نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد 29، شماره 4، مهر – آبان 1394، ص. 1003-991

Journal of Water and Soil
Vol. 29, No. 4, Sept.-Oct. 2015, p. 991-1003

تاثیر کاربرد تلفیقی باکتری‌های حل کننده‌ی فسفات و کود فسفر بر رشد و عملکرد کنجد

سبحه نیک‌مهر[1]- عبدالرضا اخگر[2*]

تاریخ دریافت: 1393/03/23
تاریخ پذیرش: 1394/04/20

چکیده

باکتری‌های حل کننده‌ی فسفات از جمله باکتری‌های محرک رشد گیاه هستند که شکل‌های نامحلول آلی و معدنی فسفر را با مکانیسم‌های مستقیم به شکل‌های قابل دسترس تبدیل نموده و به بهبود رشد و عملکرد گیاه کمک می‌کنند. در این تحقیق اثر کاربرد باکتری‌های حل کننده فسفات و کود فسفری بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه روغنی کنجد مورد ارزیابی قرار گرفت. آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با پنج سطح فسفر (P_0: بدون مصرف کود فسفر، P_1: 100 کیلوگرم، P_2: 200 کیلوگرم، P_3: 400 کیلوگرم بر هکتار سوپرفسفات‌تریپل و P_4: 1200 کیلوگرم بر هکتار خاک فسفات) و سه سطح باکتری (B_0: بدون تلقیح باکتری، B1 و B_2: به ترتیب جدایه‌های P3 و P5 از باکتری‌های سودوموناس فلورسنت با توانایی بالا در حل فسفات‌های معدنی نامحلول) و سه تکرار اجرا شد. نتایج نشان داد کاربرد باکتری باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی شد و باکتری B_1 علاوه بر این وزن خشک بذر را نیز به‌طور معنی‌داری افزایش داد. کاربرد کود فسفر وزن خشک اندام هوایی و ارتفاع ساقه را به‌طور معنی‌دار افزایش داد. هم‌چنین نتایج نشان داد کاربرد خاک فسفات، مقدار روغن بذر را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. باکتری B_2 غلظت فسفر بذر را نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش داد. کاربرد کود فسفر نیز جذب فسفر و روی اندام هوایی و غلظت فسفر و روی بذر را به‌طور معنی‌دار افزایش داد. کاربرد هم‌زمان خاک فسفات و باکتری حل کننده فسفات بیشتر پارامترهای اندازه‌گیری شده را مشابه کاربرد مقادیر بالای سوپرفسفات‌تریپل به‌طور معنی‌داری افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: خاک فسفات، سوپر فسفات تریپل، سودوموناس فلورسنت

مقدمه

گیاهان برای رشد و تولید محصول بهینه از مراحل بسیار اولیه رشد به فسفر نیاز دارند (16). این عنصر حدود دو دهم درصد وزن خشک گیاه را تشکیل می‌دهد (33). اگرچه مقدار فسفر در گیاهان کمتر از نیتروژن، پتاسیم و کلسیم می‌باشد (18)، لیکن این عنصر یکی از عناصر ضروری و پرمصرف برای رشد و افزایش عملکرد گیاه به‌شمار می‌رود. مهم‌ترین نقش فسفر در فرایند تولید و انتقال انرژی است. این عنصر جزئی از ترکیب ساختمانی مولکول‌های بزرگ زیستی از جمله اسیدهای نوکلئیک، فسفولیپیدها و آدنوزین‌تری‌فسفات بوده، از این‌رو در بسیاری از فرآیندهای زیستی سلول و تنظیم مسیرهای متابولیکی شرکت دارد (33). کشاورزان مدام در تلاشند تا با رفع کمبود عناصر غذایی و هم‌چنین مدیریت صحیح تولید محصولات زراعی را به بالاترین حد خود برسانند. بعد از جنگ جهانی دوم کاربرد کودهای شیمیایی انقلابی در تولید محصولات زراعی به‌وجود آورد. افزایش تولید کودهای شیمیایی با قیمت کم، مصرف این کودها را به‌خصوص در کشورهای در حال توسعه افزایش داد (23). میکانوا و ناواکا (26) گزارش کردند مقادیر زیادی از فسفر موجود در کودهای شیمیایی بعد از ورود به خاک نامحلول شده، در خاک‌های آهکی به تری‌کلسیم فسفات و در خاک‌های اسیدی به فسفات آهن و آلومینیوم تبدیل و از دسترس گیاه خارج می‌شود. رسوب فسفر در خاک و متعاقب آن کاهش دسترسی گیاه به فسفر، کشاورزان را واداشته که به‌منظور تامین فسفر مورد نیاز گیاه از کودهای فسفره به مقدار زیاد استفاده نمایند. در یک پژوهش 23 ساله در نیوزیلند کاربرد کودهای فسفری در کشاورزی به عنوان منبع اصلی آلودگی مراتع تحت چرای دام به عناصر سمی کادمیوم و اورانیوم معرفی شده است (34). امروزه برای کاهش وابستگی به کودهای شیمیایی و حفاظت از محیط زیست، کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاه[3] با هدف افزایش بهره‌وری از تولیدات گیاهی در کشاورزی پایدار مورد توجه قرار گرفته است (14). باکتری‌های PGPR با اکسیداسیون ناقص قندها و مواد

1 و 2- دانش آموخته کارشناسی ارشد و دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه ولی عصر رفسنجان
(*- نویسنده مسئول: Email: arakhgar@yahoo.com)

3- Plant Growth Promoting Rhizobacteria

پلی‌ساکاریدی ترشح شده توسط ریشه گیاه، اسید آلی تولید می‌نمایند. اسیدهای آلی با کاهش واکنش خاک در منطقه ریزوسفری، باعث افزایش حلالیت ترکیبات کم محلول فسفر می‌گردند (32). تلقیح گیاه با باکتری‌های حل کننده فسفات معمولاً باعث بهبود رشد و عملکرد گیاه به‌خصوص در شرایط گلخانه‌ای می‌شود (21). اسیدهای آلی تولید شده توسط میکروارگانیسم‌ها با کاهش pH ریزوسفر، تشکیل کمپلکس‌های محلول با یون‌های فلزی و پیوند شده با فسفر از قبیل کلسیم، آلومینیوم و آهن و رقابت برای اشغال سایت‌های تبادلی، باعث افزایش جذب عناصر غذایی و آزادسازی فسفر می‌گردند (29). از اسیدهای آلی که توسط باکتری‌های حل کننده‌ی فسفات تولید می‌شود می‌توان به اسید سیتریک، اسید گلوکونیک، اسید سوکسنیک و اسید پروپیونیک اشاره کرد (9). گزارش شده است اکسیداسیون مستقیم گلوکز به گلوکونیک اسید مکانیسم اصلی باکتری‌های گرم منفی در انحلال فسفات معدنی می‌باشد (15). اسیدهای معدنی مانند اسید کلریدریک نیز می‌توانند در انحلال فسفات نامحلول مؤثر باشند اما اثر آن‌ها نسبت به اسیدهای آلی در همان pH کمتر است (23). برخی تحقیقات بر روی جوامع باکتریایی محیط ریشه گیاهان نشان داده است که سودوموناس‌های فلورسنت بخش مهمی از باکتری‌های ریزوسفری را تشکیل می‌دهند (6 و 37). کری و همکاران (24) افزایش فسفر قابل دسترس خاک و افزایش رشد ذرت را با کاربرد باکتری‌های سودوموناس فلورسنت گزارش کرده است. در پژوهشی دیگر حسن‌پور و همکاران (17) گزارش کردند کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاه باعث افزایش عملکرد روغن کنجد شده است. این باکتری‌ها پتانسیل قابل توجهی 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 (27 و 28).

