فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۳، شماره ۶۰، خرداد و تیرماه ۱۴۰۳ صفحه: ۲۳۵-۲۴۹
https://doi.org/10.22034/13.60.235

مقاله پژوهشی

بررسی واکنش‌های فیزیولوژیکی چند ژنوتیپ چغندرقند در سطوح مختلف تنش شوری

پریا نوری، سدابه جهان بخش*، سلیم فرزانه، سیده یلدا رئیسی ساداتی و سعید حیدرزاده
گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۱۱، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۱۲/۰۷)

چکیده

شوری از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که گسترش روزافزون آن، رشد و عملکرد گیاهان زراعی را کاهش می‌دهد، در این راستا شناسایی ارقام چغندرقند متحمل به تنش شوری جهت بهبود واکنش‌های فیزیولوژیکی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به همین منظور پژوهشی جهت بررسی ویژگی‌های فیزیولوژیکی ژنوتیپ‌های چغندرقند تحت تنش شوری در سال ۱۳۹۹ انجام گرفت. این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار در دانشگاه محقق اردبیلی تحت شرایط گلخانه‌ای انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل ژنوتیپ‌های مختلف چغندرقند (۹ ژنوتیپ) به عنوان فاکتور اول و تنش شوری به عنوان فاکتور دوم در چهار سطح (شاهد و ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) بودند. نتایج نشان داد که اثرات تنش شوری بر محتوای کلروفیل، پروتئین محلول، محتوای پرولین، قندهای محلول و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (کاتالاز، پراکسیداز و پلی‌فنل اکسیداز) ارقام مختلف چغندرقند معنی‌دار بود. سطوح بالاتر تنش شوری (۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) موجب افزایش معنی‌دار پروتئین محلول، محتوای پرولین، قندهای محلول و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و پلی‌فنل اکسیداز نسبت به سایر سطوح تنش شوری و تیمار شاهد شد. درحالی‌که، بیش‌ترین محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل در رقم شماره ۱۵ و ۴ در تیمار عدم اعمال تنش شوری مشاهده شد. در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، ژنوتیپ‌های شماره ۶، ۱۵ و ۲۰ از بیش‌ترین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در شرایط تنش شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر برخوردار بودند. لذا، در سطوح بالاتر تنش شوری، ارقام مقاوم چغندرقند با بهبود محتوای اسمولیت‌های سازگار و فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی از طریق حفظ ساختار غشا از کاهش محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی جلوگیری می‌کنند.

واژه‌های کلیدی: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، پرولین، تنش شوری، چغندرقند

مقدمه

چغندرقند گیاه صنعتی جدیدی است که حاصل تلاش‌های مدام به‌نژادگران طی دو قرن گذشته است. (اسدی‌نسب و همکاران، ۱۳۹۳). چغندرقند یکی از مهم‌ترین محصولات بخش کشاورزی و صنعت است، و سهم قابل چشم‌گیری در رونق فعالیت‌های صنعتی بوده دارد (فرهودی و همکاران، ۱۳۹۹؛ Heydarzadeh *et al.*, 2021). از آنجا که، چغندرقند جز محصولات کشاورزی پایه و ماده اولیه تولید شکر و قند کشور است، در نتیجه از جنبه‌های اقتصادی دارای اهمیت بیشتری است. سطح زیرکشت چغندرقند در کشور حدود ۵۶ هزار هکتار است و تقریباً عملکرد ریشه آن نزدیک به ۳۴ تن در هکتار است (Heydarzadeh *et al.*, 2021).

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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-08-10]

شوری به‌عنوان یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزنده در مناطق خشک و نیمه‌خشک، از جمله عوامل مهم محدودکننده رشد رویشی و زایشی بیشتر گیاهان است، به گونه‌ای که میانگین عملکرد گیاهان زراعی را تا حدود ۵۰٪ کاهش می‌دهد (حسینی و همکاران، ۱۳۹۵). به گونه میانگین ۲۰۰۰ هکتار از زمین‌های آبیاری‌شده در مناطق خشک و نیمه‌خشک ۷۵ کشور دنیا توسط نمک تخریب می‌شود (نیازیان و همکاران، ۱۳۹۵). در ایران شوری منابع آب و خاک، یکی از مشکلات کشاورزی محسوب می‌شود، به گونه‌ای که مساحت اراضی شور ایران در حدود ۲۴ میلیون هکتار است که معادل ۱۵٪ 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 رشد و نمو ممکن است حساسیت‌های متفاوتی (در مراحل اولیه جوانه‌زنی حساس به شوری و در مراحل رشد رویشی مقاوم به شوری است) نسبت به تنش شوری نشان دهد (Abd El-Mageed *et al.*, 2021). پاسخ گیاهان به تنش شوری در برگیرنده پاسخ‌های متنوع بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی به ویژه در مرحله گیاهچه‌ای بوده، در عین حال 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 (Abu-Ellail *et al.*, 2020). تنش شوری در ابتدا جوانه‌زنی بذر و طول گیاهچه را در مراحل اول رشد کاهش می‌دهد و در مراحل بعدی رشد، موجب کاهش تولید و در نتیجه سبب کاهش عملکرد می‌شود (Ahmad *et al.*, 2019). توسعه سطح برگ یا زیست‌توده ساقه از حساس‌ترین و مهم‌ترین شاخصه‌های رشد هستند (Ahmed *et al.*, 2022). از پاسخ‌های بیوشیمیایی گیاهان در برابر تنش شوری، تجمع اسمولیت‌های سازگار مانند قندهای محلول و پرولین است (Alavilli *et al.*, 2023). گیاهان استراتژی‌های مختلفی نظیر تنظیم جذب یون به‌وسیله ریشه و انتقال آن به قسمت‌های مختلف گیاه، تغییر آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیرآنزیمی، تغییر مکانیسم‌های فتوسنتزی برای کاهش اثرات سمیت نمک و جلوگیری از آسیب گونه‌های فعال اکسیژن در سطح کل گیاه دارند (Aycan *et al.*, 2023). در تنش شوری، ارقام مقاوم توانایی آن را دارند که یون‌های معدنی مثل پتاسیم را جمع کنند که باعث کاهش پتانسیل اسمزی سلول می‌شود، در نتیجه باعث جذب و حفظ آب بیشتر از سلول‌های ریشه و بافت‌های تحت تنش می‌شوند (Bouras *et al.*, 2021). بنابراین 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 (El-Mageed *et al.*, 2022). طبق مطالعات انجام‌شده پژوهشگران ویژگی‌های رشدی چون سطح برگ، تعداد برگ، سرعت رشد نسبی و سرعت جذب خالص (سرعت فتوسنتز خالص) گیاه چغندرقند در شرایط تنش شوری کمتر می‌شوند، این رخدادها می‌تواند به کاهش استفاده از نور بازگشته از کاهش حداکثر فلورسانس از طریق افزایش مقدار فلورسانس در فتوسیستم دو و حداکثر عملکرد کوانتومی در ارتباط باشند (Gholipor *et al.*, 2022). گزارش شده است که رنگدانه‌های فتوسنتزی ارقام مختلف چغندرقند تحت تنش شوری کاهش یافت اما میزان پرولین و پروتئین کل محلول و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان از جمله پراکسیداز و پلی‌فنل اکسیداز در رقم حساس افزایش یافت (Hossain *et al.*, 2021). در گیاه کلزا (Raees *et al.*, 2023) و سویا (Mangena, 2023) و جو (Ghonaim *et al.*, 2023) محتوای کلروفیل گیاه کاهش یافت، درحالی‌که قندهای محلول، پرولین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (کاتالاز، پراکسیداز و پلی‌فنل اکسیداز) گیاه با افزایش شوری به شدت افزایش پیدا کرد. با توجه به شوری خاک‌های زراعی ایران و گسترش روزافزون آن با کاهش نزولات آسمانی، شناسایی ارقام چغندرقند متحمل به تنش شوری جهت بهبود عملکرد کمی و کیفی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، لذا هدف از این پژوهش ارزیابی ژنوتیپ‌های مختلف چغندرقند از نظر برخی از صفات فیزیولوژیکی در مرحله گیاهچه‌ای تحت تنش شوری و بدون تنش شوری بود.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-08-10]

جدول ۱- ژنوتیپ‌های مختلف چغندرقند مورد استفاده در این آزمایش

SHR.1-P12	4=419*SB36=419*KWS=006	33-----41
	5=231*261	31-----42
F-8662=31192	6=SB37*28874=31459	21-----60
	9=419*SB36=419*KWS=006	22-----57
FC709-2/24	12=SB37*28874=31459	38-----48
	15=7112*436	39-----47
S_1-88239=31187	17=SB37*28874=31459	30-----51
	19=7112*SB36=7112*KWS	27-----55
	20=7112*436	29-----54

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه دانشگاه محقق اردبیلی جهت بررسی صفات فیزیولوژیکی برخی ژنوتیپ‌های مختلف چغندرقند تحت تنش شوری در سال ۱۳۹۹ طراحی و انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل ۹ ژنوتیپ مختلف چغندرقند (جدول ۱) به عنوان فاکتور اول و تنش شوری (کلرید سدیم) در چهار سطح (شاهد و ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) به عنوان فاکتور دوم بودند.

