نشریه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد شانزدهم، شماره ۳(۶۳)، پاییز ۱۴۰۱، صفحه ۳۰۶-۲۸۷

مقاله پژوهشی DOI: 10.30495/JCEP.2022.1917964.1744

اثر تلقیح میکروبی برکارآیی مصرف عناصر و کیفیت نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) تحت تنش خشکی

مریم پورنجف[۱]، محمد فیضیان[۲]*، امیدعلی اکبرپور[۳] و رضا سلیمانی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۱۹ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۲/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۳/۳۱

چکیده

پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر تلقیح میکروبی بر کارآیی مصرف عناصر و کیفیت نعناع فلفلی تحت تنش خشکی در ۲ سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۶ و ۱۳۹۸-۱۳۹۷ در مرکز تحقیقات کشاورزی شهرستان سرآبله واقع در استان ایلام انجام شد. این آزمایش به‌صورت اسپلت پلات در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار اجرا شد. آزمایش دارای ۲ فاکتور، شامل تنش خشکی در ۳ سطح آبیاری کامل (شاهد)، ۷۰ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی در کرت‌های اصلی و باکتری‌های محرک رشد و میکوریزا در ۶ سطح شامل: ۱-شاهد، ۲- جدایه‌ی حل کننده‌ی سیدروفور+ جدایه افزاینده‌ی تحمل به خشکی، ۳- جدایه‌ی حل کننده‌ی فسفات معدنی+جدایه افزاینده‌ی تحمل به خشکی، ۴- جدایه‌ی حل کننده‌ی سیدروفور و جدایه افزاینده‌ی تحمل به خشکی+ جدایه‌ی حل کننده‌ی فسفات معدنی و جدایه افزاینده‌ی تحمل به خشکی، ۵-کود تجاری نیتروکسین و ۶- میکوریزا، در کرت‌های فرعی بودند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که بیشترین منتول اسانس در تیمار ترکیبی جدایه‌ی حل کننده‌ی سیدروفور و جدایه افـزاینده‌ی تحمل به خشکی+ جدایه‌ی حل کننده‌ی فسفات معدنی و جدایه افزاینده‌ی تحمل به خشکی و تنش ۵۰ درصد ظرفیت زراعی به مقدار ۲۴/۲ درصد حاصل شد که نسبت به کمترین مقدار یعنی شاهد و آبیاری کامل ۲۶ درصد افزایش نشان داد. در تمامی سطوح تلقیح میکروبی به‌غیر از کود میکروبی، همواره بیشترین اسانس در تنش ۵۰ درصد ظرفیت زراعی حاصل شد. بیشترین عملکرد اسانس نعناع فلفلی در تیمار کود میکروبی تجاری و سال دوم به مقدار ۱۳۹/۲ کیلوگرم در هکتار حاصل شد. تلقیح میکروبی در حالت تنش ۵۰ درصد ظرفیت زراعی مزرعه موجب افزایش ۲۱ درصدی عملکرد خشک اندام‌های هوایی نسبت به‌همین سطح تنش در حالت شاهد شد. باکتری‌های محرک رشد و میکوریزا موجب افزایش عملکرد کمی و کیفی و افزایش کارآیی نیتروژن و فسفر شدند که این می‌تواند در کاهش هزینه‌ها و حفظ پایداری بوم نظام‌های کشاورزی تأثیر به‌سزایی داشته باشد.

واژگان کلیدی: تنش، سیدروفور، نعناع فلفلی، منتول، میکوریزا.

۱- دانشجوی دکترای گروه علوم خاک، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.

۲ - دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. (نگارنده‌ی مسئول) feizian.m@lu.ac.ir

۳- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.

۴- استادیار پژوهش بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی ایلام، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایلام، ایران.

مقدمه

نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) از تیره‌ی نعنائیان (Lamiaceae) با نام انگلیسی Peppermint یکی از گیاهان مهم دارویی است. این گیاه بومی اروپا بوده و کشت آن در سرتاسر جهان گسترش پیدا کرده است. این گیاه به‌عنوان طعم دهنده در آدامس‌سازی، صنایع آرایشی، صنایع دارویی، صنایع غذایی و تولید دمنوش‌های گیاهی استفاده می‌شود (Çoban and Baydar, 2016; De Sousa Guedes *et al*., 2016). این گونه، دورگ طبیعی بین گونه‌های *M. aqutica* و *M. spicata* می‌باشد و تعداد کروموزوم آن با 2n بین ۶۶، ۷۲، ۸۴ و ۱۲۰ متغیر است. ماده مؤثره مهم نعناع فلفلی منتول (۵۵-۳۰ درصد) است. همچنین، در بین متابولیت‌های ثانویه تولید شده در این گیاه جهت مقابله با تنش‌های محیطی، مواد مؤثره گروه ترپن‌ها سهم مهمی دارند (Hasani *et al*., 2015; Çoban and Baydar, 2017).

میزان اسانس گیاهان دارویی و ظرفیت آنتی اکسیدانی آنها بسته به شرایط محیطی متغیر است. در حال حاضر با افزایش روزافزون جمعیت و محدود بودن منابع آبی، ارزش آب بیش از پیش مشخص شده است، به‌نحوی‌که بیشتر از آنچه افزایش عملکرد در واحد سطح مهم باشد؛ افزایش عملکرد گیاه زراعی در واحد حجم آب مصرفی اهمیت پیدا کرده است (Fadaei *et al*, 2018).

از نهاده‌های مطلوب که می‌تواند بدون تخریب محیط زیست، باروری خاک و در نهایت افزایش عملکرد گیاهان را موجب شود بهره‌گیری از کودهای زیستی و قارچ‌های میکوریزا و به طورکلی تلقیح میکروبی است (Bahamin *et al*, 2013; Bahamin *et al*., 2019; Kardoni *et al*., 2019). انواع کودهای بیولوژیک که امروزه کاربرد فراوانی در سیستم‌های کشاورزی پایدار به‌منظور دست‌یابی به افزایش کیفیت و پایداری عملکرد محصولات زراعی و باغی به‌ویژه در گیاهان دارویی دارند، می‌توان به قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار اشاره کرد. قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار به‌عنوان یکی از مفیدترین میکروارگانیسم‌های خاک، دارای رابطه همزیستی با ریشه اغلب گیاهان هستند و از طریق جذب عناصر غذایی از جمله فسفر و عناصر کم مصرف، افزایش جذب آب، تولید هورمون‌های گیاهی، افزایش مقاومت در برابر عوامل بیماری‌زا و کاهش اثرات منفی ناشی از تنش‌های محیطی از جمله تنش فلزات سنگین، سبب بهبود رشد و عملکرد کمی و کیفی گیاهان به‌ویژه در گیاهان دارویی می‌شوند (Torfi and Saeidi, 2016; Fathi and Bahamin, 2018; Zabet *et al*., 2015). از طرفی ریزجاندارانی مانند ازتوباکتر علاوه بر تثبیت نیتروژن مولکولی موجود در اتمسفر از طریق افزایش تحرک و قابلیت جذب عناصر غذایی و به‌ویژه تولید فیتوهورمون‌های رشد گیاهی موجب بهبود شرایط رشد و تغذیه گیاه نیز می‌شود. پتانسیل تولید سیدروفورهای مختلف توسط ازتوباکتر و افزایش قابلیت جذب عناصر (Rezaei *et al*., 2015) و همچنین توانایی این باکتری‌ها در افزایش حلالیت فسفر از ترکیب‌های نامحلول معدنی به اثبات رسیده است که از جمله روش‌های افزایش تحرک و قابلیت جذب عناصر غذایی می‌باشد (Bahamin *et al*, 2019).

یکی از مهم‌ترین اثرات مستقیم باکتری‌های محرک رشد گیاه، تولید هورمون آبسیزیک اسید به عنوان متابولیت ثانویه می‌باشد و در القاء ریشه زایی و تشکیل آغازنده ریشه اثبات شده است (Mangang *et al*., 2015). در شرایط تنش، کاهش جوانه نی بذر و رشد گیاه را به اختلال در

تولید هورمون آبسیزیک اسید نسبت می‌دهند (Khoshkhabar *et al.*, 2015; Maleki *et al.*, 2020). تولید آبسیزیک اسید توسط ریزموجودات خاک از جمله باکتری‌هابه طور پیوسته انجام می‌گردد (Mandal *et al.*, 2007).

از طرف دیگر افزایش بهره‌وری مصرف کودها یکی از بهترین راه‌کارها جهت دست‌یابی به کشاورزی پایدار (Francis *et al.*, 2003) و همچنین علمی‌ترین و اقتصادی‌ترین راه‌کار افزایش تولید در واحد سطح است (Chen *et al.*, 2005; Cabrera-Bosquet *et al.*, 2007; Cao *et al.*, 2007; Di Paolo and Rinaldi, 2008; Brueck and Senbayram, 2009).

گزارش شده است بهره‌گیری از باکتری‌های محرک رشد در کنار مصرف کود شیمیایی فسفره باعث افزایش قابل توجه غلظت فسفر و در نهایت افزایش کارآیی مصرف کود فسفره شده است (Banedjschafie *et al.*, 2008). کاربرد باکتری‌های حل کننده فسفات، به‌طور معنی‌داری غلظت فسفر برگ و عملکرد ساقه نیشکر را در مقایسه با شاهد افزایش داد (Cao *et al.*, 2007).

