نشریه علمی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران
جلد ۳۵، شماره ۶، صفحه ۱۰۵۷-۱۰۴۴ (۱۳۹۸)

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/ijmapr.2020.127588.2626
شناسه دیجیتال (DOR): 98.1000/1735-0905.1398.35.1044.98.6.1576.1605

بهبود صفات فیزیولوژیک، عملکرد و اسانس زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) با کاربرد کودهای زیستی فسفره و آبیاری تکمیلی در شرایط کشت دیم

یارمحمد محرابی[۱]، محسن موحدی دهنوی[۲*]، امین صالحی[۳]، رهام محتشمی[۴] و محمد حمیدیان[۵]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

۲*- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

پست الکترونیک: Movahhedi1354@yu.ac.ir

۳- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

۴- مربی، بخش تحقیقات علوم زراعی-باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کهگیلویه و بویراحمد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یاسوج، ایران

۵- دانشجوی کارشناسی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

تاریخ دریافت: شهریور ۱۳۹۸ تاریخ اصلاح نهایی: آذر ۱۳۹۸ تاریخ پذیرش: آذر ۱۳۹۸

چکیده

به‌منظور بررسی اثر سطوح مختلف آبیاری تکمیلی و کودهای زیستی بر برخی صفات فیزیولوژیک عملکرد و درصد اسانس گیاه دارویی زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) آزمایشی در سال زراعی ۹۷-۹۶ در مزرعه تحقیقات و آموزش کشاورزی یاسوج اجرا شد. آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. فاکتور اصلی شامل آبیاری تکمیلی (دیم کامل، آبیاری تکمیلی در زمان ۵۰٪ گلدهی و آبیاری تکمیلی در زمان شروع دانه‌بندی) و فاکتور فرعی شامل کود زیستی (بدون کود زیستی فسفره، میکوریزا گونه *Glomus mosseae*، کود زیستی فسفره و تلفیق میکوریزا و کود زیستی فسفره) بود. کاربرد آبیاری تکمیلی همراه با کود زیستی باعث افزایش کلروفیل کل، کاروتنوئید و کاهش مقدار پرولین شد. همچنین استفاده از کود زیستی فسفره باعث افزایش کاتالاز در گیاه گردید. اثر آبیاری تکمیلی و فسفر زیستی بر تعداد چتر در بوته، ارتفاع بوته، وزن هزاردانه و تعداد دانه در چتر معنی‌دار بود؛ بیشترین وزن هزاردانه (۲/۵۵ گرم)، عملکرد دانه (۶۲۲/۴ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد زیستی (۱۲۵۲ کیلوگرم در هکتار) و درصد اسانس (۵۴/۸۶٪) مربوط به تیمار مایکوریزا همراه با کود زیستی فسفره بود. در مجموع نتایج حاصل نشان داد که استفاده از کود زیستی فسفره، مایکوریزا و آبیاری تکمیلی می‌تواند باعث بهبود صفات فیزیولوژیک، عملکرد و اسانس زیره سبز در شرایط دیم شود.

واژه‌های کلیدی: پرولین، کاتالاز، کلروفیل، مایکوریزا.

مقدمه

زیره گیاه علفی متعلق به خانواده چتریان و بومی منطقه مدیترانه است (Bettaieb Rebey *et al*., 2012) که به دلیل نیاز آبی کم (Alinian & Razmjoo, 2014) و عملکرد بالا در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران به‌عنوان گیاه دارویی کشت می‌شود. در طول سال‌های خشک از آبیاری تکمیلی به‌عنوان روشی کارآمد برای کاهش اثرهای منفی تنش خشکی استفاده می‌شود. آبیاری تکمیلی، کاربرد مقدار محدودی آب در زمان توقف بارندگی است تا آب کافی برای تداوم رشد گیاه، افزایش و ثبات عملکرد دانه تأمین شود. بدیهی است این مقدار آب مصرفی تنها برای تولید گیاه زراعی کافی نیست و تعیین زمان آبیاری تکمیلی برای رسیدن به عملکرد مطلوب امری ضروریست. از سویی یکی دیگر از راه‌های دستیابی به کشاورزی پایدار، استفاده از ریزموجوداتی است که نقش مهمی در تأمین نیاز غذایی گیاه دارند (Ishizuka, 1992). این ریزجانداران به چند گروه تقسیم می‌شوند که دو گروه آنان باکتری‌های حل‌کننده فسفات و قارچ‌های مایکوریزا می‌باشند. کود فسفات بارور۲، نوعی کود زیستی تجاری حاوی دو نوع باکتری حل کننده فسفات از گونه *Pantoea* agglomerans و *Pseudomonas putida* می‌باشد که با سازوکارهایی مانند تولید آنزیم فسفاتاز و حلالیت فسفات فسفر قابل دسترس را افزایش می‌دهد. این باکتری‌ها باعث حاصلخیزی و سلامتی خاک می‌شوند که رشد و عملکرد محصولات مختلف را تقویت می‌کند (Singh, 2013). قارچ *Glomus mosseae* از خانواده قارچ‌های مایکوریز آربوسکولار و یکی از انواع کودهای زیستی بوده و دارای رابطه همزیستی با ریشه اغلب گیاهان زراعی می‌باشد. این قارچ‌ها از طریق افزایش جذب عناصر غذایی (مانند فسفر و نیتروژن) و برخی عناصر ریزمغذی، افزایش جذب آب، افزایش مقاومت در برابر تنش‌های زنده (عوامل بیماری‌زا) و غیرزنده (خشکی، شوری و ...) سبب بهبود رشد، نمو و عملکرد گیاهان میزبان در سامانه‌های کشاورزی پایدار می‌شوند (Sainz *et al*., 1998). از آنجا که بین جوامع میکروبی خاک فرایندی پویا و پیچیده است، طبق مطالعات انجام شده همبستگی و تعاملاتی بین جدایه‌های مختلف باکتری حل‌کننده فسفات و قارچ‌های مایکوریزا وجود دارد که باعث بهبود تغذیه، رشد و سلامت گیاه، به‌ویژه در محیط تنش‌زا می‌شود (Armada *et al*., 2014). بعضی از این روابط مثبت شامل همبستگی بین باکتری *Pseudomonas* sp. و قارچ *G. mosseae* (Barea *et al*., 1998)، باکتری *Pseudomonas putida* و قارچ *G. intraradics* (Villegas & Fortin, 2001) می‌باشند. البته تاکنون مطالعات اندکی در مورد تلفیق کود زیستی حاوی باکتری حل‌کننده فسفات و مایکوریزا روی گیاهان دارویی به‌ویژه زیره در شرایط دیم انجام شده‌است؛ به‌طوری که بیشتر مطالعات به‌صورت بررسی هر یک از این عوامل به تنهایی بوده است. پژوهش‌ها نشان داده است که باکتری *Bacillus* sp. از خانواده باکتری‌های محرک رشد، باعث افزایش درصد و عملکرد اسانس و عملکرد دانه در گیاه رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.) شد (Mishra *et al*., 2016). در پژوهشی دیگر کاربرد کود ورمی کمپوست و قارچ *Glomus mosseae* باعث افزایش عملکرد اسانس در زیره سبز شد (Ganjeh & Salehi, 2015). بکارگیری *Pseudomonas putida* بر روی زیره منجر به افزایش عملکرد دانه، تعداد چتر در بوته و درصد اسانس نسبت به شاهد شد (Moghaddam *et al*., 2014). این آزمایش با هدف بهبود عملکرد و درصد اسانس در کشت دیم زیره با کاربرد کود زیستی فسفره و مایکوریز و آبیاری تکمیلی انجام شده است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۶ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی چم‌خانی واقع در ۱۷ کیلومتری مرکز یاسوج با مختصات طول جغرافیایی "۳۱'۰۶ °۵۱، عرض جغرافیایی "۴۱'۵۹ °۳۰، متوسط ارتفاع از سطح دریا ۱۷۴۰ متر و متوسط بارندگی ۶۱۷/۸ میلی‌متر اجرا شد. نتایج تجزیه خاک در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

