پژوهش در علوم باغبانی
جلد۲، شماره۱، بهار و تابستان ۱۴۰۲ (ص۴۴-۳۱)
تارنمای مجله: https://rhsj.areeo.ac.ir
مقاله علمی پژوهشی
Journal of Reserch in Horticultural Science
Vol. 2, No.1 spring and summer 2022 (31-44)
10.22092/rhsj.2023.362023.1058

تأثیر تنش خشکی بر محتوی نسبی آب برگ و فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان در برخی از پایه‌های هیبرید سیب

داریوش آتشکار

استادیار پژوهش پژوهشکده میوه های معتدله و سردسیری-موسسه تحقیقات علوم باغبانی- سازمان تحقیقات،آموزش و ترویج کشاورزی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱/۲۶ **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۲/۳/۳۰

چکیده

به‌منظور ارزیابی تحمل به خشکی برخی پایه‌های رویشی هیبرید سیب، آزمایشی گلدانی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۱ ژنوتیپ پایه رویشی حاصل از برنامه اصلاح پایه‌های سیب شامل AR1 تا AR11 به‌همراه پایه MM111 به‌عنوان شاهد متحمل در دو تیمار آبیاری ۴۰ درصد (تنش) و ۸۰ درصد (شاهد) درصد آب قابل استفاده در خاک اجرا شد. محتوی نسبی آب برگ و آنزیم‌های سوپر اکسید دیسموتاز، پروکسیداز، آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز و پراکسید هیدروژن در نمونه‌های برگی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد محتوی نسبی آب برگ، فعالیت آنزیم‌های سوپر اکسید دیسموتاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز و پراکسید هیدروژن به طور معنی داری تحت تأثیر ژنوتیپ پایه و اثر متقابل سطح تنش و ژنوتیپ پایه قرار گرفت. تنش خشکی در تمام ژنوتیپ پایه‌ها باعث کاهش محتوی نسبی آب برگ گردید، اما ژنوتیپ پایه‌های AR4, AR8, AR11 اختلاف کمتری با تیمار شاهد داشتند. تنش خشکی باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، آسکوربات پراکسیداز و پراکسیداز و رادیکال آزاد پراکسید هیدروژن در برگ ژنوتیپ پایه‌های سیب گردید. مقایسه میزان فعالیت آنزیم‌ها در شرایط تنش خشکی نسبت به تیمار آبیاری شاهد نشان داد در ژنوتیپ پایه‌های AR3, AR4, AR7, AR8, AR11 فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان افزایش یافت و ژنوتیپ پایه‌های AR3, AR6, AR7, AR10 تجمع پراکسید هیدروژن بیشتری نشان دادند؛ بنابراین ژنوتیپ پایه‌های AR4, AR8, AR11 در شرایط تنش خشکی با داشتن محتوی نسبی آب برگ و فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان بیشتر، نسبت به سایر ژنوتیپ پایه‌ها متحمل به تنش خشکی ارزیابی می‌شوند.

واژگان کلیدی: پایه، سیب، برگ، تنش خشکی، آنزیم

Effect of Drought Stress on Water Relative Content of Leaf and Antioxidant Enzymes Activity in Some Hybrid Apple Rootstocks

Dariush Atashkar

Assistant profesor of Horticulture DepartmentTemperate Fruits Research Center,Horticultural sciences Research Institute, Agricultural Research, Education and Extention(AREEO)

Received:April2023 Accepted: June2023

Abstract

In order to evaluate the drought tolerance of some hybrid apple rootstocks, a factorial experiment was conducted base on randomized complete block design with 11 rootstock genotypes obtained from the apple rootstock breeding program, including AR1 to AR11, with MM111 rootstock as control in two irrigation treatments (40) and 80 (control) percent of usable water in the soil was applied. The water relative content of leaf and enzymes superoxide dismutase, peroxidase, ascorbate peroxidase, catalase and hydrogen peroxide were measured in leaf samples. The results showed that the water relative content of leaf, the activity of superoxide dismutase, peroxidase and ascorbate peroxidase enzymes and hydrogen peroxide were significantly affected by the rootstock genotype and the interaction effect of stress level and rootstock genotype. Drought stress caused a decrease in the relative water content of leaves in all the genotypes, but AR4, AR8, and AR11 genotypes had less differences compared to control irrigation. Drought stress increased the activity of superoxide dismutase, ascorbate peroxidase and peroxidase and hydrogen peroxide in the leaves of rootstock genotypes. The comparison of the activity of enzymes under drought stress compared to control irrigation treatment showed the activity of antioxidant enzymes increased in genotypes AR3, AR4, AR7, AR8, AR11 and hydrogen peroxide accumulation in genotypes AR3, AR6, AR7, AR10. Therefore, the genotypes of AR4, AR8, and AR11 under drought stress conditions, with high relative leaf water content and higher antioxidant enzyme activity, are evaluated as tolerant to drought stress compared to other genotypes.

Keywords: Control Management, Elite, Fungicide, Gummosis, Pistachio trees diseases.

* نویسنده مسئول: datashkar2002@yahoo.com

۱- مقدمه

در مناطق پرورش سیب کشور، تنش خشکی بیش‌ترین شیوع را در میان انواع تنش‌های محیطی به خود اختصاص داده است. تنش خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزنده است که گیاهان در طول دوران رشد ونمو با آن مواجهه می‌شوند (Sircelj *et al.* 2007). تنش خشکی به‌واسطه کاهش فرایند فتوسنتز، کاهش سطح برگ و سبزینه آن و در نهایت کاهش تولید ماده خشک، عملکرد گیاه را به‌شدت کاهش می‌دهد (Wahid and Rasol, 2005). محتوای نسبی آب این ویژگی رطوبتی به‌صورت درصدی از محتوای آب اندام در حالت اشباع (آماس کامل) بیان می‌گردد. اندازه‌گیری محتوای نسبی آب قابل‌اطمینان‌ترین روش اندازه‌گیری مقدار آب در بافت‌های گیاهی بوده و به همین دلیل، کاربرد آن بیش از سایر روش‌ها است. (علیزاده،۱۳۸۷). گیاهان تحت تنش خشکی محتوی نسبی آب برگ پایین‌تری نسبت به شرایط آبیاری نرمال دارند و قرار دادن مداوم این گیاهان در معرض تنش خشکی باعث کاهش پتانسیل آب برگ، مقدار نسبی آب برگ، میزان تعرق و افزایش دمای برگ خواهد شد، محتوی نسبی آب برگ در هنگام تنش گاهی تا ۵۰% کاهش می‌یابد. (Faroq *et al.*, 2009). محتوای نسبی آب بالاتر در شرایط تنش خشکی که ممکن است از طریق قابلیت تنظیم اسمزی و یا توانایی بیشتر ریشه در جذب آب حاصل شود، به معنی توانایی برگ در حفظ مقادیر بیشتر آب است. ژنوتیپ‌های با محتوی نسبی آب برگ بالا برای مناطق خشک مناسب‌اند؛ زیرا قادرند بدون بستن روزنه‌های خود آب بیشتری حفظ نمایند (کافی و همکاران، ۱۳۸۸). مطالعه درختان دوساله سیب رقم «گیل گالا» پیوند شده بر روی دو گونه *Malus Sieversii* و *Malus hupehensis* تحت تنش خشکی نشان داد که محتوی نسبی آب برگ فتوسنتز، بیوماس کل،میزان کلروفیل و کارایی مصرف آب در نهال‌های سیب پیوند شده بر روی پایه مقاوم *Malus Sieversii* بیشتر از گونه دیگر بود (lie *et al.*, 2012). تنش خشکی باعث افزایش پراکسیداسیون چربی‌ها و به دنبال آن کاهش شاخص پایداری غشای سلول در گیاهان مختلف می‌شود. پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء حاصل تنش اکسایشی است. اسیدهای چرب غیراشباع حساس‌ترین بخش غشاء به اکسید شدن و تخریب توسط تنش اکسایشی هستند. تجزیه این اسیدها توسط اکسیژن فعال، تولید ترکیب‌هایی مانند مالون دی آلدئید کرده که برای سلول ایجاد مسمومیت می‌کند. مالون دی آلدئید یک آلدئید فعال و ترکیبی الکترون‌دوست است که به‌طورمعمول به شکل خالص دیده نمی‌شود، تجمع مالون دی آلدئید، در شرایط تنش سبب افزایش نفوذپذیری غشاء پلاسمایی شده و نشت یونی را افزایش می‌دهد (فیفائی و همکاران ۱۳۹۵). وانگ و همکاران (۲۰۱۱)، تأثیر تنش خشکی بر دوپایه مقاوم *Malus sieversii* و حساس سیب *Malus hupehensis* را بررسی کردند و نتیجه‌گیری نمودند که تحت تأثیر تنش خشکی غلظت مالون دی آلدئید در پایه سیب حساس به خشکی بیشتر از پایه مقاوم است (wang *et al.*, 2011).

