Iranian Journal of Horticultural Science
Vol 49, No 3, Autumn 2018 (613-624)
DOI: 10.22059/ijhs.2018.206625.1008

علوم باغبانی ایران
دورهٔ ۴۹، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۳۹۷ (ص ۶۲۴-۶۱۳)

بررسی تأثیر تنش کم‌آبی بر عملکرد، اسانس و برخی از صفات فیزیولوژیک اکوتیپ‌های آویشن دنایی (*Thymus daenensis* subsp. *daenensis*) در منطقه کرج

جلال خورشیدی[۱]، مجید شکرپور[۲*] وحیده ناظری[۳]

۱. دانشجوی سابق دکتری، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج و استادیار، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشگاه کردستان، سنندج

۲ و ۳. دانشیار و استاد، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۳/۳۱ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۹/۱)

چکیده

به‌منظور بررسی اثر تنش کم‌آبی بر عملکرد ماده‌خشک، درصد اسانس و برخی خصوصیات فیزیولوژیک اکوتیپ‌های بومی آویشن دنایی (*Thymus daenensis* subsp. *daenensis*)، آزمایشی به‌صورت کرت‌های یک‌بار خردشده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی، در سال زراعی۱۳۹۲در کرج به اجرا درآمد. در این پژوهش، هشت اکوتیپ آویشن دنایی جمع‌آوری شده از مناطق مختلف، تحت سه تیمار آبیاری نرمال (آبیاری تا گلدهی کامل)، قطع آبیاری در مرحله رویشی و قطع آبیاری در مرحله گلدهی، مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که واکنش اکوتیپ‌های مختلف به تیمارهای اعمال‌شده، از نظر درصد اسانس، میزان ماده‌خشک، کلروفیل، کاروتن، پرولین و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات‌پراکسیداز، گلوتاتیون‌پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز متفاوت بود. بین درصد اسانس و ماده خشک با کلروفیل، کاروتن، پرولین و میزان فعالیت آنزیم‌های اندازه‌گیری‌شده، همبستگی معنی‌داری مشاهده نگردید. بیشترین عملکرد ماده خشک (۱۷/۲۷ گرم به‌ازای تک بوته) در اکوتیپ خانه میران بالا، تحت آبیاری نرمال و بیشترین درصد اسانس (۶/۲ درصد) در اکوتیپ ملایر ۲، تحت تیمار قطع آبیاری در مرحله رویشی، مشاهده گردید. اکوتیپ اراک، دارای بیشترین عملکرد اسانس، در هر دو شرایط تنش آبی بود.

واژه‌های کلیدی: آنزیم، کاروتن، کلروفیل، ماده خشک.

Effect of water deficit stress on yield, essential oil and some of physiological traits in different ecotypes of *Thymus daenensis* subsp. *daenensis* in Karaj region

Jalal Khorshidi[1], Majid Shokrpour[2*] and Vahideh Nazeri[3]

1. Former Ph.D. Student, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran, and Assistant Professor, Department of Horticultural Sciences and EngFaculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran
2, 3. Associate Professor and Professor, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

(Received: Jun. 20, 2016 - Accepted: Nov. 21, 2016)

ABSTRACT

In order to study the effect of water deficit stress on yield, essential oil and some of physiological traits in different ecotypes of *Thymus daenensis* subsp. *daenensis*, an experiment was performed as split plot design based on RCBD with three replicates, in Karaj (2013). In this experiment, eight ecotypes of this plant were studied under three water deficit treatments including normal irrigation, stop irrigation at the start of flowering and stop irrigation at the vegetative stage. Result indicated that ecotypes under the different level of irrigation showed different responses for essential oil percentage, dry matter yield, chlorophyll, carotenes, proline and activity of catalase, glutathione peroxidase, and polyphenol oxidase enzymes. Close correlation was not observed between essential oil percentage and dry matter yield with chlorophyll, carotene, proline, and enzymes activity. The highest dry matter yield (17.27 gr per plant) was obtained in Malayer Bala ecotype under normal irrigation and the highest essential oil percentage (6.2 %) was obtained in ecotype of Malayer2 under stop irrigation at the vegetative stage. The highest essential oil yield as the most economical important was found in ecotype of Arak under the both stress treatments.

Keywords: Carotene, chlorophyll, dry matter, enzyme.

* Corresponding author E-mail: shokrpour@ut.ac.ir

www.SID.ir

مقدمه

کاهش نزولات جوی، گرم‌شدن روزافزون کره‌خاکی و برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی، موجب کاهش شدید منابع آب زیرزمینی، نشست دشت‌ها در اغلب مناطق کشور و خشک‌شدن اغلب چاه‌های آب کشور گردیده، و عملاً کشت و کار گیاهان با مصرف آب زیاد را به مخاطره انداخته است (Saiedfar & Mahmoudi, 2013). از طرفی دیگر، رشد و تکثیر گیاهان خودرو در عرصه طبیعی، به‌دلیل خشک‌سالی‌های دهه اخیر، چراهای بی‌رویه، آتش‌سوزی‌ها، تغییر کاربری اراضی، کاهش یافته و جمعیت اغلب این گیاهان به‌شدت در حال کاهش است. با انتخاب، اهلی‌سازی و کشت و کار گیاهان دارویی با ارزش، می‌توان از نابودی و انقراض آن‌ها جلوگیری نمود؛ و همچنین، با بررسی روش‌های کم‌آبیاری، ضمن ارائه راه‌کاری در برابر کم‌آبی، موجب بهبود کیفیت گیاهان دارویی شد (Hussein *et al.*, 2014). آویشن دنایی (*Thymus daenensis* subsp. *daenensis*) یکی از گیاهان دارویی اندمیک ایران، متعلق به تیره نعناعیان (Lamiaceae) بوده که به‌دلیل درصد اسانس زیاد (تا ۳/۹ درصد) و تیمول بسیار بالای موجود در اسانس (تا ۷۸/۳ درصد)، در مقایسه با سایر گونه‌های آویشن برتری دارد (Barazandeh & Bagherzadeh, 2007). این گونه در ایران پراکنش وسیعی داشته (شمال‌غرب، غرب، مرکز و جنوب‌غرب ایران)، که نشان از سازگاری بالای آن با اغلب شرایط اقلیمی و ادافیکی است (Jamzad, 2010). این گیاه از ارتفاعات کم تا ارتفاعات بسیار زیاد (۲۵۹۰-۱۶۴۷ متر از سطح دریا) و خاک‌های با بافت و خصوصیات شیمیایی مختلف، رویش دارد. این گونه گیاهی، به‌صورت خودرو در عرصه طبیعی می‌روید و جمعیت گیاهی آن روز به روز در حال کاهش است. مشاهدات حاکی از آن است که این گیاه، پتانسیل کشت دیم را داشته و می‌تواند گزینه مناسبی برای کشت و کار در شرایط کنونی و نیز آینده باشد (Rustaie, 2009).

