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 [1*]

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 1381 و 1382 انجام گرفت. طرح به صورت بلوک‌های کامل تصادفی با شش تیمار و در چهار تکرار اجرا گردید. تیمارهای آزمایش عبارت بودند از: T_1 به عنوان شاهد، T_2 سوپر فسفات تریپل ($67/5$ kg ha^{-1} P_2O_5)، T_3 خاک فسفات ($112/5$ kg ha^{-1} P_2O_5)، 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 سال اول اجرای آزمایش در تیمار شاهد (T_1) کود فسفره استفاده نشد و در تیمار دوم نیز کود سوپر فسفات تریپل به مقدار 150 کیلوگرم بر هکتار، به صورت نواری و زیر بذر استفاده گردید. خاک فسفات و گوگرد هر کدام به مقدار 300 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 10 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 ازعمق 30-0 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 T_3 و T_2 در سطح پنج درصد معنی‌دار نبود. عملکرد در تیمار T_6 سبت 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 67190 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. درتیمار دوم (سوپر فسفات تریپل) عملکرد نسبت به شاهد افزایش یافت ولی این افزایش معنی‌دار نبود.

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

---

1 - به ترتیب مربی پژوهشی و استادیار های پژوهشی موسسه تحقیقات خاک و آب

* وصول: 84/3/16 و تصویب: 84/12/3

مقدمه

مقدار فسفر قابل استفاده گیاه توسط عواملی نظیر تراکم ریشه، رطوبت، pH و بافت خاک تعیین می‌گردد (Tisdale & Nelson؛ 1974). در خاکهای مناطق خشک و نیمه خشک به علت pH بالا و غلظت زیاد یون کلسیم، عناصر غذایی مانند فسفر که قابلیت (Hagin & Tucker؛ 1982). خاک فسفات[1] یکی از مواد اولیه تهیه کودهای فسفاته است که از جمله منابع غیر قابل تجدید محسوب می‌شود (Hagin & Tucker؛ 1982، Tisdal &Nelson؛ 1974). در خاکهای اسیدی، خاک فسفات به صورت مستقیم و بدون هیچگونه تیماری مورد استفاده قرار گرفته است (Chien؛ 2001). ولی به دلیل ماهیت خاص خاکهای آهکی امکان مصرف مستقیم آن به تنهایی وجود ندارد (Nelson & Tisdal؛ 1974). یکی از روشهای مصرف مستقیم خاک فسفات، استفاده از مواد اسیدزا است (Chien؛ 2001). در این بین، به استفاده از گوگرد به همراه باکتریهای اکسید کننده گوگرد توجه بیشتری شده است (بشارتی کلایه؛ 1377،Rajan & Edge ؛ 1980، Wainwright؛ 1984؛ Zapata & Roy؛ 2004). 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؛ 1999). 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.*؛ 1984). در یک آزمایش بر روی گیاه لولیوم (*Lolium Perenne* Kittams & Attoe ssp.)(1965) نشان دادند، مخلوط خاک فسفات، گوگرد و تیوباسیلوس تفاوت معنی داری با سوپرفسفات تریپل نداشت. Choudhary و همکاران (1996) نیز طی یک آزمایش طولانی مدت مزرعه‌ای (1987-1968)، 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 (1981)، تثبیت نیتروژن به طریقه همزیستی در گیاه سویا باعث تسهیل در انجام گروهی از واکنش ها می گردد که جذب آنها وابسته به pH است به صورت نامحلول در آمده و از دسترس گیاه خارج می‌شوند (Linderman & Cifuentes؛ 1993).

