

اثر بخشی دو نوع کود زیست فسفوری در زراعت ذرت

عبدالحسین ضیائی^{1*}، سعید سلیم پور، محسن سیلسیپور، حسین صفاری و نصراله بصیرانی

عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس؛ ziaecian@yahoo.com

عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی صفا آباد دزفول؛ salimpourir@yahoo.com

عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی ورامین؛ seilsepour2001@yahoo.com

عضو هیأت علمی بخش تحقیقات خاک و آب کرج؛ Hosaffary@yahoo.com

عضو هیأت علمی دانشگاه زابل؛ N-Bssirani@yahoo.com

چکیده

به منظور ارزیابی اثرات ریز جانداران حل کننده فسفر، مطالعه اثر بخشی کودهای زیستی و مقایسه آن‌ها با کودهای شیمیایی در زراعت ذرت در کشور، یک آزمایش مزرعه‌ای سه ساله در مزارع ذرت کاری فارس، خوزستان (دزفول)، ورامین و کرج اجرا شد. در هر منطقه آزمایشی با چهار تیمار در سه تکرار در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا گردید. تیمارهای آزمایش عبارت بودند از (1) تیمار شاهد بدون مصرف کود فسفره، (2) مصرف فسفر از منبع کود فسفاته میکروبی، (3) مصرف فسفر از منبع کود بیو فسفات پلائی و (4) مصرف فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل. مصرف کودها بر اساس آزمون خاک بود. چون در کودهای زیستی ماده آلی، گوگرد و روی به کار رفته بود، مقدار محاسبه شده عناصر اضافی آن‌ها در دیگر تیمارها نیز منظور گردید. نتایج نشان داد که کاربرد فسفر اثر معنی‌داری و مثبتی بر عملکرد ذرت داشت. در تمام مناطق مورد مطالعه کاربرد کود سوپر فسفات تریپل مؤثرتر از بقیه منابع بود. کود فسفاته میکروبی نیز اثراتی در حد سوپر فسفات تریپل داشت و بعد از این کود قرار گرفت. گرچه کود بیو فسفات پلائی در ورامین و دزفول اثر مثبت و معنی‌داری بر عملکرد دانه داشتند اما در مجموع تفاوت آماری معنی‌داری بین شاهد و کاربرد بیو فسفات پلائی مشاهده نشد. در مجموع می‌توان کاربرد کود فسفاته میکروبی به جای کود سوپر فسفات تریپل را در زراعت ذرت توصیه نمود اما برای توصیه بیو فسفات پلائی در این زراعت به تحقیقات بیشتری نیاز است.

واژه‌های و کلیدی: فسفر، کود فسفاته شیمیایی، کود فسفاته زیستی، ذرت

مقدمه

بی‌رویه کودهای شیمیایی، کاربرد کودهای زیستی اهمیت روزافزونی پیدا نموده است. امروزه ریز جانداران حل کننده فسفات در سطح وسیع به عنوان کود زیستی و به منظور افزایش تولید و حفظ سلامت خاک استفاده می‌شوند. مطالعات زیادی بر روی امکان استفاده از کودهای زیستی حل کننده فسفات بر روی محصولات متعدد به عمل آمده است (مهورترا،

مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی فسفاته، گذشته از هزینه‌های ارزی گراف برای خرید کود از خارج از کشور، اثرات زیانباری از جمله مسمومیت فسفوری ناشی از جذب بیش از حد فسفر مصرفی و بالا رفتن غلظت آن در بافت‌های گیاهی و به هم خوردن تعادل عناصر غذایی و نهایتاً کاهش عملکرد را به دنبال دارد (خاوازی و ملکوتی، 1380). با توجه به مشکلات ناشی از مصرف

¹ نویسنده مسئول، آدرس: مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس، صندوق پستی 617-71555، شیراز، ایران.

* دریافت: مهر 1390 و پذیرش: آبان 1391

Aspergillus niger بود. نور قلی پور (1379) طی تحقیق گلدانی خود به این نتیجه رسید که مصرف حاکی فسفات همراه با گوگرد و باکتری تیوباسیلوس و باکترهای حل-کننده فسفات از نظر عملکرد و جذب فسفر تفاوت آماری معنی داری با مصرف فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل ندارد. هر چند تحقیقات گسترده‌ای که در سطح جهان در زمینه استفاده از کودهای زیستی فسفاتی انجام شده است، حاکی از مثبت بودن اثرات مصرف کودهای زیستی است اما اغلب آیین آزمایشات در مزارعی انجام شده است که خاک آن‌ها اسیدی بوده است و تحقیقات کمتری در این رابطه در خاک‌های آهکی انجام شده است. علاوه بر این تحقیقات داخلی انجام شده نیز عمدتاً به صورت گلدانی و در گلخانه انجام شده است و هنوز در مورد استفاده از این کودها و جایگزینی آنها با کودهای شیمیایی در شرایط مزرعه‌ای با خاک‌های آهکی سئوالاتی مطرح است که پاسخگویی به آنها نیازمند تحقیقات بیشتری می‌باشد. این تحقیق به منظور پاسخگویی به بخشی از سئوالات موجود در زمینه امکان یا عدم امکان استفاده از کودهای زیستی در خاک‌های آهکی زیر کشت ذرت در کشور طراحی و اجرا گردید.

