

مدیریت مصرف گوگرد بر قابلیت جذب عناصر کم مصرف در خاک و دانه کلزا در یک خاک آهکی

جعفر گوهرگانی¹

دانشجوی دکتری ارمنستان و محقق مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کهگیلویه و بویراحمد؛ j.gohargani@yahoo.com

دریافت: 93/6/4 و پذیرش: 93/11/29

چکیده

خاک‌های اغلب مناطق ایران جزء خاک‌های آهکی محسوب می‌شود. بالا بودن پ‌هاش این نوع خاک‌ها، باعث تثبیت عناصر غذایی در خاک و کاهش جذب توسط گیاه می‌گردد. گوگرد یکی از محصولات صنایع جانبی پتروشیمی در کشور می‌باشد و به عنوان یک ماده ارزان قیمت و فراوان در دسترس می‌باشد. مصرف گوگرد در خاک به افزایش فرم محلول و قابل جذب عناصر غذایی مورد نیاز گیاه کمک می‌کند. به منظور بررسی تأثیر گوگرد و مایه تلقیح تیوباسیلوس بر قابلیت جذب عناصر کم مصرف شامل روی، آهن و منگنز در خاک و همچنین در دانه گیاه کلزا آزمایشی به صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با 18 تیمار شامل 3 سطح صفر، 400 و 800 کیلوگرم گوگرد در هکتار و سه سطح صفر، 2 و 4 کیلوگرم مایه تلقیح تیوباسیلوس و دو سطح صفر و 20 تن ماده آلی با سه تکرار در یک خاک آهکی به اجرا درآمد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر سطوح مختلف گوگرد، مایه تلقیح تیوباسیلوس و ماده آلی و اثر متقابل آنها بر صفات ذکر شده در سطح 1% معنی‌دار بود، غلظت عناصر منگنز، روی و آهن به ترتیب 23/50، 3/73 و 13/03 میلی‌گرم در کیلوگرم در تیمار 800 کیلوگرم گوگرد به همراه 4 کیلوگرم مایه تلقیح همراه با کود آلی در خاک باعث جذب بیشترین مقدار این عناصر گردید همچنین در دانه گیاه کلزا بیشترین مقدار جذب عناصر منگنز، روی و آهن به ترتیب 48/93، 41/40 و 97/93 میلی‌گرم بر کیلوگرم در همین تیمار بدست آمد.

واژه‌های کلیدی: باکتری تیوباسیلوس، عناصر کم مصرف، کود حیوانی، گوگرد

¹ نویسنده مسئول، آدرس: یاسوج بلوار مظهری صندوق پستی 7591741431 سازمان جهاد کشاورزی

مقدمه

خاک‌های مناطق جنوب ایران جزء خاک‌های آهکی محسوب می‌شود. بالا بودن پهاش در این خاک-ها، باعث تثبیت عناصر غذایی در خاک و کاهش جذب توسط گیاه می‌گردد. گوگرد یکی از محصولات صنایع جانبی پتروشیمی در کشور می‌باشد و به عنوان یک ماده ارزان قیمت و فراوان در دسترس می‌باشد. نتایج پژوهش-ها نشان داده است مصرف گوگرد در خاک به افزایش فرم محلول و قابل جذب عناصر غذایی مورد نیاز گیاه کمک می‌کند. مصرف گوگرد نه تنها به عنوان عنصر غذایی مورد نیاز گیاه، بلکه بیشتر به لحاظ اثرات مفید این عنصر در اسیدی کردن موضعی خاک و افزایش قابلیت استفاده عناصر غذایی از جمله فسفر، آهن و روی اهمیت دارد (ملکوتی و ریاضی همدانی، 1370). گزارش‌های متعددی از تأثیر مثبت گوگرد به عنوان یک ماده ارزان قیمت و فراوان بر افزایش فرم محلول و قابل جذب عناصر غذایی مورد نیاز گیاه در خاک و بهبود وضعیت تغذیه گیاهان ارائه گردیده است.

باکتری‌های جنس تیوباسیلوس مهمترین میکروارگانیسم‌های اکسیدکننده گوگرد در خاک هستند (روپلا و تائورا، 1973). در صورتی که جمعیت این باکتری‌ها در خاک پایین باشد، مصرف گوگرد همراه با این باکتری‌ها در خاک‌های قلیایی و آهکی اثرات سودمندی را به دنبال خواهد داشت (واينزایت و همکاران 1986). همچنین برای افزایش اکسایش گوگرد حضور مواد آلی الزامی است. مشاهده شده است که افزودن مواد آلی (مخصوصاً اگر ماده آلی پایدار باشد) سبب افزایش اکسایش گوگرد می‌شود. مخلوط کردن گوگرد عنصری با منبع کربن قابل دسترس یک روش ساده برای اصلاح گوگرد عنصری به عنوان یک منبع کودی است (کوول و شوونا، 1995).

ملکوتی و رضایی (1380) گزارش کردند که کاربرد گوگرد در اصلاح پهاش خاک‌های آهکی بسیار مفید بوده و با مصرف سالیانه یک کیلوگرم گوگرد به همراه کود حیوانی در مرکبات جهرم و تأمین رطوبت کافی به مدت پنج سال، پهاش خاک پای درختان از 8/2 به 7/8 کاهش داده و در نتیجه باعث افزایش حلالیت فسفر و عناصر ریز مغذی گردیده است.

ملکوتی و رضایی (1380) ضرورت مصرف کودهای محتوی گوگرد در محصولات زراعی و باغی را مورد توجه قرار داده و مصرف یک کیلوگرم گوگرد به ازای هر درخت همراه با مایه تلقیح تیوباسیلوس هر سه سال یکبار و به روش چالکود را توصیه کردند.