گیاهان دارای مکانیسم‌های مختلفی از قبیل تغییرات مورفولوژی، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی برای تحمل دوره‌های کم‌آبی هستند (Upadhyaya & Panda, 2004). تغییر در طول و قطر ریشه‌ها، میزان کرک‌ها، سطح تبخیر و تعرق‌کننده، میزان رنگیزه‌ها، پرولین، میزان فعالیت آنزیم‌های مختلف و میزان تولید متابولیت‌های ثانویه از جمله تدابیری هستند که گیاه در شرایط مواجه‌شدن با کم‌آبی، می‌تواند از آن‌ها استفاده کند تا تحت این شرایط، بتواند چرخه زندگی خود را به اتمام برساند و تولید بهینه‌ای داشته باشد (Abbaszadeh, 2008). تحت شرایط تنش کم‌آبی در گیاهان، ترکیبات سمی مانند رادیکال‌های آزاد اکسیژن تولید می‌شود که موجب آسیب‌رساندن به گیاه می‌شوند. یکی از مکانیسم‌های دفاعی گیاه در برابر این رادیکال‌های آزاد، دفاع آنزیمی است (Prochazkova *et al.*, 2001). دفاع آنزیمی در گیاهان شامل تولید یک‌سری از آنزیم‌ها از جمله کاتالاز، گلوتاتیون‌پراکسیداز، آسکوربات‌پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز است که هر کدام از طریق مکانیسم‌هایی، از آسیب به گیاه تحت این شرایط جلوگیری می‌کنند (Diaz *et al.*, 1997; Asada, 1992; Aghdassi & Johane, 2000). کاتالاز بدون نیاز به احیاکننده، موجب تجزیه پراکسید هیدروژن به آب و اکسیژن می‌گردد. گلوتاتیون پراکسیداز، موجب احیای پراکسید هیدروژن، با استفاده از گلوتاتیون می‌گردد (Esterbauer *et al.*, 1992). آسکوربات‌پراکسیداز نیز از طریق ترکیب آسکوربات، موجب حفظ تعادل گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) می‌گردد (Willekens *et al.*, 1997; Mittler, 2002). تنش خشکی، از طریق تأثیر بر سنتز کلروفیل و سایر رنگیزه‌های فتوسنتزی دیگر، موجب صدمه به دستگاه فتوسنتزی می‌گردد (Nayyar & Gupta, 2006). یکی از راه‌کارهای گیاهان برای تحمل این شرایط، تنظیم پتانسیل اسمزی سلول به‌کمک اسمولیت‌ها است. پرولین یکی از این ترکیبات بوده که نه تنها در تنظیم پتانسیل اسمزی سلول، به گیاه کمک می‌کند، بلکه نقش علامت‌دهی در سلول را نیز بر عهده دارد (Inotai, 2013). بررسی تیمارهای مختلف دور آبیاری (۳، ۵، ۷ و ۱۰ روزه) در گیاه آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.)، نشان داد که با افزایش فواصل بین دورهای آبیاری، ارتفاع گیاه و وزن‌خشک و تر گیاه کاهش ولی درصد اسانس و درصد تیمول در اسانس افزایش یافت (Eman *et al.*, 2008).

تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی (بدون تنش، ۸۰، ۶۰، ۴۰، و ۲۰درصد ظرفیت‌زراعی) بر خصوصیات

Archive of SID

www.SID.ir

فیزیولوژیک بادرنجبویه[1]، مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که خشکی، تأثیر معنی‌داری روی میزان کلروفیل داشت و بیشترین میزان کلروفیل، در شرایط بدون تنش به‌دست آمد (Abbaszadeh *et al*., 2008). بیشترین مقدار پرولین (۲/۱۱۲ میلی‌گرم در لیتر) در تیمار ۲۰ درصد ظرفیت‌زراعی و بالاترین مقدار قند محلول (۲/۵۴۵ میلی‌گرم در لیتر) در تیمار ۶۰ درصد ظرفیت‌زراعی به‌دست آمد. همچنین، بیشترین عملکرد اسانس این گیاه (۱۲/۹ کیلوگرم در هکتار) در شرایط ۶۰ درصد ظرفیت‌زراعی ایجاد شد. Gharibi *et al.* (2012) با بررسی تأثیر چهار تیمار آبیاری شامل ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت‌زراعی بر صفات فیزیولوژیک و فعالیت آنتی‌اکسیدانی بومادران بیابانی[2] نتیجه گرفتند که افزایش شدت تنش، به‌طور معنی‌داری میزان ترکیبات فنولیک و فعالیت آنتی‌اکسیدانی را افزایش داد. میزان پرولین و مالون‌دی‌آلدئید نیز، با افزایش شدت تنش، افزایش یافتند. در تحقیق دیگری که بر روی گیاه شنبلیله[3] انجام گرفت، گزارش شد که اعمال تنش‌خشکی، باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی ریشه و برگ گیاه، به‌غیر از آنزیم آسکوربات‌پراکسیداز شد (Niakan & Zangane, 2014).

کاهش میزان آبیاری روزانه گیاه استویا[4] (۴۰۰، ۳۰۰، ۲۰۰ و ۱۰۰ میلی‌لیتر به‌ازای هر گیاه در روز)، موجب افزایش هدایت الکتریکی و نیز افزایش فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز شد (Srivastava & Srivastava, 2014). در این مطالعه تغییرات فیزیولوژیک اکوتیپ‌های مختلف آویشن دنایی، در شرایط با تنش کم‌آبی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

برای انجام این تحقیق، بذور هشت اکوتیپ آویشن دنایی، از استان‌های مرکزی، همدان و لرستان جمع‌آوری گردید؛ که خصوصیات جغرافیایی مناطق جمع‌آوری بذور، در جدول ۱ آمده است.

برای تولید نشاء، بذور جمع‌آوری‌شده در گلخانه واقع در پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، در محیط کشت حاوی ۵۰ درصد ماسه بادی و ۵۰ درصد پیت کاشته شدند. دمای متوسط روزانه و شبانه گلخانه، به‌ترتیب ۲۴ و ۱۵ درجه سلسیوس بود. آبیاری نشاها به‌طور خودکار، هر روز صبح به‌مدت چهار دقیقه، انجام شد. پس از گذشت حدود چهار ماه، نشاها آماده انتقال به زمین اصلی بودند. نشاها پس از ۱۰ روز مقاوم‌سازی (کاهش آبیاری و قرار دادن آن‌ها در بیرون گلخانه)، در اوایل اردیبهشت، به مزرعه‌ای که از قبل آماده شده بود، انتقال داده شدند. طرح آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده، در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در نظر گرفته شد. سطوح مختلف آبیاری شامل آبیاری نرمال (آبیاری منظم هر هفته یک‌بار تا زمان گلدهی کامل یا همان زمان برداشت)، قطع آبیاری در مرحله اوایل گلدهی و تیمار قطع آبیاری در مرحله رویشی (زمانی که ارتفاع گیاهان به حدود هشت الی ۱۲ سانتی‌متر رسید؛ یا به‌عبارتی در مرحله ۲۴ برگی بودند)، به‌عنوان عامل اصلی در نظر گرفته شد و اکوتیپ‌های آویشن دنایی نیز به‌عنوان سطوح عامل فرعی در نظر گرفته شدند. فاصله بین بوته‌ها روی ردیف و نیز بین ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر، فاصله بین کرت‌ها (فاصله بین تیمارها) یک متر و فاصله بین بلوک‌ها (تکرارها) حدود سه متر در نظر گرفته شد.

به‌منظور اندازه‌گیری رنگیزه‌ها و میزان فعالیت آنزیمی، در مرحله گلدهی، از برگ گیاهان نمونه‌برداری انجام شد و نمونه‌ها تا زمان اندازه‌گیری صفات موردنظر، در فریزر (۷۰- درجه سلسیوس) نگهداری شدند. از روش Smith & Benitez (1955) برای اندازه‌گیری میزان کلروفیل و کاروتن‌ها، Bates et al. (1973) برای اندازه‌گیری پرولین، Aebi (1984) برای اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم کاتالاز، Pagiha & Valentine (1987) برای اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم گلوتاتیون‌پراکسیداز، Manoranjan & Bandhu Mishra (1976) برای اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز، و از روش Boominathan & Doran (2002) برای اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم آسکوربات‌پراکسیداز استفاده شد.

