بررسی کارآیی گوگرد و مایه تلقیح باکتریهای جنس تیوباسیلوس بر جذب عناصر غذایی و عملکرد ذرت در یک خاک آهکی

حسین بشارتی، فریدون نورقلی پور و کاظم خاوازی [1*]

چکیده

استفاده از گوگرد یکی از روشهای افزایش حلالیت عناصر تثبیت شده در خاکهای آهکی و قلیایی محسوب می‌شود، شرط بهره‌گیری از توان بالقوه گوگرد، حضور میکروارگانیسم‌های اکسید کننده این ماده به ویژه باکتری‌های جنس تیوباسیلوس در خاک می‌باشد. تحقیق حاضر به منظور بررسی امکان جایگزینی بخشی از کودهای حاوی فسفر و عناصر کم مصرف با گوگرد و مایه تلقیح باکتریهای تیوباسیلوس به صورت طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی در قالب آزمایش فاکتوریل در دو سال متوالی در شرایط مزرعه بر روی گیاه ذرت، انجام شد. تیمارهای آزمایشی در سال اول شامل چهار سطح گوگرد (200، 400 ، 600 و 1000کیلوگرم در هکتار)، چهار سطح مایه تلقیح تیوباسیلوس (نسبت وزنی مایه تلقیح به گوگرد مصرفی معادل 0، 1، 2 و 4 درصد)، شاهد و مصرف بهینه کود براساس آزمون خاک بودند. پس از عملیات تهیه زمین در 72 کرت به ابعاد 2/4 ×5 متر، تیمارها اعمال گردید. بذر ذرت از رقم Single Cross 704 به فاصله 17/5 سانتی‌متر در پشته‌هایی که 60 سانتی‌متر از یکدیگر فاصله داشتند، کاشته شد. پس از ظهور گلهای تاجی، نمونه برداری برگ صورت گرفت. بعد از کامل شدن دوره رشد گیاه، از دو ردیف میانی هر کرت از سطحی معادل 4/2 مترمربع برداشت انجام شد. وزن‌تر، وزن خشک، متوسط طول و وزن بلال و همچنین میزان آهن، روی، مس، منگنز و فسفر در ساقه ، برگ و دانه ذرت اندازه‌گیری شدند. در سال دوم آزمایش تیمارها شامل سه سطح گوگرد (200، 400 و 600 کیلوگرم در هکتار)، دو سطح مایه تلقیح (نسبت وزنی مایه تلقیح به گوگرد مصرفی معادل 0 و 1 درصد)، شاهد و مصرف بهینه کود براساس آزمون خاک بودند. در24 کرت پس از اعمال تیمارها، ذرت کشت گردید. عملیات تهیه زمین، کاشت، داشت، برداشت، آبیاری، کوددهی، نمونه‌برداری، اندازه‌گیری شاخص‌ها و تجزیه و تحلیل نتایج همانند سال اول آزمایش انجام شدند. نتایج آزمایش سال اول نشان داد که از لحاظ شاخص‌هایی نظیر وزن بلال، طول بلال و مقدار جذب فسفر، آهن، روی، مس و منگنز در بخش هوایی ذرت تفاوت معنی‌دار بین تیمارها وجود ندارد و همه آنها در یک سطح آماری قرار گرفتند. اگرچه از لحاظ غلظت فسفر، آهن، مس، روی و منگنز در بخش هوایی ذرت، تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای آزمایشی وجود داشت، ولی هیچ یک از تیمارها با شاهد یا کود سوپر فسفات تریپل اختلاف معنی‌دار نداشتند، این در حالی است که تفاوت تیمارها از لحاظ وزن خشک بخش هوایی ذرت معنی‌دار بود و وزن خشک در تیمارهای شاهد، سوپر فسفات و تیمار4 (بهترین تیمار از نظر عملکرد) به ترتیب 30/62، 35/83 و 37/71 تن در هکتار بودند و دو تیمار اخیر در یک سطح آماری قرار گرفته و تفاوت آنها با شاهد معنی‌دار بود. تیمارهای 2، 4، 5، 7، 8، 10، 13، 14 و 15 با تیمار کود سوپر فسفات و سایر تیمارها با تیمار شاهد در یک سطح آماری قرار گرفتند. در سال دوم آزمایش، از لحاظ وزن خشک و میزان عناصر غذائی جذب شده توسط بخش هوائی ذرت تفاوت معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشد، در حالیکه غلظت برخی عناصر در برگ و دانه ذرت در تیمارهای مختلف متفاوت بوده و تیمار مصرف بهینه کود بیشترین غلظت‌ها را به خود اختصاص داد.

واژه های کلیدی: گوگرد، مایه تلقیح تیوباسیلوس، ذرت، افزایش قابلیت جذب عناصر

۱- به ترتیب استادیار پژوهش ، کارشناس ارشد و استادیار پژوهش موسسه تحقیقات خاک و آب

* وصول: 83/5/24 و تصویب: 84/12/3

مقدمه

کشور ایران جزء مناطق خشک و نیمه خشک دنیا محسوب می‌شود. وجود مواد مادری آهکی از یک سو و کم بودن نزولات آسمانی از سوی دیگر سبب تحول و پیدایش خاکهای آهکی و قلیایی در اکثر نقاط ایران شده است. بررسی وضعیت عناصر غذایی در خاکهای آهکی و قلیایی نشان می‌دهد که علیرغم وجود مقادیر فراوان برخی از عناصر غذایی (مانند فسفر، آهن و روی) در این خاکها، فرم محلول و قابل جذب این عناصر کمتر از مقدار لازم برای رشد و نمو مناسب گیاه بوده و کمبود عناصر غذایی یکی از عوامل محدود کننده تولید محصول در این خاکها محسوب می‌شود (Tisdale *et al.*, 1993؛ Pathirathna *et al.*, 1989؛ Modaihesh *et al.*, 1989). به منظور کاهش مشکلات تغذیه‌ای گیاهان در خاکهای آهکی، تحقیقات زیادی در نقاط مختلف دنیا انجام شده است (Kaplan and Orman, 1998؛ Kalbasi *et al.*, 1988؛ Kittams and Attoe, 1965؛ McCready and Krous, 1982 Schofield *et al.*, 1981؛ Swaby, 1975؛ Pathirathna *et al.*, 1989). یکی از روش‌های متداول جهت رفع کمبود عناصر غذایی در خاکهای آهکی استفاده از کودهای شیمیایی حاوی این عناصر می‌باشد. اما این روش چندان مؤثر و کارا نیست، به عنوان مثال در خصوص فسفر، علاوه بر قیمت فزاینده کودهای فسفری، بازده آنها در خاکهای مذکور از 20 درصد تجاوز نمی‌کند (Spinks and Barber, 1947؛ Tisdale *et al.*, 1993). یکی دیگر از گزینه‌های موجود، استفاده از مواد اسیدزا به منظور کاهش pH خاک در اطراف ریشه‌های گیاه و افزایش حلالیت عناصر غذایی تثبیت شده در این خاکها می‌باشد (Schofield, *et al.*, 1981؛ Swaby, 1975). گوگرد به دلیل فراوانی و ارزانی، مقرون به صرفه‌ترین ماده اسیدزا محسوب می‌شود (Tisdale *et al.*, 1993). یکی از مهم‌ترین خصوصیات گوگرد دارا بودن درجات مختلف اکسیداسیون می‌باشد، بدین ترتیب علاوه بر ارزش تغذیه‌ای در نتیجه تأمین سولفات مورد نیاز گیاه (Singh and Chaudhari, 1997)، به دلیل اکسید شدن و تولید اسید سولفوریک، توانایی لازم برای کاهش pH خاک را (حداقل در مقیاس کوچک اطراف ریشه‌ها) نیز دارا می‌باشد. در بسیاری از بررسیهای انجام شده، از گوگرد به عنوان ماده اسیدزا و اصلاح‌کننده خاکهای آهکی، سدیمی و قلیایی استفاده شده است (Bardiya *et al.*, 1982؛ Rupela and Taura, 1973). استفاده از توان بالقوه گوگرد وقتی مؤثر و نتیجه بخش خواهد بود که پس از مصرف به اندازه کافی در خاک اکسید گردد. قسمت اعظم گوگرد مصرف شده توسط میکروارگانیسم‌های مختلف اکسید می‌گردد (Killham, 1994؛ McCready and Krouse, 1982؛ Tabatabai, 1986). مهمترین اکسیدکنندگان گوگرد در خاکهای کشاورزی، باکتریهای جنس تیوباسیلوس می‌باشند (Tabatabai, 1986؛ Wainwright,1984). به علت محدود بودن جمعیت و تنوع باکتریهای تیوباسیلوس در خاکهای آهکی (Rupela and Taura, 1973)، استفاده از گوگرد همراه با باکتریهای تیوباسیلوس به علت افزایش سرعت اکسیداسیون گوگرد در خاک، نتایج سودمندی را در اصلاح خاک و بهبود وضعیت تغذیه گیاهان بدنبال داشته است (Schofield *et al.*, 1981؛ Pathiratna *et al.*, 1989؛ Whitehouse and Strong, 1977؛ Bardiya *et al.*, 1982؛ McCready and Krouse, 1982؛ Rajan and Edge, 1980; Zapata and Roy, 2004; Khavazi *et al.*, 2001; Deluca *et al.*, 1989).