بذور چغندرقند مورد مطالعه از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل تهیه شدند و بعد از ضدعفونی با وایتکس (هیپوکلریت سدیم) ۱۰ درصد، بر روی کاغذ صافی قرار گرفته و در ادامه به‌مدت دو روز برای جوانه‌زنی در داخل دستگاه ژرميناتور در دما ۲±۲۵ و ۱۶ ساعت نور در شبانه‌روز قرار داده شد. سپس بذور جوانه‌دار شده به درون گلدان‌های پلاستیکی حاوی خاک معمولی، ماسه بادی به نسبت ۲ به ۱ و هدایت الکتریکی بستر کشت با ۰/۲ دسی‌زیمنس بر متر انتقال یافت و مورد کشت قرار گرفت. برای محاسبه غلظت محلول‌های نمک کلرید سدیم از معادله ۱ استفاده شد (Yolcu *et al.*, 2021).

$$TDS = EC\times ۰/۶۴$$

که در آن EC هدایت الکتریکی برحسب دسی‌زیمنس بر متر و TSD میزان نمک مورد استفاده برحسب گرم در لیتر است. جهت اطمینان از EC بدست آمده از معادله با استفاده از ECمتر هدایت الکتریکی تمامی محلول‌های مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند.

میزان نمک مورد نیاز برای هر سطح شوری در آب حل شد و سپس در شروع آزمایش به خاک اضافه شدند. گلدان‌ها به مدت یک هفته مرتب آبیاری شدند تا کل نمک در خاک پخش شود. اعمال تنش شوری سه بار و به فاصله هر سه روز یکبار در مراحل چهار و هشت برگی چغندرقند انجام شد و سپس تا مرحله برداشت، گلدان‌ها هر چهار روز یکبار، با آب‌مقطر آبیاری شدند. بعد از اعمال تنش شوری هدایت الکتریکی خاک برای اطمینان از انجام صحیح شوری خاک، تعیین شد. همچنین در پایان آزمایش در مرحله هشت برگی نیز هدایت الکتریکی خاک دوباره اندازه‌گیری شد. تغذیه گیاه با کودهای (N.P.K) از مرحله اولیه رشد هر هفته یکبار انجام شد. گلدان‌ها در شرایط گلخانه‌ای با تنظیم دمای روزانه محدوده ۲± ۲۵ درجه سانتی‌گراد و دمای شبانه ۱۵± ۳ درجه سانتی‌گراد با طول دوره روشنایی ۱۵-۱۶ ساعت و تاریکی ۸ ساعت و نیز رطوبت ۴۰ الی ۵۰٪ نگهداری شدند. بذور کاشته‌شده در گلدان‌ها به تعداد ۲۵ عدد بود و پس از کاشت بذرهای سبزشده روزانه شمارش شده و جهت محاسبه صفات سبزشدن ثبت شدند. همچنین نمونه‌های برگی در مرحله چهار و هشت برگی برای اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیکی در فویل آلومینیوم قرار داده و پس از انجماد سریع در نیتروژن مایع به آزمایشگاه در یخچال ۷۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی: محتوای کلروفیل و کاروتنوئید برگ با استفاده از روش آرنون (Arnon, 1967) اندازه‌گیری شد. ۰/۲ گرم از بافت برگ پرچم را با استن ۸۰ درصد به تدریج له کرده تا کلروفیل وارد محلول استونی شود و در نهایت حجم محلول با استن ۸۰ درصد به حجم ۲۰

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-08-10]

میلی‌لیتر رسانده شد. محلول حاصل به مدت ۱۰ دقیقه در ۴۰۰۰ دور سانتریفوژ شد و سپس جذب نوری محلول رویی در طول‌موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر با اسپکتروفتومتر خوانده شد. غلظت پروتئین به روش Bradford (۱۹۷۶) تعیین شد و میزان پروتئین در طول‌موج ۵۹۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. سنجش قندهای کل برگ به روش Dubios و همکاران (۱۹۵۶) انجام شد. بدین منظور ابتدا ۰/۵ گرم از بافت برگی برداشته و سپس ۵ میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد به آن افزوده و برای مدت ۳۰ ثانیه ورتکس گردید. سپس مایع رویی به‌مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شد. 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 به مدت ۱۰ دقیقه در بن‌ماری قرار گرفت. بعد نمونه‌ها در طول‌موج ۶۲۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. برای استخراج پرولین برگ از روش Bates (۱۹۷۳) استفاده شد. بدین منظور ۰/۱ گرم بافت برگی در ۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک اسید ۳ درصد به خوبی سائیده و همگنای به دست‌آمده سانتریفیوژ شد. 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 به مدت یک ساعت در بن‌ماری با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده و بعد از افزودن ۴ میلی‌لیتر تولوئن به هر فالکن، به 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: جهت تهیه عصاره آنزیمی ۰/۱ میلی‌گرم نمونه فریز شده وزن تر برگ، در ۱/۲ میلی‌لیتر بافر تریس ۰/۰۵ میلی‌مولار و با pH=۷/۵ ساییده و مدت ۲۰ دقیقه در ۸۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ گردید. از این عصاره برای سنجش آنزیم کاتالاز، پراکسیداز و پلی‌فنل اکسیداز استفاده شد (Sudhakar *et al.*, 2001). جهت سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز پس از آماده‌سازی عصاره آنزیمی ۳ میلی‌لیتر بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار، ۰/۰۱ میلی‌لیتر H_2O_2 ۱۵ میلی‌مولار و ۰/۰۵ میلی‌لیتر از عصاره سلولی را ریخته و در طول‌موج ۲۴۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتوفتومتر خوانده گردید. سرانجام فعالیت آنزیمی برحسب تغییرات واحد جذب در دقیقه به ازای هر میلی‌گرم پروتئین محاسبه شدند (Chance and Maehly, 1995). برای اندازه‌گیری میزان فعالیت پراکسیداز نیز از روش Karo و Mishra (۱۹۷۶) استفاده گردید، به این صورت که تریس اسید کلریدریک ۱۰۰ میلی‌مولار با پیروگالول ۱۰ میلی‌مولار و آب اکسیژنه ۵ میلی‌مولار مخلوط و از مخلوط به‌دست آمده ۲/۵ میلی‌لیتر برداشته و به آن ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی (در روش کاتالاز تهیه گردید) افزوده شد و سپس، ورتکس انجام و قرائت در طول‌موج ۴۲۵ نانومتر صورت گرفت. فعالیت سینتیکی آنزیم پلی‌فنل اکسیداز با روش Karo و Mishra (۱۹۷۶) بررسی شد. بدین صورت که ۱/۵ میلی‌لیتر تریس ۰/۲ مولار، ۰/۳ میلی‌لیتر پیروگالول ۰/۰۲ مولار و ۰/۱ میلی‌لیتر عصاره آنزیمی اضافه شده و در طول‌موج ۴۲۰ نانومتر پس از گذشت پنج دقیقه خوانده شد. سرانجام فعالیت آنزیمی بر حسب تغییرات واحد جذب در دقیقه به ازای هر میلی‌گرم پروتئین محاسبه شد. تجزیه و تحلیل‌های آماری داده‌های حاصل از این آزمایش، با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 صورت گرفت و مقایسه میانگین‌ها به روش LSD در سطح احتمال ۵٪ انجام شد.

نتایج و بحث

مطابق جدول ۲ تجزیه واریانس، برهمکنش تنش شوری و ژنوتیپ چغندرقند در مرحله چهار برگی بر محتوای کلروفیل a، کلروفیل a+b، پروتئین محلول، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاتالاز، پراکسیداز و پلی‌فنل اکسیداز معنی‌دار بودند (جدول ۲). اثر ساده تنش شوری و ژنوتیپ چغندرقند بر کلروفیل b و پرولین معنی‌دار بود (جدول ۲). درحالی‌که قند محلول فقط تحت تأثیر تنش شوری دارای تأثیر معنی‌داری بود (جدول ۲).

اثر برهمکنش تنش شوری × ژنوتیپ چغندرقند در مرحله

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-08-10]

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر تنش شوری بر برخی صفات فیزیولوژیکی برگ ژنوتیپ چغندرقند در مرحله چهار برگی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل a+b	پروتئین	قند محلول	پرولین	کاتالاز	پراکسیداز	پلی‌فنل اکسیداز
تکرار	۲	۰/۵۴**	۰/۹۵**	۲/۸۹**	۳۴/۵۶**	۱۳۲۸/۵۲**	۰/۹۲ns	۵۷/۳**	۱۳۸/۳۴**	۲۶۸۱/۸۲**
تنش شوری (A)	۳	۲/۲۶**	۰/۵۷**	۰/۰۸۱**	۲۹/۲۲**	۷۴۴/۹۶**	۱۳/۹۶**	۴۹۱/۱۵**	۹۳۹/۲۵**	۸۵۶/۸۷**
ژنوتیپ (B)	۸	۰/۲۸**	۰/۰۸**	۰/۶۴**	۲/۳۲**	۱۳/۱۲ns	۱/۷۶**	۱۳/۴۶**	۱۸/۴۹**	۴۸/۱۵**
A×B	۲۴	۰/۰۸*	۰/۰۰۶۸ns	۰/۱**	۰/۹۹*	۱۰/۷۸ns	۰/۳۸ns	۱۳/۱۳**	۲۴/۶۴**	۳۰/۹۷**
خطا	۷۰	۰/۰۴۱	۰/۰۰۷۱	۰/۰۴۱	۰/۴۹	۸/۰۹	۰/۳۲	۴/۱۶	۶/۵۲	۵/۴۳
ضریب تغییرات (٪)	-	۶/۳۵	۶/۶۸	۴/۵۹	۶/۳۲	۴/۹۴	۱۱/۳۸	۴/۶۱	۴/۵۲	۴/۲۹

