مقاله پژوهشی

ارزیابی برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ژنوتیپ‌های گندم نان (*Triticum aestivum* L.) تحت تنش شوری

سدابه جهانبخش گده کهریز * و سیده یلدا رئیسی ساداتی
گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

(تاریخ دریافت:۱۴۰۱/۰۲/۲۱، تاریخ پذیرش نهایی:۱۴۰۱/۰۵/۰۱)

چکیده

از آنجایی‌که حدود ۲۰ درصد زمین‌های زراعی و ۵۰ درصد تولیدات در جهان تحت تنش شوری قرار می‌گیرند، درنتیجه تمام مراحل زندگی گیاه از جوانه‌زنی تا تولید دانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر تنش شوری بر شاخص‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی برخی ارقام گندم است. بدین منظور آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. فاکتور اول تنش شوری در سه سطح (شاهد، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) و فاکتور دوم ارقام گندم (میهن، حیدری، سای-سونز و گاسگوژن) بود. گیاهان از مرحله دو تا چهار برگی در معرض تنش قرار گرفتند و برای تیمار شاهد نیز از آب معمولی استفاده شد. نمونه‌برداری نیز ۱۴ روز بعد از اعمال تنش، از نمونه‌های تیمار و شاهد انجام گرفت. نتایج نشان داد که در بین ارقام مورد مطالعه، تنش شوری موجب کاهش محتوی کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئید، پروتئین کل و افزایش پرولین، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (پراکسیداز و پلی‌فنل اکسیداز) و وزن تر ساقه و برگ در رقم سایسونز گردید. همچنین تنش شوری بر میزان اسیدآمینه‌های لیزین و متیونین تأثیر معنی-داری نداشت. فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی سازوکار دفاعی بسیار مهمی محسوب می‌شود و افزایش فعالیت آنزیم‌های پرکسیداز و پلی-فنل اکسیداز در زمان تنش شوری می‌تواند تنش اکسیداتیو را کاهش دهد یا از وقوع آن جلوگیری کند. به‌طورکلی شوری، ارقام گندم را به نحو متفاوتی تحت تأثیر قرار داد، زیرا ارقام با استفاده از مکانیسم‌های مختلفی بـا سـمیت ناشی از تنش شوری مقابله می‌کنند.

واژه‌های کلیدی: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، کلرید سدیم، گندم، لیزین

مقدمه

از بین غلات، گندم اهمیت بیشتری دارد به‌طوریکه گندم نان از مهمترین غلات در سطح جهان و نیز در ایران به‌شمار می‌رود. حدود ۲۰ درصد از اراضی جهان و نیز ۶/۷۰ میلیون هکتار از اراضی زیرکشت ایران به کشت آن اختصاص یافته است (FAO, 2019; Alipour *et al*., 2019). شوری به‌عنوان یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزنده در مناطق خشک و نیمه‌خشک، از جمله عوامل مهم محدودکننده رشد رویشی و زایشی بیشتر گیاهان است به‌طوریکه میانگین عملکرد گیاهان زراعی را تا حدود ۵۰ درصد کاهش می‌دهد (Fazeli *et al*., 2018; Kandil *et al*., 2012). طبق گزارش‌های سازمان خوار و بار جهانی، بیش از شش درصد خشکی‌های دنیا تحت تأثیر شوری قرار دارند. از ۲۳۰ میلیون هکتار از زمین‌های آبی، ۴۵ میلیون هکتارشان (۱۹/۵ درصد) و از ۱۵۰۰ میلیون هکتار زمین دیم،

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: jahanbakhsh@uma.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.16.1]

۳۲ میلیون هکتار (۲/۱ درصد) با درجات مختلف تحت تأثیر شوری قرار دارند (Parihar *et al*., 2014). در ایران شوری منابع آب و خاک، یکی از مشکلات کشاورزی و شورشدن تدریجی خاک از مسائل مهم است، به‌طوریکه مساحت اراضی شور ایران در حدود ۲۴ میلیون هکتار است که معادل ۱۵ درصد از اراضی کشور است (نیازیان و همکاران، ۱۳۹۵). شوری آب و خاک سبب بروز تغییرات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی متعددی در گیاهان می‌شود، به‌علاوه تحمل شوری در گیاهان یکسان نیست و در یک گیاه نیز مراحل مختلف رشدونمو ممکن است حساسیت‌های متفاوتی نسبت به تنش شوری نشان دهد (Gupta and Huang, 2014; Souri, 2016). از تغییرات بیوشیمیایی که تحت تنش شوری رخ می‌دهد، افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن است که باعث آسیب اکسیداتیو و آسیب غشای سلولی می‌شود. این گونه‌های فعال اکسیژن بسیار فعال و سمی هستند و در غیاب یک مکانیسم محافظتی قوی می‌توانند به ساختار لیپیدها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک صدمه بزنند، بنابراین با ایجاد تنش اکسیداتیو و آسیب به سلول‌های گیاهی، رشد گیاه کاهش می‌یابد (Hasanuzzaman *et al*., 2018). پاسخ گیاهان به تنش شوری در برگیرنده پاسخ‌های متنوع بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی بوده، درعین‌حال این پاسخ‌ها پیچیده بوده و به عوامل متفاوتی همچون مرحله رشد گیاه، نوع و غلظت املاح، پتانسیل ژنتیکی گیاه و به عوامل محیطی، بستگی دارد (Dastneshan and Sabokdast, 2020). گیاهان تنش شوری را با فعال‌کردن پاسخ‌های مولکولی و بیوشیمیایی در سطح سلولی یا کل گیاه تحمل می‌کنند (Muchate *et al*., 2019). از پاسخ‌های بیوشیمیایی گیاهان در برابر تنش شوری، تجمع اسمولیت‌های سازگار مانند قندهای محلول و پرولین است. گیاهان استراتژی‌های مختلفی نظیر تنظیم جذب یون به‌وسیله ریشه و انتقال آن به قسمت‌های مختلف گیاه، تغییر آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیرآنزیمی، تغییر مکانیسم‌های فتوسنتزی و تغییر برخی هورمون‌های گیاهی برای کاهش اثرات سمیت نمک و جلوگیری از آسیب ROS در سطح کل گیاه دارند (Amerian and Esna-Ashari, 2017; Liu *et al*., 2018). برای غلبه بر این تنش‌ها، گیاه از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، مهمترین ترکیبات سیستم‌های آنتی‌اکسیدان، مهمترین ترکیبات در سیستم‌های جاروب‌کردن و اولین راهکار دفاعی در برابر صدمات رادیکال‌های آزاد اکسیژن هستند، استفاده می‌کند (Doraki *et al*., 2016; Azad *et al*., 2021). جهت حذف پراکسید هیدروژن، فعالیت ترکیبی هر دو آنزیم پراکسیداز وکاتالاز به‌منظور حفاظت از سلول‌های گیاهی ضروری خواهد بود (Ashrafi *et al*., 2016). شناخت ویژگی‌های فیزیولوژیکی-زراعی مربوط به تحمل گیاه در مقابله با شوری در ژنوتیپ‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و می‌تواند کمک مؤثری در گزینش و معرفی ارقام مناسب برای شرایط شور باشد، بنابراین دستیابی به ژنوتیپ‌های مقاوم به شوری از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند (Gupta and Huang, 2014). لطفی و همکاران (۱۳۹۵) بیان کردند که آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان می‌توانند در تحمل شوری در گیاه تأثیرگذار باشند. طی تنش شوری کاهش محتوای کلروفیل در سطوح بالای شوری را می‌توان به‌دلیل تخریب کلروپلاست دانست. تخریب کلروپلاست در ارقام متحمل گیاهان زراعی کمی کمتر از ارقام حساس است که علت آن نگهداری منیزیم در داخل سلول است (صالحی و همکاران، ۱۳۹۷). محمدی چراغ‌آبادی و همکاران (۱۳۹۴) کاهش عملکرد کوانتومی فتوسیستم دو تحت شرایط تنش شوری را به کاهش سرعت انتقال الکترون در زنجیره انتقال الکترون کلروپلاستی و کاهش پذیرنده‌های الکترون نسبت دادند که موجب افزایش احتمال تولید رادیکال‌های واکنش‌پذیر شود. کاهش محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل و کارتنوئید با افزایش سطح شوری، در ارقام گندم نیز گزارش شده است (آقایی و همکاران، ۱۳۹۹). همچنین محققان دریافتند افزایش فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز، کاتالاز و پلی‌فنل اکسیداز در گیاه جو تحت شوری ۲۰۰ میلی‌مولار، با کاربرد میکوریز به‌ترتیب ۷۵، ۲۳/۳ و ۲۸/۹ درصد بیشتر از شاهد است (Torabi and Farzami Sepehr, 2015). به‌دلیل اهمیت گندم و با توجه به شوری خاک‌های زراعی ایران و گسترش روز افزون آن با