این پژوهش با هدف بررسی اثر تلقیح میکروبی بر کارآیی مصرف عناصر و کیفیت نعناع فلفلی تحت تنش خشکی انجام شد تا اثرات تلقیح میکروبی در عملکرد کمی و کیفی نعناع فلفلی تعیین شود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه‌ای در شهرستان ایلام در دو سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۶ و ۱۳۹۸-۱۳۹۷ اجرا شد. جهت تعیین خصوصیات خاک و همچنین محاسبه دقیق شاخص‌های مربوط به کارآیی عناصر در هر ۲ سال آزمایش قبل از اجرای آزمایش نمونه‌گیری از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک انجام و نتایج آن در جدول ۱ گزارش شده است.

آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار که مزرعه در زمستان سال قبل از کاشت و سال اول کاشت به شکل آیش بود. این آزمایش دارای ۲ فاکتور، شامل تنش خشکی در ۳ سطح آبیاری کامل (شاهد) بلافاصله پس از رسیدن آب به نقطه ظرفیت زراعی)، ۷۰ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی در کرت‌های اصلی و باکتری‌های محرک رشد و میکوریزا در ۶ سطح شامل: ۱-شاهد، ۲-جدایه‌ی حل کننده‌ی سیدروفور+ جدایه افزاینده‌ی تحمل به خشکی، ۳- جدایه‌ی حل کننده‌ی فسفات معدنی +جدایه افزاینده‌ی تحمل به خشکی، ۴- جدایه‌ی حل کننده‌ی سیدروفور و جدایه افزاینده‌ی تحمل به خشکی+ جدایه‌ی حل‌کننده‌ی فسفات معدنی و جدایه افزاینده‌ی تحمل به خشکی، ۵-کود تجاری نیتروکسین و ۶- میکوریزا در کرت‌های فرعی بودند. کود تجاری نیتروکسین (دارای باکتری‌های ازتوباکتر و آزوسپریلیوم) از شرکت زیست فناوران آسیا و میکوریزا نیز از شرکت زیست فناوران توران تهیه شد.

بررسی آزمایشگاهی

نمونه‌برداری از خاک ریزوسفری مزرعه تحت کشت نعناع فلفلی از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری انجام گرفت. در کل ۲۵ نمونه برداشته شد. پس از تهیه سوسپانسیون خاک و تهیه سری‌های رقت، مراحل دست‌یابی به تک کلنی‌ها از جدایه‌ها به صورت تجدید کشت در دو مرحله و در محیط کشت عمومی NA (Nutreinr agar) صورت گرفت. زادمایه‌های باکتری‌های جداسازی شده تهیه شده و سپس در محیط NB (Nutreinr Broth) تکثیر و در یخچال نگهداری شدند تا بعداً

در آزمون مزرعه‌ای مورد استفاده قرار گیرند. یک نمونه کود میکروبی تجاری نیز تهیه شده و در کشت مزرعه‌ای استفاده شد.

آزمون تحمل به خشکی جدایه‌ها: برای تعیین میزان تحمل باکتری به سطوح مختلف خشکی از روش بزاز (Bazzaz, 1996) استفاده شد. جدایه‌ها براساس میزان دانسیته نوری در محیط کشت PEG-YMB[1] به گروه‌های کاملاً متحمل، متحمل، حساس و کاملاً حساس دسته بندی شدند.

آزمون نیمه‌کمی توان حل فسفات نامحلول معدنی: برای این منظور از محیط کشت پیشنهادی اسپربر[2] استفاده شد که در این محیط کشت تری کلسیم فسفات ($Ca_3(PO_4)_2$) تنها منبع فسفر می باشد (جدول ۲).

آزمون کمی توان حل فسفات نامحلول معدنی: در این مرحله برای بررسی دقیق‌تر فسفر انحلال یافته، جدایه‌هایی که نسبت HD/CD[3] هاله شفاف به کلنی) آنها بالاتر از ۱/۴ بود انتخاب و مورد سنجش کمی قرار گرفتند. میزان جذب نور با استفاده اسپکتروفتومتر در ۴۷۰ نانومتر قرائت شده و مقدار فسفر آزاد شده توسط هر جدایه براساس میزان جذب نور مربوط به آن با استفاده از منحنی استاندارد تهیه شده از KH_2PO_4 محاسبه گردید (Francis *et al.*,2003).

آزمون کیفی توان تولید آنزیم ACC- دآمیناز: از ظروف پتری ۹ سانتی‌متری حاوی محیط کشت پایه DF استفاده شد. جدایه‌ها از نظر توان تولید آنزیم ACC- دآمیناز در ۵ گروه مختلف به شرح جدول ۳ قرار گرفتند.

توان تولید سیدروفور: این آزمون بر اساس روش اصلاح شده لئوپولد (Leopold, 1990) با استفاده از محیط CAS.B.A (CAS Blue Agar) انجام گرفت. توانایی تولید سیدروفور از روی تغییر رنگ بسیار مشخص محیط CAS-آگار از آبی به نارنجی و با اندازه‌گیری قطر هاله نارنجی رنگ تشکیل شده در اطراف کلنی باکتری‌ها، ارزیابی شد. همچنین، قطر کلنی باکتری و نسبت قطر هاله به قطر کلنی نیز تعیین گردید.

آزمون مزرعه‌ای

مایه‌زنی با جدایه‌های باکتریایی جداسازی شده در مرحله شش برگی انجام شد. برای تهیه زادمایه جدایه‌های منتخب، ابتدا باکتری‌ها بر روی محیط YMA (Yeas Manitol Agar) کشت شدند. پس از گذشت ۴۸ ساعت از رشد باکتری‌ها، یک لوپ از کشت تازه هر جدایه به درون یک ارلن ۲۵۰ میلی‌لیتری حاوی ۱۰۰ میلی‌لیتر از YMA مایه‌زنی و به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۲۸ درجه سلسیوس بر روی شیکر دورانی با شدت ۱۲۰ دور در دقیقه تکان داده شد. سپس یکسان‌سازی جمعیت به نحوی صورت گرفت که سوسپانسیون باکتری دارای جمعیت تقریبی ۴×۱۰^{۹} $cfu.ml^{-1}$ باشد. مقدار کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم بر اساس نتایج آزمون خاک و در هنگام کاشت در همه تیمارها اعمال شد. کرت‌هایی به مساحت ۴ مترمربع با ۰/۵ متر فاصله بین کرت‌ها ایجاد شد. هر کرت آزمایشی دارای چهار ردیف کاشت به طول ۴ متر و فواصل بین ردیف‌های کاشت ۲۲ سانتی‌متر و فاصله بوته روی ردیف کاشت ۶ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در دوره داشت عمل تنک کردن (چهار تا شش برگی)، بر اساس نیاز گیاه و علف‌های هرز به‌صورت دستی کنترل شدند.

---

۱ - Poly Ethylen Glaycol-Yeas Manitol Agar

۲ - Sperber

۳ - Halo Diameter/Colony Diameter

در مرحله رسیدگی کامل (رسیدن رطوبت به ۵ درصد)، با استفاده از یک کوآدرات یک متر مربعی از بوته‌های وسط هر کرت انتخاب و از سطح خاک کف‌بر گردید و نمونه‌ها در آون و در دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت خشک و بعد از توزین، عملکرد بیولوژیک به کیلوگرم در هکتار تعمیم داده شد. برای استخراج و اندازه گیری اسانس، بوته‌های برداشت شده در دمای اتاق حدود ۲۵ درجه سلسیوس و در سایه خشک گردیده و سپس با استفاده از دستگاه کلونجر و روش تقطیر با آب اسانس‌گیری شدند.

بهره‌وری (کارآیی مصرف) عناصر غذایی

برای محاسبه شاخص‌های بهره‌وری و کارآیی عناصر، میزان جذب عناصر نیتروژن و فسفر و پتاسیم در ماده خشک به‌ترتیب با روش کجلدال و دستگاه اسپکتروفتومتر و فلیم فوتومتر با استفاده از ۱ گرم نمونه‌ی آسیاب شده برآورد شد. سپس بهره‌وری هر یک از عناصر غذایی شامل بهره‌وری مصرف نیتروژن (NUP)، فسفر (PUP) و پتاسیم (KUP) از طریق نسبت کل ماده خشک تولیدی (BY) (کیلوگرم در هکتار) بر مقدار کود ورودی به علاوه مقدار موجود در خاک (کیلوگرم در هکتار) محاسبه شد (Bahamin *et al*, 2019):

معادله ۱ $$NUP\ BY = \frac{BY}{Nf + Ns}$$

در این معادله Nf و Ns به‌ترتیب میزان عنصر غذایی در کود و خاک می‌باشد.

کارآیی جذب عناصر غذایی

محاسبه کارآیی جذب عنصر غذایی برای ماده خشک (NUPE) از تقسیم نیتروژن ذخیره شده ماده خشک (NY) (کیلوگرم در هکتار) بر میزان عنصر غذایی موجود در خاک به‌علاوه مقدار خالص عنصر از طریق کود ورودی (N) (کیلوگرم در هکتار) انجام شد.

