مقاله پژوهشی

مطالعه پاسخ مورفولوژیک و فیزیولوژیک تاج‌خروس ریشه قرمز (*Amaranthus retroflexus* L.) به تنش خشکی

محیا اسداله‌زاده[۱]، محمد رضوانی[۱*]، فائزه زعفریان[۲] و حمیدرضا مبصر[۱]

[۱] گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد قائم‌شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائم‌شهر، ایران

[۲] گروه زراعت، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران

(تاریخ دریافت:۱۴۰۰/۱۱/۲۰، تاریخ پذیرش نهایی:۱۴۰۱/۰۳/۰۳)

چکیده

تاج خروس ریشه قرمز (*Amaranthus retroflexus* L.) یک علف‌هرز سمج و جهان وطنی است که در نقاط مختلف دنیا پراکنده شده است. این گیاه به‌شدت با گیاهان زراعی رقابت کرده و موجب کاهش رشد و عملکرد آنها می‌شود. پژوهش حاضر به‌منظور بررسی تأثیر تنش خشکی روی برخی خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک تاج خروس ریشه قرمز طی سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ اجرا شد. تیمارها شامل درجات مختلف تنش خشکی با پنج سطح عدم تنش، تنش سبک، تنش متوسط، تنش زیاد و تنش شدید (معادل ۱۰۰، ۷۵، ۵۰، ۲۵ و ۱۲/۵ درصد محتوای آب گلدان) بود. تعداد برگ، ارتفاع بوته و وزن خشک برگ تحت تأثیر اثر متقابل تنش خشکی در سال قرار گرفت و با افزایش شدت تنش خشکی تعداد برگ، ارتفاع بوته و وزن خشک برگ در هر دو سال آزمایش کاهش یافت. کاهش محتوای آب گلدان سبب افزایش فعالیت کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز شد. بیشترین میزان فعالیت کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز به‌ترتیب (۱۱۰/۳۵ و ۱۴۳۳/۳۳ واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) در سال دوم و تحت تنش شدید مشاهده شد. افزایش شدت تنش باعث کاهش محتوای پروتئین محلول شد و بیشترین محتوای پروتئین محلول در تیمار بدون تنش خشکی رویت شد. تنش خشکی محتوای کلروفیل ***a*** و ***b*** را کاهش داد، اما محتوای کاروتنوئید افزایش یافت. بیشترین میزان کاروتنوئید در شرایط تنش خشکی شدید دیده شد. تنش خشکی در سال دوم باعث کاهش رشد بیشتری در بوته‌های تاج خروس شد، اما در این سال فعالیت آنزیمی افزایش بیشتری داشت. لذا، این گیاه می‌تواند با تغییر در فعالیت بیوشیمیایی خود باعث تعدیل تنش‌ها و حفظ بقا خود گردد.

واژگان کلیدی: پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی

مقدمه

جنس تاج‌خروس *Amaranthus* به تیره Amaranthaceae یا تاج خروسیان تعلق دارد. در حال حاضر این تیره تقریباً دارای ۱۸۰ جنس و ۲۵۰۰ گونه است (Muller and Borsch, 2005). گونه‌های این جنس بیشتر در نواحی گرمسیری و نیمه‌گرمسیری، مناطق معتدل و گرم پراکنش دارند. هم‌اکنون بعضی از گونه‌های این جنس به اغلب نقاط دنیا وارد و به‌صورت علف هرز بومی شده‌اند (آزادی، ۱۳۹۱). یکی از مهمترین گونه‌های این جنس تاج‌خروس ریشه قرمز (*Amaranthus retroflexus* L.) است؛ که علف هرزی چهار

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: m_rezvani52@yahoo.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.13.0]

کربنه و از شایع‌ترین علف‌های هرز دولپه‌ای در مناطق کشاورزی به‌شمار می‌رود (Horak and Loughin, 2000). حضور تاج‌خروس ریشه قرمز می‌تواند موجب کاهش عملکرد شدید در محصولاتی چون سویا، ذرت و پنبه شود. تاج خروس ریشه قرمز به دلایلی چون تولید بذر فراوان Knezevic و همکاران (۱۹۹۹)، طول عمر زیاد بذر و زمان طولانی جوانه‌زنی Karimmojeni و همکاران (۲۰۱۴) یکی از مهمترین علف‌هرز سمج محسوب می‌شود (Holm *et al.*, 1997).

کمبود آب یکی از شایع‌ترین محدودیت‌های محیطی در تولیدات گیاهی است و از معضلات جدی و روزمره زارعین است. تنش شدید آب موجب کاهش رشد گیاهان می‌شود (Wang *et al.*, 2003). گیاهان هنگام مواجه با تنش کمبود آب دچار تغییرات فیزیولوژیک، مورفولوژیک و نموی می‌شوند که در بقا آنها اهمیت زیادی دارد (Gomes *et al.*, 2010) و از طریق ایجاد این تغییرات مورفولوژیک و فیزیولوژیک به تنش خشکی پاسخ می‌دهند. دو پاسخ مهم مورفولوژیک گیاهان به تنش خشکی، شامل کاهش سطح برگ و افزایش نسبت ریشه به ساقه است. در تنش خشکی پاسخ برگ نسبت به ریشه و ساقه بیشتر است. قابلیت دسترسی به آب نقش مهمی در ساختار برگ دارد. کاهش تعداد و سطح برگ در شرایط تنش خشکی سبب کاهش ناحیه سطحی تعرق، افزایش جذب آب از خاک و درنهایت مقاومت گیاه در برابر تنش می‌شود. کاهش سطح برگ می‌تواند ناشی از کاهش تقسیم سلولی و همچنین ریزش و پیری برگ باشد (Osuagwu *et al.*, 2010). علاوه بر این خشکی روی صفات دیگری نظیر ارتفاع بوته، قطر ساقه، وزن خشک گیاه، خصوصیات ریشه و طول میانگره ساقه گیاهان مؤثر است (Thomas and Gausling, 2000).

تنش خشکی می‌تواند سبب ایجاد تغییرات فیزیولوژیک در گیاهان شود که به مقاومت و بقاء آنها در شرایط تنش کمک شایانی می‌کند. گیاهان حاوی تعدادی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان هستند که در شرایط استرس، زیاد شده و اثر اکسیژن‌های سمی را تعدیل می‌کنند. گیاهان در مقابله با این اکسیژن‌های واکنش‌پذیر، تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیداتیو خاص از قبیل کاتالاز، پراکسیداز، گلوتاتیون ردوکتاز و سوپراکسید دیسموتاز را افزایش می‌دهند (Banu et al., 2009). کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز سیستم‌های دفاعی آنزیمی گیاهان در برابر تنش‌های مختلف از جمله تنش کم آبی هستند (Biaber, 2004). آران و همکاران (۱۳۹۶) نشان دادند که میزان نشت الکترولیت‌ها، میزان قندهای محلول کل، میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی، ترکیبات فنلی و پرولین با افزایش شدت تنش خشکی در سه رقم انگور (*Vitis vinifera* L.) افزایش یافت.

مهمترین پیامد تنش خشکی در گیاهان کاهش فتوسنتز و آسیب به دستگاه فتوسنتزی است. تحت تأثیر تنش خشکی سطح برگ گیاهان کاهش یافته و انسداد روزنه‌ها افزایش می‌یابد و به‌دنبال آن با کاهش خنک‌شدن برگ تبخیر و تعرق تنش اسمزی افزایش یافته که منجر به خسارت به دستگاه‌های فتوسنتزی می‌شود (Bhargava *et al.*, 2013). کاهش فعالیت فتوسنتزی تحت تنش خشکی عمدتاً با کاهش هدایت و انتقال دی‌اکسید کربن از طریق روزنه و مزوفیل همراه است (Singh and Thakur, 2018). محتوای کلروفیل برگ نیز یکی از مهمترین بخش‌های سیستم فتوسنتزی است که تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد. کلروفیل گیاه در اثر تنش خشکی تحت تأثیر فتواکسیداسیون و تجزیه قرار می‌گیرد (Kapoor *et al.*, 2020). به‌عنوان مثال سنتز کلروفیل برگ و نسبت کلروفیل *a*/*b* در سویا در اثر تنش خشکی تغییر یافت (Chowdhury *et al.*, 2017). تنش خشکی سبب افزایش محتوای پرولین، میزان کاروتنوئید و کاهش میزان کلروفیل *a* و *b* و کلروفیل کل در گیاه کاسنی (*Cichorium intybus* L.) شد (جزی‌زاده و مرتضائی‌نژاد، ۱۳۹۶).

