تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد سیزدهم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۹
۱۱۲۵-۱۱۳٤
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2020.2395.1624

مقاله پژوهشی

اثر تنش خشکی بر صفات عملکردی، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و درصد اسانس برخی اکوتیپ‌های گیاه دارویی زیره‌سبز (*Cuminum cyminum* L.)

جهاد سورنی[۱]، جواد روستاخیز[۲*]، خالد سلیمی[۳]، محسن نوری[۴]

۱. پژوهشگر گروه زیست‌شناسی سامانه‌ها، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج
۲. مربی گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، مجتمع آموزش عالی سراوان
۳. استادیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، مجتمع آموزش عالی سراوان
۴. دانشجوی دکتری رشته آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۱/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۲/۱۶

چکیده

زیره سبز از مهم‌ترین گیاهان دارویی ایران است که نیاز آبی پایینی جهت تکمیل دوره رشد دارد؛ بنابراین یکی از گیاهان با ارزش جهت کشت در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا به‌ویژه در شرایط خشک‌سالی به شمار می‌رود. به همین منظور، پژوهش حاضر با هدف اندازه‌گیری پارامترهای مهم مورفولوژیک، فیزیولوژیک و همچنین عوامل دخیل در تنش اکسیداتیو و درصد اسانس تحت شرایط تنش خشکی و نرمال در اکوتیپ‌های مختلف این گیاه اجرا شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه پژوهشی دانشگاه سراوان به اجرا درآمد. فاکتورهای آزمایشی شامل تنش خشکی در دو سطح تنش و عدم تنش و هشت اکوتیپ مختلف بودند. صفات مورد اندازه‌گیری شامل ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی در گیاه، تعداد چتر در گیاه، تعداد چترک در چتر، تعداد دانه در چتر، وزن هزار دانه و عملکرد دانه، محتوای کلروفیل a، b و کارتنوئید و فعالیت عوامل بیوشیمیایی کاتالاز، سوپر اکسید دیسموتاز، پراکسیداز، مالون دی‌آلدئید و همچنین اسانس بذر بود. نتایج نشان داد که تنش خشکی موجب کاهش عملکرد، اجزای عملکرد و محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی شد. در مجموع، اکوتیپ بیرجند بیشترین عملکرد دانه در بوته (۱/۳۷ گرم) را داشت. همچنین در این پژوهش، نحوه فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاتالاز، پراکسیداز و سوپر اکسید دیسموتاز در این گیاه دارویی با ارزش مشخص شد که در آن تنش خشکی موجب افزایش فعالیت این آنزیم‌ها و نیز میزان مالون دی آلدئید به ترتیب از u/mgpro*min ۱/۳۱، mg/g ۲/۳۴، u/gFW ۱/۲۹ و µmol/gFW ۲۱/۸۷ به ۳۳/۴۴، ۴/۳۷، ۶/۹۰ و ۶۶/۶۶ شد. درنهایت با توجه به معیارهای اندازه‌گیری شده، میزان تحمل اکوتیپ‌های مورد بررسی نسبت به تنش خشکی مشخص شد و اکوتیپ بیرجند به‌عنوان اکوتیپ برتر از این لحاظ شناسایی شد.

واژه‌های کلیدی: **کلروفیل، صفات بیوشیمیایی، کارتنوئید، شاخص‌های تحمل تنش.**

مقدمه

زیره سبز با نام علمی *Cuminum cyminum* L. گیاهی علفی و یک‌ساله از خانواده چتریان است (Soorni and Kahrizi, 2015) که علاوه بر اسانس و روغن و رزین، شامل ۱۸/۷ درصد پروتئین است (Masoumi et al., 2012). زیره سبز از مهم‌ترین گیاهان دارویی مورد کشت و کار در ایران است که دارای خواص و کاربردهای متعدد در صنایع غذایی و دارویی است (Masoumi et al., 2011). این گیاه به دلیل فصل رشد کوتاه، نیاز آبی کم و ارزش اقتصادی بالا به‌عنوان یکی از محصولات اصلی در مناطق خشک و نیمه‌خشک وارد الگوی کشت شده است (Karimi Afshar et al., 2014). نیاز آبی کم و منطبق بر فصل بارندگی در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور، عدم تداخل فصل کاری آن با فصل کاری

* نگارنده پاسخگو: جواد روستاخیز. پست الکترونیک: j.roustakhiz@saravan.ac.ir

محصولات دیگر در مناطق مورد کشت و ارزش اقتصادی و صادراتی از دیگر مزیت‌های کشت این محصول است (Nakhzari Moghadam, 2009).

یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های قرن حاضر به‌نژادی گیاهی، پایداری عملکرد تحت تنش‌های محیطی است (Koyro et al., 2012). خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد گیاهان در سرتاسر جهان و شایع‌ترین تنش محیطی است. به‌خوبی مشخص‌شده که اثر تنش کم‌آبی بر رشد و عملکرد بستگی به میزان تحمل ژنوتیپ گیاه موردنظر دارد (Bannayan et al., 2008). تنش خشکی از طریق ایجاد اختلال در تعادل بین تولید گونه‌های فعال اکسیژن و فعالیت‌های دفاعی آنتی‌اکسیدان گیاه، موجب تنش اکسیداتیو می‌گردد و عملکرد گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Soares et al., 2018). صفات بیوشیمیایی و فیزیولوژیک می‌توانند به‌عنوان شاخص انتخاب در دست‌یابی به ژنوتیپ ایده‌آل بسیار سودمند باشند (Blum, 2011).

