اثر کاربرد گوگرد و کود دامی بر pH خاک و قابلیت جذب عناصر غذایی کم مصرف در یک خاک آهکی و برگ و دانه کلزا (رقم Hayola 401)

فاطره کریمی[۱]، محمد علی بهمنیار[۲*] و مینا شهابی[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم خاک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۲*- **نویسنده مسئول:** دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۳- مربی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۶/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۶/۲۹

چکیده

به منظور بررسی تأثیر گوگرد و کوددامی بر pH خاک و قابلیت جذب عناصر غذایی کم مصرف در یک خاک آهکی، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی درچهار تکرار در سال زراعی ۸۹- ۱۳۸۸ اجرا شد. تیمارهای کودی شامل ۳ سطح کود گوسفندی (۰، ۲۵ و۵۰ تن در هکتار) و ٤ سطح گوگرد عنصری (۰، ۱۵۰۰، ۳۰۰۰ و ٤۵۰۰ کیلوگرم در هکتار) همراه با ۲٪ مایه تلقیح تیوباسیلوس بودند. نتایج نشان داد که تیمار ٤۵۰۰ کیلوگرم کود گوگرد عنصری در هکتار همراه با تیوباسیلوس+ ۵۰ تن کود دامی در هکتار (T_{12}) حداقل pH و حداکثر میزان Fe و Zn قابل جذب خاک را به خود اختصاص داد؛ درحالی‌که اثرات متقابل گوگرد و کود دامی بر Cu قابل جذب خاک و غلظت Fe و Zn برگ و دانه تأثیر معنی‌داری نشان نداد. همچنین، مصرف توأم گوگرد و کود دامی بر میزان مس و منگنز برگ و دانه از لحاظ آماری (درسطح ۵٪) معنی‌دار بود. بالاترین غلظت مس و منگنز برگ در تیمار ۳۰۰۰ کیلوگرم کود گوگرد عنصری در هکتار همراه با تیوباسیلوس+ ۵۰ تن کود دامی در هکتار (T_{11}) به دست آمد و بالاترین غلظت مس و منگنز دانه به ترتیب در تیمار۱۵۰۰ کیلوگرم کود گوگرد عنصری در هکتار همراه با تیوباسیلوس+ ۵۰ تن کود دامی در هکتار (T_{10}) و تیمار (T_{11}) تمرکز یافت. بنابراین کاربرد ٤۵۰۰ کیلوگرم کود گوگرد عنصری در هکتار همراه با تیوباسیلوس+ ۵۰ تن کود دامی در هکتار (T_{12}) به دلیل تأثیر معنی‌داری که در کاهش pH خاک داشته موجب افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی کم مصرف خاک و در نهایت منجر به افزایش غلظت این عناصر در برگ و دانه کلزا گردید.

کلید واژه ها: عناصر کم مصرف، کلزا، کود دامی، گوگرد، pH خاک

مقدمه

استفاده از گوگرد برای کاهش pH خاک‌های قلیایی، تأمین یون سولفات برای گیاهان و یا مبارزه با برخی عوامل بیماریزای گیاهی در خاک، از دیرباز مورد توجه پژوهشگران کشاورزی بوده و بر این اساس آزمایش‌های زیادی در محیط‌های کنترل شده و شرایط طبیعی مزرعه انجام شده است. همه این آزمایش‌ها بر پایه اکسایش میکروبی گوگرد به یون سولفات استوار بوده است که طی این فرایند به ازای هر مول S^0، دو مول H^+

تولید و سبب کاهش pH محیط می گردد. همچنین کاهش pH خاک یکی از روش‌های موثر مقابله با کمبود عناصرغذایی در خاک‌های آهکی و قلیایی است (کایا و همکاران[1] (۲۰۰۹). جاجی و همکاران[2](۲۰۰۵) نشان دادند که اکسایش گوگرد باعث کاهش pH خاک قلیایی و افزایش غلظت فسفر قابل دسترس شد.

کلباسی و همکاران[3](۱۹۸۸) اثر گوگرد آسیاب شده را بر عملکرد محصول و مقدار جذب آهن، منگنز، روی توسط ذرت، سورگوم و سویا، مورد مطالعه قرار دادند. نتایج به دست آمده نشان داد که ضمن افزایش معنی‌دار عملکرد محصول، pH خاک کاهش و مقدار آهن، منگنز و روی قابل جذب خاک افزایش یافت. همچنین مقدار جذب آهن و روی توسط گیاه افزایش و میزان جذب منگنز کاهش یافت.

در یک آزمایش گلدانی، گوگرد (۰/۵درصد) همراه با باکتری تیوباسیلوس قبل از کشت ذرت به خاک آهکی افزوده شد. pH خاک در تیمارهای شاهد، تیوباسیلوس، گوگرد و گوگرد+ تیوباسیلوس به ترتیب ۷/۹، ۷/۸۷، ۶/۸۶ و ۶/۴۹، میزان فسفر قابل جذب خاک به ترتیب ۴/۸، ۵/۰۳، ۷/۵۳ و ۱۴/۶۵ و آهن قابل جذب خاک به ترتیب ۲/۱۳، ۲/۰۵، ۲/۷۱ و ۴/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم بودند. اکسایش گوگرد توسط باکتری‌های تیوباسیلوس منجر به کاهش pH خاک و افزایش قابلیت دسترسی فسفر در سنگ فسفات می‌شود (نورقلی‌پور و همکاران، ۱۳۸۵و سلیم‌پور و همکاران[4]، ۲۰۱۰).

اکسایش زیستی گوگرد در خاک عمدتاً توسط باکتری‌های تیو باسیلوس انجام می‌شود که جمعیت این باکتری‌ها در خاک‌ها به دلیل پایین بودن میزان مواد آلی، عدم استفاده قبلی گوگرد و مایه تلقیح آنها بسیار ناچیز می‌باشد (امامی، ۱۳۷۵). بنابراین، چنانچه گوگرد عنصری در سطح خاک پخش و همراه با مواد آلی بلافاصله به زیر خاک جایگذاری شود، عمل اکسایش گوگرد در حضور رطوبت و باکتری‌های تیوباسیلوس سریع تر انجام خواهد گرفت (حامدی و جعفری، ۱۳۸۶). نتایج تحقیقات سیفوئنتس و لیندمان[5] (۱۹۹۳) نیز نشان داد که مصرف توأم گوگرد و ماده آلی اثر بمراتب بهتری در مقایسه با گوگرد تنها در کاهش pH خاک دارد.

