نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۸، شماره ۱، فروردین - اردیبهشت ۱۳۸۹، ص ۸۹-۸۲

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 8, No. 1, Mar. – Apr. 2010, p. 82-89

تأثیر مایه تلقیحی حاوی باکتری تیو باسیلوس و قارچ آسپرژیلوس بر رشد گیاه ذرت

مرضیه محمدی آریا[۱]- امیر لکزیان[۲*] - غلامحسین حق نیا[۳]

تاریخ دریافت: ۸۷/۱۱/۲۹
تاریخ پذیرش: ۸۸/۴/۲۲

چکیده

فسفر از مهمترین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه است که بصورت کودهای شیمیایی به خاک افزوده می‌شود هزینه بالای تولید کودهای شیمیایی باعث شده است که محققین به دنبال جایگزینی برای کودهای شیمیایی باشند. یکی از راههای افزایش قابلیت جذب فسفر از خاک فسفات استفاده از ریزجانداران حل کننده فسفات و باکتری های اکسید کننده گوگرد است. بدین منظور، دو نوع کود بیولوژیک، اولی با ترکیب ۲۰ درصد گوگرد، ۱۵ درصد ورمی کمپوست، ۷۵ درصد خاک فسفات، با تلقیح باکتری تیوباسیلوس (S20V15B) و دومی ترکیب کود اولیه و قارچ آسپرژیلوس (S20V15BF) در شرایط آزمایشگاه تهیه شدند سپس تأثیر این کودها در یک آزمایش گلخانه ای بر روی گیاه ذرت مورد آزمایش قرار گرفت آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار و ۸ تیمار انجام گرفت، تیمارهای آزمایش ۴۴۰ کیلوگرم (BF1) ، ۸۸۰ کیلوگرم (BF2) و ۱۳۲۰کیلوگرم (BF3) در هکتار از کود اول و ۴۴۰ کیلوگرم(B1) در هکتار، ۸۸۰ کیلوگرم (B2) و ۱۳۲۰کیلوگرم (B3) در هکتار از کود دوم، تیمار سوپر فسفات تریپل (TSP) به میزان ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار و شاهد بدون فسفر (C) بودند. پس از ۸۰ روز از رشد گیاه ذرت، عملکرد ماده خشک و فسفر جذب شده توسط گیاه و فسفر محلول در خاک اندازه گیری شدند. نتایج حاصل از کشت گلخانه ای نشان داد، بیشترین عملکرد مربوط به تیمار BF3 و TSP با وزن خشک اندام هوایی ۷/۲ و ۷/۵ گرم در هربوته بود که با تمام تیمارها در سطح ۵ درصد تفاوت معنی داری داشت، همچنین از لحاظ فسفر جذب شده در اندام هوایی و فسفر فراهم در خاک نیز BF3 بیشترین میزان را نشان داد که تفاوت معنی داری با تیمار TSP و سایر تیمارها در سطح ۵ درصد داشت. نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد خاک فسفات همراه با ریز جانداران اکسید کننده گوگرد و حل کننده های فسفات می‌تواند فسفر مورد نیاز گیاه را تأمین کند.

واژه های کلیدی: فسفر محلول در آب، pH ، خاک فسفات، جذب فسفر، گوگرد، ورمی کمپوست

مقدمه

فسفر بعد از نیتروژن مهمترین عنصر غذایی مورد نیاز گیاه است (۳). این عنصر در طبیعت بسیار فراوان است و به همراه عناصری مانند پتاسیم و نیتروژن ساختار اصلی گیاه را تشکیل می‌دهد. فسفر در ساختمان درشت مولکول هایی مانند اسیدهای هسته ای شرکت داشته (۱۲) و نقش منحصر به فردی در ذخیره و انتقال انرژی به صورت آدنوزین دی و تری فسفات دارد (۱۰). در حدود ۰/۲ درصد وزن خشک گیاهان را فسفر تشکیل می‌دهد و یکی از عناصر نسبتاً فراوان در خاک است. مقدار فسفر کل در خاک معمولاً بین ۰/۰۲ تا ۰/۱ درصد می‌باشد که از این مقدار ۵۰ تا ۷۵ درصد به صورت معدنی است (۳). بخش زیادی از فسفر جذب شده در زمان رشد رویشی در تکمیل مرحله رشد زایشی به میوه و دانه منتقل می‌شود. کودهای شیمیایی یکی از منابع عمده تأمین فسفر برای گیاه، محسوب می‌شود ولیکن تولید کودهای فسفره یک فرآیند پر هزینه و نیازمند انرژی فراوان می‌باشد. علاوه بر هزینه های تولید کودهای شیمیایی، مشکلات زیست محیطی ناشی از استفاده زیاد از آنها نیز باعث شده است که محققین به دنبال جایگزینی برای کودهای شیمیایی باشند. برخی از محققین، استفاده از خاک فسفات برای جایگزینی کودهای فسفره پیشنهاد کرده اند (۹). البته امکان کاربرد مستقیم خاک فسفات در کشور ما به دلیل پایین بودن فسفر قابل جذب آن و دلایل دیگری مانند آهکی بودن اکثر خاکها، pH بالا، تنش خشکی و کمبود مواد آلی در خاک های زراعی کشور، استفاده از آن را محدود کرده است (۴). در خاک های آهکی مقداری یون بی‌کربنات در اثر واکنش دی اکسید کربن و آهک تولید می‌شود که این یون با افزایش pH خاک باعث کاهش فسفر قابل جذب در خاک می‌شود (۲۱). با توجه به