ارزیابی تحمل تنش خشکی گیاهان دارویی به‌منظور کشت در مناطق خشک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. افزایش کارایی برنامه‌های به‌نژادی زیره‌سبز برای مناطق دیم مستلزم اطلاع دقیق و کافی از صفات مرتبط با ایجاد مقاومت در برابر تنش و بررسی میزان همبستگی آن‌ها با عملکرد است. لذا با توجه به اینکه بخش اعظم اراضی کشور دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک است و تولید بسیاری از گیاهان زراعی و دارویی با کمبود آب مواجه می‌شوند، پژوهش حاضر با هدف شناسایی اکوتیپ‌های مطلوب و متحمل به تنش کم‌آبی و معرفی شاخص‌های مناسب برای گزینش اکوتیپ‌های برتر گیاه زیره سبز انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۵ به‌صورت گلدانی در قالب آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه پژوهشی مجتمع آموزش عالی سراوان اجرا شد. فاکتورهای آزمایشی شامل تنش خشکی (تنش و عدم تنش) و برخی اکوتیپ‌های زیره‌سبز (هشت اکوتیپ مختلف) بودند. صفات مورد اندازه‌گیری شامل صفات مورفولوژیک (ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی در گیاه، تعداد چتر در گیاه، تعداد چترک در چتر، تعداد دانه در چتر، وزن هزار دانه و عملکرد دانه)، صفات فیزیولوژیک (محتوای کلروفیل a، b و کارتنوئید) و فعالیت عوامل بیوشیمیایی (کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز و غیره) بود.

اکوتیپ‌های مورد بررسی شامل سبزوار، خواف، تبریز، بیرجند، یزد، کرمان، شیراز و اصفهان بودند که از نقاط مختلف تهیه شدند. به‌منظور کاشت بذرها، پس از ضدعفونی بذرها با اتانول ۷۵ درصد به مدت ۳۰ ثانیه و سه با شستشو با آب مقطر، تعداد ۱۰ عدد بذر سالم در هر گلدان کشت شدند.

محتوای کلروفیل a، b و کاروتنوئید کل در نمونه‌های برگی بر اساس روش استخراج با متانول و اندازه‌گیری طیف نور جذبی محلول حاصل با دستگاه اسپکتروفتومتر (Analytic jena- SPEKOL 1300) سنجیده شد (Porra, 2002). میزان جذب نور نمونه‌ها در طول‌موج‌های ۶۶۵/۲، ۶۵۲/۴ و ۴۷۰ نانومتر انجام شد. متانول به‌عنوان بلنک استفاده شد. معادلات مورداستفاده برای محاسبه مواد بر اساس میکروگرم بر سانتی‌متر مربع وزن تازه نمونه برگ به شرح زیر بود (معادلات ۱، ۲ و ۳):

$$C_a(\mu g/cm^2) = [(16.72\ A_{665.2} - 9.16\ A_{652.4})\times 8]/1.7 \quad [۱]$$

$$C_b(\mu g/cm^2) = [(34.09\ A_{652.4} - 15.28\ A_{665.2})\times 8]/1.7 \quad [۲]$$

$$Car\ (\mu g/cm^2) = (1000\ A_{470} - 1.63C_a - 104.96\ C_b)/221 \quad [۳]$$

که در آن، Ca: محتوای کلروفیل a، C_b: محتوای کلروفیل b و Car: کاروتنوئید کل است.

محتوای عوامل بیوشیمیایی کاتالاز، پراکسیداز، سوپر اکسید دیسموتاز و مالون دی آلدئید به ترتیب با روش‌های پیشنهادی دهیندزا (Dhindsa et al., 1981)، چانس و ماهلی (Chance and Maehly, 1995)، فریدوویچ (Fridovich, 1986) و هیث و پکر (Heath and Packer, 1969) اندازه‌گیری شد. درصد اسانس از طریق فرمول زیر مورد اندازه‌گیری قرار گرفت:

[۴] ۱۰۰× (وزن خشک گیاه/وزن اسانس) = درصد اسانس

به‌منظور بررسی واکنش ژنوتیپ‌های مورد مطالعه به تنش شوری، از شاخص‌های تحمل به تنش زیر استفاده شد. چنانچه Yp و Ys به ترتیب نشانگر عملکرد دانه هر ژنوتیپ در محیط شاهد و تنش و $\bar{Y}p$ و $\bar{Y}s$ میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در دو محیط شاهد و تنش باشند، آنگاه می‌توان شاخص‌های مختلف را به شرح زیر تعریف نمود:

شاخص تحمل[1] (Tol) (Rosielle and Hamblin,1981) بر اساس فرمول شماره ۵ محاسبه شد:

$$TOL=Yp-Ys \quad [۵]$$

شاخص حساسیت به تنش[2] (SSI) (Fisher and Maurer, 1978) بر اساس فرمول شماره ۶ محاسبه شد:

$$SSI=\frac{1-(\frac{Ys}{Yp})}{SI} \quad [۶]$$

که در آن SI شدت تنش[3] را نشان می‌دهد و بر اساس فرمول شماره ۷ محاسبه شد:

$$SI=1-\frac{\bar{Y}s}{\bar{Y}p} \quad [۷]$$

شاخص تحمل به تنش[4] (STI) (Fernandez, 1992) بر اساس فرمول شماره ۸ محاسبه شد:

$$STI=\frac{Yp \times Ys}{(\bar{Y}p)2} \quad [۸]$$

میانگین هندسی بهره‌وری[5] (GMP) (Fernandez, 1992) بر اساس فرمول شماره ۹ محاسبه شد:

$$GMP=\sqrt{YP \times Ys} \quad [۹]$$

به‌منظور تجزیه داده‌ها، پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها از نرم‌افزارهای Excel نسخه ۲۰۱۶ و RStudio نسخه 1.2.1335 استفاده شد. مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از روش آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار LSD[6] در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

عملکرد و اجزای عملکرد

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که بین اکوتیپ‌های مختلف و سطوح تنش خشکی از نظر عملکرد و اجزای عملکرد شامل ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی در گیاه، تعداد چترک در چتر، تعداد دانه در چتر و وزن هزار دانه اختلاف آماری معنی‌داری وجود داشت (جدول ۱). در این رابطه احمدیان و همکاران (Ahmadian et al., 2011) نیز گزارش کردند که تنش خشکی تأثیر معنی‌داری روی عملکرد دانه، تعداد چتر در بوته و وزن هزار دانه در زیره سبز داشت. همچنین طباطبایی و همکاران (Tabatabaei et al., 2014) نیز تأثیر معنی‌دار تنش خشکی را بر صفاتی همچون وزن هزار دانه، ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد چتر در بوته و عملکرد دانه در زیره سبز گزارش کردند. در آزمایش آن‌ها همچنین اثر اکوتیپ‌های زیره‌سبز بر وزن هزار دانه، ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی و عملکرد دانه معنی‌دار بود.

تنش خشکی موجب کاهش عملکرد و اجزای آن در اکوتیپ‌های مورد بررسی گردید (جدول ۲). اکوتیپ بیرجند بیشترین عملکرد دانه در بوته (۱/۳۷ گرم در بوته) را داشت. از طرفی اکوتیپ تبریز از نظر صفات اجزای عملکرد به‌جز وزن هزار دانه در وضعیت مطلوبی قرار داشت؛ اما در مجموع عملکرد کمتری نسبت به اکوتیپ بیرجند داشت. این امر نشان داد که اکوتیپی مانند اکوتیپ بیرجند که حد متوسطی از صفات اجزای عملکرد را داشت، نسبت به اکوتیپ‌های دیگر جهت تولید عملکرد بیشتر موفق‌تر بود. از طرفی دیگر، اکوتیپ‌هایی مانند شیراز و اصفهان اگرچه از نظر بعضی اجزای عملکرد در حد مطلوبی بودند، اما به دلیل اینکه از نظر برخی اجزا مانند تعداد چتر در گیاه وضعیت مناسبی نداشتند، بنابراین از عملکرد قابل قبولی نسبت به بقیه اکوتیپ‌ها برخوردار نبودند. اثر تنش خشکی در مرحله زایشی از طریق تأثیر منفی بر اجزای عملکرد، موجب کاهش عملکرد در اکوتیپ‌های زیره‌سبز می‌گردد (Tabatabaei et al., 2014).

خصوصیات فیزیولوژیک

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) کلروفیل a، کلروفیل b و کارتنوئید در اکوتیپ‌ها و سطوح تنش مورد بررسی اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد نشان داد. کاظمی و همکاران (Kazemi et al., 2017) نیز تأثیر معنی‌دار اکوتیپ و تنش کم‌آبی را روی صفات فیزیولوژیک زیره سبز ازجمله کلروفیل a، کلروفیل b و کارتنوئید گزارش کردند.

نتایج مقایسه میانگین صفات فیزیولوژیک (جدول ۴) نشان داد که تنش خشکی محتوای کلروفیل a، کلروفیل b و کارتنوئید را در اکوتیپ‌های مورد بررسی کاهش داده است. درحالی‌که اکوتیپ بیرجند که دارای بیشترین عملکرد دانه بود (جدول ۲)، از نظر خصوصیات فیزیولوژیک کلروفیل a، کلروفیل b و کارتنوئید دارای بالاترین مقدار نسبت به سایر اکوتیپ‌های مورد بررسی بود (جدول ۴). این کاهش توسط

[1] Stress Tolerance
[2] Stress susceptibility
[3] Stress Intensity
[4] Stress Tolerance Index
[5] Geometric Mean productivity
[6] Least Significant Difference Test

سایر محققان نیز گزارش‌شده و دلایل احتمالی کاهش محتوای رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی مانند کلروفیل a و b را در شرایط تنش خشکی به دلیل افزایش تخریب آن‌ها و یا کاهش ساخت آن‌ها یا اختلال در فعالیت‌های آنزیمی مسئول ساخت این رنگ‌دانه‌ها گزارش کرده‌اند (Heidary et al., 2014; Kazemi et al., 2017). تغییراتی متابولیکی و نیز تجزیه بتاکاروتن و تشکیل زآتین در چرخه زانتوفیل از دلایل کاهش کارتنوئید در شرایط تنش خشکی گزارش شده است (Setayeshmehr & Ganjali, 2013; Kabiri et al., 2014).

