

بررسی پاسخ دستگاه فتوسنتزی توده‌های شنبلیله (*Trigonella foenum-graceum* L.) به تنش یخ‌زدگی

The chlorophyll fluorescence parameters response of Fenugreek (*Trigonella foenum-graceum* L.) landraces to freezing stress

سیده محبوبه میرمیران^{۱*}، رضا یاری^۱

۱. استادیار پژوهشی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران، (نگارنده مسئول)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۳ - شناسانه برنمود رقمی: 10.22092/mpt.2022.360683.1115

چکیده

میرمیران، س. م.، یاری، ر.، بررسی پاسخ دستگاه فتوسنتزی توده‌های شنبلیله (*Trigonella foenum-graceum* L.) به تنش یخ‌زدگی
نشریه علمی ترویجی فناوری گیاهان دارویی ایران، دوره ۴ - شماره ۲ - پاییز ۷- پائیز و زمستان ۱۴۰۰ صفحه: ۱۲۰-۱۰۸

وضعیت دستگاه فتوسنتزی به‌عنوان یکی از شاخص‌های ارزیابی میزان تحمل گیاهان در مقابله با تنش‌های محیطی از جمله تنش یخ‌زدگی محسوب می‌شود. در همین راستا اثر سه دما (۹-، ۱۲- و ۱۵- درجه سانتی‌گراد) روی تحمل به یخ‌زدگی ۱۰ توده بومی شنبلیله (آذری، اردستان، رودسر ۱، رودسر ۲، شیراز، شیروان، نیشابور، مشهد، همدان و هندی) در چهار دوره بازیابی (۱۲، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت) به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار بررسی شد. کاهش دما از ۹- به ۱۲- و ۱۵- درجه سانتی‌گراد در توده‌های شنبلیله سبب کاهش بیشینه کارایی پتانسیل فتوسیستم $F'v/F'm$ شد. کمترین میزان این شاخص در اکثر توده‌ها در دماهای ۱۲- و ۱۵- درجه سانتی‌گراد به ترتیب ۷۲ و ۴۸ ساعت بعد از اعمال تنش مشاهده شد. در دمای ۱۵- درجه سانتی‌گراد روند کاهشی و غیرقابل برگشت در مقدار این شاخص مشاهده شد که با توجه به از بین رفتن توده‌ها در این دما قابل توجیه می‌باشد. تنها توده‌های رودسر ۲، شیروان، مشهد و نیشابور از بقای بالای ۵۰ درصد در دمای ۱۲- درجه سانتی‌گراد و نوسانات کمتر این شاخص در مواجهه با تنش دمایی ۹- و ۱۲- درجه سانتی‌گراد برخوردار بودند که این امر نشان دهنده حساسیت کمتر آن‌ها به تنش یخ‌زدگی و توانایی بازیابی مناسب عوامل فلورسانس کلروفیل در این توده‌ها می‌باشد. همبستگی مثبت و معنادار بین بیشینه کارایی پتانسیل فتوسیستم II با درصد بقاء (** $r^2=0/81$) و صفات مربوط به رشد مجدد مانند سطح برگ (** $r^2=0/76$) و وزن خشک (** $r^2=0/73$) نیز مشاهده شد که نشان دهنده مناسب بودن این توده‌ها جهت انجام مطالعات تکمیلی جهت کشت پاییزه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: بازیافت، به‌گزینی، درصد بقاء، فتوسیستم II

آدرس پست الکترونیکی نگارنده مسئول: mmirmiran@yahoo.com

و از ثبات عملکرد بیشتری نیز برخوردار است. یکی از راه‌های افزایش عملکرد، تطبیق مراحل رویشی گیاه با بارندگی‌های فصلی و جلوگیری از برخورد مراحل رشدی گیاه با خشکی انتهای فصل می‌باشد. تاریخ‌های کشت پاییزه سبب بهره‌برداری بهتر گیاه از بارندگی در فصل زراعی و فرار گیاه از تنش خشکی نهایی می‌شود (Amiri et al., 2016). علی‌رغم مزایای کشت پاییزه، بروز تنش‌های محیطی از جمله تنش سرما، یکی از عوامل محدود کننده بقاء و رشد گیاهان محسوب می‌شود که نقش حیاتی در انتشار اکولوژیکی گیاهان ایفا می‌کند (Karimi Alvije et al., 2015). دستگاه فتوسنتزی گیاه به‌ویژه در گیاهان حساس به سرما تحت تاثیر تنش دمایی پایین آسیب می‌بیند. سرما سبب بازدارندگی یا کاهش شدید در زنجیره انتقال الکترون شده و عمده انرژی نورانی دریافت شده به صورت گرما یا فلورسانس به هدر می‌رود. تنش سرما قسمت‌های مختلف سیستم فتوسنتزی گیاه، نظیر تنظیم قطر منافذ روزنه‌ها (Zhang et al., 2014)، فعالیت فتوسیستم‌های I و II، فعالیت آنزیم‌های مرتبط با چرخه کلورین و تثبیت دی‌اکسید کربن را تحت تاثیر قرار داده، همچنین سبب تخریب و کاهش نرخ جایگزینی پروتئین D1 در مرکز فتوسیستم II، اختلال در زنجیره انتقال الکترون، افزایش اتلاف حرارتی و کاهش جذب فتوشیمیایی الکترون‌ها شده و در نهایت کل ظرفیت دستگاه فتوسنتزی و کارایی عملکرد کوانتومی فتوسیستم II کاهش می‌یابد. (Hajihashemi et al., 2018; Shi et al., 2018)

یکی از گیاهان دارویی با ارزش، شنبلیله (*Trigonella foenum-graceum* L.) است که گیاهی علفی، یک‌ساله و متعلق به تیره بقولات می‌باشد. شنبلیله دارای ارزش غذایی بالایی است و دارای عناصر معدنی و ترکیباتی مانند کلسیم، فسفر، آهن، کاروتن، ویتامین C و پروتئین می‌باشد. بذرهاى شنبلیله نیز دارای آلکالوئید، تربیگونلین، کولین و ساپونین‌های استروئیدی است که مهم‌ترین اثرات دارویی آن‌ها کاهش قند خون است. شنبلیله همچنین قادر به تثبیت نیتروژن بوده و بنابراین برای استفاده در تناوب کشت مناسب می‌باشد (Omid baigi, 2004). در ایران کشت گیاه شنبلیله در بهار انجام می‌شود (Mehrafarin et al., 2011). کشت بهاره گیاهان زراعی (به ویژه در مواقعی که با تاخیر مواجه شود) باعث کوتاه شدن طول دوره رشد آن‌ها شده و در نتیجه گیاه ماده خشک کمتری تولید می‌کند. از سوی دیگر، مراحل نموی حساس گیاه از جمله گلدهی با تنش گرما و یا خشکی روبرو می‌شود که این امر عدم باروری کامل گل‌ها و در نتیجه کاهش تعداد گل و دانه در هر بوته و در نهایت کاهش عملکرد را به دنبال خواهد داشت (Maletic & Jevdjovic, 2007). به همین دلیل در سال‌های اخیر توجه بیشتری به کشت زود هنگام گیاهان در بهار و یا کشت پاییزه- زمستانه آن‌ها معطوف شده است (Mirmiran et al., 2021). نتایج نشان می‌دهند که تولید و عملکرد گیاهان در شرایط ذکر شده اغلب بیشتر از گیاهان در کشت متداول بهاره بوده

انجام شد.

