مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی
جلد سوم، شماره دوم، تابستان ۸۹
۶۵-۸۰
ejcp.gau@gmail.com

اثر تلقیح باکتری‌های حل‌کننده فسفر و محرک رشد بر کارایی مصرف کودهای ازته و فسفره در کشت ذرت سینگل‌کراس ۶۰۴

محمد یزدانی[۱]، همت‌اله پیردشتی[۲]، محمدعلی اسماعیلی[۲] و محمدعلی بهمنیار[۳]

[۱]دانشجوی کارشناسی‌ارشد، [۲]استادیار، [۳]دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

چکیده

در زراعت فشرده کاربرد کودهای آلی و بیولوژیک به‌منظور مقابله با اثرات وخیم زیست‌محیطی و از بین رفتن منابع تولید ناشی از استفاده بی‌رویه کود و سموم شیمیایی توصیه شده است. در این راستا جهت بررسی کارایی مصرف جداگانه و تلفیقی کودهای آلی، شیمیایی و بیولوژیک در زراعت ذرت، آزمایشی در سال زراعی ۱۳۸۶ در قالب کرت‌های خرد شده با طرح پایه بلوک کامل تصادفی در سه تکرار به اجرا درآمد. در این تحقیق علاوه بر تیمار شاهد (بدون کودآلی) از کود دامی گاوی (به‌میزان بیست تن در هکتار) و کود سبز جو (به‌میزان پانزده تن در هکتار) در پلات‌های اصلی و در پلات‌های فرعی از باکتری‌های محرک رشد و باکتری‌های حل‌کننده فسفر با مقادیر مختلف نیتروژن و فسفر (صفر، پنجاه و صد درصد) استفاده شد. نتایج این بررسی نشان داد که تلقیح کودهای بیولوژیک باکتری‌های افزاینده رشد و باکتری‌های حل‌کننده فسفر سبب افزایش معنی‌دار بازده زراعی، بازده نسبی زراعی، کارایی مصرف کود و میزان بازیافت کودهای نیتروژنی و فسفره شده است. با مصرف کود دامی و کود سبز و تلقیح باکتری‌ها، کارایی مصرف کود فسفره به ترتیب به میزان ۳۷/۲ و ۸۲/۱ درصد نسبت به شاهد بدون تلقیح افزایش یافته است. علاوه بر این به‌کارگیری کود بیولوژیک موجب بهبود میزان بازیافت کود نیتروژنی در کرت‌های کود سبز و شاهد (بدون کود آلی)، به‌ترتیب به میزان ۵۵/۲ و ۱۷/۶ درصد گردید.

واژه‌های کلیدی: کود بیولوژیک، باکتری‌های افزاینده رشد، باکتری‌های حل‌کننده فسفر، کود آلی

*- مسئول مکاتبه: pirdasht@yahoo.com

مقدمه

روش‌های کشاورزی متداول در جهان امروز موفقیت قابل قبولی را در استفاده از مدیریت منابع نداشته و با اتکا بیش از حد به نهاده‌های مصنوعی و تزریق انرژی کمکی مانند کودها و سموم شیمیایی باعث ایجاد اکوسیستم‌های زراعی ناپایدار شده است (روبرتز، ۲۰۰۸؛ ملکوتی و همایی، ۲۰۰۵). با توجه به اینکه با استفاده از کودهای شیمیایی در ابتدای فصل زراعی، ممکن است فرم شیمیایی قابل استفاده عناصر برای گیاه به فرم‌های دیگر تبدیل شود و یا از طریق آبشوئی از دسترس گیاه خارج گردند، بنابراین جهت افزایش کارائی مصرف عناصر غذایی[1]، روش‌های مصرف کود باید به گونه‌ای تغییر کند که مواد غذایی مورد نیاز گیاه در طول یک مدت طولانی و بدون تلفات در اختیار گیاه قرار گیرد (کندی و همکاران، ۲۰۰٤). استفاده از کودهای بیولوژیک حل‌کننده فسفر و تثبیت کننده نیتروژن از جمله روش‌های عملیات زراعی بهینه[2] است که می‌تواند این نقص را برطرف نماید (نعیم و حمد، ۲۰۰٤؛ ویو و همکاران، ۲۰۰۵). از طرف دیگر با توجه به نیاز بالای عناصر غذایی در ذرت و عدم توانایی اکثر خاک‌های زراعی در تأمین این عناصر، میزان مصرف کودهای شیمیایی در این زراعت بسیار بالا است (میر هادی، ۲۰۰۱).

در میان عناصر غذایی، نیتروژن یکی از عوامل اصلی برای تأمین کیفیت دانه می‌باشد. دستیابی به مقادیر و نوع کودی که قدرت جذب نیتروژن بیشتر از خاک و انتقال آن به دانه از طرف گیاه داشته باشد، در جهت بهینه‌سازی مصرف نیتروژن و بهبود کیفیت از اهمیت خاصی برخوردار است (اریبلار و همکاران، ۲۰۰۷؛ انجم و همکاران، ۲۰۰۵). مصرف بیش از اندازه نیتروژن، نسبت کربن به نیتروژن (C/N) را بر هم زده و در نتیجه مواد آلی موجود در خاک‌های زراعی به‌دلیل افزایش ناگهانی جمعیت میکروب‌های مصرف‌کننده کربن، منهدم می‌گردد (کوچکی و همکاران، ۲۰۰۵). بنابراین با توجه به آبشویی نیترات در مناطق مرطوب و افزایش غلظت آن در آب‌های زیرزمینی، تصعید آمونیاک و دنیتریفیکاسیون در شرایط غرقابی (فاجریا و بالیگار، ۲۰۰۵)، جهت صرفه‌جویی و افزایش کارایی مصرف کودهای نیتروژنه، استفاده از باکتری‌های محرک رشد که تثبیت کننده نیتروژن بوده و می‌توانند در طول رشد گیاه، نیتروژن را تثبیت و در اختیار گیاه قرار دهند، مناسب به نظر می‌رسد (زیدی و محمد، ۲۰۰٦؛ ذهیر و همکاران، ۲۰۰٤؛ باریا و همکاران، ۲۰۰۲).

