Archive of SID

دوماهنامه علمی-پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران
جلد ۳۵، شماره ۲، صفحه ۲۶۵-۲۵۲ (۱۳۹۸)

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/ijmapr.2019.123365.2400
شناسه دیجیتال (DOR): 98.1000/1735-0905.1398.35.252.94.2.1578.41

تأثیر تنش خشکی بر برخی خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی مرزنجوش بخارایی (*Origanum vulgare* L. ssp. *gracile*)

آزاد مینایی[۱]، عباس حسنی[۲*]، حسین ناظمیه[۳] و سینا بشارت[۴]

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۲*- نویسنده مسئول، استاد، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران، پست الکترونیک: a.hassani@urmia.ac.ir

۳- استاد، مرکز تحقیقات ریزفناوری دارویی، دانشکده داروسازی، دانشگاه علوم پزشکی تبریز، تبریز، ایران

۴- دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

تاریخ دریافت: شهریور ۱۳۹۷ تاریخ اصلاح نهایی: دی ۱۳۹۷ تاریخ پذیرش: دی ۱۳۹۷

چکیده

به‌منظور بررسی اثر سطوح مختلف تنش خشکی بر رشد، عملکرد و برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی گیاه مرزنجوش بخارایی (*Origanum vulgare* L. ssp. *gracile*)، آزمایشی گلدانی در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تیمار و پنج تکرار انجام گردید. تیمارهای تنش خشکی شامل چهار سطح ۱۰۰٪ (بدون تنش)، ۸۰٪، ۶۰٪ و ۴۰٪ ظرفیت زراعی بودند. نتایج نشان داد که تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر مؤلفه‌های رشدی، عملکرد ماده خشک، محتوی نسبی آب برگ (RWC)، فنل کل، فلاونوئید کل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، کلروفیل a، b و کلروفیل کل و درصد و عملکرد اسانس دارد. از نظر مقدار کاروتنوئید اختلاف معنی داری بین تیمارهای مختلف وجود نداشت. با کاهش مقدار آب خاک، ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد و طول شاخه‌های جانبی، عملکرد ماده خشک، RWC، کلروفیل a، b و کلروفیل کل و عملکرد اسانس کاهش و در مقابل میزان فنل و فلاونوئید کل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و درصد اسانس افزایش یافت. علیرغم کاهش عملکرد ماده خشک، اختلاف بین تیمارهای ۸۰٪، ۶۰٪ و ۴۰٪ ظرفیت زراعی معنی‌دار نبود. بیشترین درصد اسانس (۱/۵۴ میلی‌لیتر در صد گرم ماده خشک) در تیمار ۶۰٪ ظرفیت زراعی و بیشترین مقدار فنل کل (۵/۲۱ میلی‌گرم گالیک اسید در گرم ماده تر)، فلاونوئید کل (۰/۵ میلی‌گرم کوئرستین در گرم ماده تر) و فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۷۷/۳۶٪) در تیمار ۴۰٪ ظرفیت زراعی مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: تنش کم‌آبی، ترکیب‌های آنتی‌اکسیدانی، عملکرد، محتوای نسبی آب برگ، مرزنجوش (*Origanum*).

مقدمه

جنس مرزنجوش (*Origanum*) متعلق به خانواده نعناع و دربرگیرنده بسیاری از گونه‌هایی است که معمولاً به‌صورت وحشی در نواحی مدیترانه‌ای یافت می شوند و از تنوع مورفولوژیکی و شیمیایی بالایی در دنیا برخوردار هستند (Kokkini, 1997). *O. vulgare* L. یکی از مهمترین گونه های این جنس است که گسترش فراوانی نه تنها در منطقه مدیترانه بلکه در سایر مناطق دنیا ازجمله ناحیه ایران

www.SID.ir

Archive of SID

و تورانی دارد. این گونه دارای شش زیرگونه *hirtum*، *vulgare*، *virens*، *viride*، *gracile* و *glandulosum* در سراسر جهان می‌باشد (Spada & Perrino, 1996) که در ایران تنها سه زیرگونه *viride*، *vulgare* و *gracile* شناسایی شده است که در استان‌های گیلان، مازندران، آذربایجان و کردستان پراکنش دارند (Maroofi, 2005). مرزنجوش بخارایی (*O. vulgare* ssp. *gracile*) گیاهی چندساله، دارای گلهای سفید و بومی افغانستان، ایران، شرق ترکیه، شمال عراق، شمال‌غربی پاکستان و جنوب و مرکز روسیه است. این زیرگونه در استان‌های شمالی و غربی ایران به‌صورت وحشی رویش دارد (Maroofi, 2005). از مرزنجوش به عنوان گیاهی دارویی در طب سنتی و مدرن و نیز ادویه‌ای استفاده می شود. پیکر رویشی این گیاه حاوی اسانس (با غالبیت مونوترپن‌های فنلی به‌ویژه کارواکرول)، فلاونوئیدها، مواد تلخ و ترکیب های موسیلاژی است. از مواد مؤثره این گیاه برای درمان سرفه، به عنوان خلط‌آور، ضدنفخ، اشتهاآور، مدر و آرام‌بخش استفاده می شود. اسانس این گیاه به‌دلیل غنی بودن از ترکیب‌های فنولی دارای خواص ضدباکتریایی و ضدقارچی قوی است (Omidbaigi, 1997؛ Moradi *et al*., 2015).

آب یکی از عوامل محیطی است که تأثیر عمده‌ای در رشد و نمو و میزان مواد مؤثره گیاهان دارویی دارد. شرایط کم آبی علاوه‌بر کاهش رشد گیاه، باعث تحریک پاسخ‌های فیزیولوژیکی و متابولیکی متعددی مانند بسته شدن روزنه‌ها، کاهش فتوسنتز و تعرق، کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی، انباشت مواد محلول و آنتی اکسیدان‌ها و بیان ژن‌های خاص تنشی می‌گردد (Bettaieb *et al*., 2009). کاهش میزان فتوسنتز در شرایط تنش خشکی عمدتاً ناشی از بسته شدن روزنه‌ها و اختلالات متابولیکی می باشد. ادامه واکنش‌های نوری فتوسنتز در طول تنش خشکی و در شرایط کاهش غلظت CO_2 درون سلولی، باعث انباشت ترکیب‌های احیاءشده زنجیره انتقال الکترون فتوسنتزی می‌گردد. چنین وضعیتی به‌طور بالقوه می تواند باعث احیاء مولکول اکسیژن و در نتیجه تولید گونه های فعال اکسیژن (ROS) گردد که منجر به آسیب شدید دستگاه فتوسنتزی خواهد شد (Lawlor & Cornic, 2002). در چنین شرایطی، اغلب تولید ترکیب‌های فنلی مانند فلاون‌ها، فلاونوئیدها، تانن‌ها، لیگنین‌ها و حتی اسیدهای آمینه حلقوی مانند تیروزین و تریپتوفان افزایش می‌یابد. ترکیب‌های یادشده دارای نقش‌های متعدد اکولوژیکی و فیزیولوژیکی مانند نقش‌های دفاعی و آنتی‌اکسیدانی هستند (Andre *et al*., 2009). طبق اظهار نظر Selmar و Kleinwächter (۲۰۱۳)، گیاهان هنگامی که در معرض کم‌آبی قرار می‌گیرند ترکیب‌های ثانویه بیشتری را در مقایسه با شرایط آبی عادی تولید و انباشته می‌کنند.

