نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۹، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶، ص. ۶۲-۵۰

Journal of Agroecology
Vol. 9, No. 1, Spring 2017, p. 50-62

اثرکود زیستی بر رشد، عملکرد دانه و اسانس رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.) تحت تنش خشکی

حسین گرگینی شبانکاره[۱]، براتعلی فاخری[۲*] و رقیه محمدپور وشوایی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۲/۲۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۷/۲۹

گرگینی شبانکاره، ح.، فاخری، ب. ع.، و محمدپور وشوایی، ر. ۱۳۹۶. اثرکود زیستی بر رشد، عملکرد دانه و اسانس رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.) تحت تنش خشکی. بوم‌شناسی کشاورزی، ۹(۱): ۶۲-۵۰.

چکیده

به منظور بررسی اثر کود زیستی بر رشد، عملکرد دانه و اسانس رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.) تحت شرایط تنش خشکی، آزمایشی به صورت طرح کرت‌های خردشده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ اجرا شد. تیمارهای آبیاری ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی به عنوان عامل اصلی و منابع کودی نیتروکسین، سوپرنیتروپلاس، بیوفسفر و بدون کود (شاهد) به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. گیاهان آبیاری شده با ۸۰ درصد ظرفیت زراعی در مقایسه با گیاهان آبیاری شده با سطوح دیگر، افزایش معنی‌دار در تعداد روز تا رسیدگی، ارتفاع بوته، تعداد شاخه اصلی و عملکرد دانه نشان دادند. گیاهان تحت کشت کود زیستی بیوفسفر بیشترین روز تا رسیدگی، ارتفاع بوته، تعداد شاخه اصلی و عملکرد دانه را دارا بودند و پس از آن کودهای زیستی نیتروکسین و سوپر نیتروپلاس قرار داشتند. اثر متقابل تنش کم‌آبی و منابع کودی برای روز تا رسیدگی، ارتفاع بوته، عملکرد دانه و عملکرد اسانس معنی‌دار بود، اما برای صفات تعداد شاخه اصلی و درصد اسانس معنی‌دار نبود. بیشترین ارتفاع بوته، روز تا رسیدگی، عملکرد دانه و عملکرد اسانس از برهمکنش تیمار آبیاری با۸۰ درصد ظرفیت زراعی و کود زیستی بیوفسفر و کمترین مقدار آنها از تیمار آبیاری با ۴۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم مصرف کود (شاهد) بدست آمد. با توجه به نتایج این پژوهش به نظر می‌رسد که استفاده از کودهای زیستی در شرایط محدودیت رطوبت برای غلبه بر اثرات منفی تنش خشکی مفید باشد.

کلمات کلیدی: بیوفسفر، تنش کم‌آبی، گیاهان دارویی، عملکرد کمی، عملکرد کیفی

مقدمه

سلامت محصولات تولید شده در سیستم‌های مختلف از نظر وجود بقایای سموم و مواد شیمیایی و تأثیر آنها بر سلامت انسان و محیط زیست، توجه ویژه‌ای را به روش‌های تولید و نهادهای بکار رفته در امر تولید معطوف داشته است. در سال‌های اخیر در پی بحران آلودگی‌های زیست محیطی تلاش‌های گسترده‌ای به منظور یافتن راهکارهای مناسب برای بهبود کیفیت خاک و محصولات کشاورزی، حذف آلاینده‌ها و حفظ پایداری اکوسیستم‌های طبیعی آغاز شده است (Khavazi, 2004). یکی از ارکان اساسی در کشاورزی پایدار استفاده از کودهای زیستی در اکوسیستم‌های زراعی با هدف حذف یا کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی است (Sharma, 2002). کودهای زیستی در برخی موارد به عنوان جایگزین و در اکثر موارد به عنوان مکمل کودهای شیمیایی می‌توانند پایداری تولید نظام‌های کشاورزی را تضمین کنند (Han et al., 2006). کودهای زیستی متشکل از میکرو ارگانیسم‌های مفیدی هستند که هر یک به منظور خاصی مانند تثبیت

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی دکتری گیاهان دارویی، گروه باغبانی، استاد اصلاح نباتات، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی و دانشجوی دکتری آگرواکولوژی، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل
(*- نویسنده مسئول: (Email: ba_fakheri@yahoo.com
DOI:10.22067/jag.v9i1.35321

ازت، رها سازی یون‌های فسفات، پتاسیم، آهن و غیره تولید می‌شوند. این میکرو ارگانیسم‌ها معمولاً در اطراف ریشه مستقر شده و گیاه را در جذب عناصر یاری می‌کنند (Wu et al., 2005). اکنون مسلم شده است که این باکتری‌ها بیش از یک نقش دارند، یعنی علاوه بر کمک به جذب عنصری خاص باعث جذب سایر عناصر، کاهش بیماری‌ها، بهبود ساختمان خاک، تحریک بیشتر رشد گیاه و افزایش کمی و کیفی محصول و افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی می‌شوند (Nagananda et al., 2010). استفاده تلفیقی از باکتری‌های محرک رشد (نیتروکسین و بیوفسفر) به همراه کودهای ازته علاوه بر کاهش مصرف کودهای شیمیایی منجر به افزایش ازت و فسفر دانه آفتابگردان (*Helianthus annus* L.) نسبت به تیمار بدون باکتری شد (Mohmmadvarzi et al., 2009). در تحقیق صورت گرفته روی مرزنجوش (*Origanum majorana* L.) گزارش شده است که کودهای زیستی ازته و باکتری‌های حل کننده فسفات می‌توانند جایگزین کودهای معدنی ازت و فسفر در زراعت این گیاه شوند (Fatma et al., 2006). مشاهدات نشان داد که اعمال کودهای زیستی ازته موجب بهبود و تسریع در مرحله جوانه زنی و رشد شنبلیله (*Trigonella-foenum-graecum* L.) می‌گردد (Nagananda et al., 2010). شایان ذکر است که کودهای زیستی موجب افزایش مقاومت گیاهان نسبت به تنش نیز می‌گردند (Saravanakumar et al., 2011). استفاده از کودهای زیستی و باکتری‌های محرک رشد در ارتقای بنیه بذر و گیاهچه ممکن است، بذرها و در نهایت گیاهچه‌ها و بوته‌های ایجاد شده را در تحمل نسبت به تنش‌های محیطی از جمله تنش کم آبی و خشکی قوی سازد. به همین دلیل به عنوان یک تیمار قبل از بذر کاری پیشنهاد می‌شود (Ramamoorthy et al., 2000). گزارشات حاکی از آن است که تلقیح بذر آفتابگردان با باکتری‌های تثبیت کننده ازت قابلیت سبز شدن بذرها را افزایش و میزان دانه پوک گیاهان حاصل تنش کم‌آبی را به مقدار زیادی کاهش داد، همچنین تلقیح بذر با باکتری‌های تثبیت کننده ازت، وزن، طول و بنیه گیاهچه را نسبت به عدم تلقیح در شرایط تنش کم‌آبی افزایش داد (Babaie et al., 2007). مصرف کودهای زیستی حاوی باکتری‌های تثبیت کننده ازت و باکتری‌های حل کننده فسفات خاک، علاوه بر بهبود عملکرد و اجزای عملکرد نخود (*Cicer arietinum* L.) رقم پیروز موجب تعدیل تنش کم آبیاری و کاهش اثرات منفی آن شده است (Rabeian et al., 2008).