***، ** و ns: به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال پنج، یک و عدم معنی‌داری است.**

جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر تنش شوری بر برخی صفات فیزیولوژیکی ژنوتیپ چغندرقند در مرحله هشت برگی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل a+b	پروتئین	قند محلول	پرولین	کاتالاز	پراکسیداز	پلی‌فنل اکسیداز
تکرار	۲	۰/۵**	۰/۷۴**	۱/۸۲**	۱۲/۹**	۱۲۷۴/۸**	۵/۴**	۱۱۸/۳۲**	۱۲۰۸/۰۳**	۱۴۳۳/۹۲**
تنش شوری (A)	۳	۱/۲۵**	۰/۴۵**	۳/۲**	۱۹/۳۶**	۷۶۱/۴**	۲۲/۰۴**	۶۹۷/۳۷**	۹۶۱/۱۶**	۸۵۸/۳۲**
ژنوتیپ (B)	۸	۰/۱۷**	۰/۰۴۹**	۰/۳۹**	۱/۵۴**	۲۸/۰۵ns	۰/۹۹**	۲۷/۰۸**	۷۴/۷**	۴۶/۳۶**
A×B	۲۴	۰/۰۴۳**	۰/۰۱۳**	۰/۰۹۹**	۰/۹**	۴/۱ns	۰/۴۹*	۲۱/۴۷**	۱۳/۹۷**	۳۰/۲۰**
خطا	۷۰	۰/۰۲	۰/۰۰۴۹	۰/۰۳۶	۰/۱۷	۱۳/۹۹	۰/۲۹	۵/۶۹	۴/۴۶	۶/۹۹
ضریب تغییرات (٪)	-	۴/۹۲	۶/۰۴	۴/۷۵	۴/۲۲	۶/۸	۱۰/۶۹	۵/۲۲	۴/۰۲	۴/۶۴

***، ** و ns: به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال پنج، یک و عدم معنی‌داری است.**

هشت برگی نمونه‌برداری بر محتوای کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل a+b، پروتئین محلول، پرولین، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاتالاز، پراکسیداز، پلی‌فنل اکسیداز و عملکرد ریشه معنی‌دار بودند (جدول ۳). درحالی‌که قند محلول فقط تحت تأثیر تنش شوری قرار گرفت (جدول ۳).

محتوای کلروفیل: براساس نتایج، بیش‌ترین محتوای کلروفیل a و کلروفیل a+b (به‌ترتیب ۳/۶۹۷ و ۵/۱۰۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) در رقم شماره ۱۵ در تیمار عدم اعمال شوری مشاهده شد که از افزایش به‌ترتیب ۳۸/۰۵ و ۳۸/۷۹ ٪ نسبت به شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر در رقم شماره ۴ برخوردار بود (جدول ۴). همچنین، تنش شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر موجب کاهش ۳۲/۵ و ۱۲/۰۱٪ محتوای کلروفیل b نسبت به تیمار شاهد شوری شد (جدول ۵). رقم شماره ۹ نیز از بیش‌ترین محتوای کلروفیل b (۱/۳۴۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) برخوردار بود (جدول ۵). ارقام ۱۹ و ۹ در شرایط شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر از کم‌ترین محتوای کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل a+b (به‌ترتیب ۲/۴۷۱، ۹۰۶ و ۳/۴۱۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) و ارقام شماره ۱۵ و ۴ تحت شرایط عدم اعمال شوری (به‌ترتیب ۳/۲۸۹، ۱/۳۹۱ و ۴/۶۷۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) از بیش‌ترین محتوای این صفات برخوردار بودند (جدول ۴). به نظر می‌رسد کاهش محتوای کلروفیل در تنش شوری می‌تواند به‌دلیل کاهش عناصر اثرگذار از جمله منگنز، منیزیم، نیتروژن و آهن در ساختمان کلروفیل، تخریب کلروفیل و افزایش حساسیت برگ به اتیلن و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-08-10]

جدول ۴- مقایسه میانگین تأثیر تنش شوری بر محتوای پروتئین و پرولین برخی ژنوتیپ چغندرقند

شوری	ارقام چغندر قند	مرحله چهار برگی				مرحله هشت برگی			
		کلروفیل a	کلروفیل a+b	محتوای پروتئین (٪)	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل a+b	محتوای پروتئین (٪)	محتوای پرولین (میکروگرم بر گرم وزن تر برگ)
		(میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ)			(میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ)				
عدم اعمال شوری	۴	۳/۴۱۷a-g	۴/۷۵۹b-h	۱۲/۹۲ab	۳/۲۸۹a	۱/۳۸۷a	۴/۶۷۶a	۱۱/۳۷ab	۳/۶۸m
	۵	۳/۶۶۸ab	۵/۰۱۵abc	۱۱/۹۴b-e	۳/۲۶۷ab	۱/۳۷۸a	۴/۶۵۴a	۱۰/۸a-f	۳/۷۶lm
	۶	۳/۵۰۳a-e	۴/۸۳۳a-g	۱۲/۹۳ab	۳/۰۹۴a-f	۱/۲۹۵a-e	۴/۳۸۹a-e	۱۱/۴۱a	۴/۲۵i-m
	۹	۳/۴a-h	۴/۹۳۹a-e	۱۳/۱۴a	۳/۲۲۱a-d	۱/۳۵۶abc	۴/۵۷۷abc	۱۰/۷۱b-g	۳/۷۲lm
	۱۲	۳/۱۳۴f-k	۴/۶۰۴f-i	۱۱/۹۷b-e	۲/۹۸۵e-i	۱/۲۳۳d-h	۴/۲۱۸d-h	۱۰/۳۸e-h	۴/۲۷i-m
	۱۵	۳/۶۹۷a	۵/۱۰۲a	۱۱/۷۴cde	۳/۲۸۳a	۱/۳۹۱a	۴/۶۷۴a	۹/۸۹hij	۳/۷۹lm
	۱۷	۳/۶۴۵abc	۵/۰۵۱abc	۱۲/۰۱a-e	۳/۰۰۵d-i	۱/۲۳۴d-g	۴/۲۴d-h	۱۱/۳۱abc	۴/۳h-m
	۱۹	۳/۶۹۱a	۵/۰۸۶ab	۱۱/۷۱de	۳/۰۴۶b-g	۱/۲۶b-f	۴/۳۰۷b-f	۱۰/۵۷d-g	۴/۰۲klm
	۲۰	۳/۳۹۶a-h	۴/۶۷۹d-i	۱۲/۸۸abc	۳/۱۴a-e	۱/۳۱۹a-d	۴/۴۶a-d	۱۱/۲۴a-d	۴/۲۸i-m
شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر	۴	۳/۳۳c-h	۴/۵۸۲g-j	۱۲/۵۱a-d	۳/۲۳۸abc	۱/۳۶۵ab	۴/۶۰۳ab	۱۱/۰۱a-e	۴/۲۲j-m
	۵	۳/۳۹a-h	۴/۶۴۷e-i	۱۱/۰۵e-i	۲/۸۳۱g-m	۱/۱۳۵g-k	۳/۹۶۶h-m	۱۰/۱۶f-i	۴/۲۴i-m
	۶	۳/۱۰۲g-l	۴/۲۴klm	۱۲/۱۲a-e	۳/۰۱۹c-h	۱/۲۶۲b-f	۴/۲۸۲c-g	۹/۲۲j-m	۴/۷۱g-k
	۹	۳/۶۳۸abc	۵/۰۲۲abc	۱۱/۷۴cde	۳/۰۴۳b-h	۱/۲۶b-f	۴/۳۰۴b-f	۱۰/۲۲f-i	۴/۷۴f-k
	۱۲	۳/۳۵۶b-h	۴/۶۲۴e-i	۱۰/۳۳g-l	۲/۶۹۹k-q	۱/۰۷۴j-n	۳/۷۷۴j-p	۹/۰۴j-o	۴/۹۳e-j
	۱۵	۳/۵۶۹a-d	۴/۹۲۵a-f	۱۱/۴۹def	۳/۱۳۴a-f	۱/۳۱۹a-d	۴/۴۵۳a-d	۱۰/۵۳e-h	۵/۰۵e-j
	۱۷	۳/۲۱۴e-j	۴/۴۱۲i-l	۱۱/۳۹d-g	۲/۸۸۶f-k	۱/۱۶۸f-j	۴/۰۵۵f-j	۸/۸۲l-p	۵/۶۷b-e
	۱۹	۳/۶۱۲a-d	۴/۹۸۷a-d	۱۱/۲۸e-h	۲/۷۳۶j-p	۱/۰۸۸i-m	۳/۸۲۵i-o	۱۰/۶۷c-g	۴/۹۲e-j
	۲۰	۲/۹۴i-n	۴/۰۰۵m-p	۱۰/۹۸e-j	۲/۸۱۴h-n	۱/۱۶۳f-j	۳/۹۷۸g-l	۹/۸۶hij	۵/۲d-g
شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر	۴	۲/۸۸۶j-n	۳/۹۶۲m-p	۱۱/۲۸e-h	۳/۰۸۴a-f	۱/۲۹۱a-e	۳/۳۷۵a-d	۹/۶۳ijk	۴/۵۹g-l
	۵	۳/۱۳۳f-k	۴/۲۶۱j-m	۹/۷kl	۳/۰۳۷b-h	۱/۲۴۹c-f	۴/۲۸۷b-f	۹/۱k-n	۶/۲۱abc
	۶	۲/۸۱k-n	۳/۸۵۳nop	۱۱/۱۳e-i	۲/۸۵۱g-l	۱/۱۴۸f-k	۳/۹۹۹f-k	۹/۴۱jkl	۵/۲۷d-g
	۹	۳/۴۵۵a-f	۴/۷۷۳a-h	۱۱/۰۵e-i	۲/۶۷۸k-q	۱/۰۳۵k-o	۳/۷۱۳k-q	۱۰/۲۸f-i	۵/۷۲b-e
	۱۲	۳/۱۹۳e-j	۴/۴۱i-l	۱۰/۵۴f-k	۲/۶۰۳m-q	۱/۰۳۷k-o	۳/۶۴۱n-q	۹/۰۱k-o	۵/۱۲e-i
	۱۵	۳/۴۳۷a-f	۴/۷۲۹c-i	۱۲/۴۹a-d	۲/۸۱۴h-n	۱/۱۱۹h-l	۳/۹۳۴h-n	۱۰/۲f-i	۵/۱e-j
	۱۷	۲/۹۶۸i-n	۴/۰۴mno	۱۰/۲۱h-l	۲/۶۱۳m-q	۱/۰۲l-p	۳/۶۳۳n-q	۸/۵۸m-p	۵/۰۳e-j
	۱۹	۳/۲۶۴d-i	۴/۴۸h-k	۱۱/۷۹b-e	۲/۵۹۷n-q	۱/۰۱۹l-p	۳/۶۱۶opq	۱۰/۱ghi	۵/۶۱c-f
	۲۰	۲/۷۲۳n	۳/۷۴۷op	۹/۸۷jkl	۲/۹۳۵e-j	۱/۱۹۳e-i	۴/۱۲۹e-i	۸/۷۷l-p	۵/۲۵d-g
LSD		۰/۳۳۱	۰/۳۲۹	۱/۱۴۷	۰/۲۳۱	۰/۱۱۴	۰/۳۱۳	۰/۶۷۲	۰/۸۸۶

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری براساس آزمون LSD با هم ندارند.

