

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 گوجه‌فرنگی و والدین آنها به تنش خشکی به صورت 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 مورد استفاده شامل: T1:LA1607 (*S. pimpinellifolium*)، T2: LA2656 (*pimpinellifolium*)، T3:LA2080 (*S. lycopersicum*)، T4:LA1579 (*S. pimpinellifolium*, var. *cerasiforme*)، L1:Bitstoik، L2:Kingstone، L3:Petoeary بودند که به روش لاین در تستر تلقیح داده شدند. آزمایش‌های مربوط به تلقیح‌ها 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 LA2080 × Petoeary 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 LA2656 × Petoeary، لاین Petoeary (۱۹ تن در هکتار) و تستر LA1579 (۳۲ تن در هکتار) بود.

کلمات کلیدی: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی، کم‌آبایی، گوجه‌فرنگی

مقدمه

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

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*

غیرآزمی 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 کم‌آبیری 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 Smajstrla و Locascio (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 کربوهیدرات‌های 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 تنظیم‌کننده‌های 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). 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.

مواد و روش‌ها

ژنوتیپ‌های گوجه‌فرنگی مورد استفاده در این طرح پژوهشی (L2T4, L2T3, L2T2, L2T1, L1T4, L1T3, L1T2, L1T1) والدینی حساس به کم‌آبی (L3T4, L3T3, L3T2, L3T1) و تسترهای متحمل به کم‌آبی (L3:Petoearyl, T1: LA1607, T2: LA2656, T3: LA2080, T4: LA1579) بودند. لاین‌ها و تسترهای مورد استفاده در این تحقیق به ترتیب از محل گروه باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام و مرکز تحقیقات ژنتیک گوجه‌فرنگی (TGRC) تهیه شد. این تحقیق به صورت 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.

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 تخریب‌کننده در شرایط تنش زیستی و غیرزیستی توسط محققین مختلف گزارش شده است (Bhattacharjee, 2005). گیاهان عالی و موجودات هوایی با داشتن انواع روش‌های دفاعی آنزیمی و

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 تخریب‌کننده در شرایط تنش زیستی و غیرزیستی توسط محققین مختلف گزارش شده است (Bhattacharjee, 2005). گیاهان عالی و موجودات هوایی با داشتن انواع روش‌های دفاعی آنزیمی و

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) به دست 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 به دست آید. مخلوط حاصل را به یک فالدون منتقل کرده و به مدت ۳۰ دقیقه در ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ نمودیم. پس از سانتریفیوژ، محلول رویی را برداشته و در طول موج 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.

$$\text{Chlorophyll a (mg/g FW)} = 12.7(A663) - 2.69(A645)$$

$$\text{Chlorophyll b (mg/g FW)} = 22.9(A645) - 4.68(A663)$$

$$\text{Chlorophyll T (mg/g FW)} = 20.2(A645) + 8.02(A663)$$

برای اندازه‌گیری میزان پراکسید شدن 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 فریز شده 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 به مدت ۵ دقیقه قرار داده شد. به یک میلی‌لیتر از محلول رویی ۴ میلی‌لیتر تری‌کلرو استیک اسید ۲۰ درصد حاوی ۰/۵ گرم تیوباربتوریک اسید اضافه و سپس به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۹۵ درجه در دستگاه بن‌ماری قرار گرفت و بعد در یخ قرار داده و نهایتاً میزان جذب در طول موج‌های ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر خوانده شد.

$$\text{MDA (nmol/g F.)} = [(532\text{nm}-600\text{nm}) / (\text{Quvete Diameter} \times \text{Quenching Factor})] \times (\text{Dilution Factor})$$

با شروع دوره گلدهی تلافی بین لاین‌ها و تسترهای مختلف انجام شد و سال بعد بذور حاصل برای تهیه نشا در گلخانه کشت شدند. عملیات انتقال نشا گوجه‌فرنگی 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 طول ۲ 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 به دست 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 $FC - 0/5$ زمانی که میانگین مقاومت به دست آمده از حسگرها به مقدار مربوط به رطوبت $FC - 0/5$ رسید آبیاری آن تیمار انجام شد. اعمال تیمارهای آبیاری به شرح زیر انجام شد:

الف- نگهداری رطوبت خاک گلدان در محدوده ظرفیت مزرعه‌ای ($FC - FC - 0/85$) بماند.