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.16.1]

کاهش نزولات آسمانی، خسارت خاک‌های شور به گیاهان زراعی، موجب شد تا تأثیر تنش شوری بر برخی صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی مهم و مؤثر در مکانیسم‌های دفاعی گیاه مورد ارزیابی قرار گیرد و همچنین ژنوتیپ‌های متحمل به شوری شناسایی گردد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌منظور بررسی تأثیر تنش شوری بر شاخص‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی برخی ارقام گندم نان، در گلخانه تحقیقاتی و آزمایشگاه دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۰-۱۳۹۹ به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در دانشگاه محقق اردبیلی به‌اجرا درآمد. فاکتور اول تنش شوری در سه سطح (شاهد (آب معمولی)، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم (NaCl) (به‌ترتیب ۲/۲، ۹/۱ و ۱۳ دسی‌زیمنس بر متر) و فاکتور دوم ارقام گندم (میهن، حیدری، سای‌سونز و کاسگوژن) در نظر گرفته شد. بذور مورد مطالعه از مؤسسه تحقیقات کشاورزی کرج تهیه گردید و بعد از انجام ضدعفونی با هیپوکلریت سدیم یک و نیم درصد، بر روی کاغذ صافی قرار گرفته و در ادامه به‌مدت دو روز برای جوانه‌زنی در داخل دستگاه ژرمیناتور قرار داده شد. سپس بذور جوانه‌دار شده به داخل گلدان‌های پلاستیکی حاوی خاک و ماسه الک شده به‌صورت ۵۰ درصد مخلوط، منتقل گردید و در ادامه سطح گلدان‌ها با یک لایه پرلیت پر شد. گلدان‌ها در شرایط گلخانه‌ای در دمای ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد با طول دوره روشنایی ۱۵-۱۶ ساعت و تاریکی ۸ ساعت نگهداری شدند. مشخصات خاک آزمایش شامل pH = ۶/۴۸، EC =۲/۴ دسی زیمنس بر متر، N، P، K و Zn به‌ترتیب ۱/۶۸، ۱۹/۸، ۲۱۲ و ۰/۲۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. بذور با تراکم پنج بوته در گلدان‌هایی به قطر ۲۰ و ارتفاع ۱۷ سانتی‌متر کشت شدند. از مرحله دو برگی به بعد نمونه‌های سطح تنش شوری سه روز اول با محلول نمک، هر روز با غلظت ۵۰ میلی‌مولار تحت تنش قرار گرفت تا گیاهان در اثر تنش شوری ناگهانی دچار شوک نشوند و پس از سه روز در مرحله سه برگی گیاهان با غلظت‌های ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار با نمک طعام در معرض تنش قرار گرفتند و برای تیمار شاهد نیز از آب معمولی استفاده شد. نمونه‌برداری نیز ۱۴ روز بعد اعمال تنش، از نمونه‌های تیمار و شاهد انجام گرفت. سپس نمونه‌ها، در فویل آلومینیوم قرار داده شد و پس از انجماد سریع در نیتروژن مایع به آزمایشگاه برای اندازه‌گیری صفات بیوشیمیایی نمونه‌ها انتقال یافتند و در یخچال ۷۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

سنجش میزان کلروفیل نوع a، b و کاروتنوئید: سنجش محتوای کلروفیل برگ‌ها با استفاده از روش Arnon (۱۹۷۶) انجام شد. برای این منظور، مقدار ۰/۵ گرم از بافت برگی را در هاون چینی ریخته، سپس با استفاده از نیتروژن مایع به خوبی خرد شد. ۲ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد به نمونه اضافه، و بعد با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه به‌مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ انجام گرفت. عصاره رویی حاصل از سانتریفیوژ به لوله‌های آزمایش انتقال یافت. سپس به‌طور مجزا در طول‌موج‌های ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل a، ۶۴۵ نانومتر برای کلروفیل b و ۴۷۰ نانومتر برای کارتنوئیدها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مقدار جذب خوانده گردید. طبق روابط ۱، ۲ و ۳ برای هر تیمار میزان کلروفیل a، b و کل برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ محاسبه شد.

$$Chla = 12.25A_{663} - 2.79A_{645} \quad (۱)$$

$$Chlb = 21.5A_{645} - 5.1A_{663} \quad (۲)$$

$$ChlT = Chla + Chlb \quad (۳)$$

تعیین مقدار کمی پروتئین محلول برگ: غلظت پروتئین به روش Bradford (۱۹۷۶) تعیین گردید. به‌منظور رسم منحنی استاندارد پروتئین، از پروتئین استاندارد بومین سرم آلبومین گاوی (BSA) استفاده شد و مقدار پروتئین در طول‌موج ۵۹۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد.

قندهای محلول: سنجش قندهای کل برگ به روش Omokolo و همکاران (۱۹۹۶) انجام شد. بدین منظور ابتدا ۰/۵ گرم از بافت برگی برداشته و سپس ۵ میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد به آن افزوده و به لوله آزمایش درب‌دار انتقال یافت و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.16.1]

برای مدت ۳۰ ثانیه ورتکس شد. بخش مایع رویی به لوله آزمایش منتقل شده و به‌مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ گردید. پس از جداسازی محلول رویی، ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره الکلی برداشته و داخل لوله‌های آزمایشی ریخته شد. بعد از آن ۳ میلی‌لیتر آنترون به آن اضافه و به‌مدت ۱۰ دقیقه در بن‌ماری قرار گرفت. بعد نمونه‌ها در طول‌موج ۶۲۵ نانومتر در دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد.

سنجش پرولین: برای استخراج پرولین برگ‌ها از روش Bates (۱۹۷۳) استفاده شد. بدین منظور ۰/۱ گرم بافت برگی در ۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک اسید ۳ درصد به‌خوبی ساییده و همگنای به‌دست آمده سانتریفیوژ گردید. سپس در فالکن دیگری، ۲ میلی‌لیتر از عصاره حاصل با ۲ میلی‌لیتر معرف نین‌هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال خالص ترکیب شد. سپس فالکن‌ها به‌مدت ۱ ساعت در بن‌ماری با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و بعد از افزودن ۴ میلی‌لیتر تولوئن به هر فالکن، مدت ۱۵ تا ۲۰ ثانیه ورتکس شدند. پس از ایجاد دو فاز مجزا، فاز رویی رنگی، با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر خوانده شد.