مشخصه	عمق (سانتی‌متر)	درصد اشباع	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	واکنش گل اشباع	مواد خنثی شونده (٪)	کربن آلی (٪)	نیتروژن کل (٪)	فسفر قابل‌جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	پتاسیم قابل‌جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	درصد رس	درصد سیلت	درصد شن	بافت خاک
مقدار	۳۰-۰	۵۳	۰/۷۶	۷/۲	۴۳/۷۵	۰/۹۵۶	۰/۱۰	۹/۷	۴۰۵	۴۲	۳۶	۲۲	رسی-لومی

آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتور اصلی شامل آبیاری تکمیلی در سه سطح (دیم کامل، آبیاری تکمیلی در زمان ۵۰٪ گلدهی و آبیاری تکمیلی در زمان شروع دانه‌بندی) و فاکتور فرعی شامل کود زیستی در چهار سطح (بدون کود زیستی، میکوریزا گونه *G. mosseae*، کود زیستی فسفره و تلفیق میکوریزا و کود زیستی فسفره) بود. به‌منظور اجرای آزمایش، عملیات تهیه زمین در اسفندماه سال ۹۶ با مناسب شدن شرایط آب و هوایی انجام و عملیات آماده‌سازی بستر خاک با استفاده از وسایل مکانیزه (گاوآهن و دیسک) انجام گردید. پس از تسطیح زمین در تاریخ ۲۰ اسفندماه ۱۳۹۶ اقدام به کاشت به‌صورت شش ردیف در هر کرت، فاصله ردیف ۲۰ سانتی‌متر، فاصله بوته‌ها روی ردیف چهار سانتی‌متر و تراکم ۱۲۵ بوته در مترمربع انجام شد. فاصله بین بلوک‌ها و کرت‌های اصلی ۲ متر و فاصله کرت‌های فرعی در هر بلوک نیم متر بود. پس از تهیه زمین و قبل از کاشت بذرها، کود میکوریزا براساس تیمار آزمایش به مقدار توصیه شده شرکت سازنده (کلینیک گیاه‌پزشکی ارگانیک، همدان) به میزان ۸۰ کیلوگرم در هکتار به‌صورت نواری زیر بذرها قرار گرفت و کود زیستی فسفره (فسفات بارور۲) براساس توصیه شرکت سازنده کود (زیست‌فناور سبز، تهران) به میزان ۱۰۰ گرم در هکتار قبل از کاشت با بذر تلقیح داده شد؛ بذرها در عمق یک تا دو سانتی‌متر در خاک روی میکوریزا قرار گرفت. با توجه به نیاز کم زیره سبز در کشت دیم به عناصر پرمصرف و با توجه به توصیه آزمایشگاه تجزیه کننده خاک (جدول ۱)، فسفر به میزان ۵۰ کیلوگرم فسفر خالص از منبع سوپرفسفات تریپل قبل از کاشت و نیتروژن به میزان ۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص از منبع اوره به‌صورت یک سوم در هنگام کاشت و بقیه در طی رشد و نمو (یک‌بار) گیاه برای گیاه مصرف شدند. در طول رشد از هیچ‌گونه علف‌کش، قارچ‌کش و آفت‌کش شیمیایی استفاده نشد، ولی برای جلوگیری از طغیان و رشد علف‌های هرز، اقدام به کنترل آنها به روش وجین دستی شد.

اندازه‌گیری صفات

به هنگام رسیدگی بوته‌ها ۱۰ بوته به‌طور تصادفی انتخاب و مورد ارزیابی قرارگرفته و صفات ارتفاع بوته، وزن هزاردانه، تعداد چتر در بوته و تعداد دانه در چتر اندازه‌گیری شد.

با حذف نیم متر حاشیه از اطراف کرت، از سطح باقیمانده برداشت بوته‌ها انجام شد و عملکرد دانه و زیستی تعیین گردید. خشک کردن دانه به روش سایه خشک برای حفظ کیفیت دانه و اسانس تا رسیدن به وزن ثابت انجام شد.

اندازه‌گیری اسانس

مقدار ۳۰ گرم بذر از هر تیمار پس از آسیاب شدن، با دستگاه کلونجر به روش تقطیر با آب به مدت ۳ ساعت اسانس‌گیری شد. سپس اسانس توسط سولفات سدیم رطوبت‌زدایی گردید و مقدار اسانس با استفاده از ترازوی ۰/۰۰۱ گرم وزن شد. عملکرد اسانس، حاصل‌ضرب درصد اسانس در عملکرد دانه می‌باشد که محاسبه گردید.

اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیک

نمونه‌گیری برای صفات فیزیولوژیک یک هفته بعد از آبیاری تکمیلی در زمان دانه‌بندی از برگ‌های جوان انجام شد. نمونه‌ها بلافاصله به فریزر ۴۰- درجه سلسیوس تا زمان اندازه‌گیری منتقل شد.

اندازه‌گیری کاتالاز برگ

برای اندازه‌گیری فعالیت کاتالاز ۰/۱ گرم نمونه منجمد در ۳ میلی‌لیتر بافر فسفات سدیم ۲۵ میلی‌مولار با pH:۶/۸ عصاره‌گیری و همگن‌های حاصل در دور ۱۵۰۰۰ در دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شد. بخش شناور رویی جداسازی و فعالیت کاتالاز توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج ۲۴۰ نانومتر محاسبه گردید (Aebi, 1984).

اندازه پرولین برگ

برای اندازه‌گیری پرولین به ۱ میلی‌لیتر از عصاره الکلی برگ ۱۰ میلی‌لیتر آب دوبار تقطیر و ۵ میلی‌لیتر نین‌هیدرین اضافه شد. بعد از آن ۵ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال به هر نمونه اضافه و نمونه‌ها داخل حمام آب‌جوش به مدت ۴۵ دقیقه قرار داده شد. سپس نمونه‌ها خارج و در دمای محیط خنک گردید. بعد از آن به هر نمونه ۱۰ میلی‌لیتر بنزن اضافه و به‌شدت تکان داده شد تا پرولین وارد مرحله بنزن گردید. سپس نمونه‌ها به مدت نیم ساعت به حالت سکون قرار داده شد و میزان جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۱۵ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر قرائت گردید. سپس توسط غلظت‌های مشخص پرولین خالص در منحنی استاندارد به‌عنوان شاهد برحسب میکرومول بر گرم وزن تر برگ محاسبه شد (Paquin & Lechasseur, 1979).

اندازه‌گیری کلروفیل و کاروتنوئید برگ

برای استخراج کلروفیل از بافت‌های برگ ابتدا یک گرم برگ تازه خرد شده در یک هاون چینی ریخته و به آن ۵ میلی‌لیتر استون ۸۰٪ و ۰/۵ گرم پودر کربنات کلسیم اضافه شد. عملیات ساییدن نمونه‌های برگی در محیطی با نور کم انجام گردید. مخلوط حاصل را در لوله‌های مخصوص سانتریفیوژ (فالکون) ریخته و مواد باقیمانده در هاون با استون شسته و به فالکون منتقل شد. عصاره و استون حاصل از شستشو به حجم معینی (۲۰ میلی‌لیتر) رسیده و فالکون‌ها در دمای پایین به مدت ۱۵ دقیقه با ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس یک میلی‌لیتر از محلول صاف شده رویین (سوپرناتانت) به یک لوله ۱۸ میلی‌لیتری منتقل و به آن ۹ میلی‌لیتر استون ۸۰٪ اضافه و بعد میزان غلظت کلروفیل (Arnon, 1967) و کاروتنوئید (Lichtenthaler, 1987) محاسبه شد.

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها بر مبنای مدل آماری آزمایش فاکتوریل با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین تیمارها به روش آزمون LSD در سطح ۵٪ و مقایسه میانگین برهم‌کنش در صورت معنی‌دار بودن به روش L.S.Means انجام شد.

نتایج

فعالیت کاتالاز برگ

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر آبیاری تکمیلی و برهم‌کنش آبیاری و فسفر زیستی تأثیر معنی‌داری در سطح خطای ۱٪ بر فعالیت کاتالاز برگ داشت (جدول ۲). طبق نتایج بدست‌آمده از مقایسه میانگین برهم‌کنش، در شرایط دیم استفاده از مایکوریزا نسبت به شاهد باعث کاهش کاتالاز شد. در شرایط آبیاری زمان گلدهی استفاده از کود زیستی فسفره بالاترین میزان کاتالاز برگ را نسبت به شاهد داشت (جدول ۳).

پرولین برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهم‌کنش دو عامل آبیاری تکمیلی و فسفرزیستی در سطح خطای ۱٪ بر پرولین دانه معنی‌دار است (جدول ۲). در تیمار دیم پرولین برگ در هنگام استفاده از کودهای زیستی کاهش یافت و در تیمار آبیاری در زمان دانه‌بندی استفاده از کودهای زیستی اثر معنی‌داری نسبت به شاهد بر پرولین برگ نداشتند ولی در آبیاری در زمان گلدهی، کود زیستی مایکوریزا افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد داشت (جدول ۳).

محتوای کلروفیل a+b برگ

اثر عوامل آبیاری تکمیلی و فسفرزیستی در سطح خطای ۵٪ و برهم‌کنش این عوامل در سطح خطای ۱٪ بر کلروفیل a+b معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین برهم‌کنش برای کلروفیل a+b نشان داد که در شرایط دیم همه کودهای زیستی به یک میزان نسبت به شاهد کلروفیل a+b را افزایش دادند و تنها کاربرد مایکوریزا و کود زیستی فسفره با هم، در آبیاری در زمان گلدهی و دانه‌بندی نسبت به شاهد موجب افزایش کلروفیل a+b شد (جدول ۳).

محتوای کاروتنوئید برگ

همان‌طور که در جدول ۲ آمده است اثر هر دو عامل آبیاری تکمیلی و فسفرزیستی در سطح خطای ۵٪ و برهم‌کنش این دو عامل در سطح خطای ۱٪ معنی دار شد. مقایسه میانگین برهم‌کنش این تیمارها نشان داد که در تیمار دیم اثر تیمارهای کود زیستی نسبت به شاهد افزایش معنی داری ایجاد کرد ولی در آبیاری در زمان گلدهی و دانه بندی اثر کودهای زیستی معنی دار نبود (جدول ۳).

