اثرات اصلی خاک فسفات، گوگرد و باکتری تیوباسیلوس بر شاخص های عملکرد محصول ذرت و اثرات باقیمانده آن بر عملکرد محصول جو

رامین ایرانی پور،[1]* محمد جعفر ملکوتی، محمد جواد عابدی، اشرف السادات سجادی و حسین غفوریان

استادیار پژوهش مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی شهرکرد؛ ramin_iranipour45@yahoo.com
استاد دانشگاه تربیت مدرس؛ mjmalakouti@hotmail.com
استاد واحد علوم و تحقیقات تهران
استاد پژوهش سازمان ترویج، آموزش و تحقیقات کشاورزی
استاد پژوهش سازمان انرژی اتمی ایران

چکیده

به منظور بررسی اثرات گوگرد و باکتری تیوباسیلوس برقابلیت جذب فسفر از منبع خاک فسفات و مطالعه اثرات باقیمانده تیمارها، آزمایشی در قالب طرح آماری بلوکهای کامل تصادفی در دو بخش مزرعه‌ای با 5 تیمار در سه تکرار در کرتهای به مساحت 15 متر مربع طی سالهای 1380 تا 1382 اجرا گردید. تیمارهای آزمایش عبارت بودند از: T_1:Control= شاهد (بدون استفاده از کود فسفاتی)، T_2:TSP = فسفر از منبع سوپرفسفات تریپل (به میزان150 کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل براساس آزمون خاک)، T_3:Ap = فسفر از منبع خاک فسفات (به میزان 196/3 کیلوگرم در هکتار خاک فسفات که براساس کمیت فسفر مصرفی از منبع سوپرفسفات تریپل و درصد خلوص فسفر در نمونه خاک فسفات مصرفی محاسبه گردید)، T_4:Ap+Sul = فسفر از منبع خاک فسفات به همراه گوگرد، T_5: Ap+Sul+Th = فسفر از منبع خاک فسفات به همراه گوگرد و باکتری تیوباسیلوس (در این تحقیق گوگرد به میزان 33/3 درصد وزن خاک فسفات مصرفی معادل65/4 کیلوگرم در هکتار و باکتری *Thiobacillus thiooxidans*. به میزان 3/3 درصد وزن خاک فسفات مصرفی معادل 6/5 کیلوگرم در هکتار مورد استفاده قرار گرفت، نمونه مورد استفاده دارای جمعیت $3/8 \times 10^7$ باکتری در هر گرم بود). بخش اول اجرای تحقیق با کشت گیاه ذرت (*Zea mays* L.) به منظور مطالعه اثرات اصلی تیمارها و بخش دوم اجرای تحقیق با کشت گیاه جو (*Hordeum vulgare* L.) به منظور مطالعه اثرات باقیمانده تیمارها اجرا گردید. شاخص‌های مورد نظر برای محصول ذرت شامل عملکرد خشک، درصد ماده خشک در بوته، سرعت رشد گیاه، مقادیر فسفر و روی در برگ، عملکرد فسفر کل، کارایی زراعی نسبی، مقدار فسفر قابل جذب خاک و شاخص های مورد نظر برای محصول جو شامل عملکرد کاه، عملکرد دانه، وزن هزار دانه، شاخص برداشت و کارایی زراعی نسبی تیمارها بود. نتایج این بررسی نشان داد که اثرات اصلی تیمارها (برای محصول ذرت) بر درصد ماده خشک در بوته و کارایی زراعی نسبی در سطح احتمال یک درصد و بر عملکرد خشک و سرعت رشد گیاه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید ولی بر مقدار فسفر و روی در برگ، عملکرد فسفر کل و فسفر قابل جذب خاک تأثیر معنی‌دار نداشت. اثرات باقیمانده تیمارها (برای محصول جو) بر عملکرد کاه در سطح احتمال پنج درصد معنی دار گردید ولی بر عملکرد دانه، وزن هزار دانه، شاخص برداشت و کارایی زراعی نسبی تأثیر معنی دار نداشت. نتایج این تحقیق نشان داد که اثرات اصلی خاک فسفات به همراه گوگرد و تیوباسیلوس باعث ارتقاء عملکرد خشک (به میزان 26/8 درصد) و درصد ماده خشک (به میزان 13 درصد)، و اثرات باقیمانده همین تیمار باعث ارتقاء عملکرد کاه (به میزان15/2 درصد) در مقایسه با سوپر فسفات تریپل گردید.

واژه های کلیدی: گوگرد، تیوباسیلوس، خاک فسفات، فسفر

1- نویسنده مسئول، آدرس: شهرکرد، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی- صندوق پستی 415

