Journal of Horticultural Plants Nutrition
Vol.3, No.1, Spring and Summer 2020
Research Paper

Morphophysiological and growth responses of sesame plant to combined use of sulfur and *Thiobacillus*

Alireza Gilani [1*] ***, Hamid Abbasdokht*** [2] ***, Ahmad Gholami*** [3]

1- Corresponding Author and Ph.D. Student of Agronomy, Crop Ecology, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran.
aligilibili@gmail.com
2- Associate Professor, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood. Iran. habbasdokht@yahoo.com
3- Associate Professor, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran.
ahgholami273@gmail.com

Received Date: 2020/04/25 Accepted Date: 2020/06/22

Abstract

Introduction: Sesame is an annual plant with a history of 5,000 years, apparently the oldest oilseed in the world. Due to the climatic conditions and characteristics of Iranian soils, it is very important to pay attention to the consumption of sulfur in agricultural lands. Lack of sulfur fertilizer consumption (such as simple superphosphate) containing in the last few years, consistent and intense cultivation of agricultural lands, the existence of sodic and saline-sodic soils, abundance and affordability of sulfur are the most important reasons for paying attention to sulfur consumption in Iran. The importance of this element in oilseed plants is more important. Sulfur must first be converted to sulfate ions to be absorbed by plants, which is caused by microorganisms such as chemoaulytotrophs, which use elemental sulfur as a source of energy. The most important of these microorganisms are *Thiobacillus* bacteria (Zhi-Hui et al., 2010). The realization of this depends on the existence of a significant population of *Thiobacillus*.

Material and methods: This study was conducted as complete randomized blocks design for factorial experiment with 3 replications on a farm in Karaj city (Alborz province) in the 2017-2018 agronomic year. In this experiment, sulfur fertilizer was used at three levels (including control level (S_0), 100 Kg.ha-1 (S_1) and 300 Kg.ha-1 (S_2)); Thiobacillus bacteria was used at two levels (including no inoculation (T_0) and inoculation with bacteria (T_1)). Then plant height, yield and yield components and harvest index were calculated. To determine the content of chlorophyll and carotenoids before the end of the growing season, sampling of plant leaves was performed. Analysis of variance and mean comparisons of data (at a 5% probability level based on LSD test) were performed using SAS software (Ver. 9.4). MS Excel was also used to plot the diagrams.

Results and discussion: The results showed that all the studied traits were significantly affected by the main effect of sulfur fertilizer and except for the plant height, all the studied traits were affected by the main effect of *Thiobacillus*. So that the highest amount of all the tested properties of sulfur fertilizer was 300 Kg.ha-1 in sesame. The use of *Thiobacillus* bacteria also significantly increased all the studied characteristics in sesame plants except plant height. The interaction of sulfur fertilizer and *Thiobacillus* bacterium also had significant effects on the number of capsules per plant, the number of seeds per capsule, grain yield, biological yield, chlorophyll a, chlorophyll b and total chlorophyll.

Conclusions: Due to the high level of lime in the soils of our country and the cheapness of sulfur resources in Iran, to reduce soil pH use sulfur fertilizer and to facilitate access to sulfur resources, increase oxidation of this fertilizer and increase the activity of beneficial soil microorganisms using bacteria *Thiobacillus* is recommended.

Keywords: Sesame, sulfur, *Thiobacillus*, yield, yield component, chlorophyll, carotenoid.

نشریه علمی تغذیه گیاهان باغی
دوره ۳، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۹، (ص ۱۴۶- ۱۳۳)
مقاله پژوهشی

پاسخ‌های مورفوفیزیولوژیک و رشدی گیاه کنجد (*Sesamum indicum* L.) به کاربرد تلفیقی گوگرد و باکتری تیوباسیلوس (*Halothiobacillus neapolitanus*)

علیرضا گیلانی [۱*]، حمید عباسدخت [۲]، احمد غلامی [۳]

۱- نویسنده مسئول و دانشجوی دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود ، ایران.
aligilibili@gmail.com
۲- دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود ، ایران.
habbasdokht@yahoo.com
۳- دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران.
ahgholami273@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۰۶ **تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۰۲**

چکیده

به منظور ارزیابی پاسخ‌های مورفوفیزیولوژیک و زراعی گیاه کنجد به اثر تغذیه‌ای کاربرد تلفیقی گوگرد و تیوباسیلوس، آزمایشی به صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه‌ای آزمایشی در شهرستان کرج (استان البرز) در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ انجام شد. فاکتورهای آزمایش عبارت شامل کود گوگرد در سه سطح (شامل شاهد (S_0)، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار (S_1) و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار (S_2))؛ باکتری تیوباسیلوس در دو سطح شامل (عدم تلقیح (T_0) و تلقیح با باکتری (T_1)) در نظر گرفته شدند. شاخص‌های ارزیابی نیز شامل تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، ارتفاع بوته، کلروفیل *a*، کلروفیل *b*، کلروفیل کل و کاروتنوئید بود. نتایج نشان داد که همه‌ی صفات مورد بررسی به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر اثر اصلی کود گوگرد و تمام صفات مورد بررسی به جز ارتفاع بوته، تحت تاثیر اثر اصلی تیوباسیلوس قرار گرفتند به طوری که بیشترین میزان همه‌ی صفات مورد آزمایش در تیمار S_2 در کنجد بدست آمد. برهمکنش اثر کود گوگرد و باکتری تیوباسیلوس نیز بر صفات تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، کلروفیل *a*، کلروفیل *b* و کلروفیل کل به طور معنی‌داری تاثیرگذار بود. بنابراین می‌توان نتیجه گیری کرد اثر تغذیه‌ای کاربرد تلفیقی گوگرد و تیوباسیلوس موجب بهبود ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و زراعی گیاه کنجد گردیده است.

کلمات کلیدی: کنجد، گوگرد، تیوباسیلوس، عملکرد، اجزای عملکرد، کلروفیل، کاروتنوئید.

مقدمه

کنجد گیاهی یک ساله است، با سابقه کشت پنج هزارساله و ظاهرا قدیمی‌ترین دانه روغنی در جهان است. کنجد با این که محصول مناطق گرمسیر و نیمه گرمسیر است، ولی اصلاح واریته‌های مناسب موجب گسترش آن به مناطق معتدل‌تر شده است. (Langham et al., 2007).