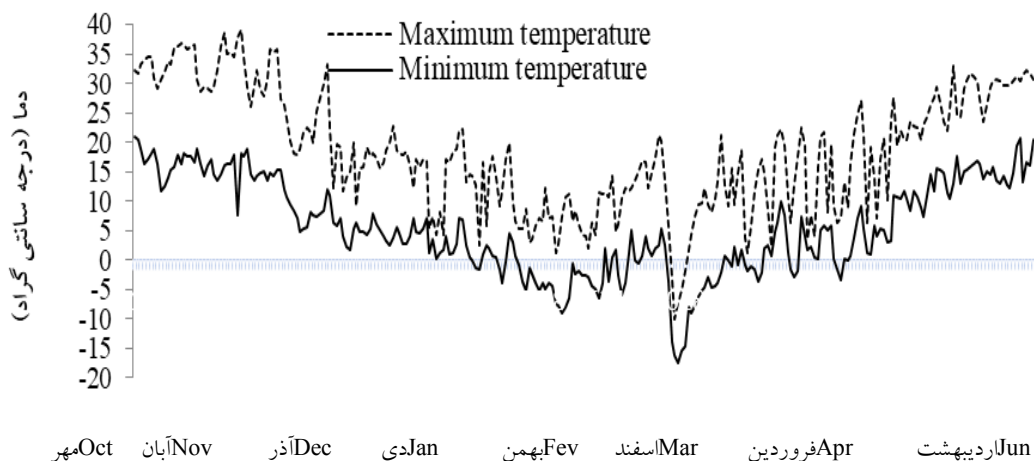
مواد و روش‌ها

این پژوهش در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل ۱۰ توده بومی شنبليله (آذری، اردستان، رودسر ۱، رودسر ۲، شیراز، شیروان، مشهد، نیشابور، همدان و هندی) در سه دمای یخ‌زدگی (۹-، ۱۲- و ۱۵- درجه سانتی‌گراد) و چهار دروه بازیابی (۱۲، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت) بودند. بذور پس از ضدعفونی در دهه دوم مهرماه به تعداد ۱۰ عدد در عمق یک سانتی‌متری گلدان‌های پلاستیکی با قطر ۱۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۱ سانتی‌متر حاوی ۲۵ درصد شن و ۷۵ درصد خاک مزرعه کشت شدند. آبیاری گلدان‌ها هر دو روز یک‌بار انجام شد و به‌منظور فرایند خوسرمایی گیاهان در شرایط طبیعی تا مرحله گیاهچه‌ای رشد کردند در دوره خوسرمایی هنگامی که دما به کمتر از صفر درجه سانتی‌گراد رسید، گیاهان با انتقال به شاسی سرد از سرمای شدید محافظت شدند (شکل ۱).

گلدان‌ها ۲۴ ساعت قبل از اعمال تنش، آبیاری شدند و سپس جهت اعمال دماهای یخ‌زدگی، در اواسط دی و هم‌زمان با بروز سرماهای شدید در منطقه (بر اساس داده‌های بلند مدت هواشناسی، در شرایط آب و هوایی مشهد بروز سرماهای شدید در دی و بهمن اتفاق می‌افتد) به فریزر ترموگرادیان منتقل شدند. دمای فریزر در ابتدای آزمایش پنج

(2019) محققین به‌دنبال استفاده از روش‌های دقیق و سریع جهت شناسایی واریته‌های متحمل به تنش‌های محیطی در برنامه‌های اصلاحی هستند (Singh et al., 2022). تکنیک فلورسانس کلروفیل یکی از روش‌های سریع، موثر و غیرتخریبی جهت غربالگری ارقام در مواجهه با تنش سرمایی می‌باشد (Azami et al., 2021). پارامترهای فلورسانس کلروفیل نظیر بیشینه کارایی پتانسیل فتوسیستم II ($F'v/F'm$)، جهت غربالگری میزان تحمل گیاهان به تنش سرما مورد استفاده قرار گرفت (Dong et al., 2020). تنش سرما سبب افزایش در کمینه بازتاب فلورسانس از برگ سازگار شده به نور ($F'o$) و کاهش حداکثر بازتاب فلورسانس از برگ سازگار شده به نور ($F'm$) و کاهش در بیشینه کارایی پتانسیل فتوسیستم II ($F'v/F'm$)، در شرایط سازگار شده با نور در تمامی ارقام انگور مورد مطالعه شد. ارقام متحمل به سرما از کاهش کمتری در بیشینه فلورسانس برگ سازگار شده به نور و بیشینه کارایی پتانسیل فتوسیستم II در شرایط سازگار شده با نور برخوردار بودند (Azami et al., 2021).

بنابراین به دلیل وجود توده‌های متنوع و ارزشمندی از شنبليله در ایران و توجه به اینکه اطلاعات منتشر شده چندانی درخصوص تحمل به سرما و یخ‌زدگی توده‌های بومی شنبليله در دسترس نیست، پژوهش حاضر با هدف بررسی روند بازیابی توده‌های شنبليله پس از تنش یخ‌زدگی با استفاده از عوامل فلورسانس کلروفیل در شرایط کنترل شده



شکل ۱- تغییرات دماهای حداقل و حداکثر روزانه طی پاییز و زمستان ۱۳۹۲ و بهار ۱۳۹۳.

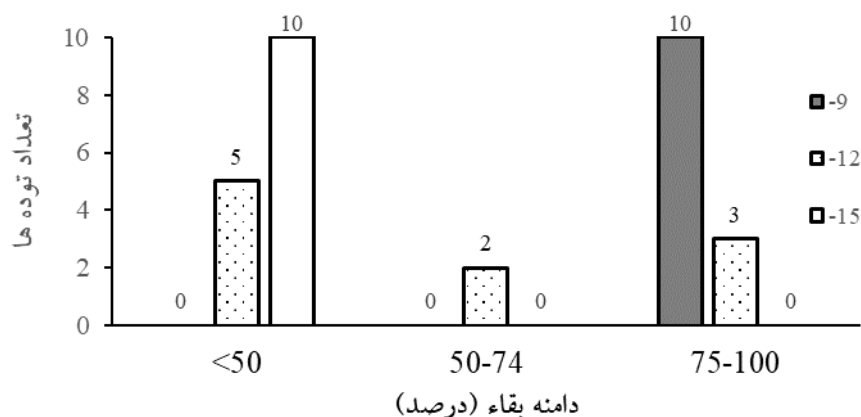
۷۲ ساعت پس از اعمال تنش یخ‌زدگی در هر تیمار دمایی با استفاده از دستگاه فلورومتر (مدل OptiScience, Inc) و روی برگچه جوان‌ترین برگ کاملاً توسعه‌یافته در سه بوته بررسی شد. صفات اندازه‌گیری شده شامل کمینه بازتاب فلورسانس از برگ سازگار شده به نور (F'o)، بیشینه فلورسانس برگ سازگار شده به نور (F'm) و فلورسانس متغیر (F'v = F'm - F'o) بودند. همچنین با استفاده از این عوامل شاخص بیشینه کارایی پتانسیل فتوسیستم II (F'v/F'm)، با استفاده از رابطه (F'm - F'o)/F'm محاسبه شد (Baker, 2008).

جهت ارزیابی درصد بقا، گلدان‌ها به گلخانه منتقل شدند و پس از چهار هفته درصد بقا آن‌ها تعیین شد. درصد بقا از طریق شمارش تعداد بوته زنده در هر گلدان و از طریق معادله ۱ محاسبه شد.

معادله (۱) $100 \times [\text{تعداد گیاهان قبل از تیمار یخ‌زدگی} / \text{تعداد گیاهان زنده چهار هفته پس از}$

درجه سانتی‌گراد بود و پس از قرار دادن نمونه‌ها با سرعت دو درجه سانتی‌گراد در ساعت کاهش یافت. این وضعیت شرایط را برای توزیع مجدد آب به بافت‌های گیاهی و جلوگیری از تشکیل یخ در داخل سلول‌ها که در طبیعت به ندرت اتفاق می‌افتد، فراهم می‌کند (Wisniewski *et al.*, 2002; Murray *et al.*, 1988). به منظور جلوگیری از پدیده فراسرد شدن و ایجاد هستک یخ در گیاهان در دمای ۲- درجه سانتی‌گراد اسپری INAB¹ روی نمونه‌ها پاشیده شد. به منظور ایجاد تعادل در دمای محیط، گیاهچه‌ها در هر تیمار دمایی به مدت یک ساعت نگه داشته شده و سپس به مدت ۷۲ ساعت در اتاقک سرد با دمای 5 ± 2 درجه سانتی‌گراد و تشعشع ۳۰۰ میکرومول بر متر مربع بر ثانیه نگهداری شدند.