1- Nutrient use efficiency (NUE)
2- Best management practices (BMP)

فسفر نیز یکی از مهمترین عناصر حیاتی است و گیاهان تنها می‌توانند فسفات غیرآلی محلول را جذب کنند. تاکنون از کودهای فسفاته‌ای استفاده شده که در عمل درصد بالائی از کود مصرفی با یون‌های خاک ترکیب و به‌صورت غیر محلول و غیرقابل جذب در می‌آیند (بالیگار و همکاران، ۱۹۹۸). از طرفی پیامد افزایش میزان فسفر خاک، سبب کاهش عملکرد ناشی از نسبت بالای فسفر به روی یا فسفر به آهن، تجمع بر، مولیبدن و کادمیوم در بافت‌های گیاهی می‌شود (هامیلتون و همکاران، ۱۹۹۳). محققان در بررسی‌ها اعلام نمودند که کاربرد باکتری‌های محرک رشد، ضمن کاهش میزان مصرف و افزایش کارایی کودهای شیمیایی (پن و همکاران، ۱۹۹۹) سبب افزایش رشد گیاهان به واسطه افزایش جذب نیتروژن و فسفر می‌شوند (کاکماکی و همکاران، ۲۰۰۵؛ کاواگلیری و همکاران، ۲۰۰٤؛ هن و همکاران، ۲۰۰٤). مانسک و همکاران (۲۰۰۰) دریافتند که استفاده از مایه تلقیح ازتوباکتر با افزایش طول و تراکم ریشه‌ها سبب افزایش کارایی مصرف نیتروژن، فسفر و میزان عملکرد دانه گندم می‌گردد. همچنین بررسی محققان نشان داد که کلوئیدهای آلی که در نتیجه تجزیه مواد آلی تولید می‌شوند، در ظرفیت تبادل کاتیونی[1] خاک نیز موثر می‌باشند (چر و همکاران، ۲۰۰٦؛ ویلهلم و همکاران، ۲۰۰۷). مطالعه هامیلتون و همکاران (۱۹۹۳) نیز نشان داد که جذب مقدار فسفر خاک به‌صورت مثبت با مقدار مواد آلی خاک همبستگی دارد. همچنین کودهای سبز و دامی علاوه بر بهبود ساختمان خاک و تمرکز عناصر غذایی در سطح خاک (تونیتو و همکاران، ۲۰۰٦) به‌عنوان مهمترین منبع جهت فعالیت باکتری‌ها عمل کرده و باکتری‌ها در این شرایط از کارایی بالاتری برخوردار خواهند بود (توران و همکاران، ۲۰۰٦؛ نیکولای و همکاران. ۲۰۰٦). بنابراین با توجه به نقش باکتری‌های حل‌کننده فسفر و محرک رشد بر افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی در گیاهان زراعی و عدم انجام پژوهش‌ها در این زمینه در کشور و به‌ویژه استان مازندران هدف از این آزمایش بررسی نقش این باکتری‌ها بر افزایش کارایی مصرف کود در نظام کم‌نهاده کشت ذرت سینگل کراس ٦۰٤ بوده است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال ۱۳۸٦ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری به‌طول ۵۳ درجه و ۱۳ دقیقه شرقی و عرض ۳٦ درجه و ٤۲ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱٦ متر از سطح دریا به صورت آزمایش کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک کامل تصادفی با سه تکرار به

1- Cation Exchange Capacity (CEC)

اجرا در آمد. میانگین دما و بارندگی محل اجرای آزمایش در طول دوره کاشت تا برداشت به‌ترتیب ۲۶/۸ درجه سانتی‌گراد و ۱۳۵/۹ میلی‌متر بود. ذرت رقم سینگل کراس ٦٠٤ (جدول ۱) رقمی متوسط رس با طول دوره رشد۱۲۰ روز بوده که با توجه به گروه رسیدگی آن بعد از برداشت جو در شمال کشور نتیجه مناسبی تولید خواهد نمود (میرهادی، ۲۰۰۱). تیمارهای آزمایشی شامل نوع کودها و نحوه مصرف آنها بود که عامل اصلی در سه سطح شامل: ۱- کود دامی گاوی (به‌میزان بیست تن در هکتار)؛ ۲- کود سبز جو (به‌میزان پانزده تن در هکتار)؛ ۳- شاهد (بدون استفاده از کود آلی) و عامل فرعی در هشت سطح شامل: ۱-NPK (نیترات آمونیوم، سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم به‌ترتیب به‌مقدار ۱۰۰، ۱۲۰، ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار)؛ ۲- NPK+ باکتری‌های حل‌کننده فسفات (PSM) + باکتری‌های افزاینده رشد گیاه (PGPR)؛ ۳-$NP_{50\%}K$+ PSM +PGPR؛ ٤-$PK+N_{50\%}$ +PGPR+PSM؛ ٥-$PGPR+PSM+N_{50\%}P_{50\%}K$؛ ٦- PGPR+PK؛ ۷- NK +PSM و ۸- PGPR +PSM در نظر گرفته شد.

از خاک مزرعه آزمایشی و کود دامی نمونه‌برداری و میزان هدایت‌الکتریکی و اسیدیته خاک در عصاره اشباع، نیتروژن کل به روش کجلدال[1] (پیج و همکاران، ۱۹۸۲)، فسفر قابل جذب با روش السون (پیج و همکاران، ۱۹۸۲) و بافت خاک با روش هیدرومتر بایکاس (جی و باودر، ۱۹۹۰) اندازه‌گیری شد (جداول ۲ و ۳). کودهای شیمیایی نیترات‌آمونیوم، سوپرفسفات‌تریپل و سولفات‌پتاسیم (نهاده کافی) به‌ترتیب به مقدار،۱۲۰،۳۰۰، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در کرت‌های شاهد و در کرت‌های دیگر بسته به تیمارهای آزمایشی مصرف شد. ۷۵ درصد کود نیتروژنی در ابتدای کشت و بقیه کود نیتروژنه با توجه به میزان جذب بالای نیتروژن در مراحل پیدایش اندام‌های نر و ماده[2] (ملکوتی و همایی، ۲۰۰۵) در مرحله ابتدای تاسل‌دهی به صورت سرک داده شد. پس از اعمال کود دامی گاوی (به‌میزان بیست تن در هکتار) و به زیر خاک بردن کود سبز جو در مرحله سنبله رفتن (به میزان ۱۵ تن در هکتار) در کرت‌های مورد نظر، باکتری‌های حل‌کننده فسفات *سودوموناس پوتیدا* و *باسیلوس لنتوس*[3] (به مقدار ۱۰۰ گرم در هکتار) و باکتری‌های محرک رشد *ازوتوباکتر کروکوکوم* و *آزوسپیریلوم برازیلنس*[4] (به مقدار ۱ لیتر در هکتار) بر اساس تیمارهای آزمایشی با جمعیت تقریبی[8]۱۰ باکتری در

1- Kjeltec 2300 Analyzer
2- Tasseling and silking
3- *Pseudomonas putida, Bacillus lentus.*
4- *Azotobacter coroocoocum, Azospirillum brasilense*

هر میلی‌لیتر، با بذر ذرت رقم سینگل‌کراس ٦٠٤ تلقیح شده و بلافاصله نسبت بـه کـشت بـه صـورت هیرم‌کاری اقدام گردید. هر کرت آزمایشی از ٥ ردیف ٤ متری به فواصل ٧٠ سانتی‌متر و فاصـله بـذور روی ردیف‌ها ١٨ سانتی‌متر در نظر گرفته شد.

