Iranian Journal of Horticultural Science
Vol 52, No 1, Spring 2021 (243-255)
DOI: 10.22059/ijhs.2020.286358.1690

علوم باغبانی ایران
دورۀ ۵۲، شمارۀ ۱، بهار ۱۴۰۰ (ص ۲۵۵-۲۴۳)

تأثیر تیمار آب گرم بر کیفیت و خواص آنتی اکسیدانی میوه زغال اخته (*Cornus mas* L.) طی انبارمانی سرد

فرشاد کاکاوند[۱]، ولی ربیعی[۲*]، فریبرز زارع نهندی[۳]، فرهنگ رضوی[٤] و فاطمه زاهدزاده[٥]
۱، ۲، ٤. دانش‌آموخته دکتری، دانشیار و استادیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان
۳ و ۵. دانشیار و دانش‌آموخته دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۵/۸ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۲٦)

چکیده

کاهش کیفیت و ارزش غذایی پس از برداشت، عمر انبار مانی میوه زغال‌اخته را محدود می کند. در این پژوهش اثر تیمار آب گرم (٤۲ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه) بر حفظ کیفیت غذایی و در نهایت افزایش عمر انبارمانی میوه‌های زغال‌اخته طی نگهداری در ۱±٤ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۱ روز، ارزیابی گردید. نتایج نشان داد تیمار میوه‌های زغال‌اخته با آب گرم ٤۲ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۰ دقیقه موجب تعویق فرآیند پیری و حفظ ارزش غذایی گردید که همراه با افزایش مقدار اسید آسکوربیک بود. تیمار آب گرم از افزایش فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز در میوه‌های تیمار شده نسبت به شاهد ممانعت کرد. علاوه‌براین تیمار میوه‌های زغال‌اخته با آب گرم ٤۲ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۰ دقیقه باعث افزایش مقادیر اسید آسکوربیک و فعالیت آنزیم‌های جاروب کننده گونه‌های فعال اکسیژن از قبیل سوپر اکسید دیسموتاز، کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، پراکسیداز، گلوتاتیون پراکسیداز، گلوتاتیون-اس-ترانسفراز و گلوتاتیون ردوکتاز گردید. همچنین کاهش فعالیت آنزیم لیپوکسی‌ژناز موجب جلوگیری از تجمع پراکسید هیدروژن شد و همه این تغییرات منجر به افزایش تراوایی غشا گردید که به‌وسیله نشت یونی و تجمع مالون‌دی‌آلدئید کمتر نمایان شد. نهایتاً تیمار گرمایی ٤۲ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۰ دقیقه می‌تواند به‌عنوان راهکاری مفید جهت تامین میوه‌های زغال اخته دارای مولکول‌های زیست فعال بیشتر همراه با حفظ انسجام غشا و عمر انبارمانی طولانی‌تر معرفی گردد.

واژه‌های کلیدی: آنتی‌اکسیدان، پیری، تنش اکسیداتیو، کیفیت.

Effect of hot water treatment on quality and antioxidant properties of cornelian cherry (*Cornus mas* L.) during cold storage

Farshad Kakavand[1], Vali Rabiei[2*], Fariborz Zaare-Nahandi[3], Farhang Razavi[4] and Fatemeh Zahedzadeh[5]
1, 2, 4. Former Ph.D. Student, Associate Professor and Assistant Professor, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran
3, 5. Associate Professor and Former Ph.D. Student, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
(Received: July 30, 2019 - Accepted: Feb. 15, 2020)

ABSTRACT

Quality and nutritional value reduction after harvest, limit shelf-life of cornelian cherry fruit. In this study, the mechanism employed by hot water (HW) treatment (42 °C, 10, 20 and 30 minutes) on retarding senescence and keeping sensory and nutritional quality thus prolonging the storage life of cornelian cherry fruits during storage at 4±1 °C for 21 days was investigated. Result showed that the cornelian cherry fruits treated with HW 42 °C/20 min effectively slowed the process of senescence and keeping sensory and nutritional quality, with enhanced ascorbic acid contents. Cornelian cherry fruits treated with HW 42 °C/20 min via increasing ROS scavenging molecule accumulation or enzymes activity such as ascorbic acid, superoxide dismutase, catalase, ascorbate peroxidase, peroxidase, glutathione–s–transferase, glutathione peroxidase, glutathione reductase was accompanied with lower lypoxygenase activity leading to decreasing H_2O_2 accumulation and all of them results to enhancing membrane integrity revealed by lower malondialdehyde accumulation and electrolyte leakage. Finally, postharvest HW 42 °C/20 min treatment can be introduced as a useful strategy for supplying cornelian cherry fruits with higher bioactive molecules accumulation along with maintaining membrane integrity and prolonged storage life.

Keywords: Antioxidant, oxidative stress, quality, senescence.

* Corresponding author E-mail: Rabiei@znu.ac.ir

مقدمه

در سال‌های اخیر توجه زیادی به مصرف میوه‌های کمتر شناخته شده از قبیل زغال‌اخته (*Cornus mas* L.) که میوه‌های آن غنی از آنتی‌اکسیدان هستند، شده است (Yilmaz *et al*., 2009). میوه زغال‌اخته حاوی ترکیبات فعال زیستی از قبیل ویتامین C، اسیدهای آلی، پکتین، اسیدهای فنلی، فلاونوئیدها و تری‌ترپنوئیدها می‌باشد (Kucharska *et al*., 2015). زغال‌اخته همانند بسیاری از ریزمیوه‌ها دارای عمر پس از برداشت کوتاهی است و طی دوره پس از برداشت تغییرات فیزیکی و شیمیایی باعث از دست‌رفتن کیفیت خوراکی آن می‌شود. این تغییرات شامل کاهش وزن، تغییر سفتی میوه، مواد جامد محلول کل، اسیدیته، اسید آسکوربیک و ترکیبات فنلی می‌باشند (Aghdam *et al*., 2013; Dokhanieh *et al*., 2013; Rabiei *et al*., 2019). استفاده از انبار سرد برای کاهش سرعت فرآیندهای متابولیکی و افزایش عمر انباری محصولات باغبانی بصورت گسترده در حال توسعه است هرچند انبار سرد به تنهایی برای به تاخیر انداختن پیری و حفظ کیفیت پس از برداشت کافی نمی‌باشد (Gao *et al*., 2016). پیری پس از برداشت ممکن است به علت افزایش تنش اکسیداتیو و به دنبال آن کاهش تراوایی غشا سلول، موجب کاهش کیفیت میوه‌ها گردد (Lin *et al*., 2016).

طی پیری یا تنش، میوه‌ها و سبزی‌ها به‌وسیله استفاده از سیستم‌های جاروب‌کنندگی گونه‌های فعال اکسیژن یا اجتناب از تولید آنها پتانسیل لازم برای غلبه برتنش اکسیداتیو را به‌دست می‌آورند. سیستم‌های جاروب‌کننده گونه‌های فعال اکسیژن شامل آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان از قبیل سوپر اکسید دیسموتاز، کاتالاز، پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز، گلوتاتیون پراکسیداز، گلوتاتیون-اس-ترانسفراز و گلوتاتیون ردوکتاز و مولکول‌های آنتی‌اکسیدان از قبیل اسید آسکوربیک، گلوتاتیون و فنل‌ها می‌باشند (Hodges *et al*., 2004). تیمارهای پس از برداشت می‌توانند باعث کنترل فرآیندهای فیزیولوژیکی از قبیل پیری گردیده و از وقوع ناهنجاری‌های فیزیولوژیکی و رشد میکروب‌ها در محصولات باغبانی مانند زغال‌اخته جلوگیری کنند (Mahajan *et al*., 2014). استفاده از تیمارهای پس از برداشت کلرید کلسیم (Aghdam *et al*., 2013)، اسید سالیسیلیک (Dokhanieh *et al*., 2013)، نیتریک اکسید و گاما آمینو بوتیریک اسید (Rabiei *et al*., 2019; Aghdam *et al*., 2019) جهت افزایش عمر انباری و حفظ کیفیت میوه زغال اخته به کار برده شده‌اند. نگهداری میوه زغال‌اخته در بسته‌بندی‌های با اتمسفر تعدیل‌یافته موجب حفظ بهتر کیفیت میوه و همچنین جلوگیری از کاهش وزن طی انبارمانی گردیده است (Mohebbi *et al*., 2015). تیمارهای نیتریک اکسید و گاما آمینو بوتیریک اسید موجب افزایش خصوصیات آنتی‌اکسیدانی همراه با افزایش عمر پس از برداشت طی انبارمانی سرد گردیده‌اند (Rabiei *et al*., 2019; Aghdam *et al*., 2019).

تیمار گرمایی به‌عنوان یک جایگزین برای تیمارهای شیمیایی سبزی‌ها و میوه‌های تازه برداشت شده است و می‌تواند نقش موثری در افزایش عمر انباری همراه با حفظ کیفیت آنها داشته باشد (Hatami *et al*., 2012). این تیمارها بصورت غوطه‌وری در آب گرم، بخار آب گرم اشباع شده، هوای خشک گرم و یا آبکشی با آب گرم اعمال می‌گردند. استفاده از تیمار گرمایی موجب حفظ کیفیت و افزایش عمر انباری میوه‌های انار (Mirdehghan *et al*., 2007)، انبه (López-López *et al*., 2018) ، هلو (Huan *et al*., 2017)، گلابی (Hosseini *et al*., 2014)، موز (Chen *et al*., 2008)، خرمالو (Khademi *et al*., 2014) و پرتقال (Bassal *et al*., 2011) گردیده است. مزایای تیمارهای گرمایی شامل تغییر در فرایندهای فیزیولوژیکی از قبیل کاهش در آسیب سرمازدگی و تاخیر در فرایندهای رسیدن به‌وسیله غیرفعال کردن آنزیم‌های تجزیه کننده دیواره سلولی، از بین بردن آفات زیان آور و کنترل پوسیدگی قارچی می‌باشد (Mahajan *et al*., 2014). مدت تیمار گرمایی از خیلی کم (چند ثانیه) تا خیلی طولانی (۴ روز) باشد. انتخاب زمان و دمای مناسب بستگی به رقم، بلوغ میوه، خصوصیات پوست میوه، اندازه میوه و شرایط رشدی میوه مورد نظر دارد (Lurie, 2008). دانشمندان استفاده از تیمارهای کوتاه مدت را به دلیل اثرات منفی کمتر بر خصوصیات کیفی میوه‌ها و سبزی‌ها نسبت به تیمارهای طولانی توصیه کرده‌اند. همچنین تیمار گرمایی با مدت زمان

کوتاه به صورت مرسوم جهت محافظت از میوه‌ها و سبزی‌ها علیه وقوع پوسیدگی‌های پس از برداشت به کار برده می‌شوند و هزینه کمی داشته و نهایتاً ظاهر میوه‌ها و سبزی‌ها را بهبود می‌دهند (Fallik *et al*., 2004). تیمار آب گرم می‌تواند بر ساختار و ترکیبات واکس سطحی اثر گذاشته و ترک‌ها و زخم‌ها را التیام دهد (Mahajan *et al*., 2014).

به‌منظور افزایش عرضه خارج از فصل، حفظ کیفیت و کاهش ضایعات میوه زغال‌اخته طی دوره انبارمانی و با توجه به اینکه تاکنون تحقیقی در مورد اثر آب گرم بر انبارمانی زغال‌اخته انجام نگردیده است، این تحقیق با هدف بررسی تاثیر تیمار پس از برداشت با آب گرم در افزایش عمر انبارمانی میوه‌های زغال اخته و شناسایی سازوکارهای آن انجام گردید.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۵ در آزمایشگاه فیزیولوژی پس از برداشت گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان انجام شد. میوه‌های زغال‌اخته در مرحله بلوغ تجاری (مواد جامد محلول ۱۷/۷درصد ، سفتی ۱۰/۹۵ نیوتن) در ۲۲ شهریور از باغ تجاری واقع در روستای یوزباش‌چای منطقه طارم سفلی استان قزوین برداشت و سریعاً به آزمایشگاه جهت اعمال تیمارها منتقل شدند. بلافاصله پس از انتقال، میوه‌های بد فرم و آسیب دیده حذف شد و میوه‌های تقریباً هم شکل، هم اندازه و بدون صدمه فیزیکی برای آزمایش انتخاب شدند. هر تیمار شامل ۶۰۰ عدد میوه (۳ تکرار و ۲۰۰ عدد میوه در هر تکرار) بود.

برای انجام تیمارها، تیمار آب گرم با دمای ۴۲ درجه سانتی‌گراد و با حجم ۱۰ لیتر به‌مدت ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه بر روی میوه‌ها اعمال شد. میوه‌های تیمار شده با آب مقطر با دمای ۲۳ درجه سانتی‌گراد به‌عنوان تیمار شاهد استفاده شدند. پس از اعمال تیمار آب گرم، میوه‌ها در دمای اتاق به‌مدت ۲۰ دقیقه خشک شدند و در ظروف بسته‌بندی از جنس پروپیلن قرار گرفتند و به‌مدت ۲۱ روز در دمای ۱ ± ۴ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۸۵-۹۰ درصد نگهداری شدند. آزمایش به صورت فاکتوریل (دو فاکتور، شامل تیمار گرمایی به‌عنوان فاکتور اول و مدت انبارمانی به‌عنوان فاکتور دوم) در قالب طرح کاملاً تصادفی، با سه تکرار اجرا شد. جهت اندازه‌گیری روند تغییرات میوه‌ها نمونه‌برداری در روزهای هفتم، چهاردهم و بیست و یکم انبارمانی انجام شد و صفات زیر مورد ارزیابی قرار گرفتند.

فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز

میزان فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز به‌روش Aghdam *et al*. (2019) و با استفاده از کاتکول به عنوان سوبسترا و افزایش در جذب در طول موج ۴۱۰ نانومتر در چهار دقیقه انجام شد. فعالیت آنزیم PPO بر اساس واحد در میلی گرم پروتئین بیان گردید.

انسجام غشا و فعالیت آنزیم لیپوکسی‌ژناز

جهت تعیین انسجام غشا میزان نشت یونی و مالون‌دی‌آلدئید اندازه‌گیری گردید. نشت یونی با روش Chen *et al*. (2008) مورد ارزیابی قرار گرفت. ابتدا نمونه‌هایی به ضخامت ۲ میلی‌متر از میوه‌ها تهیه شد و یک گرم نمونه پس از شستن با ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر در داخل ۵۰ میلی‌لیتر محلول چهار دهم مولار مانیتول قرار گرفت و با سرعت ۱۰۰۰ دور در دقیقه به‌مدت سه دقیقه به هم زده شد و سپس هدایت الکتریکی محلول (L1) اندازه گیری گردید. سپس محلول به‌مدت یک ساعت در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد اتوکلاو شده و هدایت الکتریکی آن (L2) اندازه گیری گردید. نشت یونی بر اساس نسبت L1 به L2 و از طریق فرمول زیر محاسبه گردید.

$$\text{نشت یونی (درصد)} = \frac{\text{هدایت الکتریکی اولیه محلول } (L_1)}{\text{الکتریکی ثانویه محلول } (L_2)} \times ۱۰۰$$

اندازه‌گیری میزان مالون‌دی‌آلدئید با روش Hodges *et al*. (1999) با استفاده از تیو باربیتوریک اسید (Tiobarbiotic acid) انجام شد. میزان مالون‌دی‌آلدئید بر اساس نانومول بر گرم وزن تر میوه بیان گردید. اندازه گیری فعالیت آنزیم لیپوکسی‌ژناز به روش Phetsirikoon *et al*. (2012) با استفاده از لینولئیک اسید (۷۰ میلی‌مولار) به‌عنوان سوبسترا انجام شد. افزایش جذب در طول موج ۲۳۴ نانومتر به‌مدت ۲ دقیقه به‌عنوان میزان

فعالیت آنزیم لیپوکسی‌ژناز و بر اساس واحد در میلی‌گرم پروتئین بیان گردید.

پراکسید هیدروژن

یک گرم نمونه تازه میوه پودر شده با استفاده از هاون چینی و به کمک نیتروژن مایع را درون فالکون های ۱۵ میلی‌لیتری ریخته شد و به آن ۵ میلی‌لیتر محلول اسید تری‌کلرواستیک ۱ درصد اضافه گردید. نمونه هموژنیزه شده با گردش ۹۰۰۰ دور بر دقیقه به‌مدت ۳۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس ۰/۵ میلی‌لیتر از محلول رویی به تیوپ های ۲ میلی‌لیتری منتقل شده و به آنها ۰/۵ میلی‌لیتر محلول بافر فسفات پتاسیم ۰/۱ میلی‌مولار (pH=۷) و یک میلی‌لیتر محلول یک مولار یدید پتاسیم اضافه گردید. محلول‌های پراکسید هیدروژن در غلظت‌های بین ۲ تا۱۰ میلی‌مولار تهیه شده و نمودار استاندارد رسم گردید. میزان جذب با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (شرکت shimadzu مدل UV-۲۵۵۰) در طول موج ۳۹۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. میزان پراکسید هیدروژن بر حسب (نانومول بر گرم وزن تر میوه) بیان گردید (Patterson *et al*., 1984).

اسید آسکوربیک

مقدار اسید آسکوربیک به‌وسیله اکسید شدن آن توسط رنگ ۲و۶-دی‌نیتروفنیل‌هیدرازین (2,6-Dinitrophenylhydrazine) و تبدیل به اوسازان (Osazone) و خوانش جذب اوسازان تولید شده در طول موج ۵۴۰ نانومتر توسط اسپکتروفوتومتر تعیین گردید (Terada *et al*., 1978). میزان اسید آسکوربیک بر اساس منحنی استاندارد محاسبه گردید و بر حسب میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم نمونه تازه بیان شد.

اندازه گیری فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان

فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، گایاکول پراکسیداز، گلوتاتیون-اس-ترانسفراز، گلوتاتیون پراکسیداز و گلوتاتیون ردوکتاز به‌عنوان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان اندازه‌گیری گردید. میزان فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، با اندازه‌گیری ممانعت آن از احیای نیترو بلو تترازولیوم (Nitro blue tetrazolium) وابسته به رادیکال سوپراکسید بر اساس روش Zhang *et al*. (2013) تعیین شد. بدین منظور، از مقایسه‌ی افزایش جذب مربوط به تولید فرمازان (Formazan) در اثر احیای نوری نیترو بلو تترازولیوم در طول موج ۵۶۰ نانومتر بین حالت‌های وجود و عدم وجود عصاره‌ی آنزیمی استفاده شد. میزان فعالیت آنزیم کاتالاز، با اندازه‌گیری کاهش جذب مربوط به مصرف پراکسید هیدروژن در طول موج ۲۴۰ نانومتر طبق روش Zhang *et al*. (2013) تعیین شد. فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز، با اندازه‌گیری کاهش جذب مربوط به اکسید شدن و مصرف آسکوربات در طول موج ۲۹۰ نانومتر بر اساس روش Zhang *et al*. (2013) تعیین شد. میزان فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز، با اندازه‌گیری افزایش جذب مربوط به تولید تتراگایاکول (Tetraguaiacol) در اثر اکسید شدن تتراگایاکول در طول موج ۴۷۰ نانومتر بر اساس روش Zhang *et al*. (2013) تعیین شد. فعالیت آنزیم گلوتاتیون-اس-ترانسفراز براساس روش Rogiers *et al*. (1998) اندازه‌گیری شد. فعالیت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز بر اساس روش Xia *et al*. (2016) اندازه‌گیری شد. گلوتاتیون پراکسیداز از گلوتاتیون به‌عنوان عامل احیا کننده جهت کم‌کردن پراکسید هیدروژن استفاده می‌کند. تعیین فعالیت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز براساس کم‌کردن همزمان سولفید گلوتاتیون و اکسید شدن NADPH توسط گلوتاتیون ردوکتاز می‌باشد که تغییرات با کاهش جذب در ۳۴۰ نانومتر همراه است. گلوتاتیون-اس-ترانسفراز ایجاد ۱-کلرو-۲، ۴-دی‌نیتروبنزن (*1-Chloro-2,4-dinitrobenzene*) را به‌وسیله کاهش گلوتاتیون تسریع می‌کند که این واکنش به‌دلیل تشکیل اس-۲،۴-دی‌نیتروفنیل‌گلوتاتیون (S–2,4–dinitrophenylglutathione) همراه با افزایش جذب در ۳۴۰ نانومتر می‌باشد (Xia *et al*., 2016). فعالیت آنزیم گلوتاتیون ردوکتاز بر اساس روش Sofo *et al*. (2005) انجام شد. این روش طبق کاهش وابسته به NADPH گلوتاتیون سولفید به گلوتاتیون انجام می‌شود. مقدار اکسید شدن NADPH از طریق کاهش جذب در ۳۴۰ نانومتر در ۴ دقیقه برای تعیین فعالیت آنزیم گلوتاتیون ردوکتاز مشاهده شد. فعالیت ویژه‌ی آنزیم

سوپراکسید دیسموتاز، آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز، گایاکول پراکسیداز، گلوتایتون-اس-ترانسفراز و گلوتاتیون پراکسیداز به صورت واحد بر میلی‌گرم پروتئین (U/mg protein) بیان گردید.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه واریانس داده‌ها پس از کنترل مفروضات از جمله نرمال بودن خطای آزمایشی با استفاده از نرم افزار آماری SPSS (نسخه ۲۱) انجام شده و مقایسه بین میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس اثر تیمار آب گرم بر مدت زمان انبارمانی و اثر متقابل آنها بر خصوصیات فیزیکی و بیوشیمیایی میوه زغال‌اخته در جدول ۱ نشان داده شده است. با توجه به جدول اخیر مشخص شد تاثیر تیمار پس از برداشت غوطه‌وری در آب گرم و مدت زمان انبارمانی بر مقدار فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز میوه زغال‌اخته نگهداری شده در دمای چهار درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۱ روز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، اما اثر متقابل تیمار غوطه‌وری در آب گرم و مدت زمان انبارمانی بر میزان فعالیت این آنزیم معنی‌دار نبود.

طی نگهداری میوه زغال‌اخته در دمای ۴ درجه سانتی گراد میزان فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز افزایش یافت و تیمار آب گرم از افزایش فعالیت آن تا اندازه‌ای جلوگیری کرد، به‌طوری‌که در پایان آزمایش بیشترین میزان فعالیت این آنزیم در تیمار شاهد مشاهده شد بین این تیمار و تیمار غوطه‌وری در آب گرم به‌مدت ۱۰ دقیقه تفاوت معنی‌داری وجود نداشت و کمترین میزان فعالیت این آنزیم در تیمارهای غوطه‌وری در آب گرم به‌مدت ۲۰ و ۳۰ دقیقه ثبت گردید (جدول ۲).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها همچنین نشان داد تاثیر تیمار پس از برداشت غوطه‌وری در آب گرم و مدت زمان انبارمانی بر میزان نشت یونی، تجمع مالون‌دی‌آلدئید و فعالیت آنزیم لیپوکسی‌ژناز در میوه زغال‌اخته نگهداری شده در دمای چهار درجه سانتی گراد به‌مدت ۲۱ روز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و اثر متقابل تیمار غوطه‌وری در آب گرم و مدت زمان انبارمانی بر میزان نشت یونی و تجمع مالون‌دی‌آلدئید در سطح پنج درصد معنی‌داری شد، اما بر فعالیت آنزیم لیپوکسی‌ژناز اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۱). نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها نشان داد میزان نشت یونی در هفته اول تفاوت معنی‌داری بین شاهد و میوه‌های تیمار شده با آب گرم وجود نداشت. در هفته سوم انبارمانی، کمترین میزان نشت یونی در میوه‌های تیمار شده با آب گرم به‌مدت ۲۰ دقیقه مشاهده شد و تفاوت معنی‌داری بین این تیمار و تیمار آب گرم به‌مدت ۳۰ دقیقه مشاهده نشد. هم‌چنین در تیمار پس از برداشت غوطه‌وری در آب به‌مدت ۲۰ دقیقه کمترین میزان تجمع مالون‌دی‌آلدئید و فعالیت آنزیم لیپوکسی‌ژناز مشاهده گردید و بین این تیمار و تیمار غوطه‌وری در آب گرم به‌مدت ۳۰ دقیقه تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۲).

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس اثر آب گرم و زمان انبارمانی بر خصوصیات فیزیکی و بیوشیمیایی میوه زغال اخته.

Table 1. Results of variance analysis of hot water and storage time on cornelian cherry fruits physical and biochemical characteristics.

Source of variation	d.f.	Mean of squares												
		Polyphenol oxidase	Electrolyte leakage	Malondialdehyde	Lypoxygenase	Ascorbic acid	Hydrogen peroxide	Superoxide dismutase	Catalase	Ascorbate peroxidase	Guaiacol peroxidase	Glutathione-s-transferase	Glutathione peroxidase	Glutathione reductase
Hot water	3	159**	389**	8052**	244**	273**	178**	260**	297**	5451**	4.26**	26.7**	0.41**	49.1**
Storage time	2	537**	936**	11389**	380**	44.1**	305**	200**	17.16*	8529**	17.7**	14.3**	0.11**	27.6**
Hot water × storage time	6	15^{ns}	82.28*	227.2*	8.4 ^{ns}	90.8**	11.8**	37.3**	10.0*	278**	1.11*	0.6 ^{ns}	0.07 ^{ns}	3.64**
Error	24	12.3	13.81	76.41	4.62	9.14	2.35	9.61	3.68	40.28	0.417	0.481	0.017	0.37
CV(%)		9.22	6.22	6.13	9.19	4.41	6.69	5.22	6.06	5.29	6.27	5.11	13.12	6.64

ns، * و **: به ترتیب نبود تفاوت معنی‌دار و تفاوت معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد.

ns, *, **: Non-significantly difference and significantly difference at 5 and 1%, respectively.

جدول ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار آب گرم (HWT) و زمان انبارمانی بر فعالیت آنزیم پلی فنول اکسیداز، نشت یونی، تجمع مالون‌دی‌آلدئید (MDA) و فعالیت لیپوکسی‌ژناز (LOX) میوه‌های زغال‌اخته طی نگهداری در ۱ ± ۴ درجه سانتی‌گراد.

Table 2. Mean comparison interaction effect of hot water treatment (HWT) and storage time on polyphenol oxidase (PPO) activity, electrolyte leakage, malondialdehyde (MDA) and lipoxygenase (LOX) activity of cornelian cherry fruits during storage at 4±1 °C.

Storage time (day)	HWT at 42 °C (min)	PPO activity (U mg $^{-1}$ protein)	Electrolyte leakage (%)	MDA accumulation (nmol g $^{-1}$ FW)	LOX activity (U mg $^{-1}$ protein)
0	0	26.1± 1.1	43.4± 1.5	86.2± 5.8	11.9± 0.8
7	0	33.91± 1.2 de	52.8± 2.1 e	152.3± 6.6 cd	23.0± 1.2 e
	10	33.6± 0.9 de	53.7± 1.7 de	135.1± 3.2 efg	24.7± 0.9 de
	20	28.7± 2.5 ef	51.0± 2.4 e	97.1±4.2 ik	14.7± 1.2 fg
	30	31.8± 1.4 def	52.1± 2.6e	106.4±3.1 hi	16.3± 0.9 f
14	0	47.0± 1.1 a	71.5± 2.7 b	205.3± 10.3 a	32.6± 2.0 ab
	10	44.3± 1.6 ab	70.1± 1.8 b	158.6± 5.6 c	28.0± 0.8 cd
	20	38.1± 2.3 cd	52.9± 1.4 e	121.6± 4.4 gh	21.6± 1.5 e
	30	36.2± 1.6 cd	59.6± 2.1 cd	129.3± 2.4 fg	22.7± 0.6 e
21	0	50.0± 3.0 a	80.2± 3.2 a	200.2± 6.5 a	34.5± 2.7 a
	10	46.4± 1.8 ab	70.4± 1.2 b	174.4± 5.4 b	29.3± 0.9 bc
	20	37.6± 2.6 cd	57.1± 1.2 cde	148.2±3.3 cde	20.6± 0.4 e
	30	40.5± 2.3 bc	61.3± 1.7 c	139.9±3.9 def	24.1± 0.9 de

در هر ستون میانگین هایی با حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

In each column means followed by at least a common letter, are not significantly difference at 5% probability level.

محافظت ساختار غشا در نگهداری کیفیت میوه و افزایش عمر آن مفید است. تجزیه لیپیدهای غشا یک مشخصه ضروری چرخه انتقال پیام است که در واکنش به پیری، تنش‌های محیطی و هورمون‌ها رخ می‌دهد (Gao *et al.*, 2016). نشت یونی و محتوای مالون‌دی‌آلدئید برای اندازه‌گیری غیر مستقیم تراوایی غشا به‌عنوان نشان‌دهنده میزان آسیب وارد آمده به غشا استفاده می‌شوند و منعکس کننده تغییرات تراوایی غشا هستند (Hodges *et al.*, 1999). MDA یکی از محصولات حد واسط در پراکسیداسیون لیپیدها است که مرتبط با پیری است و معمولا به‌عنوان شاخص آسیب اکسیداتیو سلول نیز به کار برده می‌شود (Wang *et al.*, 2005). آنزیم لیپوکسی‌ژناز مسئول تولید رادیکال سوپراکسید می‌باشد که پس از تولید می‌تواند در اثر عمل آنزیم سوپراکسید دیسموتاز به پراکسید هیدروژن تبدیل شود. پر اکسید هیدروژن نیز در اثر عمل آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان تجزیه می‌شود. در میوه‌های تیمار شده با هوای گرم در ترکیب با اسید سالیسیلیک افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و کاهش فعالیت آنزیم لیپوکسی‌ژناز منجر به کاهش سطوح رادیکال سوپراکسید و افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و گلوتاتیون ردوکتاز موجب کاهش سطوح پراکسید هیدروژن می‌گردد (Cao *et al.*, 2010). پراکسیداسیون لیپیدهای غشا به‌عنوان یک مشخصه برای پیری سلول‌ها مورد توجه قرار گرفته‌اند و می‌توانند به‌وسیله‌ی گونه‌های فعال اکسیژن یا آنزیم‌های اکسیدکننده لیپیدها از قبیل لیپوکسی‌ژناز که هیدرو پراکسیداسیون اسیدهای چرب غیراشباع را کاتالیز می‌کند آغاز گردند و بنابراین هیدروکسیدهای لیپید تشکیل می‌شوند و پس از آن به صورت خودبه‌خودی به رادیکال‌های اکسیژن آزاد تجزیه می‌شوند (Shewfelt & del Rosario, 2001). Pinhero *et al.* (1998) پیشنهاد کردند که افزایش فعالیت لیپوکسی‌ژناز باعث تجزیه اسیدهای چرب غیراشباع و کاهش انسجام غشا می‌شود.

Rui *et al.* (2010) گزارش کردند که تیمار هوای گرم (۳۸ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۵ ساعت) سرمازدگی میوه لاکوآت را به طور معنی‌داری کاهش داد که با کاهش نشت یونی و میزان مالون‌دی‌آلدئید و همچنین کاهش فعالیت آنزیم لیپوکسی‌ژناز همراه می‌باشد. در طول دوره سرمازدگی در میوه لاکوآت در دمای یک درجه سانتی‌گراد فعالیت آنزیم لیپوکسی‌ژناز افزایش می‌یابد که با افزایش میزان اسیدهای چرب اشباع پالمیتیک اسید، استئاریک اسید و اولئیک اسید و کاهش میزان اسیدهای چرب غیر اشباع لینولئیک و لینولنیک اسید همراه می باشد.

Chen *et al.* (2008) گزارش کردند که تیمار هوای گرم ۳۸ درجه سانتی‌گراد به‌مدت دو روز

سرمازدگی میوه موز را به طور معنی‌داری کاهش می‌دهد. کاهش سرمازدگی میوه موز با کاهش نشت یونی و میزان مالون‌دی‌آلدئید همراه می‌باشد. کاهش تراوایی غشا تحت تنش پیری طی انبارمانی میوه هلو عموما مرتبط با تجمع بیش از حد گونه‌های فعال اکسیژن و افزایش فعالیت لیپوکسی‌ژناز و مقادیر مالون‌دی آلدئید می‌باشد. تیمار گرمایی باعث کاهش تجمع مالون‌دی‌آلدئید و افزایش تراوایی غشا در هلو گردید و همچنین افزایش تجمع مالون‌دی‌آلدئید ارتباط نزدیکی با تجمع گونه‌های فعال اکسیژن دارند. (Huan *et al*., 2017).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد تاثیر تیمار پس از برداشت غوطه‌وری در آب گرم و مدت زمان انبارمانی بر میزان پراکسید هیدروژن، اسید آسکوربیک و مقدار فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، گایاکول پراکسیداز، گلوتاتیون پراکسیداز، گلوتاتیون-اس-ترانسفراز و گلوتاتیون ردوکتاز میوه زغال‌اخته نگهداری شده در دمای چهار درجه سانتی گراد به‌مدت ۲۱ روز معنی‌دار بود و اثر متقابل تیمار غوطه‌وری در آب گرم و مدت زمان انبارمانی بر میزان پراکسید هیدروژن، اسید آسکوربیک و مقدار فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، گایاکول پراکسیداز و گلوتاتیون ردوکتاز معنی‌دار بود اما بر میزان فعالیت آنزیم‌های گلوتاتیون پراکسیداز و گلوتاتیون-اس-ترانسفراز اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۱).

میزان تجمع پراکسید هیدروژن طی هفته اول و دوم در تیمار شاهد و تیمار غوطه‌وری در آب گرم به‌مدت ۱۰ دقیقه افزایش یافت و در هفته سوم کمی کاهش نشان داد و بین این دو تیمار تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. در پایان آزمایش کمترین مقدار تجمع پراکسید هیدروژن در تیمار غوطه‌وری در آب گرم به‌مدت ۲۰ دقیقه ثبت گردید (جدول ۳). نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در تیمار غوطه‌وری در آب گرم به‌مدت ۲۰ و ۳۰ دقیقه تا پایان آزمایش مقدار اسید آسکوربیک افزایش یافت اگر چه میزان افزایش اسید آسکوربیک در این دو تیمار بین هفته سوم و دوم تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. بیشترین میزان اسید آسکوربیک در تیمار غوطه‌وری در آب گرم به‌مدت ۲۰ دقیقه مشاهده شد (جدول۳). هم‌چنین فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز، گایاکول پراکسیداز، گلوتاتیون پراکسیداز، گلوتاتیون-اس-ترانسفراز و گلوتاتیون ردوکتاز تحت تاثیر تیمار پس از برداشت غوطه‌وری در آب گرم قرار گرفتند (جدول ۳). تیمار غوطه‌وری در آب گرم به‌مدت ۲۰ دقیقه دارای بیشترین مقدار فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در پایان آزمایش بود. بین تیمار غوطه‌وری در آب گرم به‌مدت ۱۰ دقیقه و تیمار شاهد طی سه هفته انبارمانی تفاوت معنی‌داری وجود نداشت و همچنین در هفته اول بین این دو تیمار و تیمار غوطه‌وری در آب گرم به‌مدت ۳۰ دقیقه تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳). بیشترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز مربوط به تیمارهای غوطه‌وری در آب گرم به‌مدت ۲۰ و ۳۰ دقیقه بود و بین این دو تیمار اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳). در تیمار غوطه‌وری در آب گرم به‌مدت ۲۰ دقیقه در هفته اول میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز افزایش داشت، ولی در هفته دوم و سوم مقدار فعالیت این آنزیم کاهش یافت. در پایان آزمایش بیشترین میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز مربوط به تیمار غوطه‌وری در آب گرم به‌مدت ۲۰ دقیقه بود (جدول۳). بیشترین میزان فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز مربوط به تیمارهای غوطه‌وری در آب گرم به‌مدت ۲۰ دقیقه بود و بین این تیمار و تیمار غوطه‌وری در آب گرم به‌مدت ۳۰ دقیقه تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۴). طی انبارمانی میوه‌های زغال اخته در چهار درجه سانتی‌گراد فعالیت آنزیم گلوتاتیون-اس-ترانسفراز بین تیمار شاهد و تیمارهای غوطه‌وری در آب گرم به‌مدت ۱۰ و۳۰ دقیقه تفاوت معنی‌داری نداشت و بیشترین میزان فعالیت آنزیم گلوتاتیون-اس-ترانسفراز در تیمار غوطه‌وری در آب گرم به‌مدت ۲۰ دقیقه مشاهده شد و این تیمار تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها داشت (جدول ۴). فعالیت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز در تیمار شاهد و تیمار غوطه‌وری در آب گرم به‌مدت ۱۰

دقیقه طی سه هفته انجام آزمایش روند کاهشی داشت. در میوه‌های تحت تیمار غوطه‌وری در آب گرم به‌مدت ۲۰ و ۳۰ دقیقه فعالیت این آنزیم در هفته اول و دوم افزایش یافت، ولی در هفته سوم فعالیت این آنزیم در این دو تیمار نیز کاهش یافت. در پایان آزمایش بیشترین میزان فعالیت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز در تیمار غوطه‌وری در آب گرم به‌مدت ۲۰ دقیقه مشاهده شد (جدول ۴). در هفته سوم نگهداری میوه‌های زغال اخته در چهار درجه سانتی‌گراد، بیشترین میزان فعالیت آنزیم گلوتاتیون ردوکتاز در تیمار غوطه‌وری در آب گرم به‌مدت ۲۰ دقیقه ثبت گردید (جدول ۴).

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار آب گرم (HWT) و زمان انبارمانی بر تجمع پراکسید هیدروژن (H_2O_2)، مقدار اسید آسکوربیک (AA) و فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، کاتالاز (CAT) و آسکوربات پراکسیداز (APX) میوه‌های زغال‌اخته طی نگهداری در۱±۴ درجه سانتی‌گراد.

Table 3. Mean comparison interaction effect of hot water treatment (HWT) and storage time on H_2O_2 accumulation, ascorbic acid (AA) content and superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and ascorbate peroxidase (APX) activity of cornelian cherry fruits during storage at 4±1 °C.

Storage time (day)	HWT at 42 °C (min)	H_2O_2 (nM gr^{-1} FW)	AA (mg 100 gr^{-1} FW)	SOD (U mg^{-1} protein)	CAT (U mg^{-1} protein)	APX (U mg^{-1} protein)
0	0	12.2± 0.8	65.9± 1.6	44.3± 0.5	24.0± 1.0	159.7± 3.3
7	0	20.5± 1.3 def	67.1± 1.7 cdef	53.4± 0.8 fg	26.1± 0.7 gh	136.0± 2.5 d
	10	21.7± 0.9 cde	63.4± 1.5 ef	54.6± 1.0 efg	26.6± 0.8 fgh	123.8± 3.5 e
	20	16.0± 0.5 g	68.3± 1.5 c-f	60.6± 1.5 cd	39.3± 1.4 ab	162.4± 3.4 a
	30	18.1± 0.7 fg	69.4± 2.0 cde	56.0± 1.8 d-g	32.3± 1.3 de	150.3± 3.4 bc
14	0	31.9± 1.3 a	70.9± 1.8 bcd	50.9± 1.4 g	30.0± 1.4 ef	88.4± 2.1 g
	10	31.7± 0.7 a	65.9± 1.8 def	61.3± 1.6 cd	29.6± 1.2 efg	90.5± 5.2 g
	20	20.3± 1.1 def	76.1± 1.8 ab	68.0± 2.1 ab	38.3± 1.6 abc	141.6± 5.6 cd
	30	22.7± 0.6 cd	72.5± 1.4 bc	67.3± 2.4 ab	36.1± 1.1 bc	140.6± 4.4 cd
21	0	30.0± 0.7 ab	55.4± 3.3 g	59.3± 2.3 de	24.3± 0.5 h	61.8± 1.6 h
	10	28.7± 0.7 b	61.7± 1.8 f	57.9± 0.9 def	28.7± 1.2 efg	72.1± 4.1 h
	20	19.1± 1.0 ef	80.5± 2.6 a	71.6± 2.0 a	40.1± 1.2 a	122.8± 4.4 e
	30	23.1± 0.6 c	73.4± 1.8 bc	65.6± 2.5 bc	35.4± 0.9 cd	107.6± 0.5 f

در هر ستون میانگین هایی با حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

In each column means followed by at least a common letter, are not significantly difference at 5% probability level.

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار آب گرم (HWT) و زمان انبارمانی بر فعالیت آنزیم‌های گایاکول پراکسیداز (POD)، گلوتاتیون-اس-ترانسفراز (GT)، گلوتاتیون پراکسیداز (GPX) و گلوتاتیون ردوکتاز (GR) میوه‌های زغال‌اخته طی نگهداری در۱ ± ۴ درجه سانتی‌گراد.

Table 4. Mean comparison interaction effect of hot water (HWT) and storage time on guaiacol peroxidase (POD), glutathione-s-transferase (GT), glutathione peroxidase (GPX) and glutathione reductase (GR) activity of cornelian cherry fruits during storage at 4±1°C.

Storage time (day)	HWT at 42 °C (min)	POD (U mg^{-1} protein)	GT (U mg^{-1} protein)	GPX (U mg^{-1} protein)	GR (U mg^{-1} protein)
0	0	7.6± 0.2	11.7± 0.6	1.06± 0.03	6.5± 0.3
7	0	9.3± 0.3 f	11.1± 0.5 e	0.95± 0.02 cdef	6.8± 0.2 f
	10	7.8± 0.3 g	11.2± 0.2 e	0.96± 0.01 c–f	6.6± 0.3 f
	20	9.7± 0.3 ef	14.6± 0.4 b	1.25± 0.12 ab	8.5± 0.2 cd
	30	9.4± 0.4 f	11.7± 0.4 de	1.07± 0.07 bcd	9.0± 0.4 c
14	0	11.3± 0.1 abc	12.8± 0.4 cd	0.74± 0.05 f	7.4± 0.2 ef
	10	10.3± 0.3c-f	13.3± 0.4 bc	0.80± 0.02 ef	7.9± 0.1 de
	20	11.1± 0. A-d	16.2± 0.5 a	1.34± 0.13 a	12.9± 0.2 b
	30	12.1± 0.5 a	14.6± 0.6 b	1.15± 0.11 abc	13.4± 0.3 ab
21	0	10.1± 0.5 def	13.1± 0.5 bcd	0.70± 0.03 f	8.8± 0.5 cd
	10	10.7± 0.3b–e	13.2± 0.3 bcd	0.78± 0.06 f	9.1± 0.3 c
	20	12.2± 0.4 a	17.6± 0.3 a	1.21± 0.13 abc	14.1± 0.2 a
	30	11.7± 0.3 ab	14.6± 0.5 b	0.87± 0.07 def	13.0± 0.5 b

در هر ستون میانگین هایی با حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

In each column means followed by at least a common letter, are not significantly difference at 5% probability level.

طی تنش یا پیری پس از برداشت سوپراکسید به‌وسیله نشت الکترون از میتوکندری یا چرخه انتقال الکترون کلروپلاست یا به‌وسیله NADPH اکسیداز در غشا پلاسما بیوسنتز می‌شود. همچنین به دنبال پراکسیداسیون اسیدهای چرب غیر اشباع، فعالیت لیپوکسی‌ژناز باعث تجمع سوپراکسید می‌گردد (Lin *et al*., 2015).

مطالعات اخیر نشان داده است که مقدار پراکسید هیدروژن طی پیری در میوه هلو (Qin *et al*., 2009)، خربزه (Lacan & Baccou, 1998) و گوجه فرنگی (Jimenez *et al*., 2002) افزایش می‌یابد. مقادیر کمتر گونه‌های فعال اکسیژن به‌وسیله کم‌کردن غلظت اکسیژن (۵-۲ درصد) طی انبارمانی می‌تواند پیری را در میوه سیب به صورت موثری به تعویق اندازد. در صورتی‌که تیمار میوه‌ها با پراکسید هیدروژن سرعت پیری را افزایش می‌دهد (Tian *et al*., 2004). تیمار اکسیژن بالا می‌تواند تولید پراکسید هیدروژن را در میتوکندری افزایش دهد و بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان تاثیر بگذارد و پیری میوه را تسریع کند (Wang *et al*., 2005). این نتایج نشان می‌دهند که تنش اکسیداتیو موجب تجمع گونه‌های فعال اکسیژن می‌گردد و در فرایند پیری میوه دخالت دارند. گونه‌های فعال اکسیژن از قبیل آنیون سوپراکسید، پراکسید هیدروژن و رادیکال هیدروکسیل موجب آسیب اکسیداتیو می‌گردند که یکی از سازوکارهای مرگ سلولی و پیری طبیعی در گیاهان است (Mittler, 2002). سازوکارهای جاروب‌کنندگی گونه‌های فعال اکسیژن شامل سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیرآنزیمی است که در کنار یکدیگر مقادیر گونه‌های فعال اکسیژن را تعدیل می‌کنند (Hodges *et al*., 2004). آنتی‌کسیدان‌های غیرآنزیمی نقش مهمی در دفاع علیه آسیب اکسیداتیو القا شده به‌وسیله گونه‌های فعال اکسیژن در سلول طی پیری دارد. اسید آسکوربیک یک آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی است که مسئول حذف مستقیم اکسیژن است (Liu *et al*., 2011). طی تنش یا پیری پس از برداشت، اسید آسکوربیک نه تنها مستقیما به‌عنوان مولکول جاروب‌کننده گونه‌های فعال اکسیژن عمل می‌کند بلکه به‌عنوان یک دهنده الکترون به آسکوربات پراکسیداز برای جاروب‌کنندگی پراکسیدهیدروژن به‌وسیله چرخه آسکوربات-گلوتاتیون نیز عمل می‌نماید (Razavi *et al*., 2018). جاروب کنندگی پراکسیدهیدروژن به‌وسیله آسکوربات پراکسیداز همراه با مصرف اسید آسکوربیک تولید دی‌هیدرو آسکوربات می‌کند درصورتی‌که گلوتاتیون ردوکتاز از گلوتاتیون برای تولید اسید آسکوربیک از دی‌هیدرو آسکوربات استفاده می‌کند. فعالیت بالای آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز و گلوتاتیون ردوکتاز برای تامین سودمندی نسبت آسکوربات به گلوتاتین و یا گلوتاتیون به گلوتاتیون اکسید شده مهم و تعیین کننده می‌باشد (Aghdam *et al*., 2016). بنابراین تجمع بالای اسید آسکوربیک در میوه‌های تیمارشده با آب گرم ممکن است به فعالیت آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز و گلوتاتیون ردوکتاز نسبت داده شود.

سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، گایاکول پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز، گلوتاتیون-اس-ترانسفراز، گلوتاتیون پراکسیداز و گلوتاتیون ردوکتاز از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کلیدی خنثی‌کننده رادیکال‌های آزاد هستند. در میان آنها سوپراکسید دیسموتاز می‌تواند سلول‌ها را از تنش اکسیداتیو به‌وسیله تبدیل سوپراکسید به پراکسید هیدروژن محافظت کند و درصورتی که کاتالاز، گایاکول پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز، گلوتاتیون-اس-ترانسفراز، گلوتاتیون پراکسیداز و گلوتاتیون ردوکتاز آنزیم‌هایی هستند که در تجزیه پراکسیدهیدروژن نقش دارند (Mittler, 2002).

فعالیت بالای این آنزیم‌ها و فعالیت هماهنگ آنها قسمتی از سازوکاری است که در کاهش پراکسیداسیون لیپیدها و تاخیر پیری در محصولات باغبانی دخیل می‌باشد. به‌عنوان مثال اگزالیک اسید از طریق تحریک افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، گایاکول پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز موجب تاخیر در پیری هلو می‌گردد (Zheng *et al*., 2007).

گلوتاتیون-اس-ترانسفراز از گلوتاتیون به‌عنوان پیش ماده جهت سمیت‌زدایی هیدروکسیدهای لیپید که در نتیجه افزایش پراکسیداسیون لیپیدها تجمع می‌یابند، استفاده می‌کند (Rogiers *et al*., 1998). گلوتاتیون

ردوکتاز مسئول کاهش وابسته به NADPH، گلوتاتیون از گلوتاتیون اکسید شده است. حفظ فعالیت گلوتاتیون ردوکتاز در نگهداری غلظت گلوتاتیون در سلول‌ها مهم است. گلوتاتیون نقش مهمی در حذف پراکسیدهای لیپید از طریق فعالیت گلوتاتیون-اس-ترانسفراز ایفا می‌کند (Szalai *et al*., 2009). بر اساس داده‌ها تیمارهای مختلف پس از برداشت جهت نگهداری موثر تعادل اکسیداسیون و احیا و جلوگیری از پراکسیداسیون لیپیدها به‌وسیله کنترل تولید گونه‌های فعال اکسیژن موجب حفظ کیفیت و افزایش عمر نگهداری میوه‌ها می‌شوند (Gao *et al*., 2016).

سازوکارهای تنش گرمایی در حفظ کیفیت محصولات باغبانی طی انبارمانی مربوط به اثر آن بر تراوایی غشا سلول، تجمع پروتئین‌های شوک گرمایی، افزایش قند و متابولیسم آنتی‌اکسیدان‌ها است (Lafuente *et al*., 2017). در پرتقال و لیمو تیمار غوطه‌وری در آب گرم موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان می‌گردد (Bassal & El-Hamahmy, 2011; Safizadeh *et al*., 2007). Lafuente *et al.* (2017) مشاهده کردند که تجمع فاکتور رونویسی WRKY در نارنگی تحت شرایط گرمایی موجب تحمل سرمازدگی می‌شود. هم‌چنین تجزیه لیپیدها متوقف شده‌اند و متابولیسم آنتی‌اکسیدان‌ها افزایش یافت. تیمار گرمایی ۵۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲ دقیقه موجب تاخیر در رسیدن گوجه فرنگی‌های سبز بالغ، تاخیر در توسعه رنگ، کاهش محتوی مالون‌دی‌آلدئید و افزایش فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، گایاکول پراکسیداز و کاتالاز گردید (Zhang *et al*., 2018).

تیمار غوطه‌وری در آب گرم ۴۵ درجه سانتی‌گراد و ۵۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۵ دقیقه در خیار موجب کاهش نشت یونی و آسیب سرمازدگی و همچنین کاهش فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز شد. ظاهر و طعم میوه و فعالیت کاتالاز در تیمار آب گرم ۵۵ درجه سانتی‌گراد نسبت به ۴۵ درجه سانتی‌گراد بهتر بود و همچنین تیمار گرمایی موجب افزایش مقدار فنل گردید (Nasef, 2018). همچنین تیمار غوطه وری در آب گرم موجب فعال شدن آنزیم‌های آنتی اکسیدان در گوجه فرنگی می گردد (Boonkorn, 2016). تیمار گرمایی موجب فعالیت بالای کاتالاز و تاخیر در رسیدن خیار طی انبارمانی در ۱۰ درجه سانتی‌گراد گردیده است (Zhang *et al*., 2014) . تیمار گرمایی باعث کاهش تنش اکسیداتیو به‌وسیله جلوگیری از تجمع بیش از حد پراکسید هیدروژن و سوپراکسید در طیف گسترده‌ای از میوه‌های نگهداری شده در دمای پایین می گردد (Ding *et al*., 2007; Yun *et al*., 2013). تیمار گرمایی می‌تواند باعث غیر فعال شدن آنزیم اسید آسکوربیک اکسیداز گردد (Chuah *et al*., 2008). تیمار آب گرم موجب افزایش اسید آسکوربیک از طریق کاهش فعالیت اسید آسکوربیک اکسیداز در پرتقال ناول گردیده است (Bassal & El-Hamahmy, 2011). Ummrat *et al.* (2011) گزارش نمودند که غلظت اسید آسکوربیک در موز تیمار شده با آب گرم افزایش می‌یابد. تیمار گرمایی متابولیسم اسید آسکوربیک را به‌وسیله افزایش رونوشت برداری دی‌هیدرو آسکوربات از اسید آسکوربیک و فعالیت بالای متابولیسم اسید آسکوربیک که نقش مهمی در کاهش غلظت پراکسیدهیدروژن دارند تنظیم می‌کند (Huan *et al*., 2017). تجمع کمتر پراکسید هیدروژن در میوه‌های زغال‌اخته تیمار شده با آب گرم ممکن است به افزایش آنزیم‌های جاروب کننده گونه‌های فعال اکسیژن از قبیل سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، گایاکول پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز، گلوتاتیون-اس-ترانسفراز، گلوتاتیون پراکسیداز و گلوتاتیون ردوکتاز همراه با تجمع مقادیر بالای مولکول آنتی‌اکسیدان اسید آسکوربیک و فعالیت کمتر آنزیم سازنده گونه‌های فعال اکسیژن، لیپوکسی‌ژناز مربوط باشد. این تغییرات در نهایت منجر به کاهش تجمع مالون‌دی‌آلدئید و نشت یونی کمتر و حفظ تراوایی غشا می‌گردد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که تیمار میوه‌های زغال‌اخته با آب گرم ۴۲ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۰

دقیقه می‌تواند موجب کاهش سرعت فرآیند پیری، حفظ کیفیت غذایی و خواص آنتی اکسیدانی آنها گردد که با افزایش مقدار اسید آسکوربیک همراه بود. در میوه‌های تیمار شده با آب گرم ۴۲ درجه سانتی‌گراد طی انبارمانی سرد افزایش در مقادیر اسید آسکوربیک و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان از قبیل سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، گایاکول پراکسیداز، گلوتاتیون پراکسیداز، گلوتاتیون-اس-ترانسفراز و گلوتاتیون ردوکتاز مشاهده شد که منجر به کاهش پراکسید هیدروژن گردید. همچنین علاوه بر افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، تیمار گرمایی از طریق کاهش فعالیت آنزیم لیپوکسی‌ژناز، سطوح گونه‌های فعال اکسیژن را کنترل نمود که در نهایت منجر به افزایش انسجام غشای سلولی و حفظ ارزش غذایی و کیفیت در میوه‌های زغال‌اخته نگهداری شده در چهار درجه سانتی‌گراد طی ۲۱ روز گردید.

REFERENCES

1. Aghdam, M.S., Naderi, R., Jannatizadeh, A., Sarcheshmeh, M.A.A. & Babalar, M. (2016). Enhancement of postharvest chilling tolerance of anthurium cut flowers by γ- aminobutyric acid (GABA) treatments. *Scientia Horticulturae*, 198, 52-60.
2. Aghdam, M.S., Dokhanieh, A.Y., Hassanpour, H. & Rezapour Fard, J. (2013). Enhancement of antioxidant capacity of cornelian cherry (*Cornus mas*) fruit by postharvest calcium treatment. *Scientia Horticulturae*, 161, 160-164.
3. Aghdam, M.S., Kakavand, F., Rabiei, V., Zaare-Nahandi, F. & Razavi, F. (2019). γ-Aminobutyric acid and nitric oxide treatments preserve sensory and nutritional quality of cornelian cherry fruits during postharvest cold storage by delaying softening and enhancing phenols accumulation. *Scientia Horticulturae*, 246, 812-817.
4. Bassal, M. & El-Hamahmy, M. (2011). Hot water dip and preconditioning treatments to reduce chilling injury and maintain postharvest quality of Navel and Valencia oranges during cold quarantine. *Postharvest Biology and Technology*, 60, 186-191.
5. Boonkorn, P. (2016). Impact of hot water soaking on antioxidant enzyme activities and some qualities of storage tomato fruit. *International Food Research*, 23, 934-938.
6. Cao, S., Hu, Z., Zheng, Y. & Lu, B. (2010). Synergistic effect of heat treatment and salicylic acid on alleviating internal browning in cold-stored peach fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 58, 93-97.
7. Chen, J. Y., He, L. H., Jiang, Y. M., Wang, Y., Joyce, D. C., Ji, Z. L. & Lu, W. J. (2008). Role of phenylalanine ammonia-lyase in heat pretreatmentinduced chilling tolerance in banana fruit. *Physiology Plantarum*, 132, 318-328.
8. Chuah, A. M., Lee Y. C., Yamaguchi, T., Takamura, H., Yin, L. J. & Matoba, T. (2008). Effect of cooking on the antioxidant properties of coloured peppers. *Food Chemistry*, 111, 20-28.
9. Ding, Z.S., Tian, S.P., Zheng, X.L., Zhou, Z.W. & Xu, Y. (2007). Responses of reactive oxygen metabolism and quality in mango fruit to exogenous oxalic acid or salicylic acid under chilling temperature stress. *Physiologia Plantarum*, 130, 112-121.
10. Dokhanieh, A.Y., Aghdam, M.S., Fard, J.R. & Hassanpour, H. (2013). Postharvest salicylic acid treatment enhances antioxidant potential of cornelian cherry fruit. *Scientia Horticulturae*, 154, 31-36.
11. Fallik, E. (2004). Prestorage hot water treatments (immersion, rinsing and brushing). *Postharvest Biology and Technology*, 32, 125-134.
12. Gao, H., Zhang, Z. K., Chai, H. K., Cheng, N., Yang, Y., Wang, D. N., Yang, T. & Cao, W. (2016). Melatonin treatment delays postharvest senescence and regulates reactive oxygen species metabolism in peach fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 118, 103-110.
13. Hodges, D. M., Delong, J. M., Forney, C. F. & Prange, R. K. (1999). Improving the thiobarbituric acid-reactive-substances assay for estimating lipid peroxidation in plant tissues containing anthocyanin and other interfering compounds. *Planta*, 207, 604-611.
14. Hodges, D. M., Lester, G. E., Munro, K. D. & Toivonen, P. M. A. (2004). Oxidative stress: importance for postharvest quality. *HortScience*, 39, 924-929.
15. Huan, C., Han, S., Jiang, L., An, X., Yu, M., Xu, Y., Ma, R. & Yu, Z. (2017). Postharvest hot air and hot water treatments affect the antioxidant system in peach fruit during refrigerated storage. *Postharvest Biology and Technology*, 126, 1-14.
16. Jimenez, A., Creissen, G., Kular, B., Firmin, J., Robinson, S., Verhoeyen, M. & Mullineaux, P. (2002). Changes in oxidative processes and components of the antioxidant system during tomato fruit ripening. *Planta*, 214, 751-758.
17. Khademi, O., Besada, C., Mostofi, Y. & Salvador, A. (2014). Changes in pectin methylesterase, polygalacturonase, catalase and peroxidase activities associated with alleviation of chilling injury in persimmon by hot water and 1-MCP treatments. *Scientia Horticulturae*, 179, 191-197.

18. Kucharska, A. Z., Szumny, A., Sool-Letowska, A., Piorecki, N. & Klymenko, S. V. (2015). Iridoids and anthocyanins in cornelian cherry (*Cornus mas* L.) cultivars. *Journal of Food Composition and Analysis*, 40, 95-102.
19. Hatami, M., Kalantari, S., & Delshad, M. (2012). Effect of hot water treatment (HWT) and storage temperature conditions on mature green tomato. *Iranian Journal of Horticultural Science*, *43*(2), 113-123. (in Farsi).
20. Hosseini, M. S., Babalar, M., & Askari, M. A. (2014). The effect of putrescine and heat treatment on postharvest quality of pear fruit (*Pyrus communis* cv. Spadona). *Iranian Journal of Horticultural Science*, *45*(3), 20-30. (in Farsi).
21. Lacan, D. & Baccou, J. C. (1998). High levels of antioxidant enzymes correlate with delayed senescence in nonnetted muskmelon fruits. *Planta*, 204, 377-382.
22. Lafuente, M. T., Establés-Ortíz, B. & González-Candelas, L. (2017). Insights into the molecular events that regulate heat-induced chilling tolerance in citrus fruits. *Frontiers Plant Science*, 8, 1-14.
23. Lin, Y., Lin, Y., Lin, H., Zhang, S., Chen, Y. & Shi, J. (2015). Inhibitory effects of propyl gallate on browning and its relationship to active oxygen metabolism in pericarp of harvested longan fruit. *LWT-Food science and technology*, 60, 1122-1128.
24. Lin, Y.-X., Lin, Y.-F., Chen, Y.-H., Wang, H., Shi, J. & Lin, H. T. (2016). Hydrogen peroxide induced changes in energy status and respiration metabolism of harvested longan fruit in relation to pericarp browning. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64, 4627-4632
25. Liu, H., Song, L., You, Y., Li, Y., Duan, X., Jiang, Y., Joyce, D.C., Ashraf, M. & Lu, W. (2011). Cold storage duration affects litchi fruit quality, membrane permeability, enzyme activities and energy charge during shelf time at ambient temperature. *Postharvest Biology and Technology*, 60, 24-30.
26. López-López, M. E., López-Valenzuela, J. Á., Delgado-Vargas, F., López-Angulo, G., Carrillo-López, A., Ayón-Reyna, L. E., & Vega-García, M. O. (2018). A treatment combining hot water with calcium lactate improves the chilling injury tolerance of mango fruit. *HortScience*, *53*(2), 217-223.
27. Lurie, S. (2008). Heat treatment for enhancing postharvest quality.p.249-259. In: P. Paliyath , D.P. Murr, A.V. Handa and S. Lurie(eds.), *Postharvest Biology and Technology of Fruits, Vegetables and Flowers*. Wiley-Blackwell, Ames, IA.
28. Mahajan, P. V., Caleb, O. J., Singh, Z., Watkins, C. B. & Geyer, M. (2014). Postharvest treatments of fresh produce. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 372, 201-230.
29. Mirdehghan, S.H., Rahemi, M., Martínez-Romero, D., Guillén, F., Valverde, J.M., Zapata, P.J., Serrano, M. & Valero, D. (2007). Reduction of pomegranate chilling injury during storage after heat treatment: Role of polyamines. *Postharvest Biology and Technology*, 44, 19-25.
30. Mittler, R. (2002). Oxidative stress: antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Science*, 7, 405-410.
31. Mohebbi, S., Mostofi, Y., Zamani, Z. & Najafi, F. (2015). Influence of modified atmosphere packaging on storability and postharvest quality of cornelian cherry (*Cornus mas* L.) fruits. *Notulae Scientia Biologicae*, 7, 116-122.
32. Nasef, I. N. (2018). Short hot water as safe treatment induces chilling tolerance and antioxidant enzymes, prevents decay and maintains quality of cold-stored cucumbers. *Postharvest Biology and Technology*, 138, 1-10.
33. Patterson, B. D., Macrae, E. A. & Ferguson, I. B. (1984). Estimation of hydrogen peroxide in plant extracts using titanium (IV). *Analytical Biochemistry*, 139, 487-492.
34. Phetsirikoon, S., Ketsa, S. & Van Doorn, W. G. (2012). Chilling injury in *Dendrobium inflorescences* is alleviated by 1-MCP treatment. *Postharvest Biology and Technology*, 67, 144-153.
35. Pinhero, R. G., Paliyath, G., Yada, R. Y. & Murr, D. P. (1998). Modulation of phospholipase D and lipoxygenase activities during chilling. Relation to chilling tolerance of maize seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*, 36, 213-224.
36. Qin, G., Wang, Q., Liu, J., Li, B. & Tian, S. (2009). Proteomic analysis of changes in mitochondrial protein expression during fruit senescence. *Proteomics*, 9, 4241-4253.
37. Rabiei, V., Kakavand, F., Zaare-Nahandi, F., Razavi, & F., Aghdam, M.S. (2019). Nitric oxide and γ-aminobutyric acid treatments delay senescence of cornelian cherry fruits during postharvest cold storage by enhancing antioxidant system activity. *Scientia Horticulturae*, 243, 268-273.
38. Razavi, F., Mahmoudi, R., Rabiei, V., Aghdam, M. S. & Soleimani, A. (2018). Glycine betaine treatment attenuates chilling injury and maintains nutritional quality of hawthorn fruit during storage at low temperature. *Scientia Horticulturae*, 233, 188-194.
39. Rogiers, S.Y., Kumar, G. N. M. & Knowles, N. R. (1998). Maturation and ripening of fruit of *Amelanchier alnifolia* Nutt. are accompanied by increasing oxidative stress. *Annals of Botany*, 81, 203-211.

40. Rui, H., Cao, S., Shang, H., Jin, P., Wang, K. & Zheng, Y. (2010). Effects of heat treatment on internal browning and membrane fatty acid in loquat fruit in response to chilling stress. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90, 1557-1561.
41. Safizadeh, M. R., Rahemi, M. & Aminlari, M. (2007). Effect of postharvest calcium and hotwater dip treatments on catalase, peroxidase and superoxide dismutase in chilled Lisbon lemon fruit. *International Journal of Agricultural Research*, 2, 440-449.
42. Shewfelt, R. L. & Delrosario, B. A. (2000). The role of lipid peroxidation in storage disorders of fresh fruits and vegetables. *HortScience*, 35, 57-575.
43. Sofo, A., Tuzio, A. C., Dichio, B. & Xiloyannis, C. (2005). Influence of water deficit and rewatering on the components of the ascorbate–glutathione cycle in four interspecific *Prunus* hybrids. *Plant Science*, 169, 403-412.
44. Szalai, G., Kellős, T., Galiba, G. & Kocsy, G. (2009). Glutathione as an antioxidant and regulatory molecule in plants under abiotic stress conditions. *Journal of Plant Growth Regulation*, 28, 66-80.
45. Terada, M., Watanabe, Y., Kunitomo, M. & Hayashi, E. (1978). Differential rapid analysis of ascorbic-acid and ascorbic-acid 2-sulfate by dinitrophenylhydrazine method. *Analytical Biochemistry*, 84, 604-608.
46. Tian, S. P., Jiang, A. L., Xu, Y. & Wang, Y.S. (2004). Responses of physiology and quality of sweet cherry fruit to different atmospheres in storage. *Food Chemistry*, 87, 43-49.
47. Ummarat, N., Matsumoto, T. K., Wall, M. M. & Seraypheap, K. (2011). Changes in antioxidants and fruit quality in hot water-treated 'Hom Thong' banana fruit during storage. *Scientia Horticulturae*, 130, 801-807.
48. Wang, Y. S., Tian, S. P. & Xu, Y. (2005). Effects of high oxygen concentration on pro- and anti-oxidant enzymes in peach fruits during postharvest stages. *Food Chemistry*, 91, 99-104.
49. Xia, Y., Chen, T., Qin, G., Li, B. & Tian, S. (2016). Synergistic action of antioxidative systems contributes to the alleviation of senescence in kiwifruit. *Postharvest Biology and Technology*, 111, 15-24.
50. Yilmaz, K. U., Ercisli, S., Zengin, Y., Sengul, M. & Kafkas, E. Y. (2009). Preliminary characterisation of cornelian cherry (*Cornus mas* L.) genotypes for their physicochemical properties. *Food Chemistry*, 114, 408-412
51. Yun, Z., Gao, H., Liu, P., Liu, S., Luo, T., Jin, S., Xu, Q., Xu, J., Cheng, Y. & Deng, X. (2013). Comparative proteomic and metabolomic profiling of citrus fruit with enhancement of disease resistance by postharvest heat treatment. *BMC Plant Biology*, 13, 1-16.
52. Zhang, N., Yang, Z., Chen, A. & Zhao, S. (2014). Effects of intermittent heat treatment on sensory quality and antioxidant enzymes of cucumber. *Scientia Horticulturae*, 170, 39-44.
53. Zhang, Y., Ji, H., Yu, J. & Zhang, Z. (2018). Effect of cold and heat shock treatment on the color development of mature green tomatoes and the roles of their antioxidant enzymes. *Food and Bioprocess Technology*, 11, 705-709.
54. Zhang, Z., Huber, D.J. & Rao, J. (2013). Antioxidant systems of ripening avocado (*Persea americana* Mill.) fruit following treatment at the preclimacteric stage with aqueous 1-methylcyclopropene. *Postharvest Biology and Technology*, 76, 58–64.
55. Zheng, X. L., Tian, S. P., Meng, X. H. & Li, B. Q. (2007). Physiological and biochemical responses in peach fruit to oxalic acid treatment during storage at room temperature. *Food Chemistry*, 104, 156-162.