نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۰، شماره ۱، بهار ۱۳۹۱، ص ۲۴۶-۲۴۰

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 10, No. 1, Spring. 2012, p. 240-246

بررسی اثرات روش مصرف کودهای بیولوژیک در ترکیب با کودهای شیمیایی بر تولید ذرت دانه‌ای و برخی خصوصیات شیمیایی خاک در شرایط خوزستان

فرشاد ابراهیم‌پور[۱]- خالد عیدی‌زاده[۲]- عبدالمجید مهدوی دامغانی[۳*]- محمد رضوانی[٤]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۴/۱۲
تاریخ پذیرش : ۱۳۹۰/۱۰/۱۲

چکیده

به‌منظور مطالعهٔ اثرات کاربرد تلفیقی کودهای بیولوژیک نیتروژن و فسفر و کودهای شیمیایی و همچنین روش کاربرد کود بیولوژیک بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای، آزمایشی در سال ۱۳۸۸ در شهرستان دزفول (استان خوزستان) به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با ۴ تکرار انجام شد. تیمارها شامل تلفیق کودهای بیولوژیک و شیمیایی در ۴ سطح (کود شیمیایی، ۲۵ درصد کود شیمیایی+ کود بیولوژیک، ۵۰ درصد کود شیمیایی+ کود بیولوژیک، کود بیولوژیک) به‌عنوان فاکتور اول و روش کاربرد کود بیولوژیک در ۳ سطح (بذرمال، همراه آب آبیاری و بذرمال+ آبیاری) به‌عنوان فاکتور دوم بود. بیشترین عملکرد دانه در تیمار ۵۰ درصد کود شیمیایی+ کود بیولوژیک (۱۰/۷ تن در هکتار) و کمترین عملکرد در تیمار کود بیولوژیک (۵/۲ تن در هکتار) به‌دست آمد. بیشترین و کمترین شاخص برداشت به‌ترتیب در تیمار کود شیمیایی (۰/۵۹) و کود بیولوژیک (۰/۴۵) مشاهده شد. تعداد دانه در ردیف و تعداد ردیف بلال تیمارهای تلفیقی اختلافی با مقادیر تیمار کود شیمیایی نداشت. در بین روش‌های کاربرد کود بیولوژیک، روش بذرمال+ آبیاری نتایج مطلوب‌تری در مقایسه با دو روش دیگر نشان داد، هر چند اختلاف آن‌ها معنی‌دار نبود. نتایج آزمون خاک نیز نشان داد که نقش کودهای بیولوژیک بیشتر در رابطه با افزایش دسترسی فسفر خاک است تا نیتروژن. جایگزینی کامل کودهای شیمیایی با کود بیولوژیک موجب کاهش عملکرد ذرت دانه‌ای شد، اما کاربرد تلفیقی کودهای بیولوژیک و شیمیایی ضمن تولید بیشترین عملکرد، مصرف کودهای شیمیایی را کاهش داد. نتایج همچنین نشان داد که منابع غیر شیمیایی عناصر غذایی گیاهی، می تواند به‌عنوان جایگزین قابل اعتماد برای کودهای شیمیایی در تولید اکولوژیک محصولات در سیستم کشاورزی ایران باشد.

واژه‌های کلیدی: کود بیولوژیک، دسترسی فسفر، شاخص برداشت، مدیریت تغذیه

مقدمه

نیتروژن و فسفر از عناصر ضروری برای رشد و توسعه گیاه ذرت هستند. فشرده سازی کشاورزی به‌منظور تولید عملکرد بالا، نیازمند استفاده بیش از حد از این نهاده‌ها است، به‌ویژه برای گیاهان پرتوقع مثل ذرت. این امر هم هزینه تولید را بالا می برد و هم باعث بوجود آمدن خطرات زیست محیطی مختلفی می شود (۶). ۶۵ درصد نیتروژن معدنی مصرف شده در سیستم های کشاورزی از طریق انتشارت گازی، روان آب، فرسایش و شستشو تلف می شود (۷). این مقادیر تلفات باعث اثرات گلخانه ای، کاهش ازون استراتوسفری، و آلودگی آب های زیرزمینی به‌نیترات می شود (۲۰). علاوه بر آن مصرف غیر اصولی و بی رویه کودهای شیمیایی فسفره نیز تاثیر زیان باری بر جوامع کشاورزی تحمیل نموده است. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که افزایش کاربرد کودهای فسفر طی سال‌های اخیر نه تنها عملکرد محصولات زراعی را چندان افزایش نداده است، بلکه در نتیجه برهم زدن تعادل عناصر غذایی، کاهش محصول را نیز به‌دنبال داشته است (۲). استفاده مداوم از کودهای فسفات به‌افزایش کادمیوم خاک‌های کشاورزی منجر می‌گردد. کادمیوم یکی از عناصر سنگین است که جذب کمترین مقدار آن هم می‌تواند سلامت انسان را به‌خطر اندازد و پس از جیوه و مس، سمی‌ترین عنصر برای آبزیان است. قابلیت جذب کادمیوم توسط گیاهان بسیار زیاد است (۲).

