نشریه علمی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران
جلد ۳۶، شماره ۱، صفحه ۱۴۱-۱۳۰ (۱۳۹۹)

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/ijmapr.2020.126724.2592
شناسه دیجیتال (DOR): 98.1000/1735-0905.1398.36.130.99.1.1576.41

بررسی اثر تنش کم آبیاری و منابع کودی بر خصوصیات مورفولوژیکی و ترکیب‌های فنلی گیاه دارویی سرخارگل (*Echinacea purpurea* L.)

بیژن سلطانیان[۱]، پرویز رضوانی‌مقدم[۲*] و جواد اصیلی[۳]

۱- دانشجوی دوره دکترای اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲*- نویسنده مسئول، استاد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران، پست الکترونیک: rezvani@ferdowsi.um.ac.ir

۳- استاد، دانشکده داروسازی، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: تیر ۱۳۹۸ تاریخ اصلاح نهایی: مهر ۱۳۹۸ تاریخ پذیرش: بهمن ۱۳۹۸

چکیده

این آزمایش طی دو سال زراعی ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد به منظور بررسی اثر تنش کم آبیاری و منابع کودی بر خصوصیات گیاه دارویی سرخارگل (*Echinacea purpurea* L.) در قالب کرت‌های خرد شده، در ۳ تکرار اجرا گردید. سطوح کم آبیاری شامل ۳ تیمار عدم تنش رطوبتی، تنش رطوبتی متوسط و تنش رطوبتی شدید و تیمارهای کودی شامل ۸ تیمار کود کامل، ورمی‌کمپوست و هیومیک اسید و هیومیک اسید+ کود کامل، هیومیک اسید+ ورمی‌کمپوست، ورمی‌کمپوست+ کود کامل و کود کامل+ ورمی‌کمپوست+ هیومیک اسید و شاهد بودند. اثر سطوح کم آبیاری و تیمارهای کودی هر یک به‌تنهایی بر ارتفاع بوته، تعداد ساقه و تعداد گل در بوته، وزن خشک زیست‌توده، مجموع کلروفیل a و b و پرولین ($P\leq0.01$) معنی‌دار بودند و اثر متقابل سطوح کم آبیاری و تیمارهای کودی بر ترکیب‌های فنلی برگ ($P\leq0.01$) معنی‌دار و بر سایر صفات معنی‌دار نبود. بیشترین ارتفاع و تعداد ساقه، تعداد گل در بوته، وزن خشک زیست‌توده در تیمار عدم تنش‌های رطوبتی و کمترین مقادیر این شاخص‌ها در تیمار تنش رطوبتی شدید مشاهده شد. بیشترین مقدار پرولین در تنش رطوبتی شدید و کمترین مقدار آن در تیمار عدم تنش رطوبتی مشاهده گردید. بیشترین ارتفاع بوته در تیمار ورمی‌کمپوست، تعداد ساقه و گل در تیمار هیومیک اسید+ ورمی‌کمپوست، وزن خشک زیست‌توده در تیمار کود کامل+ ورمی‌کمپوست و کمترین مقادیر آنها در تیمار شاهد مشاهده شد. بیشترین مقدار پرولین در تنش رطوبتی شدید و کمترین مقدار آن در تیمار عدم تنش رطوبتی دیده شد. همچنین بیشترین میزان پرولین در تیمار شاهد و کمترین میزان آن در تیمار ورمی‌کمپوست بدست آمد. بیشترین مجموع کلروفیل a و b در تیمار عدم تنش مشاهده و با افزایش تنش از میزان آن کاسته شد. همچنین بیشترین میزان آن در تیمار کود کامل+ ورمی‌کمپوست و کمترین مقادیر آن در تیمار شاهد مشاهده گردید. بیشترین میزان ترکیب‌های فنلی برگ در تیمار هیومیک اسید+ ورمی‌کمپوست+ کود کامل در شرایط تنش رطوبتی شدید و کمترین میزان آن در تیمار عدم تنش رطوبتی و شاهد مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: هیومیک اسید، ترکیب‌های فنلی، گیاهان دارویی، ورمی‌کمپوست.

مقدمه

سرخارگل (*Echinacea* spp.) گیاهی علفی و چندساله از تیره گل ستاره‌ای‌ها (Asteraceae: Heliantheae) و منشأ آن شمال آمریکا می‌باشد (Binns *et al*., 2002) و شناخته‌شده‌ترین درمان برای سیستم ایمنی و محافظت در مقابل سرفه، سرماخوردگی و تب است (Yousef *et al*., 2013). هم‌اکنون تحقیقات گسترده‌ای بر روی خواص ضدالتهابی و آنتی‌اکسیدانی آن برای درمان، پیشگیری و مبارزه با بیماری‌ها (Percival, 2000) بر روی گونه *E. purpurea* در حال انجام است (Omidbaigi, 2010). نتایج یک متاآنالیز نشان داد سرخارگل می‌تواند اثر جلوگیری کننده بر عفونت‌های دستگاه تنفسی فوقانی داشته باشد (Sholto & Cunningham, 2019).

کم آبیاری (Deficit irrigation) یا صرفه‌جویی در مصرف آب می‌تواند به‌عنوان یک راهکار سودمند در وضعیت محدودیت آب و با هدف حداکثر استفاده از واحد حجم آب مصرفی مطرح باشد. این مهم از طریق کاهش میزان آب آبیاری در هر نوبت یا حذف آبیاری‌هایی که کمترین بازدهی را دارند یا در افزایش سود خالص نقشی ندارند انجام می‌شود (Ardalan *et al*., 2012).