به علت کمبود مواد آلی در خاک‌های آهکی، فعالیت ریز جانداران مؤثر در اکسایش گوگرد کاهش می‌یابد و زمانی مصرف گوگرد در این نوع خاک‌ها مؤثر است که توأم با کودهای آلی بوده و یا همراه تیوباسیلوس مصرف شود (ملکوتی، 1375).

محمد زاده و احمد پور (1386) در بررسی اثر منابع مختلف گوگرد بر عملکرد چغندر قند گزارش کردند که مصرف گوگرد پودری به همراه باکتری تیوباسیلوس باعث افزایش معنی‌دار عملکرد در چغندر قند گردیده است.

بشارتی (1377) گزارش کرد، بیشترین کاهش پهاش و افزایش جذب آهن و فسفر توسط گیاه ذرت در اثر کاربرد گوگرد همراه با تیوباسیلوس حاصل شد.

بشارتی و همکاران (1379) با بررسی قابلیت چند ماده برای تولید مایه تلقیح باکتری‌های تیوباسیلوس و مطالعه اثر آن همراه با گوگرد بر افزایش جذب برخی از عناصر غذایی و رشد ذرت گزارش کردند که مصرف گوگرد به تنهایی بر عملکرد، میزان فسفر و آهن جذب شده تأثیر معنی‌داری نداشته است ولی بر مقدار روی جذب شده در سطح احتمال 5 درصد به طور معنی‌داری مؤثر بوده است. این در حالی است که تلقیح باکتری‌های تیوباسیلوس با گوگرد بر عملکرد در سطح احتمال 1 درصد و همچنین بر آهن و روی جذب شده توسط ذرت در سطح احتمال 5 درصد تأثیر معنی‌داری داشته ولی بر فسفر جذب شده تأثیر معنی‌دار نداشته است.

صلحی و درخشنده (1378) در بررسی اثر گوگرد در قابلیت جذب عناصر غذایی کم مصرف توسط درختان سیب در منطقه سمیرم اصفهان گزارش کردند که مصرف گوگرد به میزان 15 درصد کود حیوانی باعث افزایش آهن، روی، منگنز و مس برگ به ترتیب 20، 10، 80 و 8 قسمت در میلیون نسبت به شاهد (بدون مصرف گوگرد و کود حیوانی) گردید ولی بر پهاش خاک به دلیل خاصیت بافوری این نوع خاک‌ها تأثیر معنی‌داری نداشته است.

مه‌دیش و همکاران (1989) بیان کردند که باکتری‌های تیوباسیلوس مهمترین اکسید کنندگان گوگرد در خاک به شمار می‌روند. تلقیح خاک با این باکتری‌ها باعث افزایش سرعت اکسایش گوگرد می‌گردد. و در صورتی که جمعیت آنها در خاک کم باشد، بخصوص در خاک‌های آهکی و قلیایی، مصرف آنها همراه با گوگرد، اثرات مفیدی به دنبال خواهد داشت.

تو و اولسن (1966) گزارش کردند که تأثیر مصرف گوگرد بر آزاد سازی عناصر غذایی تثبیت شده در

عرض جغرافیایی 30 درجه و 17 دقیقه با ارتفاع 710 متر از سطح دریا با رژیم رطوبتی اریدیک یوستیک و رژیم حرارتی هایپرترمیک یا میانگین بارندگی 450 میلی متر در سال طی سال‌های 1389 لغایت 1391 به اجرا در آمد. به منظور بررسی اثرات کاربرد مقادیر مختلف گوگرد و مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس (*Thiobacillus*) بر قابلیت جذب عناصر غذایی کم مصرف در کلزا آزمایشی به صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح بلوک-های کامل تصادفی با 18 تیمار در سه تکرار بر روی کلزا رقم هایولا-401 به اجرا در آمد. تیمارها شامل ماده آلی از منبع کود حیوانی کاملاً پوسیده در دو سطح 0 و 20 تن در کرت‌های اصلی، باکتری تیوباسیلوس در سه سطح 2.0 و 4 کیلوگرم در هکتار (معادل 0/5 درصد وزنی گوگرد استفاده شده) در کرت‌های فرعی و گوگرد پودری در سه سطح 0، 400 و 800 کیلوگرم در هکتار در کرت‌های فرعی فرعی اعمال گردید. قبل از کشت از عمق صفر تا 30 سانتیمتری خاک محل اجرای آزمایش نمونه‌برداری و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن شامل پ‌هاش، شوری، درصد مواد خشتی شونده، نیتروژن، فسفر و پتاسیم قابل استفاده، آهن، روی، منگنز، بافت خاک اندازه‌گیری بر اساس روش‌های مرسوم موسسه تحقیقات خاک و آب (علی‌احیایی، مریم و علی اصغر بهبهانی زاده، 1372) انجام شد (جدول 1).

ابعاد هر کرت 2×6 متر در نظر گرفته شد و گوگرد و کود حیوانی با توجه به تیمار در سطح کرت پخش شده و با دیسک با خاک مخلوط شد. در تیمارهای شامل باکتری تیوباسیلوس، بذور هر کرت با استفاده از صمغ عربی و باکتری با بذر کاملاً آغشته نموده و سپس بذور کشت گردید. کشت کلزا و تمامی مراقبت‌های زراعی شامل آبیاری، مبارزه با آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز و... بر اساس روش مرسوم و متداول در محل انجام شد. عملیات برداشت در اوایل خرداد هر سال انجام و نمونه بذر کلزا جهت تعیین عناصر کم مصرف به آزمایشگاه ارسال و با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل GBC Avanta ver.1.31 غلظت عناصر آهن، روی و منگنز تعیین گردید (امامی، 1375). نتایج به وسیله نرم افزارهای SAS و MSTATC مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن (D.M.R.T) انجام شد.

