فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱، شماره ۲، سال ۱۳۹۱
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۱/۰۶/۰۵
تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۱/۰۹/۱۳

# بررسی فعالیت آنتی اکسیدان‌ها و تنش اکسیداتیو ناشی از شوری در لاین‌های تریتیکاله و گندم در شرایط مزرعه

احمد ارزانی[1*] و مریم صالحی[1]
گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

**چکیده:**
تأثیر شوری بر فعالیت آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز (APX)، گلوتاتیون ردوکتاز (GR)، سوپر اکسید دیسموتاز (SOD)، محتوای کاروتنوئیدها، میزان پراکسیداسیون لیپید بر حسب میزان تیوباربیوتیوریک اسید و عملکرد دانه ۱۸ لاین تریتیکاله شامل نه لاین دابل هاپلوئید و نه لاین $F_8$ خواهری در مقایسه با دو رقم گندم روشن (متحمل به خشکی) و کویر (متحمل به شوری) در شرایط بدون تنش و تنش شوری در آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو شرایط محیطی (عدم تنش و تنش شوری) در سال زراعی ۱۳۸۸-۱۳۸۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان مطالعه شد. در هر دو شرایط محیطی، تا اواسط مرحله ساقه‌دهی آبیاری با آب معمولی (غیر شور) انجام شده و پس از آن در آزمایش شوری آبیاری با آب شور (هدایت الکتریکی ۱۶ دسی زیمنس بر متر) انجام گرفت. شوری منجر به افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و پراکسیداسیون لیپید و کاهش محتوای کارتنوئیدها در ژنوتیپ‌های گندم و تریتیکاله شد. رابطه منفی و معنی داری (r =-۰/۵۴*) بین کاهش عملکرد دانه ناشی از شوری و محتوای کاروتنوئید در شرایط تنش شوری وجود داشت. در هر دو شرایط محیطی همبستگی منفی و معنی‌داری بین عملکرد دانه و پراکسیداسیون لیپید (در هر دو شرایط محیطی r =-۰/۶۱**) مشاهده شد. مقایسات متعامد نشان دهنده فعالیت بالاتر آنزیم‌های آنتی اکسیدان و پراکسیداسیون لیپید کمتر در تریتیکاله نسبت به گندم بود که احتمالا مرتبط با تحمل به شوری بالاتر تریتیکاله بوده است.

**واژه‌های کلیدی**: آسکوربات پراکسیداز، پراکسیداسیون لیپید، تریتیکاله، سوپر اکسید دیسموتاز، گلوتاتیون ردوکتاز، گندم

مقدمه:
مطالعه تحمل گیاه به تنش‌های محیطی، نقش مهمی در جلوگیری از کاهش رشد و عملکرد محصولات زراعی دارد. شوری از مشکلات عمده در مناطق خشک و نیمه خشک جهان است و برآوردها حاکی از این است که بیش از ۸۰۰ میلیون هکتار برابر با بیش از ۶٪ زمین های جهان تحت تأثیر سطوح مختلف شوری هستند (FAO, 2011). در حدود ۲۰ درصد از اراضی کشور (حدود ۳۴ میلیون هکتار) تحت تأثیر شوری قرار دارد که ۸/۵ میلیون هکتار آن شدیداً تحت تأثیر شوری است (Cheraghi *et al*., 2009).

عملکرد به عنوان پیچیده‌ترین ویژگی گیاه تحت تأثیر تعداد زیادی از فرآیندهای فیزیولوژیک است و نمود قابل اندازه‌گیری این فرآیندها در صفات نموی، فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی گیاه تجلی می‌یابد (Wallance *et al*., 1972). غربالگری برای صفت تحمل به شوری در شرایط کنترل شده و با استفاده از صفات فیزیولوژیک نسبت به انتخاب

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: a_arzani@cc.iut.ac.ir

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-05-12 ]
[ DOR: 20.1001.1.23222727.1391.1.2.4.3 ]

برای عملکرد و اجزای آن در شرایط شوری می‌تواند مؤثرتر باشد (Flowers and Yeo, 1995).

تنش شوری به دلیل اثرات اسمزی بر فعالیت‌های متابولیک مختلف، کمبود آب را القا می‌کند که این کمبود آب منجر به تنش اکسیداتیو از طریق افزایش گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) مثل سوپر اکسید ($O\cdot_2^-$)، پراکسید هیدروژن ($H_2O_2$) و رادیکال‌های هیدروکسیل ($OH^\cdot$) می شود و ممکن است منجر به صدمه سلولی از طریق اکسیداسیون لیپیدها، پروتئین و اسیدهای نوکلئیک شود (Mudgal *et al*., 2010; Parida and Das, 2005) و پراکسیداسیون لیپید (Lipid Peroxidation) به عنوان شاخصی از تنش اکسیداتیو در گیاه در معرض شوری استفاده می‌شود (Mudgal *et al*., 2010). نتایج حاصل از پراکسیداسیون لیپید شامل از دست دادن اسیدهای چرب غیر اشباع، کاهش سیالیت و پتانسیل غشاء لیپیدی، تغییر در نفوذپذیری غشاء سلولی، تأثیر بر روی آنزیم‌های غشایی و رها سازی مواد داخل سلول می‌باشد (Halliwell, 1999).

برای غلبه بر آثار اکسیداتیو القا شده از شوری، گیاهان از یک سیستم آنتی‌اکسیدانی پیچیده استفاده می‌کنند که شامل آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی مثل کارتنوئیدها و آنزیم‌های جاروبگر ROS مثل سوپراکسیداز دیسموتاز (SOD)، آسکوربات پراکسیداز (APX)، گلوتایتون ردوکتاز (GR) است (Mudgal *et al*., 2010). فعالیت هماهنگ آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در قسمت‌های سلولی مختلف تعادل بین نسبت تشکیل و حذف گونه‌های فعال اکسیژن و نگهداری پراکسید هیدروژن در سطح مورد نیاز برای علامت‌دهی سلول را انجام می‌دهد (Munns and Tester, 2008).

مطالعات اخیر نشان داده که بیان بالای Mn-SOD میتوکندریایی در آرابیدوبسیس و Cu/Zn-SOD کلروپلاستی در تنباکو تراریخته تحمل افزاینده به تنش شوری را موجب می‌شود (Mudgal *et al*., 2010).

کارتنوئیدها از آنتی‌اکسیدان‌های غیر آنزیمی محلول در چربی است که از سلول در مقابل رادیکال‌های آزاد و اکسیژن منفرد طی یک فعالیت آنتی‌اکسیدانی حمایت می کنند (Hidalgo *et al*., 2006). کارتنوئیدها نقش دفع کردن رادیکال‌های آزاد را با همکاری توکوفرول انجام می‌دهند (Carter and Knapp, 2001).

تریتیکاله (X. Triticosecale Wittmack) موفق‌ترین گیاه غلاتی ساخت بشر است که با هدف بدست آوردن محصولی با کیفیت برتر والد گندم و دارای تحمل به تنش‌های زنده و غیر زنده والد چاودار تولید شده‌است (Lelley, 2006). با توجه به تلاش‌های اصلاحی متمرکزی که در این زمینه انجام شده است، ارقام جدید تریتیکاله با بهترین ارقام گندم از نظر ظرفیت عملکرد تحت شرایط مطلوب برابربوده، ولی در انواع خاک‌های حاشیه‌ای پر محصول‌تر از گندم هستند (Ammar *et al*., 2004).

روش دابل‌هاپلوئیدی در حال حاضر در برنامه‌های اصلاحی تعدادی از گونه‌های زراعی استفاده می‌شود. برای هر صفت پیچیده ژنتیکی، کار با ژنوتیپ‌های با هموزیگوسیتی بالا همانند تولید با روش دابل‌هاپلوئیدی، خصوصاً تحت تنش شوری، دارای مزیت است. بنابراین لاین‌های دابل‌هاپلوئید مشتق شده از دانه گرده هیبریدهای $F_1$ حاصل از والدین متحمل به شوری، ابزار نوید دهنده‌ای برای تحمل به شوری رقم‌های گیاهی محسوب می‌شوند (Arzani, 2008).

