تأثیر کود میکروبی گوگردی بر جذب عناصر غذایی و عملکرد سویا در مزرعه

پیام بابایی[۱*]، احمد گلچین، حسین بشارتی و مهران افضلی

دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه زنجان؛ Payam_babaei@yahoo.com

استاد گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان؛ agolchin2002@yahoo.com

عضو هیأت علمی موسسه تحقیقات خاک و آب؛ hbesharaty@yahoo.com

عضو مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی مازندران؛ mehran_afzalichali@yahoo.com

چکیده

بالا بودن میزان آهک خاک علاوه بر نقشی که بر pH خاک دارد می‌تواند به صورت مستقیم یا غیر مستقیم بر قابلیت استفاده عناصر غذایی مورد نیاز گیاه تأثیر بگذارد. اکسیداسیون گوگرد با تولید اسید سولفوریک می‌تواند باعث کاهش pH خاک و در نتیجه انحلال و آزاد شدن برخی عناصر غذایی شود. به‌منظور بررسی تأثیر کود میکروبی گوگرد بر عملکرد و جذب عناصر غذایی توسط سویا و برای تعیین دقیق مقدار گوگرد مورد نیاز به منظور اجتناب از به هم خوردن تعادل عناصر غذایی در خاک یک آزمایش با سه تیمار در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی (RCBD) در سه تکرار در ایستگاه تحقیقات قراخیل استان مازندران به‌صورت مزرعه‌ای انجام شد. گوگرد عنصری به صورت پودری در سه سطح S_0، $S_{1.5}$ و S_3 که به ترتیب معادل ۰، ۱/۵ و ۳ تن در هکتار بود که در همه سطح‌ها مایه تلقیح تیوباسیلوس مصرف گردید. برای اندازه‌گیری میزان عناصر در برگ سویا، نمونه برگ در زمان گلدهی تهیه و پس از کامل شدن دورهٔ رشد گیاه، میزان عملکرد نیز محاسبه شد. نتایج نشان داد که اثر سطوح گوگرد بر عملکرد دانه و غلظت فسفر در برگ در سطح یک درصد معنی‌دار است و بیشترین میزان عملکرد (۲۴۲۹ کیلوگرم در هکتار) و غلظت فسفر برگ (۰/۵۹ درصد) از مصرف سه تن گوگرد در هکتار بدست آمد. نتایج نشان داد که گوگرد اثر معنی‌داری بر افزایش غلظت آهن، منگنز، روی و مس برگ دارد و بیشترین غلظت این عناصر از مصرف سه تن گوگرد در هکتار بدست آمد که به طور معنی‌داری بیشتر از تیمار شاهد بود. افزایش سطوح گوگرد باعث کاهش pH خاک شد.

واژه‌های کلیدی: تیوباسیلوس، گوگرد عنصری، اسیدیته خاک.

مقدمه

تولید محصول در خاک‌های آهکی، همواره با مشکلات متعددی همراه است که بخش اصلی این مشکلات به غلظت زیاد یون کلسیم و بالا بودن pH خاک مربوط می‌شود. بدلیل وابستگی قابلیت جذب فسفر و برخی عناصر غذایی کم‌مصرف به pH، معمولاً در چنین خاک‌هایی این عناصر تثبیت شده و از دسترس گیاه خارج می‌شوند (بشارتی، ۱۳۷۷؛ سیفوانتس و لیندرمن، ۱۹۹۳). نقش گوگرد در گیاهان، به طور عمده ساخت پروتئین و روغن و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی است و به همین دلیل عنصر بسیار مهمی برای دانه‌های روغنی

---

[۱] نویسنده مسئول، آدرس: مازندران، قائمشهر، خیابان تهران، البرز، ۱۰۲، کد پستی، ۴۷۶۱۸۱۹۶۴۹