۱، ۲ و۳- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیار و استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email : lakzian@ferdowsi.um.ac.ir)

4- Rock phosphate

مطالب مذکور کاهش pH خاک مؤثر ترین راه برای مقابله با کمبود فسفر در خاک های آهکی به نظر می‌رسد. استفاده از گوگرد بدین منظور مفید می‌باشد. بسیاری از محققین گزارش کرده اند که مصرف گوگرد و تولید اسید سولفوریک در نتیجه اکسایش آن، باعث کاهش pH و تأمین سولفات مورد نیاز گیاهان و افزایش قابلیت جذب فسفر در خاکهای قلیایی می‌شود (۸). از آنجایی که اکسایش شیمیایی گوگرد در خاک کند بوده قسمت اعظم گوگرد در خاک توسط ریز جانداران اکسید کننده گوگرد اکسید می‌شود، تلقیح خاک با این باکتری ها سرعت اکسایش گوگرد را افزایش می‌دهد (۱۹). یکی از راه های افزایش قابلیت جذب فسفر از خاک فسفات استفاده از ریزجانداران حل کننده فسفات است (۹). گوناگونی ریزجانداران حل کننده فسفر در خاک بسیار زیاد است. این ریز جانداران از مکانیزمهای متفاوتی در حلالیت پذیری ترکیبات فسفر خاک استفاده می‌کنند که برای نمونه می‌توان به اسیدی شدن و کلاته شدن اشاره کرد. مصرف کود های زیستی حاوی این ریزجانداران باعث سهولت دسترسی گیاه به عناصر غذایی می‌شود (۱۰). همچنین استفاده از گوگرد همراه با تلقیح قارچ و باکتری برای اصلاح خاکهای آهکی و بهبود وضعیت تغذیه ای گیاه، تأثیر گذار است. با توجه به اینکه اکسایش شیمیایی گوگرد به تنهایی بسیار کند بوده و در طی یک فصل زراعی مقدار کافی از آن اکسید نمی شود، توصیه بر این است که همراه با گوگرد، ریزجانداران اکسید کننده آن نیز استفاده شوند تا با اکسایش گوگرد، و کاهش pH (هرچند موضعی) عناصر غذایی تثبیت شده آزاد شوند (۱۸).

همچنین قارچ آسپرژیلوس نیز با تولید متابولیتها و اسیدهای آلی باعث کاهش pH و فراهمی فسفر در خاک می‌شود (۱۷). اثر اضافه نمودن مواد آلی به خاک نیز باعث بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک می‌شود. استفاده از مواد آلی نیز باعث افزایش واکنش پذیری خاک فسفات و فراهمی بیشتر فسفر می‌شود. در حین تجزیه مواد آلی، فعالیت میکروبی افزایش می‌یابد و در نتیجه مقدار زیادی اسیدهای آلی و مواد هومیکی تولید می‌شود و باعث اسیدی شدن خاک فسفات و فراهمی فسفر می‌شود (۱۷). چن و همکاران (۶) تأثیر کاربرد کمپوست را در دو نوع خاک رسی لومی و سیلتی لومی مورد بررسی قرار دادند، کمپوستهای بکار رفته کمپوست کود گاوی، کود خوکی و کمپوست کاه بود. نتایج نشان داد در هرسه نوع کمپوست میزان تثبیت فسفر در خاک کاهش یافت. در این آزمایش کمپوست کاه بیشترین قابلیت را در کاهش تثبیت فسفر در خاک داشت. آنها گزارش کردند که احتمالاً آهن، آلومینیوم و کلسیم با اسیدهای هومیک و اسیدهای آلی که در اثر تجزیه مواد آلی آزاد شدند ترکیب شده و بنابراین جذب و تثبیت فسفر در خاک کاهش می‌یابد، احتمال دیگر این است که سایتهای جذب فسفر بوسیله ترکیبات آلی فسفر بویژه اسید فیتیک اشغال شود. تغییر بار سطحی کلوئیدهای خاک در بعد از کاربرد کمپوست به علت تغییرات pH خاک دلیل دیگری در کاهش جذب فسفر در خاک و افزایش فراهمی آن در خاک می‌باشد. بنابراین مواد آلی با بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و ممانعت از تثبیت فسفر در خاک قابلیت جذب فسفر در گیاه را افزایش میدهد. البته در این آزمایش کاربرد توأم مواد آلی، گوگرد و تلقیح با ریز جانداران فوق الذکر تأثیرات آنها را در مقایسه با کاربرد به تنهایی هر یک از این عوامل افزایش می‌دهد. به عنوان مثال افزودن ورمی کمپوست با بهبود وضعیت تهویه خاک، باعث افزایش اکسایش گوگرد شده و همچنین حضور ورمی کمپوست به عنوان منبع کربن، فعالیت ریز جانداران حل کننده فسفات و اکسیدکننده گوگرد را تشدید می‌کند و در نهایت برهم کنش این عوامل باعث بهبود فرایند انحلال ترکیبات نامحلول فسفر در خاک و آسانی جذب آن توسط گیاه می‌شوند. هدف از انجام این تحقیق بررسی تاثیر توأم باکتری تیوباسیلوس و قارچ آسپرژیلوس بر فراهمی فسفر از خاک فسفات غنی شده با گوگرد و ماده آلی و تأثیر آن بر رشد گیاه ذرت و مقایسه آن با کود سوپر فسفات تریپل بوده است.

