

بررسی تأثیر کاربرد خاک فسفات، گوگرد و باکتری تیوباسیلوس بر عملکرد کمی و کیفی سویا و اثرات باقی مانده آن بر ذرت

فریدون نورقلی پور، کاظم خاوازی، حسین بشارتی و علیرضا فلاح^{*۱}

چکیده

این آزمایش به منظور بررسی اثر بخشی خاک فسفات به همراه گوگرد و مایه تلقیح باکتری‌های تیوباسیلوس بر عملکرد کمی و کیفی سویا و اثرات باقی مانده آن بر گیاه ذرت، در ایستگاه تحقیقات خاک و آب کرج، در سال ۱۳۸۱ و ۱۳۸۲ انجام گرفت. طرح به صورت بلوک‌های کامل تصادفی با شش تیمار و در چهار تکرار اجرا گردید. تیمارهای آزمایش عبارت بودند از: T₁ به عنوان شاهد، T₂ سوپر فسفات تریپل (۶۷/۵ kg ha⁻¹ p₂O₅)، T₃ خاک فسفات (۱۱۲/۵ kg ha⁻¹ p₂O₅)، T₄ خاک فسفات و گوگرد، T₅ خاک فسفات، گوگرد و مایه تلقیح تیوباسیلوس و T₆ خاک فسفات، گوگرد و کود دامی انتخاب شدند. در سال اول اجرای آزمایش در تیمار شاهد (T₁) کود فسفره استفاده نشد و در تیمار دوم نیز کود سوپر فسفات تریپل به مقدار ۱۵۰ کیلوگرم بر هکتار، به صورت نواری و زیر بذر استفاده گردید. خاک فسفات و گوگرد هر کدام به مقدار ۳۰۰ کیلوگرم بر هکتار، به صورت پودری استفاده گردیدند. مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس نیز به مقدار یک کیلوگرم بر هکتار مصرف گردید. کود دامی به مقدار ۱۰ تن در هکتار از کود گاوی کاملاً پوسیده استفاده شد. بذور سویا (رقم ویلیامز) قبل از کشت، با مایه تلقیح باکتری *Bradyrhizobium japonicum* آغشته گردیدند. در سال دوم اجرای آزمایش در همان کرت‌ها، گیاه ذرت رقم SC 704 کشت گردید. در این سال کود فسفر دار مصرف نگردید. تنها در تیمار پنجم، تلقیح با مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس انجام گرفت. پس از برداشت عملکرد و نمونه‌گیری برگ، نمونه خاک نیز در هر سال از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر تهیه گردید. نتایج آزمایش بر روی گیاه سویا نشان داد که با کاربرد کود سوپر فسفات تریپل نسبت به شاهد، عملکرد افزایش یافت ولی این افزایش در سطح پنج درصد معنی‌دار نبود. با کاربرد خاک فسفات نیز این افزایش مشاهده گردید ولی اثر آن کمتر از سوپر فسفات تریپل بود. در تیمار چهارم عملکرد نسبت به شاهد کاهش یافت. در تیمار پنجم عملکرد نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری نشان داد ولی تفاوت با تیمارهای T₂ و T₃ در سطح پنج درصد معنی‌دار نبود. عملکرد در تیمار T₆ سبب به شاهد کاهش یافت. از لحاظ درصد روغن دانه، اختلاف بین تیمارهای مختلف در سطح پنج درصد معنی‌دار نگردید. در سال دوم اجرای آزمایش در گیاه ذرت، بیشترین مقدار علوفه‌تر از تیمار پنجم به مقدار ۶۷۱۹۰ کیلوگرم بر هکتار بدست آمد که تنها با تیمار ششم در سطح پنج درصد دارای اختلاف معنی‌دار بود. بین تیمارهای دیگر اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد مشاهده نشد. در تیمار دوم (سوپر فسفات تریپل) عملکرد نسبت به شاهد افزایش یافت ولی این افزایش معنی‌دار نبود.

واژه‌های کلیدی: خاک فسفات، گوگرد، باکتری تیوباسیلوس، سویا، ذرت، اثرات باقی مانده

مقدمه

جذب آنها وابسته به pH است به صورت نامحلول در آمده و از دسترس گیاه خارج می‌شوند (Linderman & Cifuentes؛ ۱۹۹۳).

بنابراین گیاه همواره با کمبود این عناصر مواجه است. برای جبران این کمبود، از کودهای شیمیایی فسفاتی استفاده می‌شود

مقدار فسفر قابل استفاده گیاه توسط عواملی نظیر تراکم ریشه، رطوبت، pH و بافت خاک تعیین می‌گردد (Tisdale & Nelson؛ ۱۹۷۴). در خاکهای مناطق خشک و نیمه خشک به علت pH بالا و غلظت زیاد یون کلسیم، عناصر غذایی مانند فسفر که قابلیت

۱- به ترتیب مربی پژوهشی و استادیارهای پژوهشی موسسه تحقیقات خاک و آب

* وصول: ۸۴/۳/۱۶ و تصویب: ۸۴/۱۲/۳

بررسی تأثیر کاربرد خاک فسفات، گوگرد و باکتری تیوباسیلوس بر عملکرد کمی و کیفی سویا و اثرات..... / ۱۲۳

اندازه کافی برای رشد سورگوم افزایش داد. Khavazi و همکاران (۲۰۰۱) طی یک آزمایش گلخانه‌ای نشان دادند که استفاده از خاک فسفات به همراه گوگرد و باکتری تیوباسیلوس، وزن خشک ذرت را در دو برداشت، نسبت به شاهد بصورت معنی‌داری افزایش داد ولی نسبت به سوپر فسفات تریپل اختلاف معنی‌داری نشان نداد. کوچک زاده و همکاران (۱۳۸۰) نیز، در یک آزمایش گلخانه‌ای، نشان دادند که استفاده از خاک فسفات به همراه گوگرد و باکتری‌های تیوباسیلوس می‌تواند بخش قابل ملاحظه‌ای از فسفر مورد نیاز گیاه ذرت را تأمین نماید. با عنایت به فراوانی و ارزانی گوگرد، وجود معادن خاک فسفات با کیفیت مناسب (کادمیم و سرب پائین) در داخل کشور و وجود فن‌آوری لازم برای تولید انبوه مایه تلقیح تیوباسیلوس، این تحقیق به منظور بررسی اثر بخشی خاک فسفات به همراه باکتری‌های تیوباسیلوس (*Thiobacillus* spp.) بر عملکرد کمی و کیفی گیاه سویا و اثرات باقی‌مانده کود بر عملکرد گیاه ذرت، انجام گرفت.

