

تأثیر روش‌های حاصلخیزی خاک بر عملکرد کمی و روغن گیاه دارویی سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.)

جبرائیل ملکی^{۱*}، ابراهیم شریفی عاشورآبادی^۲، مهدی میرزا^۳، حسین حیدری شریف‌آبادی^۴ و محمدحسین لباسچی^۲

۱- نویسنده مسئول، دانشجوی دکترا، گروه علوم زراعی و باغی، دانشکده علوم کشاورزی و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، پست الکترونیک: j.maleki1973@gmail.com

۲- دانشیار، بخش تحقیقات گیاهان دارویی، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۳- استاد، بخش تحقیقات گیاهان دارویی، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۴- استاد، گروه علوم زراعی و باغی، دانشکده علوم کشاورزی و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: فروردین ۱۳۹۹

تاریخ اصلاح نهایی: شهریور ۱۳۹۹

تاریخ پذیرش: مهر ۱۳۹۹

چکیده

به منظور بررسی تأثیر روش‌های حاصلخیزی خاک بر عملکرد کمی و روغن گیاه دارویی سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) آزمایشی به صورت بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای مورد بررسی شامل سطوح مختلف کودهای شیمیایی NPK، سطوح مختلف کود دامی، تلفیق کودهای NPK با کود دامی، تلفیق کودهای شیمیایی و دامی همراه با تلقیح کود زیستی آزرزیوبیوم بود. نتایج نشان داد که با تغذیه گیاه، ارتفاع بوته، وزن خشک بوته، تعداد شاخه جانبی، شاخص سطح برگ، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، عملکرد دانه، عملکرد زیست توده، محتوای نسبی آب برگ، درصد روغن و عملکرد روغن افزایش پیدا کرد. در روش تغذیه شیمیایی، بالاترین خصوصیات کمی و کیفی مربوط به کاربرد ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۹۶ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم بود. در تغذیه گیاهی با کود دامی از کاربرد ۲۰ تن در هکتار کود دامی استفاده شد. در تغذیه گیاه به روش تلفیق کود شیمیایی و دامی تیمار ۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۳۲ کیلوگرم فسفر و ۴۰ کیلوگرم پتاسیم همراه با ۳۰ تن در هکتار کود دامی بهترین تیمار بود. در تغذیه گیاهی به روش تلفیق شیمیایی، دامی و زیستی تیمار ۳۰ تن در هکتار کود دامی همراه با آزرزیوبیوم در حضور ۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۳۲ کیلوگرم فسفر و ۴۰ کیلوگرم پتاسیم مناسب‌ترین تیمار مشاهده گردید. به طور کلی تیمار ۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۳۲ کیلوگرم فسفر و ۴۰ کیلوگرم پتاسیم همراه با ۳۰ تن در هکتار کود دامی در کنار آزرزیوبیوم بیشترین تأثیر مثبت را در بهبود عملکرد و میزان روغن سیاه‌دانه داشت که از کمترین میزان کود شیمیایی برخوردار بود.

واژه‌های کلیدی: آزرزیوبیوم، روش‌های حاصلخیزی خاک، میزان روغن، کود دامی، سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.).

مقدمه

طبیعی هستند که شناسایی، کشت، توسعه و استفاده مناسب از آنها می‌تواند نقش مهمی در سلامت جامعه، اشتغال و

گیاهان دارویی منابع با ارزش در گستره وسیعی از منابع

است، در حالی که در بسیاری از فرایندهای فیزیولوژیک، تأثیر پتاسیم بر روابط آب فتوسنتز، جذب و حمل و نقل آنزیم فعال می‌تواند عواقب مستقیم بر بهره‌وری محصول داشته باشد (Zhao *et al.*, 2013). فسفر در ساختمان سلولی به صورت اسیدهای نوکلئیک، کوآنزیم‌ها، فسفو لیپیدها، غشاءها و در بسیاری از فعالیت‌های حیاتی و از جمله ذخیره و انتقال انرژی شیمیایی (به صورت‌های ADP و ATP) دخالت دارد (Koochaki & Sarmadnia, 2008). مصرف کود شیمیایی نیتروژن، پتاسیم و فسفر باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه، عملکرد ماده خشک برگ و عملکرد زیست توده گیاه دارویی بادرشبو نسبت به شاهد شد (Rahimzadeh *et al.*, 2011). کاربرد کود نیتروژن، پتاسیم و فسفر در بادرشبو افزایش ارتفاع بوته، تعداد گل در بوته، کلروفیل، محتوای نسبی آب برگ، وزن خشک بوته، وزن هزاردانه و درصد اسانس را نشان داد (Janohaadi *et al.*, 2014). باکتری‌های محرک رشد معمولاً با بهبود شرایط تغذیه‌ای و همچنین تولید ترکیب‌های محرک رشد گیاه موجب بهبود و تسریع در مراحل مختلف رشد گیاهان دارویی می‌شوند (Nagananda *et al.*, 2010). گزارش شده است که مصرف باکتری تثبیت‌کننده نیتروژن در ریحان موجب افزایش تعداد سرشاخه گلدار، تعداد برگ در بوته، ماده خشک، ارتفاع بوته، کلروفیل، فتوسنتز و درصد اسانس شد (Weisany *et al.*, 2012). با تلقیح باکتری تثبیت‌کننده نیتروژن در رازیانه تعداد شاخه فرعی در بوته، تعداد چتر در بوته، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه افزایش پیدا کرد (Valibeigi & Adavi, 2019). یکی از نیازهای مهم در برنامه‌ریزی زراعی به منظور حصول عملکرد بالا و با کیفیت مطلوب به‌ویژه در مورد گیاهان دارویی ارزیابی نظام‌های مختلف تغذیه گیاه است. به طوری که با روش صحیح حاصل‌خیزی خاک و تغذیه گیاه می‌توان ضمن حفظ محیط‌زیست، افزایش کیفیت آب، کاهش فرسایش و حفظ تنوع زیستی، کارایی نهاده‌ها را افزایش داد. هدف از انجام این پژوهش بررسی تأثیر روش‌های مختلف حاصل‌خیزی خاک بر عملکرد کمی و روغن گیاه دارویی سیاه‌دانه بود.

صادرات غیر نفتی داشته باشد (Sabet Teimouri *et al.*, 2013). سیاه‌دانه با نام علمی *Nigella sativa* L. یکی از مهمترین گونه‌هایی است که در بعضی نقاط نیز کشت می‌شود (Sajedi Shaker *et al.*, 2016). در روغن سیاه‌دانه ۸ اسید چرب مهم وجود دارد که اسیدهای لینولئیک، اولئیک و پالمیتیک از عمده‌ترین آنهاست. دانه‌ها خواصی مانند شیرافزا، ضدنفخ، مسهل، ضدانگل، ضد تومور (توده)، ضد باکتری، ضد سرفه، مسکن، شل‌کننده عضلات، ضد دیابت، آنتی‌هیستامین، ضد فشارخون و ضد تشنج دارند (Davazdahemami & Majnoonhosseini, 2014).

روند تخریب خاک کشاورزی به‌نحوی است که اگر با بکارگیری دانش و ابزارهای علمی موجود برای کاهش و یا توقف تخریب محیط‌زیست چاره‌جویی نکنیم، باعث تحلیل تدریجی کیفیت خاک زراعی و نابودی محیط‌زیست خواهد شد (Savci, 2012). مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی موجب آسیب‌های زیادی به محیط‌زیست و بهداشت مواد خوراکی شده و مواد مضر سرطان‌زا را افزایش می‌دهد، بنابراین مدیریت کود در سیاه‌دانه اهمیت زیادی دارد (Subhash *et al.*, 2011). از آنجا که تأمین کامل کودهای دامی ممکن است در برخی شرایط با محدودیت مواجه باشد، تلفیق این کودها با کودهای شیمیایی راهکار مفیدی خواهد بود. در واقع تأمین تلفیق عناصر غذایی با استفاده از کودهای آلی و شیمیایی، مصرف کودهای شیمیایی را کاهش داده، کمبود مواد غذایی را جبران کرده، حاصل‌خیزی خاک حفظ شده و تولید پایدار محصول را به همراه داشته است (Alizadeh *et al.*, 2012). مصرف کودهای دامی قادر است از طریق افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی برای گیاه تأثیر مستقیم بر افزایش عملکرد کمی و محتوای اسانس رزماری داشته باشد (Piri *et al.*, 2016). نیتروژن در تشکیل بسیاری از ترکیب‌های آلی گیاهی نقش داشته و تأثیر نیتروژن بر رشد گیاه به دلیل اثرهای مثبت نیتروژن بر فعالیت فتوسنتزی و فرایندهای متابولیک ترکیب‌های آلی در گیاه و تقویت رشد رویشی گیاه می‌باشد (El Gendy *et al.*, 2015). پتاسیم یک عنصر ضروری و مورد نیاز در مقادیر زیاد برای رشد و توسعه طبیعی گیاه