روند تغییرات عوامل فلورسانس کلروفیل در هر تیمار دمایی بر اساس زمان خارج شدن آن‌ها از فریزر ترموگرادیان با فواصل ۱۲، ۲۴، ۴۸ و 1 Ice nucleation active bacteria



شکل ۲- فراوانی توده‌های شنبلیله مورد آزمایش از نظر درصد بقا در سه دمای یخزدگی ۹-، ۱۲- و ۱۵- درجه سانتی‌گراد

ژنوتیپ و دمای یخزدگی بر درصد بقای گیاهان اختلاف معنی‌داری نشان داد ($p/01$). سه رنج برای درصد بقاء شامل کمتر از ۵۰ درصد، درصد بقای بین ۵۰ تا ۷۴ درصد و بقای بین ۷۵ تا ۱۰۰ درصد انتخاب شد. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تمامی توده‌ها در دمای ۹- درجه سانتی‌گراد از بقای ۱۰۰ درصدی برخوردار بودند اما با کاهش دما از ۹- به ۱۲- درجه سانتی‌گراد از فراوانی توده‌هایی که بقای بیش از ۵۰ درصد داشتند، کاسته شد (شکل ۲). تنها سه توده بومی شیروان، مشهد و نیشابور در دمای ۱۲- درجه سانتی‌گراد از بقای ۱۰۰ درصدی (به عبارتی رنج درصد بقا بین ۷۵ تا ۱۰۰ درصد) برخوردار بودند. کاهش دما به ۱۵- درجه سانتی‌گراد سبب مرگ تمامی گیاهچه‌ها شد (یعنی تمام ده توده درصد بقای کمتر از ۵۰ درصد در دمای ۱۵- درجه سانتی‌گراد داشتند).

کمینه فلورسانس برگ سازگار شده به نور ($F'0$) کمینه فلورسانس برگ سازگار شده به نور تحت تاثیر برهمکنش توده، دمای یخزدگی

اعمال تیمار یخزدگی] = درصد بقا همزمان صفات دیگری نظیر سطح برگ (با استفاده از دستگاه Leaf Area Meter مدل DELTA-TDEVICES انگلیسی)، ارتفاع گیاهان و وزن خشک ساقه و برگ‌ها (پس از ۴۸ ساعت قرار داشتن در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد) اندازه‌گیری شد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با نرم افزار MSTATC، رسم نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel و برای مقایسه میانگین‌ها، آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد و خطای معیار (Standard Error) مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج و بحث درصد بقا

با توجه به اهمیت بقا در به‌گزینی ژنوتیپ‌ها برای تحمل به یخزدگی، بررسی این شاخص و ارتباط آن با سایر خصوصیات از جمله توانایی گیاه برای بازیافت و عوامل فلورسانس کلروفیل از اهمیت بالایی برخوردار است (Vyse et al., 2019). بررسی برهمکنش

بررسی پاسخ دستگاه

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عوامل فلورسانس کلروفیل توده های شنبلیله در سطوح مختلف تنش یخ زدگی و زمان اندازه گیری در دوره بازایی

منبع تغییرات	درجه آزادی	کمینه فلورسانس برگ سازگار شده به نور	بیشینه فلورسانس برگ سازگار شده به نور	فلورسانس متغیر	بیشینه کارایی پتانسیل فتوسنتز II
توده بومی	۹	۴۰۴۸ ^{۰۰}	۵۸۱۷۵ ^{۰۰}	۴۰۲۸۳ ^{۰۰}	۰/۰۳۶ ^{۰۰}
دما (درجه سانتی گراد)	۲	۲۲۸۹۲۴ ^{۰۰}	۹۲۵۰۶۱۶ ^{۰۰}	۶۵۷۵۵۹۳ ^{۰۰}	۷/۲۹ ^{۰۰}
دوره بازایی (ساعت)	۳	۱۸۲۸۷۶ ^{۰۰}	۲۱۹۸۲۸۹ ^{۰۰}	۱۱۷۱۰۸۹ ^{۰۰}	۲/۴۹ ^{۰۰}
توده بومی x دما	۱۸	۳۱۱۶۳ ^{۰۰}	۳۱۱۶۳ ^{۰۰}	۱۹۶۷۴ ^{۰۰}	۰/۰۲۸ ^{۰۰}
توده بومی x دوره بازایی	۲۷	۱۶۵۰ ^{۰۰}	۳۳۹۰۰ ^{۰۰}	۲۳۲۱۰ ^{۰۰}	۰/۰۴۰ ^{۰۰}
دما x دوره بازایی	۶	۹۶۷۷۷ ^{۰۰}	۷۵۱۸۵۱ ^{۰۰}	۳۵۳۰۲۶ ^{۰۰}	۱/۱۷ ^{۰۰}
توده بومی x دما x دوره بازایی	۵۴	۲۰۹۴ ^{۰۰}	۳۵۶۰۰ ^{۰۰}	۲۲۳۷۰ ^{۰۰}	۰/۰۲۸ ^{۰۰}
خطا	۲۴۰	۱۴۶	۲۱۳۷	۱۷۱۰	۰/۰۰۱
ضریب تغییرات (درصد)	-	۲۹/۶	۲۶/۳	۱۰/۴	۵/۵۰

*: معنی دار در سطح احتمال یک درصد

جدول ۲- مقایسه میانگین کمینه و بیشینه فلورسانس سازگار شده با نور در توده های شنبلیله در دماهای یخ زدگی و دوره بازایی