این آزمایش به منظور ارزیابی لاین‌های تریتیکاله از لحاظ آنتی‌اکسیدان‌ها و میزان پراکسیداسیون لیپید در شرایط مزرعه‌ای شور، مقایسه آنها با دو رقم گندم نان (روشن، رقم متحمل به خشکی و کویر، رقم متحمل به شوری) و مقایسه واکنش لاین‌های $F_8$ با لاین‌های دابل هاپلوئید خواهری آن انجام شد.

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-05-12 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222727.1391.1.2.4.3 ]

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-05-12 ]
[ DOR: 20.1001.1.23222727.1391.1.2.4.3 ]

**جدول ۱- مقادیر ضریب هدایت الکتریکی و کاتیون‌های محلول عصاره اشباع خاک**

| بلوک | EC (dS/m) | | pH | | $Mg^{2+} + Ca^{2+}$ (m eq/l) | | $Na^{+}$ (m eq/l) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | بدون تنش | تنش شوری | بدون تنش | تنش شوری | بدون تنش | تنش شوری | بدون تنش | تنش شوری |
| ۱ | ۱/۶ | ۶/۱ | ۷/۸ | ۷/۵ | ۷ | ۲۴ | ۹ | ۴۹ |
| ۲ | ۱/۸ | ۵/۸ | ۷/۹ | ۷/۶ | ۷/۵ | ۲۲ | ۱۰/۵ | ۴۲ |
| ۳ | ۱/۸ | ۵/۸ | ۷/۹ | ۷/۶ | ۷/۵ | ۲۲ | ۱۰/۵ | ۴۲ |

اعداد مربوط به میانگین عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک می‌باشد.

**مواد و روش‌ها:**

این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی اصفهان واقع در لورک نجف‌آباد در سال زراعی ۱۳۸۸-۱۳۸۷ در قالب دو آزمایش جداگانه به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و دو نوع آب آبیاری (آب مزرعه تحقیقاتی لورک با هدایت الکتریکی یک دسی زیمنس بر متر و آب تهیه شده با غلظت ۱۷۵ میلی‌مولار نمک طعام معادل با ضریب هدایت الکتریکی ۱۶ دسی زیمنس بر متر) با استفاده از ۹ لاین $F_8$ و ۹ لاین دابل هاپلوئید خواهری تریتیکاله (تهیه شده از دکتر نورمن داروی، موسسه اصلاح‌نباتات، دانشگاه سیدنی، استرالیا) حاصل از تلاقی PolonyQ/TW179، همراه با دو رقم گندم نان روشن (رقم متحمل به خشکی) و کویر(رقم متحمل به شوری) انجام شد.

هر کرت شامل ۴ ردیف ۳ متری با فاصله خطوط ۲۵ سانتیمتری بود و با تراکم ۳۰۰ بوته در متر مربع کشت شد. در هر دو آزمایش تا اواسط مرحله ساقه رفتن (43 Zadoks)، آبیاری با استفاده از آب غیر شور با هدایت الکتریکی یک دسی زیمنس بر متر تا حد ظرفیت زراعی خاک و بر اساس ۷۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر مرکز هواشناسی نجف‌آباد انجام گردید (بافت خاک لوم رسی سیلتی، pH =۷/۳-۷/۸ و EC=۱/۱-۱/۲dS $m^{-1}$). در این آزمایش، تنش شوری از اواسط مرحله ساقه رفتن گیاه اعمال شد. برای اعمال تنش شوری آبیاری با آب شور با غلظت ۱۷۵ میلی‌مولار نمک طعام معادل هدایت الکتریکی ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر انجام گرفت. متوسط هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک تا عمق ۳۰ سانتی‌متر قبل از اعمال تنش ۱/۷ دسی‌زیمنس بر متر بود که بعد از پنج نوبت آبیاری با آب شور به ۵/۹ دسی‌زیمنس بر متر رسید (جدول ۱).

صفات گیاهی مورد بررسی شامل میزان فعالیت آنزیم-های آنتی‌اکسیدان آسکوربات پراکسیداز، گلوتاتیون ردوکتاز، سوپر اکسیداز دیسموتاز، میزان آنتی‌اکسیدان غیر آنزیمی کارتنوئید، میزان پراکسیداسیون لیپید، وزن خشک پدانکل و عملکرد دانه بود.

**آسکوربات پراکسیداز** (APX): فعالیت این آنزیم با روش Nakano و Asada (۱۹۸۷) مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین ترتیب که ۰/۵ گرم از نمونه برگ تازه در درون لوله آزمایش که داخل ظرف یخ قرار گرفته بود با ۱/۵ میلی‌لیتر بافر استخراج (۵۰ میلی‌مولار بافر فسفات (pH=۷/۴)، ۱ میلی مولار اتیلن دی آمین ترا استیک (EDTA) (۰/۰۳۶ گرم)، ۱ گرم پلی ونیل پلی پیرولیدون (PVP)، ۲۵ میلی‌لیتر تریتون X-۱۰۰ (۰/۵٪)) ترکیب گردید. مخلوط حاصل به مدت ۳۰ دقیقه در سانتریفوژ با دور g ۱۰۰۰۰ قرار گرفت، لایه شناور بالایی به منظور ادامه آزمایش به کار گرفته شد. ۱۰۰ میکرولیتر از مخلوط

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-05-12 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222727.1391.1.2.4.3 ]

واکنش( ۵۰ میلی‌مولار بافر پتاسیم فسفات (pH=۷/۰)، ۰/۱ میلی‌مولار $H_2O_2$، ۰/۵ میلی‌مولار آسکوربات (۰/۸۸۰۰ گرم)، ۰/۱ میلی‌مولار (EDTA) (۰/۰۳۶ گرم)) با ۱۰۰ میکرولیتر از لایه شناور بالایی مخلوط شد، تا واکنش اکسیداسیون توسط آنزیم موجود در بافت برگی گیاه انجام گردید. در نهایت در طول موج ۲۹۰ nm میزان فعالیت این آنزیم اندازه‌گیری شد. غلظت با استفاده از ضریب جذب ($۲/۸\ mM^{-1}\ cm^{-1}$) محاسبه گردید.

**گلوتاتیون ردوکتاز (GR)**: فعالیت این آنزیم از سرعت اکسید شدن نیکوتین آمید آدنین دی‌نوکلئوتید فسفات (NADPH) با استفاده از روش Donahue و همکاران (۱۹۹۷) انجام شد. مقدار ۰/۱ نمونه بافت گیاه در نیتروژن مایع به خوبی پودر شده سپس نمونه حاصل با ۰/۴ میلی‌لیتر از محلولی متشکل از مواد۵۰ میلی‌مولار بافر فسفات (pH=۷) (۵۰۰ میکرولیتر)، ۱ میلی‌مولار اتیلن دی آمین تترااستیک اسید (EDTA) (۳۶ درصد)، ۱ میلی‌مولار آسکوربیت اسید (۰/۱۷ گرم)، ۲ گرم پلی ونیل پلی پیرولیدون ۲٪ (PVP)، ۰/۵۰ میلی‌لیتر تریتون ۰/۵۰ درصد (۵۰ میکرولیتر) که در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل شدند، یکنواخت گردید. مخلوط حاصل به مدت ۲۰ دقیقه در سانتریفوژ با دور g ۱۷۰۰۰ قرار گرفت. حجم محلول آزمایش به ۱ میلی‌لیتر رسید که شامل تریس بافر ۰/۱ مولار (pH=۷/۸)، اتیلن دی‌آمین تترا استیک ۲ میلی مولار (EDTA) (۰/۷۳۴ گرم)، ۵۰، میکرومولار NADPH (۰/۰۰۴ گرم)، ۰/۵ میلی‌مولار گلوتاتیون اکسید شده (GSSG) (۰/۰۳۰ گرم)، ۲۰ میکرولیتر محلول شناور بود. با اضافه کردن NADPH بعد از ۵ دقیقه در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد واکنش آغاز گردید. فعالیت GR با سرعت اکسیداسیون نیکوتین آمید آدنین دی‌نوکلئوتید فسفات (NADPH) در طول موج ۳۴۰ nm اندازه‌گیری شد. نتایج حاصل در ضریب جذب ($۶/۲\ mM\ cm^{-1}$) ضرب شد. واکنش GR به صورت mmol NADPH oxidized per min گزارش می‌شود. یک واحد فعالیت GR معادل مقدار آنزیمی است که یک میلی‌مولار NADPH را در هر دقیقه تحت شرایط آزمایش اکسید می‌کند.

