نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۹، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۶، ص. ۴۵۷-۴۴۵

Journal of Agroecology
Vol. 9, No. 2, Summer 2017, p. 445-457

بررسی اثر ورمی‌کمپوست، کودهای زیستی و نیتروژن بر عملکرد کمی و کیفی مریم‌گلی (*Salvia officinalis* L.) تحت شرایط مختلف رطوبتی

مصطفی گواهی[۱]، امیر قلاوند[۲*]، فرزاد نجفی[۳] و علی سروش‌زاده[۴]

تاریخ دریافت: ۱۹ /۱۳۹۳/۱۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۴/۱۰

گواهی، م.، قلاوند، ا.، نجفی، ف.، و سروش زاده، ع. ۱۳۹۶. بررسی اثر ورمی‌کمپوست، کودهای زیستی و نیتروژن بر عملکرد کمی و کیفی مریم‌گلی (*Salvia officinalis* L.) تحت شرایط مختلف رطوبتی. بوم‌شناسی کشاورزی، ۹(۲): ۴۵۷-۴۴۵.

چکیده

مریم‌گلی (*Salvia officinalis* L.) یک گیاه دارویی متداول است که به طور گسترده‌ای در صنایع غذایی و داروسازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. به منظور بررسی تأثیر ورمی‌کمپوست،کودهای زیستی و نیتروژن بر عملکرد کمی و کیفی مریم‌گلی تحت شرایط مختلف رطوبتی، آزمایشی به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۵ تیمار و سه تکرار در دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس در سال‌های ۹۲-۱۳۹۱ و ۹۳-۱۳۹۲ انجام گردید. تیمارهای آزمایشی شامل آبیاری (I) در سه سطح: آبیاری پس از مصرف ۴۰ درصد رطوبت قابل استفاده در عمق توسعه ریشه (I_1) آبیاری پس از مصرف ۶۰ درصد رطوبت قابل استفاده در عمق توسعه ریشه (I_2) آبیاری پس از مصرف ۸۰ درصد رطوبت قابل استفاده در عمق توسعه ریشه (I_3) و حاصلخیزکننده‌های خاک در پنج سطح: عدم مصرف کود (F_0)، کود شیمیایی اوره (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) (Ur)، باکتری های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن (NFB)، ورمی‌کمپوست (V)، ورمی‌کمپوست + باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن (V+NFB) بودند که به ترتیب در کرت های اصلی و فرعی قرار داده شدند. نتایج نشان داد که گیاهان تحت تیمار بدون تنش (I_1) و ورمی‌کمپوست + باکتری (V+NFB) ارتفاع، قطر کانوپی، سطح برگ و عملکرد خشک بیشتری در هر سه برداشت برخوردار بودند. همچنین بیشترین مقدار اسانس و ترکیبات اسانس در هر سه برداشت در تنش متوسط و ورمی‌کمپوست+باکتری به‌دست آمد. در بین زمان های برداشت بیشترین ارتفاع (۲۸/۸۴ سانتی‌متر)، قطر کانوپی (۲۹/۵۸ سانتی‌متر)، سطح برگ (۱/۷۷) و عملکرد خشک (۲/۹۶۴ تن در هکتار) در برداشت سوم مشاهده شد. بیشترین مقدار اسانس(۱/۹۰ درصد) در برداشت دوم و آلفا توجون (۳۲/۷۳ درصد)، ۱و۸ سینئول (۱۰/۹۱ درصد) و کامفور (۲۳/۴۷ درصد) در برداشت سوم به‌دست آمد. به‌طور کلی، نتایج آزمایش نشان داد که مصرف ورمی‌کمپوست + باکتری سبب بهبود خصوصیات رشدی، مقدار اسانس و کیفیت اسانس شد. از طرفی بالاترین مقادیر خصوصیات رشدی در تیمار بدون تنش و بیشترین مقادیر اسانس و ترکیبات اسانس در تنش متوسط به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: اسانس، تغذیه ارگانیک، تنش خشکی، حاصلخیزی خاک

مقدمه

خانواده نعناع (Lamiaceae) دارای ۲۰۰ جنس و ۳۳۰۰ گونه است و معمولاً دارای اسانس می‌باشند (Azadbakht, 1999). یکی از گونه‌های این خانواده مریم‌گلی (*Salvia officinalis* L.) است. امروزه گیاه مریم‌گلی در کشورهای مختلفی برای به‌دست آوردن برگ‌های خشک به عنوان ماده اولیه در صنایع غذایی، دارویی و عطرسازی کاشته می‌شود (Santos-Gomes et al., 2002). اسانس مریم‌گلی در درمان طیف وسیعی از بیماری‌ها مثل بیماری‌های سیستم اعصاب، قلب و چرخش خون و همچنین بیماری‌های تنفسی

۱، ۲، ۳ و ۴- به ترتیب دانشجوی دکتری زراعت، استاد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، استادیار، گروه کشاورزی، پژوهشکده گیاهان و مواد اولیه دارویی، دانشگاه شهید بهشتی و دانشیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس
(*- نویسنده مسئول: Email: ghalavaa@modares.ac.ir)
DOI: 10.22067/jag.v9i2.45974

مورد استفاده قرار می‌گیرد (Duke, 2001). در تحقیقات به‌عمل آمده وجود برخی ترکیبات موجود در اسانس مریم‌گلی نظیر توجون، سینئول و کامفور را مسئول خواص ضد میکروبی، آنتی اکسیدانی و احتمالاً ضد سرطان می‌دانند (Piccaglia et al., 1997). در تحقیقات اخیر گزارش شده است که اسانس مریم‌گلی می‌تواند موجب بهبود حافظه شود که این نتایج امیدی را در درمان بیماری آلزایمر به وجود آورده است (Perry et al., 2005).

مدیریت حاصلخیزی خاک یکی از عوامل اصلی تعیین‌کننده رشد و عملکرد کمی و کیفی گیاهان دارویی محسوب می‌شود (Omidbaygi, 1995). به کارگیری انواع کودهای آلی و یا شیمیایی به منظور حصول عملکرد بالا در محصولات دارویی لازم است (Guarda et al., 2004) با این وجود، استفاده دراز مدت از کودهای شیمیایی به سبب تخریب ساختار فیزیکی و شیمیایی خاک می‌تواند منجر به کاهش عملکرد محصولات شود (Liu et al., 2010). اهمیت گیاهان دارویی، وجود ماده مؤثره در آن‌هاست. کاربرد صحیح و مناسب عناصر و مواد غذایی در طول مراحل کاشت، داشت و برداشت گیاهان دارویی، نه تنها نقش عمده‌ای در افزایش عملکرد دارد بلکه درکمیت و کیفیت مواد مؤثره آن‌ها نیز بسیار مؤثر است (Vildova et al., 2006). کاربرد کود مناسب یک عامل اصلی در کشت موفقیت‌آمیز گیاهان دارویی می باشد (Carrubba et al., 2002). با توجه به تأکیدی که کشاورزی پایدار بر افزایش کیفیت و پایداری عملکرد دارد، در گیاهان دارویی که محصولات کیفی می‌باشند، ورمی‌کمپوست گزینه مناسبی برای این سیستم محسوب می‌شود و به نظر می‌رسد که در چنین شرایطی، بهبود رشد و عملکرد از آن‌ها حاصل شود (Mahboub Khomami, 2008).

ورمی‌کمپوست نوعی کود آلی است که در نتیجه فعالیت گونه‌ای از کرم‌های خاکی بر ضایعات شهری، صنعتی و کشاورزی تولید می‌شوند (Sangwan et al., 2008). ورمی‌کمپوست منبع غنی از عناصر پرمصرف، کم مصرف، ویتامین‌ها، آنزیم‌ها و هورمون‌های محرک رشد گیاه است. از این رو، استفاده از آن در کشاورزی پایدار علاوه بر افزایش جمعیت و فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید خاک، سبب رشد زیاد و سریع گیاهان از جمله گیاهان دارویی می‌گردد (Prabha et al., 2007; Padmaathiamma et al., 2008). در خصوص تأثیر ورمی-کمپوست بر روی کمیت و کیفیت ماده مؤثره مشاهده شده که مصرف ورمی‌کمپوست (۵ تن در هکتار) سبب بهبود معنی‌دار مقدار اسانس و کیفیت آن در گیاه دارویی ریحان (*Ocimum basilicum* L.) شد، به نحوی که میزان لینالول و متیل کاویکول موجود در اسانس بیشتر از تیمار شاهد بود (Anwar et al., 2005). در تحقیقی دیگر کاربرد ورمی‌کمپوست باعث افزایش وزن خشک کل، درصد اسانس، عملکرد گل خشک و تازه و میزان کامازولن در گیاه دارویی بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla* L.) شد (Ghazimanas et al., 2013).

