

Investigating the integrated management of sulfur element and organic fertilizer on the yield and yield components of oilseed flax in the Ahvaz conditions

L. Naseri magham¹, E. Fateh^{1*}, A. Ayneband¹

1- Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

(*- Corresponding Author Email: e.fateh@scu.ac.ir)

Introduction

Flax is an annual plant with a stem height of 30 to 50 centimeters. Unlike fiber flax, oil flax has a stem with several branches. Oil flax seeds contain 22% protein, 6.5% crude fiber and 30 to 40% oil. They are of particular importance due to the presence of some essential amino acids such as lecithin 3.8%, methionine 2.3% and tryptophan 1.9%. One way to increase flax yield is to apply agronomic management practices such as appropriate planting date and optimal nutrient intake. On the other hand, although flax is adaptable to adverse environmental conditions and lands with low fertility levels, and accordingly its cultivation can be expanded in different agro-ecological conditions, the area under cultivation of this plant is very small. Considering the role of Thiobacillus bacteria in the oxidation and dissolution of nutrients, it seems that the use of these bacteria along with organic fertilizer can enable the use of available nutrients and lead to improvement of the physicochemical properties and biological activities of the soil. Accordingly, the purpose of this experiment is to study the effect of Thiobacillus bacteria and different levels of sulfur and organic fertilizer on flax yield and yield components.

Material and Methods

This experiment was conducted at Shahid Chamran University, Ahvaz, in the 1401-1402 crop year to investigate the effect of Thiobacillus bacteria, sulfur application, and organic fertilizer on the yield and growth of oilseed flax under Ahvaz conditions. The experiment was conducted as a factorial design based on randomized complete blocks with 3 replications. The first factor included different levels of sulfur and Thiobacillus at 5 levels including: control (without the use of sulfur and Thiobacillus), 200 kg of sulfur per hectare, 400 kg of sulfur per hectare, 100 kg of sulfur per hectare with Thiobacillus bacterial inoculum, and 200 kg of sulfur per hectare with Thiobacillus bacterial inoculum. The second factor included the use of organic

fertilizer at three levels: control (no use of organic fertilizer), 6 tons of vermicompost, and 6 tons of sugarcane bagasse compost. The measured traits included yield and yield components.

Results

The results showed that among different levels of organic fertilizer, the lowest average number of branches (7.03 branches), number of capsules per plant (185 capsules), and number of seeds per capsule (7.3 seeds) were observed in the control treatment (no application of organic fertilizer). In contrast, under the condition of applying 6 tons of vermicompost, the highest number of branches per plant (7.9 branches per plant), secondary branches (1.34 branches), thousand-seed weight (1.6 g), and grain yield (3218 kg/ha) were obtained. In the study of different levels of sulfur and Thiobacillus application, it was found that the lowest average number of branches (6.4 branches), number of secondary branches (26.2 branches), number of seeds per capsule (1.7 seeds), and weight of 1,000 seeds (5.8 grams) were related to the control treatment (no use of sulfur and Thiobacillus). The highest number of branches (7.9 branches) and grain yield (3838 kg/ha) were related to the treatment of 200 kg sulfur/ha + Thiobacillus bacterial inoculum. In the study of different levels of sulfur and Thiobacillus application, it was found that the lowest average number of branches (6.4 branches), number of secondary branches (26.2 branches), number of seeds per capsule (1.7 seeds), and weight of 1,000 seeds (5.8 grams) were related to the control treatment (no use of sulfur and Thiobacillus). The highest number of branches (7.9 branches) and grain yield (3838 kg/ha) were related to the treatment of 200 kg sulfur/ha + Thiobacillus bacterial inoculum.

Conclusion

Therefore, the application of vermicompost among organic fertilizer levels and the treatment of 200 kg sulfur per hectare + Thiobacillus inoculum among sulfur and Thiobacillus levels had a positive effect, and the combined application of this treatment led to improved seed yield and yield components of oilseed flax.

Keywords: Bacteria, Bagasse, Compost, Thiobacillus, Vermicompost

بررسی مدیریت تلفیقی عنصر گوگرد و کود آلی بر عملکرد و اجزای عملکرد کتان روغنی در شرایط

اهواز

لیلا ناصری مقام^۱، اسفندیار فاتح^{۱*}، امیر آینه بند^۱

۱- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران

(*- نویسنده مسئول: Email: e.fateh@scu.ac.ir)

چکیده

به منظور بررسی تأثیر باکتری تیوباسیلوس، کاربرد گوگرد و کود آلی بر عملکرد و رشد کتان روغنی در شرایط اهواز، پژوهشی در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ در دانشگاه شهید چمران اهواز اجرا شد. آزمایش به صورت طرح فاکتوریل بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار انجام شد. فاکتور اول شامل سطوح مختلف گوگرد و تیوباسیلوس در ۵ سطح شامل: شاهد (بدون استفاده از گوگرد و تیوباسیلوس)، ۲۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار، ۴۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار، ۱۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار همراه با مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس و ۲۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار همراه با مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس بود. فاکتور دوم شامل استفاده از کود آلی در سه سطح: شاهد (عدم استفاده از کود آلی)، ۶ تن ورمی کمپوست و ۶ تن کمپوست باگاس نیشکر بود. نتایج نشان داد که در بین سطوح مختلف کود آلی، کمترین میانگین تعداد شاخه (۷/۰۳ شاخه)، تعداد کپسول در بوته (۱۸۵ کپسول)، تعداد دانه در کپسول (۷/۳ دانه)، در تیمار شاهد (عدم کاربرد کود آلی) مشاهده شد. در مقابل در شرایط کاربرد تیمار ۶ تن ورمی کمپوست، بیشترین تعداد شاخه در بوته (۷/۹ شاخه در بوته)، انشعابات فرعی (۳۴/۱ شاخه)، وزن هزار دانه (۶/۱ گرم)، عملکرد دانه (۳۲۱۸ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد. نتایج نشان داد که کاربرد ورمی کمپوست در بین سطوح کود آلی و تیمار ۲۰۰ کیلوگرم گوگرد همراه با تلقیح باکتری در بین سطوح گوگرد، تأثیر مثبت و معنی‌داری داشت. کاربرد تلفیقی این تیمارها منجر به بهبود عملکرد دانه و اجزای آن شد.

واژه‌های کلیدی: باکتری، باگاس، تیوباسیلوس، کمپوست و ورمی کمپوست

مقدمه

کتان گیاهی یکساله است که ارتفاع ساقه آن بین ۳۰ تا ۵۰ سانتیمتر می‌باشد. برخلاف کتان‌های لیفی، ساقه کتان‌های روغنی دارای چندین انشعاب است (Deyholos et al., 2006). کتان گیاهی روزبلند است و هرگاه طول روز ۱۴ تا ۱۸ ساعت باشد، گلدهی گیاه در مدت ۱۰ تا ۱۵ روز انجام و به اتمام خواهد رسید. البته در برخی از ارقام کتان، گیاهان روز خنثی نیز دیده می‌شود. روزهای کوتاه روند رشد و نمو آن را کند می‌کند (Tadayon., et al 2013). کتان روغنی در شرایط نسبتاً سرد قادر به رشد می‌باشد. اما درجه حرارت بالاتر از ۳۲ درجه سانتی‌گراد سبب کوتاه شدن دوره گلدهی و در نتیجه کاهش عملکرد دانه می‌شود. مناسب‌ترین درجه حرارت برای رشد کتان ۲۵-۲۰ درجه سانتی‌گراد است. مجموع میانگین حرارت سالیانه کتان روغنی بین ۱۸۰۰-۱۶۲۰ درجه می‌باشد (Jacobsz and Van der Merwe, 2012). زمین جهت کشت کتان باید کاملاً قابل نفوذ باشد، خاک‌های رسی شنی دارای زهکش و نسبتاً عمیق همچنین خاک‌های لومی که دارای مواد غذایی کافی باشند برای کشت این گیاه مناسب است. pH خاک‌هایی که دارای حدود ۷ و یا کمی اسیدی باشند برای کاشت آن مناسبند

لیکن بهترین pH بین ۵/۵ تا ۷ می‌باشد. کشت کتان روغنی در خاک‌های هوموسی نتیجه بهتری داشته و به علت بالا بودن نیتروژن هوموس، تعداد شاخه‌ها افزایش می‌یابد. افزودن فسفر به زمین موجب ازدیاد روغن شده و وجود اسید فسفریک تأثیر نسبی در زودرسی محصول دارد (Lafond et al., 2008).