البته پیش‌بینی می‌شود تناوب رخداد خشکی به‌دلیل تغییرات آب و هوایی افزایش یابد. گیاهان چندساله به‌طور مکرر در طول دوره زندگی خود در معرض خشکی قرار دارند (Tombesi *et al*., 2018). یکی از اختلالاتی که در نتیجه تنش خشکی در فرایندهای رشد گیاهی ایجاد می‌شود کاهش رشد و توسعه سلول‌های گیاهی به‌ویژه در ساقه‌ها و برگ‌ها به‌دلیل کاهش تورژسانس می‌باشد. از آنجایی‌که توسعه و رشد سلول وابسته به این فشار می‌باشد، نمو سلول‌ها کاهش و اندازه سلول‌ها کوچکتر می‌گردد (Nilsen & Orcutt, 1996). Khurana و Singh (۲۰۰۰) نشان دادند که کاهش سطح برگ و تعداد برگ در اثر افزایش تنش خشکی سبب کاهش اتلاف آب و تعرق و متعاقب آن افزایش مقاومت گیاهان در برابر تنش خشکی می‌شود. گزارش شده است که دمای بالا و استرس خشکی در تجمع برخی از ترکیب‌های ثانویه در گیاهان نقش دارد و تنش خشکی می‌تواند یک فاکتور اساسی در افزایش محتوای ترکیب‌های ثانویه در بسیاری از گیاهان دارویی باشد (Taherkhani *et al*., 2011). نتایج تحقیقات نشان داده است که گیاهان در هنگام مواجه شدن با تنش‌های محیطی مواد پرورده بیشتری را برای سنتز متابولیت‌های ثانویه اختصاص می‌دهند (Rebey *et al*., 2012). این اعتقاد وجود دارد که چرخه‌های خشکی و تنش میزان متابولیت‌های ثانویه را در سرخارگل افزایش می‌دهد (Kindscher, 2016). زمانی که گیاه در معرض تنش خشکی قرار می‌گیرد، تجزیه پروتئین‌ها و در نتیجه افزایش اسیدهای آمینه و آمیدها تسریع می‌گردد. یکی از این اسیدهای آمینه، پرولین است (Mahajan & Tuteja, 2005) که نقش کلیدی را در حفظ تعادل اسمزی، حفاظت غشاء و ماکرومولکول‌ها دارد.

برای کاهش مخاطرات زیست محیطی ناشی از روش‌های کشاورزی رایج استفاده از منابع جایگزین مثل نهاده‌های آلی باید مورد توجه قرار گیرد (Murty & Ladha, 1998). استفاده از کودهای آلی در کنار مصرف کودهای شیمیایی ضمن کاستن از مصرف کودهای شیمیایی، در بهبود عملکرد گیاهان زراعی و پایداری در تولید آنها نیز مؤثر است (Ghosh *et al*., 2004). نتایج نشان داده که ورمی‌کمپوست و اسید هیومیک می‌توانند تأثیرات تحریک‌کننده شبه هورمونی داشته باشند (Scaglia *et al*., 2016).

به‌طور کلی هدف از اجرای این پژوهش بررسی تأثیر سطوح کم آبیاری و کود آلی ورمی‌کمپوست و هیومیک اسید در مقایسه با کود شیمیایی و اثرهای متقابل آنها بر خصوصیات مورفولوژیکی و ترکیب‌های فنلی به‌عنوان مهمترین گروه از ترکیب‌های مؤثره در گیاه دارویی سرخارگل بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در دو سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در مزرعه آموزشی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد (طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۲۸ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی و ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا) و در قالب طرح کرت‌های خرد شده در ۳ تکرار اجرا شد. با توجه به چندساله بودن گیاه و طبق بررسی‌های بعمل‌آمده مبنی بر عدم برداشت گیاه در سال اول رویش (Kindscher, 2016؛ Omidbaigi, 2010) از نتایج حاصل از برداشت گیاه در مرحله گلدهی سال دوم بهره‌برداری گردید. فاکتورهای مورد بررسی در این آزمایش در کرت اصلی شامل آبیاری در سه سطح به شرح زیر بود:

۱- عدم تنش رطوبتی (۶۰۰۰ M^3/ha)؛

۲- تنش رطوبتی متوسط (۴۵۰۰ M3/ha)؛

۳- تنش رطوبتی شدید (۳۰۰۰ M3/ha)

کرت‌های فرعی شامل تیمارهای کودی در هشت سطح به شرح زیر بود:

۱- کاربرد کود کامل NPK (۵۰۰ Kg/ha)؛ ۲- هیومیک اسید (۲۰L/ha)؛ ۳- ورمی‌کمپوست (۶۰۰۰ Kg/ha)؛ ۴- هیومیک اسید (۲۰L/ha)+ کود کامل NPK (۵۰۰Kg/ha)؛ ۵- ورمی‌کمپوست (۳۰۰۰ Kg/ha)+ کود کامل NPK (۲۵۰Kg/ha)؛ ۶- ورمی‌کمپوست (۳۰۰۰Kg/ha)+ هیومیک‌اسید (۲۰L/ha)؛ ۷- ورمی‌کمپوست (۳۰۰۰Kg/ha)+ هیومیک‌اسید (۲۰L/ha)+ کود کامل NPK (۲۵۰Kg/ha)؛ ۸- تیمار شاهد (عدم افزودن کود)