از آنجا که گیاهان واکنش‌های متفاوتی به وقوع تنش خشکی نشان می‌دهند، لذا پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر تنش خشکی بر برخی خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک تاج‌خروس ریشه قرمز اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.13.0]

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش

بافت خاک	pH	ماده آلی	نیتروژن	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب
		(درصد)		(پی‌پی‌ام)	
سیلتی لومی	۷/۶۶	۴/۵۳	۰/۲۶	۶۹	۴۵۶

جمع‌آوری بذر: این مطالعه با هدف بررسی تغییرات خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک تاج‌خروس ریشه قرمز در مقابل شدت‌های متفاوت تنش خشکی انجام شد. بذرها از مزارع سویا شهرستان سیمرغ، مازندران در بهار سال ۱۳۹۶ از بوته‌هایی که به‌صورت طبیعی رسیده بودند جمع‌آوری شد. آزمایش به‌صورت گلدانی در طی سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ در گلخانه و آزمایشگاه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری انجام شد.

اعمال تیمارهای تنش آبی: خاک مورد استفاده در آزمایش، ابتدا هواخشک شد و جهت ایجاد یکنواختی از الکی با درشتی ۳ میلی‌متر عبور داده شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ ذکر شده است.

بافت خاک سیلتی لومی، pH ۷/۶۶، ماده آلی ۴/۵۳ درصد، نیتروژن ۰/۲۶ درصد، فسفر قابل جذب ۶۹ پی‌پی‌ام و پتاسیم قابل جذب ۴۵۶ پی‌پی‌ام بود.

برای اعمال تیمار تنش خشکی با استفاده از روش محتوای آب خاک تعیین شد (Steadman *et al.*, 2004). برای این منظور ابتدا در ۱۰ گلدان مقدار پنج کیلوگرم خاک خشک ریخته شد و خاک گلدان‌ها با آب اشباع شد. سطح خاک گلدان با ورقه‌های فویل آلومینیومی جهت جلوگیری از تبخیر پوشانده شد. سپس اجازه داده شد تا به‌مدت ۳۶ ساعت آب آزاد از گلدان تخلیه شود. آنگاه گلدان‌ها مجدداً وزن شدند.

با استفاده از فرمول زیر محتوای آب گلدان‌ها تعیین شد:

$$WC = [(W_w - W_d)/d]$$

که W_w وزن تر خاک با گلدان، W_d وزن خشک خاک با گلدان و d چگالی آب (یک گرم بر سانتیمتر مکعب) است (Steadman *et al.*, 2004).

درجه تنش خشکی در آزمایش شامل پنج سطح ۱۰۰، ۷۵، ۵۰، ۲۵ و ۱۲/۵ درصد محتوای آب گلدان (معادل عدم تنش، تنش سبک، تنش متوسط، تنش زیاد و تنش شدید) بود. نحوهٔ اعمال تیمار آبیاری بدین صورت بود که در تیمارهای آبیاری بعد از تخلیه صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۸۷/۵ درصد آب قابل استفاده، آبیاری انجام می‌گرفت تا میزان رطوبت تمام گلدان‌ها دوباره تا حد ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی برسند (معادل عدم تنش، تنش سبک، تنش متوسط، تنش زیاد و تنش شدید).

کاشت در گلدان‌های ۵ کیلوگرمی با ارتفاع ۲۵ و قطر ۳۰ سانتی‌متر انجام شد. در هر گلدان ابتدا ۱۰ عدد بذر کشت شد و پس از سبزشدن در مرحله ظهور اولین برگ‌های حقیقی تنک انجام شد و درنهایت یک بوته در هر گلدان حفظ شد. زمان شروع اعمال تیمار خشکی در مرحله پنج برگی بود. اعمال تیمارهای آبیاری هر دو روز یکبار انجام شد و تا زمان رسیدگی گیاه ادامه داشت. گلدان‌ها در گلخانه در شرایط فتوپریود و دمای طبیعی رشد کردند.

اندازه‌گیری مورفولوژیک و رشدی: تعداد برگ هر بوته در زمان شروع گلدهی شمارش و ثبت شد. در انتهای رشد اندازه‌گیری‌های مورفولوژیک شامل ارتفاع نهایی بوته، وزن خشک برگ و ساقه، وزن گل آذین و وزن هزار دانه انجام شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک برگ و ساقه، وزن گل آذین و وزن هزار دانه، بوته‌ها از گلدان‌ها کف‌بر شدند. بوته‌ها به برگ، ساقه و گل آذین جدا شدند و سپس در آون ۷۰ درجه سانتیگراد به‌مدت ۴۸ ساعت خشک و درنهایت وزن شدند.

اندازه‌گیری فیزیولوژیک، تهیه عصاره پروتئینی جهت اندازه‌گیری آنزیم‌ها: برای استخراج عصاره گیاهی از روش Kang و Saltiveit (۲۰۰۲) استفاده شد. ۰/۵ گرم اندام هوایی به همراه ۳ میلی‌لیتر بافر استخراج تریس- اسیدکلریدریک ۵۰ میلی‌مولار (pH=۷) محتوی ۳ میلی‌مولار $MgCl_2$ و ۱ میلی‌مولار EDTA در هاون سرد ساییده می‌شود. همگن‌های

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.13.0]

حاصل به‌مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد با سرعت ۵۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند.

محلول رویی برای سنجش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و گایاکول پراکسیداز مورد استفاده قرار گرفت.

اندازه‌گیری آنزیم کاتالاز: فعالیت این آنزیم طبق روش Aebi (۱۹۸۴) اندازه‌گیری شد. کمپلکس واکنشی شامل ۱/۵ میلی‌لیتر از بافر فسفات پتاسیم ۱۰۰ میلی‌مولار (pH=۷)، ۰/۵ میلی‌لیتر از پراکسید هیدروژن ۷/۵ میلی‌مولار و ۵۰ میکرولیتر از محلول آنزیمی (عصاره استخراجی) بود که حجم نمونه‌ها با اضافه‌کردن آب‌مقطر به ۳ میلی‌لیتر رسید. با افزودن پراکسید هیدروژن واکنش آغاز گردید و کاهش در جذب نمونه‌ها در طول‌موج ۲۴۰ نانومتر در مدت یک دقیقه ثبت گردید. فعالیت آنزیمی از محاسبه میزان پراکسید هیدروژن تجزیه‌شده توسط آنزیم محاسبه شد. ضریب خاموشی (ε) برای پراکسید هیدروژن در طول‌موج ۲۴۰ نانومتر $Lit.mM^{-1}cm^{-1}$ ۴۰ است.

اندازه‌گیری آنزیم گایاکول پراکسیداز: کمپلکس واکنشی (۲ میلی‌لیتر) شامل ۱ میلی‌لیتر بافر فسفات ۱۰۰ میلی‌مولار (pH=۷)، ۲۵۰ میکرولیتر از EDTA ۰/۱ میلی‌مولار، ۱ میلی‌لیتر گایاکول ۵ میلی‌مولار، ۱ میلی‌لیتر پراکسید هیدروژن ۱۵ میلی‌مولار و ۵۰ میکرولیتر از محلول آنزیمی استخراج‌شده بود. واکنش با اضافه‌کردن محلول آنزیمی شروع شد و افزایش جذب در طول‌موج ۴۷۰ نانومتر به‌مدت ۱ دقیقه ثبت گردید. فعالیت آنزیمی براساس میزان تتراگایاکول تشکیل‌شده و با استفاده از ضریب خاموشی $Lit.mM^{-1}cm^{-1}$ ۲۶/۶ به‌دست آمد (Tang and Newton, 2005).

اندازه‌گیری آنزیم سوپراکسید دیسموتاز: فعالیت این آنزیم با روش احیای نیترو بلو تترازولیوم تعیین شد (Giannopolitis and Ries, 1977). این روش براساس تبدیل نیتروبلو تترازولیوم به فورمازون در حضور نور و تشکیل رنگ است. ترکیب واکنش شامل ۱ میلی‌لیتر بافر فسفات ۱۰۰ میلی‌مولار (pH=۷)، ۲/۵ میلی‌لیتر متونین ۱۳ میلی‌مولار، EDTA ۰/۱ میلی‌مولار، نیتروبلو تترازولیوم ۷۵ میکرومولار، ریبوفلاوین ۷۵ میکرومولار و ۵۰ میکرولیتر از عصاره بود. پس از ۱۲ دقیقه جذب آن‌ها توسط دستگاه اسپکتوفتومتر و طول‌موج ۵۶۰ نانومتر خوانده شد. یک واحد فعالیت سوپراکسید دیسموتاز به‌صورت مقدار پروتئین آنزیمی مورد نیاز برای بازدارندگی از احیای ۵۰ درصدی نیتروبلو تترازولیوم استفاده می‌شود.

تهیه عصاره جهت اندازه‌گیری پروتئین محلول: تهیه عصاره به روش Farhoosh و Moosavi (۲۰۰۶) انجام شد. ابتدا نمونه خشک و پودر شد و سپس وزن شد و به نسبت ۱/۲۰ وزن نمونه ۱۰ برابر اتانول و ۱۰ برابر آب‌مقطر اضافه شد و نمونه به‌مدت ۲۴ ساعت در تاریکی با استفاده از دستگاه شیکر مخلوط شد. سپس با استفاده از کاغذ صافی صاف شده و در ۳۰۰۰ دور در دقیقه برای مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شد و سوپرناتانت آن در آون با دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد خشک شد. ۱۰ گرم از این عصاره را وزن نموده با ۵ میلی‌لیتر متانول و ۵ میلی‌لیتر آب‌مقطر رقیق نموده و از این محلول جهت اندازه‌گیری پروتئین استفاده شد.