دانه‌های کتان روغنی حاوی ۲۲ درصد پروتئین، ۶/۵ درصد فیبر خام و ۳۰ تا ۴۰ درصد روغن می‌باشد به علت داشتن بعضی اسیدهای آمینه ضروری مانند لسیتین ۳/۸ درصد، متیونین ۲/۳ درصد و تریپتوفان ۱/۹ درصد از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشند. مقدار روغن کتان‌های روغنی بین ۳۰ تا ۴۵ درصد است که از این مقدار حدود ۵۴ تا ۷۰ درصد روغن دانه را اسید لینولئیک تشکیل می‌دهد و به همین علت روغن کتان سریع خشک شده و در صنایع رنگسازی کاربرد دارد. سایر اسیدهای چرب شامل اسید لینولئیک به میزان ۱۵-۱۷ درصد، اسید اولئیک ۱۲ تا ۲۱ درصد، اسید پالمیتیک ۳ تا ۵ درصد و اسید استئاریک دارای ۲ تا ۴ درصد می‌باشد. میزان اسیدهای چرب امگا ۳ در کتان بیش از ۳ برابر اسیدهای چرب امگا ۶ است (Pali and Mehta, 2014). همچنین به دلیل اینکه در مقایسه با سایر گیاهان زراعی دانه روغنی، کتان غنی از آلفا-لینولئیک اسید (به عنوان فراوان ترین منبع آنتی اکسیدان‌ها) و لیگنین است که تأثیر مفیدی در پیشگیری از بیماری‌ها و سلامت انسان دارند (شجاعیان کیش و همکاران، ۲۰۲۱).

یکی از راه‌های افزایش عملکرد کتان، اعمال مدیریت‌های زراعی مانند تاریخ کاشت مناسب و میزان بهینه مصرف عناصر غذایی است. از طرف دیگر، با وجود آنکه کتان با شرایط نامساعد محیطی و اراضی با سطح باروری اندک سازگاری دارد و بر این اساس می‌توان کشت آن را در شرایط مختلف زراعی-اکولوژیکی گسترش داد، اما سطح زیر کشت این گیاه بسیار اندک است.

گوگرد چهارمین عنصر غذایی اصلی گیاه پس از نیتروژن، فسفر و پتاسیم است و گیاهان آن را به شکل سولفات (SO_4^{2-}) جذب می‌کنند. گوگرد با شرکت در فرآیندهای متابولیکی متعدد نقش مهمی در عملکردهای حیاتی گیاهان دارد. این عنصر برای سنتز اسیدهای آمینه خاصی ضروری است و نقش‌های عملکردی منحصر به فردی در آنزیم‌ها، ویتامین‌ها، لیپیدها و سایر اجزای مهم گیاهی دارد (Kopriva et al., 2019). گوگرد در خاک به دو صورت ترکیبات آلی و معدنی وجود دارد، اگرچه در بیشتر خاک‌های کشاورزی ترکیبات آلی غالب است. در خاک کشاورزی درصد اشکال آلی گوگرد بسته به آب و هوا و نوع خاک بین ۵۰ تا ۹۸ درصد متغیر است (Hu et al., 2005). گوگرد موجود در بیوماس خاک ۲ تا ۳ درصد از کل ترکیبات آلی خاک را تشکیل می‌دهد، اما با وجود این درصد اندک، نقش مهمی در تبدیل گوگرد در خاک دارد (Haider and Schaffer, 2009). زیست‌توده میکروارگانیسم‌ها فعال‌ترین و در دسترس‌ترین شکل گوگرد آلی در خاک است. گوگرد غیر آلی در خاک عمدتاً به صورت سولفات و ترکیبات گوگردی با درجه اکسیداسیون کمتر مانند سولفیدها، پلی‌سولفیدها، سولفات‌ها، تیوسولفات‌ها و گوگرد عنصری وجود دارد (طباطبائی، ۲۰۰۵). خاک کشاورزی حاوی مقادیر کافی اکسید گوگرد است و بیشترین سهم گوگرد معدنی در خاک را تشکیل می‌دهد. گوگرد در خاک از طریق فرآیندهای تثبیت، تحرک، کانی‌سازی، اکسیداسیون و احیا در یک تبادل مداوم بین اشکال آلی و معدنی است که بر نسبت نسبی اشکال در خاک تأثیر می‌گذارد. سطح گوگرد آلی تا حد زیادی با مقدار کربن و نیتروژن در مواد آلی خاک مرتبط است (Prasad and Shivay, 2018). اکسیداسیون ترکیبات معدنی گوگرد در خاک می‌تواند در طی فرآیندهای بیولوژیکی و شیمیایی رخ دهد. میزان وقوع این فرآیندها به محیط بستگی دارد. در خاک‌های تحت کشت، اکسیداسیون گوگرد عمدتاً از طریق مسیرهای بیولوژیکی با مشارکت میکروارگانیسم‌ها اتفاق می‌افتد. بنابراین، درجه و سرعت این فرآیند به اندازه، ترکیب و فعالیت جمعیت

میکروبی بستگی دارد. در خاک‌های تحت کشت اکسیداسیون گوگرد عمدتاً توسط باکتری‌های جنس تیوباسیلوس (*Thiobacillus*) و باکتری‌های هتروتروف انجام می‌شود (yang et al., 2015). اعتقاد بر این است که تیوباسیلوس و جنس‌های مربوط به آن از طریق اکسیداسیون گوگرد، انحلال فسفر و حل کردن سایر مواد مغذی مانند روی، آهن و غیره نقش مهمی در تولید محصول دارند. این باکتری‌ها در احیای خاک‌های قلیایی استفاده می‌شوند و مواد مغذی را در دسترس گیاهان زراعی قرار می‌دهند که تاکنون در خاک‌های قلیایی در دسترس نبودند.

در کشاورزی، کودها برای بهبود حاصلخیزی خاک استفاده می‌شوند، اما استفاده بیش از حد از کودهای شیمیایی و معدنی در کشاورزی سبب آلودگی‌های زیست محیطی غیرقابل جبران و همچنین مشکلات بهداشتی بسیاری شده است. بنابراین، به منظور کاهش و حذف اثرات نامطلوب کودهای شیمیایی بر سلامت انسان و محیط‌زیست، امروزه مباحثی تحت عنوان کشاورزی ارگانیک، کشاورزی پایدار یا کشاورزی زیست‌محیطی ایجاد شده است (Sharma et al., 2017). کودهای آلی عمدتاً مقرون به صرفه هستند و نسبت به کودهای شیمیایی بیشتر در دسترس هستند. همچنین مواد آلی اساس حاصلخیزی خاک است. از سوی دیگر، کودهای معدنی به دلیل هزینه بالا و اثرات منفی زیست محیطی خود در صورت مدیریت ضعیف شناخته شده‌اند (Solomon et al., 2012). کودهای آلی نیازهای فرآیند بیولوژیکی گیاهان را تأمین می‌کنند و به طور همزمان جمعیت آفات گیاهی را سرکوب می‌کنند. علاوه بر این، فعالیت میکروارگانیسم‌ها در خاک، قابلیت تبادل آنیون و کاتیون، مواد آلی و محتوای کربن خاک را افزایش می‌دهند. کودهای آلی کیفیت و عملکرد محصولات کشاورزی را به روشی مشابه کودهای معدنی افزایش می‌دهند، اما باعث آلودگی محیط زیست نمی‌شود (Bhatt et al., 2019). برخی از مزایای مهم کودهای آلی شامل بهبود بافت خاک، حفظ آب و مقاومت در برابر فرسایش است. کودهای آلی نیتروژن را به شکل قابل استفاده فراهم می‌کنند که به گیاه کمک می‌کند تا رشد گیاه را بهبود بخشد و در عین حال نه باعث سوزاندن ریشه‌ها و نه از بین بردن میکروارگانیسم‌های مفید در خاک می‌شود. کودهای آلی با تأمین نیازهای تغذیه‌ای گیاهان و افزایش تحمل گیاه به پیشگیری از بیماری‌ها کمک می‌کنند (Asadu and Unagwu et al., 2012; Sharma et al., 2017).