در دو تحقیق جداگانه، اثر سطوح مختلف تنش خشکی (۵۵، ۷۰، ۸۵ و ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی)، توسط Omidbaigi و همکاران (۲۰۰۳) در ریحان (*Ocimum basilicum*) و Hassani (۲۰۰۶) در بادرشبو (*Dracocephalum moldavica*) بررسی و نتایج نشان داد که در هر دو گیاه با تشدید تنش خشکی تا حد ۷۰٪ ظرفیت زراعی، درصد اسانس افزایش یافت؛ در حالیکه عملکرد اسانس در تمام سطوح تنش نسبت به تیمار شاهد کاهش نشان داد. در بررسی اثر تنش آبی بر گونه‌ای از ریحان (*Ocimum gratissimum*) مشخص گردید که ارتفاع گیاه، مقدار کلروفیل کل و محتوای نسبی آب برگ را در پاسخ به تنش کاهش داد؛ در حالیکه مقادیر فنل کل در برگ‌ها و ریشه‌های گیاهان تحت تنش به ترتیب ۱۰۴٪ و ۹۷٪ نسبت به شرایط بدون تنش افزایش نشان دادند. همچنین با وجود افزایش درصد اسانس در اثر تنش، اختلاف بین گیاهان تحت تنش و بدون تنش معنی‌دار نبود (Hazzoumi *et al*., 2015). بررسی واکنش ژنوتیپ‌های مختلف رازیانه (*Foeniculum vulgare*) به تنش خشکی نشان داد که با تشدید خشکی، مقدار ماده خشک و ارتفاع گیاه، تعداد چتر در گیاه، تعداد میوه در چتر، وزن هزاردانه، پتانسیل آب برگ، محتوای نسبی آب برگ و میزان کلروفیل a، b و کل و عملکرد اسانس در تمام ژنوتیپ‌ها کاهش اما درصد اسانس افزایش یافت (Askari & Ehsanzadeh, 2015). Tátrai و

www.SID.ir

Archive of SID

همکاران (۲۰۱۶) در بررسی پاسخ‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گونه‌ای از آویشن (*Thymus citriodorus*) به تنش خشکی گزارش نمودند که وزن تر پیکر رویشی، میزان کلروفیل، محتوای نسبی آب برگ و تبادلات گازی در پاسخ به تنش خشکی کاهش یافتند، در حالیکه درصد اسانس در سطوح متوسط تنش خشکی نسبت به شرایط بدون تنش افزایش یافت. در تحقیق دیگری که توسط Mohammadi و همکاران (۲۰۱۸) در مورد تأثیر تنش کم‌آبی بر گیاه بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla*) انجام شد، نتایج نشان داد که وزن خشک ریشه، شاخه و گلها و نیز مقادیر رنگدانه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئیدها) در شرایط کم‌آبی کاهش یافتند.

کشور ایران در محدوده جغرافیایی خشک و نیمه خشک دنیا قرارگرفته است و با وجود محدودیت منابع آب و توزیع مکانی نامناسب آن در پهنه جغرافیایی ایران، متأسفانه بهره‌وری و کارآیی استفاده از این منابع بسیار پایین است (Kafi *et al*., 2009). وضعیت بحرانی آب در ایران از یک‌سو و مصرف عمده آب در بخش کشاورزی از سوی دیگر، تجدیدنظر در نوع گیاهان مورد کشت را به یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر مبدل کرده است. در همین راستا شناسایی و معرفی گیاهان متحمل به خشکی و جایگزینی این گیاهان کم‌توقع و با نیاز آبی پایین بجای گیاهان دارای نیاز آبی بالا اهمیت بالایی پیدا می‌کند. از آنجایی که نیاز آبی تعدادی از گیاهان دارویی در مقایسه با محصولات زراعی غیردارویی پایین‌تر می‌باشد، بنابراین به‌نظر می‌رسد که افزایش سطح زیر کشت این قبیل گیاهان در بخش‌های خشک و نیمه‌خشک جهان مانند ایران مزایای زیادی به‌همراه داشته باشد (Askari & Ehsanzadeh, 2015). اهمیت این موضوع در مباحث مربوط به احیاء دریاچه ارومیه که همواره از تغییر الگوی کاشت به‌عنوان یکی از راهکارهای کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی در راستای نجات این دریاچه نام برده می‌شود دوچندان می‌گردد. بنابراین این تحقیق به‌منظور بررسی اثر شرایط تنش کم‌آبی بر پاسخ‌های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه مرزنجوش بخارایی به‌عنوان یکی از گیاهان دارویی مهم مورد استفاده در شمال‌غرب ایران با هدف توسعه کشت آن در استان آذربایجان‌غربی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به صورت یک آزمایش گلدانی در طی بهار و تابستان سال ۱۳۹۵ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه، در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تیمار و پنج تکرار بر روی گیاه مرزنجوش بخارایی انجام شد. بذر مورد استفاده در این تحقیق، از رویشگاه طبیعی آن در منطقه سارال (۵۰ کیلومتری شمال‌غربی شهرستان سنندج) جمع‌آوری شده و با کد ۹۴۲۸ در هرباریوم مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان نگهداری می‌گردد. این بذر در کلکسیون گیاهان دارویی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه، در شرایط ایزوله مورد کشت و بذرگیری دوباره قرار گرفته و برای انجام کارهای تحقیقاتی استفاده می شود. تیمارهای خشکی شامل چهار سطح ۱۰۰٪ (بدون تنش)، ۸۰٪ (تنش خشکی ملایم)، ۶۰٪ (تنش خشکی متوسط) و ۴۰٪ (تنش خشکی شدید) ظرفیت زراعی در نظر گرفته شدند. بافت خاک مورد استفاده در گلدان‌ها از نوع شنی لومی و درصد رطوبت وزنی آن در حد ظرفیت زراعی برابر ۱۹/۲٪ تعیین شد. گلدان های مورد استفاده از نوع پلاستیکی با قطر دهانه ۲۳ سانتی متر و ارتفاع ۲۵ سانتی متر بودند. پس از آماده‌سازی و پرکردن گلدان ها با خاک مورد نظر، تعدادی بذر در داخل هر یک از گلدان‌ها کاشته شده و پس از سبز شدن، بوته ها در طی چند مرحله تنک گردیده و در نهایت در داخل هر گلدان ۹ بوته نگهداری گردید. به‌طوری که تا ۲۰ روز پس از کاشت (مرحله ۴ تا ۶ برگی شدن بوته‌ها)، گلدان‌ها به مقدار مساوی آبیاری گردیدند و از این مرحله به بعد، تیمارهای خشکی با توزین روزانه گلدان ها و اضافه نمودن آب مصرفی بر اثر تبخیر و تعرق (کاهش وزن هر یک از گلدان ها) اعمال شد. در طول مدت آزمایش دمای بیشینه و کمینه گلخانه به‌طور متوسط ۳۰/۱ و ۱۸/۳ درجه سلسیوس و میانگین رطوبت نسبی

www.SID.ir

Archive of SID

۵۰٪ بود و روشنایی مورد نیاز گیاهان نیز با تابش طبیعی آفتاب تأمین می شد. حدود ۸ هفته پس از شروع تیمارهای تنشی (زمانی که بیشتر بوته‌ها در مرحله گلدهی کامل بودند) صفات مختلف رشدی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.

صفات مورفولوژیکی

از هر واحد آزمایشی پنج بوته به تصادف انتخاب و صفاتی مانند ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد و طول شاخه های جانبی و عملکرد ماده خشک در گلدان اندازه‌گیری گردید.