اندازه‌گیری پروتئین محلول: میزان پروتئین موجود از نمونه‌های آنزیمی استخراج‌شده به روش Bradford (۱۹۷۶) اندازه‌گیری شد. کمپلکس واکنش شامل ۱ میلی‌لیتر محلول آنزیمی استخراج‌شده، ۵ میلی‌لیتر محلول معرف بردفورد بود. دو دقیقه پس از تشکیل کمپلکس فوق، معرف بردفورد حداکثر ترکیب را با اسیدهای آمینه آروماتیک نظیر آرژنین از خود نشان می‌دهد. حداکثر زمان پایداری ترکیب حاصل، تا یک ساعت پس از تشکیل بوده و سپس شروع به تجزیه و جداشدن می‌نماید. لذا در این فاصله زمانی نمونه‌ها حداکثر جذب را داشته و جذب آن‌ها در طول‌موج ۵۹۵ نانومتر یادداشت شد. میزان پروتئین نمونه‌ها، از روی منحنی استاندارد حاصل از آلبومین سرم گاوی بدست آمد.

اندازه‌گیری پرولین: برای استخراج و سنجش پرولین از روش نین‌هیدرین استفاده شد (Bates *et al.*, 1973). به این منظور ۰/۵ گرم از بافت تر برگ در ۱۰ میلی‌لیتر اسیدسولفو سالیسیلیک ۳ درصد کاملاً ساییده شد تا همگن شود و پس از سانتریفیوژ با سرعت ۱۵۰۰۰ دور به‌مدت ۱۰ دقیقه، ۲ میلی‌لیتر

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.13.0]

از محلول بالایی با ۲ میلی‌لیتر از معرف نین‌هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک گلایسال مخلوط و به‌مدت یک ساعت در حمام آب ۱۰۰ درجه سانتیگراد قرار گرفت. مخلوط واکنش با ۴ میلی‌لیتر تولوئن جدا شده و در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر خوانده شد. نهایتاً با استفاده از منحنی استاندارد، مقدار پروتئین براساس میکرومول پرولین در گرم وزن تر برگ محاسبه شد.

اندازه‌گیری شاخص سبزینگی، اندازه‌گیری رنگدانه‌های فتوسنتزی: غلظت کلروفیل a، b و کاروتنوئید در برگ با روش Porra (۲۰۰۲) به‌وسیله دستگاه اسپکتوفتومتر مدل Analytik Jena-SPEKOL 1300 اندازه‌گیری و با استفاده از روابط ۱ تا ۳ محاسبه شد.

رابطه (۱)

$$\text{Chl a } (\mu g\, mL^{-1}) = 16/72\, A665.2 - 9.16\, A652.4$$

رابطه (۲)

$$\text{Chl b } (\mu g\, mL^{-1}) = 34.09\, A652.4 - 15.28\, A665.2$$

رابطه (۳)

$$\text{Carotenoid } (\mu g\, mL^{-1}) = \frac{(1000A470 - 1.63\text{Chl a} - 104.96\text{Chl b})}{221}$$

در این رابطه A665.2، A652.4 و A470 میزان نور جذبی محلول در طول‌موج‌های ۶۶۵/۲، ۶۵۲/۴ و ۴۷۰ نانومتر هستند.

آزمایش به‌صورت طرح کاملاً تصادفی، با پنج تکرار و تیمار در دو سال انجام شد. تیمارها شامل درجات تنش خشکی با پنج سطح شامل ۱۰۰، ۷۵، ۵۰، ۲۵ و ۱۲/۵ درصد محتوای آب گلدان (معادل عدم‌تنش، تنش سبک، تنش متوسط، تنش زیاد و تنش شدید) بود.

جهت بررسی هموژنیتی داده‌های دو سال، کلیه داده‌ها تجزیه بارتلت شدند. صفاتی که هموژن بودند مانند تعداد برگ، ارتفاع بوته، وزن خشک برگ، آنزیم کاتالاز، آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و محتوای کلروفیل b تجزیه مرکب شدند. داده‌های حاصل از دو سال (وزن گل آذین، وزن هزار دانه، پرولین، آنزیم گایاکول پراکسیداز، پروتئین محلول، محتوای کلروفیل a، کاروتنوئیدها و شاخص سبزینگی) که غیریکنواختی در آنها مشاهده شده بود به‌صورت جداگانه تجزیه واریانس شدند. تجزیه واریانس با استفاده از رویه PROC GLM در نرم‌افزار SAS انجام شد. میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD مقایسه و نمودارها با نرم‌افزار Excel رسم شدند.

نتایج و بحث

تعداد برگ، ارتفاع نهایی بوته و وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه، گل آذین و وزن هزار دانه: نتایج تجزیه مرکب نشان داد که تعداد برگ، ارتفاع نهایی بوته و وزن خشک برگ تحت تأثیر سال، تنش خشکی و اثر متقابل تنش خشکی × سال قرار گرفت (جدول ۲). با کاهش محتوای آب گلدان و درنتیجه تنش خشکی تعداد برگ، ارتفاع نهایی بوته و وزن خشک برگ در هر دو سال آزمایش کاهش یافت. بیشترین تعداد برگ در بوته (۵۸/۶۰ عدد) در سال اول و در شرایط بدون تنش مشاهده شد؛ حال آنکه کمترین تعداد برگ (۱۲/۴۰ عدد) در سال دوم و تنش آبی شدید یعنی زمانی که محتوای آبی گلدان ۱۲/۵ درصد بود تولید شد (جدول ۳).

بیشترین ارتفاع بوته (۷۶/۴۰ سانتی‌متر) در شرایط بدون تنش آبی در سال اول بدست آمد، اما کوتاه‌ترین ارتفاع بوته (۲۳/۴۰ سانتی‌متر) در شرایط تنش آبی شدید و در سال دوم مشاهده شد. در سال اول آزمایش وزن خشک برگ بیشتری مشاهده شد، به‌طوری‌که بیشینه وزن خشک برگ (۳۴/۰۵ گرم در بوته) در این سال و در شرایط بدون تنش آبی حاصل شد و این درحالی بود که کمینه وزن خشک برگ (۲۱/۵۶ گرم در بوته) در سال دوم آزمایش و در زمانی که محتوای آب گلدان ۱۲/۵ درصد بود بدست آمد (جدول ۳).

بروز تنش خشکی تأثیرات نامطلوبی بر رشد و خصوصیات مورفولوژیک گیاهان می‌گذارد. سودائی‌زاده و همکاران (۱۳۹۵) نشان دادند که تنش خشکی سبب کاهش ارتفاع، سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی و ریشه مرزه (*Satureja hortensis* L.) شد. علت کاهش ارتفاع گیاه در اثر اعمال تنش خشکی، کاهش میزان کلروفیل (جدول ۲) و درنتیجه اختلال در فرایند فتوسنتز به‌واسطهٔ کم‌آبی و کاهش تولید مواد فتوسنتزی برای ارائه به بخش‌های در حال رشد گیاه و کاهش انعطاف‌پذیری

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-21]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.13.0]

جدول ۲- نتایج تجزیه مرکب تعداد برگ، ارتفاع نهایی بوته و وزن خشک برگ تاج‌خروس ریشه قرمز

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		تعداد برگ	ارتفاع نهایی بوته	وزن خشک برگ
سال	۱	۴۸۴۱/۲۸**	۱۲۷۰۴/۱۸**	۴۸/۹۱**
تنش خشکی	۴	۱۰۴۰/۷۲**	۵۹۶/۲۷**	۱۳۳/۳۸**
تنش خشکی × سال	۴	۱۶۳/۱۸**	۲۰۳/۹۳**	۳/۳۳**
خطا	۴۰	۲/۱۲	۲/۷۲	۰/۴۴
ضریب تغییرات (درصد)		۴/۷۱	۳/۷۲	۲/۴۸

: به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال خطای یک درصد است.

جدول ۳- مقایسه میانگین تعداد برگ، ارتفاع نهایی بوته و وزن خشک برگ تاج‌خروس ریشه قرمز تحت تأثیر اثر متقابل سال و تنش خشکی

سال	محتوای آب گلدان (درصد)	تعداد برگ	ارتفاع نهایی بوته (سانتی‌متر)	وزن خشک برگ (گرم در بوته)
اول	۱۰۰ (بدون تنش آبی)	۵۸/۶۰ a	۷۶/۴۰ a	۳۴/۰۵ a
	۷۵ (تنش آبی کم)	۴۸/۶۰ b	۶۶/۸۰ b	۲۸/۲۵ c
	۵۰ (تنش آبی متوسط)	۴۳/۲۰ c	۶۱/۶۰ c	۲۵/۹۱ e
	۲۵ (تنش آبی زیاد)	۳۰/۰ d	۵۰/۲۰ d	۲۵/۳۶ e
	۱۲/۵ (تنش آبی شدید)	۲۳/۴۰ e	۴۶/۶۰ e	۲۵/۱۷ e
دوم	۱۰۰ (بدون تنش آبی)	۲۸/۸۰ d	۳۲/۶۰ f	۳۱/۳۱ b
	۷۵ (تنش آبی کم)	۲۵/۲۰ e	۳۰/۴۰ g	۲۶/۹۵ d
	۵۰ (تنش آبی متوسط)	۲۰/۸۰ f	۲۸/۲۰ h	۲۵/۰۹ e
	۲۵ (تنش آبی زیاد)	۱۸/۲۰ g	۲۷/۶۰ h	۲۳/۹۳ f
	۱۲/۵ (تنش آبی شدید)	۱۲/۴۰ h	۲۳/۴۰ i	۲۱/۵۶ g

در هر ستون اعداد با حروف معنی‌داری مشابه از لحاظ آماری در یک سطح قرار دارند.