مواد و روش ها

دو نوع کود بیولوژیک، اولی با اجزای ۲۰ درصد گوگرد، ۱۵ در صد ورمی کمپوست، ۷۵ درصد خاک فسفات تلقیح شده با، باکتری تیوباسیلوس (S20V15B) و دومی ترکیب کود اولیه به اضافه قارچ آسپرژیلوس (S20V15BF) در شرایط آزمایشگاه به مدت یک ماه، در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد و رطوبت ۷۵ درصد اشباع تهیه شد سپس اثر آن در یک آزمایش گلخانه ای بر روی گیاه ذرت مورد آزمایش قرار گرفت. به منظور انجام این بخش از تحقیق مقدار ۹۶ کیلوگرم خاک تیپیک هاپل کمبید از عمق ۳۰-۰ سانتی متری تهیه و پس از هواخشک کردن و گذراندن از الک ۴ میلیمتری تیمارهای زیر بر روی نمونه خاک اعمال شد. این آزمایش در شرایط گلخانه متوسط درجه حرارت روزانه ۲۸ و شبانه ۲۱ درجه سانتیگراد بود و در قالب طرح کاملاً تصادفی با در نظر گرفتن ۸ تیمار با ۳ تکرار اجرا گردید. تیمارها شامل تیمار شاهد(C)، ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل (TSP)، ۴۴۰ (B1)، ۸۸۰ (B2) و ۱۳۲۰ (B3)کیلوگرم در هکتار از تیمار S20V15B ، ۴۴۰ (BF1)، ۸۸۰ (BF2)، ۱۳۲۰(BF3) کیلوگرم در هکتار از تیمار S20V15BF بود.

در هر گلدان ۴ کیلوگرمی تیمارهای فوق مختلف اعمال شد. همچنین به میزان ۱۰۰ میلی گرم در کیلوگرم نیتروژن از منبع اوره و ۸۵ میلی گرم در کیلوگرم پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم، به هر گلدان اضافه گردید ۴۰ میلی گرم در کیلوگرم نیتروژن نیز بصورت سرک به هر گلدان اضافه شد. در هر گلدان ۵ عدد جوانه بذر ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ کاشته شد و یک هفته بعد با تنک کردن بوته ها، تعداد

آنها به دو عدد در هر گلدان تقلیل داده شد. آبیاری به روش وزنی در حد ۸۰ درصد ظرفیت مزرعه تنظیم شد (۱۸). پس از گذشت ۸۰ روز از زمان کشت، بوته ها برداشت گردید. و پس از شستشو با آب مقطر و خشک کردن در آون در دمای ۷۵ درجه سانتیگراد، وزن خشک اندام هوایی گیاه ذرت اندازه گیری شد.برای اندازه گیری فسفر جذب شده در اندام های هوایی گیاه، پس از آسیاب کردن آن، از پودر حاصل به روش سوزاندن خشک[1] و استفاده از اسید کلریدریک ۲ مولار،عصاره تهیه شد و مقدار فسفر به روش کالریمتری تعیین گردید(۱).در نمنه های خاک هر گلدان نیز مقدار فسفر قابل جذب خاک به روش السن[2] توسط دستگاه اسپکتروفتومتراندازه گیری شد.

داده های حاصل از این آزمایش از روش تجزیه واریانس (ANOVA) به کمک نرم افزار SAS تجزیه شدند. برخی از مشخصات خاک و کود بیولوژیک مورد استفاده به ترتیب در جدول ۲ و۱ آمده است.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که تیمارهای آزمایش اثر معنی داری بر پارامترهای اندازه گیری شده داشته است (جدول ۳).

شکل ۱ نشان می‌دهد که وزن خشک اندام هوایی ذرت در تمام تیمارهای آزمایشی اختلاف معنی داری داشت. حداکثر این افزایش در تیمار BF3 (کود بیو لوژیک به میزان ۱۳۲۰ کیلو گرم در هکتار) می‌باشد، که حاوی خاک فسفات، ۲۰٪گوگرد، ۱۵٪ورمی کمپوست، تیوباسیلوس و قارچ آسپرژیلوس بود که تیمار فوق با تیمار سوپرفسفات تریپل (TSP) در یک گروه آماری قرار داشت و با آن تفاوت معنی داری نداشت. وزن خشک اندام هوایی در این تیمارها ۳ برابر شاهد بود. بعد از دو تیمار بالا،B3 (تیمار BS2V1 به میزان ۱۳۲۰ کیلو گرم در هکتار) بیشترین وزن خشک اندام هوایی را باعث شد. وزن خشک اندام هوایی ذرت در این تیمار ۲/۵ برابر شاهد بود و اختلاف معنی داری با تیمارهای B2 و B1 داشت.بین تیمار B1 با BF1 و همچنین تیمار B2 با BF2 تفاوت معنی داری در وزن خشک مشاهده نشد. کمترین وزن خشک نیز مربوط به شاهد با متوسط ۲/۲ گرم در بوته مشاهده بود. شکل ۱ همچنین به خوبی نشان میدهد که در خاک مورد آزمایش، فسفر محدود کننده رشد گیاه بوده بطوریکه با افزودن کود سوپر فسفات تریپل (TSP) وزن خشک گیاه به طور معنی داری در مقایسه با تیمار شاهد بدون فسفر افزایش پیدا کرده است.

