واکنش ژنوتیپ‌های مختلف گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*) به تنش خشکی

مریم نوری[۱]، علیرضا مطلبی آذر[۱]، مهدی صیدی[۲*]، جابر پناهنده[۱] و داوود زارع حقی[۳]

[۱] گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، [۲] گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام و [۳] گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۱۷، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۸/۰۵/۲۲)

چکیده

واکنش دوازده هیبرید گوجه¬فرنگی و والدین آنها به تنش خشکی به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی و در سه تکرار و سه سطح تنش (S1: ظرفیت زراعی خاک، S2: ۴۰٪ رطوبت زراعی و S3: ۶۰٪ رطوبت زراعی) مورد ارزیابی قرار گرفت. والدین مورداستفاده شامل: (T1:LA1607 (*S. pimpinellifolium*)، T2: LA2656 (*pimpinellifolium*)، T3:LA2080 (*S. lycopersicum*، T4:LA1579 (*S. pimpinellifolium*، var. cerasiforme)، L1:Bitstoik، L2:Kingstone، L3:Petoearly بودند که به‌روش لاین در تستر تلاقی داده شدند. آزمایش‌های مربوط به تلاقی‌ها و کشت بذر و نشا در گلخانه و مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام در طی سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۵ انجام شدند. صفات مورد مطالعه شامل پرولین، مالون دی‌آلدئید، کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، پراکسیداز، محتوای نسبی آب، کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل، نشت یونی، عملکرد کل، عملکرد بالقوه و عملکرد تک بوته بودند. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تنش کم‌آبی اثر معنی‌داری روی تمام صفات مورد بررسی داشت. افزایش میزان پرولین و مالون دی‌آلدئید در تمامی ژنوتیپ‌ها در اثر افزایش سطح تنش کم‌آبی مشاهده شد. بیشترین میزان پرولین در تنش سطح ۶۰ درصد (۳۱/۹۳ میکرومول بر گرم وزن تر) در هیبرید Petoearly × LA2080 مشاهده شد. با افزایش تنش کم‌آبی، محتوای نسبی آب، عملکرد کل، عملکرد بالقوه، عملکرد تک بوته، کلروفیل a، b و کل، کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز کاهش و پرولین، نشت یونی و پراکسیداز افزایش نشان دادند. در تنش سطح ۶۰ درصد بیشترین عملکرد کل (۱۵/۷۴ تن در هکتار) مربوط به هیبرید Petoearly × LA2656، لاین Petoearly (۱۹ تن در هکتار) و تستر LA1579 (۳۲ تن در هکتار) بود.

کلمات کلیدی: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی، کم‌آبیاری، گوجه‌فرنگی

مقدمه

گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*, 2n=24) از سبزی‌های مهم و پرمصرف خانواده سولاناسه در ایران و سرتاسر جهان است که بعد از سیب‌زمینی از نظر اقتصادی مقام دوم دنیا را دارد. از جنس Lycopersicon تنها گونه‌های lycopersicum (گوجه معمولی) و *Solanum pimpinellifolium* کشت می‌شود (Rashid, 1999). ایران با تولید ۵۲۵۶۱۱۰ تن گوجه‌فرنگی در سال به‌عنوان هفتمین تولیدکننده گوجه‌فرنگی در جهان است (Anonymous, 2014). از بین تنش‌های غیرزیستی، تنش خشکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید سبزی‌ها در دنیا

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: msaidi@ilam.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-12-09]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.15.8]

شناخته می‌شود. با توجه به محدودیت منابع آبی در ایران و نیاز آبی بالای گوجه‌فرنگی در طی دوره تولید گل و رشد میوه هر گونه تنش خشکی کاهش چشمگیر عملکرد گوجه‌فرنگی را در پی دارد. با استفاده از روش تنش کم‌آبیاری که شامل حد مجاز کاهش عملکرد با کاهش مصرف آب است می‌توان از آب موجود استفاده بهینه را کرد (توکلی، ۱۳۷۶). در اثر تنش خشکی عملکرد کل Locascio و Smajstrla (۱۹۹۶) پتانسیل آب برگ، محتوای نسبی آب برگ، ساخت پروتئین، مقدار کلروفیل، هدایت روزنه‌ای و میزان فتوسنتز گیاهان کاهش می‌یابد (Rauf, 2008). گیاهان متحمل به تنش خشکی تنظیم اسمزی را از طریق افزایش غلظت اسیدهای آمینه، پلی‌آمین‌ها و کربوهیدارات‌های محلول انجام می‌دهند. در طی این فرآیند، افزایش تجمع قندهای محلول با افزایش فشار اسمزی موجب حفظ آماس و توانایی سلول در جذب آب و افزایش مقاومت سلول‌ها در برابر عبور آب می‌شود (Morgan, 1992). اسید آمینه پرولین یکی از معمول‌ترین تنظیم کننده‌های اسمزی است که در واکنش به تنش‌های محیطی مختلف به محض کاهش میزان آب سلول در اثر کاهش قدرت سلول برای جذب آب در گیاهان عالی تجمع می‌یابد (Al-hamdani and bargar, 2003). Hassan Khan و همکاران (۲۰۱۵)، در بررسی اثر تنش خشکی بر گوجه‌فرنگی افزایش مقدار پرولین را گزارش کردند. Anastasia و همکاران (۲۰۱۳) ارتباط بین افزایش مقدار مالون دی‌آلدئید را با افزایش میزان نفوذپذیری سلول به جهت صدمه به دیواره سلولی و پراکسیداسیون چربی‌های غیراشباع غشا سلولی در گیاهان گوجه‌فرنگی تحت تنش خشکی گزارش کردند.

تولید گونه‌های اکسیژن فعال (Reactive Oxygen Species) شامل هیدروژن پراکسید (H_2O_2)، رادیکال سوپراکسید (O_2^-)، پراکسی (ROO)، رادیکال‌های هیدروکسیل (OH) و اکسیژن منفرد (RO) با خاصیت تخریب اکسنده در شرایط تنش زیستی و غیرزیستی توسط محققین مختلف گزارش شده است (Bhattacharjee, 2005). گیاهان عالی و موجودات هوازی با داشتن انواع روش‌های دفاعی آنزیمی و غیرآنزیمی قادر به کنترل میزان تولید گونه‌های اکسیژن فعال دارای فعالیت مخرب اکسنده و حفاظت سلول در برابر انواع مختلف تنش‌های محیطی مختلف شده‌اند به‌طوری که وجود این مکانیزم‌های دفاعی در گیاهان مختلف مانند برنج توسط Guo و همکاران (۲۰۰۶) و گوجه‌فرنگی Mittova و همکاران (۲۰۰۰) گزارش شده است. در بررسی اثر تنش خشکی روی دو رقم گوجه‌فرنگی کاهش کلروفیل a و b تحت تنش در سطح ۴۰ درصد و ۶۰ درصد توسط Ghorbanli و همکاران (۲۰۱۳) گزارش شد. مولوی و همکاران (۱۳۹۰) کاهش شاخصه‌های فیزیولوژیکی نظیر عملکرد، طول ریشه، وزن خشک ریشه، ارتفاع گیاه و تعداد میوه را در گیاه گوجه‌فرنگی تحت تیمار کم‌آبیاری گزارش کردند. هدف از این پژوهش شناسایی بهترین هیبرید گوجه‌فرنگی حاصل از تلاقی بین ارقام متحمل و حساس به کم‌آبی از نظر قابلیت عملکرد، کیفیت، میزان کربوهیدرات‌ها و محلول‌های سازگار در پاسخ به تنش خشکی در شرایط مزرعه بود.

مواد و روش‌ها

ژنوتیپ‌های گوجه‌فرنگی مورد استفاده در این طرح پژوهشی (L1T1، L1T2، L1T3، L1T4، L2T1، L2T2، L2T3، L2T4، L3T1، L3T2، L3T3، L3T4) حاصل از تلاقی لاین‌های والدینی حساس به کم‌آبی (L1: Bitstoik, L2: Kingstone, L3:Petoearly) و تسترهای متحمل به کم‌آبی T1: LA1607، T2: LA2656، T3: LA2080، T4: LA1579 بودند. لاین‌ها و تسترهای مورد استفاده در این تحقیق به‌ترتیب از محل گروه باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام و مرکز تحقیقات ژنتیک گوجه‌فرنگی (TGRC) تهیه شد. این تحقیق به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی در سه تکرار و سه سطح تنش (S1: ظرفیت زراعی خاک، S2: ۴۰٪ رطوبت زراعی و S3: ۶۰٪ رطوبت زراعی) در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه ایلام طی سال‌های ۹۵-۹۳ انجام شد. ابتدا عملیات کاشت بذور ارقام موردنظر در شاسی انجام و در مرحله ۲-۴ برگی نشاهای گوجه‌فرنگی به گلدان منتقل شدند.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-12-09]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.15.8]

با شروع دوره گلدهی تلاقی بین لاین‌ها و تسترهای مختلف انجام شد و سال بعد بذور حاصل برای تهیه نشا در گلخانه کشت شدند. عملیات انتقال نشا گوجه¬فرنگی دو ماه بعد انجام شد. فاصله بوته روی ردیف‌ها ۳۰ سانتی‌متر و بین ردیف‌ها ۷۵ سانتی‌متر لحاظ گردید. آبیاری با استفاده از نوارهای تیپ انجام شد. اعمال تنش پس از استقرار کامل گیاهان در مزرعه صورت گرفت.