دیوارهٔ سلول‌های ساقه است، این امر درنهایت باعث توقف طویل‌شدن سلول‌ها و کاهش ارتفاع بوته می‌گردد (اردشیری و جهان‌بین، ۱۳۹۷). همچنین در شرایط کمبود آب ترشح هورمون سیتوکنین از ریشه کاهش یافته و از طریق کاهش تقسیم سلولی ارتفاع گیاه کاهش می‌یابد (Lalinia *et al.*, 2012). کاهش آماس سلولی و سپس کاهش تقسیم و توسعه سلولی در اندام‌های هوایی گیاه مانند برگ و ساقه از عوارض اولیه تنش خشکی در گیاهان است که کاهش ارتفاع، تعداد برگ، وزن خشک برگ و ساقه و سطح برگ گیاهان را به‌دنبال دارد (Kapoor *et al.*, 2020). در این آزمایش نیز تعداد برگ، ارتفاع نهایی بوته و وزن خشک برگ گیاه تاج‌خروس با افزایش شدت تنش کاهش یافتند (جدول ۳).

وزن خشک ساقه و گل‌آذین در سال اول و دوم و وزن هزار دانه در سال دوم تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفتند (جدول ۴). هر چند که تنش ملایم نتوانست تأثیر معنی‌داری روی وزن خشک ساقه در هر دو سال داشته باشد؛ اما در تنش آبی شدید کمترین میزان وزن خشک ساقه (به‌ترتیب ۲۴/۶۴ و ۲۳/۵۵ گرم در بوته در سال اول و دوم) وجود داشت. در سال

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.13.0]

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر تیمار خشکی روی وزن خشک ساقه، وزن خشک گل آذین و وزن هزار دانه تاج‌خروس ریشه قرمز در سال اول و دوم آزمایش

منابع تغییرات	میانگین مربعات				
	وزن خشک ساقه		وزن خشک گل آذین		وزن هزار دانه
	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم	سال دوم
تنش خشکی	۵۵/۴۸**	۲۷/۵۹**	۱۵۲/۲۵**	۵۲/۳۴**	۳/۲۵**
خطا	۰/۸۴	۶/۵۶	۱/۴۳	۰/۴۱	۰/۰۲۱
ضریب تغییرات (درصد)	۳/۰۸	۹/۳۸	۱۰	۷	۴/۸۹

**: به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال خطای یک درصد و عدم معنی‌داری است.

جدول ۵- مقایسه میانگین وزن خشک ساقه وزن خشک گل آذین و وزن هزار دانه تاج‌خروس ریشه قرمز تحت تأثیر تنش خشکی در سال-های اول و دوم

محتوای آب گلدان (درصد)	صفات				
	(گرم در بوته) وزن خشک ساقه		(گرم در بوته) وزن خشک گل آذین		وزن هزار دانه (گرم)
	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم	سال دوم
۱۰۰ (بدون تنش آبی)	۳۳/۳ a	۲۷/۷۶ ab	۳/۹۵a	۱۳/۷۶a	۱۸/۱۶a
۷۵ (تنش آبی کم)	۳۱/۷ ab	۲۹/۹۱ a	۳/۴۹b	۱۰/۶۶ b	۱۵/۶۷ b
۵۰ (تنش آبی متوسط)	۳۰/۵۱ b	۲۸/۲۵ ab	۲/۶۵ c	۸/۳۳ c	۱۳/۱۷ c
۲۵ (تنش آبی زیاد)	۲۸/۶۲ c	۲۷/۱۱ ab	۲/۵۴c	۷/۴۷ c	۸d
۱۲/۵ (تنش آبی شدید)	۲۴/۶۴ d	۲۳/۵۵ b	۱/۹۳d	۵/۹۲d	۴/۷۲e

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف مشترک به لحاظ آماری در سطح ۵ درصد براساس آزمون LSD فاقد اختلاف معنی‌دار هستند.

دوم آزمایش تنها تنش شدید توانست تأثیر معنی‌داری روی وزن خشک ساقه نسبت به سایر تنش‌ها ایجاد کند (جدول ۵). وزن خشک گل آذین با افزایش شدت تنش خشکی کاهش معنی‌داری در هر دو سال نشان داد؛ به‌طوریکه کمترین میزان وزن خشک گل آذین در سال اول ۱/۹۳ گرم در بوته و در سال دوم ۵/۹۲ گرم در بوته در تنش آبی شدید رویت شد که نسبت به شرایط بدون تنش ۵۱ و ۵۷ درصد کاهش نشان داد. کاهش محتوای آب گلدان سبب کاهش وزن هزار دانه نیز شد (جدول ۵). نتایج این آزمایش نشان داد که پارامترهای مربوط به رشد زایشی گیاهان مانند وزن خشک گل آذین و وزن هزار دانه تحت تأثیر تنش خشکی کاهش می‌یابد. تنش خشکی در گیاهان می‌تواند به بی‌نظمی‌های فیزیولوژیکی منجر شود که کاهش در فتوسنتز و تعرق از جمله این تغییرات است (Sarker *et al.*, 2005). لذا می‌توان گفت که محدودشدن ویژگی‌های مرتبط با رشد گل‌ها تحت شرایط کمبود آب می‌تواند به‌دلیل قرارگیری در معرض سطوح خسارت‌زای خشکی باشد که منجر به کاهش آماس و درنتیجه کاهش رشد و محدودشدن توسعه سلول‌ها خواهد شد (Scalia *et al.*, 2009). Bhatt و Rao (۲۰۰۵) نشان دادند که تولید گل در بامیه (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench) تحت تأثیر تنش خشکی کاهش یافت. کاهش وزن هزار دانه به‌دنبال تنش خشکی نیز احتمالاً به‌دلیل کاهش جذب آب و املاح توسط گیاه و به‌دنبال آن

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-21]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.13.0]

جدول ۶- نتایج تجزیه مرکب اثر تیمار خشکی روی کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و محتوای کلروفیل b تاج‌خروس ریشه قرمز

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		کاتالاز	سوپراکسید دیسموتاز	کلروفیل b
سال	۱	۱۰۳۱/۲۱**	۱۶۳۳۳/۳۴**	۲۰۶۵/۸۵**
تنش خشکی	۴	۱۲۹۳/۸۳**	۵۸۲۸۳۳/۳۴**	۱۲۸/۲۱**
تنش خشکی × سال	۴	۶۸/۹۲**	۳۸۳۳/۳۴**	۴۵/۱۸
خطا	۲۰	۱۰/۸۹	۸۰۰۰	۱/۲۶
ضریب تغییرات (درصد)		۴/۳۹	۷/۹۲	۶/۱۲

****: معنی‌داری در سطح احتمال** خطای **یک درصد است.**

کاهش ساخت و انتقال مواد فتوسنتزی و آسیمیلات‌ها به دانه‌ها بوده است (جمشیدی و همکاران، ۱۳۹۱). که در این شرایط گیاه حتی با انتقال مجدد ذخایر اندوخته‌شده خود نیز نتوانسته کاهش آسیمیلات ناشی از تنش را جبران نماید و این وضعیت منجر به کاهش وزن دانه‌ها گردیده است. در همین راستا طی تحقیقاتی که روی گیاه عدس (*Lens esculinaris*) (وفایی و همکاران، ۱۳۹۸) و سویا (Heidarzade *et al.*, 2016) انجام گردید کاهش وزن دانه در اثر تنش خشکی گزارش شده است.

تأثیر تنش خشکی بر فعالیت آنزیم کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز: اثر متقابل تنش خشکی و سال تأثیر معنی‌داری بر فعالیت کاتالاز در برگ داشت (جدول ۶). کاهش محتوای آب گلدان سبب افزایش فعالیت کاتالاز شد، به‌طوری‌که بیشترین میزان فعالیت کاتالاز (۱۱۰/۳۵ واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) در تنش آبی شدید و سال دوم وجود داشت و کمترین میزان فعالیت کاتالاز در سال اول و در شرایط بدون تنش (۵۹/۶۵ واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) و همچنین تنش آبی کم (۶۱/۱۴ واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) وجود داشت (جدول ۷).

فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز نیز تحت تأثیر اثر متقابل تنش خشکی و سال قرار گرفت (جدول ۶) و تنش خشکی در هر دو سال سبب افزایش میزان سوپراکسید دیسموتاز شد. به‌طوری‌که بیشترین میزان سوپراکسید دیسموتاز (به‌ترتیب ۱۴۳۳/۳۳ و ۱۴۰۰ واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) در سال دوم تحت تنش آبی شدید و تنش آبی زیاد و در سال اول تحت تنش آبی شدید (۱۴۰۰ واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) مشاهده شد (جدول ۷).

تنش خشکی روی میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز نیز تأثیرگذار بود (جدول ۸) و افزایش شدت تنش خشکی و کاهش محتوای آب گلدان‌ها، موجب افزایش میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز شد که در سال اول بیشینه فعالیت این آنزیم به میزان ۱۱/۸۱ واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه و در سال دوم به میزان ۲۲/۳۲ واحدآنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه در خشکی شدید دیده شد (جدول ۹).

تنش‌های محیطی با افزایش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن به لیپیدها و پروتئین‌ها آسیب وارد می‌کنند و سلول‌های گیاهی جهت کاهش اثرات منفی اکسیژن فعال تولیدشده در سلول از سازوکار تولید آنتی‌اکسیدان مانند سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز استفاده می‌کنند (Shi *et al.*, 2015). نتایج Prathyusha و Chaitanya (۲۰۱۹) نشان داد که با تشدید تنش خشکی سطوح سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز در گیاه *Coleus plectranthus* افزایش یافت. فعالیت پراکسیداز و کاتالاز تحت شرایط محدودیت آب در گیاه باقلا.*Vicia faba* L نیز به‌شدت افزایش یافت (Abid *et al.*, 2017). فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز در *Adonis amurensis* و *Adonis pseudoamurensis* تحت شرایط تنش خشکی افزایش یافت که نشان‌دهنده این موضوع است که بهبود فعالیت این آنزیم‌ها به کاهش سطح رادیکال‌های

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.13.0]

جدول ۷- مقایسه میانگین کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و محتوای کلروفیل b تاج‌خروس ریشه قرمز تحت تأثیر اثر متقابل سال و تنش خشکی

سال	محتوای آب گلدان (درصد)	کاتالاز (واحد آنزیمی میلی‌گرم بر پروتئین در دقیقه)	سوپراکسید دیسموتاز (واحد آنزیمی میلی‌گرم بر پروتئین در دقیقه)	کلروفیل b (گرم بر سانتی‌متر مربع)
اول	۱۰۰ (بدون تنش آبی)	۵۹/۶۵ f	۶۶۶/۶۷ e	۲۶/۵۲ a
	۷۵ (تنش آبی کم)	۶۱/۱۴ f	۹۶۶/۶۷ d	۲۶/۳۱ ab
	۵۰ (تنش آبی متوسط)	۶۷/۴۶ ed	۱۲۰۰ c	۲۵/۰۵ bc
	۲۵ (تنش آبی زیاد)	۷۰/۸۴ d	۱۳۰۰ abc	۲۲/۳۲ d
	۱۲/۵ (تنش آبی شدید)	۸۷/۹۸ b	۱۴۰۰ ab	۲۳/۷۵ dc
دوم	۱۰۰ (بدون تنش آبی)	۶۴/۱۲ ef	۶۳۳/۳۳ e	۱۸/۵۹ e
	۷۵ (تنش آبی کم)	۶۸/۶۸ ed	۱۰۳۳/۳۳ d	۱۶/۵۴ f
	۵۰ (تنش آبی متوسط)	۷۹/۷۸ c	۱۲۶۶/۶۷ bc	۱۰/۸۴ g
	۲۵ (تنش آبی زیاد)	۸۲/۷۶ bc	۱۴۰۰ ab	۸/۸۲ h
	۱۲/۵ (تنش آبی شدید)	۱۱۰/۳۵ a	۱۴۳۳/۳۳ a	۴/۸۸ i

در هر ستون اعداد با حروف معنی‌داری مشابه از لحاظ آماری در یک سطح قرار دارند.

جدول ۸- تجزیه واریانس اثر تیمار خشکی روی پراکسیداز، پرولین، پروتئین محلول، کلروفیل *a* و کارتنوئید تاج‌خروس ریشه قرمز در سال اول و دوم آزمایش

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات									
		پراکسیداز		پرولین		پروتئین محلول		کلروفیل *a*		کارتنوئید	
		سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم
تنش خشکی	۴	۶۸/۵۶**	۶۷/۴۹**	۰/۴۳**	۲۱/۵۴**	۰/۰۰۰۰۸**	۲/۰۴**	۱۹/۳۳**	۷۴/۶۷**	۴۲۴/۱۶**	۱۷۴۴/۹۳**
خطا	۲۰	۰/۱۴	۰/۸۹	۰/۰۰۵	۰/۱۴	۰/۰۰۰۰۲	۱/۶۵	۰/۲۸	۲/۷۴	۴/۳۱	۲۱/۸
CV		۵/۲۳	۶/۱۶	۳/۵۱	۵/۲۵	۹/۳۶	۹/۰۷	۳/۰۹	۱۵/۱۶	۲/۷۶	۹/۷۳

****: معنی‌دار در سطح احتمال خطای یک درصد است.**

آزاد اکسیژن کمک می‌کند (Gao *et al.*, 2020). تنش آبی سبب افزایش سطح فعالیت پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز در گیاه *Vigna mung* L. شد و محققین نتیجه گرفتند که افزایش سطح این آنزیم‌ها سبب تحمل گیاه به تنش خشکی و همچنین منجر به کاهش اثرات منفی آن روی گیاه شد (Gurumurthy *et al.*, 2019). فزایش فعالیت سوپراکسید دیسموتاز زمانی رخ می‌دهد که مقدار یون سوپراکسید درون سلول افزایش یابد (Smirnoff, 1996). سوپراکسید دیسموتاز آنیون سوپراکسید را به پراکسید هیدروژن تبدیل می‌کند (Noctor and Foyer, 1998). در شرایط کم آبی، افزایش غلظت پراکسید هیدروژن حاصل از فعالیت سوپراکسید دیسموتاز سبب تحریک فعالیت آنزیم کاتالاز برای تجزیه پراکسید هیدروژن می‌گردد. کاتالاز، پراکسید هیدروژن را که برای سلول سمّی است به آب و اکسیژن تجزیه می‌نماید (Noctor and Foyer, 1998). افزایش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-21]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.13.0]

جدول ۹- مقایسه میانگین اثر تنش خشکی روی شاخص سبزینگی، پرولین، پراکسیداز، پروتئین محلول، کلروفیل *a* و کارتنوئید تاج‌خروس ریشه قرمز در سال اول و دوم

	صفات مورد بررسی					
	پراکسیداز (واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه		پرولین (میکرومول بر گرم وزن تر)		پروتئین محلول (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	
	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم
۱۰۰ (بدون تنش آبی)	۰/۴۲ d	۹/۵۱ d	۱/۶۰ c	۴/۴۰ c	۰/۰۴۰ a	۰/۰۰۵۷ a
۷۵ (تنش آبی کم)	۳/۷۶ c	۱۳/۷۷ c	۱/۶۶ c	۴/۵۲ c	۰/۰۳۹ ab	۰/۰۰۴۷ab
۵۰ (تنش آبی متوسط)	۹/۲۲ b	۱۳/۸۵ c	۱/۷۱c	۷/۳۳ b	۰/۰۳۴abc	۰/۰۰۴۱bc
۲۵ (تنش آبی زیاد)	۱۰/۱۰b	۱۷/۱۴b	۲/۰۷b	۷/۴۴ b	۰/۰۳۱bc	۰/۰۰۴۱bc
۱۲/۵ (تنش آبی شدید)	۱۱/۸۱a	۲۲/۳۲a	۲/۵۰a	۱۰/۹۳a	۰/۰۲۹c	۰/۰۰۳۵c

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف مشترک به لحاظ آماری در سطح ۵ درصد براساس آزمون LSD فاقد اختلاف معنی‌دار هستند.

ادامه جدول ۹-

	صفات مورد بررسی					
	شاخص سبزینگی		کلروفیل *a* (گرم بر سانتی‌متر مربع)		کارتنوئید (گرم بر سانتی‌متر مربع)	
	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم
۱۰۰ (بدون تنش آبی)	۳۵/۳۸a	۱۳/۷۳a	۱۷/۸۵ ab	۱۵/۱۶ a	۵۹/۷۵ d	۲۲/۴۰d
۷۵ (تنش آبی کم)	۳۵/۲۴a	۱۳/۲۲a	۱۸/۷۱ a	۱۳/۳۲ a	۷۵/۶۶ c	۳۴/۹۲ c
۵۰ (تنش آبی متوسط)	۳۲/۳۴a	۱۲/۶۵a	۱۷/۶۰ b	۱۲/۱۴ a	۷۸/۱۴ bc	۵۶/۷۳ b
۲۵ (تنش آبی زیاد)	۳۲/۶a	۱۲/۰۵a	۱۷/۰۹b	۶/۷۴ b	۷۹/۹۱ab	۵۸/۳۹b
۱۲/۵ (تنش آبی شدید)	۲۲/۸۶b	۹/۶۹b	۱۳/۶۲b	۶/۳۰b	۸۳/۵۶a	۶۷/۶۳a

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف مشترک به لحاظ آماری در سطح ۵ درصد براساس آزمون LSD فاقد اختلاف معنی‌دار هستند.

