

بررسی اثر تیوباسیلوس، گوگرد و فسفر بر شاخص‌های رشد ذرت (*Zea mays L.*) در برخی مناطق ایران

حسین بشارتی*^۱، هوشنگ خسروی^۲، مهرزاد مستشاری^۳، کامران میرزاشاهی^۴، جلال قادری^۵،
حمیدرضا ذبیحی^۶

(تاریخ دریافت: ۹۵/۲/۰۷ تاریخ پذیرش: ۹۵/۶/۲۴)

چکیده

در بیشتر خاک‌های ایران، برخی عناصر غذایی به علت pH بالای خاکها دارای قابلیت جذب کمی هستند. بنابراین هرگونه راهکار برای مقابله با این مشکل دارای اهمیت است. این پژوهش به منظور بررسی امکان استفاده از گوگرد بنتونیتی به همراه باکتری تیوباسیلوس نئاپولیتانوس در کشت ذرت (رقم سینگل کراس ۷۰۴)، در مزارع تحقیقاتی در مشهد، کرمانشاه، قزوین و دزفول در قالب آزمایشات فاکتوریل انجام شد. تیمارها شامل سطوح مختلف گوگرد (شاهد، مصرف ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) و سطوح مختلف کود سوپر فسفات تریپل (شاهد، ۶۵ و ۱۰۰ درصد فسفر توصیه شده براساس آزمون خاک) بودند. نتایج نشان داد که اثر گوگرد، فسفر و اثرات متقابل آنها بر وزن تر و خشک ذرت در سطح یک درصد معنی دار بود. سطوح گوگرد در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری وزن تر و خشک را افزایش دادند. مصرف ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار در یک سطح آماری قرار داشتند، ولی تفاوت آنها با سطح ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار معنی دار بود. همچنین هر سه سطح گوگرد در مقایسه با شاهد، میزان آهن جذب شده در اندام هوایی ذرت را به‌طور معنی‌داری افزایش داده و بین ۵۰۰ و ۱۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار تفاوت معنی‌دار نبود. کاربرد ۲۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار بیشترین آهن جذب شده را دارا بوده و با سایر تیمارها تفاوت معنی‌دار نشان داد. بهترین تیمار از لحاظ عملکرد نهایی در مقایسه با شاهد، در مشهد ۶۱ درصد، در قزوین ۹/۸ درصد، در کرمانشاه ۱۶/۸ درصد و در دزفول ۱۷/۹ درصد افزایش نشان داد. افزایش میزان آهن جذب شده در مناطق ذکر شده به ترتیب ۲ درصد، ۴۳ درصد، ۱۶/۶ درصد و ۲۲/۶ درصد بود.

واژه‌های کلیدی: گوگرد، فسفر، اکسید کننده گوگرد

۱ و ۲- عضو هیات علمی مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران (مکاتبه‌کننده)
۳- عضو هیات علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی قزوین، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۴- عضو هیات علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی دزفول، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۵- عضو هیات علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۶- عضو هیات علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
* پست الکترونیک: besharati1350@yahoo.com

مقدمه

در آزمایشی با مصرف گوگرد طی دو سال متوالی و در یک خاک آهکی، مشخص شد که اضافه کردن گوگرد به خاک سبب افزایش عملکرد علوفه به میزان ۴۱ تا ۷۸ درصد شده و میزان پروتئین آن ۸۰ تا ۱۲۳ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت (Khan *et al.*, 1986). کوچار و همکاران (Kochar *et al.*, 1990) با مصرف گوگرد در خاکی که pH آن ۷/۸ بود، گزارش کردند که عملکرد ذرت که در تیمار شاهد بدون گوگرد ۶/۴ گرم در گلدان بود و در تیمارهایی که گوگرد دریافت کرده بودند، به طور متوسط به ۱۳/۶ گرم در گلدان رسید.

با توجه به تولید مقادیر زیاد گوگرد در پالایشگاه‌های نفت و گاز ایران و مشکلات موجود در تجارت جهانی گوگرد، امکان‌سنجی و بسترسازی مصرف داخلی آن و بالاخص در بخش کشاورزی، از اهمیت قابل ملاحظه-ای برخوردار می‌باشد. طبق محاسبات و پیش‌بینی‌های انجام شده، پتانسیل مصرف گوگرد در کشاورزی ایران بین ۲۰۰ تا ۳۰۰ هزار تن در سال تخمین زده شده است (Amirmokri & Malakouti, 1983). با این وجود پتانسیل واقعی بخش کشاورزی ایران برای مصرف گوگرد هنوز مشخص نبوده و این امر محقق نخواهد شد، مگر آنکه کلیه ابعاد تحقیقاتی آن به خوبی شفاف شده و در قالب برنامه ترویجی جامعی به کشاورزان منتقل گردد (Besharati, 2016). با عنایت به سطح زیر کشت، بخش قابل ملاحظه‌ای از گوگرد قابل مصرف در بخش کشاورزی ایران به خاک‌های آهکی زیر کشت گیاهان زراعی اختصاص خواهد یافت که اصلی‌ترین توجیه برای مصرف آن، کاهش pH خاک و به دنبال آن رفع اختلال‌های تغذیه‌ای می‌باشد. در این راستا هرگونه بسترسازی در زمینه مصرف گوگرد در خاک‌های ایران، در قدم اول مستلزم وجود مستندات علمی جامعی است که به‌طور متقن نتایج مورد انتظار از مصرف گوگرد را در سطح قابل قبولی از آزمایش‌های مزرعه‌ای اثبات نموده و فرض وجود تأثیرات احتمالاً نامطلوب بر بعضی از ویژگی‌های خاک را رد نماید. با توجه به اینکه گوگرد گرانوله با فرآیند خاصی توسط پژوهشگاه صنعت نفت تولید شده و بلافاصله با جذب رطوبت باز شده و مشکلات مربوط به