گوگرد پس از عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم چهارمین عنصر پرمصرف ضروری در اکثر گیاهان زراعی می‌باشد. با توجه به شرایط اقلیمی و ویژگی خاک‌های ایران توجه به مصرف گوگرد در اراضی کشاورزی بسیار ضروری می‌باشد. عدم مصرف کودهای حاوی گوگرد (مانند سوپر فسفات ساده) در سال‌های گذشته، کشت مداوم و متراکم اراضی زراعی، وجود اراضی سدیمی و شور سدیمی و فراوانی و ارزانی گوگرد از مهم‌ترین دلایل توجه به مصرف گوگرد در خاک‌های ایران می‌باشد. گوگرد ورودی از اتمسفر منجر به منفی شدن تعادل در خاک‌های کشاورزی می‌شود. از آنجا که عملکرد گیاهان زراعی با این منفی شدن تعادل در خاک افزایش پیدا می‌کنند بنابراین وابستگی گیاهان به خاک برای تامین گوگرد مورد نیاز برای سنتز اسیدهای آمینه سیستئین و متیونین و قسمتی از پروتئین‌ها و تعدادی از ویتامین‌های ضروری و کوفاکتور افزایش پیدا می‌کند (Kertesz and Mirleau, 2004). در نتیجه، در صورت کمبود گوگرد رشد و نمو گیاهان دچار تاخیر شده که این، موجب کاهش کمی و کیفی محصول می‌شود (Motior et al., 2011). این عنصر در گیاهان روغنی اهمیت دو چندانی دارد زیرا علاوه بر ضرورت وجود گوگرد در تشکیل برخی اسیدهای آمینه، پروتئین‌ها، تشکیل کلروفیل و ویتامین‌ها؛ در گیاهان روغنی این عنصر همچنین بخشی از ساختمان اسیدهای چرب، کوآنزیم A، تیامین، بیوتین، گلوتامین، اسید لیپوئیک و سولفولیپیدها می‌باشد (AsgharMalik et al., 2004). یکی دیگر از خصوصیات مهم گوگرد قابلیت اکسیداسیونی می‌باشد که سبب می‌شود مصرف این عنصر علاوه بر تامین یون سولفات مورد نیاز گیاه، با تولید اسید سولفوریک و کاهش pH خاک در محدوده ریزوسفر موجب افزایش حلالیت و قابلیت جذب عناصر پرمصرف (نظیر فسفر) و کم مصرف (مانند آهن و روی) در خاک و بهبود خصوصیات رشدی گیاه گردد (Akter et al., 2013).

اغلب محققین معتقدند که با مدیریت اصولی و خوب و استفاده صحیح از کودهای زیستی می‌توان وضعیت تغذیه‌ای گیاهان و وضعیت زیست محیطی را بهبود بخشید. (Bockman, 1997). کودهای بیولوژیک، معمولا حاوی مقادیر مشخص از یک یا چند گونه ریزجاندار مفید خاکزی است که می‌توانند هم‌زیستی ایجاد کنند یا به صورت آزادزی و ایجاد هم‌یاری در رفع نیازهای تغذیه‌ای و رشدی گیاهان اثرات مثبتی داشته باشند (Jahan and Nassiri Mahallati, 2012). گوگرد برای جذب توسط گیاهان باید ابتدا تبدیل به یون سولفات شود که این امر توسط میکروارگانیسم‌های chemolithotrophs، که از گوگرد به عنوان منبع به‌دست آوردن انرژی استفاده می‌کنند، اتفاق می‌افتد. مهم‌ترین این میکروارگانیسم‌ها باکتری‌هایی از جنس تیوباسیلوس می‌باشند (Zhi-Hui et al., 2010). محقق شدن این موضوع منوط به وجود جمعیت قابل توجهی تیوباسیلوس می‌باشد.

سعیدی نژاد و همکاران (۱۳۹۸) گزارش کردند که مصرف کود گوگرد سبب افزایش معنی‌دار تمام صفات عملکردی کمی وکیفی کنجد گردید. علت این امر علاوه بر اثر تغذیه‌ای گوگرد، کاهش pH خاک و افزایش معنی‌دار جذب فسفر عنوان گردید. احمدی و همکاران (۱۳۹٦) نیز با بررسی تاثیر ورمی‌کمپوست، گل گوگرد و تیوباسیلوس بر عملکرد گیاه ذرت، گزارش کردند که اثر متقابل کاربرد گل گوگرد و تیوباسیلوس به طور معنی‌داری عملکرد دانه ذرت را افزایش داد. (Falahatgar et al., 2013) در پژوهشی روی دو رقم سویا نشان دادند که با استفاده تلفیقی از گوگرد و باکتری تیوباسیلوس یزان عملکرد، محتوی کلروفیل و جذب آهن و روی به طور چشمگیری

بهبود یافت. (Erdem et al., 2016) بیان داشتند که مصرف گوگرد با توجه به میزان سولفات موجود در خاک و دیگر خصوصیات خاک موجب بهبود شرایط رشد و افزایش عملکرد گیاه گندم شده است به خصوص این موضوع در خاک‌هایی که سولفات در دسترس کمتری داشتند چشمگیر بود.

با عنایت به این‌که مهمترین علت مصرف گوگرد در زمین‌های ایران، کاهش pH و بر طرف کردن مشکلات تغذیه‌ای می‌باشد در این راستا هر نوع زمینه‌سازی برای استفاده از گوگرد، در وهله اول نیازمند وجود مستندات علمی کافی است که نتایج مثبت پیش‌بینی شده از مصرف گوگرد را در آزمایش‌های مزرعه‌ای اثبات نماید (Besharati, 2016). همچنین اطلاعات اندکی در مورد نیازهای غذایی و پاسخ‌های مورفوفیزیولوژیک و زراعی کنجد به اثر گوگرد و بهبود شرایط pH خاک در دسترس می‌باشد (Khajepoor, 2010). لذا هدف از اجرای این مطالعه ارزیابی پاسخ‌های مورفوفیزیولوژیک و زراعی گیاه کنجد به اثر تغذیه‌ای کاربرد تلفیقی گوگرد و تیوباسیلوس بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه‌ای در شهرستان کرج (استان البرز) با عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۷۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۹٤ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۳۰۰ متر از دریا در سال زراعی ۹۷-۱۳۹٦ اجرا گردید. در این آزمایش گوگرد در سه سطح شامل شاهد (S_0)، گوگرد به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار (S_1) و گوگرد به میزان ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار (S_2) و تلقیح با تیوباسیلوس (به میزان دو کیلوگرم به ازای هر ۱۰۰ کیلوگرم گوگرد) در دو سطح شامل عدم تلقیح (T_0) و تلقیح با باکتری (T_1) اجرا شد. برای ارزیابی خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک، قبل از انجام عملیات آماده سازی زمین، نمونه‌برداری از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک مورد نظر انجام گردید (جدول ۱). کود گوگرد عنصری به شکل پودری مطابق مقادیر تعیین شده برای هر تیمار به صورت نواری ۳۰ روز قبل از کاشت در عمق ۱۰ سانتی‌متری به کرت‌های مورد نظر اضافه و به‌طور کامل با خاک مخلوط شد. همچنین باکتری *Halothiobacillus neapolitanus* به صورت مایه تلقیح پودری از موسسه تحقیقات خاک و آب تهیه گردید. تیوباسیلوس یک هفته قبل از کاشت به مقدار توصیه شده، در عمق ۱۰ سانتی‌متر خاک قرار داده شد. ابعاد هر کرت ٦×۲ متر، فاصله بین کرت‌ها ۰/۵ متر و فاصله بین تکرارها نیز دو متر در نظر گرفته شد. عملیات کاشت در تاریخ ۱۳۹٦/۰٤/۰۱ به‌صورت دستی انجام گردید. فاصله بین گیاهان روی هر ردیف ۲۵ سانتی‌متر و بین هر ردیف ۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. آبیاری به صورت منظم و هر شش روز یک‌بار انجام شد. عملیات وجین علف‌های هرز به صورت دستی انجام شد. برداشت بوته‌ها در تاریخ ۱۳۹٦/۰۷/۲۵ انجام گرفت. برای کاهش اثر حاشیه‌ای از قسمت میانی هر کرت نمونه‌برداری انجام گردید و؛ از هر تیمار سه تکرار و از هر تکرار سه نمونه برداشت شد. سپس تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد زیستی، شاخص برداشت و ارتفاع بوته محاسبه شد. برای محاسبه عملکرد دانه و عملکرد زیستی نمونه‌ها در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت تا رطوبت به صفر برسد، پس از آن به وسیله ترازوی دقیق وزن شد، سپس به هکتار تعمیم داده شد. برای تعیین میزان محتوی کلروفیل و کاروتنوئید پیش از پایان فصل رشد، از برگ‌های گیاه نمونه‌برداری صورت پذیرفت. برای انجام این کار ۰/۲ گرم از برگ تر با پنج سی سی استون ۸۰٪ به خوبی ساییده و مخلوط گردید. محتوی هاون با عبور از صافی مجددا به همراه ۱۰ سی سی دیگر استون مخلوط شد و به حجم ۱۵ سی سی رسانده شد. سه سی سی از محلول در کووت ریخته شد و میزان جذب آن در طول موج‌های ٦٦۳، ٦٤٦