محتوای نسبی آب برگ‌ها

برای این منظور از هر واحد آزمایشی، تعدادی برگ سالم و کاملاً توسعه یافته برداشت نموده و دیسک هایی به قطر هشت میلی متر از قسمت میانی پهنک آنها تهیه گردید (از هر واحد آزمایشی ۱۰ دیسک برگی). بلافاصله بعد از تهیه دیسک ها، وزن تر آنها اندازه‌گیری شد و بعد به درون لوله های آزمایش محتوای آب مقطر انتقال یافتند و به مدت چهار ساعت در داخل یخچال (دمای چهار درجه سلسیوس) نگهداری شدند. پس از گذشت چهار ساعت دیسک ها دوباره توزین شده و وزن آماس آنها اندازه گیری شد. پس از تعیین وزن آماس، دیسک‌های برگی در داخل آون (با دمای ۷۵ درجه سلسیوس) به مدت ۴۸ ساعت خشک گردیده و دوباره وزن شدند و در نهایت محتوای نسبی آب برگ ها از رابطه زیر محاسبه گردید (Turner, 1981).

$$RWC = \frac{FW - DW}{TW - DW} \times 100$$

RWC: محتوای نسبی آب برگ‌ها

FW: وزن تر برگ‌ها

DW: وزن خشک برگ‌ها

TW: وزن آماس برگ‌ها

میزان فنل کل

برای اندازه‌گیری فنل و فلاونوئید کل و فعالیت آنتی اکسیدانی، اقدام به تهیه عصاره الکلی از برگ ها گردید. برای این منظور، یک گرم از بافت تر گیاه داخل ۱۰ میلی لیتر متانول ۸۰٪ در هاون چینی به‌تدریج سائیده شد. در ادامه نمونه‌ها به مدت نیم ساعت در دستگاه اولتراسونیک با دمای ۳۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند. عصاره‌های تهیه شده درون یخچال (در شرایط تاریکی) نگهداری شدند.

میزان کل ترکیب های فنلی با روش فولین سیوکالتو اندازه گیری شد. در این روش ۱۰ میکرولیتر از عصاره متانولی با ۱/۶ میلی لیتر آب‌مقطر و ۲۰۰ میکرولیتر معرف فولین سیوکالتو ۱۰٪ مخلوط شد. بعد از گذشت ۱ تا ۸ دقیقه ۲۰۰ میکرولیتر محلول کربنات سدیم ۷٪ به آنها افزوده شد و با آب دی‌یونیزه به حجم ۵ میلی لیتر رسانده شد. پس از گذشت ۳۰ دقیقه میزان جذب آنها در طول موج ۷۶۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر (Dynamica مدل Halo DB-20 ساخت کشور ژاپن) قرائت شد. اسید گالیک به‌عنوان استاندارد برای رسم منحنی کالیبراسیون استفاده شد و میزان ترکیب های فنلی گیاه برابر اسید گالیک در یک گرم نمونه تر گیاه اندازه‌گیری گردید (Ebrahimzadeh *et al*., 2008).

میزان فلاونوئید کل

فلاونوئید کل با استفاده از روش رنگ آمیزی آلومینیوم کلرید اندازه‌گیری شد. یک میلی‌لیتر عصاره با ۱۵۰ میکروگرم از سدیم نیترات ۵٪ مخلوط شد. بعد از ۵ دقیقه ۳ میلی لیتر از هگزا هیدرات آلومینیوم کلرید ۱۰٪ اضافه شد. بعد از ۵ دقیقه ۱ میلی لیتر NaOH یک مولار به مخلوط اضافه شد و با استفاده از آب‌مقطر دی‌یونیزه به حجم ۵ میلی‌لیتر رسانده شد. بعد از ۳۰ دقیقه نگه‌داشتن در تاریکی و دمای اتاق، میزان جذب آنها در طول موج ۴۱۵ نانومتر با اسپکتروفتومتر قرائت شد. برای رسم منحنی استاندارد فلاونوئید از کوئرستین استفاده شد و میزان

www.SID.ir

Archive of SID

ترکیب‌های فنولی گیاه برابر کوئرستین در یک گرم نمونه تر اندازه‌گیری گردید (Agbo *et al*., 2015).

فعالیت آنتی‌اکسیدانی

به‌منظور ارزیابی ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل نمونه‌های مورد مطالعه، از توانایی هیدروژن‌دهی عصاره‌ها به دلیل بی‌رنگ نمودن محلول متانولی ارغوانی رنگ دی‌فنیل پیکریل هیدرازیل (DPPH) استفاده شد. برای این منظور ۱۵ میکرولیتر از عصاره متانولی در لوله های آزمایش ریخته شده و با ۲ میلی لیتر محلول متانولی ۰/۰۰۴٪ DPPH مخلوط گردید. محلول شاهد شامل ۲ میلی‌لیتر DPPH و ۲ میلی لیتر متانول ۸۰٪ بود. نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی قرار داده شدند و بعد در طول موج ۵۱۷ نانومتر میزان جذب آنها به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد. اعداد قرائت شده از جذب نمونه توسط رابطه زیر به درصد مهار تبدیل شد (Burits & Bucar, 2000).

درصد مهار = (Acontrol - Asample) /Acontrol × 100

Acontrol: جذب محلول بلانک در ۵۱۷ نانومتر

Asample: جذب نمونه در ۵۱۷ نانومتر

رنگدانه‌های فتوسنتزی

برای اندازه‌گیری کلروفیل و کاروتنوئید، مقدار ۰/۵ گرم از برگ تر گیاه مرزنجوش در هاون چینی با استون ۸۰٪ به‌صورت تدریجی سائیده شد. عصاره حاصل به لوله فالکون انتقال داده شده و حجم آن با استون ۸۰٪ به ۱۰ میلی لیتر رسید. محلول حاصل سانتریفیوژ شده و میزان جذب عصاره فوقانی در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید. در نهایت با استفاده از فرمول‌های زیر میزان کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید برحسب میلی گرم بر گرم وزن تر محاسبه شد (Arnon, 1967).

$$\text{کلروفیل } a = \frac{(12.7 \times \text{A663}) - (2.69 \times \text{A645})}{1000\text{W}} \times V$$

$$\text{کلروفیل b} = \frac{(22.9 \times \text{A645}) - (4.68 \times \text{A663})}{1000\text{W}} \times V$$

$$\text{کلروفیل کل} = \frac{(20.2 \times \text{A645}) + (8.02 \times \text{A663})}{1000\text{W}} \times V$$

$$\text{کاروتنوئید} = \frac{100(A470) - 3.27(\text{mg CHL a}) - 104(\text{mg CHL b})}{227}$$

V= حجم محلول صاف شده

A= جذب نور در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر

W= وزن تر نمونه برحسب گرم

www.SID.ir

Archive of SID

استخراج و اندازه‌گیری کمّی اسانس

برای این منظور، بوته ها در مرحله گلدهی کامل برداشت شده و در دمای اتاق (حدود ۲۵ درجه سلسیوس) و در شرایط سایه خشک گردیدند و بعد به روش تقطیر با آب و با استفاده از دستگاه کلونجر، عمل استخراج اسانس انجام شد. محتوای اسانس برحسب میلی لیتر در ۱۰۰ گرم ماده خشک و عملکرد اسانس نیز براساس مجموع وزن خشک ۹ بوته (عملکرد ماده خشک در گلدان) و برحسب میلی‌لیتر در گلدان محاسبه و گزارش گردید.

داده‌های بدست‌آمده با استفاده از نرم‌افزار SAS مورد تجزیه آماری قرار گرفتند. مقایسه میانگین داده‌ها نیز با استفاده از روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که سطوح مختلف تنش خشکی اثر معنی داری بر ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد و طول شاخه های جانبی، عملکرد ماده خشک در گلدان، محتوای نسبی آب برگ، فنل و فلاونوئید کل، فعالیت آنتی اکسیدانی، کلروفیل a، b و کل، درصد و عملکرد اسانس در سطح ۱٪ داشته است ولی تأثیر آن بر میزان کاروتنوئید معنی‌داری نبود.

صفات رویشی اندازه گیری شده شامل ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد و طول شاخه های جانبی تحت تأثیر تنش خشکی دچار کاهش گردیدند، به‌طوری که بیشترین و کمترین مقدار هر یک از صفات رویشی ذکر شده به ترتیب در تیمارهای ۱۰۰٪ و ۴۰٪ ظرفیت زراعی مشاهده گردید (جدول ۲). همچنین اگرچه میزان عملکرد ماده خشک در گلدان تحت تأثیر تنش خشکی کاهش یافت اما فقط اختلاف تیمار شاهد (۱۰۰٪ ظرفیت زراعی) با سایر تیمارها معنی‌دار بود. به‌طوری که میزان عملکرد ماده خشک در گلدان در تیمارهای ۸۰٪، ۶۰٪ و ۴۰٪ ظرفیت زراعی به ترتیب ۴۰/۵۹، ۴۱/۸۸ و ۶۶/۴۷٪ نسبت به تیمار ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی کاهش داشته است (جدول ۲).