Swaby (1975) در مورد تولید و استفاده از بیوسوپر (گوگرد + آپاتیت + باکتریهای تیوباسیلوس) بررسی‌های زیادی انجام داد و اثر این کود بیولوژیک را در شرایط گلخانه و مزرعه روی چند محصول مختلف از جمله شبدر آزمایش کرد. او ابتدا گوگرد پودری و آپاتیت را به نسبت 1:5 مخلوط و یک بار بدون افزودن باکتریهای تیوباسیلوس آن را گرانوله و سولفافس (Sulphaphos) نامید. وی بار دیگر خاک حاوی باکتری‌های تیوباسیلوس را به آن افزود و آن را گرانوله و بیوسوپر (Biosuper) نام گذاشت و اثر این دو نوع کود را در مقایسه با کود سوپر فسفات تریپل روی محصولات در گلخانه و مزرعه بررسی نمود. نتایج آزمایش‌های او در سه سال متوالی نشان داد که اگر میزان عملکرد و فسفر جذب شده حاصل از مصرف سوپر فسفات تریپل در گلخانه به ترتیب 100و 100 در نظر گرفته شوند، این ارقام در مورد بیوسوپر 81 و 72 و در مورد سولفافس 26 و 31 می‌باشند. میزان سولفات جذب شده در تیمار بیوسوپر نیز 1/35 برابر میزان آن در تیمار سوپر فسفات تریپل، گزارش گردید. عملکرد، فسفر و سولفات جذب شده حاصل از مصرف بیوسوپر در مزرعه، بهتر از سوپر فسفات بود در حالی که سولفافس فقط حدود 20 درصد سوپر فسفات کارایی داشت.

استفاده از بیوسوپر به عنوان یک کود فسفری در سه خاک آهکی مختلف نشان داد که در دو خاک از سه خاک مورد آزمایش، عملکرد و فسفر جذب شده توسط شبدر سفید، در دو تیمار سوپر فسفات و بیوسوپر تفاوت معنی‌دار نداشتند، به طوری که اگر عملکرد ناشی از سوپر فسفات در دو خاک 100 و 100 باشند، این ارقام در مورد بیوسوپر 95 و 96 بودند (Schofield *et al.*, 1981). در آزمایشی مشابه، اثر استفاده از خاک فسفات، گوگرد، ماده

آلی و باکتریهای تیوباسیلوس بر افزایش قابلیت جذب فسفر و تأمین فسفر مورد نیاز سورگوم در گلدان، بررسی گردید. حلالیت فسفر و جذب آن توسط سورگوم در تیمار گوگرد + تیوباسیلوس + ماده آلی به حدی بود که عملکرد گیاه در این تیمار به اندازه عملکرد ناشی از مصرف سوپر فسفات تریپل بود (Rosa *et al.*, 1989).

در یک آزمایش مزرعه‌ای تأثیر مصرف گوگرد و تلقیح باکتریهای تیوباسیلوس بر افزایش قابلیت جذب فسفر توسط ذرت در سه خاک آهکی بررسی شد. تیمارها شامل تیوباسیلوس، گوگرد، گوگرد + تیوباسیلوس، گوگرد+ سوپر فسفات، تیوباسیلوس + سوپر فسفات و گوگرد + تیوباسیلوس+ سوپر فسفات بودند. بیشترین عملکرد دانه ذرت مربوط به تیمار گوگرد + تیوباسیلوس + سوپر فسفات بود که با عملکرد ناشی از تیمار گوگرد + تیوباسیلوس تفاوت معنی‌دار نداشت(Deluca *et al.*, 1989) در یک بررسی مشابه سه سطح آپاتیت (0، 500 و 1000 کیلوگرم در هکتار)، سه سطح گوگرد (0، 50 و 100 کیلوگرم در هکتار)، مخلوطی از سطوح مختلف گوگرد و آپاتیت با و بدون باکتریهای تیوباسیلوس در کشت یک گیاه لگوم به کار رفتند. نتایج نشان داد که عملکرد و فسفر جذب شده توسط گیاه در تیمار گوگرد + تیوباسیلوس+ آپاتیت حداکثر بود. این محققین پیشنهاد کردند با توجه به این که تولید سوپر فسفات از خاک فسفات با عیار کم فسفر، از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نیست، لذا می‌توان از مخلوط گوگرد، آپاتیت و خاک حاوی باکتریهای تیوباسیلوس به عنوان کود فسفری (بیوسوپر) استفاده کرد (Pathirathna *et al.*, 1989) .

Whitehouse و Strong (1977) استفاده از بیوسوپر (مخلوط خاک فسفات، گوگرد و باکتریهای تیوباسیلوس) را به عنوان کود فسفری در سه خاک آهکی متفاوت بر روی گندم ارزیابی و گزارش نمودند که در دو خاک مورد آزمایش، 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 بدست آمد. Jaggi و همکاران (2005)، تأثیر کاربرد گوگرد عنصری را در سه رژیم رطوبتی مختلف (40، 60 و 120%) و سه رژیم دمایی متفاوت (12، 24 و 36 درجه سانتی‌گراد) بر تغییرات pH و قابلیت‌دسترسی فسفر در سه نوع خاک، اسیدی(pH =4/9)، خنثی (pH =7/1) و قلیایی (pH = 10/2) مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که اکسیداسیون گوگرد باعث کاهش pH خاک قلیایی گردید و در نتیجه باعث افزایش غلظت فسفر قابل دسترس شد. اکسیداسیون گوگرد وابسته به رطوبت و دمای خاک می‌باشد و می‌تواند باعث اصلاح pH خاک و غلظت فسفر قابل دسترس گردد. کاهش pH خاک در خاک قلیایی بدون گوگرد، در شرایط غرقاب بیشترین مقدار بود و در خاک آهکی با گوگرد در شرایط رطوبتی 60 درصد در مرحله‌ای که اکسیداسیون گوگرد سریع بود، باعث بهبود شرایط خاک جهت دسترسی به عناصر گردید.

در یک آزمایش گلدانی، گوگرد (0/5 درصد) و باکتریهای تیوباسیلوس (10^6 cfu ml^{-1}) قبل از کشت ذرت به خاک آهکی اضافه شدند. pH خاک در تیمارهای شاهد، تیوباسیلوس، گوگرد و گوگرد + تیوباسیلوس به ترتیب 7/9، 7/87، 6/86 و 6/49، میزان فسفر قابل جذب خاک به ترتیب 4/8، 5/03، 7/53 و 14/65 و آهن قابل جذب خاک 2/13، 2/05، 2/71 و 4/2 میلی‌گرم در کیلوگرم بودند. فسفر جذب شده توسط ذرت در تیمارهای مذکور به ترتیب 10/16، 10/8، 18/83 و 35/39 و آهن جذب شده نیز 0/38، 0/41، 0/49 و 0/665 میلی‌گرم در گلدان تعیین گردید. وزن خشک ذرت در تیمارهای یاد شده به ترتیب 10/3، 11/1، 11/7 و 20/31 گرم در گلدان گزارش گردید (بشارتی، 1377). اثر تلقیح باکتریهای تیوباسیلوس بر رشد یونجه در دو خاک قلیایی بررسی و مشخص شد که در مجموع دو برداشت، وزن خشک یونجه در خاک اول در تیمارهای شاهد، گوگرد، گچ، تیوباسیلوس تیواکسیدانس، تیوباسیلوس نئاپولیتانوس، گوگرد + تیوباسیلوس تیواکسیدانس و گوگرد + تیوباسیلوس نئاپولیتانوس به ترتیب 3/3، 5/0، 5/8، 4/6، 5/0، 6/2 و 8/9 و در خاک دوم به ترتیب 3/5، 4/2، 5/9، 4/0، 3/6، 6/7 و 8/2 گرم در گلدان بودند. در هر دو خاک باکتری تیوباسیلوس نئاپولیتانوس بهتر از باکتری تیوباسیلوس تیواکسیدانس ظاهر شد و تفاوت بین آنها از لحاظ وزن خشک یونجه معنی‌دار بود. به علاوه تلقیح آنها بدون مصرف گوگرد یا کاربرد آنها همراه با گچ، در افزایش عملکرد یونجه در دو خاک مذکور تأثیر معنی‌دار نداشت (Bardiya *et al.*, 1982). استفاده از خاک فسفات به همراه گوگرد و باکتریهای تیوباسیلوس توانست بخش قابل توجهی از فسفر مورد نیاز گیاه ذرت را تأمین نماید (کوچک‌زاده و همکاران، 1380). در این بررسی استفاده از خاک فسفات به همراه گوگرد و باکتری تیوباسیلوس وزن خشک ذرت را نسبت به شاهد به طور معنی‌دار افزایش داد و با تیمار سوپر فسفات تریپل اختلاف معنی‌داری نشان نداد.