نحوه تنظیم تیمارهای رطوبتی: رطوبت در خاک تا زمان استقرار گوجه‌فرنگی در مزرعه در محدوده ظرفیت مزرعه‌ای نگه‌داشته شد. پس از اطمینان از استقرار گیاه، تیمارهای رطوبتی اعمال گردید. برای اندازه‌گیری رطوبت در گلدان از حسگرهای با طول۲ سانتی‌متر، عرض ۱ میلی‌متر و ارتفاع ۷ سانتی‌متر (حسگر بلوک) و دستگاه اهم‌متر استفاده شد و منحنی کالیبره تبدیل مقاومت حسگر به رطوبت برای خاک مورد تحقیق رسم گردید. با اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی با دستگاه اهم‌متر و قراردادن آن در منحنی کالیبره مقدار رطوبت خاک به‌دست آمد. در هر گلدان دو حسگر جهت خواندن مقاومت قرار داده شد، با میانگین‌گیری از دو حسگر رطوبت هر گلدان تعیین گردید. مثلاً برای رطوبت ۰/۵ FC–۰/۷۵ FCزمانی که میانگین مقاومت به‌دست آمده از حسگرها به مقدار مربوط به رطوبت ۰/۵ FCرسید آبیاری آن تیمار انجام شد. اعمال تیمارهای آبیاری به شرح زیر انجام شد:

الف– نگهداری رطوبت خاک گلدان در محدوده ظرفیت مزرعه‌ای (FC-FC ۰/۸۵) بماند.

ب– نگهداری رطوبت خاک گلدان در محدوده (FC ۰/۶- FC ۰/۵) آبیاری در این تیمار رطوبتی موقعی صورت گرفت که رطوبت خاک به حد پایین دامنه تعیین شده یعنی FC ۰/۵ رسید.

ج– نگهداری رطوبت خاک گلدان در محدوده (FC ۰/۴ -FC ۰/۳) آبیاری در این تیمار رطوبتی موقعی صورت گرفت که رطوبت خاک به حد پایین دامنه تعیین‌شده یعنی FC ۰/۳ رسید.

به‌منظور ارزیابی ژنوتیپ‌های مختلف تحت تنش خشکی برخی صفات فیریولوژیکی و زراعی آنها از قبیل: محتوای کلروفیل، محتوای مالون دی‌آلدئید، پرولین، آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز، مواد جامد محلول کل، نشت یونی، محتوی نسبی آب برگ، عملکرد کل، عملکرد بالقوه و عملکرد تک بوته اندازه‌گیری شدند. محاسبه عملکرد کل از مجموع وزن محصول حاصل از برداشت‌های متوالی برای تمام بوته‌های هر تکرار و تقسیم آن بر تعداد بوته‌های موجود در هر تکرار (۱۰ بوته) به‌دست آمد. برای محاسبه عملکرد بالقوه مجموع وزن محصول حاصل از تمامی برداشت‌ها برای پنج بوته منتخب از هر تکرار استفاده شد. برای اندازه‌گیری کلروفیل از روش Strain و Svec (۱۹۶۶) استفاده شد. در این روش ابتدا ۰/۱ گرم بافت تازه برگ را با استفاده از ۵ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد در هاون چینی کاملاً ساییده تا توده یکنواختی به‌دست آید. مخلوط حاصل را به یک فالکون منتقل کرده و به‌مدت ۳۰ دقیقه در ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ نمودیم. پس از سانتریفیوژ، محلول رویی را برداشته و در طول‌موج لازم میزان جذب خوانده شد. نمونه شاهد شامل استون ۸۰ درصد بود. میزان کلروفیل بر طبق فرمول‌های زیر و بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه شد.

Chlorophyll a (mg/g FW) = 12.7(A663) - 2.69(A645)
Chlorophyll b (mg/g FW) = 22.9 (A645) - 4.68(A663)
Chlorophyll T (mg/g FW) = 20.2(A645) + 8.02(A663)

برای اندازه‌گیری میزان پراکسیده‌شدن لیپیدهای غشا و محتوی مالون دی‌آلدئید تولیدی از آن از روش Zhang و همکاران (۲۰۰۴) استفاده شد. در این روش ابتدا ۰/۲۵ گرم از بافت تازه برگ فریزشده در ازت مایع در ۵ میلی‌لیتر از تری‌کلرو استیک اسید ۰/۱ درصد ساییده و همگن‌سازی شد و در دستگاه سانتریفیوژ در دور ۱۰۰۰۰ در دقیقه به‌مدت ۵ دقیقه قرار داده شد. به یک میلی‌لیتر از محلول رویی ۴ میلی‌لیتر تری‌کلرو استیک اسید ۲۰ درصد حاوی ۰/۵ گرم تیوباربیتوریک اسید اضافه و سپس به‌مدت ۳۰دقیقه در دمای ۹۵ درجه در دستگاه بن‌ماری قرار گرفت و بعد در یخ قرار داده و نهایتاً میزان جذب در طول‌موج‌های ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر خوانده شد.

MDA(nmol/g F.)=[(532nm-600nm)/(Quvete Diameter × Quenching Factor)] × (Diluation Factor)

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-12-09]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.15.8]

اندازه‌گیری میزان نشت یونی حاصل از تخریب نشا به روش Hamed و همکاران (۲۰۰۷) بود. ۰/۲ گرم از بافت سالم و تازه برگ گیاه را بعد از شستشو با آب‌مقطر درون لوله آزمایش قرار داده و به آن ۱۰ میلی‌لیترآب‌مقطر اضافه گردید. سپس لوله آزمایش را به‌مدت ۲ ساعت به حمام آب‌گرم با دمای ۳۲ درجه سانتی‌گراد منتقل و میزان هدایت الکتریکی نمونه‌ها (EC1) اندازه‌گیری شد. سپس لوله‌های آزمایش به‌مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد و فشار یک اتمسفر اتوکلاو شده و بعد از خنک‌شدن لوله‌ها تا دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، میزان هدایت الکتریکی نمونه‌ها (EC2) دوباره اندازه‌گیری و یادداشت شد. و با استفاده از رابطه زیر درصد نشت یونی محاسبه گردید.

نشت یونی٪ = (EC1/EC2) × 100

برای تعیین محتوای نسبی آب ابتدا تعدادی مساوی برگ سالم و جوان از هر نمونه انتخاب و جدا گردید و بلافاصله نمونه‌ها در محیط آزمایشگاهی به‌وسیله ترازو (با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم) وزن شدند (FW). سپس به‌مدت ۵-۴ ساعت در آب‌مقطر (جهت آبگیری واشباع کامل) و در محیط آزمایشگاهی با دمای تقریبی ۲۲ درجه سانتی‌گراد نگه‌داری و با استفاده از کاغذ صافی آب سطحی را خشک و مجدداً توزین شده و (TW) یاداشت گردید. پس از آن برگ‌ها به‌مدت ۴۸ ساعت و در دما ۷۰ درجه سانتی‌گراد در داخل آون قرار داده شدند. پس از این مدت نمونه‌ها توزین تا وزن خشک به‌دست آید (DW). از رابطه زیر محتوای آب نسبی برگ محاسبه گردید (Wheutherley, 1950)

RWC = (FW – DW) / (TW – DW) × 100

استخراج و اندازه‌گیری پرولین با استفاده از معرف نین‌هیدرین و به‌روش Battes و همکاران (۱۹۷۳) انجام شد. برای این منظور ابتدا مقدار ۰/۲ گرم برگ توزین و در هاون چینی با ۳ میلی‌لیتر از سولفوسالیسیلیک اسید ٪ ۳ ساییده شد و با دور ۱۲۰۰۰ به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس به ۲ میلی‌لیتر از عصاره صاف‌شده ۲ میلی‌لیتر معرف نین‌هیدرین و ۲ میلی‌لیتر استیک اسید گلاسیل اضافه و به‌مدت ۱ ساعت در آب جوش ۱۰۰ درجه قرار گرفتند. پس از سردکردن لوله‌ها به هر کدام ۴ میلی‌لیتر تولوئن اضافه شد و با استفاده از دستگاه ورتکس به‌مدت ۱۵ تا ۲۰ ثانیه لوله‌ها تکان داده شدند. محلول رویی حاصل را برداشته و همزمان با نمونه‌های استاندارد در دستگاه اسپکتروفتومتر قرار داده شد. خواندن میزان جذب در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر انجام و غلظت پرولین بر حسب میلی‌گرم بر گرم بافت تازه برگ با استفاده از منحنی استاندارد تعیین گشت.

سنجش میزان فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT): برای این منظور ابتدا بافر استخراج که شامل (۵۰ میلی‌لیتر بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار (pH=۶) تهیه و ۴ گرم پودر pvp اضافه شد) آماده شد و بعد به ۱۰۰ میلی‌گرم بافت برگ یک میلی‌لیتر از بافر استخراج اضافه شده و در دمای چهار درجه سانتی‌گراد هموژنیزه شده و این محلول را به‌مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه و دمای چهار درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شده و بعد ۳ میلی‌لیتر بافر فسفات ۱۰۰ میلی‌مولار (pH=۶) و ۴۰ میکرولیتر محلول ۳۰ میلی‌مولار آب‌اکسیژنه (H_2O_2) با هم مخلوط گردید. سپس ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره آنزیمی را اضافه نموده و با گذشت ۵ دقیقه از شروع واکنش در دمای آزمایشگاه، با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر میزان جذب در طول‌موج ۲۴۰ نانومتر یادداشت گردید. اعداد جذب بر عدد ضریب خاموشی هیدروژن پراکسید (۳۹/۴ میکرومول بر سانتیمتر) تقسیم و فعالیت آنزیم کاتالاز براساس میکرومول H_2O_2 تولیدشده در دقیقه بیان شد (Aebi, 1984).

سنجش میزان فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز (POX): بافر استخراج این آنزیم علاوه بر ۴/۵۱ میکرولیتر H_2O_2 (٪۳۰)، حاوی ۳/۳۵ میکرولیتر گویاکول (Guacol) در داخل هر کووت شاهد و نمونه بود.

