

تأثیر کاربرد انواع حاصل خیزکننده‌های خاک بر رشد و عملکرد دو گونه دارویی اسفرزه و سیاه‌دانه

حمیدرضا فلاحي^{۱*}، رضا طاهرپور کالانتري^۲، امیرحسن اسعدیان^۳، مهسا اقحوانی شجری^۴، سید حمیدرضا رضانی^۳

۱. استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند

۲. دانشجوی دکتری بوم‌شناسی کشاورزی و کارشناس آموزشی گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی سرایان، دانشگاه بیرجند

۳. عضو هیات علمی گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی سرایان، دانشگاه بیرجند

۴. دانش‌آموخته دکتری بوم‌شناسی کشاورزی، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

(تاریخ دریافت: ۹۵/۰۴/۲۷ - تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۹/۱۹)

چکیده

ارزیابی واکنش گیاهان دارویی به انواع حاصل‌خیزکننده‌های خاک، یکی از مباحث مهم زراعی در زمینه تولید و توسعه کاشت این گیاهان است. در همین راستا در آزمایش‌های انجام شده، پاسخ رشدی گیاهان دارویی اسفرزه و سیاه‌دانه به مصرف برخی از منابع کودی در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی سرایان (دانشگاه بیرجند) در سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ ارزیابی شد. در آزمایش اول تأثیر کاربرد ورمی‌کمپوست (۲/۵ و ۵ تن در هکتار)، کود گاوی (۱۰ و ۲۰ تن در هکتار)، اسید هیومیک (۱ و ۲ کیلوگرم در هکتار) همراه با تیمار شاهد (بدون کاربرد کود) بر رشد و عملکرد و شاخص تورم بذر اسفرزه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی ارزیابی شد. در آزمایش دوم تأثیر کاربرد گوگرد (۰، ۱۵۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار)، تیوباسیلوس (با نسبت وزنی ۱ به ۵۰ در مقایسه با میزان گوگرد مصرفی در هر کرت) و کود گاوی (۰ و ۳۰ تن در هکتار) بر عملکرد، اجزای عملکرد و برخی ویژگی‌های ریخت‌شناختی (مرفولوژیکی) سیاه‌دانه به صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار بررسی شد. کود گاوی به‌عنوان عامل اصلی، تیوباسیلوس عامل فرعی و گوگرد به‌عنوان عامل فرعی فرعی در نظر گرفته شدند. تأثیر تیمارهای آزمایشی تنها بر ویژگی‌های شمار پنجه، شمار سنبله و شاخص سبزینه (کلروفیل) اسفرزه معنی‌دار بود. بیشترین شمار پنجه و سنبله در گیاه اسفرزه (به ترتیب ۵/۶ و ۴۸/۵ عدد در بوته) با کاربرد ۲ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک و کمترین شمار آن (به ترتیب ۳/۸ و ۳۱/۶ عدد در بوته) در تیمار شاهد مشاهده شد. کاربرد کود گاوی و اسید هیومیک به‌طور نسبی شاخص تورم بذر اسفرزه را بهبود بخشید و بیشترین عملکرد بذر نیز در تیمار کاربرد ۲ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک (۳/۷۶ گرم در بوته معادل ۱۰۳۸ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد. در گیاه دارویی سیاه‌دانه هیچ‌یک از اثرهای ساده و متقابل عامل‌های آزمایشی روی ویژگی‌های مورد بررسی معنی‌دار نشد. با این وجود، نزدیک به همه ویژگی‌های رشد و عملکرد گیاه در شرایط کاربرد کود گاوی به مقدار اندکی بهبود پیدا کرد، به‌طوری‌که در نهایت عملکرد بذر در شرایط کاربرد بدون کاربرد این نهاده به ترتیب ۲۹۲ و ۲۴۳ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. کاربرد تیوباسیلوس نیز تأثیر معنی‌داری بر شاخص‌های مورد بررسی نداشت و تنها به میزان ۵ کیلوگرم در هکتار عملکرد بذر را افزایش داد. در مجموع، نتایج آزمایش‌های کنونی گویای کم‌توقع بودن گیاهان دارویی اسفرزه و سیاه‌دانه از نظر میزان نیاز به عنصرهای غذایی است.

واژه‌های کلیدی: اسید هیومیک، تیوباسیلوس، عامل تورم بذر، گوگرد، ورمی‌کمپوست.

Effect of different soil fertilizing agents on growth and yield of isabgol and black seed as two medicinal plants

Hamid-Reza Fallahi^{1*}, Reza Taherpour Kalantari², Amir Hassan Asadian³, Mahsa Aghhavan-shajari⁴, Sayyed Hamidreza Ramazani³

1. Assistant Professor in Crop Ecology, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.

2. M Sc. of Agronomy, Department of Agronomy and Plant Breeding, Sarayan Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.

3. Faculty Member of Department of Agronomy and Plant Breeding, Sarayan Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.

4. Ph D. in Agroecology, Department of Agronomy, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

(Received: July 17, 2016- Accepted: December 10, 2017)

ABSTRACT

Investigation of medicinal plants response to fertilizers is one of the main issues about their cultivation. In this regard in current experiments the response of isabgol (*Plantago ovata*) and black seed (*Nigella sativa*) to some fertilizer resources was evaluated in two separated experiments at research field of Sarayan faculty of agriculture, university of Birjand, Iran during 2015-16. In the first experiment the influence of vermicompost (2.5 and 5 ton.ha⁻¹), cow manure (10 and 20 ton.ha⁻¹) and humic acid application (1 and 2 kg.ha⁻¹) combined with control (no-fertilizer) was studied on some qualitative and quantitative indices of isabgol based on a randomized complete block design with three replications. In the second study the effects of Sulphur (0, 150 and 300 kg.ha⁻¹), *Thiobacillus* bacteria (50:1 weight ratio of sulfur and bacteria) and cow manure (0 and 30 ton.ha⁻¹) was evaluated on yield and yield components of black seed. Cow manure, *Thiobacillus* and Sulphur were considered as main, sub and sub-sub factors, respectively. Results showed that the effect of fertilizer type was significant only on number of tiller, number of spike and SPAD reading in isabgol. The highest tiller and spike (5.6 and 48.5 number, respectively) was obtained by 2 kg.ha⁻¹ humic acid application, while the lowest (3.8 and 31.6 number, respectively) was belonged to control treatment. Application of cow manure and humic acid were increased partially the swelling factor of seeds. In addition, the highest seed yield (3.76 g per plant or 1038 kg.ha⁻¹) was obtained at the rate of 2 kg.ha⁻¹ humic acid usage. In the second experiment, the impact of soil fertilizer type was not significant on black seed medicinal plant growth indices. However, almost all of studied criteria were improved by cow manure consumption, so that finally the seed yield of the plant was 292 and 243 kg.ha⁻¹ in application and no-application cow manure treatments, respectively. *Thiobacillus* had no significant effect on all of studied indices and only increased seed yield per hectare by 5 kg. Overall, our results revealed that isabgol and black seed are two low-input medicinal plants in terms of nutrients requirements.

Keywords: humic acid, Sulphur, swelling factor, *thiobacillus*, vermi-compost.

