نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۸، شماره ۵، آذر – دی ۱۳۹۳، ص. ۹۸۶-۹۷۶

Journal of Water and Soil
Vol. 28, No. 5, Nov.-Dec. 2014, p. 976-986

بررسی تاثیر باکتری‌های *سودوموناس* و *باسیلوس* در عملکرد گندم و جذب عناصر غذایی و مقایسه آن با کود شیمیایی و آلی

علیرضا فلاح نصرت‌آباد[1*]- شایان شریعتی[2]

تاریخ دریافت:۱۳۹۲/۵/۱۶
تاریخ پذیرش:۱۳۹۳/۶/۲۵

چکیده

هزینه‌های بالای کاربرد کود در سیستمهای زراعی و مسائل آلودگی و تخریب خاک عواملی است که باعث شده استفاده کامل از منابع غذایی گیاهی قابل تجدید موجود (آلی و بیولوژیکی) به همراه کاربرد بهینه ای از کودها جهت حفظ باروری، ساختمان، فعالیت حیاتی، ظرفیت تبادل و ظرفیت نگهداری آب در خاک انجام گیرد. لذا در سالهای اخیر توجه محققین کشاورزی به کودهای زیستی و آلی به عنوان جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی جلب شده است. هدف از این پژوهش بررسی اثرات کود سوپر فسفات تریپل، باکتری های حل کننده فسفات و ماده آلی در عملکرد کیفی و کمی گندم و جذب عناصر غذایی اجرا گردید. آزمایش گلدانی بصورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه فاکتور: ۱- باکتری‌های حل کننده فسفات در سه سطح شاهد، باکتری *سودوموناس پوتیدا* و باکتری *باسیلوس کواگولانس*، ۲- کود سوپر فسفات تریپل در پنج سطح صفر، ۲۵ درصد، ۵۰ درصد، ۷۵ درصد و ۱۰۰ درصد، ۳- ماده آلی در دو سطح صفر و ۱۵ تن در هکتار در خاکی با فسفر قابل دسترس (۱۳میلی گرم در کیلوگرم خاک) کمتر از حد کفایت گیاه (۱۵میلی گرم در کیلوگرم خاک) گندم انجام گردید. بر اساس نتایج آزمایش بیشترین عملکرد در تیمار باکتری *سودوموناس پوتیدا*، ماده آلی و ۲۵ درصد کود فسفاته به دست آمد. می‌توان نتیجه گرفت در شرایط این آزمایش باکتری‌های حل کننده فسفات و ماده آلی بطور معنی‌داری عملکرد بیشتری نسبت به شاهد نشان دادند و ترکیب آنها با کود فسفاته تأثیر چشمگیری بر کاهش مصرف کود فسفاته داشت.

واژه‌های کلیدی: *باسیلوس*، *سودوموناس*، کودهای زیستی، گندم، مواد آلی

مقدمه

فسفر بعد از نیتروژن مهم‌ترین عنصر غذایی مورد نیاز گیاه است. مهم‌ترین نقش این عنصر در گیاهان در فرآیند تولید و انتقال انرژی است (۲۶ و ۲۹). کمبود این عنصر در اکثر خاک‌ها باعث کاهش تولیدات کشاورزی می شود؛ زیرا بیش از ۸۰ درصد این عنصر بعد از ورود به خاک، غیر متحرک شده و از طریق جذب شدن، رسوب کردن و یا تبدیل به شکل آلی از دسترس گیاه خارج می‌شود (۳، ۱۸، ۲۳ و ۲۹). افزایش مصرف کودهای فسفره در چند سال اخیر، نه تنها عملکرد محصولات کشاورزی را چندان افزایش نداده، بلکه در نتیجه بر هم زدن تعادل عناصر غذایی، کاهش محصول را نیز در مواردی باعث شده است (۴). لذا در سال‌های اخیر توجه محققین کشاورزی به کودهای زیستی و آلی به عنوان جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی جلب شده است. کودهای زیستی از مهم‌ترین و کلیدی ترین راهکارهای افزایش سلامت خاک و گیاه هستند که می‌توانند از افزایش آلودگی‌های حاصل از مصرف کودهای شیمیایی جلوگیری کنند. به طور کلی در میان باکتری‌ها، جنس‌های متعلق به *سودوموناس*، *باسیلوس* و *ریزوبیوم* توانمندترین جدایه‌های حل کننده فسفات‌های نامحلول معدنی هستند (۱۶)، که از طریق انحلال فسفات های نامحلول آلی و معدنی قابلیت جذب فسفر توسط گیاه را افزایش می‌دهند (۱۴ و ۲۸). نارسیان و پاتل (۱۷) گزارش کردند که *سودوموناس* و *باسیلوس* مهم‌ترین باکتری‌های حل کننده فسفات هستند. پوئنته و همکاران (۱۹) اظهار داشتند که تلقیح با باکتری‌های حل کننده فسفات *Bacillus spp.* می‌تواند فسفر تثبیت شده در خاک را حل کند و به فرم فسفر قابل مصرف درآورد و در نتیجه عملکرد محصول را افزایش دهد. راثی پور و همکاران (۲) بیان کردند باکتری‌های حل کننده فسفات وزن خشک، درصد فسفر، پتاسیم و

۱- دانشیار پژوهش موسسه تحقیقات خاک و آب
(*- نویسنده مسئول: (Email: rezafalah@yahoo.com
۲- عضو باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان دانشگاه آزاد اسلامی واحد رشت

نیتروژن بخش هوایی را بطور معنی‌داری افزایش دادند. در مورد استفاده از مواد آلی نیز بانیک و دی (۹) گزارش کردند که اگرچه اضافه کردن این میکروارگانیسم ها لزوماً فسفر خاک را بالا نمی برند، ولی استفاده از آنها به همراه کود دامی بسیار سودمند است. افزودن کود دامی، سبز و هر گونه ماده آلی به خاک از طریق فرایندهایی نظیر تولید اسید کربنیک، تجزیه ترکیبات مختلف فسفوهومیک، جایگزینی سطحی یونهای هومات با فسفاتهای نامحلول، پوشاندن سطوح ذرات اکسیدهای آهن و آلومینیوم با هوموس و کلات کردن عناصری که فسفر را تثبیت می‌کنند، قابلیت جذب فسفر به وسیله گیاه را می‌افزاید (۲۱ و ۲۷). در بعضی موارد استفاده از کود دامی بر کود شیمیایی رجحان دارد. محمد زاده و همکاران (۵) بیان داشتند که کلیه تیمارهای مصرف کود حیوانی، میزان فسفر قابل جذب را در سطح بالاتری نسبت به کاربرد کود سوپر فسفات حفظ نمودند. گندم از مهم‌ترین گیاهان زراعی بشمار می رود، زراعت آن در مناطق مختلف و شرایط آب و هوایی متفاوت صورت گرفته و غذای اصلی اغلب مردم جهان را تشکیل می دهد. بنابراین توجه ویژه‌ای به تغذیه مناسب این گیاه جهت افزایش کمی و کیفی این محصول و در نتیجه افزایش در آمد کشاورزان می‌شود. با توجه به مواردی که در بالا ذکر شد هدف از این پژوهش استفاده از باکتری‌های حل کننده فسفر و ماده آلی به طور مجزا و ترکیبی با کود سوپر فسفات تریپل بوده است تا مصرف کودهای شیمیایی کاهش یابد.