سنجش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و پلی‌فنل اکسیداز: فعالیت سینتیکی آنزیم کاتالاز با استفاده از روش Chance و Maehly (۱۹۵۵) صورت گرفت. برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز، ۲/۵ میلی‌لیتر بافر تریس ۵۰ میلی‌لیتر با pH=۷، و ۰/۳ میلی‌لیتر آب اکسیژنه ۵ میلی‌لیتر با هم مخلوط گردیده و بلافاصله ۶۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی به آن افزوده شد. سپس تغییرات جذب محلول بلافاصله در طول‌موج ۲۴۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر خوانده شد. برای سنجش فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و پلی‌فنل اکسیداز از روش Kar و Mishra استفاده گردید (۱۹۷۶). بدین منظور ۲/۵ میلی‌لیتر از بافر تریس ۱۰۰ میلی‌لیتر با pH=۷، آب اکسیژنه ۵ میلی‌لیتر، پیروگالل ۱۰۶ میلی‌لیتر در حمام یخ با هم مخلوط و به آن ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی اضافه شد و منحنی تغییرات جذب در طول‌موج ۴۲۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر خوانده شد. به‌منظور سنجش آنزیم پلی‌فنل اکسیداز، ۱/۵ میلی‌لیتر بافر تریس ۰/۲ مولار با pH برابر۷/۶ و ۰/۴ میلی‌لیتر پیروگالل ۰/۰۲ مولار در داخل حمام یخ اضافه شد سپس به مجموعه فوق، ۰/۱ میلی‌لیتر عصاره آنزیمی اضافه شد و پس از قرارگرفتن در حمام آب گرم با دمای ۲۵ درجه میلی‌لیتر به‌مدت ۵ دقیقه، منحنی تغییرات جذب در طول‌موج ۴۲۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر خوانده شد.

اسیدآمینه‌های لیزین و متیونین: برای سنجش غلظت لیزین و متیونین، ۰/۵ گرم نمونه برگی در هاون به‌همراه ۵۰ میلی‌لیتر اسید هیدروکلریدریک ۰/۱ درصد خوب سائیده و با آب‌مقطر به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتری رسانده شد. جهت استخراج لیزین ۱ میلی‌لیتر از محلول بالا با ۱۰ میلی‌لیتر گلیسرول (۵۰ درصد)، ۲ میلی‌لیتر بافر فسفات و یک میلی‌لیتر نین‌هیدرین مخلوط سپس به‌مدت ۳۰ دقیقه در آب جوش ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و بعد به حمام یخ منتقل گردید و در دمای محیط خنک شد. محلول را با آب به حجم ۲۵۰ میلی‌لیتر رسانده و پس از ۱۵ دقیقه میزان جذب آن در ۵۷۰ نانومتر خوانده شد. یک میلی‌لیتر از محلول تهیه‌شده در قسمت بالا با ۴ میلی‌لیتر از سدیم هیدروکسید (۵ نرمال)، ۲ میلی‌لیتر از محلول گلیسین آبدار (۵۰ درصد) و ۲ میلی‌لیتر از محلول سدیم نیترو فری‌سیانید آبدار (۰/۱ درصد) خوب مخلوط گردید. محلول حاصل به‌مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس به‌مدت ۵ دقیقه در حمام یخ قرار داده شد. ۵ میلی‌لیتر هیدروکلریک اسید (۱:۱) اضافه، بعد از خنک‌شدن جذب آن در ۵۱۰ نانومتر خوانده شد (Ferre *et al.*, 1969).

برای تجزیه داده‌ها از برنامه SAS 9.1 و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد انجام شدند.

نتایج و بحث

مطابق جدول تجزیه واریانس، اثر متقابل تنش شوری × رقم گندم بر میزان قند محلول، پروتئین کل، پرولین و نیز آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاتالاز، پراکسیداز و پلی‌فنل اکسیداز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، اما بر میزان اسید آمینه‌های

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.16.1]

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و متابولیت‌های سازگاری گندم تحت تنش شوری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		پروتئین کل	کاتالاز	پراکسیداز	پلی‌فنل اکسیداز	قند محلول	پرولین	لیزین	متیونین
رقم	۳	۳۷۱/۴۰**	۲/۱۶۴**	۰/۰۱۴^{ns}	۰/۰۶۳**	۲/۴۷۵**	۰/۰۵۰*	۰/۰۰۰۶۹۸*	۰/۰۰۰۰۴^{ns}
تنش شوری	۲	۹۶/۱۱**	۱/۲۵۲**	۰/۰۳۰*	۰/۰۵۶**	۰/۰۶۷^{ns}	۰/۱۰۷**	۰/۰۰۰۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۰۱۴^{ns}
رقم × تنش شوری	۶	۶۸۲/۶۶**	۲/۳۳۶**	۰/۰۵۸**	۰/۰۷۸**	۰/۸۱۴**	۰/۲۱۴**	۰/۰۰۰۳۷۴^{ns}	۰/۰۰۰۱۱^{ns}
خطا	۹۶	۷/۶۲۴	۰/۰۰۴	۰/۰۰۷	۰/۰۱۱	۰/۰۷۰	۰/۰۱۵	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱
ضریب تغییرات	-	۵/۲	۵/۷	۶/۱	۱۴/۴	۱۵/۶	۲۲/۸	۲۶/۵	۱۳/۰

^{ns}، **، * به‌ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد

لیزین و متیونین معنی‌دار نبود. برای میزان اسیدآمینه لیزین فقط اثر ساده رقم در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). همچنین نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات متقابل رقم × تنش خشکی به‌غیر از کلروفیل a، برای کلروفیل b، کلروفیل کل، کارتنوئید و وزن تر ساقه و وزن تر برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

پروتئین کل محلول و قندهای محلول: نتایج مقایسه میانگین نشان داد، با افزایش سطح تنش شوری میزان پروتئین کل محلول در ارقام میهن و کاسگوژن افزایش یافت، به‌طوریکه بیشترین و کمترین میزان پروتئین کل به‌ترتیب در شرایط تنش شوری با غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار با میانگین ۷۲/۲۹۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ و شرایط کنترل با میانگین ۳۴/۸۶۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ مشاهده شد (شکل ۱). همچنین غلظت قندهای محلول در ارقام کاسگوژن و حیدری تحت تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار افزایش یافت، اما در دو رقم دیگر نتیجه برعکس بود. بیشترین میزان قند محلول در رقم میهن با میانگین ۲/۴۶۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ تحت غلظت ۱۵۰ میلی‌مولار تنش شوری ملاحظه شد و کمترین میزان این صفت در رقم سایسونز با میانگین ۰/۶۸۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ به‌دست آمد (شکل ۱). جانباز و همکاران (۱۳۹۱) در بررسی اثر شوری بر میزان پروتئین برگ گندم گزارش کردند که با افزایش شوری بر میزان پروتئین برگ گندم افزایش یافت، که با نتایج تحقیق حاضر در رقم کاسگوژن مطابقت داشت. به‌طوریکه، در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار میزان پروتئین برگ نسبت به شاهد ۱۰۷/۳۵ درصد بیشتر است. انباشت قندهای محلول در تنش شوری که نقش محافظ‌های اسمزی را دارند، در تنظیم اسمزی گیاه اهمیت دارد؛ به‌طوریکه بین میزان تحمل گیاه به شوری و انباشت قندهای محلول همبستگی مثبت وجود دارد (Eleiwa *et al*., 2011). به‌نظر می‌رسد علت اصلی تجمع قندهای محلول طی تنش شوری تجزیه قندهای نامحلول (نشاسته) باشد که قندهای محلول را ایجاد می‌کنند تا پتانسیل اسمزی را حفظ کنند و خطر دهیدراتاسیون را کاهش دهند. به‌طوریکه رقم کاسگوژن در سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار حدود ۳۷ درصد و رقم میهن در تنش ۱۰۰ میلی‌مولار حدود ۲۰/۰۵ درصد نسبت به شاهد (عدم حضور نمک) افزایش در میزان قند محلول گندم ملاحظه گردید. رستمی و همکاران (۱۳۹۹) دریافتند که در گیاه گندم میزان قند محلول برگ گندم در حضور نمک NaCl به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافت، که با نتایج تحقیق حاضر در رابطه با ارقام کاسگوژن و حیدری مطابقت دارد.