با کاربرد ۱۰۰ تا ۴۰۰ کیلوگرم گوگردعنصری در هکتار کاهش قابل ملاحظه‌ای در pH خاک به اندازه ۰/۲ تا ۰/۵ واحد بوجود آمد. درحالیکه کاربرد ۱۰ تا ۵۰ تن کود دامی در هکتار بر میزان pH خاک تأثیر معنی‌داری نداشت (تافیگ و سوداریونو[6]، ۱۹۹۸).

سینگار و همکاران[7](۲۰۰۰) گزارش کردند که با کاربرد کود دامی جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافت. اغلب خاک‌های ایران به دلیل قرار گرفتن در اقلیم خشک و نیمه‌خشک دارای pH بالای۷ هستند که مشکل عمده‌ای را در حاصل‌خیزی خاک‌ها به دنبال دارد. از طرف دیگر، کشور ایران با داشتن منابع عظیمی از گوگرد، می تواند این مشکل را تا حد قابل ملاحظه‌ای حل کند (علی اصغرزاده وهمکاران، ۱۳۷۷). بدین منظور، این تحقیق به دلیل آهکی بودن خاک‌های مازندران و پایین بودن قابلیت جذب عناصر غذایی مورد نیاز گیاه در آنها، با هدف بررسی امکان استفاده از گوگرد و کود دامی بر کاهش pH خاک و افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی خاک و در نتیجه افزایش جذب عناصر میکرو توسط گیاه کلزا در یک خاک آهکی با بافت لوم به مرحله اجرا در آمد.

مواد و روش ها

این تحقیق، در یک خاک آهکی با بافت لوم، به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با ۱۲

1-Kaya *et al.*
2-Jaggi *et al.*
3- Kalbasi *et al.*
4- Salimpour *et al.*

5- Cifuentes and Lindemann
6- Taufiq and Sudaryono
7- Sengar *et al.*

تیمار و چهار تکرار، به صورت گلدانی در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در سال زراعی ۱۳۸۹-۱۳۸۸ اجرا گردید. تیمارهای کودی شامل ۳ سطح کود گوسفندی (۰، ۲۵ و ۵۰ تن در هکتار) و ۴ سطح گوگرد عنصری (۰، ۱۵۰۰، ۳۰۰۰ و ۴۵۰۰ کیلوگرم در هکتار) همراه با ۲٪ مایه تلقیح تیوباسیلوس بود. تیمارها عبارت بودند از: (T_1 : شاهد (بدون مصرف کود گوگرد عنصری و کوددامی)، T_2:۱۵۰۰ کیلوگرم کود گوگرد عنصری در هکتار همراه با تیوباسیلوس، T_3 :۳۰۰۰ کیلوگرم کود گوگرد عنصری در هکتار همراه با تیوباسیلوس، T_4:۴۵۰۰ کیلوگرم کود گوگرد عنصری در هکتار همراه با تیوباسیلوس، T_5: ۲۵ تن کود دامی در هکتار، T_6 :۱۵۰۰ کیلوگرم کود گوگرد عنصری در هکتار همراه با تیوباسیلوس+ ۲۵ تن کود دامی در هکتار، T_7: ۳۰۰۰کیلوگرم کود گوگرد عنصری در هکتار همراه با تیوباسیلوس+ ۲۵ تن کود دامی در هکتار، T_8 :۴۵۰۰ کیلوگرم کود گوگرد عنصری در هکتار همراه با تیوباسیلوس+ ۲۵ تن کود دامی در هکتار، T_9: ۵۰ تن کود دامی در هکتار، T_{10}: ۱۵۰۰ کیلوگرم کود گوگرد عنصری در هکتار همراه با تیوباسیلوس+ ۵۰ تن کود دامی در هکتار، T_{11} :۳۰۰۰ کیلوگرم کود گوگرد عنصری در هکتار همراه با تیوباسیلوس+ ۵۰ تن کود دامی در هکتار، T_{12}: ۴۵۰۰ کیلوگرم کود گوگرد عنصری در هکتار همراه با تیوباسیلوس+ ۵۰ تن کود دامی در هکتار) بوده است. در هر گلدان ۱۰ کیلوگرم خاک و مقادیر معادل ۳۰۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار در سه مرحله (یک سوم هنگام کاشت، یک سوم موقع رزت و یک سوم باقی‌مانده قبل از گلدهی) و ۱۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم و ۱۵۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار بعنوان کود پایه (براساس نتایج آزمون خاک) اضافه شد؛ همچنین کود دامی (گوسفندی) و گوگرد همراه با باکتری تیوباسیلوس (۲٪) نیز با توجه به تیمارهای کودی قبل از کاشت به خاک افزوده شد. قبل از اعمال تیمارها، برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و خصوصیات شیمیایی کود دامی مورد استفاده تعیین گردید که نتایج آن در جداول ۱و۲ آمده آست. در هر گلدان ۲۰ بذر جوانه دار کلزا (رقم Hayola 401) کاشته و بعد از سبز شدن به تعداد ۵ عدد تنک گردید و در طی مراحل رشد نیز براساس نیاز گیاه آبیاری انجام شد. قبل از مرحله گل‌دهی، نمونه برداری برگ از برگ‌های کامل و جوان انجام گرفت. نمونه‌های دانه نیز جهت انجام تجزیه‌های مورد نظر به آزمایشگاه ارسال شدند و عناصر آهن، روی، مس و منگنز در برگ و دانه اندازه‌گیری شدند (امامی، ۱۳۷۵). پس از برداشت کلزا، از خاک هر گل‌دان نمونه برداری و میزان عناصر آهن، روی، مس و منگنز قابل جذب و pH اندازه گیری شد (احیائی و بهبهانی‌زاده،۱۳۷۲). سپس تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزارهای SPSS و MSTATC و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چنددامنه‌ای دانکن (در سطح ۵٪) صورت گرفت.

