

پاسخ‌های فیزیولوژیکی مرتبط با تنش سرما در پرونانس‌های مختلف نونهال‌های بنه

سمیه همایونفر^۱، رقیه ذوالفقاری^{۲*}، پیام فیاض^۲

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد گروه جنگلداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

^۲ دانشیار گروه جنگلداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: zolfaghari@yu.ac.ir

پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۱۸

دریافت: ۱۳۹۵/۰۸/۱۱

چکیده

مقدمه: گونه‌هایی که در محدوده جغرافیایی وسیعی پراکنش دارند، دارای رنج وسیعی به مقاومت به سرما می‌باشند. درختان مناطق معتدل باید در مقابل دماهای یخبندان به‌ویژه سرمای زودرس و زمستان سازگاری نشان دهند. یکی از راهکارهای مقاومت به سرما از طریق کاهش طول روز و دما در طی فرآیند سازگاری انجام می‌گیرد. از طرفی پرونانس یک گونه می‌تواند یکی از عوامل مهم تأثیرگذار در مقاومت به سرما باشد. لذا در این پژوهش تأثیر تنش سرما بر تغییرات فیزیولوژیکی سه پرونانس بنه در زاگرس جنوبی بررسی گردید تا مقاوم‌ترین پرونانس معرفی گردد.

مواد و روش‌ها: بذور سه پرونانس واقع در مارگون، نورآباد و یاسوج از زاگرس جنوبی جمع‌آوری شدند و در داخل گلدان کاشته شدند. پس از سبز شدن نهال‌ها، آن‌ها در معرض دو مرحله فرآیند سازگاری به مدت ۴ هفته قرار گرفتند که این کار با شبیه‌سازی دمای روز و شب و طول دوره نوری در طی ماه‌های شهریور تا آبان ماه یاسوج انجام شد. سپس شاخص‌های عملکرد فتوسیستم و محتوای کلروفیل برگ اندازه‌گیری شد. پس از هر مرحله سازگاری، اندام برگ و ساقه نهال‌ها در سه تیمار دمایی ۴°C (کنترل)، ۲۰°C- به مدت یک ساعت و ۲۰°C- به مدت دو ساعت قرار گرفتند. سپس محتوای نسبی آب و نرخ نشت الکترولیت برگ و ساقه اندازه‌گیری شد. پژوهش حاضر به‌صورت آزمایش فاکتوریل با سه فاکتور پرونانس (۳ سطح)، تیمار دمایی (۳ سطح) و سازگاری (۲ سطح) در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا شد.

نتایج: نتایج نشان داد که با کاهش دما نرخ نشت الکترولیت افزایش یافت که این افزایش در پرونانس نورآباد بیشترین مقدار بود. همچنین کاهش محتوای نسبی آب ساقه در سازگاری دوم پرونانس یاسوج و مارگون مشاهده شد. محتوای کلروفیل، ماکزیمم عملکرد فتوسیستم II و سرعت انتقال الکترون در پرونانس نورآباد کمتر از دو پرونانس دیگر بود. همچنین در طی سازگاری به سرما نیز کلیه مؤلفه‌های فلورسانس کلروفیل به‌جز سرعت انتقال الکترون کاهش معنی‌دار یافتند.

نتیجه‌گیری: نتایج این تحقیق نشان داد که اندازه‌گیری نرخ نشت الکترولیت و عملکرد فتوسیستم می‌تواند در شناسایی پرونانس‌های مقاوم به سرما مؤثر باشد. نهال‌های پرونانس نورآباد حساس‌ترین و مارگون مقاوم‌ترین بودند که می‌تواند به دلیل ارتفاع بالاتر و اقلیم سردتر پرونانس مارگون باشد.

واژه‌های کلیدی: بنه، پارامترهای فلورسانس کلروفیل، مبدأ بذر، سازگاری

مقدمه

نمو مناسب می‌باشند و در خارج از آن دما، بعضی از مراحل فیزیولوژیکی آن‌ها مختل یا کند می‌شود. میزان دوام گیاهان در چنین دمایی، بستگی به مرحله نمو، اندام، حداقل یا حداکثر دمای دریافت‌شده و طول دوره

دما یکی از مهم‌ترین فاکتورهای آب و هوایی تعیین‌کننده پراکنش گونه‌های مختلف گیاهی است. گیاهان دارای دامنه‌های دمایی مشخصی برای رشد و

پروانسانس‌های *Picea abies* و *Guardia* و همکاران (۲۰۱۰) روی پروانسانس‌های *Juglans regia* اشاره نمود. از مجموع این پژوهش‌ها می‌توان چنین استنباط کرد که تنش انجماد می‌تواند باعث افزایش نشت الکترولیت‌ها شود که این افزایش در درجه حرارت‌های منفی بیشتر است. مبدأ و پروانسانس هر گونه در مقاومت آن گونه در نسل‌های بعد نیز مؤثر می‌باشد و موجب افزایش یا کاهش مقاومت به سرما خواهد شد. مطالعه Weiser و Smithberg (۱۹۶۸) روی پروانسانس‌های *Cornus stolonifera* نشان داد که زمان سازگاری در پروانسانس‌ها متفاوت است. همچنین نهال‌های *Pinus abies* با مبدأ شمالی سریع‌تر از نهال‌های جنوبی به سرما مقاوم شدند (Kontunen et al., 2007).

بررسی تحمل به سرما در سه اکوتیپ (جنوبی، مرکزی و شمالی) گونه *Betula pendula* نیز نشان داد که ترکیبی از سه عامل روزکوتاهی، دمای پائین و رطوبت خاک به ترتیب در افزایش تحمل به سرما مؤثر بودند. تحمل به انجماد در ساقه بیشتر از جوانه و برگ بوده و برگ‌های جوان نسبت به برگ‌های مسن‌تر بیشتر در معرض آسیب بودند. سازگاری در برگ‌ها با تغییرات ساختاری از جمله افزایش وزن مخصوص برگ، کاهش محتوای آب همراه بوده است (Li et al., 2002). بر اساس مطالعه فوق اکوتیپ شمالی نسبت به سرما مقاوم‌تر بوده و به دلیل قرارگیری در عرض جغرافیایی و ارتفاع بالاتر زمان توقف رشد نسبت به اکوتیپ جنوبی زودتر اتفاق می‌افتد.

در بررسی سه پروانسانس *Picea abies* پس از گذراندن یک دوره یخبندان با انتقال شاخه‌های جمع‌آوری شده به آزمایشگاه (تاریکی و دمای ۴ درجه) و سپس اعمال تنش یخبندان (۲۰- و ۸۰- درجه و کنترل ۴ درجه) مشخص شد که پروانسانس‌های واقع در ارتفاع بالاتر (۱۲۵۰ متر) که در معرض آب و هوای سردتر بوده‌اند، میزان نشت الکترولیت و ماکزیمم عملکرد فتوسیستم II (Fv/Fm) به‌طور معنی‌داری کمتر از پروانسانس واقع در ارتفاع پایین‌تر (۴۵۰ متر) بود اما در دمای ۸۰- درجه میزان نشت هر سه پروانسانس افزایش نشان داد (Gomory et al., 2010).