تجمع یون کلر باشد (Hussain *et al.*, 2014). همچنین، گزارش شده است که در شرایط شوری جذب نیترات به‌وسیله

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-08-10]

ادامه جدول ۴- مقایسه میانگین تأثیر تنش شوری بر محتوای پروتئین و پرولین برخی ژنوتیپ چغندرقند

شوری	ارقام چغندر قند	مرحله چهار برگی				مرحله هشت برگی			
		کلروفیل a	کلروفیل a+b	محتوای پروتئین (٪)	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل a+b	محتوای پروتئین (٪)	محتوای پرولین (میکروگرم بر گرم وزن تر برگ)
		(میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ)			(میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ)				
شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر	۴	۲/۶۷۸^{n}	۳/۶۷۶^{p}	۱۰/۱۴$^{h-l}$	۲/۴۷۱^{pq}	۰/۹۶۹^{nop}	۳/۴۸۳^{pq}	۹/۴۱^{jkl}	۵/۳$^{d-g}$
	۵	۲/۸۲۵$^{k-n}$	۳/۸۶۷^{nop}	۹/۲۲^{l}	۲/۸۳۳$^{g-m}$	۱/۱۳۲$^{g-l}$	۳/۹۶۶$^{h-m}$	۸/۵۳^{nop}	۵/۱۸$^{d-h}$
	۶	۲/۸۲۵$^{k-n}$	۳/۹۳۷$^{m-p}$	۹/۹۹$^{i-l}$	۲/۶۲۱$^{l-q}$	۱/۰۳۷$^{k-o}$	۳/۶۵۸$^{m-q}$	۹/۰۶$^{k-o}$	۶/۴۲^{abc}
	۹	۳/۰۷۲$^{h-m}$	۴/۲۰۱^{klm}	۹/۷۹^{kl}	۲/۷۷۸$^{i-n}$	۰/۹۰۶^{p}	۳/۶۸۵$^{l-q}$	۹/۲۲$^{j-m}$	۶/۲۱^{abc}
	۱۲	۲/۸۹۵$^{j-n}$	۳/۹۵۵$^{m-p}$	۹/۴۵^{kl}	۲/۶۱۱$^{m-q}$	۰/۹۹۲$^{m-p}$	۳/۶۰۳^{opq}	۹/۰۴$^{k-o}$	۶/۰۷$^{a-d}$
	۱۵	۲/۷۷۷^{lm}	۳/۸۰۸^{nop}	۹/۸۳^{kl}	۲/۷۴۵$^{j-o}$	۱/۰۸۷$^{i-m}$	۳/۸۳۲$^{i-o}$	۸/۶۳$^{m-p}$	۶/۶۵^{a}
	۱۷	۲/۷۵۸^{mn}	۳/۷۸۶^{nop}	۱۰/۳۷$^{f-l}$	۲/۶۲۱$^{l-q}$	۱/۰۳۸$^{k-o}$	۳/۶۵۹$^{m-q}$	۸/۴۱^{op}	۶/۵^{ab}
	۱۹	۲/۹۲۷$^{j-n}$	۴/۰۸۳^{lmn}	۱۰/۵۱$^{f-k}$	۲/۴۷۱^{q}	۰/۹۴۳^{op}	۳/۴۱۴^{q}	۹/۰۴$^{k-o}$	۶/۸۶^{a}
	۲۰	۲/۷۹۷^{lmn}	۳/۷۴۹^{op}	۹/۵۳^{kl}	۲/۵۴۶^{opq}	۱/۰۰۱$^{m-p}$	۳/۵۴۸^{opq}	۸/۳۲^{p}	۶/۳۳^{abc}
	LSD	۰/۳۳۱	۰/۳۲۹	۱/۱۴۷	۰/۲۳۱	۰/۱۱۴	۰/۳۱۳	۰/۶۷۲	۰/۸۸۶

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری براساس آزمون LSD با هم ندارند.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر تنش شوری بر محتوای کلروفیل b، پرولین و قندهای محلول ژنوتیپ چغندر قند

تیمار		مرحله چهار برگی		مرحله هشت برگی	
		کلروفیل b	پرولین	قندهای محلول	
		(میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	(میکروگرم بر گرم وزن تر)	(میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	
سطوح تنش شوری (دسی‌زیمنس بر متر)	۰	۱/۳۹^{a}	۴/۱۱^{d}	۵۰/۷۷^{d}	۴۸/۴۶^{d}
	۴	۱/۲۵۴^{b}	۴/۷۲^{c}	۶۵/۴۴^{c}	۵۳/۴۵^{c}
	۸	۱/۱۵۳^{c}	۵/۲۷^{b}	۶۰/۳۵^{b}	۵۷/۱۷^{b}
	۱۲	۱/۰۴۹^{d}	۵/۷۸^{a}	۶۲/۸۱^{a}	۶۰/۸۹^{a}
LSD		۰/۰۴۵۹	۰/۳۰۷	۱/۵۴۴	۲/۰۳
ارقام چغندرقند	۴	۱/۱۶۷^{d}	۴/۱۶^{d}	–	–
	۵	۱/۱۹۳^{cd}	۵/۰۲^{abc}	–	–
	۶	۱/۱۳۹^{de}	۴/۶۲^{cd}	–	–
	۹	۱/۳۴۲^{a}	۵/۴۱^{a}	–	–
	۱۲	۱/۲۵۳^{bc}	۴/۹۲^{bc}	–	–
	۱۵	۱/۲۷۱^{b}	۵/۲۸^{ab}	–	–
	۱۷	۱/۱۷۵^{d}	۵/۱۸^{ab}	–	–
	۱۹	۱/۲۸۵^{ab}	۵/۲۱^{ab}	–	–
	۲۰	۱/۰۸^{e}	۴/۹۴^{bc}	–	–
LSD		۰/۰۶۸۹	۰/۴۶۱	–	–

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-08-10]

رقابت مستقیم کلرید با نیترات و تغییر یافتن غشاء پلاسمایی تحت تأثیر قرار گرفته (Islam *et al*., 2022) و همین موضوع نیز می‌تواند دلیلی بر کاهش محتوای کلروفیل در شرایط شوری باشد. برخی پژوهشگران معتقدند شوری با اختلال در تعادل کمپلکس‌های پروتئین-رنگیزه، القای تخریب کلروپلاست و افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده کلروفیل، محتوای کلروفیل را کاهش می‌دهد (Khayamim *et al*., 2021). اسدی‌نسب و همکاران (۱۳۹۳) گزارش کردند که تنش شوری از طریق کاهش وزن ریشه موجب کاهش کلروفیل ارقام چغندرقند شد، همچنین این پژوهشگران اظهار داشتند که ارقام چغندرقند متحمل به تنش شوری از طریق حفظ ساختار ریشه خود در شرایط تنش شوری، از محتوای کلروفیل بیشتری نسبت به سایر ارقام برخوردار بودند.

محتوای پروتئین: براساس نتایج حاصل از مراحل چهار و هشت برگی نمونه‌برداری، کم‌ترین محتوای پروتئین محلول برگ چغندرقند در سطوح بالاتر تنش شوری مشاهده شد (جدول ۴). به گونه‌ای که در مراحل چهار و هشت برگی نمونه‌برداری کم‌ترین محتوای پروتئین برگ چغندرقند (به ترتیب ۳۲/۰۹ و ۲۷/۲۹ میلی‌گرم در میلی‌لیتر) در ارقام شماره ۶ و ۵ تحت شرایط شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر و بیش‌ترین محتوای این صفت (به ترتیب ۵۱/۸۹ و ۴۵/۱۹ میلی‌گرم در میلی‌لیتر) در ارقام شماره ۹ و ۵ در تیمار عدم اعمال تنش شوری مشاهده شد (جدول ۴). به نظر می‌رسد کاهش محتوای پروتئین محلول برگ در شرایط تنش به‌دلیل کاهش سنتز پروتئین، افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده پروتئین و واکنش پروتئین با رادیکال‌های آزاد باشد (Li *et al*., 2022)، گزارش کردند که با افزایش سطوح تنش شوری بر میزان پروتئین برگ چغندرقند افزوده می‌شود (Mekdad *et al*., 2021). همچنین خیامیم و همکاران (۲۰۱۴) دریافتند که میزان پروتئین محلول گیاه چغندرقند در حضور کلرید سدیم به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافت.