جدول۱- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش پیش از کشت

EC (dS/m)	pH	Mn	Cu	Zn	Fe	K	P	TNV	OC	Clay	Sand	Silt
		قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)						(٪)				
۰/۷	۷/۷۹	۵/۴۸	۲/۷۰	۱/۱۳	۲۰/۳	۱۸۰/۹۰	۸/۳۶	۱۵	۱/۸۵	۱۸	۳۸	۴۴

جدول۲- نتایج تجزیه شیمیایی کود دامی مورد استفاده در آزمایش: عناصر قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

Mn	Cu	Zn	Fe
۳۸/۷۸	۲۱۱/۶۶	۸۸/۶۵	۳۳۶۸

نتایج و بحث

خاک

نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای گوگرد و کود دامی بر میزان pH و عناصر میکرو قابل جذب خاک در جدول ۳ آمده است. همان‌طوری‌که ملاحظه می شود اثرات ساده گوگرد بر pH و Fe، Zn و Mn قابل جذب خاک در سطح ۱٪ و بر Cu قابل جذب خاک در سطح ۵٪ معنی دار بود، اثرات ساده کوددامی نیز بر pH و قابلیت جذب Fe، Zn، Cu و Mn خاک نیز معنی‌دار (در سطح ۱٪) بود. همچنین اثرات متقابل گوگرد و کوددامی بر pH و Mn قابل جذب خاک در سطح ۱٪ و بر Fe و Zn قابل جذب در سطح ۵٪ معنی دار بود؛ ولی اثرات متقابل آنها بر Cu قابل جذب خاک معنی دار نبود.

همان‌گونه که در جدول ۴ نشان داده شده، در خاک بدون مصرف کود دامی، افزایش سطوح گوگرد باعث کاهش pH خاک گردید، به‌طوری‌که تیمار T_4 (۴۵۰۰ کیلوگرم کود گوگرد عنصری در هکتار همراه با تیوباسیلوس) pH خاک را به میزان ۰/۱ واحد کاهش داد که البته از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با تیمار T_1 (عدم مصرف کود دامی و گوگرد) نشان نداد؛ همچنین با افزایش مقادیر کود دامی pH خاک به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و کم‌ترین pH خاک در تیمار T_9 (۵۰ تن کود دامی در هکتار) به‌دست آمد که البته با تیمار T_5 (۲۵ تن کود دامی در هکتار) در یک سطح آماری قرار داشت.

مصرف توأم کود دامی و گوگرد نیز تأثیر قابل ملاحظه ای بر کاهش pH خاک داشته و تیمار T_{12} (۴۵۰۰ کیلوگرم کود گوگرد عنصری در هکتار همراه با تیوباسیلوس+ ۵۰ تن کود دامی در هکتار) موجب کاهش pH خاک به اندازه ۰/۳۱ واحد در مقایسه با تیمار شاهد شده است و کم‌ترین pH خاک (۷/۴۷) را به خود اختصاص داده است، البته این تیمار با تیمار T_{11} در یک گروه آماری قرار دارد.

جدول۳- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای گوگرد وکوددامی بر میزانpH، Fe، Zn، Cu و Mn قابل جذب خاک (میلی گرم بر کیلوگرم)

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		pH	Fe	Zn	Cu	Mn
تکرار	۳	۰/۰۰۲^{ns}	۴/۰۷۳^{ns}	۰/۱۵۱^{ns}	۰/۰۳۸^{ns}	۰/۳۱۲^{ns}
گوگرد	۳	۰/۰۳۷**	۲۵/۰۴۳**	۰/۹۸۹**	۰/۲۳۷*	۷/۷۳۱**
کوددامی	۲	۰/۰۹۸**	۱۵۰/۲۱۵**	۱/۲۲۳**	۱/۰۴۵**	۲۱۹/۲۵۹**
گوگرد ×کوددامی	۶	۰/۰۰۸**	۵/۷۴۱*	۰/۲۵۰*	۰/۱۳۴^{ns}	۲/۸۲۹**
خطا	۳۳	۰/۰۰۲	۲/۰۵۹	۰/۱۰۱	۰/۰۷۰	۰/۷۴۶
ضریب تغییرات (درصد)		۰/۵۹	۶/۴۶	۲۱/۶۹	۹/۱۲	۱۰/۲۵

**- معنی دار در سطح ۱ درصد *- معنی دار در سطح ۵ درصد ns- عدم تفاوت معنی دار

جدول٤- مقایسه میانگین اثر متقابل گوگرد و کود دامی بر میزان pH، Fe ، Zn و Mn قابل جذب خاک (میلی گرم بر کیلو گرم)

تیمار	pH	Fe	Zn	Mn
T_1	۷/۷۸^{a}	۱۸/۳۰^{d}	۰/۸۳^{d}	۳/۹^{e}
T_2	۷/۷۲^{ab}	۱۹/۵۸^{cd}	۰/۸۳^{d}	۵/۳۰^{e}
T_3	۷/۷۲^{ab}	۲۱/۰۳^{c}	۱/۲۶^{c}	۴/۳۶^{e}
T_4	۷/۶۷$^{a-d}$	۱۹/۸۰^{cd}	۱/۶۷^{ab}	۵/۱۵^{e}
T_5	۷/۷۰$^{a-c}$	۲۰/۶۸^{c}	۱/۴۰^{bc}	۷/۳۰^{d}
T_6	۷/۶۵$^{b-d}$	۱۹/۷۰^{cd}	۱/۸۴^{a}	۸/۵۰^{cd}
T_7	۷/۶۳$^{b-d}$	۲۰/۹۳^{c}	۱/۴۴^{bc}	۸/۸۵^{c}
T_8	۷/۵۸^{de}	۲۳/۹۳^{b}	۱/۸۹^{a}	۹/۲۷^{c}
T_9	۷/۶۰$^{c-e}$	۲۴/۶۰^{b}	۱/۳۳^{c}	۱۱/۰۱^{b}
T_{10}	۷/۶۸$^{a-d}$	۲۳/۱۵^{b}	۱/۲۳^{c}	۱۰/۶۳^{b}
T_{11}	۷/۵۲^{ef}	۲۶/۷۸^{a}	۱/۹۳^{a}	۱۳/۵۶^{a}
T_{12}	۷/۴۷^{f}	۲۷/۹۰^{a}	۱/۹۴^{a}	۱۳/۲۱^{a}

*در هر ستون، حرف یا حروف مشترک نشاندهنده این است که میان تیمارها از لحاظ آماری اختلاف معنی داری در سطح ۵ درصد وجود ندارد.

کایا و همکاران (۲۰۰۹) نیز گزارش کردند که با کاربرد گوگرد عنصری در خاک تحت کشت لوبیا و ذرت، pH خاک از ۸/۱۲ در تیمار شاهد به ترتیب به ۷/۴۹ و ۷/۵۵ کاهش یافت؛ در نتیجه منجر به افزایش غلظت عناصر غذایی در این گیاهان و غلظت عناصر باقی‌مانده در خاک بعد از برداشت محصول گردید. این نتایج با یافته های ارمان و کاپلان[1] (۲۰۰۰) و اردال و همکاران[2] (۲۰۰۶) نیز مطابقت دارد.