در پایان فصل رشد (رسیدگی فیزیولوژیکی) پس از حذف اثرات حاشیه‌ای نمونه‌هایی از متن هـر کرت انتخاب و عملکرد دانه بر اساس رطوبت ١٤ درصد محاسبه گردیـد. نمونـه‌هـایی از انـدام‌هـای هوایی و دانه تهیه و پس از انتقال به آزمایشگاه درصد نیتروژن و فسفر برگ و دانه هر تیمار نیز تعیـین گردید. بازده کود نیتروژنه و فسفره (EF)[1] از رابطه (١) تعیین گردید (اریبلار و همکاران، ٢٠٠٧)

$$EF = \frac{Ny - Ns}{NF} \qquad \text{(رابطه ١)}$$

که در این رابطه Ny مقدار نیتروژن جذب شده، Ns نیتـروژن خـاک قبـل ازکـشت، NF میـزان کـود نیتروژنه مصرفی است.

بازده نسبی زراعی (RAE)[2] نیز از رابطه ٢ تعیین شد (جاگدیس واران و همکاران، ٢٠٠٥):

$$\%RAE = \frac{[\text{وزن خشک در تیمار شاهد- وزن خشک در تیمار مورد نظر}]}{[\text{وزن خشک در تیمار شاهد- وزن خشک در سوپر فسفات تریپل}]} \qquad \text{(رابطه٢)}$$

همچنین به منظور ارزیابی ارزش واحد کود مصرفی در قبال افزایش تولید از پارامتر بازده زراعی کـود (دورداس و همکاران، ٢٠٠٨) استفاده شد.

$$\text{بازده زراعی کود} = \frac{[\text{عملکرد دانه در قطعه شاهد - عملکرد در قطعه کود خورده}]}{\text{میزان کود دریافتی}} \qquad \text{(رابطه٣)}$$

درصد بازیافت کودهای ازته و فسفره نیز از رابطه زیر تعیین گردید (جاگدیس واران و همکاران، ٢٠٠٥):

$$\text{درصد بازیافت کود} = \frac{[\text{(عملکرد در قطعه شاهد×غلظت ازت یا فسفر) -}\ [\text{(عملکرد در قطعه کود خورده×غلظت ازت یا فسفر)}]}{\text{مقدار کود مصرفی}} \qquad \text{(رابطه٤)}$$

1- Efficiency Fertilizer (EF)
2- Relative Agronomic Efficiency (RAE)

در پایان داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (SAS Institute, 1997) مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفته و برای مقایسه میانگین ها نیز از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد.

جدول ۱- منشا، شجره اصلاحی ویژگی‌های عمومی ذرت سینگل گراس ٦٠٤.

مبدا	شجره	نوع ذرت	فرم دانه	ارتفاع بوته	وزن هزار دانه	تراکم مناسب	طول دوره رشد
لاین پدری داخلی ولاین‌مادری‌آمریکایی	B73 * K22	دانه‌ای	دندان اسبی	۲۹۵ سانتی‌متر	۳۲۰ گرم	۷۰ هزار بوته	۱۲۵ روز (متوسط رس)

جدول ۲- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مورد آزمایش (عمق۰ تا ۳۰ سانتی‌متر)

آهن	منگنز	روی	مس	پتاسیم	فسفر	ماده‌آلی (درصد)	ازت کل (درصد)	هدایت الکتریکی (دسی‌زمینس بر متر)	اسیدیته (pH)	بافت خاک	ذرات خاک (درصد)		
قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم)											رس	سیلت	شن
۵۰/٤۷	۱۲/۸۰	۱/۱۲	۳/٦۳	۳٦۷/۳	۱۲/۳	۳/٤۸	۱۹/۳	۱/٤۰	۷/۵	رس‌سیلتی	٤۷/۳	٤۲/۱	۱۰/٦

جدول ۳- برخی خصوصیات شیمیایی کود دامی مورد استفاده

آهن	منگنز	روی	مس	پتاسیم	فسفر	ماده آلی (درصد)	نیتروژن (درصد)	هدایت الکتریکی (دسی‌زمینس بر متر)	اسیدیته (pH)
قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم)									
٤۵/۳۹	۹۳/٤۵	۳٦/۹۳	۳/۷۸	٦۸۰/۸	۷/٦	۱۷/۳۵	۲/۰۳۸	۳/۳۹	۸/۱۸

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس اثرات کودهای آلی، باکتری‌های حل‌کننده فسفات و محرک رشد بر خصوصیات مختلف کارایی مصرف کود در کشت ذرت سینگل گراس ٦٠٤ در جدول ٤ آمده است. بر اساس نتایج، مصرف کود دامی در مقایسه با تیمار شاهد (بدون کود آلی) سبب افزایش عملکرد دانه گردید. استفاده از باکتری‌های حل‌کننده فسفر و محرک رشد با نهاده کافی (عرف زارع) عملکرد دانه را در کرت‌های کود سبز و شاهد به طور معنی‌داری افزایش داد. در تمامی تیمارهای کودی مصرف توأم باکتری‌های حل‌کننده فسفات و محرک رشد با کاهش۵۰٪ کود فسفره توانست میزان عملکردی برابر با میزان مصرف کامل کود فسفره تولید نماید (جدول ٤ و ۵). کودهای آلی به استثناء بازیافت کود نیتروژنی و بازده زراعی آن، بر سایر موارد مورد بررسی در ارتباط با کارائی مصرف کود اثر معنی‌دار

داشته است. اثرات تلقیح باکتری‌های مختلف نیز بر کلیه صفات مورد بررسی کارائی مصرف کود نیز در سطح یک درصد معنی‌دار بوده است. اثر متقابل کود آلی و تلقیح باکتری‌های حل‌کننده فسفات و محرک رشد نیز به جز بازیافت کود فسفر، سایر خصوصیات کارایی مصرف کود را به‌طور معنی‌داری تغییر داده است (جدول ٤).