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

می‌توانند منجربه افزایش قابلیت جذب فسفر از خاک فسفات گردند ولی برای شروع فرآیند نیاز به اندکی فسفر قابل دسترس اولیه می‌باشد. Rosa و همکاران (1989) 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 اندازه کافی برای رشد سورگوم افزایش داد. Khavazi و همکاران (2001) 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 (1380) 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 1381 و 1382 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 30-0 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 (علی احیائی و بهبهانی زاده؛ 1372). پس از مشخص نمودن ابعاد کرت های آزمایش(5 m ×4 /2) و پیاده کردن نقشه طرح، با استفاده از دستگاه جوی پشته ساز،

1 - Apatite (Rock Phosphate; RP)

پشته‌هایی به فاصله 60 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 150 کیلوگرم بر هکتار به صورت نواری و زیر بذر مصرف گردید. خاک فسفات و گوگرد هر کدام به مقدار 300 کیلوگرم بر هکتار به صورت پودری و به روش نواری زیر بذر استفاده شدند. مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس (10^8 Cells g^{-1}مخلوط چند گونه خنثی دوست) نیز به مقداریک کیلوگرم بر هکتار در زیر بذر به صورت نواری و به همراه گوگرد و خاک فسفات مصرف گردید. کود دامی به مقدار 10 تن در هکتار از کود گاوی کاملاً پوسیده استفاده شد. برای تأمین عناصر کم مصرف در کل تیمارها از کود کامل میکرو به مقدار 15 کیلوگرم بر هکتار (بسته 6 کیلوگرمی حاوی 23/6% آهن، 14/75 % منگنز، 41/30% روی ، 11/8% مس، 1/77% بور و 6/78% نیتروژن) استفاده شد. قبل از کاشت، مقدار 50 کیلوگرم بر هکتار کود سولفات پتاسیم و نیز 30 کیلوگرم بر هکتار اوره (به عنوان Starter) مصرف گردیدند. همچنین در زمان رشد نیز در طی دو مرحله، مجموعاً 60 کیلوگرم بر هکتار اوره، مصرف شد (در کل90 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 باکرتهای 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؛ 1375). 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، 1375). 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 30-0 سانتی‌متر تهیه و در نمونه‌های خاک عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، روی، منگنز و مس اندازه‌گیری شدند. شمارش باکتری‌ها و قارچ‌های حل کننده فسفات در تیمارهای T1 و T4 انجام گرفت (Kucey؛ 1983، Sperber؛ 1958 و Wollum؛ 1982). در بهار سال بعد (1382)، 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 (علی احیائی و بهبهانی زاده؛ 1372). اوره به مقدار 300 کیلوگرم بر هکتار و به صورت تقسیط استفاده گردید. در کلیه تیمارها مقدار 50 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 وآهن به صورت یکنواخت در تمامی تیمارها استفاده شد. فقط در تیمار T_5 تلقیح با باکتری تیوباسیلوس انجام شد. برای تلقیح باکتری، قبل از کشت ذرت، برروی پشته‌ها شیاری ایجاد گردید و مایه تلقیح به صورت مایع و به مقدار250 میلی‌لیتربرای چهارپشته با جمعیت 10^4 سلول در هر میلی لیترمصرف 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؛ 1375). نمونه‌برداری خاک نیز از عمق 30-0 سانتی‌متر صورت گرفت. در نمونه خاک تهیه شده عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، روی، منگنز و مس اندازه‌گیری گردید (علی احیائی و بهبهانی زاده؛ 1372). نتایج با نرم افزار MSTATC و STATG تجزیه آماری شد و مقایسات میانگین با روش دانکن انجام‌گردید.

نتایج

جداول (1و2) 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 3 آمده است. تیمارهای T_2 (سوپر فسفات تریپل)، T_3 (خاک فسفات) و T_5 (خاک

فسفات + گوگرد+ تیوباسیلوس) به ترتیب 23/67، 22/1 و 34/57 درصد عملکرد دانه سویا را نسبت به شاهد (تیمار T_1) افزایش دادند. تیمار T_5 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 T_2 و T_3 با تیمار T_5 در یک سطح آماری قرار دارند (جدول 3). جمعیت باکتری‌ها و قارچ‌های حل کننده فسفات در تیمار T_4 به ترتیب صفر و $4/5\times10^4$ سلول در هر گرم خاک بود، در حالی که این ارقام در تیمار شاهد $1/5\times10^4$ و صفر بودند. احتمالا مصرف گوگرد در تیمار T_4 و اثرات سوء آن بر باکتری های حل کننده فسفات، دلیل کاهش عملکرد دانه در تیمار مذکور در مقایسه با شاهد (2/4 درصد) می‌باشد (جدول 3). در تیمار T_6 نیز همانند تیمار T_4 عملکرد دانه سویا نسبت به شاهد کاهش یافت.