گوگرد به‌دلیل ظرفیت اکسیده شدن و تولید اسیدسولفوریک، پتانسیل لازم را برای کاهش pH خاک حداقل در مقیاس کوچک اطراف ذرات خود دارا بوده، از سوی دیگر اثرات گوگرد در خاک‌های آهکی کند بوده و مصرف آن زمانی موثر است که عمل تهویه بخوبی انجام گیرد و میزان مواد آلی نیز فراوان باشد؛ اما در خاک‌های آهکی به‌علت کمبود مواد آلی، فعالیت ریزجانداران موثر بر اکسایش گوگرد کم بوده، مصرف توأم گوگرد و کود دامی pH خاک را بطور قابل ملاحظه‌ای کاهش داد (حامدی و جعفری، ۱۳۸۶).

نتایج اندازه‌گیری عناصر غذایی خاک پس از برداشت کلزا نشان داد که در خاک بدون مصرف کود دامی، بیش‌ترین Fe قابل جذب خاک به میزان ۲۱/۰۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم در تیمار T_3 (۳۰۰۰ کیلوگرم کود گوگرد عنصری در هکتار همراه با تیوباسیلوس) به‌دست آمد که البته با تیمار T_2 و T_4 در یک سطح آماری قرار داشت. همچنین سطوح مختلف کود دامی تأثیر معنی-داری بر Fe قابل جذب خاک داشته و تیمار T_9 نسبت به تیمار عدم مصرف کود دامی، Fe قابل جذب خاک را به میزان ۲۴/۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم افزایش داد؛ در حالی-که بیش‌ترین میزان Fe قابل جذب خاک با مصرف توأم کود دامی و گوگرد (۲۷/۹۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار T_{12} به‌دست آمد که نسبت به تیمار شاهد (۱۸/۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) ۵۲/۵ درصد افزایش نشان داد، که البته با تیمار T_{11} در یک گروه آماری قرار دارد. همچنین تیمار T_{12} منجر به افزایش ۱۳۴/۷ درصدی Zn قابل جذب در مقایسه با تیمار شاهد شده است و با تیمارهای

1- Orman and Kaplan
2- Erdal *et al.*

T_4، T_6، T_8 و T_{11} نیز در یک سطح آماری قرار داشت (جدول ۴). نتایج تحقیقات تافیک و سوداریونو (۱۹۹۸) نشان داد که کاربرد گوگرد عنصری موجب کاهش pH خاک و افزایش Fe قابل جذب خاک گردید. کاربرد کوددامی نیز منجر به افزایش کربن آلی خاک شد ولی تأثیر معنی داری بر کاهش pH خاک نداشت. سطوح مختلف کود دامی نیز تأثیر معنی‌داری بر Mn قابل جذب خاک داشته، به‌طوری‌که تیمار T_9 (۵۰ تن کود دامی در هکتار) و T_5 (۲۵ تن کود دامی در هکتار) به ترتیب موجب افزایش Mn قابل جذب خاک به میزان ۷/۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و ۱۱/۰۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم نسبت به تیمار عدم مصرف کود دامی گردید.لازم به یادآوری است که با مصرف توأم کود دامی و گوگرد، بالاترین میزان Mn قابل جذب خاک (۱۳/۵۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار T_{11} به دست آمد که با تیمار T_{12} در یک سطح آماری قرار داشت و منجر به افزایش ۲۴۰/۸ درصدی قابلیت جذب منگنز نسبت به تیمار شاهد شد (جدول۴). در بررسی که توسط الفلیح[1] (۱۹۹۶) در مورد اکسایش گوگرد در خاک‌های کشاورزی عربستان سعودی انجام شد، مشخص شد که افزودن گوگرد عنصری موجب کاهش pH خاک و افزایش Fe و Mn قابل جذب خاک گردید. اگرچه سطوح مختلف گوگرد (در سطح ۵٪) و کود دامی (در سطح ۱٪) بر مس قابل جذب خاک تأثیر معنی‌داری داشته؛ ولی اثرات متقابل گوگرد و کوددامی تأثیر معنی داری نداشته است، به گونه‌ای که مطابق جدول ۵ بالاترین مس قابل جذب (۳/۰۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار ۳۰۰۰ کیلوگرم کود گوگرد و کم‌ترین میزان (۲/۷۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) نیز در تیمار شاهد به‌دست آمد؛ همچنین با مصرف کوددامی، مس قابل جذب خاک به‌طور معنی-داری افزایش یافت به گونه ای که با کاربرد کود دامی، غلظت مس از ۲/۷۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم در تیمار شاهد به ۲/۸۰ و ۳/۱۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم به ترتیب در تیمارهای ۲۵ و ۵۰ تن کود دامی در هکتار افزایش یافت (جدول۶). بنابراین مصرف گوگرد بویژه همراه با کوددامی، pH خاک را به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش داده که در نتیجه منجر به افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی خاک شده است و تیمارهای T_{11} و T_{12} که حداقل pH را دارا می‌باشند، بیش‌ترین میزان Fe، Zn، Cu و Mn قابل جذب خاک را به‌خود اختصاص دادند.

برگ

نتایج تجزیه واریانس اندازه‌گیری عناصر در برگ کلزا (جدول۷) نیز نشان داد که سطوح مختلف گوگرد بر غلظت Fe، Zn، Cu و Mn برگ معنی‌دار بوده، در حالی‌که اثرات متقابل گوگرد و کود دامی فقط بر میزان مس و منگنز برگ معنی دار بوده است.

برابر شکل ۱ تیمار ۴۵۰۰ کیلوگرم کود گوگردی در هکتار، بیش‌ترین غلظت Fe و Zn برگ را موجب شد که به ترتیب ۱۷ و ۱۰/۸ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. همچنین نتایج ایسلام و همکاران[2] (۲۰۰۹) نشان داد که به‌علت شرایط اسیدی که در نتیجه اکسیداسیون گوگرد به‌وجود می‌آید، قابلیت دسترسی عناصر غذایی Fe، Zn، Cu و Mn توسط گیاه نخود افزایش یافت. تأثیر مثبت گوگرد بر رشد، عملکرد و جذب عناصر غذایی توسط محققان دیگری نیز گزارش شده است (بحراتی و پونگوتای[3]، ۲۰۰۸؛ متیو و کارین[4]، ۲۰۰۳؛ توگای و همکاران[5]، ۲۰۰۸).