کمبود بارش، تبخیر و تعرق زیاد و وجود مواد مادری با تشکیلات آهکی در فلات ایران، سبب تحول و پیدایش خاک‌های آهکی شده است (Banaee *et al.*, 2004). در این شرایط، به علت pH بالا، عناصر غذایی از حلالیت اندکی برخوردار بوده و جذب آنها توسط گیاهان با مشکل مواجه است. در خاک‌های آهکی عناصر فسفر، آهن روی، مس و منگنز قابلیت جذب کمی دارند (Malakouti & Homaei, 1994). به منظور بهبود وضعیت تغذیه گیاهان در شرایط خاک-های آهکی، بررسی‌ها و تحقیقات زیادی در مناطق مختلف دنیا از جمله ایران در طی سال‌های گذشته انجام شده است (Besharati, 1998). استفاده از مواد اسیدی نظیر اسید سولفوریک و گوگرد عنصری که بتواند pH خاک را حداقل در مقیاس کوچک در اطراف ریشه‌ها کاهش داده و قابلیت جذب عناصر غذایی از قبیل فسفر، آهن و روی را افزایش دهد، به عنوان یک راه کار عملی و مؤثر اشاره شده است (Besharati, 2016). از بین مواد مختلف، گوگرد عنصری ماده‌ای اسیدزا است که سالانه بیش از دو میلیون تن آن در صنایع نفت و گاز ایران تولید می‌شود و با بهای نسبتاً ارزان قابل دستیابی است. مقادیر کمی از گوگرد تولید داخل در صنایع مختلف مصرف می‌شود و در سال‌های اخیر برای توسعه مصرف آن در کشاورزی فعالیت‌هایی انجام شده است. ولیکن قسمت اعظم گوگرد تولید داخل در مراکز تولید، توده شده و انباشت آن خطری برای تهدید محیط زیست منطقه محسوب می‌شود (Besharati (2), 2016). بسیاری از بررسی‌ها نشان داده‌اند که اگر گوگرد عنصری در خاک مصرف شود، با فراهم بودن شرایط اکسیداسیون آن، مقادیر قابل توجهی از گوگرد مصرفی در یک فصل زراعی توسط میکروارگانیزم‌های خاکزی (به‌ویژه باکتری‌های جنس تیوباسیلوس) اکسید می‌گردد. اکسیداسیون گوگرد و تولید اسید سولفوریک در نقاط ریز اطراف ریشه‌ها افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی، افزایش جذب عناصر توسط گیاه و در نهایت افزایش رشد و عملکرد گیاه را سبب می‌شود (Kalbasi *et al.*, 1988). (Khadem *et al.*, 2014 Kaplan & Orman, 1998,

مصرفی نیز گوگرد گرانوله‌ای بود که توسط پژوهشگاه صنعت نفت در خانگیران تولید شده بود. برای تهیه مایه تلقیح باکتری‌های اکسید کننده گوگرد، از محیط کشت پستگیت^۱ (Postgate, 1966) استفاده شد (جدول ۱). باکتری‌های مورد استفاده از بانک ریزجانداران مفید مؤسسه تحقیقات خاک و آب تهیه شدند. پس از تهیه محیط کشت، باکتری‌های مورد نظر تکثیر (در دمای ۲۸-۲۵ درجه سانتی‌گراد و بر روی شیکر با چرخش ۱۲۰ دور در دقیقه به مدت چهار روز) و با استفاده از ماده حامل پرلیت، مایه تلقیح‌های یک کیلوگرمی با تراکم جمعیت حدود 10^7 سلول در گرم مایه تلقیح تهیه و در پلاستیک‌های مناسب بسته‌بندی شدند. تلقیح به صورت مصرف خاکی انجام شد.

جدول ۱- ترکیب محیط کشت پستگیت

Table 1- Postgate's Medium Composition

Na ₂ S ₂ O ₃ .5H ₂ O	7 g
(NH ₄) ₂ SO ₄	3.5g
MgSO ₄	0.7 g
FeSO ₄ .7H ₂ O	0.01g
CaCl ₂ .2H ₂ O	0.4 g
Micronutrients	15 ml

اوره به صورت تقسیط در سه قسط، یک سوم در زمان کاشت، یک سوم در مرحله چهار تا شش برگی و یک سوم در مرحله قبل از (مرحله V₉-V₁₀) و پتاسیم نیز در زمان کاشت در مناطقی که بر اساس آزمون خاک نیاز بود، مصرف شد. برای اعمال تیمارهای گوگردی، ابتدا گوگرد و باکتری‌های اکسید کننده گوگرد به خوبی با هم مخلوط شده، سپس به کورت مورد نظر اضافه و پس از مخلوط شدن یکنواخت با خاک، جوی و پشته‌ها ایجاد شدند. مساحت هر کرت ۳۶ متر مربع شامل ۶ پشته به فاصله ۶۰ سانتی‌متر و طول ۱۰ متر انتخاب شد. چهار پشته میانی کشت و پشته اول و ششم به صورت نکاشت باقی ماندند. فاصله بوته‌ها از هم نیز ۱۵ سانتی‌متر انتخاب شد. لازم به ذکر است که فقط ۸ متر از ۱۰ متر، کاشت شد و دو متر انتهایی بدون کاشت بود. ولی کلیه تیمارها اعمال و سایر

گرانول‌های گوگردی قبلی را ندارد، بنابراین تحقیق حاضر به منظور ارزیابی کارایی مصرف این ماده در مزارع ذرت در برخی مناطق مرکزی ایران انجام شد.