قسمت اعظم اراضی کشاورزی ایران آهکی بوده و بسیاری از عناصر ضروری مورد نیاز گیاه در این خاکها تثبیت شده و از دسترس گیاه خارج می‌شوند. از طرفی 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. مضافاً این که دانش فنی تولید انبوه و عرضه مایه تلقیح باکتریهای تیوباسیلوس در داخل کشور مهیا می‌باشد. لذا تحقیق حاضر به منظور بررسی امکان جایگزینی بخشی از کودهای فسفری و کودهای حاوی عناصر کم مصرف با گوگرد و مایه تلقیح باکتریهای تیوباسیلوس در شرایط مزرعه روی گیاه ذرت انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر در مزرعه بخش تحقیقات خاک و آب کرج در دو سال متوالی (81-1380) بر روی گیاه ذرت اجراء گردید. قبل از اجرای آزمایش، از قطعه زمین مورد نظر نمونه مرکب خاک از عمق 30-0 سانتی‌متری تهیه و برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن از قبیل بافت، pH، EC، درصد مواد خنثی شونده، درصد رطوبت اشباع، نیتروژن کل، مقدار قابل جذب آهن، روی، مس، منگنز، بور، پتاسیم، فسفر وسولفات خاک به روش‌های معمول و استاندارد آزمایشگاهی (علی احیائی و بهبهانی زاده، 1372) تعیین گردیدند (جدول 1).

در سال اول، جهت اجرای آزمون مزرعه‌ای از طرح بلوکهای کاملاً تصادفی در قالب آزمایش فاکتوریل با چهار تکرار استفاده شد. فاکتورها شامل گوگرد پودری (200، 400، 600 و 1000 کیلوگرم در هکتار) و مایه تلقیح تیوباسیلوس (نسبت مایه تلقیح به گوگرد 0، 1، 2 و 4 درصد وزنی) بودند. مایه تلقیح تیوباسیلوس حاوی باکتریهای تیوباسیلوس از نوع خنثی دوست با تراکم جمعیت $6/3 \times 10^7$ سلول در هر گرم بود. علاوه بر تیمارهای مذکور، دو تیمار شاهد و مصرف بهینه کود براساس آزمون خاک جهت مقایسه سایر تیمارها با آنها نیز، منظور شدند.

پس از انجام شخم، دیسک و ماله کشی، در مجموع 72 کرت به ابعاد 2/4 × 5 متر در قطعه زمین مورد نظر ایجاد شدند. نیتروژن از منبع اوره، پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم، منگنز از منبع سولفات منگنز و به ترتیب به میزان 100، 100 و 40 کیلوگرم بر هکتار در تمامی کرتهای آزمایشی به صورت یکنواخت قبل از کشت گیاه پخش گردیدند. به کمک دستگاه فاروزن، پشته‌هایی به فواصل 60 سانتی‌متر در هر کرت ایجاد و در دو طرف هر پشته شیار کوچکی (به عمق 10 سانتیمتر و با فاصله 15 سانتیمتر از خطوط کاشت) ایجاد گردید. گوگرد و مایه تلقیح تیوباسیلوس در تیمارهای مورد نظر درون شیارها ریخته شدند و سپس بذور ذرت رقم Single Cross 704 توسط دستگاه ردیف کار در وسط پشته‌ها به فواصل 17/5 سانتی‌متر کاشته شدند.

بلافاصله پس از اعمال تیمارها و کشت ذرت، آبیاری کرت‌ها به روش سیفونی انجام شد. برای جلوگیری از آلودگی کرت‌های تلقیح نشده، آبیاری هر کرت مجزا صورت گرفت و زهاب هر کرت توسط نهرهای تخلیه به بیرون از قطعات آزمایشی منتقل شد. در تیمار شاهد هیچ‌گونه گوگرد، مایه تلقیح، کود فسفری و کودهای حاوی آهن و روی مصرف نشد. در حالی که در تیمار مصرف بهینه کود، فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل و روی از منبع سولفات روی به ترتیب به میزان 200 و 75 کیلوگرم بر هکتار قبل از کشت ذرت، مصرف گردیدند.

در طی مراحل رشد ذرت، وجین علف‌های هرز در دو مرحله و به صورت دستی انجام شد و کود اوره نیز در سه تقسیط (100 کیلوگرم بر هکتار در هر مرحله) در تمام کرتها به صورت سرک مصرف گردید. پس از ظهور گلهای تاجی نر، از برگ روبروی بلال نمونه‌برداری برگ صورت گرفت. همچنین پس از کامل شدن دوره رشد گیاه، برداشت محصول از دو ردیف میانی هر کرت از سطحی معادل 4/2 مترمربع انجام شد. وزن‌تر، وزن خشک، متوسط وزن بلال و طول بلال در کرت‌های آزمایشی تعیین شدند. به علاوه از هر کرت نمونه‌های ساقه، برگ و دانه ذرت تهیه و به منظور اندازه‌گیری میزان عناصر غذایی به آزمایشگاه منتقل شدند. اکسیداسیون نمونه‌های برگ، ساقه و دانه به روش اکسیداسیون خشک (Dry Ashing) صورت گرفت و مقدار فسفر، آهن، روی، مس و منگنز در نمونه‌های گیاهی اندازه‌گیری شدند (امامی، 1375). نتایج با نرم‌افزارهای آماری MSTATC و SAS تجزیه و تحلیل شده و مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون Tukey صورت گرفت.

در سال دوم نیز آزمایش به صورت طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی در قالب آزمایش‌های فاکتوریل با سه تکرار اجرا گردید. فاکتورها شامل گوگرد (200، 400 و 600 کیلوگرم بر هکتار) و مایه تلقیح تیوباسیلوس (نسبت وزنی مایه تلقیح به گوگرد مصرفی معادل 0 و 1 درصد) بودند. لازم به ذکر است که براساس نتایج حاصل از آزمایش سال اول، بین سطوح ۱،۲و4 درصد مایه تلقیح تیوباسیلوس تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد. لذا در سال دوم آزمایش، بجای چهار سطح مایه تلقیح فقط دو سطح منظور شد. مایه تلقیح تیوباسیلوس حاوی باکتریهای تیوباسیلوس

از نوع خنثی دوست با تراکم جمعیت 7×10^7 سلول در گرم بود. این بار نیز دو تیمار شاهد و مصرف بهینه کود براساس آزمون خاک به مجموع تیمارها اضافه شدند و در 24 کرت به ابعاد 2/4 × 5 متر پس از اعمال تیمارها، ذرت کشت گردید. عملیات تهیه زمین، کاشت، داشت، برداشت، آبیاری، کوددهی، نمونه‌برداری، اندازه‌گیری شاخص‌ها و تجزیه و تحلیل آماری نتایج، همانند سال اول آزمایش، انجام شدند.

نتایج

برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قطعات آزمایشی قبل از اعمال تیمارها و کشت ذرت، اندازه گیری شدند که نتایج اندازه‌گیریها در جدول 1 آمده است.

همانطوری که از جدول 1 پیداست، خاک قطعه آزمایشی آهکی بوده و مقدار فسفر قابل جذب آن کمتر از حد بحرانی برای ذرت ($13\ mg\ kg^{-1}$) می‌باشد. جدول 2 نتایج تجزیه آب آبیاری مورد استفاده در آزمایش را نشان می‌دهد.

جدول3 مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف برعملکرد، طول بلال و وزن بلال را در سال اول اجرای آزمایش مزرعه‌ای نشان می‌دهد.