و ٤٧٠ نانومتر به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر (Alpha 1900S Double Beam; South Korea) در مقابل بلانک متانول خوانده شد (Lichtenthaler, 1987).

$$\text{Chlorophyll a} = (19.3\times A663 - 0.86\times A646)V/100W$$

$$\text{Chlorophyll b} = (19.3\times A646 - 3.6\times A663)V/100W$$

$$\text{Total chlorophyll} = \text{Chl a} + \text{Chl b}$$

$$\text{carotenoids} = 100(A470) = 3.27(\text{mg chl a}) - 104(\text{mg chl b})/227$$

تجزیه واریانس و مقایسات میانگین داده‌ها (در سطح احتمال پنج درصد و بر اساس آزمون LSD) با استفاده از نرم افزار SAS (Ver. 9.4) انجام شد. برای رسم نمودارها نیز از نرم افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

تعداد کپسول در بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی کود گوگرد و باکتری تیوباسیلوس در سطح یک درصد و اثر متقابل این دو در سطح پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). مقایسات میانگین اثر متقابل کود گوگرد و تیوباسیلوس نشان داد بیشترین تعداد کپسول در بوته از برهمکنش مصرف کود گوگرد به میزان ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار (S_2) با تلقیح تیوباسیلوس (T_1) و کمترین مقدار از شاهد (S_0) و عدم تلقیح تیوباسیلوس (T_0) به‌دست آمد، که اختلاف بین این دو ترکیب تیماری ۳۸ درصد است (شکل ۱).

به نظر می‌رسد هر عاملی مانند وجود رطوبت و مواد غذایی مناسب که فرصت رشد بیشتری در اختیار گیاه قرار می‌دهد، موجب شکل‌گیری مکان‌های بالقوه‌ی کپسول بیشتری روی گیاه از طریق افزایش ارتفاع و انشعابات جانبی خواهد شد. چایبی و همکاران گزارش کردند که تعداد غلاف در گیاه، ارتفاع گیاه و وزن صد دانه در گیاه بادام زمینی به طور معنی‌داری با افزایش گوگرد افزایش یافت (Chaubey et al., 2000). موسوی نیک (۱۳۹۱) نیز نشان داد که تاثیر کاربرد گوگرد بر تعداد سنبله در اسفرزه معنی‌دار بود.

جدول ۱. برخی خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک مزرعه‌ی آزمایشی (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری)

Table 1. Some physical and chemical properties of soil (Sampling depth: 0-30 cm)

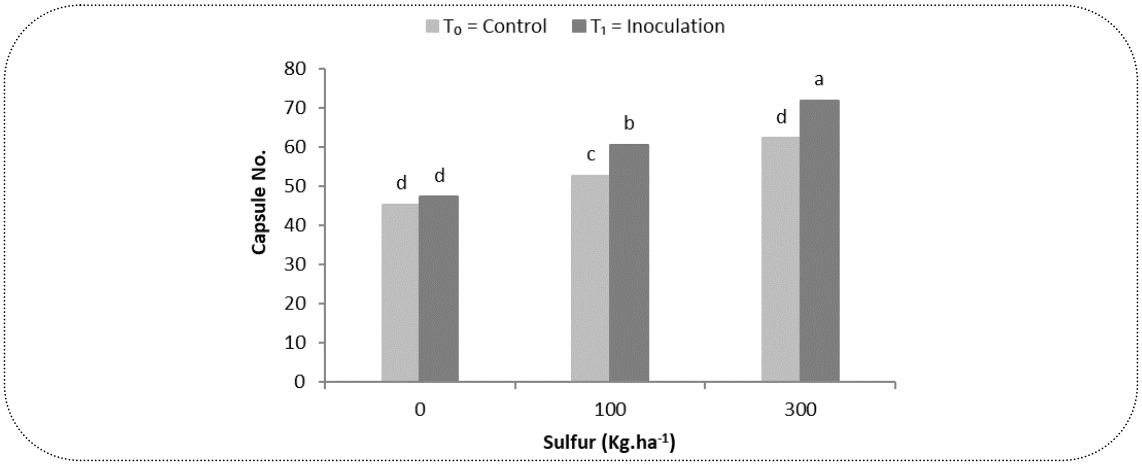
Texture	pH	EC ($dS.m^{-1}$)	S (mg/Kg)	P (mg/Kg)	K (mg/Kg)	N (%)	Organic matter (%)
Clay-silt	7.97	2.18	13	8.56	235	0.05	0.07

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برخی صفات مورفولوژیک و زراعی کنجد تحت تاثیر کاربرد گوگرد و تیوباسیلوس.

Table 2. Analysis of variance (mean squared) the effect of different sulfur levels and *Thiobacillus* on some morphological and agricultural characteristics of *Sesamum indicum L.*

S.O.V	df	Capsule No.	Seed No.	1000-seed weight	Seed yield	Biological yield	Harvest index	Plant height
Sulfur	2	651.06**	1820.23**	0.02**	35574**	87518**	12.17**	187.06**
Thiobacillus	1	184.65**	193.39**	0.02**	4544**	8933**	1.66*	22.22
S×T	2	24.39*	27.06*	0.01	574.91*	975.72*	0.22	5.06
Replication	2	330.88	72.67	0.01	9070	4160	5.21	17.06
Error	10	5.16	5.13	0.01	104.72	155.86	0.09	11.19
CV (%)		4	4.49	0.90	4.12	3.36	5.12	7.93

**, * Significant at the 1% and 5% probability levels, respectively.



شکل ۱. اثر برهمکنش تیمارهای مختلف کود گوگرد و تیوباسیلوس بر تعداد کپسول در بوته. حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ با آزمون LSD می‌باشد.

Fig 1. Interactive effects of sulfur and *Thiobacillus* on capsules per plant. Different letters indicate significant differences at P < 0.05 by LSD.