محتوای پرولین: نتایج مقایسه میانگین نشان داد که در مرحله چهار برگی نمونه‌برداری، کم‌ترین محتوای پرولین در تیمار عدم اعمال تنش شوری (۴/۱۱ میکروگرم بر گرم وزن تر برگ) مشاهده شد که نسبت به شرایط تنش شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر از کاهش ۴۰/۶۳ ٪ برخوردار بود (جدول ۵). همچنین، بیش‌ترین محتوای پرولین چغندرقند در رقم شماره ۹ مشاهده شد که نسبت به سایر ارقام از اختلاف معنی‌داری برخوردار بود (جدول ۵). در مرحله هشت برگی نمونه‌برداری، بیش‌ترین محتوای پرولین برگ (۶/۸۶ میکروگرم بر گرم وزن تر برگ) در رقم شماره ۱۹ در شرایط تنش شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد که از نظر آماری با رقم شماره ۱۵ اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۴). درحالی‌که، کم‌ترین محتوای این صفت (۳/۶۸ میکروگرم بر گرم وزن تر برگ) در رقم شماره ۴ تحت شرایط عدم اعمال تنش شوری به‌دست آمد (جدول ۴). فرهودی و خیامیم (۱۳۹۹) در بررسی تأثیر تنش شوری بر ارقام مختلف چغندرقند مشاهده کردند که رقم پایا از بیش‌ترین محتوای پرولین برخوردار بود، این پژوهشگران اظهار داشتند که تجمع املاح در محیط ریشه گیاه در شرایط تنش شوری موجب کاهش جذب آب توسط گیاه می‌شود و در چنین شرایطی، گیاهی موفق است که با ساخت و تجمع اسمولیت‌های سازگار از جمله قندهای محلول، یون‌های مفید و پرولین، آب بیشتری را جذب نمایند. همچنین گزارش کردند که تنش شوری موجب افزایش محتوای پرولین می‌شود و رقم ای سی چغندرقند در شرایط تنش شوری از بیش‌ترین محتوای پرولین برخوردار بود (Ramani *et al*., 2023).

با توجه به اینکه تنش شوری موجب تنش اکسیداتیو، تشکیل گونه‌های فعال اکسیژن، افزایش محتوای اسید آبسیزیک، پرولین و بسته‌شدن روزنه‌ها را به‌همراه دارد، لذا افزایش محتوای پرولین تحت تنش شوری به‌عنوان یک اسمولیت سازگار به این دلیل است که گونه‌های فعال اکسیژن تولیدشده در شرایط تنش‌های محیطی به‌وسیله پرولین حذف و از مولکول‌های بزرگ حفاظت می‌نماید (حسینی و همکاران، ۱۳۹۵). از سویی دیگر، تولید پرولین با تولید قندهای محلول ارتباط دارد؛ زیرا یکی از مسیرهای تولید پرولین، گلوتامات است و با افزایش تولید قندهای محلول، میزان تولید گلوتامات

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-08-10]

افزایش می‌یابد و سنتز پرولین تشدید می‌شود (Skorupa *et al.*, 2022). در این راستا Taghizadegan و همکاران (۲۰۱۹) بیان کردند که در شرایط تنش شوری محتوای پرولین برگ گیاه چغندرقند از طریق تخریب و اختلال در فرآیند سنتز پروتئین‌ها، افزایش می‌یابد. همچنین دیگر پژوهشگران اظهار داشتند که افزایش فعالیت آنزیم سنتزکننده پرولین، آنزیم اورنیتین آمینوترانسفراز یا ممانعت از آنزیم‌های کاتالیزکننده پرولین از جمله پرولین هیدروژناز و پرولین اکسیداز می‌تواند از دلایل دیگر بهبود محتوای پرولین در شرایط تنش باشد (Mahadevaiah *et al.*, 2023).

قندهای محلول: مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در مراحل چهار و هشت برگی نمونه‌برداری، تنش شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر موجب افزایش ۲۳/۷۱ و ۲۵/۶۵ ٪ محتوای قندهای محلول نسبت به شرایط عدم اعمال تنش شوری شد (جدول ۵). بیشترین میزان قندهای محلول در چغندرقند به ترتیب با ۶۲/۸۱ و ۶۰/۸۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ در تنش شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر به دست آمد. درحالی‌که کمترین میزان آن با ۵۰/۷۷ و ۴۸/۴۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ در شرایط عدم اعمال تنش شوری حاصل شد (جدول ۵). گزارش شده است که در شرایط تنش شوری قندهای نامحلول (نشاسته) تجزیه‌شده و قندهای محلول را ایجاد می‌کنند که سلول به این طریق قادر به حفظ پتانسیل اسمزی شده و موجب کاهش خطر دهیدراتاسیون سلول می‌شود (Tahjib-UI-Arif *et al.*, 2019). پژوهشگران بیان کردند که قندهای تجمع‌یافته تحت تنش شوری از طریق برهم‌کنش با ماکرومولکول‌های سلولی از جمله آنزیم‌ها به برقراری و ثبات ساختارهای سلولی و عملکرد آن‌ها کمک می‌کنند (Yolcu *et al.*, 2021). تجمع قندهای محلول در زمان تنش می‌تواند به‌علت تخریب قندهای غیرمحلول، توقف رشد یا سنتز این ترکیبات از مسیرهای غیرفتوسنتزی باشد (Abd El-Mageed *et al.*, 2021). بیان کردند که در شرایط تنش‌زای محیطی گیاهان متابولیسم قندها را افزایش می‌دهند. همچنین، این پژوهشگران اظهار داشتند که با کاهش انتقال آب به برگ‌ها و اختلال در سرعت تعرق برگ موجب تغییرات فراساختاری در اندامک‌های سلول و تغییر در رفتار آنزیم‌های کلیدی از جمله مسیر متابولیسم قند می‌شود (Abu-Ellail *et al.*, 2020). با تجمع قندهای محلول، گیاه ذخیره کربوهیدراتی خود را برای حفظ متابولیسم پایه سلول در شرایط محیطی تحت تنش، در مطلوب نگه می‌دارد (Alavilli *et al.*, 2023). فرهودی و خیامیم (۱۳۹۹) نیز در بررسی خود گزارش کردند که تنش شوری موجب افزایش معنی‌دار محتوای قندهای محلول در ارقام چغندرقند شد. اظهار داشتند که تیمارهای تنش شوری موجب افزایش محتوای قندهای محلول ارقام چغندرقند نسبت به شرایط عدم اعمال شوری شد (Gholipor *et al.*, 2022).

فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی: طبق نتایج حاصل، اعمال تنش شوری موجب افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی ارقام مختلف چغندرقند شد (جدول ۶). در مرحله چهار برگی، بیش‌ترین فعالیت آنزیم کاتالاز (۵۲/۶ تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه) در رقم شماره ۲۰ چغندرقند تحت تنش شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر به دست آمد (جدول ۶). درحالی‌که، کم‌ترین فعالیت این آنزیم (۷/۳۶ تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه) در شرایط عدم اعمال تنش شوری در رقم شماره ۱۵ مشاهده شد که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با رقم شماره ۱۲ نشان نداد (جدول ۶). در مرحله هشت برگی نمونه‌برداری نیز بیش‌ترین فعالیت آنزیم کاتالاز (۵۶/۱۲ تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه) در رقم شماره ۱۵ تحت شرایط شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر و کم‌ترین فعالیت این آنزیم (۳۵/۳۸ تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه) در شرایط عدم اعمال تنش شوری در رقم شماره ۱۵ مشاهده شد (جدول ۶). همچنین، بیش‌ترین فعالیت آنزیم پراکسیداز در مرحله چهار برگی نمونه‌برداری (۶۵/۸۴ تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه) در شرایط تنش شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با ارقام شماره ۶ و ۱۵ نداشت (جدول ۶). در مرحله نمونه‌برداری هشت برگی، بیش‌ترین فعالیت آنزیم

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-08-10]

جدول ۶- مقایسه میانگین تأثیر تنش شوری بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی برخی ژنوتیپ چغندرقند