* دریافت: 84/10/5 و پذیرش: 86/6/4

مقدمه

گوگرد در خاک به شکل ترکیبات معدنی و آلی وجود دارد. در خاکهای مناطق خشک بخش اعظم گوگرد در خاک به شکل ترکیبات معدنی و بخش اندکی از آن به صورت ترکیبات آلی یافت می‌گردد. گوگرد در طبیعت در ساختمان بیش از 2000 کانی وجود داشته و به عنوان سیزدهمین عنصر موجود در ساختار پوسته کره زمین شناخته شده است. سولفات ($SO4^{2-}$) شکل معدنی و غالب گوگرد در خاکهای آهکی مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشد (ترکیب عمده گوگرد در خاکهای این مناطق بصورت سولفات کلسیم یا گچ می‌باشد) (Paul و Clarck 1996). گوگرد یکی از عناصر پر مصرف و ضروری برای تمام موجودات زنده می‌باشد. این عنصر در تشکیل کلروفیل گیاهان، فعال کردن برخی از آنزیم‌ها، تشکیل آنزیم نیتروژناز و نیز در ساختمان برخی از ویتامین‌ها دخالت دارد. این عنصر باعث افزایش مقاومت گیاهان به امراض، خشکی و سرما می‌شود و همچنین از تجمع نیترات در گیاه جلوگیری می‌کند (Rupela و Tauro: 1973، Schofield و همکاران: 1981). باکتری‌های جنس *Thiobacillus* مهمترین اکسید کنندگان گوگرد در خاک بشمار می‌روند، تلقیح خاک با این باکتری‌ها باعث افزایش سرعت اکسایش گوگرد خواهد شد. در صورتیکه جمعیت این باکتری‌ها در خاک پائین باشد، مصرف گوگرد همراه با این باکتری‌ها در خاکهای قلیایی و آهکی اثرات سودمندی را بدنبال خواهد داشت (Rupela و Tauro: 1973). بررسی‌های دیگر محققان نیز نشان داده است که استفاده از گوگرد همراه با باکتری‌های تیوباسیلوس، در بسیاری از موارد نتایج سودمندی را در اصلاح خاک و بهبود وضعیت تغذیه گیاه بدنبال داشته است (بشارتی کلایه و صالح راستین 1379). نتایج تحقیقات Abedi و Talibudeen (1974) نشان داد میزان بازیافت فسفر از خاک رابطه مستقیم با کمیت فسفر موجود در خاک و رابطه معکوس با سطح کل کربنات های خاک داشت. بررسی‌ها Schofield و همکاران (1981) نشان داد مصرف بیوسوپر (آپاتیت + گوگرد + باکتری تیوباسیلوس) عملکرد ماده خشک شبدر سفید را 10 تا 20 درصد افزایش داد. در این بررسی با کاربرد مقدار فسفر یکسان، عملکرد بیوسوپر، مشابه سوپر فسفات بود و جذب فسفر نیز افزایش یافت. Kittams و Attoe (1987) نشان دادند هنگامی که خاک فسفات به همراه باکتری تیوباسیلوس و گوگرد استفاده گردید، درصد بازیافت فسفر از خاک فسفات بصورت مطلوبی با سوپرفسفات تریپل قابل مقایسه بود. Rosa و همکاران (1989) گزارش کردند که تلقیح مخلوط گوگرد و خاک فسفات با باکتری *Thiobacillus thiooxidans*. موجب کاهش pH خاک شد و در نتیجه فسفر قابل دسترس موجود در خاک را افزایش داد، بطوری که عملکرد در این تیمارها به اندازه عملکرد حاصل از مصرف سوپرفسفات تریپل بود. در تحقیق انجام گرفته بوسیله Pathiratan و همکاران (1989) مشاهده گردید که کاربرد خاک فسفات به همراه باکتری تیوباسیلوس و گوگرد باعث افزایش عملکرد گیاه مرتعی *Centrocema pubescens* گردید. در بررسی‌های انجام شده توسط Ghani و همکاران (1994) ملاحظه گردید که افزودن گوگرد و باکتری تیوباسیلوس به خاک فسفات باعث افزایش حلالیت فسفر از منبع خاک فسفات گردید. Khavazi و همکاران (2001) طی یک آزمایش گلخانه‌ای گزارش کردند که استفاده از خاک فسفات به همراه گوگرد و باکتری تیوباسیلوس عملکرد وزن خشک ذرت را نسبت به شاهد بطور معنی‌دار افزایش داد ولی نسبت به سوپرفسفات تریپل اختلاف معنی‌دار نشان نداد. Besharati و همکاران (2001) گزارش کردند خاک فسفات به همراه گوگرد و باکتری تیوباسیلوس اگر با مواد آلی همراه گردد حتی می‌تواند موثرتر از سوپرفسفات تریپل باشد. تحقیقات بشارتی کلایه (1377) نشان داد که حداکثر میزان جذب فسفر توسط گیاه ذرت هنگامی بود که گوگرد و باکتری تیوباسیلوس با هم به خاک اضافه گردیدند. نورقلی‌پور و همکاران (1379)، بشارتی کلایه (1379)، لطف‌الهی و همکاران (1379) طی آزمایش های جداگانه روی ذرت بیان کردند استفاده از خاک فسفات همراه گوگرد و باکتری تیوباسیلوس باعث افزایش حلالیت خاک فسفات گردید و عملکرد گیاه ذرت را بطور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش داد ولی اختلاف معنی‌داری با سوپرفسفات نشان نداد.

این تحقیق با هدف بررسی تأثیر گوگرد و باکتری تیوباسیلوس بر قابلیت جذب فسفر از منبع خاک فسفات و مطالعه اثرات اصلی و باقیمانده آنها بر شاخص های عملکرد محصول و نیز ایجاد زمینه و بستر مناسب برای استفاده از منابع سنگ فسفات در کشور، کاهش آلودگی های زیست محیطی ناشی از تجمع کادمیم در خاک بر اثر استفاده از کودهای فسفاتی و متعاقب آن ارتقاء سطح سلامت عمومی جامعه انجام گردید.