1. *Melissa officinalis* L.
2. *Achillea tenuifolia* Lam.
3. *Trigonella foenum graceum* L.
4. *Stevia rebaudiana*

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱. خصوصیات جغرافیایی مناطق جمع‌آوری بذر

Table 1. Geographical characteristics of seed collection regions

Province	Region of collection plant seeds	Altitude	Latitude	Longitude
Hamedan	Malayer 1	1844	34° 15' 00"	48° 35' 59"
	Malayer 2	1891	34° 14' 49"	48° 35' 30"
	Jowzan	1843	34° 15' 05"	48° 58' 25"
Markazi	Arak	2032	33° 59' 35"	49° 32' 56"
	Khane mirane bala	2865	33° 59' 04"	49° 34' 04"
	Khane mirane paien	2250	34° 59' 14"	49° 34' 05"
	Shazand	1979	33° 54' 14"	49° 23' 48"
Lorestan	Zaghe	1825	33° 45' 03"	49° 01' 06"

به‌منظور اندازه‌گیری درصد اسانس و میزان ماده‌خشک، گیاهان در مرحله گلدهی کامل برداشت شده و پس از خشک‌شدن، در آزمایشگاه، توزین و وزن‌خشک آن‌ها به‌دست آمد. اسانس‌گیری نمونه‌ها با روش تقطیر با آب، به کمک دستگاه کلونجر، به مدت ۳ ساعت انجام گرفت. آب‌گیری اسانس‌ها نیز به‌کمک سولفات‌سدیم خشک انجام شد و درصد حجمی/ وزنی اسانس محاسبه گردید. تجزیه آماری داده‌ها بر اساس طرح آزمایشی مربوط و مقایسه میانگین صفات، به روش دانکن در سطح ۵ درصد به کمک نرم‌افزار SPSS v. 21 انجام گرفت.

نتایج و بحث

اسانس و عملکرد ماده‌خشک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تنش خشکی، اثر معنی‌داری بر درصد اسانس و ماده‌خشک نداشت؛ ولی بین اکوتیپ‌ها از نظر این دو صفت اختلاف معنی‌داری مشاهده گردید. اثر متقابل تنش و اکوتیپ نیز هم در مورد درصد اسانس و هم در رابطه با عملکرد ماده‌خشک معنی‌دار بود و اکوتیپ‌های مختلف در تیمارهای مختلف آبی، عملکردهای متفاوتی از لحاظ اسانس و ماده‌خشک داشتند (جدول ۲). مقایسه میانگین عملکرد ماده‌خشک اکوتیپ‌ها نشان داد که کمترین عملکرد ماده‌خشک مربوط به اکوتیپ شازند، در قطع آبیاری در مرحله رویشی (۱/۵ گرم به‌ازای تک بوته) و قطع آبیاری در مرحله زایشی (۰/۷۷ گرم به‌ازای تک بوته) بود و بیشترین عملکرد ماده‌خشک (۱۷/۲۷ گرم به‌ازای تک بوته) در اکوتیپ خانه میران بالا، تحت آبیاری نرمال مشاهده گردید. در رابطه با درصد اسانس، کمترین مقدار مربوط به اکوتیپ‌های زاغه (۳/۸ درصد) و جوزان (۳/۹ درصد)، به‌ترتیب در آبیاری نرمال و قطع آبیاری در مرحله رویشی بود و بیشترین درصد اسانس (۶/۲ درصد) در اکوتیپ ملایر ۲، تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله رویشی مشاهده گردید (جدول ۳). در گیاه آویشن باغی[1]، تنش کم‌آبی موجب کاهش عملکرد ماده‌خشک گردید (Pazaki *et al.*, 2012; Babaee *et al.*, 2010). همچنین در گیاه آویشن گونه *Thymus vulgaris*، با افزایش شدت تنش کم‌آبی، گیاه دچار کاهش وزن‌خشک شد (Janssen *et al.*, 1987). کاهش آب، موجب کاهش تورژسانس سلولی شده و در ادامه، کاهش رشد و توسعه سلول را به‌دنبال خواهد داشت؛ که همین امر موجب محدودشدن رشد اندام‌های گیاه می‌گردد؛ که اولین اثر محسوس آن، کاهش ارتفاع گیاه و سپس کاهش وزن خشک گیاه است (Babaee *et al.*, 2010). کاهش ارتفاع گیاه در اثر تنش آبی توسط Alkire *et al.* (1993) در نعناع، Farooqi *et al.* (1999) در گیاه *Cymbopogon*، Eman *et al.* (2008) در آویشن باغی، Baghalian *et al.* (2011) در بابونه گزارش شده است.

کلروفیل، کاروتن‌ها و پرولین

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تیمارهای مختلف آبیاری، تأثیر معنی‌داری روی میزان کلروفیل b، مجموع کلروفیل‌های a و b و کاروتن‌ها داشت؛ ولی بر میزان کلروفیل a و میزان پرولین تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۲).

1. *Thymus vulgaris*

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲. تجزیه واریانس کلروفیل، کاروتن‌ها، پرولین، اسانس و عملکرد ماده‌خشک در اکوتیپ‌های مختلف آویشن دنایی در سطوح مختلف آبی

Table 2. Variance analysis of chlorophyll, carotenes, proline, essential oil and dry matter yield in different *Thymus daenensis* susp. *daenensis* ecotypes at different water levels

Source of variation	d.f.	Mean of square							
		Chlorophyll a	Chlorophyll b	Chlorophyll a+b	Carotenes	Proline	Essential oil (%)	Dry matter	Essential oil yield
Repeat	2	1.39**	0.118*	2.1*	12.35*	20.37^{ns}	0.013^{ns}	0.465^{ns}	0.626^{ns}
Stress	2	0.383^{ns}	0.128*	0.916*	18.26*	461.79^{ns}	0.005^{ns}	2.879^{ns}	3.08^{ns}
Repeat×Stress	4	0.079^{ns}	0.012^{ns}	0.127^{ns}	1.241^{ns}	122.292^{ns}	0.01^{ns}	1.12**	1.12**
Ecotype	7	0.768**	0.092^{ns}	1.31**	12.85^{ns}	1951.3**	0.045*	3.22**	3.4**
Ecotype × Stress	14	0.71**	0.143**	1.46**	20.26*	899.7**	0.054**	0.536*	0.506*
Error	42	0.183^{ns}	0.05^{ns}	0.398^{ns}	8.43^{ns}	340.9^{ns}	0.018^{ns}	0.214^{ns}	0.252^{ns}
C.V. (%)	-	17.5	16.9	16.7	14.2	29.6	8.78	25.2	18.26

**، * و ns: وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و نبود اختلاف معنی‌دار.

**,*, ns: Significant at the 1% and 5% levels of probability and non-significant, respectively.

جدول ۳. مقایسه میانگین عملکرد ماده‌خشک و اسانس اکوتیپ‌های مختلف آویشن دنایی در سطوح مختلف آبی

Table 3. Mean comparison of dry matter yield and essential oil of different *Thymus daenensis* susp. *daenensis* ecotypes in different water levels