همان طوری که از جدول مذکور پیداست، از لحاظ وزن بلال تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای مختلف مشاهده نشد و همه تیمارها در یک سطح آماری قرار داشتند. این در حالی است که وزن خشک بخش هوایی ذرت در تیمارهای مختلف با یکدیگر تفاوت معنی‌دار نشان دادند. تیمار T_4 (مصرف 200 کیلوگرم گوگرد در هکتار همراه با 4 درصد مایه تلقیح) با 37710 کیلوگرم وزن خشک در هکتار بیشترین عملکرد را به خود اختصاص داد و با شاهد در سطح 1 درصد تفاوت معنی‌دار داشت ولی با تیمار کود سوپر فسفات تریپل (تیمار T_{17}) در یک سطح آماری قرار گرفت. اگر افزایش عملکرد تیمار مصرف بهینه کود در مقایسه با شاهد را 100 در نظر بگیریم (RAE)[1]، این رقم در مورد بهترین تیمار (تیمار T_4) 136/2 می‌باشد.

** S, T,BF و Control به ترتیب مصرف بهینه کود، مایه تلقیح تیوباسیلوس، گوگرد و شاهد می‌باشند.

جدول 4 مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر غلظت فسفر، آهن، روی، مس و منگنز در بخش هوایی ذرت را در سال اول آزمایش نشان می‌دهد. تیمار T_1 که کمترین عملکرد را دارا بود، بیشترین غلظت آهن و فسفر را به خود اختصاص داد. بجز تیمار مذکور، سایر تیمارها از لحاظ غلظت آهن و فسفر در یک سطح آماری قرار داشتند. از لحاظ غلظت مس، روی و منگنز در بخش هوایی ذرت نیز، تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای آزمایشی مشاهده نشد. اگرچه از لحاظ غلظت مس، روی، آهن، منگنز و فسفر تفاوت معنی‌دار بین تیمارها مشاهد شد، ولی هیچیک از تیمارها از نظر غلظت عناصر مذکور در بخش هوایی ذرت، با شاهد یا تیمار مصرف بهینه کود تفاوت معنی‌دار نداشتند (جدول 4).

جدول شماره 5 مقدار فسفر، آهن، روی، مس و منگنز جذب شده توسط بخش هوایی ذرت را در سال اول آزمایش نشان می‌دهد. از لحاظ مقدار فسفر جذب شده توسط ذرت بین تیمارها تفاوت معنی‌دار وجود داشت و تیمار شاهد با 43/78 کیلوگرم در هکتار، کمترین و تیمار T_5 با 69/19 کیلوگرم در هکتار بیشترین مقدار فسفر جذب شده را به خود اختصاص دادند. تیمارهای T_4، T_5، T_{13} و T_{15} با تیمارکود سوپر فسفات تریپل در یک سطح آماری قرار داشته و تفاوت آنها با تیمار شاهد از لحاظ آماری معنی‌دار بود، در حالی که سایر تیمارها با تیمار شاهد یا مصرف بهینه کود تفاوت معنی‌دار نشان ندادند (جدول5).

در سال دوم اجرای تحقیق، تیمارها تعدیل شدند و از بین 18 تیمار اعمال شده در سال اول، تنها 8 تیمار در سال دوم در کشت ذرت اعمال گردیدند. جدول 6 مقایسه میانگین اثر تیمارها بر عملکرد تر، عملکرد خشک و غلظت فسفر، گوگرد، نیتروژن، مس، روی، منگنز و آهن را در برگ ذرت نشان می‌دهد. از لحاظ وزن تر و وزن خشک بخش هوایی ذرت، همه تیمارها در یک سطح آماری قرار گرفتند و تفاوت معنی‌داری بین آنها مشاهده نشد (جدول 6).

تیمار شاهد با 0/21 درصد بیشترین و تیمارهای T_2 و T_3 (مصرف 400 و 600 کیلوگرم گوگرد در هکتار) با 0/173 درصد کمترین غلظت فسفر برگ را به خود اختصاص دادند و تفاوت بین آنها از لحاظ آماری معنی‌دار بود.

از لحاظ غلظت مس، نیتروژن، منگنز و روی بین تیمارها تفاوت معنی‌دار وجود نداشت، در حالی که از لحاظ غلظت گوگرد در برگ، تفاوت بین تیمارها معنی‌دار بود. تیمار T_3 با وجود دارا بودن کمترین وزن خشک بخش هوایی، بیشترین غلظت گوگرد برگ را دارا بود (جدول 6). جدول 7 مقایسه میانگین اثر تیمارها بر غلظت عناصر غذایی در ساقه ذرت را در سال دوم آزمایش نشان می‌دهد.

همان طوری که از جدول فوق پیداست، تیمار T_3 (مصرف 600 کیلوگرم گوگرد در هکتار) و تیمار T_8

1 - Relative Agronomic Efficiency

(مصرف بهینه کود) به ترتیب بیشترین غلظت آهن و گوگرد را در ساقه ذرت به خود اختصاص داده و با سایر تیمارها تفاوت معنی‌دار نشان دادند. در حالی که سایر تیمارها از لحاظ غلظت این دو عنصر در ساقه ذرت در یک سطح آماری قرار داشتند. از نظر غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، روی، مس و منگنز در ساقه ذرت تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای مختلف مشاهده نشد (جدول 7). مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر غلظت عناصر غذایی در دانه ذرت در سال دوم در جدول 8 آمده است.

تیمار T_3 (مصرف 600 کیلوگرم گوگرد در هکتار) بیشترین غلظت گوگرد و تیمار T_8 (مصرف بهینه کود) بیشترین غلظت فسفر دانه ذرت را به خود اختصاص دادند، با این وجود تفاوت معنی داری بین تیمارها از لحاظ غلظت این دو عنصر در دانه ذرت وجود نداشت. از لحاظ غلظت نیتروژن، کلسیم، منیزیم، مس و آهن همه تیمارها در یک سطح آماری قرار داشتند، در حالی که تیمار T_8 بیشترین و تیمار T_2 کمترین غلظت فسفر و روی را به خود اختصاص دادند (جدول8). جدول 9 مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر مقدار عناصر غذایی جذب شده توسط بخش هوایی ذرت را در سال دوم آزمایش نشان می‌دهد.

همان طوری که از جدول فوق پیداست، از نظر مقدار پتاسیم، نیتروژن، فسفر، آهن، روی، مس، منگنز و گوگرد جذب شده توسط بخش هوایی ذرت، تیمارهای مختلف تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند.

سال دوم اجرای آزمایش، پس از برداشت گیاه، از خاک واحدهای آزمایشی (کرتها) نمونه‌برداری مرکب صورت گرفت و مقدار قابل جذب برخی از عناصر غذایی در خاک اندازه‌گیری گردیدند که نتایج این اندازه‌گیری‌ها در جدول 10 منعکس شده است. همان طوری که از جدول مذکور پیداست، از نظر مقدار پتاسیم قابل جذب خاک، تفاوت معنی‌دار بین تیمارها وجود داشت، ولی هیچ یک از تیمارها با شاهد یا مصرف بهینه کود تفاوت معنی‌دار نشان ندادند. از لحاظ مقدار قابل جذب منیزیم، کلسیم، مس، روی، آهن و منگنز نیز تفاوت معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشد، در حالی که از نظر فسفر قابل جذب خاک تفاوت بین تیمارها معنی‌دار بود و تیمار T_8 (مصرف بهینه کود) با مقدار 20/27 میلی‌گرم در کیلوگرم فسفر قابل جذب، بیشترین فسفر قابل جذب را دارا بود و با سایر تیمارها تفاوت معنی‌دار داشت ولی سایر تیمارها از لحاظ فسفر قابل جذب خاک در یک سطح آماری قرار داشتند (جدول10).

بحث

استفاده از گوگرد در اراضی زیر کشت محصولات کشاورزی با هدف تأمین سولفات مورد نیاز گیاه (Singh and Chaudhari, 1997 ; Singh *et al*., 1991 Singh and Chhibba, 1991)، اصلاح خاک‌های سدیمی و شور سدیمی (Rupela and Taura, 1973; Venkatakrishanan and Abrol, 1981)، افزایش حلالیت برخی عناصر غذایی و در نهایت بهبود وضعیت تغذیه گیاهان در خاک‌های آهکی صورت می‌گیرد (Kalbasi *et al*., 1988 Kaplan and Orman, 1998 ; Razeto, 1982).

