مقاله پژوهشی

نشریه علمی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران — شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/ijmapr.2021.351449.2844

جلد ۳۷، شماره ۱، صفحه ۹۷-۸۳ (۱۴۰۰) — شناسه دیجیتال (DOR): 98.1000/1735-0905.1400.37.83.105.1.1576.1601

بررسی تأثیر روش‌های حاصلخیزی خاک بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی زوفا (*Hyssopus officinalis* L.) در چین‌های مختلف

آیدا رحمانی[۱]، ابراهیم شریفی عاشورآبادی[۲*]، آسا ابراهیمی[۳] و مهدی میرزا[۴]

۱- دانشجوی دکترا، گروه علوم زراعی و باغی، دانشکده علوم کشاورزی و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲*- نویسنده مسئول، دانشیار، بخش تحقیقات گیاهان دارویی، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران، پست الکترونیک: sharifie2015@gmail.com

۳- استادیار، گروه بیوتکنولوژی و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی و صنایع‌غذایی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

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

تاریخ دریافت: شهریور ۱۳۹۹ — تاریخ اصلاح نهایی: آذر ۱۳۹۹ — تاریخ پذیرش: آذر ۱۳۹۹

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر روش‌های حاصلخیزی خاک بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی زوفا (*Hyssopus officinalis* L.) در چین‌های مختلف، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در کرج (استان البرز) در سال ۱۳۹۶ اجرا شد. فاکتورهای آزمایشی شامل زمان برداشت و روش‌های حاصل‌خیزی خاک بودند. نتایج نشان داد که چین اول دارای ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی و شاخص سطح برگ و چین دوم دارای وزن خشک بوته و محتوی کلروفیل بیشتری بود. با حاصل‌خیزی خاک، ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، وزن خشک بوته، شاخص سطح برگ، محتوی کلروفیل، عملکرد اسانس و جذب عناصر غذایی افزایش معنی‌دار پیدا کرد. بیشترین ارتفاع بوته و تعداد شاخه فرعی از کاربرد تیمار ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن+ ۹۶ کیلوگرم در هکتار فسفر+ ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم به‌دست آمد. حداکثر وزن خشک بوته را تلفیق ۲۰ تن کود دامی در هکتار با ۸۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن+ ۶۴ کیلوگرم در هکتار فسفر+ ۸۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم به‌خود اختصاص داد. بالاترین عملکرد اسانس از تیمار ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن+ ۹۶ کیلوگرم در هکتار فسفر+ ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم حاصل شد که با تیمارهای ۴۰ تن در هکتار کود دامی، تلفیق ۳۰ تن در هکتار کود دامی با میکوریزا و تلفیق ۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن+ ۳۲ کیلوگرم در هکتار فسفر+ ۴۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم با ۳۰ تن در هکتار کود دامی در یک گروه آماری قرار داشت. براساس نتایج، با روش تغذیه تلفیقی و استفاده از کودهای زیستی و آلی می‌توان به عملکرد کمی و کیفی مطلوبی در گیاه زوفا دست یافت.

واژه‌های کلیدی: اسانس، پتاسیم، زوفا (*Hyssopus officinalis* L.)، فسفر، نیتروژن، میکوریزا.

مقدمه

گیاهان دارویی امروزه کاربردهای گسترده‌ای در صنایع مختلف دارند، تولید و فرآوری آنها نیازمند بهره‌گیری از روش‌های علمی و جدید برای دستیابی به محصول با کمّیت و کیفیت بالاست (Ebadi *et al*., 2016). زوفا (*Hyssopus officinalis* L.) مانند سایر گیاهان معطر از خانواده Lamiaceae دارای اهمیت اقتصادی است (Gonul *et al*., 2012). از این گیاه به‌طور عمده برای طعم و نگهداری مواد غذایی (Jankovasky & Landa, 2012) و فیتوتراپی (Babovic *et al*., 2010) استفاده می‌شود. اسانس این گیاه دارای خواص ضدباکتریایی و ضدقارچی بوده و در طب سنتی و مدرن نیز به‌عنوان خلط‌آور و اشتهاآور کاربرد داشته و برای درمان ناراحتی‌های گوارشی، التهاب حنجره، آسم، برونشیت، تبخال و تسریع در بهبود زخم توصیه شده است (Jankovasky & Landa, 2012). تولید و مصرف بی‌رویه نهاده‌های شیمیایی در کشاورزی متداول طی چند دهه اخیر مشکلات زیست‌محیطی بسیاری را به‌همراه داشته است. در این بین می‌توان به آلودگی منابع آب و خاک، کاهش کیفیت محصولات غذایی و برهم خوردن تعادل زیستی در خاک که صدمات جبران‌ناپذیری به اکوسیستم وارد می‌سازد، اشاره کرد (Liu & Lal, 2015). راه حل اساسی این مشکل حرکت به سوی کشاورزی پایدار براساس استفاده هر چه بیشتر از نهاده‌های درونی مزرعه ازجمله جانداران مفید خاک‌زی با عنوان کودهای زیستی و همچنین بکارگیری تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی است (Heidari *et al*., 2014).

البته استفاده بهینه از منابع نیتروژن برای بهبود عملکرد اقتصادی و کاهش زیستی‌محیطی ضروریست (Mostaphi-Rad *et al*., 2010). پتاسیم با نقش کلیدی در واکنش‌های آنزیمی، تنفس، جذب و تثبیت دی‌اکسید کربن، سنتز پروتئین‌ها و تأثیر آن بر فتوسنتز از طریق تنظیم کار روزنه‌ها و روابط آب در گیاه و افزایش مقاومت گیاهان در برابر تنش‌های محیطی نقش بسیار مهمی در افزایش عملکرد دارد (Wang *et al*., 2013). فسفر در ساختمان سلولی به‌صورت اسیدهای نوکلئیک، کوآنزیم‌ها، فسفولیپیدها، غشاها و در بسیاری از فعالیت‌های حیاتی و ازجمله ذخیره و انتقال انرژی شیمیایی (به‌صورت‌های ADP و ATP) دخالت دارد. فسفر به‌صورت $H_2Po_4^-$ و نیز به‌صورت HPO_4^{2-} قابل جذب برای گیاه است. فسفر باعث تسریع در رشد و رسیدگی محصول شده و کیفیت مصرفی بافت‌های سبزینه‌ای را افزایش می‌دهد. گیاهان ظرفیت زیادی برای جذب و ذخیره فسفر دارند (Koochaki & Sarmadnia, 2008).

افزودن مواد آلی به خاک می‌تواند میزان نیتروژن قابل دسترس گیاه را افزایش، میزان سایر عناصر غذایی خاک و تغییر خاکدانه‌سازی را بهبود و تعداد و انواع جانداران موجود در خاک را تغییر دهد (Shamim *et al*., 2010). کودهای دامی یکی از منابع غنی از مواد آلی و معدنی هستند که کاربرد آنها در اراضی کم بازده باعث افزایش قابلیت نگهداری آب، تعدیل دمای خاک، عرضه مناسب‌تر مواد غذایی در خاک، افزایش فعالیت میکروبی و بهبود ویژگی‌های کیفی و فیزیکی آن در درازمدت می‌شود (Pandey *et al*., 2016). استفاده از کودهای آلی به دلیل غنی بودن از عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف و نیز با آزادسازی تدریجی عناصر غذایی که متناسب با مرحله رشدی گیاه می‌باشد، موجب افزایش میزان اسانس در گیاهان دارویی می‌شود (Carvalho *et al*., 2016). مصرف کود دامی منجر به افزایش عملکرد ماده خشک و عملکرد اسانس گیاه مریم‌گلی شده که می‌تواند به دلیل اثرهای مثبت کود دامی در بهبود خواص فیزیکی خاک و بهبود شرایط تغذیه‌ای گیاه باشد (Govahi, 2015). تلفیق کود دامی با شیمیایی در مقایسه با اثر جداگانه آنها تأثیر بیشتری در افزایش کلروفیل، آنتوسیانین، فلاونوئید، فنل کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی داشت (Akbarpour *et al*., 2016).