روش کامل اجرای تحقیق

به منظور ارزیابی مزرعه‌ای ریزجانداران حل‌کننده فسفر و مقایسه اثرات آنها با کودهای شیمیایی بر تولید ذرت، تحقیقی در چهار منطقه ذرت کاری فارس، دزفول، ورامین و کرج با چهار تیمار در سه تکرار جمعاً 12 کرت در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجراء شد. در هر منطقه تیمارهای آزمایش عبارت بودند از:

1. تیمار شاهد بدون مصرف فسفر
2. مصرف فسفر از منبع کود زیستی فسفاته میکروبی براساس آزمون خاک
3. مصرف فسفر از منبع کود زیستی بیوفسفات طلایی بر اساس آزمون خاک
4. مصرف فسفر از منبع کود شیمیایی سوپر فسفات تریپل بر اساس آزمون خاک

کود فسفاته میکروبی و کود بیوفسفات طلایی محتوی روی دو کود زیستی حاوی فسفر می‌باشند. کود فسفاته میکروبی از مخلوط کردن 15 کیلوگرم خاک فسفات (60%) + 5 کیلوگرم گوگرد پودری (20%) + 4 کیلوگرم ماده آلی (16%) + 1 کیلوگرم سولفات روی (4%) و یک بسته نیم کیلویی باکتری تیوباسیلوس تولید می‌گردد. این کود محتوی 23 درصد P_2O_5 و حاوی حداقل 10^5 میکروب حل‌کننده فسفات میکروب حل‌کننده فسفات از نوع *Bacillus coagulans* در هر گرم

2005؛ تورک و همکاران، 2006؛ سلیم پور و همکاران، 1389؛ افتخاری و همکاران، 1388؛ علی مددی و همکاران، 1389 و خاصه سیرجانی، 1390). پژوهش‌های انجام شده نشان داده است که تغییرات صورت گرفته در کودهای فسفاتی زیستی از جمله وجود میکروب‌های حل‌کننده فسفات سبب کاهش اثرات سوء کودهای شیمیایی و حفظ محیط زیست می‌گردد (خان و همکاران، 2007). نتایج تحقیقات زیدی و خان (2006) و گال و همکاران (2004) نیز حاکی است که ریزجانداران حل‌کننده فسفات، با حل کردن فسفر تثبیت شده در خاک موجب بهبود رشد و افزایش عملکرد گیاه می‌شوند. نتایج تحقیقات رودرش و همکاران (2005) نیز نشان داده است که استفاده از ریز جانداران حل‌کننده فسفات باعث بالا رفتن قدرت جوانه زنی، جذب عناصر غذایی، و افزایش ارتفاع گیاه می‌گردد. نتایج تحقیقات علی مددی و همکاران (2010) نیز حاکی است که ریزجانداران حل‌کننده فسفات در بیشتر موارد تأثیری مثبت بر تثبیت نیتروژن دارند. بر اساس پژوهش‌های انجام شده، از بین ریزجانداران حل‌کننده فسفات، قارچ‌ها از توان بالایی در مقایسه با باکتری‌ها برخوردارند. از میان پنی سیلیوم‌ها، *P. bilagi* بر روی گندم، لوبیا و کلزا تأثیر مثبت داشته است و موجب افزایش عملکرد محصول شده است (کیوسی و لگت، 1989). نتایج تحقیقات سولیشیش (1999) در خصوص مصرف میکروارگانسیم‌های حل‌کننده فسفات در زراعت سویا نشان داده است که تلقیح خاک با این میکروارگانسیم‌ها باعث آزاد سازی فسفر و رشد بهتر گیاه در مقایسه با تیمار شاهد می‌شود. افتخاری و همکاران (1389) نیز اثر باکتری‌های حل‌کننده فسفات و کودهای فسفاتی را بر رشد برنج تحقیق نمودند و نتیجه‌گیری نمودند که بیشترین مقدار ماده خشک گیاهی از کاربرد سوپر فسفات تریپل به دست آمد اما بیشترین مقدار ماده خشک ریشه و نسبت ریشه به ساقه از کاربرد توأم سنگ فسفات و باکتری‌های حل‌کننده فسفات حاصل شده بود. سیلسپور و بانیانی (1379) گزارش کردند که با مصرف کود فسفاته میکروبی در زراعت پنبه می‌توان حداقل 50 درصد در مصرف کودهای فسفاته صرفه جویی نمود. مضافاً که تفاوت آماری معنی‌داری از نظر محصول بین مصرف کود فسفاته میکروبی با کودهای شیمیایی فسفاته ملاحظه نشد. این در حالی بود که بازده زراعی کود فسفاته میکروبی تقریباً دو برابر بازده زراعی کودهای شیمیایی فسفاته بود. کود میکروبی مورد استفاده در این پژوهش مخلوطی از قارچ‌های حل‌کننده فسفات شامل *P. bilagi*، *P. digitatum*، *P. Lilacium* و

نتایج

نتایج تجزیه خاک

براساس نتایج به دست آمده و مقایسه آن‌ها با استانداردهای موجود (ضیائی‌ان و ملکوتی، 1382)، خاک‌های مورد نظر بدون شوری با کربن آلی کم، درصد مواد خنثی شونده متوسط تا بالا، فسفر کم و پتاسیم متوسط بود. خاک‌های مزارع مورد مطالعه از نظر عناصر کم مصرف متوسط بودند (جدول یک).