گوگرد عنصری، به خودی خود یک ماده بی اثر (Inert) بوده و بروز اثرات مفید آن منوط به اکسایش و تبدیل آن به سولفات می‌باشد (Tabatabai, 1986). از آنجا که اکسیداسیون گوگرد در خاک عمدتاً به طریق بیولوژیک صورت می‌گیرد، لذا این فرایند علاوه برخواص کمی و کیفی گوگرد عنصری نظیر درصد خلوص، اندازه ذرات، مقدار مصرف، زمان و روش مصرف، همانند سایر فرآیندهای بیولوژیک دیگر متاثر از شرایط محیطی بوده و پارامترهایی از قبیل pH، رطوبت، تهویه، حرارت، سطح حاصلخیزی و جمعیت میکروارگانیسم‌های اکسید کننده گوگرد در خاک بر سرعت و شدت اکسایش گوگرد تاثیر بسزایی دارند (Attoe and Olson, 1966 ; Stevenson and Cole, 1999; Tisdale *et al*., 1993; Chapman, 1989 .;Nor and Tabatabai, 1977)

باکتریهای جنس تیوباسیلوس که مهم ترین اکسیدکنندگان گوگرد در خاک های زراعی محسوب می‌شوند، شیمیولیتوتروف بوده و با اکسایش ترکیبات احیاء گوگرد، انرژی لازم برای تثبیت CO_2 و انجام فعالیتهای حیاتی را کسب می‌کنند (Kelly and Harrison, 1984). ضمن اکسایش گوگرد مقداری اسید سولفوریک در محیط زیست آنها تولید می‌شود (Vishniac and Santer, 1957) که در صورت قابل توجه نبودن خاصیت تامپونی محیط، کاهش قابل ملاحظه‌ای در pH عارض می‌گردد (Vishniac and Santer, 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 در نهایت افزایش جذب عناصر توسط گیاه کمک می‌کند (بشارتی، 1377;Rosa *et al*., 1989).

افزایش قابلیت جذب برخی عناصر غذایی از جمله فسفر یکی از اثرات مفیدی است که به کاربرد گوگرد و اکسیداسیون آن در خاک نسبت داده می‌شود (Swaby, 1975 ; بشارتی، 1377). در تحقیق حاضر میزان فسفر قابل جذب خاک در قطعه آزمایشی کمتر از حد

بحرانی برای ذرت بود (جدول1)، لذا انتظار می‌رفت که مصرف گوگرد در مقایسه با شاهد با افزایش حلالیت فسفر کل خاک، باعث افزایش فسفر قابل جذب خاک و متعاقباً فسفر جذب شده توسط ذرت گردد، ولی دو شاخص مذکور (فسفر خاک و گیاه) در تیمارهای حاوی گوگرد و مایه تلقیح با شاهد تفاوت معنی‌دار نداشتند. یکی از دلایل احتمالی این امر را می‌توان به بالا بودن خاصیت تامپونی خاک آهکی مورد آزمایش و کم بودن مقدار گوگرد مصرفی نسبت داد. قطعه آزمایشی، حاوی 10 درصد مواد خنثی شونده بود (جدول1) که برای خنثی شدن فقط یک درصد آن حدود 1/5 تن گوگرد در هکتار نیاز است، حال آنکه حداکثر مقدار گوگرد مصرفی در کرتهای آزمایشی یک تن بود. آذری (1370) حداکثر محصول جو در یک خاک آهکی را از مصرف سه تن گوگرد در هکتار بدست آورد. Kalbasi و همکاران (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 عنوان کردند. Razeto (1982) با مصرف 20 کیلوگرم گوگرد برای هر درخت (معادل 8000 کیلوگرم در هکتار) کلروز ناشی از کمبود آهن را در باغات هلو برطرف ساخت.

Rupela و Taura (1973) مقادیر 0، 0/1، 0/5 و 1 درصد گوگرد را با و بدون باکتری‌های تیوباسیلوس به خاک‌های قلیایی افزوده و ملاحظه کردند که حداکثر کاهش pH، کاهش سدیم تبادلی، افزایش سدیم و سولفات محلول مربوط به تیمار یک درصد گوگرد همراه با باکتری‌های تیوباسیلوس می‌باشد.

یکی دیگر از دلایل احتمالی عدم پاسخ ذرت به مصرف گوگرد و مایه تلقیح تیوباسیلوس، بالا بودن میزان سولفات قابل جذب خاک می‌باشد. Kline و همکاران (1989) عدم پاسخ ذرت به مصرف گوگرد را به تأمین سولفات گیاه از سایر منابع دیگر نسبت دادند.

نحوه مصرف گوگرد و مایه تلقیح تیوباسیلوس نیز از جمله دلایل احتمالی عدم پاسخ ذرت به مصرف گوگرد و مایه تلقیح تیوباسیلوس محسوب می‌شوند. Swaby (1975) گرانول کردن مجموع خاک فسفات + گوگرد + باکتری تیوباسیلوس را به علت اثر اسید حاصل از اکسایش گوگرد توسط تیوباسیلوسها بر خاک فسفات موجود در گرانول و خنثی نشدن آن توسط خاک آهکی، مؤثرتر ارزیابی نمود. در تحقیق حاضرگوگرد و مایه تلقیح تیوباسیلوس به صورت غیر گرانول (پودری) مصرف گردید، لذا احتمالاً بخش اعظم اسید حاصل از اکسایش گوگرد در منطقه دور از ریزوسفر صرف خنثی شدن آهک خاک شده است. لذا پیشنهاد می‌شود که ابتدا گوگرد، مایه تلقیح گونه‌های موثر تیوباسیلوس و خاک فسفات به نسبت‌های مناسب با یکدیگر بخوبی مخلوط شده و در شرایط مناسب از نظر رطوبت و حرارت قرارگیرند تا اسید حاصل از اکسایش گوگرد صرف آزاد شدن فسفر از خاک فسفات گردد. پس از گذشت زمان مشخص (تعیین زمان مناسب نیاز به بررسی دارد) مخلوط مذکور را به عنوان کود فسفری مورد استفاده قرار دهند. لازم به یادآوری است که جنبه‌های مختلف این پیشنهاد نیازمند بررسی و تحقیق می‌باشد تا بتوان از گوگرد و مایه تلقیح تیوباسیلوس استفاده بهینه را بعمل آورد. همان طوری که قبلاً اشاره شد، قسمت اعظم گوگرد مصرفی در خاک به روش بیولوژیک اکسید می‌گردد (Tabatabai, 1986 ;Wainwright, 1984). شرایط محیطی از جمله حاصلخیزی خاک و جمعیت میکروارگانیسم‌های اکسیدکننده در شدت اکسایش گوگرد تأثیر بسزایی 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 (Wainwright, 1984; بشارتی، 1377) نیز نسبت داد. Agrifacts (2003) پائین بودن افزایش عملکرد گندم در تیمار گوگرد عنصری را ناشی از زمان کم اکسیداسیون گوگرد و عدم اکسایش مقادیر کافی آن گزارش نمود. Whithouse و همکاران (1977) در دو خاک آهکی با مقدار کم فسفر قابل جذب مقادیر مختلف بیوسوپر را در زمانهای مختلف مصرف کرده و نقش بیوسوپر (5 قسمت خاک فسفات + یک قسمت گوگرد + باکتریهای تیوباسیلوس) در افزایش عملکرد و تأمین فسفر مورد نیاز گندم را با کود سوپرفسفات ساده در مزرعه و گلخانه مقایسه نمودند. کود بیوسوپر در گلخانه و مزرعه در هر دو خاک شاخص‌های اندازه‌گیری شده را افزایش داد که البته فقط در شرایط گلخانه تأثیر آن در مقایسه با شاهد معنی‌دار بود و حداکثر کارایی آن مربوط به هنگامی بود که 4 هفته قبل از کشت گندم به خاک اضافه شده بود. محققین مذکور اندازه درشت (3 تا 6 میلی‌متر) دانه‌های کود بیوسوپر و کاهش کلونیزه شدن آنها توسط باکتریهای تیوباسیلوس را یکی از دلایل احتمالی پائین بودن قابلیت دسترسی فسفر آن در مزرعه دانستند. آنان معتقد بودند که کند بودن فعالیت بیولوژیک باکتریهای تیوباسیلوس که موجب حل شدن کود بیوسوپر می‌گردد نیز، مزید بر علت بوده و بیش از 4 هفته وقت لازم است تا بیوسوپر بتواند همانند یک کود فسفری نقش ایفاء نماید. به علاوه نامناسب بودن pH خاکهای آهکی مورد آزمایش برای فعالیت باکتریهای تیوباسیلوس و

نیاز گندم به وجود ذخیره کافی فسفر جهت رشد سریع را از دلایل دیگر ناکارآمدی بیوسوپر در شرایط مزرعه به شمار می آیند. مصرف بیوسوپر برای گیاهان یکساله نظیر گندم در خاکهایی با pH پائین‌تر مناسب می‌باشد (Whithouse *et al*., 1977).

