فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۲، شماره ۵۷، آذر و دی‌ماه ۱۴۰۲ صفحه: ۲۶۷-۲۸۳
https://doi.org/10.22034/12.57.267

مقاله پژوهشی

اثر تنش خشکی ناشی از پلی‌اتیلن بر میزان فعالیت آنزیمی و تجمع اسیدهای آمینه در ریشه گیاهچه‌های ژنوتیپ‌های مختلف برنج (*Oryza sativa* L.)

سیده‌ویدا حیدرقلی‌زاده حسنکلا، نادعلی باقری*، نادعلی بابائیان جلودار و سیدکمال کاظمی‌تبار

گروه اصلاح نباتات، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۱۶، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۰۳/۱۸)

چکیده

تنش خشکی عامل محدودکننده رشد برنج در مناطق برنج کاری است یکی از رویکردهای مقابله با اثرات منفی تنش در تولید محصول استفاده از رقم‌های متحمل به خشکی است. این تحقیق به منظور بررسی اثر تنش خشکی بر تغییرات فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و تجمع اسیدهای‌آمینه در تعدادی از ژنوتیپ‌های برنج انجام شد. در این پژوهش تعداد شش ژنوتیپ برنج به همراه رقم‌های شاهد متحمل (بینام) و حساس (IR64) در مرحله گیاهچه‌ای به‌صورت آزمایش کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در سه تکرار و چهار سطح خشکی ناشی از پلی‌اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ (صفر (یوشیدا)، ۰/۵-، ۱- و ۱/۵- بار) در محیط‌کشت هیدروپونیک مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج تجزیه واریانس تأثیر معنی‌داری خشکی روی میزان فعالیت آنزیم‌ها را در بین ژنوتیپ‌های مختلف برنج نشان داد. بگونه‌ایی که با افزایش شدت تنش، میزان فعالیت آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز ۲۶/۵۳ درصد، گایاکول پراکسیداز ۱۹/۷۳ درصد، کاتالاز ۱۴/۱۵ درصد و سوپراکسید دیسموتاز ۴۱/۵۰ درصد افزایش یافت و ژنوتیپ‌های مانند دانش و LP8 که نسبت به خشکی متحمل‌تر بودند، میزان فعالیت آنزیمی بالاتری داشتند. میزان افزایش فعالیت در ژنوتیپ‌های متحمل بیشتر از ارقام حساس بود. در بررسی پروفایل اسیدآمینه‌ای ژنوتیپ‌های معرفی‌شده فوق با افزایش شدت تنش خشکی، میزان فعالیت اسیدهای آمینه گلوتامیک اسید، آلانین، آرژنین، لوسین و لیزین به مقدار قابل‌توجهی افزایش یافت. درحالیکه در ژنوتیپ حساس IR64 تحت تنش تجمع معنی‌داری از نظر اسیدهای آمینه مشاهده نشد. بنابراین می توان نتیجه گرفت که تجمع اسیدهای‌آمینه ارتباط نزدیکی با تحمل به خشکی ژنوتیپ‌های متحمل دارد.

کلمات کلیدی: اسیدهای‌آمینه، برنج، پراکسیدازها، پلی‌اتیلن گلیکول، پرولین

مقدمه

خشکی یک رویداد هواشناختی است که به دلیل عدم وقوع بارندگی در یک دوره زمانی اتفاق می‌افتد. با وقوع تنش خشکی، آب قابل دسترس خاک کاهش یافته ولی تلفات آب از طریق تبخیر و تعرق به‌طور مداوم افزایش می‌یابد. در شرایط تنش خشکی به دلیل بسته‌شدن روزنه‌ها در طول دوره تنش، تغییر کارایی مصرف آب، ماده خشک تولیدی گیاه کاهش می‌یابد. گیاهان در مواجه با تنش خشکی واکنش‌هایی از خود نشان می‌دهند که بسته به شدت تنش، طول مدت تنش، ژنوتیپ، سن و مرحله نموی گیاه در زمان وقوع تنش متفاوت است (خاکشور مقدم، ۱۳۸۹). بنابراین گونه‌های گیاهی دامنه وسیعی از سازوکارهای مقاومت به خشکی را نشان می‌دهند که

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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-03-03]

منجر به ایجاد سازگاری‌های ریخت‌شناسی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی می‌گردد (Ahmed *et al.*, 2013). توسعه ارقام زراعی متحمل به خشکی یکی از روش‌های مقابله با خشکی است. بنابراین در گیاهان زراعی فهم سازوکارهای مقاومت به خشکی بسیار مهم است. گیاهان در زمان مواجه با تنش خشکی نیاز به سازوکارهای دارند که بتوانند پاسخ مناسبی به تنش بدهند. یکی از این سازوکارهای مقابله با خشکی تنظیم اسمزی است، که نوعی واکنش سازگاری به تنش خشکی است که از طریق تجمع مواد محلول درون سلول‌ها، می‌تواند به حفظ تورژسانس سلول‌ها و فرآیندهای وابسته به آن در پتانسیل‌های پایین منجر شود (اردلانی و همکاران، ۱۳۹۳؛ صمدی دیزجی، ۱۴۰۰) در گیاهان سازوکارتنظیم اسمزی به واسطه تجمع متابولیت‌های اولیه‌ایی همچون گلایسین، پرولین، بتائین و مانیتول حاصل می‌شود که به عنوان متابولیت‌های سازگار شناخته می‌شوند زیرا در واکنش‌های عادی متابولیکی گیاه مداخله نمی‌کنند. به‌طور طبیعی به عنوان متابولیت سازگار در گیاهان مقاوم به تنش تجمع می‌یابند. این ترکیبات علاوه بر مشارکت در حفظ تورم سلولی، در پایداری آنزیم‌ها اهمیت بالایی دارند (Showler and castro, 2010؛ اکبرزاده لکامی، ۱۳۹۹). متابولیسم اسیدهای آمینه نقش مهمی را در تحمل گیاهان به تنش دارد. بسیاری از محققان بر این باورند که در شرایط تنش خشکی میزان اسیدهای آمینه نسبت به شاهد افزایش بیشتری دارد (زالی و همکاران، ۱۳۹۵).

در بین اسیدهای آمینه، پرولین منبع انرژی، نیتروژن و کربن است که برای بازگشت گیاه به شرایط قبل از اعمال تنش خشکی بعد از رفع تنش مورد توجه قرار گرفته است (Singh *et al.*, 1973). پرولین همراه با قندها، اسیدهای آمینه و آنزیم‌های دیگر در تصفیه رادیکال‌های آزاد که باعث فروپاشی و تخریب غشاءها در شرایط تنش می‌شود نقش دارد و هچنین باعث پایدارای ساختمان پروتئین‌ها نیز می‌شود. پرولین در گیاهان نقش بسیار مهمی در تحمل به شرایط تنش خشکی ایفا می‌کند، در شرایط کمبود آب بین درصد بقاء و افزایش سطح پرولین همبستگی قوی وجود دارد (Karagozler *et al.*, 2005). در گزارشی Good و Zaplachinski (۱۹۹۴)، بیان کردند که غلظت اسیدهای آمینه آسپارتیک اسید، لوسین و ایزولوسین در شرایط اعمال تنش خشکی ۵ برابر افزایش یافت درحالیکه در سایر اسیدهای آمینه این روند افزایشی کمتر بود. در بررسی ژنوتیپ‌های مختلف جو تحت تنش خشکی Ahmed و همکاران (۲۰۱۳)، بیان کردند که محتوای تمامی اسیدهای آمینه (بجزء متیونین) در شرایط خشکی افزایش معنی‌داری را نسبت به شرایط بدون تنش از خود نشان دادند. این افزایش در ژنوتیپ‌های متحمل بیشتر بود. یکی از راهکارهای بسیار مهم گیاهان در مقابله با اکسیژن فعال و آسیب‌های اکسیداتیو ناشی از آن، استفاده از مکانیسم دفاعی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی است. یکی از تغییراتی که در زمان مواجه گیاه با تنش رطوبتی حادث می‌شود، تولید گونه‌های ROS (اکسیژن فعال) مانند رادیکال‌های هیدروکسی، پراکسید هیدروژن H_2O_2، رادیکال سوپراکسید و رادیکال‌های آلکوکسی است. رادیکال‌های سوپراکسید سمی نیمه‌عمر کمتر از یک ثانیه دارند و به‌طور معمول به سرعت توسط سوپراکسید به H_2O_2 تبدیل می‌شوند. محصولی که نسبتاً پایدار است و توسط کاتالاز و پراکسیدازها سم‌زدایی می‌شود. این متابولیسم‌ها برای مقابله با رادیکال‌های آزاد سوپراکسید تولیدشده در شرایط تنش یک دفاع اولیه مهم از سلول‌ها را تشکیل می‌دهند (Manivannan*et al.*, 2008؛ اعلم، ۱۳۹۰). در تحقیقی بر روی گیاهچه‌های گندم تحت تنش خشکی و فعالیت پراکسیداسیون لیپیدی و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان تقوی (۱۳۹۵) و اسفندیاری و همکاران (۱۳۸۷) گزارش کردند، با افزایش شدت تنش اسمزی، میزان فعالیت پراکسیداسیون لیپیدی نیز افزایش یافت. به علاوه در تمامی رقم‌ها در سطوح بالای تنش اسمزی فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز کاهش یافت، اما با افزایش شدت تنش میزان فعالیت آنزیم‌های دیگر در سایر رقم‌های مورد بررسی روند افزایشی از خود نشان دادند. در تحقیقی تحت تنش شوری روی گیاه برنج میزان فعالیت آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز، گلوتاتیون ردوکتاز، کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز افزایش یافته و ارتباط مستقیمی بین میزان آنزیم‌هاو تنش شوری وجود داشت (Liu