Stress	Ecotype	Essential oil yield (ml)	Essential oil (%)	Dry matter (gr)
Normal irrigation	Malayer 1	0.46 bcde	4.35 ab	10.51 cdef
	Malayer 2	0.39 bcde	5.85 de	6.68 bcdef
	Jovzan	0.43 bcde	4.65abcd	9.21cdef
	Arak	0.58 cde	4.13 ab	13.68 def
	Khane mirane bala	0.73 e	4.1ab	17. 27 f
	Khane mirane paien	0.52 cde	5.33 bcde	9.65 cdef
	Zaghe	0.54 bcde	3.8 a	14.03 ef
	Shazand	0.24 bcde	5.3 bcde	4.6 bc
Stop irrigation at the start of flowering	Malayer 1	0.27 bcd	4.55 abcd	6.07 bcd
	Malayer 2	0.4 bcde	4.35 ab	9.43 cdef
	Jovzan	0.28 bcde	4.65 abcd	5.93bcde
	Arak	0.93 de	4.97 abcde	17.3 def
	Khane mirane bala	0.39 bcde	4.7 abcd	8.63 bcdef
	Khane mirane paien	0.57 de	4.6 abcd	12.56 def
	Zaghe	0.21 bc	5.85 cde	3.68 b
	Shazand	0.03 a	4.1 ab	0.77 a
Stop irrigation at the vegetative stage	Malayer 1	0.26 bcd	4.5 abc	5.71 bcd
	Malayer 2	0.18 b	6.2 e	3.01 b
	Jovzan	0.22 bc	3.9 a	5.49 bcde
	Arak	0.52 bcde	4.43 ab	11.95 cdef
	Khane mirane bala	0.48 bcde	4.6 abcd	10.52 cdef
	Khane mirane paien	0.26 bcd	4.7 abcd	5.63 bc
	Zaghe	0.3 bcde	4.3 ab	7.18 bcdef
	Shazand	0.06 a	4.1 ab	1.5 a

بین اکوتیپ‌ها، از نظر میزان کلروفیل a، کلروفیل کل و پرولین، تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. همچنین اثر متقابل تنش در اکوتیپ، برای تمامی رنگیزه‌های فتوسنتزی و نیز پرولین معنی‌دار بود. به‌عبارت دیگر، اکوتیپ‌های مختلف در سطوح مختلف آبیاری، واکنش‌های متفاوتی نشان دادند و روند تغییرات مقادیر این ترکیبات در اکوتیپ‌های مختلف، متفاوت بود. مقادیر کلروفیل‌های a و b، در برخی اکوتیپ‌ها با افزایش شدت تنش، افزایش و در برخی اکوتیپ‌ها روند کاهشی داشت. بیشترین مقدار کلروفیل‌های a و b در اکوتیپ جوزان، در شرایط تنش قطع آبیاری در مرحله گلدهی و کمترین مقدار آن در اکوتیپ شازند و با آبیاری نرمال دیده شد (شکل ۱). در مورد کاروتن‌ها نیز، روند تغییرات منظم نبوده و در اکوتیپ‌های مختلف نتایج متفاوتی به‌دست آمد. بیشترین مقدار کاروتن‌ها در شرایط تنش قطع آبیاری در مرحله گلدهی در اکوتیپ شازند و کمترین مقدار در اکوتیپ زاغه در شرایط قطع آبیاری در مرحله رویشی مشاهده گردید (شکل ۲). پرولین نیز مانند سایر ترکیبات ذکر شده، تغییرات متفاوتی در شرایط تنشی مختلف و اکوتیپ‌های مختلف داشت، به‌طوری‌که بیشترین مقدار آن در اکوتیپ اراک و شرایط تنش قطع آبیاری در

Archive of SID

www.SID.ir

مراحل گلدهی و رویشی و کمترین میزان آن در اکوتیپ زاغه در شرایط قطع آبیاری در مرحله رویشی دیده شد (شکل ۳). Inotai (2013) با بررسی سه سطح تنش کم‌آبی (۷۰، ۵۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی)، روی دو گیاه دارویی مرزه[1] و ریحان[2] نشان داد که با کاهش میزان رطوبت خاک، میزان پرولین در هر دو گیاه افزایش پیدا کرد. Golami *et al.* (2013) تأثیر ۴ سطح تیمار آبی (۱۰۰، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت‌زراعی) را در گیاه ریحان مورد بررسی قرار دادند و گزارش کردند که با افزایش شدت تنش، میزان کلروفیل، به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. کاهش محتوی کلروفیل در اثر تنش کم‌آبی در مطالعات دیگری مانند پنبه (Massacci *et al.*, 2008)، پروانش (Jaleel *et al.*, 2008)، آفتابگردان (Kiani *et al.*, 2008) و بلوبری سیاه (Tahkokorpi *et al.*, 2007) گزارش شده است. افزایش سنتز کاروتن‌ها، یکی از مکانیسم‌های غیرآنزیمی گیاهان، در مقابله با تنش‌ها است، ولی چنانچه شدت تنش خیلی زیاد باشد، ممکن است سنتز این ترکیبات را مختل کرده و موجب کاهش میزان تولید آن‌ها گردد (Farooq *et al.*, 2009; Prochazkova *et al.*, 2001). گزارش‌ها در مورد افزایش سنتز کاروتن‌ها تحت شرایط کم‌آبی، بسیار کم است ولی در رابطه با کاهش سنتز این ترکیبات در اثر شرایط تنش کم‌آبی گزارش‌ها زیادی وجود دارد (Havaux, 1998; Kiani *et al.*, 2008; Niyogi, 1999; Reddy *et al.*, 2004).

تغییرات فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، گلوتاتیون-پراکسیداز، آسکوربات‌پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز

نتایج نشان داد که از بین آنزیم‌های اندازه‌گیری‌شده، تنها فعالیت آنزیم گلوتاتیون‌پراکسیداز، به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تنش قرار گرفت. تأثیر اکوتیپ بر فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و آسکوربات‌پراکسیداز معنی‌دار بود، ولی تأثیر معنی‌داری بر فعالیت آنزیم‌های گلوتاتیون‌پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز نداشت. اثر متقابل تنش در اکوتیپ به‌جز آنزیم آسکوربات‌پراکسیداز، در سایر آنزیم‌ها دارای اثر معنی‌دار بود. به‌عبارت دیگر، واکنش اکوتیپ‌ها از نظر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مذکور در شرایط آبی مختلف، متفاوت بود (جدول ۴). Hasani (2003) گزارش نمود که تنش آبی، تأثیر معنی‌داری بر فعالیت آنزیم‌های گیاه دارویی ریحان داشت. روند تغییرات فعالیت آنزیم‌ها در شرایط تنش مختلف، روند منظمی نداشت و بسته به شدت تنش و نوع اکوتیپ، روند تغییرات متفاوت بود. تحقیقات نشان داده که عکس‌العمل گیاهان به تنش خشکی، بسته به مرحله رشدی اعمال تنش، متفاوت است (Casper *et al.*, 2006).