مواد و روش‌ها

تهیه باکتری

از بانک میکروبی گروه خاک‌شناسی دانشگاه ولی عصر رفسنجان دو جدایه سودوموناس فلورسنت ریزوسفری گیاه کنجد شامل جدایه‌های P3 و P5 که دارای توان حل فسفات، تولید اکسین و سیدروفور بودند انتخاب گردیدند. توانایی این باکتری‌ها در انحلال تری‌کلسیم‌فسفات در محیط مایع و جامد اسپربر (35) و هم‌چنین تولید اکسین (7) و سیدروفور (4) در جدول 1 نشان داده شده است.

تهیه مایه تلقیح

جدایه‌های انتخاب شده به‌مدت 48 ساعت درون محیط کشت مایع TSB[1] کشت و پس از هم‌سان نمودن تراکم سوسپانسیون‌ها با جمعیت 10^8 cfu/ml (36) به‌عنوان مایه تلقیح مورد استفاده قرار گرفتند.

آزمون گلخانه‌ای

این آزمون به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارها شامل پنج سطح کود فسفر (P_0 : بدون کود، P_1: 100 کیلوگرم، P_2: 200 کیلوگرم، P_3: 400 کیلوگرم بر هکتار سوپرفسفات‌تریپل و P_4: معادل1200 کیلوگرم بر هکتار خاک فسفات) و سه سطح باکتری (B_0: بدون تلقیح باکتری، B_1 و B2: به ترتیب جدایه‌های P3 و P5 از باکتری‌های سودوموناس فلورسنت جدا شده از ریزوسفر کنجد با توانایی بالا در انحلال فسفات‌های معدنی نامحلول) بودند. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش در جداول 2 نشان داده شده است. همچنین ترکیب شیمیایی خاک 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 1 ارائه شده است.

آماده‌سازی بذرها جهت کشت

بدین منظور ابتدا بذرها به‌مدت 30 ثانیه در الکل اتانول 96 درصد قرار داده شده سپس با هیپوکلریدسدیم 10 درصد ضدعفونی سطحی شدند. برای حذف هیپوکلریدسدیم، بذرها چندین بار (10- 8 بار) با آب مقطر استریل شست‌وشو شدند. آن‌گاه بذرها در دمای 20 درجه سلسیوس بر روی محیط آب- آگار قرار داده شدند تا جوانه‌دار شوند.

کشت در گلدان‌ها

در این آزمون از گلدان‌های پلاستیکی 6 کیلوگرمی استفاده شد. برای بستر کشت از یک خاک با بافت متوسط، غیرشور و با میزان فسفر قابل‌استفاده کم که با مقادیر فسفر در تیمارها کاملاً مخلوط شده بودند استفاده گردید. به خاک کلیه گلدان‌ها براساس آزمون خاک نیتروژن از منبع اوره (در دو نوبت و به میزان 50 میلی‌گرم برکیلوگرم) و پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم (به‌میزان 30 میلی‌گرم برکیلوگرم) افزوده شد. در هر گلدان تعداد هشت بذر کنجد جوانه‌دار شده کشت شد. هنگام کاشت بذرها، هر بذر با یک میلی‌لیتر از سوسپانسیون باکتری مورد نظر تلقیح گردید و گلدان‌ها با آب مقطر و به‌روش وزنی در حد 70 درصد رطوبت FC آبیاری شدند. پس از سبز شدن بوته‌ها تعداد بوته در هر گلدان به پنج عدد کاهش یافت. گلدان‌ها به مدت چهار ماه در گلخانه نگه‌داری شدند.

1- Trypton Soya Bean

جدول 1- برخی خصوصیات محرک رشد گیاه باکتری‌های سودوموناس فلورسنت منتخب

Table 1- Some plant growth promoting traits of selected fluorescent pseudomonads

جدایه Isolate	غلظت فسفر در محیط اسپربر مایع P concentration in liquid Sperber medium ($mg\ ml^{-1}$)	حلالیت فسفر در محیط اسپربر جامد (قطر هاله به قطر کلونی) P solubility in solid Sperber medium (halo diameter / colony diameter)	اکسین Auxin ($mg\ ml^{-1}$)	سیدروفور (نسبت قطر هاله به کلونی) Siderophore (halo diameter / colony diameter)
P3 (B_1)	432	3.15	1.67	1.14
P5 (B_2)	478	2.78	19.46	1.16

جدول 2- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

Table 2- Some physical and chemical properties of tested soil

بافت خاک Soil texture	pH	EC ($dS\ m^{-1}$)	N (%)	P ($mg\ kg^{-1}$)	K ($mg\ kg^{-1}$)	Fe ($mg\ kg^{-1}$)
لوم شنی Sandy loam	7.4	1	0.02	5.9	155	2.42

جدول 3- ترکیب شیمیایی سنگ فسفات پارسا (22)

Table3- Chemical compounds of Parsa rock phosphate (22)

اکسید Oxide	SiO_2	Al_2O_3	Na_2O	K_2O	CaO	MgO	P_2O_5	Fe_2O_3	MnO	ZnO
درصد (%)	15.7	1.41	0.09	0.5	43.1	1.04	15.39	2.49	0.01	0.04

برداشت

چهار ماه پس از کشت و پس از رسیدن محصول، اندام هوایی از محل طوقه قطع و ارتفاع ساقه، تعداد دانه در گلدان و درصد روغن اندازه‌گیری شد. پس از شست‌وشوی نمونه‌ها، بخش هوایی به مدت 48 ساعت در آون و دمای70 درجه سلسیوس قرار داده شد تا خشک شود. سپس وزن خشک اندام هوایی اندازه‌گیری و نمونه‌ها پودر گردید. عصاره‌گیری نمونه‌های پودر شده در دمای 550 درجه سلسیوس به‌روش خشک سوزانی انجام شد. اندازه‌گیری روی به‌وسیله‌ی دستگاه جذب اتمی Awanta مدل GBC-932، و فسفر به‌وسیله‌ی اسپکتروفتومتر مدل T80UV/VIS انجام گرفت (11).

اندازه‌گیری محتوای روغن دانه

استخراج روغن نمونه‌های بذر به‌وسیله دستگاه سوکسله[1] صورت گرفت. بدین منظور از هر نمونه دو گرم برداشته و نمونه‌ها به‌حدی که نه کاملاً پودر شوند و نه به‌صورت قطعات درشت باشند آسیاب شده و در کاغذ صافی قرار داده شدند. آنگاه وزن آن‌ها اندازه‌گیری شد (وزن اولیه). نمونه‌ها در داخل سوکسله قرار داده شدند و تا حد پر شدن بالن، حلال ان- هگزان اضافه و به‌مدت سه ساعت در دمای 35 درجه سلسیوس در این حلال قرار داده شدند تا ان- هگزان از بالن تبخیر و پس از سرد شدن در قسمت بالای سوکسله در محل قرار گیری نمونه تجمع یابد. در اثر تجمع ان- هگزان روغن نمونه‌ها جدا و به بالن انتقال یافت و با تکرار متوالی این عمل استخراج کامل روغن انجام گرفت. در پایان کار و پس از روغن‌گیری، نمونه‌ها از سوکسله خارج و در داخل اون به‌مدت دو ساعت در دمای 50 درجه سلسیوس قرار داده شدند. آنگاه نمونه‌ها وزن شده و وزن به‌دست آمده از وزن اولیه کم و محتوا و درصد روغن دانه تعیین گردید.