گیاهان در طی دوران رشد خود با تنش‌های متعدد محیطی مواجه می‌شوندکه هر یک از آنها می‌توانند با توجه به میزان حساسیت و مرحله رشدی گیاه اثرات متفاوتی بر رشد و عملکرد داشته باشند. کمبود آب از مهم‌ترین عوامل محیطی کاهش رشد و عملکرد بسیاری از گیاهان زراعی، باغی و دارویی به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک دنیاست (Heydari, 2004). تنش خشکی یا کم آبی در مراحل مختلف رشد، به خصوص مراحل گلدهی و دانه‌بندی محدود کننده عملکرد است (Heydari, 2004). کمبود رطوبت در عملکرد و مواد مؤثره گیاهان دارویی دارای ویژگی‌های خاصی است که باید بطور کامل مورد ارزیابی قرار گیرد. با توجه به اینکه خشکی از ویژگی‌های بارز جغرافیایی کشور ماست، لذا شناخت ارتباط کمبود آب و رشد محصولات در مراحل مختلف رشدی گیاه و بررسی واکنش‌های مورفولوژیک در مقابله با تنش، مفید واقع خواهند شد (Kochaki & Nasiri Mahallat, 1991). تنش خشکی موجب کاهش ارتفاع بوته، تعداد ساقه جانبی، وزن خشک اندام رویشی آویشن (*Thymus vulgaris* L.) گردید (Babaie et al., 2009). محققین در بررسی‌های صورت گرفته بر روی گیاه همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.) دریافتند که تنش خشکی موجب کاهش بیوماس گیاهی، ارتفاع بوته، عملکرد اسانس و عملکرد دانه گردید، اما با تشدید تنش درصد اسانس افزایش یافت (Shubhra et al., 2004). در مطالعه‌ای که بر روی بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) انجام شد، مشاهده گردید که تنش کم آبی بر عملکرد اندام هوایی، عملکرد و بازده اسانس، ارتفاع، تعداد پنجه و طول میانگره تأثیر می‌گذارد (Ardekani et al., 2006). در تحقیقی مشاهده شد که با کاهش مقدار آب خاک عملکرد اسانس کاهش و در مقابل درصد اسانس افزایش می‌یابد (Hassani & Omidbeygi, 2001).

از آنجا که رویکرد جهانی در تولید گیاهان دارویی به سمت استفاده از نظام‌های کشاورزی پایدار و بکارگیری روش‌های مدیریتی آنها نظیر کاربرد کودهای زیستی به منظور ارتقاء عملکرد کمی و کیفی گیاهان دارویی می‌باشد، به نظر می‌رسد که تغذیه سالم این گیاهان از طریق کاربرد کودهای زیستی دارای تطابق بیشتری با اهداف تولید گیاهان دارویی داشته باشد. از طرف دیگر استفاده از کودهای زیستی به منظور کاهش مصرف کودهای شیمیایی و افزایش عملکرد گیاهان یک مسئله مهم در جهت حرکت به سمت کشاورزی

پایدار می‌باشدکه تحت تنش آب می‌تواند از اهمیت مضاعفی برخوردار باشد (Abbaszade, 2004). لذا، با توجه به این که خشکی و کم آبی در ایران همواره از مهم‌ترین مسائل و مشکلات کشاورزی است، از این پدیده طبیعی و غیر قابل تغییر راه فراری نیست و از طرفی، مصرف منابع انرژی، آب و مواد غذایی به طور روزافزونی در جامعه افزایش می‌یابد، بنابراین بایستی به جای تاکید بر معایب ناشی از آن درصدد مقابله با آن کمر همت بسته و به چاره اندیشی پرداخت. در نتیجه، پژوهش حاضر، به منظور ارزیابی کاربرد کودهای زیستی در جهت نیل به اهداف کشاورزی پایدار و تعیین تغذیه رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.) در شرایط تنش کم‌آبی اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر تنش کم‌آبی و کود زیستی بر رشد، عملکرد دانه و اسانس رازیانه آزمایشی در سال زراعی۹۲-۱۳۹۱ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زابل با طول جغرافیایی بین ۶۰ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۵۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۲۸ دقیقه شمالی و با ارتفاع ۴۸۰ متر از سطح دریا پیاده شد. این منطقه دارای اقلیمی بیابانی با تابستان بسیار خشک و زمستان ملایم است. میانگین دمای سالانه ۲۱/۷، حداکثر مطلق دما ۴۹ و حداقل مطلق آن ۷- درجه سانتی‌گراد می‌باشد. میانگین سالانه رطوبت نسبی ۳۹/۲۰ درصد و میانگین بارندگی و تبخیر سالانه به ترتیب ۵۳ و ۵۰۰۰-۴۰۰۰ میلی‌متر است. براساس نتایج آزمایش خاک از عمق صفر تا۳۰ سانتی‌متر، بافت خاک شنی (شن ۹۰/۶۷ درصد، سیلت ۶/۲۸ درصد و رس ۳/۰۵ درصد)، اسیدیته ۸/۱۴، هدایت الکتریکی ۱/۰۷ دسی‌زیمنس بر متر، مواد آلی ۰/۰۸ درصد، ازت ۰/۰۳ درصد، فسفر قابل دسترس ۳/۷۰ppm و پتاسیم قابل دسترس ۰/۲۲ppm آهن ۱/۱۳ppm، روی ۰/۲۱ppm و منگنز ۰/۳۸ppm بدست آمد.

در این تحقیق اثرات دو عامل تنش کم‌آبی و کود زیستی با طرح کرت‌های خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار مورد بررسی قرار گرفت. کرت‌های اصلی شامل آبیاری با ۴۰، ۶۰ ، ۸۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی (۲۸/۵ درصد حجمی خاک) و کرت‌های فرعی شامل تغذیه گیاه با کودهای زیستی نیتروکسین (حاوی باکتری های تثبیت کننده نیتروژن از جنس *Azotobacter chorococum*، *Azospirillum lipoferoum* و حل کننده فسفات از جنس *Pseudomonas* sp. با 10^8 سلول زنده در هر میلی‌لیتر)، سوپرنیتروپلاس (شامل مجموعه‌ای از گونه‌های مختلف باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن، کنترل کننده عوامل بیماری‌زای خاکزی *Bacillus subtilis* و باکتری‌های محرک رشد از جمله *Azospirillum* spp. و *Pseudomonas fluorescens* با 10^8 سلول زنده در هر میلی‌لیتر)، بیوفسفر (شامل دو نوع باکتری حل کننده فسفر از گونه‌های *Bacillus lentus* که با ترشح اسیدهای آلی و گونه‌ای از *Pseudomonas putida* با ترشح اسید فسفاتاز سبب افزایش حلالیت فسفر نامحلول می‌شوند با 10^8 سلول زنده در هر گرم) و عدم مصرف کود زیستی (شاهد) بود. نیتروکسین، سوپر نیتروپلاس و بیوفسفر به میزان دو لیتر در هکتار به صورت بذر مال استفاده شد. کودهای بیولوژیک استفاده شده در این تحقیق توسط شرکت فن‌آوری زیستی مهر آسیا[1] (MABCO) و تحت لیسانس و نظارت مستقیم مؤسسه خاک و آب کشور تولید شده بودند. تمامی عملیات بذرمال کردن کودها در سایه و به دور از تابش مستقیم نور خورشید صورت گرفت که شامل قرار دادن بذور به مدت ۳۰ دقیقه در محلول باکتریایی بود و بلافاصله پس از خشک شدن بذرها در سایه، اقدام به کاشت گردید. در طول اجرای آزمایش، هیچ نوع کود شیمیایی، علف‌کش، آفت‌کش و یا قارچ‌کشی مصرف نشد.