موارد و روش‌ها

به منظور بررسی تاثیر مصرف گوگرد و مایه تلقیح باکتری‌های تیوباسیلوس نئاپولیتانوس بر عملکرد و جذب برخی عناصر غذایی در گیاه ذرت علوفه‌ای (رقم سینگل کراس ۷۰۴) آزمایش‌هایی در مزارع تحقیقاتی مراکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، کرمانشاه، قزوین و دزفول انجام شد. این آزمایش‌ها به صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی، در سه تکرار و با استفاده از تیمارهای زیر انجام شد. فاکتورها شامل مصرف گوگرد به همراه باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد و مصرف کود سوپر فسفات تریپل بود.

سطوح مصرف گوگرد شامل: شاهد بدون مصرف گوگرد و بدون مصرف باکتری تیوباسیلوس (S₀)، مصرف همزمان ۵۰۰ کیلوگرم گوگرد و ۱۰ کیلوگرم تیوباسیلوس در هکتار (S₁)، مصرف همزمان ۱۰۰۰ کیلوگرم گوگرد و ۲۰ کیلوگرم تیوباسیلوس در هکتار (S₂)، مصرف همزمان ۲۰۰۰ کیلوگرم گوگرد و ۴۰ کیلوگرم تیوباسیلوس در هکتار (S₃) و سطوح مصرف کود سوپر فسفات تریپل شامل: شاهد بدون مصرف کود سوپر فسفات تریپل (P₀)، مصرف کود فسفات تریپل بر اساس آزمون خاک (P₁)، مصرف کود سوپر فسفات تریپل به میزان ۶۵ درصد مقدار تیمار P₁ (P₂). ابتدا مزارع مورد نظر به گونه‌ای انتخاب شدند که خاک آنها از لحاظ فسفر زیر حد بحرانی برای ذرت باشد. قبل از شروع آزمایش، از خاک مزرعه مورد آزمایش، نمونه خاک مرکب تهیه و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آنها بر اساس روش‌های استاندارد تعیین شد. با توجه به نتایج تجزیه خاک و در نظر گرفتن حداکثر پتانسیل تولید ذرت علوفه‌ای در هر منطقه، میزان کودهای مورد نظر تعیین شد. منابع کودی شامل اوره، سوپر فسفات تریپل، سولفات پتاسیم و اسیدبوریک بودند. کودهای مورد نظر نیز بر اساس توصیه‌های انجام شده محاسبه و مصرف شد. گوگرد

۱ - Postgate

مزارع تحقیقاتی، عناصر فسفر، روی، آهن و همچنین Ali Ehyaii, TNV, pH, EC و O.C اندازه‌گیری شد (1997). تجزیه و تحلیل‌های آماری پس از نرمال کردن داده‌ها با استفاده از نرم افزارهای SAS و Minitab انجام شد.

نتایج و بحث

۱- نتایج تجزیه خاک

جدول دو نتایج تجزیه خاک در مشهد، کرمانشاه، قزوین و دزفول را نشان می‌دهد. همانطور که از جدول مشخص است، میزان فسفر خاک نیز کمتر از حد بحرانی (۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) برای کشت ذرت می‌باشد (Malakouti & Gheibi, 2000).

عملیات انجام شد. بنابراین در دل هر تیمار و با همان عنوان، تیمار بدون گیاه نیز وجود داشت. به عنوان مثال علاوه بر (S₀P₀ Plant₀) عملاً یک تیمار (S₀P₀ Plant₀) نیز وجود داشت. عملیات زراعی بر اساس دستورالعمل‌های تحقیقات هر منطقه صورت گرفت و آب مورد نیاز هر منطقه نیز محاسبه و مصرف شد. در مرحله V₇-V₈ با حذف یک متر از ابتدای پشته دوم و انتهای پشته سوم، از یک متر بعدی آن نمونه‌برداری شد. نمونه‌ها کف بر شدند تا ضمن اندازه‌گیری عملکرد تر و خشک علوفه (۴۸ ساعت در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد آون)، مقدار P، Zn و Fe نیز در آنها بر اساس روش‌های موجود اندازه‌گیری شود (Imamy, 1996). به منظور تعیین عملکرد تر علوفه، ۵ متر باقیمانده از دو پشته وسط هر کرت (با احتساب حذف یک متر از طرفین) مورد استفاده قرار گرفت. در کلیه

جدول ۲- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مناطق مختلف

Table 2- Some physical and chemical properties of soils in different regions

Texture	Mn	Cu	Zn	Fe	K	P	O.C	T.N.V	pH	ECe*	منطقه Region
			mg kg ⁻¹				%		-	dS m ⁻¹	
Loam	13.26	1.42	1.34	5.2	405	13.2	0.37	19.6	7.83	0.92	مشهد Mashhad
Loam	1.22	0.69	0.62	1.22	215	6.7	0.5	7.44	7.81	1	قزوین Qazvin
Silty Clay Loam	5.38	1.2	0.92	6.78	350	10	1.02	**	7.70	1	کرمانشاه Kermanshah
Loam	13.26	1.42	1.34	5.2	405	13.2	0.37	19.6	7.80	0.92	دزفول Dezful

ECe*: هدایت الکتریکی عصاره اشباع، ** گزارش نشده است.