مواد و روش‌ها

به منظور ارزیابی تأثیر باکتری‌های حل کننده فسفات، آزمایش گلدانی در قالب فاکتوریل در پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد. فاکتورها شامل کود سوپر فسفات تریپل در پنج سطح (صفر درصد C_1، ۲۵ درصد C_2، ۵۰ درصد C_3، ۷۵ درصد C_4 و ۱۰۰ درصد C_5 توصیه شده کود سوپر فسفات تریپل برای گندم)، باکتری در سه سطح (بدون باکتری a_1، باکتری سودوموناس *پوتیدا* a_2 و باکتری باسیلوس *کواگولانس* a_3) در خاکی با فسفر قابل دسترس بالا (۱۳ میلی گرم در کیلوگرم) ولی کمتر از حد بحرانی برای رشد گندم (۱۵ میلی گرم در کیلوگرم) و ماده آلی در دو سطح (صفر b_1 و ۱۵ تن در هکتار b_2) بودند. باکتری‌ها از بانک ژن موسسه تحقیقات خاک و آب کشور تهیه گردید. جهت انجام آزمایش ابتدا خاک مورد نظر با حصول اطمینان از بالا بودن میزان فسفر قابل جذب آن (اولسن) از عمق ۱۵-۰ سانتیمتری نمونه برداری شد. سپس خواص شیمیایی آن از جمله واکنش گل اشباع، هدایت الکتریکی عصاره اشباع، درصد مواد خنثی شونده، درصد نیتروژن، فسفر و پتاسیم قابل دسترس، میزان آهن و روی تعیین شد (۱۰ و ۲۶). خاک مذکور از الک ۵ میلی متری عبور داده شده و مقدار ۳/۵ کیلوگرم خاک تیمار شده در هر گلدان ریخته شد. پس از اعمال تیمارهای کودی تعداد ۱۲ عدد بذر جوانه زده گندم به طور یکنواخت در هر گلدان کاشته شد. به هر بذر یک میلی لیتر از سوسپانسیون باکتریایی حاوی 10^8 سلول در هر میلی لیتر اضافه و نیم کیلوگرم خاک روی بذرها ریخته شد . بعد از دو هفته از تاریخ کشت، بوته‌ها تنک و در نهایت تعداد ۶ بوته در هر گلدان نگهداری شد. در مرحله داشت عملیات آبیاری و مبارزه با علف‌های هرز، آفات و بیماریها به طور معمول و بر پایه عرف منطقه انجام شد. در پایان رشد، نمونه‌ها کف بر شدند. نمونه ها به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی گراد قرار داده شدند و عناصر غذایی فسفر (۲۰)، نیتروژن، پتاسیم (۲۵)، آهن و روی (۱۵) اندازه گیری گردید. داده ها با استفاده از نرم افزار MSTATC تجزیه شدند و مقایسه میانگین ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد. پس از اینکه مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون چند دامنه ای دانکن انجام گرفت، برای رتبه بندی تیمارها بر اساس نتایج مقایسه میانگین های تمام صفات، از روش آرونوچالام (۸) استفاده شد. به منظور رتبه‌بندی تیمارها، ابتدا بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌های هر صفت رتبه هر تیمار در آن صفت تعیین می‌گردد. رتبه‌بندی در هر صفت بر اساس تعداد حروف در مقایسه میانگین مربوط به آن صفت انجام می‌شود. به عنوان مثال اگر برای صفتی میانگین‌ها دارای چهار حرف A تا D باشد، آنگاه تیمار های دارای حروف A رتبه ۴، B رتبه ۳، C رتبه ۲، D رتبه ۱ را خواهند داشت و اگر تیماری دارای دو حرف باشد، رتبه آن میانگین رتبه دو حرف مربوطه خواهد بود. پس از تعیین رتبه تیمارها در هر صفت، رتبه نهایی هر تیمار مجموع رتبه آن در صفات مختلف خواهد بود.

نتایج و بحث

در خاک مورد آزمایش هدایت الکتریکی ۰/۹۶ دسی زیمنس بر متر، اسیدیته ۷/۹۶ ، مواد خنثی شونده و نیتروژن به ترتیب ۸/۳ و ۰/۰۸۶ درصد و فسفر، پتاسیم، آهن و روی به ترتیب ۰/۱۳،۳۵۶،۱۳ و ۲/۳ میلی گرم در کیلوگرم بود. نکته حائز اهمیت در خصوصیات خاک بالا بودن فسفر قابل استفاده (اولسن) آن بود. خاک مورد استفاده مشکل شوری نداشت، دارای pH خنثی تا کمی قلیایی بودند و پتاسیم قابل استفاده آن در حد کفایت بود. با توجه به جدول تجزیه واریانس (جدول ۱)، اثر ساده باکتری، اثر ساده سوپرفسفات تریپل، اثر دو گانه باکتری× سوپر فسفات تریپل و اثر سه گانه ماده آلی× باکتری× کود فسفاته بر روی کلیه صفات اندازه گیری شده، معنی‌دار بوده است. اثر ساده ماده آلی برای تمامی صفات مورد به غیر از آهن معنی‌دار گردید. اثر متقابل ماده آلی× باکتری تنها برای عناصر نیتروژن و آهن معنی‌دار گردید. همچنین اثر دو گانه ماده آلی× سطوح مختلف کود فسفاته نیز به غیر از صفات پتاسیم، آهن و روی در تمامی صفت معنی‌دار گردید.

جدول ۱-تجزیه واریانس صفات مورد بررسی

		میانگین مربعات					
منابع تغییرات	درجه آزادی	ماده خشک	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	آهن	روی
تکرار	۲	**۰/۰۱۵	*۰/۰۱۵	^{ns}۰/۰۰۰	^{ns}۰/۰۳۷	^{ns}۴۷۹/۳۵۹	^{ns}۱/۲۰۰
باکتری	۲	**۲۱۰/۳۲۳	**۰/۶۸۷	**۰/۰۳۱	**۰/۴۳۴	**۴۳۱۳۰/۴۵۲	**۵۵/۸۳۳
ماده آلی	۱	**۵۲۲/۷۲۹	**۰/۲۰۰	**۰/۰۲۷	**۰/۸۱۸	^{ns}۱۷۷۰/۶۷۴	**۱۶/۹۰۰
باکتری× ماده آلی	۲	^{ns}۱/۹۴۹	**۰/۱۲۰	^{ns}۰/۰۰۰	^{ns}۰/۰۳۳	**۳۳۸۷۸/۹۰۲	^{ns}۱/۳۰۰
سوپر فسفات تریپل	۴	**۲۴/۸۹۸	**۰/۰۲۰	**۰/۰۰۵	**۰/۱۵۰	**۶۱۱۵/۳۳۹	**۱۳/۶۲۸
باکتری× سوپر فسفات تریپل	۸	**۵/۲۲۱	**۰/۰۶۹	**۰/۰۰۳	**۰/۱۰۵	**۵۶۳۴/۹۰۸	**۱۲/۷۴۷
ماده آلی× سوپر فسفات تریپل	۴	**۸/۵۸۶	**۰/۰۴۵	**۰/۰۰۱	^{ns}۰/۰۳۰	^{ns}۴۲۹/۲۷۱	^{ns}۲/۴۸۳
باکتری×ماده آلی×سوپر فسفات تریپل	۸	**۴/۶۶۱	**۰/۰۴۳	**۰/۰۰۲	**۰/۱۳۱	**۷۴۹۹/۸۳۵	*۴/۲۹۰
اشتباه آزمایشی	۵۸	۰/۷۴۹	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰۲	۰/۰۱۶	۱۱۴۴/۸۵۸	۱/۷۲۶
ضریب تغییرات(درصد)		۴/۵۷	۶/۷۹	۸/۷۰	۷/۴۱	۲۴/۷۹	۱۰/۹۸

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر ساده باکتری برای صفات مورد مطالعه به روش دانکن

باکتری	ماده خشک (گرم)	رتبه	نیتروژن (درصد)	رتبه	فسفر (میلی گرم بر گیلوگرم)	رتبه	پتاسیم (میلی گرم بر گیلوگرم)	رتبه	آهن (میلی گرم بر گیلوگرم)	رتبه	روی (میلی گرم بر گیلوگرم)	رتبه	مجموع رتبه ها
a_1	۱۷/۶۵^{B}	۱	۰/۹۲۹۳^{B}	۲	۰/۱۴۳۲^{B}	۲	۱/۶۷۰^{B}	۱	۱۳۰/۷^{B}	۲	۱۲/۳۰^{A}	۲	۱۰
a_2	۲۲/۰۱^{A}	۲	۱/۱۱۸^{A}	۳	۰/۱۶۹۶^{A}	۳	۱/۶۴۴^{B}	۱	۱۷۶/۹^{A}	۳	۱۳/۱۳^{A}	۲	۱۴
a_3	۱۷/۲۲^{B}	۱	۰/۸۱۸۳^{C}	۱	۰/۱۰۵۹^{C}	۱	۱/۸۶۴^{A}	۲	۱۰۱/۷^{C}	۱	۱۰/۴۷^{B}	۱	۷