تجزیه‌های آماری

تجزیه واریانس کلیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها بر مبنای آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. هم‌چنین نمودارها و جداول مربوطه با استفاده از برنامه‌های Excel و Word رسم و نتایج تفسیر شد.

نتایج و بحث

تاثیرکاربرد باکتری‌های حل کننده‌ی فسفات و مقادیر کود فسفر بر شاخص‌های رشد کنجد

نتایج تجزیه واریانس تأثیر جدایه‌های باکتری و مقادیر کود فسفر

1- Soxhlet extractor

بر شاخص‌های رشد گیاه کنجد در جدول 4 نشان داده شده است. تیمار باکتری بر وزن خشک اندام هوایی و بذر کنجد به‌ترتیب در سطح احتمال پنج و یک درصد اثر معنی‌داری داشت. کود فسفر توانست بر وزن خشک اندام هوایی و ارتفاع ساقه در سطح یک درصد و بر درصد روغن در سطح پنج درصد اثر معنی‌داری بگذارد. هم‌چنین اثر متقابل باکتری و کود فسفر بر وزن خشک اندام هوایی در سطح یک درصد و بر تعداد بذر در هر گلدان در سطح پنج درصد اثر معنی‌داری گذاشت.

مقایسه میانگین تأثیر جدایه‌های باکتری بر وزن خشک اندام هوایی و بذر کنجد نشان داد کاربرد هر دو جدایه باکتری باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی نسبت به شاهد شد که کاربرد جدایه B_1 با افزایش 5/1 درصدی بیشترین وزن خشک را به‌خود اختصاص داد (شکل 1)، هم‌چنین کاربرد باکتری B_1 باعث افزایش معنی‌دار و 8/19 درصدی وزن خشک بذر نسبت به شاهد شد (شکل 2). زکی و همکاران (42) افزایش وزن خشک و تر برگ، ساقه و میوه فلفل دلمه‌ای در نتیجه کاربرد باکتری‌های حل کننده فسفات *Bacillus subtilis* و *Bacillus megaterium* را گزارش کردند که باکتری *B. megaterium* اثر بیشتری بر این شاخص زراعی داشت. این پژوهشگران علت افزایش پارامترهای زراعی به‌وسیله باکتری‌های حل کننده‌ی فسفات به‌ویژه *B. megaterium* را علاوه بر آزادسازی فسفر تولید ترکیباتی مانند هورمون اکسین، جیبرلیک اسید و ویتامین‌ها دانستند. آپانا (5) نیز افزایش وزن هزار دانه سورگوم در نتیجه تلقیح با سویه‌های باکتری حل کننده فسفات را گزارش کرد.

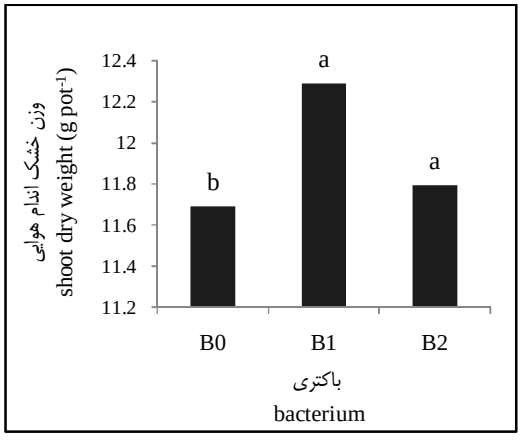
جدول4- تجزیه واریانس تاثیر باکتری و مقادیر کود فسفر بر شاخص‌های رشد کنجد

Table 4- Analysis of variance for the effects of bacteria and Phosphorous fertilizer levels on growth parameters

		میانگین مربعات Mean square				
منبع تغییر Source	درجه آزادی DF	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weigh	وزن خشک بذر Seed dry weight	ارتفاع ساقه Stem height	تعداد بذر درگلدان Seed in pot	روغن Oil
باکتری Bacterium	2	1.55^{*}	2.491^{**}	16.555^{ns}	294530.6^{ns}	2.172^{ns}
کود فسفر P fertilizer	4	5.098^{**}	$o.558^{ns}$	58.753^{**}	103196.089^{ns}	4.577^{*}
باکتری x کود فسفر P fertilizer × Bacterium	8	1.517^{**}	0.678^{ns}	15.028^{ns}	333846.072^{*}	2.316^{ns}
CV	-	5.2	10.42	5.99	16.88	2.66

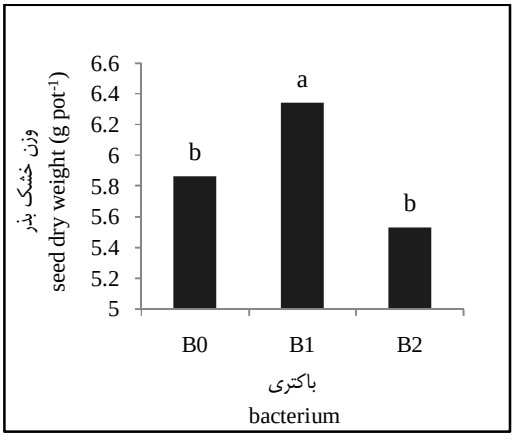
**و * به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و ns عدم تفاوت معنی‌دار