در نظام کشاورزی پایدار کاربرد کودهای بیولوژیک از اهمیت ویژه ای در افزایش تولید محصول و حفظ حاصلخیزی پایدار خاک برخوردار است (۲۴). کودهای بیولوژیک امروزه قادرند در برخی موارد به‌عنوان جایگزین و در اکثر موارد به‌عنوان مکمل کودهای شیمیایی، پایداری تولید را در نظام‌های کشاورزی تضمین کنند (۲۳). کود

۱- استادیار دانشگاه پیام نور تهران
۲ و۳- به ترتیب دانش‌آموخته و استادیار گروه کشاورزی اکولوژیک، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی تهران
(*- نویسنده مسئول: Email : mmd323@yahoo.com)
۴ - کارشناس گروه دانشگاه پیام نور، مرکز تهران شرق

بیولوژیک ریزجانداران باکتریایی و قارچی از جمله ازتوباکتر، آزوسپریلیوم، سودموناس و باسیلوس هستند که علاوه بر تثبیت بیولوژیک نیتروژن و محلول کردن فسفر خاک (بویژه در مناطقی که کلسیم خاک بالا باشد) با تولید مقادیر قابل ملاحضه ای هورمون های محرک رشد بویژه انواع اکسین، جیبرلین و سیتوکنین رشد و نمو، عملکرد گیاهان زراعی و همچنین ویژگی های خاک را تحت تاثیر قرار می دهد (۲۷ و ۲۸). یاسری (۳۱) گزارش داد که کاربرد آزوسریلیوم و ازتوباکتر در تلفیق با کودهای شیمیایی عملکرد کلزا (۲۱/۱۷٪)، تعداد غلاف در گیاه (۱۶/۰۵٪)، تعداد انشعابات شاخه (۱۱/۷۸٪) و وزن هزار دانه (۲/۹۲٪) را در مقایسه با کاربرد کودهای شیمیایی به‌تنهایی افزایش داده است.

بنظر می رسد با کاربرد تلفیقی کود شیمیایی و بیولوژیک، تا اندازه ای بتوان مصرف کودهای شیمیایی را کاهش داد. با توجه به‌اهمیت این موضوع، آزمایشی جهت بررسی تاثیر روش کاربرد کودهای بیولوژیک آزوسپریلیوم، ازتوباکتر، باسیلوس و سودوموناس در ترکیب با سطوح مختلف کودهای شیمیایی بر ویژگی های خاک، عملکرد و اجزای عملکرد ذرت انجام گردید.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۸۸ در شهرستان دزفول، استان خوزستان اجرا گردید. محل اجرای آزمایش با عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۹۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۷۷ دقیقه شرقی در فاصله ۱۲۰ کیلومتری اهواز قرار دارد. قبل و بعد از اجرای آزمایش از قطعه مورد نظر یک نمونه مرکب خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی متری تهیه و برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن از قبیل نیتروژن کل به‌روش کجلدال، فسفر قابل استخراج به‌وسیله بی کربنات سدیم (روش اولسن) و پتاسیم قابل استخراج با استات آمونیوم اندازه گیری گردید (۳) (جدول ۱). آزمایش به‌صورت فاکتوریل با دو عامل در قالب طرح پایه بلوک های کامل تصادفی و با چهار تکرار انجام شد. عامل اول سطوح مختلف کاربرد کود شیمیایی به‌تنهایی و در تلفیق با کود بیولوژیک در چهار سطح؛ ۱۰۰ درصد کود شیمیایی N و P ($F_{100\%}$)، ۵۰ درصد کود شیمیایی + کود بیولوژیک ($F_{50\%+B}$)، ۲۵ درصد کود شیمیایی + کود بیولوژیک ($F_{25\%+B}$) و کود بیولوژیک به‌تنهایی (B) و عامل دوم روش های مختلف کاربرد کود بیولوژیک در سه سطح بذرمال (S)، همراه آب آبیاری (I) و بذرمال + آبیاری (SI) بود. در این آزمایش منبع مورد استفاده برای کودهای شیمیایی نیتروژن و فسفر به‌ترتیب اوره (۲۵۰ کیلوگرم در هکتار) و سوپر فسفات تریپل (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) بود. به‌علت بالا بودن مقدار پتاسیم قابل جذب، از کود پتاسیم استفاده نشد. کود بیولوژیک مورد استفاده در این آزمایش شامل تلفیق کود بیولوژیک *Azospirillum lipoform، brasilense* و *Bacillu coagulans*، *Pseudomonas fluorescens* به‌ترتیب به‌عنوان منبع تامین نیتروژن و فسفر می باشد. میزان کود بیولوژیک مورد استفاده، طبق توصیه‌های کارخانهٔ سازنده (مهر آسیا) ۲ لیتر در هکتار برای ذرت است. کاربرد کود بیولوژیک به‌همراه آب آبیاری در مرحله ۸ برگی گیاه ذرت اعمال گردید. همچنین در روش تلفیق کاربرد کود بیولولوژیک به‌شکل بذرمال و آبیاری، نصف مقدار توصیه شده کود بیولوژیک برای ذرت (۱ لیتر در هکتار) به‌صورت بذرمال و نصف دیگر در مرحله ۸ برگی ذرت به‌همراه آب آبیاری به‌کار برده شد. مرحله اول کود سرک شیمیایی در زمان ۸ برگی و مرحله دوم کود سرک قبل ظهور تاسل انجام شد. تعداد کرت آزمایشی مجموعاً ۴۰ و ابعاد هر کرت ۴/۵ ×۸ متر بود. در هر کرت ۶ ردیف کاشت به‌فواصل ۷۵ سانتی متری بین ردیف و ۲۰ سانتی متری روی ردیف ها در نظر گرفته شد. برای جلوگیری از عمل تداخل و آلودگی کودهای شیمیایی و باکتری ها، دو خط به‌صورت نکاشت بین کرت های اصلی قرار گرفت و آب اضافی هر کرت توسط یک جوی خروجی از مزرعه خارج شد. نوع بذر مورد استفاده هیبرید دیررس سینگل کراس ۷۰۴ بود. در روش بذرمال، قبل از تلقیح بذور با کود بیولوژیک بذور با صمغ عربی آغشته و سپس مایه تلقیح به‌آنها افزوده شد. پس از مخلوط کردن، بذور در سایه خشک و جهت کشت به‌زمین منتقل گردیدند، بعد از کشت، مزرعه مورد آزمایش بلافاصله آبیاری گردید. در طی ماه های رشد، عملیات داشت از قبیل آبیاری، تنک کردن و کنترل علف های هرز (در مرحله ۸ برگی) انجام شد. توصیه کودی لازم در طول فصل براساس نتایج حاصل از تجزیه خاک و با توجه به‌تغذیه متعادل گیاه به‌اجرا درآمد. جهت اندازه گیری عملکرد و اجزاء عملکرد موثر بر آن از هر کرت آزمایش ۳ خط کاشت انتخاب و تمام بلال ها و بوته های ذرت به‌صورت دستی برداشت گردید و پس از شمارش تعداد بلال ها در هر کرت، عملکرد کل تعیین گردید. همچنین جهت تعیین اجزاء عملکرد نظیر تعداد دانه در هر بلال، تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در هر ردیف و وزن هزار دانه پس از انتخاب ۴۰ بلال از بلال های هر کرت میانگین هر کدام از موارد فوق به‌عنوان اجزاء عملکرد منظور گردید. اندازه گیری وزن هزار دانه نیز پس از بوجاری دقیق دانه ها و خشک کردن آنها در هوای آزاد انجام گردید. همچنین در آخر آزمایش جهت تعیین اثرات کودهای بیولوژیک و شیمیایی بر روی دسترسی برخی عناصر غذایی و خصوصیات شیمیایی خاک از هر تیمار در تکرارهای مختلف از عمق ۳۰-۰ خاک نمونه برداری گردید و به‌آزمایشگاه جهت تعیین آنالیز شمیایی عناصر غذایی فرستاده شد. سپس نتایج حاصل با نرم افزار SAS تحت تجزیه واریانس قرار گرفتند. به‌منظور مقایسه میانگین از آزمون LSD در سطح ۵ درصد استفاده شد.