آن‌دما دارد (Mancuso, Janska et al., 2010). کاهش دما تنش غیرزیستی برای گیاهان ایجاد می‌کند، از طرف دیگر دما عامل محیطی مهمی است که از فصلی به فصل دیگر تغییر می‌کند و دستخوش نوسانات غیرقابل پیش‌بینی و زودگذر روزانه است. تنش‌های سرما شامل سرمازدگی (صفر تا ۱۵ سلسیوس) و یخ‌زدگی (دماهای زیر صفر) می‌باشند (Miura & Furumoto, 2013).

سطح مقاومت به سرما بین گونه‌ها، پروانسانس‌ها و حتی بخش‌های مختلف از یک گیاه تا حد زیادی متفاوت است (Almeida et al., 1994) و تحت تأثیر تغییرات دمایی، فصل و موقعیت فیزیولوژی، سن گیاه، رطوبت گیاه و مواد غذایی در دسترس می‌باشد (ذوالفقاری، ۱۳۹۰). در طبیعت گیاهان می‌توانند با توجه به قرارگرفتن تدریجی در معرض درجه حرارت پایین و غیرانجماد، مقاومت به سرما نشان دهند این فرآیند به‌عنوان سازگاری به سرما (Cold Acclimation) شناخته شده است (Yuanyuan et al., 2009). مبدأ یک گونه عامل مهم در تعیین قابلیت سازگاری و توانایی مقاومت به سرماست (Schutzki & Cregg, 2007). یک گیاه مقاوم به سرما عملکردهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی متفاوتی نسبت به گیاهان حساس دارد (Quellet & Charron, 2013).

توانایی اندازه‌گیری مقاومت به سرما برای تولید موفقیت‌آمیز و استقرار نهال درختان جنگلی ضروری است (Warrington & Rook, 1980). برای انتخاب گیاهان مقاوم می‌توان پس از سازگاری به سرما چندین آزمون مختلف فیزیولوژیکی مانند آزمایش یخ‌زدگی روی کل گیاه، انجماد تاج، نشت الکترولیت و اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل (Chawade, 2011) انجام داد.

پژوهش‌های مختلفی در ارتباط با اثر تنش دمای پایین بر نشت الکترولیت در گونه‌های مختلف در دنیا انجام شده است. از جمله این پژوهش‌ها می‌توان به پژوهش‌های Jiang و همکاران (۲۰۱۱) روی کلون‌های صنوبر، Gomory و همکاران (۲۰۱۰) در

شدن به گلخانه انتقال یافتند. برای شبیه‌سازی تغییرات در ماه‌های شهریور تا آبان ماه تغییرات شامل کاهش دمای روز و شب و طول روز به‌منظور شروع فرآیند سازگاری در دو مرحله بر روی گلدان‌ها اعمال شد. مرحله اول (سخت‌واره شدن اول) با دمای روز و شب ۲۵ و ۱۷ درجه و فتوپریود ۱۳ ساعت و مرحله دوم (سخت‌واره شدن دوم) با دمای روز و شب ۱۸ و ۹ درجه و فتوپریود ۱۲ ساعت می‌باشد. بعد از گذراندن هر مرحله، نهال‌ها به مدت ۱۲ ساعت در دمای ۴°C قرار گرفتند و پارامترهای کلروفیل و فلورسانس کلروفیل اندازه‌گیری شدند. سپس سه تیمار دمایی شامل دماهای ۴+ (کنترل) و ۲۰- درجه سانتی‌گراد به مدت یک و دو ساعت اعمال شد و مقدار نشت الکترولیت‌ها (Electrolyte Leakage) و محتوای نسبی آب (Relative Water Content) در دو اندام برگ و ساقه پس از اعمال تیمار دمایی اندازه‌گیری شد.

پارامترهای کلروفیل (توسط کلروفیل‌متر دستی SPAD-502)، متغیرهای فلورسانس کلروفیل (توسط دستگاه فلورومتر Optic-Sciences، ایالات متحده آمریکا) و بر اساس جدول ۲، نرخ نشت الکترولیت‌ها توسط دستگاه هدایت سنج (EC متر مدل inolab، آلمان) و محتوای نسبی آب برگ نیز به ترتیب بر اساس معادلات ۱ و ۲ محاسبه شدند.

$$\text{EL} = (\text{EC}24 / \text{ECMax}) \times 100 \quad \text{معادله ۱:}$$

هدایت الکتریکی ۲۴ (EC24)، ماکزیمم هدایت الکتریکی (ECMax) معادله ۲:

$$\text{RWC} (\%) = [(\text{FW} - \text{DW}) / (\text{TW} - \text{DW})] \times 100$$

FW (Fresh Weight): وزن تر (وزن اندام بعد از برداشت)، TW (Turgid Weight): وزن اشباع (وزن اندام بعد از ۲۴ ساعت در آب مقطر)، (Dry Weight) DW: وزن خشک (وزن بعد از ۴۸ ساعت در ۸۰°C).

داده‌های حاصل در قالب طرح کاملاً تصادفی با بررسی اثرات ساده و متقابل مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. داده‌ها به‌صورت آزمایش فاکتوریل ۳×۳×۲ (سه سطح پرونانس، سه سطح تیمار دمایی و دو سطح سخت‌واره شدن) برای پارامترهای محتوای نسبی آب و

بررسی مقاومت به سرما در گونه *Quercus garyana* نیز نتایج مشابهی نشان داده که حاکی از مقاومت به سرما بیشتر جمعیت‌های واقع در ارتفاعات بالاتر بوده است (Huebert & Envs, 2004)؛ اما بعضی مطالعات نتایج عکسی را نشان می‌دهد به‌طوری‌که پژوهش صورت گرفته بر روی نهال‌های دوساله *Pseudotsuga menziesii* با دو منشأ اورگان و واشنگتن نشان داد که حداکثر عملکرد فتوسینتیم II در نهال‌های تحت تنش سرما به‌طور معنی‌داری پایین‌تر از نهال‌های کنترل (بیش از ۰/۴) بود و بخش اورگان (واقع در ارتفاعات بالا) در سرتاسر مطالعه بیشترین LT50 را داشته و آسیب بافتی بیشتری نسبت به بخش واشنگتن نشان داد (Rose & Haase, 2002).