مقایسه میانگین محتوای نسبی آب برگ ها (RWC) نشان می‌دهد که با تشدید تنش خشکی میزان RWC کاهش یافته است، به‌طوری که بیشترین میزان RWC (۸۲/۸٪) در تیمار ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی (شاهد) و کمترین میزان RWC (۶۸/۳۳٪) در تیمار ۴۰٪ ظرفیت زراعی (تنش خشکی شدید) مشاهده گردید (جدول ۲).

براساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، مقادیر فنل و فلاونوئید کل و نیز فعالیت آنتی‌اکسیدانی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی قرار گرفته و با تشدید تنش خشکی مقادیر آنها افزایش یافت. در مورد فنل کل ملاحظه گردید که با وجود افزایش این صفت تحت تأثیر تشدید خشکی، اختلاف بین تیمارهای ۴۰، ۶۰ و ۸۰٪ ظرفیت زراعی معنی‌دار نبود (جدول ۲).

با افزایش سطوح خشکی، میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل روند کاهشی به خود گرفته است. بیشترین میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل به‌ترتیب با میانگین ۰/۳۴۵، ۰/۱۵۸ و ۰/۵۰۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر در تیمار ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی (شاهد) و کمترین آنها به ترتیب با میانگین ۰/۱۳۷، ۰/۰۶۲ و ۰/۱۹۹ میلی گرم بر گرم وزن تر در تیمار ۴۰٪ ظرفیت زراعی (تنش خشکی شدید) مشاهده گردید (جدول ۲).

طبق نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۲)، با تشدید تنش خشکی تا حد ۶۰٪ ظرفیت زراعی، درصد اسانس افزایش یافت؛ به‌طوری که بیشترین (۱/۵۴ میلی‌لیتر در ۱۰۰ گرم ماده خشک) و کمترین (۱/۱۶ میلی‌لیتر در ۱۰۰ گرم ماده خشک) درصد اسانس به‌ترتیب در تیمارهای ۶۰٪ و ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی بدست آمد. در مورد عملکرد اسانس نیز مشاهده گردید که با تشدید تنش خشکی مقدار این صفت کاهش می‌یابد؛ هرچند که اختلاف بین تیمارهای ۱۰۰٪ و ۶۰٪ ظرفیت زراعی معنی‌دار نبود.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی گیاه مرزنجوش بخارایی تحت تأثیر تنش خشکی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات														
		ارتفاع بوته	قطر ساقه	تعداد شاخه‌های جانبی	طول شاخه‌های جانبی	عملکرد ماده خشک در گلدان	محتوای نسبی آب برگ (٪)	فنل کل	فلاونوئید کل	فعالیت آنتی‌اکسیدانی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید	درصد اسانس	عملکرد اسانس
تنش خشکی	۳	۳۴۳**	۰/۱۱۵**	۱۶۸/۱۹**	۲۱۵۹۶/۵**	۱۳۲/۰۹**	۱۹۱/۳۸**	۱/۶۵**	۰/۰۲۵**	۵۹/۸**	۰/۰۴**	۰/۰۰۸**	۰/۰۸۷**	۰/۰۰۳ns	۰/۱۲**	۰/۰۱۵**
اشتباه آزمایشی	۱۶	۱/۹۳	۰/۰۰۱	۶/۵۰	۴۱۴/۷	۱/۳۶	۷/۱۳	۰/۳۷	۰/۰۰۰۸	۱/۲۶	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۶	۰/۰۲۶	۰/۰۰۰۷
ضریب تغییرات (٪)		۴/۱۱	۳/۴۶	۱۰/۶۶	۱۴/۰۱	۹/۹۷	۳/۵۹	۱۳/۴۲	۶/۷	۱/۵۳	۶/۷	۹/۲۱	۱۲/۵۷	۱۴/۰۱	۱۲/۳۶	۱۸/۲۶

**و ns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و غیر معنی‌دار

جدول ۲- مقایسه میانگین‌های ویژگی‌های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی گیاه مرزنجوش بخارایی تحت تأثیر تنش خشکی

صفات / تنش خشکی	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	قطر ساقه (میلی‌متر)	تعداد شاخه‌های جانبی	طول شاخه‌های جانبی (سانتی‌متر)	عملکرد ماده خشک در گلدان (گرم)	محتوای نسبی آب برگ (٪)	فنل کل (میلی‌گرم گالیک اسید در گرم ماده تر)	فلاونوئید کل (میلی‌گرم کوئرستین در گرم ماده تر)	فعالیت آنتی‌اکسیدانی (٪)	کلروفیل a (میلی‌گرم در گرم ماده تر)	کلروفیل b (میلی‌گرم در گرم ماده تر)	کلروفیل کل (میلی‌گرم در گرم ماده تر)	درصد اسانس	عملکرد اسانس (میلی‌لیتر در گلدان)
٪۱۰۰ FC	۴۳/۶۱a	۲/۶۳a	۲۹/۷۵a	۲۴۴/۵۳a	۱۸/۶۷a	۸۲/۸a	۳/۹۱b	۰/۳۳c	۶۹/۴۷d	۰/۳۴۵a	۰/۱۵۸a	۰/۵۰۳a	۱/۱۶b	۰/۲۱a
٪۸۰ FC	۳۸/۷۴b	۲/۱۴b	۲۴/۹۳b	۱۳۵/۸۴b	۱۱/۰۹b	۷۴/۸b	۴/۲۴ab	۰/۴۰b	۷۲/۰۲c	۰/۲۷۴b	۰/۱۲۵b	۰/۳۹۹b	۱/۲۸ab	۰/۱۴b
٪۶۰ FC	۲۹/۲۸c	۲/۰۷b	۲۵/۶۳b	۱۳۸/۴۴b	۱۰/۸۵b	۷۱/۷bc	۴/۷۸ab	۰/۴۴b	۷۵/۰۸b	۰/۱۹۶c	۰/۰۸۹c	۰/۲۸۵c	۱/۵۴a	۰/۱۶ab
٪۴۰ FC	۲۳/۵۶d	۱/۶۲c	۱۴/۵۸c	۶۶/۶۸c	۶/۲۶b	۶۸/۳۳c	۵/۲۱a	۰/۵۰a	۷۷/۳۶a	۰/۱۳۷d	۰/۰۶۲d	۰/۱۹۹c	۱/۳۲ab	۰/۰۸c

حروف مشابه در مقابل میانگین‌ها در هر ستون نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪ بین آنهاست (آزمون دانکن).