مواد و روش ها

در این تحقیق به منظور بررسی اثرات اصلی و باقیمانده گوگرد و باکتری تیوباسیلوس بر قابلیت جذب فسفر از منبع خاک فسفات، آزمایشی در قالب طرح آماری بلوکهای کامل تصادفی در شرایط مزرعه با 5 تیمار در سه تکرار در کرتهایی به مساحت 15 متر مربع در مزرعه تحقیقاتی مرکز

تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان چهار محال و بختیاری طی سالهای 1380 تا 1382 اجرا گردید. خاک فسفات مورد استفاده در آزمایش از منابع سنگ فسفات معدن آسفوردی تهیه گردید. تیمارهای مورد استفاده در تحقیق عبارت بودند از: T_1:Control= شاهد (بدون استفاده از کود فسفاتی)، T_2:TSP = فسفر از منبع سوپرفسفات تریپل (به میزان150 کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل معادل 65/5 کیلو گرم در هکتار P_2O_5 براساس آزمون خاک)، T_3:Ap = فسفر از منبع خاک فسفات (به میزان 196/3 کیلوگرم در هکتار خاک فسفات معادل 65/5 کیلو گرم در هکتار P_2O_5 که براساس کمیت فسفر مصرفی از منبع سوپرفسفات تریپل و درصد خلوص فسفر در نمونه خاک فسفات مصرفی محاسبه گردید: خاک فسفات مصرفی حاوی 35 درصد P_2O_5 بود. آلودگی خاک فسفات مورد استفاده در تحقیق به کادمیم نزدیک صفر بود)، T_4:Ap+Sul = فسفر از منبع خاک فسفات به همراه گوگرد، T_5: Ap+Sul+Th = فسفر از منبع خاک فسفات به همراه گوگرد و باکتری تیوباسیلوس (در این تحقیق گوگرد به میزان 33/3 درصد وزن خاک فسفات مصرفی معادل65/4 کیلوگرم در هکتار و باکتری *Thiobacillus thiooxidans*. به میزان 3/3 درصد وزن خاک فسفات مصرفی معادل 6/5 کیلوگرم در هکتار مورد استفاده قرار گرفت، نمونه مورد استفاده دارای جمعیت $3/8\times10^7$ باکتری در هر گرم بود). در این بررسی کود نیتروژنی براساس آزمون خاک و جداول توصیه کودی به میزان 350 کیلوگرم در هکتار از منبع اوره برای کلیه تیمارها بطور یکنواخت مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به مقدار قابل توجه پتاسیم قابل جذب خاک، کود پتاسی مورد استفاده قرار نگرفت. بذر مورد استفاده در اجرای بخش اول آزمایش (کشت ذرت) بذر ذرت سینگل کراس 108 (رقم زودرس) با تراکم 100000 بوته در هکتار برای کشت ردیفی با فواصل بوته20 و فواصل ردیف 50 سانتی‌متر و بذر مورد استفاده در اجرای بخش دوم آزمایش (کشت جو) از توده‌های محلی با مقدار مصرف 120 کیلوگرم در هکتار بود که به فاصله زمانی 6 ماه از برداشت محصول ذرت و بصورت بهاره کشت گردید (به منظور تشکیل شکل های معدنی کم محلول فسفر در خاک و بررسی اثرات باقیمانده تیمارها). این بخش از تحقیق با هدف بررسی اثرات باقیمانده تیمارها بر شاخص های عملکرد محصول جو بر روی کرت های قبلی و بدون استفاده از کود شیمیایی و باکتری اجرا گردید. روابط مورد استفاده برای محاسبه درصد ماده خشک گیاه، کارایی زراعی نسبی، سرعت رشد گیاه و عملکرد فسفر کل در معادله های 1 تا 4 نشان داده شده است.

در این تحقیق برای اندازه گیری غلظت عناصر در بافت های گیاهی از روش سوزاندن خشک و واکنش خاکستر حاصله با اسید کلریدریک 2 نرمال استفاده گردید. اندازه گیری فسفر در بافت گیاه با استفاده از روش رنگ سنجی (روش مولیبدو وانادات و اندازه گیری شدت رنگ زرد حاصل از کمپلکس فسفر- مولیبدو وانادات با اسپکتروفتومتر) و اندازه گیری غلظت روی در عصاره گیاه با استفاده از دستگاه اتمیک ابزوربشن در عصاره تهیه شده انجام گردید. برخی مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در جدول 1 و مشخصات آب آبیاری مورد استفاده در تحقیق در جدول 2، ارائه گردیده است (امامی، 1375).

نتایج

اثرات اصلی تیمارها

اثر تیمارها بر درصد ماده خشک در بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید. بیشترین درصد ماده خشک در بوته (32/56 درصد) مربوط به تیمار T_5 (خاک فسفات + گوگرد + باکتری تیوباسیلوس) بود که براساس آزمون چند دامنه ای دانکن با تیمارهای T_1 (شاهد) و T_3 (خاک فسفات) در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار داشت ولی اختلاف معنی داری بین تیمار T_5 (خاک فسفات + گوگرد + باکتری تیوباسیلوس) با تیمارهای T_4 (خاک فسفات + گوگرد) و T_2 (سوپرفسفات تریپل) مشاهده نگردید. مقایسه برتری نسبی درصد ماده خشک در تیمارهای T_5 (خاک فسفات + گوگرد + باکتری تیوباسیلوس) و T_2 (سوپرفسفات تریپل) نشان داد که درصد ماده خشک در تیمار T_5 بطور متوسط 12/9 درصد بیشتر از تیمار T_2 می باشد (نمودار 1).

اثر تیمارها بر کارایی زراعی نسبی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید. بیشترین کارایی زراعی نسبی (161/8 درصد) مربوط به تیمار T5 (خاک فسفات + گوگرد + باکتری تیوباسیلوس) بود که براساس آزمون چند دامنه ای دانکن با تیمارهای T_4 (خاک فسفات + گوگرد)، T_1 (شاهد) و T_3 (خاک فسفات) در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار داشت ولی اختلاف معنی داری بین تیمار T_5 (خاک فسفات + گوگرد + باکتری تیوباسیلوس) با تیمار T_2 (سوپرفسفات تریپل) مشاهده نگردید (نمودار 2).

