نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، ص ۵۲۲-۵۰۷

Journal of Agroecology
Vol. 12, No.3, Fall 2020, p. 507-522

مقاله علمی - پژوهشی

تأثیر ورمی‌کمپوست بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و عملکرد مرزه (*Satureja hortensis* L.) تحت رژیم‌های مختلف آبیاری

امید حیدرپور[۱]، بهروز اسماعیل‌پور[۲*]، علی اشرف سلطانی[۳] و سرور خرم‌دل[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۰۷

حیدرپور، ا.، اسماعیل‌پور، ب.، سلطانی، ع.، و خرم‌دل، س.، ۱۳۹۹. تأثیر ورمی‌کمپوست بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و عملکرد مرزه (*Satureja hortensis* L.) تحت رژیم‌های مختلف آبیاری. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۲(۳): ۵۲۲-۵۰۷.

چکیده

تنش خشکی مهم‌ترین عامل محدودکننده در تولید محصولات کشاورزی، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است. به‌منظور بررسی اثر سطوح مختلف ورمی‌کمپوست بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و عملکرد گیاه دارویی مرزه (*Satureja hortensis* L.) تحت تنش خشکی، آزمایش مزرعه‌ای به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه محقق اردبیلی در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل سه رژیم آبیاری (S_1: آبیاری کامل (۱۰۰ درصد)، S_2: قطع آبیاری در ۵۰ درصد گل‌دهی و S_3: قطع آبیاری در اوایل گل‌دهی و ورمی‌کمپوست در چهار سطح (صفر، ۱، ۱/۵ و ۲ تن در هکتار) بودند. صفات مورد بررسی شامل ارتفاع گیاه، وزن خشک ساقه، تعداد شاخه جانبی، محتوای نسبی آب برگ، نشت یونی، کلروفیل فلورسانس، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کاروتنوئید، پرولین، پروتئین، آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز بودند. نتایج نشان داد که اثر متقابل تنش خشکی و ورمی‌کمپوست بر صفاتی از قبیل ارتفاع بوته، وزن خشک ساقه، محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل فلورسانس، کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئید، میزان نشت یونی و پرولین در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود، ولی اثر متقابل تنش خشکی و ورمی‌کمپوست بر صفاتی مانند تعداد شاخه جانبی، آنزیم پراکسیداز، آنزیم کاتالاز، پروتئین و کلروفیل‌کل معنی‌دار نبود. با افزایش مقدار ورمی‌کمپوست شاخص‌های مورفوفیزیولوژیک از قبیل ارتفاع گیاه، وزن خشک ساقه، تعداد شاخه جانبی، محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل فلورسانس، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کاروتنوئید و پروتئین افزایش یافت و مقدار نشت یونی، کاتالاز، پراکسیداز و پرولین در شرایط تنش خشکی کاهش یافت. بر اساس نتایج می‌توان بیان کرد که مصرف ورمی‌کمپوست به‌میزان دو تن در هکتار می‌تواند باعث تولید پایدار و بهبود رشد و عملکرد گیاه دارویی مرزه در شرایط تنش خشکی شدید مد نظر قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: پرولین، کاتالاز، کلروفیل a، گیاه دارویی، نشت یونی.

مقدمه

مرزه با نام علمی *Satureja hortensis* L. گیاهی دارویی، علفی و یک‌ساله متعلق به خانواده نعناعیان می‌باشد. این گیاه بومی منطقه مدیترانه بوده و در سطح وسیعی در فرانسه، مجارستان، اسپانیا و ایران مورد کشت‌وکار قرار می‌گیرد (Hornok, 1986; Omidbaigi, 1997). قسمت‌های هوایی مرزه به‌طور گسترده‌ای به‌عنوان مواد ادویه‌ای در انواع غذاها و نیز برای درمان بیماری‌های معده و روده استفاده می‌شود. قطره دنتول[5] از اسانس این گیاه به‌دست می‌آید که برای درمان درد دندان استفاده می‌شود (Sefidkon & Ahmadi, 2002; Sefidkon & Jamzad, 2000).

۱-دانشجوی دکتری، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، ایران.
۲- دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، ایران.
۳- دانشیار، گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، ایران.
۴- دانشیار، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email:behsmaiel@yahoo.com)
Doi:10.22067/jag.v12i3.79634

5- Dentol

گیاهان در طی دوره رشد با تنش‌های زیستی زیادی مواجه می‌شوند که می‌توانند بر رشد، متابولیسم و عملکرد آن‌ها بسته به حساسیت گونه‌ها و مرحله نمو تأثیر بگذارد. کمبود آب یکی از مهم‌ترین عوامل محدودیت تولید در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود (Reddy, 2004). خشکی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی مسئول کاهش تولید و عملکرد جهانی به‌خصوص در مناطق با بارندگی‌های کم و نامنظم می‌باشد (Kadam et al., 2014). تنش خشکی برخی از شاخص‌های مورفولوژیک، عملکرد و بسیاری از صفات رشدی گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Ikemura, 2007). کمبود آب همچنین اثرات نامطلوبی بر فرآیند های فیزیولوژیکی مانند فتوسنتز، جذب عناصر غذایی، توسعه و تقسیم سلولی، تجمع و انتقال مواد غذایی دارد (Devnarain et al., 2016). بررسی اثرات سطوح مختلف رطوبت خاک بر خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه بادرشبو (*Dracocephalum moldavica* L.) نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش ارتفاع گیاه، اندام‌هوایی، تعداد برگ، کلروفیل برگ، وزن خشک و تر ریشه، طول ریشه، تعداد شاخه، محتوای رطوبت نسبی برگ و عملکرد شد (Mirakalaei et al., 2013). در تحقیقی که توسط نوشکام و همکاران (Nooshkam et al., 2014) روی گونه‌های مرزه صورت گرفت، مشخص شد که افزایش فواصل آبیاری و کشت دیم در مقایسه با شاهد؛ عملکرد تر، عملکرد خشک، عملکرد برگ و سرشاخه‌های گل‌دار، عملکرد اسانس و شاخص سطح برگ را به‌طور معنی‌داری کاهش داد. نتایج مطالعه‌ای روی گیاه فلفل (*Capsicum annum* L.) نشان داد که تنش خشکی موجب کاهش رشد و عملکرد این گیاه شد، در حالی که بر میزان پرولین موجود در برگ‌های آن افزود (Kok et al., 2010). در تحقیقی که به‌منظور مطالعه تنش خشکی (۴۰، ۶۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) روی گیاه دارویی بادرشبو (*Dracocephalum moldavica* L.) انجام گرفت، بروز تنش خشکی (۴۰ و ۶۰ درصد ظرفیت زراعی) موجب کاهش رشد و کلروفیل a و افزایش پرولین و کلروفیل b شد (Safi-Khani et al., 2006). هنگامی‌که پتانسیل آب خاک کاهش می‌یابد، گیاهان نیز بایستی قادر به کاهش پتانسیل آب باشند تا از این طریق توانایی جذب آب را از خاک داشته باشند. از طریق مکانیسم تنظیم اسمزی گیاهان با تجمع برخی یون‌های فعال و یا ترکیبات آلی سبب کاهش پتانسیل اسمزی شده و از این طریق حرکت جریان آب از خاک به ریشه‌ها صورت می‌گیرد (Gholamhoseini et al., 2013). ترکیبات آلی همچون پرولین و کربوهیدرات‌ها نقش مهمی در تنظیم اسمزی گیاهان دارند (Gholamhoseini et al., 2013). از آن‌جا که مقدار زیادی از آب در بخش کشاورزی مصرف می‌شود، بنابراین ضروری است که توجه ویژه‌ای به افزاش بهره‌وری مصرف آب شود (Huang et al., 2012).