این نتایج مشابه نتایج تحقیقاتی است که رزا و همکاران بر روی گیاه سورگوم انجام دادند،آنها مشاهده کردند که کاربرد سنگ فسفات به همراه گوگرد اگرچه باعث افزایش عملکرد گیاه سورگوم شد ولی تفاوت با شاهد معنی دار نبود البته کاربرد توأم گوگرد، تیوباسیلوس و سنگ فسفات افزایش عملکرد وزن خشک سورگوم نسبت به شاهد معنی دار گردید (۱۵). در آزمایشاتی که کیتامز و آتو(۱۱) انجام دادند نیز بیشترین عملکرد گیاه رای گراس از تیمار سنگ فسفات و گوگرد به‌همراه باکتری تیوباسیلوس (بیوسوپر) بدست آمد. در این بررسی کاربرد بیوسوپر به همراه ریز جانداران حل کننده فسفر باعث افزایش وزن خشک اندام هوایی گردید و این تیمار اثری مشابه سوپرفسفات تریپل داشت. همچنین سوبا رائو(۲۰) در تحقیقات خود گزارش کرد که کاربرد سنگ فسفات و تلقیح با ریز جانداران حل کننده فسفات باعث افزایش عملکرد غلات، لگومینوزها، سیب زمینی و دیگر محصولات گردید. محققین دیگر گزارش کردند، که تلقیح سنگ فسفات با باکتری حل کننده فسفات باعث افزایش وزن خشک دانه، ساقه و جذب فسفر به وسیله یک گیاه لگوم(*mung bean*) گردید (۷). به نظر می‌رسد امکان بهره گیری اثرات مفید خاک فسفات ، مواد آلی و گوگرد منوط به این شرط اصلی است که انواع فعال و مؤثر باکتری های اکسید کننده گوگرد در خاک حضور داشته باشند زیرا تنها در اثر اکسایش بیولوژیک گوگرد اسید سولفوریک تولید می‌شود که این امر موجب کاهش pH خاک، آزاد شدن عناصر غذایی برای گیاه و در نتیجه افزایش عملکرد محصول میشود (۲۱). مواد آلی نیز نقش مهمی در قابل دسترس شدن فسفر دارند، تأثیر مثبت مواد آلی می‌تواند به دلیل فراهم شدن شرایط بهتر برای ریز جانداران اکسیدکننده گوگرد و حل کننده فسفات باشد. همچنین ماده آلی خود حاوی عناصر غذایی بوده و شرایط را برای رشد بهتر ریشه و جذب عناصر بهبود می‌بخشد. اسیدهای آلی تولیدشده بوسیله قارچ های حل کننده فسفات به همراه اسید سولفوریک تولید شده بوسیله باکتری تیوباسیلوس می‌تواند بر خاک فسفات اثر گذاشته و باعث افزایش حلالیت فسفر شود.

مقدار فسفر فراهم در خاک در تیمارهای مختلف آزمایشی با یکدیگر اختلاف معنی داری در سطح ۵ درصد نشان دادند (شکل ۲). بیشترین میزان فسفر فراهم، در تیمار TSP و به مقدار ۹۷/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم حاصل گردید که با سایر تیمارها تفاوت معنی داری داشت، تیمار BF3 در مرتبه دوم بعد از TSP با میزان فسفر ۸۸/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم قرار داشت. در تیمارهای B1 ، B2 وB3 با افزایش میزان مصرف کود میزان فراهمی فسفر افزایش یافت به طوریکه در تیمار B3 با مصرف ۱۳۲۰ کیلوگرم در هکتار نسبت به تیمارهای B1 و B2 بیشترین فراهمی فسفر را نشان داد (۶۶/۳ میلی‌گرم فسفر محلول در کیلوگرم خاک). در تیمارهای BF1 , BF3, BF2 نیز همین روند مشاهده شد. کمترین فراهمی فسفر در تیمار شاهد (۱۰/۹۳ میلی گرم در کیلوگرم) حاصل شد.