هر کرت دارای ۵ ردیف با فاصله ۵۰ و ۲۵ سانتی‌متر بین و روی ردیف‌ها بود (Omidbaigi, 2010). طول هر کرت ۳ و عرض آن ۲/۵ متر بود. بین کرت‌های اصلی دو ردیف نکاشت و بین کرت‌های فرعی یک ردیف نکاشت و بین تکرارها نیز یک متر به‌عنوان راهرو در نظر گرفته شد. پیش از اجرای آزمایش، از اعماق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری نمونه خاک تهیه گردید. بذر گونه *Echinacea purpurea* با توجه به سابقه کاشت آن در ایران از توده‌های کشت شده در اصفهان دریافت شد و به‌روش نشاءکاری در گلخانه در اواسط بهمن‌ماه ۱۳۹۴ در سینی کاشت و در مخلوط ۳ به ۱ پیت‌ماس و پرلیت کشت و آبیاری بارانی بعمل آمد. آماده‌سازی زمین اصلی در ابتدای اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۵ انجام و نشاءها در اواخر اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۵ به زمین اصلی منتقل شدند. سیستم آبیاری لوله‌کشی پلی‌اتیلن بود و بالای هر کرت به تعداد خطوط کاشت شیر و در مسیر لوله اصلی کنتور حجمی نصب گردید. میزان آب مورد نیاز در هر نوبت توسط نرم‌افزار NETWAT (Alizadeh & Kamali, 2008) و براساس نیاز آبی آفتابگردان (با توجه به تعریف نشدن این گیاه در نرم‌افزار گیاه آفتابگردان به‌عنوان نزدیکترین گیاه خویشاوند به سرخارگل انتخاب گردید) محاسبه گردید. اعمال تیمار آبیاری در زمان استقرار کامل گیاهچه‌ها و در مرحله ۶ برگی انجام شد و تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک هر ۷ روز یک‌بار ادامه یافت. تیمارهای کودی با توجه به نتایج حاصل از تجزیه خاک (جدول ۱) برآورد و در هر دو سال آزمایش در اواسط تیرماه اعمال شد. کود NPK با نام تجاری Quadro 20+20+20 TE ساخت شرکت Green Has ایتالیا و هیومیک اسید با نام تجاری K-humate ساخت شرکت Omnia استرالیا بود. مقدار نیتژن، فسفر و پتاسیم در ورمی‌کمپوست نیز با نمونه‌گیری از توده آن تعیین و مقدار استفاده از آن براساس تعادل در میزان عنصر نیتروژن نسبت به کود شیمیایی بود. نیاز سرخارگل به نیتروژن خالص با توجه به آزمایش خاک ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار تعیین شد. درصد نیتروژن خالص در نمونه ورمی‌کمپوست ۱/۶۸٪ بود (جدول ۲). در تیمارهای ترکیبی نیمی از کود شیمیایی بکار برده شده در تیمار خالص کسر و مقدار برابر آن از ورمی‌کمپوست جایگزین شد. هیومیک اسید مایع به مقدار ثابت و همزمان با افزودن سایر ترکیب‌های کودی در مرحله توسعه برگ‌های روزتی و قبل از ساقه‌دهی بکار برده شد. مبارزه با علف‌های هرز در هر دو سال آزمایش طی ۳ نوبت مطابق با پیشرفت مراحل رشدی گیاه و علف‌های هرز در کرت‌ها به‌صورت وجین دستی اعمال گردید.

جدول ۱- نتایج آزمایش خاک محل اجرای آزمایش

بافت	pH	EC ($ds.m^{-1}$)	OC (%)	OM (%)	N (%)	P (mg/kg)	K (mg/kg)
silty-loam	۷/۶	۱/۶۳	۰/۸۹۸	۱/۱۵	۰/۰۸۹	۱۶/۶	۱۸۰

جدول ۲- نتایج آزمایش کود ورمی‌کمپوست

pH	EC ($ds.m^{-1}$)	OC (%)	OM (%)	N (%)	P (mg/kg)	K (mg/kg)
۶/۷	۶/۳۲	۹/۷۵	۱۶/۸۱	۱/۶۸	۱۹۲۹	۲۰۷۱۳

در مرحله ۵۰٪ تا ۷۰٪ گلدهی پس از حذف نیم متر از ابتدای کرت و دو ردیف کناری تعداد ۴ بوته از هر کرت به‌صورت تصادفی سیستماتیک برداشت و اندام‌های ساقه و گل هریک جدا گردید و تعداد ساقه، ارتفاع بوته و تعداد گل هر یک از نمونه برداشت‌شده اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری ارتفاع بوته از خط‌کش استفاده شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک زیست‌توده از مساحت ۳ مترمربع در هر کرت برداشت انجام و وزن تر آن با ترازوی دیجیتال با دقت ۱ گرم تعیین و بعد تعداد ۱۰ نمونه در آون ۷۰ درجه به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفت و وزن خشک تعیین گردید و نسبت وزن تر به وزن خشک محاسبه و از ضریب حاصل برای تعیین وزن خشک زیست‌توده کل کرت‌ها بهره‌برداری گردید. در مرحله گلدهی کامل، نمونه‌گیری از نیمه بالایی دومین برگ توسعه‌یافته زیر گل‌آذین در ساقه اصلی برای تعیین میزان پرولین و ترکیب‌های فنلی استفاده شد. برای اندازه‌گیری محتوای پرولین برگ از روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) استفاده شد و مقدار کل ترکیب‌های فنلی موجود در نمونه به روش فولین سیوکالتو مورد بررسی قرار گرفت (Slinkard & Singleton, 1977).

داده‌ها با نرم‌افزار MSTAT-C آنالیز و توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن مقایسه میانگین داده‌ها انجام و گراف‌ها توسط نرم‌افزار Excel ترسیم شد.

نتایج

ارتفاع بوته

اثر سطوح کم آبیاری بر ارتفاع بوته معنی‌دار ($P\leq0.01$) بود (جدول ۳). بیشترین ارتفاع بوته در تیمار عدم تنش رطوبتی مشاهده شد و کاهش میزان آبیاری به ۷۵٪ و ۵۰٪ نیاز آبی باعث کاهش ارتفاع بوته به‌ترتیب برابر ۳/۹۲٪ و ۳۵/۳۱٪ گردید (جدول ۴). اثر تیمارهای کودی نیز بر ارتفاع بوته معنی‌دار ($P\leq0.01$) بود (جدول ۳). به‌طوری که بیشترین افزایش ارتفاع بوته به میزان ۲۲/۷٪ نسبت به تیمار شاهد در تیمار ورمی‌کمپوست بدست آمد که تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارهای کودی نداشت و همه آنها اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد داشتند (جدول ۴). اثرهای متقابل سطوح کم آبیاری و تیمارهای کودی بر ارتفاع بوته معنی‌دار نبود (جدول ۳).

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرهای سطوح کم آبیاری و تیمارهای کودی بر روی صفات سرخارگل

منابع تغییر	درجه آزادی	صفات (میانگین مربعات)						
		ارتفاع بوته در بوته	تعداد ساقه در بوته	تعداد گل در بوته	زیست‌توده	مجموع کلروفیل **a** و **b**	پرولین برگ	غلظت کل ترکیب‌های فنلی برگ
تکرار	۲	۱۸۱ns	۴/۸*	۵۲/۰ns	۱۶۹۸۸۲۱*	۰/۰۵۱ns	۰/۰۷۵ns	۴ns
سطوح آبیاری (**I**)	۲	۴۹۶۰**	۱۴۶۵/۱**	۲۷۷۷/۸**	۱۰۴۵۹۳۴۶۸**	۳/۰۲۶**	۴۴/۵۳۳**	۴۴۶**
خطای کرت اصلی	۴	۱۱۹	۱۲/۷	۲۲/۹	۲۴۰۲۲۰	۰/۰۹۸	۰/۰۱۷	۱۳
سطوح کودی (**F**)	۷	۱۳۰**	۲۶۶/۳**	۲۳۴/۱**	۳۳۵۳۵۰۶۸**	۲/۰۶۸**	۰/۰۶۳*	۱۳۷**
I×F	۱۴	۴۰ns	۴۱/۷ns	۳۴/۵ns	۱۶۷۶۷۰۸ns	۰/۰۴۸ns	۰/۰۲۷ns	۱۱**
خطای کرت فرعی	۴۲	۳۵	۲۶/۹	۲۱/۴	۱۳۷۴۱۰۲	۰/۰۴	۰/۰۲۴	۲
ضریب تغییرات (٪)	–	۹/۱	۱۲/۸	۱۱/۰	۷/۵	۵/۱	۹/۹	۷/۸