جدول ۱. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات عملکرد و اجزای عملکرد اکوتیپ‌های زیره سبز در شرایط نرمال و تنش خشکی.

Table 1. Analysis of variance (Mean Squares) for yield and yield components of cumin ecotypes under normal and drought stress conditions.

منابع تغییرات Source of variations	درجه آزادی Degree of freedom	ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه فرعی در گیاه Secondary branches/plant	تعداد چتر در گیاه Umbel/ plant	تعداد چترک در چتر Umbellate/ Umbel	تعداد دانه در چتر Seeds per umbel	وزن هزار دانه 1000-seed weight	عملکرد تک بوته Seed yield per plant
اکوتیپ Ecotype (E)	7	11.31**	2.14**	303.61**	1.71*	8.35**	0.18**	0.63**
شرایط Condition (C)	1	111.02**	13.02**	363.01**	8.33**	46.02**	7.76**	0.86**
اکوتیپ×شرایط E× C	7	2.07ns	0.26ns	2.05ns	0.24ns	0.45ns	0.03ns	0.01ns
خطا Error	32	2.60	0.39	5.41	0.58	0.98	0.02	0.01
ضریب تغییرات (٪) Coefficient of variation (%)		*7.16*	*13.19*	*6.83*	*22.91*	*9.56*	*4.64*	*13.37*

ns و ** به ترتیب یعنی غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد.

** and ns: are significant at 1 probability level and non-significant, respectively.

جدول ۲. مقایسه میانگین صفات عملکرد و اجزای عملکرد برای اکوتیپ‌های زیره سبز و سطوح تنش خشکی.

Table 2. The effects of ecotypes and drought stress levels on yield and yield components in cumin.

Treatment	تیمار	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد شاخه فرعی در گیاه Secondary branches/plant	تعداد چتر در گیاه Umbel/ plant	تعداد چترک در چتر Umbellate/ Umbel	تعداد دانه در چتر Seeds/ umbel	وزن هزار دانه 1000-seed weight (g)	عملکرد تک بوته Seed yield/ plant (g)
Ecotype	**اکوتیپ**							
Sabzevar	**سبزوار**	23.33^{ab}	5.00^{b}	38.50^{b}	3.50^{a-d}	11.33^{ab}	2.77^{cd}	0.98^{cd}
Khaf	**خواف**	22.00^{b}	4.67^{bc}	36.17^{b}	4.17^{a}	11.00^{ab}	2.56^{e}	0.43^{f}
Tabriz	**تبریز**	23.50^{ab}	6.00^{a}	48.83^{a}	3.83^{ab}	12.00^{a}	2.68d^{e}	1.06^{c}
Birjand	**بیرجند**	24.00^{a}	4.33^{bc}	31.00c^{d}	2.83^{cd}	10.17^{cd}	2.92^{b}	1.37^{a}
Yazd	**یزد**	22.33^{ab}	4.50^{bc}	32.67^{c}	3.00^{bcd}	10.17^{cd}	2.85^{bc}	1.22^{b}
Kerman	**کرمان**	23.33^{ab}	5.00^{b}	29.83^{d}	3.00^{bcd}	9.17^{de}	2.98^{ab}	0.88^{d}
Shiraz	**شیراز**	22.00^{b}	4.67^{bc}	27.00^{e}	3.67^{abc}	10.67^{bc}	2.77^{cd}	0.64^{e}
Isfahan	**اصفهان**	19.67^{c}	4.00^{c}	28.33^{de}	2.67^{d}	8.33^{e}	3.10^{a}	0.62^{e}
Condition	**شرایط**							
Normal irrigation	**آبیاری نرمال**	24^{a}	5.29^{a}	36.79^{a}	3.75^{a}	11.33^{a}	3.24^{a}	1.03^{a}
Drought stress	**تنش خشکی**	21^{b}	4.25^{b}	31.29^{b}	2.917^{b}	9.38^{b}	2.41^{b}	0.76^{b}

در هر ستون از هر تیمار، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف آماری معنی‌داری از نظر آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد باهم ندارند.

Means with a similar letter in each column of the treatments had non-significant differences according to LSD Test ($p<0.05$)

جدول ۳. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات فیزیولوژیک اکوتیپ‌های زیره سبز در شرایط نرمال و تنش خشکی.

Table 3. Analysis of variance (Mean Squares) for physiological traits of cumin ecotypes under normal and drought stress conditions.

منابع تغییرات Source of variations		درجه آزادی Degree of freedom	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کارتنوئید Carotenoid
اکوتیپ Ecotype		7	95.30**	61.50**	69.17**
شرایط Condition		1	263.20**	195.21**	3065.60**
اکوتیپ×شرایط Ecotype×Condition		7	1.79ns	1.37ns	5.92ns
خطا Error		32	3.39	1.23	8.24
ضریب تغییرات (٪) Coefficient of variation (%)			*8.59*	*6.29*	*4.13*

ns و ** به ترتیب یعنی غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد.

** and ns: are significant at 1 probability level and non-significant, respectively.

جدول ۴. مقایسه میانگین صفات فیزیولوژیک برای اکوتیپ‌های زیره سبز و سطوح تنش خشکی.

Table 4. The effects of ecotypes and drought stress levels on physiological traits in cumin.