توده بومی (درجه سانتی گراد)	دوره بازایی (ساعت بعد از اعمال تنش)				بیشینه فلورسانس سازگار شده با نور			
	۱۲	۲۴	۴۸	۷۲	۱۲	۲۴	۴۸	۷۲
-۹	۳±۱۵۱/۴۸	۱۵±۱۸۰/۴	۱±۱۶۷/۴۵	۱±۱۶۸/۶۷	۴۴±۷۹۳/۸	۲۷±۶۶۶/۶	۳۵±۷۳۴/۱	۲۴±۷۳۲/۶
-۱۲	۳±۱۸۱/۳۸	۳±۱۷۷/۳۳	۰±۱۷۹/۶۶۷	۰±۱۱۹/۶۶۷	۵۵±۵۲۷/۱۳	۱۸±۶۲۷/۶	۲۹±۷۳۷/۲	۳±۲۲۷/۳۳
-۱۵	۱۴±۲۰۸/۸۰	۷±۲۰۶/۸۸	۰±۰/۰۰	۰±۰/۰۰	۱۴±۲۲۷/۸	۸±۲۳۷/۸۲	۰±۰/۰۰	۰±۰/۰۰
-۹	۴±۱۶۰/۳۷	۱۰±۱۶۲/۸	۷±۱۷۰/۸۰	۱±۱۸۳/۲۵	۶۵±۷۶۱/۶	۵۳±۵۳۶/۸	۱۲±۶۵۴/۹	۱۴±۶۹۷/۵
-۱۲	۷±۱۷۶/۰۲	۱±۱۷۵/۴۵	۷±۱۶۱/۲۲	۰±۰/۰۰	۶±۷۴۳/۹۴	۱۴±۷۵۶/۵	۹±۷۴۸/۶۰	۰±۰/۰۰
-۱۵	۹±۱۶۹/۰۷	۰±۱۷۱/۶۶۷	۰±۰/۰۰	۰±۰/۰۰	۱۴±۳۶۷/۵	۱±۳۷۸/۲	۰±۰/۰۰	۰±۰/۰۰
-۹	۱۲±۱۶۱/۹	۴±۱۶۵/۰۶	۱±۱۶۹/۳۳	۱±۱۷۲/۶۷	۵۸±۷۸۴/۰	۲۴±۷۸۲/۰	۱۸±۷۹۱/۲	۸±۸۱۶/۰۹
-۱۲	۷±۱۷۶/۶۹	۳±۱۵۹/۱۸	۱±۱۷۲/۱۵	۰±۰/۰۰	۳۷±۷۵۸/۶	۲۳±۷۳۴/۶	۲۳±۸۳۱/۳	۰±۰/۰۰
-۱۵	۸±۱۸۳/۵۷	۸±۱۷۳/۹۶	۰±۰/۰۰	۰±۰/۰۰	۸±۴۳۱/۵۰	۱۰±۴۳۱/۷	۰±۰/۰۰	۰±۰/۰۰
-۹	۰±۱۷۶/۶۶۷	۷±۱۷۰/۸۱	۴±۱۷۴/۸۴	۷±۱۷۰/۶۷	۳۰±۷۸۶/۵	۱۴±۸۹۰/۷	۱۵±۸۹۱/۴	۳±۶۴۷/۷
-۱۲	۶±۱۷۸/۰۱	۰±۱۸۶/۶۶۷	۲±۱۸۵/۶۰	۳±۱۷۳/۳۳	۲۷±۶۶۰/۵	۱۷±۷۳۵/۵	۱۵±۷۶۳/۸	۶±۵۹۷/۶۷
-۱۵	۳±۱۷۷/۳۸	۹±۱۷۵/۸۴	۰±۰/۰۰	۰±۰/۰۰	۱۴±۴۰۳/۵	۳۱±۴۶۶/۹	۰±۰/۰۰	۰±۰/۰۰
-۹	۷±۱۶۷/۷۵	۹±۱۷۵/۹۶	۱۰±۱۷۷/۱	۴±۱۷۸/۱۶	۱۱±۷۷۲/۸	۴۱±۸۰۴/۰	۱۳±۸۳۷/۰	۲۰±۶۵۰/۸
-۱۲	۱±۱۶۲/۶۷	۲±۱۵۸/۱۹	۴±۱۶۳/۷۰	۰±۰/۰۰	۱۷±۶۷۳/۹	۱۱±۷۷۱/۷	۱۸±۷۴۵/۶	۰±۰/۰۰
-۱۵	۶±۱۷۰/۹۳	۹±۱۷۲/۷۱	۰±۰/۰۰	۰±۰/۰۰	۴±۳۷۱/۶۷	۱۹±۴۲۰/۳	۰±۰/۰۰	۰±۰/۰۰
-۹	۲۹±۱۷۵/۲	۴±۱۶۶/۹۱	۵±۱۶۸/۰۴	۵±۱۶۷/۶۹	۱۲±۸۶۴۲	۱۷±۷۱۰/۹	۱۴±۷۴۷/۴	۳۷±۶۴۹/۷
-۱۲	۱۵±۱۹۹/۲	۱±۱۵۶/۳۳	۱±۱۸۲/۶۷	۱۳±۱۸۳/۹	۱۷±۸۱۵/۳	۲۳±۶۷۵/۵	۲۰±۸۲۱/۷	۴۹±۶۱۸/۷
-۱۵	۵±۱۷۲/۷۸	۱۰±۱۸۱/۵	۰±۰/۰۰	۰±۰/۰۰	۶±۴۲۷/۶۷	۱۲±۴۴۷/۰	۰±۰/۰۰	۰±۰/۰۰
-۹	۲۱±۲۱۰/۳	۸±۱۹۶/۶۹	۸±۱۹۶/۶۹	۷±۱۷۱/۸۸	۴۱±۸۲۴/۴	۱۶±۷۸۹/۲	۱۶±۷۸۸/۲	۳۴±۶۹۲/۳
-۱۲	۵±۱۶۵/۵۱	۰±۱۶۶/۶۶۷	۴±۱۷۷/۰۴	۴±۱۹۲/۸۴	۹±۷۷۲/۰۲	۸±۶۵۴/۳۳	۵۷±۸۳۹/۵	۱۷±۷۲۲/۰
-۱۵	۸±۱۷۷/۱۹	۴±۱۷۴/۴۸	۰±۰/۰۰	۰±۰/۰۰	۲۸±۲۲۹/۴	۹±۴۶۹/۶۸	۰±۰/۰۰	۰±۰/۰۰
-۹	۱±۱۷۰/۲۰	۱۴±۱۸۴/۸	۶±۱۸۲/۲۴	۵±۱۶۵/۵۴	۲۵±۷۴۴/۷	۵۳±۸۳۱/۴	۲۰±۸۶۵/۵	۱۷±۶۲۹/۸
-۱۲	۴±۱۷۹/۱۰	۶±۱۸۲/۲۴	۳±۱۸۷/۳۳	۶±۱۶۸/۰۰	۳±۸۴۳/۷۱	۹۳±۷۸۱/۳	۳±۸۴۱/۴۸	۱۵±۵۹۷/۲
-۱۵	۸±۱۷۸/۸۲	۱۱±۱۷۶/۴	۰±۰/۰۰	۰±۰/۰۰	۱۷±۵۵۹/۲	۱۱±۵۶۱/۶	۰±۰/۰۰	۰±۰/۰۰
-۹	۲±۱۹۵/۶۵	۹±۱۷۸/۶۴	۷±۱۷۸/۲۶	۱±۱۵۲/۵۳	۲۱±۷۴۶/۲	۶۵±۸۰۰/۴	۱۲±۸۹۷/۷	۱۵±۵۲۶/۲
-۱۲	۲±۱۸۰/۸۹	۴±۱۶۳/۱۶	۴±۱۶۱/۵۱	۰±۰/۰۰	۶±۷۸۰/۰۶	۱۸±۸۰۶/۷	۵±۷۷۳/۴۶	۰±۰/۰۰
-۱۵	۲±۱۷۴/۳۳	۲±۱۸۱/۱۱	۰±۰/۰۰	۰±۰/۰۰	۸±۴۰۷/۸۲	۱۵±۴۷۷/۰	۰±۰/۰۰	۰±۰/۰۰
-۹	۱۰±۱۷۲/۱	۹±۱۸۱/۸۱	۹±۱۸۱/۸۱	۵±۱۶۸/۸۱	۲۷±۷۹۲/۶	۲۱±۸۵۶/۴	۲۱±۸۵۷/۴	۱۸±۵۷۳/۷
-۱۲	۲±۱۶۵/۰۳	۲±۱۵۵/۰۳	۱±۱۵۲/۴۵	۰±۰/۰۰	۲۰±۸۰۹/۵	۴±۷۷۸/۴۱	۴۷±۷۱۶/۵	۰±۰/۰۰
-۱۵	۱۱±۱۷۱/۳	۹±۱۷۳/۲۸	۰±۰/۰۰	۰±۰/۰۰	۱۳±۴۶۰/۳	۱۴±۴۸۹/۴	۰±۰/۰۰	۰±۰/۰۰

± نشان دهنده خطای معیار میانگین ها می باشد.

