

بررسی امکان تغییر فسفر قابل جذب خاک‌های آهکی و اثر آن بر عملکرد ذرت

حمیدرضا دورودیان^۱، حسین بشارتی کلایه^۲، علیرضا فلاح نصرت آباد^۲، حسین حیدری شریف آباد^۳، فرخ درویش^۴
و عاصفه الهوردی^۵

چکیده

اسیدیته بالای خاک‌ها در اکثر مناطق زیر کشت ذرت در ایران موجب کاهش دسترسی گیاه به عناصر غذایی خصوصاً فسفر می‌گردد. کاربرد گوگرد و اکسایش آن با کاهش موضعی اسیدیته خاک، می‌تواند باعث افزایش قابلیت جذب فسفر در خاک‌های آهکی شود. منابع ارزان قیمت فسفر، مانند خاک‌فسفات و کمپوست امروزه در کشاورزی بسیار مورد توجه قرار گرفته و می‌توانند به منظور افزایش فسفر قابل جذب خاک و برطرف کردن نیاز گیاه مؤثر واقع شوند. در تحقیق حاضر به منظور بررسی تأثیر تغییر اسیدیته بخشی از خاک و افزایش فسفر روی عملکرد ذرت رقم سینگل کراس ۳۰۱، آزمایشی با تیمارهای مختلف شامل خاک‌فسفات (آپاتیت)، ریز جانداران حل‌کننده فسفات، گوگرد تلقیح‌شده با باکتری‌های اکساینده گوگرد و کمپوست انجام گردید. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار و چهار عامل: باکتری حل‌کننده فسفات در دو سطح (شاهد و باکتری *Bacillus megaterium*)، آپاتیت در دو سطح (صفر و یک تن در هکتار)، مواد آلی در دو سطح (صفر و ده تن در هکتار) و گوگرد تلقیح‌شده با باکتری‌های تیوباسیلوس *Thiobacillus sp.* در دو سطح (صفر و چهار تن در هکتار) در مزرعه تحقیقاتی موسسه خاک و آب (مشکین دشت کرج) انجام گردید. نتایج آزمایش نشان داد که بیشترین عملکرد دانه (۹۶۰۰ کیلوگرم در هکتار) در تیمار حاوی کمپوست و باکتری باسیلوس به دست آمد. عملکرد دانه در تیمارهایی که آپاتیت در آن‌ها به تنهایی مصرف شده بود (۶۹۳۷ کیلوگرم در هکتار) به طور معنی‌داری کمتر از شاهد (۷۷۰۰ کیلوگرم در هکتار) بود. استفاده از آپاتیت، نه تنها فسفر محلول خاک را افزایش نداد، بلکه با اسیدیته بالا (۸/۸) بر خصوصیات خاک و رشد گیاه در خاک‌های قلیایی اثر منفی داشت. بر اساس نتایج این تحقیق کاربرد باکتری باسیلوس مگاتریوم و کمپوست با افزایش دسترسی ذرت به عناصر غذایی مانند فسفر باعث افزایش عملکرد شده و قابل توصیه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آپاتیت، باسیلوس، باکتری‌های حل‌کننده فسفات، تیوباسیلوس، ذرت، کمپوست، گوگرد.

تاریخ دریافت مقاله: ۸۶/۱۱/۱۵ تاریخ پذیرش: ۸۷/۳/۲۲

۱- فارغ التحصیل دوره دکتری دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران

۲- استادیار مؤسسه تحقیقات خاک و آب

۳- دانشیار مؤسسه تحقیقات ثبت، کنترل و گواهی بذر

۴- استاد دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

۵- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد زراعت دانشگاه تربیت مدرس

دورودیان، ح. بررسی امکان تغییر فسفر قابل جذب خاک‌های آهکی و...

مقدمه و بررسی منابع

کاهش اسیدیته خاک (حتی به‌طور موضعی) یکی از روش‌های مؤثر مقابله با کمبود فسفر و ریز مغذی‌ها در خاک‌های آهکی و قلیایی به شمار می‌رود. استفاده از گوگرد، به‌عنوان فراوان‌ترین و ارزان‌ترین ماده اسیدزا، به همراه باکتری تیوباسیلوس جهت بهبود تغذیه گیاهان در خاک‌های آهکی و تأمین سولفات مورد نیاز گیاه سابقه دیرینه دارد (۳۵). کاربرد گوگرد وقتی مؤثر و نتیجه‌بخش خواهد بود که پس از مصرف مقدار کافی در خاک توسط ریزجانداران مختلف مثل باکتری تیوباسیلوس، اکسید گردد (۱۶). به علت محدود بودن جمعیت و تنوع باکتری‌های تیوباسیلوس در خاک‌های آهکی (۴۵)، استفاده از باکتری‌های تیوباسیلوس به همراه گوگرد به علت افزایش سرعت اکسیداسیون گوگرد در خاک، نتایج سودمندی را در اصلاح خاک و بهبود وضعیت تغذیه گیاهان به‌دنبال داشته است (۷ و ۱۶). ایران کشوری است نفت‌خیز و سالانه بیش از یک میلیون تن گوگرد در صنایع مختلف نفت و گاز داخل کشور تولید شده و با بهای ارزان قابل دست‌یابی است.

مصرف مایه تلقیح تیوباسیلوس همراه با گوگرد در خاک بر اسیدیته و فسفر اندازه‌گیری شده در گیاه و خاک مؤثر بوده است (۱). باکتری‌های حل‌کننده فسفات نیز می‌توانند با ترشح اسیدهای آلی با روش‌های متنوعی مثل اسیدی کردن محیط (۲۶) و کلاته کردن یون‌های مزاحم و یون فسفات (۵۰) بر حلالیت فسفر معدنی خاک و با ترشح آنزیم‌هایی مثل فسفاتاز بر حلالیت فسفر آلی در خاک مؤثر باشند.