www.SID.ir

Archive of SID

بحث

نتایج این تحقیق نشان داد که تنش خشکی بر مؤلفه های رشدی و میزان عملکرد گیاه مرزنجوش بخارایی اثر داشته است، به‌طوری که با کاهش میزان رطوبت خاک، ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد و طول شاخه های جانبی و عملکرد گیاه کاهش یافت. یکی از اولین نشانه‌هایی که در اثر تنش خشکی بوجود می‌آید تغییر کمّی و کیفی در رشد است. در اثر کمبود آب، تورژسانس سلولی و در نتیجه رشد و توسعه سلول به‌ویژه در ساقه و برگ‌ها دچار کاهش می‌گردد. به همین دلیل، اولین اثر محسوس کم آبی را می توان از اندازه کوچکتر برگ ها یا ارتفاع گیاهان تشخیص داد. به دنبال کاهش سطح برگ، جذب نور نیز کاهش یافته و ظرفیت کل فتوسنتزی گیاه کاهش می‌یابد و بدیهی است که با محدود شدن فرآورده‌های فتوسنتزی در این شرایط، رشد گیاه و در نهایت عملکرد آن دچار نقصان می‌شود (Ashraf & Foolad, 2007). تنش کم‌آبی رشد گیاه را با تأثیر بر فرایندهای مختلف فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مانند فتوسنتز، تنفس، جذب و انتقال یون‌ها، کربوهیدرات‌ها و متابولیسم عناصر و افزاینده‌های رشد کاهش می‌دهد (Jaleel *et al.*, 2009). یکی از عمده‌ترین تغییرات مسئول کاهش تولید محصول در شرایط کم آبی، پایین آمدن قابلیت فتوسنتز گیاه است. در همین راستا، تنش آبی ممکن است باعث کاهش آسیمیلاسیون CO_2 در برگ ها، مقدار ATP و سطح آنزیم ریبولوز بیس فسفات گردد. مقادیر کلروفیل a و b در گیاهان تحت تنش کاهش می‌یابد و این به‌طور مستقیم بر تولید بیوماس گیاه اثر می‌گذارد (Silva *et al.*, 2010). در تحقیق مشابهی، Said-Al Ahl و همکاران (۲۰۰۹) کاهش عملکرد پیکر رویشی مرزنجوش را در اثر تنش آبی به کاهش تاج پوشش و فتوسنتز نسبت دادند. همچنین کاهش وزن خشک گیاه تحت شرایط تنش می تواند ناشی از تخصیص بیشتر بیوماس تولیدی گیاه به سمت ریشه‌ها در این شرایط باشد (Albouchi *et al.*, 2003). طبق اظهار نظر Singh و همکاران (۱۹۹۷)، برخی از گیاهان در شرایط تداوم کمبود آب در ناحیه ریزوسفر، از طریق محدودکردن رشد خود به کم آبی سازش می‌یابند. به‌طور مشابه، Tátrai و همکاران (۲۰۱۶) نیز گزارش نمودند که گیاه آویشن به بهای کاهش رشد، شانس بقای درازمدت در شرایط تنش خشکی را پیدا می‌کند. در این تحقیق همچنین مشاهده گردید که با تشدید تنش خشکی تعداد و طول شاخه های جانبی کاهش یافت. Hassani (۲۰۰۶) در بادرشبو و Babaee و همکاران (۲۰۱۰) در آویشن باغی نیز کاهش میزان شاخه‌دهی را تحت شرایط تنش خشکی گزارش نموده‌اند. البته شاخه‌دهی زیاد تحت شرایط خشکی یک صفت نامطلوب به‌حساب می‌آید، زیرا باعث مصرف بیهوده رطوبت خاک و اتلاف آن می گردد. بنابراین محدودشدن شاخه‌دهی در شرایط خشکی را می توان به‌عنوان یک سازوکار سازگاری برای گیاه مرزنجوش در نظر گرفت.

نتایج این تحقیق بیانگر کاهش معنی دار میزان RWC برگ‌های مرزنجوش بخارایی در پاسخ به تنش خشکی می‌باشد. RWC احتمالاً مناسب‌ترین روش ارزیابی وضعیت آبی گیاه در ارتباط با پیامدهای فیزیولوژیکی کمبود آب سلولی است. کاهش محتوای نسبی آب، نشان‌دهنده از دست رفتن تورژسانس است که منجر به محدود شدن آب قابل دسترس برای فرایند توسعه سلولی و در نتیجه کاهش رشد و نمو گیاه می‌شود (Tátrai *et al.*, 2016). محتوای نسبی آب برگ، اغلب به‌عنوان شاخص فیزیولوژیکی مناسبی برای ارزیابی میزان تحمل به خشکی در گیاهان مدنظر می باشد. چنین اظهار می‌شود که بافت‌هایی که در شرایط محدودیت رطوبت خاک و با وجود کاهش قابلیت آب، قادر به حفظ مقادیر بالاتری از RWC هستند به دهیدراسیون مقاوم‌ترند. قابلیت بالای نگه‌داشتن RWC در شرایط اُفت توان آب بافت‌ها ممکن است منعکس‌کننده استحکام بیشتر دیواره‌های سلولی و توانایی آنها برای تحمل تخریب‌ها و آسیب‌های مکانیکی ناشی از تلفات آب بافت‌ها باشد (Irigoyen *et al.*, 1992). مشابه نتایج این تحقیق، کاهش میزان RWC در اثر تنش خشکی توسط Hazzoumi و همکاران (۲۰۱۵) در

www.SID.ir

Archive of SID

ریحـــان، Askari و Ehsanzadeh (۲۰۱۵) در رازیانـــه و Tátrai و همکاران (۲۰۱۶) در آویشـن نیـز گـزارش شـده است.

در این تحقیق رنگیـزه‌هـای گیـاهی تحـت تـأثیر تـنش خشکی قرار گرفتند؛ به‌طوری که میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل به مـوازات افـزایش سـطح تـنش، کـاهش معنی داری یافتند، هرچند که در مورد میزان کاروتنوئید تغییر معنی داری مشاهده نگردیـد. کـاهش محتـوای کلروفیـل در شرایط تنش خشکی یـک نشـانه مشـخص از اکسیداسـیون نوری رنگدانه‌ها و زوال کلروفیل می‌باشـد (Anjum *et al*., 2011). کاهش محتوای کلروفیل بـرگ مـی توانـد ناشـی از افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز و در نتیجه تخریب کلروفیـل از یک‌سو و ممانعت از تولید رنگیزه‌های فتوسنتزی از سوی دیگـر باشـد (Singh & Dubey, 1995). تحریـک تولیـد گونه های فعـال اکسـیژن (ماننـد رادیکـال‌هـای پراکسـید و پراکسید هیدروژن) در اثر تنش خشکی، یکی دیگر از دلایل تخریب و کاهش کلروفیل می‌باشـد (Tátrai *et al*., 2016). کاهش میزان رنگیزه‌های فتوسـنتزی در اثـر تـنش خشـکی به‌طور مستقیم می تواند باعث کاهش قابلیت فتوسنتز شـده و رشد گیاه را محدود سازد (Dashti *et al*., 2015). تخریـب کلروفیل باعث می شود که میزان رنگیزه‌های محافظ کلروفیل ازجملـه کاروتنوئیـدها افـزایش یابنـد (Chalker-Scott, 2002). کاروتنوئیدها در این شرایط قادرند انرژی زیاد طول موج های کوتاه را گرفته و اکسیژن یکتـایی را بـه سـه‌تـایی تبدیل کنند و با گرفتن رادیکال‌های اکسیژن تولید شده نقش آنتی‌اکسـیدانی خـود را ایفـاء نماینـد (Inze & Montagu, 2000). کاروتنوئیـدها کـه نقـش اساسـی در سیسـتم دفـاع آنتی‌اکسیدانی گیاه در شرایط تنشی بازی می‌کننـد بـه‌عنـوان رنگدانـه کمکـی بـرای حفـظ عملکـرد فتوسـنتز ضـروری می‌باشند (Silva *et al*., 2010). در نتیجه گیاهانی که بتوانند کاروتنوئید بیشتری داشـته باشـند شـرایط خشـکی و تـنش اکسیداتیو ناشی از آن را بهتر تحمل خواهند کرد (Foyer *et al*., 1998). کاهش محتوای رنگدانه‌های فتوسـنتزی در اثـر تنش خشکی که در این تحقیـق مشـاهده گردیـد بـا نتـایج تحقیق Hazzoumi و همکاران (۲۰۱۵) در ریحان، Askari و Ehsanzadeh (۲۰۱۵) در رازیانـــه، Tátrai و همکـــاران (۲۰۱۶) در آویشـن و Mohammadi و همکـاران (۲۰۱۸) در بابونه آلمانی مطابقت دارد.