کشاورزی پایدار با برخورداری از پویایی اقتصادی، می‌تواند سبب بهبود شرایط محیط‌زیست و استفاده مناسب

از منابع موجود شده و در تأمین نیازهای غذایی انسان و افزایش کیفیت زندگی جوامع نقش به‌سزایی داشته باشد. یکی از ارکان اصلی در کشاورزی پایدار استفاده از کودهای زیستی در اکوسیستم‌های زراعی با هدف حذف یا کاهش قابل ملاحظه مصرف نهاده‌های شیمیایی است (Patel *et al.*, 2010). این کودها معمولاً با اسیدی نمودن محلول خاک و یا ترشح بعضی آنزیم‌ها، باعث رهاسازی عناصر از ترکیب‌های پیده کانی و آلی موجود در خاک شده و آن را در دسترس گیاه قرار می‌دهند (Pandey & Patra, 2015). از انواع کودهای زیستی، می‌توان به قارچ‌های میکوریزا اشاره کرد. گیاهانی که دارای همزیستی میکوریزایی می‌باشند به‌دلیل اینکه عناصر غذایی و آب بیشتری از خاک جذب می‌نمایند، دارای رشد بهتر و عملکرد بیشتری هستند (Larrainzar & Wienkoop, 2017). گزارش شده است که قارچ‌های میکوریزا معمولاً با بهبود شرایط تغذیه‌ای و همچنین تولید ترکیب‌های محرک رشد گیاه موجب بهبود و تسریع در مراحل مختلف رشدی گیاهان می‌شود و علاوه‌بر تعدیل اثرهای نامطلوب تنش، به میزان قابل توجهی رشد و جذب عناصر غذایی گیاه را افزایش می‌دهند (Perramon *et al.*, 2016). گیاهان حاصل از بذرهای تلقیح شده ارتفاع بیشتر، ماده خشک بیشتر، عملکرد دانه و همچنین اسانس بیشتری در مقایسه با گیاهان غیر تلقیح شده در رازیانه داشتند (Gheisari Zardak *et al.*, 2017). نتایج آزمایش حکایت از تأثیر مثبت کودهای زیستی میکوریزا بر عملکرد و اجزای عملکرد و مقدار اسانس زنیان داشت (Rezaei-Chiyaneh *et al.*, 2014). به‌نحوی که استفاده از کودهای زیستی در رازیانه توانست درصد و عملکرد گیاه را افزایش دهد (Abd El-Azim *et al.*, 2017).

به‌منظور افزایش تولید محصولات کشاورزی در واحد سطح، عملیات زراعی متعددی مانند مصرف کودهای شیمیایی انجام می‌شود. نتیجه این فعالیت طی سالیان اخیر، کاهش میزان باروری خاک، کاهش تنوع زیستی، اُفت کیفیت محصولات کشاورزی، بروز مشکلات متعدد زیست محیطی و تهدید سلامت جامعه بشری است. افزایش تولید کشاورزی در مقیاس اقتصادی بدون آلودگی محیط‌زیست یک چالش جهانی است. بخش‌های کشاورزی و سلامت در سال‌های اخیر شاهد گام‌های بزرگی بوده‌اند. کاربرد کودهای آلی و زیستی در تولید گیاه زوفا به‌عنوان یکی از گیاهان مهم خانواده نعناعیان با هدف کاهش یا حذف قابل ملاحظه مصرف نهاده‌های شیمیایی و همچنین افزایش حاصلخیزی خاک و بهبود رشد و کیفیت گیاه از اهمیت زیادی برخوردار است. این تحقیق با هدف بررسی ۱۶ سیستم مختلف حاصلخیزی خاک برای معرفی بهترین سیستم در کشت زوفا به کشاورزان تولید کننده که تلفیقی از انواع کودهای شیمیایی، آلی و زیستی بودند، انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۶ در مجتمع تحقیقاتی البرز در زمینی به مساحت ۶۳۰ مترمربع به طول ۶۳ و عرض ۱۰ متر در طول جغرافیایی ۵۱ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ و ۴۸ درجه شمالی با ارتفاع از سطح دریا ۱۳۲۱ متر، نوع خاک آن شنی‌رسی و pH خاک ۷/۷ در منطقه کرج اجرا شد. فاکتورهای آزمایشی شامل چین و روش‌های حاصلخیزی خاک بود.

پس از انجام شخم پاییزه، در بهار با انجام یک شخم سطحی، نیمی از کودهای آلی و شیمیایی و بیولوژیک با نسبت تعیین شده با خاک مخلوط شدند. مساحت هر یک از کرت‌ها ۱۲ مترمربع مشتمل بر ۶ ردیف به‌طول ۴ متر و به‌فاصله ۵۰ سانتی‌متر از یکدیگر بود. فاصله بین دو کرت ۱ متر و فاصله بین دو تکرار ۳ متر در نظر گرفته شد. فاصله بوته‌ها روی هر ردیف ۳۰ سانتی‌متر بود. نشاهای ۱۰ برگی زوفا از پژوهشکده گیاهان دارویی جهاد دانشگاهی تهیه شد.

جدول ۱- تیمارهای روش‌های حاصلخیزی خاک

روش‌های حاصلخیزی خاک	شماره تیمار	کودهای شیمیایی (کیلوگرم/هکتار) N	P	K	کود دامی (تن/هکتار)	کود بیولوژیک
شاهد	۱	۰	۰	۰	۰	۰
شیمیایی	۲	۴۰	۳۲	۴۰	۰	۰
	۳	۸۰	۶۴	۸۰	۰	۰
	۴	۱۲۰	۹۶	۱۲۰	۰	۰
	۵	۱۶۰	۱۲۸	۱۶۰	۰	۰
تلفیق شیمیایی و دامی	۶	۱۲۰	۹۶	۱۲۰	۱۰	۰
	۷	۸۰	۶۴	۸۰	۲۰	۰
	۸	۴۰	۳۲	۴۰	۳۰	۰
دامی	۹	۰	۰	۰	۴۰	۰
	۱۰	۰	۰	۰	۳۰	۰
	۱۱	۰	۰	۰	۲۰	۰
	۱۲	۰	۰	۰	۱۰	۰
بیولوژیکی	۱۳	۰	۰	۰	۰	Mycorrhizae Arbuscular
	۱۴	۴۰	۳۲	۴۰	۰	Mycorrhizae Arbuscular
	۱۵	۴۰	۳۲	۴۰	۳۰	Mycorrhizae Arbuscular
	۱۶	۰	۰	۰	۳۰	Mycorrhizae Arbuscular

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی کود ارگانیک مورد استفاده

خاکستر (٪)	رطوبت (٪)	pH	مواد آلی (٪)	OC (٪)	N (٪)	P (٪)	K (٪)	نسبت کربن به ازت	Fe (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Mn (ppm)
۳۷/۸۹	۰/۴۷	۸/۷۵	۴۳/۵۸	۲۵/۲۸	۳/۰۸	۱/۱۱	۰/۹۴	۸/۲	۶۴۶۷/۳۲	۵۹/۱	۱۹/۱۳	۱۵۵/۹۸

پس از تعدیل دما در فصل بهار در تاریخ ۳۰ فروردین‌ماه به روش هیرم‌کاری به‌صورت شیاری و به‌عمق ۵-۳ سانتی‌متر به زمین اصلی منتقل گردید و بلافاصله آبیاری انجام شد. قبل از انتقال، بوته‌های مربوط به تیمارهای کود بیولوژیک با مقدار ۵ گرم برای هر بوته با ریشه تلقیح شدند. 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 ۶ روز یک‌بار آبیاری تکرار گردید.

برداشت در زمان ۵۰٪ گلدهی و از ارتفاع ۵ سانتی‌متری 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. هنگام برداشت دو ردیف از طرفین و از ابتدا و انتهای کرت نیم متر به‌عنوان حاشیه حذف گردید. همچنین در طول دوره آزمایش مبارزه با علف های هرز به‌صورت وجین انجام شد. به‌طور تصادفی از هر کرت ۱۰ نمونه در مرحله ۵۰٪ گلدهی برداشت شد. اندازه‌گیری سطح برگ با دستگاه Leaf area meter انجام شد. کلروفیل با استفاده از دستگاه SPAD اندازه‌گیری شد. میزان نیتروژن با استفاده از دستگاه میکروکجلدال محاسبه شد (Bremner, 1996). برای تعیین فسفر، از روش رنگ‌سنجی در طول‌موج ۴۷۰ نانومتر و با استفاده از دستگاه طیف‌سنجی استفاده شد. نمونه گیاهی از روش هضم در بالن ژوژه با اسید سولفوریک، اسید سالیسیلیک و آب‌اکسیژنه استفاده گردید. پس از تهیه عصاره، با روش نورسنجی (رنگ زرد وانادات مولیبدات) و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری انجام شد (Jones *et al*., 1991). اندازه‌گیری پتاسیم به روش هضم‌خشک با استفاده از کوره در دمای ۵۵۰ درجه و محلول کردن در اسید کلریدریک ۰/۵ مولار با دستگاه فیلم‌فتومتر انجام گردید (Jones *et al*., 1991). برای استخراج اسانس از روش تقطیر با آب و دستگاه کلونجر استفاده شد (Darzi & Sadeghinekoo, 2016). پس از پایان آزمایش ها، آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم افزار آماری SAS 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 چین و روش‌های حاصلخیزی خاک بر ارتفاع بوته در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود ولی در اثر متقابل چین با روش‌های حاصلخیزی خاک تأثیر معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین ارتفاع بوته تحت تأثیر چین (جدول ۴) نشان داد که در چین دوم ارتفاع بوته به میزان ۹/۴۵٪ نسبت به چین اول کاهش پیدا کرد. با حاصلخیزی خاک، ارتفاع بوته نسبت به شاهد افزایش پیدا کرد. در روش تغذیه شیمیایی بالاترین ارتفاع بوته به میزان ۴۶/۱۵ 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 گیاهی با کود دامی حداکثر ارتفاع بوته به میزان ۴۲/۲۸ سانتی‌متر از کاربرد ۴۰ تن در هکتار کود دامی حاصل گردید که با تیمار ۲۰ تن در هکتار کود دامی (۴۱/۵ سانتی‌متر) در یک گروه آماری قرار داشت. بیشترین ارتفاع بوته در تغذیه گیاه به روش تلفیقی کود شیمیایی و دامی به میزان ۴۴/۶۳ و ۴۵/۱۷ سانتی‌متر از تیمارهای ۸۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۶۴ کیلوگرم فسفر و ۸۰ کیلوگرم پتاسیم همراه با ۲۰ تن در هکتار کود دامی و همچنین ۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۳۲ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۸۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم در حضور ۳۰ تن در هکتار کود دامی حاصل شد. در تغذیه گیاهی به روش تلفیقی شیمیایی، دامی و بیولوژیکی بالاترین ارتفاع بوته به میزان ۴۱/۵، ۴۰/۵۷ و ۴۱/۸۷ سانتی‌متر به‌ترتیب از عدم کاربرد و کاربرد ۳۰ تن در هکتار کود دامی همراه با میکوریزا آربوسکولار در حضور ۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۳۲ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۴۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم و کاربرد میکوریزا آربوسکولار همراه با ۳۰ تن در هکتار کود دامی در عدم حضور کودهای شیمیایی بدست آمد (جدول‌های ۵-۴). بدین‌ترتیب ارتفاع بوته در روش‌های تغذیه شیمیایی ۲۲/۸۴٪، کود دامی ۱۲/۵۴٪ و ۱۰/۴۶٪، تلفیقی کود شیمیایی با دامی ۱۸/۷۹٪ و ۲۰/۲۳٪ و تلفیقی کود شیمیایی با دامی و بیولوژیک ۱۰/۴۶، ۷/۹۹ و ۱۱/۴۵ درصد افزایش نسبت به شاهد نشان داد.

تعداد شاخه فرعی

نتایج تجزیه واریانس حکایت از آن داشت که اثر چین در سطح احتمال ۱٪ و اثر روش‌های حاصلخیزی خاک در سطح احتمال ۵٪ بر تعداد شاخه فرعی معنی‌دار شد ولی اثر متقابل

چین با روش‌های حاصلخیزی خاک تأثیر معنی‌داری بر تعداد شاخه فرعی نداشت (جدول ۳). همان‌طور که از نتایج مقایسه میانگین تعداد شاخه فرعی تحت تأثیر چین در جدول ۴ مشهود است، چین اول به میزان ۲۷/۱۳٪ نسبت به چین دوم در تعداد شاخه فرعی برتری داشت. با حاصلخیزی خاک به تعداد شاخه فرعی نسبت به شاهد افزوده شد. در روش تغذیه شیمیایی بالاترین تعداد شاخه فرعی به میزان ۱۷/۷ شاخه مربوط به تیمار شماره ۴ (۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۹۶ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم) بود. در تغذیه گیاهی با کود دامی تیمارهای ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ کیلوگرم در هکتار در یک گروه آماری قرار داشتند. بیشترین تعداد شاخه فرعی در تغذیه گیاه به روش تلفیقی کود شیمیایی و دامی به میزان ۱۷/۱۷ و ۱۷/۰۸ شاخه از تیمارهای ۸۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۶۴ کیلوگرم فسفر و ۸۰ کیلوگرم پتاسیم همراه با ۲۰ تن در هکتار کود دامی و همچنین ۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۳۲ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۴۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم در حضور ۳۰ تن در هکتار کود دامی حاصل گردید. در تغذیه گیاهی به روش تلفیقی شیمیایی، دامی و بیولوژیکی بالاترین تعداد شاخه فرعی به میزان ۱۶/۲۳، ۱۴/۸ و ۱۵/۶۷ شاخه به‌ترتیب از عدم کاربرد و کاربرد ۳۰ تن در هکتار کود دامی همراه با میکوریزا آربوسکولار در حضور ۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۳۲ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۴۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم و کاربرد میکوریزا آربوسکولار همراه با ۳۰ تن در هکتار کود دامی در عدم حضور کودهای شیمیایی به‌دست آمد (جدول ۵). بدین‌ترتیب تعداد شاخه فرعی در روش‌های تغذیه شیمیایی ۳۴/۹۱٪، تلفیقی کود شیمیایی با دامی ۳۰/۸۷٪ و ۳۰/۱۸٪ و تلفیقی کود شیمیایی با دامی و بیولوژیک ۲۳/۷، ۱۲/۸ و ۱۹/۴۴ درصد افزایش نسبت به شاهد نشان داد.

وزن خشک بوته

براساس نتایج تجزیه واریانس، اثر چین و روش‌های حاصلخیزی خاک بر وزن خشک بوته در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود ولی اثر متقابل چین با روش‌های حاصلخیزی خاک تأثیر معنی‌دار نداشت (جدول ۳). چین دوم به میزان ۸/۹٪ دارای وزن خشک بوته بیشتری نسبت به چین اول بود (جدول ۴). با روش‌های حاصلخیزی خاک، وزن خشک بوته نسبت به شاهد افزایش پیدا کرد. در روش تغذیه شیمیایی بالاترین وزن خشک بوته به میزان ۳۷/۱۳ گرم مربوط به تیمار شماره ۴ (۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۹۶ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم) بود. در تغذیه گیاهی با کود دامی حداکثر وزن خشک بوته به میزان ۳۵/۸۵ گرم از کاربرد ۴۰ تن در هکتار کود دامی حاصل شد. بیشترین وزن خشک بوته در تغذیه گیاه به روش تلفیقی کود شیمیایی و دامی به میزان ۳۸/۲ گرم در تیمارهای ۸۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۶۴ کیلوگرم فسفر و ۸۰ کیلوگرم پتاسیم همراه با ۲۰ تن در هکتار کود دامی حاصل گردید (جدول ۵). بدین‌ترتیب وزن خشک بوته در روش‌های تغذیه شیمیایی ۴۲/۸۱٪، کود دامی ۳۷/۸۸٪، تلفیقی کود شیمیایی با دامی ۴۶/۹۲٪ و تلفیقی کود شیمیایی با دامی و بیولوژیک ۲۱/۸، ۱۸/۹۶ و ۲۵/۳۸ درصد افزایش نسبت به شاهد نشان داد.

محیط کانوپی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که چین، روش‌های حاصلخیزی خاک و اثر متقابل چین با روش‌های حاصلخیزی خاک بر محیط کانوپی تأثیر معنی‌دار نداشت (جدول ۳).

شاخص سطح برگ

نتایج تجزیه واریانس بیانگر آن بود که اثر چین در سطح احتمال ۱٪ روی شاخص سطح برگ تأثیر معنی‌دار داشت ولی در اثر روش‌های حاصلخیزی خاک و اثر متقابل چین با روش‌های حاصلخیزی خاک بر شاخص سطح برگ تأثیر معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین شاخص سطح برگ تحت تأثیر چین (جدول ۴) نشان داد که در چین اول شاخص سطح برگ به میزان ۱۶/۸۵٪ نسبت به چین دوم بیشتر بود.

محتوی کلروفیل

با توجه به نتایج بدست آمده از تجزیه واریانس مشخص شد که اثر چین بر محتوی کلروفیل در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود ولی اثر روش‌های حاصلخیزی خاک و اثر متقابل چین با روش‌های حاصلخیزی خاک بر کلروفیل معنی‌دار نشد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین کلروفیل تحت تأثیر چین (جدول ۴) نشان داد که در چین دوم کلروفیل به میزان ۱۰۷/۶۲٪ نسبت به چین اول بیشتر بود.

وزن هزاردانه و درصد اسانس

نتایج تجزیه واریانس بیانگر آن بود که اثر روش‌های حاصلخیزی خاک بر وزن هزاردانه و درصد اسانس معنی‌دار نبود (جدول ۶).

عملکرد اسانس

نتایج تجزیه واریانس حکایت از آن داشت که اثر روش‌های حاصلخیزی خاک بر عملکرد اسانس در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود (جدول ۶). نتایج مقایسه میانگین عملکرد اسانس تحت تأثیر روش‌های حاصلخیزی خاک نشان داد که با تغذیه گیاه عملکرد اسانس نسبت به شاهد افزایش پیدا کرد. در روش تغذیه شیمیایی بالاترین عملکرد اسانس به میزان ۶/۰۴ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار شماره ۴ (۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۹۶ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم) بود. در تغذیه گیاهی با کود دامی عملکرد اسانس به میزان ۵/۹۳ کیلوگرم در هکتار از کاربرد ۴۰ تن در هکتار کود دامی حاصل شد. بیشترین عملکرد اسانس در تغذیه گیاه به روش تلفیقی کود شیمیایی و دامی به میزان ۵/۹۲ 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 بدست آمد. در تغذیه گیاهی به روش تلفیقی شیمیایی، دامی و بیولوژیکی بالاترین عملکرد اسانس به میزان ۵/۸۸ کیلوگرم در هکتار از کاربرد ۳۰ تن در هکتار کود دامی همراه با میکوریزا آربوسکولار در عدم حضور کودهای شیمیایی بدست آمد (جدول ۷). بدین‌ترتیب عملکرد اسانس در روش‌های تغذیه شیمیایی ۵۳/۳٪، کود دامی ۵۰/۵۱٪، تلفیقی کود شیمیایی با دامی ۵۰/۲۵٪ و تلفیقی کود شیمیایی با دامی و بیولوژیک ۴۹/۲۴٪ افزایش نسبت به شاهد نشان داد.

نیتروژن

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که روش‌های تغذیه گیاهی بر مقدار نیتروژن در سطح احتمال ۱٪ تأثیر معنی‌دار داشت (جدول ۶). همان‌طور که از نتایج مشهود است، با تغذیه گیاه به نیتروژن نسبت به شاهد افزوده شد، به‌طوری که بیشترین نیتروژن در تغذیه شیمیایی به میزان ۲/۶۱٪ مربوط به کاربرد ۸۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۶۴ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۸۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم بود. در حضور کود دامی بالاترین نیتروژن به میزان ۲/۶۷٪ در مصرف ۳۰ تن در هکتار کود دامی مشاهده گردید. در روش تلفیقی کود شیمیایی با دامی حداکثر نیتروژن 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 ۲/۸۹٪ بدست آمد. در روش تلفیقی کود شیمیایی با دامی و بیولوژیک بیشترین نیتروژن را کاربرد ۳۰ تن در هکتار کود دامی همراه با میکوریزا آربوسکولار در عدم حضور کود شیمیایی به میزان ۲/۶۵٪ به خود اختصاص داد (جدول ۷).

پتاسیم

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که روش‌های تغذیه گیاهی بر پتاسیم در سطح احتمال ۱٪ تأثیر معنی‌داری روی جذب پتاسیم داشت (جدول ۶). با تغذیه گیاه به غلظت پتاسیم نسبت به شاهد افزوده گردید، به‌طوری که بیشترین پتاسیم در تغذیه شیمیایی به میزان ۲٪ مربوط به کاربرد ۸۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۶۴ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۸۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم بود. در حضور کود دامی بالاترین پتاسیم به میزان ۲/۱۳٪ در مصرف ۳۰ تن در

هکتار کود دامی مشاهده شد. در روش تلفیقی کود شیمیایی با دامی حداکثر پتاسیم 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 ۲/۲۹٪ بدست آمد. در روش تلفیقی کود شیمیایی با دامی و بیولوژیک بیشترین پتاسیم در تیمار ۳۰ تن در هکتار کود دامی همراه با میکوریزا آربوسکولار در عدم حضور کود شیمیایی به میزان ۲/۰۶ مشاهده شد (جدول ۷).

فسفر

براساس نتایج تجزیه، اثر روش‌های تغذیه گیاهی بر جذب فسفر در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار شد (جدول ۶). نتایج مقایسه میانگین فسفر (جدول ۷) بیانگر آن بود که با تغذیه گیاه به فسفر نسبت به شاهد افزوده گردید، به‌طوری که بیشترین فسفر در تغذیه شیمیایی به میزان ۰/۲۵۳٪ مربوط به کاربرد ۸۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۶۴ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۸۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم بود. در حضور کود دامی بالاترین فسفر به میزان ۰/۲۶۳٪ در مصرف ۳۰ تن در هکتار کود دامی مشاهده شد. در روش تلفیقی کود شیمیایی با دامی حداکثر فسفر 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 ۰/۳۷۷٪ بدست آمد. در روش تلفیقی کود شیمیایی با دامی و بیولوژیک بیشترین فسفر را کاربرد ۳۰ تن در هکتار کود دامی همراه با میکوریزا آربوسکولار در عدم حضور کود شیمیایی به میزان ۰/۲۶٪ به خود اختصاص داد.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس تأثیر روش‌های حاصلخیزی خاک بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی زوفا در چین‌های مختلف

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع گیاه	تعداد شاخه فرعی	وزن خشک بوته	محیط کانوپی	شاخص سطح برگ	کلروفیل
بلوک	۲	۴۷/۹۶*	۲۹/۰۲**	۲۰۱/۲۵**	۳۳۰/۴۳**	۰/۱۹ns	۰/۲۶ns
چین	۱	۳۹۹/۰۲**	۵۵۴/۴**	۱۷۹/۰۶*	۳۰/۳۸ns	۳/۶۷**	۱۲۲/۸۳**
بلوک× چین	۲	۱۱/۳۸	۷/۱۳	۴۵/۹۲	۸۸/۵۳	۰/۰۲	۰/۶۷
روش‌های حاصلخیزی خاک	۱۵	۳۶/۶۵**	۱۰/۱۷*	۶۳/۲۳*	۶۳/۲۸ns	۰/۰۶ns	۰/۳ns
چین× روش‌های حاصلخیزی خاک	۱۵	۱۵/۱۸ns	۳/۹ns	۲۲/۴۷ns	۴۳/۱۱ns	۰/۰۲ns	۰/۲۳ns
خطا	۶۰	۱۲/۹۴	۵/۲۴	۳۰/۰۳	۴۵/۲۴	۰/۱۱	۰/۶۳
% CV		۸/۷۶	۱۴/۹۴	۱۷/۱۱	۹/۵	۱۹/۹۸	۲۴/۵۳

ns، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪ را نشان می‌دهند.

جدول ۴- مقایسه میانگین‌های تأثیر چین بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی زوفا

چین	ارتفاع بوته (cm)	تعداد شاخه فرعی	وزن خشک بوته (g)	شاخص سطح برگ (cm2)	کلروفیل
اول	۴۳/۰۹a	۱۷/۷۳a	۳۰/۶۷b	۱/۸۷a	۲/۱b
دوم	۳۹/۰۲b	۱۲/۹۲b	۳۳/۴a	۱/۴۸b	۴/۳۶a

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

جدول ۵- مقایسه میانگین‌های تأثیر روش‌های حاصلخیزی خاک بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی زوفا

روش‌های حاصلخیزی خاک	شماره تیمار	کودهای شیمیایی (kg/ha)			کود دامی (ton/ha)	کود بیولوژیک	ارتفاع بوته (cm)	تعداد شاخه فرعی	وزن خشک بوته (g)
		N	P	K					
شاهد	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۳۷/۵۷c	۱۳/۱۲c	۲۶d
شیمیایی	۲	۴۰	۳۲	۴۰	۰	۰	۳۹/۵۷c	۱۶/۰۳abc	۳۳/۲۵abcd
	۳	۸۰	۶۴	۸۰	۰	۰	۳۹/۳۷c	۱۴/۶۳abc	۲۹/۱۴cd
	۴	۱۲۰	۹۶	۱۲۰	۰	۰	۴۶/۱۵a	۱۷/۷a	۳۷/۱۳ab
	۵	۱۶۰	۱۲۸	۱۶۰	۰	۰	۳۸/۸۷c	۱۴/۱bc	۳۱/۰۹abcd
تلفیق شیمیایی و دامی	۶	۱۲۰	۹۶	۱۲۰	۱۰	۰	۳۹/۶۷c	۱۴/۳۷bc	۳۰/۲۹bcd
	۷	۸۰	۶۴	۸۰	۲۰	۰	۴۴/۶۳ab	۱۷/۱۷ab	۳۸/۲a
	۸	۴۰	۳۲	۴۰	۳۰	۰	۴۵/۱۷ab	۱۷/۰۸ab	۳۵/۴۲abc
دامی	۹	۰	۰	۰	۴۰	۰	۴۲/۲۸abc	۱۵/۹۳abc	۳۵/۸۵abc
	۱۰	۰	۰	۰	۳۰	۰	۳۹/۷۸c	۱۴/۹۸abc	۳۱/۵abcd
	۱۱	۰	۰	۰	۲۰	۰	۴۱/۵abc	۱۴/۸۳abc	۳۰/۶۹bcd
	۱۲	۰	۰	۰	۱۰	۰	۳۸/۶c	۱۴/۸۷abc	۲۹/۸۴bcd
بیولوژیکی	۱۳	۰	۰	۰	۰	Mycorrhizae Arbuscular	۳۹/۸c	۱۳/۶۳c	۲۹cd
	۱۴	۴۰	۳۲	۴۰	۰	Mycorrhizae Arbuscular	۴۱/۵abc	۱۶/۲۳abc	۳۱/۶۷abcd
	۱۵	۴۰	۳۲	۴۰	۳۰	Mycorrhizae Arbuscular	۴۰/۵۷abc	۱۴/۸abc	۳۰/۹۳abcd
	۱۶	۰	۰	۰	۳۰	Mycorrhizae Arbuscular	۴۱/۸۷abc	۱۵/۶۷abc	۳۲/۶abcd

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

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس تأثیر روش‌های حاصلخیزی خاک بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی زوفا

منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن هزاردانه	درصد اسانس	عملکرد اسانس	نیتروژن	پتاسیم	فسفر
بلوک	۲	۰/۰۲ns	۰/۰۲ns	۰/۱۲ns	۰/۰۳ns	۰/۰۶ns	۰/۰۰۰۰۱ns
روش‌های حاصلخیزی خاک	۱۵	۰/۰۱ns	۰/۰۵ns	۱/۵۴*	۰/۱۵**	۰/۱۳**	۰/۰۰۲*
خطا	۳۰	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۶۶	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۰۱
% CV		۲۰/۸۲	۱۰/۶۲	۱۵/۸۱	۹/۲	۱۱/۹۷	۱۳/۲۲

ns، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪ را نشان می‌دهند.

جدول ۷- مقایسه میانگین‌های تأثیر روش‌های حاصلخیزی خاک بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی زوفا

روش‌های حاصلخیزی خاک	شماره تیمار	کودهای شیمیایی (kg/ha)			کود دامی (ton/ha)	کود بیولوژیک	عملکرد اسانس (kg/ha)	نیتروژن (٪)	پتاسیم (٪)	فسفر (٪)
		N	P	K						
شاهد	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۳/۴۸c	۲/۱۱e	۱/۵۵e	۰/۱۹۳d
شیمیایی	۲	۴۰	۳۲	۴۰	۰	۰	۴/۵۴abc	۲/۲۳de	۱/۷۱cde	۰/۲۱۷bcd
	۳	۸۰	۶۴	۸۰	۰	۰	۴/۴۸abc	۲/۶۱abcd	۲abcd	۰/۲۵۳abcd
	۴	۱۲۰	۹۶	۱۲۰	۰	۰	۶/۰۴a	۲/۳۳bcde	۱/۸۱bcde	۰/۲۴۳bcd
	۵	۱۶۰	۱۲۸	۱۶۰	۰	۰	۵/۳۵ab	۲/۲۷cde	۱/۷۶bcde	۰/۲۲bcd
تلفیق شیمیایی و دامی	۶	۱۲۰	۹۶	۱۲۰	۱۰	۰	۴/۷۸abc	۲/۴۵bcde	۱/۸۵bcde	۰/۲۳bcd
	۷	۸۰	۶۴	۸۰	۲۰	۰	۵/۸۲ab	۲/۷۵ab	۲/۲۹a	۰/۲۷۷ab
	۸	۴۰	۳۲	۴۰	۳۰	۰	۵/۹۲a	۲/۸۹a	۲/۱۵ab	۰/۳۰۷a
دامی	۹	۰	۰	۰	۴۰	۰	۵/۹۳a	۲/۳cde	۱/۷۸bcde	۰/۲۲۷bcd
	۱۰	۰	۰	۰	۳۰	۰	۵/۱۳ab	۲/۶۷abc	۲/۱۳abc	۰/۲۶۳abc
	۱۱	۰	۰	۰	۲۰	۰	۵/۰۴ab	۲/۳۹bcde	۱/۸۲bcde	۰/۲۲۳bcd
	۱۲	۰	۰	۰	۱۰	۰	۵/۰۹ab	۲/۴۴bcde	۱/۹۱abcde	۰/۲۳۳bcd
بیولوژیکی	۱۳	۰	۰	۰	۰	Mycorrhizae Arbuscular	۴/۲۵bc	۲/۲۹cde	۱/۷۷bcde	۰/۲۴bcd
	۱۴	۴۰	۳۲	۴۰	۰	Mycorrhizae Arbuscular	۵/۰۱abc	۲/۲۲de	۱/۶۵de	۰/۲۳۷bcd
	۱۵	۴۰	۳۲	۴۰	۳۰	Mycorrhizae Arbuscular	۵/۴۸ab	۲/۳cde	۱/۶۵de	۰/۲۰۳cd
	۱۶	۰	۰	۰	۳۰	Mycorrhizae Arbuscular	۵/۸۸a	۲/۶۵abcd	۲/۰۶abcd	۰/۲۶abc

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

بحث

براساس نتایج با حاصلخیزی خاک خصوصیات مورفولوژیک زوفا بهبود پیدا کرد. محققان بیان کردند که حضور کودهای زیستی باعث بهبود خصوصیات خاک مانند محتوای ماده آلی و افزایش دسترسی عناصر نیتروژن و فسفر می‌شود. در نتیجه با افزایش رشد ریشه موجب جذب آب و بهبود ارتفاع بوته می‌گردد. افزایش ارتفاع بوته در گیاهان وابسته به تراکم و طول میانگره‌هاست. تأثیر کود نیتروژن‌دار بر طویل شدن میانگره‌ها است که باعث افزایش ارتفاع بوته می‌گردد (Wortman *et al*., 2011). بهینه بودن فسفر در محیط ریشه سبب گسترش بیشتر شده که این می‌تواند جذب بیشتر و بهینه مواد غذایی و آب از لایه‌های پایینی خاک، رشد بیشتر اندام‌های هوایی، افزایش فتوسنتز و تولید ماده خشک را به دنبال داشته باشد که اثر آن در افزایش رشد و ارتفاع گیاه مشهود بود (Tariq *et al*., 2011). پتاسیم انتقال مواد حاصل از فتوسنتز را تسریع می‌کند که منجر به رشد بهتر گیاهان می‌شود (Philippar *et al*., 2007).

بنابراین به نظر می‌رسد که افزایش تعداد ساقه فرعی در اثر کاربرد تلفیقی کود می‌تواند در نتیجه بهبود رشد ریشه، جذب عناصر غذایی و به‌تبع آن افزایش فتوسنتز و تولید مواد پرورده باشد (Miri & Darzi, 2017). افزایش تعداد شاخه فرعی به نظر می‌رسد به‌دلیل اثرگذاری بهتر روی میزان کلروفیل و جذب بیشتر مواد غذایی در گیاه باشد (Diwan *et al*., 2018). البته افزایش ماده خشک در گیاهان تلقیح شده با میکوریزا می‌تواند به‌دلیل افزایش جذب آب و مواد غذایی و انتقال بهتر این مواد در اندام گیاهی و همچنین افزایش فتوسنتز گیاه که منجر به ساخته شدن مواد غذایی بیشتر می‌شود، باشد که این موضوع مورد تأیید سایر محققان نیز می‌باشد (Auge *et al*., 2015). میکوریزا با افزایش جذب عناصر غذایی باعث افزایش صفات رویشی و عملکرد در گیاه می‌شود، به‌نحوی که نتایج مشابهی توسط محققان دیگر در زیره بدست آمده است (Talaei *et al*., 2018). تأثیر کاربرد کود نیتروژن بر وزن بوته ناشی از این است که با مصرف نیتروژن خصوصیات رویشی افزایش می‌یابد که همین موضوع باعث می‌گردد وزن بوته افزایش پیدا کند (Ghobadi *et al*., 2010). ازاین‌رو به نظر می‌رسد کودهای دامی بیشتر عناصر غذایی مورد نیاز گیاه را به نسبتی که جذب می‌کند دارا هستند و با دارا بودن عناصر پرمصرف و به‌مقدار کمتری ریزمغذی‌ها، خاک را در درازمدت در جهت تعادل پیش خواهد برد. نتایج مشابهی در رابطه با اثر مثبت کود دامی بر افزایش وزن خشک بوته در گیاه دارویی ریحان گزارش شده است (Pandey *et al*., 2016). کودهای دامی منبع غنی از عناصر پرمصرف و کم‌مصرف هستند که سبب افزایش ظرفیت نگهداری آب و ظرفیت تبادل کاتیونی، بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و در نهایت منجر به افزایش کمّیت و کیفیت محصولات می‌شوند (Schlegel *et al*., 2015). علت بالاتر بودن وزن خشک بوته در تیمار کود تلفیقی می‌تواند این باشد که علاوه‌بر 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).

نتایج نشان داد که با اعمال تیمارهای حاصلخیزی خاک، به عملکرد اسانس افزوده شد. پژوهشگران گزارش کردند که کاربرد کودهای زیستی با در اختیار قرار دادن نیتروژن برای گیاهان، ATP و NADPH بیشتری توسط گیاه تولید شده، در نتیجه انرژی بیشتری برای تولید واحدهای سازنده ترکیب‌های ترپنوئیدی که در تشکیل اسانس نقش دارند مهیا شده و از این طریق می‌توانند موجب افزایش عملکرد اسانس شوند (Rydlova *et al*., 2016). از سوی دیگر کاربرد کودهای زیستی با نقش مثبتی که بر سایر ریزجانداران مفید در خاک می‌گذارند، امکان دسترسی بهتر به عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف را به‌وسیله گیاه فراهم نموده، در نتیجه در بهبود عملکرد اسانس مؤثر واقع

می‌شوند (Singh *et al*., 2011). بکاربردن کودهای شیمیایی در گیاهان دارویی و معطر با افزایش فتوسنتز، میزان کلروفیل، فعالیت آنزیم رابیسکو، ماده خشک، رشد و توسعه برگ و عملکرد اسانس را افزایش می‌دهد (Ozguven *et al*., 2006). کاربرد کود دامی علاوه بر بهبود عملکرد کمّی، بر عملکرد کیفی گیاه نیز تأثیر مثبت دارد و کودهای دامی نیز با توجه به داشتن مزایای زیاد مانند نگهداری آب در خاک و داشتن مواد غذایی مقوی، میزان اسانس گیاه را از طریق افزایش رشد رویشی که بیشترین تأثیر را بر اسانس دارد، موجب می‌شوند (Schlegel *et al*., 2015).