جدول ٤- بررسی صفات مرتبط با کارایی کود با کاربرد کودهای آلی و بیولوژیک در کشت ذرت سینگل کراس ٦٠٤

منبع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد دانه	میانگین مربعات					
			بازده زراعی کود		بازده نسبی	کارایی کود		میزان بازیافت کود	
			نیتروژنه	فسفره	زراعی کود	نیتروژنه	فسفره	نیتروژنه	فسفره
تکرار	٢	٢٠/٤٢	٠/١٤	٠/٧٢	١٩٤٦/٢	٣٠٣/٩٧	٥٦/٢	١٧٨/٢	٢٨٠/٩
نوع کود (A)	٢	٦/٨٥*	٠/١٣^{ns}	٣/٠٦**	٥٠٢/٦*	٣٤٠/٠*	١٦٠/٣**	٦٧/٣^{ns}	١٥٠/٣*
خطا a	٤	٠/٦٧	٠/٠٤	٠/١٥	٥٤/٨٧	٤٩/٠٧	٢/٣١	٥٢/٦٧	١١/٥٣
تلقیح باکتری (B)	٧	١٣/٢١**	٣/٢٦**	٢٨/١**	١٠٥٢/٨**	٥٠٧٢/٤**	٥٤١/٠**	٢٦٥٧/٧**	٢٥٩٢/٠**
A × B	١٤	١/٦١*	٠/١٤**	١/٧١**	١٤٧/٦*	٦٥/٩**	٢٠/٤**	٣٤/٦*	١٧/٣٨^{ns}
خطای کل	٤٢	٠/٦٥	٠/٠٣	٠/٢٨	٨/٠	٦/١٢	١/٩٦	٤/٣٢	٣/٣٥
ضریب تغییرات (٪)	-	٩/٤٠	٢١/٣	١٣/٩	١٤/٩	١٦/٦	١٩/٠	١٦/١	١٥/٠

*، **، به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ٥٪ و ١٪ و ns عدم تفاوت معنی‌دار

بررسی مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که مصرف کود دامی، بازده زراعی کود فسفره، کارایی کود نیتروژنه و فسفره، میزان بازیافت کود فسفره و کاربرد کود سبز نیز بازده زراعی کود فسفره، کارایی کود فسفره و میزان بازیافت کود فسفره را نسبت به شاهد (بدون کود آلی) به‌طور معنی‌داری افزایش داد (جدول ٥). تحقیقات حاکی از آن است که با ازدیاد مواد آلی ضمن بهبود قابلیت جذب فسفر، کارایی مصرف آن نیز افزایش می‌یابد (چر و همکاران، ٢٠٠٦؛ ویلهلم و همکاران، ٢٠٠٧). در تحقیقی، مشاهده شد که اصافه نمودن مواد آلی باعث کاهش ظرفیت جذب فسفر بر سطوح کلسیت، ایلیت، گیبسایت و هماتیت می‌شود. در همین بررسی نیز اعلام شده است که احتمالاً فسفر و ترکیبات آلی برای مکان‌های جذب مشابهی بر سطوح این کانی‌ها رقابت می‌کنند (تونیتو و همکاران، ٢٠٠٦).

همچنین از نظر بازده زراعی کود فسفره و راندمان کود فسفره کود دامی اثر معنی‌دار بالاتری نسبت به کود سبز داشته است. راندمان مصرف کود بالا بوسیله گیاهان، هزینه‌های نهاده کودی و شدت

تلفات عناصر غذایی را کاهش و عملکرد محصول را افزایش می‌دهد (ملکوتی و همایی، ۲۰۰۵). در این آزمایش مصرف کودهای دامی با توجه به پایین‌بودن میزان نیتروژن آن (جدول ۲)، در میزان بازده زراعی کود نیتروژنه، بازده نسبی زراعی و مقدار بازیافت کود نیتروژنه تفاوت معنی‌داری دیده نشده است (جدول ۵). از طرف دیگر، تلقیح باکتری‌های محرک رشد و حل‌کننده فسفر، تمامی ویژگی‌های مورد بررسی کارایی کودها را به طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش داده است و در تیمارهایی که کود فسفره به میزان پنجاه درصد کاسته شده و به جای آن کود بیولوژیک مصرف شد به جز بازده زراعی کود فسفره، سایر موارد کارایی کود نسبت به شاهد بدون تلقیح به‌طور معنی‌داری بهتر بود. بر اساس مطالعه محققان، وجود عناصر سنگین مانند بور و کادمیوم به سبب مصرف مقادیر اضافی کودهای شیمیایی ممکن است موجب سمیت، کاهش رشد گیاه و جذب عناصر غذایی و سرانجام موجب کاهش کارایی مصرف کود گردند (ملکوتی و همایی، ۲۰۰۵). از طرفی، در تغذیه بهینه گیاهان آنچه حائز اهمیت است، مصرف مقدار متعادلی از عناصر غذایی مورد نیاز در منطقه گسترش ریشه‌ها می‌باشد. در شرایطی که میزان عناصر در منطقه توسعه ریشه، جهت نقل و انتقال مواد به گیاه در حد مطلوبی باشد مواد تولید شده در فرایند فتوسنتز کمیت و کیفیت لازم در محصول را داشته و میزان کارایی مصرف کود نیز معقول خواهد بود (جاگدیس واران و همکاران، ۲۰۰۵). همان‌طور که در جدول ۵ مشهود است بالاترین بازده زراعی کود فسفره مربوط به تیمار مصرف نهاده کافی به همراه کود بیولوژیک است. این تیمار موجب افزایش حدود ۲۱ درصدی بازده زراعی کود فسفره شده و نسبت به تیماری که کود فسفره ۵۰ درصد کاهش یافته تفاوت معنی‌داری ندارد.

بررسی اثر متقابل کودهای آلی و بیولوژیک نشان داد (جدول٦) که در کرت‌های کود سبز و شاهد (بدون کود آلی) تلقیح باکتری با مصرف نهاده کافی سبب افزایش بازده زراعی کود نیتروژنه شده و در تمامی کرت‌ها تیمارهایی که کود فسفر پنجاه درصد کاهش داده شده، بازده زراعی کود نیتروژنه کاهش نیافته و حتی این صفت در کرت‌های کود سبز نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری داشته و اعمال این تیمار سبب افزایش بازده کود فسفر نیز شده است. این نتیجه می‌تواند بیانگر رابطه تقویت‌کنندگی[1] ترکیب باکتری‌های مذکور با یکدیگر و اهمیت منبع آلی جهت فعالیت باکتری‌ها، در جهت افزایش رشد ریشه و جذب مواد غذایی توسط بوته‌های ذرت باشد که در آزمایش ذهیر و همکاران (۲۰۰٤)

1- Synergisti

نیز به آن اشاره شده است. عدم وجود تفاوت آماری معنی‌دار بین تیمارهایی که کود زیستی با کود شیمیایی فسفاته دریافت کرده‌اند (تیمار اول و سوم) نشان می‌دهد که کود بیولوژیک با وجود مقدار ماده موثر کمتر و با کارایی بالا می‌تواند به اندازه ۵۰ درصد کودهای شیمیایی فسفره موثر باشد.