فعالیت آنزیم کاتالاز در گیاهان تحت تنش خشکی یک فرآیند سازگاری است که با کاهش میزان پراکسید هیدروژن از آسیب به بافت جلوگیری می‌کند. افزایش این آنزیم موجب مقاومت گیاه به شرایط تنش می‌شود (Gill and Tuteja, 2010).

تأثیر تنش خشکی بر پرولین و محتوای پروتئین محلول: تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر محتوای پرولین گیاه در هر دو سال داشت (جدول ۸). با کاهش محتوای آب میزان پرولین افزایش یافت. بیشترین محتوای پرولین در هر دو سال آزمایش در شرایط تنش آبی شدید بوجود آمد؛ حال آن‌که در هر دو سال در شرایط بدون تنش کمترین محتوای پرولین تولید شد (جدول ۹). افزایش میزان پرولین در بررسی‌های دیگر نیز گزارش شده است. نتایج باقی‌زاده و همکاران (۱۳۹۵) نشان داد که تحت تنش خشکی، میزان پرولین بخش هوایی و ریشه گیاه زنیان (*Trachyspermum ammi* L.) افزایش یافت. علت افزایش پرولین تحت شرایط تنش خشکی می‌تواند به‌دلیل تحریک فعالیت آنزیم بیوسنتزکننده پرولین و کاهش فعالیت آنزیم کاتابولیکی پرولین باشد (Slama *et al.*, 2006). در سطح بیوشیمیایی، متابولیت‌های ثانویه و دیگر مولکول‌های کلیدی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-21]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.13.0]

مانند کربوهیدرات‌ها، اسیدهای آمینه و پلی‌آمین‌ها نقش کلیدی را در مکانیسم‌های تحمل به تنش خشکی و بهبود ظرفیت سازگاری گیاه از طریق تغییر در ثبات غشاء سلولی و تنظیم اسمزی ایفا می‌کنند (El Sabagh *et al.*, 2019). پرولین به‌عنوان یک شبه سیگنال مهم در شرایط تنش خشکی عمل می‌کند که منجر به تحریک میتوکندری می‌شود و همچنین ژن‌های خاصی را در شرایط تنش تحریک می‌کند (Jayant and Sarangi, 2014). تجمع پرولین به حفظ غشاء سلولی با کاهش پراکسیداسیون لیپیدها با دفاع‌کردن در برابر پتانسیل اکسیداسیون و احیا سلول و کاهش گونه‌های اکسیژن فعال کمک می‌کند (Shinde *et al.*, 2016).

محتوای پروتئین محلول تحت تأثیر تنش خشکی در هر دو سال قرار گرفت (جدول ۸). افزایش شدت تنش موجب کاهش محتوای پروتئین محلول گیاه شد؛ لذا بیشترین میزان پروتئین محلول، در تیمار بدون تنش خشکی و به میزان ۰/۰۴۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر در سال اول و ۰/۰۰۵۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر در سال دوم بود و تنش آبی کم و متوسط در سال اول و تنش آبی کم در سال دوم تأثیر معنی‌داری روی میزان پروتئین گیاه نداشتند (جدول ۹). با افزایش شدت تنش میزان پروتئین محلول کاهش یافت، به‌طوری‌که در هر دو سال کمترین محتوای پروتئین محلول گیاه در تنش آبی شدید وجود داشت که به‌ترتیب به میزان ۰/۰۲۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر در سال اول و ۰/۰۰۳۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر در سال دوم بود (جدول ۹). نتایج تحقیقات نشان داده که با شدت‌گرفتن میزان تنش خشکی، مقدار کل پروتئین محلول هم در بخش هوایی ساقه و برگ و هم در ریشه کاهش می‌یابد که این روند با افزایش غلظت پرولین همراه است (Kapoor *et al.*, 2020). به‌نظر می‌رسد کاهش محتوای پروتئین تحت شرایط تنش خشکی به‌دلیل واکنش پروتئین با رادیکال‌های آزاد، کاهش زیر واحدهای روبیسکو، افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده پروتئین (پروتئاز) و کاهش سنتز پروتئین است (Ramezani *et al.*, 2013; Tahkokorpi, 2010). در بررسی دیگری محتوای پروتئین دانه در ۵ کولتیوار گندم در طی تنش خشکی کاهش معنی‌داری را نشان داد که با نتایج Ashrafi-Parchin و Shaban (۲۰۱۴)، Mafakheri و همکاران (۲۰۱۱) و Akhzari و Pessarakli (۲۰۱۶) هم‌راستا است.

تأثیر تنش خشکی بر محتوای کلروفیل *a* و *b* و کاروتنوئید: تأثیر تنش خشکی بر محتوای کلروفیل *a* و کاروتنوئید گیاه معنی‌دار بود (جدول ۸). هر چند تنش خشکی سبب کاهش محتوای کلروفیل *a* گیاه در هر دو سال شد اما در شدت‌های پایین تنش این تأثیر معنی‌دار نبود و افزایش شدت تنش توانست تأثیر معنی‌داری روی میزان کلروفیل *a* داشته باشد. اما محتوای کاروتنوئید با افزایش تنش خشکی افزایش یافت و بیشترین میزان کاروتنوئید (به‌ترتیب ۸۳/۵۶ و ۶۷/۶۳ گرم بر سانتی‌متر مربع) در شرایط تنش خشکی شدید در سال اول و دوم دیده شد (جدول ۹). در شرایط تنش خشکی، رقابت آنزیم گلوتامین کیناز (آنزیم کاتالیزکننده پرولین) و آنزیم گلوتامات لیگاز (اولین آنزیم مسیر بیوسنتز کلروفیل) موجب می‌شود تا پیش‌ساز گلوتامات، بیشتر به مصرف پرولین برسد و درنتیجه بیوسنتز کلروفیل با محدودیت مواجه شود (Bybordi *et al.*, 2010). از دلایل دیگر کاهش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی تحت تنش خشکی را می‌توان عموماً به تخریب ساختمان کلروپلاست و دستگاه فتوسنتزی، فتواکسیداسیون کلروفیل‌ها و اختلالات هورمونی نسبت داد (Naghavi *et al.*, 2015). تخریب مولکولی کلروفیل به‌علت جداشدن زنجیره فیتولی از حلقه پورفیرین در اثر ROS و یا آنزیم کلروفیلاز صورت می‌گیرد (افشارمحمدیان و همکاران، ۱۳۹۷). در بررسی اثر کودهای شیمیایی و زیستی پتاسیم بر صفات بیوشیمیایی هیبریدهای ذرت تحت تنش خشکی گزارش کردند که تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاه ذرت (*Zea mays* L.) گردید که با نتایج این پژوهش هم‌راستا است (آزادی و همکاران، ۱۴۰۰).

اثر متقابل تنش خشکی و سال روی محتوای کلروفیل *b* تأثیر معنی‌داری داشت (جدول ۶) و بیشترین محتوای کلروفیل *b* (۲۶/۵۲ گرم برسانتی‌متر مربع) در سال اول و شرایط بدون

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-21]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.13.0]

تنش خشکی مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با تنش کم در این سال نداشت (جدول ۷).

تنش خشکی یکی از شناخته‌شده‌ترین عوامل محدودکننده در فعالیت‌های فتوسنتزی گیاهان به‌شمار می‌رود. کاهش فعالیت فتوسنتزی، مقدار کلروفیل‌های *a* و *b*، از دست‌رفتن کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم ۲، تغییر در حرکت روزنه‌ها و تخریب وضعیت آبی گیاهان از جمله تأثیرات تنش خشکی روی فتوسنتز است (Xiang *et al*., 2013). در آزمایش حاضر محتوای کلروفیل *a* و *b* با افزایش تنش کاهش یافت. علت اصلی کاهش مقدار کلروفیل به‌دلیل تنش خشکی تحریک تولید اکسیژن نوزاد و آب اکسیژنه است که منجر به پراکسیداسیون چربی و درنهایت تجزیه کلروفیل‌ها می‌شود (Karimpour *et al.*, 2019). کمبود آب منجر به کاهش فتوسنتز و محتوای کلروفیل *a* و *b* در ژنوتیپ‌های ماش سیاه (*Vigna mungo* L. Hepper) شد (Gurumurthy *et al.*, 2019). تنش خشکی شدید موجب کاهش محتوای کلروفیل *a* و *b* سویا شد. کاروتنوئیدها جزء سیستم دفاعی غیرآنزیمی گیاهان در برابر تنش‌های محیطی محسوب می‌شوند و شرایط تنش خشکی سبب افزایش محتوای آن می‌شود (Biaber, 2004). نتایج Rodriguez-Perez (۲۰۱۷) نشان داد که محتوای کاروتنوئید، نسبت کاروتنوئید به کلروفیل در ارقام مختلف سیب زمینی (*Solanum tuberosum* L.) تحت تأثیر تنش خشکی افزایش یافت.