* ECe: Electrical conductivity in saturation extract, ** not determined

نتایج تأثیر تیمارها بر عملکرد و جذب عناصر غذایی در ذرت در قزوین در جدول ۴ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که در قزوین کاربرد منفرد گوگرد و فسفر تأثیر معنی‌داری بر عملکرد تر مرحله V₇-V₈ نداشت، اما مصرف توأم این دو عنصر موجب تأثیر معنی‌داری (P<0.01) بر عملکرد این مرحله شد. اثر اصلی و توأم گوگرد و فسفر تأثیر معنی‌داری در سطح اصلی (P<0.01) بر عملکرد خشک مرحله V₇-V₈ داشتند. اثر اصلی و توأم گوگرد و فسفر تأثیر معنی‌داری بر غلظت آهن و فسفر در اندام‌های هوایی نداشت. تنها کاربرد منفرد فسفر تأثیر معنی‌داری در سطح (P<0.05) بر

۲- نتایج تأثیر تیمارها بر عملکرد و جذب عناصر

غذایی در ذرت در مناطق مختلف

۱-۲ نتایج تأثیر تیمارها بر عملکرد و جذب

عناصر غذایی در ذرت در مشهد

نتایج تأثیر تیمارها بر عملکرد و جذب عناصر غذایی در ذرت در مشهد در جدول ۳ نشان داده شده است.

۲-۲ نتایج تأثیر تیمارها بر عملکرد و جذب

عناصر غذایی در ذرت در قزوین

۳-۲- نتایج تأثیر تیمارها بر عملکرد و جذب عناصر غذایی در ذرت در کرمانشاه
نتایج تأثیر تیمارها بر عملکرد و جذب عناصر غذایی در ذرت در کرمانشاه در جدول ۵ نشان داده شده است.

عملکرد نهایی (عملکرد ۵ متر) داشت. بالاترین عملکرد نهایی به میزان ۲۹/۶۵ کیلوگرم در ۵ متر از کاربرد ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل بدست آمد.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر تیمارها بر عملکرد و جذب عناصر در مشهد

Table 3- Mean Comparison of effects of treatments on yield and nutrients uptake in Mashhad

عملکرد نهایی Final yield	فسفر Phosphorous	روی Zinc	آهن Iron	وزن خشک Dry Weight	وزن تر Wet Weight	فسفر Phosphorous	گوگرد Sulfur
kg 5m ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	kg m ⁻¹	kg m ^{-1*}		
50.82 f	0.16 ab	22.11 a	144.56 ab	13.56 d	32.59 f	P0	
57.43 df	0.14 ab	20.35 a	105.26 ab	14.81 cd	34.50 df	P1	S0
61.67 df	0.13 ab	18.60 a	128.07 ab	14.89 cd	35.03 df	P2	
56.69 df	0.12 a	17.54 a	110.88 ab	14.83 cd	33.99 ef	P0	
65.76 cd	0.11 a	14.74 a	117.89 ab	14.89 cd	36.49 be	P1	S1
71.75 bc	0.14ab	17.31 a	119.65 ab	17.75 ab	36.91 be	P2	
54.42 ef	0.16 ab	13.68 a	98.95 b	15.81 c	36.45 be	P0	
70.67 bc	0.16 ab	16.49 a	102.81 ab	17.39 b	38.09 bd	P1	S2
72.89 bc	0.13 ab	14.04 a	117.54 ab	19.12 a	39.34 ac	P2	
56.32 ef	0.17 ab	21.93 a	147.54 a	14.60 cd	35.76 cf	P0	
76.32 ab	0.18 a	19.47 a	109.82 ab	18.87 ab	39.73 ab	P1	S3
81.77 a	0.18 a	19.30 a	122.46 ab	18.31 ab	42.22 a	P2	

* کیلوگرم در یک متر از خط کشت

جدول ۴- مقایسه میانگین تیمارها بر عملکرد و جذب عناصر در قزوین

Table 4- Mean Comparison of effects of treatments on yield and nutrients uptake in Qazvin

عملکرد نهایی Final yield	فسفر Phosphorous	روی Zinc	آهن Iron	وزن خشک Dry Weight	وزن تر Wet Weight	فسفر Phosphorous	گوگرد Sulfur
kg 5m ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	kg m ⁻¹	kg m ⁻¹		
27.00ac	0.47a		221.00a	0.53cd	4.60ac	P0	
28.02ac	0.46a		253.33a	0.46d	5.06a	P1	S0
29.48ab	0.46a		246.17a	0.78b	4.80ab	P2	
27.52ac	0.41a		228.00a	0.46d	4.87ab	P0	
28.43ac	0.46a		316.75a	0.50cd	4.00c	P1	S1
28.48ac	0.47a		299.33a	0.51cd	5.25a	P2	
26.57c	0.46a		253.33a	0.44d	4.70ac	P0	
29.65a	0.44a		280.83a	0.47d	5.30a	P1	S2
26.60c	0.52a		269.17a	0.58c	4.95ab	P2	
26.85bc	0.44a		255.67a	0.70b	4.95ab	P0	
28.80ac	0.49a		275.83a	0.94a	5.11a	P1	S3
27.43ac	0.48a		212.17a	0.48d	4.27bc	P2	

جدول ۵- مقایسه میانگین تیمارها بر عملکرد و جذب عناصر در کرمانشاه

Table 5- Mean Comparison of effects of treatments on yield and nutrients uptake in Kermanshah