جدول ۱- تیمار روش‌های حاصلخیزی خاک

کود زیستی	کود دامی (تن/هکتار)	کودهای شیمیایی (کیلوگرم/هکتار)			شماره تیمار	روش‌های حاصلخیزی خاک
		K	P	N		
.	۱	شاهد ۱
.	.	۴۰	۳۲	۴۰	۲	شیمیایی
.	.	۸۰	۶۴	۸۰	۳	
.	.	۱۲۰	۹۶	۱۲۰	۴	
.	.	۱۶۰	۱۲۸	۱۶۰	۵	
.	۱۰	۱۲۰	۹۶	۱۲۰	۶	
.	۲۰	۸۰	۶۴	۸۰	۷	
.	۳۰	۴۰	۳۲	۴۰	۸	
.	۴۰	.	.	.	۹	دامی
.	۳۰	.	.	.	۱۰	
.	۲۰	.	.	.	۱۱	
.	۱۰	.	.	.	۱۲	
Azorhizobium	۱۳	زیستی
Azorhizobium	.	۴۰	۳۲	۴۰	۱۴	
Azorhizobium	۳۰	۴۰	۳۲	۴۰	۱۵	
Azorhizobium	۳۰	.	.	.	۱۶	

مواد و روش‌ها

تعیین شده با خاک مخلوط شدند. بعد از تعدیل دما در فصل بهار در تاریخ هشت اردیبهشت‌ماه (دمای هوا به‌طور میانگین، ۱۹/۸ درجه سانتی‌گراد و دمای سطح خاک به‌طور میانگین ۱۸/۳ درجه سانتی‌گراد) بذرها به روش خشکه‌کاری کشت گردید و بلافاصله آبیاری انجام شد. مساحت هریک از کرت‌ها ۱۲ مترمربع مشتمل بر شش ردیف به طول چهار متر و به فاصله ۵۰ سانتی‌متر از یکدیگر بود. فاصله بین دو کرت یک متر و فاصله بین دو تکرار سه متر در نظر گرفته شد. فاصله بوته‌ها روی هر ردیف ۲۰ سانتی‌متر بود. برای اطمینان از دستیابی به تراکم بوته سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) در موقع کاشت بیش از میزان

این آزمایش به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۷ در مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور- مجتمع تحقیقاتی البرز در طول جغرافیایی ۵۱ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ و ۴۸ درجه شمالی با ارتفاع از سطح دریا این مجتمع ۱۳۲۱ متر، حداقل درجه حرارت ۲۰- سانتی‌گراد و حداکثر درجه حرارت ۳۸ درجه سانتی‌گراد در منطقه کرج اجرا شد. تیمارهای مورد بررسی در جدول ۱ اشاره شده است.

پس از انجام شخم پاییزه، در بهار با انجام یک شخم سطحی، نیمی از کودهای آلی و شیمیایی و زیستی با نسبت

نیز قبل از کشت به خاک اضافه شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در جدول ۲ و خصوصیات کود دامی مورد استفاده در جدول ۳ آورده شده است. برای اعمال تیمار کود شیمیایی کنار هر خط کاشت شیاری در سراسر پشته به عمق ۵ سانتی متر ایجاد کرده، کودهای شیمیایی را داخل شیاری ریخته و بلافاصله آبیاری انجام شد. بعد از کاشت یک مرحله آبیاری برای استقرار بوته‌ها انجام و تا زمان استقرار بوته‌ها هر سه روز یکبار آبیاری انجام شد. بعد از آن به فاصله هر شش روز یکبار آبیاری تکرار گردید. همچنین در طول دور آزمایش مبارزه با علف‌های هرز به صورت وجین انجام شد. برداشت در زمان ۵۰٪ گلدهی و از ارتفاع ۵ سانتی متری سطح خاک برای تعیین عملکرد و سطح برگ انجام و بلافاصله اقدام به آبیاری و اعمال تیمار نیمی دیگر از کودهای شیمیایی و آلی شد.

لازم بذر مصرف گردید و بعد از استقرار بوته‌ها، در موقع تنک کردن فاصله بوته‌ها تنظیم شد. همچنین واکاری و تنک کردن بوته‌های مازاد در مرحله ۲-۴ برگی انجام شد. کود زیستی مورد استفاده شامل نیتروکارا به میزان ۱۰۰ گرم در هکتار (نام علمی باکتری تثبیت‌کننده نیتروژن موجود در فرمولاسیون نیتروکارا *Azorhizobium caulinodans* بود که به میزان ۱۰۹ CFU/g در بسته‌های کود زیستی تولید می‌شود) بود. اعمال کود زیستی به صورت تلقیح بذرها با تهیه سوسپانسیون باکتری آزریزوبیوم در ترکیب با آب مقطر قبل از کاشت انجام شد. در روش‌های تغذیه مبتنی بر کودهای شیمیایی و همچنین تلفیقی، کود شیمیایی براساس نسبت‌های ذکر شده و به صورت ترکیبی از عناصر پرمصرف (نیتروژن، پتاسیم و فسفر) (نیمی از کود نیتروژنه در مرحله تهیه زمین و نیم دیگر هنگامی که گیاه به ارتفاع ۲۰ سانتی متری رسید) به زمین داده شد. کود دامی (گاوی)

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

بافت خاک	شن (%)	ماسه (%)	رس (%)	Ec (ds/m)	pH	OC (%)	N (%)	P (ppm)	K (ppm)
رس لومی	۳۲/۸	۳۹/۹	۲۷/۳	۲/۸۳	۷/۷۵	۰/۶۵	۰/۰۶۲	۱۲/۱۲	۲۲۵/۴

جدول ۳- خصوصیات کود دامی مورد استفاده

Ec (ds/m)	pH	OC (%)	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)
۷/۰۳	۸/۷۵	۲۵/۲۸	۲/۰۸	۱/۱۱	۰/۹۴

به منظور اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ، از جوان‌ترین برگ بالغ در هر بوته، تعداد ۵ عدد نمونه با قطر ۰/۵ سانتی متر تهیه و وزن تر آنها بلافاصله تعیین شد. این نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق و در تاریکی در آب مقطر غوطه‌ور گردیده و پس از آن، وزن اشباع آنها اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها برای تعیین وزن خشک به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون و

هنگام برداشت دو ردیف از طرفین، از ابتدا و انتهای کرت نیم متر به عنوان حاشیه حذف گردید. به طور تصادفی از هر کرت ۱۰ بوته در مرحله ۵۰٪ گلدهی برداشت شد. اندازه‌گیری سطح برگ به وسیله دستگاه سنجش سطح برگ (Leaf area meter) انجام شد. برای اندازه‌گیری عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه برداشت از دو پشته میانی پس از رعایت حاشیه و مساحتی در حدود ۳ مترمربع انجام گردید.

شیمیایی بالاترین ارتفاع بوته به میزان ۴۲/۱۷ سانتی‌متر مربوط به تیمار شماره ۴ (۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۹۶ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم) بود. در تغذیه گیاه با کود دامی حداکثر ارتفاع بوته به میزان ۴۱/۷۷ سانتی‌متر از کاربرد ۲۰ تن در هکتار کود دامی حاصل شد. بیشترین ارتفاع بوته در تغذیه گیاه به روش تلفیق کود شیمیایی و دامی به ترتیب به میزان ۴۲/۷۷ و ۴۳/۱۷ سانتی‌متر از تیمارهای ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۹۶ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم همراه با ۱۰ تن در هکتار کود دامی و همچنین ۸۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۶۴ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۸۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم در حضور ۲۰ تن در هکتار کود دامی حاصل گردید. در حاصلخیزی خاک به روش تلفیق شیمیایی، دامی و زیستی بالاترین ارتفاع بوته به میزان ۴۶/۲ سانتی‌متر از کاربرد ۳۰ تن در هکتار کود دامی و ۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۳۲ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۴۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم در حضور باکتری آزوریزویوم بدست آمد (جدول ۵). بدین ترتیب ارتفاع بوته در روش‌های تغذیه شیمیایی ۱۱/۷۷٪، کود دامی ۱۰/۷۱٪، تلفیق کود شیمیایی با دامی ۱۴/۴۲٪ و تلفیق کود شیمیایی با دامی و زیستی ۲۲/۴۵٪ افزایش نسبت به شاهد نشان داد.

تا رسیدن به وزن ثابت خشکانده شدند و وزن خشک آنها تعیین گردید. سپس با استفاده از فرمول زیر میزان آب نسبی برگ بر حسب درصد محاسبه شد (Schonfeld *et al.*, 1988).

$$RWC = \frac{FW - DW}{TD - DW} \times 100$$

در رابطه ذکر شده، FW: وزن تر برگ، DW: وزن خشک برگ و TW: وزن برگ در حالت اشباع است.