ارتفاع بوته، تعداد چتر در بوته و تعداد دانه در چتر

اطلاعات حاصل از تجزیه واریانس این آزمایش، نشانگر آن بود که تأثیر آبیاری تکمیلی و فسفر زیستی هر یک به تنهایی بر تعداد چتر در بوته و ارتفاع بوته در سطح خطای ۵٪ و بر صفت تعداد دانه در چتر در سطح خطای ۱٪ معنی‌دار بوده است؛ ولی برهم‌کنش این دو تأثیر معنی‌داری بر این صفات نداشت (جدول ۲). مقایسه میانگین ها نشان دهنده آن بود که بین مراحل آبیاری در زمان گلدهی و دانه بندی اختلاف معنی‌داری در این صفات وجود ندارد، ولی بین تیمارهای آبیاری تکمیلی و تیمار دیم اختلاف معنی‌داری وجود دارد. در بین تیمارهای آبیاری بیشترین تعداد چتر در بوته و تعداد دانه در چتر مربوط به آبیاری در زمان دانه‌بندی است که به‌ترتیب باعث افزایش ۳۱/۳۹٪ و ۱۱/۹۵٪ نسبت به تیمار دیم شد. همچنین تیمار آبیاری در زمان گلدهی باعث افزایش ۱۱/۴۱٪ ارتفاع بوته در هر بوته نسبت به تیمار دیم شد (جدول ۵). تیمارهای دارای کود زیستی باعث افزایش معنی دار همه صفات نسبت به شاهد شد؛ به‌طوری که بیشترین اثر بر صفات در استفاده همزمان از مایکوریزا و کود زیستی فسفره که باعث افزایش ۱۳/۲۵ درصدی تعداد دانه در چتر، ۳۰/۱۴ درصدی تعداد چتر در بوته و ۱۰/۹۶ درصدی ارتفاع بوته نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ۴).

عملکرد دانه

اثر فسفر زیستی در سطح خطای ۵٪ بر عملکرد دانه معنی‌دار شد (جدول ۲). در بین تیمارهای کودهای زیستی اختلاف معنی‌داری با شاهد وجود دارد، به‌طوری که تیمار مایکوریزا همراه با کود زیستی فسفره به مقدار (۶۲۲/۴۰ کیلوگرم در هکتار) دارای بیشترین عملکرد دانه نسبت به شاهد می‌باشد (جدول ۴).

عملکرد زیستی

اثر هر دو عامل آبیاری تکمیلی و فسفر زیستی در سطح خطای ۵٪ معنی‌دار است (جدول ۲). مقایسه میانگین نشان داد که عملکرد زیستی همه تیمارها با شاهد اختلاف معنی‌داری دارد، به‌طوری که در تیمارهای آبیاری، آبیاری در زمان دانه‌بندی با اینکه اختلاف معنی‌داری با آبیاری در زمان گلدهی نشان نداد ولی با مقدار (۱۱۷۵/۸۳ کیلوگرم در هکتار) (جدول ۵) و تیمار مایکوریزا و کود زیستی فسفره با هم با مقدار (۱۲۵۲/۰۴ کیلوگرم در هکتار) دارای بیشترین عملکرد زیستی می‌باشد (جدول ۴).

درصد اسانس

اثر عامل فسفر زیستی بر درصد اسانس در سطح خطای ۵٪ معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین تیمارهای کودهای زیستی نشان‌دهنده آن بود که اختلاف معنی‌داری بین تیمارها با شاهد وجود دارد، به‌طوری که کاربرد کود زیستی فسفره دارای بیشترین درصد اسانس (۸/۹۴٪) بود ولی کاربرد کود زیستی فسفره به تنهایی و مایکوریزا و کود زیستی فسفره با هم اختلاف معنی‌داری نداشتند (جدول ۴).

جدول ۲- میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس اثر آبیاری تکمیلی و فسفر زیستی بر صفات مورد مطالعه در زیره سبز

منابع تغییرات	درجه آزادی	کاتالاز	کلروفیل a+b	کاروتنوئید	پرولین	ارتفاع بوته	تعداد چتر در بوته	تعداد دانه در چتر	وزن هزاردانه	عملکرد دانه	عملکرد زیستی	درصد اسانس	عملکرد اسانس
تکرار	۲	۲۰/۶۳ns	۰/۰۴۶ns	۰/۰۱۴۳**	۱/۴۳ns	۱/۶۱**	۱۵/۵۲*	۱/۱۰**	۰/۷۵*	۸۱۸۱/۰۹*	۱۹۴۹۸۶/۶۵*	۱/۳۰*	۱۹۶/۲۳*
آبیاری تکمیلی (**I**)	۲	۳۲۳/۵۰*	۰/۵۹۷*	۰/۰۴۲۵*	۰/۹۰ns	۸/۷۸*	۱۵/۳۲*	۶/۵۱*	۰/۵۱*	۳۹۲/۶۶ns	۷۸۳۱۱/۶۵*	۰/۰۱ns	۳/۹۵ns
خطا **a**	۴	۱۷/۶۹	۰/۰۱۹	۰/۰۰۱۰	۰/۶۱	۳/۵۰	۲/۴۲	۱/۹۸	۰/۰۵	۱۷۹۶/۰۲	۳۱۵۰/۱۹	۰/۲۲	۲۸/۹۳
زیستی فسفره (**P**)	۳	۵۴/۳۹ns	۰/۵۴۷*	۰/۰۱۷۵*	۱/۰۷ns	۳/۸۶*	۶/۹۵*	۳/۱۰*	۰/۵۶*	۸۸۹۱/۶۴*	۱۳۲۸۹۸/۸۴*	۴/۲۹*	۳۱۹/۱۰*
P×I	۶	۱۹۷/۳۲*	۰/۰۹۳**	۰/۰۰۹۶**	۲/۶۵**	۰/۲۱ns	۰/۲۸ns	۰/۲۱ns	۰/۰۳ns	۳۲۴/۰۴ns	۱۹۷۵/۵۴ns	۰/۲۱ns	۱۴/۵۱ns
خطای **b**	۱۸	۲۰/۹۱	۰/۰۳۳	۰/۰۰۲۸	۰/۷۰	۰/۲۷۴	۰/۳۸۹	۰/۲۱۲	۰/۰۱۴	۳۱۲/۲۴	۲۴۷۴/۲۸	۰/۱۰۷	۶/۲۳
ضریب تغییرات (٪)		۳۲/۶۰	۲۰/۴۸	۲۰/۴۲	۲۵/۶۲	۳/۴۳	۷/۹۷	۳/۹۸	۵/۴۲	۳/۰۴	۴/۴۸	۳/۹۳	۵/۱۴

ns، ** و *: به‌ترتیب غیرمعنی‌داری و معنی‌داری را در سطوح ۱٪ و ۵٪ نشان می‌دهند.