ب- نگهداری رطوبت خاک گلدان در محدوده ($FC - 0/6$) آبیاری در این تیمار رطوبتی موقعی صورت گرفت که رطوبت خاک به حد پایین دامنه تعیین شده یعنی $FC - 0/5$ رسید.

ج- نگهداری رطوبت خاک گلدان در محدوده ($FC - 0/4$) آبیاری در این تیمار رطوبتی موقعی صورت گرفت که رطوبت خاک به حد پایین دامنه تعیین شده یعنی $FC - 0/3$ رسید.

به منظور ارزیابی ژنوتیپ‌های مختلف تحت تنش خشکی برخی صفات فیزیولوژیکی و زراعی آنها از قبیل: محتوای

کدام ۴ میلی لیتر تولوئن اضافه شد و با استفاده از دستگاه ورتکس به مدت 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 طول موج ۵۲۰ نانومتر انجام و غلظت پرولین بر حسب میلی گرم 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 میلی لیتر بافر فسفات ۵۰ میلی مولار (pH=۶) تهیه و ۴ گرم پودر pvp اضافه شد) آماده شد و بعد به ۱۰۰ میلی گرم بافت برگ یک میلی لیتر از بافر استخراج اضافه شده و در دمای چهار درجه سانتی گراد هموژنیزه شده و این محلول را به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه و دمای چهار درجه سانتی گراد سانتریفیوژ شده و بعد ۳ میلی لیتر بافر فسفات ۱۰۰ میلی مولار (pH=۶) و ۴۰ میکرو لیتر محلول ۳۰ میلی مولار آب اکسیژنه (H₂O₂) با هم مخلوط گردید. سپس ۱۰۰ میکرو لیتر 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 طول موج ۲۴۰ نانومتر یادداشت گردید. اعداد جذب بر عدد ضریب خاموشی هیدروژن پراکسید (۳۹/۴ میکرومول بر سانتیمتر) تقسیم و فعالیت آنزیم کاتالاز بر اساس میکرومول H₂O₂ تولید شده در دقیقه بیان شد (Aebi, 1984).

سنجش میزان فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز (POX): بافر استخراج این آنزیم علاوه بر ۴/۵۱ میکرو لیتر H₂O₂ (۳۰٪)، حاوی ۳/۳۵ میکرو لیتر گویاکول (Guacol) در داخل هر کووت شاهد و نمونه بود.

طول موج جذب اسپکتروفتومتر روی ۴۷۰ نانومتر تنظیم شد. مدت زمان لازم برای تثبیت کامل شدن 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 میلی مولار آسکوربات بود.

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 آب مقطر درون لوله آزمایش قرار داده و به آن ۱۰ میلی لیتر آب مقطر اضافه گردید. سپس لوله آزمایش را به مدت ۲ ساعت به حمام آب گرم با دمای ۳۲ درجه سانتی گراد منتقل و میزان هدایت الکتریکی نمونه‌ها (EC1) اندازه‌گیری شد. سپس لوله‌های آزمایش به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۱۲۱ درجه سانتی گراد و فشار یک اتمسفر اتوکلاو شده و بعد از خنک شدن لوله‌ها تا دمای ۲۵ درجه سانتی گراد، میزان هدایت الکتریکی نمونه‌ها (EC2) دوباره اندازه‌گیری و یادداشت شد. و با استفاده از رابطه زیر درصد نشت یونی محاسبه گردید.