کمپوست شهری دارای مقادیر قابل توجهی فسفر است. کمپوست با داشتن خصوصیات خود می‌تواند باعث افزایش خاصیت تبادل کاتیونی (۱۹)، نگهداری آب (۴۸)، استقامت خاک‌دانه‌ها (۴)، فعالیت‌های آنزیم‌هایی مانند فسفاتاز (۴۳)، فعالیت‌های میکروبی (۱۲، ۸ و ۱۹)، حفظ چرخه عناصر غذایی و تأمین عناصر ضروری گیاه (۲۴) گردد. مشکلات ناشی از مصرف کمپوست شامل افزایش اسیدیته (۳۷)، کاهش حلالیت ریز مغذی‌ها (۵۱)، عدم تناسب عناصر موجود با نیاز گیاه (۱۵)، کاهش نیتروژن خاک (۱۸) به علت C/N بالا (۲۷)، افزایش شوری خاک (۲۱) و افزایش غلظت کادمیوم، سرب، نیکل و جیوه در خاک (۴۱) کاربرد آن را نیازمند تحقیق و بررسی بیشتر می‌نماید.

تحقیق حاضر با هدف بررسی اثرات خاک فسفات، ریزجانداران حل‌کننده فسفات و اکساینده گوگرد و نیز کمپوست بر کاهش اسیدیته خاک و تأمین فسفر مورد نیاز و عملکرد ذرت اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

در خرداد ماه ۱۳۸۴ یک آزمایش مزرعه‌ای در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی به صورت فاکتوریل با چهار عامل: ۱- باکتری حل‌کننده فسفات در دو سطح (شاهد و ۱۰۰ گرم مایه تلقیح حاوی 10^7 عدد باکتری *Bacillus megaterium*)، ۲- آپاتیت در دو سطح (صفر و یک تن در هکتار) ۳- مواد آلی در دو سطح (صفر و ده تن در هکتار کمپوست زباله شهری جامد) و ۴- گوگرد خالص تلقیح‌شده با باکتری تیوباسیلوس (*Thiobacillus sp.* در دو سطح (صفر و چهار تن در هکتار))، در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی خاک و آب (کرج) انجام گردید. چهار عامل یاد شده در آزمایشات مختلف قبلی، در افزایش فسفر خاک مؤثر بوده‌اند؛ از این‌رو علی‌رغم مشکل بودن تفسیر اثرات متقابل چهارگانه (به دلیل غیر قابل تفسیر بودن در غالب شرایط) وجود یا عدم وجود هر یک از چهار عامل در کنار هم مورد بررسی قرار گرفت.

پس از شخم، دیسک و تسطیح خاک مزرعه آزمایشی، نمونه مرکب از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری تهیه شد که نتایج آن در جدول (۱) آمده‌است. پس از مشخص نمودن ابعاد کرت‌های آزمایشی (۲/۴×۵ متر) و پیاده کردن نقشه طرح، با استفاده از دستگاه فاروزن، پشته‌هایی به فواصل ۶۰ سانتی‌متر ایجاد گردید. نیتروژن از منبع اوره و پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم، بر اساس آزمون خاک (به ترتیب بر مبنای ۱۵۰ و ۶۰ کیلوگرم عنصر خالص در هکتار) به تمام کرت‌ها به طور یکسان داده شد.

پس از اعمال تیمارها، بذور ذرت رقم سینگل کراس ۳۰۱ به فاصله ۱۵ سانتی‌متر روی پشته‌ها کشت گردید. وجین علف‌های هرز دو مرتبه کامل در زمین انجام شد. آبیاری به‌صورت جوی و پشته مطابق با نیاز مزرعه و انجام گرفت. برای جلوگیری از آلودگی کرت‌های تلقیح‌نشده با باکتری‌ها، آبیاری هر کرت به طور مجزا صورت گرفت. طی مراحل

کلسیم یکی از عناصر موجود در آپاتیت است که در ریزوسفر آزاد شده و باعث افزایش اسیدیته خاک می‌گردد.

تیمار باسیلوس + آپاتیت + گوگرد تلقیح شده، اسیدیته خاک را از ۷/۷ به ۷/۵۷ کاهش داد، که این امر می‌تواند در چند سال بر کاهش بیشتر اسیدیته و حلالیت ریزمغذی‌ها مؤثر واقع گردد. باسیلوس تنها زمانی توانست اسیدیته خاک را کاهش دهد که کمپوست مصرف نشده بود (شکل ۲). در آزمایشات برخی محققین تغییر اسیدیته محیط کشت در اثر آزاد شدن آسیدهای آلی از باکتری حل‌کننده فسفات با تغییرات اسیدیته حاصل از کاربرد کلرید هیدروژن (HCl) برابر بوده است (۲۷).

آزمایش روی ۳۱ باکتری و ۱۱ قارچ حل‌کننده فسفات به منظور تعیین قابلیت حل‌کنندگی فسفر در محیط کشت نشان داد که در صورت استفاده از مقدار زیادی باکتری به همراه خاک فسفات، رابطه بسیار معنی‌داری ($r = -0.7$ تا -0.9) بین اسیدیته نهایی و فسفر محلول وجود دارد (۳۹). اسید لاکتیک و پس از آن اسید مالیک، سوکسینیک و استیک به‌عنوان مؤثرترین اسیدهای مترشحه از باکتری‌های حل‌کننده فسفات معرفی شده‌اند که می‌توانند اسیدیته خاک را علی‌رغم خاصیت بافری آن تغییر دهند (۴۹).