در نظام‌های کشاورزی پایدار کاربرد کودهای زیستی از اهمیت ویژه‌ای در افزایش تولید و حفظ حاصلخیزی پایدار خاک برخوردارند و باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه یا اصطلاحاً PGPR[1] از مهمترین کودهای زیستی می باشند(Sharma, 2002) . فراهم‌سازی شرایط لازم برای استفاده بیشتر از فرآیندهای طبیعی مانند تثبیت زیستی نیتروژن یکی از راهکارهای تولید بهینه محصول و مهمتر از آن حفظ سلامت محیط زیست است که امروزه در کشورهای مختلف به طور جدی دنبال می‌شود. از این رو، به منظور استقرار یک سیستم کشاورزی پایدار، بکارگیری کودهای زیستی از اهمیت بسزایی برخوردار است (Shaharoona et al., 2006). استفاده از باکتری‌ها (*ازتوباکتر، آزوسپریلیوم و سودوموناس*) به عنوان کود زیستی باعث افزایش کارایی کودهای نیتروژن و فسفر و در نتیجه بهبود رشد چندین گیاه زراعی شده است (Shaharoona et al., 2006; Roesty et al., 2006). کاربرد کودهای زیستی *ازتوباکتر، آزوسپریلیوم و باسیلیوس* باعث افزایش رشد رویشی، افزایش وزن تر، وزن خشک و میزان اسانس در گیاه دارویی رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.) گردید (Mahfouz & Sharaf-Eldin, 2007). در تحقیقی دیگر تلقیح با باکتری، سبب افزایش ارتفاع، تعداد برگ ساقه اصلی، قطر ساقه و تعداد شاخه گل‌دهنده در گیاه دارویی بادرشبی (*Dracocephalum moldavica* L.) شد (Yousefzadeh et al., 2013).

تنش خشکی یکی از مهمترین تنش‌های محیطی است که رشد و عملکرد گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. همچنین باعث کاهش جذب آب توسط سیستم ریشه گیاه، کاهش تعرق، کاهش هدایت روزنه‌ای و فتوسنتز و همچنین به هم خوردن موازنه هورمونی در گیاه می‌گردد (Khalafallah & Abo-Ghalia, 2008). نتیجه تحقیقی

1- Plant Growth Promoting Rhizobacteria

روی گیاه دارویی گشنیز(*Coriandrum sativum* L.) نشان داد که افزایش تنش خشکی باعث کاهش عملکرد و اجزای آن گردید و بیشترین درصد اسانس و ترکیبات اصلی آن (لینالول، آلفاپینن، گاما ترپینین، ژرانیول استات، کامفور) در تیمار تنش ملایم مشاهده شد (Ahmadian & Nourzad, 2014). در آزمایشی دیگر روی گیاه مرزه خصوصیات رویشی مانند ارتفاع ساقه، تعداد و مساحت سطح برگ، طول ریشه، وزن خشک برگ، ساقه و ریشه با افزایش خشکی به طور معنی‌داری کاهش یافتند (Esmaielpour et al., 2013). آن‌ها بیان داشتند که رشد کم یک حالت سازگارکننده برای زنده ماندن گیاه در شرایط تنش است. به این دلیل که گیاه مواد غذایی و انرژی را به جای استفاده برای رشد شاخساره به سمت مولکول‌های نگهداری-کننده در برابر تنش، هدایت می‌کند.

مدیریت عناصر غذایی مورد نیاز گیاه به‌ویژه در شرایط تنش خشکی که مدیریت مصرف آب نیز مطرح می باشد و ارزیابی تأثیر این گونه مدیریت‌ها بر کمیت و کیفیت گیاه دارویی مریم‌گلی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار بوده و تحقیقات مرتبط ضروری به نظر می‌رسد. به عبارت دیگر می‌توان با مدیریت مصرف آب و سیستم‌های مختلف تغذیه‌ای، شرایط را به گونه‌ای فراهم نمود که گیاه تحت آن شرایط، به پتانسیل بالقوه خود نزدیک‌تر شده و حداکثر عملکرد کمی و کیفی را تولید کند. لذا هدف از انجام این آزمایش بررسی اثر ورمی‌کمپوست، کودهای زیستی و نیتروژن بر عملکرد کمی و کیفی گیاه دارویی مریم‌گلی تحت شرایط مختلف رطوبتی بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به منظور بررسی اثر ورمی‌کمپوست، کودهای زیستی و نیتروژن بر عملکرد کمی و کیفی گیاه دارویی مریم‌گلی (*Salvia officinalis* L.) تحت شرایط مختلف رطوبتی به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس در سال های ۹۲-۱۳۹۱ و ۹۳-۱۳۹۲ انجام شد. متوسط بارندگی منطقه ۲۴۸ میلی‌متر و دمای متوسط ۱۷/۶۹ درجه سانتی‌گراد بوده است (جدول ۱). بر اساس نتایج تجزیه خاک (جدول ۲)، بافت خاک مزرعه لومی شنی[1] تشخیص داده شده‌است. تیمارهای آزمایشی شامل آبیاری (I) در سه سطح: آبیاری پس از مصرف ۴۰ درصد رطوبت قابل استفاده در عمق توسعه ریشه (I_1) آبیاری پس از مصرف ۶۰ درصد رطوبت قابل استفاده در عمق توسعه ریشه (I_2) آبیاری پس از مصرف ۸۰ درصد رطوبت قابل استفاده در عمق توسعه ریشه (I_3) و سامانه‌های حاصلخیزی خاک در پنج سطح: عدم مصرف کود (F_0)، کود شیمیائی اوره (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار)(Ur)، باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن (*ازتوباکتر+آزوسپریلیوم+سودوموناس*) (NFB)، ورمی‌کمپوست (۸ تن در هکتار) (V)، ورمی‌کمپوست + باکتری‌های آزادزی تثبیت کننده نیتروژن (V+NFB) می‌باشد. کود زیستی مصرف شده شامل مخلوطی از باکتری‌های *ازتوباکتر، آزوسپریلیوم و سودوموناس* به نسبت ۳۳ : ۳۳ : ۳۳ بود که از مؤسسه تحقیقات خاک و آب تهیه شد. نشاهای مریم‌گلی نیز از پژوهشکده گیاهان دارویی جهاد دانشگاهی تهیه شد. پس از آماده‌سازی زمین هر کرت آزمایشی شامل شش خط کاشت به فاصله ۶۰ سانتی‌متر و فاصله هر بوته روی خط ۳۰ سانتی-متر در نظر گرفته شد. فاصله بین کرت بلوک‌ها از یکدیگر دو متر و فاصله بین کرت‌ها در یک بلوک دو متر بود. کود ورمی‌کمپوست (جدول ۳) سه روز قبل از کاشت به کرت‌های مربوطه اضافه شد و توسط بیل دستی با خاک مخلوط شد. قبل از کاشت، نشاهایی که باید با باکتری‌ها تیمار شوند با مخلوط باکتری‌های *ازتوباکتر، آزوسپریلیوم و سودوموناس* تلقیح شدند. برای تلقیح، ریشه‌های نشاهای مریم‌گلی به مدت ۴۵ دقیقه در محلول باکتری‌ها قرار داده شد. نشاها در تاریخ ۱۵ اردیبهشت به صورت جوی و پشته کشت شدند. تیمارهای آبیاری بر اساس روش تغییرات درصد حجمی رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه انجام شد. برای کنترل رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه از لوله‌های دستگاه T.D.R(Time-Domain Reflectometry, Model TRIME-FM, England) در عمق۰ تا ۶۰ سانتی‌متری کرت‌ها استفاده شد. لازم به ذکر است قبل از اجرای آزمایش با نمونه-گیری از اعماق مختلف خاک در زمان‌های متفاوت، از طریق روش وزنی درصد حجمی رطوبت خاک تعیین گردید و سپس درصد حجمی رطوبت خاک در همین نقاط به‌وسیله دستگاه T.D.R اندازه‌گیری شد و سپس یک معادله رگرسیونی بین دو سری از داده‌ها محاسبه شده، که برای کالیبره کردن دستگاه T.D.R مورد استفاده قرار گرفت. داده‌های دستگاه T.D.R به طور روزانه در طول دوره رشد گیاه ثبت شد. در هر مرحله مجدد آبیاری، کرت‌ها تا ظرفیت اشباع خاک به طور مساوی (به‌وسیله قرائت کنتور) به روش نشتی آبیاری شدند.