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-03-03]

et al., 2008؛ شاکری، ۱۳۹۲) در سایر مطالعات تحت تنش خشکی نیز افزایش میزان فعالیت آنزیم کاتالاز گزارش شده است (Huseyniva, 2012؛ زالی، ۱۳۹۴) در مقابل این نتایج، Jiang و Huang (۲۰۰۱) در گراس‌های تحت تیمار تنش کاهش معنی‌داری در فعالیت آنزیم کاتالاز گزارش کردند. نتایج بسیاری از تحقیقات نشان می‌دهد که در بسیاری از گونه‌های گیاهی میزان فعالیت آنزیم‌ها در برگ‌های ژنوتیپ متحمل و حساس به تنش شوری افزایش می‌یابد. اگرچه افزایش میزان فعالیت آنزیم در ارقام حساس به شوری کمتر از ارقام متحمل گزارش شده است (Moradi and Ismaili, 2007). از لحاظ فیزیولوژی تنش و اصلاح ژنتیکی ارقام، مطالعه متابولیت‌های اولیه در ریشه تحت شرایط تنش و نرمال مهم است، زیرا منجر به رفع محدودیت‌های فیزیولوژی تولید در شرایط تنش خشکی می‌گردد. در این مطالعه بررسی سطوح اسیدهای آمینه آزاد در چهار ژنوتیپ برنج شامل بینام (شاهد متحمل)، IR64 (شاهد حساس) و دو ژنوتیپ منتخب شامل دانش و LP8 در شرایط کنترل و تنش خشکی در مرحله گیاهچه‌ای انجام شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر تنش خشکی در مرحله گیاهچه‌ای برخی از ژنوتیپ‌های برنج در سطوح مختلف خشکی حاصل از پلی‌اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ (PEG) مطالعه‌ای در آزمایشگاه بیوتکنولوژی گیاهی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در سال ۱۴۰۰ انجام گرفت. در این مطالعه تعداد هشت ژنوتیپ برنج شامل جلودار، دانش، چهار لاین امیدبخش (LH1, LE1, LT1, LP8) به همراه ارقام شاهد متحمل بینام (تقوی و همکاران، ۱۳۹۶) و حساس IR64 (Liu and Bennett, 2011) (جدول ۱) در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی به صورت طرح کرت‌های خردشده در سه تکرار و چهار سطح خشکی (ناشی از پلی‌اتیلن گلیکول) صفر (یوشیدا)، ۰/۵-، ۱-، ۱/۵- بار (Mishel and Kaufmann, 1973) در محیط‌کشت هیدروپونیک به اجرا در آمد. بذور به مدت ۱۰ دقیقه با قارچ‌کش ویتاواکس تیرام با غلظت یک در هزار و هیپوکلریت سدیم ۱۰ درصد ضدعفونی و پس از آن سه بار با آب‌مقطر استریل و در داخل ظروف پتری‌دیش و روی کاغذ صافی مرطوب قرار داده شدند. پس از آن به دستگاه ژرمیناتور با دمای ۲۷ درجه سانتی‌گراد به منظور جوانه‌زنی منتقل شدند. برای کشت هیدروپونیک از ظرف‌هایی با حجم ۴ لیتر و صفحه‌های یونولیت حاوی سوراخ ۲×۲ سانتی‌متری استفاده شد. بذرهای جوانه‌زده در داخل هر سوراخ و روی شبکه توری با سوراخ‌های ریز که در زیر یونولیت نصب شده بود (جهت عبور ریشه‌ها به داخل آب) انتقال داده شدند. در داخل هر منفذ یونولیت یک بذر جوانه‌زده قرار داده شد. سپس به مدت یک هفته در آب‌مقطر بدون محلول غذایی و پس از آن به مدت دو هفته به محیط‌کشت یوشیدا انتقال داده شدند. pH محیط هر روز کنترل شد و در ۵/۵ ثابت نگه داشته شد. محلول غذایی یوشیدا (Yoshida *et al.*, 1976) هر چهار روز تعویض شد. متوسط دمای محیط رشد گیاهچه‌ها در روز ۳۰ درجه سانتی‌گراد و در شب ۲۵ درجه سانتی‌گراد و در شرایط نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی انجام شد. به مدت دو هفته گیاهچه‌های برنج در دو شرایط کشت (محلول غذایی نرمال و سطوح پلی‌اتیلن گلیکول) قرار گرفتند. مقدار پلی‌اتیلن گلیکول براساس روش Mishel و Kaufmann (۱۹۷۳) اندازه‌گیری شد. پس از دو هفته که گیاهچه در شرایط تنش و بدون تنش بودند، هر محیط به طور جداگانه از ژنوتیپ‌های مختلف برنج جهت بررسی، نمونه‌برداری صورت گرفت.

برای اندازه‌گیری پرولین در مرحله گیاهچه‌ای (مرحله ۱۹ براساس مقیاس BBCH) از آخرین برگ توسعه‌یافته بعد از دو هفته اعمال تنش استفاده شد، ۰/۵ گرم بافت تر گیاهی را توزین و درون یک فالکون ۱۵ میلی‌متری ریخته، سپس ۱۰ میلی‌لیتر محلول ۳ درصد اسید سولفوسالسیلیک را به آن اضافه کرده و حدود ۱۰ دقیقه ورتکس شده است. سپس فالکون‌ها در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۱۳۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. و سپس نمونه‌ها را با استفاده از کاغذ صافی شماره ۲ واتمن صاف نموده و از محلول هر نمونه ۲ میلی‌لیتر برداشته و درون فالکون ۱۵ میلی‌متری جدید

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-03-03]

جدول ۱- مشخصات ژنوتیپ‌های مورد بررسی برنج

ردیف	ژنوتیپ	منشاء
۱	بینام (شاهد متحمل)	بومی (محلی)
۲	IR64 (شاهد حساس)	IRRI
۳	(بینام / دانش) LE1	اصلاحی
۴	LH1 (229R / دانش)	اصلاحی
۵	(بینام / جلودار) LT1	اصلاحی
۶	LP8 (229R/ جلودار)	اصلاحی
۷	دانش	اصلاحی
۸	جلودار	اصلاحی

ریخته و سپس به هر یک از لوله‌های حاوی عصاره گیاه ۲ میلی‌لیتر اسید استیک گلاشیال و ۲ میلی‌لیتر معرف نین‌هیدرین افزوده و سپس با دقت ورتکس گردید. نمونه‌ها رابه مدت یک ساعت با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد در بن‌ماری قرار داده شد و پس از آن محلول‌ها در حمام یخ جهت قطع واکنش قرار داده شد تا لوله‌های فالکون سرد شوند و به آن‌ها ۴ میلی‌لیتر تولوئن افزوده و لوله‌ها به مدت ۳۰ ثانیه ورتکس و سپس با ثابت نگه داشتن لوله‌ها دو فاز جدا از هم تشکیل گردید که از فاز رنگی (رویی) که حاوی پرولین و تولوئن بود برای اندازه‌گیری غلظت پرولین استفاده شد. مقدار معینی از این بخش جدا شده به منظور تعیین میزان جذب در دستگاه اسپکتوفتومتر (Cary 300, USA) در طول‌موج‌های ۵۲۰ نانومتر مقدار جذب خوانده شد (Bates *et al*., 1973).

برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌ها از آخرین برگ توسعه یافته در مرحله گیاهچه‌ایی بعد از اعمال تنش به مدت دو هفته استفاده شد. فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD) به روش Beauchamp و Fridavich (۱۹۷۱) و در طول‌موج ۵۴۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. فعالیت آنزیم کاتالاز به روش Aebi (۱۹۸۴)، در طول‌موج ۲۴۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز به روش Chanes و Mahely (۱۹۹۶)، در طول‌موج ۴۷۰ به مدت یک دقیقه ثبت شد و فعالیت آنزیم آکوربات پراکسیداز به روش Nakano و Asada (۱۹۸۷) انجام شد.

برای اندازه‌گیری اسیدهای آمینه، مقدار ۰/۳ گرم بافت خشک ریشه درون ویال ۱/۵ میلی‌متری در پیچ‌دار انتقال داده شد و به آن ۱ میلی‌لیتر اتانول ۸۰ درصد اضافه شد در ادامه ویال‌ها به مدت یک ساعت به ترمومیکسر (بن‌ماری شیکردار) با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد منتقل شدند. پس از آن نمونه‌ها در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه با ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. فاز رویی محلول برداشته شد و به ویال جدید ۲ میلی‌متری انتقال یافت. در ادامه محلول با سرنگ مخصوص، به دستگاه HPLC با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، تزریق شد. غلظت‌های مختلف هر یک از اسیدهای آمینه تزریق شد، محاسبه مساحت سطح زیر منحنی هر یک از غلظت‌های داده شده به دستگاه و تعیین رابطه غلظت و سطح زیر منحنی، منحنی استاندارد رسم شده و مقادیر کمی هر یک از اسیدهای آمینه محاسبه شد (Manivannan *et al*., 2008).

در این آزمایش تجزیه واریانس با نرم‌افزار SPSS و رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel انجام شد. جهت مقایسه میانگین تیمارها از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس داده‌های صفات مورد بررسی نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار تنش خشکی و اثر متقابل تنش خشکی و ژنوتیپ روی میزان فعالیت آنزیم‌ها و اسیدآمینه پرولین در مرحله گیاهچه‌ای است (جدول ۲). این نتایج تحت تنش خشکی در

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-03-03]

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات بیوشیمیای مورد بررسی ژنوتیپ‌های برنج تحت تنش خشکی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		کاتالاز	گایاکول پراکسیداز	آسکوربات پراکسیداز	سوپراکسید دیسموتاز	پرولین
خشکی	۳	۰/۰۲۳**	۱۱۰۵۸/۶۱**	۱۷۱۷۷/۱۵**	۸/۰۷**	۰/۰۴۳**
خطا	۸	۰/۰۰۰۰۰۶۹۵۱	۳۰۷۱۶/۴۶	۹۶/۵۳	۰/۰۱۹	۰/۰۰۰۰۳۶۳۱
ژنوتیپ	۷	۰/۰۰۵**	۴۷۰۷۲/۵۵**	۲۴۹۱/۶۲**	۴/۰۲۷**	۰/۰۳۹**
خشکی × ژنوتیپ	۲۱	۰/۰۰۵**	۳۰۱۰۹/۴۸**	۱۸۸۸/۴۲**	۰/۷۴۹**	۰/۰۲۱**
خطای آزمایشی	۵۶	۰/۰۰۰۰۰۹۵	۶۴۱۱۵/۶۹	۱۵۳/۷۵	۰/۰۱۷	۰/۰۰۰۰۱۸۱۷
ضریب تغییرات (٪)		۴/۱۵	۹/۷۳	۱۶/۵۳	۴/۵۰	۴/۸۸