طول‌موج جذب اسپکتروفتومتر روی ۴۷۰ نانومتر تنظیم شد. مدت زمان لازم برای تثبیت کامل‌شدن تأثیر آنزیم POX داخل کووت نمونه ۲ دقیقه در نظر گرفته شد (Aebi, 1984).

سنجش میزان فعالیت آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز (APX): بافر استخراج آنزیم آسکوربات پراکسیداز مشابه بافر آنزیم کاتالاز به اضافه محلول ۵ میلی‌مولار آسکوربات بود.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-12-09]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.15.8]

برای تهیه این غلظت آسکوربات ۰/۲۶۴۱ گرم از آن در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب حل شد. و بعد ۳ میلی‌لیتر بافر اولیه را داخل هر کووت ریخته و به‌ترتیب به هر کدام ۴/۵۱ میکرولیتر H_2O_2 (۳۰٪) و ۱۰۰ میکرولیتر از محلول ۵ میلی‌مول آسکوربات اضافه شد. دستگاه اسپکتروفتومتر روی طول‌موج ۲۹۰ نانومتر تنظیم و عدد صفر خوانده شد و سپس ۵۰ میکرولیتر از عصاره به داخل کووت نمونه اضافه شد و پس از همزدن دوباره داخل اسپکتروفتومتر قرار داده شد و پس از ۳۰ ثانیه خواندن انجام گرفت. مکانیسم جذب نور در سنجش فعالیت این آنزیم بر مبنای غلظت آسکوربات محلول است لذا با افزایش فعالیت آنزیم APX و کاهش غلظت روند شدت جذب نزولی مشاهده شد (Aebi, 1984) و (Chance *et al*., 1955). تجزیه واریانس داده‌ها به‌صورت طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با نرم‌افزار SAS انجام و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات مورد ارزیابی در ژنوتیپ‌های مورد بررسی (لاین‌ها، تسترها و هیبریدها) (جدول ۱) نشان داد که اثر تنش کم‌آبی و اثر متقابل ژنوتیپ × تنش روی تمام صفات مورد بررسی معنی‌دار بود. معنی‌دارشدن اثر متقابل یک صفت حاکی ازمتأثرشدن صفت مذکور ناشی از تنش خشکی می‌تواند باشد و میزان تأثیرآن بر ژنوتیپ‌های مختلف یکسان نیست (عارفی و همکاران، ۱۳۹۴).

مالون دی‌آلدئید: به‌طور کلی میزان مالون دی‌آلدئید در همه ژنوتیپ‌ها متأثر از تنش کم‌آبی بود و با افزایش سطح تنش میزان آن نیز افزایش نشان داد (جدول ۲) که این افزایش در مورد لاین‌های حساس بالا و در مورد ژنوتیپ‌های متحمل یعنی تسترها کمتر بود. در بین هیبریدها بیشترین میزان آن (۰/۴۸ نانومول بر گرم وزن تر) در سطح تنش شدید کم‌آبی (S3) در هیبرید L3T2 و کمترین میزان (۰/۲۶ نانومول بر گرم وزن تر) در هیبرید L2T1 مشاهده شد. اسیدهای چرب و لیپیدها حساسیت زیادی به اکسیژن دارند و به سرعت اکسیده می-شوند، از آنجایی که ساختار غشای سلول فسفولیپیدی است، واکنش آن با اکسیژن سبب تخریب غشای سلولی، افزایش میزان مالون دی‌آلدئید و به‌دنبال آن نشت یون‌ها به بیرون سلول می‌شود (Ghorbanli *et al*., 2013).

قنبری و سیاری (۱۳۹۶)، در یک آزمایش نشان دادند که پیش‌تیمار نشاهای خیار و گوجه¬فرنگی در شرایط تنش سرما و با استفاده از پلی‌اتیلن گلایکول با حفظ ساختار غشای سلولی و میزان نفوذپذیری انتخابی سلول‌ها موجب کاهش میزان مالون دی‌آلدئید شد. در دو رقم گوجه‌فرنگی افزایش مقدار پرولین، پراکسیداسیون چربی‌ها و مالون دی‌آلدئید با افزایش شدت تنش خشکی گزارش و معلوم شد که رقم حساس‌تر مقدار مالون دی‌آلدئید بیشتری داشت (Celik *et al*., 2017).

سیر صعودی میزان پرولین با افزایش سطح تنش کم‌آبی در تمام ژنوتیپ‌ها و در تسترهای متحمل بیشتر از لاین‌های حساس به تنش کم‌آبی بود. در بین لاین‌های مورد بررسی بیشترین مقدار پرولین (۱۹ میکرومول بر گرم وزن تر) در سطح تنش ۶۰ درصد در لاین L3 و از بین تسترها بیشترین میزان آن (۲۶ میکرومول بر گرم وزن تر) در تستر T3 و کمترین میزان آن (۱۳/۳۳ میکرومول بر گرم وزن تر) در تستر T4 مشاهده شد. از بین هیبریدهای حاصل نیز (L3T3) × LA2080 Petoearly در شرایط سطح تنش ۶۰ درصد و ۴۰ درصد بیشترین (۳۱/۳۳ میکرومول بر گرم وزن تر) میزان پرولین را داشت. تجمع پرولین یک واکنش معمول در بسیاری از تنش‌های زیستی و غیرزیستی است و هیبریدهای متحمل با کنترل خسارت اکسیداتیو و ممانعت از تخریب غشا نسبت به والدین و دیگر هیبریدهای حساس نشت یونی کمتر و میزان پرولین بیشتری داشتند. نتایج نشان می‌دهد که کاهش میزان محتوی نسبی آب و افزایش نشت الکترولیتی غشای سلولی به‌دلیل آسیب وارده به آن تولید پرولین را افزایش می‌دهد. بنابراین گیاه گوجه‌فرنگی تحت تنش خشکی با افزایش تجمع اسمولیت‌های سازگارکننده‌ای مانند پرولین، باعث تنظیم اسمزی سلول، حفظ تورژسانس سلولی و کاهش خسارت به غشای سلولی و جلوگیری از تخریب آنزیم‌ها و افزایش تحمل

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-12-09]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.15.8]

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات مختلف زراعی و فیزیولوژیکی در گوجه‌فرنگی در شرایط تنش کم‌آبی

منابع تغییرات	درجه آزادی	تجزیه واریانس			
		مالون دی‌آلدئید	کاتالاز	آسکوربات پراکسیداز	پراکسیداز
بلوک	۲	۰/۰۰۰۰۳ ns	۰/۰۰۰۰۲۴ ns	۱/۰۰۰۴۷ ns	۰/۰۰۸۱ ns
تنش خشکی	۲	۱/۶۴ **	۱/۹۸ **	۱/۰۳ **	۲/۸۷ **
خطای اصلی	۴	۰/۰۰۰۰۵۹ ns	۰/۰۰۰۰۷۳ ns	۰/۰۰۰۷ ns	۰/۰۰۵۶ ns
ژنوتیپ	۱۸	۰/۱۸۷ **	۰/۲۵۰۹ **	۰/۱۳۸ **	۰/۳۹۸ **
ژنوتیپ × تنش	۳۶	۰/۰۷۳ **	۰/۰۸۶ **	۰/۰۴۲ **	۰/۳۰۴ **
خطای فرعی	۱۰۸	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۴۶	۰/۰۰۵۸
CV	-	۱/۴	۱/۱۲	۱/۵۷	۴/۸۸

***، ** و ns به‌ترتیب: معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد و غیرمعنی‌دار**

ادامه جدول ۱-

منابع تغییرات	درجه آزادی	تجزیه واریانس				
		محتوی نسبی آب	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	نشت یونی
بلوک	۲	۵/۸۰ ns	۰/۵۰۲۶ ns	۰/۱۱۴ ns	۰/۰۸۸ ns	۰/۲۲۴ ns
تنش خشکی	۲	۲۳۰۲/۸۸ **	۹۱۴/۳ **	۵۸۸/۴۴ **	۲۵۶۹/۴ **	۱۳۰۷۱/۴ **
خطای اصلی	۴	۰/۳۶۹ ns	۰/۳۶۱ ns	۰/۱۸۶ ns	۱/۱۳۲ *	۰/۷۲۰ ns
ژنوتیپ	۱۸	۸۴۲/۹ **	۶۱/۶۹ **	۳۰/۶۹ **	۱۳۲/۰۹ **	۱۰۰۷/۵ **
ژنوتیپ × تنش	۳۶	۲۱۰/۳ **	۱۹/۸۷ **	۱۰/۵۴ **	۴۰/۰۵ **	۲۷۷/۳۷ **
خطای فرعی	۱۰۸	۱/۴۴	۰/۲۳۱	۰/۱۰۲۲	۰/۳۸۸	۰/۴۰۲
CV	-	۱/۷۴	۱/۹۳	۲/۴۶	۱/۶۶	۱/۰۵

***، ** و ns به‌ترتیب: معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد و غیرمعنی‌دار**

به تنش در تسترهای مورد مطالعه می‌شود. محققین متعدد افزایش مقدار پرولین را در گیاهان گوجه‌فرنگی در واکنش به تنش کم‌آبی گزارش کرده و با بیان وجود ارتباط بین افزایش تجمع پرولین و تحمل به تنش کم‌آبی در گوجه‌فرنگی پیشنهاد کردند که پرولین می‌تواند به‌عنوان یک نشانگر خوب برای نشان‌دادن تأثیر تنش کم‌آبی بر گیاه گوجه‌فرنگی باشد (Al-hassan *et al.*, 2015) و (Sanchez-Rodrıguez *et al.*, 2010). نقش مؤثر پرولین در مهار رادیکال هیدروکسیل و درنتیجه آن کاهش صدمه ناشی از گونه‌های اکسیژن فعال بر چربی و پروتئین غشا، آنزیم‌ها و DNA در گیاهان تحت تنش گزارش شد (Anjum *et al.*, 2009).

کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز (CAT و APX): به‌طور کلی مقادیر این آنزیم‌ها در اثر تنش کم‌آبی در تمامی ژنوتیپ‌های مورد بررسی روندی کاهشی با افزایش سطح تیمار کم‌آبی نشان داد. نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۲) برای آسکوربات پراکسیداز نشان داد که، از بین لاین‌های مورد ارزیابی بیشترین و کمترین میزان (به‌ترتیب ۱/۷۶ و ۱/۳۳ میکرومول بر گرم وزن تر) در سطح بدون تنش و سطح تنش ۶۰ درصد در لاین L1 و از بین تسترها بیشترین مقدار (۱/۸۷ میکرومول بر گرم وزن تر) در سطح بدون تنش کم‌آبی در تستر T1 و کمترین آن (۱/۴۳ میکرومول بر گرم وزن تر) در سطح تنش ۶۰ درصد در تستر T2 بود. مقدار آنزیم کاتالاز نیز

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-12-09]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.15.8]

جدول ۲- مقایسه میانگین ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی در سطوح مختلف تنش کم‌آبی

تنش / ژنوتیپ	نشت یونی (٪)			مالون دی‌آلدئید (نانو مول/ گرم وزن تر)		
	S3	S2	S1	S3	S2	S1
L1	۰/۵۶^{h}	۰/۴۳^{m}	۰/۱۸^{yz}	۶۹/۱۳^{n}	۶۲/۹۶^{p}	۴۸/۲۶^{z}
L2	۰/۵۴^{i}	۰/۵۱^{j}	۰/۱۸^{yz}	۶۷/۱۰^{ij}	۶۰/۶۳^{m}	۴۷/۱۳^{cd}
L3	۰/۴۶^{l}	۰/۴۱^{lm}	۰/۱۹$^{u-w}$	۶۸/۲۰^{f}	۶۲/۳۰^{r}	۴۸/۵۰^{s}
T1	۰/۱۹^{xyz}	۰/۱۸$^{v-x}$	۰/۱۱^{h}	۵۴/۸۳^{vw}	۴۴/۸۰^{b}	۳۶/۵۳^{g}
T2	۰/۲۱^{t}	۰/۲۰^{u}	۰/۱۴^{cd}	۵۲/۲۰^{y}	۴۵/۹۶^{a}	۳۷/۰۰^{g}
T3	۰/۲۲^{yz}	۰/۱۸^{yz}	۰/۱۲^{ef}	۵۵/۱۳^{v}	۴۲/۴۰^{x}	۳۳/۵۶^{h}
T4	۰/۲۰^{uv}	۰/۱۸^{az}	۰/۱۲^{fg}	۵۳/۳۳^{u}	۴۶/۵۰^{vw}	۳۴/۵۰^{h}
L1T1	۰/۳۶^{o}	۰/۳۳^{p}	۰/۱۳^{e}	۵۸/۱۳^{p}	۴۶/۸۳^{t}	۳۵/۱۳^{h}
L1T2	۰/۳۹^{d}	۰/۲۳^{f}	۰/۱۴^{d}	۵۷/۱۰^{e}	۴۶/۶۰^{g}	۳۴/۰۶^{j}
L1T3	۰/۳۷^{b}	۰/۲۶^{g}	۰/۱۲^{fg}	۵۲/۱۰^{b}	۴۴/۳۰^{n}	۳۶/۰۶^{xy}
L1T4	۰/۴۳^{e}	۰/۴۱^{j}	۰/۱۳^{e}	۵۱/۳۶^{c}	۴۲/۵۰^{k}	۳۷/۰۳^{ij}
L2T1	۰/۲۶^{r}	۰/۱۳^{e}	۰/۱۳^{e}	۵۱/۱۶^{m}	۴۴/۹۱^{q}	۳۸/۳۰^{f}
L2T2	۰/۲۹^{j}	۰/۱۵^{c}	۰/۱۳^{e}	۵۰/۶۳^{l}	۴۵/۵۰^{m}	۴۰/۳۳^{y}
L2T3	۰/۳۱^{a}	۰/۱۹$^{w-y}$	۰/۱۱^{h}	۴۹/۶۶^{m}	۴۴/۴۰^{r}	۴۱/۹۰^{xy}
L2T4	۰/۳۹^{c}	۰/۱۷^{ab}	۰/۱۵^{c}	۵۲/۸۳^{r}	۴۹/۱۶^{z}	۴۳/۸۰^{bc}
L3T1	۰/۲۵^{s}	۰/۱۷^{b}	۰/۱۱^{h}	۵۱/۴۰^{gh}	۴۳/۴۰^{de}	۴۱/۸۰^{e}
L3T2	۰/۴۸^{g}	۰/۲۶^{h}	۰/۱۵^{k}	۵۰/۷۰^{d}	۴۷/۸۰^{hi}	۴۳/۸۳^{h}
L3T3	۰/۲۹^{q}	۰/۲۶^{r}	۰/۱۴^{d}	۴۸/۷۰^{o}	۴۳/۶۳^{o}	۴۱/۰۶^{w}
L3T4	۰/۲۹^{n}	۰/۲۲^{t}	۰/۱۱^{gh}	۵۰/۹۰^{a}	۴۲/۲۴^{fg}	۳۹/۲۰^{jk}

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار هستند.

لاین‌ها: L1:Bitstoik، L2:Kingstone، L3:Petoearly و تسترها: T1:LA1607، T2:LA2656، T3:2080، T4:LA1579

با افزایش سطح کم‌آبی روندی کاهشی داشت. از بین لاین‌ها و تسترهای مورد بررسی بیشترین میزان آن به لاین L3 و تستر T3 در شرایط بدون تنش اختصاص داشت. مقایسه میانگین اثر متقابل هیبریدها نشان داد که بیشترین مقدار کاتالاز در هیبرید L1T4 در سطح بدون تنش (S1) مشاهده شد. کمترین میزان آن (۰/۴۵ میکرومول بر گرم وزن تر) در سطح تنش ۶۰ درصد و در هیبرید L1T1 (۰/۸۹ میکرومول بر گرم وزن تر) ثبت شد. Iqbal و Bano (۲۰۰۹) افزایش فعالیت آنزیم‌های اکسنده کاتالاز و پراکسیداز را ناشی از کاهش پایداری غشا سلولی در گیاهان تحت تنش خشکی گزارش کردند. افزایش آنزیم آسکوربات پراکسیداز در اثر تنش‌های محیطی مانند خشکی، گرما، سرما و شوری را می‌توان به استفاده از آسکوربیک اسید برای تخریب و کاهش میزان هیدروژن پراکسید و دانست (Turkan, 2005). در بین هیبریدها بیشترین مقدار آسکوربات پراکسیداز (۲/۰۸ میکرومول بر گرم وزن تر) در شرایط آبی S1 به هیبرید L3T4 و کمترین آن (۱/۰۲۳ میکرومول بر گرم وزن تر) به هیبرید L2T3 در سطح تنش ۶۰ درصد اختصاص یافت. افزایش سطح آنزیم‌های کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز در

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-12-09]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.15.8]

ادامه جدول ۲-

تنش / ژنوتیپ	پرولین (میکرومول/ گرم وزن تر)			پراکسیداز (میکرومول/ گرم وزن تر)		
	S1	S2	S3	S1	S2	S3
L1	۱۱/۶۶^{abz}	۱۷/۱۶^{mn}	۱۸/۲۰^{lm}	۱/۰۱^{k}	۱/۳۳^{f}	۱/۵۲^{wx}
L2	۱۲/۹۳$^{v-y}$	۱۷/۰۰^{no}	۱۸/۳۳^{l}	۱/۰۷^{i}	۱/۴۲^{b}	۱/۵۶^{u}
L3	۱۱/۹۰$^{a-z}$	۱۴/۰۰^{c}	۱۹/۰۰^{a}	۱/۰۴^{j}	۱/۴۲^{b}	۱/۵۹^{t}
T1	۱۵/۳۳$^{w-z}$	۱۹/۴۰$^{w-z}$	۲۷/۳۳$^{q-u}$	۱/۳۶^{d}	۱/۶۷^{l}	۱/۸۳^{de}
T2	۱۴/۷۶^{az}	۲۱/۳۰^{vw}	۲۵/۶۶^{qrs}	۱/۴۴^{a}	۱/۶۳^{pq}	۱/۸۱^{f}
T3	۱۶/۶۳$^{q-s}$	۲۶/۰۰^{op}	۳۰/۴۳^{g}	۱/۴^{bc}	۱/۵۱^{x}	۱/۶۴^{op}
T4	۱۳/۳۳$^{t-w}$	۱۶/۶۶^{no}	۳۲/۰۰^{ef}	۱/۵۸^{t}	۱/۶۹^{k}	۲/۱۹^{a}
L1T1	۱۲/۰۰$^{v-z}$	۱۵/۲۶^{pq}	۲۹/۰۰^{h}	۱/۳۵^{e}	۱/۶۲^{qr}	۱/۸۵^{c}
L1T2	۱۴/۰۰$^{q-v}$	۲۱/۰۰^{k}	۲۴/۳۳^{j}	۱/۲۴^{g}	۱/۴۸^{z}	۱/۷۱^{j}
L1T3	۱۵/۰۶$^{p-r}$	۱۶/۷۶^{no}	۲۷/۰۰^{de}	۱/۵۵^{u}	۱/۶۰^{s}	۱/۶۶^{lm}
L1T4	۱۲/۰۰$^{v-z}$	۱۴/۶۶$^{q-s}$	۱۷/۰۰^{no}	۱/۵۶^{u}	۱/۵۸^{t}	۱/۷۰^{jk}
L2T1	۱۳/۶۶$^{s-v}$	۱۳/۳۳$^{t-w}$	۱۸/۳۳^{pq}	۱/۱۴^{h}	۱/۴۴^{a}	۱/۶۵^{mn}
L2T2	۱۰/۴۶^{c}	۱۲/۰۰$^{v-z}$	۲۴/۰۰^{d}	۱/۴۰^{c}	۱/۴۹^{y}	۱/۵۳^{vw}
L2T3	۱۰/۶۶^{bc}	۱۳/۳۰$^{u-w}$	۱۸/۴۶^{l}	۱/۳۳^{f}	۱/۴۴^{a}	۱/۶۲^{qr}
L2T4	۱۱/۰۰$^{a-c}$	۱۲/۳۳$^{w-z}$	۱۴/۴۰$^{q-t}$	۱/۵۵^{u}	۱/۷۹^{g}	۱/۸۴^{cd}
L3T1	۱۳/۰۰$^{v-x}$	۲۲/۰۰^{k}	۲۸/۳۳^{b}	۱/۵۴^{v}	۱/۷۳^{i}	۱/۸۲^{ef}
L3T2	۱۳/۳۶$^{u-w}$	۱۴/۳۳$^{q-u}$	۲۱/۶۶^{k}	۱/۵۶^{u}	۱/۶۷^{l}	۱/۹۲^{b}
L3T3	۱۰/۳۶^{c}	۲۲/۱۳^{fg}	۳۱/۹۳^{ef}	۱/۶۱۳^{rs}	۱/۷۵^{h}	۱/۸۱^{f}
L3T4	۱۸/۶۶^{l}	۲۱/۶۶^{k}	۲۶/۳۳^{i}	۱/۶۵^{no}	۱/۷۴^{i}	۱/۷۶^{h}