پرولین: مطابق شکل ۲، تحت تنش شوری میزان پرولین افزایش یافت که این افزایش مکانیسمی برای حفاظت گیاه در شرایط تنش شوری است، به‌طوریکه بیشترین میزان پرولین با میانگین ۰/۷۴۳۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ شرایط تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار در رقم سایسونز مشاهده شد و کمترین میزان این اسیدآمینه در ارقام حیدری و کاسگوژن تحت شرایط

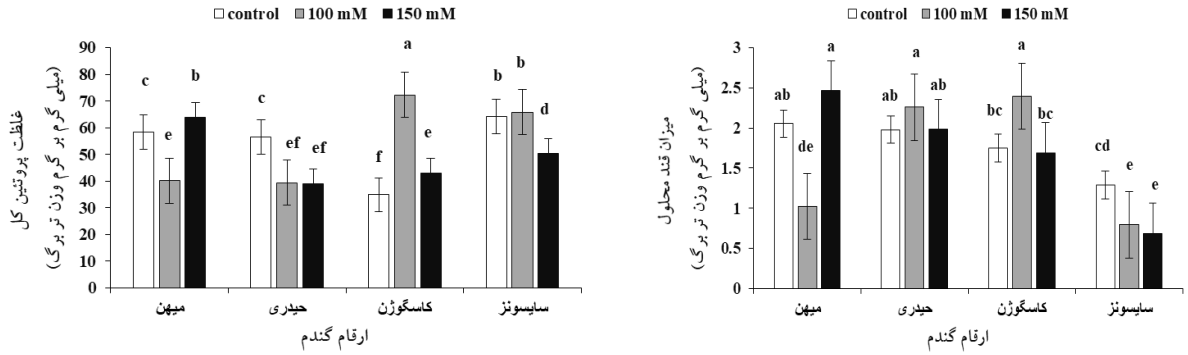
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.16.1]

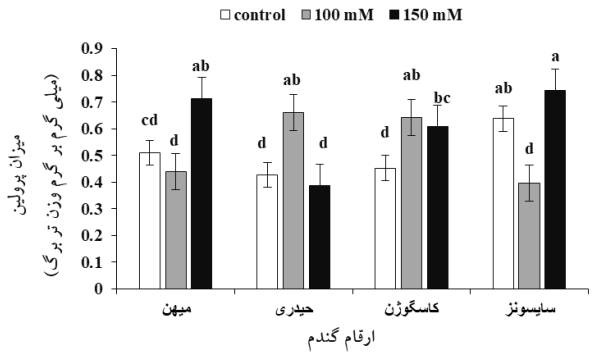
جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس رنگدانه‌های فتوسنتزی گندم و وزن تر اندام‌های هوایی گیاه تحت تنش شوری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کارتنوئید	وزن تر ساقه	وزن تر برگ
رقم	۳	۰/۳۱۹۰*	۰/۲۶۵**	۰/۴۳۶**	۰/۸۰۹*	۰/۰۰۲۰**	۰/۰۲۲*
تنش شوری	۲	۰/۳۱۹۴*	۰/۰۹۹*	۱/۶۸۳**	۱/۲۲۹*	۰/۰۰۲۴**	۰/۱۳۸**
رقم × تنش شوری	۶	۰/۱۰۹۰ns	۰/۵۲۳**	۰/۳۱۶**	۱/۶۸۰**	۰/۰۰۱۷**	۰/۰۶۳**
خطا	۹۶	۰/۱۰۴	۰/۰۲۱	۰/۰۷۲	۰/۲۶۰	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۷
ضریب تغییرات	-	۱۹/۴	۱۵/۶	۱۵/۵	۸/۲	۲۰/۱	۱۶/۹

ns، **، * به‌ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌داری در سطح یک درصد و پنج درصد



شکل ۱- تغییرات پروتئین کل تحت تنش شوری و قند محلول در برهمکنش ارقام گندم و تنش شوری. حروف مشابه نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار است.



شکل ۲- تغییرات غلظت پرولین در برهمکنش ارقام گندم و تنش شوری. حروف مشابه نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار است.

کنترل (عدم حضور نمک) و تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار در ارقام میهن و سایسونز ملاحظه شد. جهت تحمل تنش شوری، علاوه بر تعادل یونی باید تعادل اسمزی نیز برقرار باشد. با توجه به اینکه تنش شوری نتایجی از قبیل بسته‌شدن روزنه‌ها، افزایش تجمع اسید آبسیزیک و پرولین، تشکیل رادیکال‌های آزاد و تنش اکسیداتیو را به‌همراه دارد، لذا افزایش سطح پرولین تحت شرایط تنش شوری به این دلیل است که پرولین اسمولیت سازگاری است که اکسیژن‌های آزاد تولیدشده در طول تنش‌های محیطی را حذف و از مولکول‌های بزرگ حفاظت می‌نماید (حسینی و همکاران، ۱۳۹۵). از سویی، تولید

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.16.1]

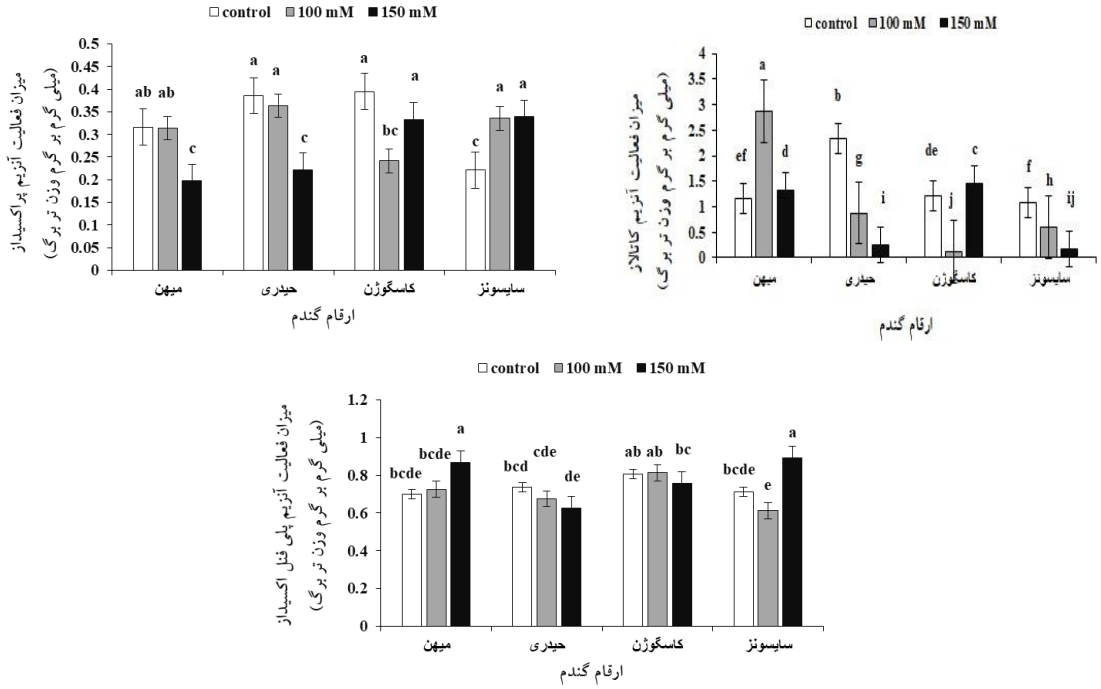
پرولین با تولید قندهای محلول ارتباط دارد؛ زیرا یکی از مسیرهای تولید پرولین، گلوتامات است و با افزایش تولید قندهای محلول، میزان تولید گلوتامات افزایش می‌یابد و سنتز پرولین تشدید می‌شود (Alikhani and Mahmudi zarandi, 2019). همچنین رستمی و همکاران (۱۳۹۹) نشان دادند که افزایش شدت تنش شوری در بستر کشت بذرهای گندم موجب افزایش پرولین آزاد گیاهچه گردید که نتایج تحقیق حاضر نیز با این گزارشات مطابقت داشت.

فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و پلی‌فنل اکسیداز: نتایج مقایسه میانگین نشان داد که با افزایش سطح تنش شوری میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در ارقام حیدری و سایسونز کاهش یافت. بیشترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در رقم میهن تحت تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار مشاهده شد و کمترین میزان فعالیت این آنزیم در رقم کاسگوژن با تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار به‌دست آمد (شکل ۳). همچنین تنش شوری موجب افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز و پلی‌فنل اکسیداز در رقم سایسونز شد. بیشترین میزان فعالیت این آنزیم‌ها در تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار به‌ترتیب در ارقام کاسگوژن، سایسونز و میهن بدست آمد، درحالیکه کمترین میزان فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و پلی‌فنل اکسیداز به‌ترتیب در ارقام میهن و حیدری تحت تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار، رقم سایسونز در شرایط کنترل و تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار مشاهده شد (شکل ۳). بنابراین به‌نظر می‌رسد ارقام مختلف گیاه، ظرفیت‌های آنتی‌اکسیدانی متفاوتی را برای مقابله با خسارت ناشی از تنش اکسیداتیو، استفاده می‌نماید (Moharramnejad and Valizadeh, 2015). در رقم سایسونز میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در غلظت ۱۵۰ میلی‌مولار پنج برابر نسبت به شرایط کنترل کاهش نشان داد. اگرچه روند کاهشی آنزیم کاتالاز در قالب کاهش مقدار پراکسید هیدروژن و منطبق بر روند کلی کاهش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی طی تنش شوری (در غلظت ۱۵۰ میلی‌مولار) قابل تحلیل است، اما باتوجه به روند متفاوت نمودار پراکسیداز، این نتایج را می‌توان به حضور مکانیسم‌های دفاعی دیگری چون تنظیم اسمزی و یا اختلال در سنتز پروتئین‌ها نیز، نسبت داد (Sirousmehr *et al*., 2015). عطازاده و همکاران (۲۰۱۷) بیان داشتند که در گندم تحت تنش شوری، میانگین آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز نسبت به شاهد دارای افزایش معنی‌داری بود. همچنین Khanzadeh (۲۰۱۷) دریافت که در شرایط شوری ۷۵ میلی‌مولار در گندم میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (کاتالاز، پراکسیداز و پلی‌فنل اکسیداز) نسبت به شاهد افزایش نشان دادند، که با نتایج به‌دست آمده این پژوهش در رابطه با افزایش فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و پلی‌فنل اکسیداز در ارقام سایسونز و میهن هم‌راستا است. در نتایج مشابهی با این تحقیق، گزارش شده است شوری موجب افزایش فعالیت پلی‌فنل اکسیداز در جو و لوبیا شده است (Jahani *et al*., 2014; Dastneshan and Sabokdast, 2020).

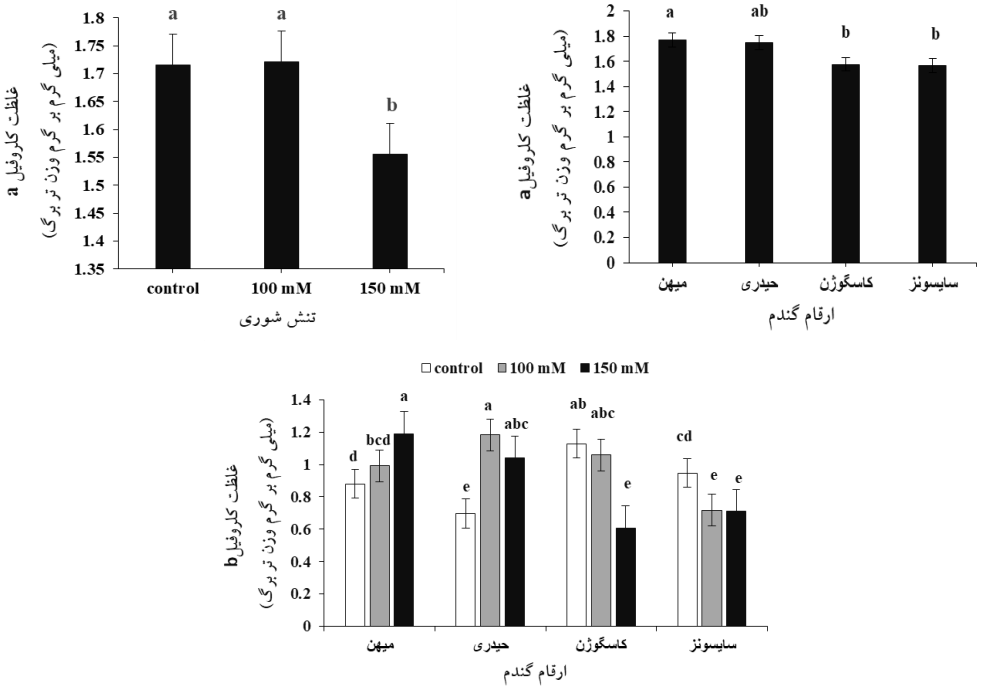
کلروفیل a و کلروفیل b: با توجه به اینکه فقط اثرات اصلی برای کلروفیل a معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین برای کلروفیل a نشان داد که تنش شوری موجب کاهش غلظت این رنگیزه می‌گردد. بیشترین میزان کلروفیل a در رقم میهن (۱/۷۶۹۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) و کمترین میزان این رنگیزه در ارقام کاسگوژن و سایسونز به‌ترتیب با میانگین‌های ۱/۵۷۵۵ و ۱/۵۶۵۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ بدست آمد. همچنین در برهمکنش رقم و تنش شوری غلظت کلروفیل b در ارقام کاسگوژن و سایسونز کاهش معنی‌داری نشان داد. کمترین غلظت کلروفیل b به ارقام کاسگوژن و سایسونز در شرایط تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار تعلق داشت (شکل ۴). مطالعات حسینی و همکاران (۱۳۹۵) نشان داد شوری بر مقدار کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها از لحاظ آماری اثر معنی‌داری دارد، به‌طوریکه بالاترین میزان کلروفیل a، b و کارتنوئیدها در سطح شاهد (عدم شوری) و کمترین مقادیر صفات مذکور در سطح بالاتر تنش شوری بدست آمد، که با نتایج تحقیق حاضر در رابطه با کاهش مقدار کلروفیل در ارقام کاسگوژن و سایسونز مطابقت دارد. به‌نظر می‌رسد کاهش کلروفیل در ارقام مذکور به احتمال زیاد ناشی از تأثیر مزمن تجمع یون‌ها در کلروپلاست باشد. همچنین کاهش میزان کلروفیل در سطوح بالای شوری را می‌توان به‌دلیل تخریب کلروپلاست دانست و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.16.1]



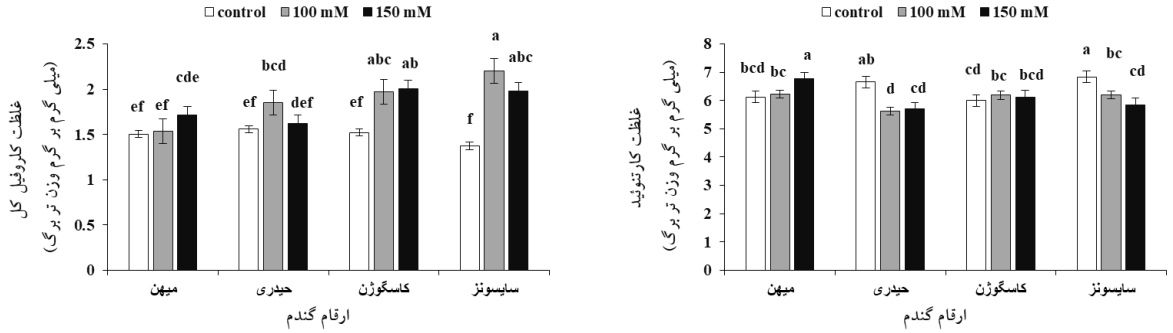
شکل۳- تغییرات فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و پلی‌فنل اکسیداز در ارقام گندم تحت تنش شوری. حروف مشابه نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار است.