مطالعات بسیاری تفاوت درون‌گونه‌ای در مقاومت به سرما را تأیید کرده و گونه‌های درختی از پرونانس‌های سردتر مقاوم‌تر از آن‌هایی هستند که در مناطق گرم‌تر گسترش دارند (Sakai & Weiser, 1973). با توجه به عکس‌العمل متفاوت پرونانس‌ها به تنش سرما و عدم وجود مطالعه در زمینه مقاومت به سرمای این پرونانس‌ها، در این پژوهش تأثیر تنش سرما بر تغییرات فیزیولوژیکی سه پرونانس بنه در زاگرس جنوبی بررسی گردید تا مقاوم‌ترین پرونانس معرفی گردد.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه، جهت بررسی پاسخ‌های فیزیولوژیک نهال‌های یک‌ساله گونه بنه (*Pistacia atlantica*)، ابتدا بذور درختان بنه در پاییز ۱۳۹۱ از سه مبدأ بذر (پرونانس) مارگون و نورآباد در استان فارس و یاسوج در استان کهگیلویه و بویراحمد جمع‌آوری شد (جدول ۱). بعد از شکستن خواب بذور (قرارگیری در ماسه مرطوب در دمای ۴°C به مدت ۴ هفته)، بذرها در آذرماه در گلدان پلاستیکی کاشته شدند. خاک گلدان شامل خاک جنگلی منطقه و خاک‌برگ و ماسه به نسبت ۳ به ۱ بود. گلدان‌ها به مدت چهار ماه در فضای باز قرار گرفتند و پس از سبز

ساقه تفاوت بین تیمارهای دمایی معنی‌دار نبود. نرخ نشت الکترولیت برگ و ساقه نیز با افزایش دوره یخ‌زدگی افزایش معنی‌داری داشت و در هر تیمار اختلاف معنی‌داری با تیمار دیگر داشت و در سه گروه مجزا قرار گرفتند، به طوری که تیمار ۴ درجه کمترین و تیمار ۲۰- درجه دو ساعت بیشترین میزان نشت الکترولیت را نشان داد. همچنین نتایج آزمون مقایسه میانگین نیز نشان داد که محتوای نسبی آب ساقه و نرخ نشت الکترولیت برگ و ساقه در سازگاری دوم کمتر از سازگاری اول بود، اما در محتوای نسبی آب برگ تفاوت معنی‌داری بین دو دوره سازگاری مشاهده نشد (جدول ۶).

بررسی برهمکنش با توجه به جدول تجزیه واریانس نیز نشان داد که برهمکنش بین پروانانس و تیمار دمایی برای نرخ نشت الکترولیت ساقه معنی‌دار می‌باشد. همچنین برهمکنش پروانانس و سازگاری نیز برای محتوای نسبی آب ساقه معنی‌دار گردید (جدول ۳). براساس شکل (۱) افزایش نشت ساقه در هر سه پروانانس از تیمار ۴ درجه به ۲۰- درجه به مدت یک ساعت معنی‌دار نبود؛ اما تنها در پروانانس نورآباد، از تیمار ۲۰- درجه یک ساعت به دو ساعت افزایش معنی‌دار نرخ نشت الکترولیت ساقه مشاهده شد. همچنین محتوای نسبی آب ساقه در سازگاری اول به دوم در دو پروانانس مارگون و یاسوج کاهش معنی‌داری یافت، این در حالی بود که در پروانانس نورآباد تغییرات معنی‌دار مشاهده نگردید (شکل ۲).

کلروفیل و فلورسانس کلروفیل

نتایج تجزیه واریانس نشان داد سه پروانانس و دو مرحله سخت‌واره شدن از نظر عدد کلروفیل متر در سطح یک درصد اختلاف معنی‌دار دارند، در حالی که اثر متقابل آن‌ها اختلاف معنی‌دار نمی‌باشد (جدول ۷). مقایسه میانگین نشان داد که نورآباد کمترین محتوای کلروفیل را داراست و با دو پروانانس دیگر (مارگون و یاسوج) تفاوت معنی‌دار دارد در طی سخت‌واره شدن

نرخ نشت الکترولیت دو اندام برگ و ساقه و به صورت آزمایش فاکتوریل ۲×۳ (سه سطح پروانانس و دو سطح سخت‌واره شدن) برای کلروفیل و پارامترهای فلورسانس کلروفیل مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. در ابتدا تبعیت داده‌ها از توزیع نرمال به وسیله آزمون کولموگروف-اسمیرنوف (Kolmogorov-Smirnov) بررسی شد. برای مقایسه چندگانه میانگین‌ها از آزمون دانکن استفاده شد. همچنین مقایسات دوگانه با آزمون تی استیودنت با حدود اطمینان ۹۵ درصد انجام شد و برای بررسی پارامترهایی که دارای داده‌هایی با پراکنش غیرنرمال بودند از آزمون‌های ناپارامتری کروسکال والیس (Kruskal-Wallis) استفاده شد. کلیه آنالیزهای آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS19 انجام شد.

نتایج

نرخ نشت الکترولیت‌ها (EL) و محتوای نسبی آب (RWC):

نتایج تجزیه واریانس داد که سه پروانانس مورد مطالعه از نظر محتوای نسبی آب و نرخ نشت الکترولیت در دو اندام برگ و ساقه تفاوت معنی‌داری داشتند (جدول ۳). مقایسه میانگین نشان داد که محتوای نسبی آب و نرخ نشت الکترولیت ساقه پروانانس نورآباد بیشترین بود و پروانانس مارگون و یاسوج با هم تفاوت معنی‌دار نداشتند؛ اما برعکس محتوای نسبی آب برگ در پروانانس مارگون بیشترین میزان بود و دو پروانانس دیگر با هم تفاوت معنی‌دار نداشتند. همچنین نرخ نشت الکترولیت برگ سه گونه با هم متفاوت بوده و در سه گروه مجزا قرار گرفتند. بیشترین میزان نشت برگ در پروانانس نورآباد و کمترین میزان در پروانانس مارگون مشاهده شد (جدول ۴).

با توجه به جدول ۵ محتوای نسبی آب برگ با کاهش دما و افزایش زمان یخ‌زدگی، افزایش معنی‌داری یافت، به طوری که کمترین محتوای نسبی آب برگ مربوط به تیمار ۴ درجه بود که با دو تیمار دیگر اختلاف معنی‌داری داشت، اما در محتوای آب جدول ۱- مشخصات جغرافیایی و اقلیمی پروانانس‌ها

Table 1. Geographical and climatic characteristics of provenances

| ياسوج Yasouj | نورآباد Noorabad | مارگون Margoon | پروانس Provenance |
|-----------------|---------------------|-------------------|---|
| 51° 35' | 51° 32' | 51° 53' | طول جغرافیایی Longitude |
| 30° 40' | 30° 13' | 30° 34' | عرض جغرافیایی Latitude |
| 1832 | 900 | 2000 | ارتفاع از سطح دریا Altitude above sea level |
| 817.1 | 628.6 | 712.3 | میانگین بارندگی سالیانه (میلی‌متر) Average annual precipitation (mm) |
| 7.5 | 12.8 | 9.8 | میانگین حداقل دمای سالیانه (°C) Average annual minimum temperature |
| 22.6 | 29.5 | 20 | میانگین حداکثر دمای سالیانه (°C) Average annual maximum temperature |
| 15.1 | 21.1 | 14.9 | میانگین دمای سالیانه (°C) Average annual temperature |

