

اثر سرما روی تخریب اکسیداتیو و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در برگ چای شمال ایران

ریحانه سریری^{۱*}، عادلہ رئوفی ماسوله^۲ و غلامرضا بخشی خانیکی^۲

دریافت: ۱۳۹۴/۲/۲۲ / پذیرش: ۱۳۹۴/۱۲/۱۵

^۱گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه گیلان، رشت

^۲گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه پیام نور شرق تهران، تهران

*مسئول مکاتبات: sariri@guilan.ac.ir

چکیده. هدف این تحقیق بررسی چگونگی ایجاد پروتئین ضدیخ (AFP)، تغییرات فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، آسکوربات پراکسیداز و کاتالاز در تیمارهای دمایی (۲۰، صفر، ۲-، ۵- و ۸-) و مقدار پراکسیداسیون لیپیدی در برگ‌های چای شمال ایران است. گیاهچه‌های هشت تا ده برگی چای با مقاومت سرمایی متوسط از چند مزرعه چای لاهیجان تهیه شدند و در گلدان‌های حاوی ماسه و پرلیت ضد عفونی و به نسبت ۱:۴ کاشته شدند. سپس حدود ده روز در اتاق رشد آزمایشگاه در ۲۰ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی ۷۵ درصد و طول روز ۱۶ ساعت با شدت نوری برابر حدود ۱۶۰۰ لوکس نگهداری شدند. از محلول هوگلند، برای آبیاری و تغذیه گیاهچه‌ها و از کود آهن (نیم گرم در لیتر) به شکل اسپری استفاده شد. تنش سرمایی به تدریج و طی برنامه مشخص دماهای صفر، ۲- و ۵- و ۸- درجه سانتی‌گراد اعمال شد و گیاهچه‌ها برای مراحل بعدی مهیا شدند. سپس بررسی ایجاد پروتئین ضدیخ و تعیین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان براساس روش‌های مربوط انجام گرفت. نتایج نشان داد که در اثر اعمال دماهای زیر صفر پروتئین ضدیخ با وزن مولکولی حدود ۲۰ کیلو دالتون در برگ‌های چای شمال کشور برای مقابله با استرس ناشی از یخ زدگی تولید شد. هم‌چنین با کاهش دما فعالیت آنزیم‌های SOD، APX و CAT در برگ چای افزایش یافت. فعالیت SOD تا دمای ۸- درجه سانتی‌گراد افزایش داشتند درحالی‌که فعالیت APX و CAT تا دمای ۵- درجه سانتی‌گراد افزایش یافت. از طرفی، مقدار مالون دی آلدئید MDA، فاکتور نشان-دهنده میزان پراکسیداسیون لیپیدی، افزایشی اندک در اثر کاهش دما نشان داد. براساس نتایج مزبور می‌توان جمع‌بندی کرد که برگ‌های همیشه سبز گیاه چای با ایجاد پروتئین ضدیخ خاص و افزایش فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی تنش‌های سرمایی را به‌خوبی تحمل می‌کند.

واژه‌های کلیدی. استرس سرمایی، آسکوربات پراکسیداز، پراکسیداسیون لیپیدی، پروتئین ضدیخ، سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز

The effect of cold temperature on oxidative damage and activity of oxidative enzymes in tea leaves from northern Iran

Reyhaneh Sariri^{1*}, Adeleh Raeofi Masooleh² and Gholam Reza Bakhshi Khaniki²

Received 12.05.2015/ Accepted 05.03.2016

¹Department of Biology, Faculty of Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran

²Department of Biology, Tehran Shargh Branch, Payam Nour University, Tehran, Iran

*Correspondent author: sariri@guilan.ac.ir

Abstract. Tea was planted in Lahijan by Kashefalsataneh in 1930. The main concern about important commercial plants such as tea is the formation of ice crystals in low temperatures. This can damage the live cells leading to lowering the quality of the plant and eventually its death. Formation of reactive oxygen species (ROS) and oxidative stress is the result of various environmental stresses leading to freezing. Investigating the variations in any of these factors could help to understand the mechanism of freeze resistance in ever-green plants. The aim of the present research was to investigate lipid peroxidation, the presence of antifreeze protein and variations in the activity of some antioxidant enzymes, including superoxide dismutase (SOD), ascorbate peroxidase (APX) and catalase (CAT) in tea leaves subjected to 20, 0, -2, -5 and -8°C in tea leaves from the north of Iran. The results showed formation of an antifreeze protein with MW of about 20 KD in response to cold stress. It was also found that the activity of SOD, APX and CAT increased in tea leaves due to cold stress. The activity of SOD increased down to -8°C. APX and CAT increased their activity down to -5°C. On the other hand, the lipid per oxidation factor, MDA, was also elevated in response to the cold stress.

Keywords. antifreeze protein, ascorbate peroxidase, cold stress, catalase, lipid per oxidation superoxide dismutase

مقدمه

لینه نخستین بار سال ۱۷۳۵ میلادی در جلد اول کتاب طبقه‌بندی گیاهان، نام علمی چای را *Thea sinensis* نامید. او، بعدها در جلد دوم کتابش از چای با عنوان *Camellia sinensis* نام برد. برگ‌های بالغ چای به رنگ سبز درخشان، چرمی شکل و نرم و دارای طولی متغیر از ۵ تا ۲۰ سانتی‌متر هستند (McFarlane & McFarlane, 2004). گل‌ها منفرد یا به صورت دسته‌های ۲ تا ۴ تایی قرار می‌گیرند. گل‌ها خوشبو هستند و ۳-۲/۵ سانتی‌متر قطر دارند، گلبرگ‌های سفید و پرچم‌هایی زرد دارند و خود عقیم‌اند.

برگ سبز چای حاوی پلی‌فنل‌ها، تریپنوییدها و گروهی از متابولیت‌های ثانویه است که دارای خاصیت آنتی‌باکتریال و آنتی‌اکسیدانتی هستند. علاوه بر پلی‌فنل‌هایی چون کتچین‌ها و فلاونوئیدها، ترکیبات شیمیایی دیگری مانند کافئین، تئوبرومین، تئوفیلین، پلی‌ساکاریدها، آمینواسیدها، لیپیدها، ویتامین C، آلومینیوم و منگنز نیز در *Camellia sinensis* وجود دارند (Graham, 1992).

بسیاری از گونه‌های گیاهی، به‌ویژه گونه‌های مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری، وقتی در دماهای بالاتر از نقطه یخ‌زدگی بافت ولی پایین‌تر از ۱۵ درجه سانتی‌گراد قرار می‌گیرند، صدمه می‌بینند و دچار سرمازدگی می‌شوند (Almeida et al., 1999). علائم مختلف فوتوتیبی در پاسخ به تنش سرمایی شامل کاهش سطح برگ، پژمردگی، کلروز برگ و نکروزه شدن است و علاوه بر آن سرمازدگی شدیداً از نمو زایشی گیاهان جلوگیری می‌کند. یکی از پیامدهای مهم سرمازدگی، صدمه شدید به غشا است که این نوع صدمه بیشتر به خشکی و ازدست‌رفتن آب گیاه منجر می‌شود. گیاهان حساس به سرمازدگی معمولاً مقدار بیشتری از اسیدهای چرب اشباع در غشا دارند و بنابراین، عبور مواد از غشا در دمای تغییر فاز بالاتری صورت می‌گیرد. در مقابل، گونه‌های مقاوم به سرمازدگی مقدار بیشتری اسیدهای چرب غیر اشباع در غشای سلولی دارند و دمای تغییر فازشان پایین‌تر است (Burke et al., 1976). درک سازوکار

سرمازدگی و اثر مخرب آن بر گیاه می‌تواند تا حد زیادی زمینه انتخاب، تحقیق و توسعه گیاهان مقاوم در مقابل به سرما را فراهم آورد (García-Varela & Fermín, 2003).

بوته چای معمولاً به عنوان گیاه همیشه‌سبز حساس به سرما طبقه‌بندی و توانایی آنها برای بقا در دماهای پایین به اندازه درختان معتدله، که برخی تحمل دمای ۴۰- درجه سانتی‌گراد یا پایین‌تر را دارند نمی‌رسد. از طرفی، تولید همیشگی و مقدار زیاد گیاه چای تأیید کننده توانایی آن برای بقا در شرایط یخبندان است. اغلب گونه‌های چای در دمای یخبندان ۲/۲- درجه سانتی‌گراد و پایین‌تر آسیب‌پذیر هستند ولی بعضی از انواع تجاری این گیاه در نواحی با خطر یخ‌زدگی فوق‌العاده زیاد در سراسر دنیا پرورش داده می‌شوند (Almeida et al., 1999).

بر اساس رفتار در مقابل یخ‌زدگی دو دسته بافت چوبی وجود دارد: اولین دسته با حفظ آب سلولی در حالت فراسرد یا تعادل فوق پایدار از تشکیل یخ در داخل سلول‌ها جلوگیری می‌کنند. این نوع واکنش در مقابل یخ‌زدگی، اجتناب از یخ‌زدگی یا فراسرد شدن نامیده می‌شود (George & Burke, 1984). دومین دسته با ازدست‌دادن آب سلولی تشکیل یخ در داخل سلول را به خارج سلول انتقال می‌دهند. این نوع واکنش در مقابل یخ‌زدگی، مقاومت یا تحمل یخ‌زدگی نامیده می‌شود (Cattivelli, 2011).

در چای، حفاظت سرمایی از طریق اجتناب از سرمای غیرفعال و فعال یا فراسرمایی است. بر اساس مشاهدات در طی یخبندان‌های طبیعی، برگ‌های چای در گروه مقاوم به سرما طبقه‌بندی می‌شود و اکثر گونه‌های چای روئیده در حدود ۸- درجه سانتی‌گراد پدیده فراسرد شدن را نشان می‌دهند (George & Burke, 1984). از طرفی، مهم‌ترین فرضیه در باب صدمه‌های ناشی از استرس سرمایی، فرضیه‌ای به نام لیونز-رایزن در زمینه تغییر فاز چربی‌های غشا است (Lynch & Steponkus, 1987). بر اساس این فرضیه اولین حس‌کننده حرارتی در سلول سیالیست لیپیدهای غشایی و نخستین اتفاق در سلول حساس به

آمین تتراسیتیک اسید (EDTA)، پلی وینیل پیرولیدون (PVP)، هیدروژن پراکسید، آسکوربیک اسید (ASA)، متیونین (Met)، نیتروترتازولیموم کلرید آبی (NBT)، ریوفلاوین، تری کلرواستیک اسید (TCA)، افسفریک اسید، گلو تار آلدنید، سدیم استات، سدیم تیوسولفات، نترات نقره، فرمالدئید، سدیم کربنات، اکریل آمید، بیس اکریل آمید، تریس باز، سدیم دودسیل سولفات (SDS)، کلریدریک اسید (HCl)، گلیسین (Gly)، گلیسرول، برومو فنل بلو (BFB)، آمونیم پر سولفات و TEMED از نمایندگی‌های شرکت‌های Sigma، Merck و Fluka تهیه شدند.

دستگاه‌های ژرminatور، اسکپتروفومتر، pH متر، دستگاه انکوباتور ویژه سرمادهی، الکتروفورز، سانتریفیوژ یخچال دار، دستگاه اتوکلاو، کروماتوگرافی مایع برای جداسازی سریع پروتئین (FPLC)، فیتوترون و دیگر لوازم ضروری در آزمایشگاه تحقیقاتی بیوشیمی و دیگر آزمایشگاه‌های دانشگاه گیلان مورد استفاده قرار گرفتند.

ایجاد تنش سرمایی

گیاهچه‌های هشت تا ده برگی به دستگاه ژرminatور با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۷۰ درصد و طول روز ۱۷ ساعت منتقل شدند و طی ۳ روز دمای دستگاه از ۲۵ درجه سانتی‌گراد تا ۲۰، ۱۵، ۱۰، ۵ و ۳ درجه سانتی‌گراد کاهش یافت تا گیاهان با دماهای زیر صفر به تدریج سازگار شوند. طول دوره روشنایی در دمای پایین‌تر از ۱۵ درجه سانتی‌گراد برای جلوگیری از اکسیداسیون نوری به ۸ ساعت تقلیل یافت. سپس گیاهچه‌ها به دستگاه انکوباتور ویژه سرمادهی منتقل شدند و دمای دستگاه طی ۳ ساعت به صفر درجه سانتی‌گراد رسید و حدود ۲۴ ساعت در این دما باقی ماند. در این مرحله، تعدادی از گیاهچه‌ها از دمای صفر خارج شدند و برای جلوگیری از تغییر ناگهانی دما ابتدا برای ۸ ساعت در یخچال ۴ تا ۷ درجه سانتی‌گراد نگهداری و بعد به فیتوترون ۱۵ درجه سانتی‌گراد بود منتقل شدند. پس از حدود ۶ تا ۷ ساعت در این دما به درجه حرارت اتاق، حدود ۲۰ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد انتقال یافتند تا برای عمل استخراج آماده

سرما هنگام قرار گرفتن، تغییر حالت در نظم مولکولی توده چربی‌های غشایی است.

افزایش مقدار و میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانته مانند سوپراکسید دیسموتاز (McKersie *et al.*, 1993)، کاتالاز (Prasad, 1997; Sala & Lafuente, 1999) پراکسیداز (El-hilali *et al.*, 2003) و پلی‌فنل‌اکسیداز نیز از سازوکارهای مهم سازگاری با سرما هستند (Nguyen *et al.*, 2003).

مواد و روش‌ها

پرورش گیاهچه‌های چای

در اسفند ۱۳۹۲ گیاهچه‌های هشت تا ده برگی گیاه چای با مقاومت سرمایی متوسط از چند مزرعه چای لاهیجان تهیه شدند. قبل از کاشت گلدان‌ها، ماسه و پرلیت به مدت ۳۰ دقیقه با فشار ۱/۲ اتمسفر و دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد در دستگاه اتوکلاو ضد عفونی شد و سپس گیاهچه‌ها در مخلوط ماسه و پرلیت به نسبت ۴:۱ کاشته شدند. برای اینکه گیاهچه‌ها که در دمای معمولی کاشته شده بودند دچار شوک یا استرس سرمایی یا دیگر ناسازگاری‌های ناشی از انتقال و تعویض محل رشد نشوند، حدود ۱۰ روز در اتاق رشد آزمایشگاه در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی ۷۵ درصد و طول روز ۱۶ ساعت با شدت نوری برابر حدود ۱۶۰۰ لوکس (۳۰ میکرومول در مترمربع در ثانیه) نگهداری شدند. از آنجایی که گیاهچه‌ها در خاک سبک کاشته شده بودند و این خاک نیز قابلیت نگهداری آب را برای تغذیه گیاهچه‌ها نداشت، از محلول هوگلند (به‌ازای هر لیتر ماکرو یک میلی‌لیتر میکرو) برای آبیاری و تغذیه گیاهچه‌ها و از کود آهن (نیم گرم در لیتر) به صورت محلول-پاشی استفاده شد.

مواد شیمیایی و دستگاه‌ها

کوماسی بریلیانت بلو جی ۲۵، منو و دی پتاسیم هیدروژن فسفات، سرم آلبومین گاوی (Bovine Serum Albumin, BSA) اتانول، متانول، استیک اسید، بتامر کاپتواتانول، اتیلن دی

رویی جدا و در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد برای انجام آزمایش‌های بعدی نگهداری شد.

تهیه بافر فسفات جهت استخراج

برای استخراج پروتئین از بافر فسفات ۲۰ میلی مولار pH=7 استفاده شد و برای تهیه بافر آنزیمی، ۱۰۰ میلی لیتر از بافر مذکور با ۲۰۰ میکرولیتر EDTA (۱/۱ میلی مولار) و ۲ گرم پلی‌وینیل پیرولیدن (PVP) مخلوط و pH آن روی ۷ تنظیم شد. بافر تشخیص پروتئین نیز از انحلال ۰/۳۲ گرم بتامرکاپتواتانول در ۲۰۰ میلی لیتر بافر فسفات ۲۰ میلی مولار و تنظیم pH محلول روی ۷ به دست آمد.

تعیین پروتئین کل عصاره به روش برادفورد

در این سنجش، اتصال کوماسی بریلیانت بلو به پروتئین در محیط اسیدی، تغییر در طول موج جذب حداکثر (λ_{max}) رنگ از ۴۶۵ به ۵۹۵ نانومتر را ایجاد می‌کند. به این ترتیب جذب در ۵۹۵ نانومتر با غلظت پروتئین رابطه مستقیم دارد. مقدار کل پروتئین در هر نمونه از طریق اندازه‌گیری جذب آنها در طول موج ۵۹۵ نانومتر و با توجه به جذب استاندارد آلبومین سرم (BSA) گاوی محاسبه شد (Bradford, 1976).

سنجش فعالیت آسکوربات پراکسیداز

برای بررسی فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز از روش Bunkelmamm & Trelease, 1996) با اندکی تغییر استفاده شد. در عمل، ۱۰۰ میلی لیتر بافر فسفات ۵۰ میلی مولار با ۲۰۰ میکرولیتر EDTA (۱/۱ میکرومولار مخلوط و pH آن در ۷ تنظیم شد و سپس ۱۰۰ میلی لیتر آسکوربات ۰/۵ میلی مولار به آنها اضافه شد. برای بلانک نیز ۹۵۰ میکرولیتر بافر آنزیمی و ۵۰ میکرولیتر از استوک پراکسید هیدروژن ریخته شد و در دستگاه اسپکتروفتومتر قرار گرفت. از طرفی، ۹۳۰ میکرولیتر بافر آنزیمی با ۵۰ میکرولیتر استوک پراکسید هیدروژن و ۲۰ میکرولیتر از محلول حاوی آنزیم در کووت کوآرتز نمونه مخلوط و جذب در ۲۹۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد.

شوند. دیگر تیمارهای سرمایی نیز در ۲- و ۵- و ۸- درجه سانتیگراد مشابه فوق اعمال و گیاهچه‌ها برای مراحل بعدی مهیا شدند.

اندازه‌گیری مقدار پراکسیداسیون لیپیدی

با توجه به اینکه مالون دی‌آلدئید (MDA) به منزله محصول دوم پراکسیداسیون لیپیدی، با تیوبار بیتوریک اسید (TBA) واکنش می‌دهد، این سنجش با استفاده از TBA و تری کلرواستیک اسید (TCA) انجام شد (Liu et al., 2009). برای تهیه محلول بافر استوک، به طور هم‌زمان ۰/۵ گرم TBA در ۲۰ میلی لیتر آب مقطر و ۲۰ گرم TCA در ۳۰ میلی لیتر آب مقطر حل شدند. سپس دو محلول با هم مخلوط شدند و حجم نهایی با آب مقطر به ۱۰۰ میلی لیتر رسانده شد. ۶۰۰ میکرولیتر از استوک بافر، حجم مساوی از ۲/۵ درصد (TBA) و ۶/۵ درصد (TCA) با ۶۰۰ میکرولیتر از محلول حاوی آنزیم مخلوط و ۳۰ دقیقه در حمام آب گرم قرار گرفتند. بلافاصله در حمام ظرف یخ قرار داده شد و سپس ۱۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتیگراد با دور ۱۰۵۰۰ rpm سانتریفیوژ شدند. بعد از سانتریفیوژ جذب محلول رویی ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر قرائت شدند.

پراکسیداسیون لیپیدی برحسب ($\mu\text{M MDA/gr}$) از رابطه

$$\left(\frac{A_{532} - A_{600}}{155 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}} \times 1000 \right) \text{ محاسبه شد.}$$

رسوب‌دهی پروتئین‌ها

حدود ۱ گرم از برگ‌های سبز و تازه به کمک نیتروژن مایع ساییده شد. حدود ۶۰ درصد از نمونه‌ها برای انجام روش تشخیص پروتئین و ۴۰ درصد نیز برای سنجش آنزیمی استفاده شدند. ۵۰۰ میکرومول (نیم میلی لیتر) از بافر مورد نظر (بافر آنزیمی یا بافر تشخیص پروتئینی) روی عصاره برگ‌گی داخل میکروتیوپ اضافه شد و در سانتریفیوژ یخچال‌دار و دمای صفر درجه سانتی‌گراد با دور ۱۴۰۰۰ rpm به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شدند. محلول رویی با دقت برداشته شد و بعد از انتقال به میکروتیوپ‌های دیگر دوباره سانتریفیوژ شد. محلول

سنجش فعالیت کاتالاز

برای سنجش فعالیت کاتالاز از سوبسترای پراکسید هیدروژن ۲۰ میلی مولار، بافر فسفات ۱۰۰ میلی مولار و اتیلن دی آمین تترا استیک اسید (EDTA) ۰/۱ میکرومولار طبق روش (Maehly & Chance, 1954) استفاده شد. بعد از مخلوط کردن مواد لازم، تغییرات جذب نمونه در مقابل بلانک در ۲۴۰ نانومتر اندازه گیری شد.

سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز

برای سنجش فعالیت این آنزیم از روش شرح داده شده با تغییرات مناسب استفاده شد (Alscher *et al.*, 2002). برای این عمل، ۰/۱ میلی لیتر EDTA ۰/۱ میکرومولار، ۰/۲ میلی لیتر میتونین ۱۳ میلی مولار، ۰/۱ میلی لیتر کلرید نیتروترا زولیوم آبی (NBT) ۷۵ میکرومولار و ۰/۲ میلی لیتر ریوفلاوین ۲ میکرومولار مخلوط شدند و با معرف های بافر فسفات ۵۰ میلی مولار (pH=7.8) به حجم نهایی ۳ میلی لیتر رسانیده شدند و در دمای اتاق حدود ۱۲ دقیقه انکوبه شدند. سپس جذب نمونه ها در مقابل بلانک در طول موج ۵۶۰ نانومتر در زمان صفر و فواصل زمانی یک دقیقه ای تا ۱۲ دقیقه اندازه گیری شد.

تعیین فعالیت ویژه آنزیمی

برای تعیین فعالیت ویژه آنزیم ها از فرمول زیر استفاده شد.

$$\text{Specific Activity (unit/mg)} = \frac{\text{Total activity}}{\text{Total protein}}$$

فعالیت کل آنزیم از تفاوت جذب در دقیقه و در طول موج ۵۰۵ نانومتر ($\Delta A_{505}/\text{min}$) و میزان پروتئین کل بر حسب میلی گرم آنزیم در میلی لیتر مخلوط واکنش (mg protein/ml reaction mix) محاسبه شد.

تخلیص پروتئین ضدیخ

برای این عمل از کروماتوگرافی اختصاصی پروتئین ها (fast protein liquid chromatography) استفاده شد. در عمل،

کروماتوگرافی FPLC با استفاده از دو ستون دی اتیل آمینو اتیل (DEAE) و Q-Sepharose به عنوان تبادل کننده های آنیونی و برای الکتروفورز از روش سدیم دودسیل سوافات ژل الکتروفورز، SDS-PAGE ناپیوسته استفاده شد. جهت تخلیص پروتئین، حدود ۲-۱ میلی لیتر از عصاره سلولی استخراج شده از برگ های چای با استفاده از یک سرنگ به دستگاه FPLC تزریق شد و بعد از دادن برنامه مورد نظر به دستگاه، نمونه ها با اعمال برنامه توسط دستگاه در میکروتیوپ ها جمع آوری شدند. در نهایت، برای تأیید خلوص، عمل الکتروفورز به روش (SDS-PAGE) انجام گرفت.

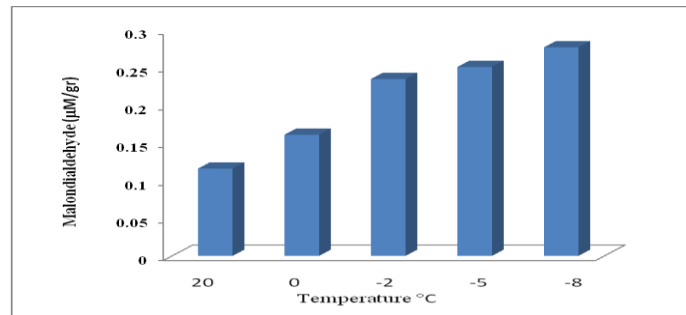
پلی آکریل آمید ژل الکتروفورز

عمل الکتروفورز عمودی با استفاده از ژل بالای ۵ درصد و ژل پایینی ۱۲/۵ درصد و در دستگاه الکتروفورز شرکت پایا پژوهش انجام گرفت. ژل های حاصل با دو روش نترات نقره و کوماسی بریلیانت بلو رنگ آمیزی شدند و از محلول رنگ زدا برای از بین بردن رنگ زمینه ژل استفاده شد.

نتایج

پراکسیداسیون لیپیدی

شکل ۱ تغییرات مقدار مالون دی آلدئید را بر حسب (μM) MDA/gr در دماهای معمولی و تنشی برگ های چای نشان می دهد. به طوری که ملاحظه می شود، این محصول پراکسیداسیون لیپیدی با کاهش دما افزایش یافته است. نتایج بیان می کنند که مقدار پراکسیداسیون لیپیدی تا دمای صفر درجه سانتی گراد کمتر است زیرا تا این دما هر سه آنزیم آنتی اکسیدان فعالیت دارند، اما در دماهای زیر صفر به علت فعال بودن فقط یک آنزیم و عدم فعالیت آنزیم های دیگر میزان LP بالاست. به این ترتیب، بیشترین میزان MDA در ۸- درجه سانتی گراد و در حدود ۰/۲۷۷ میکرومول بر گرم است (شکل ۱).



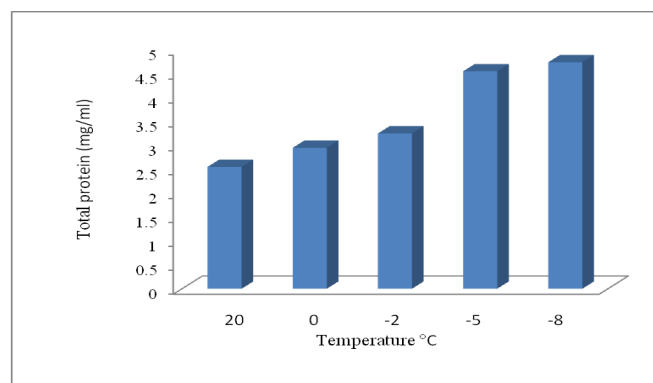
شکل ۱- تغییرات مقدار مالون دی آلدئید در دماهای مختلف. تفاوت معنی‌دار بین مقدار مالون دی آلدئید در دماهای بالای صفر با زیر صفر مشاهده شد.

Fig. 1. Variations in malone dialdehyde at various temperatures. Significant differences were observed between concentrations of MDA at temperatures below and above zero degree of centigrade.

محاسبه فعالیت ویژه همه آنزیم‌های تحت بررسی یکسان در نظر گرفته شدند (شکل ۲).

اندازه‌گیری مقدار کل پروتئین در عصاره برگ چای

شکل ۲ نتایج حاصل از اندازه‌گیری پروتئین کل را نشان می‌دهد؛ به طوری که در این نمودار مشخص است، مقدار کل پروتئین‌های برگ چای برحسب (mg/ml) نیز با کاهش درجه حرارت افزایش نشان داد و بیشترین آن در -۸ درجه سانتی‌گراد و برابر با ۴/۷۵ (mg/ml) بود. گفتمی است که این مقادیر برای



شکل ۲- تغییرات مقدار کل پروتئین‌ها در عصاره برگ‌های چای. تفاوت معنی‌دار بین مقدار پروتئین در دماهای مختلف مشاهده نشد.

Fig. 2. Variations of total protein in tea leaf extracts at various temperatures. No significant difference was observed.

سنجش فعالیت آنزیمی

فعالیت آنزیم‌های سوپراکسیددیسموتاز، آسکوربات پراکسیداز و کاتالاز با توجه به تغییرات جذب و از طریق فرمول زیر محاسبه شد:

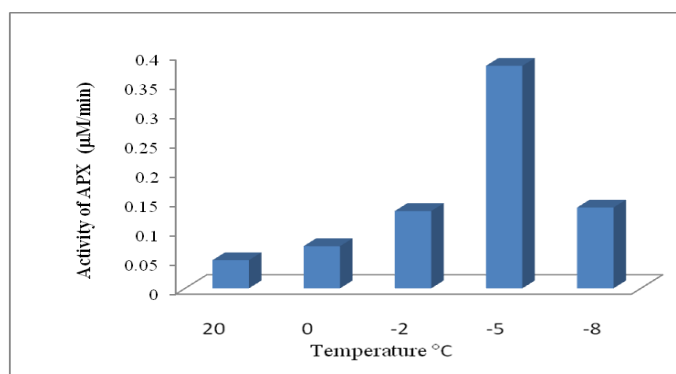
از طرف دیگر، برای بررسی عملکرد آنزیمی گیاه در اثر تنش سرمایی، فعالیت بیولوژیکی و فعالیت ویژه برخی آنزیم‌های مهم آنتی‌اکسیدانت از جمله کاتالاز، سوپراکسیددیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز نیز تحت اثر تیمارهای دمایی (۲۰، صفر، -۲، -۶ و -۸) در عصاره برگ‌های چای اندازه‌گیری و مقایسه شدند (جدول ۱).

آنزیم آسکوربات پراکسیداز

بررسی فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در برگ‌های چای نشان داد که فعالیت این آنزیم با کاهش دما افزایش می‌یابد؛ به طوری که فعالیت تا دمای ۵- درجه سانتی‌گراد به تدریج افزایش پیدا می‌کند و در این دما با ۳۸۰ / میکرومول بر دقیقه بیشترین فعالیت را دارد (شکل ۳).

تفاوت جذب در دقیقه در طول موج ۵۰۵ نانومتر ($\Delta A_{505}/\text{min}$)

از طرفی، مقدار کل پروتئین در محلول استخراج شده برگ‌های چای با توسط روش برادفورد اندازه‌گیری شده بود و مقدار آن با کاهش دما افزایش نشان داد. نتایج به دست آمده برای فعالیت کل نیز همراه با فعالیت ویژه هر سه آنزیم در جدول ۱ آورده شده‌اند.



شکل ۳- فعالیت بیولوژیکی آسکوربات پراکسیداز در عصاره برگ چای در دماهای مختلف. تفاوت معنی‌دار بین فعالیت آنزیم در ۵- درجه سانتی‌گراد با دیگر دماها مشاهده شد.

Fig. 3. Biological activity of Ascorbate peroxidase in tea leaf extracts at different temperatures. A significant difference was observed between -5°C and other temperatures.

جدول ۱- اثر دما بر فعالیت کل و فعالیت ویژه آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز.

Table 1. The effect of temperature on total and specific activity of catalase, superoxide dismutase and Ascorbate peroxidase.

فعالیت ویژه ($\mu\text{mol}/\text{min}/\text{mg}$)	فعالیت ($\mu\text{mol}/\text{min}$)	مقدار کل پروتئین (mg/ml)	دما (C)	آنزیم
۱/۴۱	۳/۶۲	۲/۵۵	۲۰	کاتالاز
۲/۰۹	۶/۱۷	۲/۹۵	۰	
۲/۲۴	۷/۲۸	۳/۲۵	-۲	
۲/۴۷	۱۱/۲۵	۴/۵۵	-۵	
۱/۴۹	۷/۱۱	۴/۷۵	-۸	
۰/۰۱۸	۰/۰۴۸	۲/۵۵	۲۰	آسکوربات پراکسیداز
۰/۰۲۴	۰/۰۷۲	۲/۹۵	۰	
۰/۰۴۰	۰/۱۳۲	۳/۲۵	-۲	
۰/۰۸۳	۰/۳۸۰	۴/۵۵	-۵	
۰/۰۲۱	۰/۱۳۸	۴/۷۴	-۸	
۰/۲۱۵	۰/۵۵	۲/۵۵	۲۰	سوپراکسید دیسموتاز
۰/۴۸۸	۱/۴۴	۲/۹۵	۰	
۰/۵۶۹	۱/۸۵	۳/۲۵	-۲	
۰/۷۰۵	۳/۲۱	۴/۵۵	-۵	
۰/۹۱۷	۴/۳۵	۴/۷۴	-۸	

فعالیت کاتالاز

بررسی نتایج فعالیت کاتالاز نشان داد که فعالیت آنزیم پیش گفته در عصاره برگ چای در دمای ۵- درجه سانتی گراد بیشترین مقدار و برابر با ۱۱/۲۵ میکرومول بر دقیقه است (جدول ۱).

فعالیت سوپراکسید دیسموتاز

آنزیم سوپراکسید دیسموتاز نسبت به دو آنزیم آسکوربات پراکسیداز و کاتالاز که بیشترین فعالیتشان تا ۵- درجه سانتی-گراد بود، فعالیت زیادی از خود نشان داد. بررسی‌ها نشان داد که فعالیت این آنزیم در برگ چای با کاهش دما به تدریج افزایش یافت و در ۸- درجه سانتی گراد بیشترین فعالیت را از خود نشان داد. فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز برگ چای در دمای ۸- درجه سانتی گراد برابر با ۴/۳۵ میکرومول بر دقیقه به دست آمد (جدول ۱).

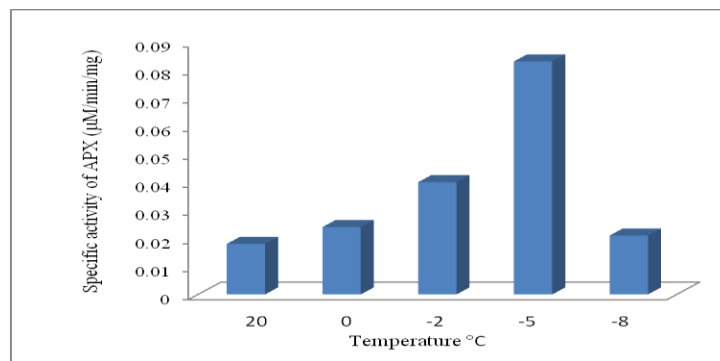
فعالیت ویژه آنزیم‌ها

محاسبه فعالیت ویژه در هر مورد با استفاده از فرمول ذیل و دانستن فعالیت کل آنزیم مورد نظر و نیز مقدار کل پروتئین در عصاره برگ‌های چای انجام گرفت.

$$\text{Specific Activity (unit/mg)} = \frac{\text{Total activity}}{\text{Total protein}}$$

فعالیت ویژه آسکوربات پراکسیداز

نتایج نشان دادند که فعالیت ویژه این آنزیم نیز همانند فعالیت آن با کاهش دما افزایش می‌یابد. فعالیت ویژه این آنزیم در برگ‌های چای با کاهش دما تا دمای ۵- درجه سانتی گراد به تدریج افزایش یافت و در این دما برابر با ۰/۰۸۳ $\mu\text{mol/min/mg}$ را نشان داد (شکل ۴).



شکل ۴- تغییرات فعالیت ویژه آسکوربات پراکسیداز با دما. تفاوت معنی‌دار بین فعالیت آنزیم در ۵- درجه سانتی گراد و دیگر دماها مشاهده شد.

Fig. 4. Variations of specific activity of Ascorbate peroxidase according to temperature. A significant difference was observed between -5°C and other temperatures.

فعالیت ویژه کاتالاز

نتایج سنجش فعالیت ویژه کاتالاز در برگ چای نشان دادند که همانند آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز، با کاهش دما فعالیت ویژه آنزیم افزایش می‌یابد.

براساس نتایج، کاتالاز برگ چای بیشترین فعالیت ویژه را در دمای ۵- درجه سانتی گراد نشان داد که مساوی با ۲/۴۷ $\mu\text{mol/min/mg}$ است (جدول ۱).

فعالیت مخصوص سوپراکسیددیسموتاز

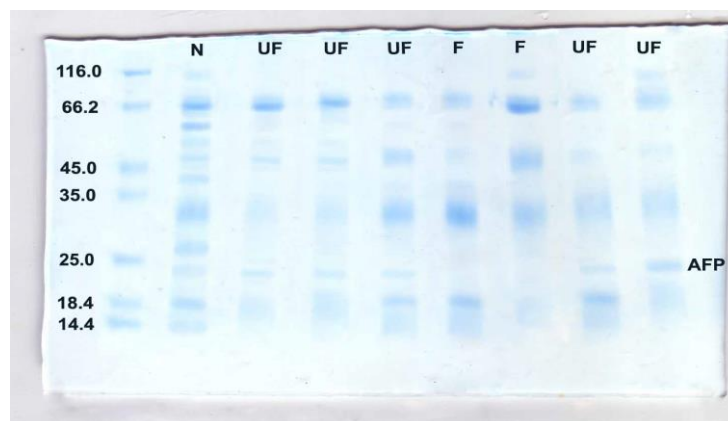
در آزمایش‌های قبلی برای بررسی فعالیت آنزیمی، مشخص شد که سوپراکسیددیسموتاز در برگ‌های چای در مقایسه با دو آنزیم کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز در دمای پایین‌تری (۸- درجه سانتی‌گراد) فعالیت از خود نشان می‌دهد. از طرفی، بررسی نتایج سنجش فعالیت ویژه این آنزیم اثبات‌کننده این واقعیت بود که فعالیت ویژه این آنزیم نیز با کاهش دما به تدریج افزایش می‌یابد و در دمای ۸- درجه سانتی‌گراد به بیشترین مقدار خود می‌رسد. بر اساس نتایج حاصل از این بخش، فعالیت ویژه این آنزیم در برگ‌های چای در دمای ۸- درجه سانتی‌گراد برابر با $0.917 \mu\text{mol}/\text{min}/\text{mg}$ می‌شود (جدول ۱).

پروتئین ضد یخ

علاوه بر سنجش فعالیت آنزیم‌های درگیر در فعالیت ضد یخی و میزان پراکسیداسیون لیپیدی در برگ‌های چای لاهیجان، وجود پروتئین ضد یخ غیر آنزیمی نیز در آنها ردیابی و توجیه شد. نتایج این بررسی نشان داد که بعد از چندین بار تخلیص AFP با استفاده از ستون DEAE کروماتوگرافی FPLC عصاره‌های

تهیه شده از برگ‌های چای، برخلاف بقیه، بعد از قرار گرفتن در فریزر به مدت چندین ساعت و حتی چندین روز یخ نمی‌زنند. برای اطمینان، تعدادی از نمونه‌های یخ‌زده و نرزه را روی ژل الکتروفورز بردیم و بعد از رنگ آمیزی مشخص شد که نمونه‌های مقاوم در مقابل یخ‌زدگی در حدود ۲۴ کیلو دالتون باندی را می‌دهند که این باند در نمونه‌های یخ‌زده مشاهده نمی‌شود.

ژل الکتروفورز مربوط به عصاره برگ‌های چای رنگ آمیزی شده توسط دو روش نترات نقره و کوماسی بلو رنگ آمیزی شد. شکل ۵، ستون ۲ (تزدیک مارکر) مربوط به عصاره برگ چای قبل از FPLC است. هم‌چنان که ملاحظه می‌شود، این ستون وجود تعدادی پروتئین را نشان می‌دهد که به دلیل عدم تخلیص حاوی تعداد باندهای زیادی است. ستون‌های ۳ تا ۹ مربوط به عصاره‌های برگ‌های چای بعد از FPLC است. ستون‌های ۳، ۴، ۵، ۸ و ۹ مربوط به نمونه‌های یخ‌زده و ستون‌های ۶ و ۷ نیز مربوط به نمونه‌های یخ‌زده هستند. در این شکل نشان داده شده است که نمونه‌های یخ‌زده تقریباً در ناحیه ۲۴ کیلو دالتون دارای باندهای هستند که این باند در نمونه‌های یخ‌زده دیده نمی‌شود.



شکل ۵- ژل پلی‌اکریل‌آمید عصاره برگ‌های چای رنگ‌آمیزی شده با کوماسی بریلیانت بلو با استفاده از ستون دی‌اتیل‌آمینواتیل FPLC (F= Frozen, UF= Unfrozen).

Fig. 5. Polyacrylamide gel stained with comass brilliant blue using diethyl amino ethyl column in FPLC (F= Frozen, UF= Unfrozen).

در طی یخبندان‌های طبیعی، برگ‌های گیاهان همیشه‌سبز مانند مرکبات یا چای در رده مقاوم به سرما طبقه‌بندی می‌شود. طی بررسی‌هایی که در مطالعات دیگران انجام دادیم مدارکی دال بر مقاومت سرمایی در گیاه چای ملاحظه نشد. به نظر می‌رسد که تحقیق حاضر اولین مورد در باب مقاومت سرمایی این گیاه و ایجاد پروتئین ضدیخ باشد که سازوکار آن به تحقیقات بیشتر در آینده نیاز دارد. درهرحال، گزارش شده است که برخی گیاهان با برگ‌های سبز زمستانی مانند اکثر گونه‌های مرکبات در دمای ۱۰- درجه سانتی‌گراد پدیده فراسردشدن را از خود نشان می‌دهند (Yelenosky & Guy, 1982).

از آنجایی که گیاهان دارای مکان ثابت هستند، چنانچه تحمل تنش‌های محیطی مثل شوری، خشکی، سرمازدگی، یخ‌زدگی در آنها وجود نداشته باشند، خیلی زود از بین می‌روند. اگرچه ممکن است ماهیت فیزیکی و فیزیولوژیکی این تنش‌ها با هم متفاوت باشد، می‌توان گفت تقریباً همه سازوکارهای مقاومت در مقابل تنش یک رشته واکنش‌های مشابه در گیاه را موجب می‌شوند که ناشی از تحریک بعضی ژن‌های گیاهی است. به عبارت دیگر، یک سلسله علائم بیولوژیکی پیچیده در سازگاری گیاه به این شرایط محیطی نامساعد وجود دارد (Lang et al., 2005).

در تحقیقات مشابه با تحقیق حاضر بیان شده است که اغلب گیاهان، به‌خصوص گونه‌های مقاوم، برای حفاظت سلول‌ها و بافت‌های خود از استرس‌های اکسیداتیو متابولیت‌های ثانویه متعددی تولید می‌کنند. برای مثال، در تأیید نتایج ما، ترکیبات ایجاد شده در اثر تنش‌های سرمایی شامل قندها، آمینواسیدها، پروتئین‌های ضدیخ، مواد آنتی‌اکسیدانت مثل آسکوربات، گلوکاتینون، β -کاروتن، α -توکوفرول و آنزیم‌های آنتی-اکسیدانت از جمله سوپراکسیددیسموتاز (SOD)، کاتالاز (CAT)، آسکوربات پراکسیداز (APX)، گایاکول پراکسیداز، گلوکاتینون ردوکتاز (GR) و پلی‌فنل اکسیداز (PPO) گزارش شده‌اند (Gilmour & Thomashow, 1991). بررسی برخی از این ترکیبات در تحقیق ما نشان دادند که فعالیت آنزیم‌های

عمل تخلیص پروتئین AFP از طریق کروماتوگرافی FPLC، علاوه بر ستون DEAE، با ستون Q-Sepharose نیز انجام گرفت. در این مرحله برای بررسی و اطمینان بیشتر فقط نمونه‌های یخ‌زده مربوط به عصاره‌های تخلیص شده با Sepharose Q- روی ژل الکتروفورز برده شد. نتایج نشان دادند که در ژل الکتروفورز مربوط به نمونه‌های یخ‌زده عصاره برگ چای همه ستون‌ها در ناحیه مشابه یعنی حدود ۲۳-۲۴ کیلودالتون باند مشخص دارند که تأیید کننده وجود پروتئین خاص ضدیخ در آنهاست که در نمونه‌های یخ‌زده نشان دیده نمی‌شود.

بحث

بدیهی است که مقاومت گیاه چای جهت سالم ماندن در دماهای پایین تا حد گیاهان منطقه معتدل، که برخی قادر به تحمل دمای تا ۴۰- درجه سانتی‌گراد یا پایین‌تر نیز هستند، نمی‌رسد (Almeida et al., 1999). درهرحال، فراوانی وجود چای در شمال کشور و دوام چندین ساله آن در موقعیت‌های مختلف آب و هوایی توانایی آنها را برای بقا در مقابل استرس‌های مختلف و از جمله یخبندان تأیید می‌کند. اغلب صدمه‌های ناشی از یخبندان به گیاهان، در اثر تشکیل یخ در دماهای پایین است. بلورهای یخ در گیاهان از فضای آپوپلاستی شروع می‌شود، چون غلظت پایین تری از مواد محلول دارد. تشکیل یخ در آپوپلاست یک شیب فشار بخار را بین آپوپلاست و سلول‌های اطراف ایجاد می‌کند. آب سیتوپلاسمی منجمد نشده به طرف شیب پایین از سیتوزول به آپوپلاست حرکت می‌کند که به بزرگ شدن کریستال‌های یخ موجود منجر می‌شود و سبب فشار مکانیکی روی دیواره سلولی و غشای سیتوپلاسمی و گسیختگی سلول می‌شود (Yelenosky, 1985).

ایجاد دمای ویژه که در اثر تغییر ناگهانی آب و هوا پیش می‌آید، مانند کاهش دما تا حد فوق سرد موجب می‌شود که گیاهان بسیار حساس و آسیب‌پذیر شوند. معمولاً تکثیر و پرورش ارقام مقاوم به سرمای گیاهان از طریق روش‌های اصلاحی یا دستکاری ژنتیکی امکان محافظت طولانی مدت را در مقابل سرما فراهم می‌کند. براساس مشاهدات علمی و عملی

فعالیت APX تا دمای ۵- درجه سانتی گراد افزایش یافت. به این ترتیب، نقش SOD برای تحمل دماهای پایین و یخ‌زدگی در برگ‌های چای لاهیجان بیش از دو آنزیم دیگر است؛ به طوری- که قبلاً ذکر شد، تحقیق مشابهی در باب گیاه چای وجود نداشت و بنابراین، نتایج کار ما در اثر استرس سرمایی از طریق مقایسه با گیاهان دیگر، به خصوص مرکبات، انجام شد.

نتایج تحقیق در باب مرکبات نشان داده‌اند که فعالیت آنزیم‌های APX, GR و CAT تنها در ارقام مقاوم این دسته گیاهان افزایش نشان می‌دهند (Gilmour & Thomashow, 1991). این نتایج در باب آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت برخی مرکبات می‌تواند تأییدکننده نتایج تحقیق ما در باره گیاه چای باشد. در یک بررسی دیگر مشخص شد که سطح فعالیت آنزیم کاتالاز در گونه‌های مقاوم برخی مرکبات مانند نارنج و گریپ فروت در اثر اعمال دماهای زیر صفر افزایش می‌یابد (Sala & Lafuente, 1999). طبق نتایج به دست آمده در مطالعه، گونه‌های مقاوم نارنج، نارنگی و نسبتاً مقاوم گریپ فروت در معرض دماهای پایین با افزایش فعالیت ویژه آنزیمی PPO عملاً مقاومت بیشتری در برابر استرس یخ‌زدگی از خود نشان دادند. این یافته نیز با نتایج تحقیق ما هم‌خوانی دارد و می‌تواند توجیه‌کننده مقاومت بالای برگ‌های چای به استرس سرمایی باشد.

بررسی‌های نظری ما بیان‌کننده این بودند که اغلب مطالعات انجام‌شده در زمینه استرس سرمایی راجع به مرکبات مختلف انجام شده است. این پژوهش گسترده اینترنتی و کتابخانه‌ای ما را بر آن داشت که استرس سرمایی را در مرکبات شمال کشور در تحقیق‌های آینده در نظر قرار دهیم. در هر حال، برای بحث در یافته‌های برگ چای توانستیم از نتایج آنها توجیه مقبول و مفیدی داشته باشیم. به عنوان مثال، El-hilali و همکاران (2003) گزارش کردند که میزان فعالیت آنزیم PPO میوه‌های نارنگی فورچون، تحت استرس سرمایی افزایش یافت که ارتباط حساسیت به سرمازدگی بافت و انگیزش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی را تأیید می‌کند. حساس یا مقاوم بودن میوه‌های نارنگی فورچون به استرس سرمایی، احتمالاً به فعالیت آنزیم

SOD، CAT و APX در برگ‌های چای در تیمارهای دمایی پایین تغییرات درخور توجهی داشتند. از طرفی، نتایج پژوهش حاضر تأییدکننده این واقعیت است که آسیب ناشی از استرس سرمایی موجب تخریب ساختمان بسیاری از لیپیدهای غشایی شد و نتیجه این تخریب با افزایش مقدار محصول شیمیایی اکسیداسیون لیپیدها یعنی مالون دی‌آلدئید به تأیید رسید.

به این ترتیب می‌توان گفت که توانایی گیاه هنگام هر نوع استرس برای پراکنده‌ساختن انرژی اضافی و خنثی کردن رادیکال‌های آزاد دچار اختلال می‌شود و جهت افزایش مقاومت و تحمل این گونه استرس‌ها ظرفیت آنتی‌اکسیدانتی خود را به سرعت افزایش می‌دهند.

کاتالاز (CAT)، پراکسیدازها (POX) و سوپر اکسید دیسموتاز (SOD) از دسته اکسیدوردکننده‌ها هستند که با سازوکارهای مشابه رادیکال‌های آزاد ناشی از سرمازدگی را مهار می‌کنند. در تحقیقات مشابه پژوهش ما در باب چای، برای گیاهان دیگر مانند یونجه ترانس ژنیک گزارش شده است که بیان cDNA آنزیم Mn-SOD افزایش نشان داده و موجب افزایش تحمل یخ‌زدگی در مراحل اولیه تنش شده است (McKersie *et al.*, 1993). نتایج مطالعه پیش گفته بیان می‌کند که گیاه تحت تأثیر بیان ترانس ژن Mn-SOD، می‌تواند بعد از استرس یخ‌زدگی تا دمای ۱۰- درجه سانتی گراد رشد کند، ولی بعد از ۱۶- درجه دیگر قادر به رشد نیست. این پدیده نشان می‌دهد که تا ۱۰- درجه سانتی گراد به دلیل بالا بودن سطح SOD، مقدار اکسیژن فعال و سوپر اکسید پایین است. در نتیجه، گیاه قادر به رشد است ولی در ۱۶- درجه به علت پایین بودن سطح SOD، سطح اکسیژن فعال بالاست و در نتیجه احتمال آسیب افزایش می‌یابد. می‌توان نتیجه گرفت که افزایش فعالیت (SOD) در تحقیق حاضر از طریق نظریه پیش گفته توجیه مناسبی خواهد داشت.

نتایج پژوهش حاضر نشان دادند که فعالیت آنزیم‌های SOD، CAT و APX با کاهش دما در برگ‌های چای لاهیجان افزایش می‌یابد. فعالیت CAT تا دمای ۵- درجه سانتی گراد و SOD تا دمای ۸- درجه سانتی گراد افزایش یافت. در حالی که

در فرآیند ذوب - انجماد فعالیت خود را از سر بگیرد. این نتایج بیان‌کننده آن هستند که آنزیم CAT یکی از فاکتورهای مهم در جوانه‌زنی دانه‌های برنج است (Saruyama & Tanida, 1995).

در پژوهشی دیگر درباب برگ‌های گیاه جو، که یک دوره دمای زیر صفر را گذرانده بودند، دو آنزیم کاتالاز و سوپر اکسید دیسموتاز در اثر استرس یخ‌زدگی افزایش یافتند (Olien & Clark, 1995). این تحقیق نیز در تأیید یافته‌های ما بود و نتایج آن در زمینه افزایش فعالیت آنزیم‌های مذکور در استرس سرمایی هم‌خوانی دارند. در واقع افزایش فعالیت CAT و SOD و حضور ایزوفرم‌های این آنزیم‌ها در فضاهای بین سلولی در برگ جو از مهم‌ترین سازوکارهای افزایش تحمل یخ‌زدگی در این گیاه است.

در نهایت می‌توان اضافه کرد که علاوه بر گیاه چای در این تحقیق، از جمله گیاهانی که در آن‌ها AFPها هنگام قرار گرفتن در دماهای سرد تولید می‌شود، می‌توان به گندم زمستانی، انواع جو، کلم، هویج، چاودار و از گیاهان درختی هلو، سپیدار و مرکبات اشاره کرد (Griffith et al., 1997).

نتیجه‌گیری نهایی

چای گیاهی مقاوم و همیشه‌سبز است که در نواحی شمالی کشور ارزش اقتصادی زیادی دارد. این گیاه که درختچه چندین ساله است می‌تواند تنش‌های مختلف را تحمل کند و با فعال-کردن ویژگی‌های مختلف عمر و کیفیت ماندگار داشته باشد. نتایج تحقیق ما نشان دادند که ایجاد پروتئین ضد یخ در برگ‌های این گیاه یکی از بارزترین روش‌های مبارزه با استرس سرمایی است. وجود این پروتئین که وزن مولکولی حدود ۲۲ کیلودالتون دارد با بررسی‌های الکتروفورزی به اثبات رسید، ولی برای دریافتن چگونگی ساختمان آن و سازوکار تشکیل آن بررسی‌های گسترده‌تر نیاز است که آن را در ادامه برنامه‌های پژوهشی خود قرار داده‌ایم. از طرفی، سازوکارهای آنزیمی و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت نیز می‌تواند تا حد زیادی خطرها و آسیب‌های ناشی از کاهش دما را مرتفع کند.

CAT و متابولیسیم پراکسید هیدروژن بستگی دارد. این نتایج نیز تأیید‌کننده کارهای تحقیقاتی ما در باب مقاومت سرمایی برگ‌های چای است. پژوهشگران مزبور بیان کردند که در میوه‌های نارنگی فورچون که استرس سرمایی دیده بودند فعالیت آنزیم CAT افزایش یافت، در صورتی که در میوه‌هایی که تحت تأثیر ترکیب آمینو تریازول (3-amino-1,2,4-triazole: AT) (مهارکننده کاتالاز در حضور پراکسید هیدروژن) قرار گرفته بودند، فعالیت CAT کاهش نشان داد (Sala & Lafuente, 1999). علاوه بر مرکبات، در دیگر گیاهان نیز افزایش سطح آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت و حتی لیاها یکی از سازوکارهای دفاعی گیاه برای مقابله با استرس دمای پایین و یخ‌زدگی است. Nguyen و همکاران (2003) گزارش کردند که استرس دمای پایین در نهال‌های موز به افزایش سطح فعالیت آنزیمی فیل-آلانی آمونیا لایز و PPO منجر شد. فعالیت آنزیم‌های CAT، APX، POX و PPO در گیاهان زیتون تحت استرس خشکی در برگ و ریشه افزایش نشان داد که با نتایج تحقیق حاضر در باب برگ‌های چای لاهیجان هم‌خوانی دارد (Corpas et al., 2006). در یک پژوهش مشخص شد که در گندم متحمل سرما به علت حضور پروتئین‌های شوک حرارتی (Heat Shock Proteins: HSPs) توانایی سرم‌زدگی افزایش یافت (Danyluk et al., 1991). در تضاد با نتایج ما، که افزایش فعالیت سوپراکسید دیسموتاز در استرس‌های سرمایی را گزارش کرد، نشان داده شده است که فعالیت SOD در برگ گوجه-فرنگی در اثر استرس دمایی و در تاریکی کاهش می‌یابد (Sabehat et al., 1996). از طرفی و در تأیید نتایج تحقیق حاضر، Clare و همکاران (1984) نشان دادند که در گیاه مقاوم به سرما *Chlorella Ellipsoidea*، مقدار SOD در استرس سرمایی بالا می‌رود. در مطالعه‌ای که رد باب برنج صورت گرفت، مشخص شد که فعالیت آنزیم CAT در رویان و ریشه برنج که تحت استرس سرمایی قرار گرفتند، افزایش می‌یابد، در حالی که در برگ‌ها فعالیت آن کاهش نشان می‌دهد. آنها دریافتند که در گیاهان مقاوم، در صورتی که مدت سرما طولانی باشد، آسیب‌های ناشی از سرما زیاد می‌شود ولی CAT می‌تواند

تحقیق ما افزایش مقدار مالون دی‌آلدئید را در تنش‌های سرمایی نشان داد که تأیید کننده شروع آسیب اکسیداتیو می‌باشد.

در تحقیق حاضر نشان داده شد که ۳ آنزیم مهم آنتی‌اکسیدانتی، کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز در اثر کاهش دما فعالیت خود را با هدف خنثی کردن و به حداقل رسانیدن آسیب‌های اکسیداتیو افزایش می‌دهند. از طرفی، نتایج

References

- Almeida, A.S., Cavieres, L.A. and Bravo, L.A.** 1999. Freezing resistance of high-elevation plant species is not related to their height or growth-form in the central Chilean Andes. – *Environmental and Experimental Botany* 69: 273-278.
- Alscher, R.G., Erturk, N. and Heath, L.S.** 2002. Role of superoxide dismutases (SODs) in controlling oxidative stress in plants. – *Journal of Experimental Botany* 53: 1331-1341.
- Bradford, M.M.** 1976. Rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. – *Anal. Biochem.* 72: 248-254.
- Bunkelmann, J.R. and Trelease, R.N.** 1996. Ascorbate peroxidase. A prominent membrane protein in oilseed glyoxysomes. – *Plant Physiol.* 110: 589-598.
- Burke, M.J., Gusta, L.V., Quamme, H.A., Weiser, C.J. and Li, P.H.** 1976. Freezing and injury in plants. – *Annual Reviews in Plant Physiology* 27:507-528.
- Cattivelli, L.** 2011. More cold tolerant plants for warmer world. – *Plant Science* 180: 1-2.
- Clare, D.A., Rabinowitch, H.D. and Fridovich, I.** 1984. Superoxide dismutase and chilling injury in *Chlorella ellipsoides*. – *Arch. Biochem. Biophys.* 231:158-163.
- Corpas, F.J., Corpas, F.J., Fernández-Ocaña, A., Carreras, A., Valderrama, R., Luque, F., Esteban, F.J., Rodríguez-Serrano, M., Chaki, M., Pedrajas, J.R., Sandalio, L.M., del Río, L.A. and Barroso, J.B.** 2006. The expression of different superoxide dismutase forms is cell-type dependent in olive (*Olea europaea* L.) leaves. – *Plant Cell Physio.* 47: 984-997.
- Danyluk, J., Rassart E. and Sarhan, F.** 1991. Gene expression during cold and heat shock in wheat. – *Biochem. Cell Biol.* 69: 383-391.
- El-hilali, F., Ati-oubahou, A., Remah, A. and Akhayat, O.** 2003. Chilling injury and peroxidase activity changes in fortune mandarine fruit during low temperature storage. – *BULG. J Plant Physiol.* 29: 44-54.
- García-Varela, S. and Fermín, R.** 2003. Freezing avoidance mechanisms in juveniles of giant rosette plants of the genus *Espeletia*. – *Acta Oecologica* 24: 165-167.
- George, M.F. and Burke, M.J.** 1984. Super cooling of tissue water to extreme low temperature in overwintering plants. – *Trends in Biochemical Sciences* 9: 211-214.
- Gilmour, S.J. and Thomashow, M.F.** 1991. Cold acclimation and cold-regulated gene expression in ABA mutants of *Arabidopsis thaliana*. – *Plant Mol. Biol.* 17: 1233-1240.
- Graham, H.N.** 1992. Green tea composition, consumption, and poly-phenol chemistry. – *Preventive Medicine* 21: 334-350.
- Griffith, M., Antikainen, M., Hon, W.C., Pihakaski-Maunsbach, K., Yu, X.M., Chun, J.U. and Yang, D.S.C.** 1997. Antifreeze proteins in winter rye. – *Physiologia Plantarum* 100: 327-332.
- Lang, P.C.K., Zhang, R.C., Ebel Dane, F. and Dozier, W.A.** 2005. Identification of cold acclimated genes in leaves of *Citrus unshiu*. by mRNA differential display. – *Gene* 359: 111-118.
- Liu, S.C., Lin, J.T., Wang, C.K., Chen, H.Y. and Yang, D.J.** 2009. Antioxidant properties of various solvent extracts from lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) flowers. – *Food Chem.* 114: 577-581.
- Lynch, D.V. and Steponkus, P.L.** 1987. Plasma membrane lipid alterations associated with cold acclimation of winter rye seedlings (*Secale cereale* L. cv. Puma). – *Plant Physiol.* 83: 761-767.
- Maehly, A.C. and Chance, B.** 1954. The assay of catalases and peroxidases. – *Methods of Biochemical Analysis* 1: 357-424.
- McKersie, B.D.M., Chen, Y., de Beus, M., Bowley, S.R., Bowler, C., Inzé, D., D'Halluin, K. and Botterman, J.** 1993. Superoxide dismutase enhances tolerance of freezing stress in transgenic alfalfa (*Medicago sativa* L.). – *Plant Physiol.* 103: 1155-1163.
- Nguyen, T.B.T., Ketsa, S. and Doorn, W.G.V.** 2003. Relationship between and the activities of polyphenol oxidase and phenylalanine ammonia-lyase in banana

peel during low temperature storage. – *Postharvest Biology and Technology* 30:187-193.

Olien, C.R. and Clark, J.L. 1995. Freeze-induced changes in carbohydrates associated with hardiness of barley and rye. – *Crop Sci.* 35:496-502.

Prasad, T.K. 1997. Role of catalase in inducing chilling tolerance in pre-emergent maize seedlings. – *Plant Physiol.* 114:1369-1376.

Sabehat, A., Weiss, D. and Lurie, S. 1996. The correlation between heat-shock protein accumulation and persistence and chilling tolerance in tomato fruit. – *Plant Physiol.* 110: 531-537.

Sala, J.M. and Lafuente, M.T. 1999. Catalase in the heat-induced chilling tolerance of cold-stored hybrid

Fortune mandarin fruits. – *J. Agric Food Chem.* 47: 2410-2414.

Saruyama, H. and Tanida, M. 1995. Effect of chilling on activated oxygen-scavenging enzymes in low temperature-sensitive and tolerant cultivars of rice (*Oryza sativa* L.). – *Plant Sci.* 109: 105-113.

Yelenosky, G. 1985. Cold hardiness in citrus. In: Janick, G. (ed). *Horticultural Review*. – Timber Press. pp: 201-238.

Yelenosky, G. and Guy, C.L. 1982. Seasonal variations in physiological factors implicated in cold hardiness of citrus trees. – Academic Press New York. pp: 561-573.

Sariri, R., Raeofi Masooleh, A. and Bakhshi Khaniki, G.R. 2016. The effect of cold temperature on oxidative damage and activity of oxidative enzymes in tea leaves from northern Iran. – *Nova Biologica Reperta* 2: 298-311.

سریری، ر.، رئوفی ماسوله، ع. و بخشی خانیکی، غ. ر. ۱۳۹۴. اثر سرما روی تخریب اکسیداتیو و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در برگ چای شمال ایران. – یافته‌های نوین در علوم زیستی ۲: ۳۱۱-۲۹۸.