*** و **: به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد**

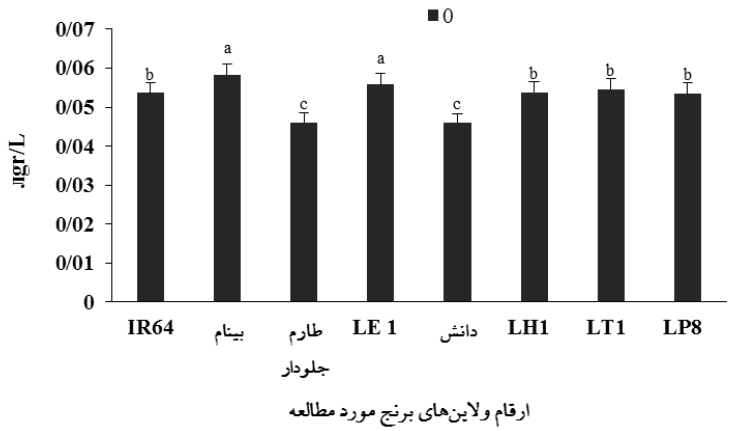
بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی در مرحله گیاهچه‌ای بیانگر وجود تنوع ژنتیکی است. در بررسی تحمل ارقام برنج نسبت به تنش خشکی، صفایی چایی‌کار و همکاران (۱۳۸۶) و نیک‌سیر و همکاران (۱۳۹۲) اثر متقابل خشکی در ژنوتیپ را معنی‌دار گزارش نمودند.

مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ در سطوح تنش خشکی (شکل ۱، ۲، ۳ و ۴) نشان داد، که روند تغییرات میزان پرولین از سطح شاهد تا سطح ۱/۵- بار در تمامی ژنوتیپ‌ها به صورت افزایشی است، بیشترین میزان پرولین برگ (۰/۰۹۱۱ میکروگرم بر لیتر عصاره) مربوط به رقم دانش و کمترین میزان پرولین (۰/۰۵۴۱ میکروگرم بر لیتر عصاره) مربوط به ژنوتیپ LT1 بود. در سطح ۰/۵- بیشترین میزان پرولین (۰/۰۶۳۲ میکروگرم بر لیتر عصاره) مربوط به ژنوتیپ بینام و کمترین میزان پرولین مربوط به ژنوتیپ LT1 بود (شکل ۲). بیشترین میزان پرولین برگ در سطح ۱- (شکل ۳) به ترتیب مربوط به ژنوتیپ بینام، دانش و LE1 (۰/۰۶۳۱، ۰/۰۶۱۸ و ۰/۰۶۱۴ میکروگرم بر لیتر عصاره) بوده است. در سطح ۱/۵- بیشترین میزان فعالیت پرولین (۰/۰۷۴۴ میکروگرم بر لیتر) مربوط به ژنوتیپ دانش و کمترین میزان پرولین مربوط به ژنوتیپ IR64 بود (شکل ۴).

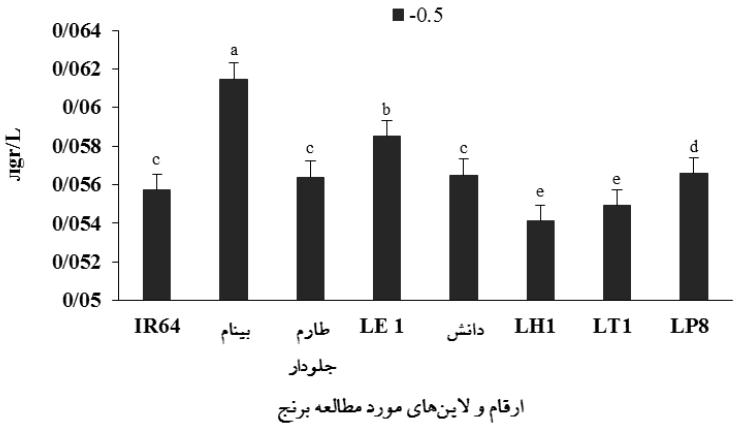
افزایش میزان پرولین در برگ ناشی از افزایش مقدار پلی‌اتیلن گلیکول را می‌توان چنین توجیه کرد که میزان آنزیم‌های مسیر گلوتامات تحت تنش خشکی فعال شده و سنتز پرولین افزایش می‌یابد، زیرا خشکی باعث تحریک ژن‌های سنتزکننده این آنزیم خواهد شد. بعد از پایان یافتن تنش ممکن است، شکستن پرولین تأمین‌کننده عوامل مورد نیاز تولید ATP و فسفریلاسیون اکسیداتیو میتوکندریایی برای ترمیم صدمات ناشی از تنش خشکی باشد (حاجی رمضانی، ۱۳۹۷). در گزارشی Ketchum و همکاران (۱۹۹۱) و Singh و همکاران (۱۹۹۵)، بیان کردند که در شرایط تنش خشکی میزان غلظت پرولین در سیتوزول به طور غالب افزایش پیدا می‌کند و درنتیجه پرولین در تنظیم اسمزی عامل مهمی است. همچنین پرولین علاوه بر نقش تنظیم اسمزی، به عنوان یک محافظ در مقابل تنش خشکی عمل می‌کند. بدین ترتیب که با ماکرومولکول‌ها به طور مستقیم یا غیرمستقیم اثر متقابل داشته و از این طریق به حفظ ساختار و شکل طبیعی آنها تحت شرایط تنش کمک می‌کند (پورمحمد تقی و همکاران، ۱۳۹۱).

به عقیده Kuk و همکاران (۲۰۰۳)، آنزیم گایاکول پراکسیداز پس از آنزیم کاتالاز در درجه دوم اهمیت در حذف پراکسید هیدروژن به عنوان اکسیژن فعال اصلی تولیدشده در جریان تنش ایفای نقش می‌نماید. بنابراین برقراری ارتباط بین افزایش این آنزیم با تحمل بیشتر در برابر تنش دور از انتظار نخواهد بود. نتایج مقایسه میانگین نشان می‌دهد که میزان فعالیت این آنزیم در سطوح مختلف خشکی در ژنوتیپ‌های

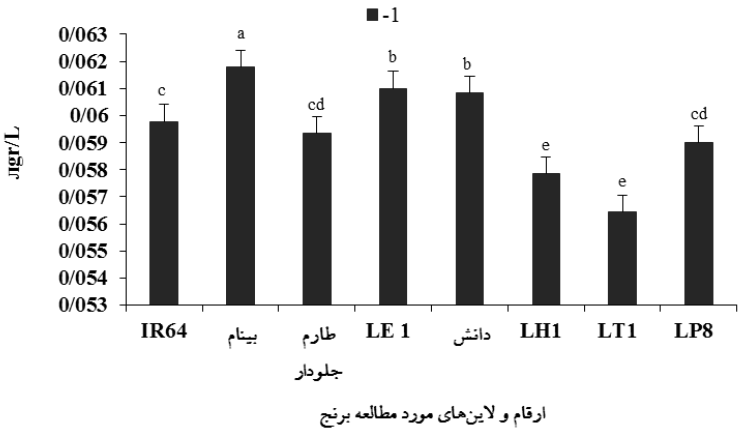
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-03-03]



شکل ۱- روند فعالیت پرولین برگ درسطح شاهد در ژنوتیپ‌های برنج مورد بررسی در مرحله گیاهچه‌ای



شکل ۲- روند فعالیت پرولین برگ درسطح ۰/۵- در ژنوتیپ‌های برنج مورد بررسی در مرحله گیاهچه‌ای

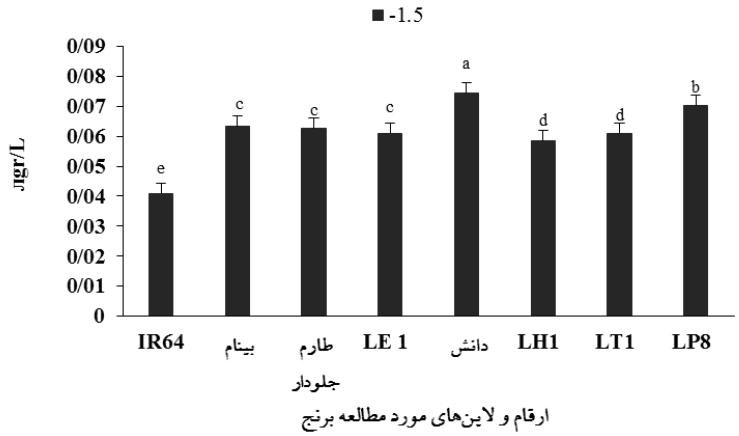


شکل ۳- روند فعالیت پرولین برگ در سطح ۱- خشکی در ژنوتیپ‌های برنج مورد بررسی در مرحله گیاهچه‌ای

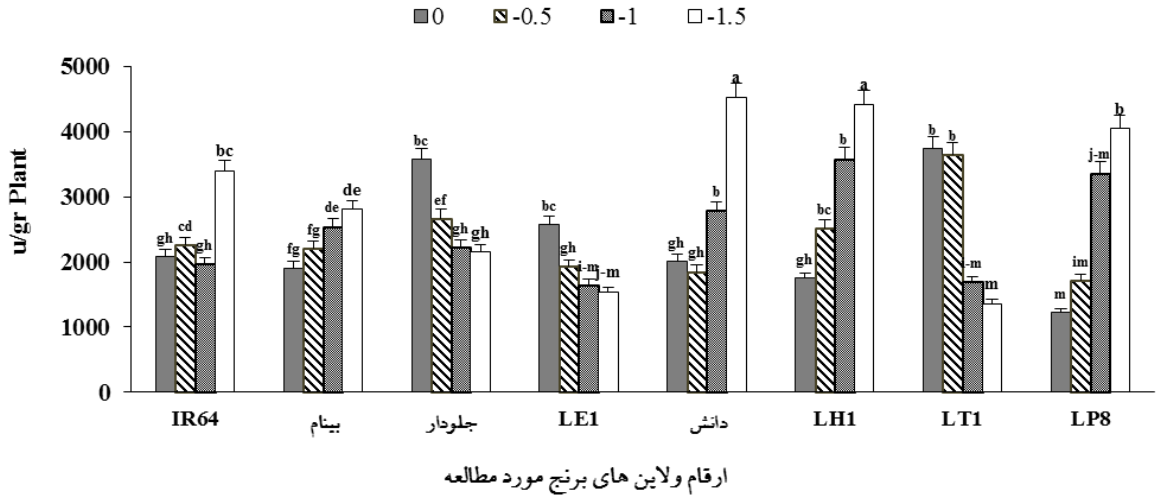
مورد مطالعه روند متفاوتی داشته است. پنج ژنوتیپ روند افزایشی را نشان دادند که بیشترین میزان فعالیت به ترتیب مربوط به ژنوتیپ LH1 و LP8 و دانش است (شکل ۵).