جدول ۲- مؤلفه‌های متداول فلورسانس کلروفیل و معادلات مربوطه

Table 2. Chlorophyll fluorescence parameters and their equations

| مؤلفه Parameter | شناسه Symbol | معادله Equation |
|------------------------------------|---|--|
| Maximum quantum efficiency of PSII | ماکزیمم عملکرد فتوسینتیم II Fv/Fm | (Fm-Fo)/Fm |
| Maximum efficiency of PSII | عملکرد داخلی فتوسینتیم II در روشنایی Fv'/Fm' | (Fm'-Fo')/Fm' |
| Electron transport rate | سرعت انتقال الکترون ETR | $\Phi_{PSII} \times PPFD \times (0.5)$ |
| Photochemical quenching | کاهندگی فتوشیمیایی qp | (Fm'-Fs) / (Fm' - Fo) |
| Non-photochemical quenching | سرعت انتقال الکترون NPQ | Fm-Fm' / Fm' |

NPQ نیز تفاوت معنی‌داری را در دو مرحله سخت‌واره شدن نسبت به هم نشان دادند، به طوری که در مرحله سخت‌واره شدن دوم کمتر از سازگاری اول بودند (به ترتیب کاهش ۱۲٪، ۱۱٪، ۲۱٪ و ۳۱٪ در Fv/Fm، Fv'/Fm'، qp و ETR). بررسی برهمکنش با توجه به جدول تجزیه واریانس نیز نشان داد که برهمکنش بین پروانس و سازگاری برای Fv/Fm معنی‌دار می‌باشد، به طوری که میزان Fv/Fm در سخت‌واره شدن اول به دوم در پروانس نورآباد کاهش یافت اما در دو پروانس دیگر تغییر معنی‌داری نشان نداد (شکل ۳).

از مرحله اول به دوم نیز میزان کلروفیل کاهش معنی‌داری یافت (جداول ۸ و ۹). براساس جدول تجزیه واریانس (جدول ۷) سه پروانس تنها از نظر Fv/Fm و NPQ اختلاف معنی‌دار نشان دادند. همان‌طور که در جدول مقایسه میانگین مشاهده می‌شود باز هم پروانس نورآباد با دو پروانس دیگر اختلاف معنی‌دار داشت و پروانس‌های مارگون و یاسوج با یکدیگر تفاوت معنی‌دار نداشتند و کمترین میزان این دو پارامتر مربوط به پروانس نورآباد بود. همچنین کلیه پارامترهای فلورسانس کلروفیل به جز

جدول ۳- میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس اثر تنش یخ‌زدگی بر محتوای نسبی آب و نرخ نشت الکترولیت

همایونفر و همکاران: پاسخ‌های فیزیولوژیکی مرتبط با تنش سرما...

Table 3. Analysis of variance on relative water content and electrolyte leakage rate

| نرخ نشت الکترولیت ساقه Stem electrolyte leakage rate | نرخ نشت الکترولیت برگ Leaves electrolyte leakage rate (%) | محتوای نسبی آب ساقه Relative water content of Stem (%) | محتوای نسبی آب برگ Relative water content of leaves (%) | درجه آزادی Degree of freedom | منابع تغییرات Source of variations |
|---|--|---|--|---------------------------------|--|
| 1600.80 ** | 1436.85 | 1173.47** | 599.28** | 2 | پرونانس Provenance |
| 2226.11 | 3554.86** | 330.78 ^{ns} | 1139.08 | 2 | تیمار دمایی Cold treatment |
| 3532.18** | 3349.27** | 882.70** | 271.62 ^{ns} | 1 | سازگاری Cold acclimation |
| 246.68** | 102.97 ^{ns} | 183.66 ^{ns} | 114.21 ^{ns} | 4 | پرونانس × تیمار دمایی Provenance × Cold treatment |
| 71.57 ^{ns} | 42.31 ^{ns} | 473.84* | 128.77 ^{ns} | 2 | پرونانس × سازگاری Provenance & Cold acclimation |
| 214.62 ^{ns} | 53.07 ^{ns} | 77.19 ^{ns} | 258.02 ^{ns} | 2 | تیمار دمایی × سازگاری Cold × Cold treatment |
| 146.36 ^{ns} | 138.29 ^{ns} | 88.31 ^{ns} | 137.60 ^{ns} | 4 | پرونانس × تیمار دمایی × سازگاری Provenance × Treatment × Cold acclimation |
| 4905.73 | 4795.00 | 7844.14 | 5471.34 | - | خطای آزمایش Error |

** در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار، * در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار، ns معنی‌دار نیست.

** : Significant at 1% Probability level, * : Significant at 5% Probability level, ns: Non- significant.

جدول ۴-۴ - آزمون مقایسه میانگین در پارامترهای مورد بررسی در پروانسان‌های مختلف**Table 4.** Mean comparison of traits at different provenances

| نرخ نشت الکترولیت ساقه Stem electrolyte leakage rate (%) | نرخ نشت الکترولیت برگ Leaves electrolyte leakage rate (%) | محتوای نسبی آب ساقه Relative water content of stem (%) | محتوای نسبی آب برگ Relative water content of leaves (%) | پرونانس Provenance |
|---|--|---|--|-----------------------|
| 38.24±1.77b | 49.38±2.67c | 68.13±2.23b | 86.53±1.89 a | Margoon |
| 52.23±3.20a | 63.21±2.85a | 79.50±1.59a | 79.6±2.45b | Noorabad |
| 40.85±3.38b | 55.70±3.44b | 69.61±2.94b | 77.95±1.85b | Yasouj |

حروف یکسان در هر ستون نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین پروانسان‌ها می‌باشد. اعداد پس از ± اشتباه معیار می‌باشند.

The same letters in each column indicate no significant difference between the provenances. numbers after the ± are the standard error.

جدول ۵- مقایسه میانگین پارامترهای مورد بررسی در تیمارهای دمایی مختلف

Table 5. Mean comparisons of traits at different cold treatments

| پارامتر Parameter | | | | |
|--|---|--|---|--------------------------------------|
| نرخ نشت الکترولیت ساقه (درصد) Stem electrolyte leakage rate (%) | نرخ نشت الکترولیت برگ (درصد) Leaves electrolyte leakage rate (%) | محتوای نسبی آب ساقه (درصد) Relative water content of stem (%) | محتوای نسبی آب برگ (درصد) Relative water content of leaves (%) | تیمار دمایی Cold treatment |
| 35.97±1.91c | 43.12±1.97c | 69.34±1.90a | 73.71±2.48b | ۴ درجه سانتی‌گراد 4°C |
| 43.44±2.04b | 59.62±2.74b | 73.91±1.90a | 84.08±1.38a | ۲۰-درجه (یک ساعت) -20°C (1 hour) |
| 54.21±3.61a | 65.73±2.84a | 74.28±2.39a | 86.28±2.09a | ۲۰-درجه (دو ساعت) -20°C (2 hours) |

حروف یکسان در هر ستون نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین تیمارهای مختلف می‌باشد.