جدول ۵- بررسی اثرات ساده کاربرد کودهای آلی و بیولوژیک برکارایی کود در زراعت ذرت سینگل کراس ٦٠٤

تیمارها	عملکرد دانه (تن در هکتار)	بازده زراعی کود (٪)		بازده نسبی زراعی‌کود(٪)	کارایی مصرف کود (٪)		میزان بازیافت کود (٪)	
		نیتروژنه	فسفره		نیتروژنه	فسفره	نیتروژنه	فسفره
نوع کود آلی								
کود دامی	۹/۱۲ a	۰/۹۳ a	۲/۳۹ a	٥٧/٤ a	٤٠/٣٧ a	۱۳/۰٦ a	۲۸/٦۲ a	۲٤/٤۲ a
کود سبز	۸/۷۱ ab	۰/۹۹ a	۲/۰٤ b	٥٤/٤ a	۳۷/۰٦ab	۱۰/۰۷ b	۲٦/۷۰ a	۲۲/۹٦ a
شاهد	۸/۰٦ b	۰/۸٤ a	۱/٦۸ c	٤۸/٤ b	۳۲/۸٦ b	۷/۹۱ c	۲٥/۲۸ a	۱۹/٥٥b
مقادیرکود+ تلقیح باکتری								
NPK	۹/۱۳b	۱/۰۹ bc	۳/۹۲ b	٥۷/۳۳b	٤۰/۰۹d	۱۰/۷٤c	۳۳/۹۲b	۲۳/۰۲d
NPK+PGPR+PSM	۱۰/۱۹a	۱/٤۷ a	٤/۷٦ a	٦۷/٦۸a	٤۹/۷bc	۱۳/۹٦b	٤۱/۷۲a	۲٦/۷۹c
$NP_{50}K$+PGPR+PSM	۱۰/۲۷a	۱/٥٤ a	۱/۲٥e	٦۷/٦۰a	٤۸/٥۸c	۲۳/٥a	٤۲/٦a	٥۰/۲٤a
$N_{50}PK$+PGPR+PSM	۸/۲۹c	۱/۲۰ b	۳/۱۱c	٥۱/۲٦b	٦۰/۸a	۱۱/٤۰c	۳۰/٦٦c	۲۲/٥d
$N_{50}P_{50}K$+PGPR+PSM	۸/۲۰c	۱/۱۰ bc	۱/۱٥ e	٥۰/٦۳b	٥٥/۰٥ab	۱٤/۳b	۳۰/٤۱c	۳٦/۸b
PK+PGPR	۷/۲٥d	[1]-	۲/۰۸d	٤۱/۷۷c	۸/۸٤d	-	۱۹/۱٤c	
NK+PSM	۸/۷۲bc	۰/۹۷ c	-	٥۳/۲٥b	۳۹/۸۲d	–	۳٥/٥۷b	-
PGPR+PSM	٦/۹۹d	-	-	۳۸/۲٦c	-	–	-	-
LSD (α =0.05)	۹/۱۳b	۰/۱۷	۰/۳۱	٥/۹۳	٥/٦۱	۱/۲۱	٥/۸۱	۲/۷۲

*میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون مطابق آزمون LSD در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.
[1] داده‌هایی که با – نشان داده شده، به علت عدم مصرف کود نیتروژنه و یا فسفره قابل محاسبه نبودند.

با افزودن کود دامی و کود سبز به‌دلایل تولید اسید هومیک و کاهش pH به‌واسطه ترکیب گازکربنیک تولید شده از تجزیه مواد آلی با آب، تولید ترکیباتی نظیر فسفوهومیک که با سهولتی بیشتر جذب گیاه می‌شوند و با پوشاندن سطوح ذرات اکسیدهای آهن و آلومینیوم توسط هوموس و کاهش تثبیت فسفات خاک، قابلیت جذب آن افزایش می‌یابد. همچنین، تغییر در اندازه و مرفولوژی خارجی و داخلی ریشه‌ها به دلیل تاثیر مثبت باکتری‌های محرک رشد، بر توانایی ریشه در دسترسی به حجم وسیعتر خاک اثر گذاشته و قابلیت استفاده و جذب عناصر غذایی و آب را افزایش داده که در نهایت منجر به افزایش کارایی مصرف کود و عملکرد بیشتر خواهد شد (ذهیر و همکاران، ۲۰۰٤).

داده‌های حاصل از بازده زراعی کود فسفره در کرت‌های کود سبز و شاهد (بدون کود آلی) با نهاده کافی و به همراه تلقیح کودهای بیولوژیک و شاهد (بدون تلقیح) تفاوت معنی‌داری نسبت به هم داشته‌اند (جدول ٦). در کرت‌های کود سبز و شاهد این صفت به‌ترتیب ۳۱/۸٪ و ۱۸/۱٪ نسبت به شاهد بدون تلقیح افزایش داشته است. کاهش پنجاه درصدی کود نیتروژنه و مصرف کامل کود فسفر به همراه کودهای بیولوژیک، در کرت‌های کود دامی سبب کاهش بازده نسبی زراعی کود شده اما داده‌های حاصل از این صفت در کرت های کود سبز و شاهد در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ٦). بنا بر گزارش نیکولای و همکاران (۲۰۰٦) در کرت‌های کود دامی به‌علت بالا رفتن فسفر خاک و در کرت‌های شاهد (بدون کود آلی) به علت پایین بودن منابع آلی جهت فعالیت میکروارگانیسم‌ها، این باکتری‌ها دارای کارایی پایین‌تری بوده‌اند. عدم تفاوت معنی‌دار برخی از صفات مورد بررسی مانند بازده زراعی کود ازته، بازده نسبی زراعی کود و کارایی مصرف کود ازته، میزان بازیافت کود ازته، در کرت‌های شاهد (بدون کود آلی) می‌تواند گویای همین مطلب باشد.