** and * Significant at 1% and 5% level of probability, respectively; ns: no Significant



شکل 1- تأثیر باکتری بر وزن خشک اندام هوایی

Figure 1- Effects of bacteria on shoot dry weight

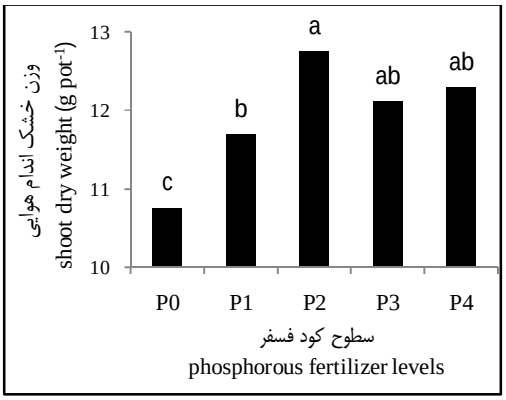


شکل2- تأثیر باکتری بر وزن خشک بذر

Figure 2- Effects of bacteria on seed dry weight

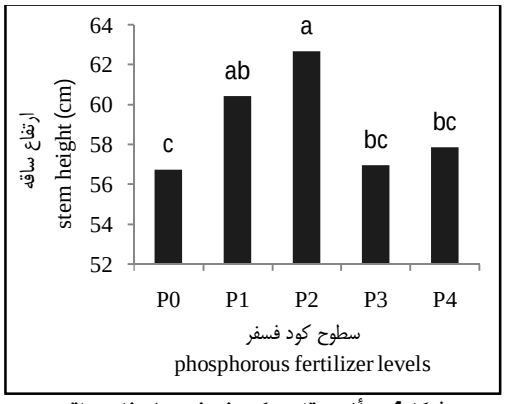
نتایج مقایسه میانگین تاثیر مقادیر کود فسفر بر وزن خشک اندام هوایی نشان داد کاربرد کود فسفر در تمامی سطوح باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی نسبت به شاهد شد که بیشترین مقدار از کاربرد 200 کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات و به‌میزان 18/49 درصد به‌دست آمد. (شکل 3)، هم‌چنین کاربرد خاک فسفات با 200 و 400 کیلوگرم سوپرفسفات تفاوت معنی‌داری نداشت. مهرورز و همکاران (25) افزایش معنی‌دار وزن خوشه جو با کاربرد 30 و 60 کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات‌تریپل را گزارش کردند. افضل و بانو (2) افزایش معنی‌دار و 100 درصدی وزن خشک اندام هوایی گندم با کاربرد کود فسفری را گزارش کردند. نتایج مقایسه میانگین تاثیر کود فسفر بر ارتفاع ساقه نشان داد کاربرد 100 و 200 کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات‌تریپل به‌ترتیب باعث افزایش معنی‌دار و 6/5 و 10/45 درصدی ارتفاع ساقه نسبت به شاهد شده است (شکل 4). زکی و همکاران (42) نیز افزایش ارتفاع فلفل دلمه‌ای را در نتیجه کاربرد کود فسفر گزارش کردند و بیشترین مقدار را از کاربرد 75 کیلوگرم در هکتار P_2O_5 مشاهده کردند.

نتایج مقایسه میانگین تاثیر مقادیر کود فسفر بر درصد روغن نشان داد تنها خاک فسفات توانست درصد روغن بذر کنجد را به‌طور معنی‌داری و به‌میزان 3/6 درصد نسبت به شاهد افزایش دهد و سایر تیمارهای کودی اثر معنی‌داری بر درصد روغن بذر نداشتند (شکل 5). احتمالاً وجود مقادیر نسبتا زیاد روی (0/04 درصد اکسید روی) در خاک فسفات باعث ایجاد چنین نتیجه‌ای شده باشد. احمدی و همکاران (3) گزارش کردند کاربرد کود روی در بین سایر تیمارهای کودی بیشترین تأثیر را بر عملکرد روغن کنجد نسبت به شاهد داشته است. در پژوهشی دیگر امیدیان و همکاران (30) مشاهده کردند محلول‌پاشی سولفات روی در مرحله گلدهی کلزا باعث افزایش 35/1 درصدی روغن دانه نسبت به شاهد شد. گزارش شده است کمبود روی باعث جلوگیری از فعالیت تعدادی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان شده باعث کاهش میزان روغن دانه شود (39).



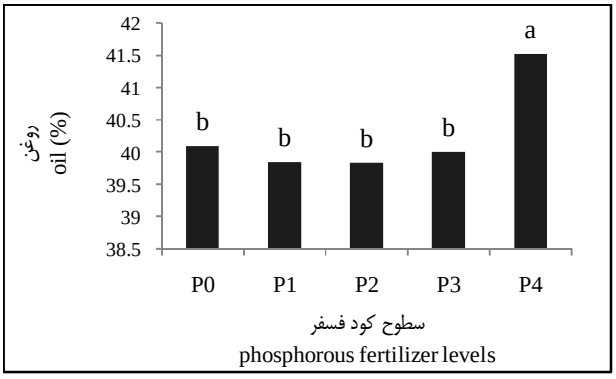
شکل 3- تأثیر کود فسفر بر وزن خشک اندام هوایی

Figure 3- Effects of P fertilizer levels on shoot dry weight



شکل4- تأثیر مقادیر کود فسفر بر ارتفاع ساقه

Figure 4- Effects of P fertilizer levels on stem length



شکل 5- تأثیر مقادیر کود فسفر بر درصد روغن بذر

Figure 5- Effects of P fertilizer levels on oil percentage

نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش کود فسفر و باکتری بر وزن خشک اندام هوایی نشان داد (جدول 5) تمامی تیمارهای آزمایشی باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی نسبت به شاهد شدند که بیشترین مقدار از 200 کیلوگرم سوپرفسفات در عدم تلقیح باکتری و با افزایشی معادل 38/83 درصد به‌دست آمد. این تیمار با تیمارهای 100، 200 و 400 کیلوگرم سوپرفسفات در تلقیح باکتری B_1 و هم‌چنین تیمار خاک فسفات در تلقیح باکتری B_1 و B_2 و 400 کیلوگرم سوپرفسفات در عدم تلقیح باکتری تفاوت معنی‌داری نداشت، هم‌چنین کمترین وزن خشک از تیمار شاهد به‌دست آمد. این نتایج نشان داد کاربرد باکتری حل کننده فسفات توانست قابلیت و کارایی خاک فسفات را افزایش داده و حتی کارایی آن‌را در حد کاربرد 200 و 400 کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات برساند. به نظر می‌رسد استفاده از خاک فسفات به‌همراه باکتری‌های حل کننده فسفات بتواند جایگزین مناسبی برای کودهای فسفاته‌ای چون سوپرفسفات باشد. در پژوهشی یو و همکاران (40) گزارش کردند کاربرد تلفیقی باکتری‌های حل کننده‌ی فسفات و خاک فسفات وزن خشک نهال‌های گردو را به‌طور معنی‌داری افزایش داده است.

جدول 5- مقایسه میانگین اثرات متقابل باکتری و مقادیرکود فسفر بر شاخص‌های رشد

Table 5- Mean comparison of interaction effects of bacteria and phosphorous fertilizer levels on growth parameters

تیمار Treatment	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight (mg pot^{-1})	تعداد بذر در گلدان Number of Seeds in pot
B0P0	9.515f	2124a-c
B1P0	11.891b-e	2351a-c
B2P0	10.865e	2463ab
B0P1	11.842c-e	2417ab
B1P1	12.032a-e	2668a
B2P1	11.237de	1785bc
B0P2	13.21a	2327a-c
B1P2	13.064ab	2487ab
B2P2	11.976b-e	1634c
B0P3	12.332a-d	2004a-c
B1P3	12.037a-e	2160a-c
B2P3	11.997b-e	1998a-c
B0P4	11.553de	2458ab
B1P4	12.431a-d	1891bc
B2P4	12,886a-c	2366ab

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد به‌روش دانکن می‌باشند

The means with a same letter are not significantly different (P<0.05) by Duncen test

جدول 6- تجزیه واریانس تاثیر باکتری و مقادیر کود فسفر بر جذب فسفر و روی اندام هوایی

Table 6- Analysis of variance for the effects of bacteria and Phosphorous fertilizer levels on shoot P and Zn uptake

منبع تغییر Source	درجه آزادی DF	میانگین مربعات Mean square: فسفر Phosphorous	میانگین مربعات Mean square: روی Zinc
باکتری Bacterium	2	7.2^{ns}	0.0008^{ns}
کود فسفر P fertilizer	4	41.85**	0.064**
باکتری× کود فسفر P fertilizer × Bacterium	8	5.61^{ns}	0.0028*
CV	-	15.29	16.67