	تیمار Treatment		کلروفیل a (mg/g) Chlorophyll a (mg/g)	کلروفیل b (mg/g) Chlorophyll b (mg/g)	کارتنوئید (mg/g) Carotenoid (mg/g)
اکوتیپ Ecotype	Sabzevar	سبزوار	19.37c	15.90d	69.57b
	Khaf	خواف	16.67d	14.77de	65.63c
	Tabriz	تبریز	23.40b	19.07c	71.23ab
	Birjand	بیرجند	26.10a	22.37a	74.00a
	Yazd	یزد	17.73cd	14.73de	65.83c
	Kerman	کرمان	17.70cd	14.10e	65.87c
	Shiraz	شیراز	25.93a	21.00b	73.13a
	Isfahan	اصفهان	24.70ab	19.60c	71.13ab
شرایط Condition	Normal irrigation	آبیاری نرمال	23.79a	19.71a	77.54a
	Drought stress	تنش خشکی	19.11b	15.68b	61.56b

در هر ستون از هر تیمار، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف آماری معنی‌داری از نظر آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد باهم ندارند.

Means with a similar letter in each column of the treatments had non-significant differences according to LSD Test ($p<0.05$).

خصوصیات بیوشیمیایی و درصد اسانس

اکوتیپ و تنش خشکی تأثیر معنی‌داری روی خصوصیات بیوشیمیایی اندازه‌گیری شده شامل آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز، پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز و همچنین میزان مالون دی آلدئید و نیز درصد اسانس موجود در گیاه داشتند. از طرفی، هرچند اثر متقابل این دو عامل روی تمامی صفات به‌غیر از پراکسیداز بسیار معنی‌دار ($P<0.01$) بود؛ اما این اثر متقابل از نوع متقاطع نبود و به ذکر نتایج مقایسات میانگین اثرات ساده بسنده شد.

میزان عوامل آنتی‌اکسیدانی کاتالاز، پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز در اکوتیپ یزد بیشتر از بقیه اکوتیپ‌ها بود که می‌تواند به تحمل آن نسبت به تنش خشکی کمک کند. از طرفی، میزان مالون دی آلدئید که خسارت وارده به سلول را نشان می‌دهد، در این اکوتیپ به نسبت پایین بود. نتایج مقایسه میانگین همچنین نشان داد که تنش خشکی موجب افزایش عوامل بیوشیمیایی درگیر در تنش خشکی و نیز درصد اسانس شد (جدول ۶). همچنین، سایر پژوهشگران نیز افزایش درصد اسانس زیره سبز را بر اثر تنش خشکی گزارش کرده‌اند (Pirzad et al., 2015; Ahmadian et

al., 2011; Kazemi et al., 2017). گیاهان دارویی در شرایط تنش خشکی میزان اسانس بیشتری تولید می‌کنند؛ زیرا گیاه هنگام مواجهه با تنش خشکی محتوای متابولیت‌های خود را به‌منظور جلوگیری از عمل اکسیداسیون درون سلول‌ها افزایش می‌دهد (Farahani et al., 2008; Kazemi et al., 2017). بر اساس نتایج، درصد افزایش اسانس در اکوتیپ‌های مورد بررسی شامل سبزوار، خواف، تبریز، بیرجند، یزد، کرمان، شیراز و اصفهان به ترتیب برابر با ۸۳/۵۰، ۶۸/۲۲، ۷۰/۰۰، ۵۲/۹۹، ۷۲/۶۱، ۶۱/۵۲، ۷۱/۴۳ و ۶۷/۳۹ بود که در این بین، اکوتیپ سبزوار دارای بیشترین (۸۳/۵۰ درصد) و اکوتیپ بیرجند دارای کمترین (۵۲/۹۹ درصد) افزایش میزان اسانس بر اثر تنش خشکی بود. اکوتیپ بیرجند دارای بیشترین درصد اسانس (۳/۲۵ درصد) در بین اکوتیپ‌های مورد بررسی بود. هرچند با اکوتیپ اصفهان (۳/۰۸ درصد) اختلاف آماری معنی‌داری نشان نداد. از طرفی، اکوتیپ بیرجند دارای عملکرد دانه بالاتری نیز بود.

جدول ۵. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات بیوشیمیایی و درصد اسانس اکوتیپ‌های زیره سبز در شرایط نرمال و تنش خشکی

Table 5. Analysis of variance (Mean Square) for biochemical traits and essential oil content of cumin ecotypes under normal and drought stress conditions.

منابع تغییرات Source of variations	درجه آزادی df	کاتالاز Catalase	پراکسیداز Peroxidase	سوپراکسید دیسموتاز Superoxide dismutase	مالون دی آلدئید Malondialdehyde	اسانس Essential oil
اکوتیپ Ecotype	7	204.08**	0.39*	2.01**	197.31**	1.54**
شرایط Condition	1	12387.40**	49.45**	376.77**	24071.04**	21.28**
اکوتیپ×شرایط Ecotype×Condition	7	206.55**	0.27ns	2.07**	197.35**	0.11**
خطا Error	32	5.33	0.16	0.12	10.12	0.03
ضریب تغییرات (٪) Coefficient of variation (%)		*13.29*	*11.78*	*8.34*	*7.19*	*6.55*

ns، * و ** به ترتیب یعنی غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

**, * and ns: are significant at 1 and 5 probability levels and non-significant, respectively.

جدول ۶. مقایسه میانگین صفات بیوشیمیایی و درصد اسانس برای اکوتیپ‌های مختلف و سطوح تنش خشکی

Table 6. The effects of ecotypes and drought stress levels on biochemical traits and essential oil percentage in cumin.

