

تأثیر کاربرد گوگرد، باکتری تیوباسیلوس و فسفر بر عملکرد و جذب عناصر غذایی گندم در یک خاک آهکی

* کاظم خاوازی^۱، وحیداله جهاننیده مهجن آبادی^۲ و فرهاد تقی پور^۳

^۱استاد پژوهش مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشگاه شیراز، آرمبی پژوهش مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سمنان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
تاریخ دریافت: ۹۶/۴/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۹/۲۸

چکیده

سابقه و هدف: بررسی وضعیت عناصر غذایی در خاک‌های آهکی نشان می‌دهد که با وجود مقادیر فراوان برخی از عناصر غذایی (مانند فسفر، آهن و روی) در این خاک‌ها، فرم قابل جذب این عناصر کم‌تر از مقدار لازم برای رشد گیاه بوده و کمبود عناصر غذایی یکی از عوامل محدودکننده تولید محصول گیاهان به‌ویژه گندم در این خاک‌ها محسوب می‌شود. افزودن گوگرد و تلقیح خاک با باکتری تیوباسیلوس ممکن است دسترسی عناصر غذایی در خاک‌های آهکی را بهبود بخشد و در نتیجه سبب افزایش رشد گیاهان زراعی شود. هدف از این پژوهش بررسی تأثیر کاربرد گوگرد و باکتری تیوباسیلوس بر عملکرد و جذب عناصر غذایی گندم در سطوح مختلف فسفر یک خاک آهکی و در شرایط مزرعه بود.

مواد و روش‌ها: در سال ۲۰۱۱ آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار سطح گوگرد به همراه باکتری تیوباسیلوس (بدون مصرف گوگرد و تیوباسیلوس (S0T0)، مصرف ۵۰۰ کیلوگرم گوگرد + ۱۰ کیلوگرم تیوباسیلوس (S500T10)، ۱۰۰۰ کیلوگرم گوگرد + ۲۰ کیلوگرم تیوباسیلوس (S1000T20) و ۲۰۰۰ کیلوگرم گوگرد + ۴۰ کیلوگرم تیوباسیلوس (S2000T40) در هکتار) و سه سطح کود سوپر فسفات تریپل (بدون مصرف فسفر (P0)، مصرف ۶۵ (P65%) و ۱۰۰ (P100%) درصد فسفر بر اساس آزمون خاک) با سه تکرار در شرایط مزرعه انجام شد. قبل از گرده‌افشانی نمونه برگ تهیه و میزان عناصر غذایی فسفر، روی و آهن در آنها اندازه‌گیری گردید. پس از برداشت گندم اجزای عملکرد نظیر عملکرد دانه و کاه، طول خوشه و وزن هزاردانه در هر تیمار اندازه‌گیری شد. سپس از هر کرت ۵ کیلوگرم خاک مرکب از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری تهیه و پس از هواخشک و عبور از الک دو میلی‌متری، غلظت عناصر فسفر، روی و آهن خاک تعیین گردید.

یافته‌ها: با کاربرد گوگرد به همراه باکتری تیوباسیلوس اجزای عملکرد و جذب عناصر آهن، روی و فسفر برگ گندم نسبت به تیمار شاهد افزایش یافتند اگرچه در مورد عملکرد دانه، عملکرد کاه و جذب آهن بین سطوح مختلف گوگرد به همراه باکتری تیوباسیلوس اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید. مصرف فسفر سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه، عملکرد کاه، وزن هزاردانه و جذب عناصر آهن و فسفر برگ گیاه گردید ولی بین تیمارهای ۶۵٪ توصیه کودی

* مسئول مکاتبه: khavazik@yahoo.com

بر اساس آنالیز خاک و ۱۰۰٪ مصرف آن، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در شرایط عدم استفاده از فسفر (P0) با مصرف ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد توأم با ۲۰ کیلوگرم در هکتار باکتری تیوباسیلوس (S1000T20)، عملکرد دانه، عملکرد کاه و طول خوشه نسبت به شاهد افزایش یافت (به ترتیب ۱۲۴، ۱۲۳ و ۳۱ درصد) اما با افزایش بیش‌تر سطوح گوگرد و باکتری، روندی کاهشی در پارامترهای مذکور مشاهده شد. بیش‌ترین جذب آهن و فسفر برگ گیاه به ترتیب در تیمارهای مرکب S1000T20+P100% و S2000T20+P65% مشاهده شد. با افزایش سطح گوگرد به همراه باکتری تیوباسیلوس غلظت روی و pH خاک کاهش یافتند و کم‌ترین مقادیر این ویژگی‌ها در بالاترین سطح گوگرد و باکتری مشاهده شد. در تمام سطوح مصرف فسفر، کاربرد ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد به همراه ۱۰ کیلوگرم در هکتار باکتری تیوباسیلوس (S500T10) موجب افزایش غلظت فسفر در خاک شد و بیش‌ترین غلظت فسفر خاک در تیمار S500T10+P65% (۳۱ درصد بیش‌تر نسبت به تیمار S0T0+P0) به دست آمد.

نتیجه‌گیری: در شرایط عدم استفاده از گوگرد و باکتری تیوباسیلوس، مصرف ۶۵٪ توصیه کودی فسفر برای حصول عملکرد بهینه برای گندم مناسب می‌باشد. مصرف گوگرد به مقدار ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار به همراه استفاده از ۲۰ کیلوگرم در هکتار باکتری تیوباسیلوس در شرایط عدم استفاده از فسفر (P0) برای استفاده در بخش کشاورزی و افزایش عملکرد گندم قابل توصیه است.

واژه‌های کلیدی: اجزای عملکرد گندم، باکتری اکسیدکننده گوگرد، عناصر غذایی خاک، گوگرد، خاک آهکی

مقدمه

ایران، به دلیل آهکی بودن خاک، از متوسط تولید جهانی پایین‌تر می‌باشد. بررسی وضعیت عناصر غذایی در خاک‌های آهکی نشان می‌دهد که به‌رغم 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 محدودکننده تولید محصول در این خاک‌ها محسوب می‌شود (۲۵، ۳۱ و ۳۲). یکی از روش‌های متداول جهت رفع کمبود عناصر غذایی کمبود عناصر غذایی در خاک‌های آهکی استفاده از کودهای شیمیایی حاوی این عناصر می‌باشد، اما این روش چندان مؤثر و کارا نیست زیرا عناصر غذایی به‌سرعت به‌شکل غیرقابل دسترس تبدیل می‌گردند (۴۰). برای نمونه در خصوص فسفر، علاوه بر قیمت کودهای فسفری، بازده آن‌ها در خاک‌های مذکور از ۲۰ درصد تجاوز نمی‌کند (۲۹). از طرف دیگر کاربرد بی‌رویه

طبق برآوردهای صورت گرفته، جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ به حدود ۹/۱ میلیارد نفر یعنی ۳۴ درصد بالاتر از میزان کنونی خواهد رسید. بنابراین، تأمین غذای جمعیت در حال رشد جهان با تولید بیش‌تر محصولات کشاورزی توأم گشته است (۲). خانواده غلات حدود ۷ درصد از غذای مردم کره زمین را تأمین می‌کند و در این میان گندم مهم‌ترین غله محسوب می‌شود. گندم یکی از محصولات استراتژیک کشور بوده که بالغ بر ۴۵ درصد پروتئین و ۵۵ درصد کالری کشور را تأمین می‌کند و به شکل‌های مختلف مثل نان، شیرینی‌های مختلف، مواد نشاسته‌ای، مواد پروتئینی و غیره مصرف می‌شود (۲۲). بنابراین لزوم انجام پژوهش‌های همه‌جانبه در مورد این گیاه به‌خصوص استفاده صحیح و بهینه از کودهای شیمیایی و به‌ویژه فسفر ضروری به‌نظر می‌رسد. این در حالی است که عملکرد گندم در واحد سطح در