معادله ۲ $$NUpE = \frac{NY}{N}$$

کارآیی فیزیولوژیک (تبدیل) عناصر غذایی

محاسبه کارآیی فیزیولوژیک عنصر غذایی برای ماده خشک (NUtE) از تقسیم عملکرد ماده خشک (SY) (کیلوگرم در هکتار) بر میزان عنصر غذایی جذب شده ماده خشک (NU) (کیلوگرم در هکتار) انجام شد.

معادله ۳ $$NUtE = \frac{SY}{NU}$$

پردازش و طبقه‌بندی اطلاعات استخراج شده با استفاده از Excel و تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹ انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با روش حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. چون آزمایش در دو سال زراعی انجام شد از روش تجزیه واریانس مرکب برای تجزیه استفاده شد. برای اطمینان از یکنواختی واریانس‌ها به‌منظور ادغام داده‌ها، آزمون بارتلت انجام شد که نتایج حاکی از عدم معنی‌داری داده‌ها و شرایط لازم برای ادغام بودند.

نتایج و بحث

ماده خشک: نتایج حاصل نشان داد که اثر متقابل سال و تنش (در سطح احتمال ۱ درصد)، سال و باکتری (در سطح احتمال ۱ درصد)، و اثر متقابل سال، تنش و باکتری (در سطح احتمال ۱ درصد) بر ماده خشک نعناع فلفلی معنی‌دار بود (جدول ۴). بیشترین ماده خشک نعناع فلفلی در تیمار سال دوم، آبیاری کامل و کود میکروبی تجاری به‌مقدار ۲۶۳۰ کیلوگرم در هکتار حاصل شد که نسبت به کمترین مقدار که در تیمار سال

دوم، آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و کود میکروبی تجاری به‌دست آمده بود، ۳۳ درصد افزایش نشان داد. همچنین، در سطوح تنش خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بیشترین مقدار در تیمار ترکیبی جدایه‌ی حل کننده‌ی سیدروفور و جدایه افزاینده‌ی تحمل به خشکی+ جدایه‌ی حل کننده‌ی فسفات معدنی و جدایه افزاینده‌ی تحمل به خشکی به‌دست آمد. در این سطح تنش خشکی کمترین مقدار در تیمار شاهد به‌دست آمد (جدول ۵).

محققان اظهار کردند که در شرایط تنش خشکی عملکرد رویشی بادرشبو کاهش یافت و بالاترین عملکرد آن در تیمار تنش ملایم به‌دست آمد. همچنین مصرف هر دو سویه میکوریزا منجر به تعدیل اثر منفی تنش خشکی در عملکرد رویشی بادرشبو شد (Bahamin *et al.*, 2019). تنش خشکی با تاثیر منفی بر رشد اندام‌های مختلف از جمله ساقه و برگ در نهایت منجر به کاهش ماده خشک و عملکرد بیولوژیک می‌شود (Fadaei *et al*, 2018). احتمالاً با تلقیح میکروبی، جذب و ذخیره مواد غذایی در بخش‌های مختلف گیاه از جمله برگ و ساقه افزایش می‌یابد و با ذخیره این مواد در گیاه، عملکرد ماده خشک کل گیاه نیز افزایش می‌یابد.

تلقیح میکروبی علاوه بر تثبیت نیتروژن هوا و متعادل کردن جذب عناصر اصلی پرمصرف و ریزمغذی مورد نیاز گیاه، با سنتز و ترشح مواد محرک رشد گیاه نظیر انواع هورمون‌های تنظیم کننده رشد مانند اکسین، ترشح اسیدهای آمینه مختلف و انواع آنتی بیوتیک موجب رشد اندام‌های هوایی می‌شوند (Saeidi, 2007). تنش رطوبتی با کاستن از جذب مواد غذایی و آب بر رشد و نمو تأثیر نموده، برگ‌ها کوچک، ارتفاع بوته‌ها کاهش و عملکرد محصول کاهش می‌یابد. یکی از دلایل کاهش وزن خشک اندام‌های هوایی در شرایط تنش خشکی، کاهش سطح برگ است که باعث کاهش دریافت نور و میزان فتوسنتز می‌شود. همچنین، کاهش میزان فتوسنتز به علت بسته شدن روزنه ها تحت شرایط تنش خشکی به‌عنوان یکی از عوامل مهم کاهش میزان تولید ماده خشک در گیاهان مطرح شده است (Bahamin *et al.*, 2021). تلقیح میکروبی نه تنها جوانه‌زنی و سرعت سبز شدن، بلکه رشد و عملکرد نهایی گیاه را تحت شرایط نرمال و تنش افزایش می‌دهد. تلقیح میکروبی اثر مثبت و معنی‌داری بر عملکرد (Bahamin, 2014) دارد که احتمالاً این افزایش می‌تواند به‌وسیله ایجاد چرخه مواد غذایی و قابل دسترس ساختن و افزایش جذب آن توسط باکتری‌ها به‌دست آمده باشد (Ahmad *et al.*, 2010). افزایش عملکرد تحت تأثیر کودهای بیولوژیک تثبیت کننده نیتروژن و فسفر ممکن است به‌دلیل افزایش فعالیت متابولیکی باکتری‌های محرک رشد و همچنین تولید هورمون‌های محرک رشد توسط باکتری‌ها باشد که در نهایت موجب افزایش عملکرد شده است (Shaukat *et al.*, 2006).

کاربرد قارچ میکوریزای با ترشح اسیدهای آلی حل کننده فسفات‌های نامحلول نظیر اسید مالیک، جذب فسفر گیاه را افزایش دادند که در نتیجه این فرایند، جذب فسفر ارتقاء یافته و سپس کمیت اکثر صفات رویشی وزایشی گیاه افزایش نشان دادند (Fadaei *et al.*, 2018). نتایج این تحقیق در خصوص تاثیر باکتری‌های حل کننده فسفات، متحمل به تنش و مصرف میکوریزا تحت تنش بر ماده خشک یا عملکرد بیولوژیک با نتایج سایر محققان (Saeidi, 2007) تطابق دارد.

اسانس: نتایج حاصل نشان داد که اثر اصلی باکتری (در سطح احتمال ۵ درصد) و اثر متقابل سال و باکتری (در سطح احتمال ۵ درصد)، بر اسانس نعناع فلفلی معنی‌دار بود ولی سایر تیمارها تاثیر معنی‌داری بر این صفت نداشتند (جدول ۴). بیشترین اسانس نعناع فلفلی در تیمار کود میکروبی تجاری و سال اول به مقدار ۱/۶۳ درصد حاصل شد که نسبت به کمترین مقدار که در تیمار شاهد و سال دوم به‌دست آمده بود، ۲۱ درصد افزایش نشان داد. همچنین، درکلیه سطوح تلقیح میکروبی همواره بیشترین اسانس در سال اول حاصل شد (جدول ۶).

محققان (Arazmjo *et al.*, 2010) در مطالعه‌ای بیان کردند که میزان اسانس شوید با افزایش تنش خشکی تا ۴۰ درصد ظرفیت زراعی در مقایسه با شاهد افزایش و در سطوح شدیدتر تنش مجدداً کاهش می‌یابد. این امر می‌تواند به دلیل افزایش تأثیر تنش بر کاهش شدیدتر فرآیند فتوسنتز باشد. از طرفی کمبود یا کاهش جذب مواد غذایی به‌واسطه خشکی خاک، تأثیر بیشتری نسبت به کاهش فتوسنتز بر محدود شدن رشد گیاه دارد و کربن موجود در گیاه جهت سنتز هیدرات‌های کربنی هدایت می‌شود که در نهایت منجر به تولید متابولیت‌های ثانویه شود (Chen *et al.*, 2011; Rahmani *et al.*, 2022; Golestani, 2020).

منتول اسانس: نتایج حاصل نشان داد که اثر اصلی باکتری (در سطح احتمال ۵ درصد)، اثر متقابل باکتری و تنش (در سطح احتمال ۱ درصد) و اثر متقابل سال و باکتری (در سطح احتمال ۵ درصد) بر منتول اسانس نعناع فلفلی معنی‌دار بود (جدول ۴). منتول در تیمار میکوریزا و سال دوم به مقدار ۲۲/۷ درصد حاصل شد که نسبت به کمترین مقدار که در تیمار شاهد و سال دوم به‌دست آمده بود، ۱۹ درصد افزایش داشت. در تمام تیمارهای تلقیح میکروبی بیشترین اسانس در سال دوم حاصل شد (جدول ۶). بیشترین منتول اسانس نعناع فلفلی در تیمار جدایه‌ی حل کننده‌ی سیدروفور و جدایه افزاینده‌ی تحمل به خشکی+ جدایه‌ی حل‌کننده‌ی فسفات معدنی و جدایه افزاینده‌ی تحمل به خشکی و تنش ۵۰ درصد ظرفیت زراعی به مقدار ۲۴/۲ درصد حاصل شد که نسبت به کمترین مقدار که در تیمار شاهد و آبیاری کامل به‌دست آمده بود، ۲۶ درصد افزایش نشان داد. همچنین، در کلیه سطوح تلقیح میکروبی به‌غیر از کود میکروبی همواره بیشترین اسانس در تنش ۵۰ درصد ظرفیت زراعی حاصل شد (جدول ۷).

