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

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

**سبحه نیک‌مهر[۱]، *عبدالرضا اخگر[۲]، شهاب مداح‌حسینی[۳] و وحید مظفری[۴]**

[۱]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان، [۲]استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان، [۳]استادیار گروه زراعت، دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان، [۴]دانشیار 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 به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۵ سطح فسفر ($P_0$: بدون مصرف کود فسفری، $P_1$: ۱۰۰ کیلوگرم، $P_2$: ۲۰۰ کیلوگرم، $P_3$: ۴۰۰ کیلوگرم بر هکتار سوپرفسفات‌تریپل و $P_4$: ۱۲۰۰ کیلوگرم بر هکتار سنگ فسفات) و ۳ سطح باکتری ($B_0$: بدون تلقیح باکتری، $B_1$ و $B_2$: 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 سوپرفسفات‌تریپل به همراه تلقیح باکتری $B_2$ 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 فسفری 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 (خواجه‌پور، ٢٠٠٧). 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 ٨٧/١ میلیون نفر برای کشورمان در سال ٢٠١٥) 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 (قلاوند و همکاران، ٢٠٠٦؛ رجب‌پورشکیکی و همکاران، ٢٠٠٨). کاربرد کودهای بیولوژیک به‌ویژه باکتری‌های محرک رشد گیاه به‌جای مصرف کودهای شیمیایی از مهم‌ترین راهبردهای تغذیه‌ای در مدیریت پایدار بوم‌نظام‌های کشاورزی می‌باشد (کیزیلکایا، ٢٠٠٨). نتایج پژوهش استفان و همکاران (٢٠١٣) نشان داد تلقیح دو باکتری ریزوسفری *Bacillus pummilus* 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)[1]، 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، ٢٠٠٦؛ بردمن و همکاران، ٢٠٠٠). از جمله باکتری‌های PGPR می‌توان به *Azospirillum*، *Acetobacter*، *Azotobacter* و *Pseudomonas* اشاره نمود. باکتری‌های PGPR با استفاده از یک یا چند مکانیسم خاص باعث تحریک رشد گیاه می‌شوند (کلوپر و همکاران، ١٩٨٩). 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 هورمون‌های رشدی مانند اکسین و تثبیت نیتروژن اشاره نمود (پینگ و بولند، ٢٠٠٤). 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، ١٩٩١). 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 درآورند (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، ۱۹۹٤؛ 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، ۲۰۰٤). 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 ساندرا و همکاران (۲۰۰۲) کاربرد هم‌زمان باکتری‌های حل‌کننده فسفات و کود شیمیایی فسفاته در مقایسه با کاربرد کود شیمیایی فسفاته 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 (بنیزری و همکاران، ۱۹۹۸؛ ولاساک و همکاران، ۱۹۹۲)

این باکتری‌ها پتانسیل قابل‌توجهی در بهبود کارایی جذب فسفر توسط گیاه از خود نشان داده‌اند و به‌علت وسعت انتشار، تنوع گونه‌ای و مقاوم بودن برخی از گونه‌های آن به تنش‌های محیطی، توانسته‌اند به‌عنوان یک کود بیولوژیک از جایگاه ویژه‌ای برخوردار گردند (کیم و همکاران، ١٩٨٩). حسن‌پور و همکاران (٢٠١٢) 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:** به‌منظور جداسازی و خالص‌سازی باکتری‌های سودوموناس فلورسنت ابتدا تعداد ١٠ نمونه خاک به‌همراه ریشه گیاه کنجد از مزارع تحت کشت این محصول واقع در شهرستان‌های بم 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 (٢٠ کلونی) تا زمان استفاده بر روی محیط کشت شیب‌دار در دمای ٤ درجه سلسیوس[1] 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 ٣ تکرار ارزیابی شد.

**الف- تعیین توان انحلال فسفات‌های معدنی جدایه‌ها در محیط جامد:** به این منظور از محیط اسپربر جامد درون پتری‌دیش استفاده شد (اسپربر، ١٩٥٨). ابتدا سوسپانسیون جدایه‌ها به‌طور جداگانه تهیه، سپس باکتری‌ها با روش قطره‌گذاری در محیط جامد اسپربر (در هر لیتر شامل گلوکز (١٠ گرم)، عصاره مخمر (٠/٥ گرم)، $MgSO_4.7H_2O$ (٠/٣٢ گرم)، $CaCl_2$ (٠/١٤ گرم)،

1- Celsius

($Ca_3(PO_4)$ ۲/۵ گرم) در pH ۷/۲ کشت داده شدند. به این صورت که هر پلیت به ٤ قسمت مساوی تقسیم شد و از سوسپانسیون تازه هر جدایه با جمعیت تنظیم شده ($10^{-8}$ CFU/ml[1]) به‌میزان ۱۰ میکرولیتر در وسط هر قسمت با روش قطره‌گذاری تلقیح گردید. پلیت‌ها به‌مدت 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:** به‌منظور 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 سوسپانسون هر باکتری ($10^{-8}$ CFU/ml) به ۳۰ میلی‌لیتر محیط اسپربر مایع انتقال و نمونه‌ها به‌مدت 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 سوسپانسون باکتری سانتریفیوژ (با دور ۱۰۰۰۰ و به‌مدت ۲۰ دقیقه) و ۱ میلی‌لیتر از محلول‌رویی 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 ٤۷۰ 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 به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد. تیمارها شامل ۵ سطح کود فسفر ($P_0$: بدون کود، $P_1$: ۱۰۰ کیلوگرم، $P_2$: ۲۰۰ کیلوگرم، $P_3$: ٤۰۰ کیلوگرم بر هکتار سوپرفسفات‌تریپل و $P_4$: ۱۲۰۰ کیلوگرم بر هکتار سنگ فسفات) و ۳ سطح باکتری ($B_0$: بدون تلقیح باکتری، $B_1$ و $B_2$: 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 استحراج شده و در آزمایشگاه گروه مهندسی معدن دانشکده فنی دانشگاه تهران تجزیه گردیده در جدول ۱ ارایه شده است.