ماده آلی استفاده شده در تیمار T_6 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 (14/2 درصد) است. از لحاظ درصد روغن دانه اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای مختلف در سطح پنج درصد مشاهده نشد (جدول 3). تیمار T3 بیشترین درصد پروتئین دانه را دارا بود و تنها تیماری بود که با شاهد تفاوت معنی‌دار نشان داد، ولی با سایر تیمارها از لحاظ آماری در یک سطح قرار داشت (جدول 3).

جدول (3) تأثیر تیمارهای مختلف را بر عملکرد دانه، درصد روغن و پروتئین دانه سویا نشان می‌دهد.

جدول1- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش پیش از کشت

Texture	B	Cu	Mn Mg	Zn kg^{-1}	Fe	K	P	SO_4^{2-} $meq\ l^{-1}$	T.N	T.N.V %	SP	EC dSm^{-1}	pH_s	عمق cm
L.	0/56	1/8	9/12	1/8	2/8	248	7/4	2/2	0/054	7/3	30	0/59	7/7	0-30

جدول2- نتایج تجزیه آب آبیاری

Na^+	Mg^{++}	Ca^{++}	$SO_4^=$	Cl^-	HCO_3^-	$CO_3^=$	TDS ($mg\ l^{-1}$)	pH	EC dSm^{-1}
			$meq\ l^{-1}$						
۰/٦	۱/۲	2/0	1/9	0/6	1/1	0/0	0/56	8/11	0/367

جدول 3- مقایسه میانگین اثرتیمارهای مختلف بر عملکرد دانه، درصد روغن و پروتئین دانه سویا*

تیمار	عملکرد دانه ($kgha^{-1}$)	روغن دانه (%)	پروتئین دانه (%)
T_1	2544/32bc	24/63 a	31/98 b
T_2	3146/57 ab	23/55 a	33/48 ab
T_3	3106/56 ab	24/33 a	34/20 a
T_4	2483/15 bc	24/38 a	32/53 ab
T_5	3423/89 a	23/4 a	33/45 ab
T_6	2182/03 c	24/05 a	33/18 ab
c.v.(%)	15/63	3/59	3/88

* در هر ستون میانگین هایی که حداقل دارای یک حرف یکسان هستند، از نظر آماری (روش دانکن) در سطح 5% تفاوت معنی دار ندارند.

جدول4- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر غلظت عناصر در برگ سویا[x]

Mn	Cu mg kg-1	Zn	Fe	S	K %	P	N	
219a	36b	94/2a	148a	0/213a	1/34a	0/227a	3/618a	تیمارT_1
222a	37b	92a	148a	0/225a	1/45a	0/25a	3/865a	T_2
207ab	36b	93a	144a	0/239a	1/31a	0/215a	3/505a	T_3
214a	35b	96a	168a	0/235a	1/28a	0/215a	3/485a	T_4
211ab	37b	88a	193a	0/221a	1/45a	0/23a	3/887a	T_5
192b	42a	105a	160a	0/238a	1/45a	0/225a	3/703a	T_6
6/02	6/20	12/06	19/6	8/5	8/5	7/71	10/8	C.V. (%)

* در هر ستون میانگین هایی که حداقل دارای یک حرف یکسان هستند، از نظر آماری (روش دانکن) در سطح 5% تفاوت معنی دار ندارند.

