Archive of SID

تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد دهم، شماره سوم، پائیز ۱۳۹۶
۴۷۵-۴۹۰
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2017.616

بررسی تحمل به سرما در ارقام مختلف چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) در مرحله گیاهچه‌ای

مهدی جلیلیان[۱]، مسعود دهداری[۲*]، رضا امیری فهلیانی[۳]، محسن موحدی دهنوی[۲]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج.
۲. دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج.
۳. استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج.

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۰/۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۳/۱۱

چکیده

یکی از فاکتورهای غیرزنده مهم محدودکننده رشد به‌ویژه در مراحل اولیه استقرار گیاهان تنش دمای پایین است. مشخص‌شده که چغندرقند نیز در طول دوره رشد خود به‌خصوص مراحل اولیه با تنش دمای پایین مواجه و دچار خسارت می‌شود. به‌منظور بررسی تحمل به سرما در تعدادی از ارقام مورد کشت چغندرقند، پژوهشی در دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ انجام شد. گیاهچه‌های ۱۰ رقم چغندرقند (کرجی، SBSI-005، شیرین، راستاد، آناکوندا، دروتی، مراک، آنتیک، زرقان و پرشیا) در مرحله‌ی ۲ تا ۳ برگی در معرض چهار سطح دمایی شامل ۰، ۵، ۱۰ و ۲۵ (شاهد) درجه سلسیوس قرار گرفتند. آزمایش در هر سطح دمایی به‌صورت طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. برای اعمال تنش سرما گلدان‌ها درون اتاقک رشد با دمای موردنظر قرار گرفتند. صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک شامل ارتفاع اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی وزن خشک ریشه و ساقه، نشت الکترولیت، میزان سبزینگی (عدد کلروفیل‌متر)، پرولین، قندهای محلول کل و فلورسانس کلروفیل اندازه‌گیری شدند. نتایج تجزیه مرکب نشان داد که اثر دما، رقم و برهمکنش آن‌ها برای تمامی صفات معنی‌دار بود. میانگین صفات وزن خشک اندام هوایی و وزن خشک ریشه در شرایط تنش صفر درجه سلسیوس به ترتیب کاهش ۶۸ و ۷۷ درصدی نسبت به حالت عدم تنش نشان دادند؛ اما میانگین نشت الکترولیت، قندهای محلول کل و پرولین در سطح تنش (صفر درجه سلسیوس) نسبت به عدم تنش به ترتیب ۲۵، ۷۱ و ۹۰/۵ درصد افزایش یافتند. بیشترین همبستگی ژنوتیپی در شرایط عدم تنش سرما (۲۵ درجه سلسیوس) بین ارتفاع اندام هوایی و قندهای محلول کل (۰/۶۷-) و در شرایط تنش سرما (صفر درجه سلسیوس) بین وزن تر ریشه و وزن خشک اندام هوایی (۰/۴۳-) بود. تجزیه به عامل‌ها در شرایط تنش سرما (صفر درجه سلسیوس)، ۴ عامل را شناسایی کرد که درمجموع ۷۱/۷ درصد از تغییرات کل را توجیه نمودند. سه عامل اول مرتبط با تحمل به سرما بودند. گروه‌بندی ارقام با استفاده از نمودار سه‌بعدی حاصل از امتیاز سه عامل اول مراک و آنتیک را که ازنظر سه عامل اول بالاترین امتیازها داشتند به‌عنوان متحمل‌ترین در شرایط تنش سرما معرفی نمود. دروتی و آناکوندا نیمه متحمل و سایر ژنوتیپ‌ها حساس به سرما بودند. درمجموع نتایج حاکی از وجود تنوع بین ژنوتیپ‌ها ازنظر تحمل به سرما و پاسخ متفاوت آن‌ها به دمای پایین بود. بعلاوه در این مطالعه ویژگی‌های میزان پرولین، کارایی فتوسیستم II و وزن خشک ریشه نقش کلیدی در تفکیک ارقام ازنظر تحمل به سرما داشتند به‌گونه‌ای که ارقام متحمل دارای مقادیر بالاتری از این صفات در مقایسه با ارقام حساس در شرایط تنش سرما بودند.

واژه‌های کلیدی: **تجزیه به عامل‌ها، شاخص تحمل به تنش، صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک، همبستگی ژنوتیپی**

مقدمه

از اوایل قرن نوزدهم به دلیل نقش حیاتی چغندرقند در تأمین بخشی از نیازهای غذایی بشر، توجه ویژه‌ای به کاشت این گیاه معطوف شده است. محصول اصلی چغندرقند شکر است که بخش مهمی از انرژی موردنیاز بدن انسان را تأمین می‌کند (Mohamadi Goltapeh et al., 2000). دمای پایین یکی از فاکتورهای غیرزنده مهم محدودکننده‌ی رشد،

* نگارنده پاسخگو: مسعود دهداری. پست الکترونیک: adehdari@yu.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

تولید و پراکنش گیاهان محسوب می‌شود. اکثر گیاهان حتی در محدوده‌ی عادات رشدی طبیعی خود در معرض تغییرات دمایی، شامل تغییرات فصلی و دوره‌ای قرار می‌گیرند که ممکن است تنفس، فتوسنتز و رشد آن‌ها را محدود کند (Emam and Saghatoleslami, 2006). دمای پایین فعالیت بیوسنتزی گیاه را کاهش می‌دهد، از عملکرد طبیعی فرآیندهای فیزیولوژیکی جلوگیری می‌کند و ممکن است سبب آسیب‌های دائمی شود که درنهایت به مرگ گیاه می‌انجامد (Blum, 1988). تاریخ کاشت چغندرقند در مناطق معتدله و سرد، به‌گونه‌ای تنظیم می‌گردد که خطر سرما و یخبندان مرتفع شده باشد، اما درعین‌حال امکان مصادف شدن با تنش دمای پایین هنوز وجود دارد (Kocheki and Soltani, 1997).

گزارش‌شده که غشای پلاسمایی اولین بخشی است که هنگام تنش یخزدگی خسارت می‌بیند و در طی تطابق گیاه به سرما (چه در شرایط طبیعی و یا مصنوعی)، تغییرات ساختاری در آن روی می‌دهد (Uemura et al., 2006). ازاین‌رو محققان اظهار داشته‌اند که تداوم انسجام غشاء پلاسما، عامل اصلی بقای گیاه در شرایط تنش یخزدگی است و هرگونه اختلال در ساختار غشاء سبب بروز خسارت و حتی مرگ گیاه می‌شود (Steponkus et al., 1993). حاج محمدنیا قالی‌باف و همکاران (Hajmohamadnia Ghalibaf et al., 2010) در بررسی ارقام مختلف چغندرقند به این نتیجه رسیدند که کاهش دما تأثیر معنی‌داری بر روی درصد نشت الکترولیت‌های برگ ارقام چغندرقند داشته و با کاهش دما میزان نشت الکترولیت افزایش می‌یابد. تلاش‌هایی برای تقویت مقاومت به سرما در گیاهان زراعی مهم صورت گرفته است. یکی از مهم‌ترین مشخصات گیاهان در شرایط تنش سرما، افزایش تجمع کربوهیدرات‌ها است که با بالا بردن غلظت درون‌سلولی مانع از دست رفتن آب سلولی، آن در اثر سرما می‌شوند (Galiba, 1994).