اثر تیمارها بر عملکرد خشک در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید. بیشترین عملکرد خشک (11339/8 کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار T_5 (خاک فسفات + گوگرد + باکتری تیوباسیلوس) بود که براساس آزمون چند دامنه ای دانکن با تیمارهای T_1 (شاهد) و T_3 (خاک

فسفات) در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار داشت ولی اختلاف معنی داری بین تیمار T_5 (خاک فسفات + گوگرد + باکتری تیوباسیلوس) با تیمارهای T_4 (خاک فسفات + گوگرد) و T_2 (سوپرفسفات تریپل) مشاهده نگردید. مقایسه برتری نسبی عملکرد خشک محصول در تیمارهای T_5 (خاک فسفات + گوگرد + باکتری تیوباسیلوس) و T_2 (سوپرفسفات تریپل) نشان داد که عملکرد خشک محصول در تیمار T_5بطور متوسط 26/8 درصد بیشتر از تیمار T_2 می باشد (نمودار 3).

اثر تیمارها بر سرعت رشد گیاه[2] در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید. بیشترین سرعت رشد (14/7 گرم بر متر مربع در روز) مربوط به تیمار T_5 (خاک فسفات + گوگرد+ باکتری تیوباسیلوس) بود که براساس آزمون چند دامنه ای دانکن با تیمارهای T_1 (شاهد) و T_3 (خاک فسفات) در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار داشت ولی اختلاف معنی داری بین تیمار T_5 (خاک فسفات + گوگرد + باکتری تیوباسیلوس) با تیمارهای T_4 (خاک فسفات + گوگرد) و T_2 (سوپرفسفات تریپل) مشاهده نگردید (نمودار 4).

اثر تیمارها برمقدار فسفر و روی در برگ، عملکرد فسفر کل (شاخص برداشت فسفر که از حاصلضرب درصد فسفر موجود در ماده خشک، در عملکرد خشک در هکتار محاسبه می گردد) و فسفر قابل جذب خاک معنی‌دار نگردید. البته نتایج همین بررسی نشان داد که غلظت روی در برگ گیاه ذرت در تیمار T_2 (سوپرفسفات تریپل) 22/1 درصد کمتر از تیمار شاهد بود که احتمالاً این امر به دلیل واکنش های شیمیایی آنیون های ارتو فسفات با روی و روابط آنتاگونیسمی این عناصر با یکدیگر در محیط می باشد، حال آنکه غلظت روی در تیمارهای T_4 (خاک فسفات + گوگرد) و T_5 (خاک فسفات + گوگرد + باکتری تیوباسیلوس) به ترتیب 29/6 و 13/8 درصد بیشتر از شاهد بود که این مسئله می تواند ضرورت استفاده از کودهای بیولوژیک به منظور دستیابی به عملکرد با کمیت بیشتر و کیفیت مطلوب تر و تغذیه متعادل گیاهان در عرصه های کشاورزی را بیش از پیش مطرح نماید. نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین اثرات اصلی تیمارها برای کلیه شاخص های مورد بررسی در جداول 3 و 4 ارائه گردیده است.

اثرات باقیمانده تیمارها

اثر باقیمانده تیمارها بر عملکرد کاه محصول جو در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید. بیشترین عملکرد کاه (1862/8 کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار T_5 (خاک فسفات + گوگرد + باکتری تیوباسیلوس) بود که براساس آزمون چند دامنه ای دانکن با تیمارهای T_3 (خاک فسفات) و T_4 (خاک فسفات +گوگرد) در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار داشت ولی اختلاف معنی داری بین تیمار T_5 (خاک فسفات + گوگرد + باکتری تیوباسیلوس) با تیمارهای T_2 (سوپرفسفات تریپل) و T_1 (شاهد) مشاهده نگردید. البته مقایسه برتری نسبی عملکرد کاه در تیمارهای T_5 (خاک فسفات + گوگرد + باکتری تیوباسیلوس) و T_2 (سوپرفسفات تریپل) نشان داد که عملکرد کاه در تیمار T_5بطور متوسط 15/2 درصد بیشتر ازتیمار T_2 می باشد (نمودار 5). اثرات باقیمانده تیمارها بر عملکرد دانه، وزن هزار دانه، شاخص برداشت و کارایی زراعی نسبی معنی‌دار نگردید. مقایسه برتری نسبی عملکرد دانه در تیمارهای T_5 (خاک فسفات + گوگرد + باکتری تیوباسیلوس) و T_2(سوپرفسفات تریپل) نشان داد که عملکرد دانه در تیمار T_5 بطور متوسط 4/5 درصد بیشتر ازتیمار T_2 و 27 درصد بیشتر از تیمار شاهد می باشد. همین مقایسه ها نشان داد وزن هزار دانه در تیمار T_5 (خاک فسفات + گوگرد+باکتری تیوباسیلوس) بطور متوسط 7/6 درصد بیشتر از تیمار و 10/2 درصد بیشتر از تیمار شاهد می باشد. مجموعه نتایج حاصل از بررسی نشان دهنده برتری نسبی تیمار T_5 (خاک فسفات + گوگرد + باکتری تیوباسیلوس) در شرائط آزمایش در مقایسه با تیمار T_2 (سوپرفسفات تریپل) بود.

نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین اثرات باقیمانده تیمارها برای کلیه شاخص های مورد بررسی در جداول 5 و 6 ارائه گردیده است.