شوری	ارقام چغندرقند	مرحله چهاربرگی			مرحله هشت برگی		
		کاتالاز	پراکسیداز	پلی‌فنل اکسیداز	کاتالاز	پراکسیداز	پلی‌فنل اکسیداز
		(تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه)					
عدم اعمال شوری		۳۹/۳^{opq}	۴۶/۷۶^{q}	۴۷/۱۶^{lm}	۴۰/۹۱$^{i-m}$	۴۲/۸۷^{q}	۴۹/۶۸$^{p-s}$
	۵	۳۹^{pq}	۴۹/۵۱$^{n-q}$	۴۶/۶۱^{lmn}	۴۰/۰۴$^{j-m}$	۴۶/۵۹$^{m-p}$	۴۹/۱۴^{rs}
	۶	۴۰/۴$^{l-p}$	۵۰/۵۲$^{n-q}$	۴۳/۲۵^{n}	۳۸/۷۲^{lmn}	۴۴/۹۳^{opq}	۴۵/۷۸^{s}
	۹	۳۶/۷^{qr}	۴۹/۳۷^{opq}	۵۱/۲۴$^{h-k}$	۴۳/۶۷$^{g-k}$	۴۹/۱۱$^{j-n}$	۵۳/۷۷$^{k-p}$
	۱۲	۳۹/۷$^{m-q}$	۵۲/۳۱$^{l-o}$	۴۶/۲۲^{mn}	۴۰/۲۵$^{j-m}$	۴۹/۳$^{i-n}$	۴۸/۷۵^{rs}
	۱۵	۳۶/۷^{qr}	۴۷/۵^{pq}	۴۹/۵۳$^{i-m}$	۳۵/۳۸^{n}	۴۴/۰۸^{pq}	۵۲/۰۶$^{n-r}$
	۱۷	۳۹/۸$^{m-q}$	۵۰/۵۴$^{n-q}$	۴۶/۶۴^{lmn}	۳۹/۸۲^{klm}	۴۴/۸۸$^{n-q}$	۴۹/۱۷^{qrs}
	۱۹	۴۲/۶$^{i-o}$	۵۰/۷۲$^{n-q}$	۴۸/۱۲^{klm}	۳۷/۸۴^{mn}	۴۸/۰۹$^{l-o}$	۵۰/۶۴$^{o-r}$
	۲۰	۳۹/۶$^{n-q}$	۴۷/۳۸^{pq}	۴۶/۸۷^{lmn}	۴۱/۰۳$^{i-m}$	۴۳/۵۴^{q}	۴۹/۳۹^{qrs}
شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر	۴	۴۴/۴$^{g-k}$	۵۲/۶۵$^{l-o}$	۴۷/۳۵^{lm}	۴۰/۸۷$^{i-m}$	۴۴/۷^{opq}	۴۹/۸۷$^{p-s}$
	۵	۴۳/۲$^{i-l}$	۵۵/۰۷$^{j-m}$	۵۱/۹۵$^{g-j}$	۴۲/۳$^{h-l}$	۵۲/۸۷^{fgh}	۵۱/۱۵$^{o-r}$
	۶	۳۹/۶$^{n-q}$	۵۱/۲۱$^{m-p}$	۵۷/۴۷^{cde}	۴۲$^{h-l}$	۴۹/۴۲$^{i-m}$	۶۰$^{d-i}$
	۹	۴۱/۹$^{j-p}$	۵۵/۴$^{i-l}$	۴۸/۵۳$^{j-m}$	۴۵/۰۳^{fgh}	۵۱/۹۵$^{f-k}$	۵۳/۴۶$^{l-q}$
	۱۲	۴۴/۶$^{f-k}$	۵۱/۱۵$^{m-p}$	۵۵/۵۹$^{d-g}$	۴۷/۳۸^{efg}	۴۵/۹$^{n-q}$	۵۸/۱۱$^{f-j}$
	۱۵	۴۴/۹$^{f-j}$	۵۵/۹۵$^{h-l}$	۵۵/۵۴$^{d-g}$	۴۳/۰۲$^{h-k}$	۴۶/۳۸$^{m-p}$	۵۸/۰۶$^{f-k}$
	۱۷	۴۲/۷$^{i-n}$	۴۹/۹۷$^{n-q}$	۵۷/۹۵^{cd}	۴۵/۰۱^{fgh}	۵۳/۲۵^{efg}	۶۱/۷۴$^{c-g}$
	۱۹	۴۳/۷$^{h-l}$	۵۹/۴۴$^{d-i}$	۵۳/۷۵$^{e-h}$	۴۵/۲۳^{fgh}	۵۲/۳۹$^{f-j}$	۵۷/۵۵$^{g-l}$
	۲۰	۴۱/۵$^{k-p}$	۵۵/۱۱$^{j-m}$	۵۰/۳۳$^{h-l}$	۴۳/۸۸$^{g-j}$	۴۸/۶۲$^{k-n}$	۵۲/۸۶$^{m-r}$
شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر	۴	۴۷/۹$^{b-f}$	۶۳/۴۷$^{a-d}$	۵۲/۷۲$^{f-j}$	۴۹/۸۲^{cde}	۵۲/۲۹$^{f-j}$	۵۴/۵۴$^{j-o}$
	۵	۴۵/۷$^{d-i}$	۵۸/۹۴$^{e-i}$	۵۲/۳۱$^{f-j}$	۴۵/۰۱^{fgh}	۵۶/۴۶^{cde}	۵۶/۸۱$^{h-m}$
	۶	۴۲/۴$^{i-o}$	۵۶/۸۱$^{g-k}$	۵۳/۱۷$^{f-i}$	۴۴/۴۵$^{f-i}$	۵۲/۶۳$^{f-i}$	۵۸/۸۶$^{e-i}$
	۹	۴۸/۸^{bcd}	۵۸/۲۳$^{f-j}$	۵۲/۳$^{f-j}$	۵۳/۶۷^{abc}	۵۷/۰۲^{bcd}	۵۷/۹۰$^{f-k}$
	۱۲	۴۳/۸$^{h-k}$	۵۳/۵۸$^{k-n}$	۶۱/۲۴^{abc}	۴۵/۴۶^{fgh}	۴۹/۶۱$^{h-m}$	۶۳/۷۶$^{a-d}$
	۱۵	۴۳$^{i-m}$	۶۰/۴۹$^{b-g}$	۵۳/۴۵^{fgh}	۵۰/۹۱$^{b-e}$	۵۰/۴۳$^{g-l}$	۵۵/۹۸$^{h-n}$
	۱۷	۴۵/۴$^{e-i}$	۶۲/۲۱$^{a-f}$	۶۲/۰۸^{ab}	۴۳/۴۴$^{h-k}$	۵۹/۳۷^{abc}	۶۴/۸۱^{abc}
	۱۹	۴۵/۴$^{e-i}$	۶۴/۵۶^{ab}	۵۷/۶^{cd}	۴۷/۸۸^{ef}	۶۰/۶۶^{a}	۵۶/۳۱$^{h-n}$
	۲۰	۴۶/۹$^{c-h}$	۵۸/۰۹$^{f-j}$	۵۸/۶۳^{bcd}	۴۵/۴۵^{fgh}	۵۴/۳۷^{def}	۶۲/۵۸$^{b-e}$
LSD		۳/۳۲	۴/۱۵۸	۳/۷۹۷	۳/۸۸	۳/۴۳۹	۴/۳

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

پراکسیداز (۶۱/۹۸ تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه) در شرایط شوری ۱۲ دسی‌زمنس بر متر و کم‌ترین فعالیت این آنزیم (۴۴/۰۸ تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه) در رقم شماره ۱۵ تحت شرایط عدم اعمال

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-08-10]

ادامه جدول ۶- مقایسه میانگین تأثیر تنش شوری بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی برخی ژنوتیپ چغندرقند

شوری	ارقام چغندرقند	مرحله چهاربرگی			مرحله هشت برگی		
		کاتالاز	پراکسیداز	پلی‌فنل اکسیداز	کاتالاز	پراکسیداز	پلی‌فنل اکسیداز
		(تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه)					
شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر	۴	۴۷/۹$^{b-f}$	۶۰/۶۳$^{b-g}$	۶۱/۱۶^{abc}	۵۴/۶^{ab}	۵۶/۷^{bcd}	۶۴/۰۱$^{a-d}$
	۵	۴۵/۷$^{d-i}$	۶۲/۶$^{a-e}$	۵۷/۸۶^{cd}	۴۹/۳۶^{de}	۶۰/۴۹^{a}	۶۰/۳۹$^{d-h}$
	۶	۴۲/۴$^{i-o}$	۶۵/۵۲^{a}	۶۲/۹۱^{a}	۴۸/۱۷^{ef}	۶۱/۹۸^{a}	۶۲/۰۲$^{c-f}$
	۹	۴۸/۸^{bcd}	۶۳/۱۱^{abc}	۵۵/۹۳^{def}	۵۰/۱۳^{cde}	۶۱/۴۸^{a}	۶۰/۲۳$^{d-i}$
	۱۲	۴۳/۸$^{h-k}$	۶۰/۰۵$^{c-h}$	۶۳/۷۴^{a}	۵۱/۱۹$^{b-e}$	۵۳/۷۷$^{d-g}$	۶۶/۵۶^{ab}
	۱۵	۴۳$^{i-m}$	۶۵/۱۹^{a}	۵۶^{def}	۵۶/۱۲^{a}	۵۹/۷۵^{abc}	۵۸/۵۳$^{e-j}$
	۱۷	۴۵/۴$^{e-i}$	۵۹/۶۶$^{d-h}$	۶۲/۴۱^{ab}	۴۸/۱۷^{ef}	۶۰/۸۱^{a}	۶۴/۹۴^{abc}
	۱۹	۴۵/۴$^{e-i}$	۶۰/۴۸$^{b-g}$	۶۲/۹۸^{a}	۵۲/۲۴$^{a-d}$	۶۱/۷۸^{a}	۶۴/۳$^{a-d}$
	۲۰	۴۶/۹$^{c-h}$	۶۵/۸۴^{a}	۶۴/۷۹^{a}	۵۵/۲۳^{a}	۶۰/۰۴^{ab}	۶۷/۷۲^{a}
LSD		۳/۳۲	۴/۱۵۸	۳/۷۹۷	۳/۸۸	۳/۴۳۹	۴/۳

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

تنش شوری به‌دست آمد (جدول ۶). در رابطه با فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز در مرحله چهار برگی نمونه‌برداری نتایج نشان داد که بیش‌ترین فعالیت این آنزیم (۶۴/۷۹ تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه) در شرایط شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر در رقم شماره ۲۰ مشاهده شد که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با ارقام ۶، ۱۲ و ۱۹ نداشت. همچنین در مرحله هشت برگی نمونه‌برداری، تنش شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر در رقم شماره ۲۰ موجب افزایش ۴۷/۹۲ درصدی فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز نسبت به ترکیب تیماری رقم شماره ۶ چغندرقند تحت عدم اعمال تنش شوری شد (جدول ۶).