* دریافت: بهمن ۱۳۸۸ و پذیرش: اردیبهشت ۱۳۹۱

می‌باشد. در سال‌های گذشته، به دلیل آلودگی زیاد هوا، مقدار بیشتری گوگرد از طریق اتمسفر و همچنین قارچ‌کش‌های حاوی گوگرد، وارد خاک می‌شد و کمبود آن کمتر مشاهده می‌شد، ولی در سال‌های اخیر با کاهش بارانهای اسیدزا، حذف این منابع گوگردی، استفاده از محصولات پر نیاز به عناصر غذایی و کشاورزی متمرکز، کمبود این عنصر در مناطقی از جهان تشدید شده است. گوگرد، عنصری حیاتی برای تغذیه گیاهان است و نقش آن برتر از فسفر می‌باشد. گوگرد عنصری پس از اکسایش در خاک علاوه بر نقش تغذیه‌ای مستقیم، می‌تواند بدلیل تولید اسید سولفوریک، باعث کاهش موضعی pH خاک گردد و لذا به طور غیر مستقیم نیز بر افزایش جذب فسفر و دیگر عناصر غذایی کم‌مصرف مؤثر واقع شود. امروزه گوگرد متداول‌ترین و اقتصادی‌ترین ماده‌ای است که برای اسیدی کردن خاک به‌کار می‌رود (رشیدی و کریمیان، ۱۳۷۸). اکسیداسیون گوگرد در خاک توسط طیف وسیعی از میکروارگانیسم‌های خاکزی صورت می‌گیرد که باکتری‌های جنس تیوباسیلوس مهمترین آنها محسوب می‌شوند. این باکتری‌ها با اکسایش گوگرد در خاک‌های آهکی و قلیایی، می‌توانند در کاهش واکنش خاک و اصلاح خاک، تأمین سولفات مورد نیاز گیاه، انحلال برخی از عناصر غذایی و افزایش قابلیت جذب آن‌ها موثر واقع شوند (بشارتی، ۱۳۸۶). مودایهش و همکاران (۱۹۸۹) به منظور بررسی اثر گوگرد بر قابلیت دسترسی عناصر غذایی در خاک‌های آهکی، به سه خاک آهکی که از نظر مقدار فسفر و عناصر کم مصرف با یکدیگر متفاوت بودند، مقادیر مختلف گوگرد اضافه کردند، نتایج آنها نشان داد که در هر سه نوع خاک مقدار آهن، مس و منگنز قابل دسترس افزایش یافت. کاچهاو و همکاران (۱۹۹۷) در یک آزمایش مزرعه‌ای مصرف منابع مختلف گوگرد نشان دادند که جذب فسفر در نخود با افزایش مقدار گوگرد افزایش می‌یابد. کاپلان و ارمان (۱۹۹۸) در یک خاک آهکی (pH خاک ۷/۸ و درصد کربنات کلسیم ۳۷/۳) پس از افزودن مقادیر ۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار، در گلدان‌های ۵ کیلوگرمی سورگوم کشت کردند. نتایج آزمایش آنها نشان داد که مصرف گوگرد تأثیر معنی‌داری بر کاهش pH و افزایش قابلیت جذب فسفر دارد. کلباسی و همکاران (۱۹۸۸) در آزمایشی، در یک خاک آهکی (با pH خاک برابر ۸ و درصد کربنات کلسیم برابر ۴۰) مقادیر ۰ ، ۱۰۰ ، ۲۰۰ و ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد به خاک مزرعه اضافه و سورگوم، سویا و ذرت کشت کردند، نتایج نشان داد که مصرف گوگرد یک روش مؤثر و ارزان برای رفع کلروز، افزایش جذب عناصر غذایی و افزایش عملکرد در خاک های آهکی است.

سپهوند (۱۳۸۲) در بررسی اثر مصرف مقادیر مختلف گوگرد (۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ کیلوگرم بر هکتار)، همزمان با کاشت، بر عملکرد دانه و کیفیت (درصد و پروتئین) دانه سویا (رقم کلاک) در استان لرستان (در دشت الشتر) گزارش کرد، تأثیر تیمارهای گوگرد بر عملکرد دانه سویا در سطح یک درصد معنی‌دار اما بر درصد روغن و پروتئین دانه معنی‌دار نشده است.

در تحقیقی باو (۱۹۹۸) گزارش کرد عملکرد محصولات روغنی با افزایش مقدار گوگرد تا حدی به طور خطی افزایش یافت و در سطوح بیشتر گوگرد، میزان افزایش عملکرد بر روی سویا کاهش می‌یابد.

اگرچه مصرف بهینه گوگرد می‌تواند در خاک‌های آهکی منجربه افزایش میزان فسفر قابل جذب خاک و جذب آن توسط گیاه گردد ولی مصرف بیش از اندازه گوگرد با تبدیل مقدار زیادی از کربنات کلسیم خاک به گچ باعث افزایش شوری خاک و غلظت بالای یون کلسیم در محلول خاک می‌شود. غلظت بالای یون کلسیم در محلول خاک نیز با تبدیل یون‌های فسفات به صورت فسفات‌های مختلف کلسیم منجربه کاهش غلظت فسفر قابل جذب خاک می‌گردد. بنابراین تعیین دقیق مقدار گوگرد مورد نیاز به منظور اجتناب از به هم خوردن تعادل عناصر غذایی در خاک امری لازم و ضروری است. مقدار مصرف بهینه گوگرد نیز به نوبه خود به خصوصیات شیمیایی خاک مانند میزان گچ، آهک، و هیدروکسیدهای آهن و آلومینیم، ظرفیت بافری و pH خاک و طبیعت میزالوژیکی آن بستگی دارد که باید برای هر نوع خاک و در هر منطقه با توجه به شرایط آب و هوایی آن منطقه با آزمایشات مزرعه‌ای تعیین گردد.