ns، * و **: به‌ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

تعداد ساقه در بوته

اثر سطوح کم آبیاری بر تعداد ساقه در بوته معنی‌دار (P≤0.01) بود (جدول ۳). بیشترین تعداد ساقه در بوته در تیمار عدم تنش رطوبتی مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با تیمار تنش رطوبتی متوسط نداشت ولی هر دو اختلاف معنی‌داری با تیمار تنش رطوبتی شدید داشتند و کاهش میزان آبیاری از تأمین ۱۰۰٪ به ۵۰٪ نیاز رطوبتی باعث کاهش ۳۱/۳۷ درصدی در تعداد ساقه در بوته شد (جدول ۴). تأثیر تیمارهای کودی نیز بر تعداد ساقه در بوته معنی‌دار (P≤0.01) بود (جدول ۳). به‌طوری که بیشترین تعداد ساقه در بوته در تیمار ورمی‌کمپوست+ هیومیک اسید مشاهده شد که به‌دنبال آن تیمار هیومیک اسید+ کود کامل قرار داشت. کمترین تعداد ساقه در بوته در تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ۴). البته اثرهای متقابل تیمارهای کودی و سطوح کم آبیاری بر تعداد ساقه در بوته معنی‌دار نبود (جدول ۳).

تعداد گل تک بوته

اثر سطوح کم آبیاری بر تعداد گل تک بوته معنی‌دار ($P\leq0.01$) بود (جدول ۳). بیشترین تعداد گل تک بوته در شرایط عدم تنش رطوبتی مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با تیمار تنش رطوبتی متوسط نداشت ولی هر دو با تیمار تنش رطوبتی شدید اختلاف معنی‌داری داشتند. کاهش میزان آبیاری به ۷۵٪ و ۵۰٪ نیاز رطوبتی سبب کاهشی به‌ترتیب برابر ۷/۳ و ۴۰/۴۴ درصدی در تعداد گل در بوته گردید (جدول ۴). اثر سطوح کودی نیز بر تعداد گل در بوته معنی‌دار ($P\leq0.01$) بود (جدول ۳). بیشترین تعداد گل تک بوته در تیمار هیومیک اسید+ ورمی‌کمپوست مشاهده شد. تیمارهای هیومیک اسید+ کود کامل، ورمی‌کمپوست و ورمی‌کمپوست+ کود کامل اختلاف معنی‌داری با این تیمار نداشتند. کمترین تعداد گل تک بوته نیز در تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ۴). اثرهای متقابل تیمارهای کودی و سطوح کم آبیاری بر تعداد گل در بوته معنی‌دار نبودند (جدول ۳).

وزن خشک زیست‌توده

اثر سطوح کم آبیاری بر وزن خشک زیست‌توده معنی‌دار ($P\leq0.01$) بود (جدول ۳). بیشترین وزن خشک زیست‌توده در تیمار عدم تنش رطوبتی مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با تیمار تنش رطوبتی متوسط و تیمار تنش رطوبتی شدید داشت و کاهش میزان آبیاری در تیمارهای ۷۵٪ و ۵۰٪ نیاز آبی به‌ترتیب باعث کاهش ۹/۵۳ و ۲۳/۵۴ درصدی وزن خشک زیست توده شد (جدول ۴). اثر تیمارهای کودی نیز بر وزن خشک زیست‌توده معنی‌دار ($P\leq0.01$) بود (جدول ۳). بیشترین وزن خشک زیست‌توده در تیمار ورمی‌کمپوست+ کود کامل مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با تیمارهای ورمی‌کمپوست+ هیومیک‌اسید+ کود کامل، هیومیک‌اسید+ ورمی‌کمپوست، ورمی‌کمپوست و تیمار کود کامل نداشت. کمترین وزن خشک زیست‌توده در تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ۴). اثرهای متقابل تیمارهای کودی و سطوح کم آبیاری بر وزن خشک زیست‌توده معنی‌دار نبودند (جدول ۳).

مجموع کلروفیل a و b

اثر سطوح کم آبیاری بر مجموع کلروفیل a و b معنی‌دار ($P\leq0.01$) بود (جدول ۳). بیشترین مقادیر مجموع کلروفیل a و b در تیمار عدم تنش رطوبتی مشاهده شد و با کاهش میزان آبیاری به ۷۵٪ و ۵۰٪ نیاز آبی مجموع کلروفیل a و b به میزان ۷/۱۵٪ و ۱۵/۹۵٪ کاهش یافت (جدول ۴). اثر تیمارهای کودی نیز بر مجموع کلروفیل a وb معنی‌دار ($P\leq0.01$) بود (جدول ۳). بیشترین مجموع کلروفیل a و b در تیمار ترکیبی ورمی‌کمپوست+ کود کامل مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با تیمار ورمی‌کمپوست به‌تنهایی، تیمار ترکیبی سه‌تایی ورمی‌کمپوست+ اسید هیومیک+ کود کامل نداشت. کمترین مقادیر مجموع کلروفیل a وb در تیمار شاهد مشاهده گردید (جدول ۴). اثرهای متقابل سطوح کم آبیاری و تیمارهای کودی بر مجموع کلروفیل a و b معنی‌دار نبود (جدول ۳).