راندمان مصرف کود نیتروژنه با کاهش پنجاه درصد از کود نیتروژنی و مصرف کامل کود فسفره به همراه کودهای بیولوژیک، در کرت‌های کود سبز و شاهد (بدون کود آلی)، به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد بدون تلقیح افزایش یافته است. اما این صفت در تیمارهای یاد شده با مصرف کود دامی تفاوت معنی‌داری نشان نداده است (جدول ٦). نتایج حاکی از آن است که در کرت‌های کود سبز با تلقیح کودهای بیولوژیک، تمامی موارد کارایی مصرف در کود نیتروژنه و فسفره به جزء بازده زراعی کود نیتروژنه، تحت تاثیر باکتری‌های محرک رشد و حل‌کننده فسفر افزایش معنی‌داری یافتند. آزوسپیریلیوم و ازتوباکتر به‌عنوان تحریک‌کننده رشد گیاهی، غیر از تثبیت نیتروژن مولکولی با استفاده از شرایط مناسب در کرت‌های کود سبز، با تولید هورمون‌های رشد مانند اکسین شده که با افزایش تولید تارهای کشنده ریشه و جذب عناصر غذایی از خاک سبب بهبود کارایی مصرف کود می‌شوند که محققانی مانند انجم و همکاران (۲۰۰۷)؛ کندی و همکاران (۲۰۰٤) و زیدی و محمد (۲۰۰٦) در بررسی‌های خود به آن اشاره نمودند. کاهش پنجاه درصد از کود فسفره و کاربرد کودهای بیولوژیک در کرت‌های کود دامی، کود سبز و شاهد (بدون کود آلی) سبب افزایش معنی‌دار کارایی مصرف کود فسفره شده است (جدول ٦). با توجه به نتایج ویلهلم و همکاران (۲۰۰۷) به نظر می‌رسد پس از طی حدود ۵ ماه از به زیر خاک بردن کود سبز، معدنی شدن نیتروژن انجام یافته، عناصر غذایی به اندازه کافی در دسترس گیاه قرار گرفته‌اند. بدین‌ترتیب با کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفات علاوه بر بهره‌مندی از

سایر اثرات مفید این باکتری‌ها که نتیجه آن افزایش رشد گیاه در مقایسه با کود شیمیایی است (ذهیر و همکاران، ۲۰۰٤)، با افزایش قابل توجه کارایی کود فسفره، کاهش مصرف آن تا ۵۰ درصد امکان‌پذیر می‌باشد.

میزان بازیافت کود نیتروژنی در کرت‌های کود سبز، با کاربرد کود بیولوژیک نسبت به عدم استفاده از آن، به میزان ۵۵/۲ درصد افزایش یافت و در این کرت کاهش پنجاه درصدی کود نیتروژنه موجب افت میزان بازیافت آن نشده است (جدول ٦). ایجاد این شرایط، یعنی محدودیت وجود عنصر نیتروژن در ریزوسفر علاوه بر این که سبب شده گیاه حداکثر استفاده از این عنصر را داشته باشد، فعالیت باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن نیز با تأمین بخشی از نیتروژن مورد نیاز در طول فصل رشد و کاهش میزان تلفات آن باعث افزایش میزان بازیافت کود نیتروژنه گردید. در همین زمینه برآورد راندمان کلی مصرف کود در حدود یا کمتر از ۵۰ درصد برای نیتروژن، حدود ۱۰ درصد برای فسفر نیز گزارش شده است (ملکوتی و همایی، ۲۰۰۵).

به طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که جهت بهینه‌سازی مصرف کود، رعایت این نکته که چگونه از کودها می‌توان به‌صورت کارآمدتر و پربارتر استفاده نمود ضروری است. نتایج این بررسی حاکی از آن است که تلقیح باکتری‌های محرک رشد و حل‌کننده فسفر، کارایی مصرف کودها را به طور معنی‌داری نسبت به شاهد (بدون تلقیح) افزایش داده و با کاربرد کودهای آلی و تلقیح باکتری‌ها با کاهش پنجاه درصد فسفر، نه تنها بازده زراعی کود نیتروژنه کاهش نیافته بلکه این صفت نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری داشته و اعمال این تیمار سبب افزایش بازده کود فسفره شده است. بنابراین با مصرف تلفیقی کودهای آلی (کود دامی و سبز) و کودهای بیولوژیک می توان با افزایش کارایی مصرف کود ضمن کاهش مصرف کودهای شیمیایی و کاهش هزینه کشاورز، منابع تولید را حفظ نمود.

جدول ٦- اثرات متقابل کاربرد کودهای آلی و بیولوژیک برکارایی مصرف کود در زراعت ذرت سینگل کراس ٦٠٤.