**سوپر اکسید دیسموتاز (SOD)**: فعالیت این آنزیم با استفاده از روش Laspina و همکاران (۲۰۰۵) انجام شد. بدین منظور ۰/۱۵ گرم از نمونه برگی تازه در درون لوله آزمایشی که داخل ظرف یخ گرفته بود با ۱/۵ میلی لیتر بافر استخراج(۲۵ میلی‌مولار بافر فسفات (pH=۷/۸) (۲۵۰ میکرولیتر)، ۰/۵ میلی‌مولار اتیلن دی آمین تترا استیک اسید (EDTA) (۰/۰۱۸ گرم)، ۰/۵ گرم پلی ونیل پلی پیرولیدون (PVP)، ۲۵ میلی‌لیتر تریتون ۱۰۰-X (۲۵ درصد) که در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل شدند) با دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به طور یکنواخت مخلوط گردید. مخلوط حاصل به مدت ۲۰ دقیقه در سانتریفوژ با دور g ۱۰۰۰۰ قرار گرفت. سپس مخلوط واکنش ( ۰/۲۱۳ گرم متیونین، ۰/۰۶۷ گرم NBT، ۰/۰۰۰۰۸ گرم ریبو فلاوین که با آب مقطر به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانیده شد) و ۱۰۰ میکرولیتر از لایه بالایی با ۰/۰۰۳ گرم EDTA و ۵۰۰ میکرولیتر پتاسیم فسفات مخلوط شد. لوله‌ها پس از تکان دادن در فاصله ۳۰ سانتی‌متری از منبع نوری که شامل ۶ لامپ فلورسانت ۱۵ وات می‌باشد، به مدت ۱۰ دقیقه قرار گرفتند. این واکنش در مجاورت نور انجام می‌گیرد و بعد از خارج شدن از مجاورت نور متوقف می‌گردد. سپس واکنش احیا NBT با استفاده از اسپکتوفتومتر در طول موج ۵۶۰ نانومتر اندازه‌گیری شد.

**پراکسیداسیون لیپید (LP)**: میزان پراکسیداسیون لیپید بر حسب میزان ماده‌ای به نام تیوباربیوتیوریک اسید (TBARS) طبق روش یانالری و همکاران (۲۰۰۶) اندازه گیری شد. مقدار ۰/۵ گرم از نمونه برگی با ۱۰ میلی‌لیتر تیوباربیوتیوریک اسید ۰/۱ درصد ترکیب شد. ماده هموژن

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-05-12 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222727.1391.1.2.4.3 ]

**جدول۲- نتایج تجزیه واریانس مرکب صفات پراکسیداسیون لیپید، میزان فعالیت آنزیم‌های APX، GR، SOD، کاروتنوئید و عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های گندم و تریتیکاله مورد مطالعه در شرایط تنش شوری و بدون تنش**

| منابع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مربعات | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | پراکسیداسیون لیپید | APX | GR | SOD | کاروتنوئید | عملکرد دانه |
| محیط | ۱ | ۸۱۶/۲۰** | ۸/۴۵** | ۴/۸۶** | ۸۶/۵۵** | ۰/۰۵۶** | ۲۸۱۶۱۵۰۶۰** |
| بلوک (محیط) | ۴ | ۰/۲۶n.s | ۰/۱۳** | ۰/۰۹** | ۰/۳۱ns | ۰/۰۰۲* | ۳۰۶۹۴۷n.s |
| ژنوتیپ | ۱۹ | ۵۴/۹۵** | ۰/۳۴** | ۰/۲۶** | ۳/۱۲** | ۰/۰۰۷** | ۷۰۰۳۵۲۵** |
| ژنوتیپ × محیط | ۱۹ | ۱۴/۹۴** | ۰/۱۴** | ۰/۱۱** | ۲/۲۲** | ۰/۰۰۲** | ۱۶۱۱۳۹۴** |
| خطای آزمایش | ۷۶ | ۱/۹۸ | ۰/۰۰۷ | ۰/۰۰۳ | ۰/۱۴ | ۰/۰۰۰۶ | ۶۱۰۳۷۱ |

ns غیر معنی‌دار ، * و ** به به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

به مدت ۵ دقیقه در دور g ۱۵۰۰۰ سانتریفوژ گردید. ۲ میلی‌لیتر از محلول شناور بالایی با ۴ میلی‌لیتر از ترکیب تری‌کلرو استیک اسید ۲۰ درصد (۲۰ گرم در ۱۰۰ میلی-لیتر آب مقطر حل شد)، تیوباربیوتیوریک اسید ۰/۵ درصد (۰/۵ گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل شد.)) مخلوط گردید. سپس مخلوط حاصل به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و سپس سریعاً به وسیله یخ سرد شد. محلول مجدداً به مدت ۱۰ دقیقه در سانتریفوژ با دور g ۱۰۰۰۰ قرار گرفت. در مرحله بعد جذب محلول بالایی در طول موج ۵۳۲ nm اندازه‌گیری شد. جذب غیر اختصاصی نیز در طول موج ۶۰۰ nm اندازه‌گیری شد. سپس عدد جذب اختصاصی از میزان جذب غیر اختصاصی کسر شده و در نهایت میزان TBARS با استفاده از ضریب جذبی $155\ mmol^{-1}\ cm^{-1}$ محاسبه شد.

تجزیه واریانس مرکب صفات پس از انجام آزمون بارتلت برای همگن بودن خطای آزمایشی صورت گرفت. همچنین تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در هر یک از دو محیط آزمایشی شامل تنش شوری و بدون تنش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی به صورت جداگانه انجام شد. برای مقایسات گروهی ژنوتیپ‌ها شامل مقایسه لاین‌های $F_8$ در مقابل لاین‌های دابل‌هاپلوئید و همچنین مقایسه لاین‌های تریتیکاله در مقابل دو رقم گندم (روشن و کویر) از مقایسات متعامد (اورتوگنال) استفاده شد. به منظور تعیین روابط بین صفات، همبستگی فنوتیپی محاسبه گردید. محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS (SAS Institute, 1994) انجام شد.

## نتایج و بحث:

### پراکسیداسیون لیپید:

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها بیانگر اثر بسیار معنی-دار تنش شوری و همچنین اثر متقابل ژنوتیپ و محیط برای صفت میزان پراکسیداسیون لیپید (LP) بود (جدول ۲). نتایج تجزیه واریانس نیز نشان داد که در هر دو شرایط محیطی اختلاف بسیار معنی‌داری بین ژنوتیپ‌های مورد آزمایش از نظر این صفت وجود داشت (جدول ۳). میانگین میزان پراکسیداسیون لیپید (LP) ژنوتیپ‌های مورد آزمایش در شرایط بدون تنش $10/76\ nmol\ g^{-1}\ FW$ و در شرایط تنش شوری $15/98 nmol\ g^{-1}\ FW$ بود (جدول ۴). پراکسیداسیون لیپید تحت شرایط شوری افزایش یافت که

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-05-12 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222727.1391.1.2.4.3 ]