عملکرد نهایی Final yield kg 5m ⁻¹	فسفر Phosphorous mg kg ⁻¹	روی Zinc mg kg ⁻¹	آهن Iron mg kg ⁻¹	وزن خشک Dry Weight kg m ⁻¹	وزن تر* Wet Weight kg m ⁻¹	فسفر Phosphorous	گوگرد Sulfur
34.67 f	0.56 c	34.67 ab	198.00 bc	0.07 c	0.53 c	P0	
37.17 ce	0.62 bc	33.00 ab	255.33 a	0.09 ab	0.57 bc	P1	S0
35.50 ef	0.75 a	35.00 ab	188.33 c	0.09 ab	0.63 bc	P2	
37.33 ce	0.68 ab	31.33 ab	197.67 bc	0.10 a	0.58 bc	P0	
38.67 ac	0.65 ac	35.67 ab	198.00 bc	0.09 ab	0.60 bc	P1	S1
35.83 ef	0.60 bc	37.33 a	219.67 ab	0.08 ac	0.57 bc	P2	
36.17 df	0.59 bc	32.33 ab	230.67 a	0.10 a	0.62 bc	P0	
38.33 bc	0.59 bc	33.00 ab	219.67 ab	0.11 a	0.75 a	P1	S2
38.50 ac	0.61 bc	32.67 ab	189.67 c	0.08 ac	0.59 bc	P2	
40.33 ab	0.61 bc	34.00 ab	184.67 c	0.08 ac	0.57 bc	P0	
38.17 cd	0.58 bc	30.33 b	181.00 c	0.10 a	0.67 ab	P1	S3
40.50 a	0.59 bc	33.00 ab	184.33 c	0.11 a	0.68 ab	P2	

* کیلوگرم در یک متر از خط کشت

این پارامتر نداشت. اثر اصلی و توأم گوگرد و فسفر تأثیر معنی‌داری بر غلظت فسفر در اندام‌های هوایی نداشت. اثر اصلی و توأم گوگرد و فسفر تأثیر معنی‌داری بر غلظت روی در اندام‌های هوایی نداشت. کاربرد منفرد گوگرد و کاربرد توأم فسفر و گوگرد تأثیر معنی‌داری در سطح (P < ۰/۰۱) بر عملکرد نهایی (عملکرد ۵ متر) داشت، اما فسفر تأثیر معنی‌داری بر این پارامتر نداشت. بالاترین عملکرد نهایی به میزان ۴۰/۵۰۰ کیلوگرم در ۵ متر در تیمار S3P2 بدست آمد.

نتایج نشان داد که در کرمانشاه کاربرد منفرد گوگرد و فسفر تأثیر معنی‌داری در سطح (P < ۰/۰۵) بر عملکرد داشت، اما کاربرد توأم گوگرد و منفرد فسفر تأثیر معنی‌داری بر عملکرد تر مرحله V₇-V₈ نداشت. همچنین، کاربرد توأم گوگرد و فسفر تأثیر معنی‌داری (P < ۰/۰۵) بر عملکرد خشک مرحله V₇-V₈ داشت. اما کاربرد اصلی این دو عنصر تأثیر معنی‌داری بر این پارامتر نداشت. اثر اصلی گوگرد و کاربرد توأم گوگرد و فسفر تأثیر معنی‌داری (P < ۰/۰۱) بر غلظت آهن در اندام‌های هوایی داشتند، اما فسفر تأثیر معنی‌داری بر

جدول ۶- مقایسه میانگین تیمارها بر عملکرد و جذب عناصر در دزفول

Table 6- Mean Comparison of effects of treatments on yield and nutrients uptake in Dezful

عملکرد نهایی Final yield kg 5m ⁻¹	فسفر Phosphorous mg kg ⁻¹	روی Zinc mg kg ⁻¹	آهن Iron mg kg ⁻¹	وزن خشک Dry Weight kg m ⁻¹	وزن تر* Wet Weight kg m ⁻¹	فسفر Phosphorous	گوگرد Sulfur
15.83bc	0.44a	46.33 ab	121.50ab	0.007a	0.065a	P0	
16.83ab	0.39a	33.50b	117.83 ab	0.009a	0.079a	P1	S0
18.67a	0.45a	37.67 ab	106.83b	0.010a	0.088a	P2	
16.17ac	0.39a	38.83 ab	127.17 ab	0.008a	0.071a	P0	
15.00bc	0.45a	37.83 ab	126.33 ab	0.008a	0.074a	P1	S1
16.67ac	0.46a	37.50 ab	113.00 ab	0.008a	0.071a	P2	
16.50ac	0.45a	41.83 ab	115.67 ab	0.008a	0.077a	P0	
16.17ac	0.41a	41.67 ab	144.33 ab	0.008a	0.076a	P1	S2
14.83bc	0.41a	42.50 ab	123.50 ab	0.008a	0.070a	P2	
14.00c	0.46a	47.67a	125.17 ab	0.009a	0.077a	P0	
15.17bc	0.43a	39.33 ab	149.00a	0.009a	0.055a	P1	S3
15.83bc	0.47a	41.00 ab	125.17 ab	0.009a	0.075a	P2	

* کیلوگرم در یک متر از خط کشت

۲-۴- نتایج تأثیر تیمارها بر عملکرد و جذب

عناصر غذایی در ذرت در دزفول

نتایج تأثیر تیمارها بر عملکرد و جذب عناصر غذایی در ذرت در دزفول در جدول شش نشان داده شده است. نتایج نشان داد که در دزفول اثر اصلی و توأم گوگرد و فسفر تأثیر معنی‌داری بر عملکرد تر و خشک مرحله V7-V8 بر غلظت آهن، روی و فسفر در اندام‌های هوایی نداشت. کاربرد منفرد گوگرد و کاربرد منفرد فسفر تأثیر معنی‌داری بر عملکرد نهایی (عملکرد ۵ متر) نداشتند، اما کاربرد فسفر تأثیر معنی‌داری در سطح ($P < 0.05$) بر این فاکتور داشت. بالاترین عملکرد نهایی به میزان ۱۸/۶۷ کیلوگرم در ۵ متر از تیمار SOP2 بدست آمد.