نتایج حاصل از این آزمایش نشان می‌دهد که تاج‌خروس ریشه قرمز با توسعه مکانیزم‌های مقاومت به خشکی خود می‌تواند در برابر خشکی شدید مقاومت نماید. این مکانیزم‌ها شامل افزایش غلظت پرولین، پراکسیداز، کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز است. به‌طوری‌که گیاه در شرایط تنش شدید غلظت پرولین و پراکسیداز خود را به حداکثر رساند. همچنین تاج‌خروس ریشه قرمز با افزایش تولید کاروتنوئید در شرایط تنش خشکی تلاش نمود تا کارآیی دستگاه فتوسنتزی خود را از طریق حفاظت از فتوسیستم ۲ حفظ نماید.

تنش خشکی ممکن است دوره بحرانی عاری از علف‌های هرز محصولات مختلف زراعی تحت تأثیر قرار دهد گونه‌های علف‌های هرزی که سرعت رشد بیشتری با توانایی تولید زیست‌توده بالایی دارند، در بدست آوردن منابع رشد موجود سریع‌تر عمل نموده و دارای قابلیت رقابتی بیشتری نسبت به سایر گونه‌های کند رشد هستند. نتایج این مطالعه اطلاعاتی در مورد بیولوژی تاج‌خروس ریشه قرمز تحت شرایط تنش خشکی ارائه خواهد داد که می‌توان از آنها برای درک و ارزیابی اثرات تنش خشکی روی اثر متقابل علف هرز-گیاه زراعی در تحقیقات آینده استفاده کرد. علاوه‌براین، کارایی علف‌کش‌های پس کاشت در شرایط تنش خشکی به‌دلیل حفظ و جذب کمتر علف‌کش توسط گیاهان هدف کاهش می‌یابد. بنابراین، این تحقیقات آینده می‌تواند به پاسخ تاج‌خروس ریشه قرمز به علف‌کش‌های پس‌کاشت در شرایط تنش خشکی کمک کند.

نتیجه‌گیری

منابع

آران، م.، عابدی، ب.، تهرانی‌فر، ع. و پارسا، م. (۱۳۹۶) بررسی تأثیر تنش خشکی بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی سه رقم انگور (*Vitis vinifera* L.). علوم باغبانی ایران ۳۱: ۳۲۶-۳۱۵.

اردشیری، ط. و جهان‌بین، ش. (۱۳۹۷) اثر محلول‌پاشی نانوکود کلات آهن و روی بر عملکرد، اجزای عملکرد و شاخص برداشت کلزا در شرایط تنش خشکی. به‌زراعی کشاورزی ۲۰: ۴۳-۳۱.

آزادی، ر. (۱۳۹۱) فلور ایران. شماره ۷۵. تیره تاج‌خروس Amarantaceae. مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع ۵۰-۱.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.13.0]

آزادی، م. ص.، شکوه‌فر، ع. ر.، مجدم، م.، لک، ش. و علوی فاضل، م. (۱۴۰۰) اثر کودهای شیمیایی و زیستی پتاسیم بر صفات بیوشیمیایی هیبریدهای ذرت تحت تنش خشکی و تعین صفات مؤثر بر عملکرد دانه. تنش‌های محیطی در علوم زراعی ۱۴: ۳۸-۲۷.

افشارمحمدیان، م.، امیدی‌پور، م. و جمال امیدی، ف. (۱۳۹۷) اثر سطوح مختلف تنش خشکی بر شاخص‌های فلورسانس کلروفیل دو رقم لوبیا. پژوهش‌های گیاهی ۳۱: ۵۲۵-۵۱۱.

باقی‌زاده، ا.، افروشته، م. و فاخری، ب. (۱۳۹۵) تأثیر تنش خشکی بر جوانه‌زنی و برخی خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه زنیان (*Trachyspermum ammi*). یافته‌های نوین کشاورزی ۱۳: ۹۱-۱۰۸.

جزی‌زاده، ف. و مرتضائی‌نژاد، ا. (۱۳۹۶) اثرات تنش خشکی بر شاخص‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه کاسنی (*Cichorium intybus* L.). فرآیند و کارکردهای گیاهی ۲۱: ۲۷۹-۲۹۰.

جمشیدی، ن.، شیرانی‌راد، ا. ح.، تخت‌چین، ف.، ناظری، پ. و غفاری، م. (۱۳۹۱) ارزیابی ارقام کلزا در شرایط تنش خشکی. اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی ۶: ۳۳۸-۳۲۳.

سودائی‌زاده، ح.، شمسایی، م.، تجملیان، م.، میرمحمدی میبدی، ع. م. و حکیم‌زاده، م. ع. (۱۳۹۵) بررسی تأثیر تنش خشکی بر برخی صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی مرزه (*Satureja hortensis* L.). فرآیند و کارکرد گیاهی ۵: ۱-۱۲.

وفایی، م. ح.، پارسا، م.، نظامی، ا.، گنجعلی، ع. و نوروزی شرف، ع. ر. (۱۳۹۸) بررسی تأثیر تنش خشکی بر فلورسانس کلروفیل برگ، عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی اقتصادی مصرف آب ژنوتیپ‌های منتخب عدس. به‌زراعی کشاورزی ۲۱: ۱۴۸-۱۳۱.

Abid, G., Mohamadi, M., Mingeot, D., Aouida, M., Aroua, I., Muhovski, Y., Sassi, K., Souissi, F., Mannai, K. and Jebara, M. (2017) Effect of drought stress on chlorophyll fluorescence, antioxidant enzyme activities and gene expression patterns in faba bean (*Vicia faba* L.). Archieves of Agronomy and Soil Science 63: 536-552.

Aebi, H. (1984) Catalase in vitro. Method of Enzymology 105: 121-126.

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: 243-250.

Ashrafi-Parchin, R. and Shaban, M. (2014) Study on protein changes in wheat under drought stress. International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research 2: 317-320.

Banu, M. N. A., Hoque, A., Watanabe-Sugimoto, M., Matsuoka, K., Nakamura, Y., Shimoishi, Y. and Murata, Y. (2009) Proline and glycinebetaine induce antioxidant defense gene expression and suppress cell death in cultured tobacco cells under salt stress. Journal of Plant Physiology 166: 146-156.

Bates, L. S., Waldern, R. P. and Tear, I. D. (1973) Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil 39: 205-207.

Bhargava, S. and Sawant, K. (2013) Drought stress adaptation: Metabolic adjustment and regulation of gene expression. Plant Breeding 132: 21-32.

Bhatt, R. M. and Rao, S. N. K. (2005) In fluence of pod load on response of okra to water stress. Indian Journal of Plant Physiology 10: 54-59.

Biaber, B., Cureuett, J. T. and Kipnes, R. S. (2004) Biologic defense mechanisms. Journal of Laboratory and Clinical Medicine 85: 235-244.

Bradford, M. M. (1976) A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analls of Biochemistry 72: 248-254.

Bybordi, A., Tabatabaei, S. J. and Ahmadev, A. (2010) Effect of salinity on the growth and peroxidase and IAA oxidase activities in canola. Journal of Food, Agriculture and Environment 8: 109-112.

Chowdhury, J., Karim, M., Khaliq, Q. and Ahmed, A. (2017) Effect of drought stress on bio-chemical change and cell membrane stability of soybean genotypes. Bangladesh Journal of Agricultural Research 42: 475-485.

El Sabagh, A., Hossain, A., Barutcular, C., Gormus, O., Ahmad, Z., Hussain, S., Islam, M., Alharby, H., Bamagoos, A., Kumar, N., Akdeniz, H., Fahad, S., Meena, R. S, Abdelhamid, M., Wasaya, A., Hasanuzzaman, M., Sorour, S. and Saneoka, H. (2019) Effects of drought stress on the quality of major oilseed crops: Implications and possible mitigation strategies—A review. Appllied Ecology Environmental Research 17: 4019-4043.

Farhoosh, R. and Moosavi, S. M. R. (2006) Determination of carbonylvalue in rancid oils: A critical reconsideration. Journal of Food Lipids 13: 298-305.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.13.0]

Gao, S., Wang, Y., Yu, S., Huang, Y., Liu, H., Chen, W. and He, X. (2020) Effects of drought stress on growth, physiology and secondary metabolites of Two Adonis species in Northeast China. Sciencia Horticulturae 259: 108-795.

Giannopolitis, C. and Ries, S. K. (1977) Superoxide dismutases II. Purification and quantitative relationship with water-soluble protein in seedlings. Plant Physiology 59: 315-318.

Gill, S. S. and Tuteja, N. (2010) Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. Plant Physiology and Biochemistry 48: 909-930.

Gomes, P., Oliva, M. A., Mieike, M. S., Almeida, A. A. F. and Aquino, L. A. (2010) Osmotic adjustment, proline accumulation and cell membrane stability in leaves of *Cocos nucifera* submitted to drought stress. Scientia Horticulture 126: 379-384.