با مصرف کوددامی، غلظت آهن برگ نیز به‌طور معنی داری افزایش یافت به گونه‌ای که با کاربرد کود دامی میزان آهن از ۱۶۰/۹۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم در تیمار شاهد به ۱۶۵/۹۷ و ۱۸۱/۱۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم به

1- Alfalih

2- Islam *et al.*
3- Bahrathi and Poongothai
4- Mathew and Karian
5- Togay *et al.*

جدول۵- مقایسه میانگین تأثیر سطوح مختلف گوگرد بر میزان Cu قابل جذب خاک (میلی گرم بر کیلوگرم)

کود گوگردی (کیلوگرم در هکتار)	Cu
۰	^{b}۲/۷۲
۱۵۰۰	^{ab}۲/۸۶
۳۰۰۰	^{a}۳/۰۴
۴۵۰۰	^{a}۲/۹۸

* حرف مشترک نشاندهنده این است که میان تیمار ها از لحاظ آماری اختلاف معنی داری در سطح ۵ درصد وجود ندارد.

جدول٦- مقایسه میانگین تأثیر سطوح مختلف کوددامی بر Cu قابل جذب خاک (میلی گرم بر کیلوگرم)

کود دامی (تن در هکتار)	Cu
۰	^{b}۲/۷۱
۲۵	^{b}۲/۸۰
۵۰	^{a}۳/۱۹

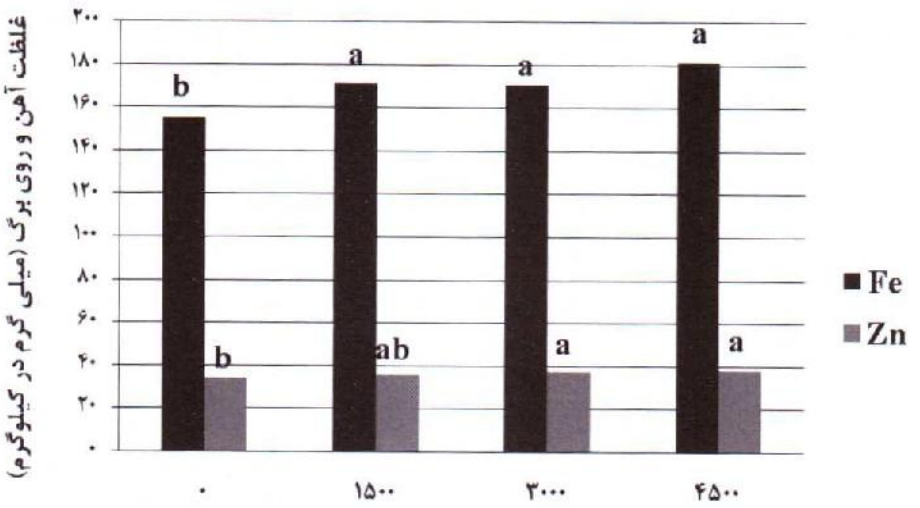
*حرف مشترک نشاندهنده این است که میان تیمار ها از لحاظ آماری اختلاف معنی داری در سطح ۵ درصد وجود ندارد.

جدول۷- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای گوگرد وکوددامی بر غلظت Cu، Zn،Fe و Mn برگ کلزا (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

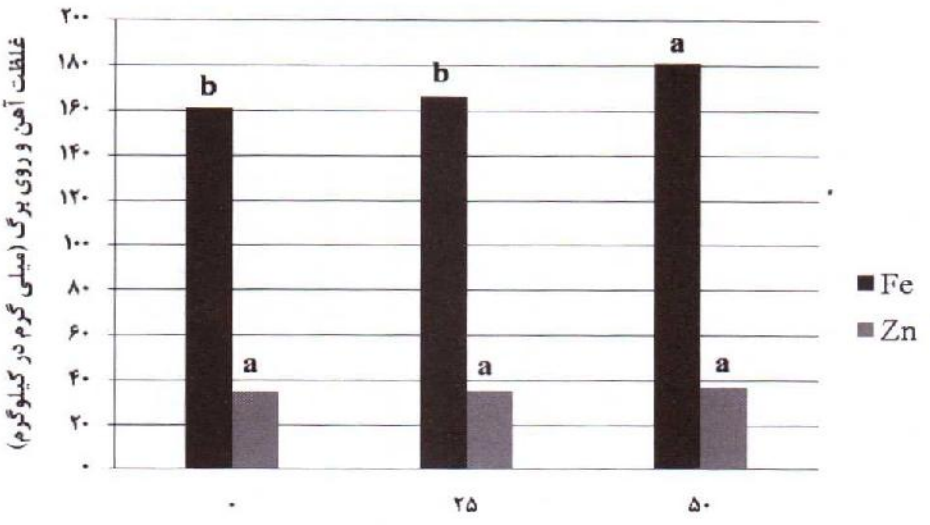
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		Fe	Zn	Cu	Mn
تکرار	۳	۳۰۰/۰۱۳^{ns}	۴/۸۰۲^{ns}	۲/۱۴۶^{ns}	۲۰/۸۴۳^{ns}
گوگرد	۳	۱۴۱۸/۳۱۹**	۳۴/۲۱۴*	۴۹/۳۹۷**	۱۳۱/۶۴۲**
کوددامی	۲	۱۷۷۸/۱۸۳**	۱۱۴/۲۸۲^{ns}	۲۰۱/۳۶۷**	۷۰۴/۶۳۸**
گوگرد× کوددامی	۶	۷۵/۰۴۹^{ns}	۹/۳۲۴^{ns}	۹/۴۸۸**	۲۳/۷۱۸*
خطا	۳۳	۳۰۵/۳۳۰	۱۱/۱۷۸	۲/۶۶۷	۹/۴۹۲
ضریب تغییرات (درصد)		۱۰/۳۱	۹/۲۳	۱۱/۲۰	۴/۹

**- معنی دار در سطح ۱ درصد *- معنی دار در سطح ۵ درصد ns- عدم تفاوت معنی دار

ترتیب در تیمارهای ۲۵ و ۵۰ تن کود دامی در هکتار افزایش یافت. همچنین مصرف کود دامی منجر به افزایش غلظت Zn برگ شد ولی این افزایش از لحاظ آماری معنی‌دار نبود (شکل۲).همان‌طوری‌که در جدول (۸) ملاحظه می‌گردد، در خاک بدون مصرف کود دامی، با کاربرد گوگرد غلظت مس برگ از ۹/۰۲ ترتیب در تیمارهای ۲۵ و ۵۰ تن کود دامی در هکتار افزایش یافت.در تیمار T_1 (شاهد) به ۱۳/۰۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم در تیمار T_4 (۴۵۰۰ کیلوگرم کود گوگرد عنصری در هکتار همراه با تیوباسیلوس) افزایش یافت. در حالی‌که با مصرف توأم گوگرد و کوددامی، بیش‌ترین غلظت مس برگ به میزان ۲۰/۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم در تیمار ۳۰۰۰ کیلوگرم کود گوگرد عنصری در هکتار همراه با تیوباسیلوس+ ۵۰ تن کود دامی در هکتار (T_{11}) بدست آمد که در مقایسه با تیمارشاهد (T_1) ۱۲۳/۰۷ درصد افزایش یافت. بالاترین غلظت منگنز برگ نیز متعلق به تیمار T_{11} می باشد که با تیمارهای T_8، T_9، T_{10}، T_{12} در یک سطح آماری قرار دارد و نسبت به تیمار شاهد منگنز برگ را ۴۹/۲۶ درصد افزایش داد.