امروزه، بیش از هر زمان دیگر، تأمین نیاز گیاهان به عناصر غذایی کافی به منظور تضمین تولید محصول و در نتیجه تأمین امنیت غذایی جامعه بشری، اهمیت دارد. کشاورزان به طور مداوم در تلاشند تا با رفع کمبودهای این عناصر و استفاده بهینه از مصرف کود، تولید محصول را به حد پتانسیل (ژنتیکی) نزدیک کنند.

به‌طورکلی بیشتر آزمایش‌ها و پژوهش‌های انجام شده قبلی در شرایط آزمایشگاهی و یا گلخانه‌ای بوده در صورتی که آنچه برای پژوهشگران و کشاورزان اطلاعات مورد اعتمادتر و قابل استفاده‌تری می‌باشد انجام آزمایش در شرایط واقعی مزرعه است به همین دلیل انجام این آزمایش لازم به نظر می‌رسد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در ایستگاه تحقیقاتی زراعی قراخیل شهرستان قائم‌شهر با آب و هوایی مرطوب و معتدل و میانگین بارندگی ۷۳۸/۷ میلی‌متر در سال ۱۳۸۶ به‌صورت مزرعه‌ای بر روی گیاه سویا انجام شد. قبل از اجرای آزمایش، نمونه مرکب از عمق (۳۰-۰ سانتی‌متری) تهیه شد. پس از هوا خشک شدن و عبور از الک دو میلی‌متری، برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن نظیر بافت به‌روش هیدرومتر (بویوکس، ۱۹۶۲)، کلسیم کربنات معادل به‌روش خنثی کردن با اسید سولفوریک (الیسون و مادی ۱۹۶۵)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع با هدایت‌سنج الکتریکی، pH در خمیر اشباع، فسفر قابل استفاده به‌روش اولسن و همکاران (۱۹۵۴)، غلظت آهن و روی با عصاره‌گیر DTPA (لیندسای و ناول ۱۹۷۸) و ماده آلی با روش اکسیداسیون با اسید کرومیک و سپس تیتر کردن با فرو آمونیوم سولفات (جکسون، ۱۹۷۵) تعیین گردیدند. رقم سویا مورد آزمایش سحر بود که کشت آن در مازندران بسیار رایج است. کشت مزرعه‌ای سویا در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تیمار و در سه تکرار انجام شد. گوگرد عنصری در سه سطح شامل (S_0)، ($S_{1.5}$) و (S_3) که به ترتیب معادل صفر، ۱/۵ و ۳ تن در هکتار گوگرد بود که در همه سطح‌ها مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس مصرف گردید. باکتری تیوباسیلوس از گروه خنثی‌دوست (*Thiobacillus* st) بود و با جمعیت ۲×۱۰^{۷} سلول در هر گرم استفاده شد. کود گوگردی و باکتری تیوباسیلوس قبل کاشت به صورت سطحی به خاک داده و بوسیله دیسک نرم به زیر خاک برده شد. ابعاد هر کرت ۲×۵ متر و در هر کرت، ۴ ردیف سویا کشت گردید. برای اندازه‌گیری عناصر غذایی، نمونه‌گیری در زمان گلدهی و برای تعیین عملکرد و اجزای عملکرد در مرحله رسیدگی کامل از ده بوته انجام شد. میانگین تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن هزار دانه برای تیمارهای مختلف تعیین شد. برای تعیین عملکرد دانه دو ردیف از هر کرت با حذف اثرات حاشیه‌ای برداشت شد و به صورت کیلوگرم در هکتار محاسبه گردید. نتایج بدست آمده با نرم‌افزار MSTATC مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و مقایسه میانگین‌ها به‌کمک آزمون دانکن صورت پذیرفت.

