. University Collage of Aburehan, Tehran University.
16. Glick, B.R. 1995. The enhancement of plant growth by free-living bacteria. *Can. J. Microbiol.* 41: 109-117.
17. Gonias, E., Oosterhuis, D.M., Bibi, A., and Mozaffari, M. 2005. Effect of phosphorous deficiency on cotton physiology. *AAES Research*. 537: 35-37.
18. Gupta, M., Kiran, S., Gulati, A., Singh, B., and Tewari, R. 2012. Isolation and identification of phosphate solubilizing bacteria able to enhance the growth and aloin-A biosynthesis of *Aloe barbadensis* Miller. *Microbiological Research*. 167: 358-363.
19. Hasanpour, R., Pirdashti, H., Esmaeili, M.A., and Abbasian, A. 2012. Effect of Plant Growth Promoting Rhizobacterial (PGPR) and nitrogen on qualitative characteristics of sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivars. *Inter. J. Agric. Crop Sci.* 1: 662-665.
20. Hassanzadeh, E., Mazaheri, D., Chaichi, M.R., and Khavazi, K. 2008. Efficiency of phosphorus solubilizing bacteria and phosphorus chemical fertilizer on yield and yield components of barley cultivar (Karoon Dar Kavir). *Pajouhesh and Sazandegi J.* 77: 111-118.
21. Khajehpoor, M.R. 2007. *Industrial Crops*. Jahad Daneshgahi of Industrial University of Isfahan Press, 564p.
22. Khalid, A., Arshad, M., and Zahir, Z.A. 2006. Phytohormones: Microbial production and applications, P 207-220. In: Uphoff, N., A.S. Ball, E. Fernandes, H. Herren, O. Husson, M. Laing, C. Palm, J. Pretty, P. Sanchez, N. Sanginga and J. Thies (eds.), *Biological Approaches to Sustainable Soil System*, Florida, USA.
23. Kiani Ersi, M., Noue Parast, M., and Amini, A. 2010. Concentration of Sedimentary phosphate ore using shaking table and leaching with acetic acid. *International Conference on Mining*.
24. Kim, K.Y., Jordan, D., and Macdonald, G.A. 1989. *Entrobacter agglomerans*, phosphate solublizing bacterial activity in soil: Effect of carbon sources. *Soil Biology and Biochemistry*. 30: 995-1003.
25. Kizilkaya, R. 2008. Yield response and nitrogen concentrations of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) inoculated with *Azotobacter chroococcum* strains. *Ecological Engineering*. 33: 150-156.

26. Klee, H.J., Hayford, M.B., and Kretzmer, K.A. 1991. Control of ethylene synthesis by expression of bacterial enzyme in transgenic tomato plants. *Plant Cell*. 3: 1187-1193.
27. Kloepper, J.W., Lifshitz, L., and Zablutowicz, R.M. 1989. Free-Living bacterial inocula for enhancing crop productivity. *Trends Biotechnology*. 7: 39-43.
28. Kpombekou, K., and Tabatabai, M A. 1994. Effect of organic acids on release of phosphorus from phosphate rocks. *Soil Science*. 158: 442-453.
29. Lindsay, W.L., and Norvell, W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 42: 421-428.
30. Illmer, P., and Schinner, F. 1992. Solubilization of inorganic phosphate by microorganisms isolated from forest soils. *Soil Biology and Biochemistry*. 24: 389-395.
31. McLean, E.O. 1982. Soil pH and lime requirement, P 199-223. In: Page, A.L. (ed.), *Method of soil analysis, part 2, chemical and microbiological properties*. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
32. Marschner, A., Crowley, D.B., and Rengel, Z. 2010. Interactions between rhizosphere microorganisms and plants governing iron and phosphorus availability. In: 19th World Congress of Soil Science. *Soil Solutions for a Changing World*. 1-6 August. Brisbane, Australia.
33. Mohammadian, M., and Olamaee, M. 2010. The effect of Plant Growth Promoting bacteria (*Azospirillum* spp) on Reduction of phosphorus fertilizer in cotton. The 4th Conference of Environmental Engineering. University of Tehran.
34. Morghan, J.T., and Mascagni, H.J. 1991. Environmental and soil factors affecting micronutrient deficiencies and toxicities, P 371-425. In: Mortvedt, J.J., F.R. Cox, L.M. Shuman and R.M. Welch (Eds.), *Micronutrient in agriculture*. Soil Science Society of America, Madison Wisconsin, USA.
35. Muleta, D., Assefa, F., Borjesson, E., and Granhall, U. 2013. Phosphate-solubilizing rhizobacteria associated with *Coffea arabica* L. in natural coffee forests of southwestern Ethiopia. *J. Saudi Soc. Agric. Sci.* 12: 73-84.
36. Noroozi, B., Akhgar, A.R., Tajabadipour, A., and Mozafari, V. 2010. Effect of residual phosphorus and phosphate solubilizing bacteria on growth and chemical composition of pistachio seedlings. M.Sc. Thesis. Department of Soil Science, College of Agriculture. Valie-asr University.
37. Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S., and Dean, L.A. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *Circ.* 939. USDA, Washington, DC.
38. Omar, S.A. 1998. The role of rock phosphate solubilizing fungi and Vesicular Arbuscular Mycorrhiza (VAM) in growth of wheat plants fertilized with rock phosphate. *Word J. Microbiol. Biotechnol.* 14: 211-218.