۱۰۰ گرم دانه از هر تیمار آسیاب گردید و پس از آن ۵ گرم نمونه برداشت و با استفاده از دستگاه سوکسله میزان روغن دانه‌ها تعیین شد. پس از پایان آزمایش‌ها، تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS و مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ انجام شد.

نتایج

ارتفاع بوته

با توجه به نتایج بدست‌آمده از تجزیه واریانس، مشخص شد که اثر روش‌های حاصلخیزی خاک بر ارتفاع بوته در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود (جدول ۴). با تغذیه گیاه ارتفاع بوته نسبت به شاهد افزایش یافت. در روش تغذیه

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس تأثیر روش‌های حاصلخیزی خاک بر عملکرد کمی و روغن گیاه دارویی سیاه‌دانه

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع بوته	وزن خشک بوته	تعداد شاخه جانبی	شاخص سطح برگ	تعداد کپسول در بوته	تعداد دانه در کپسول
بلوک	۲	۱۳/۸۲ns	۱۲/۴۲*	۰/۲۴ns	۰/۲ns	۲۳/۱۱ns	۷۴/۹۷ns
روش‌های حاصلخیزی خاک	۱۵	۱۱/۰۸*	۹/۷۹**	۱/۳۲*	۰/۳۱**	۹۵/۸۴*	۶۵/۱۴*
خطا	۳۰	۵/۵	۳/۵۸	۰/۶۱	۰/۰۷	۴۵/۲۸	۲۶/۲۲
CV%		۵/۶۷	۱۳/۸	۹/۳	۱۶/۴۶	۱۳/۹۳	۶/۹۴

ns، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطوح احتمال ۵٪ و ۱٪ را نشان می‌دهند.

ادامه جدول ۴ - ...

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک (زیست توده)	محتوای نسبی آب برگ	درصد روغن	عملکرد روغن
بلوک	۲	۳۲۵۸۴/۲۲ns	۱۲۴۲۷۸/۲۶*	۷۵/۳۳ns	۱ns	۳۶۰/۶۵ns
روش‌های حاصلخیزی خاک	۱۵	۷۸۷۶۸/۳۴**	۹۷۹۲۹/۱۲**	۱۳۷/۱۲*	۱۱/۲۱**	۵۵۷۹/۵۸**
خطا	۳۰	۱۸۳۰۷/۱	۳۵۷۷۸/۸۸	۶۲/۷۷	۳/۳۴	۴۹۵/۶۵
CV%		۱۵	۹/۳۵	۱۳/۶۵	۱۱/۱۸	۱۴/۹

ns، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطوح احتمال ۵٪ و ۱٪ را نشان می‌دهند.

تعداد شاخه جانبی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر روش‌های حاصلخیزی خاک در سطح احتمال ۵٪ بر تعداد شاخه جانبی معنی‌دار شد (جدول ۴). به طوری که با تغذیه گیاه تعداد شاخه جانبی نسبت به شاهد افزایش پیدا کرد. در روش تغذیه شیمیایی، کود دامی و روش تلفیق کود شیمیایی و دامی تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای اعمال شده مشاهده نشد. در حاصلخیزی خاک به روش زیستی بالاترین تعداد شاخه جانبی به میزان ۱۰/۲۷ شاخه از کاربرد آزوریزوبیوم با ۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۳۲ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۴۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم در شرایط عدم حضور کود دامی حاصل گردید (جدول ۵).

شاخص سطح برگ

نتایج تجزیه واریانس بیانگر آن بود که اثر روش‌های حاصلخیزی خاک در سطح احتمال ۱٪ روی شاخص سطح برگ تأثیر معنی‌دار داشت (جدول ۴). براساس نتایج مقایسه میانگین شاخص سطح برگ (جدول ۵) با تغذیه گیاه به شاخص سطح برگ نسبت به شاهد افزوده شد، به گونه‌ای که بیشترین شاخص سطح برگ در تغذیه

شیمیایی به میزان ۱/۴۷ مربوط به کاربرد ۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۳۲ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۴۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم بود. در حضور کود دامی بالاترین شاخص سطح برگ به ترتیب به میزان ۱/۵۴، ۱/۵ و ۱/۴۲ به ترتیب در مصرف ۲۰، ۳۰ و ۴۰ تن در هکتار کود دامی مشاهده شد. در روش تلفیق کود شیمیایی با دامی حداکثر شاخص سطح برگ از تیمار ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۹۶ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم همراه با ۱۰ تن در هکتار کود دامی به میزان ۱/۹۱ سانتی‌مترمربع بدست آمد. در روش تلفیق کود شیمیایی با دامی و زیستی بیشترین شاخص سطح برگ را کاربرد ۳۰ تن در هکتار کود دامی همراه با آزوریزوبیوم در حضور ۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۳۲ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۴۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم به میزان ۲/۲ سانتی‌مترمربع به خود اختصاص داد. بنابراین شاخص سطح برگ در روش‌های تغذیه شیمیایی ۱۲/۴۴٪، کود دامی ۵۰/۹۸٪، تلفیق کود شیمیایی با دامی ۸۷/۲۵٪ و تلفیق کود شیمیایی با دامی و زیستی ۱۱۵/۶۹٪ افزایش را نسبت به شاهد داشت.

جدول ۵- مقایسه میانگین‌های تأثیر روش‌های حاصلخیزی خاک بر عملکرد کمی و روغن گیاه دارویی سیاه‌دانه

تعداد دانه در کپسول	تعداد کپسول در بوته	شاخص سطح برگ	تعداد شاخه جانبی	وزن خشک بوته (g)	ارتفاع بوته (cm)	کود زیستی	کود دامی (ton/ha)	کودهای شیمیایی (kg/ha)			شماره تیمار	روش‌های حاصلخیزی خاک
								K	P	N		
								۶۶/۱e	۳۶/۰۷d	۱/۰۲g		
۷۰/۸۳cde	۴۱/۱۷cd	۱/۴۷cdefg	۷/۷۳bc	۱۱/۷۹de	۴۰/۲۷bc	.	.	۴۰	۳۲	۴۰	۲	شیمیایی
۶۹de	۴۰/۵۷cd	۱/۱۵fg	۸/۵۳bc	۱۲/۱۱cde	۴۰/۱bc	.	.	۸۰	۶۴	۸۰	۳	
۷۲/۷۳bcde	۵۱/۳abc	۱/۴۱cdefg	۸/۳bc	۱۵/۱abcd	۴۲/۱۷abc	.	.	۱۲۰	۹۶	۱۲۰	۴	
۷۰/۹۷bcde	۴۷/۲۳abcd	۱/۲۷efg	۸/۶۳bc	۱۲/۹۱cde	۴۰/۴۳bc	.	.	۱۶۰	۱۲۸	۱۶۰	۵	
۷۹/۰۷abcd	۵۲/۴abc	۱/۹۱abc	۸/۶۳bc	۱۴/۱bcde	۴۲/۷۷ab	.	۱۰	۱۲۰	۹۶	۱۲۰	۶	تلفیق شیمیایی و دامی
۷۶/۳abcd	۵۳/۷۷abc	۱/۴۲cdefg	۸/۶۳bc	۱۵/۵۹abc	۴۳/۱۷ab	.	۲۰	۸۰	۶۴	۸۰	۷	
۸۳/۶۳a	۵۷/۶۳a	۱/۸abcd	۸/۸۳bc	۱۶/۷ab	۴۰/۴۷bc	.	۳۰	۴۰	۳۲	۴۰	۸	
۷۱/۸۳bcde	۴۶/۲۳abcd	۱/۴۲cdefg	۸/۴bc	۱۲/۸۱cde	۳۸/۹۷bc	.	۴۰	.	.	.	۹	دامی
۷۳/۷۳bcde	۴۵/۳abcd	۱/۵cdefg	۸bc	۱۳/۳۹bcde	۴۰/۹۷bc	.	۳۰	.	.	.	۱۰	
۷۳/۴۷bcde	۵۱/۶۳abc	۱/۵۴cdef	۸/۳bc	۱۳/۲۹bcde	۴۱/۷۷abc	.	۲۰	.	.	.	۱۱	
۷۲/۱۷bcde	۴۹/۱۷abc	۱/۴defg	۸/۸۷bc	۱۲/۸۸cde	۴۱/۱۳bc	.	۱۰	.	.	.	۱۲	
۷۰cde	۴۳/۹bcd	۱/۶۴cdef	۷/۷bc	۱۲/۹۶cde	۴۱/۱bc	Azorhizobium	۱۳	زیستی
۷۹/۵abc	۴۹/۴۳abc	۱/۷۱bcde	۱۰/۲۷a	۱۴/۶۶abcd	۴۲/۸ab	Azorhizobium	.	۴۰	۳۲	۴۰	۱۴	
۸۰/۹۷ab	۵۵/۶۷ab	۲/۲a	۹/۰۳ab	۱۷/۷۹a	۴۶/۲a	Azorhizobium	۳۰	۴۰	۳۲	۴۰	۱۵	
۷۰/۵cde	۴۹/۰۷abc	۱/۵cdefg	۸/۲۳bc	۱۳/۴۲cde	۴۳/۱۷ab	Azorhizobium	۳۰	.	.	.	۱۶	

میانگین‌های دارای حروف مشابه براساس آزمون دانکن در سطح ۵٪ تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

ادامه جدول ۵- ...