افزایش غلظت فسفر قابل دسترس شد. کاهش pH خاک در خاک قلیایی بدون گوگرد، در شرایط غرقاب بیشترین مقدار بود و در خاک آهکی با گوگرد در شرایط رطوبتی ۶۰٪ در مرحله‌ای که اکسیداسیون گوگرد سریع بود، باعث بهبود شرایط خاک جهت دسترسی به عناصر گردید (۱۶). نتایج پژوهش جلیلی و همکاران (۲۰۱۳) نشان‌دهنده آن است که با افزایش گوگرد و کود دامی عملکرد، اجزاء عملکرد و درصد پروتئین گندم افزایش یافت، به طوری که در مورد گوگرد بیشترین افزایش در همه صفات مورد مطالعه مربوط به مصرف ۶۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار بود (۱۷). مومن و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که افزایش میزان گوگرد سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه، وزن هزاردانه، تعداد دانه در سنبله، ارتفاع بوته و شاخص سطح برگ گندم شد (۲۲). گودرزی (۲۰۰۱) در بررسی اثر گوگرد و کمپوست بر افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی خاک و عملکرد گندم نشان داد که مصرف گوگرد عملکرد دانه گندم را ۱۹۰ کیلوگرم در هکتار نسبت به شاهد افزایش داد. در این پژوهش همچنین مصرف گوگرد سبب افزایش غلظت عناصر غذایی فسفر، پتاسیم، آهن، روی و مس در دانه گندم گردید (۱۳). با این وجود به دلیل سرعت کند اکسایش گوگرد در خاک‌های آهکی، شرط بهره‌گیری از این توان بالقوه گوگرد، حضور باکتری‌های اکسیدکننده این ماده در خاک است. زیرا، اگرچه باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد به‌طور طبیعی در خاک‌های کشاورزی وجود دارند، اما یا تعداد آن‌ها در این خاک‌ها کم بوده و یا این که باکتری‌های بومی موجود کارایی لازم را نداشته که باید برای به‌دست آوردن تأثیر رضایت‌بخش آن‌ها، این باکتری‌ها به خاک اضافه گردند (۳۵). بدین ترتیب، کاربرد باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد و به‌ویژه جنس تیوباسیلوس، مرحله مهمی در استراتژی کوددهی گوگرد

کودهای شیمیایی به‌منظور افزایش تولید محصولات کشاورزی در واحد سطح، سبب ایجاد آلودگی‌های محیط زیست و به‌ویژه آلودگی منابع خاک و آب شده که پیوسته به منابع غذایی انسان راه یافته و سلامت جامعه بشری را تهدید می‌کند. گوگرد از جمله از عناصر مورد نیاز گیاهان است و به‌دلیل افزایش کاربرد کودهای بدون گوگرد و نیاز بالای گیاهان، کمبود این عنصر در خاک‌های زراعی جهان رو به افزایش است. گوگرد در ساختمان اسیدهای آمینه، پروتئین، روغن و در نتیجه در بهبود کمیت و کیفیت محصولات کشاورزی دارای اهمیت ویژه‌ای است (۱۴ و ۳۸). گوگرد در خاک‌های آهکی دارای اثرات جانبی نیز می‌باشد زیرا این عنصر مهم‌ترین ماده اسیدزا بوده که استفاده از آن به‌منظور افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی تثبیت شده و تأمین سولفات مورد نیاز گیاه به‌دلیل صرفه اقتصادی در بسیاری از مناطق دنیا متداول بوده و سابقه دیرینه دارد (۳۳ و ۳۶).

پژوهش‌گران گزارش کرده‌اند که مصرف گوگرد و تولید اسید سولفوریک در نتیجه اکسایش آن، باعث کاهش pH خاک و افزایش دسترسی فسفر می‌شود (۴۲). اخوان و فلاح نصرت‌آباد (۲۰۱۳) نیز در یک آزمایش گلخانه‌ای، کاهش pH به میزان ۱/۰۵ واحد نسبت به خاک اولیه و افزایش میزان جذب فسفر توسط بوته‌های کلزا در نتیجه کاربرد گوگرد را مشاهده نمودند (۳). ژاجی و همکاران (۲۰۰۵) تأثیر کاربرد گوگرد عنصری را در سه رژیم رطوبتی مختلف (۴۰، ۶۰ و ۱۲۰٪) و سه رژیم دمای متفاوت (۱۲، ۲۴ و ۳۶ درجه سانتی‌گراد) بر تغییرات pH و قابلیت دسترسی فسفر در سه نوع خاک اسیدی (pH=۴/۹)، خنثی (pH=۷/۱) و قلیایی (pH=۱۰/۲) مورد بررسی قرار دادند. اکسیداسیون گوگرد باعث کاهش pH خاک قلیایی گردید و در نتیجه باعث

غذایی گندم در یک خاک آهکی، به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار در مرکز پژوهش‌های کشاورزی و منابع طبیعی سمنان (شاهرود) انجام شد. عوامل آزمایش شامل مصرف گوگرد به همراه باکتری تیوباسیلوس و مصرف کود سوپر فسفات تریپل بودند. سطوح مصرف گوگرد و باکتری تیوباسیلوس شامل: بدون مصرف گوگرد و باکتری (S0T0)، مصرف گوگرد به میزان ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار توأم با مصرف باکتری تیوباسیلوس به میزان ۱۰ کیلوگرم در هکتار (S500T10)، مصرف گوگرد به میزان ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار توأم با مصرف باکتری تیوباسیلوس به میزان ۲۰ کیلوگرم در هکتار (S1000T20) و مصرف گوگرد به میزان ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار توأم با مصرف باکتری تیوباسیلوس به میزان ۴۰ کیلوگرم در هکتار (S2000T40) و سطوح مصرف کود سوپر فسفات تریپل شامل: بدون مصرف کود سوپر فسفات تریپل به میزان ۶۵٪ (P65%) آزمون خاک (۶۵ کیلوگرم در هکتار) و مصرف کود سوپر فسفات تریپل به میزان ۱۰۰ درصد (P100%) بر اساس آزمون خاک (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) بودند. بنابراین آزمایش شامل ۱۲ تیمار بود که در مجموع با توجه به سه تکرار برای هر تیمار، آزمایش شامل ۳۶ کرت بود.

باکتری تیوباسیلوس مورد استفاده از بانک ریزجانداران مؤسسه تحقیقات خاک و آب تهیه شد. برای تهیه مایه تلقیح باکتری از محیط کشت پستگیت (۷ گرم $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ، ۳/۵ گرم $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ، ۷ گرم MgSO_4 ، ۰/۰۱ گرم $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ، ۰/۴ گرم $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ، ۱۵ میلی‌لیتر عناصر ریزمغذی) (۲۸) استفاده شد. پس از تهیه محیط کشت، باکتری مورد نظر تکثیر (در دمای ۲۵-۲۸ درجه سانتی‌گراد و بر روی شیکر با چرخش ۱۲۰ دور در دقیقه به مدت چهار روز) و با استفاده از ماده حامل پرلیت، مایه

به منظور تأمین عنصر گوگرد مورد نیاز گیاه و افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی در خاک‌های آهکی می‌باشد (۹ و ۳۵).

محمدی‌آریا و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که کاربرد گوگرد در خاک‌های آهکی و اکسایش آن توسط باکتری‌های جنس تیوباسیلوس، ضمن کاهش موضعی pH خاک می‌تواند نقش مؤثری در افزایش قابلیت جذب فسفر داشته باشد (۲۴). نتایج آزمایش‌ها بیانگر آن است که باکتری تیوباسیلوس قادر به افزایش رشد گیاه در شرایط نامناسب رشدی می‌باشد (۳). به طوری که افزایش عملکرد گیاهان مختلف تحت تأثیر گوگرد و باکتری تیوباسیلوس در مناطقی با آب و هوای خشک و نیمه‌خشک از ایران که دارای خاک‌های آهکی با قابلیت جذب عناصر غذایی کم و به‌ویژه فسفر می‌باشند گزارش شده است (۸ و ۳۱). در چنین شرایطی، استفاده از باکتری تیوباسیلوس ممکن است به دلیل افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی موجب کاهش مصرف کودهای شیمیایی مثل فسفر گردد (۱۱).

با عنایت به فراوانی گوگرد و اثرات مفید آن بر گیاهان و خاک و با توجه به این‌که هر گونه بسترسازی در زمینه مصرف گوگرد در خاک‌های ایران در قدم اول مستلزم وجود مستندات علمی جامعی است که به طور دقیق نتایج مورد انتظار از مصرف گوگرد را در سطح قابل‌قبولی از آزمایشات مزرعه‌ای اثبات نماید، بنابراین هدف از پژوهش حاضر بررسی اثر گوگرد، باکتری تیوباسیلوس و فسفر بر عملکرد و جذب برخی عناصر غذایی گندم در یک خاک آهکی در شرایط مزرعه‌ای بود.

مواد و روش‌ها

این پروژه به منظور بررسی تأثیر گوگرد، باکتری تیوباسیلوس و فسفر بر عملکرد و جذب عناصر

قبل از شروع آزمایش از خاک مزرعه مورد آزمایش، شش کیلوگرم نمونه خاک مرکب تهیه و پس از عبور از الک دو میلی متری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن‌ها از جمله مقادیر OC (۳۹)، EC، TNV، P، K (۲۷)، pH (۳۷) و بافت خاک (۱۲) اندازه‌گیری شد (جدول ۱).

تلقیح‌های یک کیلوگرمی با تراکم جمعیت حدود 10^7 سلول در گرم مایه تلقیح تهیه و در پلاستیک‌های مناسب بسته‌بندی شدند.

برای انجام آزمایش، مزرعه مورد نظر به گونه‌ای انتخاب شد تا خاک آن از لحاظ فسفر زیر حد بحرانی یعنی ۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم برای گندم باشد (۲۰).

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه.

Table 1. Selected physical and chemical characteristics of the studied soil.