به‌طورکلی ژنوتیپ‌های که میزان فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز تا سطح ۱/۵- بار پلی‌اتیلن گلیکول روند افزایشی داشتند شاید بتوان نتیجه گرفت در مرحله گیاهچه‌ای جزء

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-03-03]



شکل ۴- روند فعالیت پرولین برگ در سطح ۱/۵- خشکی در ژنوتیپ‌های برنج مورد بررسی در مرحله گیاهچه‌ای



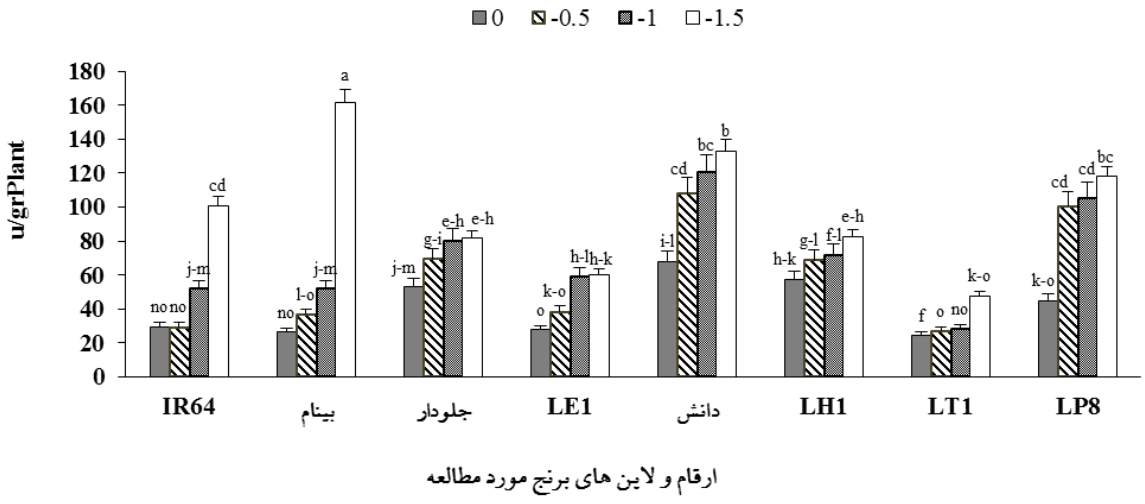
شکل ۵- روند فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز در ژنوتیپ‌های برنج مورد مطالعه

ژنوتیپ‌هایی بودند که توانستند خشکی را تحمل کنند و از بین نروند میزان افزایش فعالیت در ژنوتیپ حساس بیشتر از ژنوتیپ حساس بوده است. در سایر مطالعات نیز افزایش در فعالیت گایاکول پراکسیداز در گیاهان تحت تنش گزارش شده است (Bor *et al*., 2003).

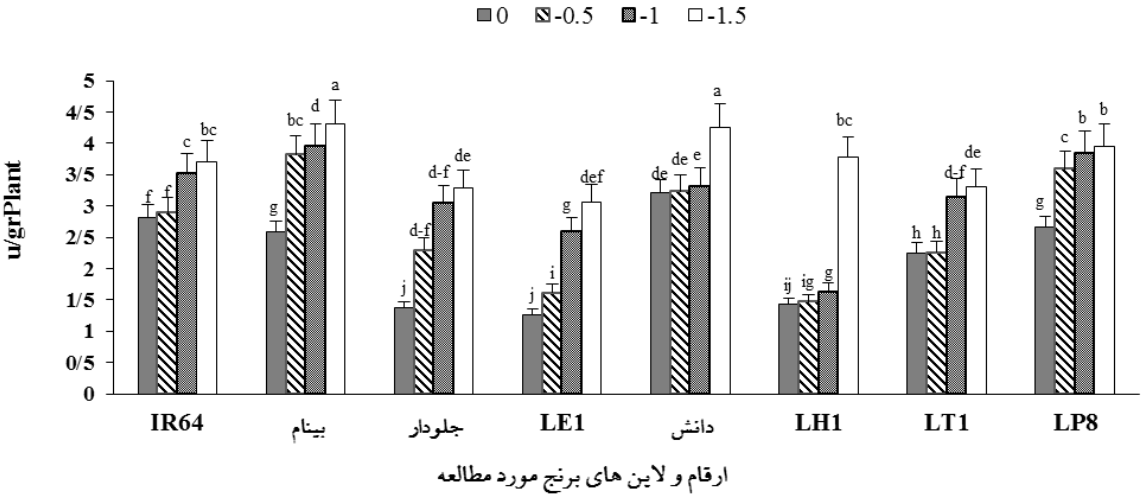
مقایسه میانگین میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در سطح شاهد و تنش خشکی نشان داد که میزان فعالیت این آنزیم در سطوح تنش خشکی نسبت به بدون تنش افزایش یافته است (شکل ۶) ولی میزان فعالیت آن در شرایط اعمال تنش در ژنوتیپ‌های دانش و LP8 بیشتر از سایر ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بوده است. آسکوربات در سلول‌های گیاهی مهمترین جزء برای رفع سمیت H_2O_2 است و آسکوربات برای کاهش هیدروژن پراکسید به آب عمل می‌کند. مهمترین نشانه برای تحمل به خشکی افزایش آنزیم آسکوربات پراکسیداز است (شاکری، ۱۳۹۲). مطالعات انجام‌شده توسط Ghobadi و همکاران (۲۰۱۳) نشان داد میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز گیاه جو در شرایط تنش در مقایسه با شرایط بدون تنش معنی‌دار نبود.

نتایج نشان می‌دهد میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در طی تنش خشکی رو به افزایش بوده است. بیشترین میزان فعالیت بعد از ژنوتیپ بینام که شاهد متحمل به خشکی است مربوط به ژنوتیپ‌های دانش، LP8 و طارم جلودار بوده و کمترین میزان فعالیت را ژنوتیپ LH1 را دارا بوده است (شکل ۷). در تحقیقی Adamis و همکاران (۲۰۰۴)،

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-03-03]



شکل ۶- روند فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در ژنوتیپ‌های مورد برنج مطالعه

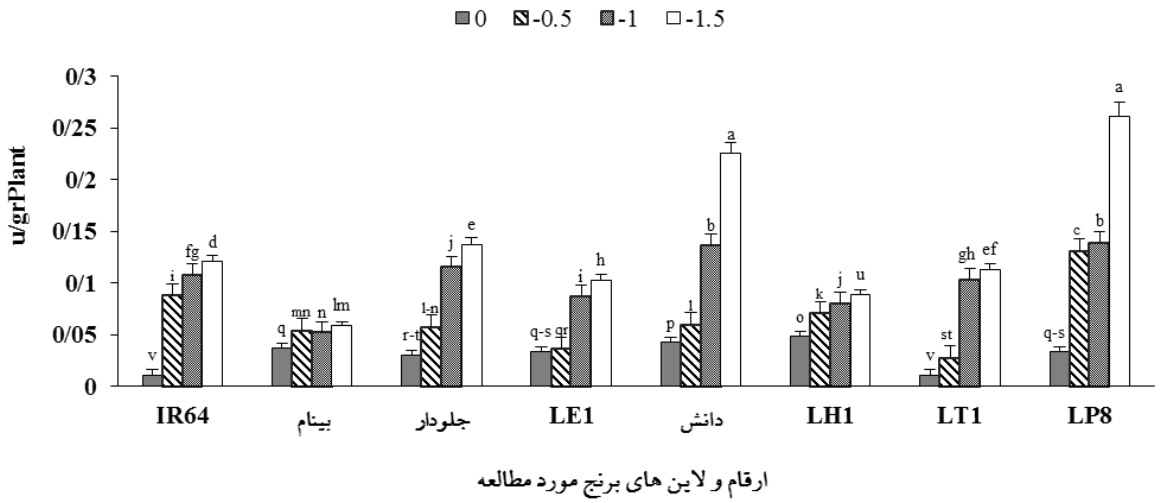


شکل ۷- روند فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در ژنوتیپ‌های برنج مورد مطالعه

بیان داشتند با افزایش سن گیاه و افزایش تنش خشکی مقدار آنزیم سوپراکسید افزایش معنی‌داری را نشان می‌دهد. روند افزایشی مقدار آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در ژنوتیپ‌های متحمل نخود، پنبه، گوجه‌فرنگی و ... در مقایسه با ژنوتیپ‌های حساس می‌تواند دلیلی برای نقش مهم این آنزیم برای مقابله با تنش باشد (Mittova *et al.*, 2004).

از مهم‌ترین آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی موجود در گیاه کاتالاز است که نقش مهمی در سمیت‌زدایی H_2O_2 ایفا می‌کند (زالی و همکاران، ۱۳۹۵). نتایج نشان می‌دهد فعالیت آنزیم کاتالاز در شرایط اعمال تنش نسبت به شاهد روند افزایشی داشته است که در شرایط تنش افزایش میزان فعالیت این آنزیم در دو ژنوتیپ دانش و LP8 بیشتر است (شکل ۸). که این امر نشان‌دهنده مقابله گیاه با تنش وارده و تلاش برای ایجاد تطابق با شرایط محیطی است. روند افزایشی آنزیم کاتالاز در این ژنوتیپ‌ها می‌تواند نشان‌دهنده آمادگی در برابر تنش خشکی باشد. در تحقیقی تحت تنش شوری Liu و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند، فعالیت آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز افزایش می‌یابد، بین تنش شوری و میزان این آنزیم‌ها یک همبستگی وجود دارد. در تنش شوری افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز می‌تواند به عنوان یک

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-03-03]



شکل ۸- روند فعالیت آنزیم کاتالاز در ژنوتیپ‌های برنج مورد مطالعه

راهکار مؤثر در بالا بردن مقاومت برنج باشد (Vaidyanathan *et al.*, 2003) که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. در مقابل این نتایج، Jiang و Huang (۲۰۰۷)، گزارش کردند میزان فعالیت کاتالاز درگراس‌های تحت تیمار تنش کاهش معنی‌داری داشت.