جدول5- مقایسه میانگین اثرتیمارهای مختلف بر غلظت عناصر در دانه سویا[x]

Mn	Cu	Zn $mgkg^{-1}$	Fe	S	K %	P	N	
55a	22a	55a	103a	0/395a	1/585a	0/587ab	4/73b	تیمار T_1
58a	21a	47a	98a	0/402a	1/560a	0/560ab	5/245ab	T_2
53a	22a	50a	99a	0/343a	1/565a	0/565ab	5/205ab	T_3
53a	22a	53a	117a	0/373a	1/61a	0/580ab	4/955ab	T_4
57a	21a	47a	97a	0/345a	1/560a	0/545b	5/375a	T_5
53a	23a	55a	104a	0/393a	1/595a	0/627a	5/067ab	T_6
14/54	5/8	10/36	15/44	13/53	8/26	7/18	6/24	c.v.(%)

*در هر ستون میانگین هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، از نظر آماری (روش دانکن) در سطح 5% تفاوت معنی‌دار ندارند

جدول6- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر غلظت عناصر در غلاف دانه [x]

Mn	**Cu**	**Zn $mgkg^{-1}$**	**Fe**	**S**	**K %**	**P**	**N**	
20bc	65bc	20bc	47a	0/272b	1/775a	0/058a	0/53b	تیمارT_1
22ab	65bc	25ab	83a	0/365ab	1/925a	0/083a	0/755 ab	T_2
24a	84a	29a	87a	0/462a	1/850a	0/088a	0/548ab	T_3
21ab	53c	16c	109a	0/259b	1/725a	0/067a	0/758 ab	T_4
21abc	71ab	21bc	114a	0/330ab	1/725a	0/095a	0/78a	T_5
18c	81a	24ab	99a	0/375ab	1/775a	0/075a	0/565ab	T_6
10/27	14/17	21/34	32/66	23/48	9/09	20/22	21/93	C.V.(%)

* در هر ستون میانگین هایی که حداقل دارای یک حرف یکسان هستند، از نظر آماری (روش دانکن) در سطح 5% تفاوت معنی‌دار ندارند

جدول7- نتایج تجزیهٔ خاک پس از اعمال تیمارها و قبل از کشت سویا (عمق 30-0 سانتی‌متر)

Cu	Mn	Zn mgkg^{-1}	Fe	K	P	N %	
3/02	12/36	5/3	2/64	308	10/2	0/053	تیمار T_1
1/8	8/380	3/14	1/94	260	42/2	0/049	T_2
1/72	10/18	3/74	2/2	256	9	0/051	T_3
1/52	11/76	1/84	1/98	256	8/8	0/051	T_4
1/82	13/84	2/46	2/32	280	8/0	0/05	T_5
1/68	18/32	3/12	18/38	1440	79/2	0/121	T_6

جدول8- نتایج تجزیه خاک پس از برداشت عملکرد در گیاه سویا (عمق 30-0 سانتی‌متر) (α=0.05)

Cu	Mn	Zn mgkg^{-1}	Fe	K	P	N %	
1/74ab	3/35ab	2/53a	1/97bcd	215b	3/65b	0/058b	تیمار T_1
1/24b	3/12b	1/57ab	1/66d	198b	26a	0/053b	T_2
1/48ab	3/33ab	1/39b	1/85cd	224b	3/25b	0/056b	T_3
1/25b	5/3a	1/87ab	2/32abc	221b	3/25b	0/05b	T_4
2/47a	5/36a	2/17ab	2/48ab	221b	3/15b	0/056b	T_5
0/912b	5/33a	2/34ab	2/66a	336a	26/7a	0/08a	T_6
28/94	30/35	29/30	15/48	12/55	21/69	6/88	C.V.(%)

جدول9- 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 %	
8/02a	2/8a	7/8ab	10/4b	3/5a	373a	5/3b	0/048a	تیمار T_1
8/008a	2/85a	7/2ab	8/85b	3/15ab	372a	6/15b	0/043a	T_2
7/993a	2/95a	7/5ab	8/85b	3/2ab	369a	5/4b	0/046a	T_3
7/855b	2/9a	8/85a	9/5b	3/6a	377a	5/25b	0/049a	T_4
7/853b	3/0a	7/9ab	15/75a	3/35ab	394a	6/0b	0/046a	T_5
7/962a	2/75a	6/45b	7/05b	2/4b	431a	11/2a	0/051a	T_6
0/72	18/99	14/53	27/94	20/06	12/22	23/93	8/74	C.V.(%)

جدول10- مقایسه میانگین اثرتیمارهای مختلف بر عملکرد علوفه تر ومقدار عناصر در برگ ذرت*