بحث

باکتری های جنس تیوباسیلوس از گروه باکتری های شیمیوتروف بوده و با اکسایش ترکیبات احیا شده گوگرد، انرژی مورد نیاز برای تثبیت CO_2 و انجام فعالیت های حیاتی را کسب می کنند (Kelly و Harisson ، 1984). در ضمن فعالیت باکتری و اکسایش حیاتی گوگرد، مقداری اسید سولفوریک در محیط زیست آنها تولید می گردد که در صورت ضعیف بودن خاصیت تامپونی محیط خاک، کاهش قابل ملاحظه ای در pH محلول خاک ایجاد می گردد (Vishniak و Santer، 1957). کاربرد گوگرد همراه با باکتری های تیوباسیلوس در خاک، باعث کاهش موضعی pH خاک در اطراف ریشه های گیاه، حلالیت عناصر تثبیت شده در خاکهای آهکی و در نهایت باعث افزایش قابلیت جذب عناصر توسط گیاه می گردد (بشارتی کلایه: 1377، Rosa و همکاران: 1989).

2 - Crop Growth Rate

در ارتباط با اثرات اصلی تیمارها بر روی عملکرد خشک، درصد ماده خشک در بوته، سرعت رشد گیاه و کارایی زراعی نسبی، ملاحظه شد که در تمامی موارد تیمار T_5 (خاک فسفات + گوگرد + باکتری تیوباسیلوس) با قاطعیت برتری خود را نشان داد و پس از آن تقریباً در تمامی موارد تیمارT_2 (سوپرفسفات تریپل) دارای بیشترین تأثیرات بودکه از دلائل آن می‌توان به سهولت جذب و بالا بودن میزان فسفر قابل جذب در کوتاه مدت از منبع دو تیمار T_5 و T_2 اشاره کرد (براساس آزمون چند دامنه ای دانکن تفاوت معنی‌داری بین اثرات اصلی دو تیمار T_5 و T_2 در سطح احتمال پنج درصد وجود نداشت). افزایش عملکرد خشک، درصد ماده خشک در بوته، سرعت رشد محصول وکارایی زراعی نسبی در تیمار T5 احتمالاً به دلیل نقش مثبت باکتری‌های تیوباسیلوس در اکسایش گوگرد و تولید اسید سولفوریک و تأثیر مثبت آن بر انحلال خاک فسفات و برخی ترکیبات محتوی عناصر ریز مغذی در ریزمکانهای خاک محیط اطراف ریشه و تأمین فسفر و احتمالاً عناصر ریز مغذی مورد نیاز گیاه و ایجاد شرایط مطلوب تر برای تغذیه متعادل گیاه بوده است. با توجه به برتری نسبی شاخص های عملکرد در تیمارهای حاوی گوگرد و تیو باسیلوس چنین بنظر می رسد که تغذیه متعادل حاصل از تأثیرات اسید سولفوریک، نقش تعیین کننده در ارتقاء شاخص های عملکرد داشته است.

مشاهده جدول مربوط به نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش نشان داد که در تحقیق حاضر خاک قطعه آزمایشی از لحاظ فسفر چندان غنی نبود (مقدار فسفر قابل جذب برابر 8 میلی گرم در کیلوگرم). مقدار این عنصر به میزان قابل توجهی کمتر از غلظت بحرانی برای دو گیاه کشت شده (ذرت و جو) بود (غلظت بحرانی این عنصر برای دو محصول ذرت و جو به ترتیب 18 و10 میلی گرم بر کیلو گرم می باشد)، لذا این انتظار وجود داشت که افزایش قابلیت جذب فسفر، افزایش جذب آن توسط گیاه و در نهایت افزایش عملکرد را بدنبال داشته باشد. با توجه به نتایج حاصل از اجرای تحقیق این احتمال وجود دارد که در تیمار T5 (خاک فسفات+ گوگرد+ تیوباسیلوس)، اکسیداسیون گوگرد توسط باکتری های تیوباسیلوس باعث انحلال خاک فسفات، جذب فسفر و در نهایت افزایش عملکرد خشک نسبت به شاهد گردیده باشد که چنین شد. تحقیقات Schofield و همکاران (1981) در خصوص استفاده از بیوسوپر (مخلوط خاک فسفات، گوگرد و باکتری های تیوباسیلوس) به عنوان کود فسفری در سه خاک متفاوت نشان داد که با کاربرد فسفر یکسان، عملکرد گندم، مشابه تیمار سوپر فسفات ساده بود.

Rosa و همکاران (1989) نیز استفاده از مخلوط خاک فسفات، گوگرد و باکتری تیوباسیلوس در افزایش فسفر قابل جذب خاک را در مقایسه با شاهد معنی دار گزارش کردند.

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که در اکثر موارد بین تیمارهای حاوی خاک فسفات و خاک فسفات+ گوگرد، تفاوت معنی دار نسبت به تیمار شاهد مشاهده نشد که احتمالاً خنثی شدن اسید حاصل از اکسایش گوگرد توسط ظرفیت تامپونی خاک و جمعیت کم اکسید کنندگان گوگرد در خاک و عدم اکسایش کافی گوگرد در تیمار (خاک فسفات + گوگرد) دلیل این امر می باشد (بشارتی کلایه:1377 و Swaby: 1975، Wain right: 1984). با توجه به نتایج حاصل از این بررسی ملاحظه گردید که کاربرد خاک فسفات به تنهایی تأثیرات مثبت و معنی‌داری بر ارتقاء شاخص های عملکرد محصول ذرت نداشت و نیز فاقد تأثیرات باقیمانده به منظور ارتقاء شاخص های عملکرد محصول جو بود که از دلائل آن می‌توان به بالا بودن pH خاک فسفات مورد استفاده در تحقیق (pH خاک فسفات مورد استفاده در آزمایش 8/9 بود)، کم بودن میزان مواد آلی خاک و ظرفیت تامپونی نسبتاً قابل توجه خاک (با توجه به میزان رس و درصد آهک موجود در خاک) اشاره کرد. نتایج این تحقیق اثرات مثبت گوگرد و باکتری تیوباسیلوس را بر شاخص‌های عملکرد در دو محصول ذرت و جو نشان داد. نتایج این بررسی با نتایج آزمایشات Rosa و همکاران (1989)، Ghani و همکاران (1994)، Khavazi و همکاران (2001)، Besharati و همکاران (2001)، بشارتی کلایه (1377) و نورقلی‌پور و همکاران (1379) مطابقت داشت.