خاک منوط به اکسایش آن در خاک و تولید اسید سولفوریک می‌باشد. اسید سولفوریک تولید شده در اثر واکنش با ترکیبات حاوی عناصر غذایی، باعث افزایش حلالیت آنها و در نهایت افزایش جذب عناصر غذایی بوسیله گیاه می‌گردد. اکسایش گوگرد در خاک عمدتاً به صورت زیستی (بیولوژیکی) و توسط ریز جانداران (میکروارگانسیم‌های) مختلف از جمله جنس تیوباسیلوس صورت می‌گیرد.

مه‌دیش و همکاران (1989) بیان می‌کردند که باکتری‌های تیوباسیلوس مهمترین اکسیدکنندگان گوگرد در خاک بشمار می‌روند. تلقیح خاک با این باکتری‌ها باعث افزایش سرعت اکسایش گوگرد می‌گردد. در صورتی که جمعیت این باکتری‌ها در خاک کم باشد، بخصوص در خاک‌های آهکی و قلیایی، مصرف گوگرد همراه با این باکتری‌ها، اثرات مفیدی به دنبال خواهد داشت.

نرول و همکاران (1972) با بررسی تأثیر کاربرد تیمارهای 1-گوگرد 2- گوگرد همراه با باکتری تیوباسیلوس بر میزان پ. هاش خاک‌های آهکی گزارش کردند، بیشترین میزان کاهش پ. هاش مربوط به تیمار گوگرد همراه با باکتری تیوباسیلوس می‌باشد که پس از 18 هفته پ. هاش خاک را از 9/8 به 7/6 کاهش داده است. در حالی که مصرف گوگرد به تنهایی، توانسته در این مدت زمان، پ. هاش را از 9/8 به 7/9 کاهش دهد.

عواد و همکاران (2003) با انجام یک تحقیق بر روی 40 درخت خرما در ایستگاه تحقیقات الکوئیه شهر الاعین امارات متحده عربی و اعمال تیمارهای کودی مختلف شامل کودهای حیوانی و کودهای شیمیایی همراه با کاربرد گوگرد در سطوح مختلف (1000 و 100,500) گرم به ازای هر درخت گزارش کردند که کاربرد گوگرد همراه با کودهای آلی و شیمیایی باعث افزایش غلظت پتاسیم، گوگرد و روی و کاهش غلظت آهن در برگ خرما شده است.

هدف از انجام این آزمایش، بررسی تأثیر تیوباسیلوس و کود حیوانی به عنوان کود زیستی در جذب عناصر غذایی در خاک و گیاه و در نهایت افزایش عملکرد گیاه کلزا در خاک‌های آهکی بود.

مواد و روش

این پژوهش در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گچساران با طول جغرافیایی 50 درجه و 50 دقیقه و

جدول 1- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک

Texture	% sand	% silt	% clay	Mn	Zn	Fe	K ₂ O	P ₂ O ₅	Easy hydrogenized N Mg/100g	SO ₄ ²⁻ mg/kg	% TNV	% O.C	pH	EC	عمق (cm)	سال
Silty loam	30	45	25	16/0	1/88	6/63	119/1	12/4	4/9	12/5	49/27	0/92	7/8	1/42	0-30	1389
	28	50	22	15/93	1/93	6/56	190/7	12/35	5/1	12/5	49/66	0/88	7/7	1/43	0-30	1390
	32	43	25	16/50	1/96	7/06	221/7	15/9	5/0	13/0	50/9	0/93	7/7	1/56	0-30	1391

نتایج و بحث

غلظت عناصر در خاک

میزان روی در خاک

کود حیوانی) و تیمار شاهد می‌باشد (جدول 3). این نتایج گویای این مطلب می‌باشد که pH بالا و حضور CaCO₃ سبب کاهش مقدار قابل جذب عناصر ریزمغذی در خاک می‌گردد. گوگرد عنصری، تحت شرایط هوایی با اکسیداسیون بیولوژیکی تبدیل به سولفات می‌شود که سبب کاهش pH خاک و حلالیت عناصر غذایی غیرمحلول می‌گردد (تراپیلی و همکاران، 2006). نورقلی پور و همکاران (1385) و گودرزی (1383) در آزمایشاتی جداگانه به ترتیب روی ذرت و سویا و گندم به نتایجی مشابه دست یافتند.

میزان منگنز در خاک

میزان منگنز در خاک تحت تأثیر تیوباسیلوس، سطوح گوگرد، کود حیوانی از نظر آماری در سطح 1% تفاوت معنی‌دار داشت همچنین میزان منگنز در خاک تحت اثر متقابل سه عامل تیوباسیلوس و سطوح گوگرد و کود حیوانی در سطح احتمال 1% تفاوت معنی‌دار داشت. منگنز در سال‌های مختلف اجرای آزمایش تفاوت معنی‌داری در سطح 1% داشتند و اثرات متقابل ساده و ترکیبی سال، ماده آلی، گوگرد و باکتری بر غلظت منگنز خاک تفاوت معنی‌دار در سطح 1% داشتند (جدول 2).