$$\% \text{نشت یونی} = (EC1/EC2) \times 100$$

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 به وسیله ترازو (با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم) وزن شدند (FW). سپس به مدت ۴-۵ ساعت در آب مقطر (جهت آبیگری و اشباع کامل) و در محیط آزمایشگاهی با دمای تقریبی ۲۲ درجه سانتی گراد نگهداری و با استفاده از کاغذ صافی آب سطحی را خشک و مجدداً توزین شده و (TW) یادداشت گردید. پس از آن برگ‌ها به مدت ۴۸ ساعت و در دما ۷۰ درجه سانتی گراد در داخل آون قرار داده شدند. پس از این مدت نمونه‌ها توزین تا وزن خشک به دست آید (DW). از رابطه زیر محتوای آب نسبی برگ محاسبه گردید (Wheatherley, 1950)

$$RWC = (FW - DW) / (TW - DW) \times 100$$

استخراج و اندازه‌گیری پرولین با استفاده از معرف نین هیدرین و به روش Batts و همکاران (۱۹۷۳) انجام شد. برای این منظور ابتدا مقدار ۰/۲ گرم برگ توزین و در هاون چینی با ۳ میلی لیتر از سولفوسالیسیلیک اسید ۳٪ ساییده شد و با دور ۱۲۰۰۰ به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس به ۲ میلی لیتر از عصاره صاف شده ۲ میلی لیتر معرف نین هیدرین و ۲ میلی لیتر استیک اسید گلاسیل اضافه و به مدت ۱ ساعت در آب جوش ۱۰۰ درجه قرار گرفتند. پس از سرد کردن لوله‌ها به هر

است، واکنش آن با اکسیژن سبب تخریب غشای سلولی، افزایش میزان مالون دی‌آلدئید و به دنبال 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 گوجه‌فرنگی 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 تست‌های 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 تست‌ها بیشترین میزان آن (۲۶ میکرومول بر گرم وزن تر) در تست T3 و کمترین میزان آن (۱۳/۳۳ میکرومول بر گرم وزن تر) در تست T4 مشاهده شد. از بین هیبریدهای حاصل نیز (L3T3) × LA2080 Petoeary 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 به دلیل 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

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 به ترتیب 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 به صورت 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، تست‌ها و هیبریدها) (جدول ۱) نشان داد که اثر تنش کم‌آبی و اثر متقابل ژنوتیپ × تنش روی تمام صفات مورد بررسی معنی‌دار بود. معنی‌دار شدن اثر متقابل یک صفت حاکی از متاثر شدن صفت مذکور ناشی از تنش خشکی می‌تواند باشد و میزان تأثیر آن 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 تست‌ها 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 می‌شوند، از آنجایی که ساختار غشای سلول فسفولیپیدی

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}	۱/۰۰۰۰۴۷ ^{ns}	۰/۰۰۰۸۱ ^{ns}
تنش خشکی	۲	۱/۶۴ ^{**}	۱/۹۸ ^{**}	۱/۰۳ ^{**}	۲/۸۷ ^{**}
خطای اصلی	۴	۰/۰۰۰۰۵۹ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۷۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۷ ^{ns}	۰/۰۰۰۵۶ ^{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	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۴۶	۰/۰۰۰۵۸
CV	-	۱/۴	۱/۱۲	۱/۵۷	۴/۸۸

ns و ** به ترتیب: 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
بلوک	۲	۵/۸۰ ^{ns}	۰/۵۰۲۶ ^{ns}	۰/۱۱۴ ^{ns}	۰/۰۸۸ ^{ns}
تنش خشکی	۲	۲۳۰۲/۸۸ ^{**}	۹۱۴/۳ ^{**}	۵۸۸/۴۴ ^{**}	۲۵۶۹/۴ ^{**}
خطای اصلی	۴	۰/۳۶۹ ^{ns}	۰/۳۶۱ ^{ns}	۰/۱۸۶ ^{ns}	۱/۱۳۲ [*]
ژنوتیپ	۱۸	۸۴۲/۹ ^{**}	۶۱/۶۹ ^{**}	۳۰/۶۹ ^{**}	۱۳۲/۰۹ ^{**}
ژنوتیپ × تنش	۳۶	۲۱۰/۳ ^{**}	۱۹/۸۷ ^{**}	۱۰/۵۴ ^{**}	۴۰/۰۵ ^{**}
خطای فرعی	۱۰۸	۱/۴۴	۰/۲۳۱	۰/۱۰۲۲	۰/۳۸۸
CV	-	۱/۷۴	۱/۹۳	۲/۴۶	۱/۶۶

ns و ** به ترتیب: معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد و غیرمعنی‌دار

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

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-Sanchez-Rodriguez et al., 2010) و (hassan et al., 2015). نقش مؤثر پرولین در مهار رادیکال هیدروکسیل و در نتیجه 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).