تهیه مایه تلقیح باکتری‌های تیوباسیلوس

برای این منظور از محیط کشت غنی شده[1] زیر استفاده شد این محیط به محیط کشت پستگیت[2] معروف است. $MgSO_4$ (۰/۵ گرم)، $FeSO_4.7H_2O$ (۰/۰۱ گرم)، $Na_2S_2O_3.5H_2O$ (۵ گرم)، $(NH_4)_2SO_4$ (۳ گرم)، KH_2PO_4 (۳ گرم)، $CaCl_2$ (۰/۲۵ گرم) و عناصر کمیاب (۱۰ میلی‌لیتر). حجم نهایی محیط فوق با آب مقطر استریل به ۱۰۰۰ میلی‌لیتر رسید. لازم به ذکر است که محلول KH_2PO_4، $FeSO_4$ و محلول عناصر کم‌مصرف به‌طور جداگانه تهیه و استریل شد. محلول عناصر کم‌مصرف حاوی مواد زیر می‌باشد: $(NH_4).Mo_7O_{24}.4H_2O$ (۰/۱۱ گرم)، $CuSO_4.5H_2O$ (۰/۱۵۷ گرم)، $CoCl_2.6H_2O$ (۰/۱۶۱ گرم)، EDTA (ACETAT) (۵گرم)، $ZnSO_4.7H_2O$ (۲/۲ گرم)، $CaCl_2.7H_2O$ (۰/۷۲۰ گرم)، $MnCl_2.4H_2O$ (۰/۵۰۶ گرم) و $FeSO_4.7H_2O$ (۰/۴۹۹ گرم). حجم نهایی با آب مقطر به ۵۰۰ میلی‌لیتر رسید. محلول KH_2PO_4 نیز جداگانه تهیه و استریل شد. برای این منظور ۳۰ گرم از KH_2PO_4 در۲۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل و استریل شد. ۲۰ میلی‌لیتر از این محلول برای تهیه یک لیتر محیط کشت استفاده شد. pH محیط پستگیت پس از تهیه برابر ۴/۹-۴/۷ می‌باشد، که برای انواع تیوباسیلوس اسید دوست محیطی مناسب است. برای انواع خنثی دوست با KOH یک نرمال، pH محیط بر روی ۷ تنظیم می‌شود. پس از تهیه و استریل مقادیر کافی محیط کشت پستگیت، حدود ۵ درصد کشت خالص باکتری‌های تیوباسیلوس به آن اضافه و در دمای ۲۸^{oC} روی شیکر با چرخش ۱۵۰ دور در دقیقه به مدت ۵ روز قرار گرفت.

نتایج

برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش در جدول (۱) ارائه شده است.

اثر تیمارها بر شاخص‌های اندازه‌گیری شده

تعداد غلاف در بوته

تعداد غلاف در بوته سویا یکی از اجزای مهم عملکرد سویا می‌باشد. از آنجا که تعداد غلاف در بوته یکی از عوامل مرتبط با رشد می‌باشد، هر عاملی که باعث افزایش عملکرد سویا شود بر این ویژگی نیز اثر خواهد گذاشت. اثر گوگرد بر تعداد غلاف در سطح یک‌درصد معنی‌دار است (جدول ۴). بیشترین میزان تعداد غلاف از سطح سه تن در هکتار گوگرد به‌میزان ۶۰/۷۸ عدد و کمترین آن در سطح شاهد بدون گوگرد به‌میزان۵۶/۹۲ عدد بدست آمد (جدول ۲). علاوه بر نقش مستقیم گوگرد بر رشد گیاه، کاربرد گوگرد همراه با باکتری تیوباسیلوس میتواند pH خاک در اطراف ریشه را کاهش و در نتیجه حلالیت عناصر در خاک آهکی را افزایش دهد به این

[1] Enriched medium

[2] Postgate's medium

ترتیب گوگرد می‌تواند به طور مستقیم و غیر مستقیم به رشد و نمو گیاه کمک نماید.

وزن هزار دانه

یکی از اجزای بسیار مهم و تأثیر گذار بر عملکرد دانه سویا، وزن هزار دانه آن می‌باشد. نتایج نشان داد که گوگرد اثر معنی‌داری در سطح یک درصد بر وزن هزار دانه دارد (جدول ۴). بیشترین وزن هزار دانه از سطح سه تن در هکتار گوگرد به‌میزان ۱۴۸ گرم در گیاه و کمترین آن در تیمار شاهد (بدون گوگرد) به‌میزان ۱۲۴/۷ گرم در گیاه بدست آمد (جدول ۲). نتایج مشابهی مبنی بر تأثیر مصرف گوگرد و تیوباسیلوس بر افزایش وزن هزار دانه سویا توسط قربانی نصرآبادی و همکاران (۱۳۸۱) گزارش شده است. یافته‌های بو ام و همکاران (۲۰۰۷) نشان داد که کمبود گوگرد، عملکرد دانه سویا را از طریق تأثیر بر رشد گیاه در دوره پرشدن دانه کاهش می‌دهد. آنها دریافتند که کمبود گوگرد در اواخر دوره رشد ممکن است نتیجه تحرک بالای سولفات در خاک و پویایی مجدد اندک آن در گیاه باشد.