کاشت به صورت هیرم‌کاری صورت گرفت. بدین منظور سه تا چهار بذر در داخل هر کرت آزمایش در کپه‌هایی با عمق سه سانتی-متر به روش جوی و پشته در چهار ردیف۳ متری با فاصله ۳۰ سانتی متر بر روی ردیف و ۶۰ سانتی‌متر بین ردیف کشت شدند. آبیاری هر کرت پس از رسیدن رطوبت به ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی (۲۸/۵ درصد حجمی خاک) با تانکر انجام شد. اندازه‌گیری رطوبت با دستگاه رطوبت سنج TDR[2] انجام گرفت. عملیات تنک کردن در مرحله دو تا چهار برگی انجام شد. وجین علف‌های هرز در سه نوبت با دست انجام گردید. در مرحله رسیدگی صفات تعداد روز تا رسیدگی، ارتفاع بوته، تعداد شاخه اصلی روی ۱۰ بوته که بطور تصادفی از هر کرت انتخاب شده بودند، مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند. عملکرد دانه پس از حذف اثرات حاشیه برای کل کرت پس از خشک شدن بذور در هوا بدست آمد. درصد اسانس (روغن فرار) از ۱۰ گرم نمونه دانه هر کرت به روش گونتر (Guenther, 1961) محاسبه شد.

1- Mehr Asia Biotechnology Company
2- Time domain reflectometer

عملکرد اسانس از حاصل ضرب عملکرد دانه در درصد اسانس بدست آمد. داده‌های هر کرت پس از میانگین‌گیری (برای ۱۰ نمونه انـدازه-گیری شده) مورد تجزیه واریانس قرار گرفتند. مقایسه میانگین‌ها در سطح احتمال پنج درصد و با آزمون چند دامنه‌ای دانکـن انجـام شـد. همبستگی‌های ساده بین صفات محاسبه گردیـد. تجزیـه و تحلیـل آماری نتایج تحقیق با استفاده از نسخه ۹/۲ نرم افـزار SAS (SAS Institute, 2013, Cary, NC.) صورت گرفت.

نتایج و بحث

رشد رویشی

اثر تنش کمبود آب برتعداد روز تا رسیدگی، ارتفـاع گیـاه، تعـداد شاخه اصـلی معنـی‌دار ($p\leq$۰/۰۱) بـود (جـدول ۱). بیشـترین روز تـا رسیدگی، ارتفاع بوته و تعداد شاخه اصلی در تیمار تـنش آبـی بـا ۸۰ درصد ظرفیت زراعی و کمترین آنها از تیمار ۴۰ درصد ظرفیت زراعی حاصل گردید (جدول ۲). تیمـار کـودی اثـر معنـی‌دار ($p\leq$۰/۰۱) بـر صفات روز تا رسیدگی، ارتفاع گیاه و تعداد شاخه اصلی داشت (جدول ۱). بیشترین روز تا رسیدگی، ارتفاع بوته و تعداد شاخه اصلی در تیمار کود زیستی بیوفسفر و کمترین آن‌هـا در تیمـار عـدم مصـرف کـود (شاهد) مشاهده شد (جدول ۳). برهمکنش تیمارهای کودی و تـنش کمبود آب برای پارامتر ارتفاع بوته در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود، اما برای پارامتر روز تا رسیدگی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد، درحالی که برای پارامتر تعداد شاخه اصلی اختلاف معنی‌دار وجود نداشت. در تیمار برهمکنش آبیاری ۸۰ درصد ظرفیت زراعـی و کـود زیستی بیوفسفر، بیشترین ارتفاع بوته و در تیمـار آبیـاری ۴۰ درصـد ظرفیت زراعی و عدم مصرف کود (شاهد) کمترین آنهـا بدسـت آمـد (جدول ۴). بیشترین و کمترین تعداد روز تا رسـیدگی بـه ترتیـب در تیمار آبیاری۸۰ درصد ظرفیت زراعی و کود زیستی بیوفسفر و تیمـار آبیاری با ۴۰ درصد ظرفیت زراعی و تیمار عدم مصرف کود (شاهد) به دست آمد.

جدول۱- آنالیز واریانس (میانگین مربعات) عملکرد کمی و کیفی رازیانه تحت شرایط تنش خشکی و کود زیستی

Table 1- Analysis of variance (mean of squares) of quantitative and qualitative yield of fennel under stress and bio-fertilizer conditions

منابع تغییرات SOV	درجه آزادی df	روز تا رسیدگی Days to maturity	ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه اصلی No. of main branches	عملکرد بوته Grain yield	عملکرد دانه Seed yield	درصد اسانس Essential oil	عملکرد اسانس Essential oil yield
تکرار Replication	2	2.640^{ns}	17.74**	0.50**	9.71**	29996.94**	0.02**	0.05**
تنش خشکی Drought stress	3	636.92**	972.45**	4.74**	684.25**	2111608.54**	0.61**	1.38**
تکرار×تنش خشکی Replication× Drought stress	6	0.26	0.47	0.05	1.86	5766.95	0.0006	0.003
کود زیستی Bio-fertilizer	3	6730.79**	2754.46**	5.08**	1545.00**	4768483.37**	0.84**	0.47**
تنش خشکی × کود زیستی Drought stress×Bio-fertilizer	9	14.00*	3.35**	0.01^{ns}	7.77**	23993.18**	0.001^{ns}	0.003*
خطا Error	24	3.23	0.22	0.007	0.60	1872.34	0.00002	0.0006
ضریب تغییرات (٪) C.V (%)		1.06	0.42	1.67	1.37	1.37	0.57	1.58

*،** و ns: به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم معنی دار بودن می‌باشد.

*,** and ns: are significant at 5 and 1% probability levels and non-significant, respectively.