1- Colony Forming Unit

**جدول ١- ترکیب شیمیایی سنگ فسفات پارسا (کیانی‌ارثی و همکاران، ٢٠١٠).**

| اکسید | $SiO_2$ | $Al_2O_3$ | $Na_2O$ | $K_2O$ | CaO | MgO | $P_2O_5$ | $Fe_2O_3$ | MnO | ZnO |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| درصد | ١٥/٧ | ١/٤١ | ٠/٠٩ | ٠/٥٠ | ٤٣/١٠ | ١/٠٤ | ١٥/٣٩ | ٢/٤٩ | ٠/٠١ | ٠/٠٤ |

**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 به‌مدت ٤٨ ساعت درون محیط کشت مایع TSB[1] 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 به‌مدت ٣٠ ثانیه در الکل اتانول ٩٦ درصد قرار داده شدند و سپس با هیپوکلریدسدیم ١٠ درصد ضدعفونی سطحی شدند. برای حذف هیپوکلریدسدیم، بذرها چندین بار (١٠ بار) با آب مقطر استریل شست‌وشو شدند و سپس در دمای ٢٨ درجه سلسیوس بر روی محیط آب- آگار نگهداری شدند تا جوانه‌دار شوند.

**کشت در گلدان‌ها:** در این آزمون از گلدان‌های پلاستیکی ٦ کیلوگرمی استفاده شد. برای بستر کشت از یک خاک با بافت متوسط، غیرشور و با میزان فسفر قابل‌استفاده 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 ٥٠ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) و پتاسیم از منبع سولفات‌پتاسیم (به‌میزان ٣٠ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) افزوده شد. در هر گلدان تعداد ٨ بذر کنجد جوانه‌دار شده کشت شد. قبل از کشت رطوبت خاک گلدان‌ها با آب مقطر به ٧٠ درصد FC رسانده شد. هنگام کاشت بذرها، هر بذر با ١ میلی‌لیتر از سوسپانسیون باکتری با جمعیت $10^8$ cfu/ml (تروسلیر و همکاران، ١٩٩٨) تلقیح گردید و گلدان‌ها با آب مقطر و به‌روش وزنی در حد رطوبت FC آبیاری شدند. پس از سبزشدن بوته‌ها تعداد بوته در هر گلدان به ٥ عدد کاهش یافت. گلدان‌ها به‌مدت یک‌ماه در گلخانه نگه‌داری شدند. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده مانند بافت خاک به روش هیدرومتر (بایکاس، ١٩٥١)، pH گل اشباع به‌وسیله الکترود شیشه‌ای (مک‌لین، ١٩٨٢)، قابلیت هدایت الکتریکی با استفاده از EC متر، نیتروژن کل با استفاده از دستگاه کجلدال (برمنر و مولوانی، ١٩٨٢)، فسفر قابل استفاده به روش اولسن (اولسن و همکاران، ١٩٥٤)، پتاسیم با

1- Trypton Soya Bean

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) | فسفرقابل استفاده (میلی‌گرم بر کیلوگرم) | پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) | آهن (میلی‌گرم بر کیلوگرم) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| لوم شنی | ۷/٤۲ | ۱ | ۰/۰۲ | ۰/٤ | ۵۵ | ۲/٤۱٦ |

**برداشت:** یک ماه پس از کشت، ارتفاع ساقه به‌وسیله 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 به‌وسیله دستگاه سنجش برگ (مدل CID, CL-202, USA) براساس واحد سانتی‌مترمربع اندازه‌گیری شد. پس از شست‌وشوی نمونه‌ها، بخش هوایی در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ٤۸ 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 به‌روش خاکستر خشک انجام شد. عناصر آهن، روی، مس و منگنز به‌وسیله دستگاه جذب اتمی Awanta (مدل GBC-932)، پتاسیم به‌وسیله فلیم‌فتومتر Jenway (مدل PFP7) و فسفر به روش زرد و به‌وسیله 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 تری‌کلسیم‌فسفات و pH محیط کشت در جدول ۳ ارایه شده است. همان‌طورکه ملاحظه می‌گردد جدایه‌های سودوموناس فلورسنت بر حلالیت فسفر و نیز pH محیط کشت در سطح ۱ درصد اثر معنی‌داری دارند.

**جدول ٣- تجزیه واریانس تأثیر جدایه‌ها برحلالیت تری‌کلسیم‌فسفات و pH محیط کشت.**

| منابع تغییر | درجه آزادی | میانگین مربعات | | |
|---|---|---|---|---|
| | | غلظت فسفر | pH | نسبت قطر هاله به کلونی |
| جدایه‌ها | ١٩ | ٧١٤٤/٦٩** | ٠/٢٢٧** | ١/٢١** |
| خطا | ٤٠ | ١٦٧٩/٧ | ٠/٠٧٦ | ٠/١٥ |
| CV | - | ٩/١٢ | ٧/٠٥ | ١٩/٩٧ |

** معنی‌دار در سطح احتمال ١ درصد.

نتایج مقایسه میانگین تأثیر جدایه‌های باکتری بر حلالیت فسفر در محیط مایع نشان داد (جدول ٤) تمامی جدایه‌های سودوموناس فلورسنت قادر به انحلال تری‌کلسیم‌فسفات در این محیط بودند. بیش‌ترین حلالیت فسفر با ٥٤٣/٣ میلی‌گرم بر لیتر از جدایه $P_1$ به‌دست آمد که با جدایه‌های $P_2$، $P_4$، $P_5$، $P_6$ و $P_{13}$ در یک سطح آماری قرار گرفت. کم‌ترین حلالیت فسفر نیز در تیمار $P_{14}$ با ٣٢٠/٦٧ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده شد که با جدایه‌های $P_{19}$ و $P_{20}$ اختلاف معنی‌داری نداشت. تلقیح محیط اسپربر مایع با دو جدایه $P_1$ و $P_{14}$ باعث کاهش pH به‌ترتیب به مقدار ٣/٦ و ٤/٦٦ واحد گردید که با توجه به نتایج مقایسه میانگین مشخص گردید که از نظر کاهش pH جدایه $P_1$ به‌جز با سویه $P_8$ و $P_{14}$ با سایر جدایه‌ها اختلاف معنی‌داری نداشت.