مواد و روشها

این آزمایش مزرعه‌ای طی سالهای ۱۳۸۱ و ۱۳۸۲ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با شش تیمار و در چهار تکرار اجرا گردید. در سال اول، قبل از اجرای آزمایش از قطعه مورد نظر یک نمونه خاک مرکب از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر تهیه و برخی از خواص فیزیکی و شیمیایی آن از قبیل میزان نیتروژن کل، فسفر محلول در بیکربنات سدیم، پتاسیم قابل استخراج با استات آمونیوم، pH، EC_e درصد مواد خنثی شونده، بافت خاک و غلظت آهن، منگنز، روی، مس و بور بر اساس روش‌های رایج تعیین گردیدند (علی‌احیائی و بهبهانی زاده؛ ۱۳۷۲). پس از مشخص نمودن ابعاد کرت های آزمایش (۵ m × ۲/۲) و پیاده کردن نقشه طرح، با استفاده از دستگاه جوی پشته ساز، پشته‌هایی به فاصله ۶۰ سانتی‌متر در هر کرت ایجاد گردید. در این آزمایش، T_1 به عنوان شاهد، T_2 سوپر فسفات تریپل، T_3 خاک فسفات، T_4 خاک فسفات و گوگرد، T_5 خاک فسفات، گوگرد و مایه تلقیح تیوباسیلوس و T_6 خاک فسفات، گوگرد و کود دامی انتخاب شدند. در تیمار T_1 همه عناصر به غیر از فسفر (شامل نیتروژن، پتاسیم، آهن، منگنز، روی و مس) بر اساس آزمون خاک استفاده شدند. این عناصر به صورت یکسان در تمامی تیمارها استفاده شدند. در تیمار T_2 قبل از کشت، کود سوپر فسفات تریپل به مقدار ۱۵۰ کیلوگرم بر هکتار به صورت نواری و زیر بذر مصرف گردید. خاک فسفات و گوگرد هر کدام به مقدار ۳۰۰ کیلوگرم بر هکتار به صورت پودری و به روش نواری زیر بذر استفاده شدند. مایه تلقیح باکتری

(Hagin & Tucker؛ ۱۹۸۲). خاک فسفات^۱ یکی از مواد اولیه تهیه کودهای فسفاته است که از جمله منابع غیر قابل تجدید محسوب می‌شود (Hagin & Tucker؛ ۱۹۸۲، Tisdal & Nelson؛ ۱۹۷۴). در خاکهای اسیدی، خاک فسفات به صورت مستقیم و بدون هیچگونه تیماری مورد استفاده قرار گرفته است (Chien؛ ۲۰۰۱). ولی به دلیل ماهیت خاص خاکهای آهکی امکان مصرف مستقیم آن به تنهایی وجود ندارد (Nelson & Tisdal؛ ۱۹۷۴). یکی از روشهای مصرف مستقیم خاک فسفات، استفاده از مواد اسیدزا است (Chien؛ ۲۰۰۱). در این بین، به استفاده از گوگرد به همراه باکتریهای اکسید کننده گوگرد توجه بیشتری شده است (بشارتی کلایه؛ ۱۳۷۷، Rajan & Edge؛ ۱۹۸۰، Wainwright؛ ۱۹۸۴؛ Zapata & Roy؛ ۲۰۰۴). اسید سولفوریک حاصل از اکسیداسیون گوگرد، با خاک فسفات واکنش داده و تولید مواد محلول تری مانند دی و مونو کلسیم فسفات می‌کند (Stevenson & Cole؛ ۱۹۹۹). در برخی از کشورها مانند نیوزیلند، استرالیا و سریلانکا برای افزایش بازیافت خاک فسفات، آن را با گوگرد مخلوط و برای تشدید اکسیداسیون گوگرد، از باکتریهای تیوباسیلوس استفاده می‌کنند (Pathiratna et al.؛ ۱۹۸۴). در یک آزمایش بر روی گیاه لولیوم (*Lolium Perenne* ssp.) (Kittams & Attoe؛ ۱۹۶۵) نشان دادند، مخلوط خاک فسفات، گوگرد و تیوباسیلوس تفاوت معنی داری با سوپرفسفات تریپل نداشت. Choudhary و همکاران (۱۹۹۶) نیز طی یک آزمایش طولانی مدت مزرعه‌ای (۱۹۶۸-۱۹۸۷)، اثرات خاک فسفات و سوپرفسفات را در خاک اسیدی (pH=5.9-6.2) در تناوب ذرت سویا بر مقدار فسفر قابل استفاده و عملکرد گیاه بررسی کردند. در این آزمایش، عملکرد ذرت و سویا با کاربرد فسفر از دو منبع مذکور افزایش یافت و این افزایش در سوپرفسفات بیشتر از خاک فسفات بود. همچنین همبستگی ضعیفی ($r=0/5$) نیز بین مقدار فسفر قابل استفاده خاک و عملکرد سویا وجود داشت. بنا به نظر Van Diest & Aguilar (۱۹۸۱)، تثبیت نیتروژن به طریقه همزیستی در گیاه سویا باعث تسهیل در انجام گروهی از واکنش ها می گردد که می‌توانند منجر به افزایش قابلیت جذب فسفر از خاک فسفات گردند ولی برای شروع فرآیند نیاز به اندکی فسفر قابل دسترس اولیه می‌باشد. Rosa و همکاران (۱۹۸۹) گزارش کردند که تلقیح خاک فسفات و گوگرد با باکتری *Thiobacillus thiooxidans* موجب کاهش سریع pH خاک شد و فسفر قابل دسترس موجود در خاک را به

اوره به مقدار ۳۰۰ کیلوگرم بر هکتار و به صورت تقسیط استفاده گردید. در کلیه تیمارها مقدار ۵۰ کیلوگرم بر هکتار کلرور پتاسیم همراه با سرک اول نیتروژن استفاده شد. پس از یک ماه از زمان کشت، محلول پاشی با غلظت پنج در هزار سولفات آهن، در کلیه تیمارها انجام گرفت. مواد کودی تیمارها که در سال اول استفاده گردید در سال دوم مصرف نشد (جای کرتها عوض نشد و دیگر گوگرد، خاک فسفات، سوپرفسفات تریپل و ماده آلی مصرف نشد). عناصر کودی شامل نیتروژن، پتاسیم و آهن به صورت یکنواخت در تمامی تیمارها استفاده شد. فقط در تیمار T₅ تلقیح با باکتری تیوباسیلوس انجام شد. برای تلقیح باکتری، قبل از کشت ذرت، بر روی پشته‌ها شیباری ایجاد گردید و مایه تلقیح به صورت مایع و به مقدار ۲۵۰ میلی‌لیتر برای چهارپشته با جمعیت ۱۰^۴ سلول در هر میلی‌لیتر مصرف شد. نمونه‌برداری برگ ذرت پس از ظهور گل‌های نر از برگ روبروی بلال انجام گرفت. در نمونه برگ عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، روی، مس، منگنز و گوگرد تعیین گردید (امامی؛ ۱۳۷۵). نمونه‌برداری خاک نیز از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر صورت گرفت. در نمونه خاک تهیه شده عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، روی، منگنز و مس اندازه‌گیری گردید (علی‌احیانی و بهبهانی زاده؛ ۱۳۷۲). نتایج با نرم افزار STATC و MSTAG تجزیه آماری شد و مقایسات میانگین با روش دانکن انجام گردید.