* Corresponding author E-mail: hamidreza.fallahi@birjand.ac.ir

مقدمه

کاهش میزان دسترسی به منابع آب در بسیاری از نقاط کشور ضرورت اصلاح الگوی کاشت و معرفی گیاهانی با نیاز آبی کم را جدی‌تر می‌کند. گیاهان جدید معرفی شده به نظام‌های زراعی بایستی از نظر طول دوره رشد، کارایی کاربرد آب، میزان تحمل به تنش‌های محیطی، ارزش اقتصادی و نیز میزان کودپذیری ارزیابی شوند. این گیاهان خواهند توانست تا در مناطق کم‌بهره و تحت تنش که کاشت گیاهان رایج زراعی توجه اقتصادی ندارد، عملکرد مناسبی را به‌ویژه از نظر تولید برخی ترکیب‌های شیمیایی سودمند مانند اسانس‌ها و لعاب (موسیلاژ) تولید کنند (Rahimi et al., 2014). گیاهان دارویی سیاه‌دانه (*Nigella sativa*) و اسفرزه (*Plantago ovata*) از جمله گیاهانی هستند که به دلیل ویژگی‌های ریخت‌شناختی (مرفولوژیکی) و کوتاه بودن طول دوره رشد به نظر می‌رسد که از یک‌سو سازگاری مناسبی با محیط‌های تحت تنش داشته و از سوی دیگر با کاربرد کمترین میزان نهاده‌های زراعی به‌ویژه منابع‌های کودی بتوانند عملکرد مناسبی تولید کنند. سیاه‌دانه گیاهی دارویی از خانواده آلاله، یک‌ساله و علفی است که دانه‌های آن حاوی ۳۰ تا ۴۰ درصد روغن و ۰/۵ تا ۱/۵ درصد اسانس هستند (Khorramdel et al., 2010). اسفرزه نیز گیاهی یک‌ساله و متعلق به خانواده بارهنگ (*Plantaginaceae*) است که سازگاری خوبی با شرایط مختلف آب و هوایی دارد و در مناطق خشک و نیمه‌خشک نیز می‌تواند کاشته شود. دانه‌های اسفرزه موسیلاژ، پروتئین، روغن، نشاسته، تانن و همچنین گلیکوزیدی به نام آکوبین دارد (Aghazadeh et al., 2015). مدیریت تغذیه‌ای و ارزیابی میزان کودپذیری یکی از مباحث مهم زراعی در زمینه تولید گیاهان دارویی است. در زراعت گیاهان دارویی موضوع تولید بر پایه اصول کشاورزی پایدار به‌ویژه کاهش استفاده از نهاده‌های برون مزرعه‌ای و شیمیایی مصنوعی اهمیت بیشتری دارد. زراعت گیاهان دارویی با کودهای آلی وزیستی (بیولوژیک)، تأثیر منفی روی کیفیت دارویی و عملکرد آن‌ها را کاهش می‌دهد و بنابراین بسیاری از شرکت‌های تولیدکننده داروهای گیاهی، ترکیب‌های گیاهی را که با کشت آلی یا ارگانیک تولید شده باشند، ترجیح می‌-

دهند (Pouryousef et al., 2010). تاکنون در برخی از تحقیقات علمی پاسخ رشدی و عملکرد گیاهان دارویی اسفرزه و سیاه‌دانه به کاربرد کودهای مختلف آلی، شیمیایی و زیستی بررسی شده است. در همین ارتباط برخی محققان در نتایج بررسی‌های خود بیان داشتند، کاربرد کود گاوی به مقدار ۴۲ تن در هکتار در زراعت اسفرزه موجب افزایش تولید بذر و درصد لعاب می‌شود (Nasirzade et al., 2015). نتایج یافته‌های پژوهش دیگری نشان داد، کاربرد تنها و تلفیقی کودهای شیمیایی نیتروژن و فسفر به همراه کود گاوی (۲۰ تن در هکتار) و کود زیستی فسفره موجب افزایش عملکرد بذر و درصد لعاب در گیاه اسفرزه شد (Pouryousef et al., 2010). محققان دیگری نیز تأثیر کاربرد ۴۰ تن در هکتار کود گاوی در شرایط کم‌آبیاری را بر رشد و عملکرد اسفرزه مثبت ارزیابی کردند (Lotfi et al., 2009). در پژوهشی در شرایط گلخانه نیز کاربرد ورمی‌کمپوست موجب بهبود رشد، عملکرد و اجزای عملکرد در گیاه دارویی اسفرزه شد (Astaraei, 2006). در همین زمینه پژوهشگر دیگری نیز در نتایج بررسی‌های خود گزارش کرد، کاربرد هیومیک اسید موجب بهبود کارایی نظام نورساختی (فتوسنتزی)، جذب عنصرهای غذایی، بهبود مقاومت به تنش و افزایش عملکرد دانه در گیاه دارویی اسفرزه می‌شود (Gholami, 2012).

کاربرد گوگرد در گیاهان روغنی اهمیت زیادی دارد، زیرا این عنصر در ساختمان اسیدهای چرب و سولفولیپیدها که در غشاء یاخته وجود دارند و در واقع روغن گیاه را تشکیل می‌دهند، حضور دارد. افزون بر این، گوگرد در ساختار اسیدهای آمینه ضروری مانند سیستین، سیتین و متیونین شرکت دارد و بنابراین نقش مهمی در ساخت پروتئین ایفا می‌کند (Karimi et al., 2012). نتایج پژوهشی دیگر نشان داد، در خاک‌های آهکی کاربرد همزمان گوگرد و ریزجاندار تیوباسیلوس موجب تنظیم pH و در نتیجه افزایش جذب عنصرهایی مانند فسفر و پتاسیم توسط سیاه‌دانه می‌شود (Rezvani-Moghaddam & Seyyedi, 2015). هرچند کاربرد بهینه گوگرد می‌تواند در خاک‌های آهکی منجر به افزایش عنصرهای غذایی و نیز کمک به آزادسازی یون‌هایی مانند سدیم از سطح ذرات خاک و کاهش شوری شود، ولی کاربرد بیش از اندازه این عنصر نیز

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی واکنش رشدی و عملکرد گیاهان دارویی اسفرزه و سیاه‌دانه به کاربرد برخی منابع‌های کودهای آلی، کانی و زیستی دو آزمایش جداگانه در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی سراپان، دانشگاه بیرجند (با مختصات جغرافیایی ۳۳ درجه عرض شمالی، ۵۸ درجه طول شرقی و ۱۴۵۰ متر ارتفاع از سطح دریا) به انجام رسید. محل انجام آزمایش آب‌وهوای گرم و خشک داشته، به طوری که میانگین دما و بارندگی سالیانه آن به ترتیب ۱۷ درجه سلسیوس و ۱۵۰ میلی‌متر است.

رشد و عملکرد اسفرزه

این آزمایش در سال ۱۳۹۴ به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار و هفت تیمار به انجام رسید. تیمارهای آزمایشی شامل کاربرد ورمی‌کمپوست (۲/۵ و ۵ تن در هکتار)، کود گاوی (۱۰ و ۲۰ تن در هکتار) و اسید هیومیک (۱ و ۲ کیلوگرم در هکتار به ترتیب معادل با ۰/۴ و ۰/۸ گرم در هر کرت ۴ مترمربعی) به همراه تیمار شاهد (بدون کاربرد کود) بودند. برخی ویژگی‌های خاک محل کاشت گیاه و اسید هیومیک مورد استفاده در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است. مقدار اسید هیومیک مورد استفاده (برند هیومیکس ترکت) برای گیاهان پیازی بر پایه توصیه شرکت سازنده بین ۱ تا ۲ کیلوگرم در هکتار است. کاربرد کود گاوی و ورمی‌کمپوست چند روز پیش از کاشت انجام گرفت و کودهای کاربردی تا عمق شخم (۲۵ سانتی‌متر) در خاک مخلوط شدند. اسید هیومیک نیز در یک نوبت در تاریخ ۹۳/۱۲/۲۶ همراه با آب آبیاری استفاده شد.

با تبدیل مقدار زیادی از کربنات کلسیم خاک به گچ باعث افزایش شوری و غلظت بالای یون کلسیم در محلول خاک و در نهایت اختلال در انحلال برخی عنصرهای غذایی می‌شود. بنابراین، تعیین دقیق مقدار گوگرد مورد نیاز به منظور پرهیز از به هم خوردن تعادل عنصرهای غذایی در خاک ضروری است (Babaei et al., 2012).