تقدیر و تشکر

از آقای مهندس یوسف رضا باقری و آقای مهندس مجید صادقی مطلق بخاطر همکاری در اجرای طرح و از خانم شامی بخاطر تایپ مقاله تشکر و قدردانی می‌گردد.

جدول 1- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی قطعات آزمایشی قبل از اعمال تیمارها

سال	عمق	pH	EC	SP	T.N.V	T.N	SO_4^{-2}	P	K	Fe	Zn	Mn	Cu	B	Tex.
	Cm		dS m^{-1}		%		meq l^{-1}			mg kg^{-1}					
1380	0-30	8/02	0/73	35	8/3	0/065	1/2	10/7	224	2/24	1/74	3/4	8/2	1/74	Clay Loam
1381	0-30	7/74	1/53	30	11	0/054	2/2	7/2	210	2/10	5/58	2/8	4/5	0/46	Clay Loam

جدول 2- نتایج تجزیه آب آبیاری مورد استفاده در کشت مزرعه ای ذرت

EC (dS m^{-1})	pH	T.D.S	CO_3^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+
		mg l^{-1}		meq l^{-1}					
0/37	8/11	0/56	0/0	1/1	0/6	1/9	2	1/2	0/6

جدول 3- اثر تیمارهای مختلف بر وزن تر، وزن خشک، طول و وزن بلال در سال اول آزمایش مزرعه‌ای*

شماره تیمار	شرح تیمار	وزن بلال (gr)	طول بلال (cm)	عملکرد تر (Kg ha^{-1})	عملکرد خشک (Kg ha^{-1})
1	**S_{200} T_0	324/2a	21/13 ab	55772i	27875 i
2	S_{200} $T_{0/01}$	364/6a	21/00 ab	65310cdefgh	32655 bcdefg
3	S_{200} $T_{0/02}$	357/2a	20/73 ab	60666ij	29015 hi
4	S_{200} $T_{0/04}$	392/4a	22/40 a	75417a	37710 a
5	S_{400} T_0	364/4a	21/8 0a	77709abc	35480 ab
6	S_{400} $T_{0/01}$	374/2a	21/90 a	62508 efghi	32755 efgh
7	S_{400} $T_{0/02}$	349/5a	21/55 a	67604 bcde	33800 bcde
8	S_{400} $T_{0/04}$	296/2a	18/92 b	68622cde	34310 bcd
9	S_{600} T_0	330/0a	21/77 a	62979efghi	31490 defgh
10	S_{600} $T_{0/01}$	361/4a	20/95 ab	68906 bc	33455 bc
11	S_{600} $T_{0/02}$	335/3a	21/33 ab	59764hij	29880 ghi
12	S_{600} $T_{0/04}$	368/3a	21/63 a	64531 cdefgh	32265 cdefg
13	S_{1000} T_0	362/8a	21/17 ab	67628 bcdef	33815 bcde
14	S_{1000} $T_{0/01}$	373/3a	21/52 a	69081cd	34540 bc
15	S_{1000} $T_{0/02}$	323/3 a	20/5 ab	66345cdefg	33170 bcdef
16	S_{1000} $T_{0/04}$	337/9 a	20/67 ab	64688 cdefg	32345 cdef
17	BF	389/0 a	21/23 ab	70046 ab	35825 ab
18	Control	321/8 a	20/70 ab	61243 fghij	30620 Fghi

*در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف یکسان هستند، از نظر آماری در سطح ۵% تفاوت معنی‌دار ندارند.

جدول 4- مقایسه میانگین اثر تیمارها بر غلظت عناصر در بخش هوایی ذرت در سال اول آزمایش مزرعه‌ای*

Cu	Zn	Fe	Mn	P	شرح تیمار	شماره تیمار
	mg kg^{-1}			%		
20/00 b	42/25 abc	398/3 a	146/5 abc	0/200 a	**S_{200} T_0	1
23/50 b	40/25 abc	326/0 ab	130/8 abc	0/153 abcde	S_{200} $T_{0/01}$	2
18/ 00b	37/25 abc	230/0 b	130/3 abc	0/158 abcde	S_{200} $T_{0/02}$	3
23/50 b	40/50 abc	322/8 ab	167/8 a	0/168 abcde	S_{200} $T_{0/04}$	4
28/75 b	41/25 abc	331/3 ab	140/8 abc	0/195 ab	S_{400} T_0	5
34/75 b	34/75 bc	284/8 ab	135/8 abc	0/145 bcde	S_{400} $T_{0/01}$	6
30/00 b	38/75 abc	285/8 ab	135/8 abc	0/135 de	S_{400} $T_{0/02}$	7
55/50 a	36/25 bc	266/8 b	113/3 c	0/153 abcde	S_{400} $T_{0/04}$	8
33/50b	51/75 a	276/0 b	137/8 abc	0/173 abcde	S_{600} T_0	9
27/50 b	47/00 ab	322/0 ab	143/8 abc	0/163 abcde	S_{600} $T_{0/01}$	10
34/75 b	38/50 abc	317/3 ab	150/3 abc	0/158 abcde	S_{600} $T_{0/02}$	11
22/25 b	35/00 bc	309/0 ab	139/8 abc	0/137 de	S_{600} $T_{0/04}$	12
25/25 b	38/25 abc	303/0 ab	154/3 ab	0/185 abcd	S_{1000} T_0	13
16/50 b	37/75 abc	262/5 b	135/3 abc	0/193 abc	S_{1000} $T_{0/01}$	14
21/25 b	32/5 bc	307/0 ab	132/3 abc	0/140 cde	S_{1000} $T_{0/02}$	15
19/50 b	29/25 c	270/0 b	140/3 abc	0/143 bcde	S_{1000} $T_{0/04}$	16
21/00 b	38/00 abc	278/3 b	136/8 abc	0/185 abcd	BF	17
20/00 B	37/50 abc	293/3 ab	117/8 bc	0/143 bcde	Control	18

*در هر ستون میانگین هایی که حداقل دارای یک حرف یکسان هستند، از نظر آماری در سطح ۵% تفاوت معنی‌دار ندارند.

** S, T,BF و Control به ترتیب مصرف بهینه کود، مایه تلقیح تیوباسیلوس، گوگرد و شاهد می‌باشند.

جدول 5- مقایسه میانگین اثر تیمارها بر مقدار عناصر غذایی جذب شده توسط بخش هوایی ذرت در سال اول آزمایش*

Cu	Mn	Zn	Fe	p	شرح تیمار	شماره تیمار
		Kg ha^{-1}				
0/611a	4/084 a	1/178a	11/094 a	55/75 a	**S_{200} T_0	1
0/780a	4/271 a	1/314a	10/646 a	49/96ab	S_{200} $T_{0/01}$	2
0/545a	3/781 a	1/081a	6/673 a	45/84 ab	S_{200} $T_{0/02}$	3
0/897a	6/328 a	1/527a	12/180 a	63/35 a	S_{200} $T_{0/04}$	4
1/083a	4/996 a	1/464 a	11/74 a	69/19 a	S_{400} T_0	5
1/083a	4/448 a	1/138 a	9/335 a	47/49 ab	S_{400} $T_{0/01}$	6
1/00a	4/590 a	1/310 a	9/667 a	45/63 ab	S_{400} $T_{0/02}$	7
1/090a	3/887 a	1/244 a	9/161 a	52/50 a	S_{400} $T_{0/04}$	8
1/065 a	4/339 a	1/630 a	8/691 a	54/48 ab	S_{600} T_0	9
0/998 a	4 /955 a	1/619 a	11/095 a	54/53 ab	S_{600} $T_{0/01}$	10
0/729 a	4/491 a	1/150 a	9/472 a	47/24 ab	S_{600} $T_{0/02}$	11
0/718 a	4/511 a	1/129 a	9/970 a	44/25 b	S_{600} $T_{0/04}$	12
0/854 a	5/218 a	1/293 a	10/246 a	63/26 a	S_{1000} T_0	13
0/570 a	4/673 a	1/304 a	9/281 a	65/90 a	S_{1000} $T_{0/01}$	14
0/655 a	4/388 a	1/078 a	10/183 a	46/44 ab	S_{1000} $T_{0/02}$	15
0/639 a	4/538 a	0/946 a	8/733 a	46/25 ab	S_{1000} $T_{0/04}$	16
0/729 a	4/791 a	1/331 a	9/737 a	66/96 a	BF	17
0/612 a	3/607 a	1/148 a	8/972 a	43/78 b	Control	18

* در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف یکسان هستند، از نظر آماری در سطح ۵% تفاوت معنی‌دار ندارند.