نتایج

جداول (۲۱) نتایج تجزیه خاک محل اجرای آزمایش و آب مورد استفاده در آبیاری را نشان می‌دهند. نتایج حاصل از آزمایش سال اول، که بر روی گیاه سویا انجام شد، در جدول ۳ آمده است. تیمارهای T₂ (سوپر فسفات تریپل)، T₃ (خاک فسفات) و T₅ (خاک فسفات + گوگرد + تیوباسیلوس) به ترتیب ۲۳/۷۷، ۲۲/۸۱ و ۳۴/۵۷ درصد عملکرد دانه سویا را نسبت به شاهد (تیمار T₁) افزایش دادند. تیمار T₅ بیشترین عملکرد دانه را به خود اختصاص داده و تنها تیماری است که با شاهد تفاوت معنی‌دار نشان می‌دهد. این در حالی است که تیمارهای T₂ و T₃ با تیمار T₅ در یک سطح آماری قرار دارند (جدول ۳). جمعیت باکتری‌ها و قارچ‌های حل‌کننده فسفات در تیمار T₄ به ترتیب صفر و ۴/۵×۱۰^۴ سلول در هر گرم خاک بود، در حالی که این ارقام در تیمار شاهد ۱/۵×۱۰^۴ و صفر بودند. احتمالاً مصرف گوگرد در تیمار T₄ و اثرات سوء آن بر باکتری‌های حل‌کننده فسفات، دلیل کاهش عملکرد دانه در تیمار مذکور در مقایسه با شاهد (۲/۴ درصد) می‌باشد (جدول ۳). در تیمار T₆ نیز همانند تیمار T₄ عملکرد دانه سویا نسبت به شاهد کاهش یافت.

تیوباسیلوس (Cells g⁻¹ ۱۰^۸ مخلوط چند گونه خشتی دوست) نیز به مقداری یک کیلوگرم بر هکتار در زیر بذر به صورت نواری و به همراه گوگرد و خاک فسفات مصرف گردید. کود دامی به مقدار ۱۰ تن در هکتار از کود گاوی کاملاً پوسیده استفاده شد. برای تأمین عناصر کم مصرف در کل تیمارها از کود کامل میکرو به مقدار ۱۵ کیلوگرم بر هکتار (بسته ۶ کیلوگرمی حاوی ۲۳/۶٪ آهن، ۱۴/۷۵٪ منگنز، ۴۱/۳۰٪ روی، ۱۱/۸٪ مس، ۱/۷۷٪ بور و ۶/۷۸٪ نیتروژن) استفاده شد. قبل از کاشت، مقدار ۵۰ کیلوگرم بر هکتار کود سولفات پتاسیم و نیز ۳۰ کیلوگرم بر هکتار اوره (به عنوان Starter) مصرف گردیدند. همچنین در زمان رشد نیز در طی دو مرحله، مجموعاً ۶۰ کیلوگرم بر هکتار اوره، مصرف شد (در کل ۹۰ کیلوگرم بر هکتار اوره). دانه‌های سویا (رقم ویلیامز) قبل از کشت، با مایه تلقیح سویا حاوی باکتری *Bradyrhizobium japonicum* آغشته گردید. پس از اعمال تیمارهای مختلف و کشت سویا، بلافاصله آبیاری به روش سیفونی انجام شد. برای جلوگیری از آلودگی کرت‌های تلقیح نشده باکتری‌های تلقیح شده، آبیاری هر تکرار به صورت مجزا انجام گرفت. در زمان پنجاه درصد گلدهی مزرعه، نمونه‌برداری برگ از برگ‌های سالم و جوان انجام گرفت. عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، منگنز، روی، مس، آهن و گوگرد در برگ به روش‌های رایج اندازه‌گیری گردیدند (امامی؛ ۱۳۷۵). به منظور جلوگیری از ریزش دانه، برداشت به وسیله قیچی باغبانی انجام شد. نمونه‌های دانه و غلاف نیز جهت انجام تجزیه‌های مورد نظر به آزمایشگاه ارسال شدند. در دانه و غلاف عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، روی، مس، منگنز و گوگرد اندازه‌گیری گردیدند (امامی؛ ۱۳۷۵). درصد روغن و پروتئین دانه نیز در آزمایشگاه بخش تحقیقات دانه‌های روغنی موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر با تکنیک NIR (Near Infrared Reflectant) اندازه‌گیری گردیدند. از هر کرت آزمایش، نمونه خاک مرکب از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر تهیه و در نمونه‌های خاک عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، روی، منگنز و مس اندازه‌گیری شدند. شمارش باکتری‌ها و قارچ‌های حل‌کننده فسفات در تیمارهای T₁ و T₄ انجام گرفت (Kucey؛ ۱۹۸۳، Sperber؛ ۱۹۵۸ و Wollum؛ ۱۹۸۲). در بهار سال بعد (۱۳۸۲)، پس از انجام عملیات شخم، دیسک و تسطیح، نمونه‌برداری خاک از کرت‌ها انجام گردید و در کرت‌ها با همان تیمارهای گیاه سویا، گیاه ذرت (رقم SC704) کشت گردید. در نمونه‌های خاک تهیه شده در این مرحله عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، روی، منگنز و مس و همچنین pH خاک اندازه‌گیری شد (علی‌احیانی و بهبهانی زاده؛ ۱۳۷۲).

تفاوت معنی‌دار نشان داد، ولی با سایر تیمارها از لحاظ آماری در یک سطح قرار داشت (جدول ۳).
جدول (۳) تأثیر تیمارهای مختلف را بر عملکرد دانه، درصد روغن و پروتئین دانه سویا نشان می‌دهد.

ماده آلی استفاده شده در تیمار T₆ جوانه زنی بذرها را به تأخیر انداخته و مانع از رویش تعدادی از بذرها گردید، که این امر نیز دلیل احتمالی کاهش عملکرد تیمار مذکور در مقایسه با شاهد (۱۴/۲ درصد) است. از لحاظ درصد روغن دانه اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای مختلف در سطح پنج درصد مشاهده نشد (جدول ۳). تیمار T₃ بیشترین درصد پروتئین دانه را دارا بود و تنها تیماری بود که با شاهد

جدول ۱- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش پیش از کشت

Texture	B	Cu	Mn Mg	Zn kg ⁻¹	Fe	K	P	2- SO ₄ meq l ⁻¹	T.N	T.N.V %	SP	EC dSm ⁻¹	pH _s	عمق cm
L.	۰/۵۶	۱/۸	۹/۱۲	۱/۸	۲/۸	۲۴۸	۷/۴	۲/۲	۰/۰۵۴	۷/۳	۳۰	۰/۵۹	۷/۷	۰-۳۰

جدول ۲- نتایج تجزیه آب آبیاری

Na ⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	SO ₄ ⁼	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁼	TDS (mg l ⁻¹)	pH	EC dSm ⁻¹
meq l ⁻¹									
۰/۶	۱/۲	۲/۰	۱/۹	۰/۶	۱/۱	۰/۰	۰/۵۶	۸/۱۱	۰/۳۶۷

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر عملکرد دانه، درصد روغن و پروتئین دانه سویا*