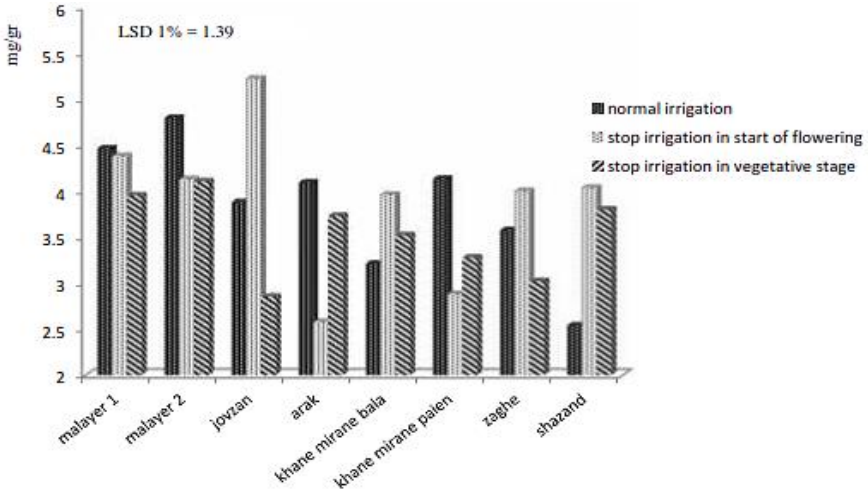
آنزیم کاتالاز، بیشترین و کمترین فعالیت را در تنش قطع آبیاری در مرحله گلدهی، به‌ترتیب در اکوتیپ‌های زاغه و اراک نشان داد. آنزیم گلوتاتیون‌پراکسیداز نیز در برخی اکوتیپ‌ها، با افزایش شدت تنش، کاهش فعالیت، و در برخی افزایش فعالیت را نشان داد. بیشترین میزان فعالیت این آنزیم، در اکوتیپ شازند، در شرایط آبیاری نرمال و کمترین میزان فعالیت آن، در اکوتیپ زاغه، در شرایط قطع آبیاری در مرحله گلدهی مشاهده شد (شکل ۴). تحقیقات Aman (2004) روی آفتابگردان، Saie (2004) روی سورگوم علوفه‌ای و Shafei (2005) روی سویا، نشان‌دهنده افزایش فعالیت آنزیم گلوتاتیون‌پراکسیداز تحت شرایط تنش خشکی است. در تحقیقی که Habibi *et al.* (2012) روی چغندرقند انجام داده‌اند، مشاهده شد که میزان فعالیت این آنزیم با افزایش شدت تنش، افزایش یافت.

آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز بیشترین فعالیت را در شرایط قطع آبیاری، در مرحله گلدهی، در اکوتیپ اراک و کمترین فعالیتش را در اکوتیپ شازند در شرایط آبیاری نرمال، داشت. فعالیت آنزیم آسکوربات‌پراکسیداز نیز همانند سایر آنزیم‌ها، نوسانات زیادی داشت و بسته به اکوتیپ و شدت تنش، روند تغییرات آن متفاوت بود. بیشترین میانگین فعالیت آنزیم آسکوربات‌پراکسیداز، در اکوتیپ خانه میران بالا و کمترین میزان فعالیت آن، در اکوتیپ زاغه دیده شد (شکل ۴).

1. *Satureja hortensis* L.
2. *Ocimum basilicum*

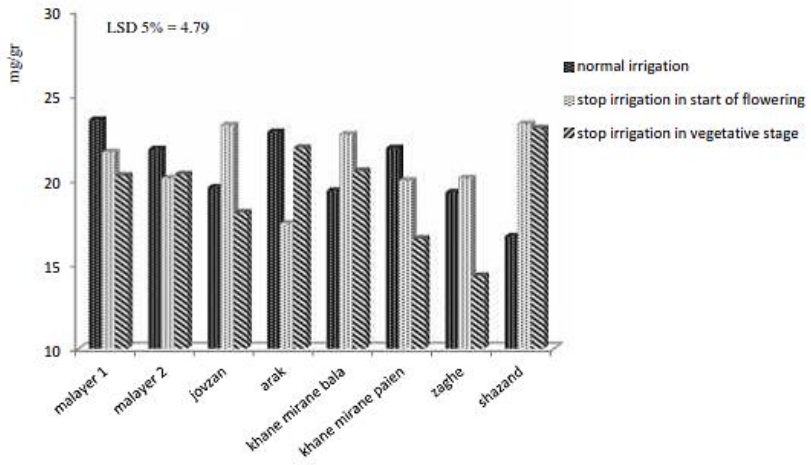
Archive of SID

www.SID.ir



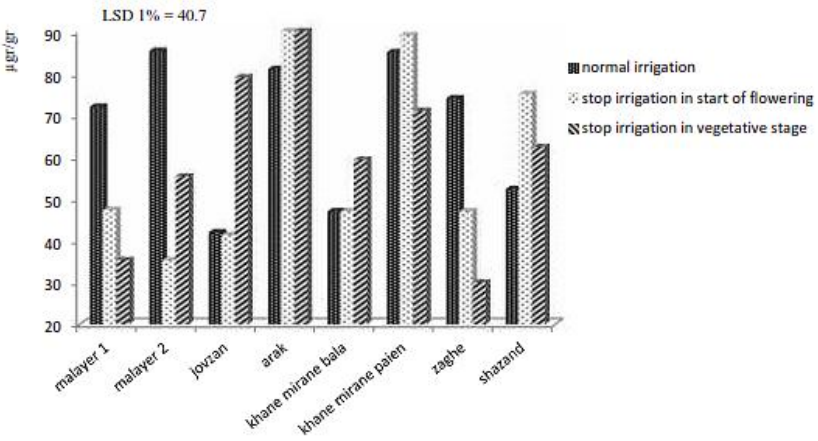
شکل ۱. میانگین کلروفیل کل در اکوتیپ‌های مختلف آویشن دنایی تحت تیمارهای مختلف آبیاری

Figure 1. Mean of total chlorophyll in different *Thymus daenensis* susp. *daenensis* ecotypes under different irrigation treatments



شکل ۲. تغییرات کاروتن‌ها در اکوتیپ‌های مختلف آویشن دنایی تحت تیمارهای مختلف آبیاری

Figure 2. Carotenes variation in different *Thymus daenensis* susp. *daenensis* ecotypes under different irrigation treatments



شکل ۳. تغییرات پرولین در اکوتیپ‌های مختلف آویشن دنایی تحت تیمارهای مختلف آبیاری

Figure 3. Proline variation in different *Thymus daenensis* susp. *daenensis* ecotypes under different irrigation treatments

www.SID.ir

اعمال تنش کم‌آبی (نرمال، ۲۵درصد ظرفیت‌زراعی (تنش ملایم) و ۱۵ درصد ظرفیت‌زراعی (تنش شدید) در گیاه دارویی شنبلیله، موجب گردید که فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پلی‌فنل‌اکسیداز، با شدیدتر شدن تنش، افزایش یابد؛ ولی فعالیت آنزیم آسکوربات‌پراکسیداز، با شدیدتر شدن تنش، کاهش پیدا کند (Niakan & Zangane, 2014). کاهش پتانسیل آبی از ۰ تا ۳- بار، فعالیت آنزیم کاتالاز در گیاه زردچوبه را افزایش داد؛ ولی با کاهش شدیدتر پتانسیل آبی از ۳- تا ۹- بار، میزان فعالیت این آنزیم کاهش نشان داد (Zamani *et al.*, 2012). همچنین آن‌ها در این مطالعه نشان دادند که میزان فعالیت آنزیم آسکوربات‌پراکسیداز از پتانسیل آبی ۰ تا ۶- بار، افزایش و بعد از آن کاهش یافت. گزارش‌ها دیگری نیز مبنی برافزایش فعالیت آنزیم کاتالاز، تحت شرایط تنش خشکی وجود دارد (Jiang & Huang, 2001; Shehab *et al.*, 2010)؛ و گزارش‌هایی نیز مبنی بر کاهش فعالیت این آنزیم، تحت شرایط تنش خشکی وجود دارد (Jose & Gomez, 1999). آنزیم‌های مختلفی در افزایش تحمل گیاه به شرایط تنش، نقش ایفا می‌کنند که بسته به نوع گیاه، نوع تنش، شدت تنش و زمان اعمال تنش، نوع آنزیم نیز می‌تواند متفاوت باشد (Habibi *et al.*, 2012; Zamani *et al.*, 2012).