بافت خاک Soil texture	پتاسیم Potassium	فسفر Phosphorus	کربن آلی Organic carbon	کربنات‌کلسیم معادل Total neutralizing value	واکنش خاک pH	هدایت الکتریکی Electrical conductivity (dS m^{-1})
	(mg kg^{-1})			%		
رسی لای Silty clay	285	9.5	1.4	36	7.2	6.1

با توجه به نتایج آنالیز خاک میزان کودهای مورد نیاز تعیین شد (۲۰). منابع کودی شامل اوره، سولفات پتاسیم، سولفات روی، سولفات منگنز، سولفات مس و اسید بوریک بودند. پتاسیم و عناصر کم‌مصرف در زمان کشت و اوره را در سه نوبت به صورت $1/3$ زمان کاشت، $1/3$ زمان پنجه‌زنی و $1/3$ زمان ساقه رفتن مصرف شد.

قبل از گرده‌افشانی از برگ‌های پرچم نمونه برگ تهیه و سپس به منظور اندازه‌گیری برخی عناصر غذایی در آن از روش سوزاندن و ترکیب با اسید کلریدریک استفاده گردید. بدین صورت که فسفر به روش اولسن (۱۹۸۲) و با استفاده از دستگاه طیف‌سنج مدل Pharmacia LKB.Novaspec II (۲۶) و روی و آهن با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل PinAAcle 900f (۱۸) اندازه‌گیری گردیدند. در مرداد ۱۳۹۱ برداشت از دو ردیف وسط با حذف یک متر از ابتدا و انتها انجام گرفت. بدین ترتیب سطح برداشت هشت مترمربع بود. پس از برداشت گندم پارامترهای تولید مانند عملکرد دانه و کاه، طول خوشه

برای کشت گیاه گندم مساحت هر کرت ۳۰ مترمربع شامل شش ردیف به فاصله ۵۰ سانتی‌متر و طول ۱۰ متر انتخاب گردید که چهار ردیف وسط کشت و دو ردیف اول و ششم به صورت نکاشت باقی‌مانده و مرز محسوب شد. لازم به ذکر است که در هر کرت فقط هشت متر از ۱۰ متر کشت شد و دو متر انتهایی بدون کشت باقی ماند. فاصله بین دو کرت یک متر و فاصله بین تکرار نیز سه متر بود. زمان کشت گیاه گندم آبان ۲۰۱۱ و رقم مورد استفاده رقم پیشناز بود. سوپر فسفات تریپل مورد نیاز هر تیمار بر اساس طرح محاسبه و در زمان کاشت مصرف شد. گوگرد مصرفی نیز گوگرد گرانوله‌ای بود که توسط پژوهشگاه صنعت نفت در خانگیران تولید و در اختیار مؤسسه تحقیقات خاک و آب قرار گرفته بود. برای اعمال تیمارهای گوگردی دو هفته قبل از کاشت، ابتدا گوگرد و باکتری تیوباسیلوس به خوبی با هم مخلوط شده و سپس به کرت مورد نظر اضافه و پس از مخلوط شدن یکنواخت با خاک، جوی و پشته‌ها ایجاد شد.

کمتر از حد بحرانی خاک که ۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم است می‌باشد (۲۰). یکی از دلایل این مقدار فسفر آهکی بودن خاک مورد مطالعه و بالا بودن کربنات کلسیم معادل (۳۶ درصد) است. از آنجایی که کاهش قابلیت جذب فسفر در این خاک‌ها از دلایل کاهش کمیت و کیفیت اکثر محصولات کشاورزی می‌باشد بنابراین لزوم افزایش قابلیت جذب فسفر در این خاک امری ضروری به نظر می‌رسد.

نتایج نشان داد که کاربرد منفرد و توأم گوگرد به همراه باکتری تیوباسیلوس و فسفر تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه، عملکرد کاه و طول خوشه در سطح احتمال ۱ درصد داشتند. این در حالی است که کاربرد منفرد گوگرد به همراه باکتری تیوباسیلوس و توأم آن با فسفر در سطح احتمال ۵ درصد و کاربرد منفرد فسفر در سطح احتمال ۱ درصد بر وزن هزاردانه معنی‌دار گشتند (جدول ۲).

و وزن هزاردانه در هر تیمار اندازه‌گیری شد. بعد از برداشت از هر کرت ۵ کیلوگرم خاک مرکب از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری تهیه و پس از هواخشک و عبور از الک دو میلی‌متری، میزان عناصر فسفر خاک به روش اولسن (۱۹۸۲) با استفاده از دستگاه طیف‌سنج مدل Pharmacia LKB.Novaspec II (۲۶)، روی و آهن خاک با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل PinAAcle 900f (۲۷) و همچنین pH با استفاده از الکتروود شیشه‌ای در گل اشباع مدل Metrohm 691 (۳۷) اندازه‌گیری شدند.

تجزیه و تحلیل‌های آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS و مقایسه میانگین‌ها بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

جدول ۱ نتایج آنالیز خاک محل اجرای آزمایش را نشان می‌دهد. نتایج گویای آن است که میزان فسفر خاک ۹/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم است که این مقدار

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر گوگرد به همراه باکتری تیوباسیلوس و فسفر بر پارامترهای تولید گندم.

Table 2. Variance analysis of effect of sulfur along with *Thiobacillus* bacteria and phosphorus on wheat production parameters.

میانگین مربعات Mean square				درجه آزادی Degrees of freedom	منبع تغییرات Sources of change
وزن هزاردانه 1000-seed weight	طول خوشه Panicle length	عملکرد کاه Straw yield	عملکرد دانه Grain yield		
8.03*	1.56**	2.87**	1.79**	3	گوگرد Sulfur
21.6**	0.893**	2.41**	3.58**	2	فسفر Phosphorus
5.95*	1.79**	1.09**	1.05**	6	گوگرد × فسفر Sulfur × Phosphorus
2.21	0.146	0.170	0.080	22	خطا Error
4.63	5.19	11.8	9.40		ضریب تغییرات (%) Coefficient of variation (%)

^{ns} غیرمعنی‌دار، * معنی‌دار در سطح پنج درصد و ** معنی‌دار در سطح یک درصد.

^{ns}, * and ** not significant, significant in $P < 0.05$ and $P < 0.01$, respectively.

است که طبق نتایج، تیمار مزبور (مصرف ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد توأم با ۲۰ کیلوگرم در هکتار باکتری تیوباسیلوس و عدم استفاده از فسفر) با تیمار %P65 و بدون مصرف گوگرد و باکتری (SOTO) در یک گروه آماری و از تیمار %P100 و بدون مصرف گوگرد و باکتری (SOTO) دارای مقادیر بیش‌تری از عملکرد دانه، عملکرد کاه و طول خوشه بود (شکل‌های ۱، ۲ و ۳). به‌عبارتی نتایج نشان می‌دهد که از نظر اقتصادی مصرف ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد توأم با مصرف ۲۰ کیلوگرم در هکتار باکتری تیوباسیلوس نسبت به مصرف ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد توأم با مصرف ۴۰ کیلوگرم در هکتار باکتری برتری دارد و مصرف این مقدار گوگرد حداقل می‌تواند بدون کاهش تولید، مصرف فسفر را حتی به صفر کاهش دهد. مشابه نتایج به‌دست آمده از پژوهش ما، افزایش عملکرد گیاهان مختلف تحت‌تأثیر کاربرد گوگرد و باکتری تیوباسیلوس در مناطقی با آب و هوای خشک و نیمه‌خشک از ایران که دارای خاک‌های آهکی با قابلیت جذب عناصر غذایی کم و به‌ویژه فسفر می‌باشند گزارش شده است (۸ و ۳۱). در چنین شرایطی، استفاده از باکتری تیوباسیلوس ممکن است به‌دلیل افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی موجب کاهش مصرف کودهای شیمیایی مثل فسفر گردد (۱۱). البته اثر گوگرد و باکتری تیوباسیلوس بر خاک فراتر از تأثیرات تغذیه‌ای آن است که در صورت مصرف مقادیر مناسبی از آن‌ها متناسب با کربنات‌کلسیم معادل خاک می‌تواند اثرات اصلاحی داشته و متعاقباً بر رشد و عملکرد گیاه اثرات مضاعفی را داشته باشد.