با توجه به نقش باکتری‌های جنس تیوباسیلوس در اکسیداسیون و انحلال عناصر مغذی به‌نظر می‌رسد کاربرد این باکتری‌های همراه با کود آلی بتواند امکان استفاده از مواد مغذی موجود را فراهم کرده و منجر به بهبود خصوصیات فیزیکی و فعالیت‌های بیولوژیکی خاک شوند. بر این اساس، هدف از اجرای این آزمایش مطالعه تأثیر باکتری تیوباسیلوس و سطوح مختلف گوگردی و کود آلی بر روی عملکرد و اجزای عملکرد کتان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر به‌منظور بررسی تأثیر باکتری تیوباسیلوس و کاربرد گوگرد و کود آلی بر عملکرد و اجزای عملکرد کتان روغنی در شرایط اهواز، در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ در مزرعه آموزشی پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز واقع در جنوب غربی اهواز و حاشیه غربی رود کارون با عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۱۹ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۴۱ دقیقه شرقی و ارتفاع ۲۲ متر از سطح دریا اجرا گردید. براساس آمار ۴۰ ساله هواشناسی، متوسط بارندگی سالانه در منطقه ۱۹۹/۵ میلی‌متر است. متوسط حداکثر دما

۴۶/۲ درجه سانتی گراد و متوسط حداقل دمای ماهیانه ۶/۶ درجه سانتی گراد به ترتیب در تیرماه و دی ماه رخ می دهد. همچنین آمار هواشناسی در محدوده زمانی انجام آزمایش به صورت میانگین ماهانه در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- میانگین ماهانه شرایط آب و هوایی در طول فصل رشد در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲

Table 1- Monthly average weather conditions during the growing season in the crop year 2020-2021

ماه	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد
Month	November	December	January	February	March	April	May	June
دمای حداکثر ($^{\circ}\text{C}$)	32.1	26.5	25	26	29.7	36.1	46.9	49.9
Maximum temperature ($^{\circ}\text{C}$)								
دمای حداقل ($^{\circ}\text{C}$)	11.1	5.6	2.9	6.1	7.1	10.7	19.4	25.8
Minimum temperature ($^{\circ}\text{C}$)								
میانگین دمای روزانه ($^{\circ}\text{C}$)	19.4	15.3	14.2	15.5	18.3	24.3	33.5	39
Average temperature ($^{\circ}\text{C}$)								
بارندگی (mm)	15.9	20.5	45.1	13.8	17.2	20	2	0
Precipitation (mm)								

به منظور تعیین ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه، قبل از شروع آزمایش، از عمق ۰-۳۰ سانتی متری قسمت های مختلف مزرعه نمونه برداری انجام شد و پس از خشک کردن و خرد کردن ذرات درشت خاک، نمونه ها از الک ۲ میلی متری عبور داده شد و سپس در آزمایشگاه ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک مشخص شد. نتایج تجزیه آزمون خاک در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 2- Physical and chemical characteristics of the soil of the test site

عمق خاک	بافت خاک	پتاسیم	فسفر	اسیدیته	هدایت الکتریکی (dS/m)	نیتروژن	مواد آلی
soil depth	Soil texture	Potassium (mg kg ⁻¹)	Phosphorus (mg kg ⁻¹)	pH	EC (dS/m)	Nitrogen (%)	Organic Carbon (%)
لومی شنی							
0-30cm	Loamy-sand	130.8	11.3	7.45	3.2	0.098	0.43

این پژوهش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. فاکتور اول شامل سطوح مختلف گوگرد و تیوباسیلوس در ۵ سطح شامل ۱- شاهد (بدون استفاده از گوگرد و تیوباسیلوس)، ۲- ۲۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار، ۳- ۴۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار، ۴- ۱۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار همراه با مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس و ۵- ۲۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار همراه با مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس بود. فاکتور دوم شامل استفاده از کود آلی در سه سطح شامل ۱- شاهد (عدم استفاده از کود آلی)، ۲- ۶ تن ورمی کمپوست

و ۳-۶ تن کمپوست باگاس نیشکر بود. در مجموع ۳ تکرار، ۴۵ واحد آزمایشی در طرح وجود داشت که هر واحد آزمایشی شامل ۴ پشته (۳) پشته کاشت و یک پشته نکاشت) و با فاصله ۵۰ سانتی متری از یکدیگر بودند.

آماده سازی زمین با انجام شخم و دو مرتبه دیسک عمود بر هم، تسطیح با ماله در مزرعه تکمیل شد. پس از آن کودهای پایه بر اساس آزمون خاک و کود دورمی کمپوست و گوگرد و تیوباسیلوس به نسبت های معین شده به خاک اضافه خواهد شد. به منظور تلقیح با تیوباسیلوس، از کود زیستی سولفورور ۱ حاوی باکتری تیوباسیلوس استفاده شد. تلقیح با باکتری برای هر ۵۰ کیلوگرم گوگرد یک کیلوگرم تیوباسیلوس استفاده می شود که بر این اساس برای تیمارهای آزمایشی، ۲ کیلوگرم گوگرد با ۴۰ گرم تیوباسیلوس مخلوط شد. تلقیح گوگرد با باکتری چند روز قبل از کاشت و در سایه انجام شد و سپس بلافاصله براساس تیمارهای آزمایشی، مقادیر تعیین شده تیمارها به صورت نواری روی خطوط کشت قرار داده شد و سپس روی آن با خاک پوشانده شد. چند روز بعد از عملیات کوددهی، عملیات کشت با کاشت بذور در عمق ۲ سانتی متری خاک به صورت دستی انجام شد. کشت گیاه دارویی کتان روغنی در تاریخ ۱۴۰۱/۰۸/۲۰ و اولین آبیاری مزرعه در ۲۲ آبان ۱۴۰۱ انجام شد. همچنین مقدار کود نیتروژن باقیمانده (براساس آزمون خاک) در دو مرحله ظهور جوانه انتهایی و ابتدای گلدهی (هر مرحله رشدی ۱۰۰ کیلوگرم) مصرف شد. در طول دوره آزمایش، آفت و بیماری خاصی مشاهده نشد و با علف های هرز مبارزه شد. عملیات برداشت محصول نیز در تاریخ ۱۴۰۲/۰۲/۱۰ انجام شد.

تعیین عملکرد دانه

به منظور برآورد عملکرد دانه، در زمان رسیدگی کامل (زمانی که ۷۰ درصد دانه ها در کپسول ها قهوه ای شدند) با در نظر گرفتن حذف اثر حاشیه، سه متر مربع از هر کرت برداشت شد؛ سپس بوته های مربوطه جداگانه به آزمایشگاه منتقل و در دمای ۷۵ درجه سانتی گراد به مدت ۴۸ ساعت خشکانده شدند و مجدد توزین و وزن ماده خشک (عملکرد زیست توده) نمونه های آزمایشی محاسبه گردید. پس از جدا نمودن بذرها و توزین دانه های هر کرت، عملکرد دانه در واحد متر مربع محاسبه شد.

تعیین اجزای عملکرد دانه

پس از عملیات برداشت، از میان بوته های برداشت شده هر کرت ۱۰ بوته به طور تصادفی برای شمارش اجزای عملکرد انتخاب شده و به صورت جداگانه و دقت در پلاستیک قرار داده شدند و به آزمایشگاه منتقل گردیدند و اندازه گیری صورت گرفت. تجزیه آماری با استفاده از برنامه آماری SAS ver 9.4 و ترسیم نمودارها با استفاده برنامه های Word و Excel انجام شد مقایسه میانگین صفات با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی دار (LSD) در سطح ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

تعداد شاخه فرعی در بوته

نتایج تجزیه واریانس صفات حاکی از تأثیرپذیری صفت تعداد شاخه فرعی در بوته تنها از اثرات اصلی فاکتورهای آزمایشی در سطح یک درصد بود (جدول ۳). براساس نتایج مقایسه میانگین، بیشترین تعداد شاخه فرعی در بوته مربوط به تیمار کاربرد ۶ تن ورمی کمپوست (۷/۹۷)

شاخه در بوته) بود که نسبت به تیمار شاهد ۱۳/۵ درصد افزایش را نشان داد و از این نظر برتری آماری معنی‌داری نسبت به سایر سطوح تیماری داشت. در مقابل بین سطوح شاهد و ۶ تن کمپوست باگاس نیشکر (به ترتیب با میانگین ۷/۰۳ و ۷/۳ شاخه در بوته) اختلاف آماری معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۴).

بررسی اثرات اصلی سطوح گوگرد و تیوباسیلوس نیز نشان داد که تمامی سطوح تیماری کاربرد گوگرد و تیوباسیلوس منجر به افزایش تعداد شاخه فرعی در بوته نسبت به تیمار شاهد شدند، به طوری که سطوح تیماری ۲۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار، ۴۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار، ۱۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار + مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس و ۲۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار + مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس به ترتیب منجر به افزایش ۱۶، ۲۳، ۲۰ و ۲۴ درصدی تعداد شاخه نسبت به تیمار شاهد شدند. تحت این شرایط مشاهده شد که کمترین میانگین تعداد شاخه فرعی در بوته مربوط به تیمار شاهد با میانگین ۶/۳۷ شاخه بود که از این نظر اختلاف آماری معنی‌داری با سایر سطوح تیماری داشت. در مقابل تیمارهای ۴۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار، ۱۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار + مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس و ۲۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار + مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس به ترتیب دارای ۷/۸۶، ۷/۶۶ و ۷/۹۱ شاخه بودند و از این نظر اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. بنظر می‌رسد وجود همزمان گوگرد و باکتری تیوباسیلوس عامل کلیدی در تحریک رشد شاخه‌های فرعی است، نه صرفاً افزایش مقدار گوگرد. این امر احتمالاً به دلیل نقش مؤثر باکتری در فعال‌سازی گوگرد و تسهیل جذب عناصر غذایی می‌باشد.