نتایج پژوهش دیگری گویای تأثیر مثبت باکتری آزوسپیریلوم و قارچ میکوریزا بر رشد و عملکرد سیاه‌دانه است (Khorramdel et al., 2010). یافته‌های تحقیق همسانی نیز نشان داد، کاربرد گوگرد به مقدار ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار، عملکرد بذر سیاه‌دانه را ۷ درصد افزایش داد (Rezapor et al., 2011). افزون بر این، تأثیر کاربرد تلفیقی کود گاوی (۴۰ تن در هکتار) و کود شیمیایی اوره نیز بر عملکرد بذر و روغن در سیاه‌دانه سودمند ارزیابی شده است (Salehi et al., 2015). ذبا توجه به اهمیت زراعت گیاهان دارویی به‌ویژه گیاهان دارای دوره رشد کوتاه و سازگار با محیط‌های تحت تنش در این تحقیق پاسخ گیاهان دارویی اسفرزه و سیاه‌دانه به منبع‌های مختلف کودی بررسی شد. در مناطق خشک به‌طور معمول بالا بودن مقدار شاخص واکنش (pH) موجب کاهش بهره‌برداری گیاه از منبع‌های تغذیه‌ای می‌شود. بنابراین، یکی از هدف‌های این آزمایش ارزیابی تأثیر کاربرد گوگرد و تیوباسیلوس (عامل اکسایش گوگرد) در کنار تأمین ماده آلی با کاربرد کود گاوی (برای فراهم شدن شرایط رشد برای تیوباسیلوس) بر رشد و عملکرد سیاه‌دانه بود. افزون بر این، ارزیابی میزان کودپذیری گیاه دارویی اسفرزه در شرایط کاربرد کودهای آلی ورمی‌کمپوست و کود گاوی در کنار کود آلی اسید هیومیک نیز در این تحقیق بررسی شد.

جدول ۱. ویژگی‌های شیمیایی اسید هیومیک مورد استفاده (نسبت وزنی؛ ساخت اسپانیا)

Table 1. The constituents of used humic acid (% W/W Total; Brand of Humixtract produced in Spain)

Total humic extract	Humic acids	Polycarboxylic acid	Total organic matter	Calcium oxide	Potassium oxide
70%	38%	32%	70%	1%	10%

جدول ۲. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش (عمق نمونه‌برداری = ۲۵ سانتی‌متر)

Table 2. Some physical and chemical properties of soil (Sampling depth: 20 cm).

EC (mS.cm ⁻¹)	pH	O.C (%)	N _{total} (%)	P _{ava} (ppm)	K _{ava} (ppm)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Texture
2.27	8.49	0.13	0.016	2.07	194.9	48.5	22.5	29	Loam

مقدار تراکم گیاهی پس از جوانه‌زنی و سبز شدن بوته‌ها ۳۲ گیاه در هر مترمربع تنظیم شد (Mosavi et al., 2012).

کاشت گیاه در تاریخ ۲۶ اسفند ۱۳۹۳ به صورت مسطح و غیرردیفی به مقدار ۳ گرم بذر در هر کرت انجام شد.

گوگرد نیز در زمان کاشت و در زیر ردیف‌های کشت کاربرد شد. کاشت سیاه‌دانه در تاریخ ۲۳ اسفند ۱۳۹۴ در کرت‌هایی با مساحت ۲/۵ مترمربع به صورت ردیفی در دو طرف پشته انجام شد. از آنجاکه یکی از عامل‌های مهم مؤثر بر اندازه کرت‌های آزمایشی اندازه گیاه است (Valizadeh & Moghaddam, 2010) و به دلیل اندازه کوچک گیاه سیاه‌دانه، مساحت کرت‌های آزمایشی کمتر گرفته شد. برای کشت در هر کرت مقدار ۱ گرم بذر از توده محلی سرایان استفاده شد. برای آسان بودن خروج گیاهچه روی بذرها با ماسه بادی با عمق ۱ سانتی‌متر پوشانیده شد. با توجه به درصد سبز شدن بذرها، تراکم حاصل حدود ۸۵ بوته در مترمربع بود که البته کمتر از مقدار مناسب برای این گیاه است. نخستین آبیاری بی‌درنگ پس از کاشت صورت گرفت. آبیاری دوم در روز چهارم پس از کاشت انجام شد و پس از آن آبیاری‌ها با دور ۱۰ روز تا ۲۵ خرداد انجام شد. همزمان با آبیاری سوم مقدار ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی اوره به‌طور یکسان در همه کرت‌ها مصرف شد. در طی فصل رشد مهار (کنترل) علف‌های هرز در یک نوبت به صورت دستی انجام شد، ولی نشانه‌ای از وجود آفت یا بیماری در کرت‌های آزمایشی مشاهده نشد.

برای ارزیابی تأثیر تیمارهای آزمایشی بر برخی ویژگی‌های ریخت‌شناختی و اجزای عملکرد گیاه، در تاریخ ۲۸ خرداد شمار ۱۰ بوته از هر کرت به‌طور تصادفی انتخاب شد و آنگاه میانگین ویژگی‌های ارتفاع بوته، وزن خشک گیاه، وزن خشک برگ، شمار شاخه جانبی در گیاه، شمار کپسول بارور در هر گیاه، شمار دانه در کپسول، وزن هزار دانه و عملکرد تک بوته تعیین شد. برای تعیین عملکرد زیست‌توده یا بیوماس (بذر + کاه و کلش) و عملکرد اقتصادی (بذر) باقی‌مانده گیاهان هر کرت برداشت شد و پس از جداسازی بذرها، مقدار این دو صفت سنجش شد. افزون بر این، شاخص برداشت نیز از نسبت عملکرد اقتصادی به عملکرد زیست‌توده محاسبه شد.

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه آماری داده‌های هر دو آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 انجام شد. مقایسه میانگین‌ها نیز به کمک آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت پذیرفت.

لازم به یادآوری است که در برخی بررسی‌های دیگر تراکم مطلوب برای این گیاه ۱۰۰ بوته در مترمربع است (Rahimi *et al.*, 2014) که مشاهده‌های شخصی در آزمایش کنونی نیز مؤید همین موضوع بود. نخستین آبیاری، پس از کاشت و آبیاری‌های بعدی با فاصله ۱۵ روزه تا آخر خردادماه ۱۳۹۴ صورت پذیرفت. در تاریخ ۹۴/۴/۱۰ شمار پنج بوته به‌طور تصادفی از هر کرت انتخاب شد و میانگین ویژگی‌های ارتفاع گیاه، وزن خشک بوته، شمار پنجه، شمار سنبله، طول سنبله، وزن سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد تک بوته و شاخص سبزینه یا کلروفیل (با استفاده از دستگاه سبزینه‌سنج یا کلروفیل‌متر دستی SPAD-502, Japan) تعیین شد. شاخص سبزینه روی جوان‌ترین برگ هر گیاه و در تاریخ ۱۰ خردادماه اندازه‌گیری شد. افزون بر این، مقدار عملکرد بذر در واحد هکتار از باقی‌مانده گیاهان هر کرت محاسبه شد. برای اندازه‌گیری عامل تورم بذرها بر نتیجه آب‌گیری لعاب، در آغاز ۱ گرم دانه اسفرزه از هر تیمار درون استوانه مدرج ۲۵ میلی‌لیتری قرار داده شد و آنگاه استوانه مدرج با آب مقطر به حجم ۲۰ میلی‌لیتر رسید و پس از ۲۴ ساعت اختلاف حجم بذر در نتیجه آب-گیری ثبت و حجم بذرهای متورم‌شده برحسب میلی‌لیتر اندازه‌گیری شد (Nasirzadeh *et al.*, 2015).

رشد و عملکرد سیاه‌دانه

این آزمایش به صورت کرت‌های خردشده (اسپلیت پلات) در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۵ به انجام رسید. عامل اصلی این آزمایش کاربرد کود گاوی (۰ و ۳۰ تن در هکتار)، عامل فرعی کاربرد کود زیستی تیوباسیلوس (بنا بر توصیه شرکت سازنده این کود به نسبت یک‌پنجاهم میزان گوگرد مصرفی در هر کرت) و عامل فرعی فرعی کاربرد کود کانی گوگرد بنتونیت‌دار (۰، ۱۵۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) بودند. کود زیستی تیوباسیلوس جمعیتی معادل 10^9 یاخته زنده باکتری در هر گرم داشت که در زمان کاشت به صورت تلقیح با بذرهای مصرف شد و بی‌درنگ پس از کاشت اقدام به آبیاری زمین شد. این کود حاوی مجموعه‌ای از فعال‌ترین و مؤثرترین ریزجانداران اکسیدکننده گوگرد است. برای کاربرد کود گاوی مقدار مورد نظر از این کود پیش از کاشت وزن شد و در کرت‌های مربوطه تا عمق شخم با خاک مخلوط شد.