در بررسی حاضر با افزایش شدت تنش یا تلقیح میکروبی درصد منتول اسانس به‌عنوان مهم‌ترین ماده مـؤثره افـزایش یافت. تنش آبی می‌تواند نوع ترکیب‌های اسانس را تغییر دهد (Seyedi *et al.*, 2022). محققان (Fadaei *et al.*, 2018) اظهار کردند که میزان اسانس بادرشبو با اعمال تنش ملایم دو برابر شده بود ولی همین تنش، در شرایط مصرف کود زیستی میزان اسانس را به‌میزان حدود ۳۰۰ درصد افزایش داده بود. همزیستی میکوریزایی از طریق جذب کارآمد فسفر و تا حدودی نیتروژن توسط ریشه، موجب افزایش اسانس می‌شود (Anwar *et al.*, 2005; Zolfaghari *et al.*, 2015). همزیستی قارچ با گیاه موجب تغییرات در تجمع متابولیت‌های ثانویه از جمله ترکیبات فنلی در ریشه و اندام هوایی و روغن‌های ضروری در گیاهان میزبان می‌شود (Torfi and Saeidi, 2016). نتایج این تحقیق در خصوص تاثیر باکتری‌های حل کننده فسفات،

متحمل به تنش و مصرف میکوریزا تحت تنش بر اسانس و منتول با نتایج سایر محققان (Torfi and Saeidi, 2016; Chen *et al.*, 2011; Fadaei *et al.*, 2018) تطابق دارد.

عملکرد اسانس: نتایج حاصل نشان داد که اثر متقابل سال و باکتری (در سطح احتمال ۱ درصد) و اثر متقابل سه گانه (در سطح احتمال ۱ درصد) بر عملکرد اسانس نعناع فلفلی معنی‌دار بود ولی سایر تیمارها تاثیر معنی‌داری بر این صفت نداشتند (جدول ۴). بیشترین عملکرد اسانس نعناع فلفلی در تیمار سال دوم، آبیاری کامل و کود میکروبی تجاری به مقدار ۱۷۰/۶ کیلوگرم در هکتار حاصل شد که نسبت به کمترین مقدار که در تیمار سال دوم، آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و شاهد به‌دست آمده بود ۲/۲ برابر افزایش نشان داد. همچنین، در سطوح تنش خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بیشترین عملکرد اسانس در تیمار جدایه‌ی حل کننده‌ی سیدروفور و جدایه افزاینده‌ی تحمل به خشکی+ جدایه‌ی حل کننده‌ی فسفات معدنی و جدایه افزاینده‌ی تحمل به خشکی به‌دست آمد. در این سطوح تنش خشکی کمترین عملکرد اسانس در تیمار شاهد حاصل شد (جدول ۷).

در بررسی حاضر با افزایش شدت تنش، درصد اسانس افزایش یافت اما عملکرد اسانس ارتباط مستقیمی با تنش نداشت. عملکرد اسانس از حاصلضرب عملکرد و درصد اسانس حاصل شده است، بنابراین افزایش عملکرد اسانس در سطوح مختلف تنش خشکی قابل توجیه است. در تیمار تقلیح میکروبی نیز این نوع کود منجر به افزایش درصد اسانس و عملکرد شد، بنابراین افزایش عملکرد اسانس قابل توجیه است (Torfi and Saeidi, 2016).

کارآیی تبدیل نیتروژن: نتایج حاصل نشان داد که اثر اصلی سال (در سطح احتمال ۱ درصد)، اثر متقابل سال و باکتری (در سطح احتمال ۱ درصد)، و اثر متقابل سال، تنش و باکتری (در سطح احتمال ۵ درصد) بر کارآیی تبدیل نیتروژن معنی‌دار بود (جدول ۴). بیشترین مقدار در سال اول، آبیاری ۷۰ درصد ظرفیت زراعی و جدایه حل کننده سیدروفور+جدایه متحمل به تنش به مقدار ۴۶/۱ کیلوگرم بر کیلوگرم حاصل شد که نسبت به تیمار سال دوم، آبیاری کامل و جدایه حل کننده سیدروفور+جدایه متحمل به تنش، ۳۱ درصد افزایش نشان داد (جدول ۷).

به‌نظر می‌رسد در تیمار تلقیح میکروبی با گذشت زمان باکتری‌ها احتمالاً باعث آزاد شدن تدریجی عناصر غذایی شده است که این عناصر آزاد شده می‌تواند جذب اندام‌های محصول زراعی گردد. بنابراین، افزایش بهره‌وری نیتروژن بدین طریق قابل توجیه است (Wang *et al.*, 2011). یوریبلارئا و موز (Uribelarrea *et al.*, 2007) گزارش کردند که در مقادیر بالای نیتروژن، تلفات کود نیتروژن افزایش و به دنبال آن کارآیی استفاده از آن کاهش می‌یابد (Kogbe and Adediran, 2003).

کارآیی تبدیل فسفر: نتایج حاصل نشان داد که اثر اصلی سال (در سطح احتمال ۵ درصد)، تنش (در سطح احتمال ۱ درصد)، باکتری (در سطح احتمال ۵ درصد)، اثر متقابل سال و باکتری (در سطح احتمال ۱ درصد)، اثر متقابل تنش و باکتری (در سطح احتمال ۵ درصد) و اثر متقابل سال، تنش و باکتری برکارآیی تبدیل فسفر (در سطح احتمال ۱ درصد) در نعناع فلفلی معنی‌دار بود (جدول ۴).

بیشترین مقدار در تیمار سال اول، آبیاری ۷۰ درصد ظرفیت زراعی و شاهد به مقدار ۷۰۰/۲ کیلوگرم بر کیلوگرم حاصل شد. در سطوح تنش خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، بیشترین مقدار در تیمار جدایه‌ی حل کننده‌ی سیدروفور و جدایه افزاینده‌ی تحمل به خشکی+ جدایه‌ی حل‌کننده‌ی فسفات معدنی و جدایه افزاینده‌ی تحمل به خشکی به‌دست آمد (جدول ۷).

در شرایط حضور باکتری‌های متحمل به خشکی یا باکتری‌های حل کننده فسفات در محیط ریشه گیاه به‌علت تحریک رشد گیاه، ماده خشک بیشتری تولید شده است و به تبع آن در این شرایط فسفر موجود در خاک کارآیی بیشتری خواهد داشت که این امر می‌تواند منجر به افزایش کارآیی فیزیولوژیک فسفر شود که این شرایط در تیمارهای دارای تنش بیشتر نمود پیدا می‌کند. از طرفی افزایش میکوریزا در محیط ریشه، زمینه بهبود برقراری تعادل عناصر غذایی و جذب و انتقال آنها را از طریق ریشه به اندام هوایی فراهم نموده و باعث افزایش کارآیی جذب یا بازیافت فسفر در این شرایط می‌گردد (Zahir *et al.*, 2004).

کارآیی تبدیل پتاسیم: نتایج حاصل نشان داد که اثر اصلی سال (در سطح احتمال ۱ درصد)، اثر متقابل سال و باکتری (در سطح احتمال ۱ درصد)، و اثر متقابل سال، تنش و باکتری بر کارآیی تبدیل پتاسیم (در سطح احتمال ۱ درصد) در نعناع فلفلی معنی‌دار بود (جدول ۴). بیشترین کارآیی تبدیل پتاسیم نعناع فلفلی در تیمار سال دوم، آبیاری کامل و شاهد به مقدار ۲۶/۳ کیلوگرم بر کیلوگرم حاصل شد که نسبت به کمترین مقدار که در تیمار سال دوم، آبیاری کامل و کود میکروبی تجاری ۲۷ درصد افزایش نشان داد. همچنین، در سطوح تنش خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بیشترین مقدار در تیمار جدایه‌ی حل کننده‌ی سیدروفور و جدایه افزاینده‌ی تحمل به خشکی+ جدایه‌ی حل کننده‌ی فسفات معدنی و جدایه افزاینده‌ی تحمل به خشکی به‌دست آمد (جدول ۷). باکتری‌های موجود در تیمار تلقیح میکروبی به جز فرآیند تثبیت نیتروژن مولکولی، با تولید هورمون‌ها و انواع مواد تحریک کننده رشد مانند اکسین، اسید پنتونتیک، اسید بیوتیک و غیره شده و با افزایش تولید تارهای کشنده ریشه و کارآیی جذب عناصر غذایی مانند پتاسیم و فسفر از خاک بهتر شده و در نهایت سبب بهبود کارآیی کود می‌شوند (Kennedy *et al.*, 2004). کارآیی مصرف منابع به‌خصوص پتاسیم نقش مهمی را در رشد و زنده ماندن گیاهان در شرایط تغییرات محیطی بازی می‌کنند (Bazaz, 1996). نتایج این تحقیق در خصوص تاثیر باکتری‌های حل کننده فسفات، متحمل به تنش و مصرف میکوریزا تحت تنش بر کارآیی و بهره‌وری مصرف عناصر و جذب عناصر با نتایج سایر محققان (Saeidi, 2007; Wang *et al.*, 2011; Uribelarrea *et al.*, 2007) تطابق دارد.