تعداد دانه در کپسول

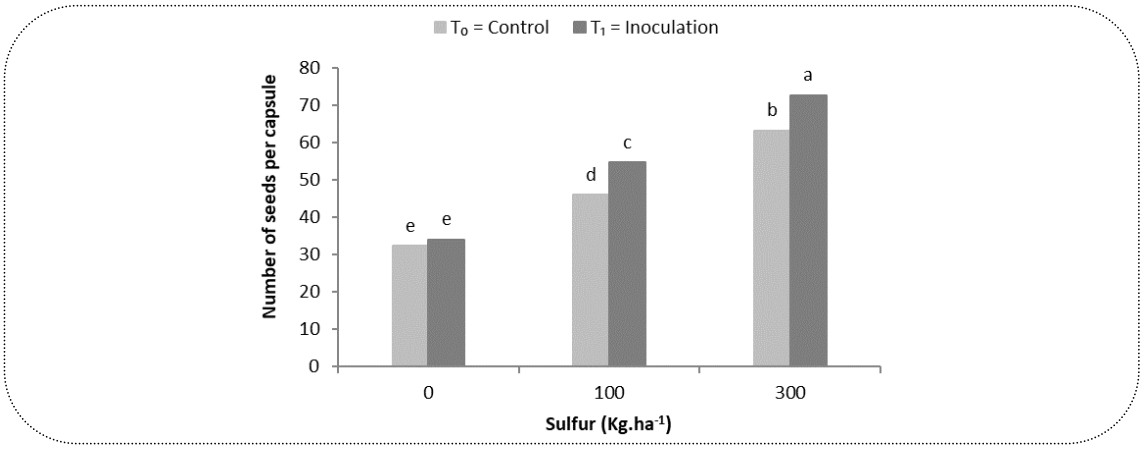
همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌گردد اثرات اصلی گوگرد و تیوباسیلوس ($p \leq 0.01$) و اثر متقابل آن‌ها ($p \leq 0.05$) روی تعداد دانه در کپسول معنی‌دار شد. مقایسه میانگین برهمکنش گوگرد و تیوباسیلوس نشان داد که بیشترین تعداد دانه در کپسول از ترکیب تیماری (S_2) و (T_1) و کمترین مقدار این صفت از ترکیب تیماری شاهد (عدم مصرف گوگرد) و شاهد (عدم تلقیح تیوباسیلوس) حاصل شد که بین این دو ترکیب تیماری اختلاف ۵۵/۵۱ درصدی مشاهده گردید (شکل ۲).

علت این امر احتمالا می‌تواند به دلیل داشتن کپسول‌های بزرگتر با طول کپسول بیشتر باشد. کپسول‌های ثانویه که روی شاخه‌های فرعی گیاه به‌وجود می‌آیند از لحاظ مکان و زمان تشکیل در شرایطی هستند که تحت تاثیر عوامل محیطی، وجود و عرضه مواد فتوسنتزی و به طور کلی تداوم رشد گیاه قرار دارند. همچنین رشد رویشی بیشتر منجر به باروری تعداد بیشتر کپسول‌ها خواهد شد و به نظر می‌رسد این تاثیرگذاری بیشتر ناشی از بارور شدن کپسول‌هایی که در انشعابات فرعی ساقه هستند، باشد. در بسیاری از مطالعات بیان شده که اثر کمبود کود گوگرد ابتدا روی تعداد دانه در سنبله است. موسوی نیک (۱۳۹۱) بیان داشت که کاربرد گوگرد روی تعداد دانه در سنبله اسفرزه معنی‌دار بود. تاتاری نیز نتایجی مشابه با این آزمایش را گزارش کرده است (Tatari, 2004).

وزن هزار دانه

نتایج نشان داد که گوگرد بر وزن هزاردانه گیاه تاثیر معنی‌داری ($p \leq 0.01$) داشته است (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین وزن هزاردانه مربوط به تیمار مصرف ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد (S_2) است و با کاهش مصرف گوگرد، وزن هزاردانه کاهش یافته است (جدول ۳). تلقیح تیوباسیلوس نیز روی وزن هزاردانه تاثیر معنی‌داری را نشان داد ($p \leq 0.01$). بیشترین وزن هزاردانه در تیمار تلقیح باکتری (T_1) به میزان ۳/۵٦ گرم و کمترین وزن هزاردانه در تیمار شاهد (T_0) به مقدار ۳/۵۱ گرم حاصل شد (جدول ۳).

هر عاملی که موجب تغییر در مقدار وزن دانه گردد، سبب تغییر در عملکرد دانه می‌شود. در این بین، گوگرد افزوده شده به خاک موجب طولانی‌تر شدن زمان پر شدن دانه، افزایش میزان مواد تولیدی و در نهایت وزن هزار دانه می‌گردد. در مطالعه‌ای افزایش وزن هزار دانه آفتابگردان در بالاترین سطح گوگرد به کار رفته نسبت به تیمار شاهد معنی‌دار بود (Hocking et al., 1987).



شکل ۲. اثر برهمکنش تیمارهای مختلف کود گوگرد و تیوباسیلوس بر تعداد دانه در کپسول. حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ با آزمون LSD می‌باشد.

Fig 2. Interactive effects of sulfur and *Thiobacillus* on seeds per capsule. Different letters indicate significant differences at P < 0.05 by LSD.

جدول ۳. مقایسه میانگین اثرات اصلی گوگرد و تیوباسیلوس بر برخی صفات مورفولوژیک و زراعی کنجد

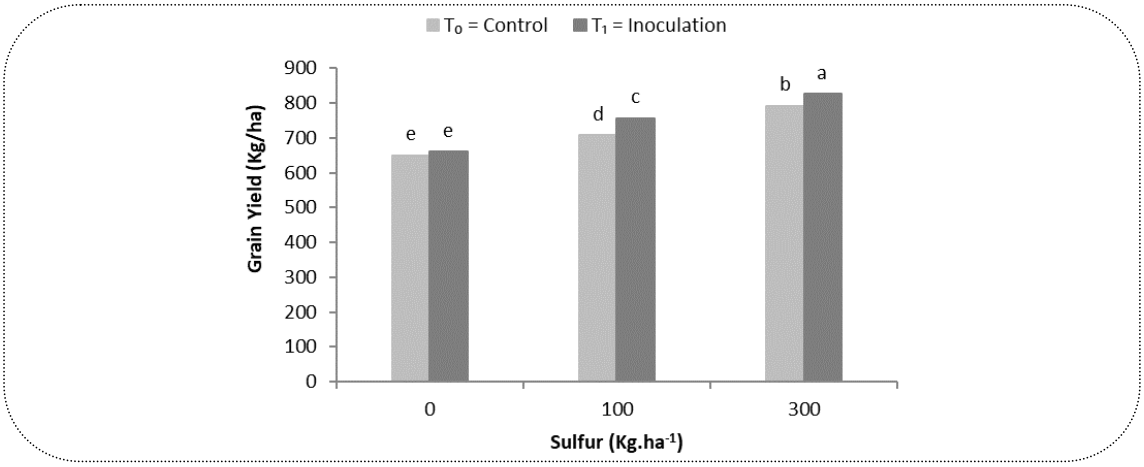
Table 3. Comparison of the mean of main effects of different sulfur levels and *Thiobacillus* on some morphological and agricultural characteristics of *Sesamum indicum L.*

Treatment	Capsule No.	Seed No.	1000-seed weight	Seed yield	Biological yield	Harvest index	Plant height
Sulfur							
(S_0)	46.33^{c}	33.17^{c}	3.47^{b}	654.33^{c}	3651^{c}	17.91^{c}	93.51^{b}
(S_1)	56.67^{b}	50.33^{b}	3.55^{a}	731.67^{b}	3780^{b}	19.34^{b}	97.33^{b}
(S_2)	67.17^{a}	68^{a}	3.58^{a}	808.33^{a}	3892^{a}	20.76^{a}	104.54^{a}
Thiobacillus							
(T_0)	53.44^{b}	47.22^{b}	3.56^{b}	715.57^{b}	3753^{b}	19.04^{b}	99.57^{a}
(T_1)	60^{a}	53.78^{a}	3.51^{a}	747.33^{a}	3797^{a}	19.64^{a}	97.33^{a}

عملکرد دانه

تجزیه واریانس داده‌های مربوطه نشان داد که عملکرد دانه بطور معنی‌داری ($p \leq 0.01$) تحت تاثیر تمام اثرات اصلی و متقابل ($p \leq 0.05$) قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین مقدار عملکرد دانه از ترکیب تیماری ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار مصرف گوگرد (S_2) با تیوباسیلوس (T_1) به میزان ۷۹۰/۶۷ کیلوگرم در هکتار و کمترین مقدار از عدم مصرف گوگرد (S_0) و عدم استفاده از تیوباسیلوس (T_0) به میزان ٦٤٩ کیلوگرم در هکتار بدست آمد (شکل ۳).