ورمی‌کمپوست یک کود بیوارگانیک و شامل یک مخلوط بیولوژیکی بسیار فعال از باکتری‌ها، آنزیم‌ها، بقایای گیاهی، کود حیوانی و کپسول‌های کرم خاکی می‌باشد که سبب عمل تجزیه خاک و پیشرفت فعالیت‌های میکروبی در بستر کشت می‌شود (Atiyeh et al., 2001). ورمی‌کمپوست از طریق تأمین مواد مغذی تأثیر مستقیم بر رشد، نمو و عملکرد گیاهان دارد و همچنین با اصلاح خصوصیات فیزیکی خاک و بهبود محیط اطراف ریشه باعث تحریک رشد گیاهان می‌شود (Singh et al., 2010). اثرات مثبت ورمی‌کمپوست در بسیاری از گیاهان گزارش شده است (Anwar et al., 2005; Prabha et al., 2007). مطالعات نشان داده است که کاربرد ورمی‌کمپوست می‌تواند باعث تحریک گل‌دهی، افزایش رشد و نمو و عملکرد گیاهان شود (Arancon et al., 2008). مطالعات نشان دادند که کاربرد ورمی‌کمپوست منبع خوبی از عناصر غذایی ضروری و کم‌مصرف را فراهم می‌کند و همچنین جذب آن‌ها توسط ریشه در گیاهان را فزایش می‌دهد (Karmegam & Daniel, 2000; Zhang et al., 2015). در برخی مطالعات، تأثیر مثبت ورمی‌کمپوست بر فراهمی، بهبود دسترسی و محتوای عناصر غذایی (Kucukyumuk et al., 2014) و به تبع آن بهبود رشد (Atiyeh et al., 2001) و افزایش عملکرد (Kizilkaya et al., 2012) گزارش شده است.

از آن‌جا که خشکسالی و بروز تنش‌های آبی در بسیاری از مناطق دنیا می‌تواند رشد و عملکرد و از طرفی، تولید پایدار گیاهان دارویی را تحت تأثیر قرار دهد، لذا یافتن راهکارهایی جهت تعدیل اثرات تنش روی گیاه مرزه با بهره‌گیری از کودهای آلی همچون ورمی‌کمپوست ضروری می‌باشد. لذا با توجه به موارد ذکر شده این پژوهش با هدف بررسی اثر سطوح مختلف ورمی‌کمپوست و رژیم‌های آبیاری بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیکی، عملکرد و خصوصیات بیوشیمیایی گیاه دارویی مرزه انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه محقق اردبیلی در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ اجرا گردید. تیمارهای آزمایشی شامل سه رژیم آبیاری (S_1 :آبیاری کامل (۱۰۰ درصد)، S_2: قطع آبیاری در ۵۰ درصد گل‌دهی و S_3: قطع آبیاری در اوایل گل‌دهی و چهار سطح ورمی‌کمپوست شامل صفر (V_1)، یک تن در هکتار (V_2)، ۱/۵ تن در هکتار (V_3) و دو تن در هکتار (V_4) بود. قبل از اعمال تیمارها نمونه‌برداری خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر انجام شد و برای تعیین خصوصیات شیمیایی به آزمایشگاه خاک منتقل شد که نتایج آزمایش خاک در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- ویژگی‌های شیمیایی خاک و ورمی‌کمپوست
Table 1- Some chemical characteristics of the soil and vermicompost

خصوصیات Properties	خاک Soil	ورمی‌کمپوست Vermicompost
ماده آلی Organic matter (%)	0.068	35
نیتروژن کل Total nitrogen (%)	0.014	3.51
فسفر قابل دسترس Available phosphorus (%)	0.08	1.15
پتاسیم قابل دسترس Available K (%)	0.03	1.25
آهن Fe (ppm)	11.48	550
منگنز Mn (ppm)	10	300
روی Zn (ppm)	3.5	250
مس Cu (ppm)	0.82	45
اسیدیته pH	7.1	7
هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	1.2	1.1

عملیات آماده‌سازی بستر کاشت شامل شخم و دیسک قبل از کاشت انجام شد. بعد از شخم زدن زمین، کرت‌های مورد نظر آماده گردید و سطح کرت‌ها صاف شدند و ورمی‌کمپوست بر اساس مقادیر موردنظر به کرت‌ها اضافه گردید و با استفاده از شن‌کش کود ورمی‌کمپوست به‌آرامی با خاک کاملاً مخلوط گردید. جهت اجرای آزمایش کرت‌هایی به ابعاد یک در یک متر در نظر گرفته شد. بذر مورد استفاده از مؤسسه تحقیقات گیاهان دارویی دانشگاه شهید بهشتی تهیه گردید. بذر مرزه به‌صورت ردیفی در فاصله بین ردیف‌ها ۲۵ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف‌ها ۲۰ سانتی‌متر و در عمق ۰/۵ سانتی‌متری کشت گردید. برای جوانه‌زنی و سبز شدن بذرها آبیاری به‌فاصله یک روز در میان و بعد از سبز شدن و تا قبل از اعمال تنش خشکی، آبیاری به‌طور منظم انجام شد. بوته‌ها در مرحله چهار تا شش برگی برای دست‌یابی به تراکم مطلوب تنک شدند و وجین علف‌های هرز به تعداد دفعات مورد نیاز انجام شد. تمامی کرت‌های آزمایشی تا هشت هفته بعد از کاشت به‌طور یکسان و هم‌زمان آبیاری شدند. برای اعمال تیمار آبیاری، خاک مزرعه در افق ریشه‌های گیاه تا عمق ۲۰ سانتی‌متر با حفر پروفیل، مورد بررسی قرارگرفت. برای کنترل آب از روش وزنی استفاده گردید. ظرفیت مزرعه‌ای(FC) و نقطه پژمردگی دائم (PWP) با استفاده از نمونه‌های دست‌نخورده در حالت ۲۴ ساعت پس از اشباع خاک برای ظرفیت مزرعه‌ای و قرار دادن در دستگاه

مکش با ۱۵ اتمسفر فشار منفی برای نقطه پژمردگی دائم، مقادیر مربوطه برای خاک در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر با توجه به لایه‌بندی خاک و از تفاضل آن‌ها میزان آب قابل استفاده خاک (AW) تعیین شد. در طول آزمایش آب قابل استفاده (بسته به مرحله رشدی گیاه) توسط سیلندر نمونه‌برداری خاک و انتقال به آون به‌صورت درصد وزنی رطوبت تعیین شد(De Ridder & Van Keulen, 1995) . سپس تنش خشکی به‌صورت قطع آبیاری در اوایل مرحله گل‌دهی و قطع آبیاری در مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی اعمال گردید. بوته‌ها در مرحله گل‌دهی کامل در ۱۵ شهریور ماه برداشت شدند و صفات مورد نظر شامل، ارتفاع گیاه، وزن خشک ساقه و تعداد شاخه جانبی اندازه‌گیری شد. ساقه گیاهان به آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۷۲ ساعت جهت خشک شدن قرار داده شد و با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شدند.

برای اندازه‌گیری رنگیزه‌های فتوسنتزی، شامل کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها، از برگ‌های تازه گیاه‌ها بر اساس روش آرنون (Arnon, 1975) استفاده شد. طبق این روش با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Jenway مقدار جذب نوری محلول‌ها در طول موج ۴۷۰، ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر قرائت و مقدار کلروفیل a و b بر اساس معادله‌های ۱ تا ۴ محاسبه گردید. میزان کلروفیل فلورسانس توسط دستگاه فلورومتر مدل (PAM 2500-Walz, Germany) اندازه گیری شد.

معادله (۱) $Chl_a = (12.25)(A_{663.2}) - (2.0798)(A_{646.8})$

معادله (۲) $Ch_b = (21.21)(A_{646.8}) - (5.1)(A_{663.02})$

معادله (۳) $Chl_T = Chl_a + Chl_b$

معادله (۴) $Carotenoids=(1000A_{4701.8}-Chl_a-85.02Chl_b)/19$

محتوای نسبی آب برگ: برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ ۰/۵ گرم از جوان‌ترین برگ توسعه یافته هر گیاه (FW) جدا کرده و سپس نمونه‌ها به‌مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر شناور گردید. پس از گذشت این مدت وزن اشباع برگ با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری گردید (TW). سپس برگ‌ها به‌مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و بعد از گذشت این مدت وزن خشک برگ‌ها با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه گرفته شد (DW). در نهایت، محتوای آب نسبی با استفاده از معادله ۱ محاسبه گردید (Barrs & Weatherly, 1962).

معادله (۵) $$\%RWC = \frac{FW - DW}{TW - DW} \times 100$$

نشت یونی: از برگ کاملاً توسعه یافته دیسک‌هایی تهیه و سه بار با آب دیونیزه شست‌وشو شد. نمونه‌ها در ظرف سربسته حاوی ۱۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه قرار گرفت و سپس به‌مدت ۲۴ ساعت و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد روی شیکر تکان داده شد. پس از پایان زمان مورد نظر نمونه‌ها در طول موج ۲۸۰ نانومتر قرائت شد (L_t). سپس نمونه و محلول را در اتوکلاو قرار داده و مجدداً در طول موج ۲۸۰ نانومتر قرائت انجام شد (L_0). برای محاسبه نشت یونی از معادله ۶ استفاده شد (Korkmaz et al., 2010).