شکل ۴- تغییرات غلظت کلروفیل a در ارقام گندم و تنش شوری و غلظت کلروفیل b در برهمکنش ارقام گندم با تنش شوری. حروف مشابه نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار است.

تخریب کلروپلاست در ارقام متحمل گیاهان زراعی کمی کمتر از ارقام حساس است که علت آن نگهداری منیزیم در داخل

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.16.1]



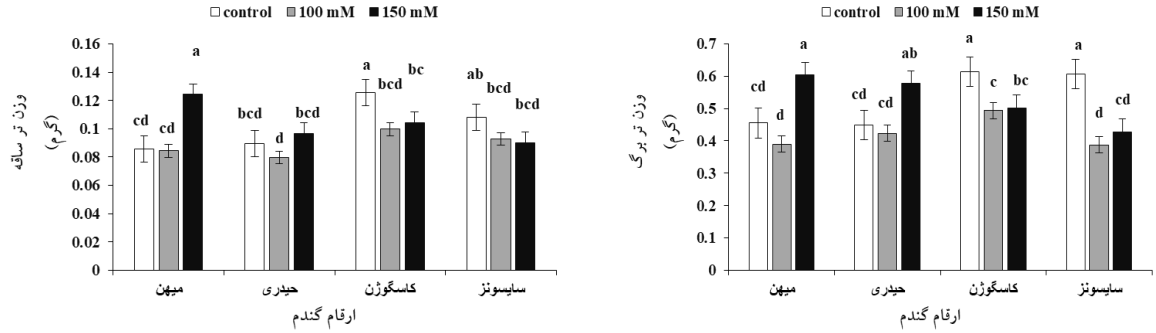
شکل ۵- تغییرات میزان کلروفیل کل و کارتنوئید ارقام گندم در شرایط تنش شوری. حروف مشابه نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار است.

سلول است (صالحی و همکاران، ۱۳۹۷). از طرف دیگر، کاهش محتوای کلروفیل‌های b و a برگ گندم تحت تنش شوری در تحقیقات دیگر نیز مشاهده شده است (رستمی و همکاران، ۱۳۹۹). رنگدانه‌های فتوسنتزی یکی از فاکتورهای مهم در حفظ ظرفیت فتوسنتزی گیاهان هستند و عوامل تأثیرگذار بر این رنگدانه‌ها می‌تواند باعث تغییر کارایی فتوسنتز و درنهایت تغییر عملکرد گیاهان شود (علیلو و همکاران، ۱۳۹۹). گیاهان متحمل که عملکرد زیادی دارند، می‌توانند کاهش محتوای کلروفیل را تعدیل کنند (Gholizadeh *et al.*, 2014). این موضوع با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد، به‌طوریکه ارقام میهن و حیدری دارای بالاترین غلظت کلروفیل و رنگیزه بودند.

کلروفیل کل و کارتنوئید: نتایج برهمکنش رقم × تنش شوری نشان داد که در غلظت‌های بالای شوری در ارقام حیدری و سایسونز به‌ترتیب میزان کلروفیل کل و کارتنوئید کاهش یافت (شکل ۵). کمترین میزان کلروفیل کل و کارتنوئید به‌ترتیب تحت شرایط کنترل (با میانگین میلی‌گرم در لیتر) در رقم سایسونز و تیمار تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار در رقم حیدری به‌دست آمد (شکل ۵). کاروتنوئیدها علاوه بر اینکه رنگیزه کمکی در فتوسنتز هستند، به‌عنوان یکی از اجزای سیستم دفاع آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی سلول شناخته می‌شوند (Gengmao *et al.*, 2015). آنچه که در این مطالعه مشاهده گردید، افزایش مقدار کاروتنوئیدها در ارقام حیدری و کاسگوژن تحت شرایط تنش شوری بود که می‌تواند نشان‌دهنده اهمیت این ترکیب‌ها و افزایش بیوسنتز آنها در طی تنش باشد و کاهش مقدارشان نیز به‌دلیل ایفای نقش حفاظتی آنها به‌عنوان آنتی‌اکسیدان باشد و اینکه در شرایط تنش فرآیند تجزیه‌شدن این مواد در طی ایفای نقش آنتی‌اکسیدانی آنها، از بیوسنتزشان پیشی گرفته است (جعفری و همکاران، ۱۴۰۰). فرهودی و خدارحم (۱۳۹۴) در گیاه گندم نشان دادند که شوری بر مقدار کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها از لحاظ آماری اثر معنی‌داری دارد، به‌طوریکه در بالاترین سطح تنش شوری مقدار کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها کاهش می‌یابد، که با نتایج تحقیق حاضر در رابطه با کاهش غلظت کارتنوئیدها در ارقام حیدری و سایسونز مطابقت داشت. بنابراین به‌نظر می‌رسد که تأثیر تنش بر میزان کاروتینوئیدها یکسان نباشد (Wang *et al.*, 2010). در تحقیق حاضر شوری اثر مثبتی بر محتوای نسبی کلروفیل و کارتنوئیدها داشت.

وزن تر ساقه و وزن تر برگ: نتایج مقایسه میانگین نشان داد که با افزایش سطح تنش شوری در ارقام میهن و حیدری وزن تر ساقه و وزن تر برگ افزایش یافت، اما در ارقام کاسگوژن و سایسونز وزن تر اندام‌های هوایی سیر نزولی داشت (شکل ۶). بیشترین وزن تر ساقه تحت شرایط کنترل در رقم کاسگوژن (با میانگین ۰/۱۲۵۶ گرم)، تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار در رقم میهن (با میانگین ۰/۱۲۴۳ گرم) و کمترین وزن تر ساقه (با میانگین ۰/۰۷۹۶ گرم) تحت تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار در رقم حیدری به‌دست آمد. همچنین بیشترین وزن تر برگ به‌ترتیب در ارقام شاهد کاسگوژن (با میانگین ۰/۶۱۳۶ گرم) و سایسونز (با میانگین ۰/۶۰۷ گرم) ملاحظه شد (شکل ۶). محققان دریافتند که وزن تر و وزن خشک ریشه و اندام

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.16.1]



شکل ۶- تغییرات وزن تر ساقه و وزن تر برگ ارقام گندم در شرایط تنش شوری. حروف مشابه نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار است.

هوایی در تیمارهای شوری کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان می‌دهند (کارگر خرمی و همکاران، ۱۳۹۸). که با یافته‌های تحقیق حاضر در رابطه با کاهش وزن تر ساقه و برگ در ارقام کاسگوژن و سایسونز مطابقت داشت، به‌طوریکه میزان کاهش وزن تر اندام هوایی در تیمارهای ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار تنش شوری تفاوت معناداری با یکدیگر نداشت. حیدری و همکاران (۱۳۹۸) دریافتند وزن تر و خشک کل گیاه کنجد تحت تیمارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم کاهش یافت اما تحت تیمار ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم افزایش داشت. که با نتایج تحقیق حاضر در رابطه با کاهش وزن تر برگ در غلظت پایین شوری (۱۰۰ میلی‌مولار) در ارقام میهن و سایسونز مطابقت داشت. یون‌های زیان‌بار مانند سدیم، کلر و سولفات در شرایط تنش شوری موجب آسیب‌پذیری و کاهش وزن خشک ریشه و برگ چغندرقند می‌شود (Dadkhah, 2011). زیرا تجمع یون‌های زیان‌آور در بافت‌های فتوسنتزکننده یا بذر در حال جوانه‌زنی موجب تخریب غشای سلولی و کاهش کارایی بافت گیاهی می‌گردد (Gondim *et al*., 2010).