چنین بنظر می‌رسد که در ارتباط با اثرات باقیمانده نیز تیمارT_5 (خاک فسفات + گوگرد + باکتری تیوباسیلوس) با قاطعیت تأثیرات خود را نشان داد و دارای بیشترین اثرات باقیمانده بود و پس از آن بیشترین اثرات مربوط به تیمار T_2 (سوپرفسفات تریپل) بود (براساس آزمون چند دامنه ای دانکن تفاوت معنی‌داری بین اثرات باقیمانده دو تیمار T_5 و T_2 در سطح احتمال پنج درصد وجود نداشت). افزایش عملکرد کاه جو بواسطه اثرات باقیمانده تیمار T5، احتمالاً به دلیل افزایش نسبی جمعیت باکتری های تیوباسیلوس بصورت متمرکز در اطراف ذرات خاک فسفات و نقش مثبت باکتری‌های تیوباسیلوس در اکسایش گوگرد و تولید اسید سولفوریک و تأثیر مثبت آن بر انحلال خاک فسفات در ریزمکانهای خاک محیط اطراف ریشه و تأمین فسفر مورد نیاز گیاه بوده است. در این ارتباط بررسی های محققان نشان داد که در نتیجه تأثیر اسیدهای معدنی حاصل

از انحلال کود فسفاتی و یا اسید حاصل از فعالیت باکتری های تیو باسیلوس در مجاورت ذرات گوگرد، مقادیر قابل توجهی از عناصر آهن و آلومینیوم در محیط واکنش آزاد می گردد که این عناصر با فسفر حاصل از انحلال کود فسفاتی یا خاک فسفات بسرعت ترکیب شده و بدنبال آن فسفات های آهن و آلومینیوم کلوئیدی کم محلول تشکیل می شود. با گذشت زمان به تدریج فسفات های آهن و آلومینیوم کلوئیدی به تدریج به فسفات های کریستالیزه یا متبلور تغییر حالت می یابند و قابلیت استفاده یا قابلیت جذب فسفر به وسیله گیاه بشدت کاهش می یابد. آزمایشات دراز مدت انجام شده به وسیله Chien و همکاران (1996) نیز نشان داد که فسفات های آهن و آلومینیوم کلوئیدی حاصل از واکنش ذرات خاک فسفات با اسیدهای معدنی در مقایسه با فسفات های آهن و آلومینیوم کلوئیدی حاصل از کودهای فسفاتی نظیر سوپر فسفات تریپل، از پایداری کمتری برخوردار می باشند و لذا از قابلیت استفاده بیشتری در سالهای بعد برخوردارند (اثرات باقیمانده بیشتر). نتایج حاصل از آزمایشات مزرعه ای Rajan (1982) نشان داد که تیمارهای محتوی خاک فسفات دارای اثرات باقیمانده طولانی تری نسبت به تیمار مربوط به مصرف سوپرفسفات تریپل به تنهایی بوده اند.

جدول 1- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

پ.هاش و قابلیت هدایت الکتریکی (عصاره اشباع)		درصد ذرات خاک			بافت خاک	نیتروژن کل %	ماده آلی %	آهک %	فسفر قابل جذب ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم قابل جذب ($mg.kg^{-1}$)
pH	EC ($dS.m^{-1}$)	شن	سیلت	رس						
7/8	0/67	23	48/6	28/4	Clay loam	0/06	0/56	25	8	492

جدول 2- نتایج تجزیه آب آبیاری محل اجرای آزمایش

pH	EC	TDS	$CO3^{=}$	$HCO3^{-}$	Cl^{-}	$SO4^{=}$	$Ca^{+2}+Mg^{+2}$	Na^{+}	SAR	K
	$dS.m^{-1}$	$mg.lit^{-1}$	$meq.l^{-1}$							
7/8	0/37	237	-	2/8	0/4	0/7	3/7	0/7	0/55	-

جدول 3- تجزیه واریانس اثرات اصلی تیمارها برای شاخص های مورد بررسی (محصول ذرت)

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد خشک	درصد ماده خشک در بوته	سرعت رشد محصول	کارایی زراعی نسبی
تکرار	2	6169531/4 ns	17/67 ns	10/43 ns	5759/1 ns
تیمار	4	22740673/5 *	85/26 **	38/37 *	15161/1 **
خطا	8	4757707/5	10/9	8/02	1726/5

**، معنی دار در سطح احتمال یک درصد *، معنی دار در سطح احتمال پنج درصد ns، غیر معنی دار

جدول 4- مقایسه میانگین اثرات اصلی تیمارها برای شاخص های مورد بررسی (محصول ذرت)