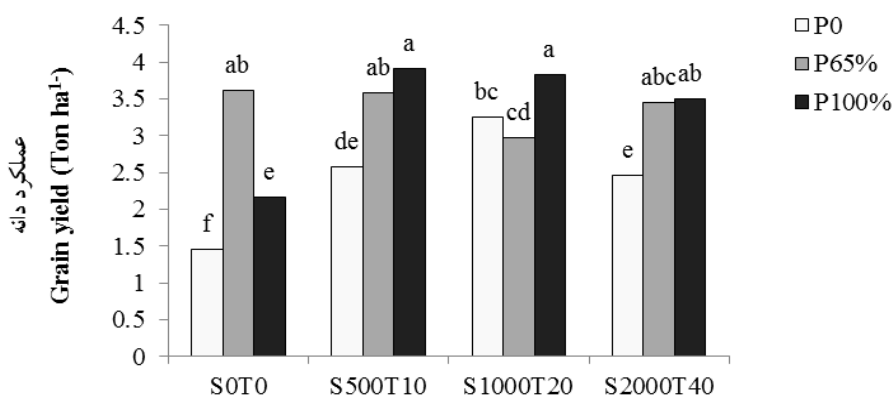
این پژوهش نشان داد که در شرایط عدم استفاده از گوگرد و باکتری (SOTO)، بیش‌ترین مقدار عملکرد دانه، عملکرد کاه و طول خوشه در تیمار %۶۵ توصیه کودی فسفر بر اساس آنالیز خاک مشاهده شد اما، با افزایش سطح فسفر به %۱۰۰ درصد توصیه کودی

نتایج مقایسه میانگین اثرات توأم گوگرد به‌همراه باکتری تیوباسیلوس و فسفر نشان داد که در شرایط عدم استفاده از فسفر (P0) با کاربرد گوگرد به همراه باکتری تیوباسیلوس اجزای عملکرد گندم افزایش یافتند به‌طوری‌که همه سطوح گوگرد به همراه باکتری تیوباسیلوس عملکرد دانه و کاه بیش‌تری نسبت به تیمار شاهد (SOTO) داشتند. در این سطح فسفر، بیش‌ترین مقدار عملکرد دانه، عملکرد کاه و طول خوشه با مصرف ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد توأم با ۲۰ کیلوگرم در هکتار باکتری تیوباسیلوس (S1000T20) به‌دست آمد اما، با افزایش بیش‌تر سطوح گوگرد و باکتری، روندی کاهشی در پارامترهای مزبور مشاهده گردید (شکل‌های ۱، ۲ و ۳). نتایج پژوهش جلیلی و همکاران (۲۰۱۳) نشان داد که با افزایش گوگرد عملکرد دانه گندم افزایش یافت، به‌طوری‌که بیش‌ترین افزایش مربوط به مصرف ۶۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار بود (۱۷). همچنین مومن و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که افزایش میزان گوگرد سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه و وزن هزاردانه گندم شد (۲۲). گوگرد از جمله از عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان است که در ساختمان اسیدهای آمینه، پروتئین، روغن و در نتیجه در بهبود کمیت و کیفیت محصولات کشاورزی دارای اهمیت ویژه‌ای است (۱۴ و ۳۸). باکتری تیوباسیلوس به‌عنوان عاملی برای افزایش رشد گیاه به‌خصوص در شرایط رشدی نامناسب شناخته شده است (۴)، به‌طوری‌که افزایش عملکرد گیاهان گندم و کلزا در خاک‌های آهکی ایران با مقدار کم فسفر قابل‌جذب، با کاربرد باکتری تیوباسیلوس گزارش شده است (۸ و ۳۱). در پژوهشی کاربرد ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد موجب افزایش عملکرد دانه و وزن خشک شاخساره سویا شد اما بیش‌ترین عملکرد دانه و وزن هزاردانه با کاربرد هم‌زمان ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد و باکتری تیوباسیلوس به‌دست آمد (۶). جالب توجه

سطح فسفر به ۱۰۰٪ درصد توصیه کودی، می‌تواند به دلیل تأثیر منفی فسفر بر جذب برخی عناصر غذایی مثل نیتروژن کلسیم و نیتروژن باشد (۲۱). فسفر با تنظیم هورمون‌های گیاهی نقش مهمی در فرایندهای تقسیم سلولی، تولید مواد فتوسنتزی و تولید انرژی در گیاه و در نتیجه افزایش عملکرد دارد (۳۴).

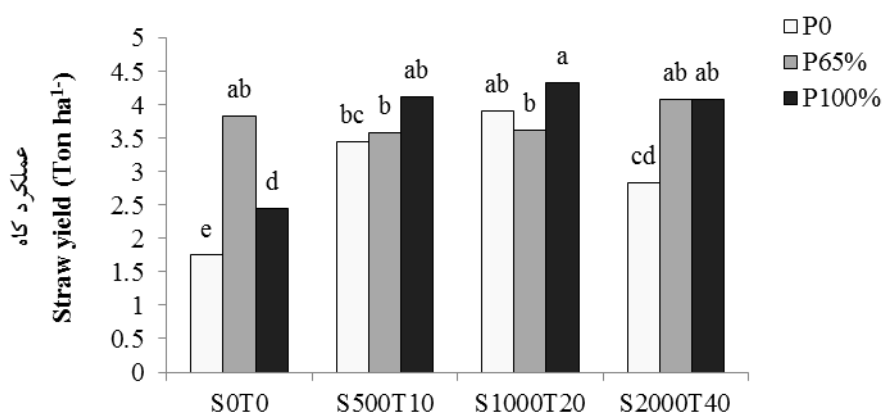
نتایج این آزمایش همچنین نشان داد که مصرف گوگرد به همراه باکتری تیوباسیلوس و فسفر فاقد اثرات متقابل مثبت قابل توجه بر روی پارامترهای تولید گندم می‌باشند (شکل‌های ۱، ۲، ۳ و ۴).

بر اساس آنالیز خاک، روندی کاهشی در پارامترهای مزبور مشاهده گردید (شکل‌های ۱، ۲، ۳ و ۴). بنابراین به نظر می‌رسد مصرف ۶۵٪ توصیه کودی فسفر برای حصول عملکرد بهینه مناسب می‌باشد که این خود به منظور کاهش مصرف کود فسفر دارای اهمیت بوده و در مطالعات باید مدنظر قرار گیرد. حسینی و همکاران (۲۰۰۹) نیز گزارش کردند که افزودن فسفر به خاک تا سطح ۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک باعث افزایش معنی‌دار وزن ماده خشک کلزا شد اما افزودن بیش‌تر فسفر تأثیر معنی‌داری بر ماده خشک نداشت (۱۵). یکی از دلایل کاهش مقدار عملکرد دانه، عملکرد کاه و طول خوشه با افزایش



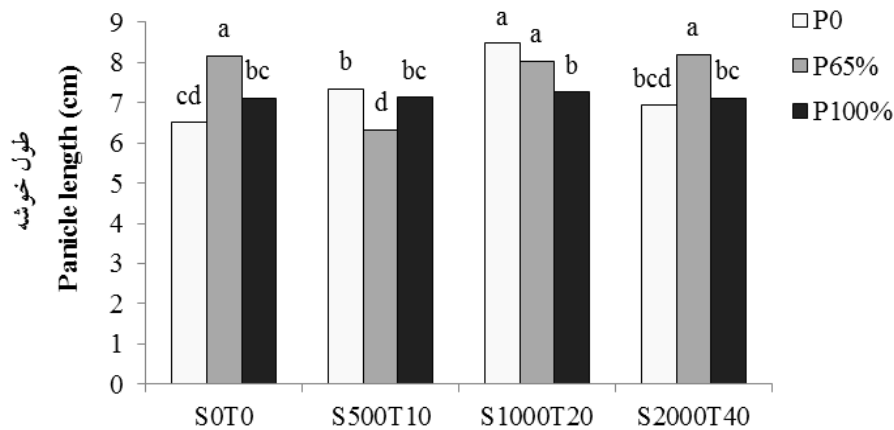
شکل ۱- اثر متقابل گوگرد به همراه باکتری تیوباسیلوس و فسفر بر عملکرد دانه گندم.

Figure 1. The interaction effect of sulfur along with *Thiobacillus* bacteria and phosphorus on wheat grain yield.



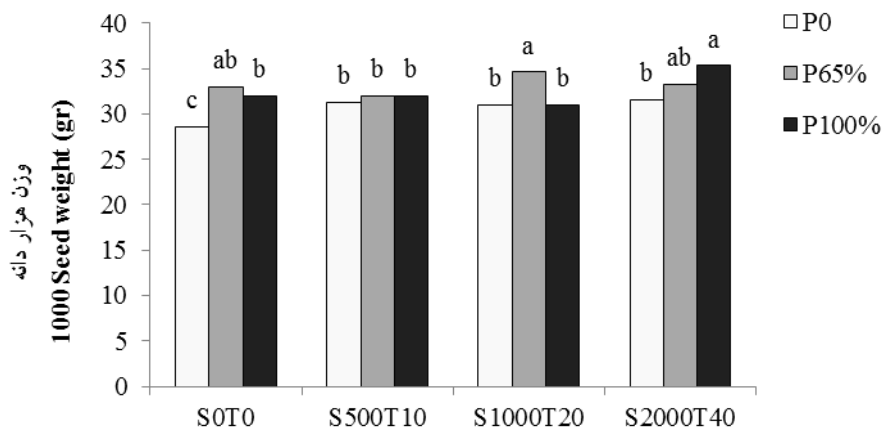
شکل ۲- اثر متقابل گوگرد به همراه باکتری تیوباسیلوس و فسفر بر عملکرد کاه گندم.