«نشریه علمی ترویجی فناوری گیاهان دارویی ایران» دوره ۴ - شماره ۲ - پایبند ۷ - پائیز و زمستان ۱۴۰۰

جدول ۳- مقایسه میانگین فلورسانس متغیر و بیشینه کارایی فتوسنتز II در توده های شنبلله در دماهای یخ زدگی و دوره بازیابی

توده بومی	دمای یخ زدگی (درجه سانتیگراد)	فلورسانس متغیر				بیشینه کارایی پتانسیل فتوسنتز II			
		۱۲	۲۴	۴۸	۷۲	۱۲	۲۴	۴۸	۷۲
آذری	-۹	۴۵±۶۴۱/۳	۲۳±۴۸۶/۸	۳۴±۵۶۷/۹	۲۳±۵۶۳/۵	-/۰±۷۲۹/۰۱۹	-/۰±۷۷۱/۰۱۰	-/۰±۷۷۷/۰۰۶	-/۰±۷۷۷/۰۰۶
	-۱۲	۱۳±۳۶۵/۷۶	۱۵±۴۵۰/۳	۲۹±۵۵۷/۴	۲±۲۰۷/۶۷	-/۰±۶۶۸/۰۰۳	-/۰±۷۱۸/۰۰۳	-/۰±۶۳۴/۰۰۲	-/۰±۶۳۴/۰۰۲
	-۱۵	۴±۲۱۹/۰۶	۱۱±۲۳۰/۳	±۰/۰	±۰/۰	-/۰±۵۱۵/۰۱۸	-/۰±۵۲۷/۰۱۹	±۰/۰	±۰/۰
اردستان	-۹	۶۲±۶۰۱/۶	۴۶±۳۷۴/۸	۱۵±۴۸۵/۳	۱۴±۵۱۴/۲	-/۰±۷۸۷/۰۱۶	-/۰±۷۴۱/۰۱۳	-/۰±۷۳۸/۰۰۵	-/۰±۷۳۸/۰۰۵
	-۱۲	۱۳±۵۶۷/۲	۱۵±۵۸۱/۲	۱۵±۵۸۶/۶	±۰/۰	-/۰±۷۶۳/۰۱۱	-/۰±۷۹۴/۰۰۶	-/۰±۷۸۴/۰۱۲	-/۰±۷۸۴/۰۱۲
	-۱۵	۱۳±۱۹۷/۲	۱۲±۲۰۷/۷	±۰/۰	±۰/۰	-/۰±۵۳۹/۰۲۲	-/۰±۵۴۶/۰۱۶	±۰/۰	±۰/۰
رودسر ۱	-۹	۵۴±۶۱۳/۴	۲۵±۶۱۷/۴	۱۹±۶۲۲/۶	۷±۶۴۴/۰۲	-/۰±۷۹۳/۰۱۹	-/۰±۷۸۸/۰۱۰	-/۰±۷۸۶/۰۰۶	-/۰±۷۸۶/۰۰۶
	-۱۲	۳۱±۵۸۱/۸	۲۰±۵۷۴/۶	۲۴±۶۵۹/۲	±۰/۰	-/۰±۷۶۷/۰۰۷	-/۰±۷۸۲/۰۰۳	-/۰±۷۹۳/۰۰۷	-/۰±۷۹۳/۰۰۷
	-۱۵	±۰±۳۳۹/۳۳۳	۱۷±۲۵۸/۱	±۰/۰	±۰/۰	-/۰±۵۶۶/۰۱۱	-/۰±۵۸۹/۰۲۸	±۰/۰	±۰/۰
رودسر ۲	-۹	۳۱±۶۱۰/۰	۱۴±۷۲۰/۸	۱۷±۷۱۷/۳	۲۵±۲۷۷/۰	-/۰±۷۷۶/۰۰۹	-/۰±۸۰۹/۰۰۹	-/۰±۸۰۴/۰۰۷	-/۰±۷۳۷/۰۰۲
	-۱۲	۲۵±۴۸۲/۳	۱۶±۵۵۰/۹	۱۵±۵۷۸/۱	۳±۴۲۳/۳۳	-/۰±۷۲۹/۰۱۱	-/۰±۷۴۷/۰۰۵	-/۰±۷۸۰/۰۰۵	-/۰±۷۱۰/۰۰۲
	-۱۵	۱۱±۲۲۷/۶	۲۳±۲۹۱/۷	±۰/۰	±۰/۰	-/۰±۵۶۱/۰۰۹	-/۰±۶۲۳/۰۱۲	±۰/۰	±۰/۰
شیراز	-۹	۱۸±۵۰۶/۲	۳۲±۶۲۸/۱	۶±۶۶۰/۱۳	۱۷±۲۷۷/۴	-/۰±۷۸۴/۰۱۳	-/۰±۷۸۲/۰۰۵	-/۰±۷۸۱/۰۰۹	-/۰±۷۲۶/۰۰۵
	-۱۲	۱۷±۵۱۲/۷	۱۰±۶۱۲/۴	۲۰±۵۸۲/۵	±۰/۰	-/۰±۷۶۰/۰۰۶	-/۰±۷۹۵/۰۰۳	-/۰±۷۸۱/۰۰۹	-/۰±۷۲۶/۰۰۵
	-۱۵	۱۱±۲۰۱/۶	۱۶±۲۴۸/۰	±۰/۰	±۰/۰	-/۰±۵۴۲/۰۲۴	-/۰±۵۹۰/۰۲۱	±۰/۰	±۰/۰
شیروان	-۹	۱۰۱±۴۶۶	۱۳±۵۲۴/۲	۱۹±۵۸۰/۲	۳۲±۲۸۱/۴	-/۰±۷۲۱/۰۱۶	-/۰±۷۶۶/۰۰۲	-/۰±۷۵۷/۰۱۱	-/۰±۷۴۴/۰۰۸
	-۱۲	۵±۶۱۶/۰۰	۲۲±۵۱۹/۳	۱۹±۶۴۰/۵	۳۵±۲۳۴/۸	-/۰±۷۵۶/۰۱۳	-/۰±۷۶۸/۰۰۶	-/۰±۷۷۹/۰۰۴	-/۰±۷۰۳/۰۰۲
	-۱۵	۳±۲۵۵/۰۰	۶±۲۶۵/۸۹	±۰/۰	±۰/۰	-/۰±۵۸۹/۰۰۸	-/۰±۵۹۴/۰۱۶	±۰/۰	±۰/۰
مشهد	-۹	۲۱±۶۱۴/۱	۱۰±۵۹۲/۷	۱۰±۵۹۲/۷	۲۶±۵۲۱/۵	-/۰±۷۴۶/۰۱۳	-/۰±۷۵۲/۰۰۷	-/۰±۷۵۲/۰۰۷	-/۰±۷۵۲/۰۰۲
	-۱۲	۸±۵۵۷/۵۰	۸±۴۸۸/۱۹	۶۱±۶۶۲/۵	۱۸±۵۳۰/۰	-/۰±۷۷۱/۰۰۷	-/۰±۷۴۶/۰۰۳	-/۰±۷۸۷/۰۱۸	-/۰±۷۳۴/۰۱۰
	-۱۵	۲۶±۲۵۱/۴	۵±۲۹۶/۶۱	±۰/۰	±۰/۰	-/۰±۵۸۴/۰۲۶	-/۰±۶۳۰/۰۰۳	±۰/۰	±۰/۰
نیشابور	-۹	۲۴±۵۷۲/۵	۴۱±۶۴۷/۹	۱۴±۶۸۳/۴	۱۳±۲۶۴/۴	-/۰±۷۷۱/۰۰۶	-/۰±۷۷۹/۰۰۹	-/۰±۷۷۹/۰۰۲	-/۰±۷۵۲/۰۰۲
	-۱۲	۵±۶۶۴/۵۱	۸۷±۵۹۹/۴	۶±۶۵۴/۶۶	۱۵±۴۲۹/۵	-/۰±۷۸۸/۰۰۵	-/۰±۷۶۲/۰۲۰	-/۰±۷۷۸/۰۰۵	-/۰±۷۳۴/۰۱۰
	-۱۵	۲۴±۳۸۰/۳	۶±۳۸۵/۱۲	±۰/۰	±۰/۰	-/۰±۶۸۰/۰۲۳	-/۰±۶۸۷/۰۱۵	±۰/۰	±۰/۰
همدان	-۹	۱۸±۵۵۱/۹	۵۵±۶۲۲/۸	۹±۷۱۹/۷۱	۱۴±۳۷۴/۳	-/۰±۷۳۸/۰۰۴	-/۰±۷۷۷/۰۰۶	-/۰±۸۰۱/۰۰۷	-/۰±۷۱۱/۰۰۷
	-۱۲	۷±۶۰۰/۹۷	۱۵±۶۴۳/۷	۸±۶۱۲/۲۵	±۰/۰	-/۰±۷۶۹/۰۰۵	-/۰±۷۹۸/۰۰۳	-/۰±۷۹۲/۰۰۷	-/۰±۷۹۲/۰۰۷
	-۱۵	۸±۲۳۳/۰۲	۷±۲۹۷/۶۴	±۰/۰	±۰/۰	-/۰±۵۷۳/۰۰۹	-/۰±۶۲۱/۰۰۷	±۰/۰	±۰/۰
هندی	-۹	۲۳±۶۲۲/۸	۲۹±۶۷۶/۷	۲۹±۶۷۶/۷	۱۴±۴۰۵/۲	-/۰±۷۸۳/۰۱۰	-/۰±۷۸۸/۰۱۶	-/۰±۷۸۸/۰۱۶	-/۰±۷۰۶/۰۰۵
	-۱۲	۲۲±۶۴۴/۴	۶±۶۲۳/۴۳	۴۷±۵۶۳/۷	±۰/۰	-/۰±۷۹۶/۰۰۷	-/۰±۸۰۰/۰۰۴	-/۰±۷۸۵/۰۱۵	-/۰±۷۰۶/۰۰۵
	-۱۵	۱۵±۲۸۹/۷	۲۱±۳۱۶/۶	±۰/۰	±۰/۰	-/۰±۶۲۸/۰۲۵	-/۰±۶۴۴/۰۲۷	±۰/۰	±۰/۰