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار هستند.

لاین‌ها: L1:Bitstoik، L2:Kingstone، L3:Petoearly و تسترها: T1:LA1607، T2:LA2656، T3:2080، T4:LA1579

شرایط تنش خشکی را می‌توان به نقش این آنزیم‌ها در به تبدیل هیدروژن پراکسید به آب و اکسیژن با مصرف آسکوربات احیاشده به‌عنوان گیرنده الکترون نسبت می‌دهند (Seng, 2014). Sanchez-Rodrıguez و همکاران (۲۰۱۰) در یک تحقیق با پنج ژنوتیپ گوجه‌فرنگی تحت تنش خشکی گزارش کردند که ژنوتیپ‌های متحمل‌تر سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانت قوی‌تری و ارقام حساس‌تر مقادیر بیشتری مالون دی‌آلدئید و H_2O_2 داشتند. افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز در گوجه‌فرنگی به موازات افزایش سطح تنش توسط Seng (۲۰۱۴) و Celik و همکاران (۲۰۱۷) گزارش شد.

پراکسیداز: مقدار این آنزیم با افزایش سطح کم‌آبی روندی افزایشی نشان داد که از بین لاین‌های مورد بررسی لاین L3 در سطح تنش S3 بیشترین مقدار (۱/۵۹ میکرومول بر گرم وزن تر) پراکسیداز را نشان داد. تستر T4 بیشترین مقدار (۲/۱۹ میکرومول بر گرم وزن تر) را در سطح تنش ۶۰ درصد نشان داد. از بین هیبریدها بیشترین مقدار (۱/۹۲ میکرومول بر گرم وزن تر) در هیبرید L3T2 مشاهده شد. Yuan و همکاران

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-12-09]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.15.8]

ادامه جدول ۲-

تنش / ژنوتیپ	آسکوربات پراکسیداز (میکرومول/ گرم وزن تر)			کاتالاز (میکرومول/ گرم وزن تر)		
	S1	S2	S3	S1	S2	S3
L1	۱/۷۶$^{c-h}$	۱/۵۲$^{m-s}$	۱/۳۳$^{w-y}$	۱/۰۷^{ij}	۰/۹۹st	۰/۸۶^{m}
L2	۱/۵۵$^{m-s}$	۱/۴۹$^{o-u}$	۱/۳۵$^{v-y}$	۱/۱۱^{g}	۱/۰۳^{kl}	۰/۸۴^{u}
L3	۱/۵۹$^{k-q}$	۱/۴۲$^{s-x}$	۱/۳۴$^{v-y}$	۱/۵۷^{a}	۱/۱۳^{ef}	۱/۰۳^{kl}
T1	۱/۸۷^{bc}	۱/۸۳$^{b-e}$	۱/۶۴$^{h-n}$	۰/۹۱^{qr}	۰/۷۶^{w}	۰/۷۴^{xy}
T2	۱/۸۱$^{b-f}$	۱/۶۳$^{h-n}$	۱/۴۳$^{r-y}$	۱/۱۲^{fg}	۰/۸۵^{u}	۰/۶۵^{a}
T3	۱/۸۵$^{b-d}$	۱/۶۴$^{h-n}$	۱/۵۱$^{n-t}$	۱/۴۳^{b}	۰/۸۸^{t}	۰/۷۲^{y}
T4	۱/۸۱$^{b-f}$	۱/۶۹$^{f-l}$	۱/۴۹$^{o-v}$	۰/۹۳^{op}	۰/۵۲^{e}	۰/۴۵^{g}
L1T1	۱/۸۵$^{b-d}$	۱/۷۵$^{c-h}$	۱/۰۵^{hi}	۰/۹۵^{h}	۰/۶۵^{mn}	۰/۴۵^{g}
L1T2	۱/۶۹$^{f-l}$	۱/۳۷$^{u-y}$	۱/۳۶$^{u-y}$	۰/۹۴^{no}	۰/۸۸^{t}	۰/۵۹^{c}
L1T3	۱/۷۱$^{c-k}$	۱/۵۳$^{m-s}$	۱/۳۴$^{w-y}$	۱/۱۱^{g}	۱/۰۰^{g}	۰/۸۶^{ij}
L1T4	۱/۶۹$^{f-l}$	۱/۵۸$^{k-q}$	۱/۳۳^{y}	۱/۳۴^{c}	۱/۰۶^{ij}	۰/۵۶^{d}
L2T1	۱/۶۵$^{g-m}$	۱/۵۴$^{m-s}$	۱/۰۴^{z}	۱/۱۲^{fg}	۱/۰۳^{k}	۰/۵۱^{f}
L2T2	۱/۵۳$^{m-s}$	۱/۳۸$^{t-y}$	۱/۱۲^{z}	۱/۱۴^{e}	۰/۹۰$^{q-s}$	۰/۵۳^{e}
L2T3	۱$^{j-o}$	۱/۰۲^{z}	۱/۰۲۳^{z}	۱/۱۲$^{e-g}$	۰/۷۵^{wx}	۰/۴۹^{f}
L2T4	۱/۸۴$^{b-e}$	۱/۷۸$^{c-f}$	۱/۴۸$^{p-v}$	۱/۰۲^{l}	۰/۹۳^{op}	۰/۶۷^{az}
L3T1	۱/۷۸$^{c-g}$	۱/۷۳$^{c-j}$	۱/۶۴$^{h-n}$	۱/۰۷۳^{i}	۰/۸۰^{v}	۰/۵۹^{c}
L3T2	۱/۹۲^{b}	۱/۵۷$^{k-q}$	۱/۴۶$^{r-x}$	۱/۰۵^{j}	۰/۹۰^{rs}	۰/۶۸^{z}
L3T3	۱/۸۱$^{b-f}$	۱/۷۵$^{c-h}$	۱/۶۱$^{j-p}$	۰/۹۲^{pq}	۰/۸۸^{t}	۰/۶۳^{b}
L3T4	۲/۰۸^{a}	۱/۷۴$^{c-j}$	۱/۴۶$^{r-y}$	۱/۱۹^{d}	۱/۱۱^{g}	۰/۸۹^{h}

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار هستند.

لاین‌ها: L1:Bitstoik، L2:Kingstone، L3:Petoearly و تسترها: T1:LA1607، T2:LA2656، T3:2080، T4:LA1579

(۲۰۱۶) کاهش قابل توجه مقدار کلروفیل a، b و کل و افزایش میزان مالون دی‌آلدئید و آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز را در گوجه‌فرنگی تحت تنش خشکی گزارش کردند. افزایش فعالیت پراکسیداز تحت تنش خشکی در گوجه‌فرنگی با نتایج دانشمند (۱۳۹۳) همخوانی و با افزایش کاتالاز مطابقت نداشت. Iqbal و Bano (۲۰۰۹) افزایش حداقلی در مقدار کاتالاز و پراکسیداز را با حداکثر پایداری غشا در گیاهان تحت تنش خشکی گزارش کردند.