جدول۱-برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه قبل از کاشت

بافت خاک	هدایت الکتریکی ($dS\ m^{-1}$)	اسیدیته pH	کربن آلی (٪)	درصد نیتروژن کل (٪)	فسفر (ppm)	پتاسیم (ppm)
Sandy-Loam	۳/۸۲	۷/۶	۱/۲	۰/۱	۱۱	۳۲۳

نتایج و بحث

عملکرد

نتایج نشان داد که کاربرد ۱۰۰ درصد کودهای شیمیایی و تلفیق ۵۰ درصد درصد کودهای شیمیایی با کودهای بیولوژیک در مقایسه با کاربرد کودهای بیولوژیک به‌تنهایی به‌طور معنی داری بر روی عملکرد در این مطالعه موثر بوده است (جدول۲). بیشترین میزان عملکرد به‌ترتیب در تیمارهای $F_{100\%}$ و $F_{50\%+B}$ با مقدار ۱۰/۷۳ و ۱۰/۳۳تن در هکتار بدست آمد که اختلاف معنی داری با دیگر تیمارها داشت. بعد از آن تیمار $F_{25\%+B}$ با مقدار ۸/۶۵ تن در هکتار و کمترین عملکرد در تیمار کاربرد کود بیولوژیک به‌تنهایی با مقدار ۵/۲۱ تن در هکتار بدست آمد (B). بین تیمار شیمیایی کامل ($F_{100\%}$) با تیمار ۵۰ درصد شیمیایی + کود بیولوژیک ($F_{50\%+B}$) اختلاف معنی داری مشاهده نگردید (جدول۲).

روش های مختلف کاربرد کود بیولوژیک نشان داد که بین روش های مختلف کاربرد کود بیولوژیک اختلاف معنی داری مشاهده نگردید (جدول۲). با این حال کاربرد کود بیولوژیک به‌صورت بذرمال و یا بذر مال+ آب آبیاری، نتایج مطلوب تری را نسبت به‌کاربرد کود بیولوژیک از طریق آب آبیاری به‌همراه داشت (جدول۲). به‌احتمال زیاد مدت و فرصت حضور باکتری در خاک و حتی سن گیاه (۱۷)، نقش مهمی در ظهور این اختلاف دارا می باشد.