معادله (۶) $$\text{درصد نشت مواد محلول} = L_t / L_0 \times 100$$

پرولین: اندازه‌گیری پرولین با استفاده از جوان‌ترین برگ‌ها انجام گرفت. بدین صورت که مقدار ۰/۵ گرم بافت برگ تازه را به قطعات کوچک‌تر از پنج میلی‌لیتر بریده و همراه با ۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک اسید سه درصد در یک هاون چینی به‌مدت سه دقیقه سائیده شده، و محلول هموژنیزه شده توسط کاغذ صافی واتمن شماره دو صاف شده و با دو میلی‌لیتر از محلول صاف شده با دو میلی‌لیتر نین‌هیدرین و دو میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال خالص در یک لوله آزمایش ریخته شده و لوله‌ها به‌مدت یک ساعت در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد بن‌ماری قرار گرفت. پس از سرد شدن به محلول واکنش در لوله آزمایش و پس از سرد شدن چهار میلی‌لیتر تولوئن اضافه گردید. به هرکدام از لوله‌ها، به‌مدت ۱۵ تا ۲۰ ثانیه ورتکس گردید. پس از تشکیل دو فاز جداگانه، فاز رنگی بالایی با دقت جدا و مقدار جذب در دستگاه اسپکتوفتومتر با طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت شد و مقدار پرولین با استفاده از منحنی استاندارد به‌دست آمد (Bates et al., 1973).

پروتئین: برای اندازه‌گیری غلظت پروتئین از روش برادفورد شد. طبق این روش، ۰/۲ گرم نمونه برگی را وزن کرده در هاون چینی ریخته و همزمان نیتروژن مایع اضافه شد. در حین خرد کردن برگ، ۲۰ میلی‌گرم (پلی‌وینیل پروپیلیدین) اضافه گردید و همزمان با همزدن ۱/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم حاوی سدیم متابای‌سولفیت (۰/۰۱۹ گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر بافر) به آن اضافه شد. ترکیب حاصل به‌مدت ۲۰ دقیقه با سرعت ۱۵۰۰۰ دور و در دمای چهار درجه سانتی‌گراد در سانتریفیوژ

یخچال‌دار سانتریفیوژ گردید. پس از اتمام سانتریفیوژ، فاز رویی حاوی پروتئین‌های محلول نمونه، با نمونه‌بردار خارج نموده و ۵۰۰ میکرولیتر از عصاره با ۱۷۵ میکرولیتر گلیسرول ۵۰٪ مخلوط شد. برای اندازه‌گیری پروتئین، ۳۰ میکرولیتر عصاره برگ را به‌همراه ۷۲۰ میکرولیتر محلول برادفورد مخلوط نموده و پس از پنج دقیقه، میزان جذب نوری محلول در طول موج ۵۹۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد. با توجه به منحنی استاندارد و میزان جذب نوری در طول موج ۵۹۵ نانومتر، پروتئین نمونه‌ها برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر ارائه شد (Bradford, 1976).

فعالیت آنزیم کاتالاز: فعالیت آنزیم با استفاده از روش کار و میشرا (Kar & Mishra, 1976) اندازه‌گیری شد، به این ترتیب که ۶۰ میکرولیتر از عصاره پروتئینی را در ۲/۵ میلی‌لیتر بافر تریس ۵۰ میلی‌مولار با pH=۷ و ۰/۳ میلی‌لیتر آب‌اکسیژنه پنج میلی‌مولار در حمام یخ اضافه نموده و منحنی تغییرات جذب در طول موج ۲۴۰ نانومتر قرائت شد. فعالیت آنزیم به‌ازای هر میکروگرم بر میلی‌گرم پروتئین بافت تازه گیاهی به‌دست آمد.

فعالیت آنزیم پراکسیداز: اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پراکسیداز نیز به‌روش کار و میشرا (Kar & Mishra, 1976) انجام شد، به این صورت که ۵۰ میکرولیتر عصاره پروتئینی را در ۲/۵ میلی‌لیتر بافر استخراج که شامل بافر تریس ۱۰۰ میلی‌مولار و آب اکسیژنه پنج میلی‌مولار و پیروگالل ۱۰ میلی‌مولار بود، در حمام یخ افزوده و منحنی تغییرات در طول موج ۴۲۵ نانومتر قرائت شد.

پس از جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.1 صورت گرفت. مقایسه میانگین تیمارها به‌روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

صفات مورفولوژیکی: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر تنش خشکی و ورمی‌کمپوست بر ارتفاع بوته و وزن خشک ساقه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود، ولی روی تعداد شاخه جانبی تأثیر معنی‌داری نداشت. همچنین تأثیر متقابل تنش خشکی و تیمار کودی ورمی‌کمپوست تنها روی ارتفاع گیاه و وزن خشک ساقه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل رژیم آبیاری و ورمی‌کمپوست نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته (۵۲/۳ سانتی‌متر)، وزن خشک ساقه (۲۴گرم) در تیمار آبیاری کامل (شاهد) و مصرف ورمی‌کمپوست به‌میزان دو تن در هکتار و کمترین ارتفاع بوته (۲۲/۳ سانتی‌متر) و وزن خشک ساقه (هشت گرم) در تیمار قطع آبیاری در ابتدای مرحله گل‌دهی و بدون کاربرد ورمی‌کمپوست (شاهد) مشاهده شد (جدول ۵). کاهش شاخص‌های رشد در شرایط تنش خشکی در گیاه مرزه تابستانه (Esmaielpour et al., 2013)، گل مکزیکی (*Agastache foeniculum* L.) (Omidbaigi & Mahmoudi Sourestani, 2010)، فلفل دلمه‌ای (*Capsicum annuum* L.) (Alaboz et al., 2017) و ترخون (*Artemisia dracunculus* L.) (Lotfi et al., 2014) نیز گزارش شده است. در شرایط تنش خشکی، جذب مواد غذایی موجود در خاک کاهش یافته و رشد و نمو برگ‌ها محدود می‌شود. لذا در اثر کاهش سطح برگ، جذب نور توسط گیاه نیز به‌طور محسوس کاهش یافته و ظرفیت فتوسنتزی کل کاهش می‌یابد که با کاهش تولید فرآورده‌های فتوسنتزی در شرایط تنش خشکی، رشد گیاه و در نهایت، عملکرد گیاه کاهش می‌یابد (Ashraf & Foolad, 2007). گیاهان برای مقابله با تنش خشکی و زنده ماندن در شرایط تنش، مواد غذایی و انرژی تولید شده در گیاه را به‌جای استفاده در رشد اندام‌های هوایی به‌سمت مولکول‌های نگهداری‌کننده در برابر تنش همچون پرولین هدایت می‌کنند تا از این طریق با رشد کم حالت سازگار با تنش خشکی ایجاد کنند (Khalid, 2006).

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر سطوح مختلف ورمی‌کمپوست بر صفات مورفوفیزیولوژیکی گیاه مرزه تحت تنش خشکی

Table 2- Analysis of variance (mean of squares) for the effect of different levels of vermicompost on morphophysiological traits of summer savory under water stress conditions

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه جانبی Lateral branches	وزن خشک ساقه Stem dry weight	کلروفیل فلورسانس Chlorophyll fluorescence	محتوای نسبی آب برگ Relative water content
تکرار Replication	2	20.33	524.33	4.78	0.00019	138.194
رژیم آبیاری (S) Irrigation regime (S)	2	1151.58*	116.33 ns	343.69*	0.2028*	125.28*
ورمی‌کمپوست (V) Vermicompost (V)	3	158.69*	70.63 ns	87.93*	0.029*	210.250*
S × V	6	3.58*	10.41 ns	4.06*	0.018*	14.03*
خطا Error	22	1.24	8.33	1.47	0.00039	2.46
ضریب تغییرات C.V. (%)		2.82	11.95	7.19	2.70	2.06

ns و *: به‌ترتیب به مفهوم غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

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

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر سطوح مختلف ورمی‌کمپوست بر صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه مرزه تحت تنش خشکی

Table 3 - Analysis of variance (mean of squares) for the effect of different levels of vermicompost on physiological and biochemical traits of summer savory under water stress conditions