شکل۱- تأثیر سطوح مختلف کود گوگردی بر غلظت آهن و روی برگ



شکل۲- تأثیر سطوح مختلف کوددامی بر غلظت آهن و روی برگ

دانه

نتایج تجزیه واریانس عناصر در دانه گیاه کلزا نشان داد که اثرات ساده گوگرد و کوددامی برغلظت Fe ، Zn، Cu و Mn دانه معنی دار بوده؛ ولی اثرات متقابل کوددامی و گوگرد بر غلظت Fe و Zn دانه تأثیر معنی داری نداشته است (جدول ۹). به‌طوری‌که با افزایش سطوح گوگرد، غلظت این عناصر در دانه افزایش یافته و بالاترین میزان نیز از تیمار ۴۵۰۰ کیلوگرم کود گوگردی در هکتار به‌دست آمد که میزان Fe و Zn دانه را نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۸/۳۳ و ۶/۳۸ درصد افزایش داد (شکل ۳).

جدول۸- مقایسه میانگین اثر متقابل گوگرد و کود دامی بر غلظت Cu و Mn برگ کلزا (میلی گرم بر کیلوگرم)

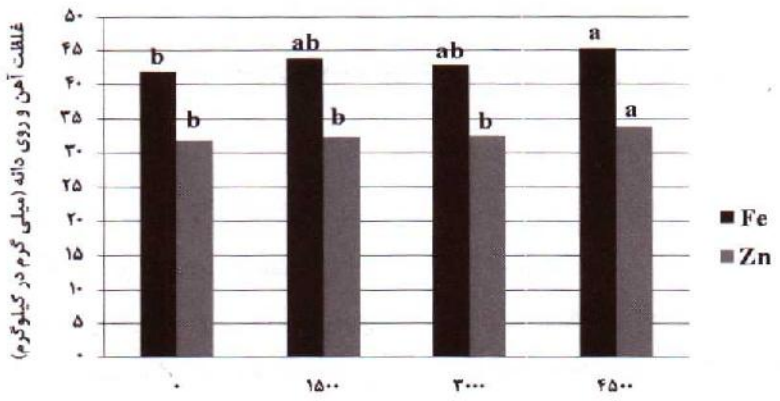
تیمار	Cu	Mn
T_1	۹/۰۲^{i}	۴۸/۷۸^{e}
T_2	۱۱/۵۰^{g}	۵۶/۵۱^{d}
T_3	۱۰/۳۸^{h}	۵۷/۵۲^{d}
T_4	۱۳/۰۹^{f}	۶۱/۲۷$^{b-d}$
T_5	۱۰/۰۳^{h}	۵۸/۳۹^{cd}
T_6	۱۴/۲۲^{e}	۶۱/۵۶$^{b-d}$
T_7	۱۶/۶۰^{d}	۶۰/۳۹$^{b-d}$
T_8	۱۷/۷۲^{c}	۶۲/۹۳$^{a-c}$
T_9	۱۶/۳۹^{d}	۶۵/۳۴^{ab}
T_{10}	۱۷/۴۱^{c}	۶۶/۴۸^{a}
T_{11}	۲۰/۱۲^{a}	۷۲/۷۸^{a}
T_{12}	۱۸/۴۶^{b}	۷۲/۰۲^{a}

*در هر ستون، حرف یا حروف مشترک نشاندهنده این است که میان تیمارها از لحاظ آماری اختلاف معنی داری در سطح ۵ درصد وجود ندارد.

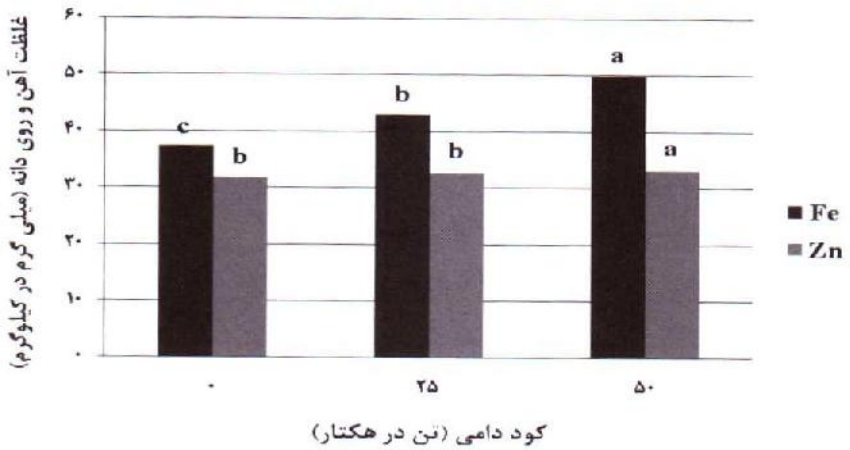
جدول۹- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای گوگرد وکوددامی بر غلظت Fe، Zn، Cu و Mn دانه کلزا (میلی گرم بر کیلوگرم)

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		Fe	Zn	Cu	Mn
تکرار	۳	۱۷/۸۱۱^{ns}	۳/۳۱۹^{ns}	۰/۶۳۱^{ns}	۰/۰۹۹^{ns}
گوگرد	۳	۲۶/۴۸۳*	۸/۶۸۳**	۴/۷۸۱**	۸/۳۵۴۳*
کوددامی	۲	۶۱۷/۰۰۸**	۷/۱۷۸*	۴۶/۵۴۴**	۱۰۷/۳۴۳**
گوگرد × کوددامی	۶	۱۹/۷۶۷^{ns}	۲/۸۷۴^{ns}	۲/۷۳۹**	۶/۷۵۱*
خطا	۳۳	۸/۸۰۷	۱/۶۷۰	۰/۳۸۰	۲/۵۱۶
ضریب تغییرات (درصد)		۶/۸۳	۳/۹۷	۶/۷۰	۴/۰۷