تأثیر تیمارهای کودی بر پاسخ‌های گیاهی

میانگین نتایج فارس

نتایج سه ساله فارس نشان داد که تیمارهای مختلف تأثیر معنی‌داری بر افزایش عملکرد کل و دانه داشتند. اما با افزایش عملکرد در اثر کاربرد فسفر از منابع مختلف، غلظت فسفر در اندام‌های هوایی کاهش یافت. این امر را می‌توان به دلیل اثرات رقت (dilution effects) دانست. کاهش غلظت فسفر در اثر مصرف این عنصر از منابع مختلف، اثرات فسفر بر افزایش عملکرد را تعدیل نمود که این امر در نهایت منجر به معنی‌دار نشدن اثرات فسفر بر جذب کل این عنصر توسط گیاه گردید.

در مجموع نتایج فارس نشان داد که کود بیو فسفات‌های تلایی تأثیر ناچیزی بر تولید ذرت دانه‌ای در این منطقه دارد و به دلیل تفاوت آماری معنی‌دار با کود سوپر فسفات‌های تریپل نمی‌توان آن را به جای این کود توصیه نمود. اما علی‌رغم عدم تفاوت معنی‌دار بین کود فسفات‌های میکروبی و شاهد، با توجه به اختلاف عملکردی حدود یک تن در هکتار با شاهد و به دلیل هم‌گروه بودن با کود سوپر فسفات‌های تریپل، از لحاظ آماری، می‌توان از کود فسفات‌های میکروبی به منظور تأمین فسفر مورد به جای کود شیمیایی استفاده نمود.

میانگین تأثیر تیمارهای کودی بر پاسخ‌های گیاهی در

دزفول

نتایج تجزیه واریانس مرکب در دزفول نشان داد که از لحاظ آماری بین تیمارهای آزمایشی از نظر عملکرد دانه، وزن هزار دانه و طول بلال اختلاف معنی‌داری در سطح 1% وجود داشت اما تفاوت بین تیمارها از لحاظ میزان پروتئین دانه و قطر بلال معنی‌دار نبود. عدم معنی‌دار بودن پروتئین دانه‌ها می‌تواند ناشی از کاربرد سطوح یکسان نیتروژن در آزمایش باشد. در مجموع نتایج دزفول نیز نشان داد که با توجه به این که از لحاظ آماری کود بیو فسفات‌های تلایی با کود فسفات‌های میکروبی و کود سوپر فسفات‌های تریپل در دو گروه آماری قرار داشتند در این منطقه نمی‌توان از کود بیو فسفات‌های تلایی به جای کود سوپر فسفات‌های تریپل به منظور تأمین فسفر مورد نیاز ذرت

کود می‌باشد. کود بیو فسفات‌های تلایی نیز از دیگر کودهای زیستی است که هر کیسه 25 کیلوگرمی آن حاوی 15 کیلوگرم خاک فسفات تغلیظ شده تولید داخل همراه با 5 کیلوگرم گوگرد پودری، 4 کیلوگرم ماده آلی، یک کیلوگرم سولفات روی و یک بسته نیم کیلوگرمی تیوباسیلوس است (ملکوتی و نفیسی، 2001). قبل از اجرای آزمایش در هر منطقه، از مزارع مورد آزمایش، نمونه خاک مرکب تهیه شد. در نمونه‌های خاک بافت به روش هیدرومتری (جی و بادر، 1986)، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی کردن با اسید کلریدریک (لوپرت و سوارز، 1996)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع با هدایت سنج الکتریکی (روادس، 1996)، فسفر قابل استفاده با روش واتناب و اولسن (1965)، واکنش خاک (پ هاش) در خمیر اشباع به وسیله الکتروود شیشه‌ای (توماس، 1996)، غلظت عناصر کم مصرف به روش دی تی پی ا (لیندسی و نورول، 1978)، ماده آلی به روش اکسایش مرطوب (نلسون و سومرس، 1996)، نیتروژن کل به روش کلدال (برمنر، 1996)، و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک به روش جانشینی کاتیون‌ها با استات سدیم (سامر و میلر، 1996) تعیین گردید. بر اساس نتایج تجزیه خاک، مقدار کودهای مورد نیاز تعیین گردید (ضیائی‌ان و ملکوتی، 1382). با توجه به وجود گوگرد، روی و مواد آلی در کودهای زیستی فسفات‌های میکروبی و سوپر فسفات‌های تلایی، مقدار این عناصر با توجه به مقدار کود مصرفی محاسبه و در سایر تیمارها اعمال شد. در هر سه سال به جز نیتروژن، بقیه کودهای مورد نیاز هم‌زمان با آماده سازی زمین مصرف گردید. کود نیتروژنی مورد نیاز از منبع اوره و به صورت تقسیط در سه نوبت (1/3 زمان کاشت، 1/3 مرحله 3 تا 4 برگی (مرحله V3-V4) و 1/3 در مرحله 8 تا 10 برگی (مرحله V8-V10) مصرف گردید. بذر مصرفی رقم 704 و مساحت هر کرت 24 متر مربع شامل 4 پشته به فاصله 75 سانتیمتر و طول 8 متر بود. در بین تیمارها نیز یک پشته به صورت نکاشت باقی ماند. فاصله بین دو تکرار نیز 3 متر انتخاب گردید. قبل از ظهور گل ابریشمی از برگ‌های اول و دوم کلیه تیمارها نمونه برگ تهیه و بر اساس روش‌های موجود (امامی، 1375) تجزیه شدند. در نهایت عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، عملکرد ماده خشک، وزن هزار دانه و خصوصیات کیفی دانه و اندام-های هوایی تعیین و مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند. کارایی زراعی تیمارهای مختلف نیز از رابطه زیر محاسبه گردید:

عملکرد قطعه‌ای که کود دریافت نکرده است -

کارایی زراعی = $\frac{\text{عملکرد قطعه ای که کود مصرف کرده است}}{\text{مقدار کود مصرف شده}}$

مقدار کود مصرف شده

استفاده نمود اما با توجه به قرار گرفتن دو کود فسفات میکروبی و سوپر فسفات تریپل در یک گروه آماری و تفاوت معنی دار آن‌ها با شاهد، می‌توان در شرایط مشابه از هر دو کود در زراعت ذرت به منظور تأمین فسفر مورد نیاز استفاده نمود.

میانگین تأثیر تیمارهای کودی بر پاسخ‌های گیاهی در ورامین

میانگین نتایج ورامین نشان داد که کاربرد فسفر چه به صورت شیمیایی و چه به صورت زیستی تأثیر معنی داری بر تولید ذرت دارد به طوری که تیمارهایی که کود دریافت کرده بودند در گروه a و تیمار شاهد در گروه b قرار داشت. به عبارت دیگر در ورامین کودهای زیستی فسفره مثل کود میکروبی فسفات یا کود بیو فسفات طلائی به راحتی قابل رقابت با کودهای شیمیایی فسفره (سوپر فسفات تریپل) می‌باشند و می‌توانند جایگزین کودهای شیمیایی در این زراعت شوند.

میانگین تأثیر تیمارهای کودی بر پاسخ‌های گیاهی در کرج

به طور کلی با بررسی نتایج کرج می‌توان گفت که برترین تیمار از نظر عملکرد دانه، قطر بلال، طول بلال و درصد کچلی بلال، از کاربرد کود فسفات میکروبی و از نظر میزان فسفر برگ و وزن هزار دانه از کاربرد کود بیو فسفات طلائی و از نظر تأثیر بر میزان فسفر خاک از کاربرد کود سوپرفسفات تریپل بود. اما در جمع‌بندی کلی می‌توان کاربرد سوپرفسفات تریپل، پس از آن تیمارهای فسفات میکروبی و در نهایت بیو فسفات طلائی را در زراعت ذرت و در شرایط مشابه توصیه می‌گردد.

جمع‌بندی و تفسیر نتایج

از بین پارامترهای مورد مطالعه در مناطق مختلف، میانگین نتایج تأثیر تیمارهای مختلف بر عملکرد دانه مجدداً تجزیه و تحلیل آماری شد که نتایج آن در جدول زیر نشان داده شده است:

داده‌های جدول 13 نشان می‌دهد که در هر چهار منطقه مورد آزمایش، کاربرد کود سوپر فسفات تریپل در مقایسه با سه منبع کودی دیگر کارآمدتر بود. کود میکروبی فسفات نیز بعد از سوپر فسفات تریپل قرار داشت و در هر چهار منطقه با این کود در یک گروه آماری قرار داشتند. در سه منطقه از چهار منطقه کود فسفات میکروبی اختلاف آماری معنی‌داری با شاهد داشت. از طرف دیگر از لحاظ آماری، کود بیو فسفات طلائی در دو منطقه از چهار منطقه با شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت. هر چند این کود در فارس عملکردی حدود شاهد داشت اما در منطقه‌ای مانند ورامین تأثیر

چشمگیری بر افزایش عملکرد دانه داشت. نتایج متناقض به دست آمده از اجرای آزمایش در نقاط مختلف حائز اهمیت است. بنظر می‌رسد تفاوت در خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها در مناطق مختلف بتواند بخشی از این نتایج را توجیه نماید. نتایج تجزیه خاک مناطق مختلف نشان داد که در ورامین که خاک مزرعه مورد آزمایش بافت سنگین‌تری داشت هر دو کود زیستی اختلاف معنی‌داری با شاهد داشتند اما با سبک‌تر شدن بافت اثرات کود زیستی بیو فسفات طلائی کاهش یافت به طوری که در فارس و دزفول که سبک‌ترین بافت را داشتند، کود بیو فسفات طلائی نتوانست اختلاف عملکرد آماری با شاهد به دست آورد. بنظر می‌رسد کارایی کودهای زیستی و بخصوص بیو فسفات طلائی در خاک‌های سنگین‌تر بیشتر باشد. به همین منظور کارایی زراعی کودهای مختلف در مناطق مختلف محاسبه گردید. چون در هر چهار منطقه مورد مطالعه به طور میانگین 70 کیلو گرم در هکتار P_2O_5 مصرف شده بود، کارایی زراعی تیمارهای مختلف بر مبنای همین مقدار محاسبه و در جدول زیر نشان داده شده است:

بر اساس نتایج جدول فوق کارایی زراعی در هر چهار منطقه به ترتیب مربوط به کاربرد کود سوپر فسفات تریپل، کود زیستی فسفات میکروبی و در نهایت کود بیو فسفات طلائی بود. نتایج این جدول نیز نشان می‌دهد که کارایی کودهای زیستی و بخصوص بیو فسفات طلائی در خاک‌های سنگین‌تر بیشتر است. نزدیکی ارقام مربوط به کارایی زراعی ناشی از کاربرد کود سوپر فسفات تریپل و کود فسفات میکروبی نیز دال بر رقابت نزدیک کود زیستی فسفات میکروبی با کود شیمیایی سوپر فسفات طلائی در زراعت ذرت است. این نتایج با تحقیقات سیلسپور و بانیانی (1379)، سولیاسی (1999) و کیانی راد (1374) مطابقت دارد. سیلسپور و بانیانی (1379) گزارش کردند که بازده زراعی کود فسفره میکروبی تقریباً دو برابر بازده زراعی کودهای شیمیایی فسفره است علاوه بر این با مصرف کود فسفات میکروبی در زراعت پنبه می‌توان حداقل 50 درصد در مصرف کودهای فسفره صرفه جویی نمود. این در حالی بود که نور قلی پور (1379) طی تحقیق گلدانی خود به این نتیجه رسید که مصرف خاکی فسفات همراه با گوگرد و باکتری تیوباسیلوس و باکترهای حل‌کننده فسفات از نظر عملکرد و جذب فسفر تفاوت آماری معنی‌داری با مصرف فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل ندارد. نتایج نامبرده موید آن است که امکان جایگزینی سوپر فسفات تریپل با خاک فسفات تلقیح شده با اکسید کننده‌های گوگرد و باکتری‌های حل‌کننده فسفات

همکاران (2000) کودهای زیستی فسفره می‌توانند قابلیت جذب فسفر را بالا برده و از طریق افزایش کارایی تثبیت زیستی نیتروژن، دسترسی به عناصر غذایی و تولید هورمون‌های رشد میزان رشد و نمو گیاهی را افزایش دهند. نتایج تحقیقات علی مددی و همکاران (2010) نیز حاکی است که ریزجانداران حل‌کننده فسفات در بیشتر موارد تأثیر مثبتی بر تثبیت نیتروژن دارند. آن‌ها اثر مثبت این ریزجانداران را فراهمی بیشتر عناصر غذایی و ترشح هورمون‌های رشد ناشی از فعالیت این باکتری‌ها ذکر می‌کنند. سولیشیش (1999) نیز نشان داد که تلقیح خاک با ریزجانداران حل‌کننده فسفات در زراعت سویا باعث آزاد سازی فسفر و رشد بهتر گیاه در مقایسه با تیمار شاهد می‌شود. در مجموع می‌توان نتیجه‌گیری نمود که کودزیستی فسفاتی میکروبی کارایی نزدیکی با کود شیمیایی سوپر فسفات تریپل دارد و می‌توان از این کود به عنوان کود جایگزین یا مکمل کودهای شیمیایی فسفره از جمله کود سوپر فسفات توصیه نمود اما علی‌رغم مثبت بودن کاربرد بیوفسفات طلایی در برخی مناطق از جمله ورامین، توصیه بیوفسفات طلایی در زراعت ذرت جای تأمل دارد و نیاز به تحقیقات بیشتری دارد.

وجود دارد. امروزه ریز جانداران حل‌کننده فسفات در سطح وسیع به عنوان کود زیستی به منظور افزایش تولید و حفظ سلامت خاک استفاده می‌شود (خان و همکاران، 2007). بر اساس پژوهش‌های انجام شده ریز جانداران حل‌کننده فسفات (PSM) فسفر تثبیت شده در خاک را حل کرده و باعث بهبود عملکرد گیاه می‌شود (زیدی و خان، 2006 و گال و همکاران، 2004). داده‌های آزمایش نشان از عدم تأثیر مشخص و معنی‌دار تیمارهای مختلف کودی بر غلظت عناصر غذایی در اندام‌های هوائی بود. افزایش عملکرد ناشی از کاربرد تیمارهای فسفر می‌تواند این موضوع را توجیه کند زیرا با افزایش عملکرد غلظت عناصر در اثر پدیده رقت (dilution effect) کاهش می‌یابد. کاهش غلظت‌های ناشی از کاربرد فسفر، اثرات فسفر را بر افزایش عملکرد تعدیل نمود به طوری که در مجموع تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای مختلف از لحاظ جذب کل فسفر و عناصر دیگر مشاهده نگردید در حالی که نتایج پژوهش‌های انجام شده توسط آلاگوادی و گوئر (1988) و ردورش و همکاران (2005) نشان داده است که استفاده از ریز جانداران حل‌کننده فسفات باعث بالا رفتن قدرت جوانه‌زنی، جذب عناصر غذایی و افزایش ارتفاع گیاه می‌گردد. بر اساس یافته‌های بیسواس و

جدول 1- میانگین سه ساله نتایج تجزیه فیزیکوشیمیایی خاک مزارع مورد آزمایش

بافت	Zn	Fe	Mn	K	P	O.C	T.N.V	pH	Ec	مناطق
	میلی گرم در کیلوگرم				%				dS.m ⁻¹	
سیلنتی رسی لومی	0/77	6/6	7/8	287	8/6	0/76	36/0	8/0	1/41	فارس
سیلنتی رسی لومی	0/76	-	7/4	121	4/9	0/88	48/5	7/5	0/67	دزفول
رسی لومی	0/90	3/4	10/6	332	5/4	0/52	18/0	7/5	3/0	ورامین
لوم	1/1	-	-	210	4/4	0/72	-	8/0	0/88	کرج