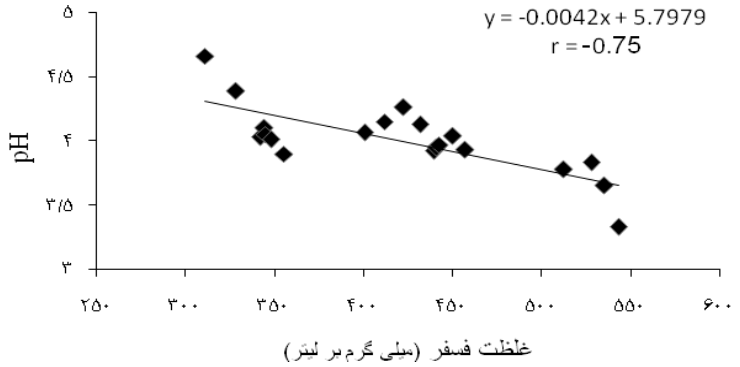
**جدول ٤- مقایسه میانگین تأثیر جدایه‌ها برحلالیت فسفر در محیط جامد و مایع و pH محیط شامل تری‌کلسیم‌فسفات.**

| شماره جدایه | قطر هاله به کلونی | حل‌کنندگی فسفات (میلی‌گرم بر لیتر) | pH | شماره جدایه | قطر هاله به کلونی | حل‌کنندگی فسفات (میلی‌گرم بر لیتر) | pH |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $P_1$ | $1/56^{hig}$ | $543/32^{a}$ | $3/6^{cd}$ | $P_{11}$ | $0/49^{j}$ | $454/5^{b}$ | $3/923^{bcd}$ |
| $P_2$ | $2/45^{abcde}$ | $509/46^{ab}$ | $3/64^{cd}$ | $P_{12}$ | $2/7^{abc}$ | $456/57^{b}$ | $3/87^{bcd}$ |
| $P_3$ | $2/79^{ab}$ | $432/38^{bc}$ | $4/18^{abc}$ | $P_{13}$ | $2/31^{bcdefg}$ | $475/08^{ab}$ | $3/53^{d}$ |
| $P_4$ | $1/65^{fghi}$ | $469/73^{ab}$ | $3/96^{bcd}$ | $P_{14}$ | $2/34^{bcdef}$ | $320/67^{d}$ | $4/66^{a}$ |
| $P_5$ | $3/15^{a}$ | $478/88^{ab}$ | $3/46^{d}$ | $P_{15}$ | $1/3^{hi}$ | $464/7^{b}$ | $3/7^{cd}$ |
| $P_6$ | $2/6^{abcd}$ | $476/89^{ab}$ | $3/93^{bcd}$ | $P_{16}$ | $1/92^{efghd}$ | $442/21^{bc}$ | $3/78^{cd}$ |
| $P_7$ | $2/01^{cdefgh}$ | $459/37^{b}$ | $3/8^{cd}$ | $P_{17}$ | $1/7^{efgh}$ | $431/73^{bc}$ | $3/7^{cd}$ |
| $P_8$ | $1/56^{hig}$ | $458/33^{b}$ | $4/2^{ab}$ | $P_{18}$ | $1/65^{fghi}$ | $451/58^{b}$ | $3/92^{bcd}$ |
| $P_9$ | $1/97^{cdefgh}$ | $461/23^{b}$ | $3/95^{bcd}$ | $P_{19}$ | $0/94^{ji}$ | $368/03^{cd}$ | $4/1^{bcd}$ |
| $P_{10}$ | $1/84^{efghd}$ | $461/58^{b}$ | $3/93^{bcd}$ | $P_{20}$ | $2/28^{bcdefg}$ | $375/27^{cd}$ | $4/066^{bcd}$ |

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک در هر ستون بدون اختلاف معنی‌دار در سطح ٥ درصد به روش دانکن می‌باشند.

نتایج مقایسه میانگین توان حل فسفات جدایه‌های سودوموناس فلورسنت در محیط جامد (جدول ٤) نشان داد بیش‌ترین نسبت قطر هاله به کلونی از جدایه $P_0$ با ۳/۱۵ و کم‌ترین مقدار نیز از جدایه $P_{11}$ با ۰/٤۹ واحد به‌دست آمد. جدایه $P_0$ با جدایه‌های $P_2$، $P_3$، $P_6$ و $P_{12}$ تفاوت معنی‌داری از نظر آماری نداشت. عباس‌زاده و همکاران (۲۰۰۷) نیز بیش‌ترین شاخص حلالیت فسفات نامحلول را از جدایه سودوموناس فلورسنت R187 با ٤۳۸/۳۸ میکروگرم بر میلی‌لیتر و کم‌ترین مقدار را از جدایه R69 با ۱۵۸/۳٤ 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 ٤۸ و ۱۲۰ ساعت به‌ترتیب ٤۵/۹٤–۱/۷٤ و ۵۵/۳۷–۵/۷۸ 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 ($r= -۰/۷۵^{*}$) 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.**

کیم و همکاران (١٩٨٩) 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 اسپربر مایع و جامد، دو جدایه $P_{٣}$ و $P_{٥}$ (در این پژوهش به‌صورت $B_{١}$ و $B_{٢}$ معرفی گردیده‌اند)که بالاترین توان انحلال تری‌کلسیم‌فسفات را داشتند انتخاب و پس از تعیین توانایی آن‌ها در تولید IAA و سیدروفور (جدول ٥) اثر آن‌ها بر خصوصیات کمی و کیفی کنجد مورد بررسی قرار گرفت.