تیمار	عملکرد دانه (kg ha ⁻¹)	روغن دانه (%)	پروتئین دانه (%)
T ₁	۲۵۴۴/۳۲bc	۲۴/۶۳ a	۲۱/۹۸ b
T ₂	۳۱۴۶/۵۷ ab	۲۲/۵۵ a	۲۲/۴۸ ab
T ₃	۳۱۰۶/۵۶ ab	۲۴/۳۳ a	۲۴/۲۰ a
T ₄	۲۴۸۳/۱۵ bc	۲۴/۳۸ a	۲۲/۵۳ ab
T ₅	۳۳۲۳/۸۹ a	۲۳/۴ a	۲۲/۴۵ ab
T ₆	۲۱۸۲/۰۳ c	۲۴/۰۵ a	۲۳/۱۸ ab
c.v.(%)	۱۵/۶۳	۳/۵۹	۳/۸۸

* در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف یکسان هستند، از نظر آماری (روش دانکن) در سطح ۰/۵ تفاوت معنی‌دار ندارند.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر غلظت عناصر در برگ سویا*

Mn	Cu mg kg ⁻¹	Zn	Fe	S	K %	P	N	تیمار
۲۱۹a	۳۶b	۹۴/۲a	۱۴۸a	۰/۲۱۳a	۱/۳۴a	۰/۲۲۷a	۳/۶۱۸a	T ₁
۲۲۲a	۳۷b	۹۲a	۱۴۸a	۰/۲۲۵a	۱/۴۵a	۰/۲۵a	۳/۸۶۵a	T ₂
۲۰۷ab	۳۶b	۹۳a	۱۴۴a	۰/۲۳۹a	۱/۳۱a	۰/۲۱۵a	۳/۵۰۵a	T ₃
۲۱۴a	۳۵b	۹۶a	۱۶۸a	۰/۲۳۵a	۱/۲۸a	۰/۲۱۵a	۳/۴۸۵a	T ₄
۲۱۱ab	۳۷b	۸۸a	۱۹۳a	۰/۲۲۱a	۱/۴۵a	۰/۲۳a	۳/۸۷۷a	T ₅
۱۹۲b	۴۲a	۱۰۵a	۱۶۰a	۰/۲۳۸a	۱/۴۵a	۰/۲۲۵a	۳/۷۰۳a	T ₆
۶/۰۲	۶/۲۰	۱۲/۰۶	۱۹/۶	۸/۵	۸/۵	۷/۷۱	۱۰/۸	c.v. (%)

* در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف یکسان هستند، از نظر آماری (روش دانکن) در سطح ۰/۵ تفاوت معنی‌دار ندارند.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر غلظت عناصر در دانه سویا*

Mn	Cu	Zn mgkg ⁻¹	Fe	S	K %	P	N	تیمار
۵۵a	۲۲a	۵۵a	۱۰۳a	۰/۳۹۵a	۱/۵۸۵a	۰/۵۸۷ab	۴/۷۳b	T ₁
۵۸a	۲۱a	۳۷a	۹۸a	۰/۴۰۲a	۱/۵۶۰a	۰/۵۶۰ab	۵/۲۴۵ab	T ₂
۵۳a	۲۲a	۵۰a	۹۹a	۰/۳۴۳a	۱/۵۶۵a	۰/۵۶۵ab	۵/۲۰۵ab	T ₃
۵۳a	۲۲a	۵۳a	۱۱۷a	۰/۳۷۳a	۱/۶۱a	۰/۵۸۰ab	۴/۹۵۵ab	T ₄
۵۷a	۲۱a	۳۷a	۹۷a	۰/۳۴۵a	۱/۵۶۰a	۰/۵۴۵b	۵/۳۷۵a	T ₅
۵۳a	۲۳a	۵۵a	۱۰۴a	۰/۳۹۳a	۱/۵۹۵a	۰/۶۲۷a	۵/۰۶۷ab	T ₆
۱۴/۵۴	۵/۸	۱۰/۳۶	۱۵/۴۴	۱۳/۵۳	۸/۲۶	۷/۱۸	۶/۲۴	c.v.(%)

* در هر ستون میانگین هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، از نظر آماری (روش دانکن) در سطح ۰.۵٪ تفاوت معنی دار ندارند

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر غلظت عناصر در غلاف دانه *

Mn	Cu	Zn mgkg ⁻¹	Fe	S	K %	P	N	تیمار
۲۰bc	۶۵bc	۲۰bc	۴۷a	۰/۲۷۲b	۱/۷۷۵a	۰/۰۵۸a	۰/۵۳b	T ₁
۲۲ab	۶۵bc	۲۵ab	۸۳a	۰/۳۶۵ab	۱/۹۲۵a	۰/۰۸۳a	۰/۷۵۵ ab	T ₂
۲۴a	۸۴a	۲۹a	۸۷a	۰/۴۶۲a	۱/۸۵۰a	۰/۰۸۸a	۰/۵۴۸ab	T ₃
۲۱ab	۵۳c	۱۶c	۱۰۹a	۰/۲۵۹b	۱/۷۲۵a	۰/۰۶۷a	۰/۷۵۸ ab	T ₄
۲۱abc	۷۱ab	۲۱bc	۱۱۴a	۰/۳۳۰ab	۱/۷۲۵a	۰/۰۹۵a	۰/۷۸a	T ₅
۱۸c	۸۱a	۲۴ab	۹۹a	۰/۳۷۵ab	۱/۷۷۵a	۰/۰۷۵a	۰/۵۶۵ab	T ₆
۱۰/۲۷	۱۴/۱۷	۲۱/۳۴	۳۲/۶۶	۲۳/۴۸	۹/۰۹	۲۰/۲۲	۲۱/۹۳	c.v.(%)

* در هر ستون میانگین هایی که حداقل دارای یک حرف یکسان هستند، از نظر آماری (روش دانکن) در سطح ۰.۵٪ تفاوت معنی دار ندارند

جدول ۷- نتایج تجزیه خاک پس از اعمال تیمارها و قبل از کشت سویا (عمق ۳۰-+ سانتی متر)

Cu	Mn	Zn mgkg ⁻¹	Fe	K	P	N %	تیمار
۳/۰۲	۱۲/۳۶	۵/۳	۲/۶۴	۳۰۸	۱۰/۲	۰/۰۵۳	T ₁
۱/۸	۸/۳۸۰	۳/۱۴	۱/۹۴	۲۶۰	۳۲/۲	۰/۰۴۹	T ₂
۱/۷۲	۱۰/۱۸	۳/۷۴	۲/۲	۲۵۶	۹	۰/۰۵۱	T ₃
۱/۵۲	۱۱/۷۶	۱/۸۴	۱/۹۸	۲۵۶	۸/۸	۰/۰۵۱	T ₄
۱/۸۲	۱۳/۸۴	۲/۴۶	۲/۳۲	۲۸۰	۸/۰	۰/۰۰۵	T ₅
۱/۶۸	۱۸/۳۲	۳/۱۲	۱۸/۳۸	۱۴۴۰	۷۹/۲	۰/۱۲۱	T ₆

جدول ۸- نتایج تجزیه خاک پس از برداشت عملکرد در گیاه سویا (عمق ۳۰-۰ سانتی متر) ($\alpha=0.05$)