فلاح^۱ (۲۰۰۳) گزارش کرد که تلقیح محیط کشت به‌وسیله انواع باکتری‌های حل‌کننده فسفات باعث شد که اسیدیته محیط کشت، پس از ۱۴ روز در تمامی نمونه‌های باکتری مورد استفاده کاهش یابد. برخی از محققین در نتایج خود، با اشاره به اثرات سایر ریزجانداران در جذب فسفر و اسیدهای مترشحه و خاصیت تامپونی خاک بیان کردند که باکتری‌های حل‌کننده فسفات علی‌رغم توان کاهش اسیدیته در محیط آزمایشگاه، قابلیت کاهش اسیدیته را در ریزوسفر ندارند (۳۸).

افزودن کمپوست به میزان ۵ تن در هکتار به مدت ۳ سال اسیدیته خاک را از ۵/۸ به ۶/۴ افزایش داد (۳۶). تغییر اسیدیته ناشی از کاربرد کمپوست به خصوصیات مواد اولیه کمپوست بستگی دارد. کمپوست حاصل از ضایعات بستر قارچ باعث افزایش اسیدیته و کمپوست حاصل از تفاله چای و یا توتون باعث کاهش اسیدیته خاک‌های آهکی شده است (۳). کاربرد مواد زاید شهری در اکثر آزمایشات موجب افزایش واکنش خاک گردیده است (۱۳، ۱۷، ۲۳، ۳۶، ۴۴، ۴۷، ۵۲، ۵۳).

آزمایش نیازی به سم‌پاشی برای مبارزه با آفات و بیماری‌ها احساس نگردید.

پس از رسیدگی محصول در مهر ماه، ۸ گیاه از دو ردیف وسط برداشت شد و عملکرد دانه و بیولوژیک اندازه‌گیری و میانگین‌های به‌دست آمده مورد تجزیه واریانس قرار گرفت. از هر کرت سه نمونه تصادفی خاک از نقاط مختلف (به غیر از حاشیه‌ها) از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک برداشته شد، که پس از اختلاط، یک نمونه مرکب از آن‌ها به دست آمد. داده‌های آزمایشی در نرم‌افزار MSTATC مورد تجزیه واریانس و میانگین تیمارها با استفاده از آزمون چند دامنه دانکن مورد مقایسه قرار گرفتند.

نتایج و بحث

اسیدیته (PH)

جدول (۲) نتایج تجزیه واریانس داده‌ها را نشان می‌دهد. اسیدیته خاک در تیمار گوگرد تلقیح شده با باکتری تیوباسیلوس، تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت، ولی اثر متقابل گوگرد تلقیح شده با باکتری باسیلوس و آپاتیت بر اسیدیته خاک معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج سایر محققین نشان داده که کاربرد گوگرد به همراه تیوباسیلوس باعث کاهش اسیدیته خاک می‌شود (۱۶). هم‌چنین گزارش شده که مواد آلی (از منبع کود دامی) به همراه گوگرد تلقیح شده با باکتری تیوباسیلوس باعث افزایش اکسیداسیون گوگرد و کاهش اسیدیته خاک می‌گردد (۴۳ و ۹).

ولی گزارشات نور و طباطبائی^۱ (۱۹۷۷) نشان می‌دهد که گوگرد به علت بالا بودن خاصیت تامپونی خاک کارآیی زیادی در کاهش اسیدیته خاک‌های آهکی ندارد.

استفاده از آپاتیت به همراه باکتری تیوباسیلوس + گوگرد باعث افزایش اسیدیته خاک نسبت به شاهد گردید (شکل ۱). از آنجا که آپاتیت دارای اسیدیته بالا (معادل ۸/۸۷) است، افزایش اسیدیته را می‌توان به کاربرد آپاتیت نسبت داد (شکل ۱). افزایش اسیدیته در خاک‌های قلیایی از لحاظ قابلیت جذب عناصر غذایی بسیار نامطلوب است. کاربرد خاک‌فسفات در خاک باعث افزایش اسیدیته خاک می‌شود (۳۴). هم‌چنین

فسفر قابل جذب خاک

اثر متقابل گوگرد تلقیح‌شده با باکتری، کمپوست و آپاتیت بر میزان فسفر قابل جذب در خاک (فسفر عصاره‌گیری شده با روش اولسن) معنی‌دار گردید (جدول ۲). نتایج آزمایش نشان داد که تیمار گوگرد تلقیح‌شده و کمپوست بیشترین فسفر قابل جذب خاک را به خود اختصاص داد (شکل ۳). سه تیمار گوگرد تلقیح‌شده، آپاتیت و کمپوست از نظر غلظت فسفر محلول خاک تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشتند (شکل ۳). به گزارش برخی از محققین نیز کاربرد آپاتیت به تنهایی یا به همراه کود دامی باعث کاهش فسفر قابل دسترس گیاه می‌شود (۶).

نتایج آزمایش حاضر نشان داد که تیمارهای گوگرد تلقیح‌شده + آپاتیت و آپاتیت + کمپوست، فسفر محلول خاک را در حدود ۳۰ درصد افزایش دادند.

بر اساس برخی گزارشات، باکتری‌های حل‌کننده فسفات در محیط غیر بافر در آزمایشگاه توانستند آپاتیت را محلول نمایند، ولی مواد مترشحه از آن‌ها در محیط بافر ۲۰ تا ۳۰ برابر کمتر از میزان مورد نیاز برای تأثیر در اسیدیته خاک و حل کردن فسفات معدنی خاک و خاک‌فسفات بود (۲۰).