عملکرد دانه

نتایج آماری نشان داد که تأثیر گوگرد بر میزان عملکرد دانه در سطح یک‌درصد معنی‌دار است (جدول ۴). بیشترین میزان عملکرد دانه به‌میزان ۲۴۲۹ کیلوگرم در هکتار از مصرف سه تن گوگرد در هکتار و کمترین مقدار آن به‌میزان ۱۷۲۶ کیلوگرم در هکتار از تیمار شاهد بدون گوگرد بدست آمد (جدول ۲). تأثیر مثبت گوگرد و مایه تلقیح تیوباسیلوس بر عملکرد سویا می‌تواند به نقش مستقیم عنصر گوگرد در تغذیه گیاه از یک طرف و به تأثیر گوگرد در کاهش موضعی pH خاک و انحلال عناصر تثبیت شده در خاکهای آهکی و قلیایی و در نهایت افزایش جذب این عناصر توسط گیاه از طرف دیگر مربوط باشد (روزا، ۱۹۸۹). نورقلی و همکاران (۱۳۸۵) نیز نتایج مشابهی را مبنی بر تأثیر مثبت گوگرد و تیوباسیلوس بر افزایش عملکرد سویا گزارش نموده‌اند.

فسفر برگ

اثر سطوح گوگرد بر غلظت فسفر برگ در سطح یک‌درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). بالاترین میزان فسفر از مصرف سه تن در هکتار گوگرد و کمترین آن از سطح شاهد (بدون گوگرد) بدست آمد (جدول ۳). با افزودن گوگرد به خاک‌های آهکی، واکنش این خاک‌ها در نقاط ریز[1] اطراف ریشه‌ها کاهش یافته و لذا قابلیت جذب فسفر افزایش یافته و شرایط برای رشد گیاه نیز بهبود می‌یابد. گودرزی (۱۳۸۳) گزارش کرد که مصرف گوگرد در خاک‌های آهکی سبب افزایش غلظت فسفر در بافت گیاه گندم می‌شود.

غلظت عناصر کم‌مصرف در برگ

نتایج تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که گوگرد اثر معنی‌داری بر غلظت آهن و روی برگ در سطح یک‌درصد دارد (جدول ۵). بیشترین غلظت این عناصر از مصرف سه تن گوگرد در هکتار و کمترین غلظت از تیمار شاهد بدون گوگرد بدست آمد (جدول ۳). عواملی که حلالیت این عناصر در خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهند، قابلیت جذب آنها را برای گیاهان تعیین می‌کنند. از جمله مهمترین این عوامل pH خاک می‌باشد. اکسیداسیون گوگرد و کاهش موضعی pH خاک موجب افزایش قابلیت جذب این عناصر در خاک شده که موجبات جذب بیشتر آنها را توسط گیاه فراهم می‌آورد (الیسون و مادی، ۱۹۶۵). کاپلان و ارمان (۱۹۹۸) هم در یک خاک آهکی نتایج مشابهی مبنی بر افزایش جذب عناصر کم‌مصرف توسط گیاه سورگوم گزارش نموده‌اند.گودرزی (۱۳۸۳) گزارش کرد که مصرف گوگرد در خاک‌های شدیداً آهکی موجب افزایش ۳۹ درصدی غلظت آهن در بافت گندم شد. در صورت مخلوط شدن گوگرد با خاک و اکسید شدن آن نقاط اسیدی به وجود می‌آید که محیط مناسبی برای انحلال و جذب بیشتر و سریعتر آهن، روی، مس و منگنز فراهم نماید.