Figure 2. The interaction effect of sulfur along with *Thiobacillus* bacteria and phosphorus on wheat straw yield.



شکل ۳- اثر متقابل گوگرد به همراه باکتری تیوباسیلوس و فسفر بر طول خوشه گندم.

Figure 3. The interaction effect of sulfur along with *Thiobacillus* bacteria and phosphorus on wheat panicle length.



شکل ۴- اثر متقابل گوگرد به همراه باکتری تیوباسیلوس و فسفر بر وزن هزاردانه گندم.

Figure 4. The interaction effect of sulfur along with *Thiobacillus* bacteria and phosphorus on wheat 1000-seed weight.

طبق نتایج مقایسه میانگین اثر ساده، با کاربرد گوگرد به همراه باکتری تیوباسیلوس مقدار عنصر روی برگ گندم نسبت به تیمار شاهد (عدم استفاده از گوگرد و باکتری تیوباسیلوس) افزایش یافت و بیشترین مقدار آن در تیمار S500T10 مشاهده شد. اگرچه با افزایش بیش‌تر سطوح گوگرد و باکتری، روندی کاهشی در مقدار این عنصر مشاهده گردید (شکل ۵).

نتایج جدول تجزیه واریانس جذب عناصر غذایی نشان داد که کاربرد منفرد و توأم گوگرد به همراه باکتری تیوباسیلوس و فسفر دارای تأثیر معنی‌داری بر مقادیر عناصر آهن و فسفر برگ گیاه به‌ترتیب در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد بودند اگرچه فقط کاربرد منفرد گوگرد به همراه باکتری تیوباسیلوس بر مقدار عنصر روی برگ در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳).

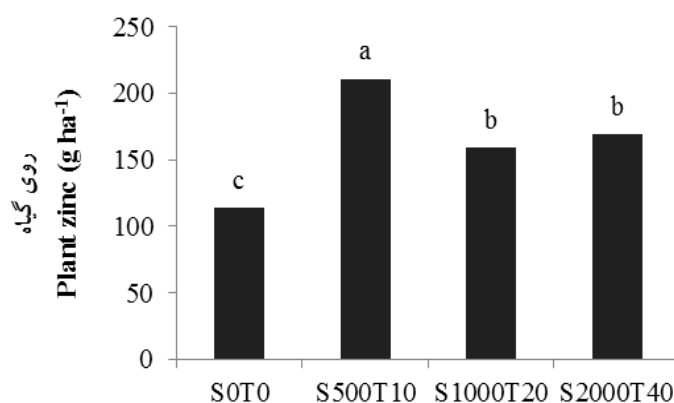
جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر گوگرد به همراه باکتری تیوباسیلوس و فسفر بر جذب عناصر غذایی.

Table 3. Variance analysis of effect of sulfur along with *Thiobacillus* bacteria and phosphorus on nutrient uptake.

میانگین مربعات Mean square			درجه آزادی Degrees of freedom	منبع تغییرات Sources of change
فسفر Phosphorus	روی Zinc	آهن Iron		
21.8**	14081*	559593*	3	گوگرد Sulfur
18.3**	7953ns	733200*	2	فسفر Phosphorus
10.6**	5901ns	450067*	6	گوگرد × فسفر Sulfur × Phosphorus
1.97	5333	132322	22	خطا Error
14.8	30.8	23.2	ضریب تغییرات (%) Coefficient of variation (%)	

^{ns} غیرمعنی دار، * معنی دار در سطح پنج درصد و ** معنی دار در سطح یک درصد.

^{ns}, * and ** not significant, significant in $P < 0.05$ and $P < 0.01$, respectively.



شکل ۵- اثر گوگرد به همراه باکتری تیوباسیلوس بر محتوای روی گندم.

Figure 5. The effect of sulfur along with *Thiobacillus* bacteria on wheat zinc content.

سطوح گوگرد و باکتری نسبت به تیمار S500T10 روند غیرمعنی داری را به دنبال داشتند. با این وجود اگرچه روند مشخصی برای مقادیر آهن و فسفر برگ گیاه در پاسخ به افزایش همزمان سطوح گوگرد به همراه باکتری و فسفر مشاهده نشد اما نتایج نشان داد که بیشترین مقادیر آهن و فسفر به ترتیب در تیمارهای S2000T20+P65% و S1000T20+P100%

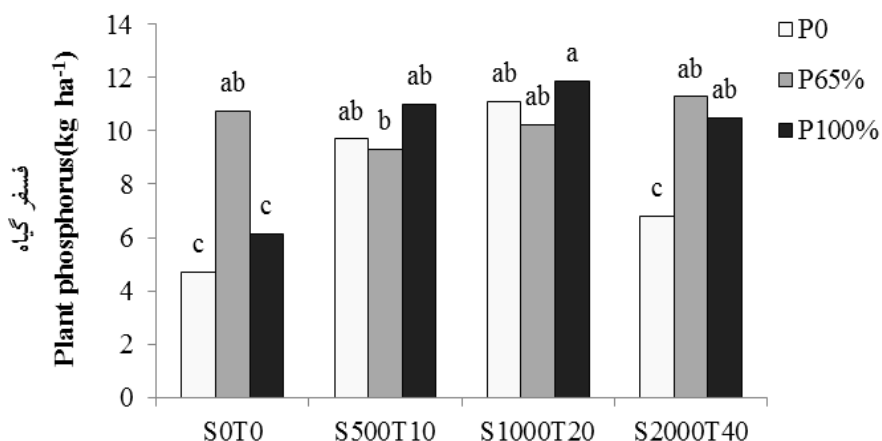
نتایج مقایسه میانگین اثرات توأم گوگرد به همراه باکتری تیوباسیلوس و فسفر نشان داد که در شرایط عدم مصرف (P0) و مصرف ۱۰۰٪ توصیه کودی فسفر (P100%)، کاربرد ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد به همراه ۱۰ کیلوگرم در هکتار باکتری تیوباسیلوس (S500T10) موجب افزایش معنی دار مقادیر عناصر آهن و فسفر برگ گندم شد اما افزایش

(P65%) اختلاف معنی‌داری بین سطوح مختلف گوگرد به‌همراه باکتری تیوباسیلوس مشاهده نگردید. با توجه به نتایج به‌دست آمده از این قسمت و نتایج مربوط به پارامترهای تولید به‌نظر می‌رسد سطح ۶۵٪ توصیه کودی فسفر سطح مناسبی برای استفاده از گوگرد و باکتری تیوباسیلوس نمی‌باشد زیرا از طرف دیگر و به مانند پارامترهای تولید، مقادیر عناصر آهن و روی در شرایط عدم مصرف کود فسفر و استفاده از ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد به همراه ۱۰ کیلوگرم در هکتار باکتری تیوباسیلوس (S500T10+P65%) مشابه با شرایط استفاده از ۶۵٪ توصیه کودی فسفر (P65%) تنها و بالاتر از ۱۰۰٪ (P100%) توصیه کودی است. این نتایج به‌دست آمده مهم بوده و باید در استفاده از کودهای فسفره مدنظر قرار گیرد (شکل‌های ۶ و ۷).

در شرایط عدم استفاده از گوگرد و باکتری (SOT0)، بیش‌ترین مقادیر عناصر آهن و فسفر برگ گیاه در تیمار ۶۵٪ توصیه کودی فسفر بر اساس آنالیز خاک به‌دست آمد اما، با افزایش سطح فسفر به ۱۰۰٪ درصد توصیه کودی بر اساس آنالیز خاک، روندی کاهشی در پارامترهای مزبور مشاهده شد (شکل‌های ۶ و ۷). باگیاکو و همکاران (۲۰۰۰) نشان دادند که با افزایش مصرف فسفر در خاک، مقدار آن در بافت گیاه سورگوم افزایش یافت (۵). افزایش مقدار آهن در گیاه در اثر مصرف فسفر چندان منطقی به‌نظر نمی‌رسد، اما به‌دلیل رقابت بین آهن و روی در جذب به‌وسیله گیاه (۷) افزایش جذب آهن در این شرایط دور از انتظار نیست. مشابه نتایج به‌دست آمده برای پارامترهای تولید، نتایج به‌دست آمده در این قسمت نیز به مصرف ۶۵٪ توصیه کودی فسفر اشاره دارد.