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	نشت یونی Electrolyte leakage	پرولین Proline	پراکسیداز Peroxidase	کاتالاز Catalase	پروتئین Protein	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll	کاروتنوئید Carotenoid
تکرار Replication	2	83.53	0.00029	0.00066	0.0008	0.0022	1.98	1.018	1.488	0.631
رژیم آبیاری (S) Irrigation regime (S)	2	653.861*	0.02*	0.0031*	0.0025*	0.00061 ns	22.34*	22.33*	88.873*	*5.324
ورمی‌کمپوست (V) Vermicompost (V)	3	377.735*	0.0063*	0.0089*	0.0094*	0.0086*	25.75*	67.89*	178.519*	6.425*
S × V	6	10.824*	0.00086*	0.000036 ns	0.00099 ns	0.000045 ns	1.79*	1.70*	1.237 ns	0.448*
خطا Error	22	2.49	0.00017	0.00017	0.00013	0.000093	0.37	0.62	0.92	0.175
ضریب تغییرات C.V. (%)		6.33	7.95	6.16	5.36	8.63	3.11	6.33	2.99	6.41

ns و *: به‌ترتیب به مفهوم غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

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

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر ساده سطوح مختلف ورمی‌کمپوست بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه مرزه تحت تنش خشکی

Table 4- Mean comparison for the simple effect of different levels of vermicompost on morphophysiological and biochemical traits of summer savory under water stress

تیمار Treatment	تعداد شاخه جانبی Lateral branches	پراکسیداز Peroxidase (unit.mgpro^{-1})	کاتالاز Catalase (unit.mgpro^{-1})	پروتئین Protein (mg.g^{-1})	کلروفیل کل Total Chlorophyll (mg.g^{-1})
رژیم‌های آبیاری Irrigation regimes					
S_1	27.50 a*	0.196 c	0.197 c	34.62 a	34.62 a
S_2	23.66 b	0.212 b	0.214 b	32.53 b	32.53 b
S_3	21.33 b	0.229 a	0.226 a	29.23 c	29.23 c
ورمی‌کمپوست Vermicompost (t.ha^{-1})					
V_1	20.00 b	0.250 a	0.249 a	29.61 d	29.61 d
V_2	25.11 a	0.224 b	0.227 b	30.68 c	30.68 c
V_3	25.55 a	0.198 c	0.198 c	33.55 b	33.55 b
V_4	26.00 a	0.177 d	0.176 d	37.55 a	37.55 a

S_1، S_2 و S_3: به‌ترتیب بیان‌کننده آبیاری کامل و قطع آبیاری در ۵۰ درصد گل‌دهی و اوایل گل‌دهی و V_1، V_2، V_3 و V_4: به‌ترتیب نشان‌دهنده صفر، ۱، ۱/۵ و ۲ تن ورمی‌کمپوست در هکتار است.

S_1, S_2, and S_3: indicate full irrigation and irrigation cut-off at 50% flowering stage and early-flowering stage and V_1, V_2, V_3 and V_4 represent 0, 1, 1,5 and 2 tone vermicompost per ha, respectively.

* در هر ستون و برای هر تیمار حروف مشابه نمایانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

* Means with the same letter(s) in each column and for each treatment are not significantly different based on Duncan's test at $p \leq 0.05$ probability level.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل رژیم‌های آبیاری و سطوح ورمی‌کمپوست بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه مرزه

Table 5- Mean comparison Interaction between drought stress and vermicompost on morphophysiological and biochemical traits of summer savory

تیمار Treatment		ارتفاع بوته Plant height (cm)	وزن خشک ساقه Stem dry weight(g)	کلروفیل فلورسانس Chlorophyll fluorescence	کلروفیل a Chlorophyll a ($mg.g^{-1}$)	کلروفیل b Chlorophyll b ($mg.g^{-1}$)	کاروتنوئید Carotenoid ($mg.g^{-1}$)	پرولین Proline ($\mu g.g^{-1}$)	محتوای نسبی آب برگ Relative water content (%)	نشت یونی Electrolyte leakage (%)
S_1	V_1	33.44^{c}*	18.33^{dc}	0.836^{b}	17.43^{gh}	11.44^{def}	5.49^{ef}	0.137^{ghi}	81.66^{bcd}	23.00^{ef}
	V_2	47.00^{bc}	20.33^{bc}	0.876^{a}	20.65^{cd}	12.83^{bcd}	7.21^{b}	0.132^{hi}	84.33^{abc}	19.00^{fgh}
	V_3	66.49^{a}	22.33^{ab}	0.856^{ab}	22.02^{b}	13.65^{bc}	7.67^{ab}	0.122^{hi}	87.00^{ab}	15.33^{h}
	V_4	52.33^{ab}	24.00^{a}	0.836^{b}	23.23^{a}	17.24^{a}	8.08^{a}	0.115^{i}	90.66^{a}	12.33^{i}
S_2	V_1	36.66^{e}	13.00^{e}	0.710^{e}	18.54^{fg}	9.63^{g}	5.72^{def}	0.203^{bc}	73.33^{e}	32.66^{bc}
	V_2	39.66^{d}	17.00^{d}	0.752^{cd}	19.31^{ef}	11.24^{ef}	6.14^{de}	0.183^{cde}	75.66^{de}	28.00^{cde}
	V_3	44.33^{c}	21.66^{ab}	0.767^{c}	۲۰.57^{cd}	13.29^{bc}	7.08^{bc}	0.159^{efg}	78.33^{cde}	28.66^{def}
	V_4	45.00^{c}	22.33^{ab}	0.745^{cd}	21.45^{bc}	16.10^{a}	7.63^{ab}	0.142^{fgh}	81.33^{bcd}	17.00^{ghi}
S_3	V_1	22.33^{h}	8.00^{f}	0.405^{g}	16.73^{h}	6.96^{h}	5.05^{fg}	0.266^{a}	58.33^{g}	41.00^{a}
	V_2	27.33^{g}	9.66^{f}	0.556^{f}	17.52^{gh}	10.49^{fg}	5.67^{def}	0.213^{b}	62.33^{fg}	36.33^{ab}
	V_3	32.33^{f}	12.00^{e}	0.718^{de}	18.50^{fg}	12.61^{cde}	6.39^{cd}	0.189^{bcd}	66.00^{f}	29.00^{dc}
	V_4	34.00^{fe}	14.00^{e}	0.692^{e}	19.88^{de}	14.21^{b}	6.16^{de}	0.165^{def}	75.33^{de}	22.33^{fg}

S_1، S_2 و S_3: به‌ترتیب بیان‌کننده آبیاری کامل و قطع آبیاری در ۵۰ درصد گل‌دهی و اوایل گل‌دهی و V_1، V_2، V_3 و V_4: به‌ترتیب نشان‌دهنده صفر، ۱، ۱/۵ و ۲ تن ورمی‌کمپوست در هکتار است.

S_1, S_2, and S_3: indicate full irrigation and irrigation cut-off at 50% flowering stage and early-flowering stage and V_1, V_2, V_3 and V_4 represent 0, 1, 1,5 and 2 tone vermicompost per ha, respectively.

* در هر ستون و برای هر تیمار حروف مشابه نمایانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

* Means with the same letter(s) in each column and for each treatment are not significantly different based on Duncan's test at $p \leq 0.05$ probability level.

اثر ورمی‌کمپوست در بهبود رشد گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum* L.) (Bender Ozenc, 2008; Pritam & Garg, 2010)، لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) (Beyk Khurmizi et al., 2010) و ذرت (*Zea mays* L.) (Samiran et al., 2010) در شرایط تنش خشکی گزارش شده است. ورمی‌کمپوست با بهبود خواص فیزیکی محیط رشد، افزایش فعالیت ریزجانداران موجود در خاک و افزایش ظرفیت نگهداری آب در شرایط تنش خشکی باعث بهبود صفات مورفولوژیکی می‌شود (Bender Ozenc, 2008). در این پژوهش به نظر می‌رسد که ورمی‌کمپوست از طریق افزایش جذب آب توسط گیاه و همچنین جذب عناصر غذایی موجود در خاک باعث افزایش میزان فتوسنتز و افزایش تولید فرآورده‌های فتوسنتزی شده و از این طریق باعث بهبود خصوصیات مورفولوژیکی گیاه شده است.