**جدول ٥- مقادیر IAA و سیدروفور جدایه‌های مورد استفاده در آزمون گلخانه‌ای.**

| جدایه | تولید IAA (میکروگرم بر میلی‌لیتر) | تولید سیدروفور (قطر کلونی به قطر هاله) |
|---|---|---|
| $B_{١}$ | ١/٦٧ | ١/١٤ |
| $B_{٢}$ | ١٩/٤٦ | ١/١٦ |

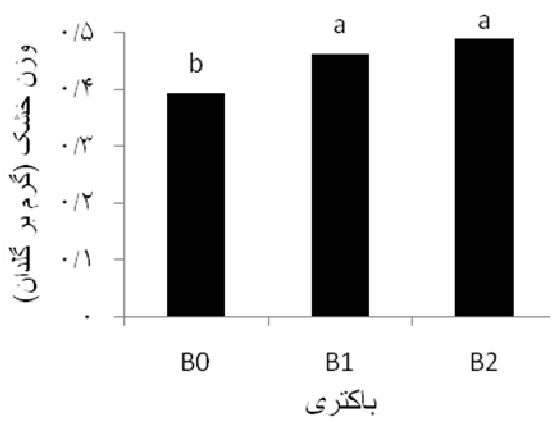
**بررسی کارایی جدایه‌های باکتری و کود فسفری بر شاخص‌های رشد گیاه کنجد:** نتایج تجزیه واریانس تأثیر جدایه‌های باکتری و کود فسفر بر شاخص‌های رشد گیاه کنجد در جدول ٦ نشان داده شده است. تیمارهای باکتری بر وزن خشک اندام هوایی، شاخص کلروفیل و ارتفاع ساقه در سطح ١ درصد و بر سطح برگ در سطح ٥ درصد اثر معنی‌داری داشتند. کود فسفری توانست بر تمام شاخص‌های رشد اندازه‌گیری شده در سطح ١ درصد اثر معنی‌داری بگذارد. همچنین اثر باکتری و کود فسفر بر وزن خشک اندام هوایی در سطح ١ درصد و ارتفاع ساقه در سطح ٥ درصد معنی‌دار بود.

**جدول ٦- نتایج تجزیه واریانس تأثیر باکتری و کود فسفر بر برخی شاخص‌های رشد گیاه کنجد.**

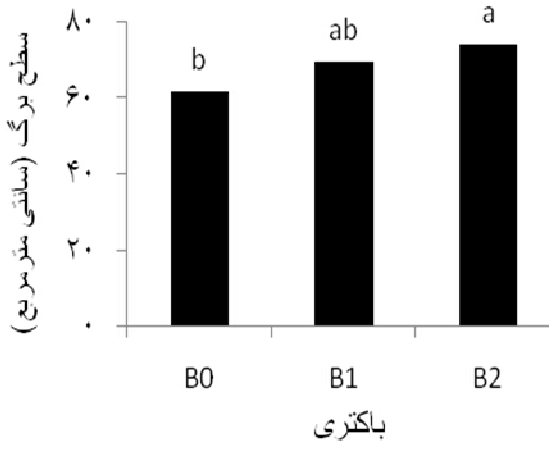
| منبع تغییر | درجه آزادی | میانگین مربعات | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | وزن خشک | سطح برگ | ارتفاع ساقه | شاخص کلروفیل |
| باکتری | ٢ | ٠/٠٣٦٤$^{**}$ | ٥٩٤/٠٢$^{*}$ | ٦/٥٠٥$^{**}$ | ٤٧/٠٩٦$^{**}$ |
| فسفر | ٤ | ٠/٠٧$^{**}$ | ٧٠٠/٩٨$^{**}$ | ١١/٠٠٦$^{**}$ | ٣٤/٨٨٥$^{**}$ |
| باکتری × فسفر | ٨ | ٠/٠٢٢$^{**}$ | ١٢٦/١$^{ns}$ | ٢/٥٣٥$^{*}$ | ٥/٢١٧$^{ns}$ |
| CV | - | ٨/٣١ | ١٨/٧٨ | ٨/٢٧ | ٧/٨٧ |

$^{*}$ معنی‌دار در سطح احتمال ٥ درصد، $^{**}$ معنی‌دار در سطح احتمال ١ درصد و $^{ns}$ غیرمعنی‌دار.

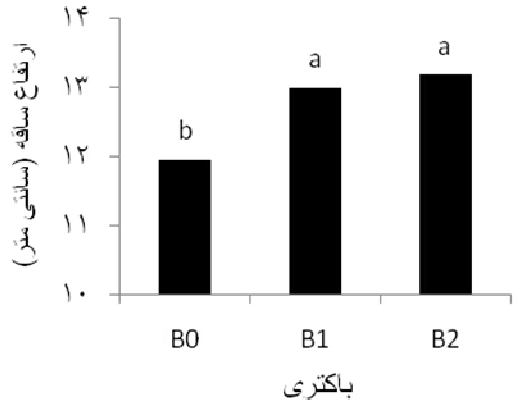
مقایسه میانگین تأثیر جدایه‌های باکتری بر شاخص‌های رشد گیاه کنجد در شکل‌های ۲ تا ۵ نشان داده شده است. باکتری $B_1$ و $B_2$ باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک و ارتفاع ساقه نسبت به شاهد شدند (شکل‌های ۲ و ٤). همچنین سطح برگ و شاخص کلروفیل تحت‌تأثیر جدایه $B_2$ نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری یافت (شکل‌های ۳ و ۵).