Yield kgha^{-1}	Mn	Cu mgkg^{-1}	Zn	Fe	S	K %	P	N	تیمار
57860ab	67 a	10/0b	32 a	144 a	0/198 a	1/85 a	0/275a	1/975a	T_1
61930ab	66 a	10/5b	28 a	168 a	0/163 ab	1/95 a	0/28 a	1/85 a	T_2
59380ab	69 a	10/5 b	34 a	152 a	0/163 ab	1/93 a	0/275 a	1/975a	T_3
57150ab	67 a	9/63 b	34 a	154 a	0/117 bc	2/00 a	0/273 a	1/975a	T_4
67190a	73 a	10/5 b	35 a	158 a	0/15abc	1/95 a	0/285 a	2/05 a	T_5
53720b	73 a	14/38 a	34 a	149 a	0/11 c	2/00 a	0/308 a	2/10 a	T_6
12/4	13	11/13	15	14/6	17/82	9/9	11/72	10/7	C.V. %

* در هر ستون میانگین هایی که حداقل دارای یک حرف یکسان هستند، از نظر آماری (روش دانکن) در سطح 5% تفاوت معنی‌دار ندارند

جدول 11- نتایج تجزیه خاک پس از برداشت ذرت (عمق 30-0 سانتی‌متر) *

تیمار	N %	P	K	Fe	Zn mgkg^{-1}	Mn	Cu
T_1	/058 a	2/275 b	192/5 ab	1/8 a	1/6 a	4/25 a	1/375 a
T_2	0/063 a	2/100 b	185/0 b	1/65 a	1/19 ab	3/625 a	1/180 ab
T_3	0/06 a	2/6 b	180/0 b	1/975 a	1/25 ab	4/025 a	1/055 b
T_4	0/062 a	2/3 b	177/5 b	2/025 a	1/400 ab	3/575 a	0/525 c
T_5	0/060 a	2/35 b	180/0 b	1/775 a	0/976 b	4/025 a	0/45 c
T_6	0/065 A	4/5 a	202/5 a	1/825 a	1/300 ab	3/95 a	0/525 c
c.v %	20/13	15/82	4/89	15/6	24/75	19/35	20/3

* در هر ستون میانگین هایی که حداقل دارای یک حرف یکسان هستند، از نظر آماری (روش دانکن) در سطح 5% تفاوت معنی‌دار ندارند

نتایج اندازه‌گیری 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 معنی‌داری 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 معنی‌دار بود اما سایر تیمارها در یک سطح آماری قرار داشتند (جدول 4). از لحاظ غلظت پتاسیم، گوگرد، آهن، روی، مس و منگنز در دانه سویا، تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای مختلف وجود نداشت ولی غلظت نیتروژن دانه سویا در تیمار T5 بطور معنی‌داری بیشتر از تیمار شاهد T1 بود. این در حالی بود که تیمار مذکور با سایر تیمارها در یک سطح آماری قرار داشت (جدول 5).

اندازه‌گیری عناصر فسفر، پتاسیم و آهن در غلاف دانه سویا نشان داد که تفاوت معنی‌داری 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 معنی‌دار بود، اما سایر تیمارها با شاهد تفاوت معنی‌دار نداشتند. از لحاظ نیتروژن نیز، تیمار T5 تنها تیماری بود که با 47/17 درصد افزایش نسبت به شاهد با آن تفاوت معنی‌دار نشان داد (جدول 6).

همان طور که از جدول هشت پیداست، پس از برداشت گیاه سویا مقدار نیتروژن، فسفر و پتاسیم خاک در تیمار T_6 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 T_6 همچنان بیشترین مقدار آهن را نشان داد. تیمار T_2 کمترین مقدار نیتروژن، پتاسیم، آهن، منگنز و مس را به خود اختصاص داد ولی تفاوت آن با شاهد از لحاظ آماری معنی‌دار نبود (جدول 8).