غلظت پرولین برگ

اثر سطوح کم آبیاری بر غلظت پرولین برگ معنی‌دار ($P\leq0.01$) بود (جدول ۳). بیشترین غلظت پرولین برگ در تیمار تنش رطوبتی شدید مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با تیمار تنش رطوبتی متوسط و تیمار عدم تنش رطوبتی داشت (جدول ۴). اثر تیمارهای کودی نیز بر غلظت پرولین برگ معنی‌دار ($P\leq0.05$) بود (جدول ۳). بیشترین غلظت پرولین برگ در تیمار شاهد و کمترین غلظت آن در تیمار ورمی‌کمپوست مشاهده گردید (جدول ۴). اثرهای متقابل سطوح کم آبیاری و تیمارهای کودی بر غلظت پرولین برگ معنی‌دار نبودند (جدول ۳).

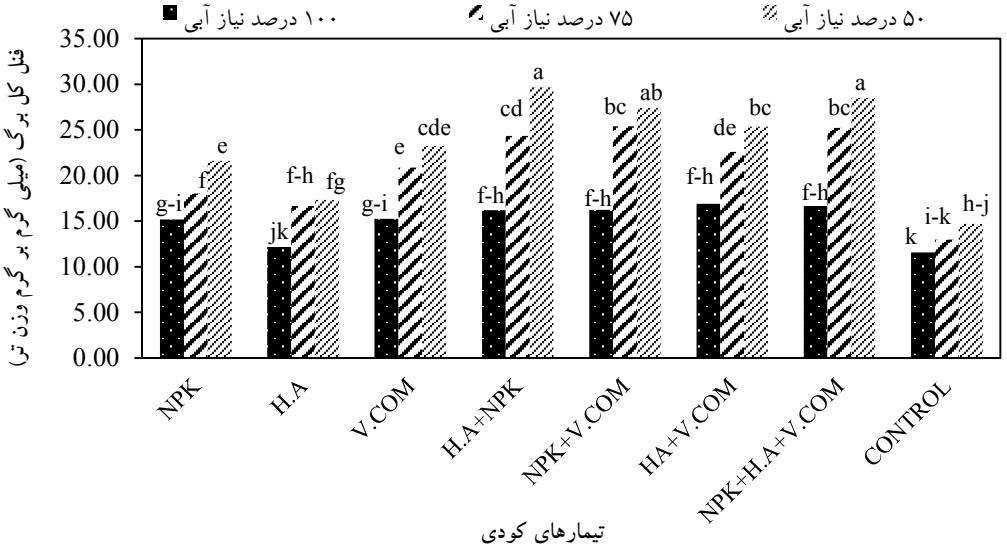
غلظت فنل کل برگ

اثر سطوح کم آبیاری ($P\leq0.01$) اثر تیمارهای کودی ($P\leq0.01$) و اثرهای متقابل سطوح کم آبیاری و تیمارهای کودی ($P\leq0.01$) بر غلظت فنل کل برگ معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین میزان ترکیب‌های فنلی برگ در تیمار ورمی‌کمپوست+ هیومیک اسید + کود کامل و هیومیک اسید+ کود کامل هر دو در تنش رطوبتی شدید مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. البته کمترین مقادیر ترکیب‌های فنلی برگ در تیمار شاهد و عدم تنش رطوبتی مشاهده شد (شکل ۱).

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرهای اصلی سطوح کم آبیاری و تیمارهای کودی بر روی صفات اندازه‌گیری شده در مرحله گلدهی سرخارگل

	صفات					
تیمار کم آبیاری	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	تعداد ساقه در بوته	تعداد گل در بوته	مجموع کلروفیل a و b	زیست‌توده (کیلوگرم در هکتار)	پرولین برگ (میلی‌گرم بر گرم وزن تازه برگ)
عدم تنش رطوبتی	۷۴/۳a	۴۶/۱a	۴۹/۹a	۴/۴۴a	۱۷۶۳۲a	۰/۴۶c
تنش رطوبتی متوسط	۷۱/۴a	۴۳/۹a	۴۶/۳a	۴/۱۳b	۱۵۹۵۱b	۱/۱۵b
تنش رطوبتی شدید	۴۸/۱b	۳۱/۶b	۲۹/۷b	۳/۷۴c	۱۳۴۸۲c	۳/۰۹a
NPK	۶۴/۵a	۳۸/۹d	۳۶/۹de	۳/۹۶c	۱۶۱۹۶abc	۱/۵۶bc
H.A	۶۶/۷a	۳۹/۷cd	۳۸/۷cd	۳/۶۹d	۱۵۴۶۹c	۱/۶۰abc
V.COM	۶۸/۴a	۳۶/۷d	۴۴/۸ab	۴/۴۷a	۱۶۴۰۶abc	۱/۴۷c
H.A+NPK	۶۵/۹a	۴۵/۹ab	۴۵/۹ab	۴/۲۳b	۱۵۷۶۲bc	۱/۶۳ab
NPK+V.COM	۶۵/۹a	۴۴/۳abc	۴۴/۳ab	۴/۵۲a	۱۷۰۵۴ab	۱/۵۰bc
HA+V.COM	۶۴/۹a	۴۷/۱a	۴۸/۶a	۴/۳۳ab	۱۶۶۹۱ab	۱/۵۳bc
NPK+H.A+V.COM	۶۴/۳a	۴۱/۲bcd	۴۲/۸bc	۴/۴۷a	۱۶۸۳۲ab	۱/۵۲bc
Control	۵۵/۷b	۳۰/۴e	۳۳/۵e	۳/۱۵e	۱۱۰۹۷d	۱/۷۳a

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند.



شکل ۱- اثر متقابل سطوح کم آبیاری و تیمارهای کودی بر ترکیب‌های فنلی برگ سرخارگل در مرحله گلدهی سال دوم