1- Sandy loam

جدول ۱- میانگین بارندگی (mm) در طی ماه‌های اجرای آزمایش

Table 1- Means of precipitation (mm) during the months of experiment

سال year	فروردین April	اردیبهشت May	خرداد June	تیر July	مرداد Aguest	شهریور September
2012	-	-	1.9	4	0.7	4.2
2013	12	1.8	2.8	0.2	0	0

جدول ۲- برخی خواص فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 2- Some physical and chemical soil properties of experimental site

بافت Texture	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC ($dS.m^{-1}$)	کربن آلی (درصد) Organic carbon (%)	نیتروژن کل (درصد) Total N (%)	فسفر قابل دسترس (پی‌پی‌ام) P(Available) (ppm)	پتاسیم قابل دسترس (پی‌پی‌ام) K(Available) (ppm)	آهن (پی‌پی‌ام) Fe (ppm)	روی (پی‌پی‌ام) Zn (ppm)	مس (پی‌پی‌ام) Cu (ppm)	منگنز (پی‌پی‌ام) Mn (ppm)
لومی شنی Sandy loam	7.29	1.087	1.82	0.165	160	1049	15.034	3.79	1.284	**6.304**

جدول ۳- خصوصیات شیمیایی ورمی‌کمپوست مورد استفاده در این آزمایش

Table 3- Chemical characteristics of vermicompost used in the experiment

اسیدیته pH	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC ($dS.m^{-1}$)	کربن آلی (درصد) Organic carbon (%)	نیتروژن کل (درصد) Total N (%)	فسفر (درصد) P (%)	پتاسیم (درصد) K (%)	آهن (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Fe ($mg.kg^{-1}$)	روی (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Zn ($mg.kg^{-1}$)	مس (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Cu ($mg.kg^{-1}$)	منگنز (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Mn ($mg.kg^{-1}$)
7.70	4.37	18	1.12	1.85	0.57	4800	88.5	11.5	**4200**

در تیمار اول آبیاری (I_1)، آبیاری زمانی صورت گرفت که ۴۰ درصد رطوبت قابل استفاده در عمق ۰ تا ۶۰ سانتی متری خاک توسط گیاه و یا در اثر تبخیر از سطح خاک تخلیه گردید و در تیمار دوم آبیاری (I_2)، آبیاری زمانی صورت گرفت که ۶۰ درصد رطوبت قابل استفاده در عمق ۰ تا ۶۰ سانتی‌متری خاک تخلیه گردید و در تیمار سوم آبیاری (I_3)، آبیاری زمانی صورت گرفت که ۸۰ درصد رطوبت قابل استفاده در عمق ۰ تا ۶۰ سانتی‌متری خاک تخلیه گردید. برای کنترل رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه از لوله‌های دستگاه T.D.R (Time-Domain Reflectometry, Model TRIME-FM, England) در عمق۰ تا ۶۰ سانتی‌متری کرت‌ها استفاده شد. در ماه اول به منظور استقرار نشاها، تیمارها بر اساس شاهد آبیاری شدند. عملیات وجین علف‌های هرز در سه مرحله رشدی مریم‌گلی (مراحل ۶ ، ۱۴ و ۲۰ برگی) و به‌صورت دستی انجام شد.

جهت اندازه‌گیری صفات مورفولوژیک با در نظرگرفتن اثر حاشیه در مرحله برداشت ده گیاه به صورت تصادفی از هر کرت انتخاب شده و ارتفاع و قطر بوته با استفاده از خط‌کش و سطح برگ به‌وسیله دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ[1] مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند. برای اندازه‌گیری عملکرد ماده خشک پس از اینکه گیاهان از سطح خاک کف‌بر شدند در داخل پاکت‌هایی قرار گرفته و بعد فرآیند خشک کردن در دمای اتاق و در شرایط سایه کامل، انجام شد. اسانس‌گیری (۳۰ گرم برگ خشک برای هر نمونه) با روش تقطیر با آب و توسط دستگاه کلونجر انجام شد. برای تجزیه نمونه‌های اسانس و اندازه-گیری دقیق ترکیب‌های موجود در آن از دستگاه کروماتوگرافی گازی[2] (GC) و کروماتوگرافی متصل به طیف‌سنج جرمی[3] (GC/MS) استفاده شد. طیف‌های به‌دست آمده با مقایسه طیف‌های جرمی

1- Leaf Area meter (ΔT), England
2- Gas chromatography
3- Gas chromatography–mass spectrometry

ترکیب‌های استاندارد شناسایی شدند. درصد نسبی هر یک از ترکیب‌ها هم با توجه به سطح زیر منحنی آن در طیف کروماتوگرام حاصل به‌دست آمد.

داده‌های حاصل از نمونه‌برداری‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹,۱,۳) مورد تجزیه واریانس قرار گرفته و مقایسه میانگین‌های صفات به روش آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار[1] (LSD) در سطح پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

خصوصیات رشد (ارتفاع، قطر کانوپی و سطح برگ)

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمار آبیاری، تغذیه و اثر متقابل آن‌ها در هر سه برداشت بر ارتفاع، قطر کانوپی و سطح برگ گیاه مریم‌گلی معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تنش آبی تأثیر منفی بر صفات فوق داشته است به‌طوری که بیشترین میزان ارتفاع (۳۵/۵۸ سانتی‌متر)، قطر کانوپی (۳۷/۸۹ سانتی‌متر) و شاخص سطح برگ (۲/۳۷) در تیمار بدون تنش و برداشت سوم و کمترین ارتفاع (۱۴/۰۹ cm سانتی متر)، قطر کانوپی (۱۳/۶۹ سانتی‌متر) و شاخص سطح برگ (۰/۳۲) در تیمارتنش شدید و چین دوم مشاهده شد (جدول ۴). یکی از اولین نشانه‌های کمبود آب، کاهش تورژسانس و در نتیجه رشد و توسعه سلول به‌ویژه در ساقه و برگ‌ها است. با کاهش رشد سلول اندازه اندام محدود می‌شود و به همین دلیل است که اولین اثر محسوس کم‌آبی بر روی گیاهان را می‌توان از اندازه کوچکتر برگ‌ها یا ارتفاع گیاهان تشخیص داد. به علاوه در شرایط کم‌آبی جذب مواد و عناصر غذایی نیز کاهش یافته و بنابراین رشد و توسعه برگ‌ها محدود می‌گردد. به دنبال کاهش سطح برگ، جذب نور نیز کم شده و ظرفیت کل فتوسنتزی گیاه کاهش می‌یابد و بدیهی است که با محدود شدن فرآورده‌های فتوسنتزی در شرایط کمبود آب، رشد گیاه و در نهایت عملکرد آن دچار نقصان می‌شود (Hsiao, 1973). نتایج تحقیقی روی گیاه دارویی ترخون (*Artemisia dracunculus* L.) نشان داد که افزایش تنش خشکی موجب کاهش ارتفاع گیاه، قطر تاج پوشش، طول، عرض و سطح برگ شده است (Lotfi et al., 2014). همچنین بحرینی نژاد و همکاران (Bahreininejad et al., 2013) در مطالعه‌ای نشان دادند که تنش آبی موجب کاهش ارتفاع و سطح برگ گیاه دارویی آویشن دنایی (*Thymus daenesis* Celak.) شد. مقایسه میانگین‌های مربوط به تیمار تغذیه نشان داد که در هر سه برداشت همه تیمارهای کودی به طور معنی‌داری نسبت به شاهد (عدم کوددهی) مقادیر بالاتری از اجزای عملکرد را داشتند، این در حالی بود که تیمار ورمی‌کمپوست+باکتری بیشترین ارتفاع، قطر کانوپی و سطح برگ را به خود اختصاص داده بود(جدول ۴). می‌توان نتیجه گرفت که احتمالاً خواص شیمیایی و فیزیکی هیومیک اسید موجود در ورمی‌کمپوست، از طریق افزایش ظرفیت نگهداری عناصر غذایی و افزایش هورمون‌های تنظیم‌کننده رشد (Arancon et al., 2005) و همچنین افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌ها (Arancon et al., 2004) باعث افزایش تجمع ازت توسط گیاه می‌شود و با افزایش ازت رشد گیاه و از آن جمله ارتفاع، قطر کانوپی و سطح برگ افزایش می‌یابد. در آزمایشی مصرف ورمی‌کمپوست و کودهای بیولوژیک سبب افزایش ارتفاع بوته، تعداد برگ و گل آذین بوته و قطر ساقه گیاه دارویی ریحان (*Ocimum basilicum* L.) شد (Shirzadi et al., 2014).

همچنین اختلاف صفات خصوصیات رشدی در بین برداشت‌های مختلف معنی‌دار بود، به‌طوری‌که بیشترین ارتفاع (۲۸/۸۴ سانتی‌متر)، قطرکانوپی (۲۹/۵۸سانتی‌متر) و شاخص سطح برگ (۱/۷۷) گیاه مریم‌گلی مربوط به برداشت سوم و کمترین ارتفاع (۱۹/۴۷سانتی‌متر)، قطرکانوپی (۲۳/۳۴سانتی‌متر) و شاخص سطح برگ (۰/۷۱) گیاه مریم‌گلی مربوط به برداشت دوم بود (جدول۶). برتری صفات خصوصیات رشد در برداشت سوم (مهر ۹۲) احتمالاً به این دلیل می‌باشد که با توجه به اینکه مریم‌گلی گیاهی چند ساله می‌باشد، در نتیجه رشد رویشی بیشتری کرده و بیوماس بیشتری تولید می‌کند.