مقایسه میانگین اثر ساده باکتری بر روی صفات مورد بررسی

با توجه به جدول تجزیه واریانس (جدول ۱)، اثر ساده باکتری ها بر روی کلیه صفات اندازه گیری شده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شده است. با توجه به جدول ۲، باکتری *سودوموناس پوتیدا* بیشترین تأثیر را بر روی میزان ماده خشک داشت، بطوری‌که در مقایسه با تیمار بدون باکتری، ۲۴/۷ درصد افزایش عملکرد نشان داد. رحمانی و فلاح (۱) در مرور پژوهش‌های انجام شده بر روی باکتری‌های محرک رشد گیاه اثرات معنی‌دار تلقیح با *سودوموناس* را بر ارتفاع و وزن خشک اندام هوایی گندم، ارائه کردند. تیمارهای باکتری باسیلوس *کواگولانس* و تیمار شاهد در یک سطح قرار گرفتند و بین آنها در میزان عملکرد تفاوتی دیده نشد. بیشترین غلظت نیتروژن در تیمار باکتری *سودوموناس پوتیدا* دیده شد، بطوری‌که نسبت به تیمار شاهد، ۲۰/۳ درصد افزایش غلظت نیتروژن در اندام هوایی مشاهده شد. میکروارگانیسم‌های حل کننده فسفات می‌توانند موادی مانند اسید لاکتیک، گلوکونیک، اکسالیک و سیتریک از خود ترشح کنند که علاوه بر کاهش pH خاک بر تجزیه مواد آلی و آزادسازی فسفر نیز مؤثر هستند. ایلمر و اسپینر (۱۳) نشان دادند که اسیدی شدن محیط در نتیجه آزادسازی اسیدهای آلی توسط باکتری‌های *سودوموناس*، به اندازه اسیدی کردن محیط کشت به طور مصنوعی با HCl در کاهش pH و آزاد شدن فسفر مؤثر واقع شود. بیشترین غلظت فسفر نیز در تیمار باکتری *سودوموناس پوتیدا* مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد، ۱۸/۴ درصد افزایش نشان داد. تحقیقی که هامدا و همکاران (۱۱) انجام دادند نشان داد که استفاده از باکتری‌های حل کننده فسفر *سودوموناس فلورسنس و سراتیا مارسسنس* به همراه خاک فسفات در شرایط گلخانه فسفر گیاه را به ترتیب ۴۲ و ۴۷ درصد افزایش دادند. این افزایش معنی‌دار به اثر باکتری *سودوموناس* در جذب فسفر مربوط می‌شود و می‌تواند ناشی از اثر اسیدهای آلی آزاد شده از باکتری و کاهش pH خاک و یا کلاته کردن یونهای کلسیم که باعث تثبیت فسفر در خاک می گردند، باشد (۱۴ و ۲۸). بین تیمارهای شاهد و باکتری سودوموناس *پوتیدا* تفاوتی در میزان غلظت پتاسیم مشاهده نشد، و بیشترین غلظت پتاسیم در تیمار باکتری *باسیلوس کواگولانس* دیده شد که نسبت به تیمار شاهد، ۱۱/۶ درصد افزایش غلظت پتاسیم داشت. با توجه به جدول ۲ بیشترین غلظت عنصر روی و آهن نیز در تیمار باکتری *سودوموناس پوتیدا* مشاهده شد که به ترتیب نسبت به تیمار شاهد، ۷ و ۳۵/۳ درصد افزایش نشان دادند. این افزایش غلظت را می‌توان به تولید اسید توسط میکروارگانیسم های حل کننده فسفات و رهاسازی این کاتیونها از کانی‌ها و افزایش قابلیت جذب آنها توسط گیاه نسبت داد. علی پور و سبحانی پور (۷) بیان کردند اضافه کردن باکتری *سودوموناس فلورسنس* باعث افزایش جذب آهن می‌شود.

انحلال فسفات‌های روی توسط *سودوموناس فلورسنس* توسط دیسیمین و همکاران (۱۰) گزارش شده است. بر اساس روش پیشنهادی آرونوچالام، بهترین تیمار، تیمار باکتری *سودوموناس پوتیدا* بوده که بالاترین رتبه را دارا و در کلیه صفات مورد بررسی تفاوت معنی‌داری در مقایسه با تیمار شاهد نشان داده است.

مقایسه میانگین‌های اثر ساده کود فسفاته بر صفات مورد بررسی

با توجه به جدول شماره ۱، اثر ساده کود فسفاته بر روی کلیه صفات اندازه گیری شده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بوده است. با توجه به جدول شماره ۳، سطح ۵ کود سوپر فسفات تریپل یعنی ۱۰۰ درصد کود سوپر فسفات بیشترین میزان عملکرد را داشته، بطوری‌که در مقایسه با تیمار شاهد که کمترین میزان ماده خشک را داشته، ۱۷/۵ درصد افزایش میزان ماده خشک را نشان داد.

در بررسی میانگین‌های نیتروژن گیاه، بیشترین غلظت نیتروژن اندازه‌گیری شده در تیمارهای ۲۵ درصد کود سوپر فسفات تریپل و ۷۵ درصد کود سوپر فسفات تریپل بوده است که نسبت به تیمار شاهد، ۸ درصد افزایش غلظت نیتروژن را نشان داده است. کمترین غلظت نیتروژن در گیاه نیز در تیمار شاهد، یعنی تیمار بدون کود فسفاته مشاهده شد. بیشترین غلظت فسفر در اندام هوایی گیاه، در تیمار ۱۰۰ درصد کود فسفاته مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد، ۴۰/۵ درصد افزایش نشان داده است. با افزودن کودهای نیتروژنه به خاک، جذب فسفر به وسیله گیاه افزایش می‌یابد. افزایش کودهای نیتروژنه در محیط رشد ریشه باعث فزونی جذب اکسیژن و آزاد شدن گاز کربنیک (افزایش تنفس) می‌شوند. از آن جایی که جذب فسفر در ریشه گیاهان عمدتاً از طریق فرآیند جذب فعال صورت می‌گیرد، این افزایش تنفس موجب فزونی جذب فسفر می‌گردد. فراوانی نیتروژن در خاک، باعث توسعه شبکه ریشه شده و بدین ترتیب ظرفیت تبادلی آن افزایش می‌یابد. ازدیاد ظرفیت تبادل ریشه در خاکهای آهکی، سبب جذب بیشتر کلسیم به وسیله آن شده، در نتیجه فسفات به صورت محلول از فسفاتهای کلسیم آزاد می‌شود. کودهای نیتروژنی دارای تأثیر شیمیایی نیز هستند (۶). بیشترین غلظت پتاسیم در گیاه، در تیمار شاهد مشاهده شده، بدترین تیمار یعنی تیمار ۱۰۰ درصد کود فسفاته نسبت به تیمار شاهد ۱۵ درصد کاهش عملکرد داشته است. با توجه به جدول فوق، با افزایش سطح کود فسفاته غلظت پتاسیم در گیاه کاهش یافته است. با توجه به جدول ۳، بیشترین غلظت عنصر آهن و روی در تیمارهای ۲۵ درصد و ۱۰۰ درصد کود فسفاته مشاهده شده که با در نظر گرفتن مسایل اقتصادی، بهترین سطح کود فسفاته برای این دو عنصر را می توان سطح ۲۵ درصد کود فسفاته معرفی کرد. بر اساس روش پیشنهادی آرونوچالام، بهترین سطح کود فسفاته برای کلیه صفات مورد بررسی، سطح ۱۰۰ درصد کود فسفاته بوده است.

جدول۳- مقایسه میانگین اثر ساده سطوح مختلف کود سوپر فسفات تریپل برای صفات مورد مطالعه به روش دانکن

سوپر فسفات تریپل	ماده خشک(گرم)	رتبه	نیتروژن (درصد)	رتبه	فسفر (میلی گرم بر گیلوگرم)	رتبه	پتاسیم (میلی گرم بر گیلوگرم)	رتبه	آهن (میلی گرم بر گیلوگرم)	رتبه	روی (میلی گرم بر گیلوگرم)	رتبه	مجموع رتبه ها
c_1	۱۷/۳۵^{D}	۱	۰/۹۰۶۷^{B}	۱	۰/۱۱۶۴^{D}	۱	۱/۸۶۰^{A}	۳	۱۳۹/۲^{AB}	۱/۵	۱۱/۸۹^{AB}	۱/۵	۹
c_2	۱۸/۳۳^{C}	۲	۰/۹۹۰۶^{A}	۲	۰/۱۴۵۳^{B}	۳	۱/۷۵۶^{AB}	۲/۵	۱۴۹/۴^{A}	۲	۱۲/۹۴^{A}	۲	۱۳/۵
c_3	۱۹/۰۵^{BC}	۲/۵	۰/۹۳۸۹^{AB}	۱/۵	۰/۱۳۶۷^{BC}	۲/۵	۱/۶۶۹^{BC}	۱/۵	۱۳۱/۰^{AB}	۱/۵	۱۰/۸۹^{B}	۱	۱۰/۵
c_4	۱۹/۶۸^{AB}	۳/۵	۰/۹۷۵۶^{A}	۲	۰/۱۳۶۰^{C}	۲	۱/۷۲۵^{BC}	۱/۵	۱۰۷/۹^{B}	۱	۱۱/۳۹^{B}	۱	۱۱
c_5	۲۰/۳۸^{A}	۴	۰/۹۶۳۹^{AB}	۱/۵	۰/۱۶۳۵^{A}	۱/۵	۱/۶۱۹^{C}	۴	۱۵۴/۹^{A}	۲	۱۲/۷۳^{A}	۲	۱۴/۵

جدول٤- مقایسه میانگین اثر دوگانه ماده آلی و باکتری برای صفات مورد مطالعه به روش دانکن