نیتروژن جذب شده: نتایج حاصل نشان داد که اثر اصلی سال (در سطح احتمال ۱ درصد)، اثر متقابل سال و باکتری (در سطح احتمال ۱ درصد)، و اثر سه گانه (در سطح احتمال ۱ درصد) بر نیتروژن جذب شده در نعناع فلفلی معنی‌دار بود (جدول ۴). بیشترین نیتروژن جذب شده نعناع فلفلی در تیمار سال اول، آبیاری کامل و جدایه حل کننده‌ی سیدروفور+ جدایه متحمل به تنش به مقدار ۳/۵۳ درصد حاصل شد که نسبت به کمترین مقدار که در تیمار سال دوم، آبیاری ۷۰ درصد ظرفیت زراعی و جدایه حل کننده‌ی

سیدروفور+جدایه متحمل به تنش به‌دست آمده بود، ۲۴ درصد افزایش نشان داد. همچنین، در سطوح تنش خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بیشترین مقدار در تیمار جدایه‌ی حل کننده‌ی سیدروفور و جدایه افزاینده‌ی تحمل به خشکی+ جدایه‌ی حل کننده‌ی فسفات معدنی و جدایه افزاینده‌ی تحمل به خشکی به‌دست آمد. در این سطوح تنش خشکی کمترین مقدار در تیمار شاهد به‌دست آمد (جدول ۷). با مصرف باکتری در محیط ریشه گیاه و حضور میکوریزا در محیط ریشه، زمینه بهبود برقراری تعادل عناصر غذایی و جذب و انتقال آنها را از طریق ریشه به اندام هوایی فراهم می‌شود (Zahir *et al.*, 2004).

فسفر جذب شده: نتایج حاصل نشان داد که اثر اصلی سال (در سطح ۵ درصد)، اثر متقابل سال و باکتری (در سطح ۱ درصد)، تنش و باکتری (در سطح ۵ درصد)، و اثر سه گانه بر فسفر جذب شده در نعناع فلفلی معنی‌دار (در سطح ۱ درصد) بود (جدول ۴). بیشترین فسفر جذب شده نعناع فلفلی در تیمار سال اول، آبیاری کامل و جدایه حل کننده‌ی سیدروفور+جدایه متحمل به تنش به مقدار ۰/۳۵۴ درصد حاصل شد که نسبت به کمترین مقدار که در تیمار سال دوم، آبیاری ۷۰ درصد ظرفیت زراعی و جدایه حل کننده‌ی سیدروفور+جدایه متحمل به تنش به دست آمده بود، ۳۸ درصد افزایش نشان داد. همچنین، در سطوح تنش خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بیشترین مقدار در تیمار کود میکروبی تجاری به‌دست آمد (جدول ۷).

مصرف قارچ میکوریزا در ریزوسفر ریشه‌چه در حالت وقوع تنش خشکی و عدم تنش موجب افزایش جذب و انتقال فسفر به اندام‌های گیاهی می‌شود (Zolfaghari *et al.*, 2015).

پتاسیم جذب شده: نتایج حاصل نشان داد که اثر اصلی سال (در سطح احتمال ۱ درصد)، اثر اثر متقابل سال و باکتری (در سطح احتمال ۱ درصد)، و اثر سه گانه (در سطح احتمال ۱ درصد) بر فسفر جذب شده در نعناع فلفلی معنی‌دار بود (جدول ۴). بیشترین فسفر جذب شده در تیمار سال اول، آبیاری کامل و کود میکروبی تجاری به مقدار ۵/۲۱ درصد حاصل شد که نسبت به کمترین مقدار که در تیمار سال دوم، آبیاری کامل و شاهد به‌دست آمده بود، ۲۹ درصد افزایش نشان داد. همچنین، در سطوح تنش خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بیشترین مقدار در تیمار کود میکروبی تجاری به‌دست آمد. در این سطوح تنش خشکی کمترین مقدار در تیمار شاهد به‌دست آمد (جدول ۷). باکتری‌ها و قارچ موجود در تیمار تلقیح میکروبی موجب افزایش جذب عناصر غذایی مانند پتاسیم و فسفر از خاک و انتقال آن به بافت‌های گیاهی می‌شوند (Kennedy *et al.*, 2004).

نتیجه‌گیری کلی

به‌طورکلی نتایج نشان دادکه تلقیح میکروبی چه در حالت اعمال تنش خفیف (۷۵ درصد ظرفیت زراعی) یا عدم تنش (شاهد) و یا چه درحالت اعمال تنش شدید (۵۰ درصد ظرفیت رزاعی) موجب افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاه نعناع فلفلی شد. بیشترین ماده خشک نعناع فلفلی در سال دوم، آبیاری کامل و کود میکروبی تجاری به‌مقدار ۲۶۳۰ کیلوگرم در هکتار حاصل شد. در سطوح تنش خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بیشترین مقدار در تیمار ترکیبی جدایه‌ی حل کننده‌ی سیدروفور و جدایه افزاینده‌ی تحمل به خشکی+ جدایه‌ی حل کننده‌ی فسفات معدنی و جدایه افزاینده‌ی تحمل به خشکی به‌دست آمد.

بیشترین منتول اسانس نعناع فلفلی در تیمار جدایه‌ی حل کننده‌ی سیدروفور و جدایه افزاینده‌ی تحمل به خشکی+ جدایه‌ی حل‌کننده‌ی فسفات معدنی و جدایه افزاینده‌ی تحمل به خشکی و تنش ۵۰ درصد ظرفیت زراعی حاصل شد. تلقیح میکروبی موجب افزایش کارآیی نیتروژن و فسفر شد که این یک نتیجه مطلوب است و می‌تواند در کاهش هزینه‌ها و حفظ پایداری بوم نظام‌های کشاورزی و سلامتی خاک تأثیر به‌سزایی داشته باشد. از طرفی نتایج این بررسی نشان داد که تلقیح میکروبی با باکتری‌های موجود در خاک مزرعه توانست عملکرد کمی و کیفی مشابه و حتی در برخی تیمارها برتر از میکوریزا و کود تجاری تولید کند که این یک نتیجه مهم می‌باشد.

جدول ۱- خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک
Table 1- Chemical and physical properties

	پتاسیم قابل‌جذب K ppm	فسفر قابل‌جذب P ppm	نیتروژن قابل‌جذب N ppm	کربن آلی Organic Carbon (%)	هدایت الکتریکی (ds/m) EC	اسیدیته	بافت خاک	عمق
سال اول Year1	150	10	0.06	0.91	1.1	7.2	لومی-رسی	0-30
سال دوم Year2	148	11	0.05	0.89	1	7.3	لومی-رسی	0-30

جدول ۲- مشخصات شیمیایی محیط کشت اسپربر
Table 2 - Chemical characteristics of sperber culture medium

ترکیبات Compounds	مقدار مورد استفاده Amount used ($g.l^{-1}$)
گلوکز Glucose	10
عصاره مخمر Yeast extract	0.5
$CaCl_2$	0.1
$MgSO_4.7H_2O$	0.25
$Ca_3(PO_4)_2$	2.5
آگار Agar	15
آب مقطر Distilled water	1000 ml

جدول ۳- درجه بندی توان تولید آنزیم ACC- دآمیناز
Table 3- Grade of ACC-Daminase enzyme production capacity

درجه توان تولید ACC – دآمیناز Production Power Degree - ACC Daminaz	میزان رشد باکتری بر روی ACC Bacterial growth rate on ACC	اندازه کلنی رشد یافته روی ACC Colony size grown on ACC
0	بدون رشد No growth	همانند اندازه کلنی در شاهد منفی Like the size of a colony in negative control
+1	رشد کم Low growth	یک سوم اندازه کلنی در شاهد مثبت One-third the size of the colony in the positive control
+2	رشد متوسط Medium growth	دو سوم اندازه کلنی در شاهد مثبت Two-thirds the size of the colony in the positive control
+4	رشد زیاد High growth	همانند اندازه کلنی در شاهد مثبت Like the size of a colony in positive control
+4	رشد بسیار زیاد Too much growth	بیش از اندازه کلنی در شاهد مثبت Excessive colony in positive control

جدول ۴-تجزیه واریانس مرکب صفات نعناع فلفلی در دو سال زراعی

Table 4- Compound analysis of variance of traits of peppermint in two crop years

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	ماده خشک Dry matter	اسانس Essence	منتول Menthol	عملکرد اسانس Essential yield	کارآیی تبدیل نیتروژن NUE
سال Year	1	790513.2 ^{ns}	0.335 ^{ns}	92.01 ^{ns}	16.51 ^{ns}	636.3 **
بلوک (سال) R(Year)	4	177743.0	0.605	19.86	240.71	3.54
تنش Stress	2	2884280.8^{ns}	0.191 ^{ns}	112.1 ^{ns}	379.15 ^{ns}	207.5 ^{ns}
سال× تنش Stress× Year	2	340556.4 **	0.029 ^{ns}	14.88 ^{ns}	136.94 ^{ns}	17.58 ^{ns}
خطای آ Residual a	8	13079.2	0.035	9.154	31.75	11.84
باکتری Bacteria	5	218063.0^{ns}	0.163 *	40.23 *	171.76 ^{ns}	45.51 ^{ns}
سال × باکتری Stress× Year	5	163419.4**	0.031 *	7.008 *	81.13 **	35.73 **
تنش× باکتری Stress×Bacteria	10	70235.0^{ns}	0.027 ^{ns}	27.54 **	43.07 ^{ns}	28.78 ^{ns}
سال×تنش× باکتری Stress×Bacteria× Year	10	70508.2**	0.011 ^{ns}	3.736 ^{ns}	32.43 **	14.33 *
خطای کل Residual	60	7372.34	0.0097	2.292	7.80	6.27
ضریب تغییرات (٪) C.V.		4.5	6.6	7.4	10.1	6.1

*: معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد؛ **: معنی دار در سطح احتمال یک درصد؛ ns: غیر معنی‌دار.