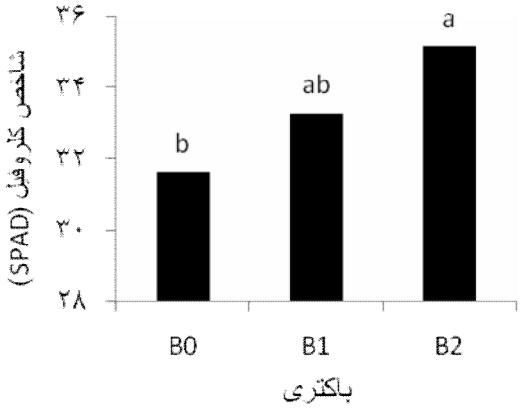

**شکل ۲- تأثیر جدایه‌های باکتری بر وزن خشک اندام هوایی.**




**شکل ۳- تأثیر جدایه‌های باکتری بر سطح برگ.**



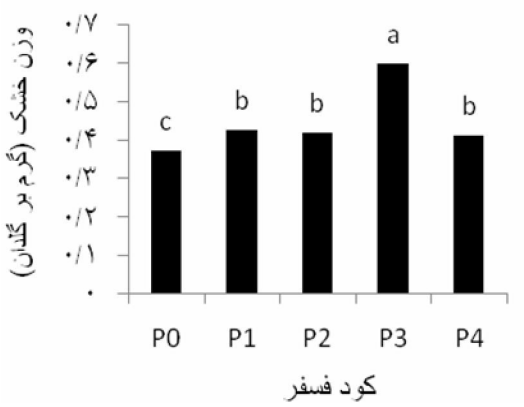

**شکل ٤- تأثیر جدایه‌های باکتری بر ارتفاع ساقه.**



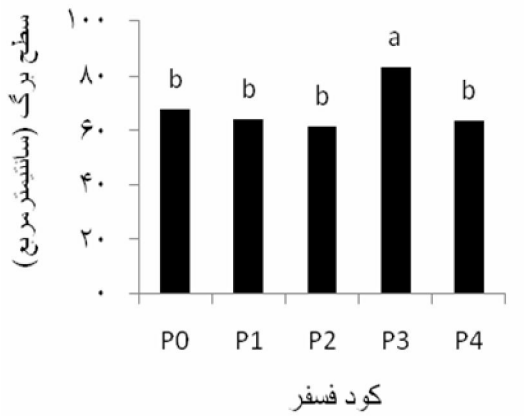

**شکل ٥- تأثیر جدایه‌های باکتری بر شاخص کلروفیل.**

این نتایج با پژوهش‌های گذشته مطابقت دارد. حسن‌زاده و همکاران (٢٠٠٨) افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی جو به‌وسیله 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، ٢٠٠٧؛ شاهارونا و همکاران، ٢٠٠٦). 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، ١٩٩١؛ گلیک، ١٩٩٥).

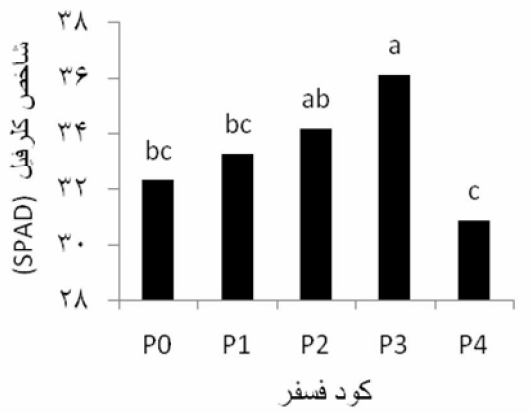
مقایسه میانگین سطوح کود فسفری نشان داد که سطح کودی ٤٠٠ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات، تمامی شاخص‌های رشد اندازه‌گیری شده را نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش داد (شکل‌های ٦ تا ٩). سطوح کودی ١٠٠ و ٢٠٠ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات و همچنین سنگ فسفات تنها باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی نسبت به شاهد شدند (شکل ٦). بین سطوح کودی ١٠٠ و ٢٠٠ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات با سنگ فسفات در وزن خشک اندام هوایی، ارتفاع ساقه و سطح برگ اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد.



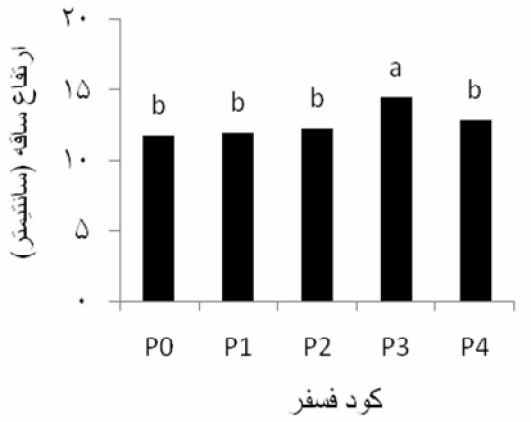

**شکل ٦- تأثیر سطوح کود فسفری بر وزن خشک اندام هوایی.**




**شکل ٧- تأثیر سطوح کود فسفری بر سطح برگ.**




**شکل ۸- تأثیر سطوح کود فسفری بر شاخص کلروفیل.**




**شکل ۹- تأثیر سطوح کود فسفری بر ارتفاع ساقه.**

اولخ و همکاران (۲۰۰۳) گزارش کردند کاربرد ٦٠ و ٨٠ کیلوگرم در هکتار $P_2O_5$ به‌ترتیب در گندم و سویا اثر قابل‌توجه 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. نوروزی 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 افـزایش معنـی‌دار وزن خـشک اندام هوایی نسبت به شاهد شده است (جدول ۷). بیش‌ترین وزن خشک از تیمار ٤۰۰ کیلـوگرم کـود سوپرفسفات در نبود تلقیح باکتری و سپس، همین سطح کودی با باکتری $B_2$ بـه‌دسـت آمـد. ایـن 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 خـشک انـدام هوایی را به‌طور معنی‌داری افزایش دادند. کم‌ترین وزن خشک نیز از تیمار شاهد (مصرف نکردن کـود و باکتری) به‌دست آمد. تیمار ٤۰۰ کیلوگرم کود فسفر و باکتری $B_1$ هر چند وزن خشک را نسبت بـه شاهد به‌طور معنی‌دار افزایش داد اما نسبت به تیمار ۱۰۰، ۲۰۰ و ٤۰۰ کیلوگرم کود در تلقیح بـاکتری $B_2$ تفاوت معنی‌داری نشان نداد. تیمار مصرف نکردن کود در تلقیح باکتری $B_2$، ۱۰۰ کیلوگرم کود در نبود تلقیح و تلقیح باکتری $B_1$، ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات و سنگ فـسفات در نبـود تلقـیح باکتری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند، همچنین تیمار سنگ فـسفات در تلقـیح بـاکتری $B_2$ بـا تیمار مصرف نکردن کود سوپرفسفات در تلقـیح بـاکتری $B_1$، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلـوگرم سوپرفـسفات در تلقیح باکتری $B_2$ تفاوت معنی‌داری نداشت و تیمار سنگ فسفات در تلقیح بـاکتری $B_1$ نیـز بـا تیمـار ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم سوپرفسفات در تلقیح باکتری $B_1$ و ۱۰۰ کیلوگرم در نبود تلقیح باکتری تفـاوت معنی‌داری نداشت. یو و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند کاربرد تلفیقی باکتری‌های حل‌کننده فـسفات و کود فسفر وزن خشک نهال‌های گردو را به‌طور معنی‌دار افـزایش داد. نتـایج پـژوهش برومنـدراد و همکاران (۲۰۱۱) بر روی گیاه ریحـان نـشان داد، کـاربرد کـود بیولوژیـک بـارور۲ و کـود شـیمیایی سوپرفسفات‌تریپل منجر به افزایش معنی‌دار سطح برگ و وزن تک‌بوته نسبت به تیمار شـاهد گردیـد. ارزیابی نتایج نشان داد در تیمارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات در تلقیح بـاکتری $B_1$ و سنگ فسفات در نبود تلقیح باکتری هر چند ارتفاع ساقه نسبت به شاهد افزایش یافت امـا معنـی‌دار نبود (جدول ۷). سایر تیمارها باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع ساقه شدند. بیش‌ترین ارتفاع ساقه از تیمار ٤۰۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفره و باکتری $B_2$ و کم‌ترین ارتفاع در تیمـار شـاهد مـشاهده گردیـد. تیمارهای ٤۰۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر در تلقیح و نبود تلقیح باکتری، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم کـود در تلقیح باکتری $B_2$ و سنگ فسفات در تلقـیح بـا بـاکتری $B_1$ و $B_2$ تفـاوت معنـی‌داری بـا یکـدیگر نداشتند. برومندراد و همکاران (۲۰۱۱) نیز افزایش ارتفاع ساقه در کاربرد هم‌زمـان کـود بیولوژیـک و فسفری را گزارش کرده‌اند.