1- Dry ashing
2- Olsen

جدول ۱- مشخصات خاک استفاده شده در آزمون گلخانه ای

dS/m	pH	ppm		cmole(-)/kg		درصد			
EC عصاره گل اشباع	گل اشباع	P(ava)	K(ava)	CEC	کربن آلی	ازت کل	شن	سیلت	رس
۷/۵	۸	۱۰	۲۲۶	۱۰	۰/۴۲	۰/۰۶	۶۰	۱۰	۳۰

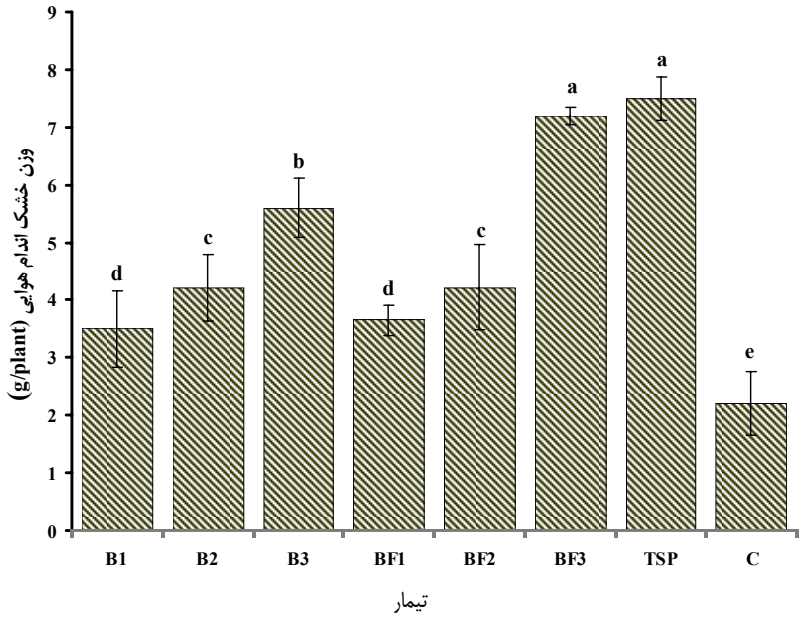
جدول ۲- مشخصات کود بیولوژیک استفاده شده در آزمون گلخانه ای

تیمار	کربن آلی (٪)	ازت کل (٪)	فسفر محلول (میلی گرم درکیلوگرم)	pH (۱:۱)	EC (dS/m) (۱:۱)
S20V15BF	۱۰/۹۲	۱/۲	۱۹۱۶	۲/۰	۹/۸
S20V15B	۱۰/۹۲	۱/۲	۱۳۸۰	۲/۲۳	۸/۶

جدول ۳- تجزیه واریانس مربوط به اثر تیمارهای مختلف بر پارامترهای اندازه گیری شده در گیاه

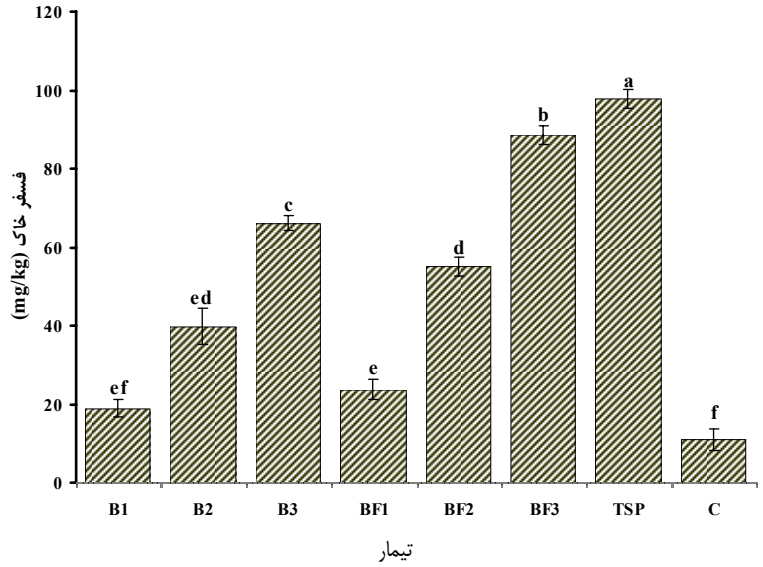
منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		عملکرد وزن خشک	فسفرخاک	فسفر گیاه
تیمار	۷	۸/۴۵*	۳۴۶۶/۱۵*	۱۴۹۴۹/۵*
خطا	۱۶	۰/۱۲۹	۲۳/۳۴	۱۰۵/۴
CV		۷/۶	۱۰/۱۴	۳/۷۵

*در سطح ۵ درصد معنی دار است



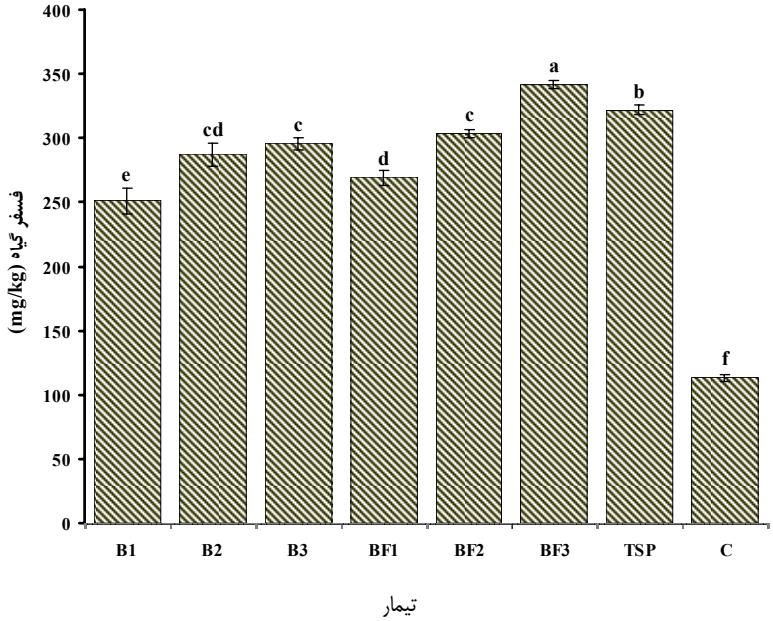
شکل۱- اثر تیمارهای مختلف بر وزن خشک اندام هوایی