*: Significant at 5%; **: Significant at 1%; ns: Non-significant

ادامه جدول ۴-

Table 4- Continued

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	کارآیی تبدیل فسفر PUE	کارآیی تبدیل پتاسیم KUE	نیتروژن جذب شده N uptake	فسفر جذب شده P uptake	پتاسیم جذب شده K uptake
سال Year	1	354581.3 *	119.3 **	2.949 **	0.056 *	6.66 **
بلوک (سال) R(Year)	4	9647.7	1.566	0.004	0.0024	0.025
تنش Stress	2	207188.6 **	12.03 ^{ns}	1.019 ^{ns}	0.0349 ^{ns}	0.797 ^{ns}
سال× تنش Stress× Year	2	620.0 ^{ns}	15.38 ^{ns}	0.208 ^{ns}	0.0025 ^{ns}	0.992 ^{ns}
خطای آ Residual a	8	1868.5	4.029	0.084	0.00073	0.277
باکتری Bacteria	5	49600.9 *	23.6 ^{ns}	0.201 ^{ns}	0.0066 ^{ns}	0.934 ^{ns}
سال × باکتری Stress× Year	5	8564.1 **	8.116 **	0.169 **	0.0027 **	0.373 **
تنش× باکتری Stress×Bacteria	10	39357.7 *	8.814 ^{ns}	0.143 ^{ns}	0.0087 *	0.346 ^{ns}
سال×تنش× باکتری Stress×Bacteria× Year	10	8536.8 **	6.754 **	0.064 **	0.0018 **	0.285 **
خطای کل Residual	60	2419.7	1.90	0.24	0.00048	0.071
ضریب تغییرات (٪) C.V.		9.1	6.1	6.23	11.1	5.09

*: معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد؛ **: معنی دار در سطح احتمال یک درصد؛ ns: غیر معنی‌دار.

*: Significant at 5%; **: Significant at 1%; ns: Non-significant

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل سال و تلقیح میکروبی بر درصد اسانس و منتول

Table 5-Comparison of the average interaction effect of year and microbial inoculation on the percentage of essence and menthol

سال Year	تلقیح میکروبی Microbial inoculation		اسانس Essence (%)	منتول Menthol (%)
اول First	۱-شاهد	1-Control	1.45	18.06
	۲-تولید کننده سیدروفور+ جدایه افزاینده‌ی تحمل به خشکی	2-Manufacturer of siderophore+ isolate of drought tolerant enhancer	1.53	19.27
	۳-حل کننده فسفات معدنی+ جدایه افزاینده‌ی تحمل به خشکی	3- Mineral phosphate solvent + isolate of drought tolerant enhancer	1.48	18.88
	۴- ترکیب تیماری ۲+۳	4-Combination 2 + 3	1.52	19.81
	۵-کود میکروبی تجاری	5-Commercial microbial fertilizer	1.64	19.14
	۶- میکوریزا	6-Mycorrhiza	1.55	21.26
دوم Second	۱-شاهد	1-Control	1.23	17.99
	۲-تولید کننده سیدروفور+ جدایه افزاینده‌ی تحمل به خشکی	2-Manufacturer of siderophore+ isolate of drought tolerant enhancer	1.54	22.96
	۳-حل کننده فسفات معدنی+ جدایه افزاینده‌ی تحمل به خشکی	3- Mineral phosphate solvent + isolate of drought tolerant enhancer	1.37	20.89
	۴- ترکیب تیماری ۲+۳	4-Combination 2 + 3	1.36	21.54
	۵-کود میکروبی تجاری	5-Commercial microbial fertilizer	1.59	20.42
	۶- میکوریزا	6-Mycorrhiza	1.42	23.70
		LSD	0.14	2.32

در هر ستون میانگین هایی که اختلاف بیشتری نسبت به مقدار LSD دارند، تفاوت معنی‌داری دارند.

In each column, the means that have a greater difference than the LSD value have a significant difference.

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش و تلقیح میکروبی بر درصد منتول

Table 6-Comparison of the average interaction effect of stress and microbial inoculation on the percentage menthol

تنش Stress	تلقیح میکروبی Microbial inoculation		منتول Menthol (%)
۵۰٪ ظرفیت زراعی 50% crop capacity	۱-شاهد	1-Control	21.11
	۲-تولید کننده سیدروفور+ جدایه افزاینده‌ی تحمل به خشکی	2-Manufacturer of siderophore+ isolate of drought tolerant enhancer	23.03
	۳-حل کننده فسفات معدنی+ جدایه افزاینده‌ی تحمل به خشکی	3- Mineral phosphate solvent + isolate of drought tolerant enhancer	22.38
	۴- ترکیب تیماری ۲+۳	4-Combination 2 + 3	25.08
	۵-کود میکروبی تجاری	5-Commercial microbial fertilizer	18.88
	۶- میکوریزا	6-Mycorrhiza	23.00
۷۰٪ ظرفیت زراعی 70% crop capacity	۱-شاهد	1-Control	16.79
	۲-تولید کننده سیدروفور+ جدایه افزاینده‌ی تحمل به خشکی	2-Manufacturer of siderophore+ isolate of drought tolerant enhancer	19.40
	۳-حل کننده فسفات معدنی+ جدایه افزاینده‌ی تحمل به خشکی	3- Mineral phosphate solvent + isolate of drought tolerant enhancer	20.98
	۴- ترکیب تیماری ۲+۳	4-Combination 2 + 3	17.27
	۵-کود میکروبی تجاری	5-Commercial microbial fertilizer	21.86
	۶- میکوریزا	6-Mycorrhiza	23.42
آبیاری کامل Full irrigation	۱-شاهد	1-Control	16.18
	۲-تولید کننده سیدروفور+ جدایه افزاینده‌ی تحمل به خشکی	2-Manufacturer of siderophore+ isolate of drought tolerant enhancer	20.90
	۳-حل کننده فسفات معدنی+ جدایه افزاینده‌ی تحمل به خشکی	3- Mineral phosphate solvent + isolate of drought tolerant enhancer	16.29
	۴- ترکیب تیماری ۲+۳	4-Combination 2 + 3	19.67
	۵-کود میکروبی تجاری	5-Commercial microbial fertilizer	18.60
	۶- میکوریزا	6-Mycorrhiza	21.02
	LSD	-	1.74

در هر ستون میانگین‌هایی که اختلاف بیشتری نسبت به مقدار LSD دارند، تفاوت معنی‌داری دارند.

In each column, the means that have a greater difference than the LSD value have a significant difference.

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل سال، تنش و تلقیح میکروبی بر برخی صفات

Table 7-Comparison of the average interaction effect of year, stress and microbial inoculation on the some traits

سال Year	تنش **Stress**	تلقیح میکروبی Microbial inoculation	کارایی تبدیل نیتروژن Nitrogen conversion efficiency (kg ka^{-1})	عملکرد اسانس Essence yeald (kg ha^{-1})	عملکرد ماده خشک Dry matter yield (kg ha^{-1})	کارایی تبدیل فسفر Phosphorus conversion efficiency (kg ka^{-1})
سال ۱ year 1	۵۰٪ ظرفیت زراعی 50% crop capacity	1	45.18	82.3	1590.0	678.4
		2	45.84	95.6	1604.4	750.9
		3	44.29	93.0	1592.3	665.4
		4	42.18	94.1	1616.8	635.7
		5	43.73	103.9	1571.0	613.1
		6	42.91	98.1	1740.3	678.4
	۷۰٪ ظرفیت زراعی 70% crop capacity	1	46.23	98.9	1688.4	769.2
		2	47.39	109.9	1740.6	630.3
		3	41.13	112.3	1759.5	546.4
		4	42.21	115.4	1834.3	444.4
		5	45.36	132.5	1805.3	708.2
		6	44.78	118.1	1702.9	500.0
	آبیاری کامل irigation Full	1	40.83	110.6	1919.7	615.8
		2	38.91	128.3	1971.6	433.8
		3	43.99	124.5	2016.4	630.3
		4	41.33	144.2	2026.4	582.8
		5	41.93	140.0	2016.4	433.8
		6	40.60	135.1	1969.3	461.5
سال ۲ year 2	۵۰٪ ظرفیت زراعی 50% crop capacity	1	44.07	74.5	1516.1	732.3
		2	41.27	104.9	1775.3	587.0
		3	40.74	97.8	1570.3	552.7
		4	37.73	97.9	1772.0	500.6
		5	39.92	107.7	1485.1	460.3
		6	38.42	102.0	1574.9	558.4
	۷۰٪ ظرفیت زراعی 70% crop capacity	1	42.92	88.2	1655.7	620.4
		2	37.68	124.9	2188.5	471.7
		3	34.01	121.5	2038.5	319.5
		4	43.85	110.6	1663.5	463.3
		5	42.79	142.4	1850.1	552.4
		6	38.82	128.7	1951.2	462.4
	آبیاری کامل Full irigation	1	44.19	86.7	1625.0	470.4
		2	29.08	157.2	2702.9	274.0
		3	34.05	137.7	2471.9	463.2
		4	35.60	155.5	2328.9	450.5
		5	33.07	170.6	2647.7	363.8
		6	33.24	153.6	2427.9	412.8
	LSD	-	2.89	11.1	140.2	56.8