بحث

نتایج نشان داد که اثرهای متقابل سطوح کم آبیاری و تیمارهای کودی بر ارتفاع و تعداد ساقه، تعداد گل و وزن خشک زیست‌توده معنی‌دار نبود ولی اثر هر یک از این تیمارها به‌تنهایی بر صفات ذکر شده معنی‌دار بود. همزمان با افزایش میزان تنش رطوبتی کلیه صفات مورفولوژیک یادشده کاهش یافتند، به‌طوری که بیشترین مقادیر هر یک در شرایط عدم وجود تنش رطوبتی و کمترین مقادیر آنها در شرایط تنش رطوبتی شدید مشاهده گردید. تنش رطوبتی با تأثیر بر کاهش رشد سلول‌ها در نتیجه کاهش فشار تورژسانس منجر به کاهش سطح و تعداد برگها و سایر صفات مورفولوژیکی شد که این می‌تواند نوعی سازگاری در کاهش اتلاف آب و افزایش مقاومت گیاه در مقابل تنش خشکی در گیاه باشد. در ارتباط با تأثیر تیمارهای کودی بیشترین مقدار ارتفاع بوته در تیمار ورمی‌کمپوست، بیشترین مقادیر تعداد ساقه و تعداد گل تک بوته در تیمار ورمی‌کمپوست+ هیومیک‌اسید و بیشترین مقادیر وزن خشک زیست‌توده در تیمار ورمی‌کمپوست+ کود کامل بدست آمد و در تمامی این صفات کمترین مقادیر در تیمار شاهد مشاهده گردید. در نتیجه می‌توان تأثیر مثبت تیمارهای کود آلی در افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های رطوبتی را مشاهده نمود که این تأثیر می‌تواند در نتیجه افزایش نگهداری مقادیر بیشتری از آب و عناصر غذایی در دسترس و تأثیرات شبه هورمونی این ترکیب‌ها باشد. Nickolee و همکاران (۲۰۰۶) همزمان با افزایش تنش رطوبتی شاهد کاهش ارتفاع بوته سرخارگل بودند. آنان کاهش ارتفاع در سرخارگل را در نتیجه تنش رطوبتی ناشی از کاهش تعداد گره‌ها و طول میانگره‌ها دانستند. Khurana و Singh (۲۰۰۰) کاهش تعداد برگ را تحت شرایط تنش خشکی در کاهش سطح در معرض تعرق و در نهایت افزایش مقاومت گیاه در مقابل تنش مؤثر دانستند. با توجه به مشاهده کمترین تعداد گل در تیمارهای تنش رطوبتی شدید تأثیر کاهشی تنش‌های رطوبتی بر تعداد گل در بوته بیشتر از اثرهای تسهیل‌کننده کاربرد کودهای اصلاح‌گر همانند هیومیک‌اسید بود و این کود در سطوح بالای تنش رطوبتی تأثیری در بهبود این شاخص نداشت. Gholami و همکاران (۲۰۱۸) تأثیر تیمارهای ترکیبی ورمی‌کمپوست و هیومیک اسید را در شرایط عدم مواجه با تنش رطوبتی بر عملکرد بخش‌های هوایی کاسنی (*Cichorium intybus* L.) مؤثر دانستند که در توافق با نتایج این آزمایش است.

Anupama و همکاران (۲۰۰۵) شاهد افزایش تعداد گل در بوته و اندازه گل در گل داوودی (*Chrysanthemum* spp.) با افزایش میزان آبیاری بودند که در توافق با نتایج این آزمایش است. کاهش آماس سلولی در نتیجه تنش‌های رطوبتی در کاهش رشد و تقسیم سلولی مؤثر است که متعاقباً باعث کاهش رشد رویشی گیاه می‌گردد (Goksoy *et al*., 2004). گروهی از محققان نیز در بررسی تأثیر فواصل آبیاری و کودهای زیستی بر سرخارگل، شاهد کاهش وزن تر و خشک آن همراه با کاهش مقادیر آبیاری بودند (Yousef *et al*., 2013). کاهش مقادیر کربوهیدرات‌ها در نتیجه کاهش کمّیت آب آبیاری نتیجه فعال شدن تنظیم‌کننده‌های شیمیایی مشخصی همانند آبسیزیک اسید است که انتقال این ترکیب‌ها در طول آوندهای چوبی تا برگ‌های گیاهان تنش‌دیده باعث بسته شدن روزنه‌ها می‌شود. این پدیده متعاقباً منجر به کاهش هدایت روزنه‌ای، کاهش غلظت CO_2 در بافت‌های برگ و کاهش کارایی سیستم انتقال الکترون، تثبیت CO_2، سرعت فتوسنتز و در نهایت کاهش در ساخت مواد فتوسنتزی می‌شود. Kreft (۲۰۰۵) نیز افزایشی ۵۰ درصدی در وزن خشک بخش‌های هوایی سرخارگل همراه با افزایش میزان آبیاری مشاهده نمود. Atiyeh و همکاران (۲۰۰۲) افزایش وزن خشک زیست‌توده در نتیجه مصرف ورمی‌کمپوست را ناشی از وجود مواد هیومیکی و وجود تأثیرات شبه هورمونی و تنظیم‌کننده رشد در آن ذکر نمودند.

البته با افزایش میزان تنش رطوبتی از غلظت مجموع کلروفیل a و b کاسته شد. وجود عوامل بهبوددهنده رشد و وجود عناصر کم‌مصرف و پرمصرف در ورمی‌کمپوست در افزایش میزان کلروفیل مؤثر بود، به‌طوری که بیشترین مقادیر مجموع کلروفل a و b در تیمار کاربرد ورمی‌کمپوست مشاهده گردید. آزمایش Salehi و همکاران (۲۰۱۶) نیز بر روی بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla* L.) نشان‌دهنده افزایش محتوای کلروفیل برگ همراه با کاهش میزان تنش‌های رطوبتی و افزایش کاربرد ورمی‌کمپوست بود که مطابق با نتایج این آزمایش است.

همزمان با افزایش میزان تنش رطوبتی بر غلظت اسید آمینه پرولین افزوده شد که در توافق با نتایج آزمایش Attarzadeh و همکاران (۲۰۱۹) در سرخارگل و Ghadyeh Zarrinabadi و همکاران (۲۰۱۹) در همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.) بود و بیشترین مقادیر آن در شرایط تنش رطوبتی شدید مشاهده شد. تجمع پرولین در بیشتر گیاهان زراعی تحت تنش گزارش شده است و به‌عنوان شاخصی برای تحمل به خشکی عنوان می‌شود و افزایش غلظت پرولین، کاهش سنتز کلروفیل در برگ را موجب می‌شود که کاهش فتوسنتز را در پی خواهد داشت (Aspinal & Palag, 1981). از سویی با توجه به مشاهده بیشترین مقادیر پرولین برگ در تیمار شاهد و کمترین مقادیر پرولین در تیمار ورمی‌کمپوست تأثیر مثبت این کود در کاهش میزان تنش رطوبتی در سرخارگل آشکار شد. گروهی از محققان اشاره نمودند که ورمی‌کمپوست از فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید خاک مانند قارچ‌های میکوریزا و میکروارگانیسم‌های حل کننده فسفات حمایت می‌کند و به‌علت داشتن تخلخل زیاد، تهویه و زهکشی مناسب، دارای قدرت بالای جذب و نگهداری آب و مواد غذایی می‌باشد (Arancon *et al*., 2004) که این تأثیر را می‌توان در افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های رطوبتی مؤثر دانست.