تیمار		عملکرددانه (تن درهکتار)	بازده زراعی		بازده نسبی	کارایی مصرف کود		میزان بازیافت
			کود ازته.٪	کود فسفره.٪	زراعی کود ٪	ازته.٪	فسفره.٪	کود ازته.٪
NPK	کود دامی	۱۰/۸۹a	۱/۵۵$^{a-c}$	۵/۸۷^{a}	۷۳/۱۲^{a}	۵۲/۲۷$^{b-e}$	۱۳/۲۹$^{c-e}$	٤۰/۰۵$^{a-c}$
NPK+PGPR+PSM		۱۰/۳۱abc	۱/۳۹$^{b-d}$	۵/۲۹^{ab}	٦۷/۷۷$^{a-c}$	۵۲/۰۵$^{b-e}$	۱۸/۹۷^{b}	٤۱/۹۸^{ab}
$NP_{50}K$+PGPR+PSM		۱۰/۹۷a	۱/٦٤^{ab}	۱/۳۷^{jk}	۷۵/۱۷^{a}	۵۱/٦۹$^{b-e}$	۲۷/۹۳^{a}	٤۵/۰۹^{a}
$N_{50}PK$+PGPR+PSM		۸/۳۰d-g	۰/۸۹^{gh}	۲/۷۸^{f}	۵۱/۳٦$^{e-g}$	٦۰/۰٤^{ab}	۱۳/۵۹^{cd}	۳۱/۰۱$^{f-g}$
$N_{50}P_{50}K$+PGPR+PSM		۸/۸۱c-g	۱/۰۵$^{e-g}$	۱/۲۵^{k}	۵٦/۵۹$^{c-f}$	٦٤/۵۵^{a}	۱۸/۷۷^{b}	۳٦/۰٦$^{b-e}$
PK+PGPR		۷/۵۵f-g	[1]–	۲/۵۹^{fg}	٤٤/۲۸$^{f-i}$	–	۱۱/۹۵$^{c-f}$	–
NK+PSM		۸/۸۳c-g	۰/۸۳^{gh}	–	۵۳/۷۱$^{d-g}$	٤۲/۳۸$^{e-g}$	–	۳٤/۷۸$^{c-f}$
PGPR+PSM		۷/۲۸g-h	–	–	۳۷/۹۷^{hi}	–	–	–
NPK	کود سبز	۷/۵۵f-g	۰/۷۱^{h}	۳/۳۱^{e}	٤۱/۱۹$^{g-i}$	۲۹/٤۳^{h}	۷/۳۸^{g}	۲۷/۰۷^{g}
NPK+PGPR+PSM		۱۰/۲۱abc	۱/۵۹^{ab}	٤/۷۵^{c}	٦۹/۲۷$^{a-c}$	۵۰/۱۵$^{b-e}$	۱۲/۵۵$^{c-f}$	٤۲/۳٤^{ab}
$NP_{50}K$+PGPR+PSM		۱۰/٤۷ab	۱/۷۸^{a}	۱/۷۲^{ij}	۷۰/۳٦^{ab}	۵۵/۷۳$^{a-d}$	۲٤/۷۲^{a}	٤۵/۸۵^{a}
$N_{50}PK$+PGPR+PSM		۸/۱۹d-g	۱/۳۷$^{b-d}$	۳/۳۰^{e}	۵۲/۵۵$^{e-g}$	٦٤/۳٤^{a}	۱۰/۳۳$^{e-g}$	۳۰/٤۲$^{e-g}$
$N_{50}P_{50}K$+PGPR+PSM		۸/۳۰d-g	۱/۲۸$^{c-e}$	۱/۸۵^{hi}	۵۲/۰۹$^{e-g}$	۵۳/۵۳$^{b-d}$	۱٤/۵۲^{c}	۲۸/٦٤^{fg}
PK+PGPR		۸/۱٤d-g	–	۲/۳۹^{fg}	٤۸/۳۱$^{e-h}$	–	۱۱/۰۹$^{d-f}$	–
NK+PSM		۹/۱۷b-e	۱/۲۱$^{d-f}$	–	۵۷/۰۵$^{c-f}$	٤۳/۲۹$^{e-g}$	–	۳۹/۲۸$^{a-d}$
PGPR+PSM		۷/٦۳e-g	–	–	٤٤/٦٤$^{e-i}$	–	–	–
NPK	شاهد (بدون کود دامی یا آلی)	۸/۹٤c-f	۱/۰۰$^{f-g}$	۳/۵۸^{e}	۵۷/٦۹$^{b-e}$	۳۸/۵٦$^{f-h}$	۱۱/۵٦$^{c-f}$	۳٤/٦٤$^{c-f}$
NPK+PGPR+PSM		۱۰/۰۵abc	۱/٤۳$^{b-d}$	٤/۲۳^{d}	٦۵/۹۹$^{a-d}$	٤۷/۰۷$^{d-f}$	۱۰/۳۵$^{d-g}$	٤۰/۸٤$^{a-c}$
$NP_{50}K$+PGPR+PSM		۹/۳۷bcd	۱/۲۰$^{d-f}$	۰/٦۷^{l}	۵۷/۲۹$^{b-f}$	۳۸/۳۳$^{f-h}$	۱۷/۹۹^{b}	۳۷/۰۹$^{b-e}$
$N_{50}PK$+PGPR+PSM		۸/۳٦d-g	۱/۲٦^{de}	۳/۳٦^{e}	٤۹/۸۷$^{e-h}$	۵۸/۰۷$^{a-c}$	۱۰/۲۹$^{e-g}$	۳۰/۵۳$^{e-g}$
$N_{50}P_{50}K$+PGPR+PSM		۷/٤۸fg	۰/۹۷$^{f-h}$	۰/۳٤^{l}	٤۳/۲۲$^{g-i}$	٤۷/۰٦$^{d-f}$	۹/٦۵^{fg}	۲٦/۵۲^{g}
PK+PGPR		٦/۰۵h	–	۱/۲۷^{jk}	۳۲/۷۳^{i}	–	۳/٤۹^{h}	–
NK+PSM		۸/۱۵d-g	۰/۸۳^{gh}	–	٤۹/۰۱$^{e-h}$	۳۳/۸۰^{gh}	–	۳۲/٦۵$^{d-g}$
PGPR+PSM		٦/۰۷h	–	–	۳۲/۱۵^{i}	–	–	–
LSD(α =0.05)		۱۰/۸۹a	۰/۱۸	۰/۲۷	۷/٦۱	۵/۸۲	۱/۸۷	٤/۱۱

*میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون مطابق آزمون LSD در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

[1] داده‌هایی که با – نشان داده شده، به علت عدم مصرف کود نیتروژنه و یا فسفره قابل محاسبه نبودند.

سپاسگزاری

بدین وسیله از زحمات مدیر محترم مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری جناب آقای مهندس عباسیان، کارشناسان شرکت زیست‌فن‌آور سبز و شرکت فن‌آور زیستی مهر جناب آقای مهندس امینی و جناب آقای دکتر دانیالی در تهیه و ارسال کودهای بیولوژیک، تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

Anjum, M.A., Sajjad, M.R. Akhtar, N. Qureshi, M.A. Iqbal, A. Jami A. R. and Hasan, M. 2007. Response of cotton to plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) inoculation under different levels of nitrogen. Agric Res. 45: 135-143.

Baligar, V.C., Fageria, N.K. and Elrashidi, M.A. 1998. Toxicity and nutrient constraints in root growth. Hort Sci. 36: 960-965.

Barea, J.M. Toro, M. Orozco, M.O. Campos, E. and Azcon, R. 2002. The application of isotopic (32_P and 15_N) dilution techniques to evaluate the interactive effect of phosphate-solubilizing rhizobacteria, mycorrhizal fungi and *Rhizobium* to improve the agronomic efficiency of rock phosphate for legume crops. Nut Cycl. Agroecosys. 63: 35-42.

Cakmaci, R., Akmakc, I.A. Figen, B. Adil, A. Fikrettin, S and Ahin, B.C. 2005. Growth promotion of plants by plant growth-promoting rhizobacteria under greenhouse and two different field soil conditions. Biochem. 38: 1482-1487.

Cavaglieri, L.R., Passone, A. and Etcheverry, M.G. 2004. Correlation between screening procedures to select root endophytes for biological control of *Fusarium verticillioides* in *Zea mays*. Biol Control. 31: 259-262.

Cherr, C.M., Scholberg J.M.S. and McSorley, R. 2006. Green manure approaches to crop production. Agron. J. 98: 302-319.

Dordas., C.A. Lithourgidis, A.S. Matsi, T. and Barbayiannis, N. 2008. Application of liquid cattle manure and inorganic fertilizers affect dry matter, nitrogen accumulation, and partitioning in maize. Nut Cycl Agro Agroecosys. 80: 283-296.