عملکرد روغن (kg/ha)	درصد روغن (%)	محتوای نسبی آب برگ (%)	عملکرد بیولوژیک (زیست توده) (kg/ha)	عملکرد دانه (kg/ha)	کود زیستی	کود دامی (ton/ha)	کودهای شیمیایی (kg/ha)			شماره تیمار	روش‌های حاصلخیزی خاک
							K	P	N		
۷۱/۹۸e	۱۲/۴۷d	۴۹/۸۴e	۱۷۲۰e	۵۷۷/۱۱e	۱	شاهد
۱۰۹/۲۵de	۱۴/۹cd	۵۰/۷۳e	۱۸۳۱/۶۷de	۷۲۷/۰۵de	.	.	۴۰	۳۲	۴۰	۲	شیمیایی
۱۰۳/۸de	۱۴/۵۷cd	۵۲/۷۶cde	۱۸۶۳/۶۷cde	۷۱۳/۴۱de	.	.	۸۰	۶۴	۸۰	۳	
۱۴۱/۱۹cd	۱۵/۷۳bcd	۵۶/۵۲bcde	۲۱۶۲/۶۷abcd	۸۹۸/۱۲bcd	.	.	۱۲۰	۹۶	۱۲۰	۴	
۱۲۹/۵۹cd	۱۴/۶۷cd	۵۶/۷bcde	۱۹۴۳/۶۷cde	۸۹۰/۸۶bcd	.	.	۱۶۰	۱۲۸	۱۶۰	۵	
۱۸۴/۲۱b	۱۷/۵۷abc	۶۶/۷۳abcd	۲۰۶۳bcde	۱۰۵۱/۱۸abc	.	۱۰	۱۲۰	۹۶	۱۲۰	۶	تلفیق شیمیایی و دامی
۱۷۰/۵bc	۱۷/۶۷abc	۵۶/۹۷bcde	۲۲۱۲abc	۹۶۷/۰۲bcd	.	۲۰	۸۰	۶۴	۸۰	۷	
۲۳۸/۷a	۱۸/۸ab	۶۸/۵۹ab	۲۳۲۳/۳۳ab	۱۲۷۰/۴۲a	.	۳۰	۴۰	۳۲	۴۰	۸	
۱۳۶/۳۴cd	۱۵/۴۳bcd	۵۵/۳۱bcde	۱۹۳۴/۳۳cde	۸۸۶/۷۷bcd	.	۴۰	.	.	.	۹	دامی
۱۴۴/۰۶bcd	۱۷/۳۳bc	۵۵/۷bcde	۱۹۹۲/۳۳bcde	۸۳۴/۶۵cd	.	۳۰	.	.	.	۱۰	
۱۷۱/۱۶bc	۱۷bc	۵۱/۸۸de	۱۹۸۱/۶۷bcde	۱۰۰۶/۰۳bc	.	۲۰	.	.	.	۱۱	
۱۳۱/۵۸cd	۱۶/۳bc	۵۸/۷۳abcde	۱۹۴۱/۳۳cde	۸۳۶/۳۴cd	.	۱۰	.	.	.	۱۲	
۱۱۹/۶۷d	۱۴/۸۷cd	۵۳/۸۷bcde	۱۹۴۹/۳۳cde	۸۱۲/۱۱cde	Azorhizobium	۱۳	زیستی
۱۴۰/۴۶cd	۱۶/۲bc	۵۵/۸bcde	۲۱۱۹abcd	۸۷۳/۳۹bcd	Azorhizobium	.	۴۰	۳۲	۴۰	۱۴	
۲۳۷/۳a	۲۰/۹a	۷۲/۵۲a	۲۴۳۱/۶۷a	۱۱۳۶/۲۹ab	Azorhizobium	۳۰	۴۰	۳۲	۴۰	۱۵	
۱۴۴/۲۵bcd	۱۵/۸۳bcd	۵۵/۷۴bcde	۱۸۹۶/۳۳cde	۹۰۴/۲bcd	Azorhizobium	۳۰	.	.	.	۱۶	

میانگین‌های دارای حروف مشابه براساس آزمون دانکن در سطح ۵٪ تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

تعداد کپسول در بوته

بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر روش‌های حاصلخیزی خاک بر تعداد کپسول در بوته سیاه‌دانه در سطح احتمال ۵٪ تأثیر معنی‌دار داشت (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین تعداد کپسول در بوته تحت تأثیر روش‌های حاصلخیزی خاک نشان داد که تغذیه گیاه موجب افزایش تعداد کپسول در بوته نسبت به شاهد شد. در روش تغذیه شیمیایی بالاترین تعداد کپسول در بوته به میزان ۵۱/۳ کپسول مربوط به تیمار شماره ۴ (۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۹۶ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم) بود. در حاصلخیزی خاک با کود حداکثر تعداد کپسول در بوته به میزان ۴۹/۱۷ و ۵۱/۶۳ کپسول در شرایط کاربرد ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار کود دامی بدست آمد. به طوری که بیشترین تعداد کپسول در بوته در تغذیه گیاه به روش تلفیق کود شیمیایی و دامی به میزان ۵۷/۶۳ کپسول در تیمارهای ۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۳۲ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۴۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم همراه با ۳۰ تن در هکتار کود دامی حاصل شد. در حاصلخیزی خاک به روش تلفیق شیمیایی، دامی و زیستی بالاترین تعداد کپسول در بوته به میزان ۵۵/۶۷ کپسول از کاربرد ۳۰ تن در هکتار کود دامی همراه با آزوریزوبیوم در حضور ۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۳۲ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۴۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم بدست آمد (جدول ۵). بدین ترتیب تعداد کپسول در بوته در روش‌های تغذیه شیمیایی ۴۲/۲۲٪، کود دامی ۴۳/۱۴٪، تلفیق کود شیمیایی با دامی ۵۹/۷۷٪ و تلفیق کود شیمیایی با دامی و زیستی ۵۴/۳۴٪ افزایش نسبت به شاهد نشان داد.

تعداد دانه در کپسول

همانطور که در نتایج جدول تجزیه واریانس مشهود است، اثر روش‌های حاصلخیزی خاک بر تعداد دانه در کپسول در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار شد (جدول ۴). بر اساس نتایج، تغذیه گیاه افزایش تعداد دانه را در کپسول

نسبت به شاهد در پی داشت. در روش تغذیه شیمیایی بالاترین تعداد دانه در کپسول به میزان ۷۲/۷۳ دانه مربوط به تیمار شماره ۴ (۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۹۶ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم) و ۷۰/۹۷ دانه مربوط به تیمار شماره ۵ (۱۶۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۱۲۸ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم) بود. در حاصلخیزی خاک با کود دامی بین تیمارهای اعمال شده تفاوت معنی‌دار وجود نداشت. به نحوی که بیشترین تعداد دانه در کپسول در تغذیه گیاه به روش تلفیق کود شیمیایی و دامی به میزان ۸۳/۶۳ دانه در تیمارهای ۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۳۲ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۴۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم همراه با ۳۰ تن در هکتار کود دامی حاصل شد. بالاترین تعداد دانه در کپسول در تغذیه گیاه به روش تلفیق کود شیمیایی با دامی و زیستی در مصرف ۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۳۲ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۴۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم در حضور آزوریزوبیوم و ۳۰ تن در هکتار کود دامی به میزان ۸۰/۹۷ دانه مشاهده گردید (جدول ۵). بدین ترتیب تعداد دانه در کپسول در روش‌های تغذیه شیمیایی ۱۰/۰۳٪، کود دامی ۱۱/۵۴٪، تلفیق کود شیمیایی با دامی ۲۶/۵۲٪ و تلفیق کود شیمیایی با دامی و زیستی ۲۲/۵۰٪ افزایش نسبت به شاهد داشت.

عملکرد دانه

با توجه به نتایج بدست آمده از تجزیه واریانس، مشخص شد که اثر روش‌های حاصلخیزی خاک بر عملکرد دانه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۴). همانطور که نتایج نشان داد با تغذیه گیاه عملکرد دانه نسبت به شاهد افزایش یافت (جدول ۵)، به نحوی که بیشترین عملکرد دانه در تغذیه شیمیایی به میزان ۸۹۶/۱۲ و ۸۹۰/۸۶ کیلوگرم در هکتار به ترتیب مربوط به کاربرد ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۹۶ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم و همچنین ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن،

و ۴۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم همراه با ۳۰ تن در هکتار کود دامی به میزان ۲۳۲۳/۳۳ کیلوگرم در هکتار بدست آمد. در روش تلفیق کود شیمیایی با دامی و زیستی بیشترین عملکرد بیولوژیک را کاربرد ۳۰ تن در هکتار کود دامی همراه با آزوریزوبیوم در حضور ۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۳۲ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۴۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم به میزان ۲۴۳۱/۶۷ کیلوگرم در هکتار به خود اختصاص داد. عملکرد بیولوژیک در روش‌های تغذیه شیمیایی ۲۵/۷۴٪، کود دامی ۱۵/۸۳٪، تلفیق کود شیمیایی با دامی ۳۵/۰۸٪ و تلفیق کود شیمیایی با دامی و زیستی ۴۱/۳۸٪ با افزایش معنی‌دار نسبت به شاهد همراه بود.