نتایج این پژوهش به وضوح تأییدکننده تأثیر مثبت ورمی‌کمپوست بر تعداد شاخه فرعی در بوته بود. این نتایج نشان می‌دهد که ورمی‌کمپوست از طریق فراهم نمودن مواد غذایی مورد نیاز گیاه و همچنین افزایش تولیدات فتوسنتزی به واسطه افزایش ظرفیت فتوسنتزی در افزایش رشد رویشی گیاه نظیر ارتفاع و تعداد شاخه‌های جانبی می‌باشد. بر اساس منابع موجود، اکثر عناصر غذایی موجود در ورمی‌کمپوست از جمله نیتروژن، فسفر و پتاسیم به سهولت برای گیاه قابل دسترس می‌باشد که می‌تواند نقش مؤثری در بهبود رشد و عملکرد گیاهان داشته باشد (Wu et al., 2012). همچنین ورمی‌کمپوست حاوی اسید هیومیک، هورمون‌های محرک رشد گیاه و انواع ویتامین‌ها و آنزیم‌ها می‌باشد (Pramanik et al., 2007; Arancon et al., 2004) که می‌تواند به طور مستقیم باعث بهبود رشد و نمو گیاهان گردد. علاوه بر این، ورمی‌کمپوست بر مواردی مانند بهبود ساختار شیمیایی، فیزیکی و زیستی بستر کاشت، افزایش جذب و نگهداری آب تأثیر دارد. از این‌رو، افزایش خصوصیات رشدی و عملکردی کتان روغنی در اثر کاربرد کود ورمی‌کمپوست با توجه به موارد نام برده شده قابل استناد می‌باشد.

تعداد شاخه فرعی در بوته

نتایج تجزیه واریانس صفات نشان داد که اثرات اصلی و برهمکنش فاکتورهای آزمایشی در سطح یک درصد تأثیر معنی‌داری بر تعداد شاخه فرعی در بوته داشتند (جدول ۳). براساس نتایج مقایسه میانگین صفات، بیشترین تعداد شاخه فرعی در بوته مربوط به سطح تیماری کاربرد توأم ۶ تن ورمی‌کمپوست و ۴۰۰ کیلوگرم گوگرد (۳۸ شاخه فرعی) بود که البته از نظر آماری اختلاف آماری معنی‌داری با سطوح تیماری ۱۰۰ کیلوگرم گوگرد و ۲۰۰ کیلوگرم گوگرد + مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس توأم با کاربرد ۶ تن ورمی‌کمپوست (به ترتیب با میانگین ۳۸ و ۳۷ شاخه فرعی)، ۲۰۰ و ۴۰۰ کیلوگرم در شرایط عدم استفاده از کود آلی و تیمار ۱۰۰ کیلوگرم گوگرد + مایه تلقیح باکتری توأم با کاربرد ۶ تن کمپوست باگاس نیشکر نداشت. در مقابل کمترین تعداد انشعاب فرعی با میانگین ۲۰ شاخه فرعی نیز مربوط به تیمار شاهد (عدم استفاده از گوگرد و کود آلی) بود (شکل ۱).

به طور کلی تحقیقات نشان داده است که تعداد شاخه‌های جانبی بوته به طور عمده به حاصلخیزی خاک و شرایط رشد بستگی دارد و در شرایط بهینه رشد، گیاهان شاخه‌های فرعی بیشتری تولید می‌کنند (Azizi & Nemati, 2013). (Devi et al, 2012) گزارش دادند که به علت نقش عنصر گوگرد در فرآیندهای رشد و نمو گیاه و ساختمان اسیدهای آمینه و فرآیند تفکیک بافت از سلول‌های مولد مرستمی، افزایش تقسیم سلولی و انتقال مواد فتوسنتزی و تنظیم‌کننده‌های رشد از منبع به مخزن با مصرف گوگرد تعداد شاخه جانبی در سویا افزایش می‌یابد. به نظر می‌رسد کود ورمی‌کمپوست از طریق تأمین تدریجی نیتروژن و سایر عناصر غذایی، اثراتی مشابه با کودهای شیمیایی نیتروژن داشته است.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس صفات آزمایشی تحت تأثیر سطوح مختلف فاکتورهای آزمایشی

Table 3- Results of variance analysis of experimental traits under the influence of different levels of experimental factors

منابع تغییرات	تعداد شاخه فرعی در بوته	تعداد شاخه فرعی	تعداد کپسول در بوته	تعداد دانه در کپسول	وزن هزار دانه (گرم)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	df
Sov	Number of sub-branches per plant	Number of secondary branches per plant	Number of capsules per plant	The number of seeds in the capsule	Weight of 1000 seeds (g)	Seed yield (kg/ha)	
میانگین مربعات							
Mean square							
بلوک	0.56	12.2	1329	0.43	0.25	72379	2
Block							
سطوح کود آلی	3.56**	86**	1880 ^{ns}	0.35 ^{ns}	0.04 ^{ns}	169706 ^{ns}	2
Organic fertilizer levels							
سطوح گوگرد و تیوباسیلوس	3.59**	116**	2171*	1.42**	0.26*	1597083**	4
Sulfur and Thiobacillus levels							
کود آلی × گوگرد و تیوباسیلوس	0.205 ^{ns}	53.9**	1097 ^{ns}	0.37*	0.19*	174698 ^{ns}	8
Organic fertilizer × sulfur and Thiobacillus							
خطا	0.15	12.03	760	0.15	0.075	165281	28
Error							
ضریب تغییرات CV	5.3	14.3	13.9	5.2	4.5	12.9	

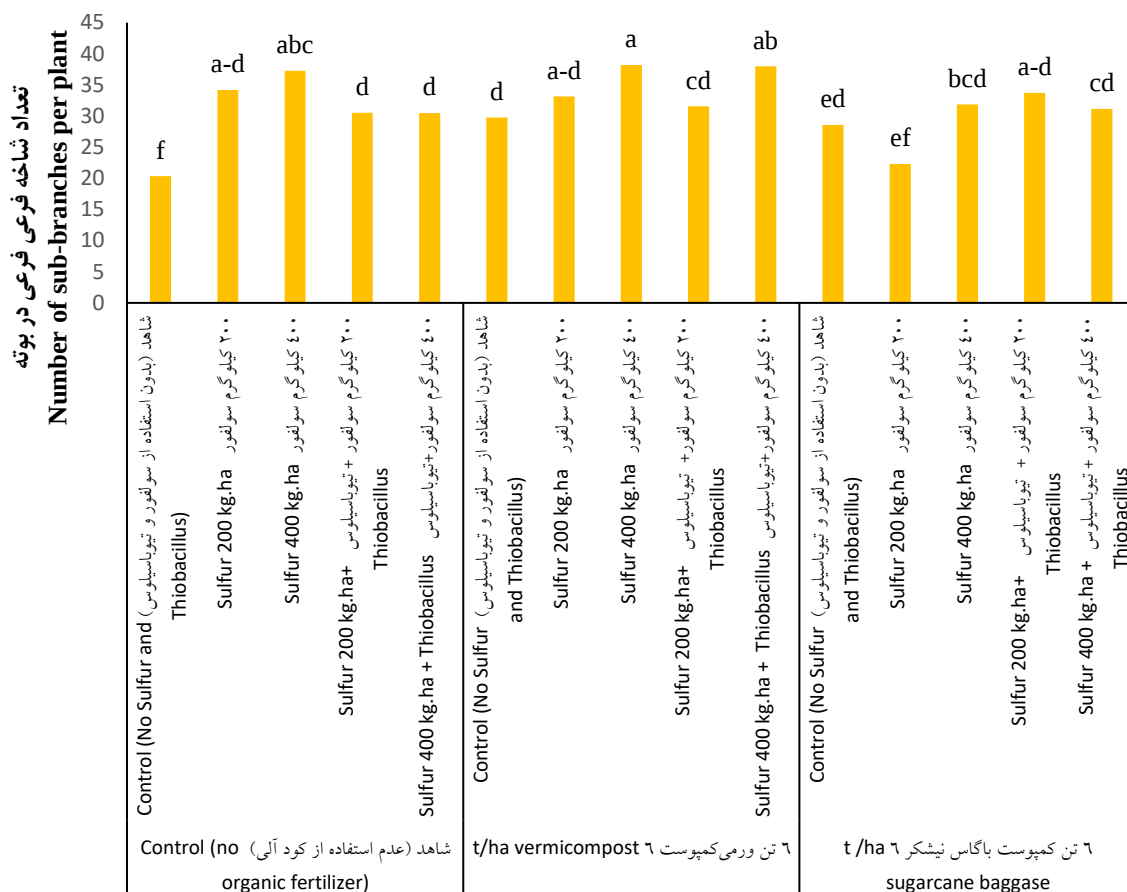
***و*: به ترتیب نشانگر معنی‌دار بودن در سطح احتمال یک و پنج درصد و NS: عدم وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