اعمال تنش‌های رطوبتی و کاربرد تیمارهای کود آلی در افزایش میزان ترکیب‌های فنلی در برگ سرخارگل مؤثر بودند. با توجه به اینکه مهمترین ترکیب‌های فعال زیستی دارای خواص دارویی در سرخارگل، ترکیب‌های فنلی می‌باشند (Omidbaigi, 2010) اعمال تنش‌های رطوبتی هر چند باعث کاهش عملکرد بخش هوایی گردید ولی افزایش مقدار این ترکیب‌ها را به‌دنبال داشت که در توافق با نتایج آزمایش Khorasaninejad و همکاران (۲۰۱۸) بود. در این بین نقش هیومیک اسید نیز در افزایش مقاومت به تنش‌های رطوبتی و افزایش میزان ترکیب‌های فنلی دور از انتظار نیست. هیومیک اسید با اصلاح فیزیکی و بهبود دانه‌بندی خاک فضای بیشتری را برای نفوذ آب ایجاد می‌کند و مولکول‌های هیومیک اسید با ایجاد پیوند با مولکول‌های آب

تا حد زیادی مانع از تبخیر آب می‌شوند (Bronick & Lai, 2005)، همچنین هیومیک اسید می‌تواند با تنظیم سنتز پروتئین‌ها و آنزیم‌ها و فعال‌سازی آنها باعث افزایش تحمل گیاهان به خشکی گردد (Muscolo *et al*., 2007). یک مطالعه بر روی تأثیر سطوح کم آبیاری و کود زیستی نیتروبیوم و فسفرین در سرخارگل نشان داد که کاهش مقادیر آبیاری منجر به افزایش تصاعدی ترکیب‌های فنلی گردید که در توافق با نتایج این آزمایش است (Yousef *et al*., 2013). در آزمایشی دیگر تیمار اسید هیومیک، افزایش کلروژنیک اسید را که ازجمله ترکیب‌های فنلی گیاه سرخارگل می‌باشد به‌دنبال داشت (Khorasaninejad *et al*., 2018). Gholami و همکاران (۲۰۱۸) تأثیر تیمار ترکیبی هیومیک اسید و ورمی‌کمپوست را بر ترکیب‌های فنلی در کاسنی (*Cichorium intybus* L.) مثبت ارزیابی نمودند که در توافق با نتایج این آزمایش است.

منابع مورد استفاده

- Alizadeh, A. and Kamali, G.A., 2008. Crop Water Requirements in Iran. Emam Reza University Press. Mashhad, 227p.
- Anupama, S., Singh, M.C., Kumar, R., Parmar, B.S. and Kumar, A., 2005. Performance of a new superabsorbent polymer on seedling and post planting growth and water use pattern of *Chrysanthemum* grown under controlled environment. Acta Horticulture, 742: 43-49.
- Arancon, N., Edwards, C.A., Bierman, P., Welch, C. and Metzger, J.D., 2004. Influence of vermin composts on field strawberries: 1. Effect on growth and yields. Bioresource Technology, 93: 145-153.
- Ardalan, V., Aga Yari, F., Paknejad, F., Sadeghi Shoa, M., Ismaelzadeh Khorasani, Sh. and Fatemi Rika, Z., 2012. Effect of deficit stress and different irrigation methods on yield and yield components in two hybrids of corn (*Zea mays* L.). Journal of Agronomy and Plant Breeding, 8(3): 175-189.
- Aspinal, D. and Palag, L.G., 1981. Proline accumulation: physiological aspects: 205-240. In: Aspinal, D. and Palag L.G., (Eds.). Physiology and Biochemistry of Drought Resistance in Plants. Academic Press New York, 492p.
- Atiyeh, R., Lee, S., Edwards, C., Arancon, N. and Metzger, J., 2002. The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. Bio resourceTechnology, 84: 7-14.
- Attarzadeh, M., Balouchi, H.R., Rajaie, M., Movahhedi, M. and Salehi, A., 2019. Improvement of *Echinacea purpurea* performance by integration of phosphorus with soil microorganisms under different irrigation regimes. Agricultural Water Management, 221: 238-247.
- Bates, I.S., Waldern, R.P. and Tear, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil, 39: 205-220.
- Binns, S.E., Baum, B.R. and Arnason, J.T., 2002. A Taxonomic revision of *Echinacea* (Asteraceae: Heliantheae). Systemic Botany, 27(3): 610-632.
- Bronick, E.J. and Lai, R., 2005. Soil structure and management: A review. Geoderma, 124: 3-22.
- Ghadyeh Zarrinabadi, I., Razmjoo, J., Abdali Mashhadi, A., Karim mojeni, H. and Boroomand, A., 2019. Physiological response and productivity of pot marigold (*Calendula officinalis*) genotypes under water deficit. Industrial Crops and Products, 139: 111488.
- Gholami, H., Saharkhiz, M.J., Raouf Fard, F., Ghani, A. and Nadaf, F., 2018. Humic acid and vermicompost increased bioactive components, antioxidant activity and herb yield of Chicory (*Cichorium intybus* L.). Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 14: 286-292.
- Ghosh, P.K., Ajay, K.K., Bandyopadhyay, M.C., Manna, K.G., Mandal, A.K. and Hati, K.M., 2004. Comparative effectiveness of cattle manure, poultry manure, phosphor compost and fertilizer-NPK on three cropping system in vertisols of semi -arid tropics. II. Dry matter yield, nodulation, chlorophyll content and enzyme activity. Bioresource Technology, 95: 85-93.
- Goksoy, A.T., Demir, A.O., Turan, Z.M. and Daustu, N., 2004. Responses of sunflower to full and limited irrigation at different growth stages. Field Crop Research, 87: 167-178.
- Khorasaninejad, S., Alizadeh Ahmadabadi, A. and Hemmati, K., 2018. The effect of humic acid on leaf morphophysiological and phytochemical properties of *Echinacea purpurea* L. under water deficit stress. Scientia Horticulturae, 239: 314-323.
- Khurana, E. and Singh, J.S., 2000. Influence of seed size on seedling growth of *Albizia procera* under different soil water levels. Annals of Botany, 86: 1185-1192.
- Kindscher, K., 2016. *Echinacea* Herbal Medicine with a Wild History. Springer International Publishing. Switzerland, 238p.
- Kreft, S., 2005. Cichoric acid content and biomass production of *Echinacea purpurea* plants cultivated in Slovenia. Pharmaceutical Biology, 43(8): 662-665.