همبستگی بین صفات

نتایج همبستگی نشان داد که بین هیچ‌کدام از رنگیزه‌های فتوسنتزی و پرولین، با ماده‌خشک و اسانس، همبستگی معنی‌داری وجود ندارد. همچنین بین فعالیت آنزیم‌ها با میزان کلروفیل، کاروتن‌ها و پرولین، همبستگی معنی‌داری دیده نشد. تنها بین میزان کلروفیل با کاروتن‌ها، همبستگی مثبت معنی‌دار مشاهده گردید. همبستگی فعالیت آنزیم‌ها با ماده‌خشک، اسانس و شدت تنش نشان داد که فعالیت آنزیم گلوتاتیون-پراکسیداز با اعمال تنش، به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و از طرفی دیگر، فعالیت آنزیم آسکوربات‌پراکسیداز با اعمال تنش، به‌طور معنی‌داری افزایش نشان داد. همبستگی منفی و معنی‌داری بین فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پلی‌فنل‌اکسیداز مشاهده شد. همچنین بین ماده‌خشک و فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز، ارتباط مثبت و معنی‌داری بود (جدول ۵). بین فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و گلوتاتیون‌پراکسیداز با عملکرد قند و عملکرد ریشه چغندرقند، همبستگی منفی وجود داشت که بیانگر این نکته است که گیاه در شرایط تنش، هر چند که با اعمال یک‌سری تدابیر، سعی در تحمل آن شرایط را دارد ولی تا حدودی دچار افت عملکرد نیز می‌گردد (Habibi *et al.*, 2012).

جدول ۴. آنالیز واریانس آنزیم‌ها تحت تیمارهای مختلف آبیاری

Table 4. Variance analysis of enzymes under different irrigation treatments

Source of variation	d.f.	Mean of square			
		Catalase	Ascorbate peroxidase	Glutathione peroxidase	Polyphenol oxidase
Replication	2	0.48^{ns}	0.009^{ns}	0.307^{ns}	0.064^{ns}
Stress	2	0.313^{ns}	1.51^{ns}	1.02**	0.271^{ns}
Replication × Stress	4	0.147^{ns}	0.26^{ns}	0.057^{ns}	0.054^{ns}
Ecotype	7	0.574**	0.924**	0.496^{ns}	0.221^{ns}
Ecotype × Stress	14	0.515**	0.328^{ns}	0.704**	0.303**
Error	42	0.163^{ns}	0.238^{ns}	0.233^{ns}	0.1^{ns}
C.V. (%)	-	25.9	25.8	14.4	16.6

**، * و ns: وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و نبود اختلاف معنی‌دار.

**,*, ns: Significant at the 1% and 5% levels of probability and non-significant, respectively.

جدول ۵. همبستگی بین کلروفیل، کاروتن، پرولین، فعالیت آنزیم‌های اندازه‌گیری‌شده، ماده‌خشک، اسانس و تنش کم‌آبی

Table 5. Correlation between chlorophyll, carotene, proline, enzyme activities, dry matter, essential oil and water deficit

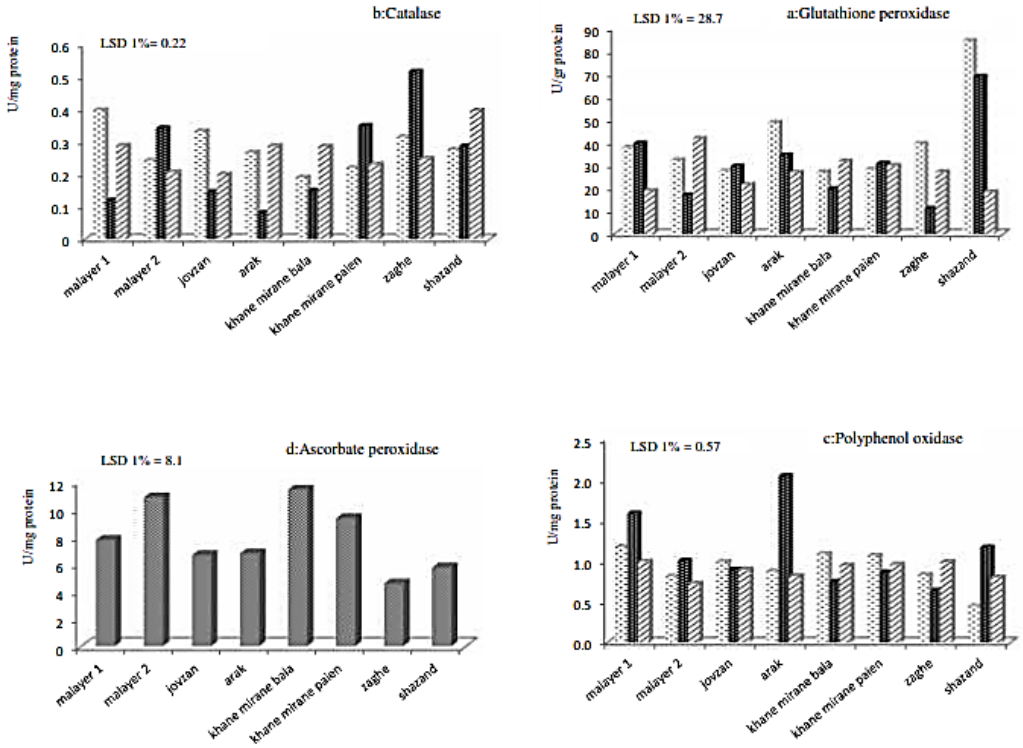
	Water stress	Chlorophyll a and b	Carotenes	Proline	Catalase	Glutathione peroxidase	Ascorbate peroxidase	Polyphenol oxidase	Essential oil
Chlorophyll a and b	- 0.145ns								
Carotenes	- 0.153ns	0.643 **							
Proline	- 0.111ns	- 0.183ns	0.012ns						
Catalase	0.039ns	0.140ns	0.163ns	- 0.044ns					
Glutathione peroxidase	- 0.296 *	- 0.220ns	0.018ns	0.151ns	- 0.072ns				
Ascorbate peroxidase	0.340 **	0.004ns	0.038ns	0.032ns	- 0.041ns	- 0.146ns			
Polyphenol oxidase	- 0.023ns	- 0.139ns	- 0.048ns	0.031ns	- 0.321 **	- 0.042ns	- 0.085ns		
Essential oil	- 0.049ns	0.154ns	0.032ns	0.033ns	- 0.021ns	0.010ns	0.100ns	- 0.156ns	
Dry matter	- 0.286 *	- 0.087ns	- 0.037ns	0.097ns	- 0.057ns	- 0.055ns	- 0.067ns	0.239 *	- 0.096ns