وانگ جی و همکاران (۲۰۱۰) تأثیر تنش خشکی را بر روی دانهال‌های سیب گونه *Malus micromalus* در شرایط درون شیشه‌ای بررسی کردند. تنش خشکی در این گونه سیب باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان سوپر اکسید دیسموتاز و کاتالاز و افزایش غلظت مالون دی آلدئید در برگ دانهال‌های سیب تحت تنش گردید و افزایش غلظت مالون دی آلدئید در برگ دانهال‌ها با نفوذپذیری غشاء سلولی ارتباط مستقیم داشت (wang *et al.*, 2010). کاهش

جدول ۱- ژنوتیپ پایه‌های سیب موردمطالعه و والدین آن‌ها.

شجره‌نامه	والدین	ژنوتیپ پایه
حاصل از گرده‌افشانی آزاد رقم آزایش اصفهان	AZOP	AR1
حاصل از گرده‌افشانی آزاد رقم آزایش اصفهان	AZOP	AR2
حاصل از گرده‌افشانی آزاد پایه M9	M9OP	AR3
حاصل از گرده‌افشانی آزاد پایه M۹	M9OP	AR4
هیبرید بین رقم آزایش به‌عنوان پایه مادری و M9 به‌عنوان پایه پدری	AZ×M9	AR5
هیبرید بین رقم آزایش به‌عنوان پایه مادری و M9 به‌عنوان پایه پدری	AZ×M9	AR6
هیبرید بین رقم آزایش به‌عنوان پایه مادری و B9 به‌عنوان پایه پدری	AZ×B9	AR7
هیبرید بین رقم آزایش به‌عنوان پایه مادری و B9 به‌عنوان پایه پدری	AZ×B9	AR8
هیبرید بین رقم آزایش به‌عنوان پایه مادری و M27 پایه پدری	AZ×M27	AR9
هیبرید بین رقم آزایش به‌عنوان پایه مادری و M27 پایه پدری	AZ×M27	AR10
هیبرید بین رقم مربایی به‌عنوان پایه مادری و M9 به‌عنوان پایه پدری	Morabaei×M9	AR11
هیبرید بین رقم Northrn spy به‌عنوان پایه مادری و Merton793 به‌عنوان پایه پدری	Northrn spy×Merton793	MM111

تنش خشکی از اواسط تیر ماه شروع شده و به مدت دو ماه به‌طول انجامید. برای اندازه‌گیری محتوی نسبی آب برگ، طبق دستورالعمل خیرناک و همکاران (۲۰۰۱) قطعاتی از برگ (از قسمت میانی پهنک و بدون رگبرگ اصلی) انتخاب و وزن‌تر آن‌ها تعیین گردید. به‌منظور تعیین وزن برگ در حالت تورژسانس، قطعات برگ به مدت ۲۴ ساعت در شدت نور کم و دمای ۴ درجه سانتی‌گراد در داخل آب مقطر قرار گرفتند تا سلول‌های داخل برگ آب جذب نموده و به حالت تورژسانس درآیند. سپس، قطعات آماس یافته دوباره وزن شدند. به دنبال آن برگ‌ها در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شده و وزن خشک آن‌ها نیز اندازه‌گیری شد محتوی نسبی آب برگ (بر حسب درصد) از رابطه زیر به دست آمد:

$$\%RWC = \frac{W_f - W_d}{W_t - W_d} \times ۱۰۰$$

Wf؛ وزن‌تر برگ Wd؛ وزن خشک برگ Wt؛ وزن برگ در حالت تورژسانس

فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز به روش اسپکتروفتومتری و بر اساس قابلیت بازدارندگی آن در احیای فتوشیمیایی نیتروبلوتترازولیوم در طول‌موج، ۵۶۰ نانومتر اندازه‌گیری گردید (بیچامپ و فریدویچ، ۱۹۷۱)[1]. برای تعیین میزان فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز، مقدار ۳ میلی‌لیتر «محلول واکنش»، ۱۰۰ میکرولیتر بافر استخراج و ۱۰۰ میکرولیتر «عصاره آنزیم» باهم مخلوط شد و مورد استفاده قرار گرفت. به کمک دستگاه اسپکتروفتومتر (varian مدل CARY-100)، اعداد جذب نور نمونه‌ها در طول‌موج ۵۶۰ نانومتر ثبت گردید. هر یک واحد فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز به‌عنوان مقداری از آنزیم یا پروتئین (بر حسب میلی‌گرم) منظور گردید که در طول‌موج ذکر شده موجب ۵۰ درصد کاهش احیای فتوشیمیایی نیترو بلو تترازولیوم در مقایسه با نمونه شاهد می‌گردد. فعالیت آنزیم (بر حسب واحد در میلی‌گرم برگ) از رابطه زیر محاسبه گردید:

1. Beauchamp and Fridovich

$$\text{SOD activity} = \frac{100-[\frac{(\text{OD Control}-\text{OD Sampel})}{\text{OD Control}}\times 100]}{50}$$