اکسایش گوگرد در خاک تأثیر مثبت و معنی‌داری بر حلالیت آپاتیت و افزایش فسفر قابل جذب گیاه دارد (۵). فسفر آزاد شده از خاک فسفات با اسید سولفوریک ناشی از اکسایش گوگرد رابطه مستقیم دارد (۳۱).

اثر کمپوست به تنهایی بر غلظت فسفر محلول خاک معنی‌دار نبود که نشان می‌دهد، استفاده از کمپوست در خاک، به منظور افزایش فسفات محلول باید با ترکیبات دیگری مثل گوگرد تلقیح‌شده با تیوباسیلوس که به کارآیی آن کمک می‌کند همراه باشد، تا از فواید آن کمال بهره حاصل آید. در ضمن استفاده از کمپوست تنها باعث افزایش اسیدیته خاک شد که همراه بودن آن با تیوباسیلوس + گوگرد این مشکل را برطرف می‌کند (شکل ۳).

عملکرد دانه

استفاده از باکتری‌های باسیلوس به همراه کمپوست به باعث افزایش عملکرد گیاه نسبت به شاهد گردید (جدول ۲). استفاده از کمپوست در شرایط عدم استفاده از آپاتیت باعث افزایش کارآیی باسیلوس شد. استفاده از آپاتیت به تنهایی باعث کاهش عملکرد دانه در واحد سطح، نسبت به تمام تیمارهای

مورد آزمایش شد (شکل ۴). استفاده از آپاتیت به تنهایی، در هیچ یک از منابع توصیه نمی‌شود (۲۱ و ۳۰). زیرا مصرف این ماده با میزان فسفر محلول پایین، نه تنها مشکلی از گیاه حل نمی‌کند، بلکه با اسیدیته بالای خود (بالای ۸/۸) و آزاد کردن یون‌هایی مانند کلسیم در خاک، خصوصاً در خاک‌های آهکی اثرات مخربی نیز ایجاد خواهد کرد.

تیمار باسیلوس همراه با مصرف کمپوست تنها تیماری بود که عملکرد دانه را در مقایسه با شاهد افزایش داد. سایر تیمارها (به جز تیمار آپاتیت که اثر منفی معنی‌دار بر عملکرد دانه داشت)، تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشتند (شکل ۴).

باکتری باسیلوس به عنوان یک باکتری ترشح‌کننده مواد محرک رشد (PGPR)، می‌تواند اثرات مفیدی علاوه بر قابلیت جذب فسفر در گیاه داشته باشد (۱۴ و ۲۹). تولید اکسین یکی از مکانیسم‌های مؤثر باکتری‌های حل‌کننده فسفات در بهبود رشد و افزایش عملکرد گیاه است (۳۳). همین‌طور اسیدهای آلی مترشحه از باکتری باسیلوس می‌توانند در حلالیت ریز مغذی‌ها مؤثر گردیده و با افزایش غلظت عناصری مثل آهن، روی و سایر ریز مغذی‌ها، نیاز گیاه به آن‌ها را تأمین نموده و نهایتاً در افزایش عملکرد دانه گیاه مؤثر باشند.

در بعضی موارد، حلالیت فسفات ناشی از آزاد شدن یون هیدروژن به علت تنفس ریزجانداران خاک و یا تولید NH_4^+ توسط آن‌ها می‌باشد و ارتباطی به تولید اسیدهای آلی ندارد (۲۷). گزارشات متعددی درخصوص اثرات متقابل مثبت کودهای آلی و باکتری‌های حل‌کننده فسفات وجود دارد (۶ و ۲۸). کاربرد کودهای فسفر می‌تواند باعث کاهش جذب ریز مغذی‌ها خصوصاً عنصر روی گردد (۴۶).

با توجه به نتایج این آزمایش، اثر متقابل مثبت باسیلوس و کمپوست بر عملکرد دانه نمی‌تواند به دلیل اثر بر تغییرات اسیدیته خاک باشد، زیرا همان‌طور که شکل ۳ نشان می‌دهد، باکتری باسیلوس و کمپوست اثری در کاهش اسیدیته خاک ندارند. مواد آلی خاک به کمک روش‌های دیگری غیر از اثر بر اسیدیته خاک بر حلالیت فسفر و عملکرد گیاه مؤثر بوده‌اند. مواد آلی می‌توانند سطوح آهک موجود در خاک را بپوشانند و قابلیت جذب فسفر را از طریق کاهش واکنش فسفر و کلسیم افزایش دهند. در حضور مواد آلی، تشکیل هسته کریستال‌های ترکیبات فسفر و کلسیم کاهش (۲۷) و عملکرد گیاه نیز بر اثر

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان داد که کاربرد باکتری باسیلوس مگاتریوم و کمپوست در زراعت ذرت رقم سینگل کراس ۳۰۱ بیشترین عملکرد دانه را سبب شد و کاربرد آپاتیت به تنهایی در خاک‌های آهکی باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه گردید. پیشنهاد می‌گردد کاربرد آپاتیت به عنوان منبع فسفر در خاک‌های قلیایی ایران متوقف و یا با بررسی‌های بیشتری صورت گیرد. همچنین کاربرد توأم باکتری باسیلوس و کمپوست در افزایش عملکرد دانه ذرت مؤثر بوده قابل توصیه می‌باشد.

سپاسگزاری

از زحمات آقای دکتر اسفندیار فاتح در آزمایشگاه زراعت دانشگاه تهران و آقای مهندس مجید قلی‌بیگیان در دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران و آقای مهدی دولتی به دلیل کمک در انجام مراحل آزمایشگاهی قدردانی می‌گردد.