کلروفیل برگ یکی از مهم‌ترین شاخص‌های نشان دهنده‌ی فشارهای محیطی وارده بر گیاه بوده و مقدار کلروفیل در گیاهان تحت تنش سرما کاهش‌یافته و باعث تغییر در نسبت جذب نور و درنتیجه کاهش کل جذب نور توسط گیاه می‌شود (Kaya et al., 2001). اختلال در کلروفیل و آسیب به کلروپلاست از مهم‌ترین آسیب‌های تنش دمایی پایین است. نظامی و همکاران (Nezami et al., 2010) نشان دادند که در چغندرقند با کاهش دما و رفتن به سمت یخزدگی میزان کلروفیل و عدد کلروفیل‌متر کاهش می‌یابد. دمای پایین با تأثیر بر بخش‌های مختلف سیستم فتوسنتزی، ازجمله تنظیم قطر منافذ روزنه‌ها سنتز رنگیزه‌های فتوسنتزی و فعالیت فتوسیستم‌های I و II، تثبیت دی‌اکسید کربن را با مشکل مواجه ساخته و فعالیت‌های فتوسنتزی را کاهش می‌دهد. شرقی و همکاران (Sharghi et al., 2014) نشان دادند که در چغندرقند با کاهش دما به ۲ درجه سانتی‌گراد مقدار F_0 (حداقل فلورسانس) افزایش و مقدار F_m (حداکثر فلورسانس) و F_v/F_m (کارایی فتوسیستم II) هر دو تحت تنش سرما کاهش پیدا کرد. افزایش پرولین از مکانیسم‌های دفاعی گیاه در مواجهه با تنش‌های اسمزی از قبیل خشکی، شوری و سرما است (Jenabiyan et al., 2013). زینال یادگاری و همکاران(Zeinali Yadegari, et al., 2010 در گیاه سویا (*Glycine max* L.) نشان دادند که گیاهانی که از دمای ۲۵ به ۴ درجه سانتی‌گراد منتقل شدند به‌طور معنی‌داری مقدار پرولین آن‌ها افزایش پیدا کرد. به دلیل نگرانی از وقوع سرمای دیررس بهاره و خسارت‌های ناشی از آن، برخی اوقات کاشت چغندرقند به تأخیر افتاده و در این شرایط عملکرد گیاه کاهش می‌یابد (Kyani and Hajmohamadnia Ghalibaf, 2001). در کاشت زودهنگام چغندرقند ممکن است گیاه با سرمای دیررس مواجه و درنتیجه به گیاه خسارت وارد شود، زیرا گیاهچه‌های جوان چغندرقند در مراحل ابتدایی رشد به سرما حساس می‌باشند، این شرایط سبب افزایش دوباره‌کاری در مزارع چغندرقند می‌شود و درنتیجه با کاشت مجدد ممکن است چغندرقند به شرایط گرم و خشک برخورد کرده و عملکرد آن کاهش یابد (Lacic and Kovacey, 2004).

با توجه به اینکه اخیراً کشت پاییزه چغندرقند در مناطق مختلف و سردسیر کشور مثل خراسان رضوی مطرح گردیده و خسارتی که تنش دمای پایین در مناطق مختلف ایران به چغندرقند در مرحله گیاهچه‌ای وارد می‌سازد این پژوهش با هدف بررسی تأثیر دمای پایین بر ویژگی‌های ده رقم چغندرقند در مرحله گیاهچه‌ای و معرفی شاخص‌های مؤثر در ارزیابی تحمل به سرما طراحی گردید.

www.SID.ir

Archive of SID

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۲ در دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج در شرایط کنترل‌شده اجرا شد. در این مطالعه ده رقم چغندرقند {رسول، شیرین، کرجی، راستاد، زرقان، پرشیا، SBSI-005 (ارقام داخلی)، دروتی، آناکوندا، مراک، آنتیک (ارقام خارجی)} در معرض چهار سطح دمایی شامل (۰، ۵، ۱۰، ۲۵ (شاهد) درجه سلسیوس) قرار گرفتند. آزمایش در هرکدام از سطوح دمایی به‌صورت کاملاً تصادفی با سه تکرار به اجرا درآمد ابتدا بذور با هیپوکلریت سدیم ۰/۵ درصد به مدت پنج دقیقه ضدعفونی و تعداد هفت الی هشت عدد بذر از هر رقم در هر گلدان به ترتیب با عمق و قطر ۲۵ و ۲۰ سانتی‌متر (به‌عنوان یک تکرار) که حاوی مخلوط خاک، ماسه و کود حیوانی به ترتیب به نسبت ۱:۱:۲ بود، کشت شدند و آبیاری به مقدار موردنیاز صورت پذیرفت. در مرحله‌ی دو تا سه برگی (حدود ۲۵ روز پس از کشت) گلدان‌ها به‌منظور اعمال تنش سرما بلافاصله از دمای شاهد، درون اتاقک رشد با دمای موردنظر (با توجه به سطوح حرارتی ذکرشده)، دوره نوری ۱۲ ساعت شب / روز و شدت تشعشع ۵۰ ±۴۰۰ میکرومول فوتون بر مترمربع بر ثانیه قرار داده شدند. پس از گذشت ۱۰ روز سرمادهی، از هر گلدان به‌تصادف سه بوته (همراه با ریشه) انتخاب و پس از شستشو، صفات زیر بر روی آن‌ها اندازه‌گیری و میانگین آن‌ها برای تجزیه‌های آماری به کار گرفته شد:

ارتفاع گیاهچه از محل طوقه تا بلندترین برگ برحسب سانتی‌متر اندازه‌گیری شدند. نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد در داخل آون قرار گرفتند و وزن خشک آن‌ها توسط ترازوی دیجیتالی با دقت (۰/۰۰۱ گرم) برحسب گرم توزین شدند. میزان پرولین (میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ)، قندهای محلول (میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) و نشت الکترولیت (مقداری از نمونه برگ تازه با وزن یکسان در قطعات مساوی برش داده شد و در لوله‌های آزمایش حاوی آب مقطر با حجم یکسان (۱۰ میلی‌لیتر) به‌صورت جداگانه قرار داده شد. پس از گذشت ۲۴ ساعت، هدایت الکتریکی هر نمونه با استفاده از دستگاه EC متر (مدل Cond 720) اندازه‌گیری شد (EC_1) و به‌منظور اندازه‌گیری میزان نشت الکترولیت در اثر مرگ سلول، لوله‌های آزمایش در دستگاه بن‌ماری با دمای ۷۵ درجه سلسیوس به مدت ۹۰ دقیقه قرار داده شدند مجدداً پس از ۲۴ ساعت هدایت الکتریکی نمونه‌ها ثبت گردید (EC_2). سپس درصد نشت الکترولیت با استفاده از رابطه $100 \times (EC_1/EC_2)$= درصد نشت الکترولیت محاسبه شد) به ترتیب با روش‌های پاکوئین و لچارز (Paquine and Lechasseur, 1979)، اریگوئن و همکاران (Irigoyen et al., 1992) و بلترانو و رونکو (Beltrano and Ronco, 2008) اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل، بعد از اعمال تیمار دمایی و قبل از برداشت نمونه‌های برگی، پارامترهای میزان فلورسانس کلروفیل (F_o، F_m، F_v، F_v/F_m) نیز با استفاده از دستگاه فلوری‌متر مدل (OS1-FL)بر روی جوان‌ترین برگ قرائت شد. اندازه‌گیری میزان کلروفیل برگ‌های ارقام مختلف چغندرقند نیز با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر (SPAD-502 Readings Minolta, Japan) در همین مرحله از رشد انجام گرفت. بعد از اندازه‌گیری صفات آمار توصیفی محاسبه و تفسیر شدند. سپس تجزیه مرکب انجام شد و مقایسه میانگین‌های اثرات اصلی با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد و برهمکنش‌ها به روش LSmeans صورت پذیرفت. اجزاء واریانس و وراثت‌پذیری عمومی با استفاده از امید ریاضی میانگین مربعات محاسبه شدند. شدت تنش[1] و شاخص تحمل به تنش[2] (STI) نیز به کمک فرمول‌های زیر محاسبه شدند (Fernandez, 1992):

$$SI = 1 - (\overline{Y}_s / \overline{Y}_p) \quad [۱]$$

$\overline{Yp}$ =میانگین کلیه ژنوتیپ‌ها برای صفات در شرایط بدون تنش

$\overline{Ys}$ =میانگین کلیه ژنوتیپ‌ها برای صفات در شرایط تنش

شاخص تحمل به تنش نیز با فرمول زیر محاسبه شد:

$$STI = (Y_p \times Y_s) / \overline{Y}_p^2 \quad [۲]$$

Y_P=وزن خشک هر ژنوتیپ در شرایط بدون تنش

Y_S= وزن خشک هر ژنوتیپ در شرایط تنش

$$CV_G = \frac{\sqrt{\delta_g^2}}{\mu} \times 100 \quad [۳]$$

در روابط فوق CV_g، δ_g^2 و μ به ترتیب ضریب تنوع ژنوتیپی، واریانس ژنتیکی و میانگین هر صفت می‌باشند.