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج این پژوهش چنین استنباط می‌شود که شوری فاکتورهای رشد و فیزیولوژیکی را تغییر داده و به‌نظر می‌رسد ارقام میهن و کاسگوژن در بین ارقام مورد مطالعه از مکانیسم دفاعی بالاتری برخوردار هستند. در تحقیق حاضر، شوری از طریق تنش‌های اکسیداتیو باعث تخریب و کاهش کلروفیل گردید، اما افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در زمان تنش شوری به‌عنوان سازوکار دفاعی بسیار مهم، می‌تواند تنش اکسیداتیو را کاهش دهد یا از وقوع آن جلوگیری کند. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که تنش شوری با تجمع یون‌های زیان‌بار مانند سدیم و کلر موجب آسیب‌پذیری و کاهش وزن تر ساقه و برگ ارقام کاسگوژن و سایسونز گندم شد. بنابراین به‌طورکلی از نتایج تحقیق حاضر چنین استنباط می‌شود که رقم‌ها با استفاده از مکانیسم‌های مختلفی با سمیت ناشی از تنش شوری مقابله می‌کنند.

منابع

آقایی، ف.، سید شریفی، ر. و نریمانی، ح. (۱۳۹۹) ارزیابی عملکرد، محتوای کلروفیل و مؤلفه‌های پرشدن دانه گندم در شرایط شوری خاک، کاربرد یونیکونازول و کودهای زیستی. مجله به‌زراعی کشاورزی ۲۲: ۲۸۲-۲۶۹.

جانباز، م.، قلیپوری، ع. و جهانبخش، س. (۱۳۹۱) تأثیر پرایمینگ بذر گندم بر تغییرات پروتئینی برگ در شرایط تنش شوری. دومین همایش ملی علوم و تکنولوژی بذر. مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.16.1]

جعفری، ط.، ایرانبخش، ع. ر.، کمالی علی‌آباد، ک.، دانشمند، ف. و سیفتی، س. ا. (۱۴۰۰) تأثیر سطوح تنش شوری بر برخی پارامترهای رشد، غلظت یون‌های معدنی، اسمولیت‌ها، آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی و فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین آمونیالیاز در سه ژنوتیپ کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd). مجله تازه‌های بیوتکنولوژی سلولی مولکولی ۱۲: ۸۵-۶۴.

حسینی ،ح.، موسوی‌فرد، ص.، فاتحی، ف. و قادری، ا. (۱۳۹۵) تغیرات فیتوشیمیایی و صفات مرفو- فیزیولوژیکی گیاهان دارویی آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.) تحت تنش شوری. فصل‌نامه گیاهان دارویی ۱: ۳۴-۲۲.

حیدری، ح.، نیکنام، و. و ابراهیم‌زاده معبود، ح. (۱۳۹۸) بررسی اثر پنکونازول بر پاسخ‌های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی گیاه کنجد (*Sesamum indicum* L.) تحت تأثیر تنش شوری. مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران) ۳۱: ۱۰-۱.

رستمی، م.، جوادی، ا. و حسینی‌زاده، س. م. (۱۳۹۹) القای مقاومت به تنش شوری در بذرهای بدست آمده از بوته‌های گندم محلول‌پاشی شده با نانواکسید روی و آهن. مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران) ۳۳: ۱۴-۱.

صالحی، م. ر.، امینی، ا. و مجیدی هروان، ا. (۱۳۹۷) بررسی تحمل به تنش شوری ژنوتیپ‌های گندم در شرایط کنترل‌شده (کشت هیدروپونیک). دومین همایش ملی دانش و فناوری علوم کشاورزی، منابع طبیعی و محیط‌زیست ایران، تهران.

علیلو، ع. ا.، شیری آذر، ز.، دشتی، ش.، شهابی‌وند، ص. و پورمحمد، ع. (۱۳۹۹) اثرات تعدیلی اسید هیومیک روی جوانه‌زنی و رشد رویشی گیاه کلزا تحت تنش شوری. مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران) ۳۳: ۱۲-۱.

فرهودی، ر. و خدارحیم‌پور، ر. (۱۳۹۴) بررسی پاسخ فیزیولوژیک ۱۹ رقم گندم به تنش شوری در مرحله گیاهچه‌ای. مجله فرآیند و کارکرد گیاهی ۱۱: ۷۷-۶۶.

کارگر خرمی، س.، جامعی، ر.، درویش‌زاده، ر. و حسینی سرقین، س. (۱۳۹۸) تأثیر تنش شوری بر هورمون‌های اکسین، جیبرلین، ویژگی‌های فیزیولوژیکی، ریخت‌شناختی و آناتومیکی دانه‌رست‌های گیاه بامیه (*Hibiscus esculentus* L.). مجله زیست‌شناسی گیاهی ایران ۱۱: ۸۲-۶۷.

لطفی، ز.، امیرجانی، م. ر. و مجید، م. (۱۳۹۵) تأثیر اسید آسکوربیک بر رشد میزان پروتیین و پاسخ آنتی‌اکسیداتیو گیاه گندم در تنش شوری. سومین کنفرانس بین‌المللی ایده‌های نوین در کشاورزی، محیط‌زیست و گردشگری. اردبیل، مؤسسه حامیان زیست اندیش محیط آرمانی.

محمدی چراغ آبادی، م.، روشنفکر، ح. ا.، حسیبی، پ. ومسکرباشی، م. (۱۳۹۴) ارزیابی اثر تنش شوری بر فلورسانس کلروفیل دو رقم چغندرقند (*Bata vulgaris* L.) در کاربرد برگی سالیسیلات. پژوهش‌های زراعی ایران ۱۳: ۳۵۷-۳۴۹.

نیازیان، م.، نعمانی، م. و سادات نوری، س. ا. (۱۳۹۵) مروری بر روش‌های بیومتری برای اصلاح مقاومت به شوری در گیاهان زراعی. پژوهش‌نامه اصلاح گیاهان زراعی ۲۴: ۴۱-۱۷.

Arnon, A. N. (1967) Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agronomy Journal 23: 112-121.

Alipour, H., Abdi, H., Rahimi, Y. and Bihamta, M. R. (2019) Investigating grain yield and yield stability of wheat cultivars introduced in Iran over the last half century. Cereal Research 9: 157-167(In Persian).

Ashrafi, E., Razmjoo, J. and Zahedi, M. (2016) The effect of salt stress on biochemical traits and relation with salt tolerant of alfalfa cultivars in field. Agronomy Journal (Pajouhesh and Sazandegi) 108: 43-56 (In Persian).

Attarzadeh, A., Movahhedi Dehnavi, M. and Ghaffarian Hedesh, M. (2017) Comparison of the effect of water deficit and salt stresses on the growth, sodium and potassium content of wheat (*Triticum aestivum* L.). Cereal Research 6: 465-476 (In Persian).

Alikhani, S. and Mahmudi zarandi, M. (2019) Effect of *coinoculation* with *endomycorrhiza*, *Pseudomonas aeroginosa* and *Rhizobium meliloti* on *Medicago sativa* under water stress. Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology) 32: 75-85 (In Persian).

Amerian, M. and Esna-Ashari, M. (2017) Effect of different levels of salinity on some physiological and cells-growth characteristics in three Potato (*Solanum tubrosum* L.) cultivars in vitro. Plant Production Technology 9: 209-225 (In Persian).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.16.1]

Azad, N., Rezayian, M., Hassanpour, H., Niknam, V. and Ebrahimzadeh, H. (2021) Physiological mechanism of salicylic acid in *Mentha pulegium* L. under salinity and drought stress. Brazilian Journal of Botany 44: 359-369.

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

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

Chance, B. and Maehly, A. C. (1955) Assay of catalases and peroxidases. Methods in Enzymology 11: 764-755.