	تیمار Treatment		کاتالاز Catalase (u/mgpro*min)	پراکسیداز Peroxidase (mg/g)	سوپراکسید دیسموتاز Superoxide dismutase (u/gFW)	مالون دی آلدئید Malondialdehyde (µmol/gFW)	اسانس(٪) Essential oil (%)
اکوتیپ Ecotype	Sabzevar	سبزوار	6.08d	3.31bc	3.79c	49.73a	2.84c
	Khaf	خواف	14.49c	3.20bc	3.72c	50.73a	2.01d
	Tabriz	تبریز	15.71c	3.31bc	3.85c	44.38b	2.88bc
	Birjand	بیرجند	20.62b	3.61ab	3.90c	43.15b	3.25a
	Yazd	یزد	25.64a	3.84a	5.22a	34.45c	2.09d
	Kerman	کرمان	21.38b	3.31bc	4.78b	37.95c	2.01d
	Shiraz	شیراز	16.06c	3.23bc	3.59c	44.92b	2.85c
	Isfahan	اصفهان	18.99b	3.01c	3.91c	48.80a	3.08ab
شرایط Condition	Normal irrigation	آبیاری نرمال	1.31b	2.34b	1.29b	21.87b	1.96b
	Drought stress	تنش خشکی	33.44a	4.37a	6.90a	66.66a	3.29a

در هر ستون از هر تیمار، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف آماری معنی‌داری از نظر آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد باهم ندارند.

Means with a similar letter in each column of the treatments had non-significant differences according to LSD Test ($p<0.05$).

همان‌طور که در جدول ۶ دیده می‌شود، در شرایط بدون تنش خشکی، میزان عوامل بیوشیمیایی در سطح پایینی قرار داشتند که در شرایط تنش خشکی میزان این عوامل و نیز میزان اسانس افزایش معنی‌داری در اکوتیپ‌های مورد بررسی داشتند. اکوتیپ یزد محتوای کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز بیشتری نسبت به سایر اکوتیپ‌ها تولید کرد. در رابطه با اکوتیپ بیرجند که یکی از اکوتیپ‌های برتر در این آزمایش بود، گرچه میزان عوامل آنتی‌اکسیدانی کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز در آن بیشترین نبود، اما میزان مالون دی آلدئید آن‌که نشانه آسیب به گیاه است بالا نبود و احتمال دارد از مکانیسم‌های دیگری علاوه بر مسیرهای آنتی‌اکسیدان برای حفظ عملکرد خود کمک می‌گیرد.

شاخص‌های تحمل تنش خشکی

میزان شاخص SI برابر با ۰/۲۶ بود که حکایت از تنش وارد شده به گیاه را دارد. بر اساس نتایج جدول ۷، اکوتیپ بیرجند دارای بیشترین عملکرد دانه (۱/۵۳ گرم در بوته) در بین اکوتیپ‌های مورد بررسی بود. هرچند با اکوتیپ یزد (۱/۴۲ گرم در بوته) اختلاف آماری معنی‌داری نشان نداد. در شرایط تنش خشکی نیز اکوتیپ بیرجند دارای بیشترین میزان عملکرد دانه در بوته (۱/۲۱ گرم در بوته) بود. از نظر شاخص تحمل TOL، اکوتیپ‌های خواف و شیراز برترین اکوتیپ‌ها بودند؛ زیرا به ترتیب با ۰/۱۵ و ۰/۱۸ دارای بیشترین میزان این شاخص در بین اکوتیپ‌های مورد بررسی بودند؛ اما از نظر شاخص‌های STI و GMP نیز اکوتیپ بیرجند دارای بیشترین مقدار بود که تحمل بالای این اکوتیپ به خشکی را می‌رساند. از طرفی از نظر شاخص SSI که میزان حساسیت به تنش را نشان می‌دهد، اکوتیپ خواف حساس‌ترین اکوتیپ بود که با اکوتیپ‌های سبزوار، یزد و کرمان نیز اختلاف آماری معنی‌داری نشان نداد و از طرفی دیگر، اکوتیپ بیرجند از نظر این شاخص دارای کمترین مقدار بود که حساسیت پایین این اکوتیپ به تنش خشکی را در بین اکوتیپ‌های مورد بررسی نشان می‌دهد. مقادیر بالای شاخص Tol نمایانگر حساسیت بیشتر به تنش بوده و هرقدر مقادیر این شاخص پایین‌تر باشد، مطلوب‌تر خواهد بود. انتخاب بر اساس شاخص Tol در بهبود عملکرد در شرایط تنش مفید است؛ اما در این روش، ژنوتیپ‌های برتر بیان خوبی تحت شرایط عدم تنش (نرمال) ندارند. مقدار بالاتر شاخص STI برای یک ژنوتیپ، نشان‌دهنده میزان تحمل بیشتر به تنش و پتانسیل عملکرد بیشتر آن ژنوتیپ است. شدت استرس (SI) نیز در محاسبه شاخص STI منظور می‌شود. هرچه مقدار SSI کوچک‌تر باشد، میزان تحمل تنش بالاتر است. در پژوهشی صفری و همکاران (Safari et al., 2017) نیز با بررسی ۴۹ توده زیره سبز بومی کشور از نظر شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش خشکی، نشان دادند که تنوع بسیار مطلوبی بین توده‌های بومی کشور از نظر میزان تحمل به تنش خشکی وجود دارد که از این تنوع می‌توان در برنامه‌های به نژادی و معرفی ارقام و اکوتیپ‌های برتر استفاده نمود.