**جدول ٧- نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل کود فسفر و باکتری بر شاخص‌های رشد کنجد.**

| تیمار | وزن خشک (گرم در گلدان) | ارتفاع ساقه (سانتی‌متر) |
|---|---|---|
| $B_0P_0$ | ۰/۲٦١$^{h}$ | ۹/۸٤$^{d}$ |
| $B_1P_0$ | ۰/٥٤$^{cd}$ | ١٣/٥١$^{abc}$ |
| $B_2P_0$ | ۰/٣٢٨$^{g}$ | ١٢/١$^{bc}$ |
| $B_0P_1$ | ۰/٣٧٢$^{fg}$ | ١١/٨$^{bc}$ |
| $B_1P_1$ | ۰/٣٨٣$^{fg}$ | ١١/٥٣$^{cd}$ |
| $B_2P_1$ | ۰/٥٣٢$^{cd}$ | ١٢/٧٣$^{abc}$ |
| $B_0P_2$ | ۰/٣٣٨$^{g}$ | ١٢/١٨$^{bc}$ |
| $B_1P_2$ | ۰/٤١٩$^{fe}$ | ١١/٦٣$^{cd}$ |
| $B_2P_2$ | ۰/٥۰٣$^{cd}$ | ١٣$^{abc}$ |
| $B_0P_3$ | ۰/٦٤٥$^{a}$ | ١٤/٣٣$^{a}$ |
| $B_1P_3$ | ۰/٥٥$^{bc}$ | ١٤/٦$^{a}$ |
| $B_2P_3$ | ۰/٦١$^{ab}$ | ١٤/٧٣$^{a}$ |
| $B_0P_4$ | ۰/٣٥١$^{g}$ | ١١/٦$^{cd}$ |
| $B_1P_4$ | ۰/٤١٩$^{fe}$ | ١٣/٦٧$^{ab}$ |
| $B_2P_4$ | ۰/٤٧٢$^{de}$ | ١٣/٣$^{abc}$ |

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک در هر ستون بدون اختلاف معنی‌دار در سطح ٥ درصد به روش دانکن می‌باشد.

**بررسی کارایی جدایه‌های باکتری و کود فسفر بر جذب عناصر غذایی اندام هوایی گیاه کنجد:** نتایج تجزیه واریانس نشان داد کاربرد جدایه‌های باکتری بر جذب فسفر، آهن و منگنز در سطح ١ درصد و بر جذب روی و مس در سطح ٥ درصد معنی‌دار بود (جدول ٨). کود فسفر تأثیر معنی‌داری بر جذب فسفر، آهن، منگنز و مس در سطح ١ درصد و همچنین جذب روی در سطح ٥ درصد داشت. برهم‌کنش کود فسفر و باکتری نیز تأثیر معنی‌داری بر جذب فسفر، آهن و منگنز در سطح ١ درصد داشت.

**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 | مس |
| باکتری | ۲ | ۰/۱۵۱$^{**}$ | ۱۲۳/۵۸۲$^{**}$ | ۱۲/۰۸۵$^{*}$ | ۷٤/٦۷۲$^{**}$ | ۲/۷۵۷$^{*}$ |
| فسفر | ٤ | ۰/٦۲۹$^{**}$ | ۱۰٤/۵۸۵$^{**}$ | ۸/۳۸۲$^{*}$ | ۳۵/٦۸۸$^{**}$ | ۵/۳۷۳$^{**}$ |
| باکتری × فسفر | ۸ | ۰/۰۸$^{**}$ | ۱۰۲/۳۷۲$^{**}$ | ۳/٦٦٦$^{ns}$ | ٦۱/۱۷٦$^{**}$ | ۱/٤۷۸$^{ns}$ |
| CV | - | ۱۵/۱٦۸ | ۱۱/۵۵ | ۲۵/٦۹۹ | ۱۳/۱۰۲ | ۱۸/۳۳۳ |

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

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 معنی‌داری نشان داد. باکتری $B_۲$ نسبت به $B_۱$ جذب آهن را بیش‌تر افزایش داد به‌طوری‌که این افزایش جذب معنی‌دار شد. جدایه $B_۱$ توانست جذب روی و منگنز را نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری 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 (ساراوداکومار 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.

