مجله علوم و فنون باغبانی ایران جلد ۲۱ شماره ۳ صفحه‌های ۲۸۹ تا ۲۹۸ (۱۳۹۹)
مقاله پژوهشی

مقایسه توانایی بازیابی ویژگی‌های فیزیولوژیک فلفل تند و فلفل دلمه‌ای پس از تنش دمای بالا[1]

Comparing the Ability to Recover Physiological Traits of Hot Pepper and Sweet Pepper Following High Temperature Stress

محمد معتمدی و مریم حقیقی*[2]

چکیده

توان بازیابی و جبران اثرهای تنش در گیاهان مختلف متفاوت است و براین اساس گیاهان متحمل‌تر توان بازیابی سریع‌تر و بهتری پس از دوران تنش دارند. این پژوهش جهت بررسی توان بازیابی دو گونه فلفل (تند و دلمه‌ای) زیر تنش دمای بالا (°C ۴۰) به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح به‌طورکامل تصادفی در شرایط گلخانه‌ای در دو مرحله رشد (رویشی و زایشی) با سه تکرار انجام شد. با افزایش دما پرولین، مالون‌دی‌آلدهید، آنتی‌اکسیدان، فنول، نشت یونی و پراکسیدهیدروژن در هر دو مرحله رویشی و زایشی نسبت به دمای بهینه در فلفل دلمه‌ای و تند افزایش یافت. میزان پرولین و فنول در مرحله زایشی کمتر از رویشی بود. بیشترین میزان پرولین، آنتی‌اکسیدان و فنول در فلفل دلمه‌ای و بیشترین میزان مالون‌دی‌آلدهید، پراکسیدهیدروژن و نشت یونی در فلفل تند در دمای بالا دیده شد. مقایسه ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در هر دو مرحله رشدی نشان داد مرحله رشد رویشی نسبت به دمای بالا تحمل بیشتری دارد و ویژگی‌های مثبت شامل میزان آنتی‌اکسیدان، فنول و پرولین در زمان بازیابی در حد بالاتری باقی ماندند. فلفل دلمه‌ای نسبت به فلفل تند از راه کاهش تخریب غشاء و بالا ماندن میزان آنتی‌اکسیدان، فنول و پرولین اثرهای مخرب تنش کوتاه‌مدت گرما را جبران کرد.

واژه‌های کلیدی: آنتی‌اکسیدان، تنش گرمایی، پراکسیدهیدروژن، مرحله رشد.

مقدمه

یکی از مهم‌ترین تنش‌های نازیوا دمای بالا است. تنش گرما باعث تأخیر شدید در رشد و نمو می‌شود و در نهایت می‌تواند به مرگ گیاه منجر شود. تأثیر دما بر میزان تولید محصول و القای ریزش گل می‌تواند از راه تأثیر بر تعادل هورمون‌های گیاهی و تأثیر بر اندام‌های زایشی نر یا ماده و یا تأثیر بر میزان و شیوه توزیع ماده‌های فتوسنتزی در گیاه باشد (۲، ۳). هم‌چنین دمای بالا یکی از عوامل محدودکننده تولید محصول بوده، باعث تحریک ریزش غنچه، گل و میوه و درنهایت، موجب کاهش میزان تولید دانه و میوه می‌گردد (۱۱). به جهت محدود کردن خسارت‌های تنش، در گیاهان یک سری سیستم‌های سم‌زدایی وجود دارد که باعث از بین رفتن گونه‌های واکنش‌پذیر اکسیژن می‌شود (۳). گیاهان برای مقابله با تنش گرما سازوکارهای مختلفی از جمله حفظ ثبات غشا و فرایندهای غشایی، مهار رادیکال‌های آزاد اکسیژن (ROS)[3] و تولید آنتی‌اکسیدان‌ها، انباشت و تنظیم نمک‌های سازگار به کار می‌برند (۱۰). هم‌چنین انباشت پرولین یکی دیگر از پاسخ‌های بارز گیاهان عالی و باکتری‌ها به تنش‌های محیطی از جمله تنش دمایی می‌باشد (۱۲).

۱- تاریخ دریافت: ۹۷/۱۰/۱۷ تاریخ پذیرش: ۹۹/۳/۱۷

۲- به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیار گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.
* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: (mhaghighi@cc.iut.ac.ir).

۳- Reactive Oxygen Species

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-07-12]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1399.21.3.3.1]

فلفل دلمه‌ای محصول فصل گرم می‌باشد و دمای به‌نسبت زیاد را می‌پسندد. میوه فلفل شیرین منبع غنی برای تامین ویتامین‌های ضروری و ماده‌های معدنی می‌با شد. از سوی دیگر میوه فلفل حاوی مقادیر بالایی از آنتی‌اک سیدان‌ها و ماده‌های مفید مانند ویتامین C، کاروتنوئید و ترکیب‌های فنولی می‌با شد. این محصول هم‌چنین حاوی غلظت بالایی از پتا سیم می‌با شد (۴). برای رشد گیاهان فلفل دمای ۲۱ تا ۲۷ درجه سلسیوس در روز و ۱۶ تا ۱۸ درجه سلسیوس در شب مناسب است. دمای بیشتر از ۳۲ در روز و کمتر از ۱۰ تا ۱۵ درجه سلسیوس در شب باعث کاهش شدید تشکیل میوه، ریزش گل و ایجاد دانه‌های گرده عقیم می‌شود (۹). همان‌طور که تحمل گیاه در برابر تنش گرما اهمیت دارد، پالایندگی عوامل آسیب‌رسان و افزایش میزان ماده‌های ایجادکننده تحمل نیز پس از تنش برای بازیابی و بازسازی گیاه از اهمیت برخوردار است. گیاه باید بتواند در کوتاه‌ترین زمان خود را بازسازی کند.

با توجه به اینکه گیاهان توانایی متفاوتی در بازیابی ویژگی‌های فیزیولوژیک و ریخت‌شناسی حاصل از تنش کوتاه‌مدت دارند، هدف این آزمایش بررسی توانایی بازیابی دو گونه فلفل تند و دلمه‌ای مواجه شده با تنش کوتاه‌مدت دمای بالا می‌باشد. از طرفی با توجه به اینکه فیزیولوژی گیاه در مرحله رویشی و زایشی با هم متفاوت است، این آزمایش در هر دو مرحله در گیاهان گفته شده صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

روش آماده‌سازی ماده‌های آزمایشی و اعمال تیمار

این آزمایش به‌صورت آزمایش تجزیه مرکب در قالب طرح به‌طورکامل تصادفی با تیمارهای دو گونه فلفل، فلفل تند رقم لورکا (*Capsicum annum* cv. Lorca) (C1)، فلفل دلمه‌ای قرمز رقم ویکونا (*Capsicum frutescens* cv. Vicona) (C2)، دمای ۲۵ درجه سلسیوس (T1) به‌عنوان شاهد و ۴۰ درجه سلسیوس به‌عنوان دمای تنش بالای (T2) کوتاه‌مدت برای ۶ ساعت و در دو مرحله رشد رویشی (S1) و زایشی (S2) انجام شد. به‌منظور انجام آزمایش نشاهای فلفل دلمه‌ای و تند تهیه و پس از آماده‌سازی درون گلدان‌های با بستر پرلایت و کوکوپیت به نسبت ۱:۱ کاشته و با کود کامل ماکرو و میکرو در زمان‌های م شخص محلول‌دهی شدند. جهت اعمال تیمار تنش به اتاقک ر شد با دماهای ذکر شده منتقل شدند و بعد از پایان مدت‌زمان موردنظر گیاهان از اتاقک ر شد خارج و در دمای ۲۵ درجه سل سیوس دوره بازیابی به مدت ۲۴ ساعت را گذرانده و برای انجام آزمایش‌ها نمونه‌برداری شدند. اعمال تیمار گرمایی در مرحله رویشی پیش از پیدایش اولین جوانه گل و در مرحله زایشی در زمان باز شدن اولین گل ۵۰ ٪ گیاهان انجام شد. در پایان فاکتورهای شاخص کلروفیل، کلروفیل فلورسانس، نشت یونی، میزان پرولین، میزان فنول برگ، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، میزان اکسیداتیو چربی و پراکسیدهیدروژن اندازه‌گیری شدند.

شاخص‌های اندازه‌گیری شده

در پایان دوره آزمایش، شاخص سبزینگی برگ با استفاده از دستگاه کلروفیل‌سنج مدل (CLO1، شرکت Hansateach Instruments LTD، انگلستان) از جوان‌ترین برگ توسعه‌یافته اندازه‌گیری شد. کارایی فتوشیمیایی سیستم نوری II (Fv/Fm)، با استفاده از دستگاه آنالیز کارایی گیاه (Plant Efficiency Analyzer) (ساخت شرکت ELE International کشور انگلستان) و در ساعت ۱۰ تا ۱۳ اندازه‌گیری گردید. میزان نشت یونی بر اساس روش Lu و همکاران (۸)، میزان پرولین بر اساس روش Bates و همکاران (۱) و میزان فنول برگ به شیوه فولین سو-کالتو اندازه‌گیری و محاسبه شد. اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه به شیوه DPPH[۱] انجام شد. عصاره گیاهی در طول‌موج ۵۱۷ نانومتر خوانده و سپس فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌ها به‌صورت درصد بازدارندگی DPPH محاسبه گردید (۱۹). جهت تعیین میزان اکسیداتیو چربی (MDA) ۰/۲ گرم نمونه برگ با ۳ میلی‌لیتر تری‌کلرو استیک‌اسید (TCA) ۰/۱ درصد هموژن و سانتریفیوژ شد. در پایان از فرمول زیر برای محاسبه MDA بر حسب میکرومول بر کیلوگرم وزن تر استفاده شد (۵).

$$MDA= 6/45\ (A_{532}-A_{600}) - 0/56\times A_{450}$$

به‌منظور اندازه‌گیری میزان پراکسیدهیدروژن ۰/۲ گرم نمونه برگ با محلول TCA ۰/۱ درصد در شرایط سرد همگن و سانتریفیوژ و محلول رویی به‌عنوان عصاره استفاده شد. محلول حاصل به مدت یک ساعت در تاریکی قرار گرفت و سپس میزان

۱- 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-07-12]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1399.21.3.3.1]

جذب در طول‌موج ۳۹۰ نانومتر خوانده و منحنی استاندارد آن رسم گردید (۱۵). آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹,۲و مقایسه میانگین تیمارها توسط آزمون کمینه تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح ۵ درصد انجام شد.

نتایج

میزان مالون دی آلدهید و پراکسید هیدروژن به‌طور مشابه در دو مرحله رویشی بیش از زایشی و در فلفل تند در مرحله رویشی بیش از فلفل دلمه‌ای بود و در مرحله زایشی بین دو گونه تفاوتی دیده نشد (شکل۱- الف و ب). میزان پرولین در هر دو دما (به ترتیب ۶۸/۳۲ و ۸۹/۸۲٪) بیشتر از فلفل تند و در دو مرحله رشد تفاوت معنی‌داری نداشت. درحالی‌که در این پژوهش میزان پرولین در فلفل دلمه‌ای در مرحله رویشی بیشتر از فلفل تند بود و میزان فنول در مرحله زایشی بیشتر از مرحله رویشی بود. در مرحله زایشی کمتر از رویشی و در فلفل دلمه‌ای در مرحله رویشی کمتر از فلفل تند بود (شکل۳ - الف و ب). میزان آنتی‌اکسیدان در مرحله رویشی بیش از مرحله زایشی بود و در فلفل دلمه‌ای بیش از فلفل تند بود و در فلفل دلمه‌ای بیشینه میزان را در مرحله رویشی داشت (شکل۴- الف). میزان نشت یونی در مراحل مختلف رشد و بین گونه‌ها تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل۴- ب). پرولین، مالون دی آلدهید، فنول، آنتی اکسیدان و پراکسیدهیدروژن با افزایش دما در هر دو گونه فلفل دلمه‌ای و تند افزایش یافت. بیشترین میزان پرولین، آنتی‌اکسیدان و فنول در فلفل دلمه‌ای و بیشترین میزان مالون دی آلدهید در فلفل دلمه‌ای و در دمای ۲۵ درجه سلسیوس بود (شکل ۱- الف).

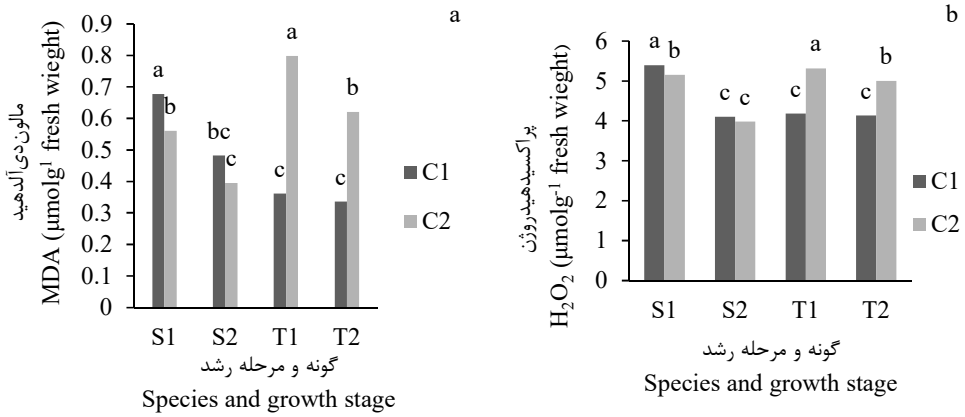

Fig.1. The interaction effect of plant species, growth stage and temperature in the recovery time on malondialdheyde (a) and H_2O_2 (b). In each column means followed with similar letters are not significantly different at 5% level of probability based on LSD test. C1: hot pepper, C2: sweet pepper, S1: vegetative growth stages, S2: reproductive growth stages, T1: 25°C, T2: 40°C

شکل۱- برهمکنش گونه گیاهی، مراحل رشدی و دما در طی زمان بازیابی بر میزان مالون‌دی‌آلدهید (a) و پراکسیدهیدروژن (b). در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ براساس آزمون LSD ندارند.C1: فلفل تند، C2: فلفل دلمه، S1: مرحله رشد رویشی، S2: مرحله رشد زایشی، T1: ۲۵ درجه سلسیوس، T2: ۴۰ درجه سلسیوس.

پراکسید هیدروژن هم مثل مالون دی آلدهید بیشترین میزان در فلفل دلمه ای و دمای ۲۵ درجه سلسیوس بود (شکل ۱- ب) و نشت یونی در فلفل تند در دمای بالا دیده شد (شکل۳ و ۴- الف و ب). با توجه به شکل ۴-ب دمای بالا به طور چشمگیری باعث افزایش نشت یونی در فلفل دلمه‌ای نسبت به دمای ۲۵ درجه سلیسیوس شد. (شکل۴- ب). شاخص کلروفیل بین دو گونه در مرحله رشد تفاوتی نداشت، اما در مرحله زایشی کمتر از رویشی و به کمینه مقدار در فلفل تند در مرحله زایشی رسید. میزان فلورسانس کلروفیل در فلفل دلمه‌ای بیش از فلفل تند در هر دو مرحله بود (شکل۵- الف و ب). میزان کلروفیل فلورسانس و شاخص کلروفیل با افزایش دما در هر دو گونه کاهش یافت و بیشترین میزان در دمای بهینه در هر دو گونه مشابه بود (شکل۵- الف و ب). با افزایش دما همه ویژگی‌های پرولین، مالون دی آلدهید، آنتی‌اکسیدان، فنول، نشت یونی و پراکسیدهیدروژن در هر دو مرحله رویشی و زایشی نسبت به دمای بهینه افزایش یافت. میزان مالون دی آلدهید، آنتی‌اکسیدان، پراکسیدهیدروژن و فنول در مرحله زایشی با افزایش دما به بیشینه میزان خود رسید (شکل۶،۷ و ۸- الف وب). میزان پرولین و نشت یونی بین دو مرحله

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-07-12]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1399.21.3.3.1]

با افزایش دما تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل۶ و ۸- الف و ب). میزان فلورسانس کلروفیل و شاخص کلروفیل به‌طور مشابه با افزایش دما در مرحله رویشی و زایشی کاهش یافت (شکل۹- الف و ب).

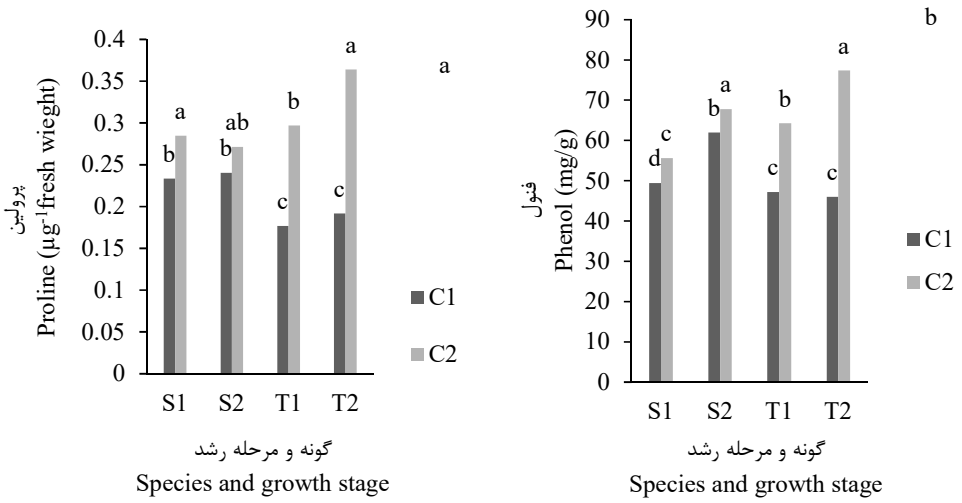

Fig. 3. The interaction effect of plant species, growth stage and temperature in the recovery time on proline (a) and phenol (b). In each column means followed with similar letters are not significantly different at 5% level of probability based on LSD test. (C1: hot pepper, C2: sweet pepper, S1: vegetative growth stages, S2: reproductive growth stages, T1: 25°C, T2: 40°C

شکل۳- برهمکنش گونه گیاهی، مراحل رشدی و دما در طی زمان بازیابی بر پرولین (a) و فنول (b). در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ براساس آزمون LSD ندارند. C1: فلفل تند، C2: فلفل دلمه، S1: مرحله رشد رویشی، S2: مرحله رشد زایشی، T1: ۲۵ درجه سلسیوس، T2: ۴۰ درجه سلسیوس

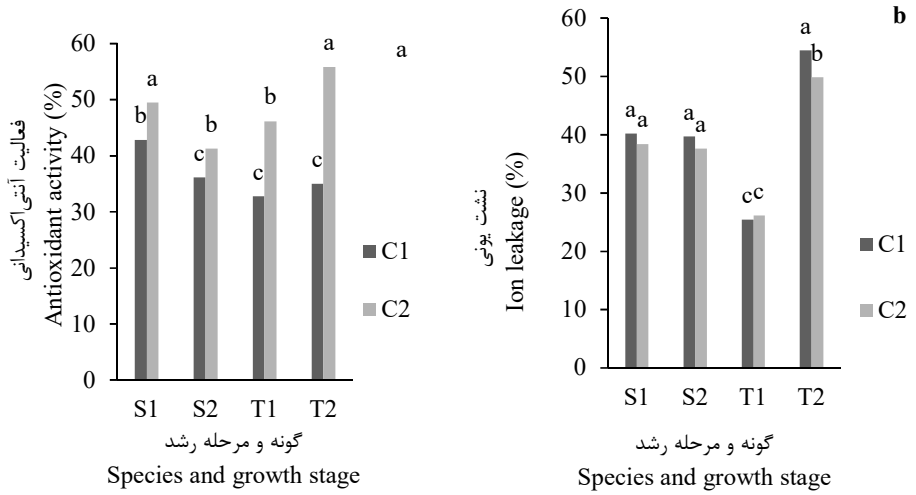

Fig. 4. The interaction effect of plant species, growth stage and temperature in the recovery time on antioxidant activity (a) and ion leakage (b). In each column means followed with similar letters are not significantly different at 5% level of probability based on LSD test. C1: hot pepper, C2: sweet pepper, S1: vegetative growth stages, S2: reproductive growth stages, T1: 25°C, T2: 40°C

شکل۴- برهمکنش گونه گیاهی، مراحل رشدی و دما در طی زمان بازیابی بر میزان فعالیت آنتی اکسیدانی (a)، نشت یونی (b). در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ براساس آزمون LSD ندارند. C1: فلفل تند، C2: فلفل دلمه، S1: مرحله رشد رویشی، S2: مرحله رشد زایشی، T1: ۲۵ درجه سلسیوس، T2: ۴۰ درجه سلسیوس

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-07-12]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1399.21.3.3.1]

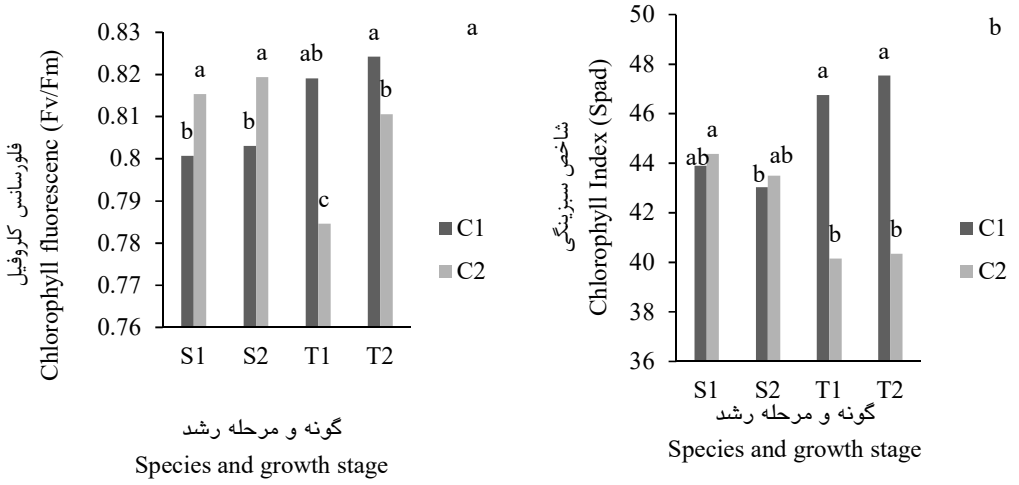

Fig. 5. The interaction effect of plant species, growth stage, and temperature in the recovery time on chlorophyll fluorescence (a) and spad value. In each column means followed with similar letters are not significantly different at 5% level of probability based on LSD test. C1: hot pepper, C2: sweet pepper, S1: vegetative growth stage, S2: reproductive growth stage, T1: 25°C, T2: 40°C

شکل۵- برهمکنش گونه گیاهی، مراحل رشدی و دما در طی زمان بازیابی بر کلروفیل فلورسانس (a) و شاخص کلروفیل (b). در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ براساس آزمون LSD ندارند. C1: فلفل تند، C2: فلفل دلمه، S1: مرحله رشد رویشی، S2: مرحله رشد زایشی، T1: ۲۵ درجه سلسیوس، T2: ۴۰ درجه سلسیوس.

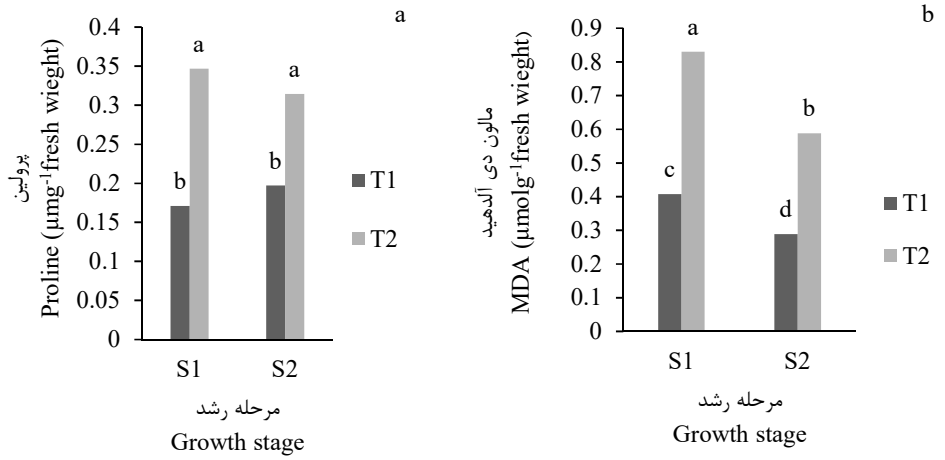

Fig. 6. The interaction effect of growth stage, and temperature in the recovery time on proline (a) and MDA (b). In each column means followed with similar letters are not significantly different at 5% level of probability based on LSD test. T1: 25°C, T2: 40°C S1: vegetative growth stages,S2: reproductive growth stages

شکل۶- برهمکنش گونه گیاهی، مراحل رشدی و دما در طی زمان بازیابی بر میزان پرولین (a)، مالون دی آلدهید (MDA) (b). در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ براساس آزمون LSD ندارند. T1: ۲۵ درجه سلسیوس، T2: ۴۰ درجه سلسیوس، S1: مرحله رشد رویشی، S2: مرحله رشد زایشی

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-07-12]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1399.21.3.3.1]

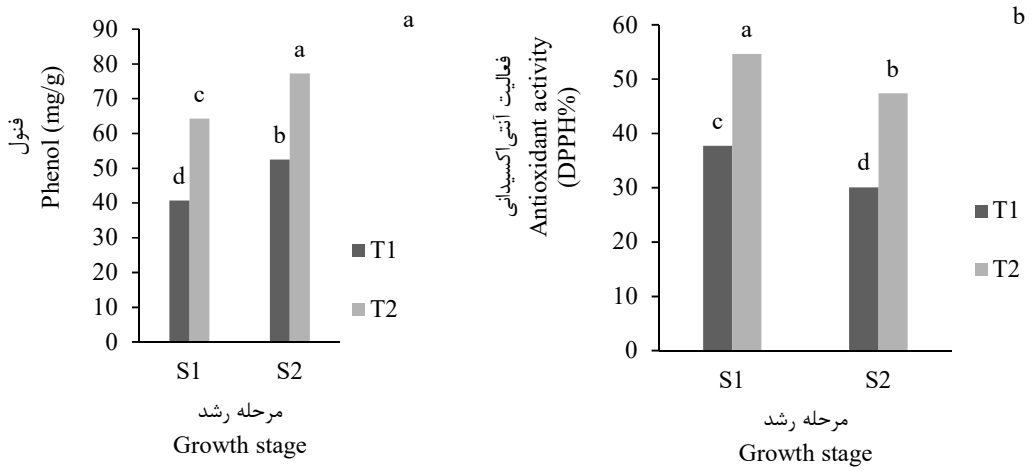

Fig. 7. The interaction effect of growth stage and temperature in the recovery time the on phenol (a) and antioxidant activity(b). In each column means followed with similar letters are not significantly different at 5% level of probability based on LSD test. T1: 25°C, T2: 40°C S1: vegetative growth stages, S2: reproductive growth stages

شکل۷- برهمکنش مراحل رشدی و دما در طی زمان بازیابی بر میزان فنول (a)، آنتی‌اکسیدان (b). در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ براساس آزمون LSD ندارند.T1 : ۲۵ درجه سلسیوس، T2: ۴۰ درجه سلسیوس، S1: مرحله رشد رویشی، S2: مرحله رشد زایشی

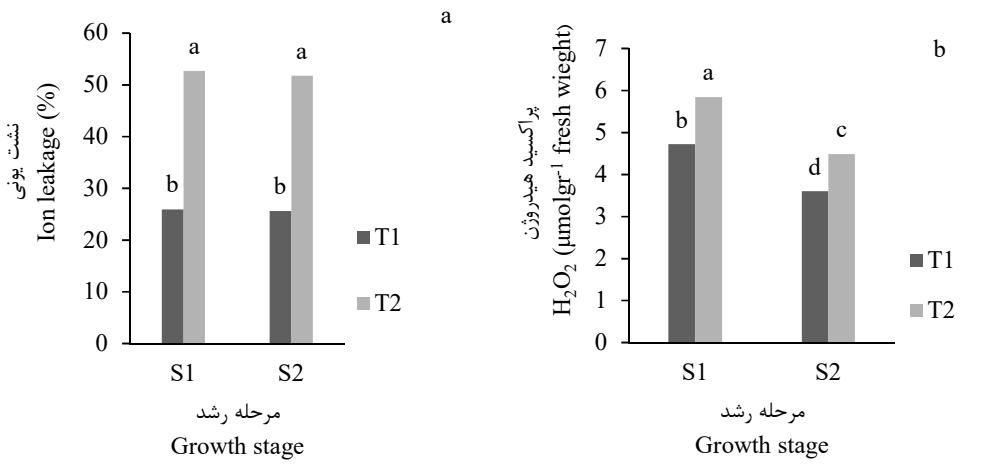

Fig. 8. The interaction effect of growth stage and temperature in the recovery time on the ion leakage (a) and H_2O_2 (b). In each column means followed with similar letters are not significantly different at 5% level of probability based on LSD test. T1: 25°C, T2: 40°C S1: vegetative growth stages, S2: reproductive growth stages

شکل۸- برهمکنش مراحل رشدی و دما در طی زمان بازیابی بر نشت یونی (a)، پراکسیدهیدروژن (b). در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ براساس آزمون LSD ندارند. T1: ۲۵ درجه سلسیوس، T2: ۴۰ درجه سلسیوس، S1: مرحله رشد رویشی، S2: مرحله رشد زایشی.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-07-12]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1399.21.3.3.1]

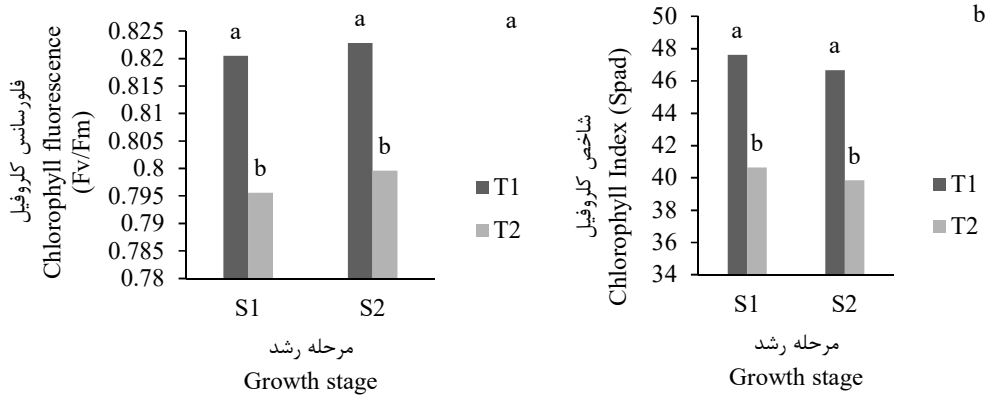

Fig. 8. The interaction effect of growth stage and temperature in the recovery time on chlorophyll fluorescence (a) and SPAD value (b). In each column means followed with similar letters are not significantly different at 5% level of probability based on LSD test. T1: 25°C, T2: 40°C, S1: vegetative growth stage, S2: reproductive growth stage.

شکل۹- برهمکنش مراحل رشدی و دما در طی زمان بازیابی بر کلروفیل فلورسانس (a) و شاخص کلروفیل کلروفیل (b). در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ براساس آزمون LSD ندارند. T1 : ۲۵ درجه سلسیوس، T2: ۴۰ درجه سلسیوس، S1: مرحله رشد رویشی، S2: مرحله رشد زایشی.

بحث

در پژوهشی Lu و همکاران (۷) نشان دادند میزان مالون دی آلدهید و پرولین در رقم فلفل دلمه‌ای متحمل به گرما در شرایط تنش دمای بالا به طور معنی‌داری کمتر است که با نتیجه‌های پژوهش حاضر مبنی بر کمتر بودن میزان این ماده در گونه متحمل فلفل دلمه‌ای نسبت به فلفل تند با یافته‌های پیش همسو است.

پژوهش‌ها نشان می‌دهد که افزایش سطح پراکسیدهیدروژن در اثر تنش، انباشت پرولین را از راه آبسیزیک اسید به‌وسیله بیان ژن آن در آرابیدوپسیس تحریک می‌کند، بدین معنی که پیام‌دهی پراکسیدهیدروژن در زیست‌ساخت پرولین دخیل است. تیمار با پراکسیدهیدروژن باعث افزایش سریع فعالیت آنزیم تنظیم‌کننده کلیدی P5CS و GDH در مسیر گلوتامات و تنظیم مثبت معناداری در بیان ژن P5CS شد (۲۰).

متناسب با افزایش دما، مقدار فنول نیز در فلفل تند و فلفل دلمه‌ای در مرحله رشد رویشی و زایشی افزایش معنی‌داری یافت. در نتیجه‌های پژوهش حاضر با یافته‌های پیش همسو است و Rivero و همکاران (۱۳) در گوجه‌فرنگی گزارش کردند با افزایش دما میزان ترکیب‌های فنولی نیز افزایش معنی‌داری یافتند.

با افزایش دما میزان مالون دی آلدهید در هر دو گونه فلفل (فلفل تند و فلفل دلمه‌ای) افزایش معنی‌داری پیدا کرد. هم‌چنین میزان مالون دی آلدهید در گونه فلفل دلمه‌ای در شرایط تنش کمتر از گونه فلفل تند بود. یافته‌ها در فلفل دلمه‌ای (۶) ، ذرت (۲۰) و چمن (۵) نشان دادند که با افزایش دما میزان مالون دی آلدهید نیز افزایش پیدا می‌یابد.

پراکسیدهیدروژن باثبات‌ترین شکل از گونه‌های فعال اکسیژن است که توانایی عبور از غشای یاخته‌ای را دارد و با از هم‌گسیختگی وظایف متابولیکی و از دست رفتن پایداری یاخته‌ای باعث آغاز تنش اکسیداتیو در یاخته‌های برگی می‌شود (۱۴). بنابراین، در این پژوهش مشاهده شد که افزایش دما باعث افزایش میزان پراکسیدهیدروژن در مرحله رشد رویشی و زایشی و در هر دو زمان تنش و بازیابی در گونه فلفل تند و فلفل دلمه‌ای شد. همسو با این نتیجه‌ها مشاهده شد که تنش گرما باعث افزایش میزان پراکسیدهیدروژن در فلفل دلمه‌ای گردید (۲).

پایداری و عملکرد غشای یاخته به‌طور محسوس به دما حساس می‌باشد. دمای بالا با تغییر در ساختار پروتئین‌های غشاء باعث افزایش سیالیت غشاء و درنتیجه افزایش نشت الکترولیت غشاء یاخته می‌شود (۸). برهمکنش دما و گونه در این آزمایش

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-07-12]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1399.21.3.3.1]

حاکی از آن بود که افزایش دما باعث افزایش معنی‌دار درصد نشت یونی در برگ گیاه فلفل تند و دلمه‌ای شد که در همین راستا پژوهشگران نشان دادند که با افزایش دما، میزان نشت یونی در برگ گیاه توت‌فرنگی و ریشه ذرت افزایش یافت (۱۳).

دمای بالا باعث کاهش معنی‌داری در میزان کلروفیل سنجیده شده به‌وسیله SPAD در فلفل دلمه‌ای شد که با نتیجه‌های آزمایش حاضر همخوانی دارد (۱۰). کاهش میزان کلروفیل در اثر تنش مربوط به تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن در یاخته است که باعث پراکسیداسیون و تجزیه کلروفیل می‌شود (۱۸، ۱۷)

میزان فلورسانس کلروفیل می‌تواند توانایی گیاه در تحمل به تنش‌های محیطی و میزان خسارتی که تنش به گیاه وارد می‌کند را به‌خوبی نشان دهد. بنابراین در این پژوهش مشاهده شد که افزایش دما باعث کاهش بیشینه عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II در شرایط سازگار شده با تاریکی می شود. هم‌چنین، برهمکنش دما و گونه روی فلور سانس کلروفیل در هر دو مرحله رشد رویشی و زایشی در زمان بازیابی نشان داد دمای ۴۰ درجه سلسیوس در هر دو گونه (فلفل تند و فلفل دلمه‌ای) باعث کاهش میزان فلورسانس کلروفیل شد. در تأیید این نتیجه‌ها، یافته‌های Tan و همکاران (۱۶) در تنش گرما نشان داد دمای بالا باعث کاهش میزان Fv/Fm در توتون شد. واکنش‌های فتوشیمیایی در لاملاهای تیلاکوئید و متابولیسم کربن در استروماهای کلروپلاست به‌عنوان محل‌های اصلی تخریب در دمای بالا معرفی‌شده‌اند. فتوسیستم II به‌شدت در دمای بالا ناپایدار است و فعالیت آن به‌شدت کاهش می‌یابد، تا حدی که در دمای بالا ممکن است فعالیت آن متوقف شود.

نتیجه‌گیری

بر اساس شاخص‌های اندازه‌گیری شده گونه فلفل دلمه‌ای نسبت به گونه فلفل تند بهتر توانست در زمان کوتاه‌تری با پالایندگی پراکسیدهیدروژن و کاهش تخریب غشاء و بالا ماندن میزان آنتی‌اکسیدان، فنول و پرولین اثرهای مخرب تنش کوتاه‌مدت گرما را جبران کند. مقایسه ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در مرحله رشد رویشی و زایشی نشان داد مرحله رشد رویشی نسبت به دمای بالا تحمل بیشتری دارد و ویژگی‌های مثبت شامل میزان آنتی‌اکسیدان، فنول و پرولین در این مرحله در زمان بازیابی در حد بالاتری باقی ماندند و ویژگی‌های منفی شامل مالون دی آلدهید و نشت یونی در زمان کوتاه‌تری کاهش معنی‌داری پیدا کردند.

منابع References

1. Bates, L.S., R.P. Waldarn and I. P. Teare. 1973. Rapid determination of free proline for water studies. Plant Soil. 39: 205-208.
2. Erickson, A.N. and A.H. Markhart. 2002. Flower developmental stage and organ sensitivity of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) to elevated temperature. Plant Cell. Environ. 25: 123-132.
3. Foyer, C.H. and B. Halliwell. 1976. The presence of glutathione and glutathione reductase in chloroplasts: a proposed role in ascorbic acid metabolism. Planta, 133: 21-25.
4. Khazaei, Z., M. Sayyari and M. Seydi. 2014. Effect of 5- aminolevulinic acid on changes of water deficit stress tolerance index and catalase activity of sweet pepper seedlings (*Capsicum annuum* L. cv. Red Bell pepper). Plant Prod. (Sci. J. Agr.) 37(4): 79-92. (In Persian)
5. Larkindale, J. and B. Huang. 2004a. Changes of lipid composition and saturation level in leaves and roots for heat-stressed and heat-acclimated creeping bentgrass (*Agrostis stolonifera*). Environ. Exp. Bot. 51: 57-67.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-07-12]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1399.21.3.3.1]

6. Li, T., X. Xu, Y. Li, H. Wang and Z. Li. 2015. Comparative transcriptome analysis reveals differential transcription in heat-susceptible and heat-tolerant pepper (*Capsicum annum* L.) cultivars under heat stress. J. Plant Biol. 58: 411-424.

7. Lu, M.H., Z.H. Gong, R.G. Chen, W. Huang and D.W. Li. 2009. Research advance of heat stress and heat tolerance in pepper. North Hort. 9: 99–102.

8. Lutts, S., J.M. Kinetand and J. Bouharmont. 1996. NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. Ann. Bot. London. 78: 389-398.

9. Mobli, M. and P. Aghdak. 2011. Greenhouse vegetable growing technology (soil and soilless culture). Ardakan Danesh Publications, 177 pages. (In Persian)

10. Nasibi, F., Kh. Manouchehri Kalantari and N. Fazelian. 2012. The effects of spermidin and methylene blue pretreatment on some physiological responses of *Matricaria recutita* plants to salt stress. J. Plant Prod. 1(2): 61-71. (In Persian)

11. Porch, T. and M. Jahn. 2001. Effects of high-temperature stress on microsporogenesis in heat-sensitive and heat-tolerant genotypes of *Phaseolus vulgaris*. Plant Cell Environ. 24: 723-731.

12. Rajabi, R. and S.S. Poordad. 2010. A study on cold resistance in safflower varieties and lines by physiological and biochemical indices. J. Plant Prod. 33(2): 1-14. (In Persian)

13. Rivero, R.M., J.M. Ruiz, P.C. Garcıa, L.R. Lopez-Lefebre, E. Sanchez and L. Romero. 2001. Resistance to cold and heat stress: accumulation of phenolic compounds in tomato and watermelon plants. Plant Sci. 160: 315-321.

14. Sairam, R., G. Srivastava, S. Agarwal and R. Meena. 2005. Differences in antioxidant activity in response to salinity stress in tolerant and susceptible wheat genotypes. Biol. Plant. 49: 85-91.

15. Sergiev, I., V. Alexieva and E. Karanov. 1997. Effect of spermine, atrazine and combination between them on some endogenous protective systems and stress markers in plants. C. R. Acad. Bulg. Sci. 51: 121-124.

16. Tan, W., Q. Wei Meng, M. Brestic, K. Olsovska and X. Yang. 2011. Photosynthesis is improved by exogenous calcium in heat-stressed tobacco plants. J. Plant Physiol. 168: 2063-2071.

17. Wang, D., M. Shannon and C. Grieve. 2001. Salinity reduces radiation absorption and use efficiency in soybean. Field Crops Res. 69: 267-277.

18. Wang, Y., J. Zhang, J.L. Li and X.R. Ma. 2014. Exogenous hydrogen peroxide enhanced the thermotolerance of *Festuca arundinacea* and *Lolium perenne* by increasing the antioxidative capacity. Acta Physiol. Plant. 36: 2915-2924.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-07-12]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1399.21.3.3.1]

19. Yu, L., S. Haley, J. Perret, M. Harris, J. Wison and M. Qian. 2002. Free radical scavenging properties of wheat extracts. J. Agr. Food Chem. 50: 1619–1624.

20. Zhu, X., F. Song and H. Xu. 2010. Influence of arbuscular mycorrhiza on lipid peroxidation and antioxidant enzyme activity of maize plants under temperature stress. Mycorrhiza, 20:325-332.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-07-12]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1399.21.3.3.1]

Iranian Journal of Horticultural Science and Technology 21 (3): 289 - 298 (2020)
Research type

Comparing the Ability to Recover Physiological Traits of Hot Pepper and Sweet Pepper Following High Temperature Stress

M. Motamadi and M. Haghighi*[1]

The plants' ability to recover from stress conditions is different. Tolerant plants can recover faster and better after stress. This study was conducted to study the ability of recovery of hot- and sweet pepper under high temperature (40°C) based on a factorial experiment under the complete randomized design (CRD) at greenhouses conditions in vegetative and reproductive stages with 3 replicates. Proline, malondialdehyde (MAD), antioxidant, phenol, ion leakage, and hydrogen peroxide increased in both stages under heat stress. Proline and phenol were lower in the reproductive stage compared to the vegetative stage. The highest proline, antioxidant, and phenol contents were in sweet pepper whereas, MDA, hydrogen peroxide and, ion leakage in hot pepper under heat stress. Study the parameters in both stages showed that the vegetative stage was more tolerant to heat stress with increasing antioxidant, phenol, and proline contents in recovery time. Sweet pepper was more tolerant to heat stress with decreasing membrane destruction, increase antioxidant, proline, and phenol contents during recovering time after heat stress.

Keywords: Antioxidant capacity, Growth stage, Heat stress, Hydrogen peroxide.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-07-12]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1399.21.3.3.1]

1. M.Sc. Student and Associate Professor, Department of Horticulture, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran, respectively.
* Corresponding author: Email: (mhaghighi@cc.iut.ac.ir).