گزارش شده است که آنزیم کاتالاز با اثر مستقیم بر پراکسید هیدروژن، موجب کاهش اثرهای سمی آن می‌شود. پراکسیدهیدروژن ماده‌ای سمی است که طی بسیاری از مکانیسم‌ها و واکنش‌های طبیعی سلول ایجاد می‌شود. تجمع این ماده برای سلول‌ها و بافت‌ها بسیار آسیب‌رسان است و باید بلافاصله تجزیه شود. در واقع کاتالاز از پراکسید هیدروژن به عنوان سوبسترا استفاده می‌کند و با تجزیه سریع این ماده اثرهای مخرب آن را مهار می‌کند (El-Mageed *et al.*, 2022). آنزیم کاتالاز از جمله مهم‌ترین آنزیم‌های دخیل در فرآیند جمع‌آوری و خنثی‌سازی گونه‌های فعال اکسیژن است و زمانی که مقدار ROS تحت تنش افزایش می‌یابد در سم‌زدایی شرکت و فرآیند تجزیه H_2O_2 به آب و اکسیژن را در پراکسیزوم کاتالیز و سلول‌ها را از آسیب اکسیداتیو ناشی از H_2O_2 و OH حفظ می‌کند (Aycan *et al.*, 2023). آنزیم‌هایی مانند کاتالاز و پراکسیداز که با کاهش میزان پراکسید هیدروژن و تبدیل آن به آب، نقش اساسی در دفع مسمومیت گونه‌های فعال اکسیژن ایفا می‌نمایند (Heydarzadeh *et al.*, 2023). آنزیم پراکسیداز نیز به‌عنوان آنزیم مقابله با تنش در گیاهان عالی، در برخی از فرآیندهای سلولی مانند سازوکار دفاعی، اتصال عرضی مونومرهای گیلکوپروتئین‌های غنی از هیدروکسی پرولین موجود در دیواره سلولی، اتصال عرضی پلی‌ساکاریدهای پکتیکی به‌وسیله اسیدهای فنولیک در دیواره سلولی و عمل و چوبی‌شدن و چوب‌پنبه‌ای شدن شرکت می‌کند و از این طریق موجب تعدیل اثرات مخرب تنش‌های محیطی از جمله شوری و خشکی در گیاهان می‌شود (Heydarzadeh *et al.*, 2022). آنزیم پلی‌فنل اکسیداز، اکسیدوردوکتازهایی هستند که نقش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-08-10]

بسیار مهمی را در پاسخ به تنش‌های غیرزیستی مانند خشکی و شوری دارند و همچنین در سم‌زدایی اشکال مختلف اکسیژن فعال‌شده در سلول اهمیت دارند که در هنگام بروز تنش موجب جمع‌آوری رادیکال‌های آزاد اکسیژن تولید شده، می‌شوند و با اکسیداسیون متفاوت در مکانیسم دفاعی شرکت می‌کنند (Ramani *et al.*, 2023). در این راستا برخی محققین بیان کردند که در شرایط شوری گیاه چغندرقند به‌منظور کاهش گونه‌های فعال اکسیژن، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی خود را افزایش می‌دهد (Hussain *et al.*, 2014). گزارش کردند که تنش شوری موجب افزایش فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی در گیاه چغندرقند شده و در نتیجه اثرات مخرب تنش شوری را در این گیاهان کاهش داده است (Taghizadegan *et al.*, 2019). افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی از جمله کاتالاز تحت شرایط تنش شوری در ارقام چغندرقند نیز توسط فرهودی و خیامیم (۱۳۹۹) گزارش شده است.

نتیجه‌گیری

ارقام شماره ۴ و ۱۵ تحت شرایط تنش شوری ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر تأثیر منفی تنش کمبود رطوبت بر محتوای کلروفیل، تنظیم اسمزی و دفاع از فعالیت آنتی‌اکسیدانی را خنثی کردند. بنابراین، به گیاه چغندرقند کمک کردند تا فشار ناشی از تنش شوری را با چندین ابزار از جمله افزایش وضعیت پرولین و تنظیم اسمزی تحمل کنند. درحالی‌که تنش شوری موجب کاهش محتوای کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل ارقام مختلف چغندرقند شد. تحت شرایط شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، رقم شماره ۴ چغندرقند از بیش‌ترین محتوای پرولین برخوردار بود. ارقام شماره ۱۵ و ۴ نقش مؤثری در محتوای کلروفیل تحت شرایط تنش نشان دادند. همچنین ارقام شماره ۲۰، ۱۵ و ۶ دارای بیش‌ترین فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و پلی‌فنل اکسیداز در شرایط شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر بود. علاوه‌براین، می توان نتیجه گرفت که ارقام شماره ۴ و ۱۵ ممکن است یک عملکرد اساسی در رشد و نمو گیاه و ویژگی‌های فیزیولوژیکی چغندرقند که در شرایط تنش کمبود رطوبت رشد می‌کنند، انجام دهد، که باعث کاهش تعرق و در نتیجه رطوبت قابل‌استفاده بیشتر برای گیاهان برای رشد و تولید سودآورتر می‌شود. به‌طورکلی، توصیه می‌شود که ارقام شماره ۴ و ۱۵ تا حدی تأثیر تنش شوری را بهبود بخشده و می‌تواند عملکرد رشدی مطلوبی برای کاهش اثرات مضر استرس کمبود رطوبت بر چغندرقند باشد.

منابع

اسدی نسب، نفیسه، حسیبی، پیمان، روشنفکر، حبیب‌اله، و مسکرباشی، موسی (۱۳۹۳). اثر تنش شوری بر رشد، فتوسنتز، تبادلات گازی و فلئورسانس کلروفیل در ارقام چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) در مرحله گیاهچه‌ای تحت شرایط کنترل‌شده. *پژوهش‌های زراعی ایران*، ۱۲(۴)، ۶۲۱-۶۳۱. Doi:10.22067/gsc.v12i4.45145

حسینی، حسیبه، موسوی‌فرد، صادق، فاتحی، فواد، و قادری، اردشیر (۱۳۹۵). تغییرات فتوشیمیایی و صفات مرفوفیزیولوژیکی گیاهان دارویی آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.) تحت تنش شوری. *گیاهان دارویی*، ۱۰، ۳۴-۲۲. Doi: 20.1001.1.2717204.2017.16.61.18.9

فرهودی، روزبه، و سمر، خیامیم (۱۳۹۹). بررسی واکنش ارقام تجاری ایرانی چغندرقند به تنش شوری در مرحله جوانه‌زنی و رشد رویشی. *فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۹(۳۶)، ۳۹۷-۴۱۲. Doi: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.12.5

نیازیان، محسن، نعمانی، معصومه، و سادات نوری، سید احمد (۱۳۹۵). مروری بر روش‌های بیومتری برای اصلاح مقاومت به شوری در گیاهان زراعی. *پژوهش‌نامه اصلاح گیاهان زراعی*، ۱۷، ۲۴-۴۱. Doi:10.18869/acadpub.jcb.8.17.41

Abd El-Mageed, T. A., Rady, M. O., Semida, W. M., Shaaban, A., & Mekdad, A. A. (2021). Exogenous micronutrients modulate morpho-physiological attributes, yield, and sugar quality in two salt-stressed sugar beet cultivars. *Journal*

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-08-10]

of Soil Science and Plant Nutrition, *21*, 1421-1436. Doi: 10.1007/s42729-021-00450-y

Abu-Ellail, F. F. B., Sadek, K. A., & El-Bakary, H. M. Y. (2020). Evaluation of ten sugar beet varieties in terms of growth, yield and quality under different soil salinity levels. *Journal of Sugar Beet*, *35*(2), 233-249. Doi: 10.22092/jsb.2020.341558.1232

Ahmad, R., Hussain, S., Anjum, M. A., Khalid, M. F., Saqib, M., Zakir, I., Hassan, A., Fahad, S., & Ahmad, S. (2019). Oxidative stress and antioxidant defense mechanisms in plants under salt stress. *Plant Abiotic Stress Tolerance*: *Agronomic, Molecular and Biotechnological Approaches*, *10*, 191-205. Doi/10.1002/9781119468677.ch12

Ahmed, H. G. M. D., Zeng, Y., Raza, H., Muhammad, D., Iqbal, M., Uzair, M., Khan, M. A., Iqbal, R., & El Sabagh, A. (2022). Characterization of wheat (*Triticum aestivum* L.) accessions using morpho-physiological traits under varying levels of salinity stress at seedling stage. *Frontiers in Plant Science*, *13*, p.953670. Doi:10.3389/fpls.2022.953670/full

Alavilli, H., Yolcu, S., Skorupa, M., Aciksoz, S. B., & Asif, M. (2023). Salt and drought stress-mitigating approaches in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) to improve its performance and yield. *Planta*, *258*(2), 30. Doi: 10.1007/s00425-023-04189-x

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

Aycan, M., Erkilic, E. G., Ozgen, Y., Poyraz, I., & Yildiz, M. (2023). The response of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) genotypes at different ploidy levels to salt (NaCl) stress. *International Journal of Plant Biology*, *14*(1), 199-217. Doi: doi.org/10.3390/ijpb14010017

Bates, L. S., Waldren, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free prolin for wither stress studies. *Plant and Soil*, *39*, 205-208. Doi:10.1007/BF00018060

Bouras, H., Bouaziz, A., Bouazzama, B., Hirich, A., & Choukr-Allah, R. (2021). How phosphorus fertilization alleviates the effect of salinity on sugar beet (*Beta vulgaris* L.) productivity and quality. *Agronomy*, *11*(8), 1491. Doi: doi.org/10.3390/agronomy11081491

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. Doi: 10.1006/abio.1976.9999

Chance, B. & Maehly, A. C. (1955). Assay of catalase and pemxides. *Methods in Enzymology*, *2*, 764-775. Doi: 10.1002/9780470110171.ch14

Dubios, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Roberts, P. A., & Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Annals of Chemistry*, *28*, 350-356. Doi: 10.1021/ac60111a017