در هر ستون میانگین‌هایی که اختلاف بیشتری نسبت به مقدار LSD دارند، تفاوت معنی‌داری دارند.

In each column, the means that have a greater difference than the LSD value have a significant difference.

ادامه جدول ۷-
Table 7- Continued

سال Year	تنش **Stress**	تلقیح میکروبی Microbial inoculation	کارایی تبدیل پتاسیم Potassium conversion efficiency ($kg\ ka^{-1}$)	نیتروژن Nitrogen (%)	پتاسیم Potash (%)	فسفر Phosphorus (%)
سال ۱ year 1	۵۰٪ ظرفیت زراعی 50% crop capacity	1	1590.0	2.21	4.167	0.149
		2	1604.4	2.19	4.333	0.133
		3	1592.3	2.26	4.433	0.151
		4	1616.8	2.37	4.133	0.157
		5	1571.0	2.30	4.267	0.167
		6	1740.3	2.34	4.433	0.149
	۷۰٪ ظرفیت زراعی 70% crop capacity	1	1688.4	2.16	4.200	0.130
		2	1740.6	2.11	4.433	0.159
		3	1759.5	2.43	4.200	0.189
		4	1834.3	2.37	4.300	0.227
		5	1805.3	2.21	4.433	0.142
		6	1702.9	2.24	4.367	0.200
	آبیاری کامل irigation Full	1	1919.7	2.45	4.000	0.163
		2	1971.6	2.57	4.267	0.233
		3	2016.4	2.28	4.333	0.159
		4	2026.4	2.42	4.500	0.172
		5	2016.4	2.39	4.100	0.233
		6	1969.3	2.46	4.333	0.220
سال ۲ year 2	۵۰٪ ظرفیت زراعی 50% crop capacity	1	1516.1	2.27	4.120	0.137
		2	1775.3	2.43	4.602	0.171
		3	1570.3	2.46	4.737	0.181
		4	1772.0	2.65	4.533	0.201
		5	1485.1	2.53	4.077	0.218
		6	1574.9	2.63	4.698	0.180
	۷۰٪ ظرفیت زراعی 70% crop capacity	1	1655.7	2.33	4.488	0.162
		2	2188.5	2.66	5.414	0.215
		3	2038.5	2.94	5.106	0.316
		4	1663.5	2.30	4.229	0.217
		5	1850.1	2.34	4.878	0.181
		6	1951.2	2.58	4.775	0.217
	آبیاری کامل Full irigation	1	1625.0	2.28	3.683	0.215
		2	2702.9	3.46	5.392	0.375
		3	2471.9	2.95	4.939	0.219
		4	2328.9	2.82	5.305	0.224
		5	2647.7	3.06	5.620	0.282
		6	2427.9	3.01	5.580	0.244
	LSD	-	140.2	0.17	0.3	0.025

در هر ستون میانگین‌هایی که اختلاف بیشتری نسبت به مقدار LSD دارند، تفاوت معنی‌داری دارند.
In each column, the means that have a greater difference than the LSD value have a significant difference.

1-شاهد Control ، 2- تولید کننده سیدروفور+ جدایه افزاینده‌ی تحمل به خشکی Manufacturer of siderophore+ isolate of drought tolerant enhancer ، 3 - حل کننده فسفات معدنی+ جدایه افزاینده‌ی تحمل به خشکی Mineral phosphate solvent + isolate of drought tolerant enhancer، 4- ترکیب تیماری ۲+۳ Combination 2 + 3 ، 5- کود میکروبی تجاری Commercial microbial fertilizer ، 6- میکوریزا Mycorrhiza

References منابع مورد استفاده

- Ahmad, A.G., S. Orabi, and A. Gaballah. 2010. Effect of bio-N-P fertilizer on the growth, yield and some biochemical component of two sunflower cultivars. *International Journal of Academic Research.* 4(2): 271-277.
- Anwar, M., D.D. Patra, S. Chand, K. Alpesh, A.A. Naqvi, and S.P.S. Khanuja. 2005. Effect of organic manures and inorganic fertilizer on growth, herb and oil yield, nutrient accumulation, and oil quality of French basil. *Commun Soil Sciencse Plant Analysis*. 36: 1737-1746.
- Arazmjo, A., M. Heidari, A. Ghanbari, B. Siahsar, and A. Ahmadian. 2010. Effects of three types of fertilizers on essential oil, photosynthetic pigments and osmoregulators in chamomile under drought stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 3: 23-33. (In Persian).
- Bahamin, S., A. Koocheki, M. Nassiri Mahallati, and S. Beheshti. 2019. Effect of biological and chemical fertilizers of nitrogen and phosphorus on quantitative and qualitative productivity of maize under drought stress conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 12(1): 123-139. (In Persian).
- Bahamin, S., A. Koocheki, M. Nassiri Mahallati, and S. Beheshti. 2021. Effect of nitrogen and phosphorus fertilizers on yield and nutrient efficiency indices in maize under drought stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 14(3): 675-690. (In Persian).
- Bahamin, S., M. Sohrab, A.B. Mohammad, K.T. Behroz, and A. Qorbanali. 2014. Effect of bio-fertilizer, manure and chemical fertilizer on yield and reproductive characteristics of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *International Journal Research Research and Environmental Sciences.* 3(1): 36-43.
- Bahamin, S., S. Parsa, and S. Ghoreishi. 2013. The examination of effects of growth stimulating and salinity bacteria on the characteristics of *Mentha spicata* leaves. *International Journal of Agronomy and Plant Production*. 4 (9): 2119-2125.
- Banedjschafie, S., S. Bastani, P. Widmoser, and K. Mengel. 2008. Improvement of water use and N fertilizer efficiency by subsoil irrigation of winter wheat. *European Journal of Agronomy.* 28: 1–7.
- Bazzaz, F.A. 1996. Plants in changing environments. Linking physiological, population, and community ecology. Cambridge: Cambridge University Press.
- Brueck, H., and M. Senbayram. 2009. Low nitrogen supply decreases water-use efficiency of oriental tobacco. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science Zogology Pflanzenernahr Bodenkd*. 172: 216–223.
- Cabrera-Bosquet, L., G. Molero, J. Bort, S. Nogués, and J.L. Araus. 2007. The combined effect of constant water deficit and nitrogen supply on WUE, NUE and 13C in durum wheat potted plants. *Annals of Applied Biology*. 151: 277–289.
- Cao, H.X., Z.B. Zhang, P. Xu, L.Y. Chu, H.B. Shao, Z.H. Lu, and J.H. Liu. 2007. Mutual physiological genetic mechanism of plant high water use efficiency and nutrition use efficiency. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 57: 1-7.