نتایج و بحث

تأثیر تیمارهای تغذیه‌ای بر رشد و عملکرد اسفرزه

هیچ‌کدام از شاخص‌های مربوط به رشد و عملکرد اسفرزه به جز ویژگی‌های شمار پنجه و شمار سنبله در هر گیاه تحت تأثیر معنی‌دار تیمارهای مدیریت تغذیه‌ای قرار نگرفتند (جدول ۳). همه تیمارهای تغذیه‌ای موجب افزایش شمار پنجه در هر گیاه شدند. در تیمارهای کاربرد کود گاوی و اسید هیومیک نیز بیشترین مقدار این شاخص از سطح بالاتر هرکدام از کودها به دست آمد. بیشترین شمار پنجه در بین تیمارهای آزمایشی در شرایط کاربرد ۲ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک به دست آمد که ۳۲ درصد بیشتر از تیمار شاهد بود (جدول ۴). صفت شمار سنبله در گیاه نیز از تیمارهای آزمایشی تأثیر مثبتی پذیرفت، به طوری که مقدار این شاخص در تیمارهای کاربرد ۱۰ و ۲۰ تن کود گاوی به ترتیب ۱۹ و ۲۰ درصد، در هر دو سطح کاربرد ورمی‌کمپوست ۱۹ درصد و در تیمارهای کاربرد ۱ و ۲ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک به ترتیب ۲۲ و ۳۵ درصد بیشتر از تیمار شاهد بود. با وجود بی‌معنی بودن تأثیر تیمارهای آزمایشی بر میانگین وزن و طول هر سنبله، تیمار کاربرد اسید هیومیک به طور میانگین مقدار این دو مؤلفه را به ترتیب ۱۰ و ۵ درصد بهبود بخشید (جدول ۴). تیمارهای آزمایشی بر شاخص وزن هزار دانه تأثیر مثبتی نداشتند و تیمار کاربرد ۲ کیلوگرم اسید هیومیک در هر هکتار مقدار عملکرد بذر تک بوته را حدود ۱۰ درصد افزایش داد، هرچند که این تفاوت از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۴). با توجه به مقادیر وزن هزار دانه، افزایش نسبی عملکرد بذر در شرایط کاربرد اسید، ناشی از افزایش شمار سنبله و در پی آن افزایش شمار دانه در هر گیاه است. در نتایج پژوهش همسانی روی اسفرزه بیان شد که کاربرد کود حیوانی و کمپوست زباله شهری تأثیری بر وزن هزار دانه این گیاه نداشت، اما استفاده از کمپوست عملکرد بذر را مقداری افزایش داد (Koocheki et al., 2016b). بنابراین احتمال می‌رود در اسفرزه مدیریت کودی بیشتر بر صفت شمار دانه اثرگذار باشد و وزن هزار دانه به طور عمده تحت تأثیر عامل‌های ژنتیکی باشد. نداشتن تأثیر مثبت کود گاوی و ورمی‌کمپوست بر عملکرد اسفرزه می‌تواند ناشی از عامل‌هایی مانند کافی بودن عنصرهای موجود در خاک مزرعه برای تأمین نیاز غذایی

گیاه، مسمومیت غذایی ناشی از فراهمی بیش‌ازحد عنصرهای غذایی، کودپذیری پایین توده محلی مورد استفاده در این آزمایش و یا کیفیت نامناسب ورمی-کمپوست مصرفی باشد.

برآیند همه ویژگی‌های مورد بررسی را می‌توان در عملکرد بذر در هر هکتار خلاصه کرد و نتایج این آزمایش نشان داد، با وجود معنی‌دار نبودن تفاوت بین تیمارها، کاربرد کودهای آلی بر این شاخص تأثیر منفی داشت و تنها کاربرد تیمارهای اسید هیومیک موجب بهبود نسبی عملکرد اقتصادی اسفرزه شد. بیشترین عملکرد بذر به مقدار ۱۰۳۸ کیلوگرم در هکتار در تیمار کاربرد ۲ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک به دست آمد که در مقایسه با تیمار شاهد (۹۳۹ کیلوگرم در هکتار) حدود ۱۰ درصد بیشتر بود. کاربرد کود گاوی و اسید هیومیک به ویژه سطوح بالاتر هرکدام از آنها، به طور نسبی مقدار عامل تورم بذر را بهبود بخشید، در حالی که تأثیر کاربرد ورمی‌کمپوست بر این شاخص تا حدودی بازدارنده بود (جدول ۴). تأثیر مثبت کودهای آلی بر میزان عامل تورم بذر با نتایج بررسی‌های (Pouryousef et al., 2010) در گیاه دارویی اسفرزه همخوانی دارد، ولی با یافته‌های آنان در زمینه عملکرد گیاه همخوانی ندارد. در همین راستا Koocheki et al. (2016) در نتایج بررسی‌های خود گزارش کردند، کاربرد منبع‌های کودی مختلف تأثیر متفاوت و گاه متضادی را بر رشد و عملکرد اسفرزه داشته است. بنابراین، هرگونه اظهار نظر دقیق در زمینه مدیریت کودی این گیاه نیازمند انجام بررسی‌های بیشتری است.

در مجموع، با وجود بهبود نسبی برخی از شاخص‌های مربوط به عملکرد اسفرزه در شرایط کاربرد منبع‌های آلی، به نظر می‌رسد گیاه اسفرزه توان کودپذیری بالایی نداشته و می‌تواند در محیط‌های فقیر و اراضی حاشیه‌ای نیز تولید به نسبت مناسبی را داشته باشد. در نتایج تحقیق همسان دیگری روی گیاه شنبلیله ضمن کاربرد منبع‌های مختلف کودهای آلی شامل کود گاوی، گوسفندی و کمپوست گزارش شد، این گیاه همانند بسیاری از گیاهان دارویی جزء گیاهان کم‌توقع بوده و برخلاف گیاهان اصلاح‌شده که به صورت رایج در نظام‌های زراعی استفاده می‌شوند، پاسخ‌چندانی را به کاربرد کودهای مختلف نشان نمی‌دهد (Mohammad-Abadi et al., 2012). با این وجود، با توجه

هیومیک به‌عنوان یک اسید آلی حاصل از سیاه خاک (هوموس) با اثر هورمونی و بهبود جذب عنصرهای غذایی سبب افزایش رشد گیاه می‌شود. افزون بر این، مواد هیومیکی افزود شده به خاک باعث بروز تأثیر سودمند در ساختار خاک و جمعیت میکروبی آن می‌شوند و تحمل گیاهان به تنش‌های محیطی را نیز بهبود می‌بخشند (Akbari & Gholami, 2016).

به بهبود نسبی عملکرد بذر و عامل تورم بذر (جدول ۴)، کاربرد هیومیک اسید برای بهبود نسبی ویژگی‌های کیفی و کمی اسفرزه قابل توصیه است. بررسی‌های انجام‌شده روی بسیاری از گیاهان دارویی مانند زعفران (Koocheki *et al.*, 2016a)، گاوزبان (Heidari & Minaei, 2014) و گلرنگ (Yadollahi *et al.*, 2015) نیز گویای تأثیر مثبت کاربرد اسید هیومیک بر رشد و عملکرد این گیاهان است. اسید

جدول ۳. مجموع مربعات مربوط به اثرگذاری کاربرد کود گاوی، ورمی‌کمپوست و هیومیک اسید روی برخی ویژگی‌های ریخت‌شناختی،

عملکرد و اجزای عملکرد اسفرزه

Table 3- Results of analysis of variance (sum of squares) for effects cow manure, vermicompost and humic acid on morphological indices, yield and yield components in isabgol.