**-معنی دار در سطح ۱ درصد *-معنی دار در سطح ۵ درصد ns-عدم تفاوت معنی دار



شکل۳- تأثیر سطوح مختلف گوگرد بر غلظت آهن و روی دانه



شکل ٤- تأثیر سطوح مختلف کوددامی بر غلظت آهن و روی دانه

پژوهشگران مختلف بیان کردند که افزایش جذب روی در واکنش به گوگرد ممکن است به‌علت افزایش سطح ریشه در اثر فراهمی گوگرد بوده است که در نتیجه باعث رشد بهتر ریشه می‌شود (بابلهولکار و همکاران[1]، ۲۰۰۰؛ ایسلام و همکاران، ۲۰۰۹؛ شارما[2]، ۱۹۹۰).با افزایش سطوح کوددامی میزان Fe و Zn دانه نیز به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، به‌طوری‌که با مصرف ۵۰ تن کود دامی در هکتار، غلظت Fe و Zn دانه نسبت به تیمارشاهد به ترتیب ۳۲/۰۸ و ۴/۱۴ درصد افزایش یافت (شکل۴)

.در حالی‌که مصرف توأم گوگرد و کوددامی بر میزان مس و منگنز دانه تأثیر معنی‌داری داشته و بالاترین غلظت مس دانه (۱۱/۷۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار T_{11} بدست آمد که منجر به افزایش ۸۱/۸۲ درصدی نسبت به تیمار شاهد شد که البته با تیمار T_{12} در یک سطح آماری قرار داشت. تیمار T_{10} نیز بالاترین میزان منگنز دانه (۴۲/۸۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) را به خود اختصاص داد که با تیمارهای T_{12}،T_{11}، T_9، T_8، T_7، T_6، T_5 در یک سطح آماری قرار داشت و کم‌ترین میزان منگنز دانه (۳۳/۷۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) نیز به تیمار شاهد تعلق داشت (جدول۱۰). حامدی و جعفری (۱۳۸۶) نیز گزارش کردند که کاربرد گوگرد همراه با کود دامی در مقایسه با کاربرد گوگرد همراه با باکتری تیوباسیلوس موجب تأثیر بیش‌تری در افزایش غلظت عناصر غذایی در دانه کلزا گردید.

نتیجه‌گیری

افزایش سطوح گوگرد باعث کاهش pH خاک و افزایش Fe، Zn، Cu و Mn قابل جذب شده و با کاربرد ۴۵۰۰ کیلوگرم گوگرد عنصری در هکتار، pH خاک به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافت. از سوی دیگر مصرف گوگرد بخصوص همراه با کود دامی به دلیل افزایش اکسایش زیستی گوگرد تأثیر بمراتب بهتری در مقایسه با گوگرد تنها در کاهش pH خاک داشته است و کمترین pHخاک نیز با کاربرد ۴۵۰۰ کیلوگرم کود گوگرد عنصری در هکتار همراه با تیوباسیلوس+ ۵۰ تن کود دامی در هکتار به‌دست آمد؛ همچنین مصرف توأم گوگرد و کود دامی به دلیل تأثیر معنی‌داری که در کاهش pH خاک داشته موجب افزایش قابلیت جذب عناصر آهن، روی، مس و منگنز در خاک و در نهایت منجر به افزایش غلظت این عناصر در برگ و دانه کلزا گردیده است، از طرفی کود دامی خود نیز دارای عناصر غذایی است که بتدریج آزاد

1- Babhulkar *et al*
2- Sharma

شده و در دسترس گیاه قرار می‌گیرد. در همین راستا کاربرد ۴۵۰۰ کیلوگرم گوگرد عنصری توأم با ۵۰ تن کوددامی در هکتار در خاک‌های آهکی با pH قلیائی جهت تعدیل pH و بهبود میزان عناصر کم مصرف قابل جذب توصیه می شود.

جدول۱۰- مقایسه میانگین اثر متقابل گوگرد و کود دامی بر غلظت Cu و Mn دانه کلزا (میلی گرم بر کیلوگرم)

تیمار	Cu	Mn
T_1	۶/۴۷^{f}	۳۳/۷۶^{d}
T_2	۸/۰۴^{de}	۳۵/۳۷^{cd}
T_3	۷/۷۰^{e}	۳۶/۹۸$^{b-d}$
T_4	۸/۲۷^{cde}	۳۸/۰۵^{bc}
T_5	۸/۷۵^{cd}	۳۹/۳۹^{ab}
T_6	۷/۵۰^{e}	۴۰/۴۶^{ab}
T_7	۹/۰۳^{c}	۳۹/۵۵^{ab}
T_8	۱۰/۶۳^{b}	۴۰/۳۹^{ab}
T_9	۱۰/۶۵^{b}	۴۰/۲۰^{ab}
T_{10}	۱۰/۶۸^{b}	۴۲/۸۴^{a}
T_{11}	۱۱/۷۶^{a}	۴۰/۵۳^{ab}
T_{12}	۱۰/۹۵^{ab}	۴۰/۱۹^{ab}

*در هر ستون، حرف یا حروف مشترک نشاندهنده این است که میان تیمارها از لحاظ آماری اختلاف معنی داری در سطح ۵ درصد وجود ندارد.

منابع

۱- امامی، ع. ۱۳۷۵. روشهای تجزیه گیاه. نشریه فنی شماره۹۸۲، موسسه تحقیقات آب و خاک، نشر موزش کشاورزی، کرج، ایران.

۲- بشارتی کلایه، ح. ۱۳۷۷. بررسی اثرات کاربرد گوگرد همراه با گونه های تیوباسیلوس در افزایش قابلیت جذب برخی از عناصر غذایی در خاک. پایان نامه کارشناسی ارشد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.۱۷۶ صفحه.

۳- حامدی، ف. و جعفری، ح. ۱۳۸۶. بررسی اثرات مصرف گوگرد، باکتری تیوباسیلوس وکود دامی بر خواص کمی وکیفی کلزا. مجموعه مقالات دومین سمینار علمی- کاربردی دانه‌های روغنی و روغن‌های نباتی ایران. ۱۱۳- ۱۱۷.

۴- احیائی، م.ع. و بهبهانی زاده، ع.ا . ۱۳۷۲. شرح روشهای تجزیه خاک (جلد اول). موسسه تحقیقات خاک و آب، نشریه شماره ۸۹۳، تهران، ایران.

۵- علی اصغر زاده، ن.، ساعدی، س و زمزمی، س . ۱۳۷۷ . بررسی کارایی باکتریهای اسیددوست جنس تیوباسیلوس در اکسایش گوگرد و کاهش pH خاک . مجله دانش کشاورزی، ۸ (۱ و۲): ۷۵- ۹۱.