** و * به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و ns عدم تفاوت معنی‌دار

** and * Significant at 1% and 5% level of probability, respectively; ns: no Significant

جدول 7- تجزیه واریانس تاثیر باکتری و مقادیر کود فسفر بر غلظت فسفر و روی بذر

Table 7- Analysis of variance for the effects of bacteria and Phosphorous fertilizer levels on P and Zn Concentration of seed

منبع تغییر Source	درجه آزادی DF	میانگین مربعات Mean square: فسفر Phosphorous	میانگین مربعات Mean square: روی Zinc
باکتری Bacterium	2	0.003**	40.94ns
کود فسفر P fertilizer	4	0.0022**	262.63**
باکتری× کود فسفر P fertilizer × Bacterium	8	0.0017**	56.36*
CV	-	6.09	7.8

* * و * به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و ns عدم تفاوت معنی‌دار

** and * Significant at 1% and 5% level of probability, respectively; ns: no Significant

نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش باکتری و کود فسفر بر تعداد بذر در هر گلدان نشان داد (جدول 5) هیچ‌کدام از تیمارها نتوانستند تعداد بذر در هر گلدان را نسبت به شاهد افزایش دهند. تیمار 100 کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات و باکتری B_1 با افزایش 25/6 درصدی بیشترین تعداد بذر در گلدان را به‌خود اختصاص داد. تیمار خاک فسفات در تلقیح باکتری B_2 نیز نسبت به تیماری که دارای بالاترین تعداد بذر در گلدان بود (100 کیلوگرم سوپر فسفات در تلقیح باکتری B_1) تفاوت معنی‌داری نداشت. ظفر و همکاران (41) افزایش تعداد بذر ذرت در نتیجه کاربرد کود فسفر از دو منبع سوپرفسفات‌ساده و دی‌آمونیوم‌فسفات در تلقیح باکتری‌های حل کننده فسفات را گزارش کردند.

تاثیرکاربرد باکتری وکود فسفر بر جذب فسفر و روی اندام هوایی و غلظت فسفر و روی بذر کنجد

نتایج تجزیه واریانس (جداول 6 و 7) نشان داد کاربرد جدایه‌های باکتری بر غلظت فسفر بذر و کود فسفر بر جذب فسفر و روی اندام هوایی و غلظت فسفر و روی بذر در سطح یک درصد اثر معنی‌داری داشت. هم‌چنین اثر متقابل باکتری و کود فسفر بر جذب روی اندام هوایی و غلظت روی بذر در سطح پنج درصد و بر غلظت فسفر بذر در سطح یک درصد اثر معنی‌داری داشت.

نتایج مقایسه میانگین تاثیر کاربرد کود فسفر بر جذب فسفر اندام هوایی نشان داد کاربرد 200 و 400 کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات باعث افزایش معنی‌دار 30/4 و 40 درصدی جذب فسفر اندام هوایی نسبت به شاهد شده است (جدول 8). سایر تیمارهای کودی اثر معنی‌داری بر جذب فسفر اندام هوایی نداشتند. همچنین نتایج مقایسه میانگین تاثیر مقادیر کود فسفر بر جذب روی نشان داد کاربرد خاک فسفات باعث افزایش معنی‌دار جذب روی اندام هوایی به مقدار 81/42 درصد نسبت به شاهد شده است (جدول 8). کاربرد تیمارهای 200 و 400 کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات نیز باعث کاهش معنی‌دار جذب روی اندام هوایی نسبت به شاهد شدند و تیمار 100 کیلوگرم سوپرفسفات تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت.

جدول 8- مقایسه میانگین تاثیر کاربرد کود فسفر بر جذب فسفر و روی اندام هوایی

Table 8- Mean comparison of effects of phosphorous fertilizer levels on shoot P and Zn uptake

سطوح کود فسفر P fertilizer levels	mg pot^{-1}: فسفر Phosphorous	mg pot^{-1}: روی Zinc
P0	11.48b	0.183b
P1	11.93b	0.182b
P2	14.97a	0.137c
P3	16.08a	0.116c
P4	11.59b	0.332a

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد به‌روش دانکن می‌باشند

The means with a same letter are not significantly different (P<0.05) by Duncen test

نتایج مقایسه میانگین تاثیر کاربرد تلفیقی کود فسفر و باکتری بر جذب روی اندام هوایی نشان داد کاربرد خاک فسفات در تلقیح

باکتری B_1 و B_2 باعث افزایش معنی‌دار جذب روی نسبت به شاهد و سایر تیمارهای به کار رفته شده است (جدول 9). افزایش جذب روی در تیمار خاک فسفات به‌ترتیب در عدم تلقیح و تلقیح با جدایه‌های باکتری B_1 و B_2 نسبت به شاهد 76/58، 115/82 و 138/6 درصد بود. در واقع این نتایج نشان داد کاربرد دو باکتری حل کننده‌ی فسفات B_1 و B_2 جذب روی را نسبت به همین تیمار کودی و در عدم تلقیح باکتری به‌طور معنی‌داری افزایش داد که می‌تواند نشان دهنده‌ی توان بالای این جدایه‌ها در بهبود رشد گیاه از جمله افزایش جذب روی اندام هوایی باشد. سایر تیمارها نتوانستند جذب روی را نسبت به شاهد افزایش دهند.

جدول 9- مقایسه میانگین اثرات متقابل کاربرد کود فسفر و باکتری بر جذب روی اندام هوایی (میلی‌گرم در گلدان)

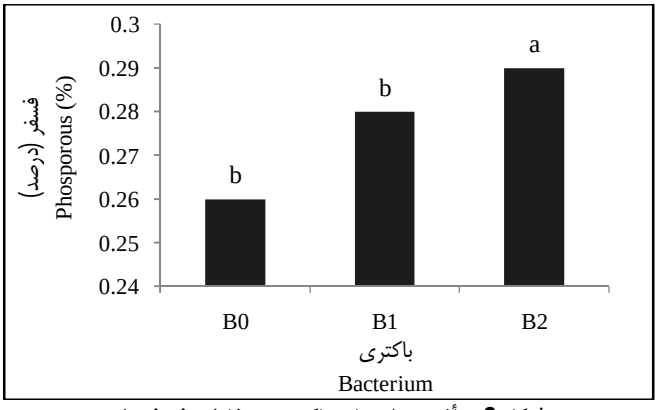
Table 9- Mean comparison of interaction effects of bacteria and phosphorous fertilizer levels on shoot Znuptake (mg pot^{-1})

تیمار Treatment	B_0P_0	B_1P_0	B_2P_0	B_0P_1	B_1P_1	B_2P_1
روی Zinc	0.158c-f	0.212c	0.178c-e	0.204cd	0.182c-e	0.159c-f
تیمار Treatment	B_0P_2	B_1P_2	B_2P_2	B_0P_3	B_1P_3	B_2P_3
روی Zinc	0.159cf	0.123ef	o.137ef	0.117f	0.123ef	0.107f
تیمار Treatment	B_0P_4	B_1P_4	B_2P_4	_	_	_
روی Zinc	o.279b	0.341a	0.377a	_	_	_

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد به‌روش دانکن می‌باشند

The means with a same letter are not significantly different (P<0.05) by Duncen test