استفاده از کود گوگرد و باکتری تیوباسیلوس علاوه بر نقش مستقیم تغذیه‌ای گوگرد بر گیاه، موجب کاهش pH خاک و در دسترس قرار گرفتن مواد معدنی مورد استفاده گیاه شده، که این امر سبب افزایش معنی‌دار میزان عملکرد دانه می‌گردد (Orman and Kaplan, 2007). مقدار گوگرد مورد نیاز گیاهان بسته به گونه گیاهی و مقدار ماده خشک تولیدی، متفاوت است و در این میان بیشترین میزان مصرف گوگرد برای دانه‌های روغنی و کمترین میزان مصرف برای غلات گزارش شده است (Kumar Singh and Kumar Singh, 2013). صفاری و همکاران در پژوهشی روی گیاه روغنی گلرنگ با توجه به معنی‌دار شدن عملکرد دانه بیان داشتند که اثرات مثبت گوگرد بر متابولیسم گیاهی و تقویت گیاه در مرحله رشد زایشی موجب افزایش عملکرد گیاهان می‌شود (صفاری و همکاران، ۱۳۹۰).



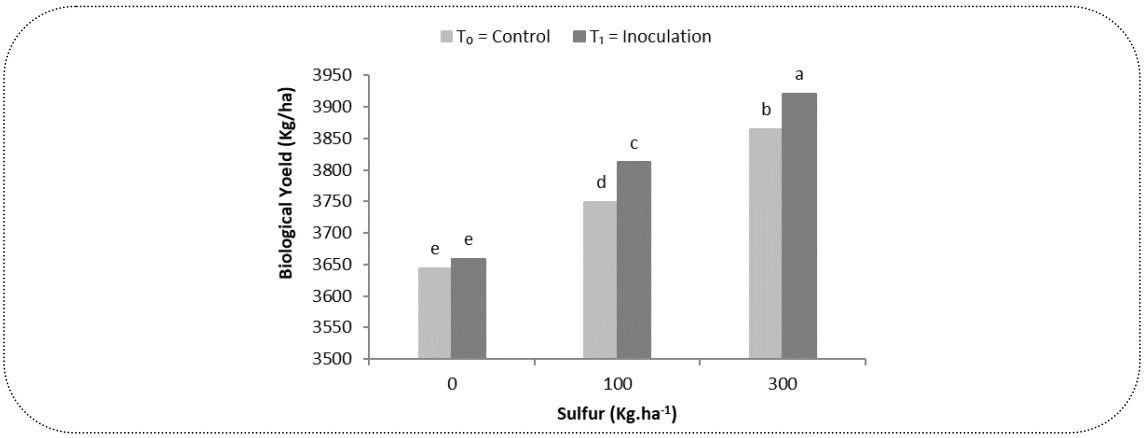
شکل ۳. اثر برهمکنش تیمارهای مختلف کود گوگرد و تیوباسیلوس بر عملکرد دانه. حروف متفاوت نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ با آزمون LSD می‌باشد.

Fig 3. Interactive effects of sulfur and *Thiobacillus* on grain yield. Different letters indicate significant differences at P < 0.05 by LSD.

عملکرد زیستی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی روی عملکرد زیستی در سطح یک درصد و اثر متقابل گوگرد و تیوباسیلوس در سطح پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). مقایسات میانگین اثر متقابل گوگرد و تیوباسیلوس نشان داد بیشترین عملکرد زیستی از برهمکنش مصرف گوگرد به میزان ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار (S_2) با تلقیح تیوباسیلوس (T_1) (۳۹۲۰/٦۷ کیلوگرم در هکتار) و کمترین مقدار از برهمکنش شاهد (S_0) و شاهد تیوباسیلوس (T_0) (۳٦٤۳ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد، که اختلاف بین این دو ترکیب تیماری ۷/۷ درصد است (شکل ٤).

اسیدی کردن موضعی خاک، افزایش قابلیت انحلال عناصر، افزایش جذب مواد افزایش راندمان گیاهان در فرآیندهای فتوسنتز، تنفس و دوام بیشتر برگ‌های گیاه سبب بهبود عملکرد می‌شود (Momen et al., 2011). قاسمی و موسوی نیک (۲۰۱٤) تاثیر مثبت گوگرد روی عملکرد زیستی گیاه کرچک را گزارش کردند (Ghasemi and Moussavi nik, 2014).



شکل ۴. اثر برهمکنش تیمارهای مختلف کود گوگرد و تیوباسیلوس بر عملکرد زیستی. حروف متفاوت نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ با آزمون LSD می‌باشد.

Fig 4. Interactive effects of sulfur and *Thiobacillus* on biological yield. Different letters indicate significant differences at P < 0.05 by LSD.

شاخص برداشت

نتایج نشان داد که اثر گوگرد بر شاخص برداشت گیاه در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین شاخص برداشت مربوط به تیمار ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار مصرف گوگرد (S_2) با ۲۰/۷۶ درصد است و کمترین شاخص برداشت مربوط به تیمار شاهد ۱۷/۹۱ درصد است (جدول ۳). تلقیح تیوباسیلوس نیز روی شاخص برداشت اثر معنی‌داری داشت ($p \leq 0.05$). بیشترین شاخص برداشت در تیمار مصرف تیوباسیلوس (T_1) به میزان ۱۹/٦٤ درصد و کمترین شاخص برداشت در تیمار شاهد (T_0) به مقدار ۱۹/۰٤ درصد به‌دست آمد (جدول ۳).

علت این امر می‌تواند افزایش بیشتر رشد زایشی نسبت به رشد رویشی باشد به عبارت دیگر افزایش عملکرد دانه نسبت به افزایش عملکرد زیستی بیشتر بوده است. موسوی نیک (۱۳۹۱) گزارش کرد که بیشترین شاخص برداشت از ۱۰۰ درصد میزان توصیه شده کود گوگرد و کمترین شاخص برداشت از تیمار شاهد حاصل شد.

ارتفاع بوته

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر گوگرد بر ارتفاع بوته در سطح پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بیشترین ارتفاع با ۱۰٤/۵ سانتی‌متر مربوط به تیمار مصرف گوگرد به میزان ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار (S_2) و کمترین ارتفاع مربوط به تیمار شاهد عدم مصرف (S_0) با ۹۳/۵ سانتی‌متر بود (جدول ۳).