شدت تنش برای همه صفات محاسبه شد و بر اساس مقدار آن، سطح صفر به‌عنوان سطح تنش استاندارد در نظر

[1] Stress Intensity
[2] Stress Tolerance Index

www.SID.ir

Archive of SID

گرفته شد. تجزیه به عامل‌ها به روش مؤلفه‌های اصلی (به کمک داده‌های استانداردشده) انجام شد و به روش واریماکس (Johnson and Wichern, 2008) دوران داده شدند، سپس عامل‌ها تفسیر شدند. در مرحله بعد امتیاز عامل‌ها برای سه عامل اول محاسبه شدند و نمودار سه‌بعدی پراکنش ژنوتیپ‌ها ترسیم شد. ژنوتیپ‌ها بر اساس قرار گرفتن در چهار ناحیه حاصل (نواحی A، B، C و D) گروه بندی و تفسیر شدند.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر دما، رقم و برهمکنش دما و رقم بر کلیه صفات اندازه‌گیری شده معنی دار بودند (جدول ۱)؛ بنابراین علاوه بر تنوع کافی ازنظر تحمل به سرما ارقام موردبررسی ازلحاظ صفات اندازه‌گیری شده واکنش‌های متفاوتی نسبت به سطوح دمایی موردمطالعه داشتند. با توجه به معنی‌دار شدن برهمکنش دما و رقم، تجزیه واریانس به روش برش‌دهی (مقایسه هر سطح دمایی به‌صورت جداگانه) برای هر سطح دمایی انجام و مقایسه میانگین ارقام در هر سطح برای کلیه صفات صورت گرفت. با مقایسه سطوح مختلف سرما به‌وسیله معیار شدت تنش یعنی میزان تأثیری که سطوح سرما بر ویژگی-های اندازه‌گیری شده داشتند درنهایت سطح سرمای صفر درجه سلسیوس به‌عنوان تنش در نظر گرفته شد و سایر محاسبات صرفاً در این سطح و شرایط شاهد (۲۵ درجه سلسیوس) صورت پذیرفت.

برآورد اجزاء واریانس، حداقل و حداکثر و ضرایب تنوع صفات موردبررسی

آمار توصیفی مربوط به صفات اندازه‌گیری شده در شرایط تنش (صفر درجه سلسیوس) و عدم تنش (۲۵ درجه سلسیوس) در جدول ۲ آورده شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود ارتفاع اندام هوایی در حالت عدم تنش ۱۲/۴۱ سانتی‌متر و در حالت تنش ۸/۳۲ سانتی‌متر بود که کاهش ۳۲/۹۵ درصدی را نسبت به حالت عدم تنش نشان می‌دهد. میانگین صفات وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه به ترتیب کاهش ۶۸ و ۷۷ درصد نسبت به حالت عدم تنش نشان دادند. کلروفیل برگ نیز در سطح تنش نسبت به عدم تنش ۱۳ درصد کاهش یافت. یکی از اولین نشانه‌های کمبود آب کاهش تورژسانس سلول و کاهش سطح تعرق کنندگی گیاه می‌باشد، در این شرایط جذب مواد غذایی کند شده و رشد و توسعه سلول‌ها در اندام هوایی برگ و ساقه کم شده و ارتفاع و نیز حجم اندام هوایی گیاه کاهش می‌یابد (Lacic and Kovacey, 2004). قربانی و همکاران (Ghorbaniet al., 2009) بیان کردند که در گیاه برنج (*Oryza sativa*) با کاهش دما از ۲۵ درجه سلسیوس به ۱۵ درجه به میزان ۴۰ درصد از ارتفاع اندام هوایی و نزدیک به ۸۰ درصد وزن خشک اندام هوایی نسبت به عدم تنش کاهش نشان داد. میانگین نشت الکترولیت، قندهای محلول کل و پرولین در سطح تنش نسبت به عدم تنش به ترتیب ۲۵ و ۷۱ و ۹۰/۵ درصد افزایش یافتند. حاج محمدنیا قالی‌باف و همکاران (Hajmohamadnia Ghalibaf et al., 2010) در بررسی اثر تنش یخزدگی در چغندرقند به این نتیجه رسیدند که با کاهش دما و اعمال تنش یخزدگی میزان نشت الکترولیت افزایش یافت و در دمای ۱۰- درجه سلسیوس به حداکثر مقدار خود رسید. بررسی کاردونا و همکاران (Cardona et al., 1997) نشان داده است که شیب منحنی درصد نشت الکترولیت‌ها در مقابل دمای یخزدگی، در ارقام مقاوم به سرما کمتر از ارقام حساس به سرماست. این امر نشان می-دهد که در شرایط تنش سرما ژنوتیپ‌های مقاوم در مقایسه با ژنوتیپ‌های حساس از میزان نشت الکترولیت کمتری برخوردار هستند. این محققان شیب منحنی نشت الکترولیت‌ها را به‌عنوان یکی از نشانه‌های خسارت ناشی از تنش سرما در گیاهان معرفی کرده‌اند. میزان فلورسانس پایه (Fo)، در حالت تنش نسبت به عدم تنش به ترتیب ۳۸ درصد افزایش و میزان فلورسانس کارایی فتوسیستم II (Fv/Fm) و فلورسانس ماکزیمم (Fm)، ۴۷ و ۱۲ درصد کاهش یافت. نتایج جلیلیان و همکاران (Jalilian et al., 2009) بر روی مقدار Fm و Fv/Fm در چغندرقند تحت تنش سرما نشان داد که مقدار هر دو پارامتر فتوسنتزی کاهش یافت. سرما و یخزدگی از شکستن مولکول آب و یا اکسیداسیون نوری در فتوسیستم II جلوگیری می‌کنند و موجب کاهش فلورسانس کلروفیل می‌شوند (Papagecorgious, 1975).

بالاترین ضریب تنوع ژنتیکی در شرایط عدم تنش برای وزن خشک ریشه با ۹۹/۹ و در شرایط تنش برای ارتفاع اندام هوایی به مقدار ۷۷/۱۳ به دست آمد. کم بودن واریانس ژنتیکی در شرایط تنش نسبت به عدم تنش باعث کاهش

www.SID.ir

Archive of SID

وراثت‌پذیری عملکرد در شرایط تنش می‌گردد (Abdelmula and Link, 1998). در بین صفات اندازه‌گیری شده در شرایط تنش، صفت کارایی فتوسیستم II (Fv/Fm) کم‌ترین (۴/۲۱) و ارتفاع اندام هوایی بیشترین (۷۸) ضریب تنوع فنوتیپی را به خود اختصاص دادند. در حالت عدم تنش کم‌ترین و بیشترین ضریب تنوع فنوتیپی به ترتیب مربوط به کارایی فتوسیستم II (Fv/Fm) (۱۳/۸۳) و وزن خشک ریشه (۹۹/۹) بود. اکثر ضرایب تنوع فنوتیپی بیشتر از ضرایب تنوع ژنوتیپی بود و در بعضی صفات اختلاف کمی مابین این ضرایب مشاهده شد که بیانگر اثر کم عوامل محیطی در برآورد آن‌ها می‌باشد.