در همین راستا، یزدانی و همکاران (۳۲) با کاربرد باکتری های محرک رشد و حل کننده فسفات در تلفیق با کود شیمیایی توانستند کاربرد کود فسفره را ۵۰ درصد بدون هر گونه کاهش در عملکرد دانه ذرت، کاهش بدهند، منتها برخلاف آزمایش حاضر این تیمار نتوانست کاهش ۵۰ درصد کاربرد کود نیتروژن را جبران بکند. در همین رابطه حمیدی مقدم و همکاران (۱)، نیز مشاهده کردند که تلقیح بذر سویا با باکتری برادی ریزوبیوم جاپانیکوم و باکتری حل کننده فسفات به‌همراه نیمی از مقادیر کودهای نیتروژنی، فسفر و پتاسیمی موجب افزایش عملکرد دانه و میزان نیتروژن، فسفر و پتاسیم جذب شده توسط گیاه نسبت به‌مصرف کودهای نیتروژنی، فسفر و پتاسیمی شیمیایی به‌میزان توصیه شده گردید. بودی و دوبرینر (۸) طی تحقیقات خود نشان دادند که تلقیح گیاهان با باکتری های محرک رشد علاوه بر اینکه باعث کاهش ۳۰ تا ۳۵ درصد مصرف کود نیتروژن شده است، دارای اثرات مفید دیگری است که در مقایسه با مقدار مشابه‌کود نیتروژن شیمیایی، می توانند سبب رشد بهتر گیاه تلقیح شده و افزایش مقدار محصول آن گردد. درآزمایشی دیگر توحیدی مقدم و همکاران (۱) افزایش جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم را در شرایط اندک سوپر فسفات تریپل را گزارش کردند و بیان کردند که در حضور مقداری از کودهای شیمیایی عملکرد سویا از افزایش قابل قبولی در مقایسه با کاربرد به‌تنهایی کودهای شیمیایی و بیولوژیک شده است. نتایج این آزمایش بیان گر این واقعیت است که مصرف کودهای شیمیایی به‌همراه کودهای بیولوژیک می تواند باعث افزایش کارایی کودهای بیولوژیک می شوند (۱). بسیاری از پژوهشگران گزارش کرده‌اند که باکتری های محرک رشد از طریق فرایندهای مختلفی از قبیل تثبیت نیتروژن مولکولی، تولید هورمون‌های محرک رشد و ترشح آنزیم‌های مختلف از قبیل آنزیم فسفاتاز و اسیدهای آلی که موجب محلول سازی فسفات و افزایش فسفات قابل جذب گیاه می شوند، موجب افزایش عملکرد و اجزاء عملکرد گیاه می شوند (۱، ۸، ۱۵ و ۲۲).

اجزاء عملکرد

از بین اجزاء عملکرد، تعداد ردیف دانه بطور معنی داری تحت تاثیر روش کوددهی قرار نگرفت ولی تعداد دانه در ردیف و وزن هزار دانه بطور معنی داری در تیمارهای $F_{100\%}$ و $F_{50\%+B}$ بیشتر از دو تیمار دیگر بود (جدول۲). کمترین مقدار این دو جزء عملکرد مربوط به‌تیمار کود بیولوژیک (B) بود. روش کاربرد کود بیولوژیک روی هیچ یک از اجزاء عملکرد تأثیر معنی داری نداشت (جدول ۲).

بررسی های مختلفی، افزایش اجزاء عملکرد را در نتیجه ی کاربرد کودهای بیولوژیک در تلفیق با کود شیمیایی نشان دادند. برای مثال، یزدانی و همکاران(۳۲) گزارش کردند که با کاربرد باکتری های محرک رشد (PGPR) و ریز جانوران حل کننده فسفات (PSM) به‌عنوان مکمل کودهای شیمیایی، وزن بلال، تعداد ردیف و تعداد دانه در ردیف و سرانجام عملکرد دانه ذرت را افزایش یافت. غلامی و همکاران (۳) و دهیلون و همکاران (۱۱) نیز افزایش وزن هزار دانه را در حضور کودهای بیولوژیک گزارش کردند. غلامی و بیاری (۴) گزارش کردند که تلقیح ذرت با کودهای شیمیایی و بیولوژیک موجب شد تا وزن هزار دانه به‌طور معنی داری تحت تاثیر قرار بگیرد.

شاخص برداشت

شاخص برداشت مقداری از بیوماس گیاه را که به‌دانه اختصاص می یابد، را نشان می دهد، بنابراین شاخصی از توانایی گیاه برای اختصاص منابع بین ساختار رویشی و زایشی است (۹). بالاترین میزان شاخص برداشت در تیمار کود شیمیایی کامل با مقدار۵۳/۹۱ و کمترین شاخص برداشت در تیمار کاربرد کود بیولوژیک به‌تنهایی با مقدار ۴۵/۳۴ بدست آمد (جدول۲). بین روش های مختلف کاربرد کود بیولوژیک از نظر شاخص برداشت اختلاف معنی داری مشاهده نشد (جدول ۲).

عملکرد بیولوژیک

مقایسات میانگین نشان می دهد که بیشترین مقدار عملکرد بیولوژیک در تیمار $F_{50\%+B}$ با مقدار ۲۳۲۲/۳ گرم در متر مربع بدست آمد که اختلاف معنی داری با دیگر تیمارها نشان داد (جدول ۲). نتایج همچنین نشان دادند که از نظر عملکرد بیولوژیک بین انواع روش کاربرد کود بیولوژیک اختلاف معنی داری وجود نداشت (جدول۲).