جدول ۴-مقایسه میانگین اثرات اصلی فاکتورهای آزمایشی از نظر صفات مورد بررسی

Table 4- Comparison of the average effects of the main experimental factors in terms of investigated traits

عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Seed yield (kg/ha)	وزن هزار دانه (گرم) Weight of 1000 seeds (g)	تعداد دانه در کپسول The number of seeds in the capsule	تعداد کپسول در بوته Number of capsules per plant	تعداد شاخه فرعی فرعی در بوته Number of secondary branches per plant	تعداد شاخه فرعی در بوته Number of sub-branches per plant	سطوح مختلف کود آلی Different levels of organic fertilizer
3166a	6.03a	7.32a	185b	30.56b	7.03b	شاهد (عدم استفاده از کود آلی) witness (non-use of organic fertilizer)
3218a	6.14a	7.5a	203ab	34.12a	7.97a	۶ تن ورمی کمپوست 6 tons of vermicompost
3014a	6.12a	7.61a	206a	29.53b	7.3b	۶ تن کمپوست باگاس نیشکر 6 tons of sugarcane bagasse compost
						سطوح گوگرد و تیوباسیلوس Sulfur levels and Thiobacillus
2711b	5.84b	7.08c	176b	36.22c	6.37c	شاهد (بدون استفاده از گوگرد و تیوباسیلوس) Shahid (without using sulfur and thiobacillus)
3085b	6ab	7.26c	197ab	29.87c	7.38b	۲۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار 200 kg of sulfur per hectare
3059b	6.24a	8.09a	219a	35.78a	7.86a	۴۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار 400 kg of sulfur per hectare
2969b	6.17a	7.37bc	198ab	31.94b	7.66ab	۱۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار + مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس 100 kg of sulfur per hectare + Thiobacillus bacteria inoculum
3838a	6.23a	7.68b	202ab	33.21a	7.91a	۲۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار + مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس 200 kg of sulfur per hectare + Thiobacillus bacteria inoculum

میانگین‌های دارای یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.



شکل ۱- مقایسات میانگین برهم کنش فاکتورهای آزمایشی از نظر صفت تعداد شاخه فرعی در بوته. میانگین‌های دارای یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Figure 1- Comparisons of the average interaction of the experimental factors in terms of the number of sub-branches in the plant. Averages with a common letter do not have a significant difference using the LSD test at the five percent probability level.

تعداد کپسول در بوته

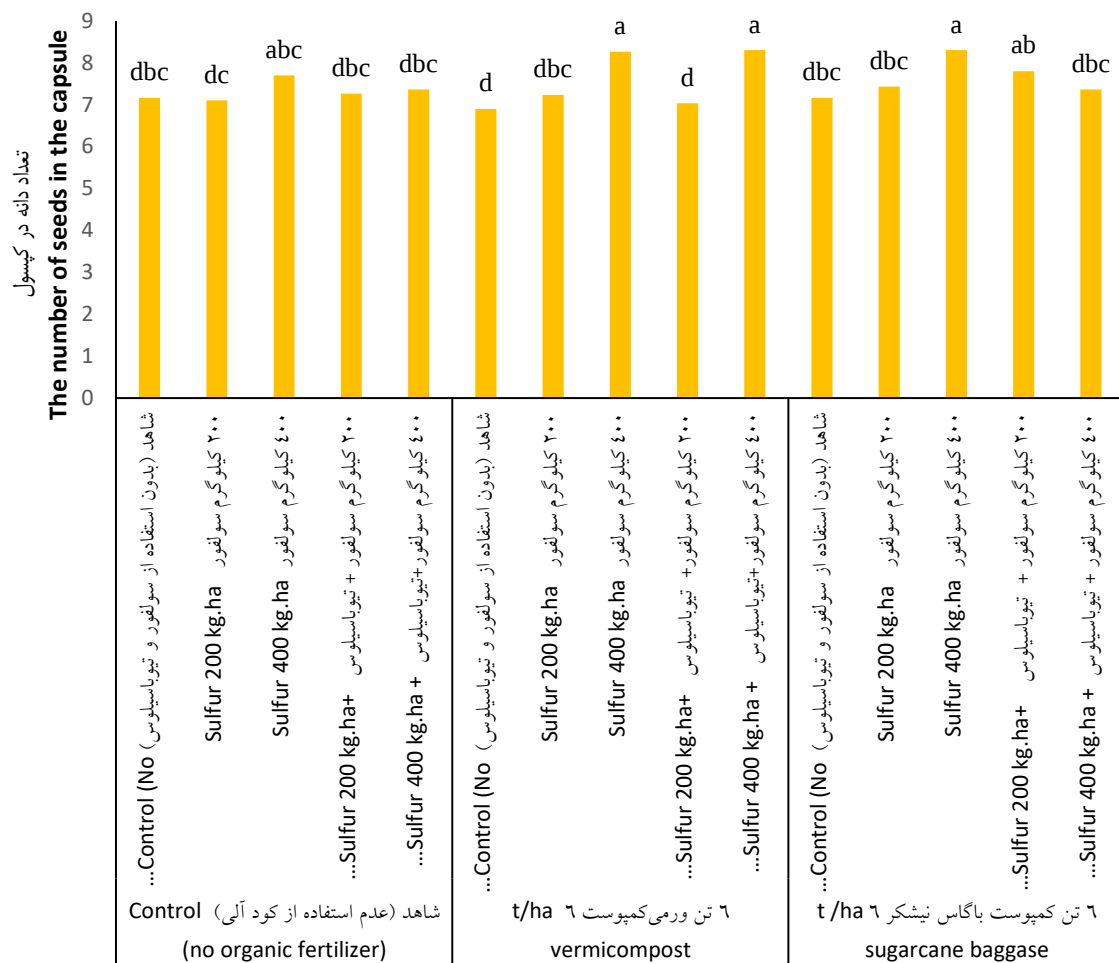
نتایج تجزیه واریانس صفات نشان داد که صفت تعداد کپسول در بوته تنها تحت تأثیر اثر اصلی سطوح گوگرد و تیوباسیلوس در سطح پنج درصد قرار گرفت (جدول ۳). براساس نتایج مقایسه میانگین، کمترین میانگین تعداد کپسول در بوته با میانگین ۱۷۶ عدد مربوط به تیمار شاهد (بدون استفاده از گوگرد و تیوباسیلوس) بود که تحت سطوح تیماری ۲۰۰ کیلوگرم گوگرد، ۴۰۰ کیلوگرم گوگرد، ۱۰۰ کیلوگرم گوگرد + مایه تلقیح باکتری و ۲۰۰ کیلوگرم گوگرد + مایه تلقیح باکتری به ترتیب با ۱۲، ۲۵، ۱۲ و ۱۵ درصد افزایش به میانگین ۱۹۷، ۲۱۹، ۱۹۸ و ۲۰۲ کپسول در بوته رسید که از این نظر اختلاف آماری معنی‌داری نسبت به یکدیگر نداشتند (جدول ۴).

تفاوت در تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در کپسول ارتباط مستقیم با میزان نفوذ نور به داخل کانوپی گیاهی دارد. به دلیل نقش گوگرد در ساخت آمینواسیدهای سیستمی، متیونین و سنتز اسیدهای چرب، دانه‌های روغنی به مقادیر متوسط سولفور واکنش نشان می‌دهند (Havlin

et al., 1999). با توجه به اثر مستقیم تعداد کپسول به عنوان جزء مؤثر در تعیین عملکرد کاملینا میتوان یکی از علل افزایش عملکرد دانه کتان روغنی را به افزایش تعداد کپسول در بوته نسبت داد. احتمالاً کاربرد گوگرد به همراه بیوسولفور، توانسته است از طریق کاهش pH خاک و حلالیت عناصر (Anandham et al., 2007) به افزایش رشد و نمو گیاه کتان روغنی کمک کند. نتایج حاکی از آن است که کاربرد گوگرد، اعم از اینکه به تنهایی یا همراه با باکتری تیوباسیلوس باشد، می تواند به طور معنی داری تعداد کپسول در بوته را نسبت به تیمار شاهد افزایش دهد. این یافته مؤید نقش مؤثر گوگرد در بهبود ویژگی های زایشی گیاه است. با این حال، از آنجا که اختلاف آماری معنی داری بین سطوح مختلف تیمارهای گوگردی مشاهده نشد، به نظر می رسد که صرف تأمین نیاز پایه گیاه به گوگرد برای دستیابی به این پاسخ مطلوب کافی بوده و افزایش بیشتر مقدار مصرف گوگرد لزوماً منجر به افزایش تعداد کپسول نمی شود.