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد حضور باکتری تیوباسیلوس در تمامی سطوح گوگرد اثر مثبتی بر روی میزان منگنز در خاک داشته است (جدول 3). این نتیجه مؤید آن می‌باشد که باکتری تیوباسیلوس تأثیر مثبتی روی pH خاک داشته و در نتیجه میزان منگنز قابل جذب در خاک را افزایش داده است. میزان منگنز در خاک در تیمارهای تلقیح شده با تیوباسیلوس نسبت به تیمارهای

از نظر آماری میزان روی در خاک تحت تأثیر تیوباسیلوس، سطوح گوگرد، کود حیوانی قرار گرفته و در سطح 1% تفاوت معنی‌دار داشت همچنین میزان روی در خاک تحت اثر متقابل سه عامل تیوباسیلوس و سطوح گوگرد و کود حیوانی در سطح احتمال 1% تفاوت معنی‌دار داشت. میزان روی خاک در سال‌های مختلف تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشت و بواسطه وجود عدم اختلاف معنی‌دار اثرات متقابل سال، ماده آلی و باکتری نیز تفاوت معنی‌دار بر میزان روی خاک نداشتند (جدول 2).

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد حضور باکتری تیوباسیلوس در تمامی سطوح گوگرد اثر مثبتی بر روی میزان روی در خاک داشته است (جدول 3). این نتیجه مؤید آن است که باکتری تیوباسیلوس تأثیر مثبتی روی pH خاک داشته و در نتیجه میزان روی قابل جذب در خاک را افزایش داده است. میزان روی در خاک در تیمارهای تلقیح شده با تیوباسیلوس نسبت به تیمارهای بدون تلقیح در سطوح مختلف گوگرد نیز افزایش یافت که با نتایج بشارتی و صالح راستین هماهنگی دارد (بشارتی و صالح راستین، 1378).

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد وجود کود حیوانی در هر سه سطح گوگرد، میزان روی در خاک را افزایش داده است. همچنین نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد حضور تیوباسیلوس به همراه کود حیوانی توانسته میزان روی در خاک را افزایش دهد (جدول 3). بیشترین و کمترین میزان روی در خاک به ترتیب 3/73 و 1/96 میلی‌گرم در کیلوگرم مربوط به تیمارهای O₂T₃S₃ (سطح سوم گوگرد تلقیح شده با سطح سوم تیوباسیلوس همراه با

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که وجود کود حیوانی در هر سه سطح گوگرد میزان آهن خاک را افزایش داده است (جدول 3). آهن یکی از عناصری است که قابلیت جذب آن در خاک شدیداً وابسته به pH است، به طوری که با یک واحد افزایش در pH خاک، فعالیت Fe^{+2} و Fe^{+3} به ترتیب 1000 و 100 برابر کاهش می‌یابد. بنابراین کود حیوانی همراه با اکسایش گوگرد باعث کاهش pH و افزایش میزان آهن قابل جذب در خاک می‌گردد (اودا و مه‌ادین، 2008).

بیشترین میزان آهن در خاک با میانگین 13/03 میلی‌گرم در کیلوگرم مربوط به تیمارهای سطوح دوم و سوم گوگرد تلقیح شده با تیوباسیلوس همراه با کود حیوانی می‌باشد (جدول 3). بایستی توجه داشت که pH خاک مهمترین فاکتور مؤثر بر قابلیت جذب آهن می‌باشد. در خاک‌های آهکی مقداری یون بیکربنات در اثر واکنش دی‌اکسید کربن و آهک تولید می‌شود که این یون با افزایش pH خاک باعث کاهش آهن قابل جذب می‌شود (بشارتی و صالح راستین، 1379). حال با تأثیر مثبت باکتری‌های تیوباسیلوس pH خاک کاهش و میزان آهن قابل جذب خاک افزایش یافته است. بشارتی و همکاران (1379) طی آزمایشی روی ذرت به همین نتایج دست یافتند و دلیل آن را این گونه معرفی کردند که در اثر بکارگیری گوگرد تلقیح شده با تیوباسیلوس pH کاهش یافته و در نتیجه میزان آهن در خاک افزایش می‌یابد.

غلظت عناصر کم مصرف در دانه کلزا

میزان روی در دانه کلزا

از نظر آماری میزان روی در دانه کلزا تحت تأثیر تیوباسیلوس، سطوح گوگرد، کود حیوانی قرار گرفته و در سطح 1% تفاوت معنی‌دار داشت همچنین میزان روی در دانه کلزا تحت اثر متقابل سه عامل تیوباسیلوس و سطوح گوگرد و کود حیوانی تفاوت معنی‌دار نداشت. آهن در سال‌های مختلف اجرای آزمایش تفاوت معنی‌داری در سطح 1% داشتند و اثرات متقابل سال و ماده آلی همچنین سال و گوگرد تفاوت معنی‌دار در سطح 1% و سایر اثرات متقابل ساده و ترکیبی سال، ماده آلی، گوگرد و باکتری بر میزان آهن خاک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول 2).

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد حضور باکتری تیوباسیلوس در تمامی سطوح گوگرد اثر مثبتی بر روی میزان روی در دانه داشته است. این نتایج مؤید آن است که گوگرد تلقیح شده با تیوباسیلوس اثر مثبتی بر روی کاهش pH خاک داشته و باعث افزایش میزان جذب روی می‌گردد. میزان روی در دانه در تیمارهای تلقیح شده با تیوباسیلوس نسبت به تیمارهای بدون تلقیح نیز افزایش یافت (جدول 5).

بدون تلقیح در سطوح مختلف گوگرد نیز افزایش یافت (کایا و همکاران، 2009).

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد وجود کود حیوانی در هر سه سطح گوگرد میزان منگنز در خاک را افزایش داده است. با افزودن مواد آلی و تجزیه این مواد در خاک، منگنز موجود در این کودها آزاد شده و در دسترس گیاهان قرار می‌گیرد و مواد آلی می‌توانند با کلات کردن عناصر کم مصرف قابلیت دسترسی این عناصر را افزایش دهند (داگلاس، 1995 و فینک، 1982).