شاهرونا و همکاران (۲۳) تاثیر باکتری های سودموناس بر وزن کل خشک ذرت را مورد بررسی قرار دادند، در این تحقیق حضور این باکتری ها در کشت گلدانی باعث افزایش ۲۲/۵ درصدی وزن خشک بوته ذرت در مقایسه با شاهد شده است. آنها همچنین در شرایط مزرعه با کاربرد مقداری کود شیمیایی نیتروژن مشاهده کردند که تاثیر این باکتری ها به‌طور قابل توجهی افزایش یافته و در بهترین وضعیت، وزن خشک بوته ۵۸ درصد در مقایسه با شاهد بدون تلقیح و فاقد کود نیتروزن افزایش یافت که این نتایج همانند آزمایش حاضر اهمیت کودهای بیولوژیک در زمانی که به‌همراه کودهای شیمیایی به‌کاربرده می شوند را نشان می دهد

رجسوس و هورنبرگ (۲۰) گزارش دادند که این افزایش وزن کل گیاه در حضور کودهای بیولوژیک به‌واسطه افزایش جذب عناصر غذایی و در نتیجه رشد بهتر گیاه می باشد. زاید و همکاران (۳۰) همچنین گزارش دادند که این باکتری ها علاوه بر توانایی تثبیت نیتروژن به‌تولید مواد گوناگون تحریک کننده رشد نظیر ایندول استیک اسید، جیبرلین و ویتامین ها کمک می کنند. میرزا و همکاران (۱۶) گزارش دادند که کاربردکودهای بیولوژیک غیر از تثبیت نیتروژن مولکولی سبب تولید اکسین می شود که موجب افزایش تارهای کشنده و جذب مواد غذایی و در نتیجه افزایش عملکرد بیولوژیک گیاه می شود. تین و همکاران (۲۶) و چابوت و همکاران (۱۰) افزایش ۳۲ درصد و زهیر و همکاران (۲۹) افزایش ۱۸ درصدی وزن کل گیاه ذرت را در اثر تلقیح بذر با این باکتری را گزارش کردند. جاود و همکاران (۱۳) نیز افزایش ۶۸/۴ درصدی وزن خشک بخش های هوایی بوته ذرت در اثر کاربرد باکتری های محرک رشد را گزارش کردند.

جدول۲- تاثیر سطوح مختلف کود شیمیایی به‌همراه کود بیولوژیک بر روی عملکرد و اجزاء عملکرد ذرت

تیمار**	عملکرد (تن/هکتار)	تعداد ردیف در بلال	تعداد دانه در ردیف	وزن هزار دانه (گرم)	شاخص برداشت (درصد)	عملکرد بیولوژیک (گرم در متر مربع)
سطوح کود شیمیایی و بیولوژیک						
$F_{100\%}$	۱۰/۳۳۴a**	۱۳/۵۴a	۴۰a	۳۵۸/۶۶a	۵۹/۲۸a	۱۹۱۶/۸b
$F_{50\%+B}$	۱۰/۷۳۴a	۱۳/۶۸a	۴۰/۴۴a	۳۶۸/۷۶a	۴۶/۲۲a	۲۳۲۲/۳a
$F_{25\%+B}$	۸/۶۵۳b	۱۳/۵۴a	۳۷/۲۳b	۳۲۵/۳۲b	۴۷/۹۲a	۱۸۰۵/۷c
B	۵/۲۱۳c	۱۳/۴۴a	۳۲/۹۹c	۲۸۸/۵۷c	۴۵/۳۴b	۱۱۵۰/۸d
روش کاربرد						
S	۹/۳۱۶a	۱۳/۵۴a	۳۶/۹۷a	۳۱۴/۲۷a	۴۶/۱۳a	۱۷۸۱/۵a
I	۸/۹۱۱a	۱۳/۵۳a	۳۶/۸۳a	۳۲۳/۵۴a	۴۵/۲۲a	۱۷۲۷/۵a
S+I	۹/۳۹۱a	۱۳/۵۴a	۳۷/۵۸a	۳۲۶/۸۴a	۴۴/۱۷a	۱۸۷۷/۸a

$F_{100\%}$= ۱۰۰٪ کود شیمیایی + کود بیولوژیک، $F_{50\%+B}$= ۵۰٪ کود شیمیایی + کود بیولوژیک، $F_{25\%+B}$= ۲۵٪ کود شیمیایی + کود بیولوژیک، B= کود بیولوژیک
S= بذرمال، I= آبیاری، S+I= بذرمال + آبیاری

**در هر ستون، میانگین های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، تفاوت معنی دار ندارند.

خصوصیات شیمیایی خاک

کاربرد کودهای بیولوژیک به‌طور معنی داری در محتوی عناصر غذایی و برخی خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک تغییر ایجاد کرده است (جدول۳). در رابطه با نیتروژن، در ابتدای آزمایش کل نیتروژن خاک ۰/۱ درصد بود. حال اینکه بعد از کاربرد کودهای بیولوژیک(تثبیت کننده های نیتروژن و حل کننده فسفر)، محتوی نیتروژن کل ۰/۱، ۰/۱۳، ۰/۱۲ و ۰/۰۹۸ درصد به‌ترتیب برای تیمارهای $F_{100\%}$، $F_{50\%+B}$، $F_{25\%+B}$ و B بدست آمد. نتایج این آزمایش نشان داد که حضور باکتری ها اثرات معنی داری بر روی محتوای نیتروژن کل گذاشته که با تلفیق کودهای شیمیایی اثرات آنها بر روی عملکرد ذرت تشدید شد (۲۹).