** S, T,BF و Control به ترتیب مصرف بهینه کود، مایه تلقیح تیوباسیلوس، گوگرد و شاهد می‌باشند.

جدول 6- مقایسه میانگین اثر تیمارها بر غلظت عناصر غذایی در برگ ذرت در سال دوم آزمایش*

Fe	Mn	Zn	Cu	N	S	P	K	RAE	**D.W	F.W	شرح تیمار	شماره تیمار
mg kg^{-1}				%					ton ha^{-1}			
169 c	100 a	88 a	40 a	2/753 ab	0/273 ab	0/167f	1/81a	%91	24/42 a	48/41 a	S_{200} T_0	T_1
217 bc	98 a	85 a	40 a	2/697 ab	0/227 abc	0/173e	1/80a	318	27/23 a	52/54 a	S_{400} T_0	T_2
296 ab	104 a	81 ab	39 a	2/590 b	0/310 a	0/173e	1/73a	_	21/55 a	42/70 a	S_{600} T_0	T_3
221 bc	91 a	84 ab	38 ab	2/757 ab	0/203 abc	0/200b	1/73a	272	26/19 a	51/67 a	S_{200} $T_{0/01}$	T_4
352 a	115 a	87 a	39 a	3/124a	0/123 c	0/200b	1/73a	100	24/29 a	48/57 a	S_{400} $T_{0/01}$	T_5
266 ab	90 a	87 a	38 ab	2/733 ab	0/117 c	0/183d	1/70a	222	25/36 a	50/79 a	S_{600} $T_{0/01}$	T_6
286 ab	97 a	70 b	33 b	3/060 a	0/187 bc	0/207a	1/70a	0	23/93 a	46/75 A	Control	T_7
309 ab	108 a	83 ab	34 ab	2/463 b	0/203 abc	0/193c	1/66a	100	24/84 a	48/57 A	BF	T_8

*در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف یکسان هستند، از نظر آماری در سطح 5% تفاوت معنی‌دار ندارند.

** S, T ,D.W,BF ,F.W و Control به ترتیب وزن تر و وزن خشک بخش هوایی ذرت، مصرف بهینه کود، مایه تلقیح تیوباسیلوس، گوگرد و شاهد می‌باشند.

جدول 7- مقایسه میانگین اثر تیمارها بر غلظت عناصر در ساقه ذرت در سال دوم آزمایش*

Mn	Cu	Zn mg kg^{-1}	Fe	S	Mg	Ca	K %	P	N	شرح تیمار	تیمار
28 /0ab	13 /00A	26 a	39/33 ab	0/008 b	0/223 a	0/40 ab	1/067 a	0/028 a	0/387 a	S_{200} T_0	T_1
25/7 b	11/67a	18 a	30/00 b	0/004 b	0/237 a	0/36 ab	1/133 a	0/047 a	0/387a	S_{400} T_0	T_2
44/7 a	16 /00 a	21 a	59/67 a	0/006 b	0/297 a	0/41 a	1/133 a	0/047 a	0/510 a	S_{600} T_0	T_3
36/0 ab	13/67 a	21 a	39/00 ab	0/003 b	0/297 a	0/40 ab	1/433 a	0/068 a	0/480 a	S_{200} $T_{0/01}$	T_4
30/3 ab	14/33 a	21 a	39/00 ab	0/009 b	0/227 a	0/37 ab	1/167 a	0/037 a	0/390 a	S_{400} $T_{0/01}$	T_5
32 /0Ab	11/67 a	14/33 a	33 ab	0/003 b	0/193 a	0/37 ab	1/500 a	0/035 a	0/407 a	S_{600} $T_{0/01}$	T_6
30 /0Ab	14/00 a	18/33 a	48/00 ab	0/006 b	0/207 a	0/4 ab	1/500 a	0/037 a	0/393 a	Control	T_7
27/0 ab	12/67 a	18 a	38/33a b	0/09 a	0/177 a	0/35 b	1/333 a	0/087 a	0/690 a	BF	T_8

*در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف یکسان هستند، از نظر آماری در سطح ۵% تفاوت معنی‌دار ندارند.

**S, T,BF و Control به ترتیب مصرف بهینه کود، مایه تلقیح تیوباسیلوس، گوگرد و شاهد می‌باشند.

جدول 8- مقایسه میانگین اثر تیمارها بر غلظت عناصر غذایی در دانه ذرت در سال دوم آزمایش*

Mn	Cu	Zn mg kg^{-1}	Fe	S	Mg	Ca	K %	P	N	شرح تیمار	تیمار
۸/۶۷ ab	۴/۶۷ a	۲۴/۶۷ a	۳۵ a	۰/۲۱۷ ab	۰/۱۰۰ a	۰/۰۹۷ a	۰/۳۵ bc	۰/۲۰۷ ab	۱/۴۲۷ a	$S_{۲۰۰}$ $T_{۰}$	T_1
۶/۳۳ b	۵/۳۳a	۱۸/۳۳ ab	۲۹ a	۰/۱۸۰ ab	۰/۰۷۳ a	۰/۱۱۷ a	۰/۳۰ ۰c	۰/۱۷۳ b	۱/۳۳۰ a	$S_{۴۰۰}$ $T_{۰}$	T_2
۷/۶۷ ab	۴/۳۳ a	۲۲/۳۳ ab	۳۱ a	۰/۲۵۰ a	۰/۱۰۷ a	۰/۱۷۰ a	۰/۳۳۷ bc	۰/۲۱۳ ab	۱/۳۳۷ a	$S_{۶۰۰}$ $T_{۰}$	T_3
۷/۰۰ ab	۴/۶۷ a	۲۰/۶۷ ab	۳۳ a	۰/۱۵۳ b	۰/۱۱۳ a	۰/۲۰۳ a	۰/۳۵۳ abc	۰/۲۳۳ ab	۱/۴۳۷ a	$S_{۲۰۰}$ $T_{۱}$	T_4
۹/۰۰ a	۵/۶۷ a	۲۲/۰۰ ab	۳۰ a	۰/۱۹۷ ab	۰/۰۹۷ a	۰/۱۲۳ a	۰/۳۷۳ abc	۰/۲۱۳ ab	۱/۴۱۳ a	$S_{۴۰۰}$ $T_{۱}$	T_5
۷/۶۷ ab	۵ /۰۰a	۱۵/۳۳ b	۳۱ a	۰/۱۶۷ ab	۰/۰۸۷ a	۰/۱۲۷ a	۰/۳۴۳ bc	۰/۱۹۰ b	۱/۳۰۳ a	$S_{۶۰۰}$ $T_{۱}$	T_6
۸/۰۰ ab	۵ /۰۰a	۲۰/۶۷ ab	۳۰ a	۰/۱۷۷ ab	۰/۰۶۷ a	۰/۲۰۰ a	۰/۳۹۳ ab	۰/۲۰۳ ab	۱/۲۹۰ a	Control	T_7
۸/۶۷ ab	۵/۳۳ a	۲۴/۰۰ a	۳۲ a	۰/۲۰۷ ab	۰/۱۲۰ a	۰/۲۹۰ a	۰/۴۳۷ a	۰/۲۵۷ a	۱/۴۰۰ a	BF	T_8

*در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف یکسان هستند، از نظر آماری در سطح ۵% تفاوت معنی دار ندارند.

**S, T,BF و Control به ترتیب مصرف بهینه کود ، مایه تلقیح تیوباسیلوس، گوگرد و شاهد می‌باشند.

جدول 9- مقایسه میانگین اثر تیمارها بر مقدار عناصر جذب شده توسط بخش هوایی ذرت در سال دوم آزمایش*

S	Mn	Cu	Zn	Fe	p	N	K	شرح تیمار	تیمار
				kg ha^{-1}					
66/66a	2/44 a	0/976 ab	2/431 a	4/127 b	40/681 a	672 /5 a	40/64 a	S_{200} T_0	T_1
62/43 a	2/66 a	1/491 a	2/71 a	5/909 ab	47/33 a	746 /2 a	47/33 a	S_{400} T_0	T_2
63/57 a	2/24 a	0/840 ab	2/24 a	6/379 ab	37/44 a	556 /1 a	37./48 a	S_{600} T_0	T_3
53/56 a	2/38 a	0/995 a	2/41 a	5/788 ab	52/38 a	724 /0 a	52/36 a	S_{200} T_1	T_4
30/49 a	2/79 a	0/947 ab	2/79 a	8/550 a	48/81 a	757 /6 a	48/80 a	S_{400} T_1	T_5
30/63 a	2/28 a	0/963 ab	2/32 a	6/748 ab	47/62 a	709 /3 a	47/26 a	S_{600} T_1	T_6
44/73 a	2/22 a	0/789 b	2/38 a	6/844 ab	49/45 a	728/3 a	49/41 a	Control	T_7
51/81 a	2/68 a	0/844 a b	2/69 a	7/676 ab	48/07 a	661 /3 a	48/07 a	BF	T_8

*در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف یکسان هستند، از نظر آماری در سطح 5% تفاوت معنی‌دار ندارند.