39. Panhwar, Q.A., Radziah, O., Naher, U.A., Zaharah, A.R., Sariah, M., and Mohd razi, I. 2012. Root colonization and association of phosphate-solubilizing bacteria at various levels of triple super phosphate in aerobic rice seedlings. *Afric. J. Microbiol.* 6: 2277-2286.
40. Ping, L., and Boland, W. 2004. Signals from the underground: bacterial volatiles promote growth in *Arabidopsis*. *Trends in Plant Science.* 9: 263-266.
41. Pourebrahimi, M., and Ehteshami, M.R. 2010. Co-inoculation of fluorescent *Pseudomonas* bacteria and different levels of phosphorus fertilizer on Iron and magnesium uptake of two barley cultivars. The first National Conference on sustainable agriculture and production of healthy product. Agricultural and natural resources Research Center. Isfahan, Iran.
42. Raiepour, L., and Asgharzade, N. 2005. Interaction of phosphate solubilizing bacteria and *Bradyrhizobium japonicum* on yield and some of nutrient uptake in soybean. Scientific Information Center of Agriculture of Jihad Organization. 15: 141-156.
43. Rajabpour Ashkiki, B., Alikhani, H.A., and Keshavarzi, A. 2008. Necessity of using plant growth promoting (PGPR) in biological fertilizers to increase crop productivity. First National Conference on Management and Development of Sustainable Agriculture of Iran. Ahvaz.
44. Rajaie, M., Ejaie, A.K., Owliaie, H.R., and Tavakoli, A.R. 2009. Effect of zinc and boron interaction on growth and mineral composition of lemon seedlings in a calcareous soil. *Inter. J. Plant Prod.* 3: 1735-6814.
45. Reyes, I., Brnir, L., Simard, R., and Antoun, H. 1999. Characteristic of phosphate solubilization by an isolate of a tropical *Penicillium regulosum* and uv-induced mutants. *FEMS Microbiology Ecology.* 23: 291-295.
46. Richardson, A.E. 2001. Prospects for using soil microorganisms to improve the acquisition of phosphorus by plants. *Austr. J. Plant Physiol.* 28: 897-906.
47. Sadat, A. 2007. Effects of vesicular arbuscular mycorrhiza and plant growth promoting bacteria on nutrient uptake and yield of wheat under salinity condition. M.Sc. thesis. University of Tehran.
48. Salehrastin, N. 1999. Biological fertilizers. Soil and Water Research Institute of Iran. *J. Soil Water.* 12: 35-42.
49. Saravanakumar, K., Shanmuga Arasu, V., and Kathiresan, K. 2013. Effect of *Trichoderma* on soil phosphate solubilization and growth improvement of *Avicennia marina*. *Aquatic Botany.* 104: 101-105.
50. Shaharroona, B., Arshad, M., Zahir, Z.A., and Khalid, A. 2006. Performance of *Pseudomonas* spp. Containing ACC-Deaminase for improving growth and yield of maize (*Zea mays* L.) in the presence of nitrogenous fertilizer. *Soil Biology and Biochemistry.* 38: 2971-2975.
51. Sperber, J.I. 1958. The incidence of apatite-solubilizing organisms in the rhizosphere and soil. *Austr. J. Agric. Res.* 9: 6. 778-781.