جدول (۳) نشان می دهد که محتوی فسفر به‌طور معنی داری تحت تاثیر تیمارهای مختلف کودی قرار گرفت به‌طوری که تلفیق کودهای بیولوژیک با کودهای شیمیایی توانست مقدار فسفر قابل دسترس را به‌طور فزاینده ای افزایش بدهد. با اضافه شدن درصد کودهای شیمیایی مشاهده گردید که دسترسی فسفر قابل جذب به‌طور معنی داری افزایش پیدا کرده است. به‌طوری که بیشترین مقدار فسفر قابل جذب در تیمار $F_{50\%+B}$ که دارای بیشترین درصد کودهای شیمیایی در تلفیق با کودهای بیولوژیک است، بدست آمد.

حضور کودهای بیولوژیک به‌ویژه باکتری های حل کننده فسفات از طریق تولید اسید های آلی نقش مهمی در شکستن پیوند فسفر- کلسیم و افزایش دسترسی فسفر در خاک دارند (۲۱).

نتایج آزمون خاک نشان داد که pH خاک، به‌شکل معنی داری تحت تأثیر تیمارهای کاربرد کود بیولوژیک در مقایسه با شاهد کاهش پیدا کرده است. کاهش pH در تیمارهای کود بیولوژیک می تواند به‌دلیل تولید انواع مختلف اسید های آلی باشد که بوسیله عده زیادی از محققین در مطالعات قبلی گزارش شده است. ساندرا و همکاران (۲۱) و پاریک و همکاران (۱۹) گزارش دادند که کودهای بیولوژیک به‌ویژه باکتری های حل کننده فسفات pH خاک را از طریق تولید انواع اسیدهای آلی از قبیل اسید سیتریک، اسید گلوتامیک، اسید لاکتیک، اسید اگزالیک، اسید گلیواگزالیک، اسید مالیک، اسید فومریک، اسید تارتاریک و اسید α-کتوبوتاریک کاهش می دهند. کاهش pH خاک در اثر کاربرد کودهای بیولوژیک بیانگر این واقعیت است که اسیدی شدن خاک بوسیله تولید اسیدهای آلی و افزایش ماده آلی خاک (جدول۳) ممکن است علت اصلی دسترسی بیشتر عناصری از قبیل فسفر و پتاسیم باشد (۲۵).

کوسی و همکاران (۱۴) هم افزایش سطوح فسفر قابل دسترس خاک در اثر تلقیح با کودهای بیولوژیک را گزارش کردند که نهایت سبب افزایش سطح ریشه، ساقه و در نتیجه عملکرد محصولات شد. ساندارا و همکاران (۲۱) گزارش دادند که تلفیق باکتری های حل کننده فسفات و کودهای شیمیایی در مقایسه با کاربرد کودهای شیمیایی به‌تنهایی ضمن افزایش ۱۲/۶ درصد عملکرد نیشکر، توانست ۵۰ درصد مصرف سوپر فسفات تریپل را از طریق کاربرد سنگ فسفات (و ۲۵ درصد بدون کاربرد سنگ فسفات) جبران بکند و حتی با کاهش ۷۵ درصد سوپر فسفات کاهش معنی داری در عملکرد مشاهده نگردید. تلفیق کودهای شیمیایی فسفره و بیولوژیک در لوبیا چشم بلبلی توانست ۲۶ درصد فسفر قابل جذب را در مقایسه با کاربرد کودهای شیمیایی فسفره و نیز ۸ برابر نسبت به‌تیمار شاهد افزایش داد (۲۵). در همین راستا آپانا (۵) ضمن تلقیح سورگوم با باکتری های حل کننده فسفات به‌تنهایی یا با سنگ فسفات مشاهده کرد که محتوی و جذب فسفر در مقایسه با کاربرد سنگ فسفات به‌تنهایی افزایش معنی داری پیدا کرده است.

کاربرد کودهای بیولوژیک به‌طور معنی داری بر روی محتوی پتاسیم قابل دسترس تغییر ایجاد کرد به‌طوری که، مقدار پتاسیم قابل جذب ۳۴۴/۴۴، ۳۸۰/۶۶ و ppm ۳۴۱/۶۶ به‌ترتیب برای تیمارهای $F_{25\%+B}$، $F_{50\%+B}$ و B بدست آمد حال آنکه در تیمار شاهد این مقدار فقط ppm ۳۲۴/۳۱ بود.

جدول۳- اثرات کاربرد کودهای بیولوژیک و شیمیایی بر روی دسترسی برخی عناصر غذایی و برخی خصوصیات شیمیایی خاک

تیمارها	هدایت الکتریکی ($dS\ m^{-1}$)	اسیدیته pH	کربن آلی (٪)	نیتروژن کل (٪)	فسفر (ppm)	پتاسیم (ppm)
$F_{100\%}$	۳/۱۶b**	۷/۶۳a	۱/۰۳b	۰/۱b	۱۰d	۳۲۴/۳۱c
$F_{50\%+B}$	۳/۱۷b	۷/۵۰b	۱/۲۱a	۰/۱۲a	۱۶/۳۳b	۳۴۴/۴۴b
$F_{25\%+B}$	۳/۳۹a	۷/۵۰b	۱/۲۴a	۰/۱۳a	۱۹/۵۶a	۳۸۰/۶۶a
B	۳/۳b	۷/۴b	۰/۹۵b	۰/۰۹۸b	۱۳c	۳۴۱/۶۶b