استفاده از کمپوست و آپاتیت در مقایسه با تیمار آپاتیت افزایش می‌یابد.

نوع ماده آلی مصرفی و حتی نوع کمپوست می‌تواند نتایج آزمایش را تغییر دهد (۳). باکتری باسیلوس و کمپوست حاصل از زباله‌های شهری با مکانیسم‌های دیگر (به غیر از اثر بر واکنش خاک و میزان فسفر محلول) می‌تواند بر رشد و عملکرد گیاه ذرت اثر گذارد.

بر خلاف گزارش پاتیرانتا^۱ و همکاران (۱۹۸۹)، ترکیب باکتری باسیلوس و آپاتیت اثر مفیدی بر عملکرد ذرت نداشت، البته این اختلاف می‌تواند مربوط به نوع خاک مورد استفاده، خصوصاً به اسیدیته اولیه آن مربوط باشد؛ چراکه غالباً در آزمایشاتی که در خاک‌های اسیدی انجام گرفته، آپاتیت از حلالیت قابل توجهی برخوردار بوده و در آزمایشاتی که (مثل این آزمایش) از خاک‌های آهکی استفاده شده است، اثر آپاتیت بر رشد گیاه بی‌تأثیر بوده یا تأثیر آن معنی‌دار نبوده است (۳۲). نتایج محدودی اثرات مثبت آپاتیت را در خاک‌های آهکی تایید می‌کنند (۱۱).

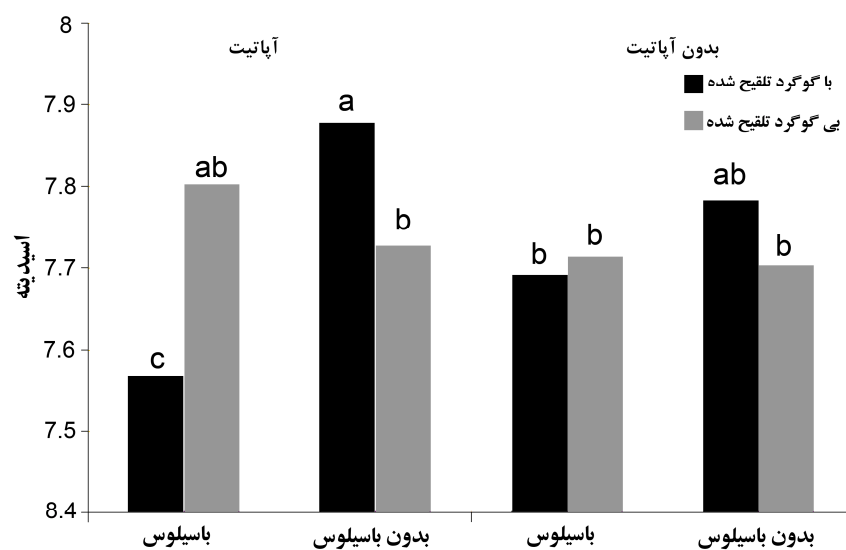
جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه محل اجرای آزمایش در سال ۱۳۸۴ قبل از کشت

ویژگی	اسیدیته بافت	CEC	هدایت الکتریکی	کربنات کلسیم	نیتروژن آلی	کربن آلی	پتاسیم	فسفر منگنز	مس	آهن	روی	
واحد		Meq ⁺ /100 g soil	dS/m		درصد						میلی‌گرم بر کیلوگرم	
مقدار	۷/۷۵ لومی	۱۸	۰/۹	۸	۰/۰۵	۰/۷	۲۵۶	۹	۱۲	۱/۶۴	۵/۸۶	۰/۵۵

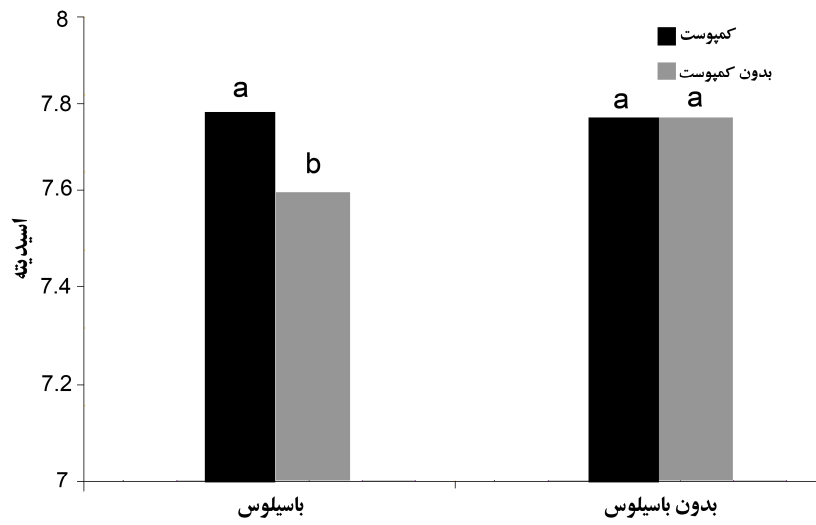
جدول ۲- تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایشی بر صفات مورد مطالعه