رنگیزه‌های فتوسنتزی: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر متقابل تنش خشکی و تیمار کودی ورمی‌کمپوست روی کلروفیل فلورسانس، کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئید در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد، ولی روی کلروفیل کل تأثیر معنی‌داری نشان نداد (جدول ۳). بیشترین میزان کلروفیل a (۲۳/۳۳ میلی‌گرم بر گرم)، کلروفیل b (۱۷/۲۴ میلی‌گرم بر گرم) و کاروتنوئید (۸/۰۸ میلی‌گرم بر گرم) در تیمار آبیاری کامل و دو تن در هکتار ورمی‌کمپوست و کمترین میزان کلروفیل a (۱۷/۷۳ میلی‌گرم بر گرم)، کلروفیل b (۶/۹۶ میلی‌گرم بر گرم) و کاروتنوئید (۵/۰۵ میلی‌گرم بر گرم) در تیمار قطع آبیاری در ابتدای مرحله گل‌دهی و بدون کاربرد ورمی‌کمپوست (شاهد) به‌دست آمد. همچنین، بیشترین مقدار کلروفیل فلورسانس (۰/۸۷۸) از تیمار آبیاری کامل و یک تن در هکتار ورمی‌کمپوست و کمترین آن از تیمار قطع آبیاری در ابتدای مرحله گل‌دهی و بدون کاربرد ورمی‌کمپوست (۰/۴۰۵) حاصل شد (جدول ۵). نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثرات ساده تنش خشکی و ورمی‌کمپوست بر میزان کلروفیل کل در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود، ولی اثر متقابل آن‌ها بر میزان کلروفیل اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۳). به‌طوری‌که بیشترین میزان کلروفیل کل (۳۴/۶۲ میلی‌گرم بر گرم) در تیمار آبیاری کامل (شاهد) و کمترین میزان کلروفیل (۲۹/۲۳ میلی گرم بر گرم) در تیمار قطع آبیاری در ابتدای مرحله گل‌دهی (تنش شدید) حاصل شد. با افزایش مقدار ورمی‌کمپوست میزان کلروفیل کل افزایش یافت، به‌طوری‌که بیشترین میزان کلروفیل کل (۳۷/۵۵ میلی گرم بر گرم) در تیمار دو تن در هکتار ورمی‌کمپوست و کمترین میزان کلروفیل کل (۲۹/۶۱ میلی‌گرم بر گرم) در تیمار بدون کاربرد ورمی‌کمپوست (شاهد) به‌دست آمد (جدول ۴). نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی میزان کلروفیل a، کلروفیل b، میزان کلروفیل کل، میزان کلروفیل فلورسانس و کاروتنوئید نیز کاهش یافت، که با نتایج سایر محققان مطابقت داشت. بررسی اثر تنش خشکی بر میزان کلروفیل a و b برگ ریحان (*Ocimum basilicum* L.) (Hassani & Omidbaigi, 2002) و نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) (Izadi et al., 2009) تأثیرگذار بود. در اثر تنش رطوبتی محتوای کلروفیل گیاه ریحان بنفش کاهش یافت (Alishah et al., 2006). کاهش محتوای کلروفیل در برگ گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) (Dhanda et al., 2004; Shao et al., 2007) و مرکبات (Wu & Xia, 2006) در نتیجه کمبود آب و تنش خشکی گزارش شده است. گزارش شده است با کاربرد ورمی‌کمپوست محتوای کلروفیل در لیلیوم (*Lilium longiflorum* L.) (Mirakalaei et al., 2013) و تاج‌خروس (*Amaranthus* sp.) (Uma & Malathi, 2009) افزایش یافت. به‌طور کلی می‌توان بیان کرد که ورمی‌کمپوست می‌تواند محتوای کلروفیل و کاروتنوئید را از طریق افزایش مقدار نیتروژن قابل دسترس برای گیاه افزایش دهد و پس از آن گیاه نیز با توانایی جذب بیشتر نورخورشید و تولید بیشتر فراورده‌های فتوسنتزی باعث افزایش رشد و عملکرد گیاه شود (Salehi et al., 2016).

محتوای نسبی آب برگ: بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر متقابل تنش خشکی و ورمی‌کمپوست بر محتوای نسبی آب برگ گیاه مرزه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). به‌طوری‌که، بیشترین درصد محتوای نسبی آب برگ در تیمار آبیاری کامل (شاهد) و مصرف ورمی‌کمپوست به‌میزان دو تن در هکتار (۹۰/۶۶ درصد) و کمترین آن در تیمار قطع آبیاری در ابتدای مرحله گل‌دهی (تنش شدید) و بدون کاربرد ورمی‌کمپوست (۵۸/۳۳ درصد) به‌دست آمد (جدول ۵). از محتوای نسبی آب به‌منزله شاخصی مناسب از وضعیت آب برگ‌ها یاد می‌شود که در صورت پیشرفت تنش خشکی کاهش می‌یابد و سبب تغییر در غشای یاخته‌ای و درنتیجه، افزایش نشت الکترولیتی از یاخته‌ها می‌شود (Izadi et al., 2009). در تحقیقی گزارش شد که با افزایش میزان تنش خشکی در گیاه مرزه محتوای

نسبی آب برگ کاهش یافت (Esmaeilpour et al., 2013). در تحقیقی روی گیاه بادرنجبویه مشخص شد که با اعمال تنش خشکی محتوای نسبی آب برگ کاهش یافت، ولی با کاربرد ورمی‌کمپوست در محیط رشد گیاه میزان محتوای نسبی آب برگ افزایش معنی‌داری پیدا کرد (Kazeminasab et al., 2016). در گیاهان تحت تنش خشکی، سلول‌ها کوچک‌تر شده، برگ‌ها کمتر توسعه پیدا کرده و عملکرد ماده خشک به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. همچنین کاهش سرعت فتوسنتز برگ‌ها با کاهش محتوی نسبی آب و پتانسیل آبی برگ همراه است (Lawlor, 2002). استفاده از کود ورمی-کمپوست باعث افزایش معنی‌داری در محتوای نسبی آب‌برگ گیاه مرزه نسبت به تیمار بدون کاربرد ورمی‌کمپوست (شاهد) شد. به نظر می‌رسد استفاده از کود ورمی‌کمپوست باعث می‌شود که شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک بهبود یافته و با افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک گیاه در شرایط خشکی از خود مقاومت بیشتری نشان دهد.

نشت یونی: بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر متقابل تنش خشکی و ورمی‌کمپوست بر میزان نشت یونی گیاه مرزه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دارشد (جدول ۳). به‌طوری‌که، بیشترین میزان نشت یونی در تیمار قطع آبیاری در ابتدای مرحله گل‌دهی (تنش شدید) و بدون کاربرد ورمی‌کمپوست (۴۱ درصد) و کمترین میزان نشت یونی در تیمار آبیاری کامل (شاهد) و ورمی‌کمپوست دو تن در هکتار (۱۲/۳۳ درصد) به‌دست آمد (جدول ۵). با افزایش تنش خشکی میزان نشت یونی از غشاهای سلولی مرزه افزایش یافت، همچنین نتایج نشان داد که کود ورمی‌کمپوست اثر مثبتی را در کاهش میزان نشت یونی طی تنش خشکی دارد (جدول ۵). گزارش شده است که در گیاهان دو ساله کیوی (*Actinidia delicious* L.) در اثر تنش خشکی میزان نشت یونی افزایش یافت و با آبیاری مجدد این مقدار کاهش یافت (Wang et al., 2011). نتایج بررسی روی خیار (*Cucumis sativus* L.) و هندوانه (*Citrullus lanatus* L.) نشان دادکه میزان نشت یونی در شاهد به‌ترتیب حدود ۱۰۲/۳۱ درصد و ۴۷/۷۵ درصد نسبت به بستر حاوی ورمی‌کمپوست بالاتر بود (Zangh & Shang, 2007). پایداری غشای سلولی تحت تنش رطوبتی به‌منزله یک شاخص مهم تحمل به خشکی ذکر شده است. در حقیقت نشت یونی نیز می‌تواند به‌منزله یک شاخص مناسب دیگر از چگونگی آسیب‌های وارده به یاخته‌های برگی طی دوره تنش خشکی مطرح باشد (Fu & Huang, 2001).