اسیدهای آمینه مهمترین متابولیت‌های گیاهی هستند که نقش مهمی در تحمل به تنش‌های محیطی و تنظیم فعالیت‌های درونی ایفاء می‌کنند (زالی و همکاران، ۱۳۹۵). به‌طورکلی روند تغییرات غلظت هر یک از اسیدهای آمینه به تنهایی نشان داد که بین ژنوتیپ‌های بینام و IR64 تفاوت معنی‌داری از نظر تغییر در غلظت اسیدهای آمینه وجود دارد (جدول ۲). غلظت اسیدهای آمینه آسپارتیک اسید، گلوتامیک اسید، ترئونین، پرولین، تیروزین، والین، متیونین، لوسین و فنیل‌آلانین در شرایط بدون تنش در ژنوتیپ IR64 بیشتر از بینام بود و غلظت اسیدهای آمینه گلایسین، هیستیدین، آرژنین، آلانین، سیستئین، لیزین و ایزولوسین در ژنوتیپ بینام بیشتر از ژنوتیپ IR64 دیده شد. در شرایط بدون تنش محتوای کلی اسیدهای آمینه ژنوتیپ بینام (۱۰۸۶۸۸/۳۲۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن تر ریشه)، کمتر از ژنوتیپ IR64 (۱۱۱۸۱۵/۰۵۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن تر ریشه) است. در شرایط تنش در مرحله گیاهچه‌ای، غلظت اسیدهای آمینه آسپارتیک اسید، سرین، گلوتامیک اسید، گلایسین، آلانین، سیستئین، تیروزین، والین، متیونین، لیزین، لوسین و فنیل‌آلانین در ژنوتیپ IR64 بیشتر از ژنوتیپ بینام بود و غلظت اسیدهای آمینه آرژنین، ترئونین، پرولین، آلانین و ایزولوسین در ژنوتیپ بینام بیشتر از ژنوتیپ IR64 مشاهده شد. از طرفی در شرایط تنش گیاهچه‌ای، محتوای کلی اسیدهای آمینه ژنوتیپ بینام (۱۱۲۴۲۲/۴۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن تر ریشه) کمتر از ژنوتیپ IR64 (۱۲۵۰۵۵/۳۷۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن تر ریشه) بوده است. در شرایط تنش در مرحله گیاهچه‌ای، در مجموع محتوای اسیدهای آمینه در تنش گیاهچه‌ای بیشتر از شرایط بدون تنش است. بسیاری از محققان بر این باورند که میزان اسیدهای آمینه در شرایط تنش خشکی نسبت به شاهد افزایش بیشتری دارند (Ahmed *et al.*, 2013; Drossopoulos *et al.*, 1985). در گیاهان گزارشات مختلفی در مورد اثر تنش خشکی بر روی محتوای اسیدهای آمینه مختلف بدست آمده است که نشان می‌دهد، تحت تأثیر تنش رطوبتی به طور معنی‌داری محتوای کل اسیدهای آمینه افزایش می‌یابد (زالی و همکاران، ۱۳۹۵).

در ژنوتیپ حساس IR64 هفت اسیدآمینه ضروری گلایسین، آرژینین، متیونین، لیزین، ایزولوسین، فنیل‌آلانین روند افزایشی داشته و دو اسیدآمینه هیستیدین و والین در شرایط تنش نسبت به شاهد روند کاهشی داشتند (جدول ۳). در ژنوتیپ متحمل بینام (جدول ۳)، از بین اسیدهای آمینه ضروری تنها اسیدآمینه لیزین، ایزولوسین و لوسین روند

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-03-03]

جدول ۳- مقایسه میانگین غلظت‌های اسیدهای آمینه (میلی‌گرم در کیلوگرم) در سطوح بدون تنش و تنش خشکی PEG در ژنوتیپ‌های IR64 و بینام

نوع اسیدآمینه	بدون تنش		تنش خشکی	
	IR64	بینام	IR64	بینام
۱- اسپارتیک اسید	۱۴۱۴۴/۵۸^{a}	۱۳۸۷۵/۵۶^{a}	۱۶۴۴۰/۴۳^{a}	۱۳۶۴۹/۰۶^{a}
۲- سرین	۵۴۴۱/۲۲۲^{ab}	۴۳۷۱/۹۶۱^{c}	۵۶۵۳/۹۸۵^{bc}	۴۲۶۰/۸۴۳^{bc}
۳- گلوتامیک اسید	۱۷۴۰۴/۴۲^{a}	۱۷۰۱۷/۹۲^{a}	۱۹۱۵۵/۹۴^{a}	۱۸۳۲۷/۸۳^{a}
۴- گلایسین*	۳۸۷۸/۹۳۵^{cd}	۴۷۰۵/۳۱۵^{c}	۴۳۷۳/۸۸bc	۴۴۹۶/۵۱۱^{bc}
۵- هیستیدین	۲۰۰۴/۴۶۷^{cd}	۲۲۴۳/۰۲۵^{d}	۱۷۱۱/۸۹۴^{c}	۲۰۵۹/۶۹۵^{d}
۶- آرژنین	۶۴۸۳/۸۳۱^{b}	۷۳۸۰/۵۸۴^{b}	۶۸۸۲/۴۵۵^{b}	۷۲۶۶/۴۵۴^{b}
۷- ترئونین*	۵۲۳۵/۵۶۵^{ab}	۳۹۹۶/۵۸۵^{dc}	۴۶۴۴/۸۴۵^{bc}	۵۱۰۰/۰۹۸^{bc}
۸- پرولین	۶۷۸۷/۷۵۸^{b}	۴۹۴۷/۳۷۷^{bc}	۵۶۶۵/۰۵۸^{bc}	۶۲۲۱/۰۵۴^{b}
۹- آلانین	۹۵۰۱/۳۸۱^{c}	۱۰۷۵۲/۰۷^{a}	۱۲۴۳۶/۵^{a}	۱۱۲۹۶/۰۴^{a}
۱۰- سیستئین	۱۳۰۱/۱۹۱^{e}	۱۵۹۶/۴۲۹^{d}	۱۶۰۴/۴۲۴^{c}	۱۲۵۰/۴۸۵^{d}
۱۱- تیروزین	۲۹۰۶/۸۵۴^{d}	۲۳۶۹/۰۶۹^{d}	۲۵۹۳/۳۳۸^{c}	۱۹۸۷/۳۰۴^{d}
۱۲.والین*	۵۲۵۲/۱۴۱^{ab}	۴۲۷۱/۶۲۷^{c}	۴۶۸۰/۷۷۶^{bc}	۳۸۳۰/۵۰۲^{c}
۱۳- متیونین*	۱۸۷۳/۲۳۲^{cd}	۱۵۹۱/۸۶۱^{d}	۲۲۷۰/۹۶۹^{c}	۱۴۷۲/۱۹۸^{d}
۱۴- لیزین*	۷۵۲۰/۷۶^{b}	۷۷۲۵/۶۶۱^{b}	۸۶۹۸/۶۲۵^{a}	۹۹۳۱/۷۴۳^{b}
۱۵- ایزولوسین*	۲۹۷۰/۴۴۸^{d}	۳۵۶۸/۱۴^{dc}	۳۶۰۰/۷۶۶^{c}	۳۸۱۹/۶۲۹^{c}
۱۶- لوسین*	۱۵۵۰۷/۳۶^{a}	۱۴۴۲۶/۴۴^{a}	۱۵۰۴۱/۵^{a}	۱۸۶۵۱/۰۲^{a}
۱۷- فنیل آلانین	۳۶۴۵/۹۰۶^{cd}	۳۸۴۸/۷۰۳^{dc}	۴۶۳۴/۷۱۸^{bc}	۳۷۶۷/۲۷۵^{c}
مجموع اسیدهای آمینه ضروری	۴۲۲۳۸/۴۴۱	۴۷۶۶۶/۲۱۳	۵۵۱۵۹/۰۸۵	۴۹۶۰۲/۸۸۶
مجموع اسیدهای آمینه غیرضروری	۶۹۶۲۱/۶۱	۶۱۰۲۲/۱۱۴	۶۹۸۹۶/۲۸۷	۶۲۸۱۹/۵۸۶
مجموع اسیدهای امینه	۱۱۱۸۶۰/۰۵۱	۱۰۸۶۸۸/۳۲۷	۱۲۵۰۵۵/۳۷۲	۱۱۲۴۲۲/۴۷۲

***: اسیدهای آمینه ضروری**

در هر ردیف میانگین‌های که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری به هم ندارند.

افزایش چشمگیری داشتند و اسید آمینه‌های ضروری چون گلایسین، هیستیدین، آرژنین، والین، متیونین و فنیل‌آلانین روند کاهشی را نشان دادند. از مجموع اسیدهای آمینه غیرضروری در این ژنوتیپ اسیدهای آمینه گلوتامیک اسید، پرولین، آلانین روند افزایشی داشته‌اند و اسیدهای آمینه سیستئین، آسپارتیک اسید، تیروزین و سرین روند کاهشی را نشان دادند. در تحقیقی تحت شرایط تنش خشکی غلظت اسیدهای آمینه لوسین، آسپارتیک اسید و ایزولوسین پنج برابر افزایش یافته و در سایر اسیدهای آمینه مقدار این افزایش کمتر گزارش شده است (Good and Zaplachinski, 1994).