جدول 2- جدول تجزیه واریانس مرکب سه ساله در فارس*

منابع تغییر	درجات آزادی	عملکرد کل	عملکرد دانه	عملکرد ماده خشک	غلظت فسفر	جذب کل فسفر	جذب کل ازت	جذب کل پتاسیم
تکرار	2	2278364 n.s	1422056 n.s	285701 n.s	0/00 n.s	19 n.s	2237 n.s	5179 n.s
تیمار	3	7105461**	3014395*	1443532 n.s	0/001 n.s	19 n.s	3737 n.s	5672 n.s
سال	2	3359035 n.s	430102 n.s	3718978**	0/006 n.s	112 n.s	8206 n.s	2808 n.s
تیمار × سال	6	857636 n.s	130670 n.s	654900 n.s	0/000 n.s	5 n.s	1529 n.s	536 n.s
خطا	22	1254442	1026741	570388	0/001	12	1695	2336

* (n.s)، ** و * به ترتیب بیانگر عدم معنی‌داری، معنی‌دار بودن در سطح 1% و معنی‌دار بودن در سطح 5% اختلاف بین متغیرهای مربوطه می‌باشد).

جدول 3- میانگین سه ساله تأثیر تیمارهای کودی بر پارامترهای کمی ذرت دانه‌ای در فارس*

تیمارهای کودی	عملکرد کل (kg.ha ⁻¹)	عملکرد دانه (kg.ha ⁻¹)	عملکرد علوفه
تیمار شاهد بدون مصرف کود فسفره	13204 b	8322 b	4882 ab
مصرف فسفر از منبع فسفات میکروبی	14028 ab	9278 ab	4750 ab
مصرف فسفر از منبع بیوفسفات طلائی	13091 b	8586 ab	4505 b
مصرف فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل	15009 a	9559 a	5450 a
ضریب تغییرات (%)	8/1	11/3	15/4

جدول 4- میانگین سه ساله تأثیر تیمارهای کودی بر جذب کل برخی عناصر غذایی توسط ذرت در فارس *

تیمارهای کودی	نیترژن (kg.ha ⁻¹)	فسفر (kg.ha ⁻¹)	پتاسیم	آهن	منگنز (g.ha ⁻¹)	روی	مس
تیمار شاهد بدون مصرف کود فسفره	413 a	34/4 a	399 a	2260 a	1367 a	390 a	118 a
مصرف فسفر از منبع فسفات میکروبی	423 a	36/1 a	400 a	2350 a	1388 a	406 a	117 a
مصرف فسفر از منبع بیوفسفات طلائی	394 a	32/9 a	393 a	2046 a	1243 a	379 a	103 a
مصرف فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل	443 a	35/6 a	447 a	2700 a	1471 a	428 a	126 a
ضریب تغییرات (%)	8/8	10/0	11/8	19/8	15/4	15/9	13/0

* میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح آماری مورد نظر هستند.

جدول 5- نتایج تجزیه واریانس مرکب دو ساله تیمارهای آزمایشی در دزفول

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد دانه	میزان پروتئین	وزن هزار دانه	قطر بلال	ارتفاع بلال
سال	1	3796126**	13/8 ns	2688 **	0/004 ns	2/82 ns
خطا	4	148520**	2/2 ns	852 **	0/108 ns	0/56 ns
تیمار	3	4952838**	0/38 ns	1383**	0/058 ns	10/35**
سال * تیمار	3	172527ns	0/11 ns	827**	0/090 ns	0/32 ns
خطا	12	230152	0/42	121	0/044	0/55
ضریب تغییرات	9.1	7/1	3/6	4/65	3/7	

*، **، n.s) و * به ترتیب بیانگر عدم معنی‌داری، معنی‌دار بودن در سطح 1% و معنی‌دار بودن در سطح 5% اختلاف بین متغیرهای مربوطه می‌باشد).

جدول 6- جدول مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایشی بر روی بعضی صفات اندازه‌گیری شده در دزفول

تیمارهای کودی	عملکرد دانه (kg.ha ⁻¹)	میزان پروتئین دانه (%)	وزن هزار دانه (g)	طول بلال (cm)
تیمار شاهد بدون مصرف کود فسفره	4044 c	9/3 a	287/2 c	19/9 b
مصرف فسفر از منبع فسفات میکروبی	5857 a	8/7 a	301/3 b	19/5 bc
مصرف فسفر از منبع بیوفسفات طلائی	5241 b	9/1 a	315/5 a	19/2 c
مصرف فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل	6066 a	9/3 a	321/0 a	22/1 a

جدول 7- نتایج مقایسه میانگین تیمارهای مختلف آزمایشی بر غلظت عناصر در برگ‌های ذرت در دزفول*

تیمارهای کودی	نیترژن (%)	فسفر (%)	پتاسیم	روی	آهن (%)	منگنز	مس
تیمار شاهد بدون مصرف کود فسفره	1/38 b	0/297 b	1/51 a	43 b	222 a	60 b	7/5 ab
مصرف فسفر از منبع فسفات میکروبی	1/44 ab	0/314 ab	1/54 ab	50 a	218 a	70 a	7/6 ab
مصرف فسفر از منبع بیوفسفات طلائی	1/43 ab	0/290 b	1/51 ab	44 b	228 a	65 ab	7/9 a
مصرف فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل	1/56 a	0/324 a	1/35 a	46 ab	254 a	64 ab	7/1 b

* میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح آماری مورد نظر هستند.