محتوی نسبی آب: در تمامی ژنوتیپ‌های مورد بررسی با افزایش سطح تنش آبی میزان محتوی نسبی آب کاهش یافت. میزان کاهش محتوی نسبی آب در ژنوتیپ‌های حساس (لاین‌ها) بیشتر از ژنوتیپ‌های مقاوم (تسترها) بود. کمترین میزان محتوی آب (۸۷/۷۰) در شرایط بدون تنش کم‌آبی در لاین L1 و بیشترین آن (۹۶/۰۶) در تستر T4 بود. در مقایسه بین هیبریدهای حاصل هیبرید L1T3 در شرایط بدون تنش بیشترین میزان محتوی نسبی (۹۲/۳۶ درصد) آب را داشت و در شرایط تنش سطح ۶۰ درصد کمترین میزان محتوی آب (۵۳/۴۰) به هیبرید L2T4 اختصاص داشت. کاهش محتوی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-12-09]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.15.8]

ادامه جدول ۲-

تنش / ژنوتیپ	عملکرد تک بوته (کیلوگرم)			عملکرد بالقوه (کیلوگرم در هکتار)		
	S1	S2	S3	S1	S2	S3
L1	۰/۵۱^{f}	۰/۲۰$^{q-s}$	۰/۱۲^{w}	۱۹/۳۷^{d}	۴/۹۶^{t}	۳/۶۰^{u}
L2	۰/۴۶^{g}	۰/۱۷^{tu}	۰/۰۴^{ab}	۱۰/۱۵$^{n-p}$	۲/۲۱^{vw}	۱/۸۱$^{v-x}$
L3	۰/۳۴^{kl}	۰/۱۲^{w}	۰/۰۴^{ab}	۱۱/۷۴^{l}	۳/۷۱^{u}	۱/۷۴$^{v-x}$
T1	۰/۲۴$^{n-p}$	۰/۱۵^{uv}	۰/۱۲^{vw}	۱۰/۵۲$^{m-o}$	۷/۲۷^{t}	۵/۳۴^{t}
T2	۰/۱۹^{xy}	۰/۰۶$^{a-z}$	۰/۱۲^{b}	۵/۵۶^{u}	۴/۲۷^{u}	۲/۳۹^{x}
T3	۰/۱۹$^{r-t}$	۰/۱۴^{vw}	۰/۱۱^{wx}	۶/۷۳^{s}	۵/۱۸^{t}	۲/۴۲^{wx}
T4	۰/۱۷^{yz}	۰/۱۴$^{a-z}$	۰/۱۳^{b}	۲/۲۸^{v}	۱/۹۲$^{v-x}$	۱/۴۶^{wx}
L1T1	۰/۶۶^{c}	۰/۳۷^{ij}	۰/۳۸^{i}	۲۸/۴۶^{b}	۱۵/۸۰^{fg}	۱۳/۳۰^{jk}
L1T2	۰/۷۱^{a}	۰/۳۷^{ij}	۰/۳۵$^{j-l}$	۲۴/۳۴^{a}	۱۵/۱۹^{gh}	۱۳/۶۱^{hi}
L1T3	۰/۴۵^{gh}	۰/۲۸^{m}	۰/۲۶$^{m-o}$	۱۸/۴۱^{e}	۱۵/۶$^{m-o}$	۱۲/۰۸$^{n-p}$
L1T4	۰/۳۷$^{i-k}$	۰/۲۱$^{p-r}$	۰/۱۴^{vw}	۱۵/۵۱^{fg}	۱۲/۸۲^{mn}	۵/۶۰^{t}
L2T1	۰/۲۲^{pq}	۰/۱۸st	۰/۱۵^{uv}	۹/۳۸^{pq}	۷/۲۱^{rs}	۵/۶۵^{t}
L2T2	۰/۶۱^{d}	۰/۲۸^{m}	۰/۱۸st	۲۴/۹۶^{c}	۱۱/۱۸^{lm}	۷/۵۳^{r}
L2T3	۰/۲۸^{m}	۰/۲۶^{mn}	۰/۱۴^{ab}	۱۰/۴۲$^{m-o}$	۷/۳۲^{no}	۴/۵۴$^{v-x}$
L2T4	۰/۳۲^{l}	۰/۱۸st	۰/۱۲^{vw}	۱۲/۷۳^{k}	۷/۱۳^{rs}	۵/۲۷^{t}
L3T1	۰/۴۳^{gh}	۰/۲۵^{no}	۰/۱۸st	۱۹/۷۰^{d}	۱۶/۰۸^{de}	۱۲/۲۲^{q}
L3T2	۰/۷۴^{b}	۰/۲۵^{no}	۰/۱۸st	۲۸/۷۳^{b}	۱۹/۹۴$^{o-q}$	۱۶/۱۳^{rs}
L3T3	۰/۵۰^{f}	۰/۱۹$^{q-t}$	۰/۱۴^{vw}	۱۶/۰۵^{fg}	۱۴/۰۰^{ij}	۱۱/۴۸^{t}
L3T4	۰/۵۷^{e}	۰/۳۸^{i}	۰/۲۳^{op}	۲۸/۳۶^{b}	۲۳/۴۷^{pq}	۱۶/۴۷^{s}

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار هستند.

لاین‌ها: L1:Bitstoik، L2:Kingstone، L3:Petoearly و تسترها: T1:LA1607، T2:LA2656، T3:2080، T4:LA1579

نسبی آب در گوجه‌فرنگی تحت تنش خشکی با نتایج Hassan Khan و همکاران (۲۰۱۵)، ساجدی‌نیا (۱۳۹۳) و Nayyar و همکاران (۲۰۰۵) در نخودفرنگی همخوانی داشت.

کلروفیل a، b و کل: سیر نزولی مقادیر انواع کلروفیل در همه ژنوتیپ‌ها با افزایش سطح تنش کم‌آبی مشاهده شد. بیشترین مقدار کلروفیل a (۲۸/۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در سطح بدون تنش کم‌آبی در لاین‌های L2 و L3 و تستر T4 (۳۱/۳۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و از بین هیبریدهای مورد بررسی در هیبریدهای L1T4، L3T1 و L3T4 با اختلاف بسیار کم حداکثر میزان کلروفیل a (۲۵/۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) مشاهده شد. مقایسه بین هیبریدهای حاصل نشان داد که حداکثر مقدار کلروفیل کل (۴۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در شرایط بدون تنش کم‌آبی در هیبرید L1T3 و در شرایط سطح تنش ۶۰ درصد حداکثر کلروفیل کل (۴۱/۱۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) به‌ترتیب در هیبریدهای L2T1 و L1T4 و L3T2 (۴۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) ثبت شد. Jangid و Dwivedi (۲۰۱۶) کاهش مقدار کلروفیل در گیاه گوجه‌فرنگی تحت تنش خشکی را ناشی از کاهش فعالیت آنزیم‌های درگیر در سنتز

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-12-09]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.15.8]

ادامه جدول ۲-

تنش / ژنوتیپ	عملکرد کل (تن/ هکتار)			تعداد کل میوه‌ها		
	S1	S2	S3	S1	S2	S3
L1	۱۸/۲۶^{e}	۵/۴۶$^{r-v}$	۴/۰۳$^{t-v}$	۱۴/۵۰^{f}	۸/۵۶^{pq}	۶/۷۰^{g}
L2	۱۱/۳۱^{ij}	۵/۱۰$^{v-y}$	۳/۶۶$^{t-x}$	۴/۹۰^{h}	۳/۱۶^{h}	۱/۳۰^{i}
L3	۱۱/۹۱^{i}	۵/۱۶$^{u-y}$	۳/۴۰^{az}	۴/۲۰^{h}	۲/۲۰^{i}	۱/۴۰^{i}
T1	۱۱/۱۰$^{i-k}$	۷/۶۰$^{r-u}$	۴/۲۳$^{s-v}$	۲۴۲/۳۶^{a}	۱۷۳/۳۶^{d}	۱۴۴/۵۰^{g}
T2	۳/۱۶$^{u-y}$	۲/۶۰$^{w-z}$	۱/۴۲^{az}	۱۹۸/۳۳^{b}	۱۳۲/۷۰^{j}	۶۳/۰۳^{v}
T3	۲/۴۰$^{x-z}$	۲/۰۶$^{a-z}$	۱/۷۶$^{a-z}$	۱۳۴/۹۰^{i}	۱۱۷/۹۰^{x}	۵۷/۱۰^{x}
T4	۲/۳۳$^{x-z}$	۲/۰۶$^{a-z}$	۱/۸۰^{a}	۱۸۲/۰۶^{p}	۶۵/۹۰^{u}	۵۱/۳۳^{z}
L1T1	۲۳/۶۱^{b}	۱۶/۴۰^{f}	۱۱/۸۶^{i}	۱۴۴/۲۶^{g}	۷۷/۱۶^{r}	۴۱/۷۶^{b}
L1T2	۳۴/۲۷^{a}	۱۴/۳۳^{g}	۱۲/۵۰^{hi}	۱۸۲/۴۰^{c}	۱۴۲/۹۶^{g}	۷۹/۸۳^{q}
L1T3	۱۶/۴۳^{f}	۱۰/۲۳$^{j-l}$	۹/۶۶$^{k-m}$	۱۳۷/۷۰^{h}	۸۰/۰۰^{q}	۷۱/۹۶^{s}
L1T4	۱۹/۱۰^{de}	۱۳/۹۳^{gh}	۴/۳۶$^{r-v}$	۹۸/۳۰^{l}	۹۰/۳۰^{n}	۶۰/۸۳^{w}
L2T1	۶/۹۰^{pq}	۵/۱۳$^{r-t}$	۴/۴۰$^{r-v}$	۸۸/۷۰^{n}	۴۷/۰۰^{a}	۴۵/۷۳^{a}
L2T2	۲۰/۴۱^{d}	۱۵/۱۳$^{j-l}$	۵/۵۷$^{q-s}$	۸۳/۸۶^{o}	۴۱/۶۰^{b}	۳۴/۴۰^{e}
L2T3	۹/۳۳$^{l-n}$	۸/۲۶$^{m-p}$	۵/۲۰^{az}	۶۱/۷۳^{vw}	۳۶/۵۳^{d}	۱۴/۱۶^{f}
L2T4	۱۱/۵۰^{ij}	۶/۸۰^{pq}	۴/۵۶^{az}	۱۲۹/۶۳^{k}	۸۹/۱۳^{n}	۳۶/۶۰^{de}
L3T1	۱۸/۲۰^{e}	۱۵/۴۰$^{m-o}$	۱۱/۱۳$^{n-p}$	۱۵۰/۷۰^{e}	۸۳/۸۶^{o}	۶۹/۴۳^{t}
L3T2	۲۴/۸۷^{b}	۱۸/۴۶$^{m-o}$	۱۵/۷۴^{qr}	۱۴۶/۸۶^{f}	۷۰/۱۳^{t}	۶۵/۶۶^{u}
L3T3	۱۴/۷۳^{g}	۱۱/۶۴^{op}	۹/۲۳$^{s-v}$	۱۵۳/۳۶^{y}	۱۳۰/۵۰^{z}	۶۸/۲۰^{c}
L3T4	۲۲/۱۰^{c}	۱۸/۲$^{n-p}$	۱۵/۷$^{t-x}$	۱۴۴/۱۰^{g}	۹۶/۲۰^{m}	۵۰/۶۶^{z}

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار هستند.