گیاهان تحت کشت کود زیستی بیوفسفر بیشترین اجزای رشد را داشتند و پس از آن کود زیستی نیتروکسین و سوپرنیتروپلاس اثر مطلوبی بر پارامترهای رشد رویشی داشتند. پارامترهای رشد رویشی با افزایش تنش خشکی کاهش یافتند. بطور کلی رازیانه تحت کشت تیمار آبیاری ۸۰ درصد ظرفیت زراعی و کود زیستی بیوفسفر بیشترین تولید را داشت، این اثر ممکن است از کمبود آب حاکی باشد. چرا که تنش خشکی موجب کاهش مقدار آب، آماس، پتانسیل کل آب، پژمردگی، بسته شدن روزنه‌ها و کاهش در بزرگ شدن سلول‌ها و رشد رویشی می‌گردد. کمیت و کیفیت رشد رویشی گیاه بستگی به تقسیم سلولی، بزرگ شدن سلول‌ها و تمایز دارد و کلیه این حوادث متأثر از تنش خشکی می‌باشند (Kusaka et al., 2005). از اولین نشانه‌های کمبود آب، کاهش فشار آماس و در نتیجه کاهش رشد و توسعه سلول به ویژه در ساقه و برگ‌ها است. کاهش تقسیم سلولی و بزرگ شدن سلول‌ها موجب کاهش سطح برگ و در نتیجه کاهش فتوسنتز و اجزای رشد رویشی می‌گردد. با کاهش رشد و نمو سلول، اندازه اندام محدود می‌شود. به عبارت دیگر کاهش مواد فتوسنتزی تولیدی به علت کاهش سطح برگ و کاهش انتقال مواد آسیمیلاتی به سمت اندام‌های زایشی در اثر تنش کمبود آب سبب کاهش عملکرد سرشاخه‌های گلدار می‌گردد. به همین دلیل اولین اثر محسوس کم آبی بر گیاهان را می‌توان از روی اندازه کوچکتر برگ‌ها و ارتفاع کمتر گیاهان تشخیص داد.

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر اصلی تنش خشکی بر عملکرد کمی و کیفی رازیانه

Table 2- Mean comparison of main effect of drought stress on quantitative and qualitative yield of fennel

تنش خشکی (بر اساس ظرفیت زراعی) Drought stress (based on Field capacity)	روز تا رسیدگی Days to maturity	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	تعداد شاخه اصلی No. of main branches	عملکرد بوته Plant yield ($g.plant^{-1}$)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Seed yield ($kg.ha^{-1}$)	درصد اسانس Essential oil (%)	عملکرد اسانس (میلی لیتر در گیاه) Essential oil yield ($ml.plant^{-1}$)
100	165.37^{c*}	110.77^{c}	5.03^{c}	55.60^{c}	3089.33^{c}	2.88^{c}	1.58^{c}
80	176.25^{a}	118.62^{a}	5.59^{a}	64.72^{a}	3595.86^{a}	3.13^{a}	2.00^{a}
60	172.37^{b}	117.41^{b}	5.34^{b}	59.91^{b}	3328.29^{b}	3.04^{b}	1.82^{b}
40	159.87^{d}	98.97^{d}	4.15^{d}	46.94^{d}	2608.01^{d}	2.62^{c}	1.21^{d}

* در هرستون حروف مشابه نمایانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح احتمال پنج درصد در آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشد.

*In the each column common letters demonstrate not significant at 0.05 probability levels in Duncan's multiple range test.

جدول۳ - مقایسه میانگین اثر اصلی کود زیستی بر عملکرد کمی و کیفی رازیانه

Table 3- Mean comparison of main effect of bio-fertilizer on quantitative and qualitative yield of fennel

کود زیستی Bio-fertilizer	روز تا رسیدگی Days to maturity	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	تعداد شاخه اصلی No. of main branches	عملکرد بوته Plant yield ($g.plant^{-1}$)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Seed yield ($kg.ha^{-1}$)	درصد اسانس Essential oil (%)	عملکرد اسانس (میلی لیتر در گیاه) Essential oil yield ($ml.plant^{-1}$)
شاهد Control	140.75^{d*}	94.20^{d}	4.22^{d}	42.55^{d}	2364.40^{d}	2.62^{d}	1.38^{c}
سوپر نیتروپلاس Supernitroplus	160.62^{c}	104.98^{c}	4.83^{c}	52.98^{c}	2943.57^{c}	3.03^{b}	1.62^{b}
نیتروکسین Nitroxin	175.75^{b}	117.45^{b}	5.33^{b}	64.07^{b}	3559.75^{b}	2.80^{c}	1.80^{a}
بیوفسفر Bio-phosphorus	196.75^{a}	129.15^{a}	5.73^{a}	67.56^{a}	3753.78^{a}	3.22^{a}	1.81^{a}

* در هرستون حروف مشابه نمایانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح احتمال پنج درصد در آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشد.

*In the each column common letters demonstrate not significant at 0.05 probability levels in Duncan's multiple range test.

جدول ٤- مقایسه میانگین اثرات برهمکنش تنش خشکی و کود زیستی بر عملکرد کمی و کیفی رازیانه

Table 4- Mean comparison of interaction effects of drought stress and bio-fertilizer on quantitative and qualitative yield of fennel

تنش خشکی (بر اساس ظرفیت زراعی) Drought Stress (based on field capacity)	کود زیستی Biofertilizer	روز تا رسیدگی Days to maturity	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	تعداد شاخه اصلی No. of main branches	عملکرد بوته Plant yield ($g.plant^{-1}$)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Seed yield ($kg.ha^{-1}$)	درصد اسانس Essential oil (%)	عملکرد اسانس (میلی‌لیتر در گیاه) Essential oil yield ($ml.plant^{-1}$)
100	شاهد (عدم مصرف کود) Control	138.00^{l*}	93.35^{l}	4.25^{h}	40.77^{k}	2265.02^{k}	3.18^{d}	1.29^{g}
	سوپر نیتروپلاس Supernitroplus	158.50^{h}	104.20^{i}	4.91^{e}	50.70^{h}	2816.69^{h}	3.01^{e}	1.53^{f}
	نیتروکسین Nitroxin	172.50^{f}	116.85^{e}	5.33^{d}	63.03^{d}	3501.69^{d}	2.75^{h}	1.73^{e}
	بیوفسفر Bio-phosphorus	192.50^{c}	128.70^{c}	5.65^{c}	67.93^{c}	3773.92^{c}	2.59^{j}	1.76^{ed}
80	شاهد (عدم مصرف کود) Control	174.00^{j}	100.85^{j}	4.70^{ef}	49.46^{h}	2748.08^{h}	3.46^{a}	1.71^{e}
	سوپر نیتروپلاس Supernitroplus	165.50^{g}	112.00^{g}	5.35^{d}	60.33^{e}	3351.97^{e}	3.25^{c}	1.96^{bc}
	نیتروکسین Nitroxin	184.00^{d}	124.45^{d}	5.91^{b}	71.73^{b}	3985.31^{b}	3.01^{e}	2.16^{a}
	بیوفسفر Bio-phosphorus	208.50^{a}	137.20^{a}	6.40^{a}	77.36^{a}	4298.09^{a}	2.81^{g}	2.17^{a}
60	شاهد (عدم مصرف کود) Control	144.00^{k}	99.35^{k}	4.51^{gf}	45.70^{i}	2538.91^{i}	3.36^{b}	1.53^{f}
	سوپر نیتروپلاس Supernitroplus	165.50^{g}	110.50^{h}	5.13^{d}	56.83^{f}	3157.53^{f}	3.16^{d}	1.80^{d}
	نیتروکسین Nitroxin	179.50^{g}	123.75^{d}	5.68^{c}	68.66^{c}	3814.75^{c}	2.93^{f}	2.01^{b}
	بیوفسفر Bio-phosphorus	200.50^{b}	136.05^{b}	6.02^{b}	68.43^{c}	3801.97^{c}	2.73^{hi}	1.94^{c}
40	شاهد (عدم مصرف کود) Control	134.00^{m}	83.25^{m}	3.43^{j}	34.30^{l}	1905.57^{l}	2.90^{f}	1.00^{i}
	سوپر نیتروپلاس Supernitroplus	153.00^{i}	93.25^{l}	3.92^{i}	44.06^{j}	2448.08^{j}	2.71^{i}	1.20^{h}
	نیتروکسین Nitroxin	167.00^{g}	104.75^{i}	4.40^{gh}	52.87^{g}	2937.25^{g}	2.51^{k}	1.33^{g}
	بیوفسفر Bio-phosphorus	184.50^{d}	114.65^{f}	4.85^{e}	56.54^{f}	3141.14^{f}	2.34^{l}	1.32^{g}