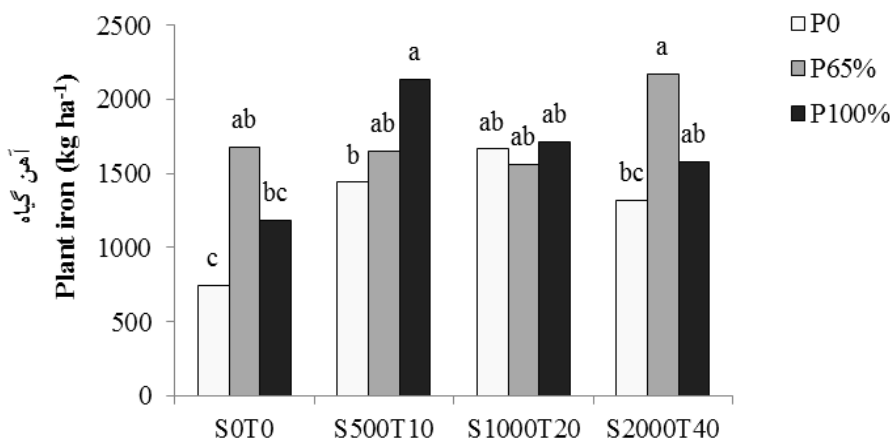
به‌دست آمد (شکل‌های ۶ و ۷). گودرزی (۲۰۰۱) در بررسی اثر گوگرد و کمپوست بر افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی خاک و عملکرد گندم نشان داد که مصرف گوگرد سبب افزایش غلظت عناصر غذایی فسفر، پتاسیم، آهن، روی و مس در گندم گردید (۱۳). در پژوهش حاضر میزان فسفر قابل‌جذب خاک کم‌تر از حد بحرانی فسفر برای گندم بود (جدول ۲)، بنابراین به‌نظر می‌رسد که مصرف گوگرد و باکتری تیوباسیلوس با افزایش حلالیت عناصر غذایی از جمله فسفر، باعث افزایش غلظت قابل‌جذب این عناصر در خاک و متعاقباً افزایش جذب آن‌ها توسط گندم شده است. اخوان و فلاح نصرت‌آباد (۲۰۱۳) نیز در یک آزمایش گلخانه‌ای، کاهش pH به‌میزان ۱/۰۵ واحد نسبت به خاک اولیه و افزایش میزان جذب فسفر توسط بوته‌های کلزا در نتیجه کاربرد گوگرد را مشاهده نمودند (۳). سلیمپور و همکاران (۲۰۱۰) نیز به نقش مؤثر باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد در افزایش جذب فسفر در خاک‌های آهکی اشاره کرده‌اند (۳۱).

دلوکا و همکاران (۱۹۸۹) تأثیر مصرف گوگرد، تلقیح تیوباسیلوس و فسفر را در سه خاک آهکی در گلخانه و مزرعه مورد بررسی قرار دادند. در هر سه نوع خاک میزان فسفر جذب‌شده در تیمار ترکیبی به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از تیمار سوپرفسفات تنها بود (۱۰). تأثیر مصرف گوگرد و باکتری تیوباسیلوس بر جذب عناصر غذایی صرف‌نظر از مقدار آن‌ها، تحت‌تأثیر سطوح مصرف فسفر است که این می‌تواند با استفاده از تغییرات pH و متعاقباً تغییرات غلظت عناصر در این شرایط توضیح داده شود. زیرا بر خلاف نتایج قبلی در مصرف ۶۵٪ توصیه کودی فسفر



شکل ۶- اثر متقابل گوگرد به همراه باکتری تیوباسیلوس و فسفر بر محتوای فسفر گندم.

Figure 6. The interaction effect of sulfur along with *Thiobacillus* bacteria and phosphorus on wheat phosphorus content.



شکل ۷- اثر متقابل گوگرد به همراه باکتری تیوباسیلوس و فسفر بر محتوای آهن گندم.

Figure 7. The interaction effect of sulfur along with *Thiobacillus* bacteria and phosphorus on wheat iron content.

معنی داری نداشت. کاربرد منفرد فسفر و توأم آن با گوگرد به همراه باکتری تیوباسیلوس فقط بر غلظت فسفر به ترتیب در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد معنی دار بودند ولی بر سایر ویژگی‌ها تأثیر معنی داری نداشتند (جدول ۴).

نتایج تجزیه واریانس تأثیر گوگرد به همراه باکتری تیوباسیلوس و فسفر بر غلظت عناصر غذایی و pH خاک پس از برداشت گندم نشان داد که کاربرد منفرد گوگرد بر غلظت عنصر روی و pH خاک در سطح احتمال ۵ درصد و بر غلظت فسفر در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود، اما بر غلظت آهن تأثیر

جدول ۴- تجزیه واریانس تأثیر گوگرد به همراه باکتری تیوباسیلوس و فسفر بر غلظت عناصر غذایی و pH خاک پس از برداشت گندم.

Table 4. Variance analysis of effect of sulfur along with *Thiobacillus* bacteria and phosphorus on nutrient concentration and pH of soil after wheat harvest.

میانگین مربعات Mean square				درجه آزادی Degrees of freedom	منبع تغییرات Sources of change
واکنش خاک pH	فسفر Phosphorus	روی Zinc	آهن Iron		
0.090*	79.0**	8.23*	0.601 ^{ns}	3	گوگرد Sulfur
0.005 ^{ns}	21.6*	3.65 ^{ns}	0.336 ^{ns}	2	فسفر Phosphorus
0.025 ^{ns}	36.3**	2.17 ^{ns}	1.22 ^{ns}	6	گوگرد × فسفر Sulfur × Phosphorus
0.032	6.52	2.43	0.587	22	خطا Error
2.46	16.1	30.4	11.3	ضریب تغییرات (%) Coefficient of variation (%)	

^{ns} غیرمعنی دار، * معنی دار در سطح پنج درصد و ** معنی دار در سطح یک درصد.
^{ns}, * and ** not significant, significant in P<0.05 and P<0.01, respectively.

مقایسه میانگین اثرات ساده گوگرد به همراه باکتری تیوباسیلوس نشان داد که با افزایش سطح گوگرد به همراه باکتری تیوباسیلوس غلظت روی و pH خاک کاهش یافتند و کمترین مقادیر این ویژگی‌ها در بالاترین سطح گوگرد و باکتری مشاهده شد (جدول ۵).

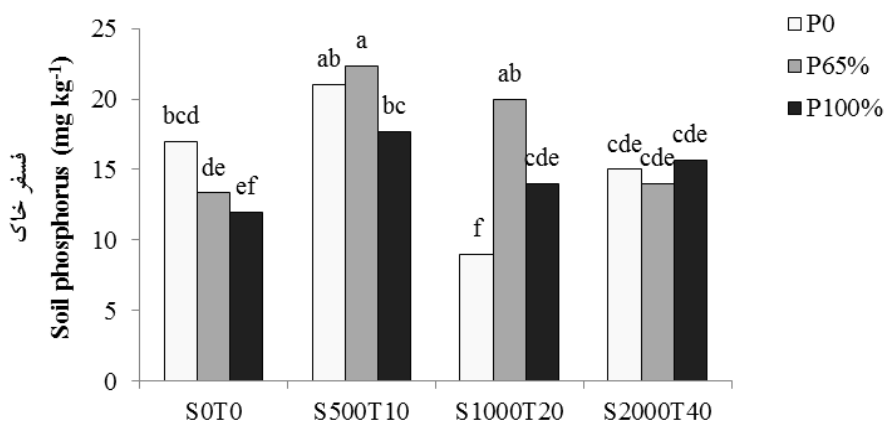
جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات ساده گوگرد به همراه باکتری تیوباسیلوس و فسفر بر غلظت عنصر روی و pH خاک پس از برداشت گندم.

Table 5. Mean comparison of simple effects of sulfur along with *Thiobacillus* bacteria and phosphorus on Zinc concentration and pH of soil after wheat harvest.

واکنش خاک pH	روی Zinc (mg kg ⁻¹)	تیمار
7.44 ^a	5.86 ^a	گوگرد + تیوباسیلوس Sulfur + <i>Thiobacillus</i> S0T0
7.40 ^{ab}	5.97 ^a	S500T10
7.38 ^{ab}	4.72 ^{ab}	S1000T20
7.23 ^b	3.98 ^b	S2000T40

این عنصر مقدار زیادی از عنصر روی محلول شده در اثر مصرف گوگرد و باکتری تیوباسیلوس توسط گیاه جذب شده است (نتایج ما این احتمال را تأیید می‌کند) و در نتیجه موجب کاهش غلظت این عنصر در خاک در تیمارهای گوگرد و باکتری شده است. ابدو و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که کاربرد گوگرد، فسفر و باکتری اکسیدکننده گوگرد برای افزایش غلظت قابل جذب عناصر غذایی در خاک‌های آهکی مهم می‌باشند (۱). روسا و همکاران (۱۹۸۹) با انجام یک آزمایش گلخانه‌ای در یک خاک اکسی‌سل تأثیر مصرف مخلوط گوگرد و کودهای فسفوری، مواد آلی (کمپوست) و تلقیح خاک با باکتری تیوباسیلوس تیواکسیدانس بر عملکرد سورگوم و میزان جذب فسفر توسط آن را مورد بررسی قرار دادند. تلقیح مخلوط گوگرد و سنگ فسفات با باکتری تیوباسیلوس تیواکسیدانس موجب کاهش سریع pH خاک گردید و فسفر قابل‌دسترس موجود در خاک را به اندازه کافی برای رشد سورگوم افزایش داد، به طوری که عملکرد سورگوم در این تیمار به اندازه عملکرد حاصل از مصرف کود سوپر فسفات تریپل بود (۳۰).