محتوای نسبی آب برگ

با توجه به نتایج بدست آمده از تجزیه واریانس، مشخص شد که اثر روش‌های حاصلخیزی خاک بر محتوای نسبی آب برگ سیاه‌دانه در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار شد (جدول ۴). براساس نتایج (جدول ۵)، با تغذیه گیاه محتوای نسبی آب برگ نسبت به شاهد افزایش یافت، به نحوی که بیشترین محتوای نسبی آب برگ در تغذیه شیمیایی به میزان ۵۶/۵۲٪ و ۵۶/۷٪ به ترتیب مربوط به کاربرد ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۹۶ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم و همچنین ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۱۲۸ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم بود. در حضور کود دامی بالاترین محتوای نسبی آب برگ به میزان ۵۸/۷۳٪ در مصرف ۱۰ تن در هکتار کود دامی مشاهده گردید. در روش تلفیق کود شیمیایی با دامی حداکثر محتوای نسبی آب برگ از تیمار ۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۳۲ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۴۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم همراه با ۳۰ تن در هکتار کود دامی به میزان ۶۸/۵۹٪ بدست آمد. در روش تلفیق کود شیمیایی با دامی و زیستی بیشترین محتوای نسبی آب برگ را کاربرد ۳۰ تن در هکتار کود دامی همراه با آزوریزوبیوم در حضور ۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن،

۱۲۸ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم بود. در حضور کود دامی بالاترین عملکرد دانه به میزان ۱۰۰۶/۰۳ کیلوگرم در هکتار در مصرف ۲۰ تن در هکتار کود دامی مشاهده گردید. در روش تلفیق کود شیمیایی با دامی حداکثر عملکرد دانه از تیمار ۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۳۲ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۴۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم همراه با ۳۰ تن در هکتار کود دامی به میزان ۱۲۷۰/۴۳ کیلوگرم در هکتار بدست آمد. در روش تلفیق کود شیمیایی با دامی و زیستی بیشترین عملکرد دانه را کاربرد ۳۰ تن در هکتار کود دامی همراه با آزوریزوبیوم در حضور ۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۳۲ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۴۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم به میزان ۱۱۳۶/۲۹ کیلوگرم در هکتار به خود اختصاص داد. بنابراین عملکرد دانه در روش‌های تغذیه شیمیایی ۵۵/۶۲٪، کود دامی ۷۴/۳۲٪، تلفیق کود شیمیایی با دامی ۱۲۰/۱۳٪ و تلفیق کود شیمیایی با دامی و زیستی ۹۶/۸۹٪ افزایش نسبت به شاهد نشان داد.

عملکرد بیولوژیک (زیست توده)

براساس نتایج تجزیه واریانس اثر روش‌های حاصلخیزی خاک بر عملکرد بیولوژیک سیاه‌دانه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین عملکرد بیولوژیک (جدول ۵) بیانگر آن بود که با تغذیه گیاه به عملکرد بیولوژیک نسبت به شاهد افزوده شد، به طوری که بیشترین عملکرد بیولوژیک در تغذیه شیمیایی به میزان ۲۱۶۲/۶۷ کیلوگرم در هکتار مربوط به کاربرد ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۹۶ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم بود. در حضور کود دامی بالاترین عملکرد بیولوژیک به میزان ۱۹۸۱/۶۷ و ۱۹۹۲/۳۳ کیلوگرم در هکتار به ترتیب در مصرف ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار کود دامی مشاهده گردید. در روش تلفیق کود شیمیایی با دامی حداکثر عملکرد بیولوژیک از تیمار ۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۳۲ کیلوگرم در هکتار فسفر

(۱۶۰) کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۱۲۸ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم) بود. در حاصلخیزی خاک با کود دامی عملکرد روغن به میزان ۱۷۱/۱۶ کیلوگرم در هکتار از کاربرد ۲۰ تن در هکتار کود دامی حاصل گردید. بیشترین عملکرد روغن در تغذیه گیاه به روش تلفیق کود شیمیایی و دامی به میزان ۲۳۸/۷ کیلوگرم در هکتار از تیمار ۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۳۲ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۴۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم در حضور ۳۰ تن در هکتار کود دامی به دست آمد. در حاصلخیزی خاک به روش تلفیق شیمیایی، دامی و زیستی بالاترین عملکرد روغن به میزان ۲۳۷/۳ کیلوگرم در هکتار از کاربرد ۳۰ تن در هکتار کود دامی همراه با آزوریزوبیوم در حضور تیمار ۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۳۲ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۴۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم بدست آمد (جدول ۵).

بحث

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که با تغذیه گیاه ارتفاع بوته سیاه‌دانه نسبت به شاهد افزایش یافت و حداکثر ارتفاع بوته از کاربرد ۳۰ تن در هکتار کود دامی و ۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۳۲ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۴۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم در حضور باکتری آزوریزوبیوم حاصل شد. در مورد اثر کودهای زیستی بر افزایش ارتفاع بوته، این امر احتمالاً ناشی از افزایش جذب عناصر غذایی، به‌ویژه فسفر و نیتروژن و تأثیر آن بر بهبود فتوسنتز و در نتیجه افزایش رشد بوته است. نتایج این آزمایش با نتایج تحقیقات روی رازیانه (Azzaz et al., 2009) مطابقت دارد. باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن علاوه بر تأمین کافی نیتروژن، از طریق سنتز و ترشح مواد محرک رشد، موجبات رشد و توسعه گیاه را فراهم می‌کنند (Tilak et al., 2005). مصرف کودهای نیتروژن‌دار با توسعه اندام هوایی و افزایش سطح کربن‌گیری موجب تولید کربوهیدرات‌ها و در نتیجه افزایش رشد شد. رشد سریع‌تر گیاه در مقادیر بالای مصرف نیتروژن و به‌دنبال آن استفاده

۳۲ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۴۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم به میزان ۷۲/۵۲٪ به خود اختصاص داد.

درصد روغن

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر روش‌های حاصلخیزی خاک در سطح احتمال ۱٪ بر درصد روغن سیاه‌دانه معنی‌دار بود (جدول ۴). به‌طوری که تغذیه گیاه موجب افزایش درصد روغن نسبت به شاهد شد (جدول ۵)، به‌طوری که بیشترین درصد روغن در تغذیه شیمیایی به میزان ۱۵/۷۳٪ مربوط به کاربرد ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۹۶ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم بود. در حضور کود دامی بالاترین درصد روغن به میزان ۱۶/۳، ۱۷ و ۱۷/۳۳ درصد به‌ترتیب در مصرف ۱۰، ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار کود دامی مشاهده گردید. در روش تلفیق کود شیمیایی با دامی حداکثر درصد روغن از تیمار ۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۳۲ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۴۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم همراه با ۳۰ تن در هکتار کود دامی به میزان ۱۸/۸٪ بدست آمد. در روش تلفیق کود شیمیایی با دامی و زیستی بیشترین درصد روغن را کاربرد ۳۰ تن در هکتار کود دامی همراه با آزوریزوبیوم در حضور ۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۳۲ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۴۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم به میزان ۲۰/۹٪ به خود اختصاص داد.

عملکرد روغن

نتایج تجزیه واریانس بیانگر آن بود که اثر روش‌های حاصلخیزی خاک بر عملکرد روغن سیاه‌دانه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۴). به‌نحوی که با تغذیه گیاه عملکرد روغن نسبت به شاهد افزایش پیدا کرد. در روش تغذیه شیمیایی بالاترین عملکرد روغن به میزان ۱۴۱/۱۹ و ۱۲۹/۵۹ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب مربوط به تیمار شماره ۴ (۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۹۶ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم) و تیمار شماره ۵

بهینه از عوامل محیطی سبب افزایش مقدار ماده خشک در گیاه می‌شود (Jafari *et al.*, 2014). بنابراین چنین به نظر می‌رسد که کاربرد کود دامی با بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مانند میزان مواد آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی و افزایش عناصر غذایی در خاک سبب افزایش ارتفاع بوته شد (Monemizadeh *et al.*, 2016).

فسفر با تأثیر مثبت بر فتوسنتز گیاه از طریق فراهمی مواد فتوسنتزی و انتقال آنها، می‌تواند در توسعه رشد ریشه، برگ‌ها و افزایش ارتفاع مؤثر باشد (Tariq *et al.*, 2011). تیمارهای پتاسیم نیز احتمالاً به دلیل نقش کلی که پتاسیم در برقراری تعادل بار الکتریکی در بافت‌های گیاهی و نیز حفظ آماس سلول دارد، باعث بهبود رشد گیاه می‌شود (Larki *et al.*, 2015).