Dadkhah, A. (2011) Effect of salinity on growth and leaf photosynthesis of two sugar beet (*Beta vulgaris* L.) cultivars. Journal of Agriculture Science and Technology 13: 1001-1012.

Doraki, G., Zamani, G. and Sayyari, M. H. (2016) Effect of salt stress on physiological traits and antioxidant enzymes activity of chickpea (*Cicer arietinum* L. cv. Azad). Iranian Journal of Field Crops Research 14: 470-483 (In Persian).

Dastneshan, S. and Sabokdast, M. (2020) Evaluation of tolerance rate of some genotypes of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) to salinity stress. Journal of Crop Breeding 11: 184-194 (In Persian).

Eleiwa, M. E., Bafeel, S. O. and Ibrahim, S. A. (2011) Influence of brassinosteroids on wheat plant (*Triticum aestivum* L.) production under salinity stress conditions. I. Growth parameters and photosynthetic pigments. Australian Journal of Basic and Applied Sciences 5: 58-651.

Ferre, R. E., Fellers, D. A. and Shepherd, A. D. (1969) Determination of free lysine and methionine in amino acid-fortified wheat. Agricultural Research 47: 614-620.

Fazeli, A., Zarei, B. and Tahmasebi, Z. (2018) The effect of salinity stress and salicylic acid on some physiological and biochemical traits of Black cumin (*Nigella sativa* L.). Iranian Journal of Plant Biology 9: 69-84 (In Persian).

FAO. (2019) Statistical data. Food and Agriculture Organization. From www.faostat.org.

Gondim, F. A., Gomes-Filho, E., Lacerda, C. F., Prisco, J. T., Azevedo Neto, A. D. and Marques, E. C. (2010) Pretreatment with H_2O_2 in maize seeds: Effects on germination and seedling acclimation to salt stress. Brazilian Journal of Plant Physiology 22: 103-112.

Gengmao, Z., Yu, H., Xing, S., Shihui, L., Quanmei, S. and Changhai, W. (2015) Salinity stress increases secondary metabolites and enzyme activity in safflower. Industrial Crops and Products 64: 175-181.

Gupta, B. and Huang, B. (2014) Mechanism of salinity tolerance in plants: Physiological, biochemical, and molecular characterization. International Journal of Genomics 701596: 1- 18.

Gholizadeh, A., Dehghani, H. and Dorak. J. (2014) Interrelationships between chlorophyll content and seed yield in bread wheat under saline conditions. Iranian Journal of Field Crop Science 45: 625-638 (In Persian).

Hasanuzzaman, M., Oku, H., Nahar, K., Bhuyan, M. H. M. B., Mahmud, J. A., Balusk, F. and Fujita, M. (2018) Nitric oxide-induced salt stress tolerance in plants: ROS metabolism, signaling, and molecular interactions. Biotechnology Reports 12: 77-92.

Irigoyen, J. J., Emerich, D. W. and Sanchez-Diaz, M. (1992) Alfalfa leaf senescence induced by drought stress: Photosnthesis, hydrogen peroxide metabolism, lipid peroxidation and ethylene evoluation. Physiologiae Plantarum 84: 67-72.

Jahani, S., Lahouti, M. and Jahani, M. (2014) Investigation Na^+- Ca^{2+} interaction on biomass and enzymes activity of peroxidase and polyphenol oxidase in leaf of barley (*Hordeum vulgare* L.). Crop Physiology Journal 5: 15-24 (In Persian).

Kandil, A. A., Sharief, A. E., Abido, W. A. E. and Ibrahim, M. M. O. (2012) Response of some canola cultivars (*Brassica napus* L.) to salinity stress and its effect on germination and seedling properties. Journal of Crop Science 3: 95-103.

Kar, M. and Mishra, D. (1976) Catalase, peroxidase, and polyphenol oxidase activities during rice leaf senescence. Plant Physiology 57: 315-319.

Khanzadeh, P. (2017) Effects of seed inoculotion by cycocel and biofertilizers on grain filling period in various levels of soil salinity. MSc thesis, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran (In Persian).

Liu, Q., Liu, R., Ma, Y. and Song, J. (2018) Physiological and molecular evidence for Na^+ and Cl^- exclusion in the roots of two *Suaeda salsa* populations. Aquatic Botany 146: 1-7.

Moharramnejad, S. and Valizadeh, M. (2015) Variation of pigment content and antioxidant enzyme activites in pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings under salt stress. Journal of Crop Ecophysiology 9: 153-166 (In Persian).

Muchate, N. S., Rajurkar, N. S., Suprasanna, P. and Nikam, T. D. (2019) NaCl induced salt adaptive changes and enhanced accumulation of 20-hydroxyecdysone in the in vitro shoot cultures of *Spinacia oleracea* L. Scientific reports 9: 1-10.

Omokolo, N. D., Tsala, N. G. and Djocgoue, P. F. (1996) Changes in carbohydrate, amino acid and phenol content in cocoa pods from three clones after infection with *Phytophthora megakarya* Bra. and Grif. Annals of Botany 77: 153-158.

Parihar, P., Singh, S., Singh, R., Singh, V. P. and Prasad, S. M. (2014) Effect of salinity stress on plants and its

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.16.1]

tolerance strategies: A review. Environmental Science and Pollution Research 22: 4056-4075.
Souri, M. K. (2016) Aminochelate fertilizers: The new approach to the old problem; a review. Open Agriculture 1: 118-123.
Sirousmehr, A., Bardel, J. and Mohammadi, S. (2015) Changes of germination properties, photosynthetic pigments and antioxidant enzymes activity of safflower as affected by drought and salinity stresses. Journal of Crop Ecophysiology 8: 517-534 (In Persian).
Torabi, A. and Farzami Sepehr, M. (2015) The effect of salt pretreated *Glomus fasciculatumon* salinity tolerance induction of barley plants. Iranian Journal of Plant Physiology 5: 1323-1331.
Wang, L., Fan, L., Loescher, W., Duan, W., Liu, G., Cheng, J., Luo, H. and Li, S. (2010) Salicylic acid alleviates decreases in photosynthesis under heat stress and accelerates recovery in grapevine leaves. BMC Plant Biology 10: 34-48.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.16.1]

Evaluation of some physiological and biochemical characteristics of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes under salinity stress

Sodabeh Jahanbakhsh Godehkahriz* and Seyedeh Yalda Raisi Sadati

Department of plant genetics and production engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili

(Received: 05/11/2021, Accepted: 22/01/2022)

Abstract

Since about 20% of the world's arable land and 50% of productions in the world are subject to salinity stress, it affects all stages of plant life from germination to seed production. The aim of this study was to investigate the effect of salinity stress on physiological and biochemical characteristics of some wheat cultivars. For this purpose, a factorial experiment was conducted in a completely randomized design with three replications. The first factor was salinity stress at three levels (control, 100 and 150 mM sodium chloride) and the second factor was wheat cultivars (Mihan, Heydari, Saisons and Gascogen). Plants were exposed to stress from two to four leaf stage and normal water was used for control treatment. Sampling was performed 14 days after stress application from treatet and the control samples. The results showed that among the studied cultivars, salinity stress decreased the concentration of chlorophyll a, chlorophyll b, carotenoids, total protein, and increased prolin, eantioxidant enzyme (peroxidase and polyphenol oxidase) activities and fresh weight of stems and leaves in Saison cultivar. Also, salinity stress did not have significant effect on the amino acids lysine and methionine. The activity of antioxidant enzymes is a very important defense mechanism and increasing the activity of peroxidase and polyphenol oxidase enzymes during salinity stress can reduce or prevent oxidative stress. In general, salinity affected wheat cultivars differently, because cultivars deal with salinity stress toxicity using different mechanisms.

Keywords: Antioxidant enzymes, Sodium chloride, Wheat, Lysine

Corresponding author, Email: jahanbakhsh@uma.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.16.1]