جدول 8- میانگین صفات اندازه‌گیری شده در ورامین*

تیمارهای کودی	عملکرد ساقه	عملکرد برگ	عملکرد دانه	عملکرد کل	ارتفاع بوته
	Ton/ha				Cm
تیمار شاهد بدون مصرف کود فسفره	29/8 b	9/5b	7/6 b	46/9 b	193 b
مصرف فسفر از منبع فسفات میکروبی	37/7 a	12/2 a	13/2 a	63/1 a	241 a
مصرف فسفر از منبع بیوفسفات طلائی	36/9 a	12/3 a	11/8 a	61/0 a	229 a
مصرف فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل	37/0 a	11/8 a	14/0 a	62/8 a	234 a

جدول 9- نتایج تجزیه شیمیایی برگ هنگام گلدهی و اندام هوایی ذرت هنگام برداشت در ورامین*

تیمارهای کودی	غلظت فسفر در برگ	غلظت فسفر در اندام هوایی	غلظت روی در برگ	غلظت روی در اندام هوایی
	(%)	(%)	(ug.g ⁻¹)	(ug.g ⁻¹)
تیمار شاهد بدون مصرف کود فسفره	0/16	0/19	67	40
مصرف فسفر از منبع فسفات میکروبی	0/18	0/27	46	24
مصرف فسفر از منبع بیوفسفات طلائی	0/19	0/24	49	24
مصرف فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل	0/24	0/21	46	25

* میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح آماری مورد نظر هستند.

جدول 10- نتایج آماری عملکرد و اجزاء عملکرد ذرت بر اساس میانگین سه ساله در تیمارهای مختلف در کرج*

تیمارهای کودی	عملکرد دانه (t.ha ⁻¹)	وزن هزار دانه (g)	فسفر برگ (%)	قطر بلال (cm)	طول بلال (cm)	کچلی بلال (%)
تیمار شاهد بدون مصرف کود فسفره	7/558 b	232/8 a	0/216 b	4/01 a	16/64 a	9/09 a
مصرف فسفر از منبع فسفات میکروبی	9/046 a	228/7 a	0/225 a	4/36 a	17/77 a	6/06 b
مصرف فسفر از منبع بیوفسفات طلائی	8/496 ab	251/5 a	0/226 a	4/39 a	17/74 a	7/03 b
مصرف فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل	8/850 a	251/8 a	0/217 b	4/33 a	17/08 a	8/47 a

* میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح آماری مورد نظر هستند.

جدول 11- میانگین نتایج تأثیر تیمارهای مختلف بر عملکرد دانه در مناطق مورد آزمایش*

تیمارهای آزمایش	فارس	کرج	دزفول	ورامین	میانگین
تیمار شاهد بدون مصرف کود فسفره	8322 b	7558 b	4044 c	7600 b	6881 b
مصرف فسفر از منبع فسفات میکروبی	9278 ab	9046 a	5857 a	13200 a	9345 a
مصرف فسفر از منبع بیوفسفات طلائی	8586 b	8496 ab	5241 b	11800 a	8531 ab
مصرف فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل	9559 a	8850 a	6066 a	14000 a	9619 a

* میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح آماری مورد نظر هستند.

جدول 12- کارایی زراعی تیمارهای مختلف در مناطق مورد آزمایش (kg.kg⁻¹)

تیمارهای آزمایش	فارس	کرج	دزفول	ورامین	میانگین
تیمار شاهد بدون مصرف کود فسفره	-	-	-	-	-
مصرف فسفر از منبع فسفات میکروبی	13/7	21/3	25/9	80	35/2
مصرف فسفر از منبع بیوفسفات طلائی	3/8	13/4	17/1	60	23/6
مصرف فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل	17/7	18/5	28/9	91/4	39/1

فهرست منابع:

- افتخاری، س. ق.، فلاح نصرت آباد، ع. ر.، اکبری، غ. ع.، محدثی، ع. و اله دادی، ا. 1388. اثر باکتری‌های حل‌کننده فسفات و کودهای فسفات بر چگونگی رشد گیاه برنج. مجله علمی پژوهشی پژوهش‌های خاک، جلد 23، شماره 2 مؤسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران.