پرولین: بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر متقابل تنش خشکی و ورمی‌کمپوست بر میزان پرولین گیاه مرزه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج نشان داد با افزایش میزان تنش خشکی مقدار پرولین در برگ بیشتر شد، ولی با کاربرد کود ورمی-کمپوست میزان پرولین برگ کاهش یافت، به‌طوری‌که بیشترین میزان پرولین در تیمار قطع آبیاری در ابتدای مرحله گل‌دهی (تنش شدید) و بدون کاربرد ورمی‌کمپوست (۰/۲۲۶ میکروگرم بر گرم) و کمترین میزان پرولین در تیمار آبیاری کامل (شاهد) و ورمی‌کمپوست دو تن در هکتار (۰/۱۱۵ میکروگرم بر گرم) به‌دست آمد (جدول ۵). محققان با بررسی تنش خشکی روی گیاه بابونه آلمانی (*Matrica recutica* L.) گزارش کردند که تنش خشکی باعث افزایش تجمع پرولین در برگ شد (Ghaedi Jeshni et al., 2017). در تحقیقی مشخص شد که با افزایش میزان تنش خشکی در گیاه مرزه میزان پرولین در برگ افزایش یافت (Esmaeilpour et al., 2013). نتایج حاصل از آزمایش روی گیاه ریحان (*Ocimum basilicum* L.) نشان داد که مقدار پرولین با افزایش تنش خشکی به‌میزان قابل توجهی افزایش یافت و با مصرف سطوح مختلف ورمی‌کمپوست از تجمع پرولین در گیاه کاسته شد (Ghavami et al., 2017). در گل‌گاوزبان (*Echium amoenum* L.) تیمار شده با ورمی‌کمپوست مشخص شد که بیشترین تجمع پرولین در تیمار تنش خشکی بود که با افزایش مقدار ورمی‌کمپوست میزان پرولین در برگ گیاه کاهش پیدا کرد (Golinezhad et al., 2016). برای مقاومت در برابر تنش‌های محیطی به‌ویژه تنش خشکی، بسیاری از گیاهان با افزایش سنتز و ذخیره‌سازی پرولین پتانسیل اسمزی خود را افزایش می‌دهند (Liu et al., 2013). محتوای پرولین با افزایش تنش خشکی افزایش می‌یابد. مولکول‌های پرولین شامل بخش‌های آب‌دوست و آب‌گریز هستند. پرولین قابل حل می‌تواند روی حلالیت پروتئین‌های مختلف اثر بگذارد و از اختلالات آلبومین جلوگیری کند. احتمالاً رابطه متقابل بین پرولین و پروتئین‌های آب‌گریز باعث افزایش مولکول‌های پروتئین‌های آب‌دوست شده و از این طریق منجر به ثبات گیاه و افزایش پرولین گیاهان در شرایط تنش خشکی می‌شوند (Kuznetsov & Shevyakov, 1999).

پروتئین: بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر تیمار ورمی-کمپوست بر میزان پروتئین گیاه مرزه در سطح احتمال پنج درصد

معنی‌دار بود، ولی اثر ساده تنش خشکی و اثر متقابل تنش خشکی و ورمی‌کمپوست بر این صفت معنی‌دار نبود(جدول ۳). نتایج نشان داد با کاربرد کود ورمی‌کمپوست میزان پروتئین برگ افزایش یافت و به‌طوری‌که، بیشترین مقدار پروتئین (۰/۱۴۶ میلی‌گرم بر گرم) و کمترین مقدار (۰/۰۷۷ میلی‌گرم بر گرم) به‌ترتیب در تیمارهای دو تن در هکتار ورمی‌کمپوست و عدم کاربرد ورمی‌کمپوست (شاهد) حاصل شد (جدول ۴). محققان با بررسی اثر تنش خشکی و ورمی‌کمپوست گزارش کردند که پروتئین با افزایش تنش خشکی در همه سطوح ورمی‌کمپوست کاهش یافت که با افزایش ورمی‌کمپوست میزان پروتئین افزایش یافت که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد (Boyer et al., 1997; Good & Stonet, 1994). زیرا با افزایش ورمی‌کمپوست تنش خشکی کاهش می‌یابد و گیاهان نیازی به افزایش مقدار پرولین برای تنظیم اسمزی ندارند.

پراکسیداز و کاتالاز: بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر تنش خشکی و تیمار ورمی‌کمپوست بر میزان آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز گیاه مرزه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود، ولی اثر متقابل تنش خشکی و ورمی‌کمپوست بر این صفات معنی‌دار نبود (جدول ۴). نتایج نشان داد که با افزایش سطح تنش خشکی میزان پراکسیداز و کاتالاز افزایش یافت که کاربرد ورمی‌کمپوست به‌طور قابل توجهی میزان فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز را کاهش داد. بیشترین مقدار پراکسیداز و کاتالاز در تیمار قطع آبیاری در ابتدای مرحله گل‌دهی (تنش شدید) و با میانگین‌های به‌ترتیب ۰/۲۲۹ و ۰/۲۲۶ تغییرات جذب در دقیقه در میلی‌گرم پروتئین و کمترین آن‌ها در تیمار آبیاری کامل (شاهد) و با میانگین‌های به‌ترتیب ۰/۱۹۶ و ۰/۱۹۷ تغییرات جذب در دقیقه در میلی‌گرم پروتئین به‌دست آمد. همچنین، بیشترین میزان پراکسیداز و کاتالاز در تیمار بدون کاربرد ورمی‌کمپوست (شاهد) با میانگین‌های به‌ترتیب ۰/۲۵۰ و ۰/۲۴۹ تغییرات جذب در دقیقه در میلی‌گرم پروتئین و کمترین آن‌ها در تیمار دو تن در هکتار ورمی‌کمپوست و با میانگین‌های به‌ترتیب ۰/۱۷۷ و ۰/۲۴۹ تغییرات جذب در دقیقه در میلی‌گرم پروتئین به‌دست آمد (جدول ۴). در تحقیقی مشخص شد که با افزایش میزان تنش خشکی در گیاه ریحان میزان پراکسیداز و کاتالاز در برگ افزایش یافت که با کاربرد کود ورمی‌کمپوست میزان این آنزیم‌ها کاهش یافت که با نتایج پژوهش ما مطابقت داشت (Ghavami et al., 2017; Khalid, 2006).گیاهان برای مقابله با اثرات نامطلوب تنش خشکی و گونه‌های اکسیژن فعال، میزان آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز را افزایش می‌دهند که فعالیت این آنزیم‌ها نقش کلیدی را در بقای گیاه در شرایط تنش خشکی ایفا می‌کند (Wu et al., 2012).

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه روی اثر اعمال رژیم‌های آبیاری بر صفات مورفوفیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و عملکرد مرزه در سطوح ورمی‌کمپوست مشاهده گردید که اثر متقابل تنش خشکی و ورمی‌کمپوست بر صفاتی از قبیل ارتفاع بوته، وزن خشک ساقه، محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل فلورسانس، کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئید، میزان نشت یونی و پرولین در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود، ولی اثر متقابل تنش خشکی و ورمی‌کمپوست بر صفاتی مانند تعداد شاخه جانبی، آنزیم پراکسیداز، آنزیم کاتالاز، پروتئین و کلروفیل کل معنی‌دار نبود. با توجه به نتایج این پژوهش، کاربرد دو تن در هکتار کود ورمی‌کمپوست در شرایط تنش خشکی به‌ویژه در تنش‌های شدید خشکی می‌تواند برای بهبود صفات مورفوفیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و عملکرد گیاه مرزه مؤثر باشد.

References

Alaboz, P., Isildar, A.A., Mujdeci, M., and Senol, H., 2017. Effects of different vermicompost and soil moisture levels on pepper (*Capsicum annuum* L.) grown and some soil properties. Journal of Agricultural Sciences 27(1): 30-36.

Alishah, H.M., Heidari, R., Hassani, A., and Dizaji, A.A., 2006. Effect of water stress on some morphological and biochemical characteristics of purple basil (*Ocimum basilicum* L.). International Journal of Biological Sciences 6(4): 763-767.

Anwar, M., Patra, D.D., Chand, S., Kumar, A., Naqvi, A.A., 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(1-14): 1737-1746.