Cu	Mn	Zn mgkg ⁻¹	Fe	K	P	N %	تیمار
۱/۷۴ab	۲/۳۵ab	۲/۵۳a	۱/۹۷bcd	۲۱۵b	۲/۶۵b	۰/۰۵۸b	T ₁
۱/۲۴b	۲/۱۲b	۱/۵۷ab	۱/۶۶d	۱۹۸b	۲۶a	۰/۰۵۳b	T ₂
۱/۴۸ab	۲/۳۳ab	۱/۳۹b	۱/۸۵cd	۲۲۴b	۲/۲۵b	۰/۰۵۶b	T ₃
۱/۲۵b	۵/۳a	۱/۸۷ab	۲/۳۲abc	۲۲۱b	۲/۲۵b	۰/۰۵b	T ₄
۲/۴۷a	۵/۳۶a	۲/۱۷ab	۲/۴۸ab	۲۲۱b	۲/۱۵b	۰/۰۵۶b	T ₅
۰/۹۱۲b	۵/۳۳a	۲/۳۴ab	۲/۶۶a	۳۳۶a	۲۶/۷a	۰/۰۸a	T ₆
۲۸/۹۴	۳۰/۳۵	۲۹/۳۰	۱۵/۴۸	۱۲/۵۵	۲۱/۶۹	۶/۸۸	c.v.(%)

جدول ۹- مقدار برخی از عناصر غذایی خاک پس از عملیات تهیه زمین در سال دوم قبل از کشت ذرت*

pH	Cu	Mn mgkg ⁻¹	Zn	Fe	K	P	N %	تیمار
۸/۰۲a	۲/۸a	۷/۸ab	۱۰/۲b	۲/۵a	۳۷۳a	۵/۳b	۰/۰۴۸a	T ₁
۸/۰۰۸a	۲/۸۵a	۷/۲ab	۸/۸۵b	۳/۱۵ab	۳۷۲a	۶/۱۵b	۰/۰۳۳a	T ₂
۷/۹۹۳a	۲/۹۵a	۷/۵ab	۸/۸۵b	۳/۲ab	۳۶۹a	۵/۴b	۰/۰۴۶a	T ₃
۷/۸۵۵b	۲/۹a	۸/۸۵a	۹/۵b	۳/۶a	۳۷۷a	۵/۲۵b	۰/۰۳۹a	T ₄
۷/۸۵۳b	۲/۰a	۷/۹ab	۱۵/۷۵a	۳/۳۵ab	۳۹۴a	۶/۰b	۰/۰۴۶a	T ₅
۷/۹۶۲a	۲/۷۵a	۶/۴۵b	۷/۰۵b	۲/۴b	۴۳۱a	۱۱/۲a	۰/۰۵۱a	T ₆
۰/۷۲	۱۸/۹۹	۱۴/۵۳	۲۷/۹۴	۲۰/۰۶	۱۲/۲۲	۲۲/۹۳	۸/۷۴	c.v.(%)

جدول ۱۰- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر عملکرد علوفه تر و مقدار عناصر در برگ ذرت*

Yield kg ha ⁻¹	Mn	Cu mgkg ⁻¹	Zn	Fe	S	K %	P	N	تیمار
۵۷۸۶۰ab	۶۷ a	۱۰/۰b	۳۲ a	۱۲۴ a	۰/۱۹۸ a	۱/۸۵ a	۰/۲۷۵a	۱/۹۷۵a	T ₁
۶۱۹۳۰ab	۶۶ a	۱۰/۵b	۲۸ a	۱۶۸ a	۰/۱۶۳ ab	۱/۹۵ a	۰/۲۸ a	۱/۸۵ a	T ₂
۵۹۲۸۰ab	۶۹ a	۱۰/۵ b	۳۴ a	۱۵۲ a	۰/۱۶۳ ab	۱/۹۳ a	۰/۲۷۵ a	۱/۹۷۵a	T ₃
۵۷۱۵۰ab	۶۷ a	۹/۶۳ b	۳۴ a	۱۵۴ a	۰/۱۱۷ bc	۲/۰۰ a	۰/۲۷۳ a	۱/۹۷۵a	T ₄
۶۷۱۹۰a	۷۳ a	۱۰/۵ b	۳۵ a	۱۵۸ a	۰/۱۵abc	۱/۹۵ a	۰/۲۸۵ a	۲/۰۵ a	T ₅
۵۳۷۲۰b	۷۳ a	۱۴/۳۸ a	۳۴ a	۱۴۹ a	۰/۱۱ c	۲/۰۰ a	۰/۳۰۸ a	۲/۱۰ a	T ₆
۱۲/۴	۱۳	۱۱/۱۳	۱۵	۱۴/۶	۱۷/۸۲	۹/۹	۱۱/۷۲	۱۰/۷	c.v. %

* در هر ستون میانگین هایی که حداقل دارای یک حرف یکسان هستند، از نظر آماری (روش دانکن) در سطح ۵٪ تفاوت معنی دار ندارند

جدول ۱۱- نتایج تجزیه خاک پس از برداشت ذرت (عمق ۳۰-۰ سانتی متر)*

Cu	Mn	Zn mgkg ⁻¹	Fe	K	P	N %	تیمار
۱/۳۷۵ a	۴/۲۵ a	۱/۶ a	۱/۸ a	۱۹۲/۵ ab	۲/۳۷۵ b	۱/۰۵۸ a	T ₁
۱/۱۸۰ ab	۳/۶۲۵ a	۱/۱۹ ab	۱/۶۵ a	۱۸۵/۰ b	۲/۱۰۰ b	۰/۰۶۳ a	T ₂
۱/۰۵۵ b	۴/۰۲۵ a	۱/۲۵ ab	۱/۹۷۵ a	۱۸۰/۰ b	۲/۶ b	۰/۰۶ a	T ₃
۰/۵۲۵ c	۳/۵۷۵ a	۱/۴۰۰ ab	۲/۰۲۵ a	۱۷۷/۵ b	۲/۳ b	۰/۰۶۲ a	T ₄
۰/۴۵ c	۴/۰۲۵ a	۰/۹۷۶ b	۱/۷۷۵ a	۱۸۰/۰ b	۲/۳۵ b	۰/۰۶۰ a	T ₅
۰/۵۲۵ c	۳/۹۵ a	۱/۳۰۰ ab	۱/۸۲۵ a	۲۰۲/۵ a	۴/۵ a	۰/۰۶۵ A	T ₆
۲۰/۳	۱۹/۳۵	۲۴/۷۵	۱۵/۶	۴/۸۹	۱۵/۸۲	۲۰/۱۳	c.v. %

* در هر ستون میانگین هایی که حداقل دارای یک حرف یکسان هستند، از نظر آماری (روش دانکن) در سطح ۵٪ تفاوت معنی دار ندارند

معنی دار بود. تیمار T₅ که حداقل pH را دارا بود، بیشترین مس و روی قابل جذب را نیز به خود اختصاص داد.