عملکرد خشک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمار آبیاری، تغذیه و اثر متقابل آن‌ها در هر سه برداشت بر عملکرد خشک گیاه مریم‌گلی معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین تیمارهای آبیاری حاکی از این بود که در هر سه برداشت، تیمار شاهد (بدون تنش) بیشترین و تیمار تنش شدید کمترین عملکرد خشک را دارا بودند (جدول ۴). کاهش شدید عملکرد در شرایط اعمال تنش کم‌آبی را می‌توان به تأثیر منفی تنش بر رشد رویشی و به‌ویژه اجزای عملکرد مربوط دانست، زیرا بسته‌شدن روزنه‌ها و کاهش فشار تورژسانس سلول‌های گیاهی در

1- Least significant difference

شرایط کمبود آب، می‌تواند قابلیت رشدی، فتوسنتزی و در نهایت عملکرد را کاهش دهد. نتایج تحقیقی روی گیاه دارویی مریم‌گلی نشان داد با افزایش تنش خشکی از میزان عملکرد خشک کاسته شد (Corell et al., 2012). همچنین در تحقیقی دیگر روی گیاه مریم‌گلی بیان شد که تنش خشکی سبب کاهش وزن تر و خشک شد (Bettaieb et al., 2011). مقایسه میانگین‌های مربوط به تیمار تغذیه حاکی از آن بود که در هر سه برداشت به طور معنی‌داری همه تیمارهای کودی نسبت به شاهد (عدم کوددهی) مقادیر بالاتری از عملکرد خشک را دارا بودند، این در حالی بود که تیمار ورمی‌کمپوست+باکتری بیشترین وزن خشک تولیدی را به خود اختصاص داده بود. همچنین مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد که در هر سه برداشت تیمار بدون تنش آب و تیمار ورمی‌کمپوست+باکتری به‌طور معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها برتری داشتند (جدول۴). اثرات مثبت و هم‌افزایی بین ورمی‌کمپوست و باکتری باعث افزایش فعالیت باکتری‌های موجود در خاک می‌گردد و باکتری‌ها در ناحیه ریزوسفر از طریق مکانیسم‌هایی مانند تولید هورمون‌های محرک رشد سبب افزایش رشد ریشه می‌گردند (Chen, 2006). علاوه بر این، به دلیل اثر مثبت آن‌ها بر بستر رشد، افزایش سطح ریشه و جذب بیشتر عناصر غذایی، موجب افزایش فعالیت‌های فتوسنتزی، رشد و عملکرد گیاه می‌گردند (Abdelaziz et al., 2007). نتایج تحقیقی روی گیاه دارویی رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.) نشان داد با کاربرد ورمی‌کمپوست و باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن، میزان عملکرد خشک افزایش یافت (Abdelaziz et al., 2007). همچنین اختلاف عملکرد خشک در بین برداشت‌های مختلف معنی‌دار بود، به‌طوری‌که بیشترین مقدار عملکرد خشک مربوط به برداشت سوم (۲/۹۲۶ تن در هکتار) وکمترین مقدار عملکرد خشک مربوط به برداشت دوم (۱/۱۸۳ تن در هکتار) بود (جدول ۶). دلیل بالا بودن عملکرد خشک در برداشت سوم به‌علت رشد رویشی بیشتر و بالا بودن اجزای عملکرد نسبت به دو برداشت قبلی و در نتیجه تولید ماده خشک بیشتر می باشد.

کمیت و کیفیت اسانس

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمار آبیاری و تغذیه در هر سه برداشت بر مقدار اسانس و ترکیبات مهم اسانس گیاه مریم‌گلی معنی‌دار بود (جدول ۵). مقایسه میانگین‌ها در هر سه مرحله برداشت نشان داد با افزایش تنش خشکی از تیمار شاهد (بدون تنش) به تیمار با تنش متوسط بر مقدار اسانس و ترکیبات اسانس تولیدی افزوده شد به‌طوری‌که بیشترین مقدار اسانس، ترکیبات آلفا توجون ، ۱و۸ – سینئول و کامفور در تیمار تنش متوسط به‌دست آمد اما در تیمار تنش شدید از میزان اسانس و ترکیبات اسانس کاسته شد. بالاترین درصد و عملکرد اسانس تولیدی در تنش متوسط مشاهده شد. نکته مهم این است که همیشه همراه با بالا رفتن میزان تنش، درصد اسانس نمی‌تواند افزایش یابد چرا که در تنش های 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). نتایج تحقیقی روی گیاه دارویی زیره سبز(*Cuminum cyminum* L.) نشان داد که بیشترین مقدار اسانس در تنش متوسط به‌دست آمد (Bettaieb et al., 2012). همچنین در تحقیقی دیگر روی گیاه دارویی مریم‌گلی نشان داده شد که بیشترین مقدار اسانس، آلفا توجون، ۱و۸ – سینئول و کامفور در تنش متوسط به‌دست آمد (Bettaieb et al., 2009). مقایسه میانگین‌های مربوط به تیمار تغذیه حاکی از آن بود که در هر سه برداشت به طور معنی‌داری همه تیمارهای کودی نسبت به شاهد (عدم کوددهی) مقادیر بالاتری از میزان اسانس، آلفا توجون، ۱و۸ – سینئول و کامفور را دارا بودند، این در حالی بود که تیمار ورمی‌کمپوست+باکتری بیشترین میزان و ترکیبات اسانس را به خود اختصاص داده بود (جدول ۵). در تفسیر نتیجه حاصل از بهبود میزان اسانس در اثر مصرف ورمی‌کمپوست+باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن می‌توان چنین اظهار کرد که کود مزبور با تأمین عناصر غذایی و تثبیت بیولوژیکی نیتروژن سبب سهولت و تسریع انجام واکنش‌های شیمیایی جهت تولید ترکیبات ترپنی اسانس می‌گردند. از آن‌جایی‌که اسانس‌ها ترکیبات ترپنوئیدی بوده و واحدهای سازنده آن‌ها (ایزوپرنوئیدها) مانند ایزوپنتنیل‌پیروفسفات (IPP) و دی‌متیل‌آلیل-پیروفسفات (DMAPP) نیاز مبرم به NADPH و ATP دارند، و حضور عناصری نظیر نیتروژن برای تشکیل ترکیب‌های اخیر ضروری می‌باشد، از این‌رو، مصرف ورمی‌کمپوست+باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن از طریق فراهمی جذب بیشتر نیتروژن می‌تواند موجب

افـزایش میـزان اسـانس شـود. در تحقیقـی روی گیـاه آنیسـون (*Pimpinella anisum* L.) نشـان داده شـد کـه بـا بـه‌کـارگیری ورمی‌کمپوست و باکتری‌های تثبیت‌کننـده نیتـروژن میـزان اسـانس افزایش یافت (Khalesro et al., 2012). نتایج تحقیق دیگـری روی گیاه دارویی رازیانـه شـیرین (*Foeniculum vulgare* var. Dulce) نشان داد که با کاربرد کودهای آلـی و زیسـتی مقـدار ترکیـب آنتـول افزایش یافت (Moradi et al., 2011).

همچنین میزان اسانس مریم‌گلی در بـین برداشـت‌هـای مختلـف معنی‌دار بود، به‌طوری‌که بیشترین مقدار اسانس مربـوط بـه برداشـت دوم (۱/۹۰ درصد) وکمترین مقـدار اسـانس مربـوط بـه برداشـت اول (۰/۷۵ درصد) بـود (جـدول ۶). همچنـین اخـتلاف ترکیبـات اسـانس مریم‌گلی در بین مراحل برداشـت‌هـای معنـی‌دار بـود، بـه‌طـوری‌کـه بیشترین مقدار آلفا توجون (۳۲/۷۳ درصـد)، ۱و۸ – سـینئول (۱۰/۹۱ درصد) و کامفور (۲۳/۳۹ درصد) مربوط به برداشت سوم بـود (جـدول ۶). برتری میزان اسانس در برداشت دوم (اردیبهشت ۹۲) نسبت به دو برداشت دیگر (مهر ۹۱ و مهر ۹۲) به دلیـل افـزایش میـزان اسـانس تولیدی در شرایط نور، گرما و مواد غذایی فـراهم شـده در طـی رشـد گیاه در برداشت بهاره نسبت به برداشت پاییزه می‌باشد.