همانطوریکه نتایج نشان داد، در برخی موارد کاربرد گوگرد چه به صورت منفرد و چه به صورت ترکیب با کود فسفوری، اثرات معنی‌داری بر شاخص‌های رشد ذرت نشان داد. در دو آزمایش مشابه که در گلخانه انجام شد، منابع مختلف گوگرد به خاک افزوده و نتایج نشان داد که مصرف ۲۰ میلی‌گرم گوگرد در مقایسه با شاهد عملکرد و مقدار سولفات جذب شده توسط ذرت را بین ۴۰ تا ۶۶ درصد با توجه به نوع منبع گوگرد افزایش داد (Singh & Chhibba, 1991).

در خاک‌های مورد آزمایش در این پژوهش، مقدار فسفر خاک کمتر از حد بحرانی برای ذرت بود و بخشی از پاسخ گیاه به تیمارهای مختلف به پایین بودن فسفر خاک بر می‌گردد. در تأیید این موضوع، در پژوهشی در یک خاک لوم شنی که مقدار فسفر و سولفات قابل جذب آن کمتر از حد بحرانی برای ذرت بود، قبل از کشت گیاه، در چهار تیمار منابع مختلف فسفر به خاک اضافه شد و موجب افزایش عملکرد ذرت گردید. بدیهی است که اکسایش گوگرد ضمن تأمین سولفات مورد نیاز گیاه، با انحلال و آزاد کردن فسفر موجود در آن باعث افزایش فسفر قابل جذب ذرت گردید (Bromfield et al., 1981).

در پژوهش حاضر فسفر قابل جذب خاک در نتیجه مصرف گوگرد افزایش یافت. دلیل این امر این است که pH خاک در نقاط ریز کاهش یافته و فسفر آزاد می‌گردد. طی مطالعات زیادی در رابطه با اثرات pH خاک

بر اکسیداسیون گوگرد و افزایش فسفر قابل جذب گیاه ذرت، در خاک‌هایی با pHهای مختلف، نتیجه‌گیری شده است که افزودن گوگرد به خاک باعث افزایش فسفر قابل جذب خاک می‌شود (Nor & Tabatabai, 1977). در این پژوهش در مواردی در برخی مناطق، جذب عناصر تحت تأثیر تیمارهای گوگردی قرار نگرفت. ماهر و ماپلس (Mahler & Maples, 1986) در تحقیقی اثرات گوگرد عنصری را بر کاهش pH خاک و جذب برخی از عناصر غذایی توسط گندم در یک خاک نسبتاً اسیدی مورد بررسی قرار داده و نتیجه گرفتند که مصرف گوگرد سبب کاهش جذب فسفر توسط گیاه شده و در جذب منگنز، آهن و روی روند خاصی مشاهده نکردند. در این پژوهش مشاهده شد که کاربرد گوگرد موجب افزایش جذب آهن شد. در پژوهشی کلروز و کاهش محصول بادام زمینی که در خاک‌های آهکی کشت شده بودند به کمبود گوگرد و عناصر کم مصرف مرتبط دانستند. همچنین مصرف گوگرد عملکرد بادام زمینی را در مقایسه با شاهد ۸/۶ تا ۹/۸ درصد افزایش داد (Chaudhari & Singh 1997).

در پژوهشی دیگری تأثیر مصرف گوگرد بر عملکرد، تثبیت نیتروژن و تعداد غده در سویا در یک خاک آهکی بررسی گردید و گزارش شد که وزن خشک سویا در دو تیمار ۰ و ۱۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار با هم تفاوت معنی‌دار نداشتند. در حالی که تیمارهای ۲۰، ۳۰ و ۴۰ کیلوگرم در هکتار در مقایسه با شاهد به ترتیب ۱۷/۴۴، ۲۹/۶۵، ۲۹/۹ و ۳۲/۳۲ درصد وزن خشک گیاه افزایش یافت (Dubey & Billore 1995).

در پژوهش حاضر جذب نیتروژن در گیاه ذرت در نتیجه کاربرد گوگرد ارزیابی نگردید. ولی گزارشاتی مبنی بر تأثیر گوگرد در جذب نیتروژن در لگوم‌ها وجود دارد. از جمله آنکه در یک بررسی گلدانی، اثر مقادیر مختلف گوگرد بر جذب نیتروژن ماش، شیدر، یونجه و نخود را مثبت ارزیابی شده است (Scherer & Lange, 1996). در خاک‌های آهکی بخش اعظم فسفر موجود در خاک به شکل غیر قابل جذب از قبیل آپاتیت یا خاک فسفات ذخیره شده و گیاه قادر نیست از آن به عنوان منبع فسفر استفاده نماید. در حالیکه

بهبتر از اختیاری ظاهر شدند (Besharati & Salehrastin 1999). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که در خاک‌های آهکی استفاده از گوگرد به همراه باکتری‌های تیوباسیلوس، می‌تواند در بهبود ویژگی‌های شیمیایی خاک و افزایش عملکرد گیاه مؤثر واقع شود. در همین رابطه در تحقیقی پتانسیل باکتری تیوباسیلوس و گوگرد در افزایش آزادسازی فسفر از منبع خاک فسفات مثبت ارزیابی شده است (Khavazi et al., 2001).