جدول ۳- مقایسه میانگین برهم‌کنش آبیاری تکمیلی و کود زیستی برای صفات فیزیولوژیکی گیاه دارویی زیره سبز

آبیاری تکمیلی	کود	کاتالاز (میلی‌مول بر گرم در دقیقه)	محتوای پرولین برگ (میکرومول بر میلی‌لیتر)	کلروفیل A+B (میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ)	محتوای کاروتنوئید برگ (میلی‌گرم بر گرم)
دیم	شاهد	۲۴/۳۶a*	۵/۰۵a	۰/۴۱b	۰/۱۲b
	مایکوریزا	۱۱/۳۴b	۲/۷۹b	۱/۰۲a	۰/۳۳a
	کود زیستی فسفره	۲۳/۹۸a	۳/۳۸b	۰/۹۱a	۰/۲۷a
	مایکوریزا و کود زیستی فسفره	۱۸/۰۱ab	۲/۶۲b	۰/۹۷a	۰/۳۰a
آبیاری در زمان گلدهی	شاهد	۵/۳۰c	۳b	۰/۸۷b	۰/۳۴a
	مایکوریزا	۱۳/۷۰b	۴/۷۳a	۱/۱۱b	۰/۲۹a
	کود زیستی فسفره	۲۶/۶۳a	۳/۱۳b	۱/۰۴b	۰/۳۱a
	مایکوریزا و کود زیستی فسفره	۸/۶۷bc	۲/۷۷b	۱/۵۱a	۰/۳۳a
آبیاری در زمان دانه‌بندی	شاهد	۱۱/۰۳a	۲/۵۶a	۰/۵۶b	۰/۱۲a
	مایکوریزا	۱۰/۱۳a	۲/۹۷a	۰/۵۲b	۰/۲۱a
	کود زیستی فسفره	۱۰/۹۰a	۳/۳۴a	۰/۵۵b	۰/۲۱a
	مایکوریزا و کود زیستی فسفره	۱۳/۲۱a	۲/۹۷a	۱/۱۵a	۰/۲۵a

*: در هر ستون و در هر سطح آبیاری میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک براساس آزمون LSD در سطح خطای ۵٪ اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

جدول ۴- مقایسه میانگین عملکرد، اجزای عملکرد و درصد اسانس زیره سبز تحت تأثیر کودهای زیستی

کود	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	تعداد چتر در بوته	تعداد دانه در چتر	وزن هزاردانه (گرم)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد زیستی (کیلوگرم در هکتار)	اسانس (٪)	عملکرد اسانس (کیلوگرم در هکتار)
شاهد	۱۴/۴۱c*	۶/۹۰c	۱۰/۸۷c	۱/۹۴c	۵۴۷/۵۹c	۹۵۵c	۷/۴۳c	۴۰/۸۴d
مایکوریزا	۱۵/۴۲b	۷/۹۵b	۱۱/۵۳b	۲/۲۶b	۵۷۹/۴۴b	۱۱۱۸/۳۳b	۸/۱۵b	۴۷/۳۴c
کود زیستی فسفره	۱۵/۲۰b	۷/۴۹bc	۱۱/۵۴b	۲/۲۰b	۵۶۹/۲۵b	۱۱۱۵/۵۶b	۸/۹۴a	۵۰/۹۳b
مایکوریزا و کود زیستی فسفره	۱۵/۹۹a	۸/۹۸a	۱۲/۳۱a	۲/۵۵a	۶۲۲/۴۰a	۱۲۵۲/۰۴a	۸/۸۰a	۵۴/۸۶a

*: در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک براساس آزمون LSD در سطح خطای ۵٪ اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

جدول ۵- مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد گیاه زیره سبز تحت تأثیر آبیاری تکمیلی

منابع تغییرات	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	تعداد چتر در بوته	تعداد دانه در چتر	وزن هزاردانه (گرم)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد زیستی (کیلوگرم در هکتار)
دیم	۱۴/۲۹b	۶/۵۳b	۱۰/۷۱b	۲/۰۲b	۵۷۶/۹۴a	۱۰۲۰b
آبیاری در زمان گلدهی	۱۵/۹۲a	۸/۳۷a	۱۱/۹۹a	۲/۲۵ab	۵۸۶/۲۵a	۱۱۳۴/۸۶a
آبیاری در زمان دانه‌بندی	۱۵/۵۵a	۸/۵۸a	۱۱/۹۹a	۲/۴۳a	۵۷۵/۸۳a	۱۱۷۵/۸۳a

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک براساس آزمون LSD در سطح خطای ۵٪ اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

عملکرد اسانس

طبق تجزیه واریانس تنها اثر عامل فسفر زیستی در سطح خطای ۵٪ بر عملکرد اسانس معنی‌دار بود (جدول ۲). با توجه به تفاوت معنی‌دار عملکرد دانه در تیمارهای مختلف و ثبات نسبی درصد اسانس، عملکرد اسانس نیز دارای روندی مشابه با عملکرد دانه بود (جدول ۴). به‌طوری که بین تیمارهای کودهای زیستی تیمار مایکوریزا و کود زیستی فسفره با هم دارای بالاترین عملکرد اسانس (۵۴/۸۶٪) بودند (جدول ۴).

بحث

استفاده از کود زیستی فسفره در شرایط دیم و تنش باعث افزایش میزان فعالیت آنزیم کاتالاز شد. جدایه‌هایی از باکتری حل‌کننده فسفات باعث افزایش بیان ژن سنتزکننده آنزیم آنتی‌اکسیدانی مانند کاتالاز در گیاهان می‌شود (Gururani *et al*., 2013). البته افزایش میزان کاتالاز در حضور باکتری حل‌کننده فسفات در کار سایر پژوهشگران نیز دیده شده است (Hmaeid *et al*., 2019؛ Santos *et al*., 2018). به‌طوری که کاتالاز به‌عنوان یک آنزیم مهم برای مقابله با پراکسید هیدروژن تولید شده در شرایط تنش در نظر گرفته شد (Khanna-chopra & Selote, 2007) و آبیاری تکمیلی موجب کاهش تنش و فعالیت کاتالاز گردید؛ در پژوهشی دیگر تنش خشکی باعث افزایش فعالیت کاتالاز نسبت به شرایط آبیاری کامل شد (Baghizadeh & Shahbazi, 2013).