Arancon, N.Q., Edwards, C.A., Babenko, A., Cannon, J., Galvis, P., and Metzger, J.D., 2008. Influences of

vermicomposts, produced by earthworms and microorganisms from cattle manure, food waste and paper waste, on the germination, growth and flowering of petunias in the greenhouse, Applied Soil Ecology 39: 91-99.
Arnon, D.I., 1975. Physiological Principles of Dry Land Crop Production. In: U.S.Gupta (Ed.) Physiological Aspects of Dry Land Farming. pp. 3-14. Oxford Press.
Ashraf, M., and Foolad, M.R., 2007. Roles of glycine, betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. Environmental and Experimental Botany 59: 206-216.
Atiyeh, R.M., Arancon, N., Edwards, C.A., and Metzger, J.D., 2001. The influence of earthworm processed pigmanure on the growth and productivity of marigolds. Bioresource Technology 81(2): 103-108.
Barrs, H.D., and Weatherley, P.E., 1962. A re-examination of the relative turgidity techniques for estimating water deficits in leaves. Australian Journal of Biological Sciences 15: 413-428.
Bates, L.S., Waldern, R.P., and Teave, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil 39: 205-107.
Bender ÖzençOzenç, D., 2008. Growth and transpiration of tomato seedlings grown in hazelnut husk compost under water-deficit stress. Compost Science and Utilization 16: 125-13.
Beyk Khurmizi, A., Ganjeali, A., Abrishamchi, P., and Parsa, M., 2010. The effect of vermicompost on salt tolerance of bean seedlings (*Phaseolus vulgaris* L.). Journal of Agroecology 23: 474-485. (In Persian with English Summary)
Boyer, J.S., Wong, S.C., and Farquhar, G.D., 1997. Gas exchange across leaf cuticule at various water potentials. Plant Physiology 114: 185-191.
Bradford, M.M., 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Annual Biochemistry 72: 248-254.
De Ridder, N., and Van Keulen, H., 1995. Estimating biomass through transfer functions based on a simulation model results: A case study for Sahel. Agricultural Water Management 28: 57-71.
Devnarain, N., Crampton, BG., Chikwamba, R., Becker, J.V.W., and O'Kennedy, M.M., 2016. Physiological responses of selected African sorghum landraces to progressive water stress and re-watering. South African Journal of Botany 103: 61-69.
Dhanda, S.S., Sethi, G.S., and Behl, R.K., 2004. Indices of drought tolerance in wheat genotypes at early stages of plant growth. Journal of Agronomy and Crop Science 190(1): 6–12.
Esmaielpour, B., Hadian, J., and Jalilvand, P., 2013. Effects of drought stress and mycorizha on morpho-physiological and yield of summer savory (*Satureja hortensis* L.). Journal of Agroecology 5(2): 169-177. (In Persian with English Summary)
Fu, J., and Huang, B., 2001. Involvement of antioxidants and lipid peroxidation in the adaptation of two cool-season grasses to localized drought stress. Journal of Environmental and Experimental Botany 45: 105-114.
Ghaedi Jeshni, M., Mousavinik, M., Khammari, I., and Rahimi, M., 2017. The changes of yield and essential oil components of german chamomile (*Matricaria recutita* L.) under application of phosphorus and zinc fertilizers and drought stress conditions. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences 16: 60–65.
Ghavami, A., Abdossi, V., Rafiee, M., and Khalighi, A., 2017. The effect of mycorrhiza and vermicompost bio-fertilizers on some physiological characteristics of sweet basil plant (*Ocimum basilicum* L.) under the stress condition caused by water deficit. Ukrainian Journal of Ecology 7(4): 325–329.
Ghavami, A., Abdossi, V., Rafiee, M., and Khalighi, A., 2017. The effect of mycorrhiza and vermicompost bio-fertilizers on some physiological characteristics of sweet basil plant (*Ocimum basilicum* L.) under the stress condition caused by water deficit. Ukrainian Journal of Ecology 7(4): 325–329.
Gholamhoseini, M., Ghalavand, A., Dolatabadian, A., Jamshidi, E., and Khodaei-Joghan, A., 2012. Effects arbuscular mycorrhizal inoculation of on growth, yield, nutrient uptake and irrigation water productivity of sunflowers grown under drought stress. Agricultural Water Management 117: 106-114.
Gholinezhad, R., Sirousmehr, A.R., and Fakheri, B., 2016. Evaluation of irrigation regimes and use of organic fertilizers on qualitative and quantitative yield of borage (*Borago officinalis* L.). Journal of Crop Ecophysiology 10(3): 683-696. (In Persian with English Summary)
Good, J., and Stonet, D., 1994. The effects of drounght Stress free amino in acids accumlation and prolien suntesis in (*Brassica napus*). Physiology Plantarum 20(1): 9-14.
Hassani, A., and Omidbaigi, R., 2002. Effect of water stress on some morphological, physiological and metabolical characteristics in basil (*Ocuimm basilicum* L.). Journal of Agricultural Sciences 12(3): 47-59. (In Persian with English Summary)
Hornok, L., 1986. Effect of environmental factors on growth, yield and on active principal of som spice plants. Acta Horticulturae 168: 169-176.
Huang, J., Ridoutt, B.G., Xu, C.C., Zhang, H.L., and Chen, F., 2012. Cropping pattern modifications change water

resource demands in the Beijing metropolitan area. Journal of Integrative Agriculture 11(11): 1914-23.
Ikemura, Y., 2007. Remote sensing of drought and salinity stressed turfgrass. Ph.D. Dissertation. New Mexico State University.
Izadi, Z., Asnaashari, M., and Ahmadvand, G., 2009. Influence of drought tension on yield, proline contents, soluble sugars, chlorophyll, relative water contents and essential oil in peppermint (*Mentha piperita* L). Iranian Journal of Horticultural Sciences 10(3): 223-234. (In Persian with English Summary)
Kadam, N.N., Xiao, G., Melgar, R.J., Bahuguna, R.N., QuiñonesQuinones, C., Tamilselvan, A., 2014. Agronomic and physiological responses to high temperature, drought, and elevated CO_2 interactions in cereals. Advances in Agronomy 127: 111-56.
Kar, M., and Mishra, D., 1976. Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. Plant Physiology 57(2): 315-319.
Karmegam, N., and Daniel, T., 2000. Effect of biodigested slurry and vermicompost on the growth and yield of cowpea (*Vigna unguiculata* L.). Environment and Ecology 18(2): 367-70.
Kazeminasab, A., Yarnia, M., Lebaschy, M.H., Mirshekari, B., and Rejali, F., 2016. The effect of vermicompost and pgpr on physiological traits of lemon balm (*Melissa officinalis* L.) plant under drought stress. Journal of Medicinal Plants and By-products 2: 135-144.
Kçukyumuk, Z., Gultekin, M., and Erdal, I., 2014. Vermikompost ve mikorizanın biber bitkisinin gelisimi ile mineral beslenmesi Uzerine etkisi. Suleyman Demirel Universitesi Ziraat Fak. Dergisi 9: 51-58.
Khalid, K.A., 2006. Influence of water stress on growth, essential oil and chemical composition of herbs (*Ocimum* sp.). International Agrophysics 20: 289-296.
Koc, E., IslekIslek, C., and UstunUstun, A.S., 2010. Effect of cold on protein, proline, phenolic compounds and chlorophyll content of two pepper (*Capsicum annuum* L.) varieties. Gazi University Journal of Science 23: 1-6.
Korkmaz, A., Korkmaz, Y., Demirkiran, A.R., 2010. Enhancing chilling stress tolerance of pepper seedling by exogenous application of 5- aminolevolinic acid. Environmental and Experimental Botany 67: 495-501.
Kuznetsov, V.V., and Shevyakova, N.I., 1999. Proline under stress: biological role, metabolism, and regulation. Russian Journal of Plant Physiology 46:274-287.
Lawlor, D., and Cornic, G., 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. Plant, Cell and Environment 25(2): 275-294.
Liu, H., Zhang, Y.H., Yin, H., Wang, W.X., Zhao, X.M., and Du, Y.G., 2013. Alginate oligosaccharides enhanced *Triticum aestivum* L. tolerance to drought stress. Plant Physiology and Biochemistry 62: 33-40
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)
Mirakalaei, S., Ardebill, Z., and Mostafavi, M., 2013. The effects of different organic fertilizers on the growth of lilies (*Lilium longiflorum*). International Research Journal of Applied and Basic Sciences 4: 181-186.
Nooshkam, A., Majnoun Hoseini, N., Hadian, J., Jahansooz, M., and Khavazi, K., 2014. The effects of irrigated and rainfed conditions on vegetative and essential oil yield of two medicinal species, *Satureja khuzistanica* Jamzad and *S. rechingeri* Jamzad in North of Khuzestan. Electronic Journal of Crop Production 7(2): 61-75. (In Persian with English Summary)
Omidbaigi, O., and Mahmoudi Sourestani, M., 2010. Effect of drought stress on some morphological traits, amount and yield essential oil of Mexican flower (*Agastache foeniculum* L.). Iranian Journal of Horticulture 41(2): 153-161. (In Persian with English Summary)
Omidbaigi, R., 1997. Approaches to Production and Processing of Medicinal Plants. Vol. 2, Tarrahan-E-Nashr Publication, Tehran, Iran. 424 pp. (In Persian)
Prabha, M.L., Jayraay, I.A., Jayraay, R., and Rao, D.S. 2007. Effect of vermicompost on growth parameters of selected vegetable and medicinal plants. Asian Journal of microbiology, Biotechnology and Environmental Sciences 9(2): 321-326.
Pritam, S.V.K., and Garg, C.P.K., 2010. Growth and yield response of marigold to potting media containing vermicompost produced from different wastes. Environmentalist 30: 123-130.
Reddy, A.R., Chaitanya, K.V., and Vivekanandan, M., 2004. Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. Journal of Plant Physiology 161: 1189-1202.
Safi-Khani, F., Heidari Sharif Abad, H., Siadat, S.A., Sharifi, Ashorabadi, E., Seyednejad, S.M., and Abaszadeh, B., 2006. Drought effects on yield and morphological traits of *Dracocephalum moldavica* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 36(2): 183-190. (In Persian with English Summary)
Salehi, A., Tasdighi, H., and Gholamhoseini, M., 2016. Evaluation of proline, chlorophyll, soluble sugar content and uptake of nutrients in the German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) under drought stress and organic fertilizer

treatments. Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine 6(10): 886–891.