S.O.V	df	Plant height	Number of tiller per plant	Number of spike per plant	Spike length	Spike weight
Treatment	6	6.79 ^{ns}	6.50 ^{**}	438.14 ^{**}	0.066 ^{ns}	0.002 ^{ns}
Replication	2	3.18 ^{ns}	1.17 ^{ns}	39.87 ^{ns}	0.0172 ^{ns}	0.0013 ^{ns}
Error	12	33.42	2.47	138.57	0.641	0.0047
Total	20	43.40	10.16	616.59	0.725	0.0089
C.V (%)	-	9.65	9.87	8.57	8.56	10.92

S.O.V	Df	1000-seed weight	Seed yield per plant	Seed yield per hectare	SPAD reading	Swelling factor
Treatment	6	0.0818 ^{ns}	4.220 ^{ns}	301880 ^{ns}	948.28*	2.758 ^{ns}
Replication	2	0.005 ^{ns}	2.05 ^{ns}	462660 ^{ns}	90.03 ^{ns}	0.0200 ^{ns}
Error	12	0.168	6.868	774067	593.46	2.479
Total	20	0.255	13.104	1538607	1631.76	4.438
C.V (%)	-	6.69	23.62	29.00	8.68	34.33

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد، ns: نبود اختلاف معنی‌دار

*, ** and ns represent significant at 5% level, Significant at 1% level and non-significant, respectively.

پژوهش دیگری نیز کاربرد ۱۰ و ۲۰ تن کود آلی به ترتیب ۲۰ و ۲۸ درصد عملکرد بذر گیاه دارویی اسفرزه را افزایش داد (Pouryousef *et al.*, 2010). به‌رحال برخلاف بیشتر پژوهش‌هایی که تاکنون روی گیاه دارویی اسفرزه انجام شده است، در آزمایش کنونی تنها کاربرد اسید هیومیک موجب بهبودی نسبی رشد و عملکرد گیاه شد و کاربرد کود گاوی و ورمی‌کمپوست نتوانست موجب افزایش شاخص‌های مورد بررسی شود. دلایل این تفاوت‌ها برای مجریان آزمایش کنونی روشن نیست و بنابراین نیاز به انجام پژوهش‌های بیشتری در این ارتباط است. بر پایه یافته‌های این آزمایش، گیاه اسفرزه کم‌توقع بوده و به نظر می‌رسد کاربرد مستقیم کودهای آلی در زراعت این گیاه چندان سودمند نباشد. بنابراین، پیشنهاد می‌شود کودهای آلی در زراعت پیش از اسفرزه در طی تناوب و برای گیاه پیشین

موضوع واکنش رشد و عملکرد اسفرزه به کاربرد منبع‌های کودی، در برخی از تحقیقات علمی بررسی شده است. نتایج پژوهشی روی این گیاه نشان داد که کاربرد نانو کود کلات آهن و پتاسیم تأثیر مثبتی بر میزان عملکرد بذر و لعاب تولیدی دارد (Aghazadeh-Khalkhali *et al.*, 2015). نتایج یافته‌های محقق دیگری نیز گویای تأثیر مثبت کاربرد ورمی‌کمپوست و کمپوست بر عملکرد و اجزای عملکرد اسفرزه است (Astarai, 2006). در تحقیق همسانی نیز کاربرد کود دامی به مقدار ۴۰ تن در هکتار عملکرد بذر را از ۱۴۲ کیلوگرم در هکتار در تیمار شاهد به ۲۱۳ کیلوگرم رساند (Lotfi *et al.*, 2009). نتایج تحقیق دیگری نیز نشان‌دهنده افزایش چشم‌گیر عملکرد بذر، لعاب و عامل تورم بذر اسفرزه در شرایط کاربرد ۴۰ تن کود گاوی در هر هکتار بود (Nasirzade *et al.*, 2015). در

مبنی بر دوره کوتاه رشد و نیاز آبی کم اسفزه که حتی با سه مرتبه آبیاری نیز محصول مناسبی تولید می‌کند، تأکید می‌شود تا در مناطق خشک و نیمه‌خشک دارای کمبود منابع آبی، کاشت این گیاه مورد توجه قرار گیرد.

کاربرد شوند، زیرا به احتمال قوی باقی‌مانده کودهای آلی کاربرد شده در زراعت پیشین پاسخ‌گوی نیاز غذایی این گیاه دارویی باشد. افزون بر این، با توجه به تجربه به دست آمده از این آزمایش و بررسی‌های همسان (Lotfe *et al.*, 2009)

جدول ۴. مقایسه میانگین‌های مربوط به تأثیر کاربرد کود گاوی، ورمی‌کمپوست و هیومیک اسید روی برخی ویژگی‌های ریخت‌شناختی، عملکرد و اجزای عملکرد اسفزه

Table 4. Means comparison for effect of cow manure, vermi-compost and humic acid on morphological indices, yield and yield components of isabgol.

Treatments	Plant height (cm)	Number of tiller per plant	Number of spike per plant	Spike length (cm)	Spike weight (g)
Control	18.33 ^a	3.80 ^d	31.60 ^c	2.65 ^a	0.17 ^a
10 ton.ha ⁻¹ cow manure	16.86 ^a	4.06 ^{cd}	38.93 ^b	2.62 ^a	0.17 ^a
20 ton.ha ⁻¹ cow manure	17.60 ^a	4.80 ^{abc}	39.46 ^b	2.71 ^a	0.17 ^a
1 kg.ha ⁻¹ humic acid	17.40 ^a	4.53 ^{bcd}	40.66 ^b	2.78 ^a	0.19 ^a
2 kg.ha ⁻¹ humic acid	17.40 ^a	5.60 ^a	48.55 ^a	2.76 ^a	0.19 ^a
2.5 ton.ha ⁻¹ vermi compost	17.00 ^a	5.00 ^{ab}	39.06 ^b	2.70 ^a	0.19 ^a
5 ton.ha ⁻¹ vermi compost	16.40 ^a	4.40 ^{bcd}	39.00 ^b	2.64 ^a	0.16 ^a

Treatments	1000-seed weight (g)	Seed yield per plant (g)	Seed yield (kg.ha ⁻¹)	SPAD reading	Swelling factor (ml)
Control	1.84 ^a	3.41 ^a	939.0 ^a	88.60 ^a	1.33 ^{ab}
10 ton.ha ⁻¹ cow manure	1.69 ^a	2.58 ^a	712.3 ^a	88.63 ^a	1.50 ^{ab}
20 ton.ha ⁻¹ cow manure	1.72 ^a	2.54 ^a	700.0 ^a	83.36 ^a	1.66 ^a
1 kg.ha ⁻¹ humic acid	1.72 ^a	3.45 ^a	951.3 ^a	79.80 ^{ab}	1.50 ^{ab}
2 kg.ha ⁻¹ humic acid	1.82 ^a	3.76 ^a	1037.7 ^a	79.16 ^{ab}	1.70 ^a
2.5 ton.ha ⁻¹ vermi compost	1.85 ^a	3.07 ^a	851.7 ^a	79.96 ^{ab}	0.70 ^b
5 ton.ha ⁻¹ vermi compost	1.73 ^a	3.42 ^a	946.3 ^a	67.26 ^b	0.86 ^{ab}

میانگین‌های دارای حرف‌های مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری بر پایه آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

In each column, means with at least one similar letter are not significantly different ($P \leq 0.05$) based on Duncan test.

خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب، بهبود دانه‌بندی خاک، افزایش فعالیت‌های میکروبی و آنزیمی و فراهمی مطلوب همه عناصرهای غذایی مورد نیاز گیاه از دلایل افزایش عملکرد گیاهان در نظام‌های زراعی متکی بر کاربرد کودهای آلی است (Gryndler *et al.*, 2008). در تحقیق همسان دیگری کاربرد ۴۰ تن در هکتار کود گاوی عملکرد بذر سیاه‌دانه را به بیش از دو برابر افزایش داد (Salehi *et al.*, 2015). در آزمایش دیگری نیز کاربرد ۵۰ تن در هکتار کود گوسفندی رشد و عملکرد کمی و کیفی گیاه روغنی کلزا و نیز میزان سودمندی کاربرد کود گوگرد + تیوباسیلوس را در این گیاه افزایش داد (Karimi *et al.*, 2012). با توجه به اینکه در آزمایش کنونی کشت گیاه در زمینی حاشیه‌ای با پیشینه زراعی اندک انجام گرفت، به نظر می‌رسد به دلیل فقر جامعه میکروبی خاک عمل تجزیه

تأثیر تیمارهای تغذیه‌ای بر رشد و عملکرد سیاه‌دانه

اثر ساده و متقابل عامل‌های آزمایشی شامل کاربرد گوگرد، تیوباسیلوس و کود گاوی بر هیچ‌کدام از ویژگی‌های ریخت‌شناختی، عملکرد و اجزای عملکرد سیاه‌دانه از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۵). با این وجود، کاربرد کود گاوی به‌طور نسبی بیشتر ویژگی‌های مورد بررسی را مقداری بهبود بخشید. مقادیر وزن خشک بوته، شمار شاخه جانبی، شمار کپسول در گیاه، وزن هزار دانه، شمار دانه در گیاه و عملکرد بذر تک‌بوته در شرایط کاربرد کود حیوانی به ترتیب به مقدار ۱۰، ۱۲، ۱۱، ۲، ۶ و ۱۵ درصد بیشتر از تیمار شاهد بود. افزون بر این، کاربرد کود گاوی مقادیر عملکرد زیست‌توده و عملکرد اقتصادی را نیز به ترتیب ۸ و ۱۷ درصد در مقایسه با تیمار بدون کاربرد کود گاوی افزایش داد (جدول ۶). کاهش وزن مخصوص ظاهری

و آزادسازی عنصرهای غذایی موجود در کود حیوانی به‌خوبی و به‌طور کامل صورت نگرفته و این منبع تغذیه‌ای بیشتر از نظر اصلاح نسبی شرایط خاک به‌ویژه افزایش

جدول ۵. مجموع مربعات مربوط به اثر کاربرد کود گاوی، تیوباسیلوس و گوگرد بنتونیت‌دار روی برخی ویژگی‌های ریخت‌شناختی، عملکرد و اجزای عملکرد سیاهدانه

Table 5. Results of analysis of variance (sum of squares) for effect of cow manure, *thiobacillus* and Sulphur application on morphological indices, yield and yield components in black seed.

Source of variation	df	Plant height	Plant dry weight	Leaf dry weight	Number of Lateral branches	Number of fruit per plant	Seed per capsule
Replication (R)	2	101.5 ^{ns}	292885 ^{ns}	48884 ^{**}	0.80 ^{ns}	0.75 ^{ns}	92.1 ^{ns}
Cow manure (C)	1	1.0 ^{ns}	29822 ^{ns}	4414 ^{ns}	2.75 ^{ns}	0.95 ^{ns}	1.2 ^{ns}
R*C: Error a	2	47.5 ^{ns}	198170 ^{ns}	8074 ^{ns}	4.59 ^{ns}	0.50 ^{ns}	27.4 ^{ns}
<i>Thiobacillus</i> (T)	1	15.9 ^{ns}	810 ^{ns}	7889 [*]	2.37 ^{ns}	0.00 ^{ns}	25.8 ^{ns}
C*T	1	16.6 ^{ns}	21167 ^{ns}	1204 [*]	1.5 ^{ns}	0.62 ^{ns}	131.1 ^{ns}
R*T(C): Error b	4	89.9 ^{ns}	142200 ^{ns}	27071 [*]	12.69 ^{ns}	7.78 ^{ns}	730.3 ^{ns}
Sulphur (S)	2	1.5 ^{ns}	319427 ^{ns}	9631 ^{ns}	1.40 ^{ns}	0.08 ^{ns}	0.12 ^{ns}
C*S	2	34.7 ^{ns}	57328 ^{ns}	9087 ^{ns}	4.44 ^{ns}	0.08 ^{ns}	269.5 ^{ns}
T*S	2	8.5 ^{ns}	114329 ^{ns}	5991 ^{ns}	1.20 ^{ns}	1.78 ^{ns}	77.0 ^{ns}
C*T*S	2	20.2 ^{ns}	69361 ^{ns}	844 ^{ns}	2.51 ^{ns}	0.89 ^{ns}	96.9 ^{ns}
Error c	16	256.0	761256	33954	26.69	25.63	889
Total	35	593.2	2006760	157048	60.98	40.10	2341

Source of variation	df	1000-seed weight	Number of seed per plant	Biological yield	Economical yield	Harvest index
Replication (R)	2	3.019 ^{**}	6523 ^{ns}	70972 ^{ns}	7305 ^{ns}	188.03 ^{**}
Cow manure (C)	1	0.006 ^{ns}	515 ^{ns}	74777 ^{ns}	21528 ^{ns}	64.87 ^{**}
R*C: Error a	2	0.051 ^{ns}	3044 ^{ns}	2635238 [*]	132255 ^{ns}	3.05 ^{ns}
<i>Thiobacillus</i> (T)	1	0.023 ^{ns}	3294 ^{ns}	17734 ^{ns}	267 ^{ns}	12.16 ^{ns}
C*T	1	0.175 ^{ns}	1389 ^{ns}	414843 ^{ns}	24215 ^{ns}	0.40 ^{ns}
R*T(C): Error b	4	0.075 ^{ns}	30416 ^{ns}	2613029 ^{ns}	136929 ^{ns}	45.44 ^{ns}
Sulphur (S)	2	0.480 ^{ns}	4444 ^{ns}	485740 ^{ns}	18946 ^{ns}	21.85 ^{ns}
C*S	2	2.495 ^{**}	9462 ^{ns}	391261 ^{ns}	43046 ^{ns}	50.62 ^{ns}
T*S	2	0.283 ^{ns}	13204 ^{ns}	42577 ^{ns}	5126 ^{ns}	61.83 [*]
C*T*S	2	2.564 ^{**}	7884 ^{ns}	428636 ^{ns}	22165 ^{ns}	10.75 ^{ns}
Error c	16	3.866	69143	6210091	313810	129.11
Total	35	13.040	149324	13384904	725597	588.17

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد، ns: نبود اختلاف معنی‌دار

*, ** and ns represent significant at 5% level, Significant at 1% level and non-significant, respectively.

جدول ۶. مقایسه میانگین مربوط به اثر کاربرد کود گاوی روی برخی ویژگی‌های ریخت‌شناختی، عملکرد و اجزای عملکرد سیاهدانه

Table 6. Means comparison for effects of cow manure application on morphological indices, yield and yield components of black seed.

Cow manure application (ton.ha ⁻¹)	Plant height (cm)	Plant dry weight (g m ⁻²)	Leaf dry weight (g m ⁻²)	Number of Lateral branches per plant	Number of capsule per plant	Number of seed per capsule
0	14.4 ^a	506.9 ^a	133.4 ^a	4.13 ^a	2.76 ^a	49.6 ^a
30	14.1 ^a	564.5 ^a	111.3 ^a	4.68 ^a	3.09 ^a	50.0 ^a

	1000 seeds weight (g)	Number of seed per plant	Seed yield per plant (g)	Biological yield (kg.ha ⁻¹)	Economical yield (kg.ha ⁻¹)	Harvest index (%)
0	2.10 ^a	135 ^a	0.28 ^a	1104 ^a	243 ^a	22.0 ^b
30	2.13 ^a	143 ^a	0.33 ^a	1195 ^a	292 ^a	24.7 ^a

میانگین‌های دارای حرف‌های مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری بر پایه آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

In each column, means with at least one similar letter are not significantly different ($P \leq 0.05$) based on Duncan test.