فعالیت آنزیم کاتالاز به روش اسپکتروفتومتری ارائه‌شده توسط آیبای[1] (۱۹۸۴) و بر اساس میزان ناپدید شدن H2O2 در طول‌موج ۲۴۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. ثبت تغییرات جذب نور نمونه ها در طول‌موج ۲۴۰ نانومتر که بیانگر میزان کاهش غلظت H2O2 می‌باشد، هر ۱۰ ثانیه و به مدت ۱۲۰ ثانیه انجام گردید. هر یک واحد از فعالیت آنزیم کاتالاز به‌عنوان مقداری از آنزیم در نظر گرفته شد که موجب کاهش یک میکرومول H2O2 در هر دقیقه می‌شود. میزان فعالیت آنزیم (بر حسب واحد در میلی‌گرم برگ) از رابطه زیر محاسبه گردید:

$$CAT\ activity = \frac{|A_{۲۴۰}.(t_۲) - A_{۲۴۰}.(t_۱)|}{t_۲ - t_۱} \times \frac{V_t}{E \times V_s}$$

فعالیت آنزیم پراکسیداز به روش اسپکتروفتومتری ارائه‌شده توسط هرزاگ و فهیمی[2] (۱۹۷۳) مورد ارزیابی قرار گرفت. ثبت تغییرات جذب نور نمونه ها در طول‌موج ۴۶۵ نانومتر که بیانگر میزان تخریب و کاهش غلظت H2O2 است، هر ۱۰ ثانیه و به مدت ۱۲۰ ثانیه انجام گردید. هر یک واحد از فعالیت آنزیم پراکسیداز به‌عنوان مقداری از آنزیم در نظر گرفته شد که در هر دقیقه موجب کاهش یک میکرومول H2O2 در هر میلی‌لیتر می‌شود. میزان فعالیت آنزیم (بر حسب واحد در میلی‌گرم برگ) از رابطه زیر محاسبه گردید:

$$POD\ activity = \frac{|A_{۴۶۵}(t_۲) - A_{۴۶۵}(t_۱)|}{t_۲ - t_۱} \times \frac{V_t}{E \times V_s}$$

فعالیت آنزیم آسکوربات پروکسیداز به روش اسپکتروفتومتری ارائه‌شده توسط ناکانو و آسادا[3] (۱۹۸۱) اندازه‌گیری شد. اساس این روش کاهش جذب نور در طول‌موج ۲۹۰ نانومتر است که ناشی از اکسیده شدن آسکوربات می‌باشد، ثبت تغییرات جذب نور نمونه تا در طول‌موج ۲۹۰ نانومتر که بیانگر میزان اکسیداسیون و کاهش غلظت آسکوربات است، هر ۱۰ ثانیه و به مدت ۱۲۰ ثانیه انجام گردید. هر واحد از فعالیت آنزیم پراکسیداز به‌عنوان مقداری از آنزیم در نظر گرفته شد که موجب اکسیده شدن یک میکرومول آسکوربات در هر دقیقه می‌شود. میزان فعالیت آنزیم (بر حسب واحد در میلی‌گرم برگ) از رابطه زیر محاسبه گردید:

$$APX\ activity = \frac{|A_{۲۹۰}.(t_۲) - A_{۲۹۰}.(t_۱)|}{t_۲ - t_۱} \times \frac{V_t}{E \times V_s}$$

در کلیه فرمول‌های فوق: t_1 و t_2 ابتدا وانتهای بازه زمانی مورد بررسی (بر حسب دقیقه)،

A (t_1), A (t_2) به ترتیب، مقادیر جذب نور در طول‌موج مورد استفاده برای خوانش نمونه در زمان‌های t_1. t_2,

Vt حجم نهایی محلول واکنش.

Vs حجم عصاره آنزیمی مورداستفاده.

E ضریب تجزیه برای آنزیم‌های مختلف، متفاوت می‌باشد.

غلظت پراکسید هیدروژن بر اساس واکنش H2O2 با پتاسیم یدید (KI) و با روش آلکسیوا[4] (۲۰۰۱) انجام شد. به ۵۰۰ میکرولیتر عصاره تهیه‌شده از بافت برگ ۵۰۰ میکرولیتر بافر پتاسیم فسفات ۱۰۰ میلی مولار (pH=7) و ۲ میلی‌لیتر یدید پتاسیم یک مولار اضافه گردید. مخلوط حاصل به مدت یک ساعت در تاریکی در دمای اتاق قرار داده شد و سپس جذب نمونه ها در ۳۹۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. برای محاسبه غلظت پراکسید هیدروژن از منحنی استاندارد استفاده شد.

1.Aebi
2.Herzog and Fahimi
3.Nakano and Asada
4. Alexieva

۳-نتایج و بحث

۱-۳-محتوی نسبی آب برگ[1]

محتوی نسبی آب برگ تحت تأثیر ژنوتیپ، سطح تنش خشکی و اثر متقابل پایه و سطح تنش خشکی قرار گرفت. جدول مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که در شرایط آبیاری شاهد (۸۰ درصد آب قابل‌دسترس خاک) بیشترین محتوی نسبی آب برگ مربوط به ژنوتیپ پایه‌های AR10, AR11 با ۸۰/۷۸ و ۷۴/۷۱ درصد و کمترین محتوی نسبی آب برگ مربوط به ژنوتیپ پایه‌های MM111, AR8 با ۶۶/۰۹ و ۶۳/۳۴ درصد بوده است. تنش خشکی (۴۰ درصد آب قابل‌دسترس خاک) باعث کاهش محتوی نسبی آب برگ نسبت به تیمار آبیاری شاهد گردید. تحت شرایط تنش خشکی بیشترین محتوی نسبی آب برگ مربوط به ژنوتیپ پایه‌های AR2, AR10, AR11 با ۸۰/۷۸، ۷۵/۳۴، ۶۸/۰۸ درصد و کمترین آن مربوط به ژنوتیپ پایه‌های AR3, AR6, AR7, MM111 به ترتیب با ۶۰/۷۷، ۶۱/۶۳، ۶۱/۶۰، ۶۰/۹۱ درصد بوده است (جدول ۲).

نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش نشان می‌دهد تنش خشکی در تمام ژنوتیپ پایه‌ها باعث کاهش محتوی نسبی آب برگ گردید، اما نسبت کاهش آن در ژنوتیپ‌های مختلف، متفاوت بود. ژنوتیپ پایه‌های AR4, AR8, AR11 به ترتیب با ۱/۹۶، ۰/۵۲، ۲/۶ درصد کاهش، نسبت به آبیاری شاهد کمترین کاهش و ژنوتیپ پایه‌های AR3, AR6, AR7, AR9 به ترتیب با ۱۵/۱۸،۷۷/۱۱،۲۷/۲۷ و ۱۷/۲۴ درصد، بیشترین کاهش محتوی نسبی آب برگ را نشان دادند (جدول ۳). تورکوسکی[2] و همکاران (۲۰۱۶) با بررسی ارقام سیب گالا و فوجی روی پایه‌های رویشی MM111, و M9 تحت شرایط تنش خشکی نتیجه‌گیری کردند که درختان پیوند شده رقم گالا بر پایه رویشی پر رشد MM111 مقدار آب بیشتری نسبت به پایه کم‌رشد M9 مصرف می‌کنند. در نتیجه در حجم معین از خاک، محتوی نسبی آب برگ در درختان پیوند شده بر پایه رویشی پر رشد MM111 کمتر از پایه کم‌رشد M9 بود. ابراهیم بولات و همکاران (۲۰۱۴) اثر تنش خشکی شدید بر خصوصیات مرفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی پایه‌های سیب و به را بررسی کردند. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که تنش خشکی شدید باعث کاهش محتوی نسبی آب برگ گردید. بینگوا[3] و همکاران (۲۰۱۲) اثر تنش خشکی بر گونه‌های مختلف سیب به‌عنوان پایه را مورد بررسی قراردادند. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد گونه مقاوم دارای محتوی نسبی آب برگ بیشتر نسبت به گونه حساس به تنش خشکی بود. تحت تأثیر تنش خشکی پارامترهای فیزیولوژیکی کاهش یافت و میزان کاهش آن در ژنوتیپ پایه‌های مختلف متفاوت بود. کمترین کاهش در تبادلات روزنه‌ای و فتوسنتز تحت تنش خشکی در ژنوتیپ پایه‌های AR1, AR4, AR8, AR11 و بیشترین عکس‌العمل منفی به تنش در ژنوتیپ پایه‌های AR3, AR6, AR7, AR9 مشاهده شد (آتشکار و همکاران ۱۳۹۷).

۲-۳-فعالیت‌های آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان

۱-۲-۳-سوپر اکسید دیسموتاز

فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر ژنوتیپ پایه و اثر متقابل سطح تنش و پایه قرار گرفت. در شرایط آبیاری شاهد (۸۰ درصد آب در دسترس خاک) بیشترین مقدار فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز در ژنوتیپ پایه MM111 با ۱/۴۳ واحد آنزیم در میلی‌گرم برگ تازه و پس از آن در ژنوتیپ پایه‌های AR10،AR5 با ۱/۳۰ و ۱/۳۵ واحد آنزیم در میلی‌گرم برگ تازه ثبت گردید، سایر ژنوتیپ پایه‌ها در حد واسط و در یک گروه

1. Relative water content
2.Tworkoski
3.Binghua

قرار گرفتند (جدول ۲). مقایسه میزان فعالیت آنزیم در شرایط تنش خشکی نسبت به تیمار آبیاری شاهد نشان داد که ژنوتیپ پایه‌های AR4, AR7, AR11 با ۵/۲ و ۵/۸ و ۱۳/۹ درصد افزایش نسبت به تیمار آبیاری شاهد دارای بیشترین افزایش در فعالیت آنزیم و ژنوتیپ پایه‌های AR5, AR9, MM111 با ۱۹/۶ و ۱۶/۷ و ۱۱/۹ درصد کاهش نسبت به تیمار آبیاری شاهد دارای بیشترین کاهش فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز در بین ژنوتیپ پایه‌های سیب بودند (جدول ۳). فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در پایه‌های مختلف در شرایط تنش خشکی تفاوت نشان داد. در ژنوتیپ پایه‌های AR4, AR7, AR11 افزایش نشان داد و در سایر ژنوتیپ‌ها نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت.

۲-۲-۳-گایاکول پراکسیداز (POD)

مقدار فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز به‌طور معنی‌داری ژنوتیپ پایه و سطح تنش خشکی قرار گرفت، اما اثرات متقابل فاکتورها معنی‌دار نشد. بیشترین فعالیت آنزیم با ۱/۰۴ واحد آنزیم در میلی‌گرم پروتئین مربوط به ژنوتیپ پایه AR2 و کمترین آن با ۰/۵۷ واحد مربوط به AR1 بوده است (جدول ۲). سایر ژنوتیپ پایه‌ها در حد واسط این دو ژنوتیپ قرار داشته و اختلاف معنی‌داری نشان ندادند. تنش خشکی باعث افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز گردید، به‌طوری‌که در شرایط آبیاری شاهد با میانگین ۰/۷۴ واحد آنزیم، در شرایط تنش خشکی با ۰/۸۱ واحد آنزیم افزایش نشان داد. مقایسه میانگین میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز گایاکول در شرایط تنش خشکی نسبت به تیمار آبیاری شاهد نشان داد که ژنوتیپ پایه‌های AR7, AR8, AR11 با ۳۴/۵۳،۵/۶ و ۳۰/۲ درصد بیشترین افزایش و ژنوتیپ پایه‌های AR4, AR5, MMM111 با ۱۵/۸، ۸/۵ و ۹/۴ درصد بیشترین کاهش میزان فعالیت آنزیم را داشته‌اند (جدول ۳). تحت تنش خشکی فعالیت آنزیم پراکسیداز در تمامی ژنوتیپ پایه‌های سیب به‌استثناء ژنوتیپ پایه‌های AR4, AR5, MM111 افزایش یافت و میزان افزایش فعالیت پرکسیداز در ژنوتیپ‌های مختلف متفاوت بود. بیشترین فعالیت آنزیم پرکسیداز در ژنوتیپ پایه‌های AR7, AR8, AR11 تحت شرایط تنش خشکی نسبت به تیمار آبیاری شاهد ثبت گردید.

۳-۲-۳-آسکوربات پراکسیداز (APX)

فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز به‌طور معنی‌داری داری تحت تأثیر ژنوتیپ پایه، سطح تنش، اثر متقابل ژنوتیپ پایه و سطح تنش قرار گرفت. میزان فعالیت آنزیم در شرایط تنش خشکی ۰/۶۹ واحد در میلی‌گرم پروتئین و بیشتر از فعالیت آنزیم در شرایط عدم تنش ۰/۵۵ واحد در میلی‌گرم پروتئین بود (جدول ۲). تنش خشکی باعث افزایش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در برگ ژنوتیپ پایه‌های سیب گردید اما واکنش پایه‌های سیب متفاوت بود. تحت تنش خشکی بیشترین فعالیت آنزیم مربوط به ژنوتیپ پایه‌های AR2, AR3, MM111 به ترتیب با ۱،۱/۳۲،۱/۰۴ واحد آنزیم در میلی‌گرم پروتئین و کمترین فعالیت آنزیم مربوط به ژنوتیپ پایه‌های AR2, AR6, AR11 به ترتیب با ۰۱،۱/۳۰،۰/۲۸،۰/۳۳ واحد آنزیم در میلی‌گرم پروتئین ثبت گردید. عکس‌العمل پایه‌ها در شرایط تنش خشکی با هم متفاوت بود و مقایسه میانگین فعالیت آنزیم پراکسیداز آسکوربات در شرایط تنش خشکی نسبت به تیمار آبیاری شاهد نشان داد که ژنوتیپ پایه‌های AR3, AR4, AR8 به ترتیب با ۴۴/۶، ۷۰/۴، ۲۳۸ درصد بیشترین افزایش و

ژنوتیپ پایه‌های AR6, AR7, AR9, AR11 به ترتیب با ۱۷/۵، ۱۴/۶، ۴۵/۹،۴/۶ درصد بیشترین کاهش در فعالیت آنزیم را به خود اختصاص داده‌اند (جدول ۳). فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز نیز در ژنوتیپ پایه‌های مختلف تحت تنش خشکی نسبت به شرایط آبیاری شاهد افزایش یافت و در این بین ژنوتیپ پایه‌های AR3, AR4, AR8 بیشترین افزایش و ژنوتیپ پایه‌های AR6, AR7, AR9, AR11 کمترین افزایش در فعالیت آنزیم داشتند.

٤-۲-۳-کاتالاز

فعالیت آنزیم کاتالاز در برگ ژنوتیپ پایه‌های سیب تحت تأثیر ژنوتیپ پایه، سطح تنش خشکی و اثرات متقابل آن‌ها قرار نگرفت (جدول ۲). تحت تنش خشکی فعالیت آنزیم کاتالاز نیز در بیشتر ژنوتیپ پایه‌های سیب به‌استثناء ژنوتیپ‌های AR2, MM111 افزایش یافت. بیشترین افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز تحت شرایط تنش خشکی نسبت به تیمار آبیاری شاهد در ژنوتیپ پایه‌های AR5, AR7, AR9 ثبت گردید.

بنابراین چنین نتیجه‌گیری می‌شود که تنش خشکی در ژنوتیپ پایه‌های سیب باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌شود، اما واکنش ژنوتیپ پایه‌های مختلف متفاوت است. ژنوتیپ پایه AR7 نسبت به سایر ژنوتیپ پایه‌ها تحت شرایط تنش خشکی، دارای افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان سوپراکسید دیسموتاز، پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز و کاتالاز نسبت به شرایط آبیاری شاهد در همین ژنوتیپ بود و پس از آن ژنوتیپ پایه‌های AR4, AR8, AR11 دارای بیشترین افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز نسبت به شرایط آبیاری شاهد داشتند، پایه‌های AR5, AR9 میزان کاتالاز بیشتری نسبت به شرایط آبیاری شاهد داشتند. نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش با سایر پژوهش‌های انجام‌گرفته در خصوص تأثیر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در میزان مقاومت به تنش خشکی در گونه‌های مختلف گیاهی مطابقت می‌نماید. بولات[1] و همکاران (۲۰۱۴) اثر تنش خشکی را بر روی پایه‌های رویشی سیب M9 و به MA بررسی کردند، نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که در هر دوپایه رویشی تنش خشکی باعث افزایش تغییر در فعالیت آنزیم پروکسیداز گردید اما فعالیت کاتالاز بین تیمار تنش و آبیاری شاهد معنی‌دار نشد. شان[2] و همکاران (۲۰۱۴) اثر تنش خشکی بر روی دو رقم سیب ناگونو فوجی و کوین گوان پیوند شده بر پایه *Malus hupehensis* را بررسی کردند، نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که تحت شرایط تنش خشکی فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز در رقم مقاوم به خشکی کووین گوان نسبت به تیمار آبیاری شاهد افزایش یافت اما در رقم حساس به خشکی ناگانو فوجی فقط فعالیت پراکسیداز افزایش یافت. زانگ جی[3] و همکاران (۲۰۱۰) اثر تنش خشکی بر پراکسیداسیون چربی‌های غشاء و پایداری غشاء سلولی و رابطه آن با فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان یک رقم سیب را بررسی نمودند، آن‌ها نتیجه‌گیری کردند که فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز باعث کاهش پروکسیداسیون چربی‌های غشاء سلولی و درنتیجه کاهش تولید مالون دی آلدئید گردید. بینگوالیو[4] و همکاران (۲۰۱۲) اثرات تنش خشکی بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در برگ سیب رقم گیل گالا[5] روی پایه مقاوم به خشکی

1.Bolat
2. Shan
3.Zhang jie
4.Binghua liu
5.Gale Gala

Malus sieversii و پایه حساس به خشکی *Malus hupehensis* را بررسی کردند، نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که در پایه مقاوم به خشکی مالوس سیورسی فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز نسبت به پایه حساس به خشکی *Malus hupehensis* افزایش‌یافته و تولید رادیکال‌های آزاد کاهش یافت.

۵-۲-۳-پراکسید هیدروژن

غلظت پراکسید هیدروژن به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر ژنوتیپ پایه، سطح تنش خشکی قرار گرفت. همان طور که جدول مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد ژنوتیپ پایه‌های سیب به لحاظ تولید پراکسید هیدروژن با هم تفاوت معنی‌داری نشان دادند، ژنوتیپ پایه‌های AR6, AR8, AR10 با تولید ۱۳۷۲/۵ و ۱۸۷۹/۹ و ۲۰۴۶/۲ میکرومول بر گرم وزن تازه برگ پراکسید هیدروژن بیشترین و ژنوتیپ پایه‌های AR11,MM111 با تولید ۹۱۳/۸ و ۱۰۱۱/۲ میکرومول بر گرم وزن تازه برگ پراکسید هیدروژن کمترین میزان پراکسید هیدروژن داشتند. تنش خشکی در ژنوتیپ پایه‌های سیب باعث افزایش پراکسید هیدروژن گردید، بدین‌صورت که میانگین آن در شرایط آبیاری شاهد از ۱۱۹۰/۶ میکرومول به ۱۶۳۷/۱۹ میکرومول درگرم وزن تازه برگ در شرایط تنش خشکی افزایش یافت (جدول ۲). ژنوتیپ پایه‌ها از نظر افزایش در غلظت پراکسید هیدروژن تحت تنش خشکی با هم اختلاف‌هایی نشان دادند. ژنوتیپ پایه‌های AR3, AR6, AR7, AR10 با ۱۲۹، ۷۴/۴، ۹۱ و ۷۹/۶ درصد دارای بیشترین افزایش در تجمع پراکسید هیدروژن و ژنوتیپ پایه‌های AR5, AR9, AR11 با ۳۶/۱- ۳۰/۴ و ۳/۷ درصد کمترین افزایش در تجمع پراکسید هیدروژن در شرایط تنش خشکی در مقایسه با تیمار عدم تنش بودند (جدول ۳). نتایج این پژوهش با سایر پژوهش‌ها در خصوص تجمع رادیکال‌های آزاد در گونه‌های حساس به تنش خشکی مطابقت دارد. توانایی گیاهان در از بین بردن گونه‌های واکنشگر اکسیژن و کاهش اثرات مضر آن‌ها ممکن است با تحمل آن‌ها در برابر تنش خشکی ارتباط داشته باشد (تسوگان[1] و همکاران، ۱۹۹۹). بینگوالیو و همکاران (۲۰۱۲) بامطالعه سیب رقم گیل گالا بر روی پایه سیب مقاوم به تنش خشکی Malus sieversii و پایه حساس به تنش خشکی Malus hupehensis نتیجه‌گیری کردند که تنش خشکی باعث افزایش تجمع رادیکال‌های آزاد سوپراکسید و پراکسید هیدروژن در پایه حساس به تنش خشکی نسبت به پایه مقاوم به تنش خشکی گردید. بسته شدن روزنه‌ها طی تنش خشکی معمولاً تثبیت دی‌اکسید کربن را کاهش داده زنجیره انتقال الکترون را مختل می‌سازد و باعث تولید مقادیر زیادی از گونه‌های واکنشگر اکسیژن در کلروپلاست و میتوکندری می‌شود. گونه‌های واکنشگر اکسیژن که محصولات فرعی متابولیسم هوازی در سلول هستند، دارای نقش مثبتی می‌باشند، برای مثال، در مسیر انتقال پیام، به‌عنوان پیام‌رسان ثانویه تنش عمل کرده و باعث فعال شدن چندین واکنش دفاعی می‌شوند (سوفو[2] و همکاران، ۲۰۰۵)، اما تولید بیش از حد آن‌ها طی تنش خشکی به بروز تنش اکسایشی در گیاه منجر می‌گردد (آرورا[3] و همکاران ۲۰۰۲). گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن از طریق صدمه اکسایشی به لیپیدهای غشاء، پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک، رنگیزه ها و آنزیم‌های فتوسنتزی متابولیسم عادی سلول و گیاه را مختل می‌سازند (اوزکوز[4] و همکاران، ۲۰۰۹).

1.Tsugane
2-Sofo
3.Arora
4.Ozkut

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر تنش خشکی روی فعالیت آنزیمی و برخی صفات بیوشیمیایی در ۱۲ ژنوتیپ پایه سیب

منابع تغییرات	ژنوتیپ پایه	محتوی نسبی آب برگ (RWC)	سوپر اکسید دیسموتاز (EU/ mg)	گایاکول پراکسیداز (EU/pro.mg))	آسکوربات پروکسیداز (EU/Pro.mg)	کاتالاز EU/Pro.mg	پراکسید هیدروژن گرم/میکرومول
ژنوتیپ	AR1	۶۶/۶۳۴^{cdc}	۱/۲۰^{ab}	۰/۵۷^{c}	۰/۵۵^{cdc}	۰/۰۶^{a}	۱۳۴۰/۶^{cdef}
	AR2	۷۳/۳۱۳^{abc}	۱/۲۴^{a}	۱/۰۴^{a}	۰/۹۶^{a}	۰/۱۳^{a}	۱۴۸۷/۶^{bcd}
	AR3	۶۹/۴۳۸^{abcd}	۱/۱۵^{ab}	۰/۷۵^{bc}	۰/۸۴^{abc}	۰/۰۴^{a}	۱۰۷۱/۹^{efg}
	AR4	۶۸/۰۶۸^{bcde}	۱/۲۳^{a}	۰/۸۱^{b}	۰/۵۸^{cde}	۰/۰۶^{a}	۱۳۱۹/۲^{defg}
	AR5	۶۶/۷۹۲^{cdc}	۱/۲۷^{a}	۰/۷۹^{b}	۰/۶۰^{cdc}	۰/۰۹^{a}	۱۶۴۱/۳^{bcd}
	AR6	۶۹/۴۰۲^{abcd}	۱/۲۱^{ab}	۰/۸۰^{b}	۰/۴۰^{def}	۰/۱۴^{a}	۲۰۴۶/۳^{a}
	AR7	۷۰/۹۴۳^{abcd}	۱/۲۳^{a}	۰/۷۲^{bc}	۰/۲۹^{f}	۰/۰۹^{a}	۱۲۷۹/۶^{defg}
	AR8	۶۶/۰۹۹^{dc}	۱/۰۷^{b}	۰/۶۸^{bc}	۰/۶۰^{cdc}	۰/۱۱^{a}	۱۸۷۹/۹^{ab}
	AR9	۶۸/۱۲۶^{bcde}	۱/۱۵^{ab}	۰/۸۳^{b}	۰/۷۰$^{b cd}$	۰/۰۹^{a}	۱۳۳۸/۳^{defg}
	AR10	۷۴/۷۱۳^{ab}	۱/۲۸^{a}	۰/۷۷^{b}	۰/۶۰^{cde}	۰/۰۸^{a}	۱۷۳۷/۵^{abc}
	AR11	۷۵/۳۴۹^{a}	۱/۱۸^{ab}	۰/۸۷^{ab}	۰/۳۷^{ef}	۰/۰۸^{a}	۱۰۱۱/۲^{fg}
	MM111	۶۳/۳۴۳^{e}	۱/۲۹^{a}	۰/۷۰^{bc}	۰/۹۰^{ab}	۰/۲۶^{a}	۹۱۳/۵^{g}
تنش خشکی	T1	۶۹/۳۵۱^{a}	۱/۲۴^{a}	۰/۷۴^{b}	۰/۵۵^{b}	۰/۱۱۰ a	۱۱۹۰/۶۰^{b}
	T2	۶۵/۴۷۲^{b}	۱/۱۷^{b}	۰/۸۱^{a}	۰/۶۹^{a}	۰/۱۰۲ a	۱۶۳۷/۱۹^{a}
	AR1T1	۶۶/۶۳۴^{efghi}	۱/۲۶^{abc}	۰/۵۰^{c}	۰/۵۵^{defg}	۰/۰۵^{b}	۱۲۱۰^{cdefg}
	AR1T2	۶۴/۵۳۱^{efghi}	۱/۱۴^{abc}	۰/۶۴^{bc}	۰/۵۵^{cdefg}	۰/۰۷^{b}	۱۴۷۱/۳^{cdef}
	AR2T1	۷۳/۳۱۳^{bcd}	۱/۲۵^{abc}	۱/۰۴^{a}	۰/۸۸^{abcd}	۰/۱۷^{b}	۱۱۷۰^{cdefg}
	AR2T2	۶۸/۰۸۳^{defgh}	۱/۲۳^{abc}	۱/۰۴^{a}	۱/۰۴^{ab}	۰/۰۸^{b}	۱۸۰۵/۲^{bc}
	AR3T1	۶۹/۴۳۸^{bcdef}	۱/۲۲^{abc}	۰/۶۹^{bc}	۰/۳۹^{fg}	۰/۰۳^{b}	۷۶۶/۷^{g}

ادامه جدول ۲

تنش خشکی×ژنوتیپ پایه	AR3T2	۶۰/۹۱۷^{i}	۱/۰۸^{bc}	۰/۸۱^{abc}	۱/۳۲^{a}	۰/۰۵^{b}	۱۳۷۷/۲^{cdefg}
	AR4T1	۶۸/۰۶۸^{defgh}	۱/۱۵^{abc}	۰/۸۵^{ab}	۰/۴۷^{efg}	۰/۰۴^{b}	۱۱۱۶/۷^{cdefg}
	AR4T2	۶۶/۸۱۸^{efghi}	۱/۳۱^{abc}	۰/۷۷^{abc}	۰/۶۸^{bcdefg}	۰/۰۷^{b}	۱۵۲۱/۷^{cde}
	AR5T1	۶۶/۷۹۲^{efghi}	۱/۳۵^{abc}	۰/۸۲^{abc}	۰/۵۵^{cdefg}	۰/۰۶^{b}	۱۶۱۱/۷^{bcde}
	AR5T2	۶۳/۲۲۹^{fghi}	۱/۱۹^{abc}	۰/۷۵^{abc}	۰/۶۶^{cdefg}	۰/۱۲^{b}	۱۶۷۱^{bcd}
	AR6T1	۶۹/۴۰۲^{bcdef}	۱/۲۸^{abc}	۰/۸۰^{abc}	۰/۵۵^{cdefg}	۰/۱۰^{b}	۱۴۰۶/۲^{cdefg}
	AR6T2	۶۱/۶۰۹^{hi}	۱/۱۳^{bc}	۰/۷۹^{abc}	۰/۳۰^{g}	۰/۱۸^{b}	۲۶۸۶/۳^{a}
	AR7T1	۷۰/۹۴۳^{bcde}	۱/۲۰^{abc}	۰/۶۳^{bc}	۰/۳۲^{fg}	۰/۰۶^{b}	۹۳۲/۵^{efg}
	AR7T2	۶۱/۶۳۵^{hi}	۱/۲۷^{abc}	۰/۸۳^{abc}	۰/۲۸^{g}	۰/۱۲^{b}	۱۶۲۶/۷^{bcde}
	AR8T1	۶۶/۰۹۹^{efghi}	۱/۱۰^{bc}	۰/۵۸^{bc}	۰/۴۴^{cfg}	۰/۰۸^{b}	۱۵۵۰/۲^{cde}
	AR8T2	۶۵/۸۵۸^{efghi}	۱/۰۴^{c}	۰/۷۸^{abc}	۰/۷۵^{bcdef}	۰/۱۴^{b}	۲۲۰۹/۷^{ab}
	AR9T1	۶۸/۱۲۶^{defg}	۱/۲۶^{abc}	۰/۷۸^{abc}	۰/۷۵^{bcdef}	۰/۰۶^{b}	۱۴۶۰/۳^{cdef}
	AR9T2	۶۲/۷۰۲^{ghi}	۱/۰۵^{c}	۰/۸۸^{ab}	۰/۶۴^{cdefg}	۰/۱۲^{b}	۱۰۱۶/۳^{defg}
	AR10T1	۷۴/۷۱۳^{bc}	۱/۳۰^{abc}	۰/۷۶^{abc}	۰/۴۷^{bc}	۰/۰۷^{b}	۱۰۵۶/۳^{defg}
	AR10T2	۶۸/۷۳۰^{cdefg}	۱/۲۶^{abc}	۰/۷۸^{abc}	۰/۵۲^{efg}	۰/۱۰^{b}	۲۴۱۸/۸^{a}
	AR11T1	۸۰/۷۸۷^{a}	۱/۱۵^{abc}	۰/۶۹^{bc}	۰/۶۹^{abcdef}	۰/۰۷^{b}	۱۲۳۳/۸^{cdefg}
	AR11T2	۷۵/۳۴۵^{ab}	۱/۲۱^{abc}	۱/۰۶^{a}	۰/۴۰^{cfg}	۰/۰۹^{b}	۷۸۸/۵^{fg}
	MM111T1	۶۳/۳۴۳^{fghi}	۱/۴۳^{a}	۰/۷۶^{abc}	۰/۸۰^{bcde}	۰/۴۸^{a}	۷۷۳^{g}
	MM111T2	۶۰/۷۷۰^{bcdef}	۱/۱۵^{abc}	۰/۶۴^{bc}	۱^{abc}	۰/۰۴^{b}	۱۰۵۴^{defg}

* در هر ستون و برای هر مقایسه میانگین، میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک باشند ازنظر آماری فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ % می‌باشند.

T1,T2 به ترتیب تیمار آبیاری ۸۰% و ۴۰% آب قابل دسترس خاک،

جدول ۳- مقایسه محتوی نسبی آب برگ و فعالیت آنزیمی در پایه‌های سیب تحت تنش خشکی نسبت به تیمار آبیاری شاهد (درصد)

ژنوتیپ پایه	محتوی نسبی آب برگ	سوپر اکسید دیسموتاز	پراکسیداز گایاکول	پراکسیداز اسکوربات	کاتالاز	پراکسید هیدروژن
AR1	-۴/۵۱	-۹/۵	۲۸	۱/۸۵	۴۰	۲۱/۶
AR2	-۹/۸۱	-۱/۶	۰	۱۸/۱	-۵۲/۹	۵۴/۳
AR3	-۱۷/۳۴	-۱۱/۵	۱۷/۴	۲۳۸	۶۶/۷	۷۹/۶
AR4	-۲/۶	۱۳/۹	۹/۴	۴۴/۶	۷۵	۳۶/۳
AR5	۷/۶۱	۱۱/۹	۸/۵	۲۰	۱۰۰	۳/۷
AR6	-۱۵/۷۷	-۱۱/۷	-۱/۳	-۴۵/۴	۸۰	۹۱
AR7	۱۸/۲۷	۵/۸	۳۰/۲	۹/۶	۱۰۰	۷۴/۴
AR8	-۰/۵۲	-۵/۵	۳۴/۵	۷۰/۴	۷۵	۴۲/۵
AR9	-۱۱/۲۷	۷	۱۲/۸	-۱۴/۶	۱۰۰	-۳۰/۴
AR10	-۱۰/۹۴	-۳/۱	۲/۶	۳۶/۸	۴۲/۹	۱۲۹
AR11	۱/۹۶	۵/۲	۵۳/۶	۱۷/۵	۲۸/۶	۳۶/۱
MM111	۵/۹۴	-۱۹/۶	-۱۵/۸	۲۵	-۹۱/۷	۳۶/۴

٤-نتیجه‌گیری کلی

نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش نشان داد، تنش خشکی در تمام ژنوتیپ پایه‌ها باعث کاهش محتوی نسبی آب برگ گردید، اما نسبت کاهش آن در ژنوتیپ‌های مختلف، متفاوت بود. ژنوتیپ پایه‌های AR4, AR8, AR11 تحت تنش خشکی نسبت به آبیاری شاهد کمترین اختلاف و ژنوتیپ پایه‌های AR3, AR6, AR7, AR9 بیشترین اختلاف محتوی نسبی آب برگ را نشان دادند. گیاهان تحت تنش خشکی محتوی نسبی آب برگ پایین‌تری نسبت به شرایط آبیاری نرمال دارند. محتوای نسبی آب بالاتر در شرایط تنش خشکی ممکن است از طریق قابلیت تنظیم اسمزی و یا توانایی بیشتر ریشه در جذب آب حاصل شود. ژنوتیپ‌های با محتوی نسبی آب برگ بالا برای مناطق خشک مناسب‌اند، زیرا قادرند بدون بستن روزنه‌های خود آب بیشتری حفظ نموده و فعالیت‌های فیزیولوژیکی عادی ادامه دهند. به لحاظ فعالیت آنزیمی نیز ژنوتیپ پایه‌ها واکنش‌های متفاوتی داشتند، درمجموع تنش خشکی باعث افزایش مقادیر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان سوپر اکسید دیسموتاز، پروکسیداز، آسکوربات پروکسیداز نسبت به تیمار آبیاری شاهد گردید و در این میان ژنوتیپ پایه‌های AR4, AR7, AR8, AR11 دارای بیشترین فعالیت آنزیمی بودند. تنش خشکی باعث افزایش پراکسید هیدروژن در ژنوتیپ پایه‌های سیب شد. مقایسه میزان پراکسید هیدروژن در شرایط تنش خشکی نسبت به تیمار آبیاری شاهد نشان داد ژنوتیپ پایه‌های AR4, AR6, AR7, AR10 بیشترین مقادیر پراکسید هیدروژن نسبت به سایر ژنوتیپ پایه‌ها داشتند. بسته شدن روزنه‌ها طی تنش خشکی معمولاً تثبیت دی‌اکسید کربن را کاهش داده، زنجیره انتقال الکترون را مختل می‌سازد و باعث تولید مقادیر زیادی از گونه‌های واکنشگر اکسیژن در کلروپلاست و میتوکندری می‌شود و تولید بیش از حد آن‌ها طی تنش خشکی به بروز تنش اکسایشی در گیاه منجر می‌گردد. توانایی گیاهان در از بین بردن گونه‌های واکنشگر اکسیژن و کاهش اثرات مضر آن‌ها ممکن است با تحمل آن‌ها در برابر تنش خشکی ارتباط داشته باشد. سوپراکسید دیسموتاز، آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز، پراکسیداز یا گایکول پراکسیداز، مهم‌ترین آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان موجود در سلول‌های گیاهان می‌باشند. در منابع علمی، وجود رابطه تنگاتنگ بین فعالیت بالای آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و مقاومت بالا به تنش خشکی در بسیاری از گیاهان باغبانی گزارش‌شده است؛ بنابراین چنین نتیجه‌گیری می‌شود که ژنوتیپ پایه‌های AR4, AR8, AR11 نسبت به سایر ژنوتیپ پایه‌ها در شرایط تنش خشکی دارای قدرت حفظ محتوی نسبی آب برگ و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بیشتر بوده و در نتیجه متحمل به تنش خشکی ارزیابی می‌شوند.

تضاد و تعارض منافع

نویسنده هرگونه تعارض و تضاد منافع اعم از تجاری و غیرتجاری و شخصی را که در ارتباط مستقیم یا غیرمستقیم با اثر منتشرشده است رد می‌نمایند.

منابع

آتشکار، د.، ا. ارشادی، م. طاهری و ح. عبدالهی. (۱۳۹۷). غربال‌گری برخی پایه‌های دورگه انتخابی سیب برای تحمل به تنش خشکی بر اساس صفات مرتبط با فتوسنتز. مجله علوم باغبانی ایران، ۴۹ (۴)، ۱۰۲۴-۱۰۱۳.

کافی، م.، ا. برزوئی، م. صالحی، ع.کمندی، ع. معصومی و ج. نباتی. (۱۳۸۸). فیزیولوژی تنش‌های محیطی در گیاهان. چاپ اول.

انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۵۰۲ صفحه.

Aebi, H. (1984). Catalase in vitro. *Methods in Enzymology*, 105:121-126

Alizadeh, A., Alizade, V., Nassery, L., & Eivazi, A. (2011). Effect of drought stress on apple dwarf rootstocks. *Technical Journal of Engineering and Applied Science,* 1(3), 86-94.

Beauchamp, C. and Fridovich, I.(1971). Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. *Analytical Biochemistry*, 44:276-287

Bolat, E., Dikilitas, M., Ercisli, S., Ikinici, A., & Tonkaz, T. (2014). The effect of water stress on some morphological, physiological,and biochemical characteristics and bud success on apple and quince rootstocks. Hindawi Publishing Corporation. *The Scientific World Journal*, 1,1-8.

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

Haishan A., Haiqiang D., Ting W., Yi W., Xuefeng X., Xinzhong Z., Zhenhai H. (2017) Root growth angle: An important trait that influences the deep rooting of apple rootstocks. Scientia Horticulturae 216 (2017) 256–263.

Herzog, V. and Fahimi, H. (1973). Determination of the activity of peroxidase. *Annual Biochemistry*, 55:554-562.

Kirnak H., Kaya C., Tas I, Higgs D. (2001). The influence of water deficit on vegetative growth, physiology, fruit yield and quality in eggplants. Bulg. *Journal of Plant Physiology*, 27 (3-4):34-46.

Liu, C., Liu, Y., Guo, K., F AN, d., Li, Z HENG, Y., Yu, L, and Yang, R. (2011). Effect of drought on pigments, osmotic adjustment and antioxidant enzymes in six woody plant species in karst habitats of southwestern China. *Environmental and Experimental Botany*, 71:174-183.

Nakano, Y. and Asada, K. (1981). Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant Cell Physiology*, 22:867-880.

Ozkur O., Ozdemir F., Bor M, Turkan I. (2009). Physiochemical and antioxidant responses of the perennial xerophyte Capparis ovata Desf. to drought. *Environmental and Experimental Botany*, 66 (3):487-492.

Sircelj, H., Tausz, M., Grill, D., & Batic, F. (2007). Detecting different levels of drought stress in apple trees (*Malus domestica* Borkh.) with selected biochemical and physiological parameters. *Scientia Horticulturae*, 113, 362-369.

Sofo A., Dichio B., xiloyannis C, Masia A. (2004). Effects of different irradiance levels on some antioxidant enzymes and on malondialdehyde content during rewatering in *olive tree. Plant Science.* 166 (2):293-302.

Shan, W., Liang, D., Ma, F. (2014). Leaf micromorphology and suger may contribute to differences in drought tolerance for two apple cultivars. *Plant Physiology and Biochemistry*, 80, 249-258.

Tsugane,K., Kobayarabidopsis shi,K., Niwa,Y., Ohba,Y.,Wada, K. and Kobayashi,H. (1999). A re-

cessive Arabidopsis mutant that grows photoautotrophically under salt stress shows enhanced active o×ygen detoxification.*The Plant Cell*,11;1195-1206.

Tworkoski, T., Fazio, G., Michael, G.D. (2016). Apple rootstock resistance to drought. *Scientia Horticulturae*, 204, 70-78.

Wahid, A., & Rasul, E. (2005). Photosynthesis in leaf, stem, flower and fruit, in: Pessarakli, M(Ed.), *Handbook of Photosynthesis, 2nd ed., CRC Press,, Florida,* pp. 479-497.

Wang, S., D.Liang, C. LIi, Y. Hao، F. Ma and H. Sho. 2012. Influence of drought stress on the cellular ultrastructure and antioxidant system in leaves of drought-tolerant and drought-sensitive apple rootstocks. *Plant Physiol. Biochem*.51: 81-89.