$F_{100\%}$= ۱۰۰٪ کود شیمیایی + کود بیولوژیک، $F_{50\%+B}$= ۵۰٪ کود شیمیایی + کود بیولوژیک، $F_{25\%+B}$= ۲۵٪ کود شیمیایی + کود بیولوژیک، B= کود بیولوژیک

**در هر ستون، میانگین های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، تفاوت معنی دار ندارند.

افزایش اسیدیته خاک و عدم تثبیت کود پتاسیم مورد استفاده در حضور کودهای بیولوژیک می تواند از دلایل مهم افزایش دسترسی این عنصر در خاک آزمایش مورد مطالعه باشد. هان و لی (۲۰۰۵)، بیان کردند که کاربرد باکتری های محرک رشد در تلفیق با کودهای شیمیایی باعث افزایش ۲۵ درصد فسفر و ۱۵ درصد پتاسیم شدند. افزایش دسترسی پتاسیم و فسفر در اثر کاربرد باکتری های محرک رشد توسط برخی پژوهشگران دیگر هم گزارش شده است (۱۵ و ۲۲).

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که کاربرد کودهای بیولوژیک در شرایط خوزستان می توانند با کاهش ۵۰٪ مصرف کودهای شیمیایی، نه تنها باعث افزایش سود کشاورز شوند بلکه اثرات مخرب این نهاده ها بر محیط زیست را هم کم کنند. همچنین در کاربرد فقط ۲۵ درصد کود شیمیایی به‌همراه کود بیولوژیک، عملکرد در مقایسه با تیمار شاهد فقط ۱۶ درصد کاهش یافت که در صورت محاسبات کلیه هزینه های (اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی) مصرف ۲۵ درصد کود شیمیایی+ کود بیولوژیک هم به‌احتمال زیاد مقرون به‌صرفه خواهد بود.

این نتایج مشخص می کند که کودهای بیولوژیک به‌تنهایی نمی توانند جایگزین کودهای شیمیایی بشوند به‌طوری که سایر محققان نیز به‌این مسئله اذعان کردند که کودهای بیولوژیک در برخی موارد به‌عنوان جایگزین و در اکثر موارد به‌شکل مکمل می توانند تضمین کننده پایداری سیستم های کشاورزی باشند.

سپاسگزاری

از موسسه تحقیقات آب و خاک، به‌ویژه جناب آقای دکتر احمد اصغرزاده، برای تامین کودهای بیولوژیک مورد استفاده در این آزمایش و از همکاری دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر، به‌ویژه جناب آقای دکتر لرزاده، رئیس دانشکده کشاورزی، تشکر و قدردانی می‌شود. نویسندگان از داوران ارجمندی که نظرات ارزشمندی را در بررسی نسخهٔ اولیهٔ مقاله ارائه کردند، صمیمانه سپاسگزاری می‌کنند.

منابع

۱- توحیدی مقدم، ح.، م. نصیری، ح. زاهدی، ف. پاک نژاد و ر. رنجبرزاده. ۱۳۸۶. کاربرد کودهای بیولوژیک راهکاری به‌منظور کاهش مصرف کودهای شیمیایی در زراعت سویا. دومین همایش ملی کشاورزی بوم شناختی ایران. ۲۵-۲۶ مهرماه. گرگان. دانشگاه گرگان. صفحه ۱۴۳۴ - ۱۴۲۳.

۲- کریمیان، ن. ۱۳۷۷. پیامدهای زیاده روی در مصرف کودهای شیمیایی فسفری. نشریهٔ علمی پژوهشی خاک و آب، جلد ۱۲، شمارهٔ ۴. موسسه تحقیقات خاک و آب.

۳- غلامی، ا.، ع، کوچکی، د، مظاهری و ا، قلاوند. ۱۳۷۸. ارزیابی اثر گونه های مختلف قارچ مایکوریزا از نوع وسیکولار آرباسکولار (VAM) بر خصوصیات رشد ذرت. مجله علوم زراعی ایران. جلد۱. شماره ۳. صفحه ۴۷-۴۵.

۴- غلامی، ا.، و آ، بیاری. ۱۳۸۶. بررسی تاثیر پرایمینگ بذر توسط سویه‌های ازتوباکتر و آزوسپریلیوم به‌خصوصیات رشد، عملکرد و اجزاء عملکرد ذرت. دومین همایش ملی کشاورزی بوم شناختی ایران. ۲۵-۲۶ مهرماه. گرگان. دانشگاه گرگان. صفحه ۳۴۹ -۳۳۸.

5- 5-Appanna V. 2007. Efficacy of phosphate solubilizing bacteria isolated from vertisols on growth and yield parameters of sorghum. Research Journal of Microbiology. 2(7):550-559.

6- Biari A., A., Gholami and H. A.Rahmani. 2008. Growth promotion and enhanced nutrient uptake of maize by application of plant growth promoting rhizobacteria in arid region of Iran. Journal of Biological Sciences. 8(6):1015-1020.

7- Biswas Bhattacharjee R., A. Singh, S. N. Mukhopadhyay. 2008. Use of nitrogen-fixing bacteria as biofertilizer for non-legumes: Prospects and Challenges. Appl Microbio Biotechnol. 80:199-209.

8- Boddey R.M. and J. Dobereiner. 1988. Nitrogen fixation association with grasses and cereals: Recent results and perspective for future research. Plant and Soil. 108:53-65.