تعداد دانه در کپسول

نتایج تجزیه واریانس صفات نشان داد که صفت تعداد دانه در کپسول تحت تأثیر اثر اصلی سطوح گوگرد و تیوباسیلوس و برهمکنش کود آلی × گوگرد و تیوباسیلوس به ترتیب در سطح پنج و یک درصد قرار گرفت (جدول ۳). براساس نتایج مقایسه میانگین صفات، بیشترین تعداد دانه در کپسول مربوط به سطوح تیماری ۴۰۰ کیلوگرم گوگرد و ۲۰۰ کیلوگرم گوگرد + مایه تلقیح باکتری باسیلوس توأم با کاربرد ۶ تن ورمی کمپوست (به ترتیب با میانگین ۸/۲۷ و ۸/۳۰ دانه)، ۲۰۰ کیلوگرم گوگرد و ۱۰۰ کیلوگرم گوگرد + مایه تلقیح باکتری باسیلوس توأم با کاربرد ۶ تن کمپوست باگاس نیشکر (به ترتیب با میانگین ۸/۳۰ و ۷/۸۰ دانه در کپسول) و تیمار ۴۰۰ کیلوگرم گوگرد در شرایط عدم کاربرد کود آلی (۷/۷۰ دانه در کپسول) بود و از این نظر نسبت به سایر سطوح تیماری برتری آماری معنی داری داشتند (شکل ۲). به طور کلی نتایج این پژوهش حاکی از تأثیر مثبت کاربرد ورمی کمپوست توأم با کاربرد سطوح ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم گوگرد + مایه تلقیح باکتری باسیلوس بر تعداد دانه در کپسول بود. بر این اساس مشخص شده است که ظرفیت مخزن های گیاه توسط تعداد دانه در کپسول مشخص می شود؛ هر چه تعداد دانه ها بیشتر باشند گیاه دارای تعداد مخزن های بیشتری برای مواد پرورده تولیدی است و هر عاملی که این جزء را افزایش دهد باعث افزایش عملکرد نیز خواهد شد. گزارشاتی مبتنی بر اینکه ورمی کمپوست قادر است که فسفر را به فرم قابل دسترس برای گیاه تبدیل کند، موجود است و افزایش دسترسی به فسفر از طریق کاربرد ورمی کمپوست سبب افزایش تشکیل اندام زایشی و در نتیجه افزایش بذر در گیاه خواهد شد (Arancon et al., 2004). (Azizi & Nemati, 2013). نیز بیان کردند که به دلیل اینکه عناصر غذایی موجود در ورمی کمپوست برای گیاه بیشتر قابل دسترس است، ورمی کمپوست باعث بهبود خصوصیات رشدی، عملکرد و اجزای گیاه می شود. همچنین تحقیقات نشان داده است که کاربرد کودهای گوگردی، سطح سبز را افزایش داده و در ادامه باعث افزایش فتوسنتز گیاه شده که به نوبه خود در انتقال مواد فتوسنتزی و پرشدن دانه تأثیر مثبتی دارد. با در نظر گرفتن حضور باکتری های تیوباسیلوس در کود زیستی بیوسولفور و توانایی آنها در کاهش pH خاک و تولید هورمون های استیک اسید و سیتوکنین می توان احتمال داد که این باکتری ها از طریق افزایش رشد ریشه های جانبی، سطح برگ و ریشه سبب افزایش مواد فتوسنتزی شده که به نوبه خود باعث بهبود رشد رویشی و در ادامه افزایش سهم اندام های زایشی از جمله تعداد دانه در کپسول شده است (Poonia, 2000).



شکل ۲- مقایسات میانگین برهم کنش فاکتورهای آزمایشی از نظر صفت تعداد دانه در کپسول. میانگین‌های دارای یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Figure 2-4- Comparisons of the average interaction of the experimental factors in terms of the attribute number of seeds in the capsule. Averages with a common letter do not have a significant difference using the LSD test at the five percent probability level.

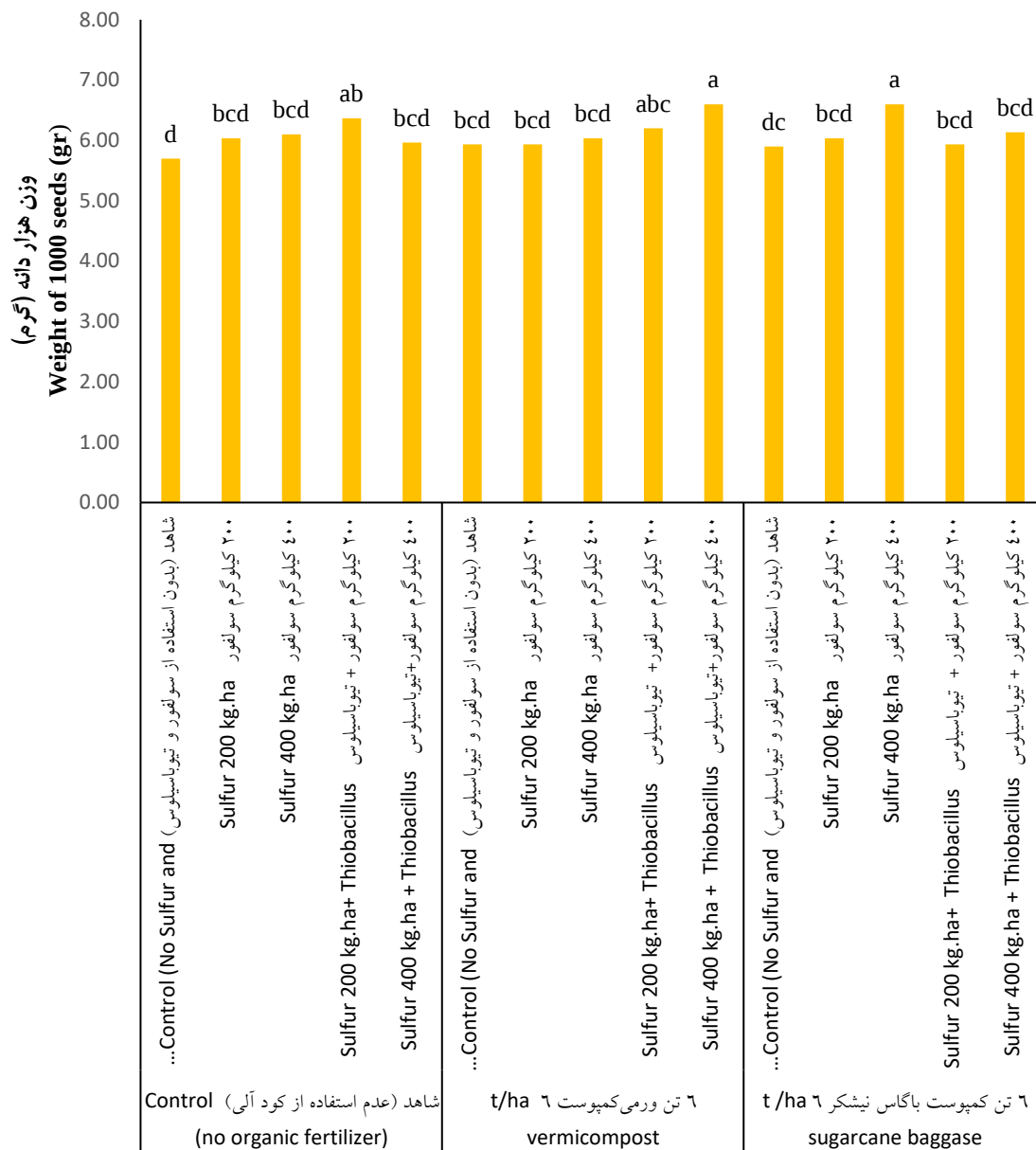
وزن هزار دانه

نتایج تجزیه واریانس صفت وزن هزار دانه در جدول ۳ نشان داده شده است. براساس نتایج تجزیه واریانس صفات آزمایشی، میانگین وزن هزار دانه تحت تأثیر اثر اصلی سطوح گوگرد و تیوباسیلوس و برهمکنش کود آلی × گوگرد و تیوباسیلوس در سطح پنج درصد قرار گرفت (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین برهمکنش فاکتورهای آزمایشی نشان داد که بیشترین وزن هزار دانه مربوط به سطوح تیماری ۲۰۰ کیلوگرم گوگرد + مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس توأم با کاربرد ۶ تن ورمی‌کمپوست (۶/۶۰ گرم) و ۴۰۰ کیلوگرم گوگرد توأم با کاربرد ۶ تن کمپوست باگاس نیشکر (۶/۶۰ گرم) بود که ۱۶ درصد افزایش را نسبت به تیمار عدم کاربرد کود (۵/۷۰ گرم) نشان داد. با این وجود این دو سطح تیماری اختلاف آماری معنی‌داری با سطوح تیماری ۱۰۰ کیلوگرم گوگرد + مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس توأم با کاربرد عدم استفاده از کود آلی (۶/۳۷ گرم) و ۱۰۰ کیلوگرم گوگرد + مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس توأم با کاربرد ۶ تن ورمی‌کمپوست (۶/۲۰ گرم) نداشت. به طور