طبق نتایج این تحقیق، با کاهش محتوای رطوبـت خـاک محتوای فنل و فلاونوئید کل و نیز فعالیت آنتی اکسیدانی گیاه مرزنجوش بخارایی افزایش یافت. بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند که محتوای کلـی متابولیـت‌هـای ثانویـه گیاهـان در شرایط تنش خشکی افزایش می‌یابند. به عنوان مثال در گیـاه *Lamisia pumila* مقادیر فنـل‌هـا و فلاونوئیـدهای کـل در پاسخ به تـنش خشـکی افـزایش یافتنـد و بـه‌دلیـل وجـود همبستگی خوب بین افزایش میزان فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز (PAL) و افزایش غلظت فنل‌ها، این محققان نتیجه گرفتند که میزان بیوسنتز ترکیب های یادشده در گیاهان تحت تنش خشکی در مقایسه با گیاهان خوب آبیاری شده بشدت افزایش مـی‌یابـد (Jaafar *et al*., 2012). افـزایش فعالیـت آنزیم PAL در شرایط تنش ممکن اسـت بـه‌عنـوان شـروع فرایندهای سازشی سلول‌ها در برابر تنش آبی قلمداد گـردد (Hazzoumi *et al*., 2015). در کـاهو (*Lactuca sativa*) نیز گزارش شده است که تنش آبی می تواند ژن مربـوط بـه آنزیم PAL را که در بیوسنتز فنل‌های مختلف و فلاونوئیدها مشارکت دارد فعال نمایـد (Oh *et al*., 2009). بسـته شـدن روزنه‌ها در شرایط کم آبی باعـث کـاهش جـذب دی‌اکسـید کربن و در نتیجه کاهش قابل توجه مصـرف اکـسیژن‌والان‌هـای احیاءکننـده ($NADPH+H^+$) بـرای تثبیـت CO_2 از طریـق چرخه کالوین می گردد. چنین شرایطی منجر به عرضه مقدار زیادی $NADPH+H^+$ و در نتیجه تغییـر مسـیر فراینـدهای متابولیکی به سمت تولید ترکیب های بـه‌شـدت احیـاء شـده مانند ایزوپرنوئیدها، فنل‌ها و آلکالوئیدها می‌گردد (Selmar & Kleinwächter, 2013). طبق نظـر Bryant و همکـاران (۱۹۸۳)، هنگـامی کـه گیاهـان تحـت تـنش هسـتند یـک جابجایی بین مصرف کربن برای تولید بیومـاس یـا تشـکیل ترکیب‌های ثانویه دفاعی اتفاق می‌افتد. ترکیـب‌هـای ثانویـه گیاهی تولید شده در شرایط تنش‌های محیطی مانند فنل‌های

www.SID.ir

Archive of SID

مشتق شده از فنیل پروپانوئید، فلاونوئیدها، تانن‌ها و هیدروکسی سینامات استرها، توانایی زدودن گونه های فعال اکسیژن را دارند (Dixion & Paiva, 1995). تولید و انباشت متابولیت‌های ثانویه به‌شدت احیاء شده، باعث ممانعت از تولید بیش از حد رادیکال‌های اکسیژن و در نتیجه آسیب به کلروپلاست و سایر اجزاء سلولی در گیاهان دارویی تحت تنش آبی می‌شوند (Radacsi *et al*., 2010). خشکی اغلب باعث تنش اکسیداتیو شده و این شرایط منجر به افزایش مقادیر فلاونوئیدها و اسیدهای فنولیک در گیاهان می‌گردد. عملکردهای حفاظتی فلاونوئیدها در طول تنش خشکی گزارش گردیده است (Ramakrishna & Ravishankar, 2011). فلاونوئیدها از مهمترین ترکیب‌های آنتی اکسیدانی هستند که هم رادیکال‌های آزاد اکسیژن را از بین می‌برند و هم از تولید بیشتر آنها در گیاه ممانعت می‌نمایند (Nasibi & Kalantari, 2005). در یک تحقیق گزارش گردیده است که بیوسنتز ترکیب های پلی‌فنلی و کاروتنوئیدها به‌دلیل قابلیت جاروب کردن گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) با تحمل به خشکی در ژنوتیپ های متحمل پنبه (*Gossypium hirsutum*) مرتبط بود (Yildiz-Aktas *et al*., 2009). محتوای کلی ترکیب‌های فنلی در گونه‌ای از گل راعی (*Hypericum brasiliense*) نیز در گیاهان تحت تنش خشکی به مراتب بیشتر از گیاهان شاهد بود (De Abreu & Mazzafera, 2005). در تحقیق مشابه دیگری، بررسی اثر تنش آبی بر گونه‌ای از ریحان (*Ocimum gratissimum*) نشان داد که مقادیر فنل کل در برگ‌ها و ریشه‌های گیاهان تحت تنش به‌ترتیب ۱۰۴٪ و ۹۷٪ نسبت به شرایط بدون تنش افزایش یافت (Hazzoumi *et al*., 2015). Manukyan (۲۰۱۱) گزارش کرد که تأثیر تنش خشکی بر محتوای پلی‌فنل‌ها در بادرنجبویه (*Melissa officinalis*) و مریم‌گلی (*Salvia officinalis*) به‌طور معنی‌داری مثبت بود. همچنین بررسی تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی (۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) بر گونه‌های بومادران (*Achillea* ssp.) نشان داد که سطح تنشی مطلوب برای تولید فنل کل و فلاونوئید، ۵۰٪ ظرفیت زراعی بود (Gharibi *et al*., 2016). براساس آنچه گفته شد می توان نتیجه گرفت که انباشت فنل‌ها و فلاونوئیدها و افزایش ظرفیت آنتی اکسیدانی در گیاه مرزنجوش بخارایی نیز در راستای تعدیل اثرهای مخرب تنش اکسیداتیو و افزایش تحمل این گیاه به تنش خشکی انجام شده است.

در این تحقیق، اگرچه درصد اسانس در سطوح ملایم، متوسط و شدید تنش خشکی نسبت به شرایط بدون تنش افزایش یافت اما بالاترین درصد اسانس در تنش خشکی متوسط (۶۰٪ ظرفیت زراعی) مشاهده گردید. مشابه نتایج این تحقیق، بالاترین درصد اسانس در گیاهان ریحان (Omidbaigi *et al*., 2003)، بادرشبو (Hassani, 2006)، انجدان رومی (*Levisticum officinale*) (Akhzari & Pessarakli, 2016) و آویشن (Tátrai *et al*., 2016) در شرایط تنش خشکی متوسط بدست آمد. پاسخ گیاهان اسانس‌دار به تنش خشکی در گونه‌های مختلف متفاوت بوده و بستگی به شدت و طول مدت تنش دارد. به‌عنوان مثال در گونه‌ای از آویشن (*T. hyemalis*) سطوح مختلف آبیاری تأثیری بر میزان اسانس نداشته است (Jordan *et al*., 2003)؛ در حالیکه در گونه دیگری از آویشن (*T. zygis*)، بالاترین درصد اسانس در شرایط آبیاری متوسط بدست آمد (Sotomayor *et al*., 2004). طبق گزارش Singh و همکاران (۱۹۹۷)، تنش خشکی باعث تحریک فعالیت آنزیم PEP کربوکسیلاز و افزایش تولید اسانس در گونه‌ای از علف لیمو (*Cymbopogon flexousus*) گردیده است. آنان افزایش فعالیت این آنزیم را به‌عنوان یک سازوکار سازگاری برای تداوم آسیمیلاسیون کربن فتوسنتزی و حفظ وضعیت آبی گیاه در نظر گرفتند. Simon و همکاران (۱۹۹۲) نیز پیشنهاد نمودند که افزایش تراکم غده‌های مترشحه اسانس در اثر کاهش سطح برگ می‌تواند توجیه‌کننده افزایش مقدار اسانس در شرایط خشکی باشد. طبق اظهار نظر Turtola و همکاران (۲۰۰۳)، در شرایط تنش کم‌آبی به علت کاهش تخصیص فرآورده‌های فتوسنتزی برای نیازهای رشدی گیاه، میزان تولید ترکیب های ترپنی افزایش یافته و این منجر به انباشت قابل توجه اسانس‌ها می‌گردد.