۶- کریمی نیا، آ. و شهرستانی، م. ۱۳۸۲. ارزیابی توان اکسایش گوگرد توسط میکروارگانیسمهای هتروتروف در خاکهای مختلف. مجله علوم خاک و آب، ۱۷(۱):۶۹ - ۷۹.

۷- نورقلی پور، ف.، خاوازی، ک.، بشارتی، ح. و فلاح، ع. ۱۳۸۵. بررسی تاثیر کاربرد خاک فسفات، گوگرد و باکتری تیوباسیلوس بر عملکرد کمی و کیفی سویا و اثرات باقیمانده آن بر ذرت. مجله علوم خاک و آب، ۲۰ (۱):۱۲۲- ۱۳۲.

8. Alfalih, A.M. 1996. Sulphur oxidation in Saudi Arabian agricultural soils. Qatar University Science Journal, 16(2):297-302.

9. Babhulkar, M.S., Kar, D., Badole, W.P., and Balpand, S.S. 2000. Effect of sulphur and Zn on yield, quality and nutrient uptake by safflower in Vertisol. Journal of the Indian Society of Soil Science, 48:541-543.

10. Bharathi, C., and Poongothai, S. 2008. Direct and residual effect of sulphur on growth, nutrient uptake, yield and its use efficiency in maize and subsequent greengram. Research Journal of Agriculture and Biological Science, 4(5):368-372.

11. Cifuentes, F.R., and Lindemann, W.C. 1993. Organic matter stimulation of elemental sulfur oxidation in a calcareous soils. Soil Science Society of America Journal, 27:727-731.

12. Erdal, I., Kepenek, K., and Kizilgoz, I. 2006. Effect of elemental sulphur and grown in calcareous soil. Biology Agriculture Horticulture, 23:263-272.

13. Islam, M., Safdar, A., and Hayat, A. 2009. Effect of integrated application of phosphorus and sulphur on yield and micronutrient uptake by chickpea (*Cicer arietinum*). International Journal of Agriculture and Biology, 11:33-38.

14. Jaggi, R.C., Aulakh, M.S., and Sharma, R. 2005. Impacts of elemental S applied under various temperature and moisture regimes on pH and available P in acidic, neutral and alkaline soils. Biology and Fertility of Soil, 41: 52-58.

15. Kalbasi, M., Filsoof, F., and Rezainejad, Y. 1988. Effect of sulfur treatment on yield and uptake of Fe, Zn and Mn by corn, sorghum and soybean. Journal of Plant Nutrition, 9(3-7):1001-1007.

16. Kaya, M., Kucukyumuk, Z., and Erdal, I. 2009. Effects of elemental sulfur and sulfur-containing waste on nutrient concentrations and growth on calcareous soil. African Journal of Biotechnology, 8(18):4481-4489.

17. Mathew, T., and Kurian, T.M. 2003. Residual effect of sulphur nutrition on the ratoon crop of sugarcane. Sugar Technology, 5(4):315-316

18. Orman, S., and Kaplan, M. 2000. Effects of two different sulfur sources on pH of calcareous soils. Akdeniz University Journal of the Faculty of Agriculture, 13:171-179.

19. Salimpour, S., Khavazi, K., Nadian, H., Besharati, H., and Miransari, M. 2010. Enhancing phosphorous availability to canola (*Brassica nupus L.*) using P solubilizing and sulfur oxidizing bacteria. Australian Journal of Crop Science, 4(5):330-334.

20. Sengar, S.S., Wade, L.J., Baghel, S.S., Sing, R.K., and Sing, G. 2000. Effect of nutrient management on rice (*Oryza sativa*) in rainfed lowland of southeast Madhya Pradesh. Indian Journal of Agronomy, 45(2): 315-322.

21. Sharma, U.C. 1990. Effect of Zn and S on nutrient uptake and yield of mustard. Journal of the Indian Society of Soil Science, 38:696-701.

22. Taufiq, A., and Sudaryono, A. 1998. Sulfur and organic manure fertilization of groundnut in red Alfisol in Indonesia. Research Institute for Legume and Tuber Crops, IAN 18: 39-40.

23. Togay, Y., Togay, N., Fatihcig Erman, M., and Esan Celen, A. 2008. The effect of sulphur applications on nutrient composition yield and some yield component of barley (*Hordeum Vulgare L.*). African Journal of Biotechnology, 7(18):3255-3260.

Agricultural Engineering (Scientific Journal of Agriculture), 35(1), Summer, 2012

The Effect of Sulfur and Cattle Manure Applications on pH and Micronutrient Availability in a Calcareous Soil and Leaf and Grain of Canola (Hayola 401)

F. Karimi[1], M. A. Bahmanyar[2*] and M. Shahabi[3]

1. M.Sc. student of Soil Science, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari I. R. Iran Atena_gholipur@yahoo.com

2.***Corresponding Author:** Associate Professor of Soil Science, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari I. R. Iran

3. Instructor of Soil Science, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari I. R. Iran

Received: 21 September 2011 Accepted: 19 September 2012

Abstract

In order to investigate the effect of sulfur (S) and cattle manure (CM) on pH and micronutrient availability in a calcareous soil, a pot experiment was conducted as factorial based on completely randomized design with four replications during 2009-2010 cropping season. Treatments included three CM levels (0, 25 and 50 ton ha^{-1}) and four S levels (0, 1500, 3000 and 4500 kg ha^{-1}) with 2% inoculation Thiobacillus. Results indicated that the lowest amount of soil pH and the highest amounts of available Fe and Zn in soil were obtained in 4500 kg S + 50 ton CM ha^{-1} (T_{12}) treatment. But the interaction effect between S and CM on the amounts of available Cu in soil and Fe and Zn in leaf and seed was not significant. Also, the application of S and CM had a significant effect on the amounts of Cu and Mn in leaves and seeds. The highest amount of Cu and Mn concentration in leaves were obtained in 3000 kg S + 50 ton CM ha^{-1}(T_{11}) treatment. In addition, the highest amount of Cu and Mn in seed was determined in 1500 kg S + 50 ton CM ha^{-1} (T_{10}) treatment and (T_{11}) treatment, respectively. Therefore, application of 4500 kg S + 50 ton CM ha^{-1} (T_{12}) had a significant effect in reducing soil pH, thereby increasing micronutrient availability in soil and, ultimately, leading to increased concentrations of these nutrients in canola leaves and seeds.

Keywords: *Micronutrients, Canola, Cattle manure, Sulfur, Soil pH*