بیشترین میزان منگنز در خاک 23/50 میلی‌گرم در کیلوگرم مربوط به تیمارهای $O_2T_3S_2$ (سطح دوم گوگرد تلقیح شده با سطح سوم تیوباسیلوس همراه با کود حیوانی) می‌باشد (جدول 3). بسیاری از محققین گزارش کرده‌اند مصرف گوگرد و کود حیوانی و تولید اسید سولفوریک در نتیجه اکسایش آن باعث کاهش pH و افزایش دسترسی عناصر کم مصرف از جمله آهن و منگنز می‌شود و باکتری تیوباسیلوس باعث تسریع این فرایند می‌شود و به منظور کاهش مشکلات تغذیه‌ای گیاهان در خاک‌های آهکی تحقیقات زیادی در نقاط مختلف دنیا انجام شده است (گیفنتس و لیندمن، 1993).

میزان آهن در خاک

از نظر آماری میزان آهن در خاک تحت تأثیر تیوباسیلوس، سطوح گوگرد، کود حیوانی قرار گرفته و در سطح 1% تفاوت معنی‌دار داشت همچنین میزان آهن در خاک تحت اثر متقابل سه عامل تیوباسیلوس و سطوح گوگرد و کود حیوانی تفاوت معنی‌دار نداشت. آهن در سال‌های مختلف اجرای آزمایش تفاوت معنی‌داری در سطح 1% داشتند و اثرات متقابل سال و ماده آلی همچنین سال و گوگرد تفاوت معنی‌دار در سطح 1% و سایر اثرات متقابل ساده و ترکیبی سال، ماده آلی، گوگرد و باکتری بر میزان آهن خاک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول 2).

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که حضور باکتری تیوباسیلوس در تمامی سطوح گوگرد اثر مثبتی بر روی میزان آهن در خاک داشته است (جدول 3). این نتیجه مؤید آن می‌باشد که باکتری تیوباسیلوس تأثیر مثبتی روی pH خاک داشته و در نتیجه میزان آهن در خاک را افزایش داده است. میزان آهن در خاک در تیمارهای تلقیح شده با تیوباسیلوس نسبت به تیمارهای بدون تلقیح در سطوح مختلف گوگرد نیز افزایش یافت که با نتایج بشارتی و صالح راستین (1378) بر روی ذرت هماهنگی دارد.

جدول 2 - میانگین مربعات عناصر موجود در خاک طی سالهای 1389 لغایت 1391

منابع خطا	درجه آزادی	روی	منگنز	آهن
سال	2	0/099 ^{ns}	6047/4 ^{**}	502/09 ^{**}
سال * تکرار	6	0/114 ^{ns}	0/080 ^{ns}	11/57 ^{ns}
ماده آلی	1	6/641 ^{**}	8/91 ^{**}	128 ^{**}
سال * ماده آلی	2	0/0006 ^{ns}	8/91 ^{**}	243/4 ^{**}
خطا	6	0/037	0/191	37/55
باکتری تیوباسیلوس	2	4/635 ^{**}	13/96 ^{**}	12/11 ^{**}
سال * باکتری	4	0/003 ^{ns}	13/96 ^{**}	9/86 ^{ns}
ماده آلی * باکتری	2	0/215 ^{**}	2/52 ^{**}	6/69 ^{ns}
سال * ماده آلی * باکتری	4	0/001 ^{ns}	2/52 ^{**}	0/342 ^{ns}
خطا	24	0/017	0/358	9/165
گوگرد	2	10/03 ^{**}	18/93 ^{**}	20/16 ^{**}
سال * گوگرد	4	0/002 ^{ns}	18/93 ^{**}	34/02 ^{**}
ماده آلی * گوگرد	2	0/469 ^{**}	4/85 ^{**}	25/67 ^{**}
سال * ماده آلی * گوگرد	4	0/0001 ^{ns}	4/85 ^{**}	9/94 ^{ns}
گوگرد * باکتری	4	0/112 ^{**}	1/98 ^{**}	9/77 ^{ns}
سال * باکتری * گوگرد	8	0/002 ^{ns}	1/98 ^{**}	7/14 ^{ns}
ماده آلی * باکتری * گوگرد	4	0/158 ^{**}	2/85 ^{**}	8/94 ^{ns}
سال * ماده آلی * باکتری * گوگرد	8	0/0002 ^{ns}	2/85 ^{**}	2/23 ^{ns}
خطای کل	72	0/014	0/275	4/658
ضریب تغییرات		4/43	8/56	16/17

n.s. معنی دار نیست * معنی دار در سطح 5% ** معنی دار در سطح 1%

جدول 3- مقایسه میانگین اثرات متقابل سه گانه تیمارهای مختلف بر میزان عناصر غذایی قابل جذب خاک طی سالهای 1389 لغایت 1391