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج این تحقیق همچنین نشان داد که با کاهش محتوای رطوبت خاک، عملکرد اسانس نیز دچار کاهش گردید. به‌طور مشابه در گیاه رازیانه نیز با وجود افزایش درصد اسانس در شرایط کمبود آب، به علت کاهش عملکرد بذر در اثر خشکی، درنهایت عملکرد اسانس نیز دچار کاهش گردید (Askari & Ehsanzadeh, 2015). کاهش عملکرد اسانس در اثر تنش خشکی در ریحان (Omidbaigi *et al*., 2003) و بادرشبو (Hassani, 2006) نیز گزارش شده است. عملکرد اسانس تابعی از درصد و عملکرد گیاه است؛ بنابراین اگرچه در این تحقیق، درصد اسانس در شرایط تنش خشکی افزایش یافت اما به‌دلیل اثرهای زیان‌آور تنش کم‌آبی بر رشد و عملکرد پیکر رویشی، در مجموع عملکرد اسانس نیز کاهش نشان داد.

به‌عنوان نتیجه‌گیری نهایی باید گفت که نیاز شدید به توسعه تولید گیاهان دارای کارایی مصرف آب بالا در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان برای مقابله با کمبود آب در حال توسعه یک ضرورت است. در همین راستا و با هدف تغییر الگوی کاشت، کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی و کمک به احیاء دریاچه ارومیه، امکان توسعه کشت گیاه دارویی مرزنجوش بخارایی در شرایط کم‌آبی مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که با وجود کاهش عملکرد این گیاه در اثر کم آبی، تفاوت بین سطوح خشکی ملایم تا شدید از این نظر معنی دار نبود. از سوی دیگر افزایش معنی دار درصد اسانس (به‌ویژه در تنش خشکی متوسط)، فنل و فلاونوئید کل (به‌ویژه در تنش خشکی شدید)، به‌عنوان ترکیب‌های دارای ارزش غذایی و دارویی بالا، در پاسخ به تنش خشکی می‌تواند کاهش عملکرد ناشی از خشکی را از دیدگاه بهره‌برداری دارویی از این گیاه جبران نماید. ضمن اینکه جبران کاهش عملکرد این گیاه از طریق افزایش تراکم کاشت در شرایط کم‌آبی می‌تواند موضوع تحقیقات آینده باشد.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از مسئولان محترم صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور به‌دلیل حمایت مالی از این پژوهش در قالب طرح رساله دکتری به شماره ۹۶۰۰۴۴۵۴ قدردانی می‌گردد.

منابع مورد استفاده

- Agbo, M.O., Uzor. P.F., Nneji, U.N.A., Odurukwe, C.U.E., Ogbatue, U.B. and Mbaoji, E.C., 2015. Antioxidant, total phenolic and flavonoid content of selected Nigerian medicinal plants. Dhaka University Journal of Pharmaceutical Sciences, 14(1): 35-41.
- Akhzari, D. and Pessarakli, M., 2016. Effect of drought stress on total protein, essential oil content and physiological traits of *Levisticum officinale* Koch. Journal of Plant Nutrition, 39(10): 1365-1371.
- Albouchi, A., Bejaoui, Z. and El Aouni M.H., 2003. Influence of moderate or severe water stress on the growth of *Casuarina glauca* Sieb. seedlings. Sécheresse, 14(3): 137-142.
- Andre, C.M., Schafleitner, R., Legay, S., Lefèvre, I., Aliaga, C.A., Nomberto, G., Hoffmann, L., Hausman, J.F., Larondelle, Y. and Evers, D., 2009. Gene expression changes related to the production of phenolic compounds in potato tubers grown under drought stress. Phytochemistry, 70(9): 1107-1116.
- Anjum, S.A., Xie, X.Y., Wang, L.C., Saleem, M.F., Man, C. and Lei, W., 2011. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. African Journal of Agricultural Research, 6(9): 2026-2032.
- Arnon, A.N., 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agronomy Journal, 23: 112-121.
- 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.
- Askari, E. and Ehsanzadeh, P., 2015. Osmoregulation-mediated differential responses of field-grown fennel genotypes to drought. Industrial Crops and Products, 76: 494-508.
- Babaee, K., Amini Dehaghi, M., Modares Sanavi, S.A.M. and Jabbari, R., 2010. Water deficit effect on morphology, proline content and thymol percentage of Thyme (*Thymus vulgaris* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 26(2): 239-251.
- Bettaieb, I., Zakhama, N., Wannes, W.A., Kchouk, M.E. and Marzouk, B., 2009. Water deficit effects on *Salvia officinalis* fatty acids and essential oils composition. Scientica Horticulturae, 120(2): 271-275.

www.SID.ir

Archive of SID

- Jaafar, H.Z.E., Ibrahim, M.H. and Mohamad Fakri, N.F., 2012. Impact of soil field water capacity on secondary metabolites, phenylalanine ammonia-lyase (PAL), malondialdehyde (MDA) and photosynthetic responses of Malaysian Kacip Fatimah (*Labisia pumila* Benth). Molecules, 17(6): 7305-7322.
- Jaleel, C.A., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Al-Juburi, H.J., Somasundaram, R. and Panneerselvam, R., 2009. Drought stress in plants: A review on morphological characteristics and pigments composition. International Journal of Agriculture and Biology, 11: 100-105.
- Jordan, M.J., Martinez, R.M., Cases, M.A. and Sotomayor, J.A., 2003. Watering level effect on *Thymus hyemalis* Lange essential oil yield and composition. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 51(18): 5420-5427.
- Kafi, M., Borzoee, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masoumi, A. and Nabati, J., 2009. Physiology of Environmental Stresses in Plants. Jahad Daneshgahi Press, 502p.
- Kokkini, S., 1997. Taxonomy, diversity and distribution of *Origanum* species. Proceeding of the IPGRI International Workshop on Oregano, CIHEAM, Valenzano, Bari, Italy, 8-12 May.
- Lawlor, D.W. and Cornic, G., 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. Plant Cell Environment, 25(2): 275-294.
- Manukyan, A., 2011. Effect of growing factors on productivity and quality of lemon catmint, lemon balm and sage under soilless greenhouse production. I: Drought stress. Medicinal and Aromatic Plant Science and Biotechnology, 5: 119-125.
- Maroofi, H., 2005. Final report of collection and identification of the flora of Kurdistan province and establishment of the provincial herbarium (phase 2), Research Institute of Forests and Rangelands, 249p.
- Mohammadi, H., Esmailpour, M., Ghorbi, S. and Hatami, M., 2018. Physiological and biochemical changes in *Matricaria chamomilla* induced by *Pseudomonas fluorescens* and water deficit stress. Acta Agriculturae Slovenica, 111(1): 63-72.
- Moradi, M., Hassani, A., Sefidkon, F. and Maroofi, H., 2015. Chemical composition of leaves and flowers essential oil of *Origanum vulgare* ssp. *gracile* growing wild in Iran. Journal of Essential Oil Bearing Plants, 18(1): 242-247.
- Nasibi, F. and Kalantari, K.H. 2005. The effects of UV-a, UV-b and UV-c on protein and ascorbate content, lipid peroxidation and biosynthesis of
- Bryant, J.P., Chapin, F.S.I. and Klein, D.R., 1983. Carbon/nutrient balance of boreal plants in relation to vertebrate herbivory. Oikos, 40: 357-368.
- Burits, M. and Bucar, F., 2000. Antioxidant activity of *Nigella sativa* essential oil. Phytotherapy Research, 14(5): 323-328.
- Chalker-Scott, L., 2002. Do anthocyanins function as osmoregulator in leaf tissues?. Advances in Botanical Research, 37: 103-127.
- Dashti, M., Kafi, M., Tavakkoli, H. and Mirza, M., 2015. Investigation on some morphophysiological indices in *Salvia leriifolia* Benth. under water deficit stress. Iranian Journal of Field Crops Research, 13(2): 298-307.
- De Abreu, I.N. and Mazzafera, P., 2005. Effect of water and temperature stress on the content of constituents of *Hypericum brasiliense* choisy. Plant Physiology and Biochemistry, 43: 241-248.
- Dixion, R.A. and Paiva, N.L., 1995. Stress-induced phenylpropanoid metabolism. Plant Cell, 7: 1085-1097.
- Ebrahimzadeh, M.A., Hosseinimehr, S.J., Hamidian, A. and Jafari, M., 2008. Antioxidant and free radical scavenging activity of *Feijoa sallowiana* fruits peel and leaves. Pharmacologonline, 1: 7-14.
- Foyer, C.H., Valadier, M.H., Migge, A. and Becker, T.W., 1998. Drought induced effects on reductase activity and mRNA and on the coordination of nitrogen and carbon metabolism in maize leaves. Plant Physiology, 117: 283-292.
- Gharibi, S., Tabatabaei, B.E., Saeidi, G. and Goli, S.A., 2016. Effect of drought stress on total phenolic, lipid peroxidation, and antioxidant activity of *Achillea* species. Applied Biochemistry and Biotechnology, 178(4): 796-809.
- Hassani, A., 2006. Effect of water deficit stress on growth, yield and essential oil content of *Dracocephalum moldavica.* Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 22(3): 256-261.
- Hazzoumi, Z., Moustakime, Y., Elharchli, H. and Joutei, K.M., 2015. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and water stress on growth, phenolic compounds, glandular hairs, and yield of essential oil in basil (*Ocimum gratissimum* L.). Chemical and Biological Technologies in Agriculture, 2: 1-11.
- Irigoyen, J.J., Einerich, D.W. and Sánchez-Díaz, M., 1992. Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. Physiologia Plantarum, 84: 55-60.
- Inze, D. and Montagu, M.V., 2000. Oxidative Stress in Plant. Tj International Ltd, Padstow, Cornawall, Great Britain, 321p.