نتایج مقایسه میانگین تاثیر جدایه‌های باکتری بر غلظت فسفر بذر نشان داد کاربرد جدایه B_2 باعث افزایش معنی‌دار و 11/5 درصدی فسفر بذر نسبت به شاهد شده است (شکل 6). جدایه B_1 نیز اگرچه درصد فسفر بذر را به‌طور معنی‌داری افزایش نداد اما نسبت به شاهد غلظت این عنصر را در بذر کنجد 7/7 درصد بهبود بخشید. باکتری‌های حل کننده‌ی فسفات با آزادسازی فسفر از ترکیبات نامحلول فسفر مانند خاک فسفات و تری‌کلسیم‌فسفات نقش مهمی در بهبود رشد گیاه و افزایش فسفر قابل جذب بازی می‌کنند (42). در پژوهشی کاربرد باکتری حل کننده فسفات *Pantoea agglomerans* باعث افزایش 88 و 8 درصدی جذب فسفر ریشه و کل گوجه‌فرنگی نسبت به شاهد شده است (38). استیکن و همکاران (13) گزارش کردند کاربرد باکتری *Bacillus* M3 در کشت توت‌فرنگی توانست باعث افزایش قابل توجه محتوای فسفر برگ این گیاه نسبت به شاهد و سایر تیمارهای باکتری شود. وی گزارش کرد علت این افزایش، توان این باکتری در حل فسفر نامحلول است.



شکل 6- تأثیر جدایه‌های باکتری بر غلظت فسفر دانه

Figure 6- Effects of bacteria on P concentration of seed

همچنین کاربرد 200 و 400 کیلوگرم سوپرفسفات و خاک فسفات به‌ترتیب باعث افزایش معنی‌دار 13/85، 7/69 و 11/5 درصدی فسفر بذر نسبت به تیمار شاهد شد (جدول 10). تیمار 200 و 400 کیلوگرم سوپرفسفات با تیمار حاوی 1200 کیلوگرم در هکتار خاک فسفات از نظر غلظت فسفر بذر تفاوت معنی‌داری نداشتند. زکی و همکاران (42) گزارش کردند کاربرد 60، 75 و 90 کیلوگرم در هکتار کود فسفر از منبع سوپرفسفات باعث افزایش معنی‌دار جذب این عنصر غذایی در بخش‌های میوه و برگ فلفل دلمه‌ای شده است که بالاترین جذب در کاربرد 75 کیلوگرم در هکتار P_2O_5 به‌دست آمد. ظفر و همکاران (41) نیز افزایش معنی‌دار و 98 درصدی فسفر در گیاه ذرت در نتیجه کاربرد 90 کیلوگرم در هکتار P_2O_5 از منبع کودی دی‌آمونیوم‌فسفات را مشاهده کردند. هم‌چنین نتایج مقایسه میانگین نشان داد تنها کاربرد خاک فسفات غلظت روی بذر را به‌طور معنی‌دار و به‌میزان 12/92 درصد نسبت به شاهد افزایش داده است (جدول 10). کاربرد 200 کیلوگرم سوپرفسفات نیز باعث کاهش معنی‌دار و 14 درصدی غلظت روی نسبت به شاهد شد و سایر تیمارها اثر معنی‌داری بر غلظت روی بذر نداشتند.

جدول 10- مقایسه میانگین تاثیر مقادیر کود فسفری بر غلظت فسفر و روی بذر کنجد

Table 10- Mean comparison of effects of phosphorous fertilizer levels on P and Zn concentration of seed

	%	mg kg^{-1}
سطوح فسفر P fertilizer levels	فسفر Phosphorous	روی Zinc
P0	0.26c	56.33b
P1	0.27bc	56.03b
P2	0.30a	48.4c
P3	0.28ab	55b
P4	0.29a	63.61a

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد به‌روش دانکن می‌باشند

The means with a same letter are not significantly different (P<0.05) by Duncen test

برهم‌کنش کود فسفر و باکتری اثر معنی‌داری بر درصد فسفر بذر کنجد داشته است (جدول 11). بیشترین درصد فسفر بذر از تیمار 200 کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات در تلقیح باکتری B_2 به‌دست آمد که با تمام تیمارهای کاربردی تفاوت معنی‌داری داشت و درصد این عنصر را نسبت به شاهد 43 درصد افزایش داد. هم‌چنین تیمار خاک فسفات در تلقیح باکتری B_2 نیز درصد فسفر بذر را 27 درصد نسبت به شاهد افزایش داد و نسبت به تیمارهای عدم مصرف کود فسفر در تلقیح جدایه B_1، 100 کیلوگرم سوپرفسفات در تلقیح باکتری B_2، 400 کیلوگرم سوپرفسفات در تلقیح B_1 و B_2 و خاک فسفات در عدم تلقیح باکتری تفاوت معنی‌داری نداشت. در واقع تلقیح جدایه‌ی B_2 به همراه کاربرد خاک فسفات توانست عملکرد کنجد را در حد کاربرد 400 کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات قرار دهد که می‌تواند نشان دهنده‌ی افزایش کارایی این منبع کودی با کاربرد باکتری‌های حل کننده فسفات باشد.

نتایج برهم‌کنش کود فسفر و باکتری بر غلظت روی بذر نشان داد کاربرد تیمارهای 100 کیلوگرم سوپرفسفات در تلقیح باکتری B_2 و خاک فسفات در عدم تلقیح و تلقیح جدایه‌های باکتری B_1 و B_2 به‌ترتیب غلظت روی بذر را معادل 19/16، 24/73، 26/29 و 19/68 درصد نسبت به شاهد افزایش داد (جدول 11). سایر تیمارها نتوانستند اثر معنی‌داری بر غلظت روی بذر داشته باشند. اکین (12) گزارش کرد اگرچه کاربرد 50 و 100 کیلوگرم در هکتار P_2O_5 در تلقیح باکتری حل کننده فسفات *Bacillus* M-13 نتوانست اثر معنی‌داری بر غلظت روی بذر آفتاب‌گردان داشته باشد اما نسبت به شاهد غلظت روی را 22 و 40 درصد افزایش داد.

جدول 11- مقایسه میانگین اثرات متقابل کود فسفر و باکتری بر غلظت فسفر و روی بذر

Table 11- Mean comparison of interaction effects of bacteria and phosphorous fertilizer levels on P and Zn concentration of seed

	%	mg kg^{-1}
تیمار	فسفر	روی
B0P0	0.243d	51.47d-g
B1P0	0.285bc	60a-d
B2P0	0.244d	57.53a-e
B0P1	0.246d	59a-d
B1P1	0.272cd	47.7fg
B2P1	0.285bc	61.33a-c
B0P2	0.266cd	45.13g
B1P2	0.273cd	48.3e-g
B2P2	0.348a	51.76d-g
B0P3	0.272cd	53.16c-g
B1P3	0.283bc	55.4b-f
B2P3	0.284bc	56.43a-f
B0P4	0.293bc	64.2ab
B1P4	0.268cd	65a
B2P4	0.310b	61.6a-c

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد به‌روش دانکن می‌باشند

The means with a same letter are not significantly different (P<0.05) by Duncen test

زکی و همکاران (42) گزارش کردند کاربرد60، 75 و90 کیلوگرم کود فسفر و باکتری‌های *B. megaterium* و *B. subtilis* باعث افزایش معنی‌دار جذب فسفر میوه و برگ فلفل دلمه‌ای در دو فصل متوالی رشد شده است. عبدل المجید و ابوالسعود (1) گزارش کردند کاربرد خاک فسفات و باکتری حل کننده فسفات *B. megaterium*