لاین‌ها: L1:Bitstoik، L2:Kingstone، L3:Petoearly و تسترها: T1:LA1607، T2:LA2656، T3:2080، T4:LA1579

کلروفیل و یا افزایش تخریب کلروفیل، تخریب تیلاکوئید غشا و رنگدانه‌های فتوسنتز، دهیدراسیون مزوفیل سلول و کاهش کارایی استفاده از آب سلول و متعاقب آن کاهش میزان فتوسنتز گزارش کردند. ممانعت از فتوسنتز تحت تأثیر تنش خشکی عامل کاهش کلروفیل در شرایط تنش است و کاهش کلروفیل a، b و کل تحت تنش خشکی در گوجه‌فرنگی توسط Ghorbanli و همکاران (۲۰۱۳)گزارش شده است. در شرایط تنش‌های محیطی از جمله شوری کاهش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی را ناشی از تخریب ساختمان کلروپلاست و دستگاه فتوسنتزی ناشی از فعال‌شدن کلروفیلاز (آنزیم تجزیه‌کننده کلروفیل)، اختلالات هورمونی شامل افزایش هورمون‌های بازدارنده رشد (اتیلن و آبسیزیک اسید) و کاهش هورمون‌های رشد (اکسین، جیبرلین، سیتوکینین)، اکسیداسیون نوری کلروفیل‌ها، و ممانعت از بیوسنتز کلروفیل‌های جدید به‌علت تخریب پیش‌ماده‌های سنتز کلروفیل عنوان شده است. (Nasilakakis and Neocleous, 2007). ساجدی‌نیا (۱۳۹۳) بیشترین مقدار کلروفیل a، b و کل را در دور آبیاری دو روز و کمترین آن را در دور آبیاری هشت روز گزارش کرد. افزایش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-12-09]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.15.8]

تولید گونه‌های اکسیژن فعال در سلول و به‌دنبال آن پراکسیداسیون و تجزیه کلروفیل را در شرایط تنش عامل کاهش میزان آن گزارش شده است (قنبری و سیاری، ۱۳۹۶).

عملکرد کل، تعداد کل میوه، عملکرد بالقوه و عملکرد تک بوته: مقادیر این صفات در تمامی ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی با افزایش سطح تنش کم‌آبی کاهش نشان داد. در صفت تعداد کل میوه میزان تولید لاین‌ها از تسترها کمتر بود بیشترین تعداد میوه (۱۴/۵) در سطح تیمار بدون کم‌آبی در لاین L1 و تستر T1 (۲۴۲/۳۶) در مشاهده شد. تعداد میوه در بین هیبریدهای حاصل نیز تحت تأثیر افزایش سطح تنش کاهش یافت به‌طوری که بیشترین تعداد میوه (۱۸۲/۴) در هیبرید L1T2 در سطح بدون کم‌آبی و کمترین تعداد (۱۴ عدد) در تیمار سطح تنش ۶۰ درصد در هیبرید L2T3 مشاهده شد. در عملکرد کل نیز تمامی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه با افزایش سطح تنش کم‌آبی کاهش عملکرد نشان دادند. در بین لاین‌ها بیشترین عملکرد در تیمار بدون کم‌آبی برای لاین L1 با عملکرد (۱۸/۲۶ تن بر هکتار) بود و از بین تسترها نیز بالاترین عملکرد (۱۱/۹۱ تن بر هکتار) در تستر T1 بود که اختلاف معنی‌داری با تسترهای دیگر داشت. از بین هیبریدها بیشترین عملکرد (۳۴/۲۷ تن بر هکتار) در سطح بدون تنش کم‌آبی در هیبرید L1T2 بود. نتایج جدول ۲ نشان داد که بیشترین عملکرد بالقوه در شرایط بدون تنش کم‌آبی و به لاین L1 با (۱۱/۷۴ کیلوگرم بر هکتار) و تستر T1 (۱۱/۵ کیلوگرم بر هکتار) مربوط بود. از بین هیبریدهای مورد بررسی در تیمار بدون تنش هیبریدهای L1T1، L3T2 و L3T4 بیشترین عملکرد بالقوه را (۲۸ کیلوگرم بر هکتار) را تولید و کمترین آن (۴/۵۴) در سطح تنش ۶۰ درصد به هیبرید L2T3 مربوط بود. یافته‌های Farooq و همکاران (۲۰۰۹)، Manunatha و همکاران (۲۰۰۴) و Sivakumar و Srividhya (۲۰۱۶) نشان داد که کم‌آبی ناشی از خشکی خاک محیط ریشه گیاه، حتی در ژنوتیپ‌های مقاوم گوجه‌فرنگی نیز بر عملکرد و اجزای عملکرد اثر نامطلوب زیاد داشته و نتایج تحقیق حاضر با یافته‌های این محققین مطابقت می‌کند.

عملکرد تک بوته: هیبریدهای مورد بررسی نیز با افزایش تنش کم‌آبی کاهش تولید داشتند به‌طوری که بیشترین عملکرد تک گیاه در تیمار S1 (۰/۷۱ کیلوگرم) در هیبرید L1T1 و در سطح تنش ۶۰ درصد (۰/۱۲ کیلوگرم) در هیبرید L2T4 بود. برخی محققین کاهش عملکرد ناشی از کم‌بودن آب قابل دسترس ریشه گیاه را به‌دلیل تولید هورمون‌های محدودکننده رشد گیاه مانند اتیلن و ABA و کاهش هورمون‌های تنظیم‌کننده رشد گیاهان در معرض تنش‌های آبی مختلف می‌دانند (Baghani and Alizadeh, 1999). Ngoujio (۲۰۰۹) کاهش آب آبیاری را به میزان ۲۵ و ۴۰ درصد میزان آب مورد نیاز در شرایط بهینه رشد را عامل کاهش عملکرد گوجه‌فرنگی ذکر کردند. حسینی و نعمتی (۱۳۹۳) اثر مالچ پوششی را در کاهش اثر تنش متذکر شده و بیشترین میانگین وزن میوه گوجه‌فرنگی را در تیمار آبیاری با فاصله پنج روز همراه با مالچ گزارش کردند. Shinohara و همکاران (۱۹۹۵) نیز اثر تنش کم‌آبی بر کاهش عملکرد میوه گوجه‌فرنگی را گزارش کردند. Nahar و Gretzmacher (۲۰۰۲) کاهش میزان جذب آب و مواد معدنی مانند پتاسیم، فسفر، نیتروژن، کلسیم و منیزیم، کاهش نسبت فتوسنتز و میزان ماده خشک را تحت شرایط کم‌آبی خاک عامل کاهش عملکرد گوجه‌فرنگی گزارش کردند.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که هیبریدهای حاصل از تلاقی والدین متحمل به کم‌آبی تحت شرایط تنش کم‌آبی دارای میزان پرولین و آنزیم اکسیدانتی بیشتر و مالون دی‌آلدئید کمتر هستند. کاهش عملکرد و صفات وابسته آن نیز در این هیبریدها کمتر از هیبریدهای حاصل از تلاقی والدین حساس به کم‌آبی بود و L3T2 و L3T4 با افزایش سطح تنش بیشترین میزان عملکرد کل، بالقوه و تک بوته را داشتند. از این‌رو با توجه به شرایط آب و هوایی ایران و لزوم استفاده از ارقام مزرعه‌ای با دوره رشد کوتاه و عملکرد بالا به‌منظور کاهش هزینه‌های کشت و پرورش گوجه‌فرنگی مزرعه‌ای لازم است که مطالعات جامع‌تری در زمینه تلاقی لاین‌های زودرس با سایر

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-12-09]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.15.8]

لاین‌های متحمل به کم‌آبی با عملکرد بالا به‌منظور دستیابی به هیبریدهای تجاری زودرس و متحمل به خشکی با عملکرد بالا صورت پذیرد.

منابع

توکلی، ع. (۱۳۷۶) بهینه‌سازی کم‌آبیاری براساس توابع تولید. مجموعه مقالات دومین کنگره ملی مسائل آب و خاک در کشور.

حسینی، آ و نعمتی، ح. (۱۳۹۳) اثر فاصله آبیاری بر خصوصیات رشدی، عملکرد کمی و کیفی گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum* Mill.) در شرایط کاربرد و عدم‌کاربرد مالچ پلاستیکی. نشریه بوم شناسی کشاورزی ۶: ۵۶۰-۵۵۲.

دانشمند، ف. (۱۳۹۳) پاسخ سیستم دفاع آنتی‌اکسیدان گیاه گوجه‌فرنگی به تنش کم‌آبی و برهمکنش آن با آسکوربیک اسید. زیست شناسی گیاهی ایران ۶: ۷۲-۵۷.

ساجدی نیا، ح. ا. (۱۳۹۳) تأثیر پلیمر سوپر جاذب A200 بر عملکرد و کیفیت گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum* Mill) تحت رژیم¬های مختلف آبیاری در شرایط مزرعه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه ایلام.

عارفی، س.، نبی‌پور، ع. و سمیع‌زاده، ح. ا. (۱۳۹۴) ارزیابی ترکیب‌پذیری لاین‌های آفتابگردان از طریق تجزیه لاین در تستر در شرایط طبیعی و تنش خشکی. پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی ۷: ۱۲۵-۱۱۵.