± نشان دهنده خطای معیار میانگین ها می باشد.

جدول ۴- ضرایب همبستگی مولفه های فلورسانس کلروفیل با درصد بقاء و صفات مربوط به رشد مجدد

تیمار	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
۱. درصد بقاء	۱							
۲. ارتفاع بوته (سانتی متر)	۰/۴۶ ^{ns}	۱						
۳. سطح برگ تک بوته (سانتی مترمربع)	۰/۹۳ ^{**}	۰/۴۳ ^{ns}	۱					
۴. وزن خشک تک بوته (گرم)	۰/۹۱ ^{**}	۰/۵۹ ^{ns}	۰/۸۹ ^{**}	۱				
۵. کمینه فلورسانس سازگار شده به نور	۰/۸۶ ^{**}	۰/۳۳ ^{ns}	۰/۸۷ ^{**}	۰/۸۷ ^{**}	۱			
۶. بیشینه فلورسانس سازگار شده به نور	۰/۶۲ ^{ns}	-۰/۳۱ ^{ns}	۰/۶۰ ^{ns}	۰/۵۰ ^{ns}	۰/۷۲ [*]	۱		
۷. فلورسانس متغیر	۰/۴۸ ^{ns}	-۰/۴۸ ^{ns}	۰/۴۴ ^{ns}	۰/۳۳ ^{ns}	۰/۵۴ ^{ns}	۰/۹۸ ^{**}	۱	
۸. بیشینه کارایی پتانسیل فتوسنتز II	۰/۸۱ ^{**}	-۰/۰۱ ^{ns}	۰/۷۶ [*]	۰/۷۳ [*]	۰/۹۱ ^{**}	۰/۹۲ ^{**}	۰/۸۱ ^{**}	۱

^{**} و ^{ns} به ترتیب معنی دارد سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و غیر معنی دار

± نشان دهنده خطای معیار میانگین ها می باشد.

بیشینه فلورسانس برگ سازگار شده به نور ($F'm$) برهمکنش توده، دمای یخزدگی و دوره بازیابی تاثیر معنی‌داری بر بیشینه فلورسانس سازگار شده به نور داشت (جدول ۱). کاهش دما از ۹- به ۱۵- درجه سانتی‌گراد در تمامی دوره‌های بازیابی و در تمامی توده‌ها سبب کاهش بیشینه فلورسانس سازگار شده به نور شد. در تیمار دمایی ۹- درجه سانتی‌گراد در اکثر توده‌های مورد مطالعه تفاوت زیادی از لحاظ این مولفه بین ۱۲ و ۷۲ ساعت دوره بازیابی مشاهده نشد. اعمال تیمار دمایی ۱۲- درجه سانتی‌گراد سبب کاهش این مولفه در طی دوره بازیابی شد. کمترین میزان این کاهش در توده‌های رودسر ۲ (۲۸ درصد کاهش)، شیروان (۳۳ درصد)، مشهد (۱۶ درصد) و نیشابور (۴۱ درصد) مشاهده شد. علی‌رغم اینکه همبستگی معنی‌داری بین درصد بقاء و $F'm$ مشاهده نشد (جدول ۴)، اما در این توده‌ها به دلیل اینکه قادر به بقاء در دمای ۱۲- درجه سانتی‌گراد بودند، کمترین کاهش در این مولفه را در دمای ۱۲- درجه سانتی‌گراد از خود نشان دادند. این امر نشان دهنده توانایی بالایی این ژنوتیپ‌ها در حفظ بیشینه فلورسانس برگ و بازیافت مناسب آن‌ها پس از تنش یخزدگی می‌باشد (جدول ۲ و شکل ۲). اعمال تیمار دمایی ۱۵- درجه سانتی‌گراد در طی دوره بازیابی در تمامی توده‌های مورد مطالعه سبب کاهش در مولفه $F'm$ شد. به عبارتی افزایش شدت تنش یخزدگی سبب اختلال و کاهش در بیشینه فلورسانس برگ سازگار شده به نور شد، به حدی که گیاهان قادر به بازیابی

و دوره بازیابی قرار گرفت (جدول ۱). بررسی روند تغییرات $F'o$ نشان داد که در بیشتر توده‌ها در نتیجه اعمال تیمار دمایی ۹- درجه سانتی‌گراد تغییری در این شاخص بین دوره‌های بازیابی ۱۲ تا ۷۲ ساعت مشاهده نشد. اما در تیمارهای دمایی ۱۲- و ۱۵- درجه سانتی‌گراد، به ترتیب پس از ۴۸ و ۲۴ ساعت کاهش شدیدی در مقدار $F'o$ ایجاد شد و مقدار این شاخص ۷۲ ساعت پس از تنش یخزدگی در دمای ۱۵- درجه سانتی‌گراد به دلیل مرگ تمامی گیاهچه‌ها به صفر رسید (جدول ۲). تفاوت کمتر $F'o$ در ۴۸ و ۷۲ ساعت پس از اعمال تنش یخزدگی در تیمار دمایی ۱۲- درجه سانتی‌گراد در توده‌های رودسر ۲، شیروان، مشهد و نیشابور در مقایسه با سایر توده‌ها نشان‌دهنده توانایی بالای این توده‌ها در حفظ فلورسانس کمینه در روشنایی و همچنین بازیافت مطلوب آن‌هاست. هرچه مقدار این شاخص کمتر باشد نشان دهنده انجام مطلوب فعالیت‌های فتوسنتزی و انتقال سریع‌تر الکترون و بالاتر بودن این شاخص، نشان دهنده آسیب به زنجیره انتقال الکترون فتوسیستم II می‌باشد. گونه‌های که از سرعت انتقال الکترون بالاتری برخوردارند، مقاومت بیشتری نسبت به تنش یخزدگی از خود نشان می‌دهند (Nabati et al., 2022). وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین $F'o$ رابطه درصد بقاء ($r^2 = 0/86^{**}$) نیز نشان دهنده توانایی این توده‌ها به بازیابی این مولفه در دمای ۱۲- درجه سانتی‌گراد می‌باشد (جدول ۴).

ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در دمای ۱۵- درجه سانتی‌گراد از بین رفتند (شکل ۲). مقادیر پایین فلورسانس متغیر نشان دهنده کاهش فعالیت فتوسیستم II و اتلاف انرژی به صورت گرما می‌باشد. همچنین تنش‌های محیطی مانند تنش سرما به دلیل خسارت به غشای تیلاکوئید، سبب کاهش این شاخص می‌شوند (Goltsev *et al.*, 2016). تنش‌های محیطی با تاثیر منفی بر ظرفیت پذیرش و انتقال الکترون سبب اختلال در زنجیره انتقال الکترون فتوستتری، تخریب پروتئین D1 در مرکز واکنش فتوسیستم II و تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) شده و در نهایت منجر به اختلال در تولید کلروفیل و صدمه به ساختار کلروپلاست گیاهان خواهد شد (Shi *et al.*, 2019). این امر سبب می‌شود که سیستم سریع‌تر به $F'v/F'm$ برسد که نتیجه آن کاهش فلورسانس متغیر خواهد بود $F'v/F'm$ (F'v/F'm). همچنین بسته شدن مراکز واکنش تاثیر منفی بر بیشینه کارایی پتانسیل فتوسیستم II خواهد داشت (Murchie and Lawson, 2013).

بیشینه کارایی پتانسیل فتوسیستم II

$$(F'v/F'm)$$

بیشینه کارایی پتانسیل فتوسیستم II به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل نشان دهنده تحمل گیاهان به تنش یخ‌زدگی محسوب می‌شود (Yao *et al.*, 2020). در این بررسی شاخص $F'v/F'm$ تحت تاثیر برهمکنش توده، دمای یخ‌زدگی و دوره بازیابی قرار گرفت (جدول ۱). کاهش شاخص مذکور در تمامی دوره‌های بازیابی در نتیجه کاهش شش درجه ای دما

و ترمیم این مولفه نبودند (جدول ۲). بررسی بیشینه فلورسانس برگ سازگار شده به نور در شش ژنوتیپ وحشی و یک ژنوتیپ زراعی گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*) نشان داد که کاهش دما موجب کاهش این مولفه در تمام ژنوتیپ‌ها در مقایسه با شاهد شد. این کاهش در ژنوتیپ‌های وحشی در مقایسه با ژنوتیپ زراعی کمتر بود (Zhou *et al.*, 2018).

فلورسانس متغیر ($F'v$)

برهمکنش ژنوتیپ، دمای یخ‌زدگی و دوره بازیابی بر $F'v$ معنی‌دار بود (جدول ۱). کاهش دما به ۱۵- درجه سانتی‌گراد در تمامی دوره‌های بازیابی در تمام توده‌های مورد مطالعه سبب کاهش $F'v$ شد. در بیشتر توده‌ها قرارگیری در معرض دمای ۱۲- درجه سانتی‌گراد تا ۴۸ ساعت بعد از اعمال تنش یخ‌زدگی سبب افزایش و سپس کاهش در مقدار این مولفه شد. کمترین میزان کاهش در توده‌های مشهد و رودسر ۲ و به ترتیب با ۲۵ و ۳۷ درصد کاهش مشاهده شد. این مسئله نشان دهنده حساسیت کمتر این توده‌ها به تنش یخ‌زدگی است. به عبارتی دیگر جریان الکترون از فتوسیستم به Q_A در این توده‌ها به نحو مطلوب‌تری انجام گرفته است. در تمامی توده‌ها در دمای ۱۵- درجه سانتی‌گراد، روندی کاهشی در مقدار $F'v$ مشاهده شد و علی‌رغم افزایش جزئی در برخی ژنوتیپ‌های مورد بررسی تا زمان ۲۴ ساعت، با گذشت زمان روند کاهش در مقدار این مولفه مشاهده شد و در ۷۲ ساعت بعد از اعمال تنش به کمترین مقدار خود رسید (جدول ۳). تمامی

روند بازیابی آنها از طریق عوامل کلروفیل فلورسانس و به ویژه شاخص $F'v/F'm$ می تواند به عنوان رهیافتی موفق در گزینش ژنوتیپ های گیاهان مورد استفاده قرار گیرد (Nabati et al., 2022).

یافته های ترویجی

استفاده از تکنیک فلورسانس کلروفیل یکی از روش های مناسب و غیرتخریبی در زمینه شناسایی گیاهان متحمل به تنش های محیطی از جمله تنش یخ زدگی محسوب می شود. نتایج این آزمایش نشان داد که تنها چهار توده رودسر ۲، شیروان، مشهد و نیشابور در دمای ۱۲- درجه سانتی گراد دارای بقای بیش از ۵۰ درصد بودند، که احتمالاً در مناطقی که حداقل دمای آنها به ۱۲- درجه سانتی گراد می رسد، از پتانسیل مناسبی جهت کاشت پاییزه برخوردار هستند. بیشتر توده ها از توانایی بازیابی مناسبی در جبران کاهش عوامل فلورسانس کلروفیل در نتیجه خسارت تنش یخ زدگی در دماهای ۹- و ۱۲- درجه سانتی گراد برخوردار بودند. اما کمترین نوسان در تغییرات شاخص $F'v/F'm$ پس از تنش یخ زدگی بین دماهای ۹- و ۱۲- درجه سانتی گراد، در طول دوره بازیابی متعلق به توده شیروان بود. هیچکدام از توده های مورد مطالعه قادر به تحمل دمای ۱۵- درجه سانتی گراد نبودند.

از ۹- به ۱۵- سانتی گراد در تمامی توده های مورد مطالعه مشاهده شد. در بیشتر توده ها، تفاوت زیادی بین این مولفه در دماهای ۹- و ۱۲- درجه سانتی گراد در طی دوره بازیابی مشاهده نشد. توده های اردستان، رودسر، شیراز، همدان و هندی از کمترین توانایی در بازیابی آسیب حاصل از تنش یخ زدگی به فتوسیستم II در دمای ۱۲- درجه سانتی گراد برخوردار بودند. به طوری که با وجود بهبود این شاخص در دمای مذکور در طول دوران بازیابی، مقدار شاخص $F'v/F'm$ در آن در تمام دوران بازیابی به دلیل عدم توانایی بقاء این توده ها در دمای ۱۲- درجه سانتی گراد به صفر رسید. در تمامی ژنوتیپ ها قرارگیری در معرض دمای ۱۵- درجه سانتی گراد سبب کاهش این مولفه شد. همچنین با بررسی روند تغییرات پیشینه کارایی پتانسیل فتوسیستم II مشخص شد که توده های شیروان، مشهد و نیشابور از کمترین میزان نوسان پس از تنش یخ زدگی بین دماهای ۹- و ۱۲- درجه سانتی گراد نسبت به سایر توده ها برخوردار بودند. به عبارتی این توده ها از توانایی بالاتری در حفظ ساختارهای فتوسنتزی در مواجهه با تنش یخ زدگی برخوردار بود. اعمال تیمار دمایی ۱۵- درجه سانتی گراد نیز سبب مرگ تمامی گیاهچه ها شد و توده ها قادر به بازیابی این مولفه در طی دوران بازیابی نبودند (جدول ۳ و شکل ۲). تنش های محیطی از جمله تنش یخ زدگی، آسیب شدیدی را به دستگاه فتوسنتزی گیاهان وارد می کنند، بنابراین ارزیابی خسارت وارد شده به فتوسیستم II و ارزیابی