9- Carruthers K., B., Prithiviraj, F.D., Cloutier Q., R. C., Martin and D.L. Smith. 2000. Intercropping corn with soybean, lupin and forages: yield component responses. Journal of Agronomy. 12: (2): 103-115.

10- Chabot R., H., Anton and M.P. Cescas. 1993. Stimulation of the growth of maize and lettuce by inorganic phosphorus-solubilizing micro-organism. Canadian Journal of Microbiology. 39: 941-947.

11- Dhillon G., G.S., Kler, A.S., V.P.S. Walia Chahal. 1980. Effect of *Azotobacter chroococcum* and seed size on growth and yield of maize. Indian Journal of Agronomy. 25: 244-2490.

12- Han H.S and K.D. Lee. 2005. Phosphate and potassium solubilizing bacteria effect on mineral uptake, soil

availability and growth of eggplant. Research Journal of Agriculture and biological Sciences. 1(2): 176-180.
13- Javed M., M., Arshad K. Ali. 1998. Evaluation of rhizobacteria for their growth promoting activity in maize. Pakistan Journal of Soil Science. 14: 36-42.
14- Kucey R.M.N., H.H., Janzen and M.E. Leggett 1989. Microbial mediated increases in plant available phosphorus. Pakistan Journal of Agronomy Science. 42: 199-225.
15- Lin Q.M., Z.H., Rao, Y.X., Sun, J., Yao and L.J. Xing., 2002. Identification and practical application of silicate-dissolving bacteria. Agriculture Science in China. 1: 81-85.
16- Mirza MS., G., Rasul, S., Mehnaz, J.K., Ladha, S., Ali, and K.A. Malik. 2000. Beneficial effects of inoculated nitrogen-fixing bacteria on rice. In: Ladha JK, Reddy PM. The quest for nitrogen fixation in rice. International Rice Research Institute, Los Ba_os, Philippines, pp. 191–204.
17- Oliverira A., EL., de Canuto, S., Urquiaga, VM., Reis, JI. Baldani, 2006. Yield of micropropagated sugarcane varieties in different soil types following inoculation with diazotrophic bacteria. Plant Soil. 284: 23-32.
18- Orhan E., A., Esitken, S., Ercisli, M., Turan, F. Sahin. 2006. Effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield, growth and nutrient contents in organically growing raspberry . Science Horticulture. 111: 38-43.
19- Pareek R.P., and A.C. Gaur. 1973. Release of phosphate from tricalcium phosphates by organic acids. Chemical Science in Egypt. 42: 278-279.
20- Rejesus RM., and R.H. Hornbaker. 1999. Economic and environmental evaluation of alternative pollution-reducing nitrogen management practices in central IIIinois. Agriculture Ecosystem Environment. 75: 41-53.
21- Sandra B., V., Natarajan, K. Hari. 2002. Influence of phosphorus solubilizing bacteria on the changes in soil available phosphorus and sugarcane sugar yields. Field Crops Research. 77: 43-49.
22- Schilling G., A., Gransee, A., Deuble, G., Lezovic, S. Ruppel. 1998. Phosphorus availability, root exudates, and microbial activity in the rhizosphere. Z. Pflanzenernahr. Bodenkd. 161: 465-478.
23- Shaharoona B., M., Arshad, A.Z., A. Zahir Khalid. 2006. Performance of *Pseudomonas* spp. containing ACC-deaminase for improving growth and yield of maize (*Zea mays* L.) in the presence of nitrogenous fertilizer. Soil Biology Biochemistry. 38: 2971–2975.
24- Sharma A.K. 2003. Biofertilizers for sustainable agriculture. Agrobiology, India.
25- Stamford N.P., C.E.R.S., Santos Silvia, S., Junior, M.A., Lira Junior and M.V.B. Figueiredo. 2008. Effect of rhizobia and rock biofertilizers with *Acidithiobacillus* on cowpea nodulation and nutrients uptake in a tableland soil. World Journal Microbial Biotechnology. 24: 1857-1865.
26- Tien T.M., M.H., Gaskins, and D.H. hubel. 1977. Plant growth substances produced by *Azospirillum brasilense* and their effect on the growth of pearl millet. Appl. Environ. Microbial. 37: 1016-1024.
27- Vessy K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. Plant and Soil. 255: 571-586.
28- Zahir A.Z., M., Arshad and W.F. Frankenberger 2004. Plant growth promoting rhizobacteria: Application and perspectives in agriculture. Advances Agronomy. 81:97-168.
29- Zahir A.Z., M., Arshad, A. Khalid. 1998. Improving maize yield by inoculation with plant growth promoting rhizobacteria. Pakistan Journal of Soil Science. 15: 7-11.
30- Zaied K.A., A., El-Hady, A.H., Afify, H., Aida and M.A. Nassef. 2003. Yield and nitrogen assimilation of winter wheat inoculated with new recombinant inoculants of rhizobacteria. Pakistan Journal of Biological Sciences. 6 (4): 344-358.
31- Yasari E. 2007. Effect of Aztobacter and Azospirillum inoculations and chemical fertilizers on growth and productivity of canola. Asian Journal Plant Science 6(1): 77-82.
32- Yazdani M., M.A., Bahmanyar, H., Pirdashti, M.A. Esmaili. 2009. Effect of phosphate solubilization microorganisms and plant growth promoting rhizobacteria on yield and yield components of corn. International Journal of Biological and Life Sciences. 1: 2.