باکتری× ماده آلی	نیتروژن (درصد)	رتبه	آهن (میلی گرم بر گیلوگرم)	رتبه	مجموع رتبه ها
a_1b_1	۰/۸۱۲^{C}	۱	۸۷/۵۹^{B}	۱	۲
a_1b_2	۱/۰۴۷^{B}	۲	۱۷۳/۹^{A}	۲	۴
a_2b_1	۱/۰۸۹^{AB}	۲/۵	۱۹۴/۰^{A}	۲	۴/۵
a_2b_2	۱/۱۴۷^{A}	۳	۱۵۹/۸^{A}	۲	۵
a_3b_1	۰/۸۲۳^{C}	۱	۱۱۴/۵^{B}	۱	۲
a_3b_2	۰/۸۱۳^{C}	۱	۸۹/۰۰^{B}	۱	۲

مقایسه میانگین اثر دوگانه ماده آلی و باکتری برای صفات مورد بررسی

با توجه به جدول تجزیه واریانس، اثر دوگانه باکتری× ماده آلی تنها برای عناصر نیتروژن و آهن معنی‌دار گردید. با توجه به جدول ۴، بیشترین غلظت نیتروژن در تیمار ماده آلی× باکتری *سودوموناس پوتیدا* مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد، ۴۱ درصد افزایش نشان داد. در کلیه تیمارهایی که ماده آلی دریافت کرده بودند نسبت به تیمارهای بدون ماده آلی، افزایش غلظت نیتروژن مشاهده شد. بیشترن غلظت آهن در اندام های هوایی در تیمار باکتری *سودوموناس پوتیدا* × بدون ماده آلی مشاهد شد که نسبت به تیمار بدون باکتری× بدون ماده آلی ۱۲۰ درصد افزایش نشان داده بود. هر چند این تیمار و تیمارهای بدون باکتری× ماده آلی، باکتری *سودوموناس پوتیدا* × ماده آلی در یک سطح قرار گرفتند، ولی میانگین داده‌ها حاکی از آن بوده، غلظت در تیمارهای باکتریایی که ماده آلی دریافت کرده بودند نسبت به تیمارهای بدون ماده آلی، کاهش یافت. دلیل این امر را می‌توان اینگونه بیان کرد که هوموس سطوح ذرات اکسیدهای آهن و آلومینیوم را پوشانده و همچنین آنیونهای آلی ناشی از تجزیه مواد آلی، ترکیبات پیچیده ای را با آهن و آلومینیوم به وجود آورده و به این ترتیب حلالیت این عناصر کاهش می‌یابد (۲۱ و ۲۷). در مجموع بر اساس روش پیشنهادی آرونوچالام، بهترین تیمار را می توان تیمار ماده آلی× باکتری *سودوموناس پوتیدا* معرفی کرد که دارای بالاترین رتبه در هر دو صفت اندازه‌گیری شده بود.

مقایسه اثر دوگانه باکتری و کود فسفاته برای صفات مورد بررسی

با توجه به جدول تجزیه واریانس، اثر دوگانه باکتری× سطوح مختلف کود فسفاته در کلیه صفات مورد بررسی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید. بطوری‌که بیشترین مقدار ماده خشک در تیمار باکتری *سودوموناس پوتیدا* × ۱۰۰ درصد کود فسفاته مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد ۴۸/۳ درصد افزایش نشان داده بود. تیمار فوق الذکر، در مقایسه با تیمار مشابه از نظر سطح کودی ولی بدون باکتری، با ۳۷/۶ درصد افزایش، نشان دهنده کارآیی بالای این باکتری بوده است. بیشترین غلظت نیتروژن و فسفر در اندام های هوایی گیاه نیز در تیمارهای باکتری *سودوموناس پوتیدا* × ۲۵ درصد کود فسفاته مشاهده شد که به ترتیب نسبت به تیمار شاهد، ۴۷ و ۶۱ درصد افزایش نشان داده است. بیشترین غلظت پتاسیم در تیمارهای باکتری *باسیلوس کواگولانس* × صفر درصد کود فسفاته و باکتری *باسیلوس کواگولانس* × ۲۵ درصد کود سوپر فسفات تریپل مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۱۰/۷ و ۷ درصد افزایش نشان داد، که این نتیجه با نتیجه بدست آمده از اثر ساده کود فسفاته مطابقت داشته است، بدین ترتیب که با افزایش کود فسفاته جذب پتاسیم کاهش یافت. با توجه به جدول ۵، بیشترین غلظت آهن در تیمار باکتری *سودوموناس پوتیدا* × ۱۰۰ درصد کود فسفاته بوده که نسبت به تیمار شاهد ۷۷ درصد افزایش نشان داد. بهترین تیمار از نظر غلظت روی در اندام هوایی تیمار باکتری *سودوموناس پوتیدا* × ۲۵ درصد کود فسفاته بود که نسبت به تیمار شاهد ۴۷ درصد افزایش نشان داده بود. بهترین تیمار برای کلیه صفات مورد بررسی بر اساس روش پیشنهادی آرونوچالام، تیمار باکتری *سودوموناس پوتیدا* × ۲۵ درصد کود فسفاته بوده که در بیشتر صفات مورد بررسی بیشترین عملکرد را نشان داده بود. ساینی و همکاران (۲۲) گزارش کردند هنگام استفاده از کودهای زیستی، استفاده از نیمی از کودهای شیمیایی توصیه شده کافی به نظر می‌رسد و این ترکیب بالاترین عملکرد و جمعیت میکروبی را تولید می‌نماید.

مقایسه اثر دوگانه ماده آلی و کود فسفاته برای صفات مورد مطالعه

با توجه به جدول تجزیه واریانس، اثر متقابل ماده آلی× سطوح مختلف کود فسفاته، در صفات ماده خشک، نیتروژن و فسفر معنی‌دار گردید. با توجه به جدول ۶، بیشترین مقدار ماده خشک در تیمار ماده آلی× ۱۰۰درصد کود فسفاته مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد ۴۴/۲ افزایش عملکرد نشان داد. همچنین این تیمار در مقایسه با تیمار مشابه از نظر سطح کودی ولی بدون ماده آلی ۲۷ درصد افزایش عملکرد نشان داد ولی نسبت به تیمار ماده آلی× ۲۵ درصد کود فسفاته تفاوت معنی‌داری نشان نداد.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر دوگانه باکتری و کود سوپر فسفات تریپل برای صفات مورد مطالعه به روش دانکن

باکتری× سوپرفسفات تریپل	ماده خشک (گرم)	رتبه	نیتروژن (درصد)	رتبه	فسفر (میلی گرم بر کیلوگرم)	رتبه	پتاسیم (میلی گرم بر کیلوگرم)	رتبه	آهن (میلی گرم بر کیلوگرم)	رتبه	روی (میلی گرم بر کیلوگرم)	رتبه	مجموع رتبه ها
a_1c_1	۱۶/۲۴^{EF}	۱/۵	۰/۹۰۳^{DE}	۳/۵	۰/۱۱۸۰^{FG}	۳/۵	۱/۸۵۰^{ABC}	۴	۱۳۲/۸$^{B...F}$	۳	۱۱/۰۰^{DEF}	۳	۱۷/۵
a_1c_2	۱۷/۴۳^{DE}	۲/۵	۰/۸۳۸^{EFG}	۲	۰/۱۲۴۵^{EF}	۴/۵	۱/۷۱۵^{BCD}	۳	۱۵۴/۱^{BCD}	۴	۱۱/۲۵$^{C...F}$	۲/۵	۱۸/۵
a_1c_3	۱۸/۱۳^{CDE}	۳	۰/۸۶۷^{EF}	۲/۵	۰/۱۴۱۰^{CD}	۶/۵	۱/۶۲۰^{DE}	۱/۵	۱۶۸/۷^{BC}	۴/۵	۱۲/۰۸$^{B...E}$	۳/۵	۲۱/۵
a_1c_4	۱۷/۹۲^{CDE}	۳	۱/۰۵۷^{BC}	۵/۵	۰/۱۴۰۳^{CDE}	۶	۱/۶۳۸^{CDE}	۲	۷۶/۳۳^{F}	۱	۱۲/۹۲^{BCD}	۴	۲۱/۵
a_1c_5	۱۸/۰۴^{CDE}	۳	۰/۹۸۲^{CD}	۴/۵	۰/۱۹۲۳^{A}	۹	۱/۵۲۷^{DE}	۱/۵	۱۲۰/۸$^{C...F}$	۲/۵	۱۴/۲۵^{AB}	۵/۵	۲۶
a_2c_1	۱۹/۲۶^{C}	۴	۱/۰۴۸^{BC}	۵/۵	۰/۱۵۱۷^{C}	۷	۱/۶۸۳^{BCD}	۳	۱۶۸/۵^{BC}	۴/۵	۱۳/۴۲^{BC}	۴/۵	۲۸/۵
a_2c_2	۲۱/۸۰^{B}	۵	۱/۳۲۸^{A}	۷	۰/۱۹۰۰^{A}	۹	۱/۵۷۰^{DE}	۱/۵	۱۹۰/۲^{AB}	۵/۵	۱۶/۱۷^{A}	۶	۳۴
a_2c_3	۲۱/۴۱^{B}	۵	۱/۰۸۳^{B}	۶	۰/۱۷۱۷^{B}	۸	۱/۶۶۸$^{B...E}$	۲/۵	۱۴۱/۴$^{B...E}$	۳/۵	۱۱/۰۸^{DEF}	۲	۲۷
a_2c_4	۲۲/۶۵^{B}	۵	۱/۱۰۸^{B}	۶	۰/۱۴۱۷^{CD}	۶	۱/۸۴۵^{ABC}	۴	۱۴۷/۶^{BCD}	۴	۱۱/۵۸$^{C...F}$	۴	۲۸
a_2c_5	۲۴/۸۲^{A}	۶	۱/۰۲۲^{BC}	۵/۵	۰/۱۹۳۰^{A}	۹	۱/۴۵۵^{E}	۱	۲۳۶/۹^{A}	۶	۱۳/۴۲^{BC}	۶	۳۲
a_3c_1	۱۵/۹۵^{F}	۱	۰/۷۶۸^{G}	۱	۰/۰۷۹۵^{I}	۱	۲/۰۴۸^{A}	۵	۱۱۵/۲$^{C...F}$	۲/۵	۱۱/۲۵$^{C...F}$	۲/۵	۱۳
a_3c_2	۱۵/۷۹^{F}	۱	۰/۸۰۵^{FG}	۱/۵	۰/۱۲۱۵^{F}	۴	۱/۹۸۳^{A}	۵	۱۰۳/۸^{DEF}	۲	۱۱/۴۲$^{C...F}$	۲/۵	۱۶
a_3c_3	۱۷/۶۱^{DE}	۲/۵	۰/۸۶۸^{EF}	۲/۵	۰/۰۹۷۳^{H}	۲	۱/۷۲۰^{BCD}	۳	۸۲/۸۳^{EF}	۱/۵	۹/۵۰^{F}	۱	۱۲/۵
a_3c_4	۱۸/۴۶^{CD}	۳/۵	۰/۷۶۲^{G}	۱	۰/۱۲۶۰^{DEF}	۵	۱/۶۹۳^{BCD}	۳	۹۹/۸۳^{DEF}	۲	۹/۶۷^{F}	۱	۱۵/۵
a_3c_5	۱۸/۲۸^{CD}	۳/۵	۰/۸۸۸^{DEF}	۳	۰/۱۰۵۳^{GH}	۲/۵	۱/۸۷۷^{AB}	۴/۵	۱۰۷/۰^{DEF}	۲	۱۰/۵۰^{EF}	۲	۱۷