در شرایط بدون تنش ژنوتیپ دانش (جدول ۴)، غلظت اسیدهای آمینه آسپارتیک اسید، گلایسین، هیستیدین، آرژینین، آلانین، متیونین، لیزین، ایزولوسین و فنیل‌آلانین کمتر از غلظت بینام بوده است و غلظت اسیدهای آمینه سرین، گلوتامیک اسید، ترئونین، پرولین، سیستئین، تیروزین، والین و لوسین بیشتر از ژنوتیپ بینام دیده شده است. در شرایط بدون تنش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-03-03]

جدول ۴- مقایسه میانگین غلظت‌های اسیدهای آمینه (میلی‌گرم در کیلوگرم) در سطوح بدون تنش و تنش خشکی PEG در ژنوتیپ دانش

نوع اسیدآمینه	زمان خواندن RT(min)	غلظت شاهد (کنترل) (mg/kg)	غلظت ۱- بار (خشکی) (mg/kg)	درصد افزایش (+) یا کاهش (-)
۱- اسپارتیک اسید	۱۲/۷۵	۱۳۳۱۵/۹۱^{a}	۱۵۱۳۱/۵۴^{a}	+۱۱/۶۳
۲- سرین	۱۳/۸۹	۴۷۸۹/۴۰۶^{bc}	۴۴۹۸/۲۵۷^{bc}	-۱۱/۴۷
۳- گلوتامیک اسید	۱۴/۴۴	۱۸۱۰۷/۳۲^{a}	۲۰۱۷۹/۱۲^{a}	+۱۱/۴۴
۴- گلایسین*	۱۵/۶۶	۴۰۶۷/۷۴۲^{bc}	۴۷۷۱/۹۵۵^{bc}	+۱۷/۳۱
۵- هیستیدین	۱۸/۱۴	۱۶۰۹/۹۷۹^{d}	۲۵۲۸/۸۳۷^{c}	+۱۷/۰۷
۶- آرژنین	۱۹/۵۱	۷۰۸۶/۷۳۹^{b}	۶۵۷۶/۵۲۲^{bc}	-۹/۸۰
۷- ترئونین*	۲۱/۳۵	۴۸۹۲/۷۴۷^{bc}	۴۴۱۹/۶۲۳^{bc}	-۹/۳۳
۸- پرولین	۲۴/۰۶	۵۳۷۱/۶۷۹^{bc}	۵۸۱۷/۶۷۲^{bc}	+۱۰/۳۰
۹- آلانین	۲۴/۴۷	۱۰۵۶۲/۴۳^{b}	۱۱۷۸۹/۹۸^{b}	+۱۱/۶۲
۱۰- سیستئین	۲۷/۱۷	۱۷۲۵/۵۰۳^{d}	۱۸۷۶/۵۵۵^{c}	+۱/۷۵
۱۱- تیروزین	۲۷/۵۳	۲۴۳۸/۳۴۳^{d}	۲۲۷۷/۸۱۲^{c}	-۳/۴۱
۱۲- والین*	۲۸/۵۱	۴۳۷۵/۵۶۲^{bc}	۴۶۲۳/۹۶^{bc}	+۱۵/۶۷
۱۳- متیونین*	۲۹/۱۳	۱۳۷۷/۵۳۵^{d}	۸۱۰۸/۳۱۷^{b}	+۵۸/۸۱
۱۴- لیزین*	۳۱/۸۶	۷۱۳۴/۵۲۹^{b}	۹۱۰۸/۳۱۷^{b}	+۱۷/۶۶
۱۵- ایزولوسین*	۳۲/۸۱	۳۲۸۴/۹۹۶^{c}	۲۷۶۹/۳۳۹^{c}	-۸/۳۰
۱۶- لوسین*	۳۳/۳۹	۱۶۶۸۰/۳۵^{a}	۱۷۶۰۸/۵۶^{a}	+۱۵/۵۶
۱۷- فنیل آلانین	۳۴/۶۷	۳۳۰۵/۱۶۸^{c}	۴۲۳۱/۹۰۷^{bc}	+۱۱/۰۱

در هر ردیف میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

محتوای کلی اسیدهای آمینه ژنوتیپ دانش (۱۱۰۱۲۵/۹۸۳ میلی‌گرم بر کیلو گرم وزن تر ریشه) بیشتر از ژنوتیپ بینام است. روند تغییرات در شرایط اعمال تنش خشکی در ژنوتیپ دانش بدین صورت است که غلظت اسیدهای آمینه آسپارتیک اسید، گلوتامیک اسید، گلایسین، هیستیدین، پرولین، آلانین، سیستئین، والین، متیونین، لیزین، لوسین و فنیل‌آلانین نسبت به سطح بدون تنش ژنوتیپ دانش و همچنین زنوتیپ بینام روند افزایشی چشمگیری داشته است و غلظت اسیدهای آمینه سرین، آرژینین، ترئونین، تیروزین و ایزولوسین در شرایط اعمال تنش نسبت به سطح شاهد روند کاهشی داشته است. محتوای کلی اسیدهای آمینه ژنوتیپ دانش (۱۲۰۵۲۹/۸۹۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن تر ریشه) بیشتر از سطح بدون تنش بوده است. در ژنوتیپ دانش در سطح خشکی از مجموع اسیدهای آمینه ضروری و غیرضروری ۱۲ آمینواسید روند افزایشی نشان دادند. در بررسی ژنوتیپ‌های مختلف گندم تحت تنش رطوبتی وزیرزاده (۱۳۹۷) و Vaidyanathan (۲۰۰۳) گزارش کردند که غلظت اسیدهای آمینه سرین، گلوتامیک اسید، لوسین، آسپارتیک اسید، گلوتامین، پرولین، آسپارژین، آلانین در برگ و خوشه ارقام گندم به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. افزایش معنی‌دار غلظت اسیدهای آمینه فنیل‌آلانین، گلایسین، والین و اورنیتین نیز در ژنوتیپ‌های مختلف جو در تنش خشکی از سوی Singh و همکاران (۱۹۹۵)، گزارش شده است.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-03-03]

جدول ۵- مقایسه میانگین غلظت‌های اسیدهای آمینه (میلی‌گرم در کیلوگرم) در سطوح بدون تنش و تنش خشکی PEG در ژنوتیپ LP8

نوع اسیدآمینه	زمان خواندن RT(min)	غلظت شاهد (کنترل) (mg/kg)	غلظت ۱- بار (خشکی) (mg/kg)	درصد افزایش (+) یا کاهش (-)
۱- اسپارتیک اسید	۱۲/۷۵	۱۴۶۶۷/۶۹^{a}	۱۳۹۷۹/۲۵^{ab}	-۵/۳۰
۲- سرین	۱۳/۸۹	۴۲۱۹/۲۴۳^{bc}	۵۴۰۰/۲۹۳^{c}	+۱۲/۹۹
۳- گلوتامیک اسید	۱۴/۴۴	۱۵۳۱۶/۶^{a}	۲۰۶۰۹/۴۶^{a}	+۱۴/۵۵
۴- گلایسین*	۱۵/۶۶	۴۱۹۶/۱۵۴^{bc}	۴۸۲۹/۹۸۶^{bc}	+۱۵/۰۸
۵- هیستیدین	۱۸/۱۴	۱۵۴۲/۱۸۳^{d}	۲۴۹۵/۵۶^{d}	+۱۱/۸۰
۶- آرژنین	۱۹/۵۱	۵۶۵۸/۴۷۳^{bc}	۸۹۶۷/۴۶۵^{b}	+۱۸/۴۸
۷- ترئونین*	۲۱/۳۵	۴۷۰۲/۹۸۳^{bc}	۴۸۰۲/۰۷۱^{bc}	+۱۰/۱۲
۸- پرولین	۲۴/۰۶	۵۲۷۳/۰۹۲^{bc}	۶۱۰۹/۲۵^{c}	+۱۱/۸۵
۹- آلانین	۲۴/۴۷	۹۳۲۲/۴۹^{b}	۱۲۳۵۰/۲۹^{ab}	+۳۲/۴۸
۱۰- سیستئین	۲۷/۱۷	۱۳۸۱/۵۴۵^{d}	۱۴۷۶/۸۰۴^{e}	+۶/۸۷
۱۱- تیروزین	۲۷/۵۳	۱۹۸۱/۳۲۲^{d}	۲۸۰۵/۴۸۹^{d}	+۱۱/۵۹
۱۲- والین*	۲۸/۵۱	۳۵۵۲/۱۹۸^{c}	۴۴۶۰/۷۷۲^{bc}	+۱۵/۵۶
۱۳- متیونین*	۲۹/۱۳	۱۳۴۷/۷۵۳^{d}	۱۷۳۱/۶۱۷^{e}	+۲۸/۵۰
۱۴- لیزین*	۱۳/۸۶	۷۴۴۱/۲۴۸^{b}	۹۱۲۵/۵۹۷^{b}	+۲۲/۶۳
۱۵- ایزولوسین*	۳۲/۸۱	۲۹۷۲/۶۷۶^{c}	۲۹۷۶/۵۳۲^{d}	+۹/۱۳
۱۶- لوسین*	۳۳/۳۹	۱۳۳۵۱/۳۶^{a}	۱۷۰۴۶/۳۹^{ab}	+۲۷/۶۷
۱۷- فنیل آلانین	۳۴/۶۷	۳۱۶۲/۲۸۹^{c}	۳۵۲۱/۵۹۶^{d}	+۱۱/۳۵

در هر ردیف میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

روند تغییرات ژنوتیپ LP8 (جدول ۵)، در شرایط بدون تنش نشان داد که غلظت اسیدهای آمینه والین، آسپارتیک اسید، پرولین، گلایسین و ترئونین بیشتر از غلظت ژنوتیپ بینام بوده است و غلظت اسیدهای آمینه سرین، گلوتامیک اسید، هیستیدین، آرژینین، آلانین، سیستئین، تیروزین متیونین، لیزین، ایزولوسین، لوسین و فنیل‌آلانین کمتر از غلظت ژنوتیپ بینام است. در شرایط بدون تنش محتوای کلی اسیدهای آمینه ژنوتیپ LP8 (۱۰۰۲۸۷/۲۹۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن تر ریشه) کمتر از ژنوتیپ بینام بوده است. در شرایط اعمال تنش ژنوتیپ LP8 غلظت اسیدهای آمینه سرین، گلوتامیک اسید، گلایسین، هیستیدین، آرژنین، ترئونین، پرولین، آلانین، سیستئین، تیروزین، والین، متیونین، لیزین، ایزولوسین، لوسین و فنیل-آلانین نسبت به سطح شاهد و همچنین نسبت به ژنوتیپ بینام روند افزایشی چشمگیری داشته و تنها در این سطح آسپارتیک اسید روند کاهشی داشته است. در شرایط تنش محتوای کلی اسیدهای آمینه ژنوتیپ LP8 (۱۲۲۸۶۸/۴۲۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن تر ریشه)، بیشتر از سطح بدون تنش بوده است. در ژنوتیپ LP8 تحت تنش خشکی پلی‌اتیلن گلیکول از مجموع اسید آمینه‌های مورد بررسی ۱۶ اسیدآمینه روند افزایشی نسبت به سطح شاهد داشتند. بدین صورت که از مجموع اسیدهای آمینه افزایشی ۱۰ اسیدآمینه ضروری شامل گلایسین، هیستیدین، آرژنین، ترئونین، والین، متیونین، ایزولوسین، لوسین و فنیل‌آلانین بوده و از اسیدهای آمینه غیرضروری سرین، گلوتامیک اسید، پرولین، آلانین، سیستئین،

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-03-03]

تیروزین بوده و تنها اسیدآمینه آسپارتیک اسید در این ژنوتیپ روند کاهشی را نشان داده است. Ahmed و همکاران (۲۰۱۳)، بیان کردند که در ژنوتیپ مختلف جو در شرایط تنش خشکی، محتوای تمام اسیدهای آمینه (بجزء متیونین) در شرایط اعمال تنش در مقایسه با شرایط بدون تنش روند افزایشی معنی‌داری از خود نشان می‌دهند مقدار این افزایش در ژنوتیپ متحمل بیشتر است.