ارتفاع بوته مانند هر کدام از صفات رویشی و زایشی به شدت تحت تاثیر عناصر غذایی قرار می‌گیرد. دسترسی گیاهان به مواد معدنی و آب کافی، خصوصا عنصر نیتروژن از طریق تاثیر بر تقسیم سلولی و بزرگ شدن آن‌ها در افزایش ارتفاع گیاه موثر است. بهبود خصوصیات خاک و قابل جذب شدن مواد معدنی به علت مصرف گوگرد می‌تواند موجب افزایش ارتفاع بوته شود. عناصر نیتروژن و فسفر تاثیر قابل ملاحظه‌ای روی ارتفاع گیاه دارند. نشان داده شده است که مصرف کودهای شیمیایی گوگرد و فسفر و استفاده از کودهای زیستی حل کننده فسفات و تیوباسیلوس در افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته نقش دارند (احمدی واوسری، ۱۳۸۸).

کلروفیل a

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی کود گوگرد و باکتری تیوباسیلوس در سطح یک درصد و اثر متقابل این دو در سطح پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول ٤). مقایسات میانگین اثر متقابل کود گوگرد و تیوباسیلوس نشان داد بیشترین میزان کلروفیل a از برهمکنش تیمار (S_2) با تلقیح تیوباسیلوس (T_1) (۱/٤۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) و کمترین مقدار از شاهد (S_0) و عدم استفاده تیوباسیلوس (T_0) (۱/۱۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) به‌دست آمد، که اختلاف بین این دو ترکیب تیماری ۲۰/۲۷ درصد است (شکل ۵).

استفاده از گوگرد به علت تاثیر بر فعال کردن برخی آنزیم‌ها و کمک به تولید بعضی از ترکیبات که در تولیدات فتوسنتزی نقش دارند قابلیت افزایش کلروفیل‌ها را دارند (Kopriva et al., 2015).

کلروفیل *b*

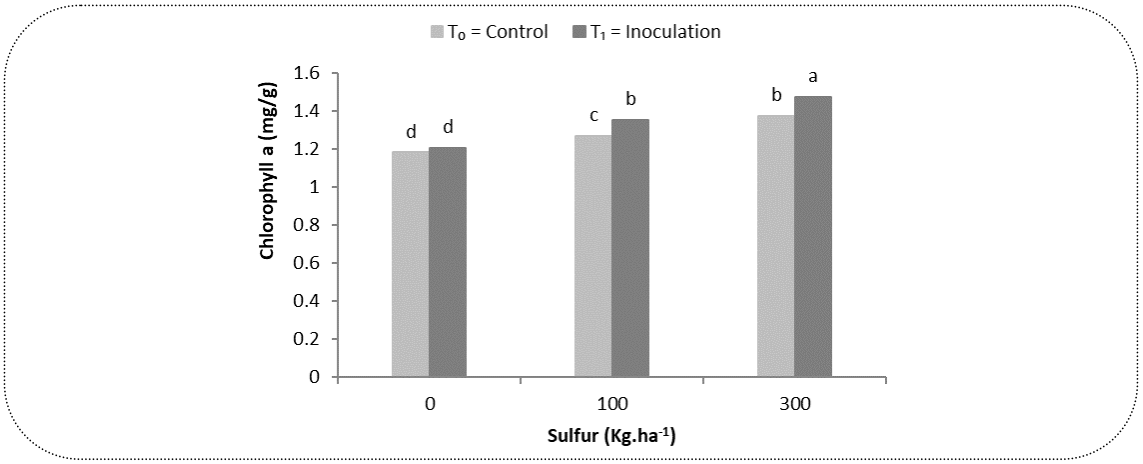
همان‌طور که در جدول ٤ مشاهده می‌گردد اثرات اصلی گوگرد و تیوباسیلوس ($p \leq 0.01$) و اثر متقابل آن‌ها ($p \leq 0.05$) روی کلروفیل *b* معنی‌دار شد. مقایسه میانگین برهمکنش کود گوگرد و تیوباسیلوس نشان داد که بیشترین مقدار کلروفیل *b* از ترکیب تیماری ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد (S_2) و تلقیح تیوباسیلوس (T_1) به میزان ۰/۹۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ و کمترین مقدار از ترکیب تیماری شاهد (عدم مصرف گوگرد) و شاهد (عدم تلقیح تیوباسیلوس) به میزان ۰/٦ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ مشاهده شد که بین این دو ترکیب تیماری اختلاف ۳٤/۰۷ درصدی مشاهده شد (شکل ٦).

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برخی صفات فیزیولوژیک کنجد. تحت تاثیر کاربرد گوگرد و تیوباسیلوس.

Table 4. Analysis of variance (mean squared) the effect of different sulfur levels and *Thiobacillus* on of some physiological characteristics of *Sesamum indicum* L.

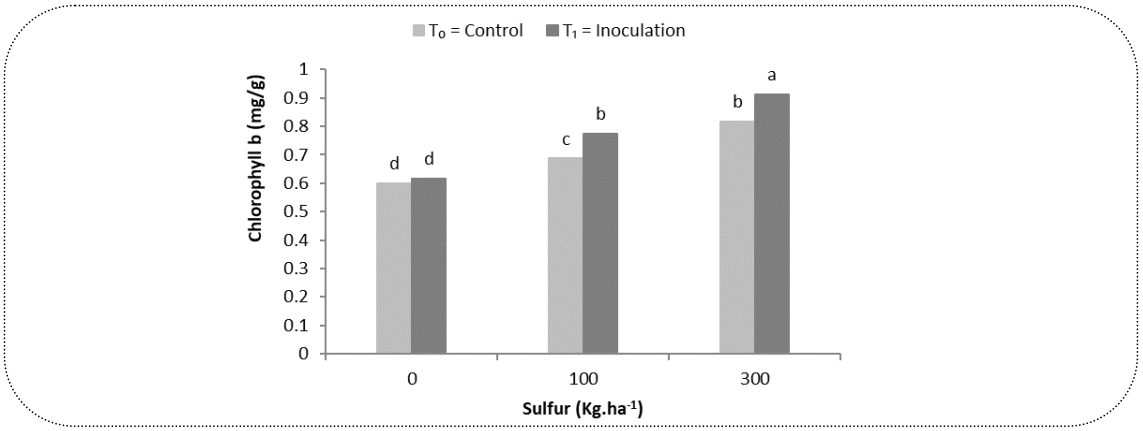
S.O.V	df	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Total Chlorophyll	Carotenoid
Sulfur	2	0.08**	0.11**	0.36**	0.02**
Thiobacillus	1	0.02**	0.02**	0.08**	0.02**
S×T	2	0.01*	0.01*	0.01*	0.01
Replication	2	0.01*	0.01	0.01	0.01
Error	10	0.01*	0.01	0.01	0.01
CV (%)		1.58	3.35	2.07	1.26

**, * Significant at the 1% and 5% probability levels, respectively.



شکل ۵. اثر برهمکنش تیمارهای مختلف کود گوگرد و تیوباسیلوس بر کلروفیل **a**. حروف متفاوت نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ با آزمون LSD می‌باشد.

Fig 5. Interactive effects of sulfur and *Thiobacillus* on chlorophyll-a. Different letters indicate significant differences at P < 0.05 by LSD.