وراثت‌پذیری عمومی

محاسبه میزان وراثت‌پذیری عمومی (جدول ۱) نشان داد که بیشترین میزان وراثت‌پذیری عمومی مربوط به صفات ارتفاع اندام هوایی (۷۵/۰۹) و نشت الکترولیت (۶۷/۸۴) بود و کم‌ترین میزان را نیز دو صفت Fm و وزن خشک اندام هوایی به ترتیب با میزان ۱۵/۰۶ و ۲۰ درصد به خود اختصاص دادند. برزن (Barzan, 2013) در بررسی خود بر روی کلزا (*Brassica napus*) تحت تنش سرما نشان دادند که صفات فلورسانس کلروفیل از وراثت‌پذیری پایینی برخوردار بودند. وراثت‌پذیری عمومی بالا برای صفات مورد ارزیابی بیانگر آن است که بیشترین تنوع فنوتیپی مشاهده‌شده تحت کنترل عوامل ژنتیکی بوده است. وجود تنوع ژنتیکی و وراثت‌پذیری بالا برای پیشرفت‌های ژنتیکی ناشی از انتخاب در برنامه‌های اصلاحی از ضروریات است (Falconer and Mackey, 1996)؛ بنابراین اصلاح برای تحمل به سرما ازنظر صفاتی که در این مطالعه وراثت‌پذیری بالایی نشان دادند امیدبخش است.

مقایسه میانگین‌ها

همان‌گونه که ذکر شد بر اساس مقادیر میزان شدت تنش و مقادیر صفات، دمای صفر درجه سلسیوس به‌عنوان تنش استاندارد در نظر گرفته شد و بنابراین در اینجا نتایج مربوط به همین دما و دمای ۲۵ درجه سلسیوس (شاهد) ارائه می‌گردد.

بر اساس مقایسه میانگین برش‌دهی (جدول ۳) در تیمار ۲۵ درجه سلسیوس (شاهد) بیشترین ارتفاع اندام هوایی به ترتیب مربوط به ارقام کرجی، آناکوندا، دروتی به ترتیب با میانگین‌های ۱۵/۱۷، ۱۴/۳۳ و ۱۴/۱۷ سانتی‌متر کم‌ترین ارتفاع اندام هوایی مربوط به رقم زرقان با میانگین ۱۰/۱۷ سانتی‌متر بود؛ و در تیمار دمایی صفر درجه سلسیوس دو رقم مراک و زرقان بیشترین و ارقام آناکوندا، دروتی و پرشیا کم‌ترین مقدار ارتفاع اندام هوایی را دارا بودند. عدم تورژسانس مناسب سلول‌ها و تخصیص بیشتر مواد سنتز شده جهت مقابله با تنش، کوتاه شدن دوره رشد گیاه و مکانیسم‌های فرار از تنش همگی می‌توانند مانع از توسعه عادی سلول‌ها و درنتیجه کاهش ارتفاع گیاه شوند (Jose, 2002).

جدول ۱. میانگین مربعات منابع تغییر برای صفات مورفولوژیکی اندازه‌گیری شده در مرحله گیاهچه‌ای چغندرقند.

Table 1. Mean squares of source of variation for measured traits at seedling stage of sugare beet.

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	ارتفاع اندام هوایی Shoot height	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	میزان سبزینگی SPAD	پرولین Proline
Temperatyure	دما	3	84.41**	0.869**	0.033**	147.6**	506.5**
Error1	خطای ۱	8	1.49	0.009	0.00008	5.15	0.766
Cultivar	رقم	9	35.70**	0.075**	0.009**	44.86*	33.32**
T × C	دما×رقم	27	18.40**	0.124**	0.008**	31.78*	19.28**
Error2	خطای ۲	72	3	0.008	0.00008	17.55	1.37
Heritability	وراثت‌پذیری عمومی	-	75.09	20	66.66	47.19	41.47
Coefficient of Variation	ضریب تغییرات	-	16.90	28.46	19.35	11.62	21.23
Stress Intensity	شدت تنش	-	0.32	0.68	0.78	0.13	0.90

www.SID.ir

Archive of SID

Table 1. Continued **جدول ۱. ادامه**

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	قند محلول Soluble sugar	نشت الکترولیت Electrolyte leakage	کارایی فتوسیستم II F_V/F_M	حداکثر فلورسانس F_M	حداقل فلورسانس F_O
Temperatyure	دما	3	20569.5**	2064.06**	0.072**	315293.9**	5808**
Error1	خطای ۱	8	68.78	63.60	0.0032	746.22	175.93
Cultivar	رقم	9	561.7**	512.05**	0.007**	11977.3**	298.78**
T × C	دما×رقم	27	546.5**	192.82**	0.0040**	17004.3**	897.57**
Error2	خطای ۲	72	91.28	86.15	0.0016	1948.78	84.63
Heritability	وراثت‌پذیری عمومی	-	26.07	67.84	42.85	15.06	33.12
Coefficient of Variation	ضریب تغییرات	-	20.49	14.81	5.15	14.23	15.97
Stress Intensity	شدت تنش	-	0.71	0.24	0.11	0.41	0.37

*,** به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشند.

*,** indicated significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

جدول ۲. میانگین، حداقل، حداکثر، ضرایب تنوع ژنتیکی و فنوتیپی صفات موردبررسی در شرایط تنش سرما (صفر درجه سلسیوس) و عدم تنش سرما (۲۵ درجه سلسیوس) در ارقام چغندرقند.

Table 2. Average, minimum, maximum, genetic and phenotypic coefficients of the measured traits under cold stress (0˚C) and non stress (25˚C) conditions.

Trait	صفت	میانگین Average		حداقل minimum		حداکثر maximum	
		عدم تنش nonstress	تنش stress	عدم تنش nonstress	تنش stress	عدم تنش nonstress	تنش stress
Shoot height (cm)	ارتفاع اندام هوایی	12.41	8.32	8.5	4	16	18
Shoot dry weight (gr)	وزن خشک اندام هوایی	0.47	0.15	0.101	0.08	1.11	0.385
Root dry weight (gr)	وزن خشک ریشه	0.09	0.02	0.02	0.01	0.44	0.04
Electrolyte leakage (%)	نشت الکترولیت	52.59	69.70	30.56	39.53	72	93.67
Total soluble sugar (mg/g fw)	قندهای محلول کل	23.78	84.32	12.22	47.48	45.11	123
Proline (mg/g fw)	پرولین	1.01	10.59	0.381	4.77	1.79	21.38
SPAD	میزان سبزینگی	39.19	34.01	30.54	23.66	57.46	44.53
Fo	حداقل فلورسانس	44.96	71.53	40	50	90	111
Fm	حداکثر فلورسانس	461.93	269.86	219	165	730	483
Fv/Fm	کارایی فتوسیستم II	0.837	0.744	0.604	0.726	0.840	0.864

www.SID.ir

Archive of SID

Table 2. Continued **جدول ۲. ادامه**

صفت Trait	ضریب تنوع ژنوتیپی genetic coefficient		ضریب تنوع فنوتیپی phenotypic coefficient	
	عدم تنش nonstress	تنش stress	عدم تنش nonstress	تنش stress
ارتفاع اندام هوایی Shoot height (cm)	20.89	77.13	25.54	78
وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight (gr)	90.05	70.17	93.78	75.93
وزن خشک ریشه Root dry weight (gr)	99.9	47.47	99.9	49.78
نشت الکترولیت Electrolyte leakage (%)	17.97	23.40	26.54	25.98
قندهای محلول کل Total soluble sugar (mg/g fw)	50.88	44.34	55.41	47.91
پرولین Proline (mg/g fw)	56.15	73.26	65.42	75.03
میزان سبزینگی SPAD	20.42	15.17	26.60	17.69
حداقل فلورسانس Fo	19.56	49.79	27.36	50.85
حداکثر فلورسانس Fm	42.55	48.68	45.25	50.03
کارایی فتوسیستم II Fv/Fm	11.71	3.51	13.83	4.21