نتایج مقایسه میانگین اثرات توأم گوگرد به همراه باکتری تیوباسیلوس و فسفر بیانگر آن است که در تمام سطوح مصرف فسفر، کاربرد ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد به همراه ۱۰ کیلوگرم در هکتار باکتری تیوباسیلوس (S500T10) موجب افزایش غلظت فسفر در خاک شد اما افزایش سطوح گوگرد و باکتری نسبت به تیمار S500T10 روند افزایشی را به دنبال نداشتند. با این وجود بیش‌ترین غلظت فسفر خاک در تیمار S500T10+P65% به دست آمد (شکل ۸). مطالعات نشان داد که باکتری تیوباسیلوس موجب افزایش اکسایش گوگرد در خاک‌های آهکی و قابلیت غلظت قابل جذب عناصر در خاک می‌شوند (۸، ۳۱ و ۳۲). کاربرد گوگرد در خاک‌های آهکی و اکسایش آن توسط باکتری‌های جنس تیوباسیلوس، ضمن کاهش موضعی pH خاک می‌تواند نقش مؤثری در افزایش قابلیت جذب فسفر داشته باشد (۲۴). کلباسی (۱۹۸۸) نشان داد که با کاربرد گوگرد در شرایط مزرعه pH خاک کاهش و قابلیت دسترسی عنصر روی در خاک افزایش یافت (۱۹). این نتیجه برای عنصر روی با نتایج ما همخوانی ندارد. شاید به دلیل نیاز گیاه گندم به



شکل ۸- اثر گوگرد به همراه باکتری تیوباسیلوس و فسفر بر غلظت فسفر خاک پس از برداشت گندم.

Figure 8. Effect of sulfur along with *Thiobacillus* bacteria and phosphorus on phosphorus concentration of soil after wheat harvest.

نتیجه گیری کلی

به نظر می‌رسد در شرایط عدم استفاده از گوگرد و باکتری تیوباسیلوس، مصرف ۶۵٪ توصیه کودی فسفر برای حصول عملکرد بهینه برای گندم مناسب می‌باشد. زیرا در اکثر موارد این سطح فسفر دارای نتایجی مشابه و یا حتی بهتری نسبت به مصرف ۱۰۰٪ توصیه کودی فسفر بود که این خود به منظور کاهش مصرف کود فسفر دارای اهمیت بوده و در مطالعات باید مدنظر قرار گیرد. البته سطح ۶۵٪ توصیه کودی فسفر سطح مناسبی برای استفاده از گوگرد و باکتری تیوباسیلوس نمی‌باشد زیرا در شرایط عدم مصرف کود فسفر و استفاده از ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد به همراه ۱۰ کیلوگرم در هکتار باکتری تیوباسیلوس (S500T10+P65%) مشابه با شرایط استفاده از ۶۵٪

توصیه کودی فسفر (P65%) تنها و بالاتر از ۱۰۰٪ توصیه کودی (P100%) است و مصرف این مقدار گوگرد حداقل می‌تواند بدون کاهش تولید، مصرف فسفر را حتی به صفر کاهش دهد. مصرف گوگرد و باکتری تیوباسیلوس با اکسایش و کاهش pH موجب افزایش غلظت قابل جذب فسفر در خاک و در نتیجه افزایش جذب آن توسط گیاه می‌شود بنابراین در مجموع تأثیر گوگرد و باکتری تیوباسیلوس بر عملکرد گندم امیدوارکننده بوده و بیانگر پتانسیل خوب آن برای کاربرد در بخش کشاورزی و افزایش عملکرد گندم در سطوح بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد به همراه استفاده از ۱۰ تا ۲۰ کیلوگرم در هکتار باکتری تیوباسیلوس می‌باشد.

منابع

1. Abdou, A., Soaud, A.A., Al Darwish, F.H., Saleh, M.E., El-Tarabily, K.A., Sofian-Azirun, M., and Motior, R.M. 2011. Effects of elemental sulfur, phosphorus, micronutrients and *Paracoccus versutus* on nutrient availability of calcareous soils. *Aust. J. Crop Sci.* 5: 554-561.
2. Adesemoye, A.O., Torbert, H.A., and Kloepper, J.W. 2009. Plant growth-promoting rhizobacteria allow reduced application rates of chemical fertilizers. *Microb. Ecol.* 58: 921-929.
3. Akhavan, Z., and Fallah Nosrat Abad, A.R. 2013. The effect of sulfur and thiobacillus inoculant on soil pH, dry matter weight and phosphorus absorption Canola. *J. Soil Manag. Sustain.* 3: 1-13. (In Persian)
4. Amal, A.M., Wedad Eweda, E.E., Heggo, A.M., and Enas, A.H. 2014. Effect of dual inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi and sulphur-oxidising bacteria on onion (*Allium cepa* L.) and maize (*Zea mays* L.) grown in sandy soil under greenhouse conditions. *Ann. Agr. Sci.* 29: 109-118.
5. Bagyako, M., Georg, E., Romheld, V., and Buerkert, A. 2000. Effects of mycorrhiza fungi and phosphorus on growth and nutrient uptake of millet, cow pea and sorghum in West African. *Soil J. Agric. Sci.* 135: 399-407.
6. Balloei, F., Ardakani, M.R., Rejali, F., Ramzanpoor, M.R., Alizade, G.R., and Mohebbati, F. 2009. Effect of *Thiobacillus* and Mycorrhiza fungi under different levels of sulfur on yield and yield components of soybean. International Symposium "Root Research and Applications", RootRAP, Boku – Vienna, Austria.
7. Baybordi, A. 2007. Nutrition of crops and zinc in soil. Payor Publishing, Tabriz Press, 180p. (In Persian)
8. Besharati, H. 2017. Effects of sulfur application and *Thiobacillus* inoculation on soil nutrient availability, wheat yield and plant nutrient concentration in calcareous soils with different calcium carbonate content. *J. Plant Nutr.* 40: 447-456.
9. Bustamante, M., Albuquerque, J., Restrepo, A., De la Fuente, C., Paredes, C., Moral, R., and Bernal, M. 2012. Co-composting of the solid fraction of anaerobic digestates, to obtain added-value materials for use in agriculture. *Biomass Bioenerg.* 43: 26-35.

10. Deluca, T.H., Skogley, E.O., and Engle, R.E. 1989. Band-applied elemental sulfur to enhance the phytoavailability of phosphorus in alkaline calcareous soils. *Biol. Fert. Soils*. 7: 346-350.
11. El Tarabily, K.A., Soaud, A.A., Saleh, M.E., and 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.). *Aust. J. Agric. Res.* 57: 101-111.
12. Gee, G.W., and Bauder, J.W. 1986. Particle size analysis. P 383-411, In: A. Klute (Ed.), *Methods of soil analysis, Part I*. 2d Madison, WI.
13. Godarzi, K. 2001. Enhancing effects of sulfur and compost on nutrient availability and wheat yield. *Soil Water Sci.* 15: 154-166. (In Persian)
14. Hawkesford, M.J., and De Kok, L.J. 2007. *Sulfur in plants an ecological perspective*. Springer, UK.
15. Hoseini, Y., Homae, M., Karimian, N.A., and Saadat, S. 2009. The effects of phosphorus and salinity on growth, nutrient concentrations and water use efficiency in canola (*Brassica napus* L.). *Agr. Res. (Water Soil Plant Agr.)*. 8: 1-18. (In Persian)
16. 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. *Biol. Fertil. Soil*. 41: 52-58.
17. Jalili, F., Nasrolah Zadeh Asl, A., and Valiloo, R. 2013. Effects of sulfur and manure fertilizer on yield and protein of wheat (var. Zarin). *J. Res. Crop Sci.* 5: 71-84. (In Persian)
18. Jones, J.B., and Case, V.W. 1990. Sampling, handling and analyzing plant tissue samples. P 389-427, In: R.L. Westerman (Ed.), *Soil testing and plant analysis*, Soil Science Society of America, Madison, WI.
19. Kalbasi, M., Filsoof, F., and Rezai-Nejad, Y. 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.
20. Malakouti, M.J., and Gheibi, M.N. 2000. Determination of critical levels of nutrients in soil, plant and fruit. *Agricultural Education Publishing*, 92p. (In Persian)
21. Mazloomi, F., and Ronaghi, A. 2012. Effect of salinity and phosphorus on growth and chemical composition of two varieties of spinach. *J. Gree. Cult Sci. Technol.* 3: 85-94.
22. Moamen, A., Pazoki, A., and Momayezi, M.R. 2011. Effects of granular sulfur (bentonitic) and compost on quantitative and qualitative characteristics of bam wheat in semnan. *J. Crop Physiol.* 3: 31-47. (In Persian)
23. Moamen, A., Pazoki, A.R., and Momayezi, M.R. 2011. Effect of granular sulfur and compost on properties of Bam wheat in Semnan region. *Sci. Res. Annual Agron. Plant Physiol. IAU, Ahvaz Branch.* 3: 35-46. (In Persian)
24. Mohammady Aria, M., Lakzian, A., Haghnia, G.H., Berenji, A.R., Besharati, H., and Fotovat, A. 2010. Effect of *Thiobacillus*, sulfur and vermicompost on the water-soluble phosphorus of hard rock phosphate. *Bioresour. Technol.* 101: 551-554.
25. Moosavi, A.A., Mansouri, S., and Zahedifar, M. 2015. Effect of soil water stress and nickel application on micronutrient status of canola grown on two calcareous soils. *Plant Prod. Sci.* 18: 377-387.
26. Olsen, S.R., and Sommers, L.E. 1982. Phosphorus. P 403-430, In: A.L. Page (Ed.), *Methods of soil Analysis, part 2*, 2nd ed. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison.
27. Page, A.L., Miller, R.H., and Keeny, D.R. 1982. *Methods of soil analysis. Part 2, Chemical and Microbiological Properties*, Madison Wisconsin U.S.A.
28. Postgate, J.R. 1966. Media for sulfur bacteria. *Lab. Pract. J.* 15: 1239-1244.
29. Rahman, M.M., Soaud, A.A., Fareed, H.A.L., Darwish, F.F.A., Golam, F., and Azirun, M.S. 2011. Growth and nutrient uptake of maize plants as affected by elemental sulfur and nitrogen fertilizer in sandy calcareous soil. *Afr. J. Biotech.* 10: 12882-12889.