کلی نتایج نشان داد که کاربرد ۶ تن ورمی کمپوست و ۶ تن کمپوست باگاس نیشکر به ترتیب منجر به افزایش ۱/۸ و ۱/۴ درصدی وزن هزار دانه نسبت به تیمار عدم کاربرد کود آلی (شاهد) نشان داد (شکل ۳). همچنین سطوح تیماری ۲۰۰ کیلوگرم گوگرد، ۴۰۰ کیلوگرم گوگرد، ۱۰۰ کیلوگرم گوگرد + مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس و ۲۰۰ کیلوگرم گوگرد + مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس به ترتیب منجر به افزایش ۳، ۷، ۶ و ۷ درصدی نسبت به تیمار شاهد (بدون استفاده از گوگرد و تیوباسیلوس) شد (شکل ۳).

به طور کلی نتایج این پژوهش حاکی از تأثیر مثبت و معنی دار ۲۰۰ کیلوگرم گوگرد + مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس توأم با کاربرد ۶ تن ورمی کمپوست بر وزن هزار دانه بود. در این راستا (Jashankar and Wahab, 2014) دلیل تأثیر مثبت کمپوست بر وزن هزار دانه را به وجود موادی پیت مانند همراه با خلل و فرج، ظرفیت هوادهی، زهکشی و ظرفیت نگهداری آب بالا که دارای سطوح زیاد برای جذب بالای مواد غذایی می باشند، دانستند. هنگامی که نیتروژن کافی در اختیار گیاه قرار گیرد، نیاز به دیگر عناصر غذایی اصلی مانند فسفر و پتاسیم نیز افزایش می یابد. این عنصر به رشد سریع گیاه (افزایش ارتفاع و تعداد شاخه های فرعی)، افزایش اندازه برگ، تعداد دانه و وزن هزار دانه کمک شایانی می کند. بنابراین نیتروژن تمامی مشخصه های موثر بر عملکرد را تحت تأثیر قرار می دهد. (Rehman et al., 2023) نتیجه گرفتند که ورمی کمپوست از طریق تحریک میکروارگانیسم های مفید خاک و عرضه مداوم و پایدار عناصر معدنی به ویژه نیتروژن به گیاه، موجب افزایش اجرای عملکرد شوند.

همچنین نتایج این پژوهش حاکی از تأثیر مثبت و معنی دار گوگرد و باکتری تیوباسیلوس بر صفت وزن هزار دانه بود. در این راستا گزارش شده است، گوگرد پس از اکسیدشدن در خاک علاوه بر نقش تغذیه ای مستقیم می تواند باعث کاهش موضعی pH خاک شود که این به دلیل تولید اسیدسولفوریک می باشد. از این رو به صورت غیرمستقیم نیز بر افزایش جذب فسفر و دیگر عناصر غذایی کم مصرف مؤثر واقع شد و در نهایت افزایش وزن هزاردانه را فراهم ساخته اند (Hassan Belyani et al., 2019). (Rahimi et al., 2021) نیز بیان کردند که کاربرد توأم گوگرد+بیوسولفور و کاربرد کود شیمیایی گوگرد به صورت جداگانه باعث افزایش وزن هزار دانه کاملینا در مقایسه با عدم شاهد به میزان ۱۵ و ۱۵/۷ درصد شد.



شکل ۳- مقایسات میانگین برهم کنش فاکتورهای آزمایشی از نظر صفت وزن هزار دانه. میانگین‌های دارای یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Figure 3- Comparisons of the average interaction of experimental factors in terms of thousand seed weight trait. Averages with a common letter do not have a significant difference using the LSD test at the five percent probability level.

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس صفات حاکی از تأثیرپذیری صفت عملکرد دانه تنها از اثر اصلی سطوح گوگرد و تیوباسیلوس در سطح یک درصد قرار گرفت (جدول ۳). براساس نتایج تجزیه واریانس صفات آزمایشی نشان داد که میانگین عملکرد دانه در تیمار شاهد (عدم کاربرد گوگرد

و تیوباسیلوس) برابر با ۲۷۱۱ کیلوگرم در هکتار بود که تحت سطوح تیماری ۲۰۰ کیلوگرم گوگرد، ۴۰۰ کیلوگرم گوگرد، ۱۰۰ کیلوگرم گوگرد + مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس و ۲۰۰ کیلوگرم گوگرد + مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس به ترتیب با مقادیر ۱۴، ۱۳، ۱۰ و ۴۲ درصد افزایش به میانگین ۳۰۸۵، ۳۰۵۹، ۲۹۶۹ و ۳۸۳۸ کیلوگرم در هکتار رسید. بر این اساس مشاهده شد که تیمار ۲۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار + مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس بالاترین عملکرد دانه را داشت و از این نظر برتری آماری معنی‌داری نسبت به سایر سطوح تیماری داشت. در مقابل بین سایر سطوح تیماری اختلاف آماری معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۴).

از دلایل تأثیر مثبت تیمار گوگرد + مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس می‌توان به این مورد اشاره نمود که احتمالاً ترشح هورمون‌های محرک رشد گیاه و افزایش جذب عناصر غذایی توسط باکتری‌های مورد استفاده، به دلیل کاهش دادن pH خاک و جذب احتمالی بیشتر برخی از عناصر غذایی مثل فسفر و پتاسیم، سبب تحریک رشد گیاه، افزایش ماده خشک، افزایش عملکرد و اجزای عملکرد شده است. کودهای زیستی، علاوه بر افزایش فراهمی عناصر غذایی معدنی خاک از طریق تثبیت بیولوژیکی نیتروژن، محلول کردن فسفر، پتاسیم و گوگرد، کنترل عوامل بیماری‌زا و تولید هورمون‌های تنظیم‌کننده و محرک رشد گیاه، عملکرد گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Sturz and Christie, 2003). در واقع گزارش شده است که استفاده از بیوسولفور (باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد) نیز به علت افزایش جذب برخی عناصر معدنی سبب افزایش فتوسنتز و به تبع آن اجزای عملکرد و در نهایت عملکرد دانه گردید. در این راستا، (Babaei et al., 2012) بیان کردند که تأثیر مثبت گوگرد و مایه تلقیح تیوباسیلوس بر عملکرد سویا می‌تواند به نقش مستقیم عنصر گوگرد در تغذیه گیاه از یک طرف و به تأثیر گوگرد بر pH خاک و انحلال عناصر در خاک‌های آهکی و قلیایی و در نهایت افزایش جذب این عناصر توسط گیاه از طرف دیگر مربوط باشد. نتایج نشان داد که در این پژوهش، وزن هزار دانه، تعداد شاخه و انشعابات فرعی مهم‌ترین صفات مرتبط با افزایش عملکرد کتان روغنی می‌باشد.