واکنش خاک

اثر سطوح مختلف گوگرد بر واکنش خاک در سطح یک‌درصد معنی دار بود (جدول ۵). با افزایش مقدار گوگرد مصرفی، واکنش خاک به طور معنی‌داری کاهش یافت. بیشترین میزان کاهش واکنش خاک، مربوط به سطح سه تن در هکتار گوگرد بود که ۴/۷۹ درصد از تیمار شاهد بدون گوگرد کمتر بود (جدول ۳). گوگرد در خاک و در حضور باکتری‌های اکسید کننده بویژه باکتری‌های تیوباسیلوس به اسید سولفوریک تبدیل شده و موجبات کاهش واکنش خاک را فراهم می‌آورد. کاپلان و ارمان (۱۹۹۸) و مودایهش و همکاران (۱۹۸۹) نتایج مشابهی از استفاده از گوگرد عنصری بر واکنش خاک گرفتند. pH خاک محل آزمایش در اثر مصرف ۳ تن گوگرد عنصری به میزان ۰/۳ واحد کاهش یافته است که با نتایج به دست آمده از مصرف گوگرد در سایر خاک های آهکی ایران و توسط متخصصین دیگر مانند خادم (۱۳۸۶) و صیامی (۱۳۸۶) هماهنگی دارد.

---

1. Micro-sites

نتیجه‌گیری کلی و بحث

بررسی وضعیت عناصر غذایی در خاک‌های آهکی و قلیایی نشان می‌دهد که علیرغم وجود مقادیر فراوان برخی از عناصر غذایی در این خاک‌ها، فرم محلول و قابل جذب آن‌ها کمتر از مقدار لازم برای رشد و نمو گیاه بوده و کمبود این عناصر یکی از عوامل محدود کننده تولید محصول در این خاک‌ها محسوب می‌شود. در این خاک‌ها فسفر بومی و فسفر اضافه شده به صورت کود به صورت فسفات‌های نامحلول کلسیم و منیزیم رسوب کرده و تثبیت می‌شود. علاوه بر این به دلیل pH بالای این خاک‌ها عناصر کم مصرف به جز مولیدن به صورت ترکیبات نامحلول درآمده و علایم کمبود آن‌ها در گیاهان ظاهر می‌شود. برای رفع این مشکلات و برای دستیابی به عملکرد مطلوب در چنین خاک‌هایی ناگزیر به استفاده از گوگرد به عنوان یک ماده اصلاحی ارزان قیمت برای کاهش موضعی pH خاک و افزایش حلالیت و قابلیت جذب عناصر فسفر و کم مصرف می‌باشیم. از آنجا که کارایی گوگرد درآزادسازی عناصر غذایی به عوامل متعددی از جمله وجود شرایط لازم برای اکسیداسیون بیولوژیک آن، مقدار گوگرد مصرف شده و ظرفیت بافری خاک دارد، لذا تعیین مقدار مناسب گوگرد مصرفی در خاک های آهکی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

در این تحقیق غلظت آهن، مس و روی در تیمارهای حاوی گوگرد پایین‌تر از حد مسمومیت بود ولی غلظت منگنز در حد مسمومیت اندک می‌باشد.

در بین عناصر کم مصرف، منگنز تنها عنصری است که می‌تواند در غلظت‌های بالا در بافتها وجود داشته باشد بدون اینکه گیاه را مسموم کند. بیشترین فاصله بین حد کفایت و حد مسمومیت برای این عنصر وجود دارد به همین دلیل غلظت زیاد آن مسمومیت شدیدی ایجاد نمی‌نماید. در نمونهٔ خاک محل آزمایش قبل از مصرف گوگرد، غلظت منگنز ۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بود که نشان‌دهنده آن است که خاک محل آزمایش از منگنز کافی برخوردار است. به همین دلیل کاربرد گوگرد فراهمی منگنز را تا سر حد مسمومیت برای گیاه افزایش داده است. به طوری که غلظت منگنز برگ در تیمار حاوی گوگرد در حد مسمومیت خفیف قرار دارد. بنابراین قبل از کاربرد گوگرد باید به این نکته توجه داشت که خاک از نظر همه عناصر کم مصرف و فسفر دچار کمبود باشد. همان طوری که مصرف گوگرد به مقدار کمتر از حد لازم در بهبود شرایط خاک مؤثر واقع نخواهد شد مصرف بیش از اندازه آن نیز باعث افزایش شوری خاک، کاهش غلظت فسفر قابل جذب و افزایش غلظت بعضی از عناصر کم مصرف تاسر حد مسمومیت برای گیاه می‌شود که نهایتاً کاهش عملکرد را به دنبال دارد.

به‌طورکلی نتیجه این پژوهش نشان می‌دهد که برای خاک‌های با درصد آهک بالا مصرف ۳ تن گوگرد عنصری در هکتار به همراه باکتری تیوباسیلوس می‌تواند به افزایش قابلیت جذب فسفر و عناصر کم مصرف و نهایتاً افزایش عملکرد گیاه سویا کمک نماید.