تیمار	عملکرد خشک (کیلوگرم بر هکتار)	سرعت رشد محصول (گرم بر متر مربع در روز)	کارایی زراعی نسبی(درصد)	ماده خشک (درصد)
T_1=Control	5072/1 b	6/6 b	0 cd	22/8 b
T_2= TSP	8944/8 Ab	11/6 ab	100 ab	29/1 a
T_3= Ap	4784/4 b	6/2 b	-7/4 d	20/2 b
T_4 = Ap+Sul	8063/9 Ab	10/5 ab	77/3 bc	30/8 a
T_5 = Ap + Sul +Th	11339/8 a	14/7 a	161/8 a	32/6 a
LSD 0.05	4106/9	5/33	78/2	6/21

مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گردیده است

میانگین های دارای حروف مشترک در هر ستون تفاوت معنی داری ندارند

جدول 5- تجزیه واریانس اثرات باقیمانده تیمارها برای شاخص های مورد بررسی (محصول جو)

		میانگین مربعات				
منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد کاه	عملکرد دانه	وزن هزار دانه	شاخص برداشت	کارایی زراعی نسبی
تکرار	2	263620/87 ns	350390/8 ns	3/379 ns	57/798 ns	19831/358 ns
تیمار	4	625836/55 *	299693/232 ns	11/056 ns	18/753 ns	11290/101 ns
خطا	8	132654/28	84340/543	8/432	25/979	10726/248

*، معنی دار در سطح احتمال پنج درصد ns، غیر معنی دار

جدول 6- مقایسه میانگین اثرات باقیمانده تیمارها برای شاخص های مورد بررسی (محصول جو)

تیمار	عملکرد کاه (کیلوگرم بر هکتار)	عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار)	وزن هزار دانه (گرم)	شاخص برداشت (درصد)	کارایی زراعی نسبی(درصد)
T_1=Control	1505 Ab	1028/3 abc	28/4 a	40/4 a	0a
T_2= TSP	1616/7 a	1249/9ab	29/1 a	44 a	100a
T_3= Ap	897/2 B	602/8 c	28 a	40/2 a	-21/4 a
T_4 = Ap+Sul	828/8 b	704/4 bc	32/4 a	45/6 a	19/5 a
T_5 = Ap + Sul +Th	1862/8 a	1305/8 a	31/3 a	40/3 a	115/5 a
LSD 0.05	685/8	546/8	5/5	9/6	195

مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گردیده است

میانگین های دارای حروف مشترک در هر ستون تفاوت معنی داری ندارند

(معادله1)

$$\text{ماده خشک گیاه (درصد)} = \frac{\text{وزن خشک نمونه گیاه در دمای 75 درجه سانتیگراد (گرم)}}{\text{وزن تر نمونه گیاه (گرم)}} \times 100$$

(معادله2)

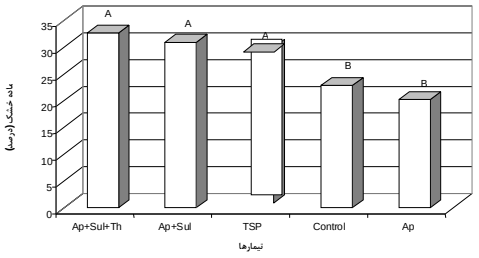
$$\text{کارایی زراعی نسبی(درصد)} = \frac{\text{عملکرد شاهد} - \text{عملکرد در سایر تیمارها}}{\text{عملکرد شاهد} - \text{عملکرد در تیمار سوپر فسفات تریپل}} \times 100$$

(معادله 3)

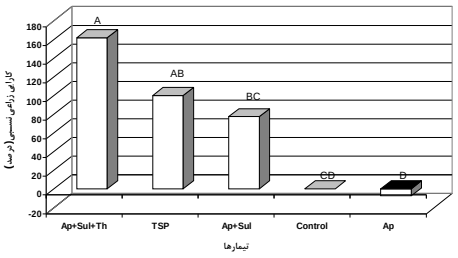
$$\text{سرعت رشد گیاه (گرم بر متر مربع در روز)} = \frac{\text{وزن گیاه در انتهای دوره زمانی(گرم)- وزن گیاه در ابتدای دوره زمانی (گرم)}}{\text{تعداد روز} \times \text{مساحت نمونه برداری (متر مربع)}} \times 100$$

(معادله 4)

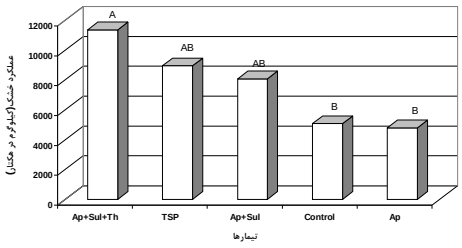
(عملکرد خشک محصول(کیلو گرم در هکتار) × فسفر کل ماده خشک گیاه(درصد) = عملکرد فسفر کل(کیلو گرم در هکتار)



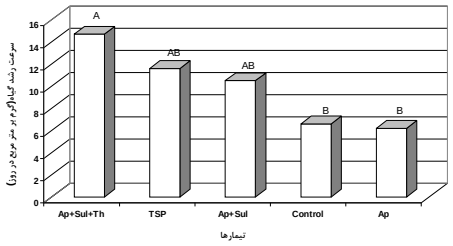
نمودار 1- تاثیر تیمارها بر درصد ماده خشک در گیاه



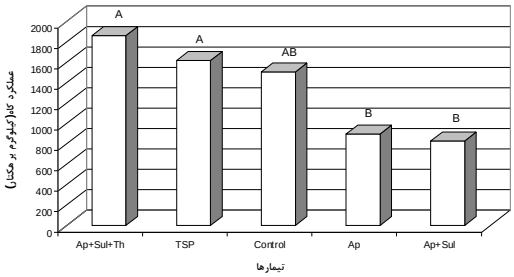
نمودار 2- تاثیر تیمارها بر کارایی زراعی نسبی