بر اساس شاخص تحمل به تنش (STI) هرچه اختلاف بین عملکرد در شرایط معمول و تنش بیشتر باشد، مقدار شاخص تحمل به تنش کوچک‌تر می‌شود بنابراین مقادیر بالاتر این شاخص نشان‌دهنده تحمل بیشتر ژنوتیپ به تنش می‌باشد(Fernandez, 1992). محاسبه شاخص تحمل به تنش برای صفت وزن خشک ریشه برای ارقام نشان داد که ارقام مراک و دروتی نسبت به سایر ارقام از تحمل بیشتری نسبت به سرما برخوردار بودند. محاسبه شاخص تحمل به تنش برای صفت وزن خشک اندام هوایی برای ارقام نشان داد که ارقام آناکوندا، شیرین، پرشیا و دروتی تحمل بیشتری نسبت به سرما از خود نشان دادند. بیشترین میزان وزن خشک اندام هوایی (۰/۸۶ گرم) در تیمار دمایی ۲۵ درجه سلسیوس مربوط به رقم آناکوندا بود که با رقم شیرین تفاوت معنی‌داری نداشت. کم‌ترین میانگین نیز مربوط به رقم زرقان با میانگین ۰/۱۶ گرم بود. در دمای ۱۰ درجه سلسیوس بیشترین میزان وزن خشک اندام هوایی مربوط به ارقام کرجی و SBSI-005 به ترتیب با ۰/۹۴ و ۰/۹۲ بود (داده‌ها ارائه نشده) در دمای صفر و پنج درجه ارقام تفاوت معنی‌داری باهم نداشتند. نظامی و همکاران (Nezami at al, 2010) نشان دادند که اثر دما بر وزن خشک گیاهچه چغندرقند معنی‌دار شد و با کاهش دما به ۲- درجه سلسیوس وزن خشک گیاه کاهش معنی‌داری پیدا کرد. این کاهش احتمالاً به دلیل اثر خسارت ناشی از یخزدگی بر توانایی رشد مجدد اندام هوایی در مرحله بازیافت می‌باشد.

بر اساس مقایسه میانگین (جدول ۳) ارقام بیشترین میزان وزن خشک ریشه در تیمار ۲۵ درجه سلسیوس (۰/۳۹ گرم) مربوط به رقم دروتی و کم‌ترین مقدار را نیز رقم آناکوندا با میانگین ۰/۰۳۰ گرم دارا بود. در دمای صفر درجه رقم مراک با ۰/۰۳۳ گرم بالاترین وزن خشک داشت اما با سایر ارقام تفاوت معنی‌داری نداشت.شدت تنش ۷۸ درصدی این صفت نشان از اهمیت این صفت در شناسایی ارقام مقاوم در تنش سرما برای گیاه چغندرقند می‌باشد.

بیشترین میزان نشت الکترولیت در تیمار ۱۰ درجه سلسیوس مربوط به رقم کرجی با میانگین ۷۹/۵۲ بود که با

www.SID.ir

Archive of SID

ارقام راستاد و آنتیک تفاوت معنی‌داری نداشت (داده‌ها ارائه نشده‌اند). کم‌ترین میزان نشت الکترولیت نیز متعلق به رقم شیرین با میانگین ۴۰/۲۰ بود. در تیمار صفر درجه سلسیوس دو رقم کرجی و پرشیا به ترتیب با میانگین‌های ۸۴/۶۹ و ۷۹/۳۴ بیشترین میزان نشت الکترولیت و رقم SBSI-005 با میانگین ۵۱/۳۸ کمترین میزان را در نشت الکترولیت دارا بودند. نتایج نظامی و همکاران (Nezami et al., 2010) حاکی از آن بود که بین ارقام چغندرقند ازلحاظ میزان نشت الکترولیت تفاوت معنی‌داری وجود داشت و با کاهش بیشتر دما به سمت یخزدگی میزان نشت الکترولیت افزایش پیدا کرد. کاردونا و همکاران (Cardona et al., 1997) اظهار داشتند که تأثیر سرما بر اختلال در فعالیت غشاهای سلولی و به دنبال آن نشت الکترولیت‌ها بسته به تحمل به سرما ارقام مختلف گیاهی متفاوت است. ازاین‌رو می‌توان گفت که پایین‌تر بودن میزان نشت الکترولیت‌ها در رقم SBSI-005 در سطح تنش صفر درجه سلسیوس احتمالاً نشان‌دهنده مقاومت بیشتر این رقم در تحمل به سرما می‌باشد.

باوجوداینکه در تیمار شاهد ارقام ازنظر میزان پرولین تفاوت معنی‌داری نداشتند اما در تیمار صفر درجه سلسیوس رقم کرجی بیشترین (۱۹/۸ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) و دو رقم زرقان (۶۱/ ۵ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) و پرشیا (۶/۲۳ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) کم‌ترین میزان پرولین در برگ را دارا بودند. پرولین تحت شرایط تنش می‌تواند عملکردهای متفاوتی مانند ایجاد تعادل اسمزی، حفاظت از ساختار پروتئینی و غشاء سلول، تثبیت ساختارهای درون‌سلولی و حذف رادیکال‌های آزاد را داشته باشد (Molinari, 2004). برزن (Barzan, 2013) در کلزا نشان داد که با کاهش دما میزان پرولین به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافت.

جدول ۳. مقایسه میانگین ارقام چغندرقند برای صفات مورد ارزیابی در هر سطح دمایی در گیاهچه‌های چغندرقند.

Table 3. Mean comparison of sugarbeet cultivars in cold stress (0˚C) and non stress (25 ˚C) conditions for the evaluated traits on seedling plants of sugar beet.

دما (درجه سلسیوس) Temperature (°C)	رقم Cultivar	شاخص تحمل به تنش وزن خشک ریشه Root STI	شاخص تحمل به تنش وزن خشک اندام هوایی Shoot STI	وزن خشک اندام هوایی (گرم) Shoot dry weight (g)	وزن خشک ریشه (میلی‌گرم) Root dry weight (mg)	ارتفاع اندام هوایی (سانتی‌متر) Shoot height (cm)	قند محلول (میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) Soluble sugar (mg/g)
25	Karaji	0.07	0.16	0.29	61	15.17	16.81
	SBSI- 005	0.12	0.08	0.19	50	11.00	35.17
	Shirin	0.16	0.51	0.84	72	11.67	31.12
	Rastad	0.15	0.30	0.70	65	11.67	23.00
	Anaconda	0.06	0.99	0.86	30	14.33	12.50
	Drothy	0.28	0.37	0.30	88	14.17	25.42
	Merac	0.40	0.23	0.34	11	12.00	23.10
	Antic	0.13	0.23	0.49	66	11.50	16.52
	Zarghan	0.09	0.08	0.16	51	10.17	30.89
	Persia	0.07	0.44	0.55	50	12.50	23.25
	LSD	0.034	0.085	0.21	20	3.29	9.36
0	Karaji	0.07	0.16	0.12	11	7.66	64.36
	SBSI- 005	0.12	0.08	0.09	22	8.56	85.35
	Shirin	0.16	0.51	0.16	20	5.63	70.40
	Rastad	0.15	0.30	0.09	21	7.66	62.46
	Anaconda	0.06	0.99	0.26	20	4.75	95.28
	Drothy	0.28	0.37	0.27	29	4.83	108.23
	Merac	0.40	0.23	0.15	33	16.63	72.97
	Antic	0.13	0.23	0.10	19	10.17	101.13
	Zarghan	0.09	0.08	0.11	16	11.67	57.09
	Persia	0.07	0.44	0.18	14	5.61	123.00
	LSD	0.034	0.085	0.078	23	1.70	26.28