- Chen, S.P., Y.F. Bai, L.X. Zhang, and X.G. Han. 2011. Comparing physiological responses of two dominant grass species to nitrogen addition in Xilin River Basin of China. *Environmental and Experimental Botany*. 53: 65–75.
- Çoban, Ö., and N.G. Baydar. 2016. Brassinosteroid effects on some physical and biochemical properties and secondary metabolite accumulation in peppermint (*Mentha piperita* L.) under salt stress. *Industrial Crops and Products*. 86: 251-258.
- Çoban, Ö., and N.G. Baydar. 2017. Brassinosteroid modifies growth and essential oil production in peppermint (*Mentha piperita* L.). *Journal of Plant Growth Regulation*. 36(1): 43-49.
- De Sousa Guedes, J.P., J.A. da Costa Medeiros, R.S.D.S. de Silva, J.M.B. de Sousa, M.L. da Conceição, and E.L. de Souza. 2016. The efficacy of *Mentha arvensis* L. and *M. piperita* L. essential oils in reducing pathogenic bacteria and maintaining quality characteristics in cashew, guava, mango, and pineapple juices. *International Journal of Food Microbiology*. 238: 183-192.
- Di Paolo, E., and M. Rinaldi. 2008. Yield response of corn to irrigation and nitrogen fertilization in a Mediterranean environment. *Field Crops Research*. 105: 202–210.
- Fadaei, E., Y. Parvizi, M. Gerdakane, and M. Khan-ahmadi. 2018. The effects of mycorhiza (*Glomus mosseae* and *Glomus intraradiceae*) and phosphorus on growth and phytochemical traits of *Dracocephalum moldavica* L. under drought stress. *Journal Medical Plants*. 2(66): 100-112.
- Fathi, A., and S. Bahamin. 2018. The effect of irrigation levels and foliar application (zinc, humic acid and salicylic acid) on growth characteristics, yield and yield components of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 11(3): 661-674. (In Persian).
- Francis, C., G. Lieblein, S. Gliessman, T. Breland, N. Creamer, and R. Harwood. 2003. Agroecology: the ecology of food systems. *Journal of Sustainable Agriculture*. 22: 99-118.
- Golestani, M. 2020. Evaluating the relationships among traits in thyme (Thymus daenensis subsp. Daenensis) ecotypes under non-Stress and drought sress conditions. *Journal of Crop Ecophysiology*. 13(52): 517-534.
- Hasani, M., M. Nouri, V. Hakimzadeh, and M. Maleki. 2015. Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oil of *Mentha piperita* endemic in Khorasan-Iran. *BioTechnology: An Indian Journal*. 11(5): 197-200.
- Kardoni, F., S. Bahamin, B. Khalil Tahmasebi, S. Ghavim-Sadati, and S. Vahdani. 2019. Yield comparisons of mung-bean as affected by its different nutritions (chemical, biological and integration) under tillage systems. *Journal of Crop Ecophysiology*. 13(49): 87-102. (In Persian).
- Kennedy, I.R., A.T. Choudhury, and M.A. Kecskes. 2004. Non-symbiotic bacterial diazotrophs in crop-farming systems: can their potential for plant growth promotion be better exploited? *Journal of Soil Biology and Biochemistry*. 36: 1229-1244.

- Khoshkhabar, H., M. Jafari, A. Feilinezhad, and S. Bahamin. 2015. Effect of Sodium Silicate on the Yield and Yield Components of Pea under Salinity Stress. *Biological Forum – An International Journal*. 7(1): 1045-1049.
- Kogbe, J.O.S., and J.A. Adediran. 2003. Influenced of nitrogen, phosphorus and potassium application on the yield of maize in savanna zone of Nigeria. *African Journal of Biological Sciences.* 2: 345-349.
- Leopold, A.C. 1990. Coping with sesication, In: Alscher, R.G., and J.R. Cumming (eds.) Stress response in plants: adaptation mechanisms. Wiley Liss New York. pp. 37-56.
- Maleki, A., A. Fathi, and S. Bahamin. 2020. The effect of gibberellin hormone on yield, growth indices, and biochemical traits of corn (*Zea Mays* L.) under drought stress. *Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research*. 15(59): 1-16. (In Persian).
- Mandal, S.M., K.C. Mondal, S. Dey, and B.R. Pati. 2007. Optimization of cultural and nutritional conditions for indole-3-acetic acid (IAA) production by a Rhizobium sp. isolated from root nodules of *Vigna mungo* (L.) Hepper. *Research Journal of Microbiology*. 2: 239-246.
- Mangang, J.S., R. Deaker, and G. Rogers. 2015. Early seedling growth response of lettuce, tomato and cucumber to *Azospirillum brasilense* inoculated by soaking and drenching. *Horticultural Science.* 42: 37–46.
- Rahmani, H., M. Mojaddam, A. Shokuhfar, M. Alavi Fazel, S. Lak. 2022. Effect of integrated management of biological and chemical nitrogen fertilizers with different plant densities on seed and oil percentage of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under water deficit stress. *Journal of Crop Ecophysiology*. 16(61): 27-42.
- Rezaei, A., B. Lotfi, M. Jafari, and S. Bahamin. 2015. Survey of effects of PGPR and salinity on the characteristics of Nigella leaves. *In Biological Forum-An International Journal*. 7:1085-1092.
- Saedi, H. 2007. Effect of some high and low consumption elements on yield components and other agronomic traits of sunflower in a calcareous soil in Isfahan. *Journal of Agricultural Science and Technology.* 1(11): 365-355.
- Seyedi, M., S. Mousavi Mirkalaei, and H. Zahedi. 2022. The effect of water deficit stress and foliar application of zinc oxide nano particles on morphophysiological characteristics of *Landraces Withania* coagulans L. *Journal of Crop Ecophysiology*. 16(62): 163-178. (In Persian).
- Shaukat, K., Sh. Afrasayab, and Sh. Hasnain. 2006. Growth responses of *Helianthus annus* to plant growth promoting rhizobacteria used as a biofertilizers. *International Journal of Agriculture Research*. 1(6): 573-581.
- Torfi, V., and K. Saeidi. 2016. Effect of plant growth promoting rhizobacteria on morphological traits and essential oil content of moldavian dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.). *Journal of Plant Productions* (*Agronomy, Breeding and Horticulture*). 39(2): 57-70.

- Uribelarrea, M., S.P. Moose, and F.E. Below. 2007. Divergent selection for grain protein affects nitrogen use in maize hybrids. *Field Crop Research*. 100: 82-90.
- Vukovic, I., M. Mesic, Z. Zgorelec, A. Jurisic, and K. Sajko. 2008. Nitrogen use efficiency in winter wheat. *Cereal Research Communications*. 36: 1199-1202.
- Wang, X., K. Dai, D. Zhang, X. Zhang, Y. Wang, Q. Zhao, D. Cai, W.B. Hoogmoed, and O. Oenema. 2011. Dryland maize yields and water use efficiency in response to tillage/crop stubble and nutrient management practices in China. *Field Crop Research*. 120: 47-57.
- Zabet, M., S. Bahamin, S. Ghoreishi, H. Sadeghi, and S. Moosavi. 2015. Effect of deficit irrigation and nitrogen fertilizer on quantitative yield of aboveground part of forage pear millet (*Pennisetum glaucum*) in Birjand. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 7(2): 187-194. (In Persian).
- Zahir, A.Z., M. Arshad, and W.F. Frankenberger. 2004. Plant growth promoting rhizobacteria. *Journal of Advance Agronomy*. 81(4): 97-168.
- Zolfaghari, M., V. Nazeri, F. Sefidkon, and F. Rejali. 2015. The effect of arbuscular mycorrhizal fungi on plant growth and essential oil content of *Ocimum basilicim*. *Journal of Plant Productions* (*Agronomy, Breeding and Horticulture*). 37(4): 47-56.

Research Article DOI: 10.30495/JCEP.2022.1917964.1744

Investigating the Effect of Microbial Inoculation on the Efficiency of Element Consumption and the Quality of Peppermint (*Mentha piperita* L.) under Drought Stress

Maryam Poornajaf[1], Mohammad Faizian[2*], Omidali Akbarpour [3] and RezaSoleimani[4]

Received: January 2021 , Revised: 21 May 2021, Accepted: 21June 2021

Abstract

The aim of this study was to investigate the effect of microbial inoculation on nutrient efficiency and quality of peppermint under drought stress in 2 crop years 2017-2018 and 2018-2019 in the Agricultural Research Center of Sarableh city located in Ilam province. This experiment was performed as a split plot in a randomized complete block design with 3 replications. Experiment with 2 factors, including drought stress in 3 levels of full irrigation (control), 70 and 50% of field capacity in main plots and growth-promoting bacteria and mycorrhiza in 6 levels including 1-control, 2-solute isolate Siderophore solvent + drought tolerant enhancer isolate, 3- mineral phosphate solvent isolate + drought tolerant enhancer isolate, 4- siderophore solvent isolate and drought tolerant enhancer isolate + dissolution isolate Mineral phosphate and isolates were increased by drought tolerance, 5-nitroxin commercial fertilizer and 6-mycorrhiza in subplots. The results of this study showed that most menthol essential oil in the combined treatment of siderophore soluble isolates and drought tolerant isolates + mineral phosphate soluble isolates and drought tolerant isolates and stress 50% of field capacity 24.2% was obtained compared to the lowest amount, ie control and full irrigation; Showed a 26% increase. At all levels of microbial inoculation except microbial fertilizer, the highest essential oil was always obtained at a stress of 50% of field capacity. The highest yield of peppermint essential oil was obtained in the treatment of commercial microbial fertilizer in the second year at the rate of 139.2 $kg.ha^{-1}$. Microbial inoculation under stress at 50% of field capacity caused a 21% increase in dry shoot yield compared to the same level of stress in control. Growth-promoting bacteria and mycorrhizae increase quantitative and qualitative yield and increase the efficiency of nitrogen and phosphorus, which can have a significant effect on reducing costs and maintaining the ecosystem of agricultural systems.

Key words: Menthol, Mycorrhiza, Peppermint, Sydrophorus, Stress.

1- Ph.D. Student of Soil science, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran.
2- Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran.
3- Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran.
4- Research Assistant Professor of Soil and Water Research Department, Ilam Agriccultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Reseaech, Education and Extension Organization. Ilam, Iran.
**Corresponding Author: feizian.m@lu.ac.ir*