References

- Aazami, M.A., Asghari-Aruq, M., Hassanpouraghdam, M.B., Ercisli, S., Baron, M. and Sochor, J. 2021. Low Temperature Stress Mediates the Antioxidants Pool and Chlorophyll Fluorescence in *Vitis vinifera* L. Cultivars. *Plants*, 10, 1877: 1-12.
- Amiri, S.R., Deihimfard, R. and Soltani, A. 2016. A single supplementary irrigation can boost chickpea grain yield and water use efficiency in arid and semiarid conditions: a modeling study. *Agronomy Journal*, 108: 2406–2416.
- Baker, N.R. 2008. Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis *in vivo*. *Annual Review of Plant Biology*, 59: 89-113.
- Dong, Z., Men, Y., Liu, Z., Li, J., and Ji, J. 2020. Application of chlorophyll fluorescence imaging technique in analysis and detection of chilling injury of tomato seedlings. *Computers and Electronics in Agriculture*, 168: 105-109.
- Goltsev, V.N., Kalaji, H.M., Paunov, M., Baba, W., Horaczek, T., Mojski, J., Kociel, H. and Allakhverdiev, S.I. 2016. Variable Chlorophyll Fluorescence and Its Use for Assessing Physiological Condition of Plant Photosynthetic Apparatus. *Russian Journal of Plant Physiology*, 63(6): 869–893.
- Hajihashemi, S., Noedoost, F., Geuns, J.M.C., Djalovic, L. and Siddique, K.H.M. 2018. Effect of Cold Stress on Photosynthetic Traits, Carbohydrates, Morphology, and Anatomy in Nine Cultivars of *Stevia rebaudiana*. *Frontiers of Plant Science*, 9, 1430.
- Karimi Alvije, M., Abadi, A., Musavi, S.A. and Salami, S.A. 2015. Investigation of changes in catalase, peroxidase and total protein enzymes in response to cold stress in some grape cultivars. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 1: 103–110. (In Persian).
- Maletic, R. and Jevdjovic, R. 2007. Sowing date- the factor of yield and quality of fenugreek seed (*Trigonella foenum-gracum* L.). *Journal of Agricultural Sciences*, Belgrade, 52(1): 1-8.
- Mehrafarin, A., Rezazadeh, S. and Badi, H.N. 2011. A review on biology, cultivation and biotechnology of fenugreek (*Trigonella foenum-gracum* L.) as a valuable medicinal plant and multipurpose. *Journal of Medicinal Plants*, 10: 6–24.
- Mirmiran, S.M., Nezami, A., Kafi, M., Nabati, J. and Karimzadeh Soureshjani,

- H. 2021. Selection of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) landraces for fall planting and freezing tolerance. *Iran Agricultural Research*, 40(1): 71-82. (In Persian).
- Murchie, E.H. and Lawson, T. 2013. Chlorophyll fluorescence analysis: a guide to good practice and understanding some new applications. *Journal of Experimental Botany*, 64(13): 3983–3998.
- Murray, G.A., Eser, D. L., Gusta, V. and Eteve, G. 1988. Winter hardiness in pea, lentil, faba bean and chickpea. In Summer field R.J., (ed.) *World crops: cool season food legumes*. Kluwer Academic Publishers, the Netherlands. 831-843.
- Nabati, J., Nezami, A., Mirmiran, S.M., Hasanfard, A.R. and Ahmadi Lahijani, M.J. 2022. The chlorophyll fluorescence parameters response of lentil (*Lens culinaris* Medik.) genotypes to freezing stress. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 53(1): 79-93. (In Persian).
- Omid baigi, R. 2004. Production and processing of medicinal plants. *Astane Ghodse Razavi Publication*, 149(3): 397p. (In Persian).
- Shi, Y.L., Cai, Z.Y., Li, D., Lu, J.L., Ye, J.H., Liang, Y.R. and Zheng, X.Q. 2019. Effect of freezing on photosystem II and assessment of freezing tolerance of tea cultivar. *Plants*, 8(10): 434.
- Singh, A., Dikshit, H.K., Mishra, G.P., Aski, M., Kumar, S. and Sarker, A. 2022. Breeding for Abiotic Stress Tolerance in Lentil in Genomic Era. In: Kole, C. (eds) *Genomic Designing for Abiotic Stress Resistant Pulse Crops*. Springer, Cham. pp:145-167.
- Vyse, K., Pagter, M., Zuther, E. and Hinch, D.K. 2019. Deacclimation after cold acclimation-a crucial, but widely neglected part of plant winter survival. *Journal of Experimental Botany*, 70(18): 4595-4604.
- Wisniewski, M., Glenn, D. M. and Fuller, M.P. 2002. Use of a hydrophobic particle film as a barrier to extrinsic ice nucleation in tomato plants. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 127(3): 358-364.
- Yao, L., Hao, X., Cao, H., Ding, C., Yang, Y., Wang, L. and Wang, X. 2020. ABA-dependent bZIP transcription factor, CsbZIP18, from *Camellia sinensis* negatively regulates freezing tolerance in *Arabidopsis*. *Plant Cell Reports*, 39(4): 553-565.
- Zhang, G.X., Liu, Y.F., Ni, Y., Meng, Z.J., Lu, T. and Li, T.L. 2014. Exogenous

calcium alleviates low night temperature stress on the photosynthetic apparatus of tomato leaves. PLoS ONE, 9(5): e97322.

Zhou, R., Wu, Z., Wang, X., Rosenqvist, E., Wang, Y., Zhao, T. and Ottosen, C.O. 2018. Evaluation of temperature stress tolerance in cultivated and wild tomatoes using photosynthesis and chlorophyll fluorescence. Horticulture, Environment, and Biotechnology, 59: 499–509.

The chlorophyll fluorescence parameters response of Fenugreek (*Trigonella foenum-graceum* L.) landraces to freezing stress

Seyedeh Mahbubeh Mirmiran^{1*}, Reza Yari¹

1. Assistant Professor, Khorasan-e-Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Mashhad, Iran .
(Corresponding author)

Received: November 2022 Accepted: January 2023 - DOI: 10.22092/mpt.2022.360683.1115

Abstract

S., M. Mirmiran. R., Yari ., The chlorophyll fluorescence parameters response of Fenugreek (*Trigonella foenum-graceum* L.) landraces to freezing stress

Iranian Medicinal Plants Technology, Vol 4, No. 2, 2020-21 16-17: 108-120(in Persian)

Abstract

The state of the photosynthetic apparatus is considered as one of the indicators for evaluating the tolerance of plants to environmental stress, including freezing stress. Therefore, the effects of three temperatures (-9, -12 and -15°C) on the cold tolerance of 10 landraces (Azari, Ardestan, Rudsar1, Rudsar2, Shiraz, Shirvan, Mashhad, Neyshabur, Hamedan, Hendi) in four periods (12, 24, 48, and 72 hours) were evaluated in controlled condition using a factorial arrangement in a completely randomized design with three replications. The maximum efficiency of photosystem II ($F'v/F'm$) was affected by temperature decline from -9 to 12- and -15°C in fenugreek landraces. The greatest decrease of this parameter was observed in most of the landraces at temperatures of -12 and -15°C, respectively, 72 and 48 hours after freezing stress. At temperatures below -15°C the index had a decreasing and irreversible trend, which can be justified due to the death of landraces at this temperature. Only Rudsar2, Shirvan, Mashhad and Neyshabur landraces had the

Email address of the corresponding author: mmirmiran@yahoo.com

survival rate of more than 50% at -12°C and the fluctuations of this index were less when faced with temperature stress of -9 and -12°C , which indicates their less sensitivity to freezing stress and the ability to suitable recovery in chlorophyll fluorescence factors at this temperature. A significant positive correlation between the maximum efficiency of the potential of photosystem II and the percentage of survival ($r^2= 0.81^{**}$), recovery traits consist of leaf area ($r^2=0.76^{**}$) and dry weight ($r^2=0.73^{**}$) was observed, which indicates the suitability of these landraces for further studies for autumn.

Keywords: Recovery, Selectivity, Survival percentage, Photosystem II