* در هرستون حروف مشابه نمایانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح احتمال پنج درصد در آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشد.

*In the each column common letters demonstrate not significant at 0.05 probability levels in Duncan's multiple range test.

ارتفاع بوته و تعداد شاخه اصلی مانند هر اندام رویشی یا زایشی دیگر شدیداً تحت تأثیر عناصر غذایی و آب قرار می‌گیرند (Erkossa et al., 2002). کودهای زیستی با تأمین عناصر پر مصرف و کم مصرف مورد نیاز گیاه، بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک و افزایش خلل و فرج خاک، تولید هورمون‌های گیاهی بوسیله باکتری‌ها و تقویت جذب و انتقال مواد معدنی، موجب رشد و نمو بیشتر گیاه می‌شود (Fatma et al., 2008). دسترسی گیاه به آب و عناصر غذایی کافی، به خصوص نیتروژن از طریق تأثیر بر روی تقسیم و بزرگ شدن سلول‌ها در افزایش اجزای رشد رویشی بسیار موثر می‌باشد. به همین

علت تیمار کود زیستی بیوفسفر بیشترین رشد رویشی را حاصل نموده است و پس از آن نیتروکسین قرار داشته است. وو و همکاران (Wu et al., 2005) علت بهبود ارتفاع گیاه ذرت (*Zea mays* L.) تلقیح شده با کودهای زیستی را افزایش جذب عناصر غذایی و بهبود فتوسنتز عنوان کردند. با توجه به اثر متقابل بین تیمارها، اختلاف اجزای رشد رویشی را می‌توان به تأثیر مثبت کودهای زیستی در بهبود شرایط تغذیه‌ای گیاهان در شرایط تنش در نظر گرفت.

عملکرد دانه

سطوح مختلف تنش خشکی بر عملکرد دانه تأثیر معنی‌دار ($p\leq ۰/۰۱$) داشت (جدول ۱). بیشترین عملکرد دانه (گرم درگیاه/کیلوگرم درهکتار) از تیمار آبیاری ۸۰ درصد ظرفیت زراعی و کمترین عملکرد دانه از تیمار ۴۰ درصد ظرفیت زراعی بدست آمد (جدول ۲). تیمار کود زیستی در سطح احتمال یک درصد اثر معنی‌دار، بر عملکرد دانه (گرم درگیاه/کیلوگرم درهکتار) داشت (جدول ۱). بیشترین عملکرد دانه از تیمار کودی بیوفسفر و کمترین آن از تیمار کودی شاهد (عدم مصرف کود) حاصل شد (جدول ۲). برهمکنش تیمارهای کودی و تنش کمبود آب برای عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۱). در تیمار ۸۰ درصد ظرفیت زراعی و کود زیستی بیوفسفر بیشترین و در تیمار ۴۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم مصرف کود کمترین مقدار عملکرد دانه بدست آمد (جدول ۴). احتمالاً، برخورد با تنش در مرحله رشد و نمو، سبب کاهش سطح برگ، جذب کمتر عناصر غذایی، کاهش تشکیل بذر و به دنبال آن کاهش عملکرد شود. بر اثر تنش خشکی در رازیانه عملکرد دانه کاهش یافت که ناشی از کاهش وزن دانه در گیاه و وزن هزار دانه بود. نکته‌ای که باید مورد اشاره قرار گیرد این است که همیشه همراه با بالا رفتن تنش، عملکرد دانه نمی‌تواند افزایش یابد چرا که در تنش‌های بالا گیاه بیشتر مواد فتوسنتزی خود را صرف تولید ترکیبات تنظیم کننده‌های اسمزی از جمله پرولین، گلیسین-بتائین و ترکیبات قندی همانند ساکاروز، فروکتوز و فروکتان می‌کند که بتواند پتانسیل آب سلولی را کاهش دهد. این ترکیبات برای گیاه هزینه بر بوده و گیاه این هزینه را از کاهش عملکرد کل یا دانه جبران می‌کند (Munns, 1993).

ارتقای کیفیت بذر از جمله راه‌های مهم دستیابی به نظام‌های کشاورزی پایدار محسوب می‌شود و تقویت زیستی بذر با افزودن باکتری‌های افزاینده رشد گیاه از روش‌های جدید ارتقای کیفیت بذر به شمار می‌آیند. (Mc Quilken et al., 1998). استفاده از کودهای زیستی به طور قابل توجهی از عوامل کاهنده محصول در شرایط تنش جلوگیری می‌کند و باعث افزایش عملکرد می‌شود. به طور کلی، با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان اظهار داشت که در شرایط اجرای این پژوهش، کاربرد کود زیستی، با توجه به در دسترس قرار گرفتن حجم باکتری بیشتر توسط گیاه، با تأثیر بر جنبه‌های مختلف رشد و نمو از زمان اعمال تا عملکرد نهایی، توانست از طریق هم افزایی برای عوامل تقویت کننده رشد و اثر آنتاگونیسمی بر عوامل کاهنده، موجب افزایش رشد و عملکرد بهتر شود. مطالعات سایر دانشمندان افزایش عملکرد تا ۸/۲ درصد نسبت به تیمار شاهد در گیاه گوجه فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.)، افزایش عملکرد دانه در ذرت و نیز افزایش ۴۰ درصدی عملکرد دانه در گندم (*Triticum aestivum* L.) و جو (*Hordeum vulgare* L.) به کمک کودهای بیولوژیک را گزارش کردند (Najafvand, et al., 2008; Zahir et al., 2004; Jangow et al., 1991). از طرفی، افزایش وزن دانه با کاربرد کود زیستی را می‌توان به بهبود سیستم فتوسنتزی و انتقال مواد فتوسنتزی بیشتر به دانه بر اثر کاهش عوارض تنش خشکی نسبت داد که افزایش رشد موجب افزایش عملکرد می‌گردد.