The same letters in each column indicate no significant difference between different treatments. numbers after the ± are the standard error.

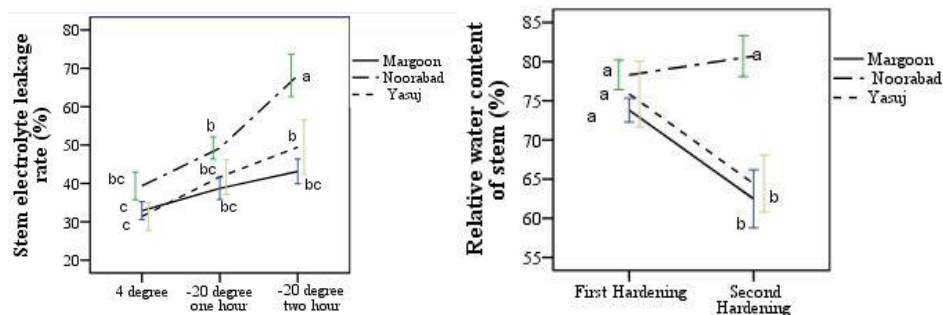
جدول ۶- نتایج مقایسه میانگین پارامترهای مورد بررسی در دو مرحله سازگاری

Table 6. Mean comparisons of traits at different cold acclimation

| نرخ نشت الکترولیت ساقه Stem electrolyte leakage rate (%) | نرخ نشت الکترولیت برگ Leaves electrolyte leakage rate (%) | محتوای نسبی آب ساقه Relative water content of stem (%) | محتوای نسبی آب برگ Relative water content of leaves (%) | سازگاری Cold acclimation |
|---|--|---|--|--|
| 50.88±2.54a | 63.10±2.46a | 76.00±1.42a | 83.85±1.95a | سازگاری اول First Cold acclimation |
| 37.57±1.90b | 49.22±2.18b | 69.42±2.27b | 79.46±1.61a | سازگاری دوم Second Cold acclimation |

حروف یکسان در هر ستون نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین سازگاری‌ها می‌باشد. اعداد پس از ± اشتباه معیار می‌باشند.

The same letters in each column indicate no significant difference between the cold acclimation. numbers after the ± are the standard error.



شکل ۱- برهمکنش پروانسی و تیمار دمایی برای نرخ نشت الکترولیت ساقه

شکل ۲- برهمکنش پروانسی و سازگاری برای محتوای نسبی آب ساقه

Figure 1. The interaction of provenance and cold treatment for the relative water content of stem

Figure 2. The interaction of provenance and cold acclimation for stem electrolyte leakage rate.

جدول ۷- تجزیه واریانس برای مؤلفه‌های فلورسانس و کلروفیل پروانسان‌های مختلف بنه در دو مرحله سازگاری

Table 7. Analysis of variance for chlorophyll fluorescence of *Pistacia atlantica* from different provenances in two stages of cold acclimation

| NPQ | ETR | pq | Fv'/Fm' | Fv/Fm | عدد کلروفیل (SPAD) | درجه آزادی (df) | منابع تغییرات Source of variations |
|--------------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------|---------------------|-----------------|---|
| 1.39** | 598.9 ^{ns} | 0.008 ^{ns} | 0.013 ^{ns} | 0.87** | 659.03** | 2 | پروانسان Provenance |
| 0.32 ^{ns} | 113302.5** | 0.435** | 0.141** | 0.212** | 673.52 | 1 | سازگاری Cold acclimation |
| 0.01 ^{ns} | 7173.3 ^{ns} | 0.044 ^{ns} | 0.018 ^{ns} | 0.058** | 67.67 ^{ns} | 2 | پروانسان × سازگاری Provenance × Cold acclimation |
| 17.66 | 779550.77 | 5.79 | 1.703 | 1.005 | 6839.24 | 103 | خطای آزمایش Error |

** در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار، * در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار، ns معنی‌دار نیست.

** : Significant at 1% Probability level, * : Significant at 5% Probability level, ns: Non- significant.

جدول ۸- مقایسه میانگین پارامترهای فلورسانس کلروفیل نهال‌ها در دو سازگاری

Table 8. Mean comparison of fluorescence parameters of chlorophyll seedlings in two cold acclimation

| NPQ | ETR | Pq | Fv'/Fm' | Fv/Fm | عدد کلروفیل (SPAD) | سازگاری Cold acclimation |
|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------------|--|
| 0.64±0.04a | 216.9±9.9a | 0.63±0.025a | 0.66±0.01a | 0.83±0.002a | 41.84±1.28a | سازگاری اول First cold acclimation |
| 0.52±0.05b | 149.4±10.2b | 0.50±0.029b | 0.59±0.018b | 0.73±0.017b | 38.59±1.51b | سازگاری دوم Second cold acclimation |

حروف یکسان در هر ستون نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین سازگاری‌های مختلف می‌باشد. اعداد پس از ± اشتباه معیار می‌باشند

The same letters in each column indicate no significant difference between the Cold acclimation stages. Numbers after the ± are the standard error.

جدول ۹- میانگین مؤلفه‌های فلورسانس کلروفیل و عدد کلروفیل متر در پروانسان‌ها

Table 9. Means of chlorophyll fluorescence attributes and SPAD value in *Pistacia* provenance

| NPQ | ETR | Pq | Fv'/Fm' | Fv/Fm | عدد کلروفیل (SPAD) | پروانسان Provenance |
|------------|--------------|-------------|------------|-------------|--------------------|------------------------|
| 0.67±0.06a | 186.7±13.2a | 0.565±0.03a | 0.65±0.01a | 0.82±0.006a | 43.33±1.70a | Margoon |
| 0.42±0.03b | 183.6±13.01a | 0.566±0.03a | 0.62±0.01a | 0.74±0.01b | 37.99±1.48b | Noorabad |
| 0.77±0.09a | 178.7±11.9a | 0.59±0.03a | 0.61±0.02a | 0.80±0.008a | 44.07±1.44a | Yasouj |

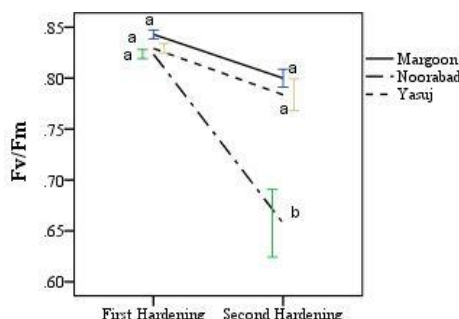
حروف یکسان در هر ستون نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین پروانسان‌ها می‌باشد. اعداد پس از ± اشتباه معیار می‌باشند.

The same letters in each column indicate no significant difference between the Provenances. numbers after the ± are the Standard error.