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	عملکرد دانه	فسفر خاک	واکنش خاک
تکرار	۲		۱۵۷۹۹۰۷	۸/۹۰۵	۰/۰۳۸
آپاتیت	۱		۱۷۴۵۱۵۱	۱/۶۳	۰/۰۰۵
باسیلوس	۱		۲۰۲۴۲۱۹	۴۳/۴۲	۰/۰۷۲*
تیوباسیلوس + گوگرد	۱		۸۹۹۱۷۹	۳۲/۲۱۴	۰
کمپوست	۱		۲۸۲۵۹۱۴	۲۵/۲۵۹	۰/۱۲۱**
آپاتیت × باسیلوس	۱		۲۴۰۳۶۴	۴۹/۴۰۲*	۰/۰۱۸
(تیوباسیلوس + گوگرد) × آپاتیت	۱		۸۸۷۴۸۳	۰/۹۷۷	۰/۰۱۶
(تیوباسیلوس + گوگرد) × باسیلوس	۱		۳۳۸۲۱۹	۰/۲	۰/۱۷۹**
آپاتیت × کمپوست	۱		۸۹۵۵۲۰	۱۰/۶۲۷	۰/۰۲۵
باسیلوس × کمپوست	۱		۵۸۲۶۳	۰/۸۲۲	۰/۱۱۱**
(تیوباسیلوس + گوگرد) × کمپوست	۱		۶۶۱۷۵۴	۰/۰۴۵	۰/۰۴۵
(تیوباسیلوس + گوگرد) × آپاتیت × باسیلوس	۱		۶۲۱۰۳۸۸	۱/۶۸۶	۰/۰۶*
آپاتیت × باسیلوس × کمپوست	۱		۱۹۸۰۹۵۰۰**	۰/۸۱۳	۰/۰۱۲
آپاتیت × (تیوباسیلوس + گوگرد) × کمپوست	۱		۹۷۹۳۰۷	۴۷/۹۲*	۰
باسیلوس × (تیوباسیلوس + گوگرد) × کمپوست	۱		۳۶۰۲۱۲	۶/۵۶۲	۰/۰۳۵
آپاتیت × باسیلوس × (تیوباسیلوس + گوگرد) × کمپوست	۱		۸۸۶۱۰۲	۵/۲۷۲	۰/۰۰۸
اشتباه آزمایشی	۲۰		۴۵۶۸۶۰۵	۱۷/۴۴۲	۰/۰۱۴
ضریب تغییرات (درصد)			۲۵/۵۱	۲۳/۷۹	۱/۵۰

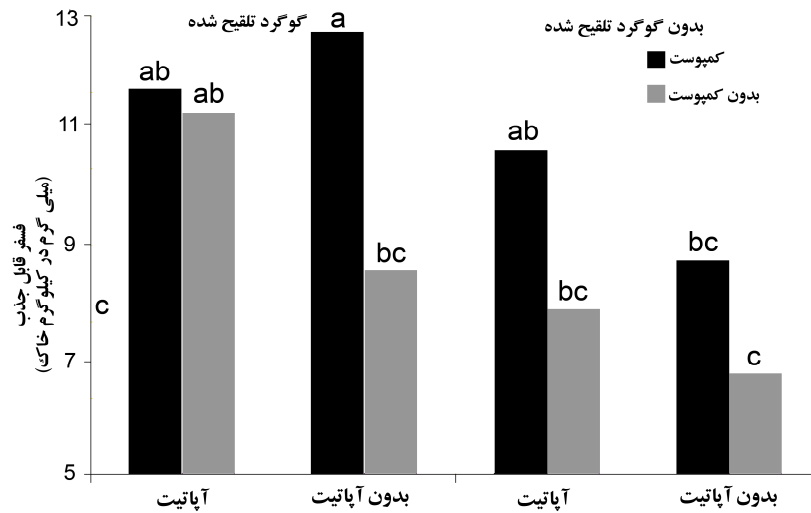
*، ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.



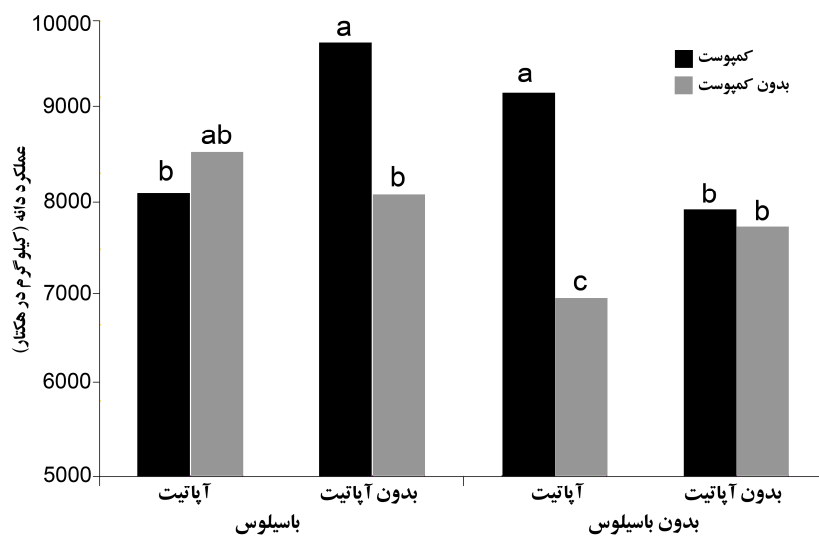
شکل ۱- مقایسه ترکیبات تیماری آپاتیت، باسیلوس و گوگرد تلقیح شده بر واکنش خاک



شکل ۲- مقایسه ترکیبات تیماری کمپوست و باسیلوس بر واکنش خاک



شکل ۳- مقایسه ترکیبات تیماری آپاتیت، گوگرد تلقیح شده و کمپوست بر غلظت فسفر محلول خاک