بیشترین و کمترین وزن علوفه تر ذرت به ترتیب از تیمارهای پنجم و ششم بدست آمد. دو تیمار مذکور تنها تیمارهایی بودند که با هم تفاوت معنی دار داشتند. میزان نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، روی و منگنز جذب شده توسط بخش هوایی ذرت در تیمارهای مختلف تفاوت معنی دار نداشتند. تیمار T₆ کمترین گوگرد و بیشترین مس جذب شده را از خود نشان داد و تفاوت آن با سایر تیمارها معنی دار بود، این در حالی بود که سایر تیمارها با شاهد در یک سطح آماری قرار داشتند (جدول ۱۰).

اندازه گیری عناصر غذایی خاک پس از برداشت ذرت نشان داد که از لحاظ نیتروژن، آهن و منگنز تفاوت معنی داری بین تیمارهای مختلف وجود نداشت. تیمار T₆ با بیشترین فسفر و پتاسیم قابل جذب، تفاوت معنی داری با پنج تیمار دیگر نشان داد، در حالی که از لحاظ روی و مس، تیمار شاهد حائز رتبه نخست بود (جدول ۱۰).

بحث

باکتریهای جنس تیوباسیلوس شیمیوتروف بوده و با اکسایش ترکیبات احیاء شده گوگرد انرژی لازم برای تثبیت CO₂ و انجام فعالیتهای حیاتی را کسب می کنند (Harrison & Kelly؛ ۱۹۸۴). ضمن اکسایش گوگرد مقداری اسید سولفوریک در محیط زیست آنها تولید می گردد (Santer & Vishnac؛ ۱۹۵۷) که در صورت قابل توجه نبودن خاصیت تامپونی محیط، کاهش قابل ملاحظه در pH عارض می گردد (Santer & Vishnac؛ ۱۹۵۷). کاربرد گوگرد همراه با باکتریهای تیوباسیلوس در خاک، با کاهش موضعی pH خاک در اطراف ریشه های گیاه، به حلالت عناصر تثبیت شده در خاکهای آهکی و قلیایی و در نهایت افزایش جذب عناصر توسط گیاه کمک می کند (بشارتی کلایه؛ ۱۳۷۷؛ Rosa et al.؛ ۱۹۸۹).

در تحقیق حاضر خاک قطعه آزمایشی از لحاظ فسفر فقیر بوده و مقدار این عنصر کمتر از حد بحرانی برای دو گیاه کشت شده (ذرت و سویا) بود (جدول ۱)، لذا انتظار می رفت که با افزایش قابلیت جذب آن، افزایش جذب فسفر توسط گیاه و در نهایت افزایش عملکرد حاصل گردد. در تیمار T₅ (خاک فسفات + گوگرد + تیوباسیلوس) ممکن است اکسیداسیون گوگرد توسط باکتریهای تیوباسیلوس باعث انحلال خاک فسفات، افزایش جذب فسفر و در نهایت افزایش عملکرد ۳۴/۵۶ درصدی را نسبت به شاهد ایجاد کرده باشد. میزان فسفر جذب شده در دانه سویا در تیمار T₅ ۷۸۷/۵ و در شاهد ۵۷۷/۵۶ کیلوگرم در هکتار می باشد. بنابراین بخش اعظم افزایش

نتایج اندازه گیری عناصر در برگ گیاه سویا نشان داد که از لحاظ غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم، گوگرد، آهن و روی در بخش هوایی گیاه، بین تیمارهای مختلف اختلاف معنی داری در سطح پنج درصد وجود ندارند. تیمار T₆ بیشترین غلظت مس و کمترین غلظت منگنز را به خود اختصاص داد و تفاوت آن با سایر تیمارها معنی دار بود اما سایر تیمارها در یک سطح آماری قرار داشتند (جدول ۴). از لحاظ غلظت پتاسیم، گوگرد، آهن، روی، مس و منگنز در دانه سویا، تفاوت معنی داری بین تیمارهای مختلف وجود نداشت ولی غلظت نیتروژن دانه سویا در تیمار T₅ بطور معنی داری بیشتر از تیمار شاهد T₁ بود. این در حالی بود که تیمار مذکور با سایر تیمارها در یک سطح آماری قرار داشت (جدول ۵).

اندازه گیری عناصر فسفر، پتاسیم و آهن در غلاف دانه سویا نشان داد که تفاوت معنی داری بین تیمارهای اعمال شده وجود ندارد. تیمار T₃ بیشترین روی، منگنز، مس و گوگرد غلاف را به خود اختصاص داده و تفاوت آن با شاهد معنی دار بود، اما سایر تیمارها با شاهد تفاوت معنی دار نداشتند. از لحاظ نیتروژن نیز، تیمار T₅ تنها تیماری بود که با ۴۷/۱۷ درصد افزایش نسبت به شاهد با آن تفاوت معنی دار نشان داد (جدول ۶).

همان طور که از جدول هشت پیداست، پس از برداشت گیاه سویا مقدار نیتروژن، فسفر و پتاسیم خاک در تیمار T₆ بیشتر از سایر تیمارها بوده و با آنها تفاوت معنی دار نشان داد، در حالی که از لحاظ مس، منگنز و روی تفاوت بین تیمارهای مختلف معنی دار نبود. در مورد آهن روند مشخصی در تیمارهای مختلف ملاحظه نشد ولی با این وجود، تیمار T₆ همچنان بیشترین مقدار آهن را نشان داد. تیمار T₂ کمترین مقدار نیتروژن، پتاسیم، آهن، منگنز و مس را به خود اختصاص داد ولی تفاوت آن با شاهد از لحاظ آماری معنی دار نبود (جدول ۸).

در سال دوم اجرای تحقیق، قبل از کشت ذرت عملیات تهیه زمین انجام گرفت و از قطعات نمونه خاک تهیه و برخی از عناصر غذایی و همچنین pH خاک در نمونه ها اندازه گیری شدند (جدول ۹). از لحاظ نیتروژن، پتاسیم و مس بین تیمارهای مختلف تفاوت معنی داری ملاحظه نشد. تیمار T₆ بیشترین فسفر را دارا بود و تفاوت آن با سایر تیمارها معنی دار بود ولی تیمارهای دیگر همگی در یک سطح آماری قرار داشتند. نکته شایان توجه در جدول (۹) این است که در تیمارهایی که گوگرد مصرف شده بود (تیمارهای T₄، T₅ و T₆) pH خاک کاهش یافت و این فقط در مورد دو تیمار T₄ و T₅ در مقایسه با شاهد

زمان کم اکسیداسیون گوگرد و عدم اکسایش مقادیر کافی آن ارتباط داد. معنی دار نبودن اثر کاربرد گوگرد و تیوباسیلوس در افزایش غلظت برخی از عناصر در خاک و گیاه در مقایسه با شاهد را می‌توان تا حدود زیادی به خاصیت بافری خاک نسبت داد. کلباسی و همکاران (۱۹۸۶) عدم رفع کلروز درختان میوه در نتیجه مصرف گوگرد را به خاصیت بافری بالای خاکهای آهکی و اکسیداسیون کم گوگرد در تیمارهای حاوی گوگرد ارتباط دادند.