درصد و عملکرد اسانس

درصد و عملکرد اسانس تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفت ($p\leq ۰/۰۱$) و با افزایش تنش تا ۸۰ درصد ظرفیت زراعی به طور معنی‌دار افزایش یافت، اما پس از آن با افزایش تنش (۴۰ و ۶۰ درصد ظرفیت زراعی) به طور معنی‌دار کاهش نشان داد (جدول ۲). کاربرد کود زیستی نیز تأثیر معنی‌دار ($p\leq ۰/۰۱$) بر درصد اسانس و عملکرد آن داشت و استفاده از کود بیوفسفر بیشترین درصد اسانس (۳/۲۲ درصد) و عملکرد اسانس (۱/۸۱ گرم در گیاه) را در گیاه ایجاد کرد (جدول ۳). برهمکنش تنش خشکی و کود زیستی، در سطح احتمال ۵ درصد، اثر معنی‌دار بر عملکرد اسانس داشت، ولی برای درصد اسانس اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین برهمکنش تنش خشکی و کود زیستی نشان داد که بیشترین درصد اسانس از تیمار تنش خشکی ۸۰ درصد ظرفیت زراعی و تیمار کودی شاهد (عدم مصرف کود) و کمترین درصد اسانس از تیمار ۴۰ درصد ظرفیت زراعی و تیمار کودی شاهد (عدم مصرف کود) حاصل شد (جدول ۴).

دلایل اثبات شده‌ای مبنی بر نحوه واکنش متابولیت‌های ثانویه گیاهان دارویی به تنش خشکی وجود ندارد. تنها دو فرضیه در مورد نحوه تأثیر شرایط محیطی بر متابولیت‌های ثانویه گیاهان تکوین یافته است. فرضیه اول با عنوان موازنه کربن عناصر غذایی (CNB)[۳]، میزان هزینه کربن برای تولید متابولیت‌های ثانویه را به عنوان موازنه بین فتوسنتز و رشد توضیح می‌دهد (Bryant et al., 1983; Gershenzon, 1984; Tuomi et al., 1984). بر اساس این فرضیه هنگامی که عناصر غذایی در دسترس باشند گیاه کربن را برای رشد اختصاص می‌دهد. کمبود عناصر غذایی رشد را بیش از فتوسنتز محدود می‌کند و منجر به تشکیل هیدرات‌های کربنی می‌شود که متابولیت ثانویه کربن دار را تولید می‌کنند. فرضیه دوم یا موازنه رشد – تمایز عنوان می‌کند که تا زمانی که شرایط اجازه رشد و تقسیم سلولی را بدهد، کربن صرف رشد می‌شود. با وقوع تنش کم آبی رشد متوقف شده، سلول‌ها تمایز یافته و مخازن متابولیت‌های ثانویه را تشکیل می‌دهند.گیاه کربن را به تولید مواد مؤثره دارویی اختصاص می‌دهد (Lorio, 1986). هرمز و ماتسون (Herms & Mattson, 1992) عنوان کردند که هر کمبودی که رشد را بیش از فتوسنتز محدود کند، تولید متابولیت‌های ثانویه را افزایش می‌دهد. افزایش درصد اسانس گیاهان دارویی ریحان (*Ocimum basilicum* L.)، (Simon *et al*., 1992)، مرزنگوش (*Origanum majorana* L.)، (Rhizopoulous & Diamatoglon, 1991) و آویشن (Letchamo & Gosselin, 1996) تحت تنش آبی نیز تأیید کننده مطالب فوق می‌باشد. به نظر می‌رسد که استفاده از کود فسفات زیستی، از طریق تأثیر مثبتی که بر روی فعالیت باکتری‌های حل کننده فسفات و سایر میکروارگانیزم‌های مفید در خاک می‌گذارد، امکان دسترسی مطلوب به عناصر غذایی پر مصرف و کم مصرف را توسط گیاه دارویی رازیانه فراهم آورده و متعاقب آن می‌تواند در بهبود میزان اسانس موثر باشد. همچنین با نظر به افزایش میزان اسانس در اثر مصرف تیمارهای مختلف کودی، می‌توان گفت از آنجا که اسانس‌ها، ترکیبات ترپنوئیدی بوده و بیوسنتز واحدهای سازنده آنها (ایزوپرونوئیدها) نیازمند ATP و NADPH هستند و با توجه به این مطلب که حضور عناصری نظیر ازت و فسفر برای تشکیل ترکیبات آنها ضروری می‌باشد (Loomis & Corteau, 1972)، لذا مصرف کودهای زیستی موجب افزایش اسانس گیاه رازیانه می‌گردد.

1- Carbon - nutrient balance

همبستگی

تعداد روز تا رسیدگی با صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه اصلی، عملکرد دانه (گرم در گیاه/کیلوگرم در هکتار) همبستگی مثبت بسیار معنی‌دار داشت اما برای پارامتر درصد اسانس و عملکرد اسانس همبستگی معنی‌دار مشاهده نشد (جدول ۵). ارتفاع بوته نیز با تعداد شاخه اصلی (r=۰/۹۶)، عملکرد بوته (گرم در گیاه) (r=۰/۹۷)، عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) (r=۰/۹۷) و عملکرد اسانس (r=۰/۸۳) در سطح احتمال یک درصد همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت، ولی برای درصد اسانس همبستگی معنی‌دار مشاهده نشد (جدول ۵). برای تعداد شاخه اصلی با عملکرد بوته (گرم در گیاه) (r=۰/۹۶)، عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) (r=۰/۹۶) و عملکرد اسانس (r=۰/۹۳) در سطح احتمال یک درصد همبستگی مثبت و معنی دار حاصل شد (جدول ۵). عملکرد بوته (گرم در گیاه) با عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) r=۱/۰۰) و عملکرد اسانس (r=۰/۸۹) همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت (جدول ۵). عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) فقط با عملکرد اسانس (r=۰/۸۹) در سطح احتمال یک درصد همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان داد. درصد اسانس با سایر صفات مورد بررسی همبستگی معنی‌دار نشان نداد (جدول ۵).

علت همبستگی بین تعداد روز تا رسیدگی، صفات کمی و عملکرد اسانس را می‌توان به دوره فنولوژی گیاه ربط داد. چرا که با پیشروی دوره رویشی گیاه و سیر صعودی روزها، ارتفاع گیاه افزایش یافته و به تناسب آن تعداد شاخه‌های اصلی نیز افزایش می‌یابد و با توجه به اینکه گیاه رازیانه گیاهی از خانواده چتریان می‌باشد و بذرهای خود را بر روی چترها تشکیل می‌دهد، با افزایش تعداد شاخه‌های جانبی تعداد چترها نیز افزایش یافته و بدنبال آن تعداد دانه (گرم در گیاه/ کیلوگرم در هکتار) برای تشکیل بیشتر دانه افزایش می‌یابد. همچنین از آنجا که عملکرد اسانس از حاصلضرب درصد اسانس در سرشاخه گلدار بدست می‌آید، با طی شدن دوره فنولوژی گیاه عملکرد سرشاخه‌های گلدار افزایش یافته و به پیروی از این امر، عملکرد اسانس نیز افزایش می یابد.