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 نمونه‌ها اندازه‌گیری شدند (جدول 9). از لحاظ نیتروژن، پتاسیم و مس بین تیمارهای مختلف تفاوت معنی‌داری ملاحظه نشد. تیمار T_6 بیشترین فسفر را دارا بود و تفاوت آن با سایر تیمارها معنی‌دار بود ولی تیمارهای دیگر همگی در یک سطح آماری قرار داشتند. نکته شایان توجه در جدول (9) این است که در تیمارهایی که گوگرد مصرف شده بود (تیمارهای T_4، T_5 و T_6) pH خاک کاهش یافت و این فقط در مورد دو تیمار T_4 و T_5 در مقایسه با شاهد معنی‌دار بود. تیمار T_5 که حداقل pH را دارا بود، بیشترین مس و روی قابل جذب را نیز به خود اختصاص داد.

بیشترین و کمترین وزن علوفه‌تر ذرت به ترتیب از تیمارهای پنجم و ششم بدست آمد. دو تیمار مذکور تنها تیمارهایی بودند که با هم تفاوت معنی‌دار داشتند. میزان نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، روی و منگنز جذب شده توسط بخش هوایی ذرت در تیمارهای مختلف تفاوت معنی‌دار نداشتند. تیمار T_6 کمترین گوگرد و بیشترین مس جذب شده را از خود نشان داد و تفاوت آن با سایر تیمارها معنی‌دار بود، این در حالی بود که سایر تیمارها با شاهد در یک سطح آماری قرار داشتند (جدول 10).

اندازه‌گیری عناصر غذایی خاک پس از برداشت ذرت نشان داد که از لحاظ نیتروژن، آهن و منگنز تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای مختلف وجود نداشت. تیمار T_6 با بیشترین فسفر و پتاسیم قابل جذب، تفاوت معنی‌داری با پنج تیمار دیگر نشان داد، در حالی که از لحاظ روی و مس، تیمار شاهد حائز رتبه نخست بود (جدول 10).

بحث

باکتریهای جنس تیوباسیلوس شیمیوتروف بوده و با اکسایش ترکیبات احیاء شده گوگرد انرژی لازم برای تثبیت CO_2 و انجام فعالیتهای حیاتی را کسب می‌کنند

(Harrison & Kelly؛ 1984). ضمن اکسایش گوگرد مقداری اسید سولفوریک در محیط زیست آنها تولید می‌گردد (Santer & Vishnac؛ 1957) که در صورت قابل توجه نبودن خاصیت تامپونی محیط، کاهش قابل ملاحظه در pH عارض می‌گردد (Santer & Vishnac؛ 1957). کاربرد گوگرد همراه با باکتریهای تیوباسیلوس در خاک، با کاهش موضعی pH خاک در اطراف ریشه‌های گیاه، به حلالیت عناصر تثبیت شده در خاکهای آهکی و قلیایی و در نهایت افزایش جذب عناصر توسط گیاه کمک می‌کند (بشارتی کلایه ؛ 1377، Rosa *et al.*؛ 1989).

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 (جداول 1)، لذا انتظار می‌رفت که با افزایش قابلیت جذب آن، افزایش جذب فسفر توسط گیاه و در نهایت افزایش عملکرد حاصل گردد. در تیمار T_5 (خاک فسفات+ گوگرد+ تیوباسیلوس) ممکن است اکسیداسیون گوگرد توسط باکتریهای تیوباسیلوس باعث انحلال خاک فسفات، افزایش جذب فسفر و در نهایت افزایش عملکرد 34/56 درصدی را نسبت به شاهد ایجاد کرده باشد. میزان فسفر جذب شده در دانه سویا در تیمار T_5 787/5 و در شاهد 577/56 کیلوگرم در هکتار می‌باشد. بنابراین بخش اعظم افزایش عملکرد را می‌توان به افزایش انحلال فسفر در این تیمار نسبت داد. در مورد ذرت نیز چنین اثراتی مشاهده گردید.

Schofield و همکاران (1981) استفاده از بیوسوپر (مخلوط خاک فسفات، گوگرد و باکتریهای تیوباسیلوس) را به عنوان کود فسفری 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 3/6، 3/9، 4/1 و 4/5 میلی‌گرم در گلدان و عملکرد گندم در تیمارهای مذکور به ترتیب 1/7، 1/8، 1/8 و 1/9 گرم در گلدان گزارش شدند.