2. امامی، ع. 1375. روش‌های تجزیه گیاه. نشریه فنی شماره 182. چاپ اول. مؤسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران.
3. خاورزی، ک. و ملکوتی، م. ج. 1380. ضرورت تولید صنعتی کودهای بیولوژیک در کشور، نشر آموزش کشاورزی، کرج، ایران.
4. خاصه سیرجانی، ع. 1390. ارزیابی کود بیولوژیک حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفر و کودهای آلی غنی شده در زراعت گندم. مجله علمی پژوهشی پژوهش‌های خاک، جلد 24، شماره 3. مؤسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران.
5. سلیم پور، س.، خاوازی، ک.، نادیان، ح. ا. و بشارتی، ح. 1389. تأثیر خاک فسفات همراه با گوگرد و ریزجانداران بر عملکرد و ترکیب شیمیایی کلزا. مجله علمی پژوهشی پژوهش‌های خاک، جلد 24، شماره 1. مؤسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران.
6. سیلسپور، م. و بانینی، ع. ا. 1379. ارزیابی مزرعه ای کود فسفاته میکروبی و امکان جایگزینی آن با کودهای شیمیایی فسفری در زراعت پنبه، مجله علمی پژوهشی خاک و آب، جلد 14، شماره 2 مؤسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران.
7. ضیائیان، ع. و ملکوتی، م. ج. 1380. ضرورت اعمال مدیریت بهینه کود در راستای افزایش عملکرد و بهبود کیفیت ذرت. نشریه فنی شماره 2002، نشر آموزش کشاورزی، کرج، ایران.
8. علی مددی، ا.، جهان سوز، م. ر.، بشارتی، ح. و توکل افشاری، ر. 1389. ارزیابی تأثیر ریزجانداران حل‌کننده فسفات، میکوریزا و پرایمینگ بذر بر گره زایی در گیاه نخود. مجله علمی پژوهشی پژوهش‌های خاک، جلد 24، شماره 1. مؤسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران.
9. کیانی راد، م. 1374. بررسی میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات و تأثیر آنها در کاهش مصرف کودهای فسفره در کشت سویا، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
10. نورقلی پور، ف. 1379. اثر اسیدی کردن آب و دو میکروارگانیسم بر قابلیت جذب آهن از کنسانتره آهن و فسفر از خاک فسفات به وسیله گیاه ذرت. پایان نامه کارشناسی ارشد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
11. ملکوتی، م. ج. و نفیسی، م. 1380. عزم ملی برای تولید کود در داخل کشور، نشر آموزش کشاورزی، کرج، ایران.
12. Alagawadi, R. and A.C. Gaur. 1988. Associative effect of *Rhizobium* and phosphate-solubilizing bacteria on the yield and nutrient uptake of chickpea. *Plant and Soil*, 105: 241-246.
13. Bremner, J. M. 1996. Nitrogen: total. In *Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical Methods*, eds. Sparks, D. I., Page, A. L., Helmke, P.A., Loeppert, R.H., Soltanpour, P.N., P.N., Tabatabai, M.A., Johanson, G.T., Sumner, M.E. 1085-1121. American Society of Agronomy: Madison, WI.
14. Biswas, J. C., Ladha, J. K., and Dazzo, F. B. 2000. Rhizobia inoculation improves nutrient uptake and growth of low land rice. *Soil Science Society of American Journal*, 64: 1644-1650.
15. Gee, G. W., and Bauder, J. W. 1986. Particle-size analysis. In: *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods*, Klute, A. (Ed.). Soil Science Society of America Journal and American Society Agronomy, Madison, WI. pp. 383-410.
16. Gull, F.Y., Hafeez, I., Saleem, M. and Malik, K. A. 2004. Phosphorus uptake and growth promotion of chickpea by co-inoculation of mineral phosphate solubilizing bacteria and a mixed rhizobial culture. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 44: 623-628.
17. Khan, M.S., A. Zaidi and P.A. Wani. 2007. Role of phosphate-solubilizing microorganisms in sustainable agriculture. *Agronomy for Sustainable Development*, 27: 29-43.

18. Kucey, R.M.N and Leggett, M. E. 1989. Increased yield and phosphorus uptake by canola inoculated with a phosphate – solubilizing isolate of penicillium bilaj. Candian Journal of Soil Science. 69: 425 – 432.
19. Lindsay, W. I., and Norvell, W. A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Science Society of American Journal. 42: 421- 448.
20. Loeppert, R. H., and Suarez, D. L. 1996. Carbonate and gypsum. In: Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical methods, Sparks, D. L. (Ed.). Soil Science Society of American Journal and American Society Agronomy, Madison, WI. pp. 437-474.
21. Mehrotra VS (ed.). 2005. Mycorrhiza: Role and Applications. Allied Publishers Limited, New Delhi.
22. Nelson, D. W., and Sommers, L. E. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Methods of Soil Analysis part 3: Chemical methods, Sparks, D. L. (Ed.). Soil Science Society of America Journal and American Society Agronomy, Madison, WI. pp. 961-1010.
23. Rhoades, J. D. 1996. Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids, In: Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods, Sparks, D. L. (Ed.). Soil Science Society of America Journal and American Society Agronomy, Madison, WI. pp. 417-435.
24. Rudresh, D.L., Shivaprakash, M.K., and Prasad, R.D. 2005. Effect of combined application of *Rhizobium*, phosphate solubilizing bacterium and *Trichoderma* spp. on growth, nutrient uptake and yield of chickpea (*Cicer aritenium* L.). Applied Soil Ecology, 28:139-146.
25. Suliashih.M. G. 1999. The use of soil microorganisms as biological fertilizer for growth enhancement of soybean. Jurnal Microbiologi Tropica, 2: 68 – 73.
26. Summer, M. E., and Miller, W. P. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficient. In: Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods, Sparks, D. L. (Ed.). Soil Science Society of America Journal and American Society Agronomy, Madison, WI. pp. 1201–1230.
27. Thomas, G. W. 1996. Soil pH and soil acidity. In: Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical methods. Sparks, D. L., (Ed.). Soil Science Society of America Journal and American Society Agronomy, Madison, WI. pp. 475-490.
28. Turk, M.A., Assaf, T.A., Hameed, K.M. and Al-Tawaha, A.M. 2006. Significance of Mycorrhiza. World Journal of Agriculture Science, 2(1): 16-20.
29. Watanabe, F. R., and Olson, S. R. 1965. Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCO₃ extracts from soil. Soil Science Society. Amamerican Proc. 29:677-678.
30. Zaidi, A. and Khan, M.S. 2006. Co-inoculation effects of phosphate solubilizing microorganisms and *Glomus fasciculatum* on green gram-*bradyrhizobium* symbiosis. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 30: 223-230.