جدول ٦- مقایسه میانگین های اثر دوگانه ماده آلی و کود فسفاته برای صفات مورد مطالعه

ماده آلی×کودسوپرفسفات تریپل	ماده خشک (گرم)	رتبه	نیتروژن (درصد)	رتبه	فسفر (میلی گرم بر گیلوگرم)	رتبه	مجموع رتبه ها
b_1c_1	۱۵/۸۲^{FG}	۱/۵	۰/۸۳۴^{D}	۱	۰/۰۹۷۳^{I}	۱	۳/۵
b_1c_2	۱۴/۸۷^{G}	۱	۰/۹۰۰^{CD}	۱/۵	۰/۱۱۹۶^{GH}	۲/۵	۵
b_1c_3	۱۶/۷۲^{EF}	۲/۵	۰/۸۵۳^{D}	۱	۰/۱۱۳۴^{H}	۲	۵/۵
b_1c_4	۱۷/۳۹^{DE}	۳/۵	۰/۹۹۲^{B}	۳	۰/۱۲۸۳^{FG}	۳/۵	۱۰
b_1c_5	۱۷/۹۵^{CD}	۴/۵	۰/۹۶۰^{BC}	۲/۵	۰/۱۵۲۴^{CD}	۶/۵	۱۳/۵
b_2c_1	۱۸/۸۸^{C}	۵	۰/۹۷۹^{BC}	۲/۵	۰/۱۳۵۴^{EF}	۴/۵	۱۲
b_2c_2	۲۱/۸۰^{AB}	۶/۵	۱/۰۸۰^{A}	۴	۰/۱۷۱۱^{AB}	۸/۵	۱۹
b_2c_3	۲۱/۳۸^{B}	۶	۱/۰۲۰^{AB}	۳/۵	۰/۱۵۹۹^{BC}	۷/۵	۱۷
b_2c_4	۲۱/۹۷^{AB}	۶/۵	۰/۹۵۹^{BC}	۲/۵	۰/۱۴۳۷^{DE}	۵/۵	۱۳/۵
b_2c_5	۲۲/۸۱^{A}	۷	۰/۹۶۸^{BC}	۲/۵	۰/۱۷۴۶^{A}	۹	۱۸/۵

کلیه تیمارهایی که ماده آلی دریافت کرده بودند نسبت به تیمارهای مشابه از نظر سطح کودی ولی بدون ماده آلی، افزایش چشمگیری در مقدار ماده خشک نشان دادند. تیمار ماده آلی× ۲۵ درصد کود فسفاته بیشترین غلظت نیتروژن در اندام هوایی را داشته که نسبت به تیمار بدون ماده آلی× بدون کود فسفاته که کمترین غلظت نیتروژن در اندام هوایی را داشته، ۲۹/۵ درصد افزایش عملکرد نشان داد. با توجه به جدول۶، با افزایش سطوح کودی، غلظت فسفر در اندام‌های هوایی افزایش یافته و بیشترین غلظت فسفر در تیمار ماده آلی× ۱۰۰ درصد کود فسفاته مشاهده شده که نسبت به تیمار شاهد و همچنین تیمار مشابه از نظر کودی به ترتیب ۷۹ و ۱۵ درصد افزایش نشان داده است ولی نسبت به تیمار ماده آلی× ۲۵ درصد کود فسفاته و ماده آلی× ۷۵ درصد کود فسفاته تفاوت معنی‌داری نشان نداد. شریف و همکاران (۲۴) گزارش کردند که میزان فسفر قابل استفاده از کودهای فسفره اضافه شده به خاک، بعد از مخلوط کردن آنها با کود حیوانی بطور قابل ملاحظه‌ای نسبت به کاربرد این کودها بصورت تنها افزایش یافت. آنها گزارش کردند که مخلوط کردن سوپر فسفات با کود حیوانی باعث افزایش قابلیت استفاده فسفر موجود در کود سوپر فسفات در تعدادی از آزمایشات مزرعه ای و گلخانه‌ای شد. با توجه به مجموع رتبه‌ها و با در نظر گرفتن کلیه صفات مورد بررسی، بهترین تیمار را می‌توان تیمار ماده آلی× ۲۵ درصد کود فسفاته معرفی کرد.

مقایسه اثر سه گانه ماده آلی و باکتری و کود فسفاته برای صفات مورد مطالعه

با توجه به جدول تجزیه واریانس، اثر سه گانه ماده آلی× باکتری× کود فسفاته برای تمامی صفات مورد مطالعه معنی‌دار گردید. بیشترین مقدار ماده خشک نسبت به تیمار شاهد، مربوط به تیمارهای ماده آلی× باکتری *سودوموناس پوتیدا* × ۲۵ درصد کود فسفاته، ماده آلی × باکتری *سودوموناس پوتیدا* × ۷۵ درصد کود فسفاته، ماده آلی× باکتری *سودوموناس پوتیدا* × ۱۰۰ درصد کود فسفاته مشاهده شد که این سه تیمار در یک سطح قرار گرفتند و به ترتیب نسبت به تیمار شاهد، ۶۸/۸ و ۷۱/۸ و ۷۳/۵ درصد افزایش نشان دادند. افزایش عملکرد غلات با تلقیح بذر و یا خاک زیر کشت آنها با *سودوموناس* توسط هافت و همکاران (۱۲) نیزگزارش شده بود. بیشترین غلظت نیتروژن در اندام‌های هوایی، در تیمار بدون ماده آلی× باکتری *سودوموناس*× ۵۰ درصد کود فسفاته مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد و همچنین نسبت به تیمار مشابه از نظر سطح کودی ولی بدون ماده آلی و بدون باکتری به ترتیب، ۶۲/۸ درصد و ۱۱۳ درصد افزایش نشان داده بود. بیشترین غلظت فسفر در تیمار ماده آلی× باکتری *سودوموناس پوتیدا* × ۱۰۰ درصد کود فسفاته مشاهد شد که نسبت به تیمار شاهد ۹۹ درصد افزایش نشان داد. با توجه به جدول مقایسه میانگین ها، بیشترین غلظت پتاسیم، در تیمار بدون ماده آلی× باکتری *باسیلوس کواگولانس* × ۱۰۰ درصد کود فسفاته مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد، ۸ درصد افزایش نشان داد. کمترین غلظت پتاسیم در تیمار بدون ماده آلی× باکتری *سودوموناس پوتیدا* × ۱۰۰ درصد کود فسفاته مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد، ۴۳ درصد کاهش نشان داده بود. با افزایش سطح کود فسفاته در تیمارهای بدون باکتری و بدون ماده آلی ولی متفاوت در سطوح کود فسفاته، با افزایش سطح کود سوپر فسفات تریپل، غلظت آهن در گیاه کاهش نشان داد. با توجه به جدول ۷، بهترین تیمار تیمار بدون ماده آلی× باکتری *سودوموناس پوتیدا* × ۱۰۰ درصد کود فسفاته بوده که به ترتیب نسبت به تیمار شاهد و تیمار بدون باکتری× بدون ماده آلی ولی مشابه از نظر سطح کودی، به ترتیب ۱۰۲ و ۲۴۸ درصد افزایش نشان داده است. بیشترین غلظت عنصر روی در گیاه، در تیمار بدون ماده آلی× باکتری *سودوموناس پوتیدا*× ۲۵ درصد کود فسفاته مشاهده