شکل ۴- مقایسه ترکیبات تیماری آپاتیت، باسیلوس و کمپوست بر عملکرد دانه ذرت

منابع

1. Annabi, M., Houot, S., Francou, C., Poitrenaud, M. and Le Bissonnais, Y. 2007. Soil aggregate stability improvement with urban composts of different maturities. *Journal of Soil Science Society of America* 71: 413-423.
2. Attoe, O. J. and Olson, R. A. 1966. Facrots affecting the rate of oxidation of elemental sulfur and that added in rock phosphate sulfur fusion. *Soil Science* 101: 317-324.
3. Banik, S. and Dey, B. K. 1982. Available phosphate content of an alluvial soil as influenced by inoculation of some isolated phosphate-solubilizing microorganisms. *Plant Soil* 69: 353-364.
4. Bardiya, M. C., Narula, N. and Vyas, S. R. 1972. Reclamation of saline alkaline soil by application of sulphur and inoculation of *Thiobacillus*. 1. Effect on physico-chemical properties of soil. *Haryana Agricultural University Journal of Research* 2 (3): 218-221.
5. Beshsarati, H. 2001. Preparing appropriate medium for *Thiobacillus* and study of it's interaction with VAM and grain yield of wheat. Ph.D. Thesis, Tarbiat Modares University. 212 Pp. [In Persian with English Abstract].
6. Bhattacharyya, P., Chakrabarti, K. and Chakraborty, A. 2003. Effect of MSW compost on microbiological and biochemical soil quality indicators. *Compost Science Utility* 11(3): 220-227.
7. Caldwell, A. C., Seim, E. C. and Rehm, G. W. 1969. Effects of elemental sulfur on composition of alfalfa (*Medicago sativa*) and corn (*Zea maize*). *Agronomy Journal* 61: 632-634.
8. Chien, S. H., Adams, F., Khasawneh, F. E. and Henao, J. 1987. Effects of combinations of triple superphosphate and a reactive phosphate rock on yield and phosphorus uptake by corn. *Journal of Soil Science Society of America* 51: 1656-1658.
9. Chein, S. H., Carmona, G. and Heano, J. 2003. Evaluation of rape response to different sources of phosphate rock in an alkaline soil. *Commercial Soil Science Plan* 34: 1825-1835.
10. Crecchio, C., Curci, M., Mininni, R., Ricciuti, P. and Ruggiero, P. 2001. Short-term effects of municipal solid waste compost amendments on soil carbon and nitrogen content, some enzyme activities and genetic diversity. *Biology of Fertile Soils* 34: 311-318.
11. Crecchio, C., Curci, M. and Pizzigallo, M. 2004. Effects of municipal solid waste compost amendments on soil enzyme activities and bacterial genetic diversity. *Soil Biology Biochemistry* 36:1595-1605.
12. De Freitas, J. R., Banerjee, M. R. and Germida, J. J. 1997. Phosphate-solubilizing Rhizobacteria enhance the growth and yield, but not phosphorus uptake of canola (*Brassica napus* L.) *Biology of Fertile Soils* 24: 358-364
13. De Haan, S. 1981. Results of municipal waste compost research over more than fifty years for soil fertility at Haren/Groningen, the Netherlands. *Netherland Journal of Agriculture* 29: 49-61.
14. Deluca, T. H., Skogley, E. O. and Engle, R. E. 1989. Band-applied elemental sulfur to enhance the phytoavailability of phosphorus in alkaline calcareous soils. *Biology of Fertile Soils* 7: 346-350.
15. Deportes, I., Benoit-Guyod, J. and Zmirou, D. 1995. Hazard to man and the environment posed by the use of urban waste compost: a review. *Science Total Environment* 172: 197-222.
16. Eriksen, G., Coale, F. and Bollero, G. 1999. Soil nitrogen dynamics and maize production in municipal solid waste amended soil. *Agronomy Journal* 91: 1009-1016.
17. Fallah, A. 1382. Evaluation of dispersion of PSMs in soil of Guilan and it's effect on wheat and rice yield. Ph.D. Thesis, Tarbiat Modares University, 124 Pp. [In Persian with English Abstract].
18. Garcia-Gil, J. C., Plaza, C., Soler-Rovira, P. and Polo, A. 2000. Long-term effects of municipal solid waste compost application on soil enzyme activities and microbial biomass. *Soil Biology Biochemistry* 32: 1907-1913.
19. Gyaneshwar, P., Kumar, G. N. and Parekh, L. J. 1998. Effect of buffering on the phosphate-solubilizing ability of microorganisms. *Journal of Microbiology and Biotechnology* 14: 669-673.
20. Hammond, L. L., Chien, S. H., Roy, A. H. and Mokwunye, A. U. 1989. Solubility and agronomic effectiveness of partially acidulated phosphate rocks as influenced by their iron and aluminium oxide content. *Fertilizer Research* 19: 93-98.
21. He, X., Logan, T. and Traina, S. 1995. Physical and chemical characteristics of selected U.S. municipal solid waste composts. *Journal of Environity Qualmental* 24: 543-552.
22. Hernando, S., Lobo, M. and Polo, A. 1989. Effect of the application of a municipal refuse compost on the physical and chemical properties of soil. *Science of Total Environment* 81/82: 589-596.
23. Hicklenton, P., Rodd, V. and Warman, P. R. 2001. The effectiveness and consistency of source-separated municipal solid waste and bard composts as components of container growing media. *Science of Horticulture* 91: 365-378.
24. Iglesias-Jimenez, E., Garcia, V., Espino, M. and Hernandez, J. 1993. City refuse compost as a phosphorus source to overcome the P-fixation capacity of sesqui oxide rich soils. *Plant and Soil* 148: 115-127.