جدول ۵- ضرایب همبستگی صفات مرتبط با عملکرد کمی و کیفی رازیانه تحت تنش خشکی و کود زیستی

Table 5- Correlation coefficients of traits associated to quantitative and qualitative yield of fennel

صفات Treatments	روز تا رسیدگی Days to maturity	ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه اصلی No. of main branches	عملکرد بوته Plant yield	عملکرد دانه Seed yield	درصد اسانس Essential oil Percentage
ارتفاع بوته Plant height	0.96**					
تعداد شاخه اصلی No. of main branches	0.87**	0.96**				
عملکرد بوته Plant yield	0.92**	0.97**	0.96**			
عملکرد دانه Seed yield	0.92**	0.97**	0.96**	1.00**		
درصد اسانس Essential oil Persentage	-0.53ns	-0.32ns	-0.09ns	-0.26ns	-0.26ns	
عملکرد اسانس Essential oil yield	0.69ns	0.83**	0.93**	0.89**	0.89**	0.19

*،** و ns: به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم معنی دار بودن می باشد.

*, ** and ns: are significant at 5 and 1% probability levels and non-significant, respectively

نتیجه‌گیری

اثر متقابل تنش کم‌آبی و منابع کودی برای صفات روز تا رسیدگی، ارتفاع بوته، عملکرد دانه و عملکرد اسانس معنی‌دار شد، ولی برای صفات تعداد شاخه اصلی و درصد اسانس معنی‌دار نشد. بیشترین ارتفاع بوته، روز تا رسیدگی، عملکرد دانه و عملکرد اسانس از برهمکنش تیمار آبیاری با ۸۰ درصد ظرفیت زراعی و کود زیستی بیوفسفر بدست آمد. با توجه به نتایج این پژوهش به نظر می‌رسد که استفاده از کودهای زیستی در شرایط محدودیت رطوبت برای غلبه بر اثرات منفی تنش خشکی مفید باشد.

منابع

Abbaszade, B. 2004. Impact of different levels and methods of nitrogen fertilizer application on the amount of lemon balm essential oil. MSc Thesis, Islamic Azad University, Karaj Branch, pp. 35-60. (In Persian with English Summary)

Ardekani, M., Abbaszade, B., Sharif Ashur Abadi, S., Lebaschi, M.H., and Paknejad, F. 2005. The effects of water deficit on quantity and quality of *Melissa officinalis*. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research 23(2): 261-251. (In Persian with English Summary)

Babaie, K., Amin Dehaghi, M., Modares Sanavie, A.M., and Jabari, R. 2009. Effects of water stress on morphological characteristics, proline and thymol in thyme (*Thymus vulgais* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research 26(2): 251-239. (In Persian with English Summary)

Babaie, N., Daneshyan, J., Hamidie, A., Hadi, H., and Arzanesh, M.H. 2007. The effect of prompting bacterial on growth and characteristics of sunflower seed in dehydration conditions. Journal of Biological Sciences 3(1): 18-17.

Bryant J.P., Chapin III, F.S., and Klein D.R. 1983. Carbon/nutrient balance of boreal plants in relation to vertebrate herbivory. Oikos 40: 357–368.

Erkossa, T., Stahr, K., and Tabor, G. 2002. Integration of organic and inorganic fertilizers: Effect on vegetable productivity. Ethiopian Agricultural Research Organization, Debre Zeit Agricultural Research Centre, Ethiopia 82: 247-256.

Fatma, A.G., Lobna, A.M., and Osman, N.M. 2008. Effect of compost and biofertilizers on growth yield and essential oil of sweet marjoram (*Majorana hortensis*) plant. International Journal of Agriculture and Biology 10(4): 381–387.

Gershenzon, J. 1984. Changes in levels of plant secondary metabolites under water and nutrient stress In:

Timmermann, B.N., Steelink, C., and Leowus, F.A. (eds.), Phytochemical Adaptation to Stress, Plenum Press. New York., pp.273 – 320.

Guenther, E. 1961. The Essential Oils, Vol. 1. Van Nostrand; New York, USA 6: 147-185.

Han, H.S., Supanjani, D., and Lee, K.D. 2006. Effect of coin coculation with phosphate andpotassium solubilizing bacteria on mineral uptake and growth of pepper and cucumber. Plant, Soil and Environment 52: 130-136.

Hassani, A., and Omidbeigi, R. 2001. Effects of water stress on some morphological characteristics, physiological and metabolic *ocimum basilicum.* Journal of Agricultural Science 12(3): 59-47.

Heydari, M., Bakhshande, A.M, Nadyan, H., Fathi, G.H., and Alamisaaed, K.H. 2004. Impact of different levels of salinity and nitrogen on yield and nutrient uptake of sodium and potassium and osmotic regulators in Chamran wheat. Iranian Journal of Agricultural Science 37(3): 501-510.

Jangow, G., Hoeflich, G., and Hoffman, K.H. 1991. Inoculation of non-symbiotic rhizosphere bacteria: Possiblities of increasing and stabilizing yield. Angewandte Botanik 65:97-126.

Kalamyan, S., Modares Sanavie, A., and Sepehri, A. 2004. Effect of water deficit on vegetative and reproductive growth stages in commercial leafy corn hybrids. Journal of Soil and Water 5(3): 38-51. (In Persian with English Summary)

Khavazi, K., Asadi Rahmani, H., and malekouti, M.J. 2004. Articles Regarding Biological Fertilizer Production in the Country. Senate Publications, Tehran, Iran. 435 pp. (In Persian)

Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M. 1991. Ecological Agriculture. Jihad Mashhad University Press, Mashhad, Iran. 291 pp. (In Persian)

Letchamo, W., and Gosselin, A. 1996. Transpiration, essential oil glands, epicuticular wax and morphology of *Thymus vulgaris* are influenced by light intensity and water supply. Journal of Horticultural Science 71 (1): 123–134.

Loomis, W.D., and Corteau, R. 1972. Essential oil biosynthesis. Recently Advances in Photochemistry 6: 147-185.

Lorio P.L. 1986. Growth-differentiation balance: A basis for understanding southern pin beetle-tree interaction. Forest Ecology Management 14: 259–273.

Mc Quilken, M., Halmer, P., and Rhodes, P.D.J. 1998. Application of microorganisms to seeds. In: Formulation of Microbial Biopesticdes: beneficial microorganisms, nematodes and seed treatment, Burges, H.D. (ed). pp: 255-285. Kulwer Academic Publisher. The Netherlands.