جدول ۷. میزان تحمل تنش خشکی اکوتیپ‌های زیره سبز بر اساس شاخص‌های تحمل تنش

Table 7. Drought tolerance of cumin ecotypes based on tolerance indices.

Ecotype	اکوتیپ	عملکرد بالقوه (Yp)	عملکرد در شرایط تنش (Ys)	شاخص تحمل به تنش (TOL)	شاخص حساسیت به تنش (SSI)	شاخص تحمل به تنش (STI)	میانگین هندسی محصول‌دهی (GMP)
Sabzevar	سبزوار	1.14	0.82	0.32	1.08	0.87	0.97
Khaf	خواف	0.50	0.35	0.15	1.18	0.16	0.42
Tabriz	تبریز	1.22	0.91	0.30	0.96	1.04	1.05
Birjand	بیرجند	1.53	1.21	0.33	0.82	1.73	1.36
Yazd	یزد	1.42	1.02	0.39	1.07	1.36	1.20
Kerman	کرمان	1.02	0.74	0.28	1.05	0.70	0.87
Shiraz	شیراز	0.73	0.55	0.18	0.93	0.37	0.63
Isfahan	اصفهان	0.72	0.52	0.20	1.05	0.35	0.61

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف آماری معنی‌داری از نظر آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد باهم ندارند.

Means with a similar letter in each column had non-significant differences according to LSD Test ($p<0.05$)

نتیجه‌گیری

در این پژوهش تأثیر تنش خشکی در مرحله گلدهی بر جنبه‌های عملکردی، فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و اسانس برخی از اکوتیپ‌های زیره‌سبز بومی کشور مورد بررسی قرار گرفت. همچنین شاخص‌های تحمل و حساسیت نسبت به تنش خشکی بر اساس میزان عملکرد بوته محاسبه شد. نتایج نشان داد که تنش خشکی موجب کاهش عملکرد و اجزای آن و نیز محتوای رنگ‌دانه‌های برگ شد؛ اما محتوای اسانس به صور معنی‌داری بر اثر تنش خشکی افزایش یافت. در مجموع، نتایج نشان داد که تنوع خوبی بین اکوتیپ‌های مورد بررسی از نظر صفات مختلف و نیز میزان تحمل خشکی وجود دارد. در این بین، اکوتیپ بیرجند از نظر تحمل خشکی و عملکرد دانه و نیز درصد اسانس دارای برتری معنی‌داری نسبت به سایر اکوتیپ‌های مورد بررسی بود.

قدردانی

از مجتمع آموزش عالی سراوان به خاطر حمایت مالی از پروژه حاضر تقدیر و تشکر می‌گردد. همچنین از سرکار خانم مهندس عاطفه فروردین به خاطر تهیه برخی از اکوتیپ‌های مورد بررسی بسیار سپاسگزاریم.

منابع

Ahmadian, A., Tavassoli, A., Amiri, E., 2011. The interaction effect of water stress and manure on yield components, essential oil and chemical compositions of cumin (*Cuminum cyminum*). African Journal of Agricultural Research. 6(10), 2309-2315.

Bannayan, M., Nadjafi, F., Azizi L., Rastgoo, M., 2008. Yield and seed quality of plantago ovate and *Nigella sativa* under different irrigation treatment. Industrial Crops and Products. 27, 11-16.

Safari, B., Mortazavian, S.M.M., Sadat, N.S., Foghi, B., 2017. Evaluation of drought tolerance in endemic ecotypes of cumin using tolerance indices. Journal of Plant Production Research. 23(4), 185-204. [In Persian with English Summary].

Blum, A., 2011. Drought Resistance and Its Improvement. Plant Breeding for Water-Limited Environments. Springer, New York.

Chance, B., Maehly, A.C., 1995. Assay of Catalase and Peroxidase. Academic Press. New York.

Dhindsa, R.S., Plumb-Dhindsa, P., Thorpe, T.A., 1981. Leaf senescence: correlated with increased levels of membrane permeability and lipid peroxidation, and decreased levels of superoxide dismutase and catalase. Journal of Experimental Botany. 32, 93-101.

Fridovich, I., 1986. Biological effects of the superoxide radical. Archives of biochemistry and biophysics. 247, 1-11.

Heath, R.L., Packer, L., 1969. Photoperoxidation in isolated chloroplast. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. Archives of Biochemistry and Biophysics. 125, 189-198.

Kabiri, R., Farahbakhsh, H., Nasibi, F., 2014. Effect of drought stress on physiological and biochemical characteristics of *Nigella sativa* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants. 30(4), 600-609. [In Persian with English Summary].

Karimi Afshar, A., Baghizadeh, A., Mohammadinejad, G., Abedi, J., 2014. Evaluation of cumin (*Cuminum cyminum* L.) genotypes under drought stress based on tolerance indices. 1st International and 13th Iranian Genetics Congress. Tehran, Iran. [In Persian with English Summary].