شکل ۶. اثر برهمکنش تیمارهای مختلف کود گوگرد و تیوباسیلوس بر کلروفیل ***b***. حروف متفاوت نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ با آزمون LSD می‌باشد.

Fig 6. Interactive effects of sulfur and *Thiobacillus* on chlorophyll-b. Different letters indicate significant differences at P < 0.05 by LSD.

کلروفیل کل

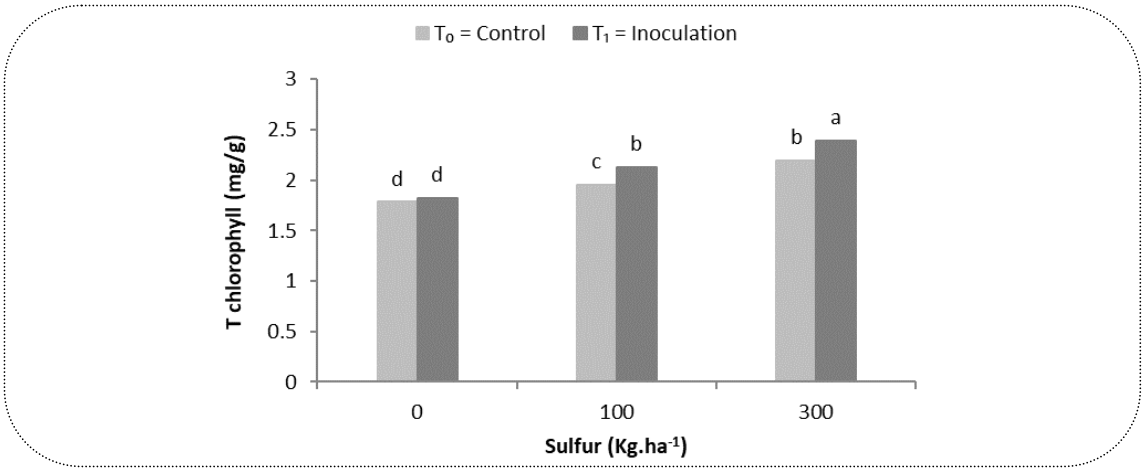
تجزیه واریانس داده‌های مربوطه نشان داد که کلروفیل کل بطور معنی‌داری ($p \leq 0.01$) تحت تاثیر تمام اثرات اصلی و متقابل ($p \leq 0.05$) قرار گرفت (جدول ٤). بیشترین مقدار کلروفیل کل از ترکیب تیماری ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار مصرف گوگرد (S_2) با تیوباسیلوس (T_1) به میزان ۲/۳۹ میلی‌گرم بر گرم و کمترین مقدار آن از ترکیب تیماری شاهد (S_0) و عدم استفاده از تیوباسیلوس (T_0) به میزان ۱/۷۸ میلی‌گرم بر گرم حاصل شد (شکل ۷).

حیدری و رضاپور (۱۳۹۰) گزارش کردند کاربرد گوگرد تاثیر معنی‌داری بر میزان کلروفیل *a* داشت و موجب افزایش آن گردید. نتایج (Wang et al., 2003) نشان داد استفاده از گوگرد منجر به افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی در گیاه یونجه شد. طبق نظر (Marschner, 1995) ترکیبات اصلی کلروفیل دارای ساختار نیتروژنی هستند و از آنجایی که گوگرد سبب افزایش کارایی نیتروژن و همچنین افزایش قابلیت جذب عناصر دیگر در گیاهان می‌شود، به این سبب استفاده از گوگرد می‌تواند تا حدی موجب افزایش میزان کلروفیل گیاهان شود.

کاروتنوئید

نتایج نشان داد که اثر اصلی گوگرد و تیوباسیلوس روی کاروتنوئید تاثیر معنی‌داری ($p \leq 0.01$) داشت (جدول ٤). با مقایسه بین میانگین‌ها در می‌یابیم که بیشترین میزان کاروتنوئید مربوط به تیمار ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار مصرف کود گوگردی (S_2) با ۰/۹ میلی‌گرم بر گرم است و با کاهش مصرف گوگرد، مقدار کاروتنوئید کاهش یافته است و کمترین مقدار این صفت مربوط به تیمار شاهد (S_0) با ۰/۸۳ میلی‌گرم بر گرم است (جدول ۵). هم‌چنین تلقیح تیوباسیلوس روی کاروتنوئید تاثیر معنی‌داری داشت ($p\leq 0.01$). بیشترین کاروتنوئید در تیمار تلقیح باکتری (T_1) به میزان ۰/۸۸ میلی‌گرم بر گرم و کمترین مقدار آن در تیمار شاهد (T_0) به مقدار ۰/۸۵ میلی‌گرم بر گرم مشاهده شد (جدول ۵).

(Kumawat et al,. 2006) در پژوهشی تاثیر گوگرد بر محتوای کلروفیل لوبیا را مورد ارزیابی قرار دادند. نتیجه این تحقیق بیان‌گر تاثیر معنی‌دار و مثبت مصرف گوگرد بر افزایش کلروفیل *a*، *b*، کلروفیل کل و کاروتنوئید بود.



شکل ۷. اثر برهمکنش تیمارهای مختلف کود گوگرد و تیوباسیلوس بر کلروفیل کل. حروف متفاوت نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ با آزمون LSD می‌باشد.

Fig 7. Interactive effects of sulfur and *Thiobacillus* on total chlorophyll. Different letters indicate significant differences at P < 0.05 by LSD.

نتیجه گیری

نتایج این مطالعه نشان داد استفاده همزمان از کود گوگرد و باکتری تیوباسیلوس موجب افزایش عملکرد و شاخص‌های مورفوفیزیولوژیک در گیاه کنجد شد. با توجه به سطح بالای آهک در خاک‌های کشورمان و ارزان بودن منابع گوگرد در ایران، برای کاهش pH خاک استفاده از کود گوگرد و برای تسهیل در دسترسی منابع گوگرد، افزایش اکسایش این کود و افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید خاکزی استفاده از باکتری تیوباسیلوس توصیه می‌شود.

جدول ۵. مقایسه میانگین اثرات اصلی گوگرد و تیوباسیلوس بر برخی صفات فیزیولوژیک کنجد

Table 5. Comparison of the mean of main effects of different sulfur levels and *Thiobacillus* on some physiological characteristics of *Sesamum indicum L.*

Treatment	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Total Chlorophyll	Carotenoid
Sulfur				
(S_0)	1.19^c	0.61^c	1.81^c	0.83^c
(S_1)	1.31^b	0.73^b	2.04^b	0.86^b
(S_2)	1.43^a	0.86^a	2.29^a	0.90^a
Thiobacillus				
(T_0)	1.28^b	0.70^b	1.98^b	0.85^b
(T_1)	1.35^a	0.77^a	2.11^a	0.88^a

منابع

احمدی، م.، شاهسونی، ش.، عباسدخت، ح.، اصغری، ح.ر.، و قرنجیک، ش.، ۱۳۹۶. بررسی تاثیر ورمی کمپوست، گل گوگرد و تیوباسیلوس بر برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و عملکرد ذرت دانه‌ای (*Zea mays L.*) در منطقه دشت بخش جوین. *بوم‌شناسی کشاورزی*، شماره ۹، صص ۱۰۴۹-۱۰۳۱.