**، * و ns: وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و نبود اختلاف معنی‌دار.

**,*, ns: Significant at the 1% and 5% levels of probability and non-significant, respectively.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۴. تغییرات فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، گلوتاتیون‌پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز تحت تیمارهای مختلف آبیاری: ☐ آبیاری نرمال، ■ تنش قطع آبیاری در مرحله گلدهی، ▨ تنش قطع آبیاری در مرحله رویشی (*a*، *b* و *c*) و مقایسه میانگین فعالیت آنزیم آسکوربات‌پراکسیداز در اکوتیپ‌های مختلف آویشن دنایی (*d*)

Figure 4. Enzymes activity variation of catalase, glutathione peroxidase and polyphenol oxidase under different irrigation treatments: ☐ Normal irrigation, ■ stop irrigation at the start of flowering stage ▨ stop irrigation at the vegetative stage (a, b, c) and mean comparison activity of ascorbate peroxidase in different *Thymus daenensis* susp. *daenensis* ecotypes (d)

نتیجه‌گیری کلی

اکوتیپ‌های آویشن دنایی مورد مطالعه، از لحاظ میزان ماده‌خشک و درصد اسانس، تفاوت‌های قابل‌توجهی با هم داشتند و عکس‌العمل آن‌ها به تنش کم‌آبی، بسیار متغیر و متفاوت بود. تغییرات مقادیر کلروفیل، کاروتن، پرولین و میزان فعالیت آنزیم‌های اندازه‌گیری‌شده، بسته به سطح تنش و نوع اکوتیپ، بسیار متفاوت بود. افزایش شدت تنش در برخی اکوتیپ‌ها، موجب افزایش و در برخی دیگر، موجب کاهش این صفت‌ها گردید. اثر متقابل تنش و اکوتیپ در مورد همه این صفات (به‌جز آنزیم آسکوربات‌پراکسیداز) معنی‌دار بود. بین درصد اسانس و ماده‌خشک با کلروفیل، کاروتن، پرولین و میزان فعالیت آنزیم‌های اندازه‌گیری‌شده، همبستگی معنی‌داری مشاهده نشد. تنها بین میزان ماده‌خشک و فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز، همبستگی مثبت مشاهده گردید. به‌طورکلی، نوع واکنش اکوتیپ‌ها، بسته به سطوح مختلف تنش، متفاوت بود و هر اکوتیپ با تغییر در یک یا چند خصوصیت عملکردی، فیتوشیمیایی و فیزیولوژیک خود، به شرایط تنشی اعمال‌شده واکنش نشان داد. در مجموع مشاهده گردید که آویشن دنایی، گیاهی بسیار مقاوم به تنش کم‌آبی بود؛ و نیز تنوع بسیار بالایی بین اکوتیپ‌های آویشن دنایی، از این نظر وجود داشت؛ که همین امر می‌تواند به انتخاب برترین اکوتیپ، برای کشت در شرایط کم‌آبی کمک نماید. در بین اکوتیپ‌های مطالعه‌شده، اکوتیپ خانه میران بالا در شرایط آبیاری نرمال و اکوتیپ اراک در شرایط قطع آبیاری در مراحل گلدهی و رویشی، دارای بیشترین عملکرد اسانس بودند و بنابراین این دو اکوتیپ برای انجام مطالعات بعدی پیشنهاد می‌گردند.

سپاسگزاری

از آقایان دکتر فواد فاتحی و مهندس خسرو مفاخری که در انجام این تحقیق کمک‌های زیادی داشتند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

Archive of SID
www.SID.ir

REFERENCES

1. Abbaszadeh, B., Sharifi Ashoorabadi, E., Ardakani, M. R. & Aliabadi, F. H. (2008). Effect of drought stress on quantitative and qualitative essential oil of mint. *Abstracts Book of 5th International Crop Science Congress & Exhibition*, Korea, p: 23.
2. Abbaszadeh, B., Sharifi Ashoorabadi, E., Lebaschi, M., Bagherkandi, M. & Moghadami, F. (2007). Effect of drought stress on proline, soluble carbohydrates, chlorophyll and relative water content of *Melissa officinalis* L. *Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 23(4), 504-513. (in Farsi)
3. Aebi, H. (1984). Catalase In: L. Packer (Ed), methods in enzymology. *Academic press, Orlando*, 105, 121-126.
4. Aghdassi, E. and Johane, P. (2000). Breathe alkanes as a marker of oxidative stress in difference clinical conditions. *Free Radical Biology Medicine Society*, 28, 880-886.
5. Alkire, B. H., Simon, J. E., Palevtich, D. & Putievsky, E. (1993). Water management for Midwestern peppermint (*Mentha piperita* L.) growing in highly organic soils, Indiana, USA. *Acta Horticulturae*, 344, 544-556.
6. Aman, A. (2004). *Effect of drought stress on yield, yield components and some of physiological traits in different genotypes of Sunflower.* M.Sc. thesis. Collage of Agriculture. Azad University of Karaj. (in Farsi)
7. Asada, R. (1992). Ascorbate peroxidase, hydrogen peroxide, scavenging enzyme in plants. *Physiol Plant Journal*, 85, 235-241.
8. Babaee, K., Dehaghi, M.A., Sanavi, A. & Jabbari, R. (2010). Water deficit effect on morphology, prolin content and thymol percentage of Thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 2(26), 239-251. (in Farsi)
9. Baghalian, K., Abdoshah, Sh., Khalighi-Sigaroodi, F. & Paknejad, F. (2011). Physiological and phytochemical response to drought stress of German chamomile (*Matricaria recutita* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*, 49, 201-207.
10. Barazandeh, M. & Bagherzadeh, K. (2007). Evaluation of essential oil chemical components of *Thymus daenensis* Celak. collected from four regions in Esfahan province. *Journal of Medicinal Plants*, 6 (3), 15-19. (in Farsi)
11. Bates, I. S., Waldern, R. P. & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress. *Plant and Soil*, 39, 205-207.
12. Boominathan, R. & Doran, P. M. (2002). Indused oxidative stress in roots of the hyperaccumulator, *Alyssum bertolonii*. *Newphytologist*, 156, 205-215.
13. Casper, B. B., Forseth, I. N. & Wait, D. A. (2006). A stage-based study of drought response in *Cryptantha flava* (Boraginaceae): gas exchange, water use efficiency, and whole plant performance. *American Journal of Botany*, 93(7), 977-987.
14. Diaz, M. N. B., Frei, J., Vita, A. & Keaney, J. K. (1997). Antioxidants and atherosclerotic heart disease. *The New England Journal of Medicine*, 337, 408-416.
15. Eman, E., Aziz, S. T., Hendavwi, E. & Omer, E. A. (2008). Effect of soil type and irrigation interval on plant growth, essential oil yield and constituents of *Thymus vulgaris* plant. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 4(4), 443-450.
16. Esterbauer. H., Grebicki, J., Puhl, H. & Jugens, G. (1992). The role of lipid peroxidation and antioxidants in oxidation modification of LDL. *Free Radical Biology and Medicine*, 100, 34-90.
17. Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D. & Basra, S. M. A. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*, 29, 185-212.
18. Farooqi, A. H. A., Fatima, S., Ansari, S. R. & Sharma, S. (1999). Effect of water stress on growth and essential oil metabolism in *Cymbopogon martini* (plamerosa) cultivars. *Journal of Essential Oil Research*, 11, 491496.
19. Gharibi, Sh., Tabatabaiee, B. A., Saiedi, Gh., Goli, S. A. H. & Talebi, M. (2012). Effect of drought stress on some of physiological traits and antioxidant activity of *Achillea tenuifolia* Lam. *Journal of Medicinal Plants*, 3(3), 181-190. (in Farsi)
20. Gholami, H., Farhadi, R., Rahimi, M., Zeinalikharaji, A. & Askari, A. (2013). Effect of growth hormones on physiology characteristics and essential oil of Basil under drought stress condition. *Journal of American Science*, 9 (1), 61-63.
21. Habibi, D., Uroujniya, S., Fathollataleghani, D., Pazaki, E. & Davoodi Fard, M. (2012). Antioxidants and yield evaluation of sugar beet genotypes under drought stress. *Journal of Agronomy and Plant Breeding*, 8(4), 63-82. (in Farsi)
22. Hasani, A. (2003). *Effects of drought and salinity stress on some of morphological and physiological characteristics in Basil (cv. Kashkani lolo).* Ph.D. thesis. University of Tarbiat Modares, Tehran, Iran. (in Farsi)