**جدول ٩- تأثیر تیمارهای باکتری بر جذب برخی عناصر غذایی اندام هوایی گیاه کنجد.**

| (میلی‌گرم بر گلدان) | (میکروگرم بر گلدان) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| باکتری | فسفر | آهن | روی | منگنز | مس |
| B. | ٠/٧٥١$^{b}$ | ٢٤/٦٤$^{c}$ | ٥/٢٩$^{b}$ | ١٥/٢٩$^{b}$ | ٤/٥٦$^{b}$ |
| $B_1$ | ٠/٨$^{b}$ | ٢٧/٧٤$^{b}$ | ٧/٠١٩$^{a}$ | ١٨/٠٦$^{a}$ | ٤/٧٨$^{ab}$ |
| $B_2$ | ٠/٩٤٣$^{a}$ | ٣٠/٣٧$^{a}$ | ٥/٧٣$^{b}$ | ١٩/٧١$^{a}$ | ٥/٣٩$^{a}$ |

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک در هر ستون بدون اختلاف معنی‌دار در سطح ٥ درصد به روش دانکن می‌باشد.

تمامی سطوح کودی جذب فسفر را نسبت به شاهد به‌طور معنی‌دار افزایش دادند که بیش‌ترین جذب فسفر در ٤٠٠ کیلوگرم سوپرفسفات به‌دست آمد (جدول ١٠). اعمال ١٠٠ و ٤٠٠ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات افزایش معنی‌دار جذب مس نسبت به شاهد و ٢٠٠ 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، ١٩٨٦). راثی‌پور و همکاران (٢٠١٠) گزارش کردند افزایش سطح کود فسفری غلظت فسفر را به‌طور متوسط ١٥ درصد افزایش و غلظت روی را ٥/٥ 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 (٢٠٠٣) اثر آنتاگونیسمی افزایش سطوح کود روی و به‌دنبال آن کاهش جذب آهن ذرت را گزارش کرد. رجایی و همکاران (٢٠٠٩) 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 ١٠- تأثیر مقادیر کود فسفر بر جذب برخی عناصر غذایی اندام هوایی گیاه کنجد.**

| (میلی‌گرم بر گلدان) | (میکروگرم بر گلدان) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| کود فسفره | فسفر | آهن | روی | منگنز | مس |
| P. | ٠/٤٨٨$^{d}$ | ٢٩/٥٨$^{a}$ | ٦/٥٣$^{a}$ | ١٩/٣٨$^{ab}$ | ٤/٢٤$^{c}$ |
| $P_1$ | ٠/٩٢٦$^{b}$ | ٢٩/٦٢$^{a}$ | ٥/٧٨$^{ab}$ | ١٧/٦$^{bc}$ | ٥/١٦$^{b}$ |
| $P_2$ | ٠/٨٩٧$^{b}$ | ٢٦/٣٥$^{b}$ | ٤/٥٤$^{b}$ | ١٥/٨٩$^{c}$ | ٤/٩$^{bc}$ |
| $P_3$ | ١/١٨$^{a}$ | ٣٠/٢٣$^{a}$ | ٦/١$^{ab}$ | ١٩/٩٩$^{a}$ | ٦/٠٦٣$^{a}$ |
| $P_4$ | ٠/٦٦٤$^{c}$ | ٢٢/١٢٣$^{c}$ | ٧/١٢$^{b}$ | ١٥/٥٨$^{c}$ | ٤/١٧$^{c}$ |

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک در هر ستون بدون اختلاف معنی‌دار در سطح ٥ درصد به روش دانکن می‌باشد.

مقایسه میانگین کاربرد کود فسفری و باکتری (جدول ۱۱) نشان داد تنها در تیمار مصرف نکردن کود فسفر و باکتری $B_2$ جذب فسفر نسبت به شاهد معنی‌دار نبود و سایر تیمارها افزایش معنی‌دار جذب این عنصر را نسبت به شاهد نشان دادند. بیش‌ترین جذب فسفر متعلق به کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات و باکتری $B_2$ و کم‌ترین جذب فسفر از تیمار شاهد به‌دست آمد. تیمار ۱۰۰ کیلوگرم کود فسفره و باکتری $B_2$ نسبت به تیمار ٤۰۰ کیلوگرم کود در نبود تلقیح و تلقیح با باکتری $B_2$ تفاوت معنی‌داری نداشتند که احتمالاً به‌دلیل توانایی بالای جدایه $B_2$ در حل فسفر نامحلول و افزایش جذب فسفر اندام هوایی بدون مصرف بیش‌تر کود فسفر بوده است. تیمارهای مصرف نکردن کود در تلقیح باکتری $B_1$، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم کود در نبود تلقیح و تلقیح جدایه $B_1$ و تیمار سنگ فسفات در تمامی سطوح باکتری تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد نسبت به یکدیگر نداشتند که می تواند ناشی از توانایی کم‌تر جدایه $B_1$ در حل فسفر نامحلول باشد. علت جذب بالای فسفر در تیمار ٤۰۰ کیلوگرم کود فسفر و باکتری $B_1$ نیز احتمالاً نه به‌دلیل حضور این سویه بلکه ناشی از مصرف بیش‌تر 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 $B_2$ و ٤۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات در کاربرد تمامی سطوح باکتری تفاوت معنی‌داری داشت. پنهوار و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند تلقیح باکتری‌های حل‌کننده فسفات همراه با کود شیمیایی سوپرفسفات‌تریپل باعث افزایش دسترسی فسفر خاک، جذب فسفر و رشد اندام هوایی برنج شده است. نتایج مشابهی در تلقیح چهار باکتری حل‌کننده فسفر بر رشد زردآلو در یک خاک شامل تری‌کلسیم‌فسفات گزارش شده است (گوپتا و همکاران، ۲۰۱۲). بالاترین جذب آهن در تیمار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات با باکتری $B_2$ به‌دست آمده است (جدول ۱۰). تیمارهای ٤۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات و باکتری $B_2$ و مصرف نکردن کود فسفر با باکتری $B_1$ نیز افزایش معنی‌دار جذب آهن نسبت به تیمار شاهد را نشان دادند. در سایر تیمارها افزایش جذب آهن نسبت به شاهد معنی‌دار نبود، همچنین تیمارهای سنگ فسفات و سطوح باکتری با تیمار ۱۰۰ و ٤۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات در تلقیح باکتری $B_2$ تفاوت معنی‌داری داشتند. کم‌ترین جذب آهن از سنگ فسفات و باکتری $B_2$ و در نبود تلقیح باکتری دیده شد ولی این کاهش جذب نسبت به شاهد معنی‌دار نبود. همچنین افزایش جذب منگنز در تیمارهای مصرف نکردن کود فسفر در تلقیح باکتری $B_2$ و $B_1$، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر در تلقیح باکتری $B_2$، ٤۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات در نبود تلقیح و تلقیح جدایه‌های $B_1$ و $B_2$ و سنگ فسفات با باکتری $B_1$ نسبت به شاهد معنی‌دار بود (جدول