در این پژوهش، در شرایط دیم پراکندگی بارش و کمبود آب باعث افزایش پرولین شد. هنگامی که گیاهان در مقابل تنش‌های محیطی که باعث کاهش پتانسیل آب شیره سلولی می‌شوند قرار گیرند، باید غلظت اسمولیت‌هایشان را افزایش دهند تا جذب آب در شرایط تنش ادامه پیدا کند. در بین اسمولیت‌های آلی، پرولین احتمالاً فراوان‌ترین و عمومی‌ترین آنهاست (Kuznetsov & Shevyakova, 1999).

کاربرد کودهای زیستی در شرایط دیم میزان پرولین را کاهش داد. کودهای زیستی احتمالاً با بهبود جذب باعث کاهش پرولین می‌شوند. Zhu و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که گیاه ذرت تلقیح شده با قارچ مایکوریز در شرایط تنش باعث کاهش پرولین شده که مشابه روند مقدار پرولین در این آزمایش بود. گزارش شده است که در تیمار آبیاری تکمیلی کودهای زیستی باعث افزایش پرولین شد. علت آن این می‌تواند باشد که *Pseudomonas putida* تا حدی باعث افزایش ژن سنتزکننده پرولین می‌شود (Ghosh *et al*., 2017).

کاربرد کود زیستی در شرایط دیم باعث افزایش کاروتنوئید برگ شد. طبق تحقیقات Ansari و همکاران (۲۰۱۵) محتوای کاروتنوئید در برگ‌های نخود بعد از کاربرد کودهای زیستی بهبود یافت. به‌طوری که با کاربرد کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات، میزان کاروتنوئید ۲۱٪ تا ۵۰٪ بیشتر از تیمار شاهد بود. همچنین Kapoor و همکاران (۲۰۰۴) طی پژوهشی در مورد گیاه رازیانه دریافتند که کاربرد قارچ مایکوریزا تأثیر معنی‌داری روی کاروتنوئید رازیانه دارد.

میزان کلروفیل در شرایط دیم متأثر از همه کودهای زیستی بود. در پژوهشی *Pseudomonas* sp. و *Bacillus lentus* باعث افزایش کلروفیل گیاه ریحان در شرایط تنش خشکی نسبت به بدون تنش شد (Heidari *et al*., 2011). همچنین در پژوهش Zhu و همکاران (۲۰۱۲) قارچ مایکوریز باعث افزایش معنی‌دار کلروفیل کل در ذرت تحت تنش شد، در حالیکه در شرایط بدون تنش نیز افزایش کلروفیل کل دیده شد، ولی نسبت به تیمار بدون کود معنی‌دار نبود.

آبیاری تکمیلی تعداد چتر در بوته، وزن هزاردانه، ارتفاع بوته و تعداد دانه در چتر را نسبت به دیم افزایش داده است؛ در نتیجه بیشترین عملکرد زیستی در تیمارهای آبیاری تکمیلی بدست آمد. نکته مهم اینکه عملکرد دانه تحت تأثیر آبیاری تکمیلی قرار نگرفت و با شرایط دیم برابر بود. به‌طوری که یکی از دلایل می‌تواند این باشد که در کشت‌های دیم بارش‌های باران تنها منبع تأمین آب مورد نیاز گیاهان است و نامنظم بودن این بارش‌ها باعث کمبود

آب در سلول‌های برگ شده که در این شرایط روزنه‌ها بسته می‌شوند و با کاهش در هدایت روزنه علاوه‌بر کاهش انتشار CO_2 از طریق روزنه، منجر به کاهش انتشار CO_2 در سلول‌های مزوفیل برگ شده، در نتیجه فتوسنتز کاهش می‌یابد. از آنجا که تولید در گیاه وابسته به فتوسنتز است، ازاین‌رو عملکرد زیستی و اجزای وابسته به آن کاهش می‌یابد (Chaves *et al*., 2009) که با سایر گزارش‌های منتشر شده روی کشت زیره تحت رژیم‌های آبیاری مختلف مطابقت داشت (Motamedi-Mirhosseini *et al*., 2011؛ Alinian *et al*., 2014؛ Bettaieb Rebey *et al*., 2012). آبیاری تکمیلی در مراحل حساس رشد مانند زمان گلدهی و دانه‌بندی باعث افزایش عملکرد در دانه و رشد گیاه می‌شود (Oweis *et al*., 2004) که یکی از دلایل آن افزایش جذب آب و تثبیت CO_2 است که در نتیجه موجب افزایش فتوسنتز می‌شود. در کلزا نیز آبیاری تکمیلی باعث افزایش عملکرد دانه و پر شدن بهتر بذرها شد (Faraji *et al*., 2009).

عدم پاسخ عملکرد دانه به آبیاری تکمیلی می‌تواند به علت بارش زیاد در فصل رویش زیره (برابر ۴۲۴ میلی‌متر) در منطقه باشد. گیاه در مواجه با تنش آخر فصل توانسته عملکرد دانه را احتمالاً با افزایش انتقال دوباره حفظ نماید، اما عملکرد زیستی از تنش متأثر شده است.