Samiran, R., Kusum, A., Biman, K.D., and Ayanadar, A., 2010. Effect of organic amendments of soil on growth and productivity of three common crops viz. *Zea mays*, *Phaseolus vulgaris* and *Abelmoschus esculentus*. Applied Soil Ecology 45: 78-84.

Sefidkon, F., and Ahmadi, S., 2002. Essential oil of *Satureja khuzistanica* Jamzad. Journal of Essential Oil Reviews 12: 427-428.

Sefidkon, F., and Jamzad, Z., 2000. Essential oil of *Satureja bachtiarica* Bunge. Journal of Essential Oil Research 12: 545-546.

Shao, H.B., Chu, L.Y., Wu, G., Zhang, J.H., Lu, Z.H., and Hu, Y.C., 2007. Changes of some antioxidative physiological indices under soil water deficits among 10 wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes at tillering stage. Colloids and Surfaces B: 54: 143–149.

Singh, R., Gupta, R.K., Patil, R.T., Sharma, R.R., Asrey, R., and Kumar, A., 2010. Sequential foliar application of vermicompost leachates improves marketable fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria* × *Ananassa* Duch.). Scientia Horticulturae 124: 34-9.

Uma, B., and Malathi, M., 2009. Vermicompost as a soil supplement to improve growth and yield of *Amaranthus* species. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences 5: 1054-1060.

Wang, Y., Ma, F., Li, M., Liang, D., and Zou, J., 2011. Physiological responses of kiwifruit plants to exogenous ABA under drought conditions. Plant Growth Regulation 64: 63-74.

Wu, H., Wu, X., Li, Z., Duan, L., and Zhang, M., 2012. Physiological evaluation of drought stress tolerance and recovery in cauliflower (*Brassica oleracea* var Botrytis.) seedlings treated with methyl jasmonate and coronatine. Journal of Plant Growth Regulation 31: 113-123.

Wu, Q.S., and Xia, R.X., 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi influence growth, osmotic adjustment and photosynthesis of citrus under well watered and water stress conditions. Journal of Plant Physiology 163: 417–425.

Zhang, X., Dong, W., Dai, X., Schaeffer, S., Yang, F., and Radosevich, M., 2015. Responses of absolute and specific soil enzyme activities to long term additions of organic and mineral fertilizer. Science of the Total Environment 536: 59-71.

Zhang, Z., and Shang, Q., 2007. Studies on heat tolerance of cucumber and watermelon plug seedling with vermicompost-based substrate. Chinese Academy of Agricultural Sciences 25: 164-168.

Journal of Agroecology
Vol. 12, No.3, Fall 2020, p. 507-522

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، ص ۵۲۲-۵۰۷

Effect of Vermicompost on Morphophysiological, Biochemical and Yield Characteristics of Summer Savory (*Satureja hortensis* L.) under Different Irrigation Regimes

O. Heidarpour[1], B. Esmaielpour[2], A. Soltani Toolarood[3] and S. Khorramdel[4]

Submitted: 10-03-2019
Accepted: 27-04-2019

Heidarpour, O., Esmaielpour, B., Soltani Toolarood, A., and Khorramdel, S., 2020. Effect of vermicompost on morphophysiological, biochemical and yield characteristics of summer savory (*Satureja hortensis* L.) under different irrigation regimes. Journal of Agroecology 12(3):507-522.

Introduction

Summer savory (*Satureja hortensis* L.) is an annual medicinal herb, belonging to the family of Labiatae. This plant is native to the Mediterranean region and is cultivated extensively in France, Hungary, Spain, and Iran. Drought is one of the most important environmental factors responsible for decreasing global production and performance, especially in areas with low and irregular rainfall. Morphological indices such as plant height, stem length, yield, leaf area, and many of the growth traits of the plant are affected by drought stress.

Materials and Methods

A factorial layout based on a randomized complete block design with three replications was conducted at the Research Farm at the Mohaghegh Ardabili University, Iran, during 2016-2017. Treatments included three levels of drought stress (Full irrigation (s_1), Water cut at 50% of flowering (s_2), and Water cut in early stages of flowering (s_3) and four vermicompost levels (including 0, 1, 1.5 and 2 t. ha^{-1}). Plants were fully irrigated until eight weeks after seeding, and then drought stress was started at the early stage of flowering and 50 % flowering of plants. Fully irrigated plants throughout the growing season considered as control. The sampling was performed from cultivated plants, by the random collection of 3 individual samples. Samples to evaluate the morphophysiological, biochemical, and yield characteristics were taken at the full flowering stage. Traits such as plant height, dry stem weight, lateral branches, relative water content, electrolyte leakage, chlorophyll fluorescence, chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, carotenoid, proline, protein, Catalase, and peroxidase antioxidant enzymes were measured and assessed. Data were analyzes using SAS V9.2. Mean comparison of results was made using Duncan's multiple range test at $p<0.05$ levels.

Results and Discussion

The results of the analysis of variance the effects of various vermicompost levels and drought stress and their interaction have been presented. The results showed that the effect of drought stress and vermicompost on plant height and shoot dry weight were significant at the 5% probability level. However, no significant effect was observed on the number of lateral branches. Also, the interaction of drought stress and vermicompost fertilizer treatments was substantial for plant height and dry weight of stem at a 5% probability level. The results of the analysis of variance showed that the interaction of drought stress and vermicompost on chlorophyll fluorescence,

1- Ph.D. Student of Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture Science, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
2- Associate Professor, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture Science, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
3-Associate Professor, Soil science Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
4- Associate Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad , Iran.
(*- Corresponding Author Email: behsmaiel@yahoo.com)
Doi:10.22067/jag.v12i3.79634

chlorophyll a, chlorophyll b, and carotenoid was significant at 5% probability level, but the total chlorophyll has a considerable effect. The highest chlorophyll a (23.33 $mg.kg^{-1}$), chlorophyll b (17.24 $mg.g^{-1}$) and carotenoid (8.08 $mg.g^{-1}$) in full irrigation treatment and two tons per hectare of vermicompost and minimum chlorophyll a (17.73 $mg.kg^{-1}$), chlorophyll b (96.6 $mg.g^{-1}$) and carotenoid (5.5 $mg.g^{-1}$) in Water cut in early stages of flowering and without the application of vermicompost (control). Based on the results of the analysis of variance, the effect of drought stress and vermicompost on the proline content of Satureja plant was significant at 5% probability level. The results showed that with increasing drought stress, the amount of proline in leaf was raised. However, with the use of vermicompost, leaf proline decreased, with the highest amount of proline (0.226 $\mu g.g^{-1}$) in Water cut in early stages of flowering (severe stress) and without application of vermicompost (control) and low proline (0.15 $\mu g.g^{-1}$) in Full irrigation (control) and vermicompost treatment (2 $t.ha^{-1}$) were obtained. Investigating the drought stress on German chamomile plant, researchers reported that drought stress increased proline accumulation in the leaf (Ghaedi Jeshni et al., 2017). It was reported that increasing the amount of drought stress in sorghum increased the amount of proline in the leaf (Esmaeilpour et al., 2013).

Conclusion

Based on the results, it can be concluded that vermicompost 2 $t.ha^{-1}$ can improve the medicinal plant growth and yield under severe drought irrigation regimes.

Keywords: Catalase, Chlorophyll a, Electrolyte leakage, Medicinal Plant, Proline.