ماده آلی (تن در هکتار)	تیوباسیلوس (کیلوگرم در هکتار)	گوگرد (کیلوگرم در هکتار)	آهن	روی	منگنز
		صفر	7/06 ^h	1/96 ^j	16/50 ^{fg^h}
	صفر	400	7/33 ^h	2/46 ^{gh}	15/63 ^{gh}
		800	7/30 ^h	2/93 ^{cd}	20/60 ^b
		صفر	7/10 ^h	1/96 ^j	17/37 ^{ef}
صفر	2	400	8/23 ^g	2/53 ^{fg}	20/00 ^{bc}
		800	10/97 ^c	3/00 ^{cd}	18/37 ^{cde}
		صفر	7/86 ^{gh}	2/13 ^{ij}	19/33 ^{bcd}
	4	400	9/96 ^f	3/13 ^c	19/60 ^{bcd}
		800	11/17 ^{de}	3/43 ^b	20/43 ^b
		صفر	11/27 ^{de}	2/30 ^{hi}	15/07 ^h
	صفر	400	11/90 ^{cd}	2/86 ^{de}	17/93 ^{def}
		800	12/37 ^{bc}	3/00 ^{cd}	19/67 ^{bc}
		صفر	10/33 ^{ef}	2/70 ^{ef}	19/23 ^{bcd}
20	2	400	12/80 ^{ab}	2/96 ^{cd}	20/93 ^b
		800	13/00 ^{ab}	3/40 ^b	23/53 ^a
		صفر	10/93 ^c	3/10 ^c	16/87 ^{efg}
	4	400	13/47 ^a	3/40 ^b	24/50 ^a
		800	13/03 ^{ab}	3/73 ^a	23/50 ^a

حروف مشترک در هر ستون نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار می باشد

سال، ماده آلی، گوگرد و باکتری تفاوت معنی‌داری در سطح 1% با یکدیگر داشتند (جدول 4).

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد حضور باکتری تیوباسیلوس در سطوح مختلف گوگرد اثر مثبتی بر روی میزان آهن در دانه داشته است (جدول 6). این افزایش بدین دلیل می‌باشد که با افزایش گوگرد pH خاک کاهش یافته است (دلوکا و همکاران، 1989). میزان آهن در دانه در تیمارهای تلقیح شده با تیوباسیلوس نسبت به تیمارهای بدون تلقیح نیز افزایش یافت که با نتایج امانی و همکاران (1386) بر روی سویا هماهنگی دارد.

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد وجود کود حیوانی در سطوح مختلف گوگرد میزان آهن در دانه را افزایش و در سطح سوم گوگرد بیشترین میزان آهن در دانه وجود داشت (جدول 6). آهن یکی از عناصر ضروری کم مصرف برای رشد گیاهان است. با اینکه مقدار کل این عنصر در خاک زیاد است لیکن برخی خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک‌ها از جمله pH قلیایی، کمبود مواد آلی، مصرف بیش از مقدار کودهای فسفردار، تغذیه آهن گیاهان را تحت تأثیر قرار داده و فراهمی آن را کاهش می‌دهد (ابریا و همکاران، 2003).

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد حضور تیوباسیلوس به همراه کود حیوانی توانسته میزان آهن در دانه را افزایش دهد (جدول 6). تأثیر کودهای آلی روی جذب آهن ممکن است به این دلیل باشد که کود آلی افزون بر اینکه خود دارای عناصر کم مصرفی مانند آهن می‌باشد به شکل یک منبع انرژی برای ریز جانداران خاک بوده و در فرایند معدنی شدن به دلیل آزاد سازی اسیدهای آلی، سبب کاهش موضعی pH خاک شده و جذب آهن را افزایش می‌دهد (ودا و مه‌ادین، 2008).

بیشترین میزان آهن در دانه مربوط به تیمار $O_2T_3S_3$ 97/93 میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد (جدول 6). این نتایج مؤید آن است که گوگرد تلقیح شده با تیوباسیلوس اثر مثبتی بر روی کاهش pH خاک داشته، در نتیجه میزان جذب عناصر غذایی کم مصرف از جمله آهن از خاک و ذخیره آن در دانه افزایش یافته است که با نتایج امانی و همکاران (1386) مطابقت دارد.

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که وجود کود حیوانی در سطوح مختلف گوگرد تأثیری مثبت بر میزان روی در دانه داشته است و حضور تیوباسیلوس به همراه کود حیوانی توانسته میزان روی در دانه را افزایش دهد. بیشترین میزان روی در دانه 41/40 میلی‌گرم در کیلوگرم مربوط به تیمار $O_2T_3S_3$ (سطح سوم گوگرد تلقیح شده با سطح سوم تیوباسیلوس به همراه کود حیوانی) می‌باشند.

میزان منگنز در دانه کلزا

میزان منگنز در دانه کلزا از نظر آماری تحت تأثیر تیوباسیلوس، سطوح گوگرد، کود حیوانی قرار گرفته و در سطح 1% تفاوت معنی‌دار داشت همچنین میزان منگنز در دانه کلزا تحت اثر متقابل سه عامل تیوباسیلوس و سطوح گوگرد و کود حیوانی در سطح احتمال 1% تفاوت معنی‌دار داشت. میزان منگنز دانه در سال‌های مختلف تفاوت معنی‌داری در سطح 1% با یکدیگر داشتند ولی اثرات ترکیبی و متقابل سال، ماده آلی، گوگرد و باکتری نیز تفاوت معنی‌دار بر میزان منگنز دانه نداشتند (جدول 4).

نتایج تجزیه واریانس مقایسه میانگین‌های میزان منگنز در دانه کلزا نشان داد وجود کود حیوانی در سطوح مختلف گوگرد میزان منگنز در دانه را در سطح 1% افزایش داده است و حضور تیوباسیلوس به همراه کود حیوانی توانسته میزان منگنز دانه را افزایش دهد. کمترین و بیشترین میزان منگنز در دانه به ترتیب با میانگین 48/93 و 41/10 میلی‌گرم در کیلوگرم مربوط به تیمارهای $O_2T_2S_3$ و شاهد می‌باشد.