- Mahajan, S. and Tuteja, N., 2005. Cold, salinity and drought stress: an overview. Archives of Biochemistry and Biophysics, 444: 139-158.
- Murty, M.G. and Ladha, J.K., 1998. Influence of *Azospirillum* inoculation on the mineral uptake and growth of rice under hydroponic conditions. Plant and soil, 108: 281-285.
- Muscolo, A., Sidari, M., Attiná, E., Francioso, O., Tugnoli, V. and Nardi, S., 2007. Biological activity of humic substances is related to their chemical structure. Soil Science Society of America Journal, 71: 75-85.
- Nickolee, Z., Kjelgren, R., Cerny-Koenig, R., Kopp, K. and Koenig, R., 2006. Drought responses of six ornamental herbaceous perennials. Scientia Horticulture, 109(3): 267-274.
- Nilsen, E.T. and Orcutt, D.M., 1996. Physiology of Plant under Stress: Abiotic factors. John Wiely and Sons, New York, 689p.
-Omidbaigi, R., 2010. Production and Processing of Medicinal Plants (Vo. 4). Behnashr Publications. Mashhad, 423p.
- Percival, S.S., 2000. Use of *Echinacea* in medicine. Biochemical Pharmacology, 60: 155-158.
- Rebey, B.I., Jabri-Karoui, I., Hamrouni-Sellami, I., Bourgou, S., Limam, F. and Marzouk, B., 2012. Effect of drought on the biochemical composition and antioxidant activities of cumin (*Cuminum cyminum* L.) seeds. Industrial Crops and Products, 36: 238-245.
- Salehi, A., Tasdighi, H.R. 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: 881-891.
- Scaglia, B., Rachide Nunes, R., Rezende, M.O.O., Tambone, F. and Adani, F., 2016. Investigating organic molecules responsible of auxin-like activity of humic acid fraction extracted from vermicompost. Science of the Total Environment, 562: 289-295.
- Sholto, D. and Cunningham, R., 2019. *Echinacea* for the prevention and treatment of upper respiratory tract infections: A systematic review and meta-analysis. Complementary Therapies in Medicine, 44: 18-26.
- Slinkard, K. and Singleton, V.L., 1977. Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods. American Journal of Enology and Viticulture 28: 49-55.
- Taherkhani, T., Rahmani, N., Moradi, A. and Zandi, P., 2011. Assessment of nitrogen levels on flower yield of *Calendula* grown under different water deficit stress using drought tolerant indices. Journal of American Science, 7: 591-598.
- Tombesi, S., Frioni, T., Poni, S. and Palliotti, A., 2018. Effect of water stress "memory" on plant behavior during subsequent drought stress. Environmental and Experimental Botany, 150: 106-114.
- Yousef, R.M.M., Khalil, S.E. and El-Said, N.A.M., 2013. Response of *Echinacea purpurea* L. to irrigation water regime and bio fertilization in sandy soils. World Applied Sciences Journal, 26(6): 771-782.

Effects of water deficit stress and fertilizer sources on morphological characteristics and phenolic compounds in medicinal plant purple coneflower *(Echinacea purpurea* L.)

B. Soltanian[1], P. Rezvani Moghaddam[2*] and J. Asili[3]

1- Ph.D. student, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
2*- Corresponding author, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
E-mail: rezvani@ferdowsi.um.ac.ir
3- Department of Pharmacognosy, Faculty of Pharmacy, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran

Received: July 2019 Revised: September 2019 Accepted: February 2020

Abstract

The experiment was conducted to study the effects of water deficit stress and fertilizer sources on characteristics of *Echinacea purpurea* L., in a split plots design with three replications at the research farm of Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran during two years of 2016 and 2017. Irrigation consisted of three levels of non-stress (control), moderate, and severe moisture stress and fertilizer consisted of eight levels of complete fertilizer (NPK), vermicompost, humic acid, humic acid+NPK, humic acid+vermicompost, NPK+vermicompost, NPK+vermicompost+humic acid, and non-use of fertilizer (control). The single effects of deficit irrigation and fertilizer treatments were significant ($p\leq0.01$) on the stem height, number of stems and flowers plant^{-1}, biomass dry weight, total chlorophylls *a* and *b,* and proline content; however, their interaction effects were only significant ($p\leq0.01$) on phenolic compounds of the leaves. In relation to the single effects of irrigation treatments, the highest height and number of stems, number of flowers plant^{-1}, and biomass dry weight was observed in non-water stress treatments and the lowest amount of these characteristics was observed in severe water stress treatments. The highest and lowest proline content was shown in severe and non-stress treatments, respectively, and the highest and lowest total chlorophylls *a* and *b* were obtained in non-stress and severe moisture stress, respectively. Regarding the single effects of fertilizer treatments, there was no significant difference in plant height between fertilizer levels; however, all of them had a significant difference with control treatment (no fertilization). The difference between fertilizer treatments was significant in the number of stems and flowers plant^{-1} and biomass dry weight. The highest number of stems and flowers was obtained in humic acid+vermicompost treatment and the highest amounts of biomass dry weight were obtained in vermicompost+NPK treatment. The lowest values of these traits were observed in control (non-fertilization). The highest and lowest amounts of total chlorophylls *a* and *b* were obtained in vermicompost+NPK and control treatments, respectively, and the highest and lowest proline values were obtained in control and vermicompost treatments, respectively. The highest phenolic compounds were observed in humic acid+vermicompost+NPK and humic acid+NPK treatments, both of which under severe moisture stress, and the lowest one in non-stress and non-fertilization (control) treatment.

Keywords: Humic acid, phenolic compounds, medicinal plants, vermicompost.