قسمت اعظم گوگرد معدنی در خاک به روش بیولوژیک اکسید می‌گردد (Tabatabai؛ ۱۹۸۶ و Wainwright؛ ۱۹۸۴). شرایط محیطی از جمله حاصلخیزی خاک و جمعیت میکروارگانیسم‌های اکسیدکننده در شدت اکسایش گوگرد تأثیر قابل توجهی دارند. معنی دار نبودن برخی از شاخص‌های اندازه‌گیری شده در خاک و گیاه در مقایسه با شاهد را می‌توان به اکسایش کم گوگرد در نتیجه پائین بودن عناصر غذایی خاک (Agrifacts؛ ۲۰۰۳) و جمعیت اکسیدکنندگان گوگرد (بشارتی کلایه؛ ۱۳۷۷ و Wainwright؛ ۱۹۸۴) نیز نسبت داد.

استفاده از گوگرد و باکتری‌های اکسیدکننده آن (تیوباسیلوس) به منظور بهبود جذب عناصر غذایی در خاک‌های آهکی به عوامل متعددی از جمله نوع و مقدار گوگرد مصرفی، جمعیت اولیه و تلقیح شده باکتری‌ها و مهم‌تر از همه خصوصیات خاک (خاصیت بافری خاک و میزان قابل جذب عناصر) بستگی دارد. لذا قبل از هر گونه توصیه و تصمیم‌گیری باید ابتدا کارایی و مزیت نسبی استفاده از آنها در شرایط مختلف بررسی شود تا بتوان توصیه لازم و تصمیم مناسب را اتخاذ نمود.

تقدیر و تشکر

از جناب مهندس یوسف رضا باقری بخاطر همکاری در اجرای طرح و از خانم خیرآوران بخاطر تایپ مقاله تشکر و قدردانی می‌گردد.

عملکرد را می‌توان به افزایش انحلال فسفر در این تیمار نسبت داد. در مورد ذرت نیز چنین اثراتی مشاهده گردید.

Schofield و همکاران (۱۹۸۱) استفاده از بیوسوپر (مخلوط خاک فسفات، گوگرد و باکتریهای تیوباسیلوس) را به عنوان کود فسفوری در سه خاک متفاوت ارزیابی و گزارش نمودند که با کاربرد فسفر یکسان، در دو خاک مورد آزمایش، عملکرد گندم مشابه سوپرفسفات ساده بود. میزان فسفر جذب شده در تیمارهای تیوباسیلوس، گوگرد، گوگرد + تیوباسیلوس و کود سوپر فسفات به ترتیب ۳/۶، ۳/۹، ۴/۱ و ۴/۵ میلی‌گرم در گلدان و عملکرد گندم در تیمارهای مذکور به ترتیب ۱/۷، ۱/۸، ۸/۱ و ۱/۹ گرم در گلدان گزارش شدند.

Rosa و همکاران (۱۹۸۹) استفاده از مخلوط گوگرد، خاک فسفات و تیوباسیلوس در افزایش فسفر قابل جذب خاک را در مقایسه با شاهد معنی دار گزارش کردند. در تحقیق حاضر در تیمارهای حاوی گوگرد، خاک فسفات و تیوباسیلوس نسبت به شاهد تغییر معنی دار مشاهده نشد. خشتی شدن اسید حاصل از اکسایش گوگرد توسط ظرفیت تامپونی قابل توجه خاک دلیل احتمالی این امر می‌باشد. Swaby (۱۹۷۵) در بررسی انجام شده، گرانول کردن خاک فسفات + گوگرد + باکتری تیوباسیلوس را به علت اثر اسید بر خاک فسفات موجود در گرانول و خشتی نشدن آن توسط خاک، مؤثرتر ارزیابی نمود.

افزایش عملکرد خشک ذرت (۲۰، ۲۶ و ۱۴) در نتیجه مصرف گوگرد نیز گزارش شده اند. Kline و همکاران (۱۹۸۹) عدم پاسخ ذرت به مصرف گوگرد را به تأمین سولفات گیاه از سایر منابع دیگر نسبت دادند. در تحقیق حاضر مصرف گوگرد + خاک فسفات (تیمار T₄) نتوانست نسبت به شاهد در شاخص‌های اندازه‌گیری شده اثر معنی دار ایجاد کند. جمعیت کم اکسیدکنندگان گوگرد در خاک و عدم اکسایش کافی گوگرد (بشارتی کلایه؛ ۱۳۷۷ و Swaby؛ ۱۹۷۵) در این تیمار را می‌توان از دلایل احتمالی این مسئله عنوان کرد. Agrifacts (۲۰۰۳) پائین بودن افزایش عملکرد گندم در تیمار گوگرد عنصری را به

فهرست منابع:

۱. امامی، ع. ۱۳۷۵. روشهای تجزیه گیاه. نشریه فنی شماره ۹۸۲، موسسه تحقیقات خاک و آب، نشر آموزش کشاورزی، کرج، ایران.
۲. بشارتی کلایه، ح. ۱۳۷۷. بررسی اثرات کاربرد گوگرد همراه با گونه‌های تیوباسیلوس در افزایش قابلیت جذب برخی از عناصر غذایی در خاک. پایان نامه کارشناسی ارشد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
۳. سالار دینی، ع. ۱۳۷۱. حاصلخیزی خاک. چاپ چهارم، شماره ۱۷۳۹، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۴. علی احمادی، م. و ع. ا. بهبهانی زاده. ۱۳۷۲. شرح روشهای تجزیه خاک (جلد اول). موسسه تحقیقات خاک و آب، نشریه شماره ۸۹۳، تهران، ایران.
۵. کوچک‌زاده، ی.، م. ج.، ملکوتی و ک. خاوازی. ۱۳۸۰. نقش گوگرد، تیوباسیلوس، حل‌کننده‌های فسفات و تفاله چای در تأمین فسفر مورد نیاز ذرت از خاک فسفات. مجله خاک و آب، ویژه نامه مصرف بهینه کود، جلد ۱۲، شماره ۱۴، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران.
۶. ملکوتی، م. ج. ۱۳۷۸. کشاورزی پایدار و افزایش عملکرد با بهینه سازی مصرف کود در ایران. چاپ دوم، نشر آموزش کشاورزی، سازمان تات، وزارت کشاورزی، کرج، ایران.
7. Agrifacts. 2003. Sulfate- VS. Elemental sulfur Part II: Characteristics of sulfur oxidation sou. / URL: [http:// WWW. Back- To- basics. Net/agrifacts/ pdf/ b2b2 9 b. pdf](http://WWW.Back-To-basics.Net/agrifacts/pdf/b2b29b.pdf).
8. Aguilar, S. and A. Van Diest. 1981. Rock –phosphate mobilization induced by the alkaline uptake pattern of legumes utilizing symbiotically fixed nitrogen. *Plant and Soil*, 61:27-42.
9. Chien, S. H. 2001. Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphate rock: A general review. International Meeting on Direct Application of Phosphate Rock and Related Technology. Kuala Lumpur, Malaysia.
10. Chien, S. H. 2001. IFOC'S Evaluation of modified phosphate rock products. International Meeting on Direct Application of Phosphate Rock and Related Technology, Kuala Lumpur, Malaysia.
11. Choudhary, M., L. D. Bailey and T. R. Peck. 1996. Effect of rock phosphate and superphosphate on crop yield and soil phosphorus test in long term fertility plots. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 27: 3085-3099.
12. Cifuentes, F. R. and W. C. Linderman. 1993. Organic matter stimulation of elemental sulfur oxidation in a calcareous soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 75: 727-731.
13. Hagin, J. and B. Tucker. 1982. Fertilization of Dryland and Irrigated Soils, Hidelberg, New York.
14. Kalbasi, M., F. Filsoof, and Y. Rezai – Nejad. 1988. Effect of sulfur treatment on yield and uptake of Fe, Zn and Mn by corn, sorghum and soybean. *J. Plant Nutr.*, 11(6- 11): 1353 – 1360.
15. Kalbasi, M., N. Manuchehri, and F. Filsoof, 1986. Local acidification of soil as a means of alleviate iron chlorosis on quince orchards. *J. Plant Nutr.*, 9 (3-7): 1001-1007.
16. Kelly, D. P. and A. P. Harrison. 1984. Genus *Thiobacillus*. In: Staley, J. T. (ed.) *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*. 9th ed. Williams and Wikins, Baltimore.
17. Khavazi, k., F. Nourgholipour and M. J. Malakouti. 2001. Effect of *Thiobacillus* and phosphate solubilizing bacteria on increasing P availability from rock phosphate for corn. International Meeting on Direct Application of Rock Phosphate and Related Technology, Kuala Lumpur, Malaysia.
18. Kittams, H. H. and O. J. Attoe. 1965. Availability of P in rock phosphate sulfur fusion. *Agron. J.*, 57: 331-334.
19. Kline, J.S., J.T. Sims, and L. Schilke-Gartely. 1989. Response of irrigated corn to sulphur fertilization in the Atlantic costal plain. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53: 1101-1108.
20. Kochar, R. K., B. R. Arora and V. K. Nayyar. 1990. Effect of sulfur and zinc application on maize crop. *J. Indian Soc. Soil Sci.*, 38: 339-341.
21. Kucey, R. M. N. 1983. Phosphate solubilizing bacteria and fungi in various cultivated and virgin Alberta soils. *Can. J. Soil Sci.* 79: 227-234.