در مجموع محتوای اسیدآمینه افزایش معنی‌داری در شرایط تنش خشکی در مرحله گیاهچه‌ای برنج را نشان دادند. همچنین نتایج نشان می دهد که در ریشه برنج، محتوای اسیدآمینه آلانین، گلایسین، پرولین، گلوتامیک اسید، لیزین و لوسین از دیگر اسیدهای آمینه مورد بررسی بیشتر است. از طرفی کمترین مقدار محتوای اسیدآمینه در بررسی نمونه‌های ریشه مربوط به اسیدهای‌آمینه متیونین، هیستیدین و سیستئین بوده است. به‌طورکلی تنش خشکی اعمال شده در این تحقیق یک تنش ملایم است. نتایج فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مورد بررسی نیز این مطلب را تأیید می‌کند. بنابراین هر چند در بسیاری از تحقیقات، محتوای بیشتر اسیدهای آمینه، افزایش معنی‌داری را نشان دادند (Ahmed *et al*., 2013; Barnett and Naylor, 1966; Karamanos, 1995).

در این تحقیق بعضی از اسیدهای آمینه در شرایط اعمال تنش خشکی افزایش یافته، ولی بعضی دیگر از اسیدهای آمینه در شرایط تنش خشکی کاهش یافته‌اند یا تغییرات چندانی نداشته‌اند. بنابراین یافته‌ها نشان می‌دهد که اسیدهای آمینه آرژنین، گلوتامیک اسید و لوسین از جمله اسیدهای آمینه‌ای هستند که در شدت‌های پایین تنش در مرحله گیاهچه‌ای مقدار آن‌ها افزایش می‌یابد. افزایش اسیدهای آمینه در ژنوتیپ‌های دانش، بینام و LP8 تحت تنش نشان داد که تجمع اسیدهای آمینه در شرایط تنش می‌تواند به بهبود عملکرد گیاه کمک بسزایی داشته باشد. مقایسه نتایج حاصل از ارزیابی‌های آنزیمی و متابولیتی در مرحله گیاهچه‌ای نشان داد که در مرحله آنزیمی با افزایش تنش خشکی و همچنین در مرحله متابولیکی، ژنوتیپ‌هایی که نسبت به خشکی متحمل‌تر بودند، میزان فعالیت آنزیمی و اسیدآمینه‌ای بالاتری نسبت به ارقام حساس دارا بودند. لذا با گزینش ارقام متحمل در مرحله گیاهچه‌ای برنج، باعث افزایش و پیشرفت گیاهان متحمل به خشکی می‌شود. با توجه به نتایج، مرحله گیاهچه‌ای حساس‌ترین مرحله است. در نتیجه می‌توان ارقام برنج را براساس این مرحله که غربالگری راحت‌تر است، تحت تنش خشکی قرار داد و ژنوتیپ متحمل را برای اهداف اصلاحی معرفی نمود.

نتیجه‌گیری

منابع

اردلانی، شیوا، سعیدی، محسن، جلالی‌هنرمند، سعید، قبادی، محمداقبال، و عبدلی، مجید (۱۳۹۳). پاسخ های فیزیولوژیک و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در ژنوتیپ‌های گندم تحت تنش خشکی پس از گرده‌افشانی. فصلنامه علمی پژوهشی *فیزیولوژی گیاهان زراعی دانشگاه آزاد واحد اهواز*، ۲۱، ۵۹-۴۵. DOR: 20.1001.1.2008403.1393.6.21.4.4

اسفندیاری، عزت‌اله، محبوب، سلطانعلی، و شکاری، فریبرز (۱۳۸۷). اثرات مخرب انواع اکسیژن فعال، مکانیسم‌های محافظتی گیاه و ضرورت توجه به آنها. مقالات کلیدی دهمین کنگره زراعت و اصلاح نباتات ایران، کرج، ایران. DOR: 20.1001.1.2008739.1389.3.3.13.2

اکبرزاده لکامی، مژده، پهلوانی، محمدهادی، زینلی‌نژاد، خلیل، مهدوی ماشکی، کیوان، پی ام وبر، آندریاس، و بریل هاوس، دومینیک (۱۳۹۹). پاسخ برخی از متابولیت‌های اولیه ریشه برنج (*Oryza sativa* L.) به تنش شوری. *پژوهشنامه گیاهان زراعی*، ۳۴، ۲۱۷-۲۱۰. https://doi.org/10.29252/jcb.12.34.210

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-03-03]

اعلم، فاطمه (۱۳۹۰). تأثیر تنش رطوبتی بر رشد و نمو و میزان ماده مؤثره گیاه ماریتیغال (*Silybum marianum*). پایانامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

پورمحمدتقی، یونس، نجاتیان، محمدعلی، محمودزاده اگریقاشی، حسن، و خان‌حکمتی، جمشید (۱۳۹۱). بررسی تأثیر شوری کلرور سدیم بر میزان پرولین و مالون دآلدئید ۱۰ رقم پایه انگور. جشنواره ملی انگور، قزوین، تاکستان، ایران. https://sid.ir/paper/870331/fa

تقوی، سیده‌خدیجه (۱۳۹۵). بررسی تغییرات آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در تعدادی از ژنوتیپ‌های برنج تحت تنش شوری. پایانامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

تقوی، سیده‌خدیجه، باقری، نادعلی، بابائیان جلودار، نادعلی و شریفی‌مهر، سلمان (۱۳۹۶). بررسی صفات مورفولوژیک ژنوتیپ‌های برنج در مرحله زایشی تحت تنش شوری. *دومین کنفرانس ملی دستاوردهای نوین در زراعت و اصلاح نباتات*، ۱۲-۱. https://civilica.com/doc/710603

حاجی رمضانی، فرهاد (۱۳۹۷). مطالعه اثر محلول‌پاشی گلیسین پتائین و اتانول بر رشد محصول اسپرس تحت تنش خشکی. پایانامه کارشناسی ارشد، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

خاکشورمقدم، زهرا (۱۳۸۹). تأثیر تنش خشکی ناشی از پلی‌اتیلن گلایکول بر سطوح پرولین، جوانه‌زنی و رشد رویشی گیاه شوید (*Anethumgraveolens* L.). پایانامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

رکبار، سمیه (۱۳۹۹). تأثیر پوترسین و قارچ میکوریز بر برخی شاخص‌های رشد و گلدهی ژربرا (*Gerbera jamesonii*) رقم Dune در شرایط هیدروپونیک. پایانامه کارشناسی ارشد، دانشگاه ارومیه، ایران.

زالی، حسن (۱۳۹۴). ارزیابی شاخص‌های مقاومت به خشکی با استفاده از صفات فیزیولوژیک در برخی ژنوتیپ‌های کلزا. پایانامه کارشناسی ارشد، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

زالی، حسن، حسنلو، طاهره، سفالیان، امید، اصغری، علی، و زین‌العابدینی، مهرشاد (۱۳۹۵). اثر تنش خشکی بر پارامترهای فیزیولوژیکی و تجمع اسیدهای آمینه در کلزا. *پژوهش نامه اصلاح گیاهان زراعی*، ۱۸، ۱۹۱-۲۰۳. https://doi.org/10.29252/jcb.8.18.191

شاکری، سمیرا (۱۳۹۲). بررسی آنالیز بیان ژن‌های آنتی‌اکسیدانتی تحت تنش شوری در (*Sesamum indicume* L.). پایانامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

صفایی چایی‌کار، صنم، ربیعی، بابک، سمیع‌زاده، حبیب‌الله، و اصفهانی، مسعود (۱۳۸۶). ارزیابی تحمل ژنوتیپ‌های برنج (*Oryza sativa* L.) به تنش خشکی انتهای فصل. *مجله علوم زراعی ایران*، ۴، ۳۳۱-۳۱۵. https://doi.org/10.29252/jcb.10.25.7

صفاری‌پور، سعید (۱۳۹۷). اثر برهم‌کنش تغذیه برگی محرک‌های رشدی بر عملکرد کمی و کیفی کلزا (*Brassica napus* L.) در شرایط تنش کم‌آبی. پایانامه کارشناسی ارشد، دانشگاه ارومیه، ایران.

صمدی دیزجی، حسین (۱۴۰۰). بررسی ویژگی‌های فیزیو- بیوشیمیایی میوه زالزالک بومی اسکو. پایانامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، ایران.