Mohammadvarzi, B., Habibi, D., Vazan, S.A., and Pazky, A. 2009. Effect of bacteria growth and nitrogen on quality (*Heliaanthus annus* L.) seed. Journal of Acophiziology Crops Research 2(3): 160-156.

Munns, R. 1993. Physiological process limiting plant growth in saline soil: some dogmas and hypothese. Plant Cell and Environment 16: 15-24.

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.

Najafvand, S.N., Alemzadeh, A., and Ansari, F. 2008. Effect of different level of nitrogen fertilizer with two types of bio-fertilizer on growth and yield of two cultivars of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). Journal of plant Science 7(8):757-761.

Rabeian, Z., Rahimzade Khoie, F., Kazemi Arbat, H., and Parnya, M. 2008. Biological effects of nitrogen and phosphorus fertilizers on the yield and yield components of chickpea cultivars under different levels of irrigation. Journal of Agricultural Science 2(6): 93-96.

Ramamoorthy, K., Natarajan, N., and Lakshmanan, A. 2000. Seed bio-fortification with *Azospirillum* spp.for improvement of seedling vigor and productivity in rice (*Oryza sativa* L.). Seed Science and Technology 28: 809-815.

Rhizopoulous, S., and Diamatoglon S. 1991. Water stress induced diurnal variations in leaf water relations, stomatal conductance, soluble sugars, lipids and essential oil content of *Origanum majorana* L. Journal of Horticultural Science 66(1): 119–125.

Saravanakumar, D., Kavino, M., Raguchander, T., Subbian, P., and Samiyappan, R. 2011. Plant growth promoting bacteria enhance water stress resistance in green gram plants. Acta Physiologiae Plantarum 33: 203–209.

SAS Institute. 2013. The SAS system for Windows. Release 9.2. SAS Institute. Cary, NC.

Sharma, A.K. 2002. Biofertilizers for Sustainable Agriculture. Agrobios, India 407 p.

Shubhra, K., Dayal, J., Goswami, C.L. and Munjal, R. 2004. Effects of water-deficit on oil of *Calendula* aerial parts.

Biologia Plantarum 48(3): 445-448.

Simon, J.E., Bodenheim, R.D., Joly, D.J., and Charles, R.J. 1992. Water stress-induced alterations in essential oil content and composition of sweet basil. Journal of Essential Oil Research 4: 71-75.

Tuomi, J., Niemela, P., Haukioja, E., and Neuvonen, S. 1984. Nutrient stress an explant at ion for plant anti- herbivore responses to defoliation. Ecologia 61: 208–210.

Wu, S.C., Cao, Z.H., Li, Z.G., Cheung, K.C., and Wong, M.H. 2005. Effects of bio-fertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. Geoderma 125: 155–166.

Zahir, A.Z., Arshad, M., and Frankenberger, W.F. 2004. Plant growth promoting rhizobacteria: applications and perspectives in agriculture. Advances in Agronomy 81: 97-168.

Journal of Agroecology
Vol. 9, No. 1, Spring 2017, p. 50-62

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۹، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶، ص. ۶۲-۵۰

The Effect of Bio-fertilizers on Growth, Grain and Essential Oil Yield of Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) under Drought Stress

H. Gorgini Shabankare[4], B.A. Fakheri[2*] and R. Mohammadpour Vashvaei[3]

Submitted: 19-05-2014
Accepted: 21-10-2014

Gorgini Shabankare, H., Fakheri, B.A., and Mohammadpour Vashvaei, R. 2017. Effect of bio-fertilizers on growth, grain and essential oil yield of Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) under drought stress. Journal of Agroecology 9(1): 50-62.

Introduction

Fennel (Foeniculum vulgare Mill.), a plant belonging to the Apiaceae family uses as both food and medicine. Increasing the desired compounds of medicinal plants is possible by cultivation techniques manipulation such as irrigation, fertilization or photo-bioreactor systems. Water deficit stress, permanently or temporary, limits the growth and the distribution of natural vegetation and the performance of cultivated plants more than any other environmental factors. Babaee et al. (2010) stated that water stress decreased plant height, the number of secondary branches, dry and fresh weight, growth and root mass, dry and fresh weight root and length root of Thyme (*Thymus vulgaris* L.). Bio-fertilizers as an alternative in some cases and in most cases as a complement to chemical fertilizers can help to ensure the sustainability of agricultural production systems. Han et al. (2006) studied the effect of phosphate solubilizing bacteria (PSB), Bacillus megaterium var. phosphaticum and potassium solubilizing bacteria (KSB), Bacillus mucilaginosus in nutrient limited soil planted with pepper and cucumber and stated that Rock P and K applied either alone or in combination did not significantly enhance soil availability of P and K. PSB was a more potent P-solubilizer than KSB, and co-inoculation of PSB and KSB resulted in consistently higher P and K availability than in the control. Rock P with inoculation of PSB increased the availability of P and K, the uptake of N, P and K by shoots and roots, and the growth of both pepper and cucumber. Combined together, rock materials and both bacterial strains consistently increased further mineral availability, uptake and plant growth, suggesting their potential use as fertilizer. The present study was designed to evaluate the effect of bio-fertilizers inoculation and drought stress on quantitative and qualitative characteristics of Marian thistle.

Materials and methods

This experiment was conducted in a split plot design based on randomized complete block with three replications, at Agricultural Research Station, University of Zabol, during growing season of 2012. Main plots consisted of irrigation with 40, 60, 80 and 100% field capacity and subplots including plant nutrition with no fertilizer (control), nitroxin, super nitroplus and bio-phosphorus. Plant traits such as days to maturity, plant height, the number of main branches, seed yield per plant, seed yield per ha, essential oil percentage, and essential oil yield were measured. For statistical analysis, analysis of variance (ANOVA), Duncan multiple range test (DMRT) and simple correlation analysis were performed using SAS version 9.2 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA).

Results and discussion

In this experiment, main effects of drought stress and bio-fertilizer on all studied traits were significant at 1% probability level. Plants irrigated with 80% of field capacity in comparison with other levels, showed a significant increase in number of days to maturity, plant height, the number of main branches and seed yield. Plants grown under bio-phosphorus had maximum value for days to maturity, plant height, the number of main branches and yield followed by nitroxin and super nitroplus. Interaction of water stress and bio-fertilizer had significant effect on days to maturity, plant height, seed yield and essential oil yield, but this effect for the number of main branches and essential oil were not significant. The maximum plant height, days to maturity, seed yield and essential oil yield were achieved from irrigation of 80% of field capacity and bio-phosphorus bio-fertilizer.

4, 2 and 3 - PhD student, Department of Horticulture, Professor, Department of Plant Breeding and Biotechnology, PhD student, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol, respectively.
(*- Corresponding Author Email: ba_fakheri@yahoo.com)

Conclusion

The amount of bio-fertilizers due to its role in improving the nutritional conditions of the plant can play an important role in offsetting the harmful effects of drought stress. In addition, the use of bio-fertilizers in terms of humidity limits can be useful to overcome the negative effects of stress.

Keywords: Bio-phosphorus, Medicinal plants, Quantitative yield, Qualitative yield, Water deficit