جدول ٤- مقایسه میانگین برخی صفات اندازه‌گیری شده مریم گلی تحت رژیم‌های مختلف آبیاری و تیمارهای کودی

Table 4- Means comparison of some measured characters of sage under different irrigation regimes and fertilizer treatments

	ارتفاع (سانتی‌متر) Plant height (cm)			قطر کانوپی (سانتی‌متر) Canopy diameter (cm)			شاخص سطح برگ Leaf area Index			عملکرد خشک (تن بر هکتار) Dry matter yield ($t.ha^{-1}$)		
تیمار Treatment	2012 Sep.	2013 Apr.	2013 Sep.	2012 Sep.	2013 Apr.	2013 Sep.	2012 Sep.	2013 Apr.	2013 Sep.	2012 Sep.	2013 Apr.	2013 Sep.
آبیاری Irrigation	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
I_1	29.06^{a}	25.14^{a}	35.58^{a}	33.24^{a}	31.15^{a}	37.89^{a}	1.37^{a}	1.08^{a}	2.37^{a}	2.336^{a}	2.179^{a}	3.971^{a}
I_2	23.07^{b}	19.19^{b}	29.06^{b}	27.09^{b}	25.18^{b}	31.44^{b}	0.83^{b}	0.73^{b}	1.84^{b}	1.335^{b}	1.222^{b}	3.090^{b}
I_3	16.41^{c}	14.09^{c}	21.11^{c}	16.49^{c}	13.69^{c}	19.40^{c}	0.36^{c}	0.32^{c}	1.09^{c}	0.600^{c}	0.528^{c}	1.833^{c}
کود Fertilizer	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
F_0	17.68^{e}	14.96^{e}	23.22^{e}	17.21^{d}	15.30^{d}	21.71^{d}	0.59^{e}	0.50^{e}	1.43^{d}	0.945^{e}	0.831^{e}	2.389^{d}
Ur	22.83^{c}	19.09^{c}	28.22^{c}	26.31^{c}	23.58^{c}	29.10^{c}	0.81^{c}	0.71^{c}	1.76^{c}	1.447^{c}	1.191^{c}	2.955^{c}
V	24.74^{b}	21.02^{b}	30.46^{b}	27.70^{b}	26.00^{b}	32.30^{b}	0.95^{b}	0.77^{b}	1.87^{b}	1.582^{b}	1.268^{b}	3.138^{b}
NFB	21.88^{d}	18.34^{d}	27.56^{d}	26.28^{c}	24.12^{c}	29.37^{c}	0.75^{d}	0.63^{d}	1.75^{c}	1.219^{d}	1.052^{d}	2.931^{c}
V+NFB	27.11^{a}	23.94^{a}	33.39^{a}	30.54^{a}	27.70^{a}	35.40^{a}	1.17^{a}	0.94^{a}	2.04^{a}	1.925^{a}	1.571^{a}	3.409^{a}
آبیاری × کود Irrigation× fertilizer	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
$I_1 \times F_0$	23.97^{ef}	20.20^{d}	30.27^{e}	23.33^{e}	20.83^{g}	29.67^{f}	0.97^{f}	0.77^{e}	1.89^{ef}	1.583^{f}	1.287^{e}	3.171^{ef}
$I_1 \times Ur$	29.07^{c}	24.83^{c}	35.17^{c}	34.67^{b}	32.60^{c}	38.07^{c}	1.37^{c}	1.24^{b}	2.46^{b}	2.686^{b}	2.065^{b}	4.118^{b}
$I_1 \times V$	31.40^{b}	26.97^{b}	37.53^{b}	35.53^{b}	34.13^{b}	40.67^{b}	1.50^{b}	1.07^{c}	2.48^{b}	2.461^{c}	1.775^{c}	4.152^{b}
$I_1 \times NFB$	27.90^{d}	24.10c	33.97^{d}	34.67^{b}	32.40^{c}	37.50^{c}	1.26^{d}	0.95^{d}	2.36^{c}	2.078^{d}	1.588^{d}	3.953^{c}
$I_1 \times V+NFB$	32.98^{a}	29.60^{a}	40.97^{a}	38.00^{a}	35.77^{a}	43.53^{a}	1.76^{a}	1.37^{a}	2.66^{a}	2.872^{a}	2.272^{a}	4.460^{a}
$I_2 \times F_0$	17.80^{i}	14.30^{h}	23.63^{i}	16.97^{h}	15.17^{i}	23.00^{h}	0.60^{j}	0.54^{g}	1.55^{h}	0.907^{i}	0.896^{g}	2.587^{h}
$I_2 \times Ur$	23.13^{f}	19.17^{e}	28.97^{f}	28.47^{d}	25.80^{f}	30.80^{ef}	0.80^{h}	0.67^{f}	1.85^{f}	1.208^{g}	1.131^{f}	3.093^{f}
$I_2 \times V$	24.63^{e}	20.61^{d}	31.03^{e}	28.93^{d}	28.40^{e}	34.60^{d}	0.91^{g}	0.79^{e}	1.92^{e}	1.527^{f}	1.323^{e}	3.218^{e}
$I_2 \times NFB$	21.80^{g}	17.63^{f}	27.50^{g}	28.67^{d}	26.40^{f}	31.33^{e}	0.73^{i}	0.70^{f}	1.79^{g}	1.173^{g}	1.177^{f}	2.990^{g}
$I_2 \times V+NFB$	28.00^{cd}	24.23^{c}	34.17^{d}	32.43^{c}	30.13^{d}	37.47^{c}	1.11^{e}	0.95^{d}	2.13^{d}	1.857^{e}	1.585^{d}	3.560^{d}
$I_3 \times F_0$	11.27^{k}	10.37^{j}	15.77^{k}	11.33^{j}	9.90^{l}	12.47^{k}	0.21^{m}	0.19^{i}	0.84^{m}	0.344^{l}	0.309^{j}	1.410^{m}
$I_3 \times Ur$	16.30^{j}	13.27^{i}	20.77^{j}	15.80^{hi}	12.33^{k}	18.43^{j}	0.27^{l}	0.23^{i}	0.99^{l}	0.449^{k}	0.379^{ij}	1.654^{l}
$I_3 \times V$	18.20^{i}	15.50^{g}	22.80^{i}	18.63^{g}	15.47^{i}	21.63^{i}	0.45^{k}	0.47^{h}	1.22^{j}	0.757^{j}	0.705^{h}	2.043^{j}
$I_3 \times NFB$	15.93^{j}	13.30^{hi}	21.20^{j}	15.50^{i}	13.57^{j}	19.27^{j}	0.24^{lm}	0.23^{i}	1.11^{k}	0.405^{kl}	0.392^{i}	1.851^{k}
$I_3 \times V+NFB$	2037^{h}	18.00^{f}	25.03^{h}	21.20^{f}	17.20^{h}	25.20^{g}	0.62^{j}	0.51^{gh}	1.32^{i}	1.046^{h}	0.856^{g}	2.206^{i}

***: معنی دار در سطح یک هزارم درصد

***:Significant at $P \leq 0.001$

میانگین‌های دارای حروف یکسان در هر ستون بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار بین تیمارها در سطح ۵٪ می باشد.

Means with the same letters in each column indicate no significant difference between treatments at the 5% probability level.

I_1: آبیاری پس از مصرف ۴۰ درصد رطوبت قابل استفاده در عمق توسعه ریشه، I_2: آبیاری پس از مصرف ۶۰ درصد رطوبت قابل استفاده در عمق توسعه ریشه، I_3: آبیاری پس از مصرف ۸۰ درصد رطوبت قابل استفاده در عمق توسعه ریشه. F_0: عدم مصرف کود، Ur: کود شیمیائی اوره، V: ورمی‌کمپوست و V+NFB: ورمی‌کمپوست + باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن.

I_1: irrigation after depletion of 40% available water, I_2: irrigation after depletion of 60% available water, I_3: irrigation after depletion of 80% available water. F_0: no fertilizer, Ur: urea, V: vermicompost, NFB: nitrogen fixing bacteria (*Azotobacter+Azospirillum+Pseudomonas*) and V+NFB: vermicompost + nitrogen fixing bacteria

جدول ۵- مقایسه میانگین برخی صفات اندازه گیری شده مریم گلی تحت رژیم های مختلف آبیاری و تیمارهای کودی

Table 5- Means comparison of some measured characters of sage under different irrigation regimes and fertilizer treatments