** S, T,BF و Control به ترتیب مصرف بهینه کود، مایه تلقیح تیوباسیلوس، گوگرد و شاهد می‌باشند.

جدول 10- مقایسه میانگین اثر تیمارها بر مقدار قابل جذب برخی عناصر در خاک واحدهای آزمایشی

Mg	Ca	Cu	Zn	Mn mg kg^{-1}	Fe	K	P	N	شرح تیمار	تیمار
۲۶۴ a	۳۵۳۳ ab	۹/۴۳ a	۸/۲۰ a	۳/۹۰ ab	۲/۱۳ ab	۲۱۶/۶۷ a	۳/۸۰ b	۶۰۰ a	$S_{۲۰۰}$ $T_{۰}$	T_1
۲۵۶ a	۳۷۴۷ab	۹/۹۷ a	۳/۷۳ a	۳/۰۴ ab	۱/۲۷ b	۱۶۷ b	۴/۶۰ b	۵۳۰b	$S_{۴۰۰}$ $T_{۰}$	T_2
۲۱۶ a	۴۰۴۰ a	۱۱/۶۰ a	۶/۹۷ a	۴/۶۰ ab	۱/۹۰ ab	۱۷۷ ab	۴/۷۳ b	۵۳۰b	$S_{۶۰۰}$ $T_{۰}$	T_3
۳۲۰ a	۳۶۰۰ ab	۹/۷۳ A	۵/۱۰ a	۳/۱۰ bc	۱/۶۰ ab	۲۱۰ ab	۳/۶۷ b	۶۰۰ a	$S_{۲۰۰}$ $T_{۱}$	T_4
۲۹۲ a	۳۷۳۳ab	۱۲/۱۳ a	۱۰/۶۳ a	۳/۵۳ ab	۲/۰۰ ab	۲۰۶ ab	۴/۸۰ b	۵۳۰ b	$S_{۴۰۰}$ $T_{۱}$	T_5
۲۸۸ a	۳۶۶۷ab	۱۸/۹۰ a	۶/۷۳ a	۴/۸۳ a	۲/۳۳ a	۲۲۳a	۳/۶۰ b	۵۰۰ c	$S_{۶۰۰}$ $T_{۱}$	T_6
۲۴۰ a	۳۵۶۰ ab	۹/۵۶a	۱۱/۶ a	۳/۴۷ ab	۱/۸۷ ab	۲۲۰a	۴/۲۰ b	۵۳۰ b	Control	T_7
۳۴۴ a	۳۳۸۷ b	۷/۸۳ a	۸/۱۷ a	۲/۴۳ b	۱/۴۳ ab	۱۹۳ ab	۲۰/۲۷ a	۵۰۰ b	BF	T_8

*در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف یکسان هستند، از نظر آماری در سطح 5% تفاوت معنی‌دار ندارند.

** S, T,BF و Control به ترتیب مصرف بهینه کود، مایه تلقیح تیوباسیلوس، گوگرد و شاهد می‌باشند.

فهرست منابع:

1. آذری، ح. م. 1370. بررسی اثر گوگرد بر قابلیت جذب فسفر خاک. گزارش نهایی شماره477، موسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران.
2. امامی، ع. 1375. روشهای تجزیه گیاه. نشریه فنی شماره 982. موسسه تحقیقات خاک و آب، نشر آموزش کشاورزی، کرج، ایران.
3. 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.
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. Agrifacts. 2003. Elemental Sulfur. Part ll: Characterstics of S oxidation. URL: http//www.Back-To-basics.Net/agrifacts/pdf/b2b29b.pdf.
7. Attoe, O. J. and Olson, R. A. 1966. Factors affecting the rate of oxidation of elemental sulfur and that added in rock- phosphate- sulfur fusion. Soil Sci., 101: 317-324.
8. Bardiya, M. C., Narula, N. and Vyas, S. R. 1982. Effect of inoculation of Thiobacillus on the lucerne crop (Medicago sativa L.) grown in alkali soils. HAU J. Res., 11(4): 286-290.
9. Chapman, S. J. 1989. Oxidation of micronized elemental sulfur in soil. Plant and Soil, 116:69- 76.
10. Jaggi, R. C., M. S. Aulakh and R. Sharma. 2005. Impacts of elemental S applied under various temperature and moisture regimes on pH and available P in acidic, neutral and alkaline soils. Biol. Fertil. Soils, 41:52-58.
11. 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: 1353-1360.
12. 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 : 1001- 1007.
13. Kaplan, M. and S. Orman. 1998. Effect of elemental sulfur and sulfur containing waste in a calcareous soil in Turkey. J. Plant Nutr., 21: 1655- 1665.
14. 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.
15. 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.
16. Killham, K. 1994. Soil Ecology. Cambridge University Press.
17. Kittams, H. H. and O. J. Attoe. 1965. Availability of P in rock phosphate sulfur fusion. Agron. J., 57: 331-334.
18. 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.
19. McCready, R. G. L. and Krouse, H. R. 1982. Sulfur isotope fractionation during the oxidation of elemental sulfur by Thiobacilli in a solonetzic soil. Can. J. Soil Sci. 62:105-110.
20. Modaihsh, S., W. A. Al-mustafa, and A. E. Metwally. 1989. Effect of elemental sulfur on chemical changes and nutrient availability in calcareous soils. Plant and Soil. 116:95-101.
21. Nor, Y. M. and M. A., Tabatabai. 1977. Oxidation of elemental sulfur in soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 41: 736- 741.
22. Pathirathna, 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. Razeto, B. 1982. Treatment of iron chlorosis in peach trees. J. Plant Nutr., 5: 917-922.
25. 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.
26. Rupela, O. P. and P. Taura. 1973. Utilization of Thiobacillus to reclaim alkali soils. Soil Biol. Biochem., 6: 899-901.
27. 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.
28. Singh, A. L., and V. Chaudhari. 1997. Sulfur and micronutrient of groundnut in a calcareous soil. J. Agron. Crop Sci., 179: 107- 114.
29. 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.
30. Singh, V., A. K. Parashar, and V. S. Mehta. 1991. Soil sulphur status and response of lentil to sulphur in relation to calcium. J. Indian Soc. Soil Sci., 39: 727-729.
31. Spinks, J. W. T., and S. A. Barber. 1947. Study of fertilizer uptake using radioactive phosphorus. Sci. Agron., 27:145-155.
32. Stevenson, F. J. and M. A. Cole. 1999. Cycles of Soil. Second Edition. PP.427. John Wiley and Sons. Inc., New York.
33. Swaby, R. J. 1975. Biosuper- Biological Superphosphate. In: McLachlan, K. D. (ed.) Sulfur in Australian Agriculture. Sydney University Press, Sydney.
34. Tabatabai, M. A. 1986. Sulfur in Agriculture. Am. Soc. Agron. Madison, WI., U. S. A.
35. Tisdale, S.L., W. L. Nelson, J. D. Beaton and J. L. Havlin. 1993. Soil Fertility and Fertilizers. 5th ed. Mcmillon Publishing Co., New York.
36. Venkatakrishanan, S. and I. P. Abrol. 1981. Amelioration of a sodic soil through Thiobacilli inoculation and pyrite application. J. Indian Soc. Soil. Sci., 29: 526-529.
37. Vishniac, W. and M. Santer. 1957. The Thiobacilli. Bacteriol. Rev., 21: 195- 213.
38. Wainwright, M. 1984. Sulfur oxidation in soils. Advances in Agronomy, 37: 349-396.
39. Whitehouse, M. J. and Strong, W. M. 1977. Comparison of biosuper with superphosphate as a phosphatic fertilizer for wheat. Queensland J. Agric. Animal Sci., 34(2): 205-211.
40. 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.