شد که در مقایسه با تیمار شاهد، ۴۸ درصد افزایش نشان داد. تیمار ماده آلی× باکتری *سودوموناس پوتیدا* × ۲۵ درصد کود فسفاته، در رتبه بعدی قرار گرفت به نحوی که در مقایسه با تیمار شاهد، ۳۳ درصد افزایش نشان داده است. با توجه به مجموع رتبه‌ها بر اساس روش پیشنهادی آرونوچالام، بهترین تیمار در مجموع صفات مورد بررسی، تیمار ماده آلی× باکتری *سودوموناس پوتیدا* × ۲۵ درصد کود فسفاته بوده است که در بیشتر صفات دارای بالاترین رتبه بوده است.

افزایش میزان عناصر غذایی در گیاه پس از تلقیح با باکتری *سودوموناس* عمدتاً به دلیل تولید تنظیم کننده‌های رشد گیاه توسط باکتری و اثر آن بر رشد ریشه است که جذب آب و مواد غذایی را از خاک بهبود می‌بخشد. افزایش جذب عناصر غذایی توسط گیاه می‌تواند منجر به افزایش تجمع ماده خشک و مواد معدنی در ساقه‌ها و برگ‌های گیاه شود. به این ترتیب در طول دوره زایشی مواد معدنی تجمع یافته به اندامهای زایشی منتقل و در نهایت منجر به افزایش عملکرد می‌شود.

جدول ۷-مقایسه میانگین های اثر سه گانه ماده آلی و باکتری و کود فسفاته برای صفات مورد مطالعه

A×B×C	ماده خشک (گرم)	رتبه	نیتروژن (درصد)	رتبه	فسفر آهن (میلی گرم بر گیلوگرم)	رتبه	پتاسیم (میلی گرم بر گیلوگرم)	رتبه	آهن (میلی گرم بر گیلوگرم)	رتبه	روی (میلی گرم بر گیلوگرم)	رتبه	جمع
$a_1b_1c_1$	۱۵/۰۴^{LMN}	۳	۰/۸۲۲$^{K...O}$	۴	۰/۱۰۹۰$^{A...D}$	۲/۵	۲/۰۸۳^{ABC}	۸	۱۳۲/۰$^{C...H}$	۳/۵	۱۱/۵۰$^{D...J}$	۴	۲۵
$a_1b_1c_2$	۱۴/۰۶^{NO}	۱/۵	۰/۶۲۷^{P}	۱	۰/۰۸۴۷^{BCD}	۳	۱/۸۲۷$^{C...G}$	۵	۹۱/۸^{GH}	۱/۵	۱۱/۶۷$^{D...J}$	۴	۱۶
$a_1b_1c_3$	۱۵/۵۷^{LMN}	۳	۰/۸۰۷$^{L...O}$	۳/۵	۰/۱۱۴۷$^{A...D}$	۲/۵	۱/۶۸۷$^{E...I}$	۳/۵	۸۰/۵^{H}	۱	۱۱/۰۰$^{E...J}$	۳/۵	۱۷
$a_1b_1c_4$	۱۷/۰۰^{JKL}	۵	۰/۹۰۰$^{H...M}$	۶/۵	۰/۲۹۷$^{A...D}$	۲/۵	۱/۶۶۷$^{E...I}$	۳/۵	۶۶/۰^{H}	۱	۱۳/۸۳^{BCD}	۹	۲۷/۵
$a_1b_1c_5$	۱۵/۹۷^{LMN}	۳	۰/۹۰۳$^{H...M}$	۶/۵	۰/۲۰۱۰^{AB}	۳/۵	۱/۴۹۳^{HI}	۱/۵	۷۶/۷^{H}	۱	۱۵/۳۳^{AB}	۹/۵	۲۵
$a_1b_2c_1$	۱۸/۴۳^{HIJ}	۷	۰/۹۸۳$^{G...J}$	۸/۵	۰/۱۲۷۰$^{A...D}$	۲/۵	۱/۶۱۷$^{F...I}$	۲/۵	۱۳۵/۷$^{C...H}$	۳/۵	۱۰/۵۰$^{F...J}$	۳	۲۷
$a_1b_2c_2$	۲۰/۷۷$^{C...G}$	۱۱	۱/۰۵۰^{EFG}	۱۱	۰/۱۶۴۳$^{A...D}$	۲/۵	۱/۶۰۳$^{F...I}$	۲/۵	۲۱۶/۳^{ABC}	۷	۱۰/۸۳$^{E...J}$	۳/۵	۳۷/۵
$a_1b_2c_3$	۲۰/۶۹$^{C...G}$	۱۱	۰/۹۲۷$^{G...L}$	۷/۵	۰/۱۶۳۷$^{A...D}$	۲/۵	۱/۵۵۳^{GHI}	۲	۲۵۶/۸^{AB}	۷/۵	۱۳/۱۷$^{B...E}$	۷/۵	۳۸
$a_1b_2c_4$	۱۸/۸۵$^{G...J}$	۷/۵	۱/۲۱۳^{ABC}	۱۵	۰/۱۵۱۰$^{A...D}$	۲/۵	۱/۶۱۰$^{F...I}$	۲/۵	۸۶/۷^{H}	۱	۱۲/۰۰$^{C...I}$	۵	۳۳/۵
$a_1b_2c_5$	۲۰/۱۲$^{D...I}$	۹/۵	۱/۰۶۰$^{D...G}$	۱۱/۵	۰/۱۸۳۳$^{A...D}$	۲/۵	۱/۵۶۰^{GHI}	۲	۱۷۴/۰$^{B...G}$	۴/۵	۱۳/۱۷$^{B...E}$	۷/۵	۳۷/۵
$a_2b_1c_1$	۱۶/۸۳$^{J...M}$	۴/۵	۰/۹۰۰$^{H...M}$	۶/۵	۰/۱۱۱۰$^{A...D}$	۲/۵	۱/۹۰۳$^{B...F}$	۶	۱۸۵/۰$^{A...F}$	۵/۵	۱۲/۵۰$^{C...H}$	۵/۵	۳۰/۵
$a_2b_1c_2$	۱۸/۲۱^{IJK}	۶	۱/۳۴۰^{A}	۱۶	۰/۱۸۰۰$^{A...D}$	۲/۵	۱/۵۶۰^{GHI}	۲	۲۰۰/۳$^{A...E}$	۶	۱۷/۰۰^{A}	۱۰	۴۲/۵
$a_2b_1c_3$	۱۹/۸۰$^{D...I}$	۹/۵	۰/۹۹۷$^{G...J}$	۸/۵	۰/۱۴۵۷$^{A...D}$	۲/۵	۱/۶۸۷$^{E...I}$	۳/۵	۱۹۸/۸$^{A...E}$	۶	۱۱/۶۷$^{D...J}$	۴	۳۴
$a_2b_1c_4$	۱۹/۴۵$^{E...I}$	۹	۱/۱۸۰$^{B...E}$	۱۳/۵	۰/۱۴۶۰$^{A...D}$	۲/۵	۱/۹۷۳$^{A...E}$	۷	۱۱۹/۰$^{E...H}$	۲/۵	۱۲/۶۷$^{C...G}$	۶	۴۰/۵
$a_2b_1c_5$	۲۲/۷۳^{BC}	۱۳/۵	۱/۰۲۷^{GHI}	۹	۰/۱۶۹۰$^{A...D}$	۲/۵	۱/۴۵۳^{I}	۱	۲۶۷/۰^{A}	۸	۱۳/۱۷$^{B...E}$	۷/۵	۴۱/۵
$a_2b_2c_1$	۲۱/۸۸^{BCD}	۱۳	۱/۱۹۷^{BCD}	۱۴	۰/۱۹۲۳^{ABC}	۳	۱/۴۶۰^{I}	۱	۱۵۲/۰$^{C...H}$	۳/۵	۱۴/۳۳^{BC}	۸/۵	۴۲
$a_2b_2c_2$	۲۵/۳۸^{A}	۱۵	۱/۳۱۷^{AB}	۱۵/۵	۰/۲۰۰۰^{AB}	۳/۵	۱/۵۸۰$^{F...I}$	۲/۵	۱۸۰/۰$^{B...F}$	۵	۱۵/۳۳^{AB}	۹/۵	۵۱
$a_2b_2c_3$	۲۳/۰۲^{B}	۱۴	۱/۱۶۷$^{C...F}$	۱۲/۵	۰/۱۹۷۷^{ABC}	۳	۱/۶۵۰$^{F...I}$	۲/۵	۸۴/۰^{H}	۱	۱۰/۵۰$^{F...J}$	۳	۳۶
$a_2b_2c_4$	۲۵/۸۵^{A}	۱۵	۱/۰۳۷^{FGH}	۱۰	۰/۱۳۷۳$^{A...D}$	۲/۵	۱/۷۱۷$^{E...I}$	۳/۵	۱۷۶/۲$^{B...G}$	۴/۵	۱۰/۵۰$^{F...J}$	۳	۳۸/۵
$a_2b_2c_5$	۲۶/۹۰^{A}	۱۵	۱/۰۱۷^{GHI}	۹	۰/۲۱۷۰^{A}	۴	۱/۴۵۷^{I}	۱	۲۰۶/۰$^{A...D}$	۶/۵	۱۳/۶۷^{BCD}	۸	۴۳/۵
$a_3b_1c_1$	۱۵/۵۸^{LMN}	۳	۰/۷۸۰^{MNO}	۳	۰/۰۷۲۰^{D}	۱	۲/۰۳۳$^{A...D}$	۷/۵	۱۰۶/۸^{FGH}	۲	۱۳/۰۰$^{B...F}$	۷	۲۳/۵
$a_3b_1c_2$	۱۲/۳۳^{O}	۱	۰/۷۳۳^{OP}	۱/۵	۰/۰۹۴۰^{BCD}	۲	۲/۲۰۷^{AB}	۸/۵	۱۳۴/۸$^{C...H}$	۳/۵	۱۲/۰۰$^{C...I}$	۵	۲۱/۵
$a_3b_1c_3$	۱۴/۷۸^{MN}	۲/۵	۰/۷۵۷^{NOP}	۲	۰/۰۸۰۰^{CD}	۱/۵	۱/۸۱۰$^{C...H}$	۴/۵	۸۲/۵^{H}	۱	۹/۵۰^{IJ}	۱/۵	۱۳
$a_3b_1c_4$	۱۵/۷۲^{LMN}	۳	۰/۸۹۷$^{I...M}$	۶	۰/۱۰۹۳$^{A...D}$	۲/۵	۱/۶۸۰$^{E...I}$	۳/۵	۱۲۲/۲$^{D...H}$	۳	۱۰/۱۷$^{G...J}$	۲/۵	۲۰/۵
$a_3b_1c_5$	۱۵/۱۴^{LMN}	۳	۰/۹۵۰$^{G...K}$	۸	۰/۰۸۷۳^{BCD}	۲	۲/۲۵۷^{A}	۹	۱۲۶/۰$^{D...H}$	۳	۱۱/۰۰$^{E...J}$	۳/۵	۲۸/۵
$a_3b_2c_1$	۱۶/۳۲^{KLM}	۴	۰/۷۵۷^{NOP}	۲	۰/۰۸۷۰^{BCD}	۲	۲/۰۶۳$^{A...D}$	۷/۵	۱۲۳/۵$^{D...H}$	۳	۹/۵۰^{IJ}	۱/۵	۲۰
$a_3b_2c_2$	۱۹/۲۵$^{F...I}$	۸/۵	۰/۸۷۷$^{J...N}$	۵	۰/۱۴۹۰$^{A...D}$	۲/۵	۱/۷۶۰$^{D...I}$	۳/۵	۷۲/۸^{H}	۱	۱۰/۸۳$^{E...J}$	۳/۵	۲۴
$a_3b_2c_3$	۲۰/۴۴$^{D...H}$	۱۰	۰/۹۸۰$^{G...J}$	۸/۵	۰/۱۱۴۷$^{A...D}$	۲/۵	۱/۶۳۰$^{F...I}$	۲/۵	۸۳/۲^{H}	۱	۹/۵۰^{IJ}	۱/۵	۲۶
$a_3b_2c_4$	۲۱/۲۰$^{B...F}$	۱۲	۰/۶۲۷^{P}	۱	۰/۱۴۲۷$^{A...D}$	۲/۵	۱/۷۰۳$^{E...I}$	۳/۵	۷۷/۵^{H}	۱	۹/۱۷^{J}	۱	۲۱
$a_3b_2c_5$	۲۱/۴۳$^{B...E}$	۱۲	۰/۸۲۷$^{K...O}$	۴	۰/۱۲۳۳$^{A...D}$	۲/۵	۱/۴۹۷^{GHI}	۲	۸۸/۰^{H}	۱	۱۰/۰۰^{HIJ}	۲	۲۳/۵