میزان آهن در دانه کلزا

از نظر آماری میزان آهن در دانه کلزا تحت تأثیر تیوباسیلوس، سطوح گوگرد، کود حیوانی قرار گرفته و در سطح 1% تفاوت معنی‌دار داشت همچنین میزان آهن در دانه کلزا تحت اثر متقابل سه عامل تیوباسیلوس و سطوح گوگرد و کود حیوانی در سطح احتمال 1% تفاوت معنی‌دار داشت. میزان منگنز دانه در سال‌های مختلف همچنین اثرات ترکیبی و متقابل

جدول 4- میانگین مربعات عناصر موجود در دانه طی سالهای 1389 لغایت 1391

منابع خطا	درجه آزادی	روی	منگنز	آهن
سال	2	453/06**	1036/8**	2376**
سال * تکرار	6	7/20 ^{ns}	9/95 ^{ns}	23/93 ^{ns}
ماده آلی	1	441/04**	1348/6**	12832**
سال * ماده آلی	2	0/314 ^{ns}	3/62 ^{ns}	130/28*
خطا	6	4/468	3/595	22/52
باکتری تیوباسیلوس	2	384/1**	36/79**	8055**
سال * باکتری	4	3/86	0/106 ^{ns}	32/76**
ماده آلی * باکتری	2	70/75**	43/41**	1221/3**
سال * ماده آلی * باکتری	4	1/086 ^{ns}	0/120 ^{ns}	52/93**
خطا	24	1/701	4/979	8/502
گوگرد	2	433/4**	53/99**	3804/2**
سال * گوگرد	4	1/68 ^{ns}	0/150 ^{ns}	23/85**
ماده آلی * گوگرد	2	8/52**	14/40**	435/7**
سال * ماده آلی * گوگرد	4	0/594 ^{ns}	0/041 ^{ns}	35/87**
گوگرد * باکتری	4	86/06**	7/24**	760/5**
سال * باکتری * گوگرد	8	1/051 ^{ns}	0/022 ^{ns}	13/44**
ماده آلی * باکتری * گوگرد	4	11/35**	1/069 ^{ns}	889/8**
سال * ماده آلی * باکتری * گوگرد	8	0/447 ^{ns}	0/002 ^{ns}	16/96**
خطای کل	72	1/723	2/181	6/517
ضریب تغییرات		3/82	3/02	3/81

n.s معنی دار نیست * معنی دار در سطح 5% ** معنی دار در سطح 1%

جدول 5- مقایسه میانگین اثرات متقابل سه گانه تیمارهای مختلف بر میزان عناصر غذایی قابل جذب دانه طی سالهای 1389 لغایت 1391

ماده آلی (تن در هکتار)	تیوباسیلوس (کیلوگرم در هکتار)	گوگرد (کیلوگرم در هکتار)	آهن	روی	منگنز
		صفر	60/00 ^{gh}	29/17 ^{ef}	41/10 ^h
	صفر	400	60/33 ^{gh}	30/03 ^{def}	41/40 ^h
		800	61/73 ^{gh}	30/57 ^{def}	41/87 ^h
		صفر	58/73 ^h	28/83 ^f	43/40 ^{gh}
صفر	2	400	59/40 ^{gh}	30/77 ^{def}	43/30 ^{gh}
		800	63/13 ^{fgh}	31/67 ^d	43/63 ^{gh}
		صفر	59/63 ^{gh}	28/53 ^f	43/07 ^{gh}
	4	400	87/57 ^{cd}	37/53 ^c	45/30 ^{efg}
		800	90/77 ^{bc}	39/30 ^{bc}	44/80 ^{fg}
		صفر	64/93 ^{fg}	30/17 ^{def}	47/20 ^{cdef}
	صفر	400	67/20 ^{ef}	31/43 ^d	47/70 ^{bcd}
		800	71/50 ^e	32/20 ^d	50/17 ^{ab}
		صفر	61/30 ^{gh}	31/83 ^d	47/90 ^{bcd}
	2	400	95/93 ^{ab}	38/87 ^{bc}	49/00 ^{abc}
20		800	96/97 ^a	38/83 ^{bc}	50/60 ^a
		صفر	83/83 ^d	31/20 ^{de}	46/20 ^{def}
	4	400	95/67 ^{ab}	40/30 ^{ab}	48/80 ^{abc}
		800	97/93 ^a	41/40 ^a	48/93 ^{abc}

حروف مشترک در هر ستون نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار می باشد

فهرست منابع:

1. امامی، ع. 1375. روش‌های تجزیه گیاه. نشریه فنی شماره 982، سازمان تحقیقات آموزش ترویج کشاورزی، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، جلد اول، 126 ص.
2. امامی، ف.، رئیس، ف.، پیرانوند، ن.، موسوی شلمانی، م. ا.، 1386. رشد و عملکرد دو رقم سویا در سطوح مختلف گوگرد تحت شرایط گلخانه‌ای. مجموعه مقالات دهمین کنگره علوم خاک ایران، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، 4-6 شهریور 1386.
3. بشارتی، ح.، صالح راستین، ن.، 1378. بررسی تأثیر کاربرد مایه تلقیح باکتریهای تیوباسیلوس همراه با گوگرد در افزایش قابلیت جذب فسفر. مجله علوم خاک و آب. جلد 13، شماره 1، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران.
4. نایز وزایگر. فیزیولوژی گیاهی (جلد دوم). ترجمه دکتر محمد کافی، لاهوتی، زند، شریفی، گلدانی، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، 1378.
5. علی احیایی، مریم و ع. ا. بهبهانی زاده. 1372. روش‌های تجزیه شیمیایی خاک. نشریه شماره 893. مؤسسه تحقیقات خاک و آب. انتشارات مؤسسه تحقیقات خاک و آب. تهران. ایران. 129 صفحه.
6. گودرزی، ک.، 1383. بررسی اثرات گوگرد و کمپوست بر افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی خاک و عملکرد گندم. دفتر طرح خودکفایی گندم. روش‌های نوین تغذیه گندم (مجموعه مقالات). وزارت جهاد کشاورزی. تهران، ایران.
7. نورقلیپور، ف.، خاوازی، ک.، بشارتی، ح.، فلاح، ع. ا.، 1385. بررسی تأثیر کاربرد خاک فسفات، گوگرد و باکتری تیوباسیلوس بر عملکرد کمی و کیفی سویا و اثرات باقیمانده آن بر ذرت. مجله علوم خاک و آب. جلد 20. شماره 1. ص 122-132.
8. ملکوتی، م. ج.، همائی، م.، 1383. حاصلخیزی خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک. چاپ دوم. دفتر نشر آثار علمی دانشگاه تربیت مدرس. 482 صفحه.
9. Besharaty, H., Atashnama, K., Hatami, S. 2007. Biosuper as a phosphate fertilizer in a calcareous soil with low available phosphorus. *African Journal of Biotechnology* 6(11): 1325-1329.
10. Biederback, V.O., Hanzen, H.H., Campbell, C.A., Zenter, R. P. 1994. Labile soil organic matter as influenced by cropping practices in an arid environment. *Soil Biology and Biochemistry* 26: 1647-1656.
11. Cifuentes, F. R., Lindman, W. C. 1993. Organic matter stimulation of elemental sulfur oxidation in a calcareous soil. *Soil Microbiology and Biochemistry* 57: 727-731.
12. Cowell, L. E., Schoenau, J. L. 1995. Stimulation of elemental sulfur oxidation by sewage sludge. *Canadian Journal of Soil Science* 75: 247-249.
13. Douglas, B. 1995. Soil acidity and aglime. *Agronomy Facts* 3. College of Agricultural Sciences. The Pennsylvania State University.
14. El-dewing, C. Y., Moursy, K. S., El-Aila, H. L. 2006. Effect of organic matter on the release and availability of phosphorus and their effects on spinach and radish plants. *Agricultura and Biological Sciences* 2(3): 103-108.
15. Finck, A. 1982. *Fertilizers and Fertilization*. Verlag Chemie, Weinheim.
16. Janzen, H.H., Bettany, J. R. 1987. The effect of temperature and water potential on sulfur oxidation in soils. *Soil Science* 144(2): 81-89.
17. Kalbasi, M., Manuchehri, N., Filsoof, F. 1986. local acidification of soil as a means to alleviate even chlorosis on quince orchards. *J.Plant nutrition* 9(3-7): 1001-1007
18. Kaplan, M., Omran, S. 1998. Effect of elemental sulfur and sulfur containing waste in a calcareous soil in turkey. *J. Plant Nutrition* 21(8):1655-1665.

19. Karimi, F., Bahmanyar, M.A., Shahabi, M. 2011. Effect of sulfur and manure on the zinc of soil and leaves of rapeseed. Twelfth Congress of Soil Sciences of Iran, Tabriz, 101-105.
20. Kaya, K., Kucukyumuk, K., Erdal, I. 2009. Effects of elemental sulfur and sulfur containing waste on nutrient concentrations and growth of bean and corn plants grown on a calcareous soil, African Journal of Biotechnology 8 (18): 4481-4489.
21. Muharrem, K., Kucukyumuk, Z., Erdal, I. 2009. Effects of elemental sulfur and sulfur containing waste on nutrient concentrations and growth of bean and corn plants grown on a calcareous soil. African Journal of Biotechnology 8: 4481-4489.
22. Obreza, T.A., Alva, A.K., Calvert, D.V. 2003. Citrus fertilizer management on calcareous soils. University of Florida IFAS Extension, pp: 10.
23. Ouda, B.A., Mahadeen, A.Y. 2008. Effect of fertilizers on growth, yield, yield components, quality and certain nutrient contents in broccoli (*Brassica oleracea*). Int. J. Agr. Biol 10: 627-32.
24. Ronaghi, A., chaker-Alhoseini, M., Karimian, N. 2001. Effect of phosphorus and iron On growth and chemical composition of corn. Journal of Crop Production Products 6(2):53-66.
25. Rupela, O.P., Taura, P. 1973. Isolation and characterization of thiobacillus from alkali soil. Soil Biology & Biochemistry 5: 91-897.
26. Sabahi, H., Ghalavand, A., Modarres Sanavy, A.M., Asgharzadeh, A. 2008. Comparing the effects of integrated and conventional fertilization systems on canola (*Brassica napus*) yield and chemical properties of soil. Water Soil J. 22(2): 1-15.
27. Tisdale, S. L., Nelson, W. L., Beaton, J.D., Havlin, J. L. 1993. Soil Fertility and Fertilizers. 5th ed. Mcmillon publishing Co, New York. to cell. Plant Physiology 116: 447-453.
28. Wainwright, M. 1984. Sulfur oxidation in soils. Advances in Agronomy 37: 389-394.
29. Tarabily, K. A., Soaud, A. A., Saleh, M. E., Matsumoto, S. 2006. Isolation and characterization of sulfur oxidizing bacteria, including strains of *Rhizobium*, from calcareous sandy soils and their effects on nutrient uptake and growth of maize (*Zea mays* L). Australian Journal of Agricultural Research 57(1): 101-111.
30. Wainwright, M., Nevel, W., Grastone, S. L. 1986. Effects of organic matter on sulphur oxidation in soil and influence of sulfur oxidation in soil nitrification. Plan & Soil 96: 369-376.