۵)، به‌طوری‌که این تیمار موجب افزایش ۲۲ درصدی وزن اندام‌های نورساخت‌کننده سیاهدانه شد. تأثیر افزایشی

تأثیر کاربرد باکتری تیوباسیلوس تنها بر صفت وزن خشک برگ در گیاه دارویی سیاهدانه معنی‌دار بود (جدول

اسیدسولفوریک در نتیجه اکسایش بیولوژیکی گوگرد، با کاهش شاخص واکنش (pH) خاک موجب افزایش فراهمی عنصرهای غذایی مختلف از جمله فسفر شوند. افزون بر این، کاربرد گوگرد در خاک‌های شور می‌تواند در نتیجه برخی فرآیندهای شیمیایی منجر به آزادسازی یون سدیم از سطح ذرات خاک و آسانگری در شستشوی این عنصر شود و در نهایت کاهش میزان شوری خاک را سبب شود (Rezvani-Moghaddam & Seyyedi, 2014). با این وجود اثر متقابل این دو عامل بر هیچ‌کدام از شاخص‌های مورد بررسی معنی‌دار نشد (جدول ۵). این نتیجه یا می‌تواند ناشی از تنظیم بودن pH و بالا نبودن مقدار آهک خاک مورد استفاده در آزمایش پیش از کاربرد گوگرد و یا نبود فعالیت مناسب تیوباسیلوس باشد، زیرا کاربرد گوگرد به تنهایی سودمند نبوده و تنها در شرایطی سودمند واقع می‌شود که عمل اکسایش این عنصر صورت گیرد. همان‌طور که در آزمایشی کاربرد تنها ۲۲۵ کیلوگرم گوگرد در هکتار عملکرد سیاه‌دانه را تنها ۷ درصد بهبود بخشید (Rezapor et al., 2011). در همین ارتباط یافته‌های تحقیق دیگری نیز گویای آن است که مقدار افزایش عنصرهای غذایی در پیکر گیاه روغنی کلزا در شرایط کاربرد همزمان تیوباسیلوس و گوگرد بیشتر از کاربرد تنها هر کدام است (Akhavan et al., 2012).

تیوباسیلوس بر دیگر ویژگی‌های مورد بررسی بسیار ناچیز و غیرمعنی‌دار بود؛ به طوری که در شرایط کاربرد این باکتری اکساینده گوگرد مقادیر ارتفاع گیاه، وزن خشک بوته، شمار شاخه جانبی، شمار دانه در گیاه، عملکرد تک‌بوته و عملکرد اقتصادی به ترتیب حدود ۸، ۲، ۱۱، ۱۳، ۱۳ و ۵ درصد افزایش نشان داد (جدول ۷). با وجود اینکه گوگرد از عنصرهای مهم در جهت افزایش عملکرد کمی و کیفی دانه‌های روغنی است (Babaei et al., 2012)، تأثیر کاربرد این عنصر نیز بر شاخص‌های مورد بررسی غیرمعنی‌دار و گاهی بازدارنده بود و اثر افزایشی آن بر عملکرد بذر نیز بسیار ناچیز و شایان توجه نبود (جدول ۸). بدون تأثیر بودن گوگرد شاید ناشی از نبود اکسید نشدن مناسب این عنصر در خاک و یا وجود مقادیر کافی از این عنصر پیش از کاربرد گوگرد باشد، زیرا میزان گوگرد مورد نیاز برای تولید هر تن دانه‌های روغنی حدود ۱۲ تا ۱۶ کیلوگرم بیان شده است (Rezapor et al., 2011; Karimi et al., 2012).

یکی از پیش‌فرض‌های اولیه آزمایش وجود اثر متقابل بین باکتری تیوباسیلوس و کاربرد گوگرد بود و انتظار می‌رفت در شرایط کاربرد همزمان این دو تیمار رشد و عملکرد سیاه‌دانه افزایش بیشتری پیدا کند. زیرا باکتری‌های این جنس از مهم‌ترین باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد در خاک‌های زراعی هستند که می‌توانند با تولید

جدول ۷. نتایج مقایسه میانگین مربوط به تأثیر کاربرد تیوباسیلوس روی برخی ویژگی‌های ریخت‌شناختی، عملکرد و اجزای عملکرد

سیاه‌دانه

Table 7. Results of mean comparison for the effects of *thiobacillus* application on morphological indices, yield and yield components of black seed.

<i>Thiobacillus</i> application (S:Tb=1:50)	Plant height (cm)	Plant dry weight (g m ⁻²)	Leaf dry weight (g m ⁻²)	Number of Lateral branches per plant	Number of capsule per plant	Number of seed per capsule
No-application	13.6 ^a	530.9 ^a	107.5 ^b	4.15 ^a	2.93 ^a	50.6 ^a
Application	14.9 ^a	540.5 ^a	137.1 ^a	4.66 ^a	2.92 ^a	49.0 ^a

<i>Thiobacillus</i> application (S:Tb=1:50)	1000 seeds weight (g)	Number of seed per plant	Seed yield per plant (g)	Biological yield (kg.ha ⁻¹)	Economical yield (kg.ha ⁻¹)	Harvest index (%)
No-application	2.14 ^a	129 ^a	0.27 ^a	1171 ^a	260 ^a	22.8 ^a
Application	2.09 ^a	148 ^a	0.31 ^a	1127 ^a	270 ^a	23.9 ^a

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف‌های مشترک، اختلاف معنی‌داری بر پایه آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

In each column, means with at least one similar letter are not significant differently ($P \leq 0.05$) based on Duncan test.

2012). با توجه به اینکه زمین مورد استفاده در آزمایش کنونی از اراضی حاشیه‌ای و فقیر بود و تنها یک سال پیش

باکتری‌های تیوباسیلوس برای رشد و افزونش مناسب نیاز به مقادیر مناسبی ماده آلی دارند (Karimi et al.,)

بر ویژگی‌های رشد و عملکردی گیاه معنی‌دار نشد (جدول ۵). در آزمایش‌های همسانی تأثیر کاربرد همزمان گوگرد و تیوباسیلوس بر عملکرد بذر گیاهان روغنی سویا (Babaei *et al.*, 2012) و کلزا (Karimi *et al.*, 2012) در شرایط کاشت گیاه در خاک‌های آهکی مثبت ارزیابی شده است، هرچند که در این آزمایش‌ها بین ۱۵۰۰ تا ۴۵۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار کاربرد شد، درحالی‌که در آزمایش کنونی بیشینه مقدار کاربرد گوگرد ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار بود.

از آن در این مزرعه کشت و کار شده بود، به احتمال زیاد باکتری تیوباسیلوس در این شرایط نتوانسته بیشینه کارآمدی خود را نشان دهد. بنابراین، به نظر می‌رسد در اراضی فقیر بایستی برای افزایش حضور این باکتری و بهره‌مندی از سودمندی‌های آن مقدار ماده آلی خاک با کاربرد مقادیر مناسبی کودهای آلی افزایش یابد. مقدار کود حیوانی کاربردی در این آزمایش بیشینه ۲۰ تن در هکتار بود و در ظاهر این مقدار نیز برای رشد مناسب باکتری کافی نبوده است که اثر متقابل کود حیوانی و تیوباسیلوس

جدول ۸. نتایج مقایسه میانگین مربوط به تأثیر کاربرد گوگرد بنتونیت‌دار روی برخی ویژگی‌های ریخت‌شناختی، عملکرد و اجزای عملکرد سیاهدانه

Table 8- Results of mean comparison for the effect of sulphur application on morphological indices, yield and yield components of black seed.

Sulphur application (kg.ha ⁻¹)	Plant height (cm)	Plant dry weight (g m ⁻²)	Leaf dry weight (g m ⁻²)	Number of lateral branches per plant	Number of capsule per plant	Number of seed per capsule
0	14.1 ^a	641.6 ^a	144.1 ^a	4.67 ^a	2.87 ^a	49.6 ^a
150	14.2 ^a	412.8 ^b	104.7 ^a	4.21 ^a	2.99 ^a	49.9 ^a
300	14.5 ^a	552.6 ^{ab}	118.0 ^a	4.32 ^a	2.92 ^a	49.7 ^a
Sulphur application (kg.ha ⁻¹)	1000 seeds weight (g)	Number of seed per plant	Seed yield per plant (g)	Biological yield (kg.ha ⁻¹)	Economical yield (kg.ha ⁻¹)	Harvest index (%)
0	2.08 ^a	139 ^a	0.29 ^a	1299 ^a	262 ^a	22.2 ^a
150	2.00 ^a	152 ^a	0.30 ^a	1016 ^a	237 ^a	23.9 ^a
300	2.27 ^a	125 ^a	0.33 ^a	1133 ^a	272 ^a	23.9 ^a

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف‌های مشترک، اختلاف معنی‌داری بر پایه آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

In each column, means with at least one similar letter are not significantly different ($P \leq 0.05$) based on Duncan test.