١١). بالاترین جذب منگنز در مصرف نکردن کود فسفر و تلقیح با باکتری $B_1$ و کم‌ترین مقدار جذب نیز در تیمار شاهد مشاهده شد. علت افزایش جذب منگنز در این تیمار ممکن است به‌دلیل حضور نداشتن فسفر باشد زیرا براساس پژوهش‌های مورگان و مسکاگنی (١٩٩١) 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 $B_2$ تفاوت معنی‌داری با شاهد و تیمارهای مصرف ١٠٠ کیلوگرم کود در نبود تلقیح و تلقیح باکتری $B_1$ و ٢٠٠ کیلوگرم کود در نبود تلقیح باکتری نداشت. پورابراهیمی و احتشامی (٢٠١٠) گزارش کردند کاربرد تلفیقی کود فسفره و سودوموناس فلورسنت حل‌کننده فسفر جذب آهن در جو علوفه‌ای را افزایش داد. اکین (٢٠١١) 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 ١١- اثرات متقابل کود فسفر و باکتری بر جذب برخی عناصر غذایی در اندام هوایی گیاه کنجد.**

| (میلی‌گرم بر گلدان) | | میکروگرم بر گلدان | |
|---|---|---|---|
| تیمار | فسفر | آهن | منگنز |
| $B_1P_0$ | ٠/٣١٧٨$^{g}$ | ٢٤/٠٦٣$^{cde}$ | ١٢/٤١٣$^{g}$ |
| $B_1P_0$ | ٠/٦٦٥٦$^{ef}$ | ٣٤/٩٤٥$^{b}$ | ٢٦/٩٨$^{a}$ |
| $B_2P_0$ | ٠/٤٧٨٥$^{fg}$ | ٢٩/٧٢٩$^{bc}$ | ١٨/٧٥٦$^{cde}$ |
| $B_1P_1$ | ٠/٧٤٢٤$^{e}$ | ٢٤/٣٣٥$^{cde}$ | ١٤/١٤١$^{fg}$ |
| $B_2P_1$ | ٠/٧٤٩٦$^{e}$ | ٢٣/٢٢٦$^{de}$ | ١٣/٨١٧$^{fg}$ |
| $B_2P_1$ | ١/٢٨٥٧$^{a}$ | ٤١/٢٩٨$^{a}$ | ٢٤/٨٣$^{ab}$ |
| $B_1P_2$ | ٠/٧٩٢١$^{e}$ | ٢٦/٦٢٢$^{cd}$ | ١٤/١٢٧$^{fg}$ |
| $B_1P_2$ | ٠/٨٦٣٤$^{de}$ | ٢٥/٧٣٨$^{cd}$ | ١٤/٩٩$^{efg}$ |
| $B_2P_2$ | ١/٠٣٦٨$^{cd}$ | ٢٦/٧٠٦$^{cd}$ | ١٨/٥٥٦$^{cde}$ |
| $B_1P_3$ | ١/٢٧٦٤$^{ab}$ | ٢٨/٨٤٢$^{cd}$ | ٢٢/٠٥$^{bc}$ |
| $B_1P_3$ | ١/٠٥٥٩$^{bcd}$ | ٢٦/٧٥$^{cd}$ | ١٧/٤٥٤$^{def}$ |
| $B_2P_3$ | ١/٢٠٢٤$^{abc}$ | ٣٥/١١$^{b}$ | ٢٠/٤٧٧$^{cd}$ |
| $B_1P_4$ | ٠/٦٢٥٥$^{ef}$ | ١٩/٣٢$^{e}$ | ١٣/٧٣٩$^{fg}$ |
| $B_1P_4$ | ٠/٦٥٤١$^{ef}$ | ٢٨/٠٣٧$^{cd}$ | ١٧/٠٨٢$^{def}$ |
| $B_2P_4$ | ٠/٧١٢٩$^{e}$ | ١٩/٠١١$^{e}$ | ١٥/٩٢٦$^{efg}$ |

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک در هر ستون بدون اختلاف معنی‌دار در سطح ٥ درصد به روش دانکن می‌باشد.

## منابع


1.Abbaszadeh, P., Saleh Rastin, N., Asadi Rahmani, H., Khavazi, K., Ashraf Soltanitoulard, 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 Khouzestan, 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. Appled 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., Oosterhius, 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 Zablotowicz, R.M. 1989. Free-Living bacterial inocula for enchancing crop productivity. Trends Biotechnology. 7: 39-43.
28.Kpomblekou, 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 *Caffea 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 supper 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 phosohate solubilizing bacteria and Bradyrhizobium japonicum on yield and some of nutrient uptake in soybean. Scientific Information Center of Agriculture of Jahad 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 Confernece on Management and Development of Sustainable Agriculture of Iran. Ahvaz.
44. Rajaie, M., Ejraie, 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. Characterstic of phosphate sulubilization by an isolate of a tropical *Penicillium regulusum* 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 phosphorous by plants. Austr. J. Plant Physiol. 28: 897-906.
47. Sadat, A. 2007. Effects of vesicular arbuscular mycorhiza 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 croping 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-Al74 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-solubilzing 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.

*J. of Soil Management and Sustainable Production, Vol. 4(3), 2014*
*http://ejsms.gau.ac.ir*

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

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

**S. Nikmehr[1], *A.R. Akhgar[2], Sh. Madah Hoseini[3] and V. Mozafari[4]**
[1]M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, Vali-e-Asr University of Rafsanjan,
[2]Assistant Prof., Dept. of Soil Science, Vali-e-Asr University of Rafsanjan,
[3]Assistant Prof., Dept. of Agronomy, Vali-e-Asr University of Rafsanjan,
[4]Associate 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, $B_1$ and $B_2$ and non-inoculated). Results showed that inoculation of Sesame with $B_1$ and $B_2$ 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 $B_2$ 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