www.SID.ir

Archive of SID

Table 3. Continued **جدول ۳. ادامه**

دما (درجه سلسیوس) Temperature (°C)	رقم Cultivar	نشت الکترولیت (درصد) Electrolyte leakage (%)	حداکثر فلورسانس F_m	کارایی فتوسیستم II F_V/F_M	حداقل فلورسانس F_0	پرولین (میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) Proline (mg/g)	میزان سبزینگی SPAD
25	Karaji	54.3	386.0	0.67	60.0	1.34	44.52
	SBSI- 005	51.03	391.3	0.77	41.0	1.01	35.36
	Shirin	53.8	695.6	0.76	43.0	0.94	44.74
	Rastad	53.5	646.6	0.72	40.6	0.64	40.11
	Anaconda	50.64	453.3	0.72	43.6	1.54	32.00
	Drothy	58.8	430.6	0.83	49.6	0.95	45.64
	Merac	61.6	439.0	0.79	42.3	1.38	42.53
	Antic	46.45	352.0	0.70	43.6	0.53	38.70
	Zarghan	56.4	450.3	0.78	43.3	0.62	36.05
	Persia	38.8	374.3	0.66	42.3	1.18	31.88
	LSD	17.98	127.52	0.083	14.61	0.51	11.59
0	Karaji	84.69	174.0	0.850	55.3	19.18	29.78
	SBSI- 005	51.38	254.6	0.840	61.3	13.74	34.44
	Shirin	57.77	218.3	0.840	110.0	11.13	34.67
	Rastad	69.35	215.3	0.830	107.6	6.40	30.92
	Anaconda	70.35	277.6	0.820	72.3	10.51	39.57
	Drothy	73.19	267.0	0.850	63.3	7.91	37.84
	Merac	64.58	433.6	0.851	62.3	9.16	36.23
	Antic	74.07	367.0	0.790	57.0	15.97	32.75
	Zarghan	72.29	254.3	0.831	73.0	5.61	32.56
	Persia	79.34	236.6	0.842	53.0	6.23	31.31
	LSD	13.57	52.18	0.03	12.48	3.03	5.58

با توجه به مقایسه میانگین برش‌دهی (جدول ۳) در سطح ۲۵ درجه سلسیوس بیشترین میزان سبزینگی (۴۵/۶۴) مربوط به رقم دروتی بود که با ارقام کرجی و شیرین تفاوت معنی‌داری نداشت و کم‌ترین میزان سبزینگی نیز مربوط به ارقام پرشیا و آناکوندا به ترتیب با میانگین ۳۱/۸۸ و ۳۲ بود. در سطح صفر درجه سلسیوس تفاوت معنی‌داری مابین ارقام ازلحاظ میزان سبزینگی برگ مشاهده نشد. بررسی نظامی و همکاران (Nezami at al., 2010) نشان داد که مابین دماهای مختلف یخزدگی ازنظر عدد میزان سبزینگی‌متر اختلاف معنی‌داری وجود داشت و بیشترین عدد میزان سبزینگی‌متر در دمای صفر درجه سلسیوس و کم‌ترین آن در بین گیاهان زنده در دمای ۱۰- درجه سلسیوس به دست آمد. در دمای پایین به دلیل کاهش مقدار فتوسنتز و احتمالاً خسارت میزان سبزینگی-های موجود در برگ، برگ‌ها ممکن است دچار کاهش مقدار میزان سبزینگی شوند.

در سطح ۲۵ درجه سلسیوس تفاوت معنی‌داری در بین ارقام ازلحاظ میزان فلورسانس حداقل مشاهده نشد؛ اما در سطح صفر درجه سلسیوس، بالاترین رتبه مربوط به ارقام شیرین و راستاد بود و کم‌ترین مقدار میانگین نیز مربوط به رقم پرشیا بود که با ارقام کرجی و آنتیک تفاوت معنی‌داری نداشت. فلورسانس پایه (Fo) می‌تواند به‌عنوان انرژی تابشی ازدست‌رفته انرژی برانگیختگی که درنتیجه انتقال انرژی پیگمانت‌های آنتن به فتوسیستم‌ها باشد. زمانی که همه مراکز واکنش‌ها باز هستند، Fo تحت تنش بالاست (Schapendonk, 1989). شرقی و همکاران (Sharghi et al., 2014) در بررسی اثر تنش سرمای دو درجه بر چغندرقند نشان دادند که میزان Fo افزایش می‌یابد.

بر اساس مقایسه میانگین برش‌دهی (جدول ۳) در تیمار دمایی ۲۵ درجه سلسیوس بیشترین مقدار فلورسانس حداکثر مربوط به ارقام شیرین و راستاد به ترتیب با میانگین‌های ۶۹۵/۶ و ۶۴۶/۶ و کم‌ترین مقدار نیز مربوط به رقم آنتیک با میانگین ۳۵۲ بود.در تیمار صفر درجه سلسیوس به ترتیب بیشترین مقدار مربوط به ارقام مراک (۴۳۳/۶) و آنتیک (۳۰۷/۶) بود و کم‌ترین مقدار نیز در این تیمار را ارقام SBSI-005 (۱۹۰) و کرجی (۱۷۴) دارا

www.SID.ir

Archive of SID

بودند. ارقام در سطح ۵ درجه سلسیوس تفاوت معنی‌داری باهم نداشتند. جلیلیان و همکاران (Jalilian et al., 2009) با اعمال تنش یخزدگی بر روی چغندرقند نشان دادند که با کاهش دما به سمت یخزدگی میزان Fm کاهش پیدا کرد.

با توجه به مقایسه میانگین‌ها (جدول ۳) در سطح ۲۵ درجه سلسیوس رقم دروتی با میانگین ۰/۸۳۰ بیشترین میانگین **کارایی فتوسیستم II** (Fv/Fm) **را** داشت که با ارقام مراک، زرقان و SBSI-005 تفاوت معنی‌داری نداشت و ارقام پرشیا و کرجی به ترتیب با میانگین‌های ۰/۶۶۰ و ۰/۶۷۰ کم‌ترین مقدار را دارا بودند.

همبستگی‌های فنوتیپی و ژنوتیپی میان صفات مورد ارزیابی در شرایط عدم تنش سرما (۲۵ درجه سلسیوس)