۴۴۰ (B1)، ۸۸۰ (B2) و ۱۳۲۰ (B3) کیلوگرم در هکتار از تیمار S20V15B ، ۴۴۰ (BF1)، ۸۸۰ (BF2)، ۱۳۲۰ (BF3) کیلوگرم در هکتار از تیمارS20V15BF ، ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل (TSP) و شاهد (C)



شکل۲- اثر تیمارهای مختلف بر فسفر قابل جذب خاک

۴۴۰ (B1)، ۸۸۰ (B2) و ۱۳۲۰ (B3) کیلوگرم در هکتار از تیمار S20V15B ، ۴۴۰ (BF1)، ۸۸۰ (BF2)، ۱۳۲۰ (BF3) کیلوگرم در هکتار از تیمارS20V15BF ، ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل (TSP) و شاهد (C)



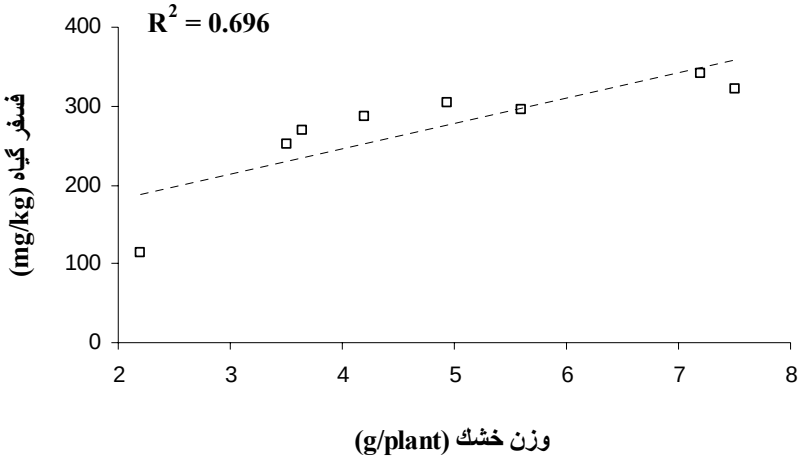
شکل۲- اثر تیمارهای مختلف بر فسفر جذب شده در اندام هوایی گیاه

۴۴۰ (B1)، ۸۸۰ (B2) و ۱۳۲۰ (B3) کیلوگرم در هکتار از تیمار S20V15B ، ۴۴۰ (BF1)، ۸۸۰ (BF2)، ۱۳۲۰ (BF3) کیلوگرم در هکتار از تیمارS20V15BF ، ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل (TSP) و شاهد (C)

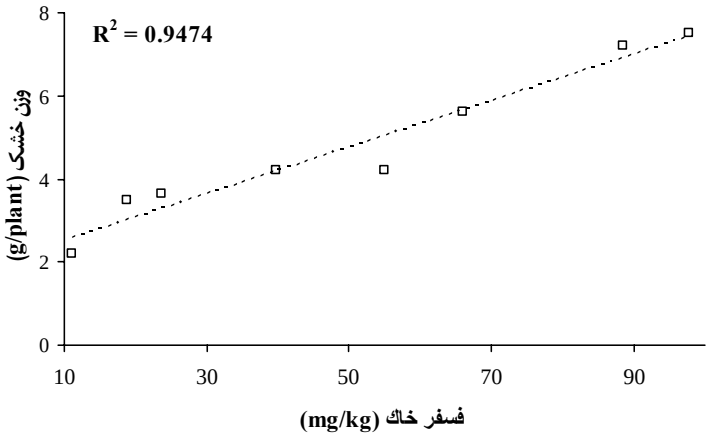
بیشترین فسفر جذب شده در گیاه نیز در تیمار BF3 مشاهده شد که با سایر تیمار ها اختلاف معنی داری داشت. تیمار TSP با میزان فسفر قابل جذب ۳۲۲ میلی گرم در کیلوگرم که در مرتبه دوم قرار گرفت. تیمارهای B2 و B3 با B1 نیز از نظر مقدار فسفر تفاوت افزایشی معنی داری نشان دادند. کمترین میزان فسفر نیز در اندام هوایی در تیمار شاهد به میزان ۱۱۳/۳ می‌باشد. کاربرد تیمار خاک فسفات با گوگرد و ورمی کمپوست در تلقیح قارچ آسپرژیلوس و باکتری تیوباسیلوس به میزان ۱۳۲۰ کیلو گرم در هکتار (BF3) باعث