یزدانی و همکاران (۳۰) بیان کردند با مصرف کود دامی+ سبز و تلقیح باکتری‌ها، کارایی مصرف کود فسفره به ترتیب به میزان ۳۷/۲ و ۸۲/۱ درصد نسبت به شاهد بدون تلقیح افزایش یافت. علاوه بر این کاربرد کود زیستی موجب بهبود میزان بازیافت کود نیتروژنی در کرت‌های کود سبز و شاهد (بدون کود آلی) به ترتیب به میزان ۵۵/۲ و ۱۷/۶ درصد گردید.

نتیجه گیری

نتایج نشان داد که در اثر ساده باکتری تیمار باکتری *سودوموناس پوتیدا* بهترین تیمار بوده و توانست بالاترین رتبه را نسبت به شاهد و باکتری *باسیلوس کواگولانس* کسب نماید. در مورد اثر ساده کود فسفاته نیز نتایج نشان که تیمار ۱۰۰ درصد کود فسفاته بالاترین رتبه را بین سایر تیمارها کسب نمود، اگرچه در بعضی فاکتورها تفاوت معنی‌داری بین این تیمار کودی و سطوح پائین‌تر کودی مشاهده نشد. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش کود فسفاته جذب پتاسیم کاهش یافت. نتایج اثر دو گانه ماده آلی و باکتری نشان داد که تیمارها فقط بر روی فاکتورهای نیتروژن و آهن تاثیر گذار بوده و تیمار ماده آلی× باکتری *سودوموناس پوتیدا* بالاترین رتبه را کسب کرد. نتایج نشان داد در اثر دو گانه باکتری و کود فسفاته بهترین تیمار، تیمار باکتری *سودوموناس پوتیدا* × ۲۵ درصد کود فسفاته بوده و همچنین با افزایش سطوح کود فسفاته جذب پتاسیم کاهش یافت. اثر دو گانه کود فسفاته و ماده آلی نیز نشان داد با افزیش کود فسفاته و ماده آلی عملکرد و جذب عناصر غذایی بهبود یافته و تیمار ماده آلی× ۲۵ درصد کود فسفاته بهترین تیمار بوده است. اثر سه گانه بین ماده آلی، باکتری و کود فسفاته نشان داد که بهترین تیمار با توجه به رتبه بندی آرنوچالام تیمار ماده آلی× باکتری *سودوموناس پوتیدا* × ۲۵ درصد کود فسفاته بود. با مقایسه نتایج اثر سه گانه ماده آلی، باکتری و کود فسفاته، اثر دو گانه باکتری و کود فسفاته و اثر دو گانه ماده آلی و کود فسفاته، که میزان مصرف کود شیمیایی ۲۵ درصد بوده، با اثر ساده کود فسفاته که در آن بهترین تیمار، مصرف ۱۰۰ درصد کود فسفاته بوده می‌توان بیان کرد اضافه کردن ماده آلی و باکتری‌های حل کننده فسفر موجب کاهش مصرف کودهای فسفاته گردیده و نتایج بهتری نسبت به استفاده مجزای از این کودها می دهند.

منابع

۱- رحمانی ا.، و فلاح نصرت آبادی ع. ۱۳۸۰. تولید و ترویج کودهای بیولوژیک محرک رشد گیاه. مجله علوم آب و خاک. جلد ۱۲. صص ۱۰۵-۹۷.

۲- راثی پور ل.، و اصغرزاده ن ع. ۱۳۸۶. اثر متقابل باکتری‌های حل کننده فسفات و *(Bradyrhizobium japonicum)* بر شاخص‌های رشد، غده بندی عناصر غذایی در سویا. مجله علوم و فنون کشاورزی. جلد ۱۱. شماره ۴۰. صص ۶۳-۵۳.