El-Mageed, T. A. A., Mekdad, A. A., Rady, M. O., Abdelbaky, A. S., Saudy, H. S., & Shaaban, A. (2022). Physio-biochemical and agronomic changes of two sugar beet cultivars grown in saline soil as influenced by potassium fertilizer. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *22*(3), 3636-3654. Doi: 10.1007/s42729-022-00916-7

Gholipor, B., Mozaffari, A., Maleki, A., Mirzaei Heydari, M., & Babaii, F. (2022). Antioxidant and biochemical alterations in sea beet (*Beta vulgaris* subsp. maritime (L.) Arcang.) and sugar beet (*Beta vulgaris* L.) exposed to salt stress. *Journal of Agricultural Science and Technology*, *24*(1), 123-138. Doi: 20.1001.1.16807073.2022.24.1.2.2

Ghonaim, M. M., Attya, A. M., Aly, H. G., Mohamed, H. I., & Omran, A. A. (2023). Agro-morphological, biochemical, and molecular markers of barley genotypes grown under salinity stress conditions. *BMC Plant Biology*, *23*(1), 526. Doi:10.1186/s12870-023-04550-y

Heydarzadeh, S., Arena C., Vitale, E., Rahimi, A., Mirzapour, M., Nasar, J., Kisaka, O., Sow, S., Ranjan, S., & Gitari, H. (2023). Impact of different fertilizer sources under supplemental irrigation and rainfed conditions on eco-physiological responses and yield characteristics of dragon's head (*Lallemantia iberica*). *Plants*, *12*(8), 1693. Doi:10.3390/plants12081693

Heydarzadeh, S., Gitari, H., Rahimi, A., Khiavi, H. K., Maitra, S., & Hosseinpour, A. (2021). Yield and quality traits of field-grown sugar beet (*Beta vulgaris* L.) in response to foliar application of micronutrients and different levels of manure. *International Journal of Bioresource Science*, *8*(2), 109-118. Doi: 10.30954/2347-9655.02.2021.7

Heydarzadeh, S., Jalilian, J., Pirzad, A., Petrussa, E., & Jamei, R. (2022). Fodder value and physiological aspects of rainfed smooth vetch affected by biofertilizers and supplementary irrigation in an agri-silviculture system. *Agroforesty System*, *96*, 221-232. Doi:10.1007/s10457-021-00695-7

Hossain, M. S., Alam, M. I., Rahman, M. M., Mandal, P., Hasan, M. K., & Akter, S. (2021). Performance of different sugar beet genotypes under salinity stress. *Asian Journal of Crop*, *6*(01), 213-220. Doi: 10.3390/ijpb14010017

Hussain, Z., Khattak, R. A., Irshad, M., & Mahmood, Q. (2014). Sugar beet (*Beta vulgaris* L.) response to diammonium phosphate and potassium sulphate under saline–sodic conditions. *Soil Use and Management*, *30*(3), 320-327. Doi:10.1111/sum.12132

Islam, M. J., Uddin, M. J., Hossain, M. A., Henry, R., Begum, M. K., Sohel, M. A. T., Mou, M. A., Ahn, J., Cheong, E. J., & Lim, Y. S. (2022). Exogenous putrescine attenuates the negative impact of drought stress by modulating physio-biochemical traits and gene expression in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Plos One*, *17*(1), p.e0262099. Doi:10.1371/journal. pone.0262099

Karo, M. & Mishra, D. (1976). Catalase, peroxidase and polyphenol oxidase activity during rice leaf senescence. *Plant*

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-08-10]

Physiology, *57*, 315-319. DOI: 10.1104/pp.57.2.315

Khayamim, S., Noshad, H., Rajabi, A., & Jafari, R. (2021). Response of sugar beet multigerm genotypes to salinity stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *14*(1), 235-247. Doi.org/10.22077/escs.2019.2664.1697

Khayamim, S., Tavkol Afshari, R., Sadeghian, S. Y., Poustini, K., Roozbeh, F., & Abbasi, Z. (2014). Seed germination, plant establishment, and yield of sugar beet genotypes under salinity stress. *Journal of Agricultural Science and Technology*, *16*(4), 779-790. Doi: 20.1001.1.16807073.2014.16.4.6.6

Li, J., Yu, B., Ma, C., Li, H., Jiang, D., Nan, J., Xu, M., Liu, H., Chen, S., Duanmu, H., & Li, H. (2022). Functional characterization of sugar beet M14 antioxidant enzymes in plant salt stress tolerance. *Antioxidants*, *12*(1), 57. Doi: 10.3390/antiox12010057

Mahadevaiah, C., Vignesh, P., Appunu, C., Valarmathi, R., Dhansu, P., Kumar, A., Dharshini, S., Padmanabhan, T. S. S., Narayan, J. A., Selvamuthu, K., & Sreenivasa, V. (2023). Physiological characterization of *Tripidium arundinaceum* and Sugarcane (*Saccharum* spp.) germplasm for salinity stress tolerance at the formative stage. *Sustainability*, *15*(8), 6962. Doi.org/10.3390/su15086962

Mangena, P. (2023). Impact of polyploidy induction for salinity stress mitigation in soybean (*Glycine max* L. Merrill). *Plants*, *12*(6), 1356. Doi:10.3390/plants12061356

Mekdad, A. A., Rady, M. M., Ali, E. F., & Hassan, F. A. (2021). Early sowing combined with adequate potassium and sulfur fertilization: Promoting *Beta vulgaris* (L.) yield, yield quality, and K-and S-use efficiency in a dry saline environment. *Agronomy*, *11*(4), 806. Doi: 10.3390/agronomy11040806

Raees, N., Ullah, S., & Nafees, M. (2023). Interactive effect of tocopherol, salicylic acid and ascorbic acid on agronomic characters of two genotypes of *Brassica napus* L. under induced drought and salinity stresses. *Gesunde Pflanzen*, *75*(5), 1905-1923. Doi: 10.1007/s10343-022-00808-x

Ramani, D. H., Singh, A. K., Prajapati, N. N., Tiwari, K. K., & Bhadauria, H. S. (2023). Genotypic difference in growth and physiological indices of grain amaranth species under salinity stress. *International Journal of Bio-resource and Stress Management*, *14*(2), 268-278.

Skorupa, M., Szczepanek, J., Yolcu, S., Mazur, J., Tretyn, A., & Tyburski, J. (2022). Characteristic of the ascorbate oxidase gene family in beta vulgaris and analysis of the role of AAO in response to salinity and drought in beet. *International Journal of Molecular Sciences*, *23*(21), 12773. DOI: 10.3390/ijms232112773

Sudhakar, C., Lakshmi, A., & Giridara kumar, S. (2001). Changes in the antioxidant enzyme efficacy in two high yielding genotypes of mulberry (*Mours alba* L.) under NaCl salinity. *Plant Science*, *167*, 613-619. Doi.org/10.1016/S0168-9452(01)00450-2

Taghizadegan, M. E. H. D. I., Toorchi, M. A. H. M. O. U. D., Vahed, M. M., & Khayamim, S. (2019). Evaluation of sugar beet breeding populations based morpho-physiological characters under salinity stress. *Pakistan Journal of Botany*, *51*(1), 11-17. Doi: 10.30848/PJB2019-1(7)

Tahjib-UI-Arif, M., Sohag, A. A. M., Afrin, S., Bashar, K. K., Afrin, T., Mahamud, A. S. U., Polash, M. A. S., Hossain, M. T., Sohel, M. A. T., Brestic, M., & Murata, Y. (2019). Differential response of sugar beet to long-term mild to severe salinity in a soil–pot culture. *Agriculture*, *9*(10), 223. DOI: 10.3390/agriculture9100223

Yolcu, S., Alavilli, H., Ganesh, P., Panigrahy, M., & Song, K. (2021). Salt and drought stress responses in cultivated beets (*Beta vulgaris* L.) and wild beet (*Beta maritima* L.). *Plants*, *10*(9), 1843. Doi:10.3390/plants10091843

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-08-10]

Investigating the physiological response of different genotypes of sugar beet in different levels of salinity stress

Pariya Nouri, Sodabeh Jahanbakhsh*, Salim Farzaneh, Seyed Yalda Raisi Sadati[1] and Saeid Heydarzadeh

Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
(Received: 2023/12/02, Accepted: 2024/02/26)

Abstract

Salinity is one of the most important environmental stresses, the increasing spread of which reduces the growth and yield of agricultural plants, in this regard, identifying sugar beet cultivars tolerant to salinity stress to improve quantitative and qualitative yield is of particular importance. For this purpose, research was conducted to investigate the physiological characteristics of some sugar beet genotypes under salt stress in 2019. This experiment was carried out factorially in the form of randomized complete blocks with three replications in Mohaghegh Ardabili University under greenhouse conditions. The experimental factors included different genotypes of sugar beet (9 genotypes) as the first factor and salinity stress as the second factor at four levels (control and 4, 8 and 12 dS/m). The results showed that the effects of salinity stress on chlorophyll content, soluble protein, proline content, soluble sugars and the activity of antioxidant enzymes (catalase, peroxidase and polyphenol oxidase) of different sugar beet cultivars were significant. Higher levels of salinity stress (12 dS/m) caused a significant increase in soluble protein, proline content, soluble sugars and activity of catalase, peroxidase and polyphenol oxidase enzymes compared to other levels of salinity stress and the control treatment. Whereas, the highest content of chlorophyll a, b and total chlorophyll was observed in cultivars number 15 and 4 in the treatment of not applying salt stress. Among the studied genotypes, genotypes No. 6, 15 and 20 had the highest activity of antioxidant enzymes under the condition of 12 dS/m salinity stress. Therefore, at higher levels of salinity stress, resistant sugar beet cultivars prevent the reduction of photosynthetic pigment content by improving the content of compatible osmolytes and antioxidant activities through correct membrane structure.

Keywords: Antioxidant enzymes, Proline, Salinity stress, Sugar beet

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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-08-10]