	مقدار اسانس (درصد) (Essential oil content) (%)			آلفا توجون (درصد) α-Thujone (%)			1و8 سینئول (درصد) 1,8-Cineole (%			کامفور (درصد) Camphor (%)		
تیمار Treatment	2012 Sep.	2013 Apr.	2013 Sep.	2012 Sep.	2013 Apr.	2013 Sep.	2012 Sep.	2013 Apr.	2013 Sep.	2012 Sep.	2013 Apr.	2013 Sep.
آبیاری Irrigation	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
I_1	0.49^{c}	1.12^{c}	1.07^{c}	27.93^{c}	23.69^{c}	29.18^{c}	8.66^{c}	7.38^{c}	8.58^{c}	18.72^{c}	16.48^{c}	19.77^{c}
I_2	0.97^{a}	2.42^{a}	2.19^{a}	34.12^{a}	31.77^{a}	35.78^{a}	12.97^{a}	11.38^{a}	13.34^{a}	24.81^{a}	22.14^{a}	26.69^{a}
I_3	0.78^{b}	2.18^{b}	1.95^{b}	29.06^{b}	26.73^{b}	33.23^{b}	10.37^{b}	10.25^{b}	10.79^{b}	23.88^{b}	20.40^{b}	23.96^{b}
کود Fertilizer	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
F_0	0.66^{d}	1.60^{e}	1.42^{e}	29.65^{d}	27.41^{a}	32.68^{b}	10.23^{e}	9.66^{c}	10.85^{a}	22.16^{e}	19.65^{c}	23.42^{d}
Ur	0.73^{c}	1.85^{d}	1.65^{d}	30.28^{c}	27.27^{b}	32.75^{a}	10.31^{d}	9.68^{ab}	10.93^{b}	22.33^{d}	19.67^{b}	23.48^{b}
V	0.77^{b}	2.01^{b}	1.86^{b}	30.67^{b}	27.42^{a}	32.75^{a}	10.89^{b}	9.67^{bc}	10.93^{b}	22.60^{b}	19.68^{ab}	23.49^{b}
NFB	0.74^{c}	1.90^{c}	1.75^{c}	30.25^{c}	27.42^{a}	32.70^{b}	10.74^{c}	9.66^{c}	10.87^{g}	22.56^{c}	19.66^{bc}	23.47^{c}
V+NFB	0.84^{a}	2.15^{a}	2.01^{a}	31.00^{a}	27.45^{a}	32.77^{a}	11.17^{a}	9.70^{a}	10.95^{a}	22.71^{a}	19.69^{a}	23.51^{a}
آبیاری × کود Irrigation× Fertilizer	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
$I_1 \times F_0$	0.37^{j}	1.01^{m}	0.94^{l}	26.34^{i}	23.75^{c}	29.13^{h}	7.48j	7.35f	8.54^{h}	18.63^{l}	16.45^{g}	19.72^{i}
$I_1 \times Ur$	0.49^{i}	1.09^{l}	1.06^{ik}	28.45^{ge}_{f}	23.33^{d}	29.19^{fg}	8.75i	7.41de	8.60^{g}	18.78^{j}	16.50^{e}	19.79^{g}
$I_1 \times V$	0.51^{i}	1.15^{k}	1.13^{hi}	28.20^{gh}	23.76^{c}	29.20^{f}	8.77i	7.39de	8.60^{g}	18.71^{lk}	16.47^{f}	19.78^{gh}
$I_1 \times NFB$	0.50^{i}	1.11^{kl}	1.03^{k}	28.19^{h}	23.78^{c}	29.15^{gh}	8.76i	7.37ef	8.56^{h}	18.69^{k}	16.48^{ef}	19.76^{h}
$I_1 \times V+NFB$	0.55^{h}	1.24^{j}	1.19^{h}	28.47^{ef}	23.81^{c}	29.21^{f}	9.56^{g}	7.42^{d}	8.61^{g}	18.79^{j}	16.50^{e}	19.80^{g}
$I_2 \times F_0$	0.89^{d}	1.97^{h}	1.73^{f}	34.01^{b}	31.75^{a}	35.73^{b}	12.67^{d}	11.37^{b}	13.27^{c}	24.60^{e}	22.12^{b}	26.64^{c}
$I_2 \times Ur$	0.93^{c}	2.38^{d}	2.11^{d}	34.07^{b}	31.77^{a}	35.80^{a}	12.74^{c}	11.39^{ab}	13.37^{a}	24.89^{b}	22.13^{b}	26.70^{b}
$I_2 \times V$	1.00^{b}	2.57^{b}	2.32^{b}	34.11^{ab}	31.77^{a}	35.81^{a}	13.26^{a}	11.37^{ab}	13.38^{a}	24.83^{c}	22.14^{b}	26.70^{b}
$I_2 \times NFB$	0.93^{c}	2.45^{c}	2.22^{c}	34.09^{ab}	31.75^{a}	31.75^{b}	12.89^{b}	11.36^{b}	13.30^{b}	24.73^{d}	22.13^{b}	26.68^{b}
$I_2 \times V+NFB$	1.10^{a}	2.71^{a}	2.56^{a}	34.32^{a}	31.79^{a}	35.83^{a}	13.29^{a}	11.41^{a}	13.39^{a}	25.00^{a}	22.16^{a}	26.73^{a}
$I_3 \times F_0$	0.70^{g}	1.84^{i}	1.59^{g}	28.61^{e}	26.73^{b}	33.18^{e}	10.54^{f}	10.25^{c}	10.74^{f}	23.24^{i}	20.38^{d}	23.91^{f}
$I_3 \times Ur$	0.77^{f}	2.08^{g}	1.79^{f}	28.32^{gh}_{f}	26.72^{b}	33.25^{cd}	9.43^{h}	10.25^{c}	10.82^{de}	23.31^{h}	20.38^{d}	23.96^{e}
$I_3 \times V$	0.80^{e}	2.31^{e}	2.13^{d}	29.70^{d}	26.74^{b}	33.25^{cd}	10.65^{e}	10.26^{c}	10.81^{e}	24.25^{g}	20.43^{c}	23.98^{de}
$I_3 \times NFB$	0.78^{f}	2.15^{f}	1.98^{e}	28.47^{ef}	26.73^{b}	33.21^{de}	10.57^{f}	10.24^{c}	10.76^{f}	24.27^{g}	20.38^{d}	23.97^{de}
$I_3 \times V+NFB$	0.87^{d}	2.50^{c}	2.26^{bc}	30.20^{c}	26.76^{b}	33.27^{c}	10.66^{e}	10.27^{c}	10.84^{d}	24.23^{f}	20.42^{c}	23.99^{d}

***: معنی دار در سطح یک هزارم درصد

***:Significant at $P \leq 0.001$

میانگین‌های دارای حروف یکسان در هر ستون بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار بین تیمارها در سطح ۵٪ می باشد.

Means with the same letters in each column indicate no significant difference between treatments at the 5% probanitity level.

I_1: آبیاری پس از مصرف ۴۰ درصد رطوبت قابل استفاده در عمق توسعه ریشه، I_2: آبیاری پس از مصرف ۶۰ درصد رطوبت قابل استفاده در عمق توسعه ریشه، I_3: آبیاری پس از مصرف ۸۰درصد رطوبت قابل استفاده در عمق توسعه ریشه. F_0: عدم مصرف کود، Ur: کود شیمیائی اوره، V: ورمی‌کمپوست و V+NFB: ورمی‌کمپوست + باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن.

I_1: irrigation after depletion of 40% available water, I_2: irrigation after depletion of 60% available water, I_3: irrigation after depletion of 80% available water. F_0: no fertilizer, Ur: urea, V: vermicompost, NFB: nitrogen fixing bacteria (*Azotobacter+Azospirillum+Pseudomonas*) and V+NFB: vermicompost + nitrogen fixing bacteria

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد تنش خشکی سبب کاهش مقادیر خصوصیات رشدی (ارتفاع، قطر کانوپی و سطح برگ) می‌شود و بیشترین مقادیر کمیت و کیفیت اسانس در تنش متوسط مشاهده شد. همچنین نتایج نشان داد که تیمار کودی ورمی کمپوست + باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن بهترین ترکیب کودی در بین تیمارهای مورد آزمایش در افزایش مقادیر خصوصیات رشدی، عملکرد خشک، کمیت و کیفیت اسانس بود.

جدول ٦- مقایسه میانگین برخی صفات اندازه‌گیری شده مریم گلی تحت رژیم‌های مختلف آبیاری و تیمارهای کودی در زمان‌های مختلف برداشت

Table 6- Means comparison of some measured characters of sage under different irrigation regimes and fertilizer treatments in different harvest times