احمدی واوسری، ف.، ۱۳۸۸. *تاثیر کودهای بیولوژیک حل کننده فسفات و تیوباسیلوس بر عملکرد و اجزای عملکرد کنجد*. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

حیدری، م.، و رضا پور، ع. ر.، ۱۳۹۰. اثر تنش خشکی و کود گوگرد بر عملکرد دانه، کلروفیل و غلظت عناصر معدنی در گیاه دارویی سیاه دانه (*Nigella sativ* L.). *مجله تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی*، شماره ۱، صص ۸۱-۸۹.

سعیدی نژاد، م.، بهدانی، م.ع.، سیاری زهان، م.ح.، و محمودی، س.، ۱۳۹۸. تاثیر مصرف گوگرد و کود دامی بر ویژگی‌های کمی و کیفی ارقام کنجد (*Sesamum indicum* L.). *بوم‌شناسی کشاورزی*، شماره ۱۱، صص ۸۵۷-۸٤۵.

صفاری، م.، مددی زاده، م.، و شریعتی نیا، ف.، ۱۳۹۰. بررسی آثار تغذیه‌ای عناصر نیتروژن، بور و گوگرد بر خصوصیات کمی و کیفی دانه گلرنگ. *مجله علوم گیاهان زراعی ایران*، شماره ٤۲، صص ۱۳۳-۱٤۱.

موسوی نیک، م.، ۱۳۹۱. بررسی اثر سطوح مختلف کود گوگرد بر عملکرد کمی و کیفی گیاه دارویی اسفرزه (*Plantago ovate* L.) در شرایط تنش خشکی در منطقه بلوچستان. *نشریه بوم شناسی کشاورزی*، شماره ٤، صص ۱۷۰-۱۸۲.

Akter, F., Islam, Md. N., Shamsuddoha, A. T. M., Bhuiyan, M. S. I., and S. Shilpi. 2013. Effect of phosphorus and sulphur on growth and yield of soybean (*Glycine max* L.). *International Journal of Bio-resource and stress Management*. 4(4): 555-560.

AsgharMalik, M., Azizi Khan, H.Z., and M. Ashfaq Wahid. 2004. Growth, seed yield and oil content response of canola (*Brassica napus* L.) to varying levels of sculpture. *International journal agriculture and biology*. 6(6): 1153-1166.

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 Persian)*.

Bockman, O. C. 1997. Fertilizers and biological nitrogen fixation as source of plant nutrients. *Perspectives for future agriculture*. 194:11-14.

Chaubey, A. K., Sing, S. B. and M. K. Kaushik. 2000. Response of groundnut (*Arachis hypogaea*) to source and level of sulfur fertilizer in Mid-Western Plains of Uttar Pradesh. *Indian Journal Agronomy*. 45:166-169.

Erdem, H., Torun, M. B., Erdem, N., Yazıcı, A., Tolay, I., Gunal, E. and F. Özkutlu. 2016 .Effects of different forms and doses of sulfur application on wheat. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*. 4(11): 957-961.

Falahatgar, S., Babaei, P., Besharati, H., and A. Cherati .2013. Effect of different sulphur amounts and *Thiobacillus* bacterial inoculums on dry matter yield, chlorophyll amount, iron and zinc uptake of two soya variety. First national congress of science and technology in agriculture, Zanjan University, (In Persian).

Ghasemi, S., and M. Moussavi Nik. 2014. Effect of plant growth promoting rhizobacteria, nitroxin and sulphur on quantity and quality of castor bean (*Ricinus communis* L.) in Sistan region. *Journal of Agroecology*. 6(2): 275-289. (In Persian).

Ghorbani Nasr Abadi, R. 2002. Study of sulfur application and *Thiobacillus* and *Bradyrhizobium* inoculation on nitrogen fixation and growth indices of soybean. *Journal of Soil and Water*. 16(2): 171-178. (In Persian with English Summary)

Hocking, P. J., Randal, P. J. and A. Pinkerton. 1987. Sulphur nutrition of sunflowers affected by nitrogen supply: effects on vegetative growth, the development of yield component and seed yield and quality. *Field Crops Research*. 16: 157-175.

Jahan, M., and Nassiri Mahallati, M., 2012. *Fertility of soil and biofertilizers: Agroecological approach*. Ferdowsi University of Mashhad Press, Mashhad, Iran. (in Persian).

Kertesz, M.A., and K. Mirleau. 2004. The role of soil microbes in plant sulfur nutrition. *Journal Experimental Botany*. 55: 1–7.

Khajepoor, M. R., 2010. *Industrial plants*. Esfahan, Iran: Jahade Daneshgahi Esfahan Press (in Persian).

Kopriva, S., Calderwood, A., Weckopp, S.C., and A. Koprivova. 2015. Plant sulfur and big data. *Plant Science*. 241: 1-10.

Kumar Singh, R., and A. Kumar Singh. 2013. Effect of nitrogen, phosphorus and sulphur fertilization on productivity, nutrient-use efficiency and economics of safflower (*Carthamus tinctorius*) under late-sown condition. *Indian Journal of Agronomy*. 58(4): 583-587.

Kumawat, R.N., Rathore, P.S., Nathawat, N.S., and M. Mahatmas. 2006. Effect of sulphur and iron on enzymatic activity and chlorophyll content of mung bean. *Journal of Plant Nutrition*. 29: 1451-1467.

Lakkineni, K. C. and Y. P. Abrol. 1992. Sulfur requirement of rapeseed-mustard, groundnut and wheat. *Journal Agronomy and Crop Science*. 169:281-285.

Langham, D.R., Janick, J., and A. Whipkey. 2007. Phenology of sesame. In Issues in *new crops and new uses, eds. Alexandria*, VA, USA Eds. ASHS Press.

Lichtenthaler, H. K. 1987. Chlorophylls and carotenoids; pigments of photosynthetic membranes. *Methode Enzaym*., 148: 350-382.

Marschner, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. London, England: Academic Press, Ltd.

Motior, M. R., Abdou, A. S., Fareed, H. A. D. and M. A. Sofian. 2011. Responses of sulfur, nitrogen and irrigation water on *Zea mays* growth and nutrients uptake. *Australian Journal of Crop Science*. 5(3): 347-357.

Orman, S., and M. Kaplan. 2007. Effects of elemental sulfur and organic manure on sulfur, zinc, and total chlorophyll contents of tomato in a calcareous sandy loam soil. *Journal of Soil Science Society of America* 55: 85-90.

Singh, A.L., and V. Chaudhari. 1997. Sulfur and micronutrient of groundnut in a calcareous. *Soil Journal of Agronomy and Crop Science.* 179: 107-114.

Tatari, M. 2004. Effect of different salinity levels and irrigation times on growth and yield of Cumin growth and yield under Mashhad conditions. MSc Thesis of Agronomy, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (IN Persian with English Summary)

Wang, Y.F., Wang, S. P., Cui, X. Y., Chen, Z. Z., Schnug, E., and S. Haneklau. 2003. Effect of sulfur supply on the morphology of shoots and roots of alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Grass and Forage Science*. 58:160-167.

Zhi-Hui, Y., Stoven, K., Haneklaus, S., Singh, B.R., and E. Schnug. 2010. Elemental sulfur oxidation by *Thiobacillus* spp. and aerobic heterotrophic sulfur-oxidizing bacteria. *Pedosphere*. 20(1): 71-79.