نتیجه‌گیری کلی

به طور کلی نتایج پژوهش حاضر حاکی از تأثیر مثبت کاربرد کود آلی به ویژه ورمی‌کمپوست بر صفات عملکرد و اجزای عملکرد کتان روغنی بود، به طوری که بیشترین وزن هزار دانه و عملکرد دانه، در شرایط کاربرد تیمار ۶ تن ورمی‌کمپوست به دست آمد. همچنین در مقایسه سطوح مختلف گوگرد و تیوباسیلوس مشخص شد که بیشترین عملکرد دانه مربوط به تیمار ۲۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار + مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس بود. به طور کلی نتایج پژوهش حاضر حاکی از تأثیر مثبت و معنی‌دار تیمارهای کاربرد ورمی‌کمپوست در بین سطوح کود آلی و تیمار ۲۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار + مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس در بین سطوح گوگرد و باکتری تیوباسیلوس بود که کاربرد تلفیقی این تیمار منجر به بهبود عملکرد دانه و اجزای عملکرد کتان روغنی شد. با توجه به اینکه در راستای کشاورزی پایدار، استفاده از کودهای آلی و زیستی مورد توجه می‌باشد، در این پژوهش کودهای آلی ورمی‌کمپوست و کمپوست باگاس نیشکر و همچنین استفاده از باکتری تیوباسیلوس به عنوان کود زیستی در ترکیب با گوگرد توصیه می‌شود. همچنین گرچه تیمار ۲۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار گوگرد همراه با باکتری تیوباسیلوس از نظر عددی برتری جزئی نسبت به تیمار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نشان داد، اما این تفاوت در

سطح احتمال ۵ درصد برای اغلب صفات مهم از قبیل عملکرد دانه تعداد شاخه فرعی و وزن هزار دانه از نظر آماری معنی‌دار نبود. بنابراین، با در نظر گرفتن اصل صرفه‌جویی در نهاده‌ها، تیمار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد به همراه مایه‌تلقیح باکتری به عنوان گزینه بهینه و قابل توصیه ارائه می‌شود. به‌طور مشابه، اگرچه تیمار ورمی کمپوست عملکرد بهتری را از خود نشان داد، اما اختلاف آماری معنی‌داری بین آن و تیمار کمپوست باگاس نیشکر در شاخص‌های اصلی مانند تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در کپسول مشاهده نشد. از آنجا که هزینه تهیه و تامین کمپوست باگاس نیشکر به طور قابل توجهی پایین‌تر از ورمی کمپوست است، و با استناد به نتایج این تحقیق که برتری قطعی برای ورمی کمپوست اثبات نکرد، کمپوست باگاس نیشکر به عنوان یک گزینه مقرون‌به‌صرفه و قابل توصیه برای کشاورزان معرفی می‌گردد. انجام مطالعات دقیق‌تر اقتصادی (تحلیل هزینه-فایده) در آینده می‌تواند این استدلال را تقویت کند.

فهرست منابع

- Anandham, R., Sridar, R., Nalayini, P., Poonguzhali, S., & Madhaiyan, M. J. M. R. (2007). Potential for plant growth promotion in groundnut (*Arachis hypogaea* L.) cv. ALR-2 by co-inoculation of sulfur-oxidizing bacteria and Rhizobium. *Microbiological Research*, 162(2), 139-153.
- Arancon, N. Q., Edwards, C. A., Bierman, P., Welch, C., & Metzger, J. D. (2004). Influences of vermicomposts on field strawberries: 1. Effects on growth and yields. *Bioresource Technology*, 93(2), 145-153.
- Asadu CLA and Unagwu BO (2012). Effect of combined Poultry Manure and inorganic fertilizer on maize performance in an ultisol of south-east Nigeria. *Journal of Soil Science*. 22(1): pp 79 – 87.
- Babaei, P. Golchin, A. Basharti, H. & Afzali, M. (2013). The effect of sulfur microbial Fertilizer on nutrient absorption and yield of soybeans in the field. *Journal of Soil Research (soil and water sciences)*. 26(2), 12-18.
- Bhatt, M. K., Labanya, R., & Joshi, H. C. (2019). Influence of long-term chemical fertilizers and organic manures on soil fertility-A review. *Universal Journal of Agricultural Research*, 7(5), 177-188.
- Devi, K. N., Singh, L. N. K., Singh, M. S., Singh, S. B., & Singh, K. K. (2012). Influence of sulphur and boron fertilization on yield, quality, nutrient uptake and economics of soybean (*Glycine max*) under upland conditions. *Journal of Agricultural Science*, 4(4), 112-120.
- Deyholos, M. K. (2006). Bast fiber of flax (*Linum usitatissimum* L.): Biological foundations of its ancient and modern uses. *Journal of Plant Sciences*, 54(4), 273-280.
- Haider, K., Schaffer, A., 2009. *Soil Biochemistry*. Science Publishers, Enfield.
- Hassan Belyani, M., Tedin, M.R. & Fadaei Tehrani, A.A. (2019). Investigating some growth and performance characteristics of Camelina under the influence of biological and chemical fertilizers. *Journal of Production and Processing of Agricultural and Horticultural Products*. 10(1), 39-52.
- Havlin, J. L., Beaton, J. D., Tisdale, S. L., & Nelson, W. L. (1999). *Soil Fertility and Fertilizers* Prentice Hall. New Jersey, 345-355.

- Hu, Z. Y., Zhao, F. J., & McGrath, S. P. (2005). Sulphur fractionation in calcareous soils and bioavailability to plants. *Plant and Soil*, 268, 103-109.
- Jacobsz, M., & Van Der Merwe, W. J. (2012). Production guidelines for flax (*Linum usitatissimum* L.). Department of Agriculture, Forestry and fisheries. Directorate: Plant Production, 33.
- Kopriva, S., Malagoli, M., & Takahashi, H. (2019). Sulfur nutrition: Impacts on plant development, metabolism, and stress responses. *Journal of Experimental Botany*, 70(16), 4069-4073.
- Lafond, G. P., Irvine, B., Johnston, A. M., May, W. E., McAndrew, D. W., Shirliff, S. J., & Stevenson, F. C. (2008). Impact of agronomic factors on seed yield formation and quality in flax. *Canadian Journal of Plant Science*, 88(3), 485-500.
- Nemati, H & Azizi, M. (2013). The effect of different levels of vermicompost and plant density on growth and development factors, seed yield and oil content of evening primrose medicinal plant, plant products. 36(2), 23-34.
- Pali, V., & Mehta, N. (2014). Evaluation of oil content and fatty acid compositions of flax (*Linum usitatissimum* L.) varieties of India. *Journal of Agricultural Science*, 6(9), 198.
- Poonia, K. L. (2000). Effect of planting geometry, nitrogen and sulfur on growth and yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Eco-Physiology*, 3(1/2), 59-71.
- Pramanik, P., Ghosh, G. K., Ghosal, P. K., & Banik, P. (2007). Changes in organic-C, N, P and K and enzyme activities in vermicompost of biodegradable organic wastes under liming and microbial inoculants. *Bioresource technology*, 98(13), 2485-2494.
- Prasad, R., & Shivay, Y. S. (2018). Sulphur in soil, plant and human nutrition. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*, 88, 429-434.
- Rahimi, A., Khals Ro, Sh., Wafaahed, F. & Zarei, S. (2021). The effect of organic fertilizers and humic acid on the absorption of NPK elements in the medicinal plant fennel, the fifth national conference on the development of new technologies in medicinal plants, Chemistry and Biology of Iran, Tehran.
- Rehman, S. U., De Castro, F., Aprile, A., Benedetti, M., & Fanizzi, F. P. (2023). Vermicompost: Enhancing plant growth and combating abiotic and biotic stress. *Agronomy*, 13(4), 1134.
- Sharma, A., & Chetani, R. (2017). A review on the effect of organic and chemical fertilizers on plants. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 5, 677-680.
- Shojaeian Kish, F., Yadavi, A., Movahhedi Dehnavi, M., Salehi, A., & Hamidian, M. (2021). Improvement of physiological characteristics and nutrient uptake of linseed (*Linum usitatissimum*) with biofertilizers application under irrigation withholding at different growth stages. *Journal of Plant Process and Function*, 12(44), 67-76.
- Solomon, WGO, RW Ndana, and Y Abdulrahim (2012). The Comparative study of the effect of organic manure cow dung and inorganic fertilizer NPK on the growth rate of maize (*Zea mays* L.). *International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science*. 2: pp 516-519.

- Sturz, A. V., & Christie, B. R. (2003). Beneficial microbial allelopathies in the root zone: the management of soil quality and plant disease with rhizobacteria. *Soil and Tillage Research*, 72(2), 107-123.
- Tedin, A., Tarabian, Sh. & Tedin, M. (2013). Effect of plant density on yield and quality of four commercial edible linseeds. *Bezra'i Agriculture*, 15(1), 15-26. <https://doi.org/10.22059/jci.2013.35719>
- Wu, X. Q., Hou, L. L., Sheng, J. M., Ren, J. H., Zheng, L., Chen, D., & Ye, J. R. (2012). Effects of ectomycorrhizal fungus *Boletus edulis* and mycorrhiza helper *Bacillus cereus* on the growth and nutrient uptake by *Pinus thunbergii*. *Biology and Fertility of Soils*, 48, 385-391.
- Yang, L., Zhao, F., Chang, Q., Li, T., & Li, F. (2015). Effects of vermicomposts on tomato yield and quality and soil fertility in greenhouse under different soil water regimes. *Agricultural Water Management*, 160, 98-105.