جدول ۱۰- مقایسه میانگین (آزمون کروستال‌والیس) پارامترهای فلورسانس کلروفیل در پروانسه‌های مختلف

Table 10. Mean comparison (Kruskalvolis test) of fluorescence parameters of chlorophyll at different provenances

| Chi ² | Provenance | | | ویژگی‌ها Traits | |
|------------------|-------------------------------------|-----------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| | سطح معنی‌داری Significance level | ياسوج Yasouj | نورآباد Noorabad | | مارگون Margoona |
| 62.43 | 0.000 | 0.80±0.008a | 0.74±0.01b | 0.82±0.006a | Fv/Fm |
| 12.88 | 0.025 | 0.61±0.02a | 0.62±0.01a | 0.65±0.01a | Fv'/Fm' |
| 12.27 | 0.031 | 0.59±0.03a | 0.566±0.03a | 0.565±0.03a | Pq |
| 20.50 | 0.001 | 178.7±11.9a | 183.6±13.01a | 186.7±13.2a | ETR |
| 20.94 | 0.001 | 0.77±0.09a | 0.42±0.03b | 0.67±0.06a | NPQ |



شکل ۳- برهمکنش پروانسه و سازگاری برای ماکزیمم عملکرد فتوسیسستم II (Fv/Fm)

Figure 3. The interaction of provenance and the cold acclimation for Maximum quantum efficiency of PSII (Fv/Fm)

پروانسه نورآباد می‌تواند باعث حساسیت بیشتر این پروانسه شود هرچند که محتوای بالای آب در برگ مارگون نیز می‌تواند دلیل حساسیت برگ این پروانسه به سرما باشد اما از آنجا که ساقه در تمام مراحل رشد نهال حضور دارد و اندام ماندگار نهال محسوب می‌شود، کاهش محتوای آب برگ نورآباد نمی‌تواند به مقاومت این پروانسه کمک کند. همچنین میزان آب بافت در طی سخت‌واره شدن به سرما کاهش می‌یابد و این کاهش سبب افزایش تحمل به انجماد می‌شود (Worland, 1996) که در این مطالعه کاهش محتوای آب ساقه در طی سازگاری دوم در پروانسه‌های مارگون و یاسوج توانست به مقاومت آن‌ها در برابر دمای پایین کمک نماید.

نتایج آزمون نشت الکترولیت که به‌عنوان شاخص مناسبی برای بررسی تغییرات غشای سلولی و تخمین

بحث

تفاوت در محتوای نسبی آب می‌تواند منجر به عملکرد متفاوت گونه‌ها در شرایط تنش و پس از آن شود (لویت، ۱۹۸۰). پایین بودن مقدار آب احتمال تشکیل یخ و خسارت حاصل از آن را کاهش می‌دهد (Levitt, 1980). با توجه به این مطلب که وضعیت آب اثر غیرمستقیمی در تحمل به سرما دارد و با افزایش مقاومت به سرما معمولاً محتوای آب کاهش می‌یابد (Omayma, 2014). همچنین از آنجا که کاهش مقدار آب منجر به کاهش توسعه سلولی نیز می‌گردد، گیاهان تا حدی قادر به کاهش آب بافت‌های خود جهت مقابله با سرما می‌باشند (سی و سه مرده، ۱۳۹۳) و اینکه مقاومت به یخ‌زدگی در اندام‌های مختلف گیاه متفاوت است (Almedia et al., 1994). در مطالعه حاضر بالابودن محتوای آب در ساقه

فلورسانس کلروفیل نیز آزمونی سریع، قابل اعتماد، حساس، غیر مخرب است (Bolhar-Nordenkampf *et al.*, 1989) که تکرارپذیری، سهولت انجام و فراهم آوردن امکان تعیین آسیب ثانویه نهال سبب شده که به‌منظور رتبه‌بندی گونه‌ها و واریته‌ها از نظر تحمل به یخ‌زدگی استفاده شود (Sundbom *et al.*, 1982).

بالا‌تر بودن Fv/Fm و NPQ در پروونانس‌های یاسوج و مارگون نسبت به نورآباد، بیانگر توانایی این پروونانس‌ها در دفع تنش و مقاومت به سرما است (Maxwell & Johnson, 2000). همچنین کاهش پارامترهای فلورسانس کلروفیل طی سازگاری نشان‌دهنده اختلال در عملکرد فتوسنتز می‌باشد (Adams *et al.*, 1990). Mishra و همکاران (۲۰۱۴) در تحقیق بر روی گیاهان سازگار شده (۲ هفته در دمای ۴ و ۸ ساعت در دمای ۴- و تاریکی) و غیرسازگار (۲ هفته در دمای اتاق) تراریخته *thaliana accessions* نشان دادند که مقادیر Fv/Fm کاهش‌یافته که این کاهش در گیاهان سازگار شده کمتر بود. بررسی آراندا و همکاران (۲۰۰۰) در گونه *Quercus suber L.* نشان داد جمعیت‌هایی که در اقلیم گرم‌تر بودند میزان Fv/Fm در آن‌ها بیشتر کاهش یافت و بیشترین حساسیت به تنش سرما را نشان دادند (Aranda *et al.*, 2005). همچنین اثر متقابل این متغیر Fv/Fm نیز معنی‌دار بود (جدول ۷). از میان پروونانس‌های مورد آزمایش، پروونانس نورآباد کمترین مقدار را در مرحله سازگاری دوم نشان داد و تفاوت معنی‌دار با دو پروونانس دیگر داشت. همچنین از آنجا که مقادیر کمتر از ۰/۸۳ نشان‌دهنده در معرض تنش بودن گیاه می‌باشد (سیدی و همکاران، ۱۳۹۱) در نتیجه فرآیندهای کاهشی و خسارت نوری به مراکز فتوسیستم II باعث کاهش کارایی کوانتومی فتوسیستم II در این پروونانس شدند.

نتیجه‌گیری

پروونانس نورآباد به دلیل فرارگیری در ارتفاع و عرض جغرافیایی پایین‌تر که باعث تأخیر در زمان

آسیب بافتی کاربرد دارد (Omayma, 2014) نیز مؤید نتایج فوق است. افزایش معنی‌دار نرخ نشت برگ و ساقه پروونانس نورآباد، با افزایش دوره یخ‌زدگی نشان‌دهنده عدم پایداری غشاء سیتوپلاسمی و حساسیت به تنش سرما می‌باشد. بر این اساس نشت الکترولیت کمتر در پروونانس مارگون از تحمل نسبی بیشتری نسبت به تنش یخ‌زدگی برخوردار است. نتایج بررسی Guardia و همکاران (۲۰۱۰) روی گردو نشان داد که در شرایط تنش سرما نشت الکترولیت افزایش معنی‌دار داشت و پروونانس‌هایی که از حساسیت بیشتری به سرما برخوردار بودند، تراوش یونی آن‌ها نیز بیشتر بوده و خسارت بیشتری دیدند. از مهم‌ترین دلایل کاهش درصد بقا تحت تنش یخ‌زدگی را می‌توان به نشت الکترولیت‌ها، تخریب سلول‌های پارانشیمی (Malone & Ashworth, 1991) و افزایش رادیکال‌های آزاد اکسیژن (Inze & VanMontagu, 1995) نسبت داد.