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و میزان قابل جذب بعضی از عناصر غذایی در خاک محل آزمایش

واکنش خاک	شوری خاک ($dS.m^{-1}$)	بافت خاک	درصدکربنات کلسیم معادل	فسفر قابل جذب خاک ($mg.kg^{-1}$)	آهن قابل جذب خاک ($mg.kg^{-1}$)	منگنز قابل جذب خاک ($mg.kg^{-1}$)	روی قابل جذب خاک ($mg.kg^{-1}$)	مس قابل جذب خاک ($mg.kg^{-1}$)
۷/۶۸	۱/۶۷	رسی	۵۵/۵	۱۶/۰	۱/۲	۵/۰	۰/۶	۱/۰

جدول ۲- اثرات سطوح گوگرد بر اجزای عملکرد و عملکرد دانه سویا *

سطوح گوگرد (تن در هکتار)	تعداد غلاف- در بوته	وزن ۱۰۰۰ دانه (گرم)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)
S_0	۵۶/۹۲ b	۱۲۴/۷ c	۱۷۲۶ c
$S_{1.5}$	۶۰/۷۲ a	۱۳۵/۷ b	۱۹۸۸ b
S_3	۶۰/۷۸ a	۱۴۸/۰a	۲۴۲۹ a

* میانگین‌هایی که در هر ستون حداقل یک حرف مشترک دارند، از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با هم ندارند

جدول ۳- اثر سطوح گوگرد بر غلظت فسفر، منگنز، روی، مس و آهن برگ سویا و واکنش خاک*

سطوح گوگرد (تن در هکتار)	فسفر برگ	روی برگ	منگنز برگ	مس برگ	آهن برگ	واکنش خاک
	درصد	میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک				در نسبت ۱به۱ آب به خاک
S0	۰/۴۵ c	۹۵/۸۴ c	۸۵۲/۱ c	۴۸/۱۱ c	۲۲۷/۱ c	۷/۶۵ a
S1.5	۰/۵۳ b	۱۰۸/۶ b	۱۰۲۵/۰ b	۵۳/۶۶ b	۲۶۶/۰ b	۷/۳۵ b
S3	۰/۵۸ a	۱۲۵/۷ a	۱۱۴۹/۰ a	۶۱/۸۹ a	۲۹۷/۳ a	۷/۳۰ c

* میانگین‌هایی که در هر ستون حداقل یک حرف مشترک دارند، از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با هم ندارند

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس اثر گوگرد بر عملکرد و اجزای عملکرد[1]

	میانگین مربعات			
منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد دانه	وزن هزاردانه	تعداد غلاف در بوته
سطوح گوگرد (S)	۲	۱۵۰۵۰۳۶/۴۴۹**	۴۸۹۲/۷۴۷ **	۱۷۶/۳۶۱ **
C.V. (درصد)		۸/۱۰	۸/۰۲	۲/۳۰

** معنی‌دار در سطح یک‌درصد می‌باشد

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس اثر گوگرد بر غلظت عناصر در برگ و واکنش خاک[1]

	میانگین مربعات						
منابع تغییرات	درجه آزادی	فسفر برگ	آهن برگ	منگنز برگ	روی برگ	مس برگ	واکنش خاک
سطوح گوگرد (S)	۲	۰/۱۶۷ **	۴۴۴۴۹/۴۵۹ **	۷۹۸۸۲۳/۰۵۰ **	۸۰۶۶/۵۶۳**	۱۷۲۹/۷۷۱ **	۱/۲۸۷**
C.V. (درصد)		۱۲/۱۰	۱۵/۷۴	۷/۰۷	۷/۳۳	۱۴/۷۲	۰/۵۶

** معنی‌دار در سطح یک‌درصد می‌باشد

فهرست منابع:

۱. بشارتی، ح. ۱۳۸۶. تأثیر مصرف گوگرد و ماه تلقیح تیوباسیلوس بر آهن جذب شده توسط ذرت در یک خاک آهکی. مجموعه مقالات دهمین کنگره علوم خاک ایران، کرج.

۲. بشارتی‌کلایه، ح. ۱۳۷۷. بررسی اثرات کاربرد گوگرد همراه با گونه‌های تیوباسیلوس در افزایش جذب برخی از عناصر در خاک. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.

۳. خادم، ا. ۱۳۸۶. تأثیر مواد آلی و گوگرد بر قابلیت جذب فسفر و عناصر کم‌مصرف در خاک‌های آهکی،گچی و اسیدی. پایان نامه کارشناسی‌ارشد دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان، زنجان. ایران.