تلفیق کود زیستی فسفره همراه با مایکوریزا بیشترین تعداد شاخه جانبی، تعداد چتر در بوته، وزن هزاردانه، ارتفاع بوته و تعداد دانه در چتر را داشت، در نتیجه بالاترین عملکرد دانه و عملکرد زیستی در این تیمار بدست آمد. تیمار کود زیستی فسفره و مایکوریز *Glomus mosseae* باهم دارای بیشترین مقدار صفات عملکردی و صفات وابسته به آن و همچنین درصد و عملکرد اسانس بودند. گزارش شده است که *Glomus mosseae* باعث افزایش جذب نیتروژن و افزایش درصد اسانس در زیره گردیده است (Ganjeh & Salehi., 2015) و افزایش جذب نیتروژن نیز باعث افزایش صفات رویشی و عملکرد در زیره می‌شود (Talaei *et al*., 2018). از سوی دیگر محققان نیز ثابت کردند که *Pseudomonas* منجر به افزایش عملکرد دانه، تعداد چتر در بوته، درصد اسانس در زیره (Moghaddam *et al*., 2014) و آنیسون (Khalesro *et al*., 2012) شد. باکتری‌های حل‌کننده فسفات علاوه‌بر افزایش مقدار فسفر قابل جذب با تولید اسیدهای آلی و آنزیم فسفاتاز، توانایی تولید هورمون را نیز دارند که در پژوهش Srivastava و همکاران (۲۰۱۲) تولید اکسین توسط *Pseudomonas putida* گزارش شده است. اکسین به نوبه خود با تحریک رشد ریشه و تقویت ریشه‌های جانبی و شکل‌گیری ریشه‌های مویی مرتبط است (Overvoorde *et al*., 2010). سیستم ریشه‌ای عمیق‌تر با تراکم ریشه بیشتر یک ابزار عالی برای کاهش اثرهای تنش است؛ زیرا باعث بهتر شدن استخراج آب و مواد مغذی خاک می‌شود (Lopes *et al*., 2011). به‌نحوی که بجز تأثیرات جداگانه ذکر شده، بین هیف‌های قارچ‌های مایکوریز و باکتری‌های حل‌کننده فسفات تعاملات مثبتی وجود دارد؛ علاوه‌بر تجمع باکتری‌های حل‌کننده فسفات روی هیف قارچ‌های مایکوریزا، این قارچ‌ها باعث افزایش اسیدهای آلی و آنزیم فسفاتاز باکتری حل‌کننده فسفات در نتیجه افزایش جذب فسفر در گیاه می‌شوند (Taktek *et al*., 2015).

منابع مورد استفاده

- Aebi, H. 1984. Catalase in vitro. Methods in Enzymology, 105: 121-126.
- Alinian, S. and Razmjoo, J., 2014. Phenological yield, essential oil yield and oil content of cumin accessions as affected by irrigation regimes. Industrial Crops and Products, 54: 167-174.
- Ansari, M.F., Tipre, D.R. and Dave, S.R., 2015. Efficiency evaluation of commercial liquid biofertilizers for growth of *Cicer aeritinum* (chickpea) in pot and field study. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 4(1): 17-24.
- Armada, E., Roldán, A. and Azcon, R., 2014. Differential activity of autochthonous bacteria in controlling drought stress in native *Lavandula* and *Salvia* plants species under drought conditions in natural arid soil. Microbial Ecology, 67(2): 410-420.
- Arnon, A.N., 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agronomy Journal, 23: 112-121.
- Baghizadeh, A. and Shahbazi, M., 2013. Effect of Zn

and Fe foliar application on yield, yield components and some physiological traits of cumin (*Cuminum cyminum*) in dry farming. International Journal of Agronomy and Plant Production, 4(12): 3231-3237.
- Barea, J.M., Andrade, G., Bianciotto, V.V., Dowling, D., Lohrke, S. and Bonfante, P., 1998. Impact on arbuscular mycorrhiza formation of pseudomonas strains used as inoculants for biocontrol of soil-borne fungal plant pathogens. Applied Environmental Microbiology, 64: 2304-2307.
- Bettaieb Rebey, I., Jabri-Karoui, I., Hamrouni-Sellami, I., Bourgou, S., Limam, F. and Marzouk, B., 2012. Effect of drought on the biochemical composition and antioxidant activities of cumin (*Cuminum cyminum* L.) seeds. Industrial Crops and Products, 36: 238-245.
- Chaves, M.M., Flexas, J. and Pinheiro, C., 2009. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. Annals of Botany, 102: 551-560.
- Faraji, A., Latifi, N., Soltani, A. and Rad, A.H.S., 2009. Seed yield and water use efficiency of canola (*Brassica napus* L.) as affected by high temperature stress and supplemental irrigation. Agricultural Water Management, 96(1): 132-140.
- Ganjeh, S.G. and Salehi, A., 2015. Effects of different levels of vermicompost and biofertilizers on essential oil content and uptake of some elements in cumin (*Cuminum cyminum* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 5: 822-829.
- Ghosh, D., Sen, S. and Mohapatra, S., 2017. Modulation of proline metabolic gene expression in Arabidopsis thaliana under water-stressed conditions by a drought-mitigating *Pseudomonas putida* strain. Annals of Microbiology, 67(10): 655-668.
- Gururani, M.A., Upadhyaya, C.P., Baskar, V., Venkatesh, J., Nookaraju, A. and Park, S.W., 2013. Plant growth-promoting rhizobacteria enhance abiotic stress tolerance in *Solanum tuberosum* through inducing changes in the expression of ROS-scavenging enzymes and improved photosynthetic performance. Journal of Plant Growth Regulation, 32(2): 245-258.
- Heidari, M., Mousavinik, S.M. and Golpayegani, A., 2011. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) effect on physiological parameters and mineral uptake in basil (*Ociumum basilicum* L.) under water stress. ARPN Journal of Agricultural and Biological Science, 6(5): 6-11.
- Hmaeid, N., Wali, M., Mahmoud, O.M.B., Pueyo, J.J., Ghnaya, T. and Abdelly, C., 2019. Efficient rhizobacteria promote growth and alleviate NaCl-induced stress in the plant species *Sulla carnosa*. Applied Soil Ecology, 133: 104-113.
- Ishizuka, J., 1992. Trends in biological nitrogen fixation research and application. Plant and Soil, 141: 197-209.
- Kapoor, R., Giri, B. and Mukerji, K.G., 2004. Improved growth and essential oil yield and quality in *Foeniculum vulgare* Mill. on mycorrhizal inoculation supplemented with P-fertilizer. Bioresource Technology, 93(3): 307-311.
- Khalesro, Sh., Ghalavand, A., Sefidkon, F. and Asgharzadeh, A., 2012. The effect of biological and organic inputs on quantity and quality of essential oil and some elements content of anise (*Pimpinella anisum* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 27: 551-560.
- Khanna-Chopra, R. and Selote, D.S., 2007. Acclimation to drought stress generates oxidative stress tolerance in drought-resistant than-susceptible wheat cultivar under field conditions. Environmental and Experimental Botany, 60(2): 276-283.
-Kuznetsov, V. and Shevyakova, N.L., 1999. Proline under stress: Biological role metabolism and regulation. Russian Journal of Plant Physiology, 46(2): 274-287.
- Lichtenthaler, H.K., 1987. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. Methods in Enzymology, 148: 350-382.
- Lopes, M.S., Araus, J.L., Van Heerden, P.D. and Foyer, C.H., 2011. Enhancing drought tolerance in C4 crops. Journal of Experimental Botany, 62(9): 3135-3153.
- Mishra, B.K., Meena, K.K., Dubey, P.N., Aishwath, O.P., Kant, K., Sorty, A.M. and Bitla, U., 2016. Influence on yield and quality of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) grown under semi-arid saline soil, due to application of native phosphate solubilizing rhizobacterial isolates. Ecological Engineering, 97: 327-333.
- Moghaddam, P.R., Moradi, R. and Mansoori, H., 2014. Influence of planting date, intercropping and plant growth promoting rhizobacteria on cumin (*Cuminum cyminum* L.) with particular respect to disease infestation in Iran. Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants, 1(4): 134-143.
- Motamedi-Mirhosseini, L., Mohammadi-Nejad, G., Bahraminejad, A.R., Golkar, P. and Mohammadinejad, Z., 2011. Evaluation of cumin (*Cuminum Cyminum* L.) lan-draces under drought stress based on some agronomic traits. African Journal of Plant Science, 5: 819-822.