Mohan و همکاران (۲۰۰۰) بیان کردند که پایداری کلروفیل، شاخصی از مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی است. در تحقیق حاضر پروونانس نورآباد کمترین محتوای کلروفیل را نسبت به دو پروونانس دیگر داشت و بنابراین می‌توان گفت که این پروونانس نسبت به دو پروونانس دیگر به سرما حساس‌تر است. همچنین توانایی حفظ کلروفیل توسط دو پروونانس دیگر تحت تنش می‌تواند سبب بهبود وضعیت رویش گیاه شود (Togun, 2014).

همچنین اعمال سازگاری نتوانسته مکانیسم لازم برای حفظ کلروفیل برگ در پروونانس‌ها را فراهم کند. درواقع کاهش مقدار کلروفیل برگ می‌تواند در نتیجه خسارت به غشاء کلروپلاست یا نقص در سنتز کلروفیل و مهار تشکیل کلروپلاست در برگ، طی تنش سرما باشد (Sharma *et al.*, 2005). کاهش محتوای کلروفیل در اثر سرما در رقم‌های *Capsicum annuum L.* (Esra *et al.*, 2010)، ژنوتیپ‌های *Brassica napus L.* (نظامی و همکاران، ۱۳۸۸) نشان داده شده است که با تحقیق حاضر همخوانی دارد.

دادند و در نهایت نتایج این تحقیق نشان داد که با اندازه‌گیری پارامترهای فیزیولوژیک مثل نرخ نشت الکترولیت و عملکرد فتوسیستم می‌توان پرواناس یا پایه‌های مقاوم به سرما را شناسایی نمود.

توقف رشد می‌گردد باعث می‌شود تا به‌طور ژنتیکی مقاومت به سرما در آن‌ها دیرتر اتفاق بیفتد؛ اما پرواناس مارگون و یاسوج که در ارتفاع بالا واقع شده‌اند و بیشتر در معرض آب و هوای سردتر قرار داشتند، در مواجهه با سرما از خودسازی نشان

منابع

- سی و سه مرده، ع.، فاتح ح. و بدخشان، ه. ۱۳۹۳. واکنش سرعت فتوسنتز، پایداری غشاء و فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانت به تنش خشکی و کود ازته در دو رقم جو (*Hordeum vulgare*) تحت شرایط کنترل شده. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران، ۱۲(۲): ۲۱۵-۲۲۷.
- سیدی، ن.، علیجانپور، ا. زرگران، م.ر. و بانج‌شفیعی، ع. ۱۳۹۱. تأثیر تنش‌های محیطی برفلورسانس کلروفیل. اولین کنفرانس ملی راهکارهای دستیابی به توسعه پایدار (کشاورزی، منابع طبیعی و محیط زیست)، تهران. ۷-۱ ص.
- نظامی، ا.، برزویی، ا.، جهانی، م.، عزیزی، م. و موسوی م.ج. ۱۳۸۸. ارزیابی تحمل به یخ‌زدگی ارقام کلزا پس از خوسرمائی در شرایط کنترل شده. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران، ۷(۲): ۷۱۱-۷۲۲.
- Adams, W.W., Demmig-Adams, B., Winter, K. & Schreiber, U. 1990. The ratio of variable to maximum chlorophyll fluorescence from photosystem II, measured in leaves at ambient temperature and at 77K, as an indicator of the photon yield of photosynthesis. *Planta*, 180(2): 166-174.
- Almeida, M.H., Chaves, M.M. & Silva, J.C. 1994. Cold acclimation in eucalypt hybrids. *Tree Physiology*, 14(7-8-9): 921-932.
- Aranda, I., L. Castro, R. Alia, J.A. Pardos & L. Gil. 2005. Low temperature during winter elicits differential responses among populations of the Mediterranean evergreen cork oak (*Quercus suber*). *Tree Physiology*, 25(8): 1085-1090.
- Bolhar-Nordenkamp, H.R., Long, S.P., Baker, N.R., Oquist, G., Schreiber, U. L. & Lechner, E.G. 1989. Chlorophyll fluorescence as a probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrumentation. *Functional Ecology*, 497-514.
- Chawade, A. 2011. Unravelling the complexity of cold acclimation in plants. Department of Cell and Molecular Biology, Goteborg University, Box 462, SE-405 30 Goteborg, Sweden.
- Esra, K.O.C., Islek, C. & Ustun, A.S. 2010. Effect of cold on protein, proline, phenolic compounds and chlorophyll content of two pepper (*Capsicum annum* L.) varieties. *Gazi University Journal of Science*, 23(1): 1-6.
- Gomory, D., Foffová, E., Kmet', J., Longauer, R. & Romšáková, I. (2010). Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) provenance variation in autumn cold hardiness: adaptation or acclimation?. *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica*, 52(2): 42-49.
- Guardia, M., Díaz, R., Savé, R. & Aletà, N.. 2010. Cold resistance evaluation in different species and provenances of *Juglans* sp. *Research & Technology Food & Agriculture (IRTA)*.
- Huebert, C.A. and H.B. Envs. 2004. The ecological and conservation genetics of gray oak (*Quercus garryana* Dougl. ex Hook). M.Sc. Thesis., University of british Columbia, Vancouver.
- Inze, D. & VanMontagu, M. 1995. Oxidative stress in plants. *Current Opinion in Biotechnology*, 6(2): 153-158.