افزایش جذب فسفر در گیاه ذرت شد که تفاوت معنی داری با شاهد در سطح ۵ درصد داشت.این نتایج مطابق نتایج پاتی راتنا و همکاران (۱۵)، نورقلی پور و همکاران (۴) و ال–دوینی و همکاران (۵) است. بر اساس این نتایج وقتی کودهای فسفره با مواد آلی مخلوط می‌شود باعث افزایش فراهمی فسفر نسبت به کاربرد کودهای فسفره به تنهایی می‌شود. به نظر می‌رسد که در حین تجزیه مواد آلی، اسیدهای آلی و مواد هومیکی تولید می‌شود که باعث کاهش pH و مانع تثبیت فسفر در خاک می‌شوند. بنابراین با کاربرد مواد آلی در خاک فراهمی فسفر معدنی و افزایش جذب فسفر در گیاه افزایش می‌یابد. نکته قابل توجهی که در مقدار فسفر فراهم در خاک و فسفر قابل جذب در اندام هوایی گیاه مشاهده شد این بود که در تیمار کاربرد سوپر فسفات بیشترین مقدار فراهمی فسفر در خاک مشاهده شد در صورتیکه بیشترین فسفر قابل جذب در گیاه ذرت در تیمار BF3 مشاهده شد، احتمالاً مقداری از فسفر محلول در تیمار BF3 وارد فاز آلی و میکروبی می‌شود، و این کود بیو لوژیک مانند یک کود کند رها، فسفر را به مرور آزاد می‌کند و به همین علت مقدار فسفر جذب شده در اندام هوایی گیاه تیمار BF3 بیشتر از تیمار سوپر فسفات شد. با توجه به این مسائل با توسعه این کودهای میکروبی در سطح وسیع می‌توان از مصرف کودهای شیمیایی کاست.

رابطه بین وزن خشک گیاه با مقدار فسفر جذب شده توسط گیاه، و همینطور با مقدار فسفر قابل جذب خاک در شکلهای ۴ و ۵ آمده است. در هر دو مورد ضریب همبستگی بین فاکتورهای مورد بررسی معنی دار شده است. همبستگی بین عملکرد ماده خشک با مقدار فسفر قابل جذب خاک (r^2=۰/۹۴) بیشتر از همبستگی بین عملکرد ماده خشک با مقدار فسفر جذب شده در اندام هوایی گیاه ذرت (r^2=۰/۶۹) بود. این موضوع نشان می‌دهد که فسفر در خاک علاوه بر اینکه شاخصی از جذب گیاه است احتمالاً در واکنش های دیگری نیز شرکت می‌کند و بر جذب عناصر دیگر توسط گیاه نیز می‌تواند مؤثر باشد و از این طریق باعث افزایش عملکرد گیاه می‌شود.



شکل٤- رابطه بین عملکرد ماده خشک با مقدار فسفر جذب شده در اندام هوایی گیاه ذرت



شکل٥- رابطه بین عملکرد ماده خشک با مقدار فسفر قابل جذب خاک

بشارتی و همکاران (۲) تأثیر گوگرد و مایه تلقیح تیو باسیلوس را در افزایش قابلیت جذب فسفر در گیاه ذرت بررسی کرد در این آزمایش نیز همبستگی بین عملکرد ماده خشک با مقدار فسفر قابل جذب خاک (r^2=۰/۷۷) بیشتر از همبستگی بین عملکرد ماده خشک با مقدار فسفر جذب شده در اندام هوایی گیاه ذرت(r^2=۰/۶۸) بود.

درصد بازده نسبی زراعی[1] (RAE) که از رابطه زیر(۱) و برای وزن خشک اندام هوایی بدست آمد در جدول ۳ آمده است.

$$\%RAE = \frac{\text{وزن خشک در تیمار شاهد – وزن خشک در تیمار مورد نظر}}{\text{وزن خشک در تیمار شاهد– وزن خشک در سوپر فسفات تریپل}}$$

درآزمایش آنان نیز کاربرد تیمار خاک فسفات با گوگرد در تلقیح قارچ آسپرژیلوس و باکتری تیوباسیلوس (۱۳۲۰ کیلو گرم در هکتار) موجب افزایش جذب فسفر نسبت به شاهد وحتی سوپر فسفات تریپل گردید که این تفاوت معنی دار بود و حتی از لحاظ عملکرد وزن خشک با سوپرفسفات در یک گروه آماری قرار داشت و از نظر بازده نسبی زراعی نیز با توجه به جدول ۳ بسیار نزدیک به سوپر فسفات تریپل می‌باشد.

جدول ۳- بازده نسبی زراعی تیمارهای مختلف فسفر

تیمار	وزن خشک کل (گرم در گلدان)	%RAE
B1	۳/۵^{d}	۲۴/۵^{c}
B2	۴/۲^{c}	۳۷/۸^{c}
B3	۵/۶^{b}	۶۴/۷^{b}
BF1	۳/۶^{d}	۲۷/۴^{c}
BF2	۴/۲۲^{c}	۳۸^{c}
BF3	۷/۳^{a}	۹۴/۴^{a}
TSP	۷/۵^{a}	۱۰۰^{a}

میانگین های با حروف غیر مشابه در هر سطح از نظر آماری در سطح احتمال ۰/۰۵ اختلاف معنی داری دارند.