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

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

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار هستند.

لاین‌ها: L1:Bitstok, L2:Kingstone, L3:Petocarly و تسترها: T1:LA1607, T2:LA2656, T3:2080, T4:LA1579

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

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. و Iqbal و Bano (۲۰۰۹) افزایش فعالیت آنزیم‌های اکسند کاتالاز و پراکسیداز را ناشی از کاهش پایداری غشا سلولی در

ادامه جدول ۲-

پراکسیداز (میکرومول/ گرم وزن تر)			پروکلین (میکرومول/ گرم وزن تر)			تنش ژنوتیپ
S3	S2	S1	S3	S2	S1	
۱/۵۲ ^{wx}	۱/۳۳ ^f	۱/۰۱ ^k	۱۸/۲۰ ^{lm}	۱۷/۱۶ ^{mn}	۱۱/۶۶ ^{abz}	L1
۱/۵۶ ^u	۱/۴۲ ^b	۱/۰۷ ⁱ	۱۸/۳۳ ^l	۱۷/۰۰ ^{no}	۱۲/۹۳ ^{v-y}	L2
۱/۵۹ ^t	۱/۴۲ ^b	۱/۰۴ ^j	۱۹/۰۰ ^a	۱۴/۰۰ ^c	۱۱/۹۰ ^{a-z}	L3
۱/۸۳ ^{de}	۱/۶۷ ^l	۱/۳۶ ^d	۲۷/۳۳ ^{q-u}	۱۹/۴۰ ^{w-z}	۱۵/۳۳ ^{w-z}	T1
۱/۸۱ ^f	۱/۶۳ ^{pq}	۱/۴۴ ^a	۲۵/۶۶ ^{qrs}	۲۱/۳۰ ^{vw}	۱۴/۷۶ ^{az}	T2
۱/۶۴ ^{op}	۱/۵۱ ^x	۱/۴ ^{bc}	۳۰/۴۳ ^g	۲۶/۰۰ ^{op}	۱۶/۶۳ ^{q-s}	T3
۲/۱۹ ^a	۱/۶۹ ^k	۱/۵۸ ^t	۳۲/۰۰ ^{ef}	۱۶/۶۶ ^{no}	۱۳/۳۳ ^{t-w}	T4
۱/۸۵ ^c	۱/۶۲ ^{qr}	۱/۳۵ ^e	۲۹/۰۰ ^h	۱۵/۲۶ ^{pq}	۱۲/۰۰ ^{v-z}	L1T1
۱/۷۱ ^j	۱/۴۸ ^z	۱/۲۴ ^g	۲۴/۳۳ ^j	۲۱/۰۰ ^k	۱۴/۰۰ ^{q-v}	L1T2
۱/۶۶ ^{lm}	۱/۶۰ ^s	۱/۵۵ ^u	۲۷/۰۰ ^{de}	۱۶/۷۶ ^{no}	۱۵/۰۶ ^{p-t}	L1T3
۱/۷۰ ^{jk}	۱/۵۸ ^t	۱/۵۶ ^u	۱۷/۰۰ ^{no}	۱۴/۶۶ ^{q-s}	۱۲/۰۰ ^{v-z}	L1T4
۱/۶۵ ^{mn}	۱/۴۴ ^a	۱/۱۴ ^h	۱۸/۳۳ ^{pq}	۱۳/۳۳ ^{t-w}	۱۳/۶۶ ^{s-v}	L2T1
۱/۵۳ ^{vw}	۱/۴۹ ^y	۱/۴۰ ^c	۲۴/۰۰ ^d	۱۲/۰۰ ^{v-z}	۱۰/۴۶ ^c	L2T2
۱/۶۲ ^{qr}	۱/۴۴ ^a	۱/۳۳ ^f	۱۸/۴۶ ^l	۱۳/۳۰ ^{u-w}	۱۰/۶۶ ^{bc}	L2T3
۱/۸۴ ^{cd}	۱/۷۹ ^g	۱/۵۵ ^u	۱۴/۴۰ ^{q-t}	۱۲/۳۳ ^{w-z}	۱۱/۰۰ ^{a-c}	L2T4
۱/۸۲ ^{ef}	۱/۷۳ ⁱ	۱/۵۴ ^v	۲۸/۳۳ ^b	۲۲/۰۰ ^k	۱۳/۰۰ ^{v-x}	L3T1
۱/۹۲ ^b	۱/۶۷ ^l	۱/۵۶ ^u	۲۱/۶۶ ^k	۱۴/۳۳ ^{q-u}	۱۳/۳۶ ^{u-w}	L3T2
۱/۸۱ ^f	۱/۷۵ ^h	۱/۶۱ ^{rs}	۳۱/۹۳ ^{ef}	۲۲/۱۳ ^{fg}	۱۰/۳۶ ^c	L3T3
۱/۷۶ ^h	۱/۷۴ ⁱ	۱/۶۵ ^{no}	۲۶/۳۳ ⁱ	۲۱/۶۶ ^k	۱۸/۶۶ ^l	L3T4

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار هستند.

لاین‌ها: L1:Bitstok, L2:Kingstone, L3:Petocarly و تسترها: T1:LA1607, T2:LA2656, T3:2080, T4:LA1579

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

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-Rodriguez 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 H₂O₂ داشتند. افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز در گوجه‌فرنگی به موازات افزایش سطح

ادامه جدول ۲-

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

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار هستند.

لاین‌ها: L1:Bitstok, L2:Kingstone, L3:Petocarly و تسترها: T1:LA1607, T2:LA2656, T3:2080, T4:LA1579

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

(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. Bano و Iqbal (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

ادامه جدول ۲-

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

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار هستند.

لاین‌ها: L1:Bitstok, L2:Kingstone, L3:Petocarly و تسترها: T1:LA1607, T2:LA2656, T3:2080, T4:LA1579

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) به ترتیب 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

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

ادامه جدول ۲-

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

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار هستند.

لاین‌ها: L1:Bitstok, L2:Kingstone, L3:Petocarly و تسترها: T1:LA1607, T2:LA2656, T3:2080, T4:LA1579

فتوستتزی ناشی از فعال‌شدن کلروفیل‌از (آنزیم تجزیه‌کننده کلروفیل)، اختلالات هورمونی شامل افزایش هورمون‌های بازدارنده رشد (اتیلن و آبسزیک اسید) و کاهش هورمون‌های رشد (اکسین، جیبرلین، سیتوکینین)، اکسیداسیون نوری کلروفیل‌ها، و ممانعت از بیوستتزی 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

کلروفیل و یا افزایش تخریب کلروفیل، تخریب تیلاکوئید غشا و رنگدانه‌های فتوستتزی، دهیدراسیون مزوفیل سلول و کاهش کارایی استفاده از آب سلول و متعاقب آن کاهش میزان فتوستتزی گزارش کردند. ممانعت از فتوستتزی 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 فتوستتزی را ناشی از تخریب ساختمان کلروپلاست و دستگاه

عملکرد تک بوته: هیبریدهای مورد بررسی نیز با افزایش تنش کم آبی کاهش تولید داشتند به طوری 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 کم بودن آب قابل دسترس ریشه گیاه را به دلیل تولید هورمونهای محدودکننده رشد گیاه مانند اتیلن و ABA و کاهش هورمونهای تنظیم کننده رشد گیاهان در معرض تنش های آبی مختلف می دانند (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 گوجه فرنگی ذکر کردند. حسینی و نعمتی (۱۳۹۳) اثر مالچ پوششی را در کاهش اثر تنش متذکر شده و بیشترین میانگین وزن میوه گوجه فرنگی را در تیمار آبیاری با فاصله پنج روز همراه با مالچ گزارش کردند. Shinohara و همکاران (۱۹۹۵) نیز اثر تنش کم آبی بر کاهش عملکرد میوه گوجه فرنگی 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 کم آبی خاک عامل کاهش عملکرد گوجه فرنگی گزارش کردند.

نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که هیبریدهای حاصل از تلاقی والدین متحمل به کم آبی تحت شرایط تنش کم آبی دارای میزان پرولین و آنزیم اکسیدانتهی بیشتر و مالون دی آلدئید کمتر هستند. کاهش عملکرد و صفات وابسته آن نیز در این هیبریدها کمتر از هیبریدهای حاصل از تلاقی والدین حساس به کم آبی بود و L3T2 و L3T4 با افزایش سطح تنش بیشترین میزان عملکرد کل، بالقوه و تک بوته را داشتند. از این رو با توجه به شرایط آب و هوایی ایران و لزوم استفاده از ارقام مزرعه ای با دوره رشد کوتاه و عملکرد بالا به منظور کاهش هزینه های کشت و پرورش گوجه فرنگی مزرعه ای لازم است که مطالعات جامع تری در زمینه تلاقی لاین های زودرس با سایر

تولید گونه های اکسیژن فعال در سلول و به دنبال 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 ژنوتیپ های مورد ارزیابی با افزایش سطح تنش کم آبی کاهش نشان داد. در صفت تعداد کل میوه میزان تولید لاین ها از تسترها کمتر بود بیشترین تعداد میوه (۱۴/۵) در سطح تیمار بدون کم آبی در لاین L1 و تستر T1 (۲۴۲/۳۶) در مشاهده شد. تعداد میوه در بین هیبریدهای حاصل نیز تحت تاثیر افزایش سطح تنش کاهش یافت به طوری که بیشترین تعداد میوه (۱۸۲/۴) در هیبرید L1T2 در سطح بدون کم آبی و کمترین تعداد (۱۴ عدد) در تیمار سطح تنش ۶۰ درصد در هیبرید L2T3 مشاهده شد. در عملکرد کل نیز تمامی ژنوتیپ های مورد مطالعه با افزایش سطح تنش کم آبی کاهش عملکرد نشان دادند. در بین لاین ها بیشترین عملکرد در تیمار بدون کم آبی 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 معنی داری با تسترهای دیگر داشت. از بین هیبریدها بیشترین عملکرد (۳۴/۲۷ تن بر هکتار) در سطح بدون تنش کم آبی در هیبرید L1T2 بود. نتایج جدول ۲ نشان داد که بیشترین عملکرد بالقوه در شرایط بدون تنش کم آبی 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. یافته های Farooq و همکاران (۲۰۰۹)، Manunatha و همکاران (۲۰۰۴) و Sivakumar و Srividhya (۲۰۱۶) نشان داد که کم آبی ناشی از خشکی خاک محیط ریشه گیاه، حتی در ژنوتیپ های مقاوم گوجه فرنگی نیز بر عملکرد و اجزای عملکرد اثر نامطلوب زیاد داشته و نتایج تحقیق حاضر با یافته های این محققین مطابقت می کند.

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

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 بوم‌شناسی کشاورزی ۶: ۵۶۰-۵۵۲.
- دانشمند، ف. (۱۳۹۳) پاسخ سیستم دفاع آنتی‌اکسیدان گیاه گوجه‌فرنگی به تنش کم‌آبی و برهمکنش آن با آسکوربیک اسید. زیست‌شناسی گیاهی ایران ۶: ۷۲-۵۷.
- ساجدی‌نیا، ح. ا. (۱۳۹۳) تأثیر پلیمر سوپر جاذب A200 بر عملکرد و کیفیت گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum* Mill.) تحت رژیم‌های 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.

- 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 responses of drought stress in tomato: Review. *International of Journal of Agriculture, Environment 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 annuus* L.) for drought tolerance. *Communication Biometry Crop Science* 3: 29-44.
- Sanchez-Rodriguez, 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
- Wheatherley, 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 sensitivity in wild and cultivated species in relation to abscisic acid and polyamines. *Journal of Agronomy and Crop Science* 191: 450-457.

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

Maryam Noori¹, Alireza Motallebi Azar¹, Mehdi Saidi^{2*}, Jaber Panahandeh¹, Davood Zare Hghi³,

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 hybrids 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 ($31.93 \mu\text{MgFW}^{-1}$) was observed under severe stress in Petoearly \times 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 ($15.74 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) was observed in LA2656 \times Petoearly hybrid, Petoearly line ($19 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) and LA1579 tester ($32 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$).

Key words: Antioxidant Enzymes, Deficit irrigation, Tomato

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