- Janska, A., Maršík, P., Zelenková, S., & Ovesná, J. 2010. Cold stress and acclimation—what is important for metabolic adjustment?. *Plant Biology*, 12(3): 395-405.
- Jiang, X., Song, Y., Xi, X., Guo, B., Ma, K., Wang, Z., ... & Zhang, Z. 2011. Physiological and biochemical responses to low temperature stress in hybrid clones of *Populus ussuriensis* Kom. × *P. deltoides* Bartr. *African Journal of Biotechnology*, 10(82): 19011-19024.
- Kontinen, K., Luoranen, J.A. & Rikala, R. 2007. Growth and frost hardening of *Picea abies* seedlings after various night length treatments. *Baltic Forestry*, 13(2): 140-148.
- Levitt, J.J. 1980. Responses of plants to environmental stresses, Radiation, salt and other stresses. 2nd edition Academic press Inc. London, United Kingdom, 488p.
- Li, C., T. Puhakainen, A. Welling, A. Vihera-Aarnio, A. Ernsten, O. Junttila, P. Heino and E.T. Palva. 2002. Cold acclimation in silver birch (*Betula pendula*). Development of freezing tolerance in different tissues and climatic ecotypes. *Physiologia Plantarum*, 116(4): 478-488.
- Malone, S.R. & Ashworth, E.N. 1991. Freezing stress response in woody tissues observed using low-temperature scanning electron microscopy and freeze substitution techniques. *Plant Physiology*, 95(3): 871-881.
- Mancuso, S. 2000. Electrical resistance changes during exposure to low temperature measure chilling and freezing tolerance in olive tree (*Olea europaea* L.) plants. *Plant, Cell and Environment*, 23(3): 291-299.
- Maxwell, K. & Johnson, G.N. 2000. Chlorophyll fluorescence - a practical guide. *Journal of experimental Botany*, 51(345): 659-668.
- Metcalf, E.L., Cress, C.E. Plien, R.C. & Everson, E.H. 1970. Relationship between crown moisture content and killing temperature for three wheat and three barley cultivars. *Crop Science*, 10(4): 362-365.
- Mishra, A., Heyer, A.G. & Mishra, K.B. 2014. Chlorophyll fluorescence emission can screen cold tolerance of cold acclimated *Arabidopsis thaliana* accessions. *Plant Methods*, 10(1): 38.
- Miura, K. & Furumoto, T. 2013. Cold signaling and cold response in plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 14(3): 5312-5337.
- Mohan, M.M., S.L. Narayanan and S.M. Ibrahim. 2000. Chlorophyll stability index (CSI): its impact on salt tolerance in rice. *International Rice Research Notes*, 25(2): 38-39.
- Omayma, M.I. 2014. Use of Electrical Conductivity as a Tool for Determining Damage Index of Some Mango Cultivars. *International Journal of Plant and Soil Science*, 3(5): 448-456.
- Quellet, F. & Charron, J.B. 2013. Cold acclimation and freezing tolerance in plants. *Encyclopedia of Life Sciences*, 1-6.
- Rose, R. & Haase, D. 2002. Chlorophyll fluorescence and variations in tissue cold hardiness in response to freezing stress in Douglas-fir seedlings. *New Forests*, 23(2): 81-96.
- Sakai, A. & C.J. Weiser. 1973. Freezing resistance of trees in north America with reference to tree regions. *Ecology*, 54(1): 118-126.
- Schutzki, R.E & Cregg, B. 2007. Abiotic plant disorders: Symptoms, signs and solutions: A diagnostic guide to problem solving. Michigan State University Extension.
- Sharma, P., Sharma, N. & Deswal R. 2005. The molecular biology of the low temperature response in plants. *Bioessays*, 27(10): 1048-1059.
- Smilberg, M.H. & C.J. Weiser. 1968. Patterns of variation among climatic races of red osier dogwood. *Ecology*, 49: 495-504.

- Sundbom, E., Strand, M. & Hallgren, J.E. 1982. Temperature-induced fluorescence changes- a screening method for frost tolerance of potato (*Solanum* sp.). *Plant Physiol*, 70: 1299-1302.
- Togun, A.O., Akparobi, S.O. & Ekanayake, I.J. 2004. Field studies on chlorophyll a fluorescence for low temperature tolerance testing of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Journal of Food Agriculture and Environment*, 2(1): 166-170.
- Warrington, I.J. & Rook, D.A. 1980. Evaluation of techniques used in determining frost tolerance of forest planting stock: a review. *New Zealand Journal of Forestry*, 10: 116-132.
- Worland, M.R. 1996. The relationship between water content and cold tolerance in the Arctic collembolan *Onychiurus arcticus* (Collembola: Onychiuridae). *European Journal of Entomology*, 93(1): 341-348.
- Yuanyuan, M., Yali, Z. Jiang, L. & Hongbo, S. 2009. Roles of plant soluble sugars and their responses to plant cold stress. *African Journal of Biotechnology*, 8(10): 2004-2010.

Physiological Responses to Cold Stress in Different Provenances of *Pistacia atlantica* Seedlings

Somayeh Homayounfar ¹, Roghaiyeh Zolfaghari ^{2,*}, Payam Fayyaz ²

¹ MSc Student, Department of Forestry, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasuj, Iran

² Associate Professor, Department of Forestry, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasuj, Iran

*Corresponding author, E-mail address: zolfaghari@yu.ac.ir

Received: 01.11.2016

Accepted: 08.02.2017

Abstract

Background and objectives: Plant species with wide geographic ranges, exhibit high tolerance to cold stress. Trees in temperate regions must cope with freezing temperatures, especially in late autumn and winter. One of the mechanisms to tolerate cold stress is through decreasing photoperiod and temperature during acclimation. In addition, provenance of a species could be one of the main factors contributing to cold resistance. Therefore, in the present study, the effect of cold stress on physiological responses of *Pistacia atlantica* seedlings from three provenances was investigated in southern Zagros to select the most cold-resistant provenance.

Material and methods: Seeds of three provenances, namely Margon, Noor Abad and Yasuj, from southern Zagros, were collected and planted in pots. After germination of seeds, induction of acclimation was carried out at two stages for four weeks. This was accomplished through the simulation of temperature and photoperiod of Yasuj region from September to November. Following that, the indexes of photosystem efficiency and chlorophyll content were measured. After each acclimation stage, leaves and stems of seedlings were exposed to three levels of temperature, +4°C (control), -20°C for one hour, and -20 for two hours. Then, relative water content (RWC) and electrolyte leakage (EL) of stems and leaves were measured. This study was conducted as a factorial with three factors of provenance (three levels), cold treatments (three levels) and acclimation (two levels), adopting a completely random design.

Results: The results showed that EL increased with decreases in temperature and this increase was the highest in the case of the Noor Abad provenance. In addition, the stem RWC of Yasuj and Margoon provenances decreased in the second cold acclimation stage. Chlorophyll content, photosystem efficiency and electron transport rate were lower in Noor Abad provenance, compared with other two provenances. Moreover, except the electron transport rate, all fluorescence parameters significantly decreased during the cold acclimation.

Conclusion: The results showed that measuring EL and fluorescence parameters could be a useful indicator for identifying cold-tolerant provenances. The seedlings of Noor Abad provenance exhibited the least and Margoon provenance showed the highest resistance to cold stress. This could be due to high altitude and cold climate of Margoon provenance.

Keywords: *Pistacia atlantica*, Fluorescence Chlorophyll parameters, Provenance, Acclimation

Translated references

- Nezami, A., Borzooei, A., Jahani, M., Azizi, M. Mosavi, M.J. 2009. Evaluation of freezing tolerance in rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars acclimated under controlled conditions. Iranian Journal of Agricultural Research: 7 (2): 711-722. (In Persian with English Abstract).
- Seyedi, N., Alijanpur, A., Zargaran, M.A. & Banjshafiei, A. 2012. Effect of environmental stresses on chlorophyll fluorescence. The First National Conference on Policies toward Sustainable Development (Agriculture, Natural Resources and Environment), Tehran. (In Persian with English Abstract).
- Siosemardeh, A., Fateh, H. & Badakhshan, H. 2014. Response of photosynthetic rate, membrane stability and antioxidant enzymes activity to drought stress and nitrogen fertilizer in two barley varieties (*Hordeum vulgare*) under controlled conditions. Iranian Journal of Agricultural Research, 12(2): 215-227. (In Persian with English Abstract).