Kazemi, H., Mortazavian, S.M.M., Ghorbani Javid, M., 2017. Physiological responses of cumin (*Cuminum cyminum*) to water deficit stress. Iranian Journal of Field Crop Science. 48(4), 1099-1113. [In Persian with English Summary].

Koyro, H.W., Ahmad, P., Geissler, N., 2012. Abiotic stress responses in plants: an overview. In environmental adaptations and stress tolerance of plants in the era of climate change. Springer, New York.

Masoumi, S.M., Kahrizi, D., Rostami-Ahmadvandi, H., Soorni, J., Kiani, S., Mostafaie, A., Yari, K., 2012. Genetic diversity study of some medicinal plant accessions belong to Apiaceae family based on seed storage proteins patterns. Molecular biology reports. 39(12), 10361-10365.

Masoumi, S.M., Kahrizi, D., Soorni, J., Rostami-Ahmadvandi., 2011. Study of some medicinal

plant accessions belong to Apiaceae family using proteins markers. Final report. Razi University. Cod: 970. [In Persian with English Summary].

Nakhzari Moghadam, A., 2009. The effect of water stress and plant density on yield and yield components of cumin (*Cuminum cyminum*). Iranian Journal of Field Crop Science (Iranian Journal of Agricultural Sciences). 40(3), 63-69. [In Persian with English Summary].

Pirzad, A., Darvishzadeh, R., Hassani, A., 2015. Effect of super adsorbent application in different irrigation regimes on photosynthetic pigments and its relationship with grain yield and essential oil of cumin (*Cuminum cyminum* L.). Journal of Horticultural Science. 29(3), 377-387. [In Persian with English Summary].

Porra, R.J., 2002. The chequered history of the development and use of simultaneous equations for the accurate determination of chlorophylls a and b. Photosynthesis Research. 73(1-3), 149-156.

Setayeshmehr, Z., Ganjali, A.S., 2013. Effects of drought stress on growth and physiological characteristics of dill (*Anethum graveolens* L.). Journal of Horticultural Science. 27(1), 27-35. [In Persian with English Summary].

Soares, C., Carvalho, M.E., Azevedo, R.A., Fidalgo, F., 2018. Plants facing oxidative challenges—A little help from the antioxidant networks. Environmental and Experimental Botany. 161, 4-25.

Soorni, J., Kahrizi, D., 2015. Effect of genotype, explant type and 2,4-D on cell dedifferentiation and callus induction in cumin (*Cuminum cyminum* L.) medicinal plant. Journal of Applied Biotechnology Reports. 2(3), 265-270.

Tabatabaei, S.M., Mohammadi-Nejad, G., Yousefi, K., 2014. Yield assessment and drought tolerance indices in cumin ecotypes. Journal of Water Research in Agriculture. 28(1), 163-170. [In Persian with English Summary].

University of Birjand

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses In Crop Sciences
Vol. 13, No. 4, pp. 1125-1134
Winter 2021
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2020.2395.1624

Original article

Effects of drought stress on yield and yield-related traits, antioxidant enzymes and essential oil content of some Cumin (*Cuminum cyminum* L.) ecotypes

J. Soorni[1], J. Roustakhiz[2]*, Kh. Salimi[2], M. Noori[3]

1. Department of Systems Biology, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran (ABRII), Agricultural Research Education and Extension Organization (AREO), Karaj, Iran
2. Department of Plant Production Engineering and Genetics, Higher Education Complex of Saravan, Iran
3. Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Iran

Received 13 April 2019; Accepted 6 May 2019

Abstract

Cumin is one of the most important medicinal plants in Iran, which needs a lower irrigation to complete the growth stages. Therefore, cumin is one of the most valuable plants for cultivation in arid and semi-arid regions of the world, especially in drought conditions. For this purpose, the present study was conducted to evaluate the key morphological and physiological parameters as well as the factors involved in oxidative stress and essential oil content in some ecotypes under drought stress and normal conditions. The experiment was arranged as factorial based on a completely randomized design with three replications and conducted in Saravan University's research greenhouse. Experimental factors included drought stress (stress and non-stress) and different ecotypes (eight ecotypes). The measured traits were plant height, number of secondary branches per plant, number of umbel per plant, number of umbellate per umbel, number of seeds per umbrel, 1000-seed weight and seed yield per plant, chlorophyll a, b and carotenoid content, and activity of biochemical factors (catalase, superoxide dismutase, peroxidase, malondialdehyde) and also seed essential oil. The results showed that drought stress reduced yield, yield components and photosynthetic pigments content. In general, Birjand ecotype had the highest grain yield per plant (1.37 g). Also, the activity of catalase, peroxidase and superoxide dismutase antioxidant enzymes was determined in this valuable medicinal plant. The drought stress increased the activity of these enzymes as well as the level of malondialdehyde, from 1.31 u/mgpro*min, 2.34 mg/g, 1.29 u/gFW and 21.87 µmol/gFW to 33.44, 4.37, 6.90 and 66.66, respectively. Finally, the tolerance of the studied ecotypes to drought stress was identified according to the measured indexes and Birjand ecotype was recognized as superior ecotype.

Keywords: Biochemical traits, Carotenoid, Chlorophyll, Tolerance indices.

*Correspondent author: Javad Roustakhiz; E-Mail: j.roustakhiz@saravan.ac.ir