۴. رشیدی، ن. و ن. ع. کریمیان. ۱۳۷۸. تأثیر گوگرد و روی بر رشد و ترکیب شیمیایی ذرت دریک خاک آهکی. چکیده مقالات ششمین کنگرهٔ علوم خاک ایران، مشهد.

۵. سپهوند، م. ۱۳۸۲. بررسی تمایز مقادیر مختلف گوگرد به صورت مصرف خالی بر عملکرد دانه و کیفیت دانه سویا، سومین همایش ملی توسعهٔ کاربرد مواد بیولوژیک و استفاده بهینه از کود و سم در کشاورزی، نشر آموزش کشاورزی، کرج، تهران، ص. ۹۸-۹۹.

۶. صیامی، ا. ۱۳۸۶. بررسی روند اکسیداسیون گوگرد و ارتباط آن با آزاد شدن برخی از عناصر غذایی در خاک‌های آهکی زیر کشت گندم. پایان نامه کارشناسی ارشد زنجان. ایران

۷. قربانی نصرآبادی، ر.، ن. صالح راستین و ح.ع. علیخانی. ۱۳۸۱. بررسی تأثیر مصرف گوگرد با مایه تلقیح تیوباسیلوس و برادی ریزوبیوم بر تثبیت نیتروژن و شاخص‌های رشد سویا. مجله علوم خاک و آب. جلد۱۶، شماره۲. ص ۱۷۸-۱۷۰.

۸. گودرزی، ک. ۱۳۸۳. بررسی اثرات گوگرد و کمپوست بر افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی خاک و عملکرد گندم. روش‌های نوین تغذیه گندم (مجموعه مقالات). دفتر طرح خودکفایی گندم-وزارت جهاد کشاورزی. تهران، ایران.

۹. نورقلی‌پور، ف.، ک. خاوازی.، ح. بشارتی و ع. ا. فلاح. ۱۳۸۵. 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. جلد۲۰. شماره۱. ص ۱۳۲-۱۲۲.

10. Allison, L. E. and C. D. Modie. 1965. Carbonate. pp. 1379-1396 *In:* C. A. Black (Ed.), Methods of soil Analysis. Part II, Am. Soc. Agron., Madison, WI.
11. Bao, L. 1998. The changes of fertilizer structure & effectiveness in China, jaingxi Scientific and Technology publisher, China.
12. Boem, G. F. H., P. Prysupa and G. Ferraris. 2007. Seed number and yield determination in sulfur deficient soybean crops. J. Plant Nutr. 30(1): 93-104.
13. Bouyoucos, G. J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil. Agron. J. 54: 464-465.
14. Cifuentes. F. R. and W. C. Lindeman. 1993. Organic matter simulation of elemental sulfur oxidation in a calcareous soil. J. Soil Microbiol. Biochem. 57: 727-731.
15. Deluca, T. H., E. O. Skogley and R. E. Engle. 1989. Band-applied elemental sulfur to enhance the phytoavailability of phosphorus in alkaline calcareous soils, Biol. Fert. Soils. 7: 346-350.
16. Jackson, M. L. 1975. Soil chemical analysis. Advance course, Dept. Soil, College Agric., Univ. Wis., Madison, WI.
17. Kachhave, K. G., S. D. Gawand and O. D. Kohire. 1997. Uptake of nutrients by chickpea, J. Indian Soc. Soil Sci. 45: 590-591.
18. Kalbasi, M., F. Filsoof and Y. Rezaei-Nejad. 1988. Effect of Sulfur treatment on yield and uptake of Fe, Zn and Mn by corn. sorghum and soybean. J. Plant Nutr. 11(6-11): 1353-1360.
19. Kaplan, M. and S. Orman. 1988. Effect of elemental sulfur and containing waste in a calcareous soil in Turkey. J. Plant Nutr. 21: 1655-1665.
20. Lindsay, W. L. and W. A. Novell. 1978. Development of DTPA test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Sci. Am. J. 42: 421-428.
21. Modaihsh, S., W. A. Al-mustafa and A. E. Metwally. 1989. Effect of elemental sulfur in chemical changes and nutrient availability in calcareous soils. Plant Soil, 116: 95-101.
22. Olsen, S. R. C., V. Cole, F. S. Watanabe and L. A. Dean. 1954. Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate, USDA. Cir. 939. US Govern. Printing Office, Washington, DC.
23. Rosa, M. C., J. J. Muchovej and V. H. Alvarez. 1989. Temporal relations of phosphorus fractions in an oxisoil amended with rock phosphate and *Thiobacillus thiooxidatons*. Soil Sci. Soc. Am. J. 53: 1096-1100.