www.SID.ir

Archive of SID

essential oil content and composition of sweet basil. Journal of Essential Oil Research, 4(1): 71-75.
- Singh, A.K. and Dubey, R.S., 1995. Changes in chlorophyll a and b contents and activities of photosystems I and II in rice seedlings induced by NaCl. Photosynthetica, 31: 489-499.
- Singh, M., Ganesha-Rao, R.S. and Ramesh, S., 1997. Irrigation and nitrogen requirement of lemongrass (*Cymbopogon flexuosus* (Sleud) Wats) on a red sandy loam soil under semiarid tropical conditions. Journal of Essential Oil Research, 9(5): 569-574.
- Spada, P. and Perrino, P., 1996. Conservation of oregano species in national and international collections: an assessment. Proceedings of the IPGRI International Workshop on Oregano, CIHEAM, Valenzano, Bari, Italy, 8-12 May: 14-23.
- Sotomayor, J.A., Martinez, R.M., Garcia, A.J. and Jordan, M.J., 2004. *Thymus zygis* subsp. *gracilis*: watering level effect on phytomass production and essential oil quality. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 52(17): 5418-5424.
- Tátrai, Z.A., Sanoubar, R., Pluhár, Z., Mancarella, S., Orsini, F. and Gianquinto, G., 2016. Morphological and physiological plant responses to drought stress in *Thymus citriodorus*. International Journal of Agronomy, 20(16): 1-8.
- Turner, N.C., 1981. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. Plant and Soil, 58: 339-366.
- Turtola, S., Manninen, A.M., Rikala, R. and Kainulainen, P., 2003. Drought stress alters the concentration of wood terpenoids in Scots pine and Norway spruce seedlings. Journal of Chemical Ecology, 29: 1981-1985.
- Yildiz-Aktas, L., Dagnon, S., Gurel, A., Gesheva, E. and Edreva, A., 2009. Drought tolerance in cotton: Involvement of non-enzymatic ROS-scavenging compounds. Journal of Agronomy and Crop Science, 195(4): 247-253.

screening compounds in *Brassica napus*. Iranian Journal of Science and Technology, 29(1): 39-48.
- Oh, M.M., Trick, H.N. and Rajashekar, C.B., 2009. Secondary metabolism and antioxidants are involved in environmental adaptation and stress tolerance in lettuce. Journal of Plant Physiology, 166: 180-191.
- Omidbaigi, R., 1997. Approaches to Production and Processing of Medicinal Plants (Vol 2). Tarrahane Nashr, Mashhad, Iran, 424p.
- Omidbaigi, R., Hassani, A. and Sefidkon, F., 2003. Essential oil content and composition of sweet basil (*Ocimum basilicum*) at different irrigation regimes. Journal of Essential Oil Bearing Plants, 6(2): 104-108.
- Radacsi, P., Inotai, K., Sarosi, S., Czovek, P., Bernath, J. and Nemeth, E., 2010. Effect of water supply on the physiological characteristics and production of basil (*Ocimum basilicum* L.). European Journal of Horticultural Science, 75: 193-197.
- Ramakrishna, A. and Ravishankar, G.A., 2011. Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. Plant Signaling and Behavior, 6(11): 1720-1731.
- Said-Al Ahl, H.A.H., Omer, E.A. and Naguib, N.Y., 2009. Effect of water stress and nitrogen fertilizer on herb and essential oil of oregano. International Agrophysics, 23(3): 269-275.
- Selmar, D. and Kleinwächter, M., 2013. Influencing the product quality by deliberately applying drought stress during the cultivation of medicinal plants. Industrial Crops and Products, 42: 558-566.
- Silva, E.N., Ribeiro, R.V., Ferreira-Silva, S.L., Viegas, R.A. and Silveira, J.A.G., 2010. Comparative effects of salinity and water stress on photosynthesis, water relations and growth of *Jatropha curcas* plants. Journal of Arid Environments, 74(10): 1130-1137.
- Simon, J.E., Bubenheim, R.D., Joly, R.J. and Charles, D.J., 1992. Water stress-induced alterations in

www.SID.ir

Archive of SID

Effect of drought stress on some morphophysiological and phytochemical characteristics of oregano (*Origanum vulgare* L. ssp. *gracile*)

A. Minaei[1], A. Hassani[2*], H. Nazemiyeh[3] and S. Besharat[4]

1- Ph.D. student, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran
2*- Corresponding author, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran
E-mail: a.hassani@urmia.ac.ir
3- Research Center for Pharmaceutical Nanotechnology, Faculty of Pharmacy, Tabriz University of Medical Sciences, Tabriz, Iran
4- Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

Received: September 2018 Revised: January 2019 Accepted: January 2019

Abstract

To study the effect of different levels of drought stress on growth, yield and some physiological and phytochemical characteristics of oregano (*Origanum vulgare* L. ssp. gracile), a pot experiment, in a randomized complete design with four treatments and five replications, was conducted. Drought stress treatments were 100% (non-stress), 80%, 60% and 40% of field capacity. The results showed that drought stress had significant effect on growth parameters, dry herb yield, leaf relative water content (RWC), total phenol and flavonoid content, antioxidant activity, a, b and total chlorophyll content, essential oil content and yield. There was no significant difference between drought stress treatments for carotenoids. As the soil water content decreased, plant height, stem diameter, number and length of axillary shoots, dry herb yield, RWC, a, b and total chlorophyll content and essential oil yield decreased, but total phenol and flavonoid content, antioxidant activity and essential oil content increased. Despite the decrease in dry herb yield, the difference between 80%, 60% and 40% treatments was not significant. The highest essential oil content (1.54 ml/100 g DW) was observed in 60% of field capacity and the highest amounts of total phenol (5.21 mg gallic acid/g FW), total flavonoid (0.5 mg quercetin/g FW) and antioxidant activity (77.36%) were obtained in 40% of field capacity. The highest percentage of essential oil (54.1 mg / g dry matter) was observed in 60% of treatment capacity and the highest amount of total phenol (0.51 mg gallic acid per gram of fresh material), total flavonoid (0.5 mg Gram quercetin in grams of fresh milk) and antioxidant activity (37.36%) in 40% of treatment capacity.

Keywords: Water deficit stress, antioxidant compounds, yield, leaf relative water content, oregano.

www.SID.ir