نتیجه‌گیری کلی

در مجموع تأثیر گوگرد بر عملکرد ذرت مرحله V₇-V₈ و عملکرد نهایی در سطح یک درصد معنی‌دار بود. در مجموع با توجه به جمیع جوانب، محدوده مصرف یک تن گوگرد در هکتار برای کشت ذرت و سایر تحقیقات آتی توصیه می‌شود. کلیه مجریان این طرح از گوگرد تهیه شده توسط پژوهشگاه رضایت کامل داشتند. برخلاف گوگردهای قبلی، پس از اتمام کلیه عملیات زراعی، آثاری از گوگرد در خاک مشاهده نشد. لذا با توجه به اذعان بسیاری از محققین در گذشته مبنی بر عدم تغییر گرانول‌های گوگرد در خاک، می‌بایستی در نتایج بدست آمده بازنگری گردد. تأثیر گوگرد همراه با باکتری‌های تیوباسیلوس بر عملکرد ذرت امیدوار کننده بوده و بیانگر پتانسیل خوب آن برای کاربرد در بخش کشاورزی و افزایش عملکرد می‌باشد. با توجه به نتایج بدست آمده، در خصوص مصرف گوگرد و یا تحقیقات آتی، در برنامه‌ریزی‌ها محدوده ۱۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار باید مد نظر قرار گیرد.

مصرف مواد اسیدزا از قبیل گوگرد با کاهش موضعی pH خاک، می‌تواند فسفر ذخیره شده در خاک را برای گیاه آزاد نماید. در همین رابطه در آزمایشی گلخانه‌ای امکان استفاده از مخلوط سنگ فسفات و گوگرد را به عنوان کود فسفوری بررسی شده و نتیجه‌گیری شده است که مخلوط سنگ فسفات و گوگرد به طور معنی‌داری عملکرد و میزان فسفر جذب شده را در مقایسه با سنگ فسفات به تنهایی، افزایش داد (Kittmas Attoe, 1965). همچنین در یک آزمایش گلخانه‌ای در یک خاک اکسی‌سل، تأثیر مصرف مخلوط گوگرد و کودهای فسفوری، مواد آلی (کمپوست) و تلقیح خاک با باکتری تیوباسیلوس تیواکسیدانس^۱ بر عملکرد سورگوم و میزان جذب فسفر توسط آن را مورد بررسی قرار گرفته است و طبق نتایج حاصله، تلقیح مخلوط گوگرد و سنگ فسفات با باکتری تیوباسیلوس تیواکسیدانس، موجب کاهش سریع pH خاک گردیده و فسفر قابل دسترس موجود در خاک را به اندازه کافی برای رشد سورگوم افزایش داده است. به طوری که عملکرد سورگوم در این تیمار به اندازه عملکرد حاصل از مصرف کود سوپر فسفات تریپل بود (Rosa et al., 1989).

به طور کلی در خاک‌هایی که مقدار کربن آلی آنها اندک است، باکتری‌های تیوباسیلوس اتوتروف اجباری، عملکرد بهتری در مقایسه با انواع اتوتروف اختیاری دارند. در پژوهش حاضر نوع باکتری‌های تیوباسیلوس مورد استفاده از نوع باکتری‌های اتوتروف اجباری بوده که از دی‌اکسید کربن به عنوان تنها منبع کربن استفاده کرده و برای کسب انرژی مورد نیاز خود گوگرد را اکسید می‌نمایند. در تحقیقی بر روی گیاه ذرت اثر چهار نوع تیمار باکتری تیوباسیلوس (گونه‌های اتوتروف اجباری، انواع اتوتروف اختیاری، مخلوط این دو نوع و شاهد تلقیح نشده) در حضور گوگرد و کود فسفوری، مشخص شده است که استفاده از مایه تلقیح تیوباسیلوس همراه با مصرف گوگرد در خاک روی شاخص‌های اندازه‌گیری شده در خاک و گیاه تأثیر معنی‌داری داشته و باکتری‌های اجباری