در این پژوهش مشاهده گردید که با تغذیه گیاه تعداد شاخه جانبی با افزایش همراه بود. بیشترین تعداد شاخه جانبی سیاه‌دانه از کاربرد آزوریزوبیوم با ۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۳۲ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۴۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم در شرایط عدم حضور کود دامی بدست آمد. از این رو به نظر می‌رسد که افزایش تعداد شاخه جانبی در اثر کاربرد تلفیقی کود می‌تواند در نتیجه بهبود رشد ریشه، جذب عناصر غذایی و به تبع آن افزایش فتوسنتز و تولید مواد پرورده همراه باشد که با نتایج سایر محققان (Pouryousef *et al.*, 2009) همسو است. همچنین افزایش تعداد شاخه فرعی به نظر می‌رسد به دلیل اثرگذاری بهتر روی میزان کلروفیل و جذب بیشتر مواد غذایی در گیاه باشد (Aseri *et al.*, 2008). به طوری که باکتری‌های ریزوسفری از طریق تثبیت نیتروژن اتمسفر، افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی در ناحیه ریزوسفر، افزایش سطح تماس ریشه و بهبود همزیستی مفید با گیاه میزبان در مراحل مختلف رشد سبب افزایش خصوصیات مورفولوژیک از جمله تعداد شاخه جانبی می‌شوند (Wani *et al.*, 2016).

نتایج حکایت از آن داشت که کاربرد باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن باعث افزایش شاخص سطح برگ سیاه‌دانه شد، حداکثر شاخص سطح برگ را تیمار ۳۰ تن در

هکتار کود دامی همراه با آزوریزوبیوم در حضور ۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۳۲ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۴۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم دارا بود. باکتری تثبیت‌کننده نیتروژن با کمک به افزایش جذب نیتروژن و با توجه به نقش این عنصر در فرایند فتوسنتز و تولید و گسترش سطح سبز برگ، نقش مهمی را در افزایش شاخص سطح برگ نشان داده است (Omidi *et al.*, 2009). جذب فسفر منجر به افزایش تثبیت خالص دی‌اکسیدکربن به همراه افزایش فتوسنتز در گیاه شده و این سبب افزایش تعداد برگ در بوته و افزایش شاخص سطح برگ می‌گردد (Badsra & Chaudhary, 2001). کودهای دامی دارای فواید و کاربردهای متعددی هستند، به طوری که باعث افزایش مقدار ماده آلی خاک، بهبود باروری و ظرفیت نگهداری آب خاک، ایجاد شرایط تهویه و زهکشی مناسب، تأمین و نگهداری طولانی‌مدت مواد غذایی برای گیاه و ریزجانداران می‌شوند (Sangwan *et al.*, 2008). بنابراین چنین به نظر می‌رسد که کود دامی با تأثیر مثبت بر خصوصیات فیزیکی، زیستی و شیمیایی خاک، شرایط ریزوسفر را برای رشد بوته‌ها بهبود بخشیده است که این کار از طریق افزایش و تحریک رشد گیاه، منجر به افزایش سطح برگ به‌عنوان اندام فتوسنتزکننده مؤثر بر بهبود تولید شد (Leithy *et al.*, 2006).

طبق تحقیقات انجام شده اضافه نمودن کودهای دامی و مواد شیمیایی، باعث تغییر در فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک می‌شود (Brussaard & Ferrera-Cerrato, 1997) و استعمال کود دامی فعالیت‌های بیولوژیکی و تنفسی خاک، فعالیت آنزیم دهیدروژناز و گرم‌های خاکی را افزایش می‌دهد و این در حالیست که با استفاده از کودهای شیمیایی در کمیت‌های بالا این فعالیت‌ها مختل شده و باعث کاهش عملکرد می‌شود (Francis *et al.*, 1990).

بر اساس نتایج بدست‌آمده تغذیه گیاه افزایش تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در کپسول را به همراه داشت. کودهای آلی باعث افزایش معنی‌دار مواد آلی خاک می‌شوند و قابلیت جذب روی، مس، آهن، فسفر، پتاسیم و نیتروژن خاک را افزایش می‌دهند و از این طریق تعداد کپسول در

بنابراین دلیل افزایش عملکرد دانه در شرایط کاربرد کود دامی در این پژوهش می‌تواند به دلیل فراهمی نیتروژن تا انتهای رشد و رهاسازی تدریجی آن و تطابق آن با نیازهای گیاه باشد (Moradi-Ghahderijani *et al.*, 2017). کاربرد کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم به دلیل دسترسی بیشتر گیاه به عناصر غذایی موجب افزایش عملکرد دانه می‌شود (Kogbe & Adediran, 2003).

بیشترین عملکرد بیولوژیک مربوط به کاربرد ۳۰ تن در هکتار کود دامی همراه با آزریزوبیوم در حضور ۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۳۲ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۴۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم بود. علت بالاتر بودن عملکرد ماده خشک در تیمار کود تلفیقی می‌تواند این باشد که علاوه بر اینکه کودهای زیستی سبب بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک می‌شوند، بلکه کودهای شیمیایی نیز موجب تأمین عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم مورد نیاز گیاه به‌ویژه در اوایل دوره رشد گیاه شده که در نتیجه باعث ایجاد شرایط مناسبتر برای رشد و تولید گیاه می‌شوند. این دستاوردها با نتایج بسیاری از محققان مبنی بر برتری روش‌های تلفیقی از نظر وزن خشک نسبت به روش‌های شیمیایی و آلی مطابقت دارد (Dadrasan *et al.*, 2015). به‌طوری که افزایش زیست توده در اثر کاربرد آزریزوبیوم را به بهبود دسترسی به نیتروژن و افزایش رشد رویشی گیاه نسبت داده‌اند که در نهایت سبب افزایش تجمع ماده خشک می‌شود (Kordi *et al.*, 2017). از این رو به نظر می‌رسد کود دامی با آزادسازی تدریجی عناصر غذایی در خاک و تأثیر بر ویژگی‌هایی از قبیل نفوذ آب به خاک باعث ایجاد شرایط مطلوب‌تری برای رشد گیاه و افزایش زیست توده شد (Monemizadeh *et al.*, 2016).

تیمار ۳۰ تن در هکتار کود دامی همراه با آزریزوبیوم در حضور ۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۳۲ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۴۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم بیشترین محتوای نسبی آب برگ را به خود اختصاص داد. پتاسیم در سیتوپلاسم سلول و واکوئل آن فراوان است و نقش مهمی در نگهداری آب در واکوئل، آماس سلولی و افزایش رشد و

بوته افزایش پیدا می‌کند (Daneshian *et al.*, 2013). استفاده از کود شیمیایی و زیستی نیتروژن با افزایش انتقال مواد پرورده به اندام زایشی از غیربارور شدن اندام زایشی ممانعت نموده و سبب افزایش تعدا دانه می‌شود (Soleimanzadeh *et al.*, 2010). معمولاً با افزایش مقدار فسفر در گیاه، توانایی تلقیح موفق و باروری گلها افزایش می‌یابد، در نتیجه تعداد دانه‌های تشکیل شده بیشتر خواهد شد (Yousefpoor *et al.*, 2014). احتمالاً استفاده از باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن از طریق تغذیه مناسب و افزایش توان فتوسنتزی گیاه موجبات افزایش گلدهی و بهبود تعداد دانه را در کپسول فراهم نموده است (Koochaki *et al.*, 2008). افزایش شاخص سطح برگ و در کل بهبود قدرت منبع تحت تیمارهای کود دامی خالص و تلفیق کودهای دامی و شیمیایی می‌تواند از طریق تأثیر بر افزایش تولید مواد فتوسنتزی و تخصیص آن به کپسولها، در افزایش تعداد دانه تحت این تیمارها مؤثر بوده باشد که با نتایج سایر محققان همخوانی داشت (Singh *et al.*, 2003).

مشاهده شد که حاصلخیزی خاک افزایش عملکرد دانه را در پی داشت. به‌نحوی که افزایش عملکرد دانه در زمان استفاده از کود زیستی می‌تواند ناشی از وجود جمعیت میکروبی در خاک، در اثر تلقیح بذرها با باکتری‌های افزاینده رشد باشد که به‌وسیله ایجاد چرخه مواد غذایی و افزایش حفظ سلامتی ریشه در طول دوره رشد در رقابت با پاتوژن‌های گیاهی ریشه و افزایش جذب مواد غذایی باعث رشد گیاه می‌شوند (Fazeli-Rostampoor *et al.*, 2011). کودهای زیستی دارای توان تولید مواد تحریک‌کننده رشد گیاه هستند که به نوبه خود از طریق افزایش مواد فتوسنتزی به افزایش عملکرد منجر می‌شوند (Farnia & Toarkman, 2015). با توجه به وجود عناصر غذایی در کودهای دامی و تأثیر این کودها بر بهبود فراهمی عناصر غذایی کم مصرف و پرمصرف و محتوای رطوبتی افزایش عملکرد دانه تحت تأثیر تحریک رشد رویشی به دلیل فراهمی عناصر غذایی و بهبود محتوای ذخیره رطوبتی خاک در شرایط استفاده از این کود آلی منطقی به نظر می‌رسد (Weber *et al.*, 2014).