تیمار Treatment	ارتفاع (سانتی‌متر) Plant height (cm)	قطر کانوپی(سانتی متر) Canopy diameter (cm)	شاخص سطح برگ Leaf area Index	عملکرد خشک (تن در هکتار) Dry matter yield ($t.ha^{-1}$)	مقدار اسانس (درصد) Essential oil content (%)	آلفا توجون (درصد) α-Thujone (%)	۱ و ۸ سینئول (درصد) 1,8-Cineole (%)	کامفور (درصد) Camphor (%)
آبیاری Irrigation	***	***	***	***	***	***	***	***
I_1	29.93^{e}	34.09^{a}	1.61^{a}	2.702^{a}	0.89^{c}	26.93^{c}	8.21^{c}	18.32^{c}
I_2	23.77^{b}	27.90^{b}	1.12^{b}	1.882^{b}	1.86^{a}	33.89^{a}	12.56^{a}	24.56^{a}
I_3	17.20^{c}	16.53^{c}	0.59^{c}	0.987^{c}	1.64^{b}	29.68^{b}	10.47^{b}	22.75^{b}
کود Fertilizer	***	***	***	***	***	***	***	***
F_0	18.62^{e}	18.07^{d}	0.84^{e}	1.388^{e}	1.23^{e}	29.91^{d}	10.25^{e}	21.74^{b}
Ur	23.41^{c}	26.33^{c}	1.10^{c}	1.865^{c}	1.41^{d}	30.10^{c}	10.31^{d}	21.83^{b}
V	25.41^{b}	28.67^{b}	1.20^{b}	1.996^{b}	1.55^{b}	30.28^{b}	10.50^{b}	21.92^{ab}
NFB	22.59^{d}	26.59^{c}	1.04^{d}	1.730^{d}	1.46^{c}	30.12^{c}	10.42^{c}	21.90^{ab}
V+NFB	28.15^{a}	31.21^{a}	1.38^{a}	2.302^{a}	1.66^{a}	30.41^{a}	10.61^{a}	21.97^{a}
آبیاری × کود Irrigation× Fertilizer	***	***	***	***	***	***	***	***
$I_1 \times F_0$	24.81^{e}	24.61^{g}	1.21^{e}	2.014^{fg}	0.78^{l}	26.41^{h}	7.79k	18.27^{m}
$I_1 \times Ur$	29.69^{c}	35.11^{c}	1.69^{b}	2.956^{b}	0.88^{k}	26.99^{g}	8.25i	18.36^{k}
$I_1 \times V$	31.97^{b}	36.78^{b}	1.68^{b}	2.796^{c}	0.93^{j}	27.05^{fg}	8.25i	18.32^{l}
$I_1 \times NFB$	28.66^{d}	34.86^{c}	1.53^{c}	2.540^{d}	0.88^{k}	27.04^{fg}	8.23j	18.31^{l}
$I_1 \times V+NFB$	34.51^{a}	39.10^{a}	1.93^{a}	3.20^{a}	0.99^{i}	27.16^{f}	8.53h	18.36^{k}
$I_2 \times F_0$	18.58^{i}	18.38^{i}	0.89^{g}	1.463^{j}	1.53^{g}	33.83^{b}	12.44d	24.45^{e}
$I_2 \times Ur$	23.76^{f}	28.36^{f}	1.11^{f}	1.811^{h}	1.81^{d}	33.88^{b}	12.50c	24.57^{b}
$I_2 \times V$	25.42^{e}	30.64^{e}	1.21^{e}	2.023^{f}	1.96^{b}	33.90^{ab}	12.67b	24.56^{c}
$I_2 \times NFB$	22.31^{g}	28.80^{f}	1.07^{f}	1.780^{hi}	1.87^{c}	33.86^{ab}	12.52c	24.51^{d}
$I_2 \times V+NFB$	28.80^{cd}	33.34^{d}	1.40^{d}	2.334^{e}	2.12^{a}	33.98^{a}	12.70a	24.63^{a}
$I_3 \times F_0$	12.47^{k}	11.23^{k}	0.41^{k}	0.688^{n}	1.38^{h}	29.51^{d}	10.51f	22.51^{j}
$I_3 \times Ur$	16.78^{j}	15.52^{j}	0.49^{j}	0.827^{m}	1.54^{g}	29.43^{d}	10.17g	22.55^{i}
$I_3 \times V$	18.83^{i}	18.58^{i}	0.71^{i}	1.168^{l}	1.75^{e}	29.90^{c}	10.57e	22.89^{g}
$I_3 \times NFB$	16.81^{j}	16.11^{j}	0.53^{j}	0.883^{m}	1.64^{f}	29.47^{d}	10.52f	22.87^{h}
$I_3 \times V+NFB$	21.13^{h}	21.20^{h}	0.82^{h}	1.369^{k}	1.88^{c}	29.08^{e}	10.59e	22.91^{f}
زمان برداشت Harvest time	***	***	***	***	***	***	***	***
مهر 1391 September 2012	22.85^{b}	25.61^{b}	0.86^{b}	1.424^{b}	0.75^{c}	30.37^{b}	10.67^{b}	22.47^{b}
اردیبهشت 1392 May 2013	19.47^{c}	23.34^{c}	0.71^{c}	1.183^{c}	1.90^{a}	27.40^{c}	9.67^{c}	19.67^{c}
مهر 1392 September 2013	28.84^{a}	29.58^{a}	1.77^{a}	2.964^{a}	1.74^{b}	32.73^{a}	10.91^{a}	23.47^{a}

***: معنی دار در سطح یک هزارم درصد

***:Significant at $P \leq 0.001$

میانگین‌های دارای حروف یکسان در هر ستون بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار بین تیمارها در سطح ۵٪ می باشد.

Means with the same letters in each column indicate no significant difference between treatments at the 5% probability level.

I_1: آبیاری پس از مصرف ۴۰ درصد رطوبت قابل استفاده در عمق توسعه ریشه، I_2: آبیاری پس از مصرف ۶۰ درصد رطوبت قابل استفاده در عمق توسعه ریشه، I_3: آبیاری پس از مصرف ۸۰ درصد رطوبت قابل استفاده در عمق توسعه ریشه. F_0: عدم مصرف کود، Ur: کود شیمیائی اوره، V: ورمی‌کمپوست و V+NFB: ورمی‌کمپوست + باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن.

I_1: irrigation after depletion of 40% available water, I_2: irrigation after depletion of 60% available water, I_3: irrigation after depletion of 80% available water. F_0: no fertilizer, Ur: urea, V: vermicompost, NFB: nitrogen fixing bacteria (*Azotobacter+Azospirillum+Pseudomonas*) and V+NFB: vermicompost + nitrogen fixing bacteria

منابع

Abdelaziz, M., Pokluda, R., and Abdelwahab, M. 2007. Influence of compost, microorganisms and NPK fertilization upon growth, chemical composition and essential oil production of (*Rosmarinus officinalis* L.). Notulae Botanica

Horti Agrobotanici Cluj-Napoca Journal 35(1): 86-90.

Ahmadian, A., and Nourzad, S. 2014. Effect of water stress and harvesting stages on quantitative and qualitative yields of coriander (*Coriandrum sativum* L.). Journal of Agroecology 6(1): 130-141. (In Persian with English summary)

Anwar, M., Patra, D.D., Chand, S., and Khanuja, S.P.S. 2005. Effect of organic manures and inorganic fertilizer on growth, herb and oil yield, Nutrient Accumulation, and oil quality of French basil. Communications in Soil Science and Plant Analysis 36(13-14): 1737-1746.

Arancon, N.Q., Edwards, C.A., Atieyh, R.M., and Metzger, J.D. 2004. Effect of vermicomposts produced from food waste on the growth and yields of greenhouse peppers. Brioresource Technology 93: 139-143.

Arancon, N.Q., Galvis, P.A., and Edwards, A. 2005. Suppression of insect pest populations and damage to plants by vermicomposts. Bioresource Technology 96(10): 1137-1142.

Azadbakht, M. 1999. Taxonomy of Medicinal Plants. Teimourzadeh Publications. Tehran, Iran. (In Persian)

Bahreininejad, B., Razmjoo, J., and Mirza, M. 2013. Influence of water stress on morpho-physiological and phytochemical traits in *Thymus daenensis*. International Journal of Plant Production 7: 151-166

Bettaieb, I., Hamrouni-Sellami, I., Bourgou, S., Limam, F., and Marzouk, B. 2011. Drought effects on polyphenol composition and antioxidant activities in aerial parts of *Salvia officinalis* L. Acta Physiologiae Plantarum 33: 1103–1111.

Bettaieb, I., Jabri-Kroui, I., Hamrouni-sellam, 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.

Bettaieb, I., Zakhama, N., Wanes, W., and Marzouk, B. 2009. Water deficit effects on (*Salvia officinalis*) fatty acids and essential oils composition. Scientia Horticulturae 120(2): 271-275.

Carrubba, A., Latorre, R., and Matranga, M. 2002. Cultivation trials of some aromatic and medicinal plants in a semi-arid mediterranean environment. Proceeding of an International Conference on MAP, Budapest, Hungary, Acta Horticulture 576: 207-213.

Chen, J.H. 2006. The combined use of chemical and organic fertilizer for crop growth and soil fertility. International Workshop on Sustainable Management of the Soil-Rhizosphere System for Efficient Crop Production and Fertilizer Use. Thailand, 16-20 October p. 1-11.

Corell, M., Garcia, M.C., Contreras, J.I., Segura, M.L., and Cermeno, P. 2012. Effect of water stress on *salvia officinalis* L. bioproductivity and its bioelement concentrations. Communications in Soil Science and Plant Analysis 43:419–425.

Duke, J.A. 2001. Handbook of Medicinal Herbs, CRC Publications, LLC, USA.

Esmaielpour, B., Jalilvand, P., and Hadian, J. 2013. Effects of drought stress and arbuscular mycorrhizal fungi on some morphophysiological traits and yield of savory (*Satureja hortensis* L.). Journal of Agroecology 5(2): 169-177. (In Persian with English summary)

Ghazi Manas, M., Babj Shafiee, Sh., Hajseyd Hadi, M.R., and Darzi, M.T. 2013. Effects of vermicompost and nitrogen on qualitative and quantitative yield of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 29(2): 269-280. (In Persian with English Summary)

Guarda, G., Padovan, S., and Delogu, G. 2004. Grain yield, nitrogen-use efficiency and baking quality of old and modern Italian bread-wheat cultivars grown at different nitrogen levels. European Journal of Agronomy 21: 181–192.

Hsiao, T.C. 1973. Plant responses to water stress. Annual Review of Plant Physiology 24: 519-570.

Khalafallah, A.A., and Abo-Ghalia, H.H. 2008. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on the metabolic products and activity of antioxidant system in wheat plants subjected to short-term water stress, followed by recovery at different growth stages. Journal of Applied Sciences Research 4(5): 559-569.

Khalesro, S., 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 27(4): 551-560. (In Persian with English Summary)

Liu, E., Yan, C., Mei, X., He, W., Bing, S.H., Ding, L., Liu, Q., Liu, S., and Fan, T. 2010. Long-term effect of chemical fertilizer, straw, and manure on soil chemical and biological properties in northwest China. Geoderma 158: 173-180.

Lotfi, M., Abbaszadeh, B., and Mirza, M. 2014. The effect of drought stress on morphology, proline content and soluble carbohydrates of tarragon (*Artemisia dracunculus* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 30(1): 19-

29. (In Persian with English summary)

Mahboub Khomami, A. 2008. The effects of kind and rate of vermicompost in pot medium on the growth of ficus bengamina. Seed and Plant Improvement Journal 24(2): 333-349.