نمودار 3- تاثیر تیمارها بر عملکرد خشک محصول ذرت



نمودار 4- تاثیر تیمارها بر سرعت رشد گیاه



نمودار 5- تاثیر تیمارها بر عملکرد کاه محصول جو

نمودار 1- اثرات اصلی و باقیمانده تیمارها بر شاخص های عملکرد محصول

فهرست منابع:

1. امامی، عاکفه. 1375. روش های تجزیه گیاه. نشریه فنی شماره 982، موسسه تحقیقات خاک و آب. نشریه آموزش کشاورزی، کرج، ایران.
2. بشارتی کلایه، حسین و ناهید صالح راستین. 1379. تأثیر مصرف گوگرد و مایه تلقیح باکتری‌های تیوباسیلوس بر مقدار آهن و روی جذب شده توسط ذرت در شرائط گلخانه، مجله خاک و آب، شماره 7، جلد 12، 72-63 ، تهران، ایران.
3. بشارتی کلایه، حسین. 1377. بررسی اثرات کاربرد گوگرد همراه با گونه‌های تیوباسیلوس در افزایش جذب برخی از عناصر غذایی در خاک، پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشگاه تهران، کرج، ایران 176 صفحه.
4. بشارتی کلایه، حسین. 1379. اکسایش گوگرد در خاک و بهینه‌سازی شرائط خاک جهت افزایش اکسایش آن. مجله خاک و آب، شماره 7، جلد 12، 114- 106، تهران، ایران.
5. لطف‌الهی، محمد، محمد جعفر ملکوتی، کاظم خاوازی و حسین بشارتی کلایه. 1379. ارزیابی روشهای مصرف خاک فسفات در افزایش عملکرد ذرت علوفه‌ای در کرج، مجله علمی پژوهشی خاک و آب، ویژه نامه تیوباسیلوس، جلد 12، شماره 11، صحفات 55 تا 59، موسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران.
6. نورقلی‌پور. فریدون، محمد جعفر ملکوتی و کاظم خاوازی. 1379. نقش باکتری‌های تیوباسیلوس و حل کننده فسفات و تفاله چای در تأمین فسفر مورد نیاز ذرت از خاک فسفات، مجله خاک و آب، ویژه نامه مصرف بهینه کود، جلد 12، شماره 14، 250- 243. تهران، ایران.
7. Abedi ,M . J., and O.Talibudeen. 1974. The calcareous soils of Azerbaijan. II- Phosphate Status. J. Soil Sci.25:3: 373-383
8. Besharati, H., F. Nourgholipour, M. J. Malakuti, and K. Khavazi. 2001. Direct application of Phosphate rock to Iran culcareous soils. International meeting on direct application of Phosphate rock and related appropriate technology-latest development and practical experiences. Kuala Lumpur. Malaysia. Pp: 277-279.
9. Chien, S. H., R.G.Menon and K. S. Billingham. 1996. Phosphorus availability from phosphate rock as enhanced by water-soluble phosphorus. Soil Sci. Soi. Am. J., 60: 1173-1177
10. Ghani, A., S. S. S. Rajan, and A. Lee. 1994. Enhancement of phosphate rock -solubility through biological process. Soil Bio. Biochem, 26: 127-136.
11. Kelly, D. P. and A. P. Harrisson.1984. Genus *Thiobacillus*. In: Staley, J. T. (ed.) Bergey's Manual of Systematic Bacteriology. 9th ed. Williams and Wikins, Baltimore.
12. Khavazi, K., H. Beshrati, F. Nourgholipour and M. J. Malakouti. 2001. Effect of thiobacillus bacteria on increasing phosphorus availability from Phosphate rock for corn grown on calcareous soils of Iran. International meeting on direct application of Phosphate rock and related appropriate technology latest development and practical experiences. Kuala lLumpur. Malaysia. Pp: 280-284.
13. Kittams, H. A., and O. J. Attoe. 1987. Availability of phosphorus in phosphate rock sulfur fusion. Agron. J, 57: 331-334.
14. Pathiratan, 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 pubescen*s. Fert. Res, 21: 37-43.
15. Paul, E. A and F. E. Clark. 1996. Soil Microbiology and Biochemistry. Academic Press Inc. P: 290-309
16. Rajan, S. S. S. 1982. Influence of phosphate rock reaction and granule size on the effectiveness of biosuper. Fert. Res. 3: 3-12.

17. Rosa, M. C., J. Muchovaj, and V. H. Alvarez. 1989. Temporal relation of phosphorus fraction in an oxisol amended with phosphate rock and *thiobacillus thiooxidans*. Soil Sci. Soc. Am. J. 53: 1096-1100
18. Rupela, O. P., and P. Tauro. 1973. Utilization of *thiobacillus* to reclaim alkali soils. Soil Bio. Biochem. 5: 899-901
19. Schofield, P.E., P. Gregg, and J. K. Syers. 1981. Biosuper as a phosphate fertilizer (a glasshouse evaluation). New Zealand J. Exp. Agri. 9:63-97.
20. Swaby, R. J. 1975. Biosupe- Biological Superphosphate. In: McLachlan, K. D. (ed.) Sulfur in Australian Agriculture. Sydney University Press, Sydney.
21. Vishniac, W. and M. Santer. 1957. The *Thiobacilli*. Bacteriol. Rev., 21: 195-213.
22. Wainright, M. 1984. Sulfur oxidation in soils. Advances in Agronomy, 37: 349-396.