باعث افزایش 75 درصدی قابلیت دسترسی فسفر نسبت به تیمار شاهد شد. هم‌چنین جذب فسفر اندام هوایی ذرت نسبت به شاهد به‌طور قابل توجهی افزایش یافت. پنهوار و همکاران (31) افزایش جذب فسفر برنج با کاربرد 30 و 60 کیلوگرم در هکتار P_2O_5 از منبع خاک فسفات و در تلقیح دو سویه حل کننده فسفات از جنس *Bacillus*را نسبت به شاهد مشاهده کردند. این دو جدایه توان بالایی در حل فسفر نامحلول از خود نشان داده بودند. پژوهشگران توانایی ترشح اسیدهای آلی و آنزیم‌های فسفاتاز توسط باکتری‌های حل کننده فسفات را عامل انحلال شکل‌های نامحلول معدنی و آلی فسفر به شکل‌های قابل جذب می‌دانند (20، 8). به‌عنوان مثال ممانعت از رسوب هیدروکسی‌آپاتیت در نتیجه تولید اسیدهای آلی توسط اینسکپ و سیلورتز (19) گزارش شده است. تولید اسید آلی توسط باکتری‌های حل کننده فسفات که منجر به کاهش pH محیط ریزوسفری می‌شود علاوه بر افزایش فسفر قابل جذب می‌تواند بر انحلال برخی عناصر غذایی نیز مؤثر باشد (10).

منابع

1- Abdel Megeed A. and Abou El Seoud I.I. 2012. Impact of rock materials and biofertilizations on P and K availability for Maize (*Zea maize*) under clacareous soil conditions. Saudi Journal of Biological Sciences, 19:55-63.
2- Afzal A. and Bano A. 2008. Rhizobium and Phosphate Solubilizing Bacteria Improve the Yield and Phosphorus Uptake in Wheat (*Triticum aestivum*). International Journal of Agriculture and Biology, 10:85-88.
3- Ahmadi, J., Seyfi, M.M. and Amini, M. 2012. Effect of spraying micronutrients Fe, Zn and Ca on grain and oil yield of sesame (*Sesamus indicum* L.) varieties. Electronic Journal of Crop Production, 5:115-130. (In Persian with English abstract)
4- Alexander D.B. and Zuberer D.A. 1991. Use of chrome azurol reagents to evaluate siderophore production by rhizosphere bacteria. Biology and Fertility of Soils, 12:39–45.
5- Appanna V. 2007. Efficacy of phosphate solubilizing bacteria isolated from vertisols on growth and yield parameters of sorghum. Research Journal of Microbiology, 2:550-559.
6- Benizri E., Courtade A., Picard C. and A. Guchert, 1998. Role of maize root exudates in the production of auxins by *Pseudomonas fluorescens*. Soil biology and biochemistry, 30:1481-1484.
7- Bent E., Tuzan S., Chanway C.P. and Enebak S. 2001. Alteration in plant growth and in root hormone levels of lodgepole pines inoculated with rhizobacteria. Canadian Journal of Microbiology, 47:793-800.
8- Cao G., Zhang J., Bao X. and Zhou D. 1999. The phosphorus cycling in an alpine meadow. Acta Ecologica Sinica, 19:514-518.
9- Chen Y.P., Rekha P.D., Arun A.B., shen F.T., Lai W.A. and Young C.C. 2006. Phosphate solubilizing bacteria from subtropical soil and their tricalcium phosphate solubilizing abilities. Applied Soil Ecology, 34:33-41.
10- Chen Z., Ma S. and Liu L. 2008. Studies on phosphorus solubilizing activity of a strain of phosphobacteria isolated from chestnut type soil in China. Bioresource Technology, 99:6702-6707.
11- Cottenie A. 1980. Methods of Plant Analysis. In: Soil and Plant Testing. FAO Soils Bulletin 38:64-100.
12- 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. Turkish Journal of Field Crops, 16:183-189.
13- 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 Horticulture, 124:62-66.
14- Figueiredo M.V.B., Seldin L., Araujo F.F. and Mariano R.L.R. 2010. Plant Growth Promoting Rhizobacteria: Fundamentals and Applications. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Pp.21-43.
15- Goldstein A.H. 1995. Recent Progress in Understanding the Molecular Genetics and Biochemistry of Calcium Phosphate Solubilization by Gram Negative Bacteria. Biological Agriculture and Horticulture, 12:185-193.
16- Grant C., Bittman S. Montreal M. Plenchette C. and Morel C. 2005. Soil and fertilizer phosphorus: Effects on plant P supply and mycorrhizal development. Canadian Journal of Plant Science, 85:3-14.
17- 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. International Journal of Agriculture and Crop Sciences, 11:662-665.
18- Havlin, J.L., Tisdale S.L., Nelson W.L. and Beaton J.D. 2005. Soil Fertility and Nutrient Management. An Introduction to Nutrient Management. 8th (Ed). Pearson/ Prentice Hall. Upper Saddle River.
19- Inskeep W.P. and Silvertooth J.C. 1988. Inhibition of hydroxyapatite precipitation in the presence of fulvic, humic, and tannic acids. Soil Science Society of America Journal. 52:941-946.
20- Islam T. and Hossain M. 2012. Plant Probiotics in Phosphorus Nutrition in crops, with special reference to Rice.

Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. Pp.325-363.
21- Khan M. S., Zaidi A., Ahemad M., Oves M. and Wani P. A. 2010. Plant growth promotion by phosphate solubilizing fungi-current perspective. Archives of Agronomy Soil Science, 5:73-98.
22- 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. October 18 -21.
23- Kim K.Y., Jordan D. and McDonald G.A. 1997. Solubilization of hydroxyapatite by Enterobacter agglomerans and Cloned Escherichia coli in culture medium. Biology and Fertility of Soils, 24: 347-352.
24- Krey T., Vassilev N., Baum C. and Eichler-Löbermann B. 2013. Effects of long-term phosphorus application and plant-growth promoting rhizobacteria on maize phosphorus nutrition under field conditions. European Journal of Soil Biology, 55:124-130.
25- Mehrvarz S., Chaich M.R. and Alikhani H.A. 2008. Effects of phosphate solubilizing microorganisms and phosphorus chemical fertilizer on yield and yield components of Barely (*Hordeum vulgare* L.). American-Eurasian Journal of Agricultural and Environment Science, 3:822-828.
26- Mikanova O. and Novakova J., 2002. Evaluation of the P-solubilizing activity of soil microorganisms and its sensitivity to soluble phosphate. Rostlinna Vyroba. UZPI, 48:397-400.
27- Muleta D., Assefa F., Hjort K., Roosand S. and Granhall U. 2009. Characterization of Rhizobacteria Isolated from Wild (*Coffea arabica* L.). Engineering in Life Sciences, 9:100-108.
28- 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. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 12:73-84.
29- Nahas E. 1996. Factors determining rock phosphate solubilization by microorganism isolated from soil. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 12:567-572.
30- Omidian A., Siadat S.A., Naseri R. and Moradi M. 2012. Effect of foliar application of zinc sulphate on grain yield, oil and protein content in four rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. Iranian Journal of Crop Sciences. 14(1):16-28. (In Persian with English abstract)
31- Panhwar Q.A., Radziah O., Rahman Zaharah A., Sariah M. and Mohd Razi I. 2011. Role of phosphate solubilizing bacteria on rock phosphate solubility and growth of aerobic rice. Journal of Environmental Biology, 32:607-612.
32- Rodriguez H., Fraga Gonzalezand R.T. and Bashan Y. 2006. Genetics of phosphate solubilization and its potential applications for improving plant growth-promoting bacteria. Plant and Soil, 287:15-21.
33- Schachtman D.P., Reid R.J. and Ayling S.M. 1998. Phosphorus uptake by plants: from soil to cell. Plant Physiology, 116:447-453.
34- Schipper L.A., Sparling G.P., Fisk L.M., Dodd M.B., Power I.L. and Litter R.A. 2011. Rates of accumulation of cadmium and uranium in a New Zealand hill farm soil as a result of long-term use of phosphate fertilizer. Agriculture Ecosystems and Environment, 144:95-101.
35- Sperber J.I. 1958. The incidence of apatite-solubilizing organisms in the rhizosphere and soil. Australian Journal of Agricultural Research. 9:778-781.
36- 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, 21:1- 6.
37- Vlassak K. Van HolmDuchateau L.V., Vanderleyden J. and De 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.
38- Walpola B.C. and Yoon M.H. 2013. Isolation and characterization of phosphate solubilizing bacteria and their co-inoculation efficiency on tomato plant growth and phosphorous uptake. African Journal of Microbiology, 7:266-275.
39- Yilmaza A., Ekiza H., Torunb B., Gultekina I., Karanlikb S., Bagcia S.A. and Cakmak I. 1997. Effect of different zinc application methods on grain yield and zinc concentration in wheat cultivars grown on zinc-deficient calcareous soils. Journal of Plant Nutritio, 20:461-471.
40- Yu, X., Liu X., Zhu T.H. and Liuand G.H. 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. European Journal of Soil Biology, 50:112-117.
41- Zafar M., Rahim N., Shaheen A., Khaliq A., Arjamand T., Jamil Rehman Z.U. and Sultan T. 2011. Effect of combining poultry manure, inorganic phosphorus fertilizers and phosphate solublizing bacteria on growth, yield, protein content and P uptake in maize. Advances in Agriculture & Botanics-International Journal of the Bioflux Society, 3:46-58.
42- Zaki M.F., Fawzy Z.F., Ahmed A.A. and Tantawy A.S. 2012. Application of phosphate dissolving bacteria for improving growth and productivity of two sweet peppers (*capsicum annuum* L.) Cultivars under newly reclaimed soil. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 6:826-839.

Journal of Water and Soil
Vol. 29, No. 4, Sept.-Oct. 2015, p. 991-1003

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد 29، شماره 4، مهر – آبان 1394، ص. 1003-991

Effect of Combined Application of Phosphate Solubilizing Bacteria and Phosphrous Fertilizer on Growth and Yield of Sesame

S. Nikmehr[1]- A. Akhgar[2]*

Received: 13-06-2014
Accepted: 11-07-2015

Introduction: Phosphorus (P) is considered to be one of the most essential macro elements required for growth and development of plants, but, due to low solubility and fixation in soils, only a small fraction of phosphorus in soil (1 ppm or 0.1%) is readily available to plants. chemical fertilizers are widely used in meeting the phosphorous need of crops. However, as the fertilizer production is dependent upon fossil energy sources, continuous use of chemical fertilizers has become a matter of great concern, not only because of the diminishing availability of costly inputs but environmental concerns also. Under this background, it has obviously brought the subject of mineral phosphate solubilization in the forefront. A group of soil microorganisms is recognized to be involved in microbial phosphate solubilization mechanisms through which insoluble forms of inorganic and organic phosphates convert into soluble forms (HPO_4^{-2} or $H_2PO_4^-$). Acidification of the medium, chelating, exchange reactions and production of various acids has been discussed as the key processes attributed to the conversion. Phosphate solubilizing bacteria (PSB) are a group of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) that convert unavailable forms of phosphorus to available forms and it helps to the growth and yield of plant. The use of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) is considered one of the most important factors increasing sesame yields. Therefore, the aim of the present study was to investigate the interactive effects of PGPR and phosphorus fertilizer on some growth parameters and components of yield and also phosphorus and Zinc uptake in sesame.

Materials and Methods: In order to investigation of the effect of combined application of phosphate solubilizing bacteria and phosphorus fertilizer on growth and yield of Sesame, a greenhouse experiment was conducted as factorial based on completely randomized design with three replications including five levels of phosphorous fertilizer (0, 100, 200 and 400 kg ha^{-1} of triple superphosphate and 1200 kg ha^{-1} of rock phosphate) and three bacterial levels (inoculation with two phosphate solubilizing fluorescent pseudomonad, isolates of P3 and P5 that known in this study as B1 and B2 and non-inoculated). It should be noted that rock phosphate used in this study has contained 4% of zinc oxide. The bacteria selected from microbial bank of Vali-E-Asr University were able to dissolve the insoluble phosphate and produce siderophore and IAA. Four months after planting, plants were cut at the soil surface, and shoot dry weight, stem height, number of Seeds in pot, seed dry weight and seed oil percentage were recorded. Also phosphorus and Zinc contents in shoot were determined.

Results and Discussion: Results indicated that both bacteria (B1 and B2) significantly increased shoot dry weight and B1 increased seed dry weight. Also application of phosphorus fertilizer significantly increased shoot dry weight and plant height. 200 kg ha^{-1} of triple superphosphate had highest shoot dry weight and was similar with rock phosphate. Combined application of Phosphorous fertilizer and phosphate solubilizing bacteria increased shoot dry weight. Results also showed that seed oil was increased by application of Phosphate rock. Phosphorus concentration in seed was increased with Using B1 and B2 isolates. Application of B2 significantly increased phosphorus concentration in seed (11.5%) and Phosphorous fertilizer levels increased concentration of P and Zn in seed. Application of 200 and 400 kg ha^{-1} triple superphosphate had the highest concentration of P and Zn in seed. Phosphorus fertilizer levels significantly enhanced uptake of P and Zn in shoot. Application of 200 and 400 kg ha^{-1} triple superphosphate led to increased uptake of phosphorous in shoot. Also rock phosphate significantly increased uptake of Zn in shoot. Combined application of Rock phosphate and bacteria of B1 and B2 had more significant effects on uptake of Zn in shoot.

Conclusion: this study showed that Phosphate solubilizing bacteria (B1 and B2) had significant effects on the growth and nutrient uptake especially phosphorus and zinc in sesame. The simultaneous application of Phosphate rock and Phosphate solubilizing bacteria increased most of the measured parameters similar to the highest levels of triple superphosphate. Therefore, because of high cost of chemical fertilizers production and its environmental problems, application of less levels of phosphorus fertilizers or rock phosphate along with

1, 2- M.Sc. Graduate and Associate Professor, Department of Soil Science, Vali-e-Asr University of Rafsanjan
(*- Corresponding Auther Email: arakhgar@yahoo.com)

Phosphate solubilizing bacteria could be an appropriate option to avoid wasteful consumption of phosphorus fertilizers. .

Keywords: Fluorescent pseudomonad, Phosphate rock, Triple superphosphate