جدول ۶ نتایج مربوط به برآورد ضرایب همبستگی فنوتیپی و ژنوتیپی میان صفات موردمطالعه در شرایط عدم تنش سرما (۲۵ درجه سلسیوس) را نشان می‌دهد. اکثر همبستگی‌های ژنوتیپی برآورد شده غیر معنی‌دار بودند. همبستگی ژنوتیپی (r_g) و فنوتیپی (r_p) وزن خشک اندام هوایی با Fm(r_g=۰/۳۰ و r_p=۰/۵۰)، وزن خشک ریشه با Fv/Fm(r_g=۰/۴۳ و r_p=۰/۶۶) مثبت و معنی‌دار بودند؛ که در این صورت می‌توان گفت که با افزایش مقدار دو صفت فلورسانس کلروفیل (Fm و Fv/Fm) میزان وزن خشک اندام هوایی و ریشه افزایش می‌یابند. نظامی و همکاران (Nezami at al, 2010) در چغندرقند مشاهده کردند که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین پارامترهای وابسته به فلورسانس میزان سبزینگی به‌ویژه کارایی فتوسیستم II با کلیه صفات مورفولوژیکی وجود دارد. همبستگی ژنوتیپی و فنوتیپی منفی و معنی‌دار بین ارتفاع اندام هوایی با قندهای محلول کل (r_g=-۰/۶۷ و r_p=-۰/۴۹) و ارتفاع اندام هوایی با پرولین (r_g=-۰/۵۰ و r_p=-۰/۴۳) مشاهده شد. با توجه به رابطه منفی و معنی‌دار مابین صفات مذکور می‌توان گفت که با افزایش ارتفاع اندام هوایی میزان قندهای محلول کل و پرولین کاهش پیدا می‌کند. ضریب همبستگی فنوتیپی مابین صفات میزان نشت الکترولیت با Fv/Fm، r_p=۰/۵۲ مشاهده گردید که در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. وجود این رابطه نشان می‌دهد که با افزایش هرکدام از صفات ذکرشده صفت دیگر نیز افزایش می‌یابد. همچنین بیشترین که نشان از همبستگی کامل و مثبتی مابین این دو صفت ذکر شده است که با افزایش ارتفاع میزان Fv/Fm نیز افزایش می‌یابد.ضرایب همبستگی فنوتیپی و ژنوتیپی در مورد صفت وزن تر ریشه با سایر صفات اندازه‌گیری شده معنی‌دار نشد. نتایج همچنین نشان داد که مابین درصد نشت با کلیه صفات مورفولوژیکی ازجمله سطح و وزن خشک برگ همبستگی منفی و معنی‌داری مشاهده شد.

همبستگی‌های فنوتیپی و ژنوتیپی میان صفات در شرایط تنش سرما (صفر درجه سلسیوس)

همبستگی ژنتیکی و فنوتیپی میان صفات مورد ارزیابی در شرایط تنش سرما در جدول ۴ آورده شده است. همبستگی ژنوتیپی و فنوتیپی وزن خشک اندام هوایی و میزان سبزینگی (r_p=۰/۶۱ و r_g=۰/۳۶)، وزن خشک ریشه و میزان سبزینگی (r_p=۰/۴۴ و r_g=۰/۳۹)، وزن خشک اندام هوایی و ارتفاع اندام هوایی (r_p=۰/۴۱ و r_g=۰/۳۲) و وزن خشک ریشه و میزان Fm (r_p=۰/۵۲ و r_g=۰/۳۳) مثبت و معنی‌دار بود. نظامی و همکاران (Nezami et al, 2010) طی تنش سرما در چغندرقند به این نتیجه رسیدند که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین پارامترهای وابسته به فلورسانس میزان سبزینگی و به‌ویژه کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II با درصد بقاء (r=۰/۹۷) و نیز کلیه صفات مورفولوژیکی وجود داشت. لذا چنین به نظر می‌رسد که ارقام با درصد بقاء بالاتر در مقایسه با گیاهانی که دچار خسارت می‌شوند از کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II بیشتری برخوردارند. با توجه به رابطه مثبت و معنی‌دار میان صفات مذکور با افزایش هرکدام از صفات میزان دیگری نیز افزایش می‌یابد. می‌توان گفت که صفات میزان سبزینگی و فلورسانس کلروفیل در مقاومت و حفظ گیاه در برابر تنش سرما از تأثیر بسزایی برخوردارند.همبستگی منفی و معنی-دار میان صفات وزن خشک ریشه و نشت الکترولیت (۰/۳۷- r_p= و r_g=-۰/۳۲) نشان می‌دهد که با کاهش میزان وزن خشک و تر ریشه میزان نشت الکترولیت و پرولین در برگ‌ها افزایش می‌یابد. نظامی و همکاران (Nezami et al, 2013) در بررسی اثر یخزدگی در ارقام مختلف چغندرقند نشان دادند که مابین درصد نشت الکترولیت‌ها با درصد بقاء همبستگی منفی و معنی‌داری (r=-۰/۶۵) مشاهده شد. در مورد صفت Fv/Fm نیز رابطه غیر معنی‌دار با سایر صفات اندازه‌گیری مشاهده شد. همبستگی ژنوتیپی صفات

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴. ضرایب همبستگی فنوتیپی (بالای قطر) و ژنوتیپی (پایین قطر) میان صفات مورد ارزیابی در مرحله گیاهچه‌ای در شرایط تنش سرما (صفر درجه سلسیوس)

Table 4. Phenotypic (above diameter) and genotypic (bottom diameter) correlation coefficients among the evaluted traits at seedling stage under cold stress (0°C) condition.

صفات Traits	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	نشت الکترولیت Electrolyte leakage	میزان سبزینگی SPAD	قندهای محلول Soluble sugar	پرولین Proline	ارتفاع اندام هوایی Shoot height	Fo	Fm	Fv/Fm
وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight		0.089^{ns}	0.07^{ns}	0.36*	-0.37*	-0.08^{ns}	-0.32*	-0.04^{ns}	0.02^{ns}	0.08^{ns}
وزن خشک ریشه Root dry weight	0.29^{ns}		-0.32*	0.39*	0.31*	-0.10^{ns}	0.14^{ns}	0.03^{ns}	0.33*	0.032^{ns}
نشت الکترولیت Electrolyte leakage	0.05^{ns}	-0.37*		-0.09^{ns}	0.06^{ns}	0.03^{ns}	-0.05^{ns}	-0.13^{ns}	-0.07^{ns}	0.04^{ns}
میزان سبزینگی SPAD	0.61**	0.44*	0.42*		0.12^{ns}	-0.017^{ns}	-0.03^{ns}	-0.02^{ns}	0.14^{ns}	-0.01^{ns}
قندهای محلول Soluble sugar	0.34^{ns}	-0.007^{ns}	0.08^{ns}	0.14^{ns}		-0.02^{ns}	-0.14^{ns}	-0.16^{ns}	0.05^{ns}	-0.07^{ns}
پرولین Proline	-0.20^{ns}	-0.21^{ns}	0.02^{ns}	-0.10^{ns}	-0.07^{ns}		-0.001^{ns}	-0.11^{ns}	-0.01^{ns}	-0.07^{ns}
ارتفاع اندام هوایی Shoot height	0.41*	0.39*	-0.09^{ns}	-0.09^{ns}	-0.35^{ns}	-0.001^{ns}		0.88**	0.30^{ns}	0.003^{ns}
Fo	0.004^{ns}	0.004^{ns}	-0.36*	0.10^{ns}	-0.48**	-0.27^{ns}	-0.18^{ns}		-0.11^{ns}	-0.01^{ns}
Fm	0.03^{ns}	0.52*	-0.14^{ns}	0.33^{ns}	0.16^{ns}	-0.06^{ns}	0.63**	-0.28^{ns}		-0.10^{ns}
Fv/Fm	0.03^{ns}	0.11^{ns}	-0.08^{ns}	0.04^{ns}	-0.10^{ns}	-0.12^{ns}	0.05^{ns}	-0.05^{ns}	-0.30^{ns}	

*, ** و ns به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد و ns نشان‌دهنده غیر معنی‌دار بودن می‌باشد.

*, ** showed significant at 5 and 1 % probability levels respectivelly and ns showed non significant.

www.SID.ir

جدول ۵. ضرایب همبستگی فنوتیپی (بالای قطر) و ژنوتیپی (پایین قطر) میان صفات مورد ارزیابی در مرحله گیاهچه‌ای در شرایط عدم تنش سرما (۲۵ درجه سلسیوس)

Table 5. Phenotypic (above diameter) and genotype (bottom diameter) correlation coefficients among the evaluted traits at seedling stage under non stress (25°C) condition.