قنبری، ف. و سیاری، م. (۱۳۹۶) بهبود تحمل به سرمای نشاهای گوجه‌فرنگی با پیش‌تیمار تنش خشکی. علوم باغبانی ایران ۴۸: ۶۷۹-۶۶۹.

مولوی، ح.، محمدی، م. و لیاقت، ع. (۱۳۹۰) اثر آبیاری کامل و یک در میان جویچه‌ای بر عملکرد، اجزا عملکرد و کارایی مصرف آب گوجه‌فرنگی (Super Strain B). نشریه دانش آب و خاک ۲۱: ۱۲۶-۱۱۵.

Al-hamdani, S. H. and Barger, T. (2003) Influence of water stress on selected physiological responses of three sorghum genotypes. Italian Journal of Agronomy 7: 15-22.

AL-Hassan, M., Fuertes, M. M., Ramos, F. J., Vicente, O. and Boscaiu, M. (2015) Effects of salt and water stress on plant growth and on accumulation of osmolytes and antioxidant compounds in cherry tomato. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca 43:1-11.

Anastasia, E. G. and Ilias, F. (2013) The effect of water stress and salinity on growth and physiology of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). Archives of Biological Sciences 65: 611-620.

Anjum, A., Raj, N., Nazeer, A. and Kahn, Sh. (2009) Genetic variability and selection parameters for yield and quality attributes in tomato. Indian Journal of Horticulture 66: 73-78.

Anonymous (2014) FAO statistics division. Available online at:http://www.faostat.fao.org.

Baghani, J. and Alizadeh, A. (1999) Crop yield and water use efficiency of drip irrigation and gully. Journal of Agricultural Engineering Research 5: 10-19.

Battes, L. S., Waldren, R. P. and Teare, I. D. (1973) Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil 39: 20-207.

Bhattacharjee, S. (2005) Reactive oxygen species and oxidative burst: Roles in stress, senescence and signal transduction in plants. Current Science 98: 1113-1121.

Celik, O., Ayan, A. and Atak, C. (2017) Enzymatic and non-enzymatic comparison of two different industrial tomato (*Lycopersicon esculentum*) varieties against drought stress. Botanical Studies 58: 32.

Chance, B. and Maehly, A. C. (1955) Assay of catalases and peroxidase. Methods in Enzymology 2: 764-775.

Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D. and Basra, S. M. A. (2009) Plant drought stress: effects, mechanisms and management. Agronomy for Sustainable Development 29: 185-212.

Ghorbanli, M., Gafarabad, M., Amirkian, T. and Allahverdi Mamaghani, B. (2013) Investigation of proline, total protein, chlorophyll, ascorbate and dehydroascorbate changes under drought stress in Akria and Mobil tomato cultivars. Iranian Journal of Plant Physiology 3: 651-658.

Guo, Z., Ou, W., Lu, S. and Zhong, Q. (2006) Differential responses of antioxidative system to chilling and drought in four rice cultivars differing in sensitivity. Plant Physiology and Biochemistry 44: 828-836.

Hamed, K. B., Castagna, A., Salem, E., Ranieri, A. and Abdelly, C. (2007) Sea fennel (*Crithmum maritimum* L.) under salinity conditions: A comparison of leaf and root antioxidant responses. Plant Growth Regulation 53: 185-194.

Hassan Khan, S., Khan, A., Litaf, U., Shah, A. S., Khan, M. A., Bilal, M. and Usman, A. M. (2015) Effect of drought stress on tomato cv. Bombino. Journal of Food Processing and Technology 6:1-6.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-12-09]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.15.8]

Iqbal, S. and Bano, A. (2009) Water stress induced changes in antioxidant enzymes, membrane stability and seed protein profile of different wheat accessions. African Journal of Biotechnology 8: 6576-6587.

Jangid, K. K. and Dwivedi, P. (2016) Physiological responces of drought stress in tomato: Review. International of Journal of Agriculture, Enviroment and Biotechnology 9: 53-61.

Manunatha, M. V., Rajkumar, G. R., Hebbara, M. and Ravishankar, G. (2004) Effect of drip and surface irrigation on yield and water-production efficiency of brinjal (*Solanum melongena*) in saline vertisols. Indian Journal of Agricultural Sciences 74: 583-587.

Mittova, V., Volokita, M., Guy, M. and Tal, M. (2000) Activities of SOD and the ascorbate-glutathione cycle enzymes in subcellular compartments in leaves and roots of the cultivated tomato and its wild salt-tolerant relative *Lycopersicon pennellii*. Physiologia Plantarum 110: 42-51.

Morgan, J. (1992) Osmotic components and properties associated with genotypic differences in osmoregulation in wheat. Functional Plant Biology 19: 67-76.

Nahar, K. and Gretzmacher, R. (2002) Effect of water stress on nutrient uptake, yield and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum*) under subtropical condition. Die Bodenculture 53: 45-51.

Neocleous, D. and Nasilakakis, M. (2007) Effects of NaCl stress on red raspberry (*Rubus idaeus* L.) Scientia Horticulturae 112: 282-289.

Ngoujio, M. (2009) Colored Plastic Mulch and Tomato Production. A288 Plant and Soil Science Building Michigan State University, East Lansing, MI 48824-1325 USA.

Rashid, M. A. (1999) Sabji biggan (*Vegetable Science*) in Bengali. 2nd Ed. Rashid publishing house, Dhaka.

Rauf, S. (2008) Breeding sunflower (*Helianthus annus* L.) for drought tolerance. Communication Biometry Crop Science 3: 29-44.

Sanchez-Rodrıguez, E. M., Rubio-Wilhelmi, L. M., Cervilla, B., Blasco, J. J., Rios, M. A., Rosales, L. R. and Ruiz, J. M. (2010) Genotypic differences in some physiological parameters symptomatic for oxidative stress under moderate drought in tomato plants. Plant Science 178: 30-40.

Shinohara, Y., Akiba, K., Maruo, T. and Ito, T. (1995) Effect of water stress on the fruit yield, quality and physiological condition of tomato plants using gravel culture. ISHS. Acta Horticulture. Hydroponics and Transplant Production 211-218.

Sivakumar, R. and Srividhya, S. (2016) Impact of drought on flowering, yield and quality parameters in diverse genotypes of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). Advances in Horticultural Science 30: 3-11.

Smajstrla, A. G. and Locascio, S. J. (1996) Tensiometercontrolled, drip-irrigation scheduling of tomato. Applied Engineering in Agriculture 12: 315-319.

Strain, H. H. and Svec, W. A. (1966) Extraction, separation and isolation of chlorophylls. In: Chlorophylls (eds. Varnon, L. P. and Seely, G. R.) Pp. 24-61. Academic Press, New York.

Turkan, D. T. (2005) Comparative lipid peroxidation, antioxidant defense systems and prolin content in roots of two rice cultivars differing in salt tolerance. Environmental and Experimental Botany 53: 247-257.

Yuan, X. K., Yang, Z. K., Li, Y. X., Liu, Q. and Han, W. (2016) Effects of different levels of water stress on leaf photosynthetic characteristics and antioxidant enzyme activities of greenhouse tomato. Photosynthetica 54: 28-39

Wheutherley, P. E. (1950) Studies in water relations of cotton plants. The field measurement of water deficit in leaves. New Phytologist 49: 81-87.

Zhang, J. Z., Creelman, R. A. and Zhu, J. K. (2004) From laboratory to field using information from Arabidopsis to engineer salt, cold and drought tolerance in crops. Plant Physiology 135: 615.

Nayyar, H., Kaur, S., Singh, K. J., Dhir, K. and Bains, T. (2005) Water stress induce injury to reproductive phase in chickpea: Evaluation of stress sensivity in wild and cultivated species in relation to abscisic acid and polyamins. Journal of Agronomy and Crop Science 191: 450-457.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-12-09]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.15.8]

Reaction of different genotypes of tomato (*Solanum lycopersicum*) to drought stress

Maryam Noori[1], Alireza Motallebi Azar[1], Mehdi Saidi[2*], Jaber Panahandeh[1], Davood Zare Hghi[3],

[1] Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
[2] Department of Horticultural Sciences, College of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran
[3] Department of Pedology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
(Received: ، 07/05/2019, Accepted: 13/08/2019)

Abstract

12 hybrides of tomato and their parents were evaluated for their response to drought stress in a randomized complete block design with three replications and three irrigation levels (FC, 60%FC, and 40%FC). The studied genotypes included Kingstone, Petoearly, Bitstoik, LA1607, LA2656, LA2080 and LA1579. Experiments on crossing the genotypes, seedling production and field evaluation, were done in greenhouses and experimental field of Ilam University in 2014-2016. The studied traits consisted of proline, MDA, peroxidase, catalase and ascorbate peroxidase, Relative Water Content (RWC), Chlorophyll a, b and total, electrolyte leakage, total yield, potential yield as well as single plant yield. The statistical analysis showed that drought stress significantly affected all the studied traits under drought condition. Increase in Proline and MDA content was observed in all genotypes under drought stress. The highest values of proline (31.93 $\mu MgFW^{-1}$) was observed under severe stress in Petoearly× LA2080 .RWC, total yield, potential yield, single plant yield, Chlorophyll a, b, catalase and ascorbate peroxidase contents were reduced and proline, electrolyte leakage and peroxidase content were increased by increase in drought stress. Under severe drought stress, the highest amount of total yield (15.74 $t.ha^{-1}$) was observed in LA2656×Petoearly hybrid, Petoearly line (19 $t.ha^{-1}$) and LA1579 tester (32 $t.ha^{-1}$).

Key words: Antioxidant Enzymes, Deficit irrigation, Tomato

Corresponding author, Email: msaidi@ilam.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-12-09]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.15.8]