**جدول۳ - نتایج تجزیه واریانس صفات اندازه گیری شده در ژنوتیپ‌های گندم و تریتیکاله مورد مطالعه در شرایط بدون تنش وتنش شوری**

| منابع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مربعات | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | پراکسیداسیون لیپید | APX | GR | SOD | کارتنوئید | عملکرد دانه |
| بلوک | ۲ | ۰/۲۳$^{n.s}$ | ۰/۰۴$^{**}$ | ۰/۰۱$^{ns}$ | ۰/۳۲$^{*}$ | ۰/۰۰۲$^{*}$ | ۹۵۸۳۵$^{n.s}$ |
| | | (۰/۲۹$^{n.s}$) | (۰/۲۳$^{**}$) | (۰/۱۷$^{**}$) | (۰/۳۰$^{n.s}$) | (۰/۰۰۰۹$^{n.s}$) | (۵۱۸۰۵۹$^{n.s}$) |
| ژنوتیپ | ۱۹ | ۳۸/۰۶$^{**}$ | ۰/۱۲$^{**}$ | ۰/۰۹$^{**}$ | ۲/۲۱$^{**}$ | ۰/۰۰۶$^{**}$ | ۶۲۱۹۳۶۸$^{**}$ |
| | | (۳۱/۸۳$^{**}$) | (۰/۳۶$^{**}$) | (۰/۲۸$^{**}$) | (۳/۱۳$^{**}$) | (۰/۰۰۳$^{**}$) | (۲۳۹۵۵۵۰$^{**}$) |
| لاین‌های F۸ | ۸ | ۲۹/۸۱$^{**}$ | ۰/۲۰$^{**}$ | ۰/۰۹$^{**}$ | ۲/۷۱$^{**}$ | ۰/۰۰۳$^{**}$ | ۵۷۱۸۳۸۹$^{**}$ |
| | | (۱۶/۷۸$^{**}$) | (۰/۲۷$^{**}$) | (۰/۱۸$^{**}$) | (۴/۰۶$^{**}$) | (۰/۰۰۳$^{*}$) | (۱۵۵۵۷۴۶$^{n.s}$) |
| لاین‌های DH | ۸ | ۴۰/۰۸$^{**}$ | ۰/۰۶$^{**}$ | ۰/۱۱$^{**}$ | ۱/۹۳$^{**}$ | ۰/۰۱۰$^{**}$ | ۲۶۱۰۲۶۳$^{*}$ |
| | | (۴۷/۰۹$^{**}$) | (۰/۴۵$^{**}$) | (۰/۳۴$^{**}$) | (۲/۴۲$^{**}$) | (۰/۰۰۴$^{**}$) | (۱۹۹۸۱۴۱$^{**}$) |
| DH vs. F۸ | ۱ | ۱۳/۸۰$^{**}$ | ۰/۰۱۷$^{n.s}$ | ۰/۰۱۶$^{*}$ | ۲/۵۳$^{**}$ | ۰/۰۰۲$^{n.s}$ | ۱۷۰$^{n.s}$ |
| | | (۰/۰۲$^{n.s}$) | (۰/۳۸$^{**}$) | (۰/۷۱$^{**}$) | (۰/۰۸$^{n.s}$) | (۰/۰۰۰$^{ns}$) | (۱۴۰۲۸۳۳$^{n.s}$) |
| ارقام گندم | ۱ | ۳۵/۰۴$^{**}$ | ۰/۰۰۰۶$^{n.s}$ | ۰/۰۲$^{*}$ | ۰/۱۷$^{n.s}$ | ۰/۰۰۰۴$^{n.s}$ | ۳۲۲۹۴۴$^{n.s}$ |
| | | (۷/۰۴$^{n.s)}$ | (۰/۰۰۸$^{n.s}$) | (۰/۰۲$^{*}$) | (۰/۴۸$^{n.s}$) | (۰/۰۱۱$^{**}$) | (۱۰۲۵۴$^{n.s}$) |
| گندم در مقابل تریتیکاله | ۱ | ۱۱۵/۱۸$^{**}$ | ۰/۲۴$^{**}$ | ۰/۱۱$^{**}$ | ۲/۱۱$^{**}$ | ۰/۰۰۰۶$^{n.s}$ | ۵۱۲۱۵۶۵۷$^{**}$ |
| | | (۸۶/۷۵$^{**}$) | (۰/۶۷$^{**}$) | (۰/۴۹$^{**}$) | (۷/۲۵$^{**}$) | (۰/۰۰۰۵$^{n.s}$) | (۱۵۶۷۱۲۷۳$^{**}$) |
| خطای آزمایش | ۳۸ | ۱/۴۱ | ۰/۰۰۵ | ۰/۰۰۳ | ۰/۰۹ | ۰/۰۰۰۶ | ۷۶۸۹۴۹ |
| | | (۲/۵۶) | (۰/۰۰۸) | (۰/۰۰۳) | (۰/۲۰) | ۰/۰۰۰۶ | (۴۵۱۷۹۳) |
| ضریب تغییرات (CV%) | | ۱۱/۰۴ | ۹/۵۲ | ۷/۴۸ | ۶/۳۴ | ۹/۶۸ | ۱۲/۷۶ |
| | | (۱۰/۰۱) | (۷/۳۵) | (۴/۹۰) | (۶/۹۰) | ۱۱/۲۶ | (۱۷/۶۴) |

$^{ns}$غیر معنی‌دار، $^{*}$ و $^{**}$ به به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد،اعداد داخل پرانتز مربوط به شرایط تنش شوری می‌باشد

هماهنگ با مطالعات دیگر در گندم و ذرت تحت تنش شوری است (Stepien. and Klobus, 2005) و نشان دهنده‌ی وقوع تنش اکسیداتیو است (Mudgal *et al*., 2010). همبستگی منفی و معنی‌داری بین میزان LP با عملکرد دانه (در هر دو شرایط محیطی$^{**}$۰/۶۱- =r) و وزن خشک پدانکل در هر دو شرایط محیطی (در شرایط بدون تنش$^{**}$۰/۶۴- =r و در شرایط تنش شوری $^{**}$۰/۸۱- =r) وجود داشت. پراکسید شدن چربی (LP) به عنوان معیاری از میزان مقاومت گیاه در برابر تنش‌های محیطی می‌باشد (Richards *et al*., 2002).

لاین‌های $F_8$ در مقابل لاین‌های دابل‌هاپلوئید از نظر پراکسیداسیون لیپید در شرایط تنش شوری اختلاف معنی داری نداشتند ولی تحت شرایط بدون تنش لاین‌های $F_8$ پراکسیداسیون لیپید بیشتری داشتند. میانگین پراکسیداسیون لیپید لاین‌های تریتیکاله کمتر از ارقام گندم بود که بیانگر مقاومت بیشتر تریتیکاله به تنش اکسیداتیو ناشی از شوری است(جدول‌های ۳ و ۴).

**فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان APX، GR و SOD:**

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها بیانگر اثر بسیار معنی‌دار

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-05-12 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222727.1391.1.2.4.3 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222727.1391.1.2.4.3 ] [ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-05-12 ]



جدول ۴ -مقایسه میانگین صفات پراکسیداسیون لیپید، میزان فعالیت آنزیم‌های APX، GR، SOD، کاروتنوئید و عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های گندم و تریتیکاله مورد مطالعه در شرایط بدون و تنش شوری.