Fageria, N.K. and Baligar, V.C. 2005. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. Adv Agron. 88: 97-185.

Gee, G. W. and Bauder, J. W. 1990. Particle size analysis. In: A. Klute (ed.). Methods of Soil Analysis. Part 1, Revised Edition, Am. Soc. Agron. Madison, WI. USA. pp. 383-423.

Hamilton, M.A., Westermann D.T., and James, D.W. 1993. Factors affecting Zn uptake in cropping systems. Soil Sci Soc Am J. 57: 1310-1315.

Han, H. S., Supanjani, K. and Lee, D. 2004. Effect of co-inoculation with phosphate and potassium solubilizing bacteria on mineral uptake and growth of pepper and cucumber. Agron J. 24: 169-176.

Jagadeeswaran, R., Murugappan, V. and Govindaswamy, M. 2005. Effect of slow release NPK fertilizer sources on the nutrient use efficiency in turmeric (*Curcuma longa* L.). World J. Agric Sci. 1: 65-69.

Koocheki, A., Jami-al-ahmadi, M. Kamkar, B. and Mahdavi, D. 2005. Ecologycal principles of agriculture. L. E. Powers- R. McSorley (translated). Shabak press. 472p.

Kennedy, I.R., Choudhury A.T. M.A. and Kecskes, M.L. 2004. Non-symbiotic bacterial diazotrophs in crop-farming systems: can their potential for plant growth promotion be better exploited? Soil Biol. Biochem. 36: 1229-1244.

Malakouti, M.J. and Homaee, M. 2005. Arid and semi- arid regions difficulties and solutions. Tarbiat Modarres University Press. 508p.

Manske, G. B., Luttger, A. Behi, R. K. Vlek P.G and Cimmit, M. 2000. Enhancement of mycorhiza (VAM) infection, nutrient efficiency and plant growth by *Azotobacter chrooccum* in wheat. Plant Breed. 13: 78-83.

Mirhadi, M.J. 2001. Maize. Agricultural Research, Education and Extension Organization press. 214p.

Noaim A. and A Hamad, S. H. 2004. Effect of bio-fertilization along with different levels of nitrogen fertilizer application on the growth and grain yield of hassawi rice (*Oryza sativa* L.). Sci J. King Faisal Uni. 2: 215-225.

Nikolay, S., Strigul, A. and Kravchenko, V. 2006. Mathematical modeling of PGPR inoculation into the rhizosphere. Env Model. Soft. 21: 1158 -1171.

Page, A. L., Miller, R. H. and Keeney, D. R. 1982. Methods of soil analysis. Part 1. Chemical and microbiological properties. 2nd Edition. Madison. WI. USA. pp.903-947.

Pan, B., Bai, Y. M. Leibovitch, S and Smith, D. L. 1999. Plant growth promoting rhizobacteria and kinetin as ways to promote corn growth and yield in a short growing season area. Agron J. 11: 179-186.

Roberts, T. L. 2008. Improving nutrient use efficiency. Turk J. Agric. 32: 177-182.

SAS Institute. Inc. 1997. SAS/STAT Users Guide, version 6.12. SAS Institute Inc. Cary. NC.

Tonitto, C., David, M.B. and Drinkwater, L.E. 2006. Replacing bare fallows with cover crops in fertilizer-intensive cropping systems: A meta-analysis of crop yield and N dynamics. Agric. Ecosys. Env. 112: 58-72.

Turan, M., Ataoglu, N. and Sahin, F. 2006. Evaluation of the capacity of phosphate solubilizing bacteria and fungi on different forms of phosphorus in liquid culture. Sus Agric. 28: 99-108.

Uribelarrea, M., Moose S.P. and Below, F.E. 2007. Divergent selection for grain protein affects nitrogen use in maize hybrids. Field Crop Res. 100: 82-90.

Wilhelm, J.M., Johnson, F. Karlen L., and David, T. 2007. Corn stover to sustain soil organic carbon further constrains biomass supply. Agron J. 99: 1665-1667.

Wu, B., Cao, S.C. Li, Z. H. Cheung, Z.G. and Wong, K.C. 2005. Effects of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth. Geoderma. 125: 155-162.

Zahir, A.Z., Arshad M. and Frankenberger, W.F. 2004. Plant growth promoting rhizobacteria. Adv. Agron. 81: 97-168.

Zaidi, A and Mohammad, S. 2006. Co-inoculation effects of phosphate solubilizing micro-organisms and *glomus fasciculatum* on green gram-bradyrhizobium symbiosis. Agric Sci. 30: 223-230.

EJCP., Vol. 3 (2): 65-80
ejcp.gau@gmail.com

Effect of inoculation phosphate solubilization microorganisms (PSM) and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on nutrient use efficiency in corn (*Zea mays* L.) cultivation

M. Yazdani[1], H. Pirdashti[2], M.A. Esmaili[3] and M.A. Bahmanyar[4]
[1]M.Sc. Student of Agronomy, [2,3]Assistant Prof., [4]Associate Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

Abstract

Recently, biological fertilizers extensively recommended because of over application of chemical fertilizer and their effects on environment and production resources. In order to study the effect of inoculate phosphate solubilization microorganisms (PSM) and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on nutrient use efficiency in corn [*Zea mays* (L.) cv. SC 604] an experiment was conducted in 2007. Experiment laid out as split plot based on randomized complete block design with three replications. Three levels of manures (consisted of 20 $Mg.ha^{-1}$ farmyard manure, 15 $Mg.ha^{-1}$ green manure and check or without any manures) as main plots and eight levels of biofertilizers (consisted of 1-NPK or conventional fertilizer application; 2-NPK +PSM+PGPR; 3-$NP_{50\%}K$+PSM+PGPR; 4-$N_{50\%}PK$+PSM+PGPR; 5-$N_{50\%}P_{50\%}K$+PSM+ PGPR; 6-PK+PGPR; 7-NK+PSM and 8-PSM+PGPR) as sub plots were treatments. Results showed that, using of PSM and PGPR in addition to conventional fertilizer applications (NPK) could improve the agronomic efficiency, nutrient use efficiency and relative agronomic efficiency. According to results, farmyard manure, green manure, PGPR and PSM application significantly improved the nutrient use efficiency by 37.2% and 82.1% compared to control. Also, nitrogen recovery in green manure and check plots enhanced with adding of biological fertilizer compared to lack of these biofertilizers by 55.2% and 17.6%, respectively.

***Keywords*:** Biofertilizer; PGPR; PSM; Organic manure.

* - Corresponding Author; Email: pirdasht@yahoo.com