تلفیق تغذیه گیاهی می‌تواند با کاهش مصرف کودهای شیمیایی گامی در مسیر کشاورزی پایدار و کاهش آسیب‌های زیست محیطی برداشت، به‌عبارت دیگر در سیستم تغذیه تلفیقی به دلیل استفاده بهینه از مواد غذایی موجود در خاک، کارایی تولید در اکوسیستم‌های زراعی بهبود یافته که می‌تواند برای دستیابی به اهداف کشاورزی پایدار مورد توجه قرار گیرد.

منابع مورد استفاده

- Alizadeh, P., Fallah, S. and Raiesi, F., 2012. Potential N mineralization and availability to irrigated maize in a calcareous soil amended with organic manures and urea under field conditions. *International Journal of Plant Production*, 6: 493-512.
- Aseri, G.K., Jain, N., Panwar, J., Rao, A.V. and Meghwal, P.R., 2008. Biofertilizers improve plant growth, fruit yield, nutrition, metabolism and rhizosphere enzyme activities of Pomegranate (*Punica granatum L.*) in Indian Thar Desert. *Scientia Horticulturae*, 117: 130-135.
- Azzaz, N.A., Hassan, E.A. and Hamad, E.H., 2009. The chemical constituent and vegetative and yielding characteristics of Fennel plants treated with organic and biofertilizer instead of mineral fertilizer. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 3(2): 579-587.
- Badsra, S.R. and Chaudhary, L., 2001. Association of yield and its components in Indian mustard (*Brassica juncea L.*). *Agricultural Science Digest*, 21(2): 83-86.
- Brussaard, L. and Ferrera-Cerrato, R., 1997. *Soil Ecology in Sustainable Agricultural Systems*. New York: Lewis Publishers, U.S.A., 168p.
- Dadrasan, M., Chaichi, M.R., Pourbabaee, A.A., Yazdani, D. and Keshavarz Afshar, R., 2015. Deficit irrigation and biological fertilizer influence on yield and trigonelline production of fenugreek. *Industrial Crops and Products*, 77: 156-162.
- Daneshian, J., Rahmani, N. and Alimohammadi, M., 2013. Effects of nitrogen and manure fertilizer application on yield and yield components of calendula (*Calendula officinalis L.*) under water deficit stress conditions. *Journal of Good Culturing Researches*, 5(3): 251-261.
- Davazdahemami, S. and Majnoonhosseini, N., 2014. *Cultivation of Certain Medicinal Plants and Spices*. Tehran University Press, 310p.
- El Gendy, A.G., El Gohary, A.E., Omer, E.A., Hendawy, S.F. and Hussein, M.S., 2015. Effect of

تولید در گیاه ایفاء می‌کند (Hashemabadi *et al.*, 2012). بنابراین به نظر می‌رسد کود بیولوژیک با فراهم کردن عناصر غذایی و شرایط مناسب خاک موجب افزایش طول ریشه و در نتیجه افزایش جذب و نگهداری آب در گیاه می‌شود. از این رو به نظر می‌رسد کود دامی شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک را بهبود بخشیده و با افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک موجب افزایش محتوای نسبی آب برگ شد (Goldani *et al.*, 2016).

مشاهده گردید که تغذیه گیاه موجب افزایش میزان روغن دانه گردید، به طوری که به نظر می‌رسد اثرهای مثبت کود بیولوژیک نیتروژن از طریق افزایش جذب آب و عناصر غذایی سبب افزایش فتوسنتز شده و این امر موجب تولید مواد فتوسنتزی بیشتر و بهبود رشد شده که در نهایت موجب افزایش درصد روغن دانه شده است (Nasrollahzadeh Asl, 2017). تأثیر مثبت کود دامی در بهبود درصد روغن می‌تواند بیشتر به دلیل نقش مثبت آن در افزایش ظرفیت نگهداری آب و آزادسازی تدریجی عناصر غذایی باشد (Salehi *et al.*, 2014). در مراحل رشد سریع گیاه که نیاز غذایی افزایش می‌یابد، به میزانی که مواد غذایی پرمصرف و کافی در اختیار گیاه قرار گیرد به دلیل اثر بر شدن دانه‌ها، درصد روغن افزایش می‌یابد. پژوهشگران بر این باورند که درصد روغن تحت کنترل عوامل ژنتیکی بوده، اما فراهمی عناصر ضروری در مرحله فعالیت‌های حیاتی و حساس گیاه می‌تواند بر میزان فتوسنتز و تولید متابولیت‌های گیاه تأثیر گذاشته و در نهایت به انباشت روغن کمک نماید (Kathiresan, 2002).

به‌عنوان نتیجه‌گیری کلی می‌توان گفت که یکی از عوامل اصلی تعیین‌کننده خصوصیات کمی و کیفی گیاه، تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه است. به‌طور کلی تیمار ۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۳۲ کیلوگرم فسفر و ۴۰ کیلوگرم پتاسیم همراه با ۳۰ تن در هکتار کود دامی در کنار آزوریزوبیوم بیشترین تأثیر مثبت را در بهبود خصوصیات رویشی و کمی سیاه‌دانه داشتند که از کمترین میزان کود شیمیایی برخوردار بودند. براساس نتایج، با روش

- some physiological traits of forage corn affected by chemical and biological nitrogen fertilizers intercropped with sweet basil. *Journal of Central European Agriculture*, 18(2): 477-493.
- Larki, S., Rahnama, A. and Aynehband, A., 2015. Effect of application of potassium fertilizers on physiological traits and cadmium accumulation in grain of two durum wheat (*Triticum turgidum* ssp. durum (Desf.) Husn.) Cultivars. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 17(3): 223-235.
 - Leithy, S., El-Meseiry, T.A. and Abdallah, E.F., 2006. Effect of biofertilizer, cell stabilizer and irrigation regime on rosemary herbage oil quality. *Journal of Applied Sciences Research*, 2: 773-779.
 - Monemizadeh, Z., Ghasemi, M. and Sadrabadi, R., 2016. Review on importance and Effects of organic fertilizers on cultivation of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Land Management*, 4(1): 55-77.
 - Moradi-Ghahderijani, M., Jafarian, S. and Keshavarz, H., 2017. Alleviation of water stress effects and improved oil yield in sunflower by application of soil and foliar amendments. *Rhizosphere*, 4: 54-61.
 - Nagananda, G.S., Das, A., Bhattacharya, S. and Kalpana, T., 2010. In vitro studies on the effects of biofertilizers (*Azotobacter* and *Rhizobium*) on seed germination and development of (*Trigonella foenum-graecum* L.). using a novel glass marble containing liquid medium. *International Journal of Botany*, 6: 394-403.
 - Nasrollahzadeh Asl, A., 2017. Effects of nitrogen and phosphate biofertilizers on morphological and agronomic characteristics of sesame (*Sesamum indicum* L.). *Open Journal of Ecology*, 7(2): 101-111.
 - Omid, H., Naghdi Badi, H., Golzad, A., Torabi, H. and Footoukian, M.H., 2009. The effect of chemical and bio-fertilizer source of nitrogen on qualitative and quantitative yield of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Medicinal Plants*, 2(30): 98-109.
 - Piri, I., Harati, A., Tavassoli, A. and Babaeian, M., 2016. Effect of using different levels manure on quality and quantity of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) under salt stress condition. *Journal of Crop Ecophysiology*, 10(4): 959-974.
 - Pouryousef, M., Mazaheri, D., Chae Chi, M., Rahimi, A. and Tavakoli, A., 2009. The effect of different treatments on soil fertility properties of agromorphological and mucilage of *Plantago ovata*. *Electronic Journal of Crop Production*, 3(2): 193-212.
 - Rahimzadeh, S., Sohrabi, Y., Heydari, G. and Pirzadeh, A., 2011. Effect of bio and chemical fertilizers on yield and quality of dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.). *Journal of Horticultural Sciences*, 25: 335-343.
 - nitrogen and potassium fertilizer on herbage and oil yield of chervil plant (*Anthriscus cerefolium* L.). *Industrial Crops and Products*, 69: 167-174.
 - Farnia, A. and Torkaman, H., 2015. Effect of different biofertilizers on yield and yield components of maize (*Zea mays* L.). *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences*, 4(4): 75-79.
 - Fazeli-Rostampoor, M., Seghatoleslami, M.J. and Mousavi, G.H.R., 2011. Effect of water stress and polymer (superjabez A200) on yield and water use efficiency of corn (*Zea mays* L.) in Birjand region. *Journal of Agronomy*, 2(1): 11-19.
 - Francis, C.A., Bulter, F.C. and King, L.D., 1990. *Sustainable Agriculture In Temperate Zones*. New York: John Wiley and Sons, U.S.A., 487p.
 - Goldani, M., Zare, H. and Kamali, M., 2016. Evaluation of different levels of nitrogen and phosphorus fertilizers on shoot and root characteristics of *Echinacea purpurea*. *Journal of Horticulture Science*, 30(3): 366-375.
 - Hashemabadi, D., Mostofipour, A.A., Berimavandi, A.R., Kaviani, B. and Zarchini, M., 2012. Improvement of the yield and essential oils quantitative in calendula (*Calendula officinalis* L.) by using different planting arrangement and potassium fertilizer. *Journal of Ornamental and Horticultural Plant*, 2(3): 147-154.
 - Jafari, F., Golchin, A. and Shafiei, S., 2014. The effects of nitrogen and foliar application of iron amino chelate on yield and growth indices of dill (*Anethum graveolans* L.) medical plant. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture Soilless Culture Research Center*, 5(1): 1-12.
 - Janohaadi, M., Sufe-ahoudi, Z., Ahadnezhad, A. and Yousefzadeh, S., 2014. Influence of chemical and organic fertilizer on growth, yield and essential oil of dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.) plant. *Acta agriculturae Slovenica*, 103: 73-81.
 - Kathiresan, G., 2002. Response of sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes to levels of nutrients and spacing under different seasons. *Indian Journal of Agronomy*, 47: 537-540.
 - Kogbe, J.O.S. and Adediran, J.A., 2003. Influenced of nitrogen, phosphorus and potassium application on the yield of maize in savanna zone of Nigeria. *African Journal of Biological Sciences*, 2: 345-349.
 - Koochaki, A. and Sarmadnia, G., 2008. *Physiology of Crop Plants*. Mashhad, Jahad Daneshgahi Press, 400p.
 - Koochaki, A., Hoseini, M. and Dezfoli, A., 2008. *Constant Agriculture*. Mashhad University Publications, 317p.
 - Kordi, S., Shafagh Kolvanagh, J., Zehtab Salmasi, S. and Daneshvar, M., 2017. Evaluation of yield and

- Effect of different phosphorus levels on the yield and yield components of maize. *Sarhad Journal of Agriculture*, 27: 165-170.
- Tilak, K.V.B.R., Ranganayaki, N., Pal, K.K., De, R., Saxena, A.K., Shekhar Nautiyal, C., Mittal, S., Tripathi, A.K. and Johri, B.N., 2005. Diversity of plant growth and soil health supporting bacteria. *Current Science*, 89: 136-150.
 - Valibeigi, A. and adavi, Z., 2019. Effects of of nitrogen fertilizer and growth promoting rhizobacteria on yield and yield component of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Journal of Plant Ecophysiology*, 37: 153-162.
 - Wani, S.A., Chand, S., Wani, M.A., Ramzan, M. and Hakeem, K.R., 2016. *Azotobacter chroococcum*-A potential biofertilizer in agriculture: an overview: 333-348. In: Hakeem, K.C., Akhtar, J. and Sabir, M., (Eds.). *Soil Science: Agricultural and Environmental Prospectives*. Springer International Publishing, 430p.
 - Weber, J., Kocowicz, A., Bekier, J., Jamroz, E., Tyszka, R., Debicka, M., Parylak, D. and Kordas, L. 2014. The effect of a sandy soil amendment with municipal solid waste (MSW) compost on nitrogen uptake efficiency by plants. *European Journal of Agronomy*, 54: 54-60.
 - Weisany, W., Rahimzadeh, S. and Sohrabi, Y., 2012. Effect of biofertilizers on morphological, physiological characteristic and essential oil content in basil (*Ocimum basilicum* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 28(1): 73-87.
 - Yousefpoor, Z., Yadavi, A., Balouchi, H. and Farajee, H., 2014. Evaluation of some physiological, morphological and phonological characteristics in Sunflower (*Helianthus annuus* L.) influenced by biological and chemical sources of nitrogen and phosphorus. *Agroecology Journal*, 6(3): 508-519.
 - Zhao, I., Zhao, F., Jian, G., Ye, Y., Zhang, W., Li, J. and Qi, F., 2013. Intensified Alternaria spot disease under potassium deficiency conditions results in acceleration of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) leaf senescence. *Australian Journal of Crop Science*, 7: 241-248.
 - Sabet Teimouri, M., Koochaki, A. and Nasiri Mahallati, M., 2013. The effect of different contents of manure fertilizer and irrigation intervals on some criteria of (*Hymenocrater platystegius* Rech.f.). *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 6(12): 878-884.
 - Sajedi Shaker, S., Mohammadi, A. and Khosro Shahli, M., 2016. Cytological studies on some ecotypes of *Nigella sativa* L. in Iran. *The Japan Mendel Society Cytologia*, 82(2): 123-126.
 - Salehi, A., Fallah, S., Iranipour, R. and Abbasi Surki, A., 2014. Effect of application time of integrated chemical fertilizer with cattle manure on growth, yield and yield components of black seed (*Nigella sativa* L.). *Journal of Agroecology*, 6(3): 495-507.
 - Sangwan, P., Kaushik, C.P. and Garg, V.K., 2008. Vermiconversion of industrial sludge for recycling the nutrients. *Bioresource Technology*, 99(18): 8699-8704.
 - Savci, S., 2012. An agricultural pollutant: chemical fertilizer. *International Journal of Environmental Science and Development*, 3(1): 77-80p.
 - Schonfeld, M.A., Johnson, R.C., Carver, B.F. and Mornhinweg, D.W., 1988. Water relation in winter wheat as drought resistance indicators. *Crop Science*, 28: 526-531.
 - Singh, D., Chand, S., Anvar, M. and Patra, D., 2003. Effect of organic and inorganic amendment on growth and nutrient accumulation by isabgol (*plantago ovata*) in sodic soil under greenhouse conditions. *Journal of Medicinal and Aromatic Plant Science*, 25: 414-419.
 - Soleimanzadeh, H., Habibi, D., Ardakani, M.R., Paknejad, F. and Rejali, F., 2010. Response of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to inoculation with azotobacter under different nitrogen levels. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 7(3): 265-268.
 - Subhash, C., Malik, A., Zargar, M.Y. and Bhat, M.A., 2011. Nitrate pollution: a menace to human, soil, water and plant. *Universal Journal of Environmental Research and Technology*, 1: 22-32.
 - Tariq, M., Rozina, G., Fazal, M., Fazal, J., Zahid, H., Nadia, N., Hamayoon, Kh. and Hayatullah, Kh., 2011.

Effects of soil fertility methods on the quantitative yield and oil of medicinal plant black cumin (*Nigella sativa* L.)

J. Maleki^{1*}, E. Sharifi Ashourabadi², M. Mirza², H. Heydari Sharifabad³ and M.H. Lebaschy²

1*- Corresponding author, Ph.D. student, Department of Agronomy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, E-mail: j.maleki1973@gmail.com

2- Medicinal Plants Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

3- Department of Agronomy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Received: April 2020

Revised: September 2020

Accepted: October 2020

Abstract

To investigate the effects of soil fertility methods on the quantitative yield and oil of medicinal plant black cumin (*Nigella sativa* L.), an experiment was conducted in a randomized complete blocks design with three replications. Experimental treatments included different levels of NPK chemical fertilizers, different levels of manure, combination of NPK+manure, and combination of NPK+manure with *Azorhizobium* biofertilizer inoculation. The results showed that plant nutrition increased plant height, plant dry weight, number of lateral branches, leaf area index, number of capsules per plant, number of seeds per capsule, grain yield, biological yield, relative leaf water content, and percentage and oil yield. The highest quantitative and qualitative characteristics were obtained in the chemical nutrition in the treatment of NPK: 120-96-120 (kg ha⁻¹) and in the manure nutrition in the treatment of manure: 20 ton ha⁻¹. In the chemical+manure combined method, the treatment of NPK: 40-32-40 (kg ha⁻¹)+manure: 30 ton ha⁻¹ was the best one. In the chemical+manure+biological combined method, the treatment of manure: 30 ton ha⁻¹ + *Azorhizobium* + NPK: 40-32-40 (kg ha⁻¹) was observed as the most appropriate treatment. Overall, the combined treatment of NPK: 40-32-40 (kg ha⁻¹) + manure: 30 ton ha⁻¹ + *Azorhizobium* had the most positive effect on improving the biological yield and black cumin oil percentage, which also had the lowest amount of chemical fertilizer.

Keywords: *Azorhizobium*, soil fertility methods, oil content, manure, black cumin (*Nigella sativa* L.).