وزیرزاده، آریا، و مقدس‌زاد، حامد (۱۳۹۷). بهینه‌سازی و میزان چربی و کلروفیل ریز جلبک *Chlorella vulgaris* در سطوح مختلف نیتروژن، فسفر و دوره نوری با استفاده ار طراحی مرکب مرکزی. *مجله علمی شیلات ایران*، ۳، ۹۶-۸۵. https://doi.org/10.22092/ISFJ.2018.117018

نیک‌سیر، پرهام، نواب‌پور، سعید، صبوری، حسین، و سلطانلو، حسن (۱۳۹۲). بررسی روابط برخی صفات زراعی گیاهچه‌های برنج در شرایط کشت تنش خشکی. اولین همایش بین‌المللی و چهارمین همایش ملی گیاهان دارویی و کشاورزی پایدار، همدان، ایران. https://civilica.com/doc/453668

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-03-03]

Adamis, P. D., Pereiva, M. D., DeMesquita, J. F., CPinto, M. L. C., Panek, A. D., & Eleutherio, E. C. (2004). The effect of superoxide dismutase deficiencyon cadmium stress. *Journal of Biochemical and Molecular Toxicology, 1,* 12-17. https://doi.org/10.1002/jbt.20000

Aebi, H. (1984). Catalase in vitro. Method enzymology. *Journal of National Library of Medicine, 105,* 121-126. https://doi.org/10.1016/S0076-6879(84)05016-3

Ahmed, I. M., Cao, F., Han, Y., Nadira, U. A., Zhang, G., & Wu, F. (2013). Differential changes in grain ultra-structure, amylase, protein and amino acid profiles between Tibetan wild and cultivated barleys underdrought and salinity alone and combined stress. *Journal of Food Chemistry, 141,* 2743-2750. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.05.101

Asad, K. & Tacahashi, M. (1999). Production and scavenging of active oxygen radicals in photosynthesis. *Journal of Elsevier, 9,* 28-227. https://doi.org/10.1104/pp.106.082040

Barnett, N. M. & Naylor, A. W. (1966). Amino acid and protein metabolism in Bermuda grass during water. *Journal of Plant Physiology, 41,* 1222-1230. https://doi.org/10.1104/pp.41.7.1222

Bates, L. S., Waldren, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Journal of Plant Science, 1,* 205-207. https://doi.org/10.1007/BF00018060

Beauchamp, C. & Fridovich, I. (1971). Superoxide dismutase: Improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. *Journal of Analytical Biochemistry, 44,* 276-287. https://doi.org/10.1016/0003-2697(71)90370-8

Blum, A. (1988). Plant Breeding for Stress Environments. CRC Press, Boca Raton, United States of America. https://doi.org/10.1201/9781351075718

Bor, M. O., Zdemir, F., & Turkan, I. (2003). The effect of salt stress on lipid peroxidation and antioxidants in leaves of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) and wild beet (*Beta maritime* L.). *Journal of Plant Science, 164,* 77-84. https://doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00338-2

Breusegem, F. V., Vranova, E., Dat, J. F., & Inze, D. (2001). The role of active oxygen species in plant signal transduction. *Journal of Plant Science, 161,* 405-414. https://doi.org/10.1016/S0168-9452(01)00452-6

Chanes, B. & Mahely, A. C. (1996). Assay of catalase and peroxidase. In: Methods in Enzymology. (eds. Colowick, S. P. and Kaplan, N. D.) Pp. 764-791. Academic Press. New York. http://doi.org/10.1016/S0076-6879(55)02300-8

Drossopoulos, J. B., Karamanos, A. J., & Niavis, C. A. (1985). Changes in free amino compounds during the development of two wheat cultivars subjected to different degrees of water stress. *Journal of Annals of Botany, 54,* 291-305. https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a087015

Ghobadi, M., Taherabadia, C. A., Ghobadi, M. E., Mohammadi, Gh. R., & Jalali-Honarmand, S. (2013). Antioxidant capacity, photosynthetic characteristics and water relations of sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars in response to drought stress. *Journal of Industrial Crops and Products, 50,* 29-38. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.07.009

Good, A. G. & Zaplachinski, S. T. (1994). The effects of drought stress on free amino acid accumulationand protein synthesis in *Brassica napus*. *Journal of Plant Physiology, 90,* 9-14. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1994.tb02185.x

Huseynova, I. M. (2012). Photosynthetic characteristics and enzymatic antioxidant capacity of leaves fromwheat cultivars exposed to drought. *Biochimica et Biophysica Acta*: *Bioenergetics, 1817,* 1516-1523. https://doi.org/10.1016/j.bbabio.2012.02.037

Jiang, Y. & Huang, B. (2001). Drought and heat stress injury to two cool-season turfgrasses in relation toantioxidant metabolism and lipid peroxidation contribution. *Journal of Crop Science, 41,* 436-442. https://doi.org/10.2135/cropsci2001.412436x

Karagozler, A., Erdag, B., Emek, Y., & Uygun, D. (2008). Antioxidant activity and proline content of leafextracts from *Dorystoechas hastate*. *Journal of Food Chemistry, 111,* 400-407. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.03.089

Karamanos, A. J. (1995). The involvement of proline and some metabolites in water stress and their importance as drought resistance indicators. *Bulgarian Journal of Plant Physiology, 21,* 98-110. https://doi.org/10.1199/tab.0140

Ketchum, R. E. B., Warren, R. C., Klima, L. J., Lopez-Gutierrez, F., & Nabors, M. W. (1991). The mechanismand regulation of proline accumulation in suspension cultures of the halophytic grass (*Distichlis spicata* L.). *Journal of Plant Physiology, 137,* 368-374. https://doi.org/10.1016/S0176-1617.11.80147-1

Kuk, Y. I., Shin, J. S., Burgos, N. R., Hwang, T. E., Han, O., Cho, B. H., Jung, S., & Guh, J. O. (2003). Antioxidative enzyme offer protection from chiling damage in rice plants. *Journal of Crop Science Society of America, 43,* 2109-2117. https://doi.org/10.2135/cropsci2003.2109

Liu, J. X. & Bennett, J. (2011). Reversible and irreversible drought-induced changes in the anther proteome of rice (*Oryza sativa* L.) genotypes IR64 and Moroberekan. *Journal of Molecular Plant, 4,* 59-69. https://doi.org/10.1093/mp/ssq039

Liu, Z. J., Zhang, X. L., Bai, J. G., Suo, B. X., Xu, P. L., & Wang, L. (2009). Exogenous paraquat changes antioxidant enzyme activities and lipid peroxidation in drought-stresed cucumber leaves. *Journal of Scientia Horticulture, 2,* 138-1453. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.01.032

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-03-03]

Manivannan, P., Jaleel, C. A., Somasundaram, R., & Panneerselvam, R. (2008). Osmoregu-lation and antioxidant metabolism in droudgt-stressed *Helianthus annuus* under tridimefon drenching. *Journal of Comptes Rendus Bioligies, 331,* 418-425. https://doi.org/10.1016/j.crvi.2008.03.003

Mittova, V., Guy, M., Tal, M., & Volokita, M. (2004). Salinity up-regulated the antioxidative system in root mitochondria of the wild salt- tolerant tomato speeies *Lycopersicin pennellii*. *Journal of Experimental Botany, 55,* 1105-1113. https://doi.org/10.1093/jxb/erh113

Mishel, B. E. & Kaufmann, M. R. (1973). The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Journal of Plant Physiology, 51,* 914. https://doi.org/10.1104/pp.51.5.914

Moradi, F. & Ismail, A. (2007). Responses of photosynthesis chlorophyll fluorescence and Rosscarenging system to salt stress daring seeding and reproductive stages in rise. *Journal of Annals of Botany, 99,* 1161-1173. https://doi.org/10.1093/aob/mcm052

Nakano, Y. & Asada, K. (1987). Purification of ascorbate peroxidase in spinach chloroplasts; It's in activation in ascorbate-depleted medium and reactivation by monodehydroascorbate radical. *Journal of Plant and Cell Physiology, 1,* 131-140. https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a077268

Showler, A. T. & Castro, B. A. (2010). Influence of drought stress on Mexican rice borer (Lepidoptera: Crambidae) oviposition preference in sugarcane. *Journal of Crop Protection, 28*, 722-727. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2009.07.014

Singh, T. N., Paleg, L. G., & Aspinall, D. (1973). Stress metabolism I. nitrogen metabolism and growth inthe barley plant during stress. *Australian Journal of Biological Sciences, 26,* 45-56. https://doi.org/10.1071/BI973FM

Vaidyanathan, H., Sivakumar, P., Chakrabarty, R., & Tomas, G. (2003). Scavenging of reactive oxygen species in NaCl-stressed rice differential response in salt-tolerant and sensitive varieties. *Journal of Plant Science, 165,* 1411-1418. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2003.08.005

Yoshida, S., Forno, D. A., & Cock, J. H. (1976). Laboratory Manual for Physiological Studies of Rice. 3th Ed. Los Banos, Laguna, Philippines.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-03-03]

The effect of drought stress caused by polyethylene on the level of enzyme activity and amino acidaccumulation in the roots of seedlings of different genotypes rice (*Oryza sativa* L.)

Seyedeh Vida Heydar GholiZadeh Hsankola[1], Nadali Bagheri[2*], Nadali Babaiyan Jelodar[3] and Seyed Kamal Kazemi Tabar[4]

Department of Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

(Received: 2023/02/05, Accepted: 2023/06/08)

Abstract

Drought stress is the limiting factor for rice growth in rice fields. One of the approaches to dealing with the negative effects of stress on crop production is the use of drought-tolerant cultivars. This research was conducted to investigate the effect of drought stress on changes in antioxidant enzyme activity and amino acid accumulation in a number of rice genotypes. In this research, the number of 6 rice genotypes along with the tolerant (Binam) and sensitive (IR64) control cultivars at the seedling stage in the form of a completely random basic design in 3 replications and 4 drought levels (from polyethylene glycol 6000) zero (Yoshida), -0.5, -1 and -1.5 times were investigated in hydroponic culture medium. The results of the analysis of variance showed that there is a significant difference between the examined cultivars and the level of enzyme activity also increased, and genotypes such as Danesh and LP8, which were more tolerant to drought, had a higher level of enzyme activity. The increase in activity in tolerant genotypes has been greater than that in sensitive cultivars. In the analysis of the amino acid profiles of the genotypes introduced above, the activity of glutamic acid, alanine, arginine, leucine and lysine increased significantly with the increase in drought stress. While no significant accumulation of amino acids was observed in the sensitive IR64 genotype under stress. Therefore, it can be concluded that the accumulation of amino acids is closely related to the drought tolerance of tolerant genotypes.

Keywords: Amino acid, Rice, Peroxidases, Polyethylene glycol, Proline

Corresponding author, Email: bagherinadali@yahoo.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-03-03]