Archive of SID

www.SID.ir

23. Havaux, M. (1998). Carotenoids as membrane stabilizers in chloroplasts. *Trends in Plant Science*, 3, 147-151.
24. Hussein, H. S., El Sherbeny, S. E., Hendawy, S. F., Gohary, A. E & Ghazal, G. M. E. M. (2014). Response of *Mentha longifolia* to water irrigation intervals and/or Mepiquat Chloride treatments. *Journal of Materials and Environmental Science*, 5 (4), 995-1004.
25. Inotai, K. (2013). *The effect of water deficit on some stress parameters of Ocimum basilicum L. and Satureja hortensis L.* Ph.D. thesis. School of Horticultural Sciences, University of Budapest.
26. Jaleel, C. A., Gopi, R., Sankar, B., Gomathinayagam, M. & Panneerselvam, R. (2008). Differential responses in water use efficiency in two varieties of *Catharanthus roseus* under drought stress. *Comptes Rendus Biologies*, 331, 42-47.
27. Jamzad, Z. (2010). *Thymes and savorys of Iran*. Research Institute of Forests and Rangelands. (in Farsi)
28. Janssen, A. M., Scheffer, J. J. C. & Baerheim Svendsen, A. (1987). Antimicrobial activity of essential oils. A 1976-1986 literature review on possible applications. *Pharmacy World and Science*, 9 (4), 193-197.
29. Jiang, Y. & Huang, N. (2001). Drought and heat stress injury to two cool season turfgrasses in relation to antioxidant metabolism and lipid peroxidation. *Crop Science*, 41, 436-442.
30. Jose, M. & Gomez, M. E. (1999). Antioxidant Enzymes and Human Disease. *ChemBioChem Journal*, 32(8), 595-603.
31. Kiani, S.P., Maury, P., Sarrafi, A. & Grieu, P. (2008). QTL analysis of chlorophyll fluorescence parameters in sunflower (*Helianthus annuus* L.) under well-watered and water-stressed conditions. *Plant Science*, 175, 565-573.
32. Manoranjan, K. & Bandhu-Mishra, D. (1976). Catalase, peroxidase and poly phenol oxidase activities during rice leaf senescence. *Plant Biochemistry*, 57, 315-319.
33. Massacci, A., Nabiev, S.M., Pietrosanti, L., Nematov, S. K., Chernikova, T. N., Thor, K. & Leipner, J. (2008). Response of the photosynthetic apparatus of cotton (*Gossypium hirsutum*) to the onset of drought stress under field conditions studied by gas-exchange analysis and chlorophyll fluorescence imaging. *Plant Physiology and Biochemistry*, 46, 189-195.
34. Mittler, R. (2002). Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Science*, 7,405-410.
35. Nayyar, H. & Gupta, D. (2006). Differential sensitivity of C3 and C4 plants to water deficit stress: Association with oxidative stress and antioxidants. *Environmental and Experimental Botany*, 58, 106-113.
36. Niakan, M. & Zangane, A. (2014). Effect of drought stress and Salicylic acid on antioxidant enzymes activity in *Trigonella foenum-graecum*. *Journal of Plant Ecology Research*, 9(1), 38-45. (in Farsi)
37. Niyogi, K.K. (1999). Photo protection revisited: genetic and molecular approaches. Annual Review of Plant Biology. *Plant Molecular Biology*, 50, 333–359.
38. Pagiha, D. E. & Valentine, W. N. (1987). Studies on the qualitative characterization of Glutathione peroxidase. *Journal of Laboratory Medicine*, 70, 158-168.
39. Pazaki, A., Rezaiee, H., Habibi, D. & Paknejad, F. (2012). Effect of drought stress, ascorbate and gibberellin spraying on some of morphological traits, water relative content and cytoplasmic membrane stability of *Thymus vulgaris* L. *Journal of Agronomy and Plant Breeding*, 8 (1), 1-13. (in Farsi)
40. Prochazkova, D., Sairam, R. K., Srivastava, G. C. & Singh, D. V. (2001). Oxidative stress and antioxidant activity as the basis of senescence in maize leaves. *Plant Science*, 161, 765-771.
41. Reddy, A.R., Chaitanya, K.V. & Vivekanandan, M. (2004). Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology*, 161, 1189-1202.
42. Rustaie, A. (2009). *The effect of ecological conditions on morphologic and phytochemical properties in Thymus daenensis Celak.* M.Sc Thesis. Tehran University, Iran. (in Farsi)
43. Saie, M. (2004). *Evaluation of correlation some of morphological traits with drought tolerance in different cultivars of Sorghum.* M.Sc. thesis. Collage of Agriculture. Azad University of Karaj. (in Farsi)
44. Saiedfar, S. & Mahmoudi, M. (2013). Effect of drought stress on antioxidant enzymes activity in *Agastache foeniculum* Pursh Kuntze. *Plant Ecosystem*, 34, 21-30. (in Farsi)
45. Shafei, S. (2005). *The effect of water deficit stress on some of physiological characteristics, yield and yield components of Soybean.* M.Sc. thesis. Collage of Agriculture. Azad University of Karaj. (in Farsi)
46. Shehab, G. G., Ahmed, O. K. & El-Beltagi, H. S. (2010). Effects of various chemical agents for alleviation of drought stress in rice plants (*Oryza sativa* L.). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici*, 38, 139-148.
47. Smith, J. H. C. & Benitez, A. (1955). *Chlorophylls analysis in plant materials in: Modern Methods of Plant Analysis,* Springer-Verlag, Berlin.

Archive of SID

www.SID.ir

48. Srivastava, Sh. & Srivastava, M. (2014). Morphological changes and antioxidant activity of *Stevia rebaudiana* under water stress. *American Journal of Plant Sciences*, 5, 3417-3422.
49. Tahkokorpi, M., Taulavuori, K., Laine, K. & Taulavuori, E. (2007). After effects of drought-related winter stress in previous and current year stems of *Vaccinium myrtillus* L. *Environmental and Experimental Botany*, 61, 85-93.
50. Upadhyaya, H. & Panda, S. K. (2004). Responses of *Camellia sinensis* to drought and rehydration. *Biologia Plantarum*, 48, 597-600.
51. Willekens, H., Chamnongpol, S., Davey, M., Schraudner, M., Angebartels, C., Van Montagu, M., Inze, D. & Van Camp, W. (1997). Catalase is a sink for H_2O_2 and is indispensable for stress defense in C_3 plants. *Embo Journal*, 10, 1723-1732.
52. Zamani, Z., Mostajeran, A. & Asghari, Gh. (2012). Effect of drought stress on growth and catalase and ascorbate peroxidase activity in *Curcuma longa* L. *Plant Sciences Research*, 7(3), 31-37. (in Farsi)

Archive of SID

www.SID.ir