52. Stefan, M., Munteanu, N., Stoleru, V., Mihasan, M., and Hritcu, L. 2013. Seed inoculation with plant growth promoting rhizobacteria enhances photosynthesis and yield of runner bean (*Phaseolus coccineus* L.). *Scientia Horticulturae*. 151: 22-29.
53. Stevenson, F.J. 2005. *Cycles of Soil: Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, Micronutrients*. John Wiley and Sons, New York. 448p.
54. Sundra, B., Natarajam, V., and Hari, K. 2002. Influence of phosphorus solubilizing bacteria on the changes in soil available phosphorus and sugarcane and sugar yields. *Field Crops Research*. 77: 43-49.
55. Sumner, R.E., and Farina, M.P.W. 1986. Phosphorous interactions with other nutrients and time in field cropping systems. *Advances in soil science*, 5: 201-230.
56. Tohidi-Moghadam, H., Nasri, M., Zahedi, H., Paknegad, F., and Ranzhad, R. 2008. Application of biofertilizers due to decrease utilization of chemical fertilizers in soybean. 2nd Iranian National Congress of Ecological Agriculture, Gorgan. Pp: 1423-1434.
57. Troussellier, M., Bonnefont, J.L., Courties, C., Derrien, A., Dupray, E., Gauthier, M., Gourmelon, M., Joux, F., Lebaron, P., Martin, Y., and Pommepuy, M. 1998. Responses of enteric bacteria to environmental stresses in seawater. *Oceanologica Acta*. 21: 965-981.
58. Vlassak, K., Holm, L.V., Duchateau, L., Vanderleyden, J., and Mot, R.D. 1992. Isolation and characterization of fluorescent pseudomonas associated with the roots of rice and banana growth in Srilanka. *Plant and Soil*. 145: 51-63.
59. Wagar, A., Shahroona, Z., Zahir, A., and Arshad, M. 2004. Inoculation with Acc-deaminase containing rhizobacteria for improvming growth and yield of wheat. *Pak. J. Agric*. 41: 119-124.
60. Young, L.S., Hameed, A., Peng, S.Y., Shan, Y.H., and Wu, S.P. 2013. Endophytic establishment of the soil isolate *Burkholderia* sp. CC-A174 enhances growth and P-utilization rate in maize (*Zea mays* L.). *Applied Soil Ecology*. 66: 40-47.
61. Yu, X., Liu, X., Zhu, T.H., Liu, G.H., and Mao, C. 2012. Co-inoculation with phosphate-solubilizing and nitrogen-fixing bacteria on solubilization of rock phosphate and their effect on growth promotion and nutrient uptake by walnut. *Europ. J. Soil Biol*. 50: 112-117.
62. Yu, X., Liu, X., Zhu, T.H., Liu, G.H., and Mao, C. 2011. Isolation and characterization of phosphate solubilizing bacteria from walnut and their effect on growth and phosphorus mobilization. *Biology and Fertility of Soils*. 47: 437-446.



Effect of phosphate solubilizing fluorescent Pseudomonad and phosphorus fertilizer on growth and nutrient uptake of Sesame

S. Nikmehr¹, *A.R. Akhgar², Sh. Madah Hoseini³ and V. Mozafari⁴

¹M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, Vali-e-Asr University of Rafsanjan,

²Assistant Prof., Dept. of Soil Science, Vali-e-Asr University of Rafsanjan,

³Assistant Prof., Dept. of Agronomy, Vali-e-Asr University of Rafsanjan,

⁴Associate Prof., Dept. of Soil Science, Vali-e-Asr University of Rafsanjan

Received: 11/16/2013; Accepted: 04/26/2014

Abstract

Phosphate solubilizing bacteria are a group of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) that increase growth and yield of plant by enhancing insoluble phosphates. In this study, a greenhouse experiment was carried out to investigate the effect of Phosphate solubilizing bacteria and phosphorous fertilizer on the yield and chemical components of Sesame. This experiment was conducted in factorial based on completely randomized design with three replications including five Levels of phosphorous fertilizer (0, 100, 200 and 400 kg/ha of triple superphosphate and 1200 kg/ha of phosphate rock) and three bacterial levels (inoculation with two phosphate solubilizing Fluorescent Pseudomonad, B₁ and B₂ and non-inoculated). Results showed that inoculation of Sesame with B₁ and B₂ isolates significantly increased the dry weight, Index, chlorophyll and uptake of P, Fe, Zn, Cu and Mn in comparison to the control. Also fertilizer application significantly increased dry weight, Index of chlorophyll, P uptake and some of nutrient elements. Results also indicated that application of 100 kg/ha triple superphosphate along with the B₂ isolate significantly increased nutrient uptake parameters in the sesame plant. Hence it may decrease phosphorus fertilizer consumption and subsequently the pollution due to the high levels of fertilizer application.

Keywords: Fluorescent pseudomonad, Phosphate solubilizing bacteria, Sesame

* Corresponding Authors; Email: arakhgar@yahoo.com