Rosa و همکاران (1989) استفاده از مخلوط گوگرد، خاک فسفات و تیوباسیلوس در افزایش فسفر قابل جذب خاک را در مقایسه با شاهد معنی‌دار گزارش کردند. در تحقیق حاضر در تیمارهای حاوی گوگرد، خاک فسفات و تیوباسیلوس نسبت به شاهد تغییر معنی‌دار مشاهده نشد. خنثی شدن اسید حاصل از اکسایش گوگرد توسط ظرفیت تامپونی قابل توجه خاک دلیل احتمالی این امر می‌باشد. Swaby (1975) در بررسی انجام شده، گرانول کردن خاک فسفات + گوگرد + باکتری تیوباسیلوس را به علت اثر اسید بر خاک فسفات موجود در گرانول و خنثی نشدن آن توسط خاک، مؤثرتر ارزیابی نمود.

افزایش عملکرد خشک ذرت (۱۴،۲۰و26) در نتیجه مصرف گوگرد نیز گزارش شده اند. Kline و همکاران (1989) 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 T_4) نتوانست نسبت به شاهد در شاخص‌های اندازه‌گیری شده اثر معنی‌دار ایجاد کند. جمعیت کم اکسیدکنندگان گوگرد در خاک و عدم اکسایش کافی گوگرد (بشارتی کلایه؛ 1377 و Swaby؛ 1975) در این تیمار را می‌توان از دلایل احتمالی این مسئله عنوان کرد. Agrifacts (2003) پائین بودن افزایش عملکرد گندم در تیمار گوگرد عنصری را به زمان کم اکسیداسیون گوگرد و عدم اکسایش مقادیر کافی آن ارتباط داد. معنی‌دار 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 وهمکاران(1986) 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؛ 1986 و Wainwright؛ 1984). شرایط محیطی از جمله حاصلخیزی خاک و جمعیت میکروارگانیسم‌های اکسیدکننده در شدت اکسایش گوگرد تأثیرقابل توجهی دارند. معنی‌دار نبودن برخی از شاخص‌های اندازه‌گیری شده در خاک و گیاه در مقایسه با شاهد را می‌توان به اکسایش کم گوگرد در نتیجهٔ پائین بودن عناصر غذایی خاک (Agrifacts؛ 2003) و جمعیت اکسیدکنندگان گوگرد (بشارتی کلایه؛ 1377 و Wainwright؛ 1984) 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 مهم‌تراز 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 مهنـدس یوسـف رضـا بـاقری بخـاطر همکاری در اجرای طرح و از خانم خیرآوران بخاطر تایپ مقاله تشکر و قدردانی می‌گردد.

فهرست منابع:

1. امامی، ع. 1375. روشهای تجزیه گیاه. نشریه فنی شماره 982، موسسه تحقیقات خاک و آب، نشر آموزش کشاورزی، کرج، ایران.
2. بشارتی کلایه، ح. 1377. بررسی اثرات کاربرد گوگرد همراه با گونه‌های تیوباسیلوس در افزایش قابلیت جذب برخی از عناصر غذایی درخاک. پایان نامه کارشناسی ارشد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
3. سالار دینی، ع. 1371. حاصلخیزی خاک. چاپ چهارم، شماره 1739، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ایران.
4. علی احیائی، م. و ع. ا. بهبهانی زاده. 1372. شرح روشهای تجزیه خاک (جلد اول). موسسه تحقیقات خاک و آب، نشریه شماره 893، تهران، ایران.
5. کوچک‌زاده، ی.، م. ج. ، ملکوتی و ک. خاوازی. 1380. نقش گوگرد، تیوباسیلوس، حل کننده‌های 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، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران.
6. ملکوتی، م. ج. 1378. 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 ll:Characterstics of s oxidation sou. / URL: *http// WWW. Back- To- basics. Net/agrifacts/ pdf/ b2b2 9 b. 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. Indain 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.