۳- فلاح نصرت آبادی ع. ۱۳۸۲. بررسی پراکنش میکروارگانیسم های حل کننده فسفات در خاک های استان گیلان و اثر بخشی آنها در عملکرد گندم و برنج. پایان نامه دکتری، دانشگاه تربیت مدرس. ص ۱۲۴.

۴- لطف الهی م.، ملکوتی م.ج.، خاوازی ک.، و بشارتی ح. ۱۳۸۳. ارزیابی روشهای مصرف مستقیم خاک فسفات در افزایش عملکرد ذرت علوفه‌ای در کرج. در ملکوتی .م.ج و بلالی .م .ر. مصرف بهینه کود راهی برای پایداری در تولیدات کشاورزی نشر آموزش کشاورزی کرج ایران.

۵- محمد زاده ع.، و میوه چی لنگرودی ح. ۱۳۷۷. روش مصرف توأم کود حیوانی و فسفره در خاک برای کاهش مصرف کودهای فسفره در خاک های استان بوشهر. نشریه علمی پژوهشی مؤسسه تحقیقات خاک و آب. جلد ۱۲. شماره ۱. صص۲۷-۲۰.

۶- نورقلی پور ف.، ملکوتی م.ج.، و خاوازی ک. ۱۳۸۰. نقش باکتریهای *تیوباسیلوس* و حل کننده‌های فسفات برای افزایش قابلیت جذب فسفر. ضرورت تولید صنعتی کودهای بیولوژیک در کشور (مجموعه مقالات). نشر آموزش کشاورزی به سفارش مؤسسه خاک و آب.

7- Alipour Z.T. and Sobhanipour A. 2012. The Effect of *Thiobacillus* and *Pseudomonas fluorescent* Inoculation on maize growth and Fe Uptake, Annals of Biological Research, 3 (3):1661-1666.

8- Arunachalam V. and Bandyopadhyay A. 1984. A method to make decision jointly on a number of dependent characters, Indian Journal of Genetics, 44: 419-424.

9- Banik S. and Dey B.K. 1982. Available phosphate content of an alluvial soil as influenced by inoculation of some isolated phosphate-solubilizing micro-organisms, Plant and soil, 69: 353-364.

10- Carter M. R. and Gregorich E. G. 2008. Soil Sampling and Methods of Analysis. 2nd ed. Canadian Society of Soil Science, 1224.

11- Disimin C.D., Sayer J.A. and Gadd G.M. 1998. Solubilization of zinc phosphate by a strain of *Pseudomonase fluorescens* isolated from a forest soil, Biology and Fertility of Soils, 28: 87-94.

12- Hameedaa B., Harinib G.O., Rupelab P., Wanib S.P. and Reddya G. 2008. Growth promotion of maize by phosphate solubilizing bacteria isolated from composts and macrofauna, Microbiological Research, 163:234-242.
13- Hofte M.K., Seong Y., Jurkevitch E. and Verstraete W. 1991. Pyoverdin production by the plant growth beneficial *Pseuodomonas* strain $7SNK_2$: Ecological significance in soil, Plant and Soil, 130: 249-257.
14- Illmer P. and Schinner F. 1992. Solubilization og inorganic phosphate by microorganisms isolated from forest soils, Soil biology and Biochemistry, 24: 389-395.
15- Khan M.S., Zaidi A. and Wani P.A. 2007. Role of phosphate-solubilizing microorganisms in sustainable agriculture-a review. Agronomy for sustainable development, Agronomy for Sustainable Developments, 27:29–43.
16- Lindsay W.L. and Norvell W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper, Soil Science Society of America Journal, 42: 421-428.
17- Mehboob I., Naveed M. and Zahir Z.A. 2009. Rhizobial association with non-legumes: Mechanismsand application, Critical Reviews in Plant Science, 2009: 28:432-456.
18- Narsian V. and Patel H.H. 2006. Biodiversity of phosphate solubilizing microorganisms in various rhizosphere soils of Bhavnagar district, Asian Journal of Microbiolog, Biotechnology and Enviromental Sciences, 8(2): 201-204.
19- Pradhan N. and Sukla L.B. 2005. Solubilization of inorganic Phosphates by Fungi isolated from agriculture soil, Journal of Biotechnology, 5: 850-854.
20- Puente M. and Bashan Y. 2004. Microbial population and activity in the rhizoplan of rock-weathering desert plants, Growth promotion of cactus sedling. Plant Biology, 6: 643-650.
21- Ryan J., Estefan G. and Rashid R. 2001. Soil and Plant Analysis Laboratory Manual. Second Edition. Available from ICARDA, Aleppo, Syria, 172.
22- Ring R. and Warman P.R. 2000. Phosphorus mineralization from three similar municipal solid waste compost-treated soils by two extraction methods. pp. 449-456.In: Warman P. R., Taylor B. (Eds.), Proceedings of the International Composting Symposium. CBA Press Inc. (Pubs.), Halifax/Darthmouth, Nova Scotia, Canada.
23- Saini V.K., Bhandari S.C. and Tarafdar J.C. 2004. Comparison of crop yield, soil microbial C, N and P, N-fixation, nodulation and mycorrhizal infection in inoculated and non-inoculated sorghum and chickpea crops, Field Crops Research, 89 (l): 39-47.
24- Schachtman D.P., Reid J. and Ayling S.M. 1998. Phosphorus uptake by plants: From Soil to Cell, Plant Physiology, 116:447-453.
25- Sharif M., Chaudhrg F. and Lorho A.G. 1974. Suppression of super phosphate-phosphorus fixation by farmyard manure. Part 2. Soil Science and Plant Nutrition, 20(4):395-401.
26- Sparks D.L. 1996. Method of soil Analysis. Part3. Chemical Methods. American Society of Agronomy. 1390.
27- Subba Rao N.S. 1988. Biofertilizers in Agriculture, Oxford and IBH Publishing Co., New Delhi, 208.
28- Tian G. and Kolawole G.O. 2004. Comparison of various plant residues as phosphate rock amendment on Savanna Soils of West Africa, Journal of plant nutrition, 27: (4) 571-583.
29- Vassilev N., Vassileva M. and Nikolaeva I. 2006. Simultaneous P-solubilizing and biocontrol activity of microorganisms: Potential and future trends, Applied Microbiol Biotechnology, 71: 137-144.
30- Yahya A.J. and Al-Alzawi S.K. 1989. Occurrence solubilizing bacteria in some Iraqi soils. Plant and Soil, 117: 135-141.
31- Yazdani M., Bahmanyar M.A., Pirdashti H. and Esmaili M.A. 2009. Effect of phosphate solublization bacteria microorganisms (PSM) and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield and yield components of corn (*Zea mays* L.).World academy of science, Engineering and technology, 49:90-92.

Journal of Water and Soil
Vol. 28, No. 5, Nov.-Dec. 2014, p. 976-986

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۸، شماره ۵، آذر – دی ۱۳۹۳، ص. ۹۸۶-۹۷۶

Effect of *Pseudomonas* and *Bacillus* bacteria on Yield and Nutrient Uptake in Comparison with Chemical and Organic Fertilizers in Wheat

A. Fallah Nosrat Abad[1]* - Sh. Shariati[2]

Received:07-08-2013
Accepted:16-09-2014

Abstract

The high cost of fertilizers in farming systems, soil pollution and degradation of soil are factors that caused to full use of available renewable nutrient sources of plant (organic and biological) with optimal application of fertilizers in order to maintain fertility, structure, biological activity, exchange capacity and water-holding capacity of the water in soil. Therefore, in recent years, according to investigators biofertilizers and organic farming as an alternative to chemical fertilizers has been drawn. Through this study, we examined the effects of triple superphosphate, organic matters and phosphate solubilizing microorganisms on quantitative and qualitative yield of wheat and nutrient uptake. The experiment was carried out in the factorial based on randomized complete block design. The factors were: 1-phosphate solubilizing bacteria in three levels including control, *Pseudomonas Putida* and *Bacillus Coagulans* bacteria, 2- triple superphosphate in five levels of 0, 25%, 50%, 75% and 100% and 3-organic matter in 2 levels of 0 and 15 ton/ha in the soil with high phosphorous accessibility (13 mg/kg soil) but lower than sufficient limit for plant 15 mg/kg soil). The results showed that the highest amount of yield has been recorded in *Pseudomonas Putida* bacteria treatment with organic matter and 25% phosphate fertilizer. As a result, at the conditions of this experiment phosphate solubilizing bacteria and organic matter significantly had higher yield than control and their combination with phosphate fertilizer had significant effect on reducing phosphate fertilizer use.

Keywords: *Bacillus*, Biofertilizer, Organic matter, *Pesuodomonas*, Wheat

1 - Associate Professor of Soil and Water Research Institute
(*-Corresponding Author Email: rezafalah@yahoo.com)
2- Young Researchers and Elite Club, Rasht Branch, Islamic Azad University, Iran