در گیاه اسفرزه تنها کاربرد هیومیک اسید و در گیاه سیاه-دانه نیز تنها کاربرد کود گاوی تا حدودی توانستند موجب بهبود رشد و عملکرد این گیاهان شوند. بنابراین، به نظر می‌رسد در تولید این گیاهان بهتر است کودهای آلی در زراعت پیشین در طی تناوب زراعی کاربرد شوند، زیرا به احتمال زیاد نیازهای غذایی این گیاهان از باقی‌مانده کودهای مصرفی در زراعت پیشین تأمین می‌شود.

نتیجه‌گیری کلی

بیشترین میزان عملکرد بذر در گیاه دارویی اسفرزه ۱۰۳۸ کیلوگرم در هکتار در شرایط کاربرد ۲ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک به دست آمد. عملکرد بذر سیاهدانه نیز در شرایط کاربرد ۳۰ تن کود گاوی (۲۹۲ کیلوگرم در هکتار) بیش از تیمار بدون کاربرد کود (۲۴۳ کیلوگرم در هکتار) بود. در مجموع، نتایج آزمایش کنونی گویای نیاز غذایی پایین گیاهان دارویی اسفرزه و سیاهدانه است، به طوری‌که

REFERENCES

- Aghazadeh-Khalkhali, D., Mehrafarin, A., Abdossi, V. & Naghdi Badi, H. (2015). Mucilage and seed yield of *Psyllium* (*Plantago psyllium* L.) in response to foliar application of nano-iron and potassium chelate fertilizer. *Journal of Medicinal Plants*, 4(56), 23-34. (In Farsi).
- Akbari, I. & Gholami, A. (2016). Evaluation of mycorrhizal fungi, vermicompost and humic acid on essence yield and root colonization of fennel. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 13(4), 840-853. (In Farsi).

3. Akhavan, Z., Fallah, A. R. & Rezaee-Amrabadi, S. (2012). Effect of sulfur and thiobacillus inoculant on iron, zinc, copper and manganese concentration in canola in greenhouse condition. *Journal of Agronomy and Plant Breeding*, 8(3), 191-197. (In Farsi).
4. Astarai, A. R. (2006). Effect of municipal solid waste compost and vermicompost on yield and yield components of *Plantago ovata*. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 22(3), 180-187. (In Farsi).
5. Babaei, P., Gholchin, A., Besharati, H. & Afzali, M. (2012). Effect of microbial sulfur fertilizer on nutrient uptake and yield of soybean in a calcareous soil. *Iranian Journal of Soil Research*, 26(2), 145-151. (In Farsi).
6. Heidari, M. & Minaei, A. (2014). Effects of drought stress and humic acid application on flower yield and content of macro-elements in medical plant borage (*Borago officinalis* L.). *Journal of Plant Production Research*, 21(1), 167-182. (In Farsi).
7. Gholami, H. (2012). *Effects of humic and folvic acids on Isbogol resistance to salinity stress*. M.Sc Thesis. Faculty of Agriculture Islamic Azad University of Garmsar, Iran. (In Farsi).
8. Gryndler, M., Sudova, R., Püschel, D., Rydlova, J., Janoušková, M. & Vosátka, M. (2008). Cultivation of high-biomass crops on mine spoil banks: can microbial inoculation compensate for high doses of organic matter?. *Bioresource Technology*, 99(14), 6391-6399.
9. Karimi, F., Bahmanyar, M.A. & Shahabi M. (2012). Improving the content of oil, protein and some yield components of canola in two calcareous soil, consequence the sulfur and cattle manure application. *Journal of Sustainable Agriculture and Production Science*, 22(3), 71-84. (In Farsi).
10. Khorramdel, S., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M. & Ghorbani, R. (2010). Effect of biofertilizers on the yield and yield components of black cumin (*Nigella sativa* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 8(5), 758-766. (In Farsi).
11. Koocheki, A., Fallahi, H.R., Amiri, M.B. & Ehyaei, H.R. (2016a). Effects of humic acid application and mother corm weight on yield and growth of Saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Agroecology*, 7(4), 425- 442. (In Farsi).
12. Koocheki, A., Tabrizi, L., Keikha Akhar, M. & Roohi, A. (2016b). Investigation of yield and germination qualitative characteristics of seeds of black cumin (*Nigella sativa* L.), isabgol (*Plantago ovate* Forsk.) and fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) under organic cultivation. *Journal of Agroecology*, 8(2), 153-168. (In Farsi).
13. Lotfi, A., Vahabi Sedehi, A.A., Ganbari, A. & Heydari, M. (2009). The effect of deficit irrigation and manure on quantity and quality traits of *Plantago ovata* Forssk. in Sistan region. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 24(4), 506-518. (In Farsi).
14. Moghaddam, M. & Valizadeh, M. (2010). *Experimental Designs in Agriculture*, Parivar Press. (In Farsi).
15. Mohammad-Abadi, A.A., Rezvani-Moghaddam, P., Fallahi, H.R. & Boroumand Rezazadeh, Z. (2012). Effect of chemical and organic fertilizers on quantitative and qualitative characteristics of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*) forage. *Journal of Agroecology*, 3(4), 491-499. (In Farsi).
16. Mosavi, S.G.R., Segatoleslami, M.J. & Pooyan, M. (2012). Effect of planting date and plant density on yield and seed yield components of *Plantago ovata* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 27(4), 681-699. (In Farsi).
17. Nasirzade, S., Fallah, S., Kiani, Sh. & Mohammadkhani, A. (2015). Effect of different levels of cow manure and urea on quantitative and qualitative characteristics of isabgol (*Plantago ovata* Forssk.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 31 (1), 41-51. (In Farsi).
18. Pouryousef, M., Mazaheri, D., Chaiechi, M.R., Rahimi, A. & Tavakoli, A. (2010). Effect of different soil fertilizing treatments on some of agromorphological traits and mucilage of Isabgol (*Plantago ovata* Forsk.). *Journal of Crop Production*, 3 (2), 193-213. (In Farsi).
19. Rahimi, A., Jahansoz, M.R. & Rahimian Mashhad, H. (2014). Effect of drought stress and plant density on quantity and quality characteristics of Isabgol (*Plantago ovata*) and French Psyllium. *Journal of Crop Production and Processing*, 4(12), 143-156. (In Farsi).
20. Rezapour, A.R., Heidari, H., Galavi, M. & Ramrodi, M. (2011). Effect of water stress and different amounts of sulfur fertilizer on grain yield, grain yield components and osmotic adjustment in *Nigella sativa* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 27(3), 384-396. (In Farsi).
21. Rezvani Moghaddam, P. & Seyyedi, S.M. (2015). The effects of organic and biological fertilizers on phosphorus and potassium uptake by black seed (*Nigella sativa* L.). *Journal of Horticultural Science*, 28(1), 43-53. (In Farsi).
22. Salehi, A., Fallah, S., Abasi, A., Iranipour, R. & Heidari, M. (2015). The effect of integrated management of organic and chemical fertilizers on yield and qualitative characteristics in black cumin (*Nigella sativa* L.) medicinal plant. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 31(2), 248-261. (In Farsi).
23. Yadollahi, P., Asgharipour, M.R., Kheiri, N. & Ghaderi, A. (2015). Effects of drought stress and different types of organic fertilizers on the yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Oil Plants Production*, 1(2), 27-40. (In Farsi).