1-Thiobacillus thiooxidans

Reference

- Ali-Ehyaii M. 1997. Methods of Soil Chemical Analysis. Technical Manual No. 1024, Research, Education and Extension Organization. Soil and Water Research Institute, Tehran, Iran, 129p. (In Persian)
- Amirmokri H. and Malakouti M.J. 1983. Overview to industry production and consumption of sulfur in Iran and role of it in agriculture. Soil and Water research Institute, Technical Note No. 324.
- Banaee M.H., Moemeni A., Baybordi M. and Malakouti, M.J. 2004. Soils of Iran. Soil and Water Research Institute, 481p.
- Besharati H. and Salehrastin N. 1999. Evaluation of sulfur application and *Thiobacillus* on phosphorous uptake. *Journal of Soil and Water*, 13(1): 23-35.
- Besharati H. 1998. Evaluation of sulfur application and *Thiobacillus* on some nutrients uptake in soil. MSc Thesis. Agriculture College, Tehran University. 176 p.
- Besharati H. 2016. 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. *Journal of Plant Nutrition* (In press).
- Besharati H. 2016. Evaluation of sulfur application and *Thiobacillus* on yield and nutrients uptake of corn and some physical and chemical characteristics of soil. Final Reports of Project No. 9352-93009.
- Bromfield A.R., Hancock I.R. and Debenhm D.F. 1981. Effect of ground rock phosphate and elemental S on yield and P uptake of maize in western Kenya. *Experimental Agriculture*, 17: 383-387.
- Dubey S.K. and Billore S.D. 1995. Effect of level and source of sulfur on symbiotic and biometrical parameters of soybean (*Glycin max*). *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 65(2): 140-144.
- Imamy A. 1996. Methods of Plant Analysis (Vol. 1). Technical manual No. 982, Research, Education and Extension Organization. Soil and Water Research Institute, Tehran, Iran. 128 p. (In Persian)
- 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. *Journal of Plant Nutrition*, 11: 1353-1360.
- Kaplan M. and Orman S. 1998. Effect of elemental sulfur and sulfur containing west in calcareouse soil in Turkry. *Journal of Plant Nutrition*, 21 (8): 1655-1665.
- Khadem A. Gholchin A., Shafiee S. and Zare A. 2014. Effect of manures and sulfure on nutrients uptake of corn. *Journal of Farming*, 103: 1-10.
- Khan M.I., Ibrahim M. and Rashid-Ayub A. 1986. Berseen response to sulfur application. *Agronomy Abstract*, 411-426.
- Khavazi K., Nourgholipour F. and Malakouti M.J. 2001. Effect of *Thiobacillus* and phosphate solubilizing bacteria on increasing P availability from rock phosphate and related Appropriate Technology-Latest Development and Practical Experiences. Kuala Lumpur, Malasia.
- Kittmas H.A. and Attoe O.J. 1965. Availability of phosphorus in rock phosphate-sulfur fusion. *Agronomy Journal*, 57: 331-334.
- Kochar R.K., Arora B.R. and Nayyar V.K. 1990. Effect of sulfur and zinc application on maize crop. *Journal of the Indian Society of Soil Science*, 38: 339-341.
- Mahler R.J. and Maples, R.L. 1986. Response of wheat to sulfur fertilization. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, 17: 975-988.
- Malakouti M.J. and Gheibi, M.N. 2000. Determination of critical levels of nutrients in soil, plant and fruit. Agricultural Education Publishing, 92 p. (In Persian)
- Malakouti M.J. and Homaaee M. 1994. Soil Fertility in Arid Regions. University of Tarbiate Modares Publication, 494 p. (In Persian)
- Malakouti M.J. and Rezaee H. 2001. Role of Sulfur, calcium and magnesium on yield and quality of agricultural crops. Agriculture Education Publication, 98p. (In Persian)

- Nor Y.M. and Tabatabai M.A. 1977. Oxidation of elemental sulfur in soils. *Soil Science Society of American Journal*, 41: 736-741.
- Postgate J.R. 1966. Media for sulfur bacteria. *Laboratory Practice Journal*, 15: 1239-1244.
- 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 Science Society of America Journal*, 53:1096-1100.
- Scherer H.W. and Lange A. 1996. N₂ fixation and growth of legume as affected by sulfur fertilization. *Biology and Fertility of Soils*, 23: 449-453.
- Singh A.L. and Chaudhari V. 1997. Sulfur and micronutrient of groundnut in a calcareous soil. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 179: 107- 114.
- Singh A.L. and Chhibba I.M. 1991. Evaluation of some sources of sulfur using maize and what as test crops. *Journal of the Indian Society of Soil Science*, 39: 514-516.

Evaluation of Effects of *Thiobacillus*, Sulfur and Phosphorous on Corn (*Zea mays L.*) Growth Indices in some Regions of Iran

Hossein Besharati¹, Houshang Khosravi², Mehrzad Mostashari³, Kamran Mirzashahi⁴, Jalal Ghaderi⁵, Hamid-Reza Zabihi⁶

(Received: April 2016 Accepted: September 2016)

Abstract

The availability of some nutrient elements in many soils of Iran is low because of high pH values. Therefore, any strategy for solution of this problem is important. This study carried out to evaluate the possibility of sulfur-bentonite application and *Thiobacillus neapolitanus* inoculation on corn (Single Cross 704) growth as factorial field experiments in Mashhad, Kermanshah, Qazvin and Dezful regions. The treatments were sulfur (control, 500, 1000 and 2000 kg ha⁻¹) and triple super phosphate (control, 65 and 100% of recommended based on soil testing). The results revealed that sulphur, phosphorous and their interaction increased significantly corn shoot dry and wet weight. The sulfur application compared to control, significantly increased corn wet and dry matter. There was no significant difference between 1000 and 2000 kg S ha⁻¹, but these levels showed significant difference with 500 kg S ha⁻¹. All of the sulfur levels increased significantly the Fe uptake compared to the control, however, no difference observed between 500 and 1000 kg S ha⁻¹, while application of 2000 kg sulfur resulted to the highest Fe uptake. The best treatment increased corn yield by 61, 9.8, 16.8 and 17.9 % in Mashhad, Qazvin, Kermanshah and Dezful respectively. Iron uptake increment at mentioned regions were 2%, 43%, 16.6% and 22.6%, respectively.

Keywords: Sulfur, Phosphorous, Sulfur oxidizer

1- Staff Member of Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran.

2- Staff Member of Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran.

3- Staff Member of Agricultural Research Center of Qazvin, Iran.

4- Staff Member of Agricultural Research Center of SafiAbad, Dezful, Iran.

5- Staff Member of Agricultural Research Center of Kermanshah, Iran

6- Staff Member of Agricultural Research Center of Khorasan-Razavi, Iran

*Corresponding authors Email: besharati1350@yahoo.com