Mahfouz, S.A., and Sharaf-Eldin, M.A. 2007. Effect of mineral vs. biofertilizer on growth, yield, and essential oil content of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). International Agrophysics 21: 361-366.

Moradi, R., Rezvani Moghaddam, P., Nasiri Mahallati, M., and Nezhadali, A. 2011. Effects of organic and biological fertilizers on fruit yield and essential oil of sweet fennel (*Foeniculum vulgare* var. dulce). Spanish Journal of Agricultural Research 9: 546-553.

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

Omidbaygi, R. 1995. Approaches for Production and Processing of Medicinal Plants (Vol. I). Tarrahan Nashr Publication. Tehran, Iran. (In Persian)

Padmavathiamma, P.K., Li, L.Y., and Kumari, U.R. 2008. An experimental study of vermin biowaste composting for agriculture soil improvement. Bioresource Technology 99: 1672-1681.

Perry, E.K., Pickering, A.T., Wang, W.W., Houghton, P.J., and Perry, N.S.L. 2005. Medicinal plants and Alzheimer's disease: from ethnobotany to phytotherapy. Journal of Pharmacy and Pharmacology 51: 527–534.

Piccaglia, R., Marotti, M., and Dellacecca, V. 1997. Effect of planting density and harvest date on yield and chemical composition of sage oil. Journal of Essential Oil Research 9: 187- 191.

Prabha, M.L., Jayraaj, I.A., Jayraaj, R., and Rao, D.S. 2007. Effective of vermicompost on growth parameters of selected vegetable and medicinal plants. Asian Journal of Microbiology, Biotechnology and Environmental Sciences 9: 321- 326.

Roesty, D., Gaur, R., Johri, B.N., Imfeld, G., Sharma, S., Kawaljeet, K., and Aragno, M. 2006. Plant growth stage, fertilizer management and bioinoculation of arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promoting rhizobacteria affect the rhizobacterial community structure in rain-fed wheat fields. Soil Biology and Biochemistry 38(5): 1111-1120.

Sangwan, P., Kaushik, C.P., and Garg, V.K. 2008. Feasibility of utilization of horse dung spiked filter cake in vermicomposters using exotic earthworm *Eisenia foetida*. Bioresource Technology 99: 2442-2448.

Santos-Gomes, P.C., Seabra, R.M., Andrade, P.B., and Fernandes-Ferreira, M. 2002. Phenolic antioxidant compounds produced by in vitro shoots of sage (*Salvia officinalis* L.). Plant Science 162: 981-987.

Shaharoona, B., Arshad, M., Zahir, Z.A., and Khalid, A. 2006. Performance of Pseudomonas spp. Containing ACC-deaminase for improving growth and yield of maize (*Zea mays* L.) in the presence of nitrogenous fertilizer. Soil Biology and Biochemistry 38(9): 2971-2975.

Sharma, A. 2002. Biofertilizers for Sustainable Agriculture. Agrobios. India.

Shirzadi, F., Ardakani, M.R., and Asadi Rahmani., H. 2014. Effect of biofertilizers on quantitative characterization of basil (*Ocimum basilicum* L.). Journal of Agroecology 6(3): 542-551. (In Persian with English summary)

Vildova, A., Stolcova, M., Kloucek, and Orsak, P.M. 2006. Quality characterization of chamomile (*Matricaria recutita* L.) in organic and traditional agricultures. International Symposium on Chamomile Research Development and Production. Presov, Slovak Republic, 7-10 June, p. 81-82.

Yousefzadeh, S., Modarres-Sanavy, S.A.M, Sefidkon, F., Asgarzadeh, A., Ghalavand. A., Roshdi, M., and Safaralizadeh, A. 2013. Effect of biofertilizer, azocompost and nitrogen on morphologic traits and essential oil content of *Dracocephalum moldavica* L. in two regions of Iran. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 29(2): 438-459. (In Persian with English Summary)

Journal of Agroecology
Vol. 9, No. 2, Summer 2017, p. 445-457

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۹، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۶، ص. ۴۵۷-۴۴۵

Comparing Different Soil Fertility Systems on Some Physiological Characteristics, Yield and Essential Oil of Sage (*Salvia officinalis* L.) under Different Irrigation Regimes

M. Govahi[1], A. Ghalavand[2*], F. Nadjafi[3] and A. Sorooshzadeh[4]

Submitted: 10-03-2015
Accepted: 01-07-2015

Govahi, M., Ghalavand, A., Nadjafi, F., and Sorooshzadeh, A. 2017. Comparing different soil fertility systems on some physiological characteristics, yield and essential oil of sage (*Salvia officinalis* L.) under different irrigation regimes. Journal of Agroecology, 9(2): 445-457.

Introduction

Sage is a popular medicinal plant which is widely used in food and pharmaceutical industries. Vermicompost are a rich source of macronutrients, micronutrients, vitamins, enzymes and plant growth promoter hormones. Therefore, the use of vermicompost in sustainable agriculture, in addition to increasing population and activity of beneficial soil microorganisms, causes the rapid growth of medicinal plants. The uses of bacteria (*Azotobacter, Azospirillum and Pseudomonas*) as a biofertilizer have causes increasing the efficiency of nitrogen and phosphorus fertilizers and improving the growth of several crops. Drought stress is one of the most important environmental stresses that affect the growth and yield of plants. Management of nutrients in plants, especially during drought conditions and to assess this management on quantity and quality of sage medicinal plant is very important. Limited information are available about the response of sage under water deficiency conditions in different fertilizing systems, so the aim of this research was to study the growth, yield and essential oil production of Sage under different irrigation regimes.

Material and Methods

Field experiments were carried out at the field research station of Faculty of Agriculture of Tarbiat Modares University in Tehran, Iran during two growing seasons (2011-2012 and 2012-2013).

The experiment was laid out in split plot based on randomized complete block design with three replications. Three irrigation levels including irrigation after depletion of 40% available water (I1), irrigation after depletion of 60% available water (I2), irrigation after depletion of 80% available water (I3) as the main plots and five different soil fertility systems including control (no fertilizer) (F0), chemical fertilizer (urea=150 kg/ha^{-1}) (Ur), nitrogen fixing bacteria(*Azotobacter+Azospirillum+Pseudomonas*) (NFB), vermicompost (8 t/ha^{-1}) (V) vermicompost + nitrogen fixing bacteria (V+NFB) as sub plots were allocated. A TDR probe (Time-Domain Reflectometry, Model TRIME-FM, England) was applied to measure soil water content. Essential oil extraction was subjected to conventional hydro distillation using a Clevenger-type apparatus in accordance. Essential oil analysis was performed using a TRACE GC (ThermoQuest-Finnigan) equipped with a DB-5 fused silica column (30 m × 0.25 mm, 0.25 µm film thickness). GC–MS analyses were carried out on a TRACE MS (ThermoQuest-Finnigan).

Results and Discussion

The highest plant height, canopy diameter, leaf area and dry matter yield were obtained at no stress and V+NFB in all three harvests. Also, the maximum essential oil content and essential oil compounds were obtained at moderate stress and V+NFB in all three harvests. Among the three times harvest, the highest plant height (28.84 cm), canopy diameter (29.58 cm), leaf area (1.77 m.m-^{2}) and dry matter yield (296 g. m-^{2}) were observed at third harvest time. The maximum essential oil content (1.90%) was obtained at second harvest time and the highest α-thujone (32.73%), 1, 8- cineol (10.91%) and camphor (32.47%) were observed at third harvest time.

1, 2, 3 and 4- PhD Student in Agronomy, Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University of Tehran, Assistant Professor, Department of Agriculture, Medicinal Plants and Drug Research Institute, Shahid Beheshti University of Tehran and Associate Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University of Tehran, Iran, respectively.
(*- Corresponding author Email: ghalavaa@modares.ac.ir)
DOI: 10.22067/jag.v9i2.45974

Reduction in the morphological characteristics and dry matter by increasing drought stress could be the result of a preferential allocation of biomass production to the roots or a reduction in chlorophyll content and photosynthesis efficiency.Positive and synergistic effects between vermicompost and bacteria can increase bacterial activity in the soil and rhizosphere through mechanisms such as production of growth hormone which increased root growth. Increasing in essential oil concentration under water stress could be due to the fact that plants produce high terpene concentrations under water stress conditions and low allocation of carbon to the growth, therefore can be a trade-off between growth and defense. Vermicompost and nitrogen fixing bacteria by providing more uptake of phosphorus and nitrogen increase the essential oil content.

Conclusion

The results showed that drought stress reduced the growth characteristics (height, canopy diameter and leaf area), and the highest amounts of essential oil content and quality were observed in moderate stress. In addition, vermicompost + nitrogen fixing bacteria treatment was the best fertilizer combination among all treatments in increasing the growth characteristics, dry matter yield, and essential oil quantity and quality.

Keywords: Drought stress, Essential oil, Organic nutrition, Soil fertility