Gurumurthy, S., Sarkar, B., Vanaja, M., Lakshmi, J., Yadav, S. and Maheswari, M. (2019) Morpho-physiological and biochemical changes in black gram (*Vigna mungo* L. Hepper) genotypes under drought stress at flowering stage. Acta Physiologia Plantarium 41: 42.

Heidarzade, A., Esmaeili, M., Bahmanyar, M. and Abbasi, R. (2016) Response of soybean (*Glycine max*) to molybdenum and iron spray under well-watered and water deficit conditions. Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences 4: 37-46.

Holm, L., Doll, J., Holm, E., Pancho, J. V. and Herberger J. P. (1997) World Weeds: Natural Histories and Distribution.

Horak, M. I. and Loughin, T. M. (2000) Growth analysis of four Amaranthus species. Weed Science 48: 347-355.

Jayant, K. S. and Sarangi, S. K. (2014) Effect of drought stress on proline accumulation in peanut genotypes. International Journal of Advance Research 2: 301-309.

Kang, H. M. and Saltiveit, M. E. (2002) Chilling tolerance of maize, cucumber and rice seedling (leaves and roots) and differentially affected by salicylic acid. Physiologia Plantarum 115: 577-576.

Kapoor, D., Bhardwaj, S., Landi, M., Sharma, A., Ramakrishnan, M. and Sharma, A. (2020) The impact of drought in plant metabolism: how to exploit tolerance mechanisms to increase crop production. Applied Sciences 10: 56-92.

Karimmojeni, H., Bazrafshan, A. H., Majidi, M. M., Torabian, S. and Rashidi, B. (2014) Effect of maternal nitrogen and drought stress on seed dormancy and germinability of *Amaranthus retroflexus*. Plant Species Biology 29: e1-e8.

Karimpour, M. (2019) Effect of drought stress on RWC and chlorophyll content on wheat (*Triticum durum* L.) Genotypes. World Ess Journal 7: 52-56.

Knezevic, S. Z., Horak, M, J. and Vanderlip, R. L. (1999) Estimates of physiological determinants for *Amaranthus retroflexus* L. Weed Science 3: 291-296.

Lalinia, A. A., Hoseini, N. M., Galostian, M., Bahabadi, S. E. and Khameneh, M. M. (2012) Echophysiological impact of water stress on growth and development of mung bean. International Journal of Agronomy and Plant Production 3: 599-607.

Mafakheri, A., Siosemardeh, A., Bahramnejad, B. and Struik, P. C. (2011) Effect of drought stress and subsequent recovery on protein, carbohydrate contents, catalase and peroxidase activities in three chickpea (*Cicer arietinum*) cultivars. Australian Journal of Crop Science 5: 1255-1260.

Muller, K. and Borsch, T. (2005) Stellate pore ornamentation in *Amaranthaceae pollen*: Multiple origins of a unique feature. Grana 44: 266-281.

Naghavi, M. R., Toorchi, M., Moghaddam, M. and Shakiba, M. R. (2015) Evaluation of diversity and traits correlation in spring wheat cultivars under drought stress. Notulae Scientia Biologicae 7: 349-354.

Noctor, G. and Foyer, C. H. (1998) Ascorbate and glutathione: Keeping active oxygen under control. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology 49: 249-279.

Osuagwu, G. G. E., Edeoga, H. O. and Osuagwu, A. N. (2010) The influence of water stress on the mineral and vitamin potential of the leaves *Ocimum gratissimum*. Recent Research in Science and Technology 2: 27-33.

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: 149-156.

Prathyusha, I. V. S. N. and Chaitanya, K. V. (2019) Effect of water stress on the physiological and biochemical responses of two different Coleus (Plectranthus) species. Biology Future 70: 312-322.

Ramezani, M., Seghatoleslami, M., Mousavi, G. and Sayyari-Zahan, M. H. (2013) Effect of salinity and foliar application of iron and zinc on yield and water use efficiency of ajowan (*Carum copticum*). International Journal of Agriculture and Crop Sciences 7: 421-426.

Rodriguez-Perez, L., Carlos Eduardo Nustez, L. and Liz Patricia Moreno, F. (2017) Drought stress affects physiological parameters but not tuber yield in three Andean potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars. Agronomia Colombiana 35:158.

Sarker, B. C., Hara, M. and Uemura, M. (2005) Proline synthesis, physiological responses and biomass yield of eggplants during and after repetitive soil moisture stress. Scientia Horticulturae 103: 387-402.

Scalia, R., Oddo, E., Saiano, F. and Grisafi, F. (2009) Effect of salinity on *Puccinellellia distans* (L.) Parl. treated with Nacl and foliarly applied glycine betaine. Plant Stress 3: 49-54.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.13.0]

Shi, S., Fan, M., Iwama, K., Li, F., Zhang, Z. and Jia, L. (2015) Physiological basis of drought tolerance in potato grown under long-term water deficiency. International Journal of Plant Production 9: 305-320.

Shinde, S., Villamor, J. G., Lin, W., Sharma, S. and Verslues, P. E. (2016) Proline coordination with fatty acid synthesis and redox metabolism of chloroplast and mitochondria. Plant Physiology 172: 1074-1088.

Vats, Sh. (2018) Photosynthesis and abiotic stress in plants. In: Biotic and Abiotic Stress Tolerance in Plants. (eds. Singh, J. and Thakur, J. K.) Pp. 27-46. Springer, Singapore.

Slama, I., Messe, D., Ghanaya, T., Savoure, A. and Abdelly, C. (2006) Effects of water deficit on growth and proline metabolism in *Sesuvium portulacastrum*. Environmental and Experimental Botany 56: 231-238.

Smirnoff, N. (1996) The function and metabolism of ascorbic acid in plants. Annals of Botany 78: 661-669.

Steadman, K. J., Ellery, A. J., Chapman, R., Moore, A. and Turner, N. C. (2004) Maturation temperature and rainfall influence seed dormancy characteristics of annual ryegrass (*Lolium rigidum*). Australian Journal of Agricultural Research 55: 1047-1057

Tahkokorpi, M. (2010) Anthocyanins under drought and drought-related stresses in blueberry (*Vaccinium myrtillus* L.). Acta Universitatis Ouluensis: A Scientiae Rerum Naturalium 556: 1-46.

Tang, W. and Newton, R. J. (2005) Peroxidase and catalase activities are involved in direct adventitious shoot formation induced by thidiazuron in eastern white pine (*Pinus strobus* L.) zygotic embryos. Journal of Plant Biochemistry and Physiology 43: 730-769.

Thomas, M. T. and Gausling, T. (2000) Morphological and physiological responses of oak (*Quercuspet raea* and *Q.robur*) to moderat drought. Annals of Forest Science 57: 325-333.

Wang, W., Vincour, B. and Altman, A. (2003) Plant response to drought, salinity and extreme temperature: Towards genetic engineering for stress tolerance. Planta 218: 1-14.

Xiang, D. B., Peng, L. X., Zhao, J. L., Zou, L., Zhao, G. and Song, C. (2013) Effect of drought stress on yield, chlorophyll contents and photosynthesis in tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum*). Journal of Food Agriculture and Environment 11: 1358-1363.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.13.0]

Study of morphological and physiological response of red root pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.) to drought stress

Mahya Asdolahzade[1], Mohammad Rezvani[1]*, Faezeh Zaefarian[2], Hamid Reza Mobasser[1]

[1] Department of Agronomy and Plant Breeding, Qaemshahr Branch, Islamic Azad University, Qaemshahr, Iran
[2] Department of Agronomy, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
(Received: 09/02/2022, Accepted: 24/05/2022)

Abstract

Redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.) is a noxious and cosmopolitan weed that is widely distributed in different parts of the world and competes severely with crops and reduces their growth and yield. The present study was conducted to investigate the effect of drought stress on some morphological and physiological characteristics of redroot pigweed in 2018 and 2019. Treatments included different degrees of drought stress with 5 levels including 100, 75, 50, 25, and 12.5% of pot water content (equivalent to no stress, light stress, moderate stress, high stress, and severe stress). Leaf number, plant height, and leaf dry weight were affected by the interaction of drought stress×years and with increasing drought stress, leaf number, plant height, and leaf dry weight decreased in both years of the experiment. With decreasing the water content of the pot, the activity of catalase and superoxide dismutase increased. The highest levels of catalase and superoxide dismutase activity (110.35 and 1433.33 units of enzyme/mg protein per minute) were observed in the second year under severe stress, respectively. Increasing the intensity of stress decreased the soluble protein content of the plant. Also, drought stress reduced plant chlorophylls *a* and *b* content, whereas, carotenoid content increased. The highest amount of carotenoids was observed in both years under severe drought stress conditions. Overall, drought stress in the second year reduced growth in redroot pigweed further but in this year, the enzyme activity ramped up further. Therefore, this plant can modify stresses and maintain its survival by changing its biochemical activity.

Keywords: Catalase, Superoxide dismutase, Peroxidase, Photosynthetic pigments

Corresponding author, Email: m_rezvani52@yahoo.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.13.0]