| ژنوتیپ | پراکسیداسیون لیپید (nmol g⁻¹ FW) | | APX (U mg⁻¹ FW) | | GR (U g⁻¹ FW) | | SOD (U g⁻¹ FW) | | کارتنوئید (mg g⁻¹ FW) | | عملکرد دانه (kg ha⁻¹) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | بدون تنش | تنش | بدون تنش | تنش | بدون تنش | تنش | بدون تنش | تنش | بدون تنش | تنش | بدون تنش | تنش |
| لاین‌های $F_8$ | | | | | | | | | | | | |
| ۱ | ۱۰/۰۵$^{d-g}$ | ۱۶/۳۰$^{cde}$ | ۰/۹۷$^{bc}$ | ۱/۳۲$^{cd}$ | ۰/۹۳$^{bc}$ | ۱/۴۹$^{c}$ | ۳/۸۳$^{ij}$ | ۶/۸۷$^{cde}$ | ۰/۲۱$^{gh}$ | ۰/۱۸$^{g}$ | ۹۴۶۹$^{a}$ | ۵۱۲۵$^{a}$ |
| ۲ | ۶/۰۰$^{jk}$ | ۱۱/۶۲$^{hij}$ | ۱/۲۹$^{a}$ | ۱/۶۳$^{b}$ | ۰/۹۹$^{b}$ | ۱/۱۶$^{e}$ | ۴/۷۷$^{e-h}$ | ۵/۲۳$^{g}$ | ۰/۲۴$^{e-h}$ | ۰/۱۹$^{efg}$ | ۸۰۴۳$^{ab}$ | ۴۳۸۷$^{a-d}$ |
| ۳ | ۱۰/۰۰$^{ef}$ | ۱۸/۹۸$^{ab}$ | ۰/۴۷$^{k}$ | ۱/۲۹$^{d}$ | ۰/۶۶$^{fgh}$ | ۱/۱۷$^{e}$ | ۵/۶۱$^{b}$ | ۷/۹۸$^{ab}$ | ۰/۲۷$^{de}$ | ۰/۲۱$^{d-g}$ | ۵۷۰۶$^{efg}$ | ۳۳۴۱$^{d-g}$ |
| ۴ | ۶/۹۲$^{ijk}$ | ۱۴/۱۷$^{c-h}$ | ۰/۷۲$^{c-h}$ | ۱/۳۰$^{d}$ | ۰/۷۰$^{fg}$ | ۱/۳۸$^{d}$ | ۴/۷۳$^{fgh}$ | ۶/۶۳$^{de}$ | ۰/۲۲$^{fgh}$ | ۰/۲۰$^{efg}$ | ۸۱۱۷$^{ab}$ | ۴۳۶۵$^{a-d}$ |
| ۵ | ۱۰/۲۷$^{d-g}$ | ۱۴/۵۰$^{efg}$ | ۰/۶۱$^{hij}$ | ۱/۳۰$^{d}$ | ۰/۸۶$^{de}$ | ۱/۰۱$^{f}$ | ۷/۲۰$^{a}$ | ۵/۲۹$^{g}$ | ۰/۲۴$^{e-h}$ | ۰/۱۹$^{fg}$ | ۷۰۴۳$^{b-e}$ | ۳۱۰۱$^{efg}$ |
| ۶ | ۱۴/۵۰$^{b}$ | ۱۵/۴۶$^{de}$ | ۰/۷۸$^{de}$ | ۱/۲۸$^{d}$ | ۰/۸۷$^{de}$ | ۱/۰۴$^{f}$ | ۵/۰۰$^{e-f}$ | ۷/۵۲$^{abc}$ | ۰/۲۳$^{c-h}$ | ۰/۲۳$^{a-e}$ | ۴۹۰۹$^{fgh}$ | ۳۹۷۱$^{b-e}$ |
| ۷ | ۱۱/۸۳$^{cde}$ | ۱۵/۰۰$^{def}$ | ۰/۶۲$^{hij}$ | ۱/۳۳$^{cd}$ | ۰/۶۲$^{gh}$ | ۰/۹۰$^{gh}$ | ۴/۹۷$^{e-f}$ | ۸/۱۷$^{a}$ | ۰/۲۸$^{cd}$ | ۰/۲۷$^{a}$ | ۶۲۳۹$^{e-f}$ | ۴۳۸۳$^{a-d}$ |
| ۸ | ۱۵/۶۷$^{ab}$ | ۱۹/۱۷$^{ab}$ | ۰/۴۸$^{k}$ | ۰/۶۵$^{g}$ | ۰/۴۳$^{l}$ | ۰/۶۹$^{i}$ | ۴/۸۱$^{d-g}$ | ۵/۴۲$^{g}$ | ۰/۲۸$^{bcd}$ | ۰/۲۲$^{e-f}$ | ۷۲۶۹$^{bcd}$ | ۳۵۱۷$^{def}$ |
| ۹ | ۱۲/۰۰$^{cd}$ | ۱۴/۸۰$^{ef}$ | ۰/۶۶$^{gh}$ | ۰/۸۰$^{f}$ | ۰/۸۴$^{de}$ | ۰/۹۵$^{fg}$ | ۴/۳۰$^{hij}$ | ۵/۸۳$^{fg}$ | ۰/۳۲$^{bc}$ | ۰/۲۴$^{d-g}$ | ۷۷۴۹$^{bc}$ | ۵۰۷۵$^{ab}$ |
| لاین‌های دابل‌هاپلوئید | | | | | | | | | | | | |
| ۱۰ | ۷/۵۰$^{hij}$ | ۱۷/۵۰$^{bcd}$ | ۰/۶۸$^{c-h}$ | ۰/۹۲$^{ef}$ | ۰/۵۲$^{ij}$ | ۰/۷۱$^{i}$ | ۳/۰۱$^{k}$ | ۶/۱۸$^{ef}$ | ۰/۲۳$^{gh}$ | ۰/۲۳$^{b-e}$ | ۷۵۲۲$^{bcd}$ | ۳۸۳۲$^{cde}$ |
| ۱۱ | ۶/۰۰$^{jk}$ | ۱۸/۶۷$^{abc}$ | ۰/۶۵$^{gh}$ | ۰/۹۵$^{ef}$ | ۰//۶۹$^{fg}$ | ۱/۱۷$^{e}$ | ۵/۰۱$^{e-f}$ | ۷/۴۰$^{bc}$ | ۰/۲۰$^{h}$ | ۰/۱۴$^{gh}$ | ۸۱۳۶$^{ab}$ | ۲۶۸۰$^{fg}$ |
| ۱۲ | ۱۵/۶۳$^{ab}$ | ۱۸/۷۵$^{abc}$ | ۱/۰۰$^{b}$ | ۱/۳۶$^{cd}$ | ۱/۰۰$^{b}$ | ۱/۱۶$^{e}$ | ۴/۱۳$^{hij}$ | ۷/۱۷$^{cd}$ | ۰/۲۶$^{def}$ | ۰/۲۱$^{d-g}$ | ۵۳۱۲$^{fgh}$ | ۲۶۵۱$^{fg}$ |
| ۱۳ | ۱۵/۳۳$^{b}$ | ۲۰/۵۰$^{a}$ | ۰/۶۴$^{ef}$ | ۱/۲۳$^{d}$ | ۰/۹۲$^{bcd}$ | ۱/۱۸$^{e}$ | ۵/۳۶$^{bc}$ | ۶/۸۰$^{cde}$ | ۰/۳۲$^{b}$ | ۰/۲۵$^{abc}$ | ۷۰۶۱$^{b-e}$ | ۳۸۰۰$^{cde}$ |
| ۱۴ | ۹/۱۷$^{fgh}$ | ۱۲/۷۸$^{fgh}$ | ۰/۶۳$^{ef}$ | ۱/۷۸$^{b}$ | ۰/۶۹$^{fg}$ | ۱/۴۰$^{d}$ | ۵/۲۷$^{bcd}$ | ۶/۹۰$^{cde}$ | ۰/۲۵$^{e-h}$ | ۰/۱۹$^{efg}$ | ۶۱۱۵$^{def}$ | ۳۵۳۹$^{def}$ |
| ۱۵ | ۸/۳۳$^{ghi}$ | ۱۸/۴۲$^{abc}$ | ۰/۸۸$^{cd}$ | ۱/۰۲$^{e}$ | ۰/۷۵$^{ef}$ | ۱/۴۶$^{cd}$ | ۳/۸۸$^{ij}$ | ۴/۳۵$^{h}$ | ۰/۲۶$^{def}$ | ۰/۲۳$^{a-e}$ | ۷۷۶۳$^{bc}$ | ۴۱۷۶$^{a-e}$ |
| ۱۶ | ۹/۶۷$^{fg}$ | ۱۲/۱۲$^{gh}$ | ۰/۷۴$^{efg}$ | ۱/۴۶$^{c}$ | ۰/۸۷$^{cd}$ | ۱/۲۴$^{e}$ | ۵/۰۸$^{e-f}$ | ۶/۸۹$^{cde}$ | ۰/۲۷$^{de}$ | ۰/۱۹$^{fg}$ | ۷۰۶۹$^{b-e}$ | ۳۸۳۵$^{cde}$ |
| ۱۷ | ۱۱/۰۰$^{e-f}$ | ۱۲/۳۹$^{fgh}$ | ۰/۷۶$^{ef}$ | ۱/۹۹$^{a}$ | ۰/۶۷$^{fgh}$ | ۱/۸۷$^{a}$ | ۵/۲۵$^{b-e}$ | ۶/۸۵$^{cde}$ | ۰/۲۲$^{fgh}$ | ۰/۲۳$^{a-e}$ | ۸۰۶۹$^{ab}$ | ۴۸۷۵$^{abc}$ |
| ۱۸ | ۵/۵۰$^{k}$ | ۹/۲۵$^{i}$ | ۰/۹۴$^{bc}$ | ۱/۷۳$^{b}$ | ۱/۱۲$^{a}$ | ۱/۶۸$^{b}$ | ۴/۳۵$^{ghi}$ | ۶/۶۲ | ۰/۳۹$^{a}$ | ۰/۲۶$^{abc}$ | ۷۵۶۵$^{bc}$ | ۴۹۷۹$^{ab}$ |
| گندم روشن | ۱۷/۳۳$^{a}$ | ۲۰/۶۷$^{a}$ | ۰/۵۵$^{ijk}$ | ۰/۹۱$^{ef}$ | ۰/۶۹$^{fg}$ | ۰/۹۶$^{fg}$ | ۴/۳۵$^{ghi}$ | ۵/۱۲$^{g}$ | ۰/۲۴$^{e-h}$ | ۰/۱۸$^{gh}$ | ۳۸۶۹$^{h}$ | ۲۳۱۷$^{g}$ |
| گندم کویر | ۱۲/۵۰$^{c}$ | ۱۸/۵۰$^{abc}$ | ۰/۵۳$^{jk}$ | ۰/۹۸$^{c}$ | ۰//۵۹$^{hi}$ | ۰/۸۴$^{h}$ | ۴/۰۲$^{ij}$ | ۵/۶۸$^{fg}$ | ۰/۲۶$^{def}$ | ۰/۲۷$^{ab}$ | ۴۳۳۳$^{gh}$ | ۲۲۳۵$^{g}$ |
| LSD | ۱/۹۶ | ۲/۶۴ | ۰/۱۱۵ | ۰/۱۵۳ | ۰/۰۹۵ | ۰/۰۹۵ | ۰/۵۰ | ۰/۷۴ | ۰/۰۴ | ۰/۰۴ | ۱۴۴۹ | ۱۱۱۱ |

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌دار با استفاده از آزمون LSD و در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

تنش شوری و همچنین اثر متقابل ژنوتیپ و محیط برای صفات میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان APX، GR و SOD بود (جدول ۲). نتایج تجزیه واریانس نیز نشان داد که در هر دو شرایط محیطی اختلاف بسیار معنی‌داری بین ژنوتیپ‌های مورد آزمایش از نظر این صفات وجود دارد (جدول ۳). میانگین میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان APX، GR و SOD ژنوتیپ‌های مورد آزمایش در شرایط بدون تنش به ترتیب ۰/۷۳ U $mg^{-1}$ FW، ۰/۷۷ U $g^{-1}$FW، ۴/۷۵ U $g^{-1}$ FW و در شرایط تنش شوری به ترتیب ۱/۲۶ U $mg^{-1}$ FW، ۱/۱۷ U $g^{-1}$ FW، ۶/۴۴ U $g^{-1}$FW بود (جدول۴). بنابراین نتایج نشان می دهد که در اثر تنش شوری فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان ژنوتیپ‌های مورد آزمایش افزایش یافته است که هماهنگ با گزارشات قبلی در خصوص افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در اثر تنش شوری می‌باشد (Hidalgo *et al*., 2006; Stepien and Klobus, 2005). بیشترین میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان APX، GR و SOD در شرایط بدون تنش به ترتیب به لاین $F_8$ شماره ۲ (۱/۲۹ U $mg^{-1}$FW)، لاین دابل‌هاپلوئید شماره ۹ (۱/۱۲U $g^{-1}$ FW) و لاین $F_8$ شماره ۵ (۷/۲۰U $g^{-1}$ FW) و کمترین مقدار آن‌ها به لاین $F_8$ شماره ۳ (U $^{-1}$FW ۰/۴۷mg)، لاین $F_8$ شماره ۸ (۰/۴۳ U $g^{-1}$ FW) و لاین دابل‌هاپلوئید شماره ۱ (۳/۰۱U $g^{-1}$ FW) اختصاص داشت. در شرایط تنش شوری بیشترین مقدار این صفات به ترتیب متعلق به لاین دابل هاپلوید شماره ۸ (۱/۹۹ U $mg^{-1}$FW)، لاین دابل‌هاپلوئید شماره ۸ (۱/۸۷ U $g^{-1}$ FW) و لاین $F_8$ شماره ۷ (۸/۱۷ U $g^{-1}$ FW) و کمترین مقدار آن‌ها به لاین $F_8$ شماره ۸ (۰/۶۵ U $mg^{-1}$FW)، لاین $F_8$ شماره ۸ ( ۰/۶۹ U $g^{-1}$FW) و لاین دابل‌هاپلوئید شماره ۶ (U $^{-1}$ FW ۴/۳۵g) بود (جدول ۴).

میزان فعالیت آنزیم GR در هر دو شرایط محیطی و میزان فعالیت APX در شرایط تنش شوری در لاین‌های دابل هاپلوئید بیشتر از لاین‌های $F_8$ بود. از طرفی فعالیت آنزیم SOD در شرایط بدون تنش در لاین‌های $F_8$ بیشتر از لاین‌های دابل‌هاپلوئید بود. در هر دو شرایط محیطی میانگین فعالیت آنزیمی لاین‌های تریتیکاله بیشتر از ارقام گندم بود که بیانگر سیستم دفاع آنتی اکسیدان قوی‌تر گندم است (جدول ۳ و ۴).

همبستگی منفی و معنی‌داری بین میزان LP با وزن خشک پدانکل (در شرایط بدون تنش$^{**}$۰/۶۴-= r و در شرایط تنش شوری $^{**}$۰/۸۱-= r) و عملکرد دانه در هر دو شرایط محیطی (در هر دو شرایط محیطی$^{**}$۰/۶۱-= r) و با فعالیت آنزیم‌های APX ($^{**}$۰/۷۲-= r) و GR ($^{*}$۰/۵۱-= r) در شرایط تنش وجود داشت که هماهنگ با مطالعات قبلی در ارتباط با رابطه منفی فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان با میزان LP است (Stepien and Klobus, 2005).

همبستگی مثبت و معنی‌داری بین میزان فعالیت دو آنتی اکسیدان APX و GR تحت هر دو شرایط محیطی (شرایط بدون تنش $^{**}$۰/۷۱= r و شرایط تنش $^{**}$۰/۷۶= r) وجود داشت. این همبستگی‌ها ناشی از شباهت مسیرهای داخل سلولی در بیوسنتز این دو آنتی‌اکسیدان و یا اعمال آنزیمی مشابه می‌باشد. Kurilich و همکاران (۱۹۹۹) وجود همبستگی مثبت و معنی داری بین آلفا- توکوفرول و بتاکاروتن را به دلیل وجود شباهت در مسیرهای ساخت آنها گزارش کردند.

تحت شرایط تنش شوری همبستگی مثبت و معنی داری ($^{*}$۰/۴۹= r) بین عملکرد و میزان فعالیت آنزیم GR وجود داشت. همچنین وزن خشک پدانکل همبستگی مثبت و معنی‌داری با فعالیت آنزیم APX در هر دو شرایط محیطی (شرایط بدون تنش $^{**}$۰/۶۹= r و شرایط تنش شوری $^{**}$۰/۶۲= r) و با میزان فعالیت آنزیم GR در شرایط تنش شوری ($^{*}$۰/۴۸= r) داشت. از آن جا که جایگاه اصلی آنزیم APX در کلروپلاست‌ها می‌باشد. بنابراین اختلال در فتوسنتز و ایجاد ROS در کلروپلاست

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-05-12 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222727.1391.1.2.4.3 ]

ها بیشتر منجر به فعال شدن APX و به تبع آن GR که جزء سیستم‌های آنزیمی آنتی‌اکسیدانی کلروپلاستی است، می‌گردد. با این وجود نقش APX در حذف $H_2O_2$ در درجه دوم اهمیت قرار دارد .(Breusgam *et al*., 2001). به نظر می‌رسد فعالیت این دو آنزیم نقش مهمی در حفظ تجمع کربوهیدرات‌های ذخیره‌ای در پدانکل و به تبع آن افزایش عملکرد داشته است.

تحقیقات نشان داده است که ارتباط قوی بین تحمل به تنش‌های اکسیداتیو که به دلیل تنش‌های محیطی ایجاد می‌شود و افزایش در غلظت آنتی‌اکسیدان‌های گیاهی وجود دارد (Cheruth *et al*., 2007; Mudgal *et al*., 2010; Stepien and Klobus, 2005). آنتی‌اکسیدان‌ها جهت جلوگیری از پراکسیداسیون لیپید مکانیسم‌های مختلفی دارند که از آن جمله کاهش غلظت اکسیژن، جلوگیری از شروع پراکسیداسیون لیپید به وسیله گرفتن رادیکال‌های آزاد فعال و پیش‌گیری از تولید رادیکال‌های آزاد با استفاده از شلات کننده‌های یون‌های فلزی را می توان نام برد. همچنین شکستن زنجیره اسیدهای چرب توسط آنتی‌اکسیدان‌ها موجب جلوگیری از ادامه جذب هیدروژن به وسیله رادیکال‌های فعال می‌شود. آنتی اکسیدان‌ها با تجزیه پراکسیدها، از شروع زنجیره تولید رادیکال جلوگیری می‌کنند(Rice Evans and Burdon, 1994) .

**کارتنوئیدها:**

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که تنش شوری تأثیر بسیار معنی‌داری (P <۰/۰۱) بر محتوای کارتنوئیدها داشته است. ضمن این که اثر متقابل ژنوتیپ و محیط برای این صفت معنی‌دار (P <۰/۰۱) بود (جدول ۲). نتایج تجزیه واریانس در هر دو شرایط محیطی نشان داد که ژنوتیپ‌های مورد آزمایش از لحاظ این صفت اختلاف بسیار معنی‌داری (P <۰/۰۱) دارند (جدول ۳). میانگین محتوای کارتنوئیدها در شرایط بدون تنش ۰/۲۶ میلی‌گرم بر گرم برگ و در شرایط تنش شوری ۰/۲۲ میلی‌گرم بر گرم برگ بود (جدول ۴). کارتنوئیدها به عنوان رنگدانه-های فرعی، جمع‌کننده نور جهت فتوسنتز هستند که به عنوان حمایت‌کنندگان نوری در ممانعت از آثار مضر تنش نوری نیز ایفای نقش دارند (Blachburn, 1998; Carter and Knapp, 2001). نتایج مطالعه حاضر با گزارشات قبلی در خصوص کاهش محتوای کارتنوئیدهای برگ تحت تنش شوری هماهنگ است (Parida and Das, 2005). رنگ اندام‌های تعرق کننده به نسبت کلروفیل a/b و نیز وجود رنگدانه‌های آنتوسیانین و کارتنوئیدها بستگی دارد. این رنگدانه‌ها بر نسبت بازتاب نور ورودی بر روی برگ و در نتیجه گرم شدن برگ مؤثر هستند (Arnon and Sairam, 2002). بیشترین محتوای کارتنوئید در شرایط بدون تنش ۰/۳۹ (لاین دابل‌هاپلوئید شماره ۹) و در شرایط تنش شوری ۰/۲۷ (لاین $F_8$ شماره ۷)بود. کمترین مقدار کارتنوئیدها در شرایط بدون تنش (۰/۲۰) و در شرایط تنش شوری (۰/۱۴) به لاین دابل هاپلوئید شماره ۲ اختصاص داشت (جدول ۴).

همبستگی منفی و معنی‌داری (r =-۰/۵۴*) بین کاهش عملکرد ناشی از شوری و محتوای کارتنوئید تحت شرایط تنش شوری وجود داشت. Akbarian و همکاران (۲۰۱۱) نیز چنین همبستگی را در شرایط بدون تنش در همین ژنوتیپ‌ها مشاهده کردند. میزان آنتی اکسیدان‌ها با میزان تحمل به تنش‌ها همبستگی دارد و هر چه میزان آنتی اکسیدان‌ها بیشتر باشد، خسارت به سلول کمتر خواهد بود(Asada, 1992).

**عملکرد دانه:**

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان دهنده تأثیرمعنی‌دار ژنوتیپ و محیط بر عملکرد دانه بود (جدول ۲).

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-05-12 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222727.1391.1.2.4.3 ]

در هر دو شرایط محیطی ژنوتیپ‌های مورد آزمایش از نظر عملکرد دانه اختلاف معنی‌داری (P <۰/۰۱) داشتند (جدول ۳). در شرایط بدون تنش و تنش شوری، میانگین عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های مورد بررسی به ترتیب ۶۸۷۳ و ۳۸۰۹ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۴). در آزمایش El-hendawy و همکاران (۲۰۰۵) عملکرد دانه به طور معنی داری (P <۰/۰۱) تحت تأثیر سه عامل ژنوتیپ، سطح شوری و اثر متقابل این دو عامل قرار گرفته است. عملکرد دانه به عنوان یک خصوصیت پیچیده ژنتیکی به طور گسترده‌ای تحت تأثیر محیط به ویژه تنش های محیطی از جمله شوری قرار می‌گیرد. نتایج آزمایش حاضر در خصوص کاهش عملکرد دانه ناشی از تنش شوری با گزارش‌های موجود مطابقت دارد (Poustini and Siosemardeh, 2004; Sadat Noori and McNeilly, 2003).

بیشترین و کمترین عملکرد دانه تحت شرایط بدون تنش به ترتیب ۹۴۶۹ (لاین $F_8$ شماره۱) و ۳۸۶۹ (رقم روشن) کیلوگرم در هکتار و در شرایط تنش شوری ۵۱۲۵ (لاین $F_8$ شماره ۱) و ۲۲۳۵ (رقم کویر) کیلوگرم در هکتار بود. در هر دو شرایط محیطی میانگین عملکرد دانه در واحد سطح، در لاین‌های تریتیکاله به طور معنی‌داری بیشتر از ارقام گندم بود (جدول‌های ۳ و ۴). Oettler (۲۰۰۵) نیز به برتری تریتیکاله نسبت به گندم در شرایط مطلوب رطوبتی اشاره کرده است. Jessop (۱۹۹۶) نیز به حفظ عملکرد ارقام تریتیکاله در شرایط تنش محیطی اشاره داشته است. در آزمایش حاضر در هر دو شرایط محیطی تفاوت لاین‌های $F_8$ تریتیکاله در مقابل لاین‌های دابل‌هاپلوئید از نظر عملکرد دانه معنی‌دار (جدول ۳ و ۴).

**نتیجه‌گیری:**

در این آزمایش تنش شوری تأثیر معنی‌داری بر تمام صفات گیاهی مورد بررسی داشت. همچنین بین ژنوتیپ ها از نظر کلیه صفات بررسی شده در هر دو شرایط محیطی تفاوت معنی‌داری وجود داشت. در هر دو شرایط محیطی نتایج گویای فعالیت بیشتر آنزیم‌های APX، GR و SOD در لاین‌های تریتیکاله نسبت به ارقام گندم بود. پراکسیداسیون لیپید در لاین‌های تریتیکاله بسیار کمتر از گندم بود. این امر گویای آن است که لاین‌های تریتیکاله به میزان کمتری تحت تأثیر تنش اکسیداتیو قرار گرفته اند. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین فعالیت آنزیم‌های APX و GR با وزن خشک پدانکل در هر دو شرایط محیطی وجود داشت و به نظر می‌رسد فعالیت این دو آنزیم نقش مهمی در حفظ تجمع کربوهیدرات‌های ذخیره‌ای در پدانکل و به تبع آن افزایش عملکرد داشته باشد.

**منابع:**


Akbarian, A., Arzani, A., Salehi, M. and Salehi, M. (2011) Evaluation of triticale genotypes for terminal drought tolerance using physiological traits. Indian Journal of Agricultural Sciences 81: 1110-1115.

Ammar, K., Mergoum, M. and Rajaram, S. (2004) Th history and evolution of triticale. In: Triticale Improvement and Production (eds. Mergoum, M. and Mergoum, H.) 2-9. FAO.

Arnon, A. and Sairam, R. K. (2002) Oxidative stress and anti oxidative systems in plants. Current Science 82: 1227-1238.

Arzani, A. (2008) Improving salinity tolerance in crop plants: a biotechnological view. In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant 44: 373-383.

Asada, K. (1992) Ascorbat peroxidase-a hydrogen peroxide-Scavenging enzyme in plants. Plant Physiology 85: 235-247.

Blachburn, G. A. (1998) Quantifying chlorophylls and caroteniods at leaf and canopy scale. Remote Sensing of Environment 66: 273-285.

Breusgam, F. V., Vranove, E., Dat, J. F. and Inze, D. (2001) The role of active oxygen species in plant signal transduction. Plant Science 161: 405-414.

Carter, A. C. and Knapp, A. K. (2001) Leaf optical properties in higher plants: linking spectral


[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-05-12 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222727.1391.1.2.4.3 ]

Lelley, T. (2006) Triticale: A Low-input Cereal with Untapped Potential. In: Genetic Resources Choromosome Engineering and Crop Improvement (ed. Singh, J. R.) 398-430. CRC Taylor.

Mudgal, V., Madaan, N. and Mudgal, A. (2010) Biochemical Mechanisms of salt Tolerance in Plants: A Review. International Journal of Botany 6: 136-143.

Munns, R. and Tester, M. (2008) Mechanisms of Salinity Tolerance. Annual Review of Plant Biology 59: 651-681.

Nakano, Y. and Asada, K. (1987) Purification of ascorbate peroxidase in spinach chloroplasts, its inactivation in ascorbate-depleted medium and reactivation by monodehydro ascorbate radical. Plant and Cell Physiology 28: 131-140.

Oettler, G. (2005) The fortune of a botanical curiosity-triticale: Past, Present and Future. Journal of Agricultural Science 143: 329-346.

Parida, A. K. and Das, A. B. (2005) Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. Ecotoxicology and Environmental Safety 60: 324-349.

Poustini, K. and Siosemardeh, A. (2004) Ion distribution in wheat cultivars in response to salinity stress. Field Crops Research 85: 25-133.

Rice-Evans, C. A. and Burdon, K. M. (1994) Free radical damage and its control. Elsevier Science BV. Amsterdam. 113-153.

Richards, R. A., Condon, A. G. and Rebetzke, G. J. (2002) Traits to improve yield in dry environments. In: Application of Physiology in Wheat Breeding (eds. Reynolds, M. P., Ortiz-Monastrio, J. I. and Mcnab, A.) 88-101, Mexico.

Sadat Noori, S. A. and McNeilly, S. (2003) The genetic architecture of salt character in bread wheat (morphological characters). Proceedings 10th International Wheat Genetics Symposium, Italy, 3: 1242-1243.

SAS Institute. 1994. The SAS System for Windows. Release 6.10 SAS Institute, Cary, NC. USA.

Stepien, P. and Klobus, G. (2005) Antioxidant defense in the leaves of C3 and C4 plants under salinity stress. Physiologia Plantarum 125: 31-40.

Wallance, D. H., Ozbum, J. L. and Manger, H. M. (1972) Physiological genetics of crop yield. Advances in Agronomy. 24: 97-127.

Yannerelli, G. G., Gallego, S. M. and. Tamaro, M. L. (2006) Effect of UV-B radiation on the activity and isoforms of enzymes with peroxidase activity in sunflower cotyledons. Environmental and Experimental Botany 56: 174-181.

characteristics to stress and chlorophyll concentration. American Jounal of Botany 88: 677-684.

Cheraghi, S. A., Hasheminejhad, M. Y. and Rahimian, M. H. (2009) An overview of the salinity problem in Iran: Assessment and monitoring technology. In: Advances in the assessment and monitoring of salinization and status of biosaline agriculture Reports of expert consultation held in Dubai, United Arab Emirates, 26–29 November 2007. World Soil Resources Reports No. 104. FAO, Rome, p 21-22.

Cheruth A. J., Manivannan, P., Sanker, B., Kumar, A. K. and Panneerselvam, R. (2007) Calcium chloride effects on salinity induced oxidative stress, proline metabolism and indole alkaloid accumulation in *Catharanthus roseus*. Comptes Rendus Biologies 330: 674-683.

Donahue, J. L., Okpodu, C. M., Cramer, C. L., Grabau, E. A. and Alscher, R. G. (1997) Response of antioxidant to paraquat pea leaves. Plant Physiology. 113: 249-257.

El-Hendawy, S. E., Hua, Y., Yakout, G. M., Awad, A. M., Hafizb, S. H. and Schmidhalter, U. (2005) Evaluating salt tolerance of wheat genotypes using multiple parameters. European Journal of Agronomy 22: 243-253.

FAO, (2011) FAO land and plant nutrition management service. Available on line at: http://www.fao.org/ag/agl/agll/spush/. Accessed 25 November 2011

Flowers, T. J. and Yeo, A. R. (1995) Breeding for salinity resistance in crop plants. Where Next?. Australian Journal of Plant Physiology 22: 875-884.

Halliwell, B. (1999) Antioxidant defense mechanism from the beginning to the end. Free Radical Research 31: 261-272.

Hidalgo, A., Brandolini, A., Pompei, C. and Piscozzi, R. (2006) Carotenoids and tocols of einkorn Wheat (*Triticum monococcum* ssp. *monococcum* L.). Journal of Cereal Science 44: 182-193.

Jessop, R. S. (1996) Stress tolerance in newer triticales compared to other cereals. In: Triticale Today and Tomorrow (ed. Guaedes, H.) 419-427. Kluwer Academic Publishers, London.

Kurilich, A., Tsau, J. C., Brown, A., Howard, L., Klein, B. P., Jeffery, E. H., Kushad, M., Walling, M. A. and Juvik, A. (1999) Carotene, tocopherol and ascorbate contents in subspecies of *Brassica oleracea*. Journal of Agricultural and Food Chemistry 47: 1576-1581.

Laspina, N. V., Groppa, M. D., Tomaro, M. L. and Benavides, M. P. (2005) Nitric oxide protects sunflower leaves against Cd-induced oxidative stress. Plant Science 169: 323-330.

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-05-12 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222727.1391.1.2.4.3 ]

# Antioxidant activity and oxidative stress due to salinity in triticale and wheat lines in field condition

**Ahmad arzani[*1] and Maryam Salehi[1]**
[1] Department of agronomy and plant breeding, College of Agricultur, Isfahan University of Techchnology, Iran
*Corresponding Author: a_arzani@cc.iut.ac.ir

**Abstract:**

In this study, the effects of salt stress on the activity of ascorbate peroxidase (APX), glutathione reductase (GR), superoxide dismutase enzymes (SOD), carotenoid content, the rate of lipid peroxidation (LP) in terms of thiobarbituric acid-reactive substances (TBARS) content and grain yield were investigated. Eighteen triticale lines comprising 9 doubled haploid (DH) lines and 9 corresponding $F_8$ lines in comparison with two bread wheat cultivars ('Roshan' as a drought tolerant and 'Kavir' as a salt tolerant cultivar), were used. A randomized complete block design with three replications was used for each environmental condition (non-stressed and salt-stressed conditions) at the Research Farm of College of Agriculture, Isfahan University of Technology in a silty clay loam soil in 2008-2009. Both salt stressed and non-stressed experiments were irrigated with water having EC of 1 dS $m^{-1}$ until mid-jointing stage (43 growth stage of Zadoks scale), and afterward salt-stressed experiment was irrigated with saline water containing 175 mM NaCl and EC= 16 dS $m^{-1}$. Salinity led to an increase in the enzyme activities and LP and a decrease in carotenoid content in the leaves of both triticale and wheat genotypes. An inverse and significant relationship between grain yield loss due to salinity stress with carotenoid content was observed ($r = -0.54^{*}$). Under both conditions, negative and significant correlations ($r = -0.61^{**}$) were observed between grain yield and LP. The orthogonal comparison between triticale line and wheat cultivars revealed the superiority of triticale lines for the production of antioxidants and less LP in triticale than wheat under both environmental conditions, which might be related to the development of relatively higher salt tolerant in triticale.

**Keywords**: ascorbate peroxidase enzyme (APX), glutathione reductase enzyme (GR); lipid peroxidation, superoxide dismutase enzyme (SOD), Triticale; Wheat.

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-05-12 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222727.1391.1.2.4.3 ]