نتایج

نتایج این تحقیق اهمیت مواد آلی، گوگرد و تیوباسیلوس و قارچ آسپرژیلوس را در آزاد سازی فسفر از خاک فسفات نشان داد و بدین ترتیب می‌توان به جای کودهای فسفاته وارداتی که ارزبری فراوانی دارد از خاک فسفات به شرط اضافه کردن مواد آلی و گوگرد و ریز جانداران اکسید کننده گوگرد و قارچ های حل کننده فسفات به آن استفاده نمود

منابع

۱- امامی، ع. ۱۳۷۵. روش های تجزیه گیاه. جلد اول نشریه فنی شماره ۹۸۲ موسسه تحقیقات آب و خاک.

۲- بشارتی، ح. و صالح راستین، ن. ۱۳۷۸. بررسی تأثیر کاربرد مایه تلقیح باکتری های تیوبا سیلوس همراه با گوگرد در افزایش قابلیت جذب فسفر. نشریه علمی پژوهشی علوم خاک وآب.جلد ۱۳، شماره ۱،ص ۳۹-۲۳

۳- سالاردینی، ع. ا. ۱۳۷۴. حاصلخیزی خاک. انتشارات دانشگاه تهران.

۴- نورقلی پور، ف.، ملکوتی، م. ج. و خاوازی، ک. ۱۳۷۹. نقش باکتری های تیوباسیلوس و حل کننده فسفات بر افزایش قابلیت جذب فسفر ازمنبع خاک فسفات بوسیله ذرت. مجله علمی پژوهشی خاک و آب (ویژه نامه تیوباسیلوس) جلد ۱۲ شماره ۱۱، ص ۴۴-۵۳

5- El-Dewiny, C. Y., Kh. S. Moursy, and. H. I. El-Aila. 2006. Effect of organic matter on the release and availability of phosphorus and their effects on spinach and radish plants. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences 2(3): 103-108.

6- Chen, J., Y. E., Weng, and Y. P., Wang. 1994. Effects of organic fertilizers addition on P sorption characteristics of soils. Journal of Chinese Agricultural Chemical Society 32 (3): 332-346.

7- Gaind, S. and A. C. Gaur. 1991. Thermotolent phosphate solublizing microorganisms and their interaction with mung bean. Plant and Soil. 133: 141-150.

8- Garcia JR.O. 1991. Isolation and characterization of *Aciditiobacillus thiooxidans* and *Aciditiobacillus ferrooxidans* from mineral minees. Revista Berasileira de microbiologia, 20:1-6.

9- Goldstein, A. H. 1986. Bacterial solubilization of mineral phosphates: Historical perspective and future prospects. American Journal of Alternative Agriculture. 1: 51-57.

10- Jodie, N. H., B., Peter, and M. Martin. 2006. Laboratory tests can predict beneficial effects of phosphate-solubilising bacteria on plants. Soil Biology and Biochemistry. 38: 1521-1526.

11- Kittams, H. A., and O. J. Attoe. 1965. Availability of phosphorus in rock phosphate-sulfur fosions. Agronomy Journal. 57: 331-334.

1- Relative Agronomic Efficiency

12- Marschner, H. 1993. Mineral nutrition of higher plants. London, Academic Press Ltd., Harcourt Brace and Co. Publishers
13- Pathiratna, L. S. S., De, U. P., S. Waidyanatha, O. S. and Peries. 1989. The effect of appatite and elemental sulfur mixtures on growth and P content of *Centrocema pubescens*. Fertilizer Research 21: 37-43.
14- Penkin, C. F. 1977. Invention, relating to mixing phosphate and sulfur. U.S. Patent, 193: 896.
15- Rosa, M C., J. J. Muchovj, and V. H. Alvarez. 1989. Temporal relations of phosphorus fractions in an oxisols amended with rock phosphate and *Thiobacillus thiooxidans*. Soil Science Society of America Journal. 53: 1096-1100.
16- Singh, C. P. and A. Amberger. 1991. Solubilization and availability of phosphorus during decomposition of rock phosphate enriched straw and urine. Bio-Resources Agriculture and Horticulture. 7: 261-269.
17- Stamford, N. P., J. A. Silva, A. D. S. Freitas, and J. T. Araujo Filho. 2002. Effect of sulphur inoculated with *Acidithiobacillus* in a saline soil grown with Leucena and mimosa tree legumes. Bioresource Technology. 81: 53-59.
18- Stamford, N. P., D. R. Santos, A. M. M. Moura, C. E. R. S. Santos, and A.D.S. Freitas. 2003 .Biofertilizer with natural phosphate, sulphur and *Acidithiobacillus* in a soil with low available-P. Scientia Agricola. 60 (4): 767-773.
19- Stevenson, F. J. 1967. Organic acids in soil. In D. A. McLaren and G. H. Peterson, eds. Soil Biochemistry, pp. 119-146. New York, USA, Marcel Dekker Inc.
20- Subba Rao, W. S. 1988. Phosphate solubilizing microorganisms. In: Biofertilizer in Agriculture. pp. 133-142.
21- Wainwright, M. 1984. Sulfur oxidation in soils. Advances in Agronomy. 37: 346-396.