22. Pathiratna, L. S. S., U. P. De, S. Waidyanatha, and O. S. Peries. 1989. The effect of apatite and elemental sulfur mixtures on the growth and P content of *Centrocema pubescent*. Fertilizer Research, 21:37-43.
23. Rajan S.S.S. and E. A. Edge. 1980. Dissolution of granulated low grade phosphate rock, phosphate rock / sulphur (Biosuper), and superphosphate in soil. New Zealand Journal of Agricultural Research, 23: 451-456.
24. Rosa, M. C., J. Muchovej, J. Muchovej and V. H. Alvarez. 1989. Temporal relation of phosphorus fraction in an oxisol amended rock phosphate and *Thiobacillus thiooxidans*. Soil. Sci. Soc. Am. J., 53: 1096-1100.
25. Schofield, P. E., P. E. H. Gregg, and J. K. Syers. 1981. Biosuper as a phosphate fertilizer: A glasshouse evaluation. N.Z. J. Expl. Agric., 9: 63-67.
26. Singh, D. and I. M. Chhibba. 1991. Evaluation of some sources of sulfur using maize and wheat as test crops. J. Indian Soc. Soil Sci., 39: 514-516.
27. Sperber, J. I. 1958. The incidence of apatite solubilizing organisms in the rhizosphere. Australian Journal of Agricultural Research, 9: 778-781.
28. Stevenson, F. J. and M. A. Cole. 1999. Cycles of Soil. Second Edition. PP.427. John Wiley and Sons. Inc., New York.
29. Swaby, R. J. 1975. Biosuper- Biological Superphosphate. In: McLachlan, K. D. (ed.) Sulfur in Australian Agriculture. Sydney University Press, Sydney.
30. Tabatabai, M. A. 1986. Sulfur in Agriculture. Am. Soc. Agron. Madison, WI., U. S. A.
31. Tisdale, S. L. and W. L. Nelson. 1974. Soil Fertility and Fertilizers. Collier Machmillan, USA.
32. Vishniac, W. and M. Santer. 1957. The *Thiobacilli*. Bacteriol. Rev., 21: 195- 213.
33. Wainwright, M. 1984. Sulfur oxidation in soils. Advances in Agronomy, 37: 349-396.
34. Wollum, A. G. 1982. Cultural methods for soil microorganisms. In: Methods of Soil Analysis, Part. Ed. Page, A. L. et al. PP. 781-801. American Society of Agronomy and soil science society of America, Madison, WI.
35. Zapata, F. and R. N. Roy. 2004. Use of phosphate rocks for sustainable agriculture. URL: <http://www.FAO.Org/documents/show-cdr.asp?url-file=/docrep/007/Y50>.

Evaluation of Rock Phosphate, Sulfur and *Thiobacillus* Application Affecting the Yield and Quality of Soybean and their Residual Effects on Corn Growth

F. Nourgholipour, K. Khavazi, H. Besharati and A. Fallah¹

Abstract

This experiment was carried out at Karaj Soil and Water Research Station during 2002 and 2003 for evaluation of rock phosphate, sulfur, and *Thiobacillus* on the yield and quality of soybean and their residual effects on corn growth. The experiment was based on a randomized complete block design with six treatments and four replications. The treatments were: T₁=control; T₂=Triple superphosphate; T₃=rock phosphate; T₄=rock phosphate + sulfur; T₅=rock phosphate + sulfur+ *Thiobacillus* inoculum; and T₆=rock phosphate + sulfur + manure. No phosphorus fertilizer was applied in the control treatment (T₁) during the first year, while in the second treatment (T₂) 150 kg ha⁻¹ of triple superphosphate was applied in a band below the seeds. Each one of rock phosphate and sulfur was applied in the form of powder at a rate of 300 kg ha⁻¹. *Thiobacillus* inoculant was used at a rate of one kg ha⁻¹ (10⁸ cells g⁻¹ inoculum). Composted cow manure was also used at a rate of 10 tons ha⁻¹. Soybean seeds of Williams variety were inoculated with a *Bradyrhizobium japonicum* before sowing. A SC 704 variety of corn planted in the second year in the same plots used for soybean. No phosphorus fertilizers were applied during the second year, while in T₅, *Thiobacillus* inoculant was used. Soil samples were collected each year from 0-30 cm depth following harvest and leaf sampling. Results of first year indicated that the application of triple superphosphate improved the yield as compared with the control though not significantly (even at 5 % level). Rock phosphate application also increased the yield though less than triple superphosphate. T₅ increased the yield significantly as compared with the control but no significant differences (at 5 % level) were observed among yields of T₅, T₂ and T₃. There was no significant differences among treatments respect with seed oil concentration. In the second year, the highest forage yield of 67190 kg ha⁻¹ was obtained in T₅ which was significantly (at 5 % level) differ from T₆. No significant yield differences were obtained with the other treatments at 5 % level. T₂ (triple superphosphate) improved the yield as compared with the control but this increase was not significant.

Keywords: Rock Phosphate; Sulfur; *Thiobacillus*; Soybean; Corn; Residual effects