30. Rosa, M.C., Muchovey, J.J., and Alwares, J.V.H. 1989. Temporal relations of phosphorous fraction in an oxisol amended with rock phosphate and *Thiobacillus thiooxidans*. Soil Sci. Soc. Am. J. 53: 1096-1100.
31. Salimpour, S., Khavazi, K., Nadian, H., Besharati, H., and Miransari, M. 2010. Enhancing phosphorus availability to canola (*Brassica napus* L.) using P solubilizing and sulfur oxidizing bacteria. Aust. J. Crop Sci. 4: 330-334.
32. Salimpour, S., Khavazi, K., Nadian, H., Besharati, H., and Miransari, M. 2012. Canola oil production and nutrient uptake as affected by phosphate solubilizing and sulfur oxidizing bacteria. J. Plant Nutr. 35: 1997-2008.
33. Schueneman, T.J. 2001. Characterization of sulfur sources in the EAA. Soil Crop Sci. Soc. Fla. Proc. 60: 49-52.
34. Smith, F.W., Jackson, W.A., and van den Berg, P.J. 1990. Internal phosphorus flows during development of phosphorus stress in *Stylosanthes hamata*. Aust. J. Plant Physiol. 17: 451-464.
35. Stamford, N.P., Figueiredo, M.V.B., Junior, S.S., Freitas, A.D.S., Santos, C.E.R.S., and Junior, M.A.L. 2015. Effect of gypsum and sulfur with *AcidiThiobacillus* on soil salinity alleviation and on cowpea biomass and nutrient status as affected by PK rock biofertilizer. Sci. Hortic-Amsterdam. 192: 287-292.
36. Stamford, N.P., Santos, P.R., Moura, A.M.M.F., Santos, C.E.R.S., and Freitas, A.D.S. 2003. Biofertilizer with natural phosphate, sulphur and *AcidiThiobacillus* in a soil with low available-p. Sci. Agricola. 60: 767-773.
37. Thomas, G.W. 1996. Soil pH and Soil Acidity. P 475-490, In: D.L. Sparks (Ed.), Methods of soil analysis, Part 3, No. 5, ASA and SSSA, Madison, WI.
38. Vidyakshmi, R., Paranthaman, R., and Bhagyaraj, R. 2009. Sulphur oxidizing bacteria and plant nutrition-A review. W. J. Agril. Sci. 5: 270-278.
39. Walkley, A., and Black, I.A. 1934. An examination of degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37: 29-38.
40. Wiedenfeld, B. 2011. Sulfur application effects on soil properties in a calcareous soil and on sugarcane growth and yield. J. Plant Nut. 34: 1003-1013.
41. Wilding, L.P., and Lin, H. 2006. Advancing the frontiers of soil science towards geoscience. Geoderma. 131: 257-274.
42. Zapata, F., and Roy, R.N. 2004. Use of phosphate rocks for sustainable agriculture. Publication of the FAO Land and Water Development Division, Pp: 117-122.



Effect of Sulfur, *Thiobacillus* bacteria and phosphorus on the yield and nutrient elements uptake of wheat in calcareous soil

*K. Khavazi¹, V.A. Jahandideh Mahjen Abadi² and F. Taghipoor³

¹Research Professor, Dept. of Soil and Water Research Institute, Agriculture Research, Education and Extension Organization, ²Ph.D. Student, Dept. of Soil Science, Shiraz University, ³Research Instructor, Agriculture and Natural Resources Research Center of Semnan, Agricultural Research, Education and Extension Organization

Received: 07.17.2017; Accepted: 12.19.2017

Abstract

Background and Objectives: Investigating the status of nutrients in calcareous soils shows that despite the abundance of some nutrients (such as phosphorus, iron and zinc) in these soils, the available form of these nutrients is less than the amount required for plant growth and the deficiency of nutrients is one of limiting factor in the production of plants especially wheat in these soils. Sulfur application and soil inoculation with *Thiobacillus* bacteria may improve the availability of nutrients in calcareous soils and consequently increase the plants growth. The purpose of this research was investigating the effect of sulfur application and *Thiobacillus* bacteria on the yield and nutrient uptake of wheat at different levels of phosphorus in a calcareous soil and in field conditions.

Material and Methods: In 2011 a factorial experiment arranged in a complete randomize block design consisting of three levels of sulfur along with *Thiobacillus* bacteria (without sulfur and *Thiobacillus* (S0T0), application of 500 Kg S + 10 Kg *Thiobacillus* (S500T10), 1000 Kg S + 20 Kg *Thiobacillus* (S1000T20) and 2000 Kg S + 40 Kg *Thiobacillus* (S2000T40) per hectare) and three levels of triple super phosphate (without phosphorus (P0), 65 (P65%) and 100 (P100%) percent phosphorus recommended based on soil test) with three replication in field conditions. The leaf samples were collected before pollination and the content of phosphorus; zinc and iron were measured in them. After harvest, the yield components such as grain and straw yield, panicle length and 1000 seed weight in each treatment were determined. Then, from each plot, five kilograms of soil was taken from 0 to 15 cm depth and after dried out and sifted with a two-millimeter sieve, the concentration of phosphorus, zinc and iron of soil was determined in them.

Results: With the application of sulfur along with *Thiobacillus* bacteria, the yield components and uptake of iron, zinc and phosphorus of wheat leaf increased compared to the control treatment, although the grain yield, straw yield and uptake of iron between the different levels of sulfur along with *Thiobacillus* bacteria showed a no significant difference. Using of phosphorus significantly increased the grain yield, straw yield, 1000 grain weight and uptake of iron and phosphorus of wheat leaf, but no significant difference was observed between treatments 65 (P65%) and 100 (P100%) percent phosphorus recommended based on soil test. In conditions of without phosphorus (P0), with consumption of 1000 kg ha⁻¹ sulfur along with 20 kg ha⁻¹ of *Thiobacillus* (S1000T20), grain yield, straw yield and panicle length increased compared with the control (124, 123 and 31% respectively), but with increasing levels of sulfur and bacteria, a decrease was observed in these parameters. The highest uptake of leaf iron and phosphorus were showed in combined treatments S1000T20 + P100% and S2000T20 + P65%, respectively. With the increase of sulfur along with *Thiobacillus* bacteria, Zn concentration and pH of soil decreased and the lowest values of these characteristics were observed at the highest

* Corresponding Author; Email: khavazik@yahoo.com

levels of sulfur and bacteria. At all levels of phosphorus application, the consumption of 500 kg ha⁻¹ sulfur along with 10 kg ha⁻¹ *Thiobacillus* bacteria (S500T10) increased the phosphorus concentration in soil and highest contents of it were obtained of combined treatments S500T10 + P65% (31% more than S0T0 + P0 treatment).

Conclusion: In conditions of without Sulfur and *Thiobacillus* bacteria (S0P0), consumption of 65 percent (P65%) phosphorus recommended based on soil test is appropriate for optimum yield for wheat. Consumption of 1000 kg ha⁻¹ sulfur along with 20 kg ha⁻¹ of *Thiobacillus* (S1000T20) in conditions of without phosphorus (P0), are recommended for use in agriculture and wheat yield increase.

Keywords: Wheat yield components, Sulfur-oxidizing bacteria, Soil nutrient elements, Sulfur, Calcareous soil