مشاهده شد که با اعمال تیمارهای حاصلخیزی خاک جذب عناصر غذایی افزایش یافت. نقش میکوریزا در افزایش مقدار نیتروژن در گیاهان با تحریک بیان آنزیم نیترات رداکتاز (افزایش جذب نیتروژن به فرم نیترات یا آمونیوم توسط میسلیوم‌های خارجی قارچ با مصرف نیترات توسط آنزیم نیتراترداکتاز) و افزایش سطوح آنزیم دیکینازگلوکان (جهت جلوگیری از رشد پاتوژن‌های گیاهی) به خوبی مشخص شده است (Darzi & Sadeghinekoo, 2016). مصرف مواد آلی سبب افزایش کربن آلی و نیتروژن و در نتیجه فراهمی عناصر غذایی خاک می‌شود (Carvalho *et al*., 2016). قارچ‌های میکوریزا در افزایش جذب مواد معدنی به‌ویژه فسفر و تجمع ماده خشک بسیاری از محصولات در خاک‌های با فسفر کم، تأثیر مثبت دارند. تلقیح ریشه گیاهان با میکوریزا از طریق افزایش سطح جذب و با افزایش ناحیه تخلیه فسفر به‌وسیله هیف‌های خارجی، این عنصر را در اختیار گیاه قرار می‌دهد (Perramon *et al*., 2016). کود دامی علاوه‌بر بهبود عملکرد کمی، با توجه به داشتن مزایای زیاد مانند نگهداری آب در خاک و داشتن مواد غذایی مقوی، موجب افزایش جذب فسفر می‌شود (Schlegel *et al*., 2015). نتایج تحقیقات آشکار می‌کند که کاربرد میکوریزا موجب افزایش جذب عناصری همانند نیتروژن و فسفر توسط گیاه می‌شود (Yadav & Aggarwal, 2015). کودهای دامی از طریق اصلاح ساختمان خاک، احیاء بارآوری خاک، افزایش پویایی و تنوع زیستی خاک، باعث افزایش بهره‌وری خاک شده و استفاده پایدار از این منبع را فراهم می‌کنند (Ahmadian, 2011).

به‌طور کلی بالاترین خصوصیات کمّی و کیفی در روش تغذیه شیمیایی مربوط به کاربرد ۸۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۶۴ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۸۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم بود. در تغذیه گیاهی با کود دامی از کاربرد ۳۰ تن در هکتار کود دامی بدست آمد. در تغذیه گیاه به روش تلفیقی 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 تلفیقی شیمیایی، دامی و زیستی تیمار ۳۰ تن در هکتار کود دامی همراه با میکوریزا آربوسکولار در عدم حضور کودهای شیمیایی مناسب‌ترین تیمار مشاهده گردید. کاربرد کودهای تیمارهای کود آلی و زیستی با تأمین تدریجی عناصر غذایی باعث افزایش عملکرد و اجزای عملکرد شدند. بنابراین به نظر می‌رسد در صورت استفاده کمتر از کودهای شیمیایی، احتمالاً زمینه برای افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌های مورد نظر فراهم شده و این امر منجر به بهبود سیستم ریشه‌ای و متعاقباً جذب بهتر عناصر غذایی مورد نیاز برای گیاه را به دنبال داشته و در نهایت منجر به افزایش عملکرد کمّی و کیفی گیاه شده است. همچنین کود آلی از طریق افزایش خلل و فرج و بهبود ظرفیت نگهداری آب، موجب رشد و گسترش بیشتر ریشه گیاهان در خاک شده و جذب آب و عناصر غذایی را در گیاه بهبود می‌بخشد و از این طریق موجب افزایش عملکرد کمّی و کیفی شده است. بنابراین با توجه به نتایج ذکر شده، تلفیق کودهای آلی و زیستی با کودهای شیمیایی ضمن کاهش پیامدهای اقتصادی و زیست محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی موجب افزایش خصوصیات رویشی و عملکردی و میزان اسانس زوفا می‌شود. ازاین‌رو پیشنهاد می‌گردد در تحقیقات آینده تأثیر سایر کودهای آلی و زیستی به صورت تلفیقی با کودهای شیمیایی بر گیاهان دارویی به‌ویژه زوفا بررسی و با نتایج این پژوهش مورد مقایسه گیرد.

منابع مورد استفاده

- Abd El-Azim, W., Khater, M., Rania, M.R. and Badawy, M.Y.M., 2017. Effect of bio-fertilization and different licoric extracts on growth and productivity of *Foeniculum vulgare* Mill. plant. Middle East Journal of Agriculture Research, 6(1): 1-12.
- Ahmadian, A., 2011. The effect of organic and chemical fertilizers and the remains of them on eco-physiological properties of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) under drought stress. Agriculture Ph.D. thesis. University of Zabol, Zabol, Iran.
- Akbarpour, V., Ashnavar, M. and Bahmanyar, M.A., 2016. Effect of manure and chemical fertilizer on physiological and phytochemical properties of coneflower. Journal of Crop Improvement, 18(3): 701-711.
- Auge, R.M., Toler, H.D. and Saxton, A.M., 2015. Arbuscular mycorrhizal symbiosis alters stomatal conductance of host plants more under drought than under amply watered conditions: a meta-analysis. Mycorrhiza, 25: 13-24.
- Babovic, N., Djilas, S., Jadranin, M., Vajs, V., Ivanovic, J., Petrovic, S. and Zizovic, I., 2010. Supercritical carbon dioxide extraction of antioxidant fractions from selected Lamiaceae herbs and their antioxidant capacity. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 11: 98-107.
- Bremner, J.M., 1996. Nitrogen total: 1085-1121. In: Sparks, D.L., Page, A.L., Helmke, P.A., Loeppert, R.H., Soltanpour, P.N., Tabatabai, M.A., Johnston, C.T. and Sumner, M.E., (Eds.). Methods of Soil Analysis. Part3. Chemical Methods. SSSA and ASA, Madison, USA, 1390p.
- Carvalho, W.G., De Pinho Costa, K.A., Epifanio, P.S., Perim, R.C., Teixeira, D.A.A. and Medeiros, L.T., 2016. Silage quality of corn and sorghum added with forage peanuts. Revista Caatinga, 29(2): 465-472.
- 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.
- Darzi, M.T. and Sadeghinekoo, B., 2016. Effects of organic amendments and biofertilizer application on some morphological traits and yield of hyssop (*Hyssopus officinalis* L.). Journal of Horticultural Science, 30(3): 491-500.
- Diwan, G., Bisen, P. and Maida, P. 2018. Effect of nitrogen doses and row spacing on growth and seed yield of coriander (*Coriandrum sativum* L.). International Journal of Chemical Studies, 6(4): 2768-2772.
- Ebadi, M.T., Azizi, M., Sefidkon, F. and Ahmadi, N., 2016. Effects of organic and chemical fertilizers on leaf yield, essential oil content and composition of lemon verbena (*Lippia citriodora* Kunth.). Journal of Horticulture Science, 30: 293-302.
- Gheisari Zardak, S., Movahhedi Dehnavi, M., Salehi, A. and Gholamhoseini, M., 2017. Responses of field grown fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) to different mycorrhiza species under varying intensities of drought stress. Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants, 5: 16-25.
- Ghobadi, M., Eghbal Ghobadi, M. and Sadat Sayah, S., 2010. Nitrogen application management in triticale under post- anthesis drought stress. Word Academy of Science, Engineeing and Technology, 70: 253-254.
- Gonul, H., Munevver, S., Ersan, B., Dimitra, D. and Atala, S., 2012. Automated and standard extraction of antioxidant phenolic compounds of *Hyssopus officinalis* L. ssp. *angustifolius*. Journal of Industrial. Industrial Crops and Products, 43(1): 427-433.
- Govahi, M., Ghalavand, A., Najafi, F. and Sorooshzade, A., 2015. Comparing different soil fertility systems in Sage (*Salvia officinalis*) under water deficiency. Industrial Crop and Products, 74: 20-27.
- Heidari, Z., Besharati, H. and Maleki Farahani, S., 2014. Effect of some chemical fertilizer and biofertilizer on quantitative and qualitative characteristics of saffron. Saffron Agronomy and Technology, 2(3): 187-189.
- Jankovasky, M. and Landa, T., 2012. Genus Hy sopusl. Recent knowledge. Horticultural science. 29: 119-123.
- Jones, J.R., Wolf, J.B. and Mills, H.A., 1991. Plant Analysis: A Practical Sampling, Preparation, Analysis and Interpretation Guide. Micro and Macro Publishing Inc. Athens, Georgia, 453p.
- Koochaki, A. and Sarmadnia, G., 2008. Physiology of Crop Plants. Mashhad, Jahad Daneshgahi Press, 400p.
- Larrainzar, E. and Wienkoop, S., 2017. A proteomic view on the role of legume symbiotic interactions. Frontiers in Plant Sciences, 8: 210-214.
- Liu, R. and Lal, R., 2015. Potentials of engineered nanoparticles as fertilizers for increasing agronomic productions. Science of the Total Environment, 514: 131-139.
- Miri, H. and Darzi, M.T., 2017. Effects of manure and phosphate solubilizing biofertilizer on growth, yield and essential oil quality of dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.) in Firouzkuh region. Iranian Journal of Field Crop Science, 49(2): 35-45.
- Mostaphi-Rad, M., Tahmasebi-Sarvestani, Z., Modarres-Sanavy, S.A.M. and Ghalavand, A., 2010. Effect of nitrogen sources on seed yield, fatty acids composition and micro nutrients content in high yielding rapeseed (*Brassica napus* L.) varieties. Seed and Plant Production Journal, 26(4): 387-401.

mycorrhiza differentially affects synthesis of essential oils in coriander and dill. Mycorrhiza, 26(2): 123-131.
- Schlegel, A.J., Assefa, Y., Bond, H.D., Wetter, S.M. and Stone, L.R., 2015. Soil physicochemical properties after 10 years of animal waste application. Soil Science Society of America Journal, 79(3): 711-719.
- Shamim, A.H., Shamim, M. and Ahmed, F., 2010. Response to sulfur and organic matter status by the application of sulfidicmaterials in S-deficient soils in Bangladesh: possibilities and opportunities. Report and Opinion, 2(1): 88-93.
- Singh, J.S., Pandey, V.C. and Singh, D.P., 2011. Efficient soil microorganisms: a new dimension for sustainable agriculture and environmental development. Agriculture, Ecosystems and Environment, 140(3-4): 339-353.
- Talaei, H., Talaei, G.H., Gholami, S., Pishva, Z.K. and Amini Dehaghi, M., 2018. Effects of biological and chemical fertilizers nitrogen on yield quality and quantity in cumin (*Cuminum Cyminum* L.). Journal of Chemical Health Risks, 4(2): 55-64.
- Tariq, M., Rozina, G., Fazal, M., Fazal, J., Zahid, H., Nadia, N., Hamayoon, Kh. and Hayatullah, Kh., 2011. Effect of different phosphorus levels on the yield and yield components of maize. Sarhad Journal of Agriculture, 27: 165-170.
- Wang, M., Zheng, Q., Shen, Q. and Guo, S., 2013. The critical role of potassium in plant stress response. International Journal of Molecular Sciences, 14: 7370-7390.
- Wortman, S.E., Davis, A.S., Schutte, B.J. and Lindquist, J.L., 2011. Integrating management of soil nitrogen and weeds. Weed Science, 59: 162-170.
- Yadav, A. and Aggarwal, A., 2015. The associative effect of arbuscular mycorrhizae with *Trichoderma viride* and *Pseudomonas fluorescens* in promoting growth, nutrient uptake and yield of *Arachis hypogaea* L. New York Science Journal, 8(1): 101-108.
- Ozguven, M., Ayanoglu, F. and Ozel, A., 2006. Effects of nitrogen rates and cutting times on the essential oil yield and components of *Origanum syriacum* L. var. *bevanii*. Journal of Agronomy, 5: 101-105.
- Pandey, V. and Patra, D., 2015. Crop productivity, aroma profile and antioxidant activity in *Pelargonium graveolens* L'hér. under integrated supply of various organic and chemical fertilizers. Industrial Crops and Products, 67: 257-263.
- Pandey, V., Patel, A. and Patra, D.D., 2016. Integrated nutrient regimes ameliorate crop productivity, nutritive value, antioxidant activity and volatiles in basil (*Ocimum basilicum* L.). Industrial Crops and Products, 87: 124-131.
- Patel, V.I., Saravaita, S.N., Arvadia, M.K., Chaudhari, J.H., Ahir, M.P. and Bhalerao, R.E., 2010. Effects of conjuctive use of bio-organic and inorganic fertilizers on growth, yield and economics of Rabi Fennel (*Foeniculum vulgar* Mill.) under south Gujarat conditions. International journal of Agricultural Sciences, 6(1): 178-181.
- Perramon, B., Bosch-Serra, A.D., Domingo, F. and Boixadera, J., 2016. Organic and mineral fertilization management improvements to a double-annual cropping system under humid Mediterranean conditions. European Journal of Agronomy, 76: 28-40.
- Philippar, K., Fuchs, I., Luthen, H., Hoth, S., Bauer, C.S., Haga, K., Thiel, G., Ljung, K., Sandberg, G., Bottger, M., Becker, D. and Hedrich, R., 2007. Auxin-induced K1 channel expression represents an essential step in coleoptile growth and gravitropism. Proceedings of the National Academy of Sciences, 96: 12186-12191.
- Rezaei-Chiyaneh, E., Pirzad, A. and Farjami, A., 2014. Effect of nitrogen, phosphorus and sulfur supplier bacteria on seed yield and essential oil of cumin (*Cuminum cyminum* L.). Journal of Agricultural and Sustainable Production, 4: 72-83.
- Rydlova, J., Jelinkova, M., Dusek, K., Duskova, E., Vosatka, M. and Puschel, D., 2016. Arbuscular

Effects of soil fertility methods on yield and yield components of *Hyssopus officinalis* L. in different harvests

A. Rahmani[1], E. Sharifi Ashourabadi[2*], A. Ebrahimi[3] and M. Mirza[4]

1- Department of Agricultural and Horticultural Sciences, Faculty of Agricultural Sciences and Food Industry, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2*- Corresponding author, Medicinal Plants Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran, E-mail: sharifie2015@gmail.com

3- Department of Biotechnology and Plant Breeding, Science and Research branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

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

Received: September 2020 Revised: November 2020 Accepted: November 2020

Abstract

To investigate the effects of soil fertility methods on the yield and yield components of hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) in the different harvests, an experiment was conducted as a factorial in a randomized complete block design with three replications in Karaj (Alborz province) in 2017. The experimental treatments included the harvest time and soil fertility methods. The results showed that the first harvest had higher plant height, number of sub-branches, and leaf area index and the second harvest had higher plant dry matter weight and chlorophyll content. With the soil fertility, the plant height, number of sub-branches, plant dry matter weight, leaf area index, chlorophyll content, essential oil yield, and nutrients uptake increased significantly. The highest plant height and number of sub-branches was obtained from the application of 120 kg ha^{-1} nitrogen+ 96 kg ha^{-1} phosphorus+ 120 kg ha^{-1} potassium treatment. The maximum dry matter weight of the plant was allocated to the combination of 20 t ha^{-1} manure with 80 kg ha^{-1} nitrogen+ 64 kg ha^{-1} phosphorus+ 80 kg ha^{-1} potassium. The highest essential oil yield was obtained from the 120 kg ha^{-1} nitrogen+ 96 kg ha^{-1} phosphorus+ 120 kg ha^{-1} potassium treatment which was statistically in the same group as the treatments including 40 t ha^{-1} manure, combination of 30 t ha^{-1} manure with mycorrhiza, and combination of 40 kg ha^{-1} nitrogen+ 32 kg ha^{-1} phosphorus+ 40 kg ha^{-1} potassium with 30 t ha^{-1} manure. Based on the results, the desired quantitative and qualitative yield in hyssop could be achieved with the integrated feeding method and use of biological and organic fertilizers.

Keywords: Essential oil, potassium, hyssop (*Hyssopus officinallis* L.), phosphorus, nitrogen, mycorrhiza.