25. Illmer, P. and Schinner, F. 1992. Solubilization of inorganic phosphates by microorganisms isolated from forest soils. *Soil Biology and Biochemistry* 24(4): 389-395.
26. Inskip, W. P. and Silvertooth, J. C. 1988. Inhibition of Hydroxyapatite perception in the presence of Fulvic, Humic and Tannic acids. *Journal of Soil Science Society of America* 52: 941-946.
27. Jones, D. L. 1998. Organic acids in the rhizosphere- a critical review. *Plant and Soil* 205: 25-44.
28. Khan, M. S., Zaidi, A. and Wani, P. A. 2006. Role of phosphate solubilizing microorganisms in sustainable agriculture – a review. *Agronomy Sustainable Development* 26:1-15.
29. Khasawneh, F. and Doll, E. C. 1978. The use of phosphate rock for direct application to soils. *Adventures in Agronomy* 30: 159-206
30. Kittams, H. A. and Attoe, O. J. 1965. Availability of phosphorus in rock phosphate-sulfur fusion. *Agronomy Journal* 57: 331-334.
31. Kochakzadeh, Y. 2003. Effect of S and *Thiobacillus* and organic matter on required P of corn in calcareous soils. M.Sc. Thesis. Tarbiat Modares University, 212 Pp. [In Persian with English Abstract].
32. Laheurte, F. and Berthelin, J. 1988. Effect of phosphate-solubilizing bacteria on maize growth and root exudation over four levels of labile phosphorus. *Plant and Soil* 105:11-17.
33. Leinhos, V. and Nacek, O. 1994. Biosynthesis of auxins by PSMs from wheat and rye. *Microbiology Research* 149: 31-35.
34. Lewis, D. C., Hindell, R. P. and Hunter, J. 1997. Effects of phosphate rock products on soil pH. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 37(8): 1003-1008.
35. Lipman, J. G., Mc lean, H. C. and Lint, H. C. 1916. The oxidation of sulphur in soils as a means of increasing the availability of mineral phosphates. *Soil Science* 1: 533-539.
36. Maynard, A. 1995. Cumulative effect of annual additions of MSW compost on the yield of field-grown tomatoes. *Compost Science Utility* 3 (2): 47-54.
37. Mkhabela, M. and Warman, P. R. 2005. The influence of municipal solid waste compost on yield, soil phosphorus availability and uptake by two vegetable crops, grown in a wash sandy loam soil in Nova Scotia. *Agriculture, Ecosystem, Environment* 106: 57-67.
38. Molla, M. A. Z. and Chodhury, A. A. 1984. Microbial mineralization of organic phosphate in soil, *Plant and Soil* 78 (3): 393-399.
39. Nahas, E. 1996. Factors determining rock phosphate solubilization by microorganisms isolated from soil *Journal Microbiology and Biotechnology* 12 (6): 567-572.
40. Noor, Y. M. and Tabatabai, M. A. 1977. Oxidation of elemental sulphur in soils. *American Journal of Soil Science* 41: 736-741.
41. Ozores-Hampton, M. and Hanlon, E. 1997. Cadmium, copper, lead, nickel and zinc concentrations in tomato and squash grown in MSW compost amended calcareous soil. *Compost Science Utility* 5 (4): 40-46.
42. Pathiratna, L., Waidyanatha, S. and Peries, O. S. 1989. The effect of apatite and elemental sulfur mixtures on growth and P content of *Centrocema pubescens*. *Fertilizer Research* 21:37-43.
43. Perucci, P. 1990. Effect of the addition of municipal solid-waste compost on microbial biomass and enzyme activities in soil. *Biology of Fertile Soils* 10: 221-226.
44. Rodd, A., Warman, P. R., Hicklenton, P. and Webb, K. 2002. Comparison of N fertilizer, source-separated municipal solid waste compost and semi-solid beef manure on the nutrient concentration in boot-stage barley and wheat tissue. *Canadian Journal of Soil Science* 82: 33-43.
45. Rupela, O. P. and Taura, P. 1973. Isolation and characterization of *Thiobacillus* from alkaline soils. *Soil Biology Biochemistry* 5: 891- 897.
46. Saeed, M. 1977. Phosphate fertilization reduces zinc adsorption by calcareous soils. *Plant Soil* 48: 641-649.
47. Shanmugam, G. S. and Warman, P. R. 2004. Soil and plant response to organic amendments to three strawberry cultivars. *Proceedings of the International Humic Substances Society. Embrapa (Pub.), Sao Pedro*, pp. 230-232.
48. Soumare, M., Tack, F. and Verloo, M. 2003. Characterization of Malian and Belgian solid waste composts with respect to fertility and suitability for land application. *Waste Management* 23: 517-522.
49. Taha, S. M., Mahmoud, S. A. Z., Halim, A., Damaty, E. L. and Abd El-Hafez, A. M. 1969. Activity of phosphate dissolving bacteria in Egyptian soils. *Plant Soil* 31(1):149-159.
50. Tian, G. and Kolawole, G. O. 2004. Comparison of various plant residues as phosphate rock amendment on savanna soils of west Africa. *Journal of Plant Nutrition* 27(4): 571-583.
51. Warman, P. R., Murphy, C., Burnham, J. and Eaton, L. 2004. Soil and plant response to MSW compost applications on lowbush blueberry fields in 2000 and 2001. *Small Fruit Research* 3(1/2):19-31.
52. Zhang, M., Heaney, D., Henriquez, B., Solberg, E. and Bittner, E. 2006. A four-year study on influence of biosolids/MSW compost application in less productive soils in Alberta: nutrient dynamics. *Compost Science Utility* 14 (1): 68-80.
53. Zheljzkov, V. and Warman, P. R. 2004. Phytoavailability and fractionation of copper, manganese, and zinc in soil following application of two composts to four crops. *Environmental Pollution* 131: 187-195.