plant growth promoting rhizobacterium. Plant Signaling and Behavior, 7: 235-245.
- Taktek, S., Trépanier, M., Servin, P.M., St-Arnaud, M., Piché, Y., Fortin, J.A. and Antoun, H., 2015. Trapping of phosphate solubilizing bacteria on hyphae of the arbuscular mycorrhizal fungus *Rhizophagus irregularis* DAOM 197198. Soil Biology and Biochemistry, 90: 1-9.
- 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.
- Villegas, J. and Fortin, J.A., 2001. Phosphorus solubilization and pH changes as a result of the interactions between soil bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi on a medium containing NH_4^+ as nitrogen source. Canadian Journal of Botany, 79: 865-870.
- Zhu, X.C., Song, F.B., Liu, S.Q., Liu, T.D. and Zhou, X., 2012. Arbuscular mycorrhizae improves photosynthesis and water status of *Zea mays* L. under drought stress. Plant, Soil and Environment, 58(4): 186-191.
- Zhu, X., Song, F. and Liu, S., 2011. Arbuscular mycorrhiza impacts on drought stress of maize plants by lipid peroxidation, proline content and activity of antioxidant system. Journal of Food, Agriculture and Environment, 9(2): 583-587.
- Overvoorde, P., Fukaki, H. and Beeckman, T., 2010. Auxin control of root development. Cold Spring Harbor Perspectives in Biology, 2(6): a001537.
- Oweis, T., Hachum, A. and Pala, M., 2004. Lentil production under supplemental irrigation in a Mediterranean environment. Agricultural Water Management, 68: 251-265.
- Paquin, R. and Lechasseur, P., 1979. Observations sur une méthode de dosage de la proline libre dans les extraits de plantes. Canadian Journal of Botany, 57(18): 1851-1854.
- Sainz, M.J., Taboada-Castro, M.T. and Vilarino, A., 1998. Growth, mineral nutrition and mycorrhizal colonization of red clover and cucumber plants grown in a soil amended with composted urban wastes. Plant and Soil, 205(1): 85-92.
- Santos, A.D.A., Silveira, J.A.G.D., Guilherme, E.D.A., Bonifacio, A., Rodrigues, A.C. and Figueiredo, M.D.V.B., 2018. Changes induced by co-inoculation in nitrogen-carbon metabolism in cowpea under salinity stress. Brazilian Journal of Microbiology, 49(4): 685-694.
- Singh, J.S., 2013. Plant growth promoting rhizobacteria. Resonance, 18(3): 275-281.
- Srivastava, S., Chaudhry, V., Mishra, A., Chauhan, P.S., Rehman, A., Yadav, A., Tuteja, N. and Nautiyal, C.S., 2012. Gene expression profiling through microarray analysis in Arabidopsis thaliana colonized by *Pseudomonas putida* MTCC5279, a

Improving physiological traits, yield and essential oil of cumin (*Cuminum cyminum* L.) via application of phosphorus bio-fertilizers and supplementary irrigation under dryland condition

Y. Mehrabi[1], M. Movahhedi Dehnavi[2*], A. Salehi[3], R. Mohatashami[4] and M. Hamidian[5]

1- M.Sc. student of Agronomy, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran
2*- Corresponding author, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran E-mail: Movahhedi1354@yu.ac.ir
3- Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran
4- Department of Plant Improvement Research, Kohgiluyeh and Agricultural and Natural Resources Research Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Yasouj, Iran.
5- B.Sc. Student of Plant Production and Genetic, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran

Received: September 2019 Revised: December 2019 Accepted: December 2019

Abstract

In order to investigate the effects of different levels of supplementary irrigation and bio-fertilizers on some physiological traits, yield, and essential oil percentage of medicinal plant cumin (*Cuminum cyminum* L.), an experiment was conducted as split-plot in a randomized complete block design with three replications in the research field of Kohgiluyeh and Buyer-Ahmad Agricultural and Natural Resources Research and Training Center in 2017. The main plot included supplementary irrigation (complete rainfed conditions, supplementary irrigation at 50% flowering and at the start of seed formation) and the subplot included bio-fertilizer (no phosphorus bio-fertilizer, mycorrhiza *Glomus mosseae*, phosphorus bio-fertilizer, and combination of mycorrhiza and phosphorus bio-fertilizer). The application of supplementary irrigation with bio-fertilizer increased the total chlorophyll and carotenoid and decreased the proline content. Phosphorus bio-fertilizer also increased catalase enzyme activity in the plant. The effects of supplementary irrigation and phosphorus bio-fertilizer on the number of umbrella per plant, plant height, 1000-seed weight and the number of seeds per umbrella were significant. The highest amount of 1000-seed weight (2.55 g), seed yield (622.4 kg ha^{-1}), biological yield (1252 kg ha^{-1}), and essential oil percentage (54.86%) was obtained in the mycorrhiza treatment together with the phosphorus bio-fertilizer. In general, the results showed that using phosphorus bio-fertilizer, mycorrhiza, and supplementary irrigation can improve physiological traits, yield, and essential oil of cumin under rainfed conditions.

Keywords: Proline, catalase, chlorophyll, mycorrhiza.