صفات Traits	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	نشت الکترولیت Electrolyte leakage	میزان سبزینگی SPAD	قندهای محلول Soluble sugar	پرولین Proline	ارتفاع اندام هوایی Shoot height	Fo	Fm	Fv/Fm
وزن خشک اندام هوایی **Shoot dry weight**		-0.24^{ns}	-0.22^{ns}	-0.006^{ns}	-0.31^{ns}	0.08^{ns}	-0.03^{ns}	0.22^{ns}	0.50^{**}	0.16^{ns}
وزن خشک ریشه **Root dry weight**	-0.08^{ns}		0.24^{ns}	0.34^{ns}	0.08^{ns}	0.04^{ns}	0.26^{ns}	0.17^{ns}	-0.06^{ns}	0.43^{*}
نشت الکترولیت **Electrolyte leakage**	-0.35^{*}	0.34^{*}		0.08^{ns}	0.08^{ns}	0.04^{ns}	-0.006^{ns}	0.11^{ns}	0.20^{ns}	0.52^{**}
میزان سبزینگی **SPAD**	-0.06^{ns}	0.31^{*}	0.37^{*}		0.02^{ns}	-0.04^{ns}	0.11^{ns}	0.18^{ns}	0.08^{ns}	0.44^{*}
قندهای محلول **Soluble sugar**	-0.12^{ns}	0.03^{ns}	0.09^{ns}	0.04^{ns}		-0.41^{*}	-0.49^{**}	-0.21^{ns}	0.17^{ns}	0.28^{ns}
پرولین **Proline**	0.05^{ns}	-0.02^{ns}	0.02^{ns}	-0.03^{ns}	-0.09^{ns}		-0.43^{*}	0.27^{ns}	-0.26^{ns}	-0.11^{ns}
ارتفاع اندام هوایی **Shoot height**	0.10^{ns}	0.11^{ns}	0.03^{ns}	0.10^{ns}	-0.67^{**}	-0.50^{**}		0.38^{*}	-0.14^{ns}	-0.25^{ns}
حداقل فلورسانس **Fo**	-0.10^{ns}	0.10^{ns}	0.10^{ns}	0.08^{ns}	-0.14^{ns}	0.09^{ns}	0.06^{ns}		-0.16^{ns}	0.14^{ns}
حداکثر فلورسانس **Fm**	0.30^{*}	0.01^{ns}	0.08^{ns}	0.23^{ns}	0.10^{ns}	-0.04^{ns}	0.01^{ns}	-0.12^{ns}		0.14^{ns}
کارایی فتوسیستم II **Fv/Fm**	-0.15^{ns}	0.66^{**}	0.24^{ns}	0.16^{ns}	0.22^{ns}	0.09^{ns}	1^{**}	-0.07^{ns}	0.06^{ns}	

* و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد و ns نشان‌دهنده غیر معنی‌دار بودن می‌باشد.

*,** showed significant at 5 and 1 % probability levels respectivelly and ns showed non significant.

Archive of SID

www.SID.ir

Archive of SID

فلورسانس کلروفیل با صفات مورفولوژیکی در شرایط عدم تنش معنی‌دار نبود و در شرایط تنش معنی‌دار گردید که نشان از تأثیر مهم این صفات در تحمل به تنش است.

تجزیه به عامل‌ها

نتایج تجزیه به عامل‌ها بر اساس ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در شرایط تنش سرما (صفر درجه سلسیوس) در جدول ۶ آمده است. این تجزیه منجر به شناسایی ۴ عامل پنهانی شد که درمجموع ۷۱/۷ درصد تغییرات را توجیه نمودند. عامل اول ۲۳/۴۵ درصد کل تغییرات را توجیه نمود، در این عامل صفات حداکثر فلورسانس کلروفیل (Fm) و ارتفاع اندام هوایی در جهت مثبت بالاترین نقش را داشتند؛ بنابراین می‌توان این عامل را مرتبط با تحمل به سرما در مرحله‌ی گیاهچه‌ای دانست به‌عبارت‌دیگر ژنوتیپی که ازنظر این عامل امتیاز بالایی داشته باشد متحمل محسوب می‌گردد. عامل دوم ۱۸/۶۹ درصد از تغییرات را توجیه نموده و در این عامل دو صفت میزان پرولین و وزن تر ریشه در جهت مثبت مهم بودند؛ به‌عبارت‌دیگر افزایش این عامل موجب افزایش وزن ریشه و میزان پرولین که هر دو در تحمل به تنش نقش دارند می‌شوند. در عامل سوم که ۱۶/۲۶ درصد تغییرات را توجیه نموده بار عامل‌های صفت شاخص تحمل به تنش و میزان سبزینگی مثبت و بالاترین مقادیر هستند بنابراین این عامل را می‌توان عامل تحمل به سرما نام‌گذاری کرد. در عامل چهارم صفت قندهای محلول کل در جهت مثبت و فلورسانس پایه (Fo) در جهت منفی بالاترین نقش را داشتند. این عامل ۱۳/۳۷ درصد تغییرات را توجیه کرد. نیازیان (۱۳۸۹) در بررسی خود بر روی بولتینگ چغندرقند ۵ مؤلفه را معرفی کرد که درمجموع ۸۲/۵۲ درصد تغییرات تنوع را توجیه کرد.

گروه‌بندی ارقام موردمطالعه در شرایط تنش سرما با استفاده از نمودار سه‌بعدی امتیازهای سه عامل اول

نمودار پراکنش سه‌بعدی ژنوتیپ‌ها بر اساس امتیازهای ۳ عامل اول در شکل ۱ ارائه شده است. چهار ناحیه بر اساس محورها طراحی گردید. در ناحیه A ارقام آناکوندا، دروتی، مراک، پرشیا و آنتیک قرار گرفتند. رقم مراک دارای بیشترین مقدار ازنظر هر سه عامل بود به همین دلیل می‌توان آن را متحمل‌ترین ژنوتیپ در مرحله گیاهچه‌ای دانست. این رقم ازنظر STI ریشه، کارایی فتوسیستم II، میزان پرولین و میزان سبزینگی مقادیر بالاتری در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها داشت. ژنوتیپ آنتیک از این نظر در رتبه دوم قرار می‌گیرد. ازجمله ویژگی‌های این رقم نشت الکترولیت کم، مقادیر بالای وزن خشک ریشه و کارایی فتوسیستم II بود. ژنوتیپ‌های دروتی (با داشتن مقادیر بالای STI ریشه، کارایی فتوسیستم II و میزان سبزینگی) و آناکوندا (با داشتن مقادیر بالای STI اندام هوایی و میزان پرولین) را می‌توان به‌عنوان ارقام نیمه متحمل معرفی نمود؛ زیرا در مقایسه با دو رقم قبل ازنظر عامل اول امتیاز کمتری داشتند. در ناحیه B ارقام شیرین، راستاد و زرقان قرار گرفتند. اکثر این ژنوتیپ‌ها ازنظر هر سه عامل مقادیر کمی داشتند و مرتبط با حساسیت به سرما بودند. در ناحیه C رقم کرجی قرار گرفت. این رقم نیز می‌توان گفت که در بین ارقام حساس قرار می‌گیرد. رقم SBSI-005 نیز در ناحیه D قرار داشت که می‌توان گفت از مقاومت متوسطی برخوردار بود. از نمودار سه‌بعدی بر اساس چهار ناحیه توصیه‌شده به‌وسیله فرناندز (Fernandez, 1992) جهت گروه‌بندی ارقام در شرایط تنش و بدون تنش در مطالعات دیگر استفاده شده است (Barzan, 2013).

نتیجه‌گیری

درمجموع نتایج حاکی از وجود تنوع کافی ازنظر تحمل به سرما در ارقام موردمطالعه چغندرقند در این آزمایش بود. باوجوداینکه در مقایسه میانگین‌ها رقم و یا ارقامی که هم ازنظر ویژگی‌های مورفولوژیکی و هم ازنظر ویژگی‌های فیزیولوژیکی برتر باشند مشاهده نشد اما تجزیه به عامل‌ها و گروه‌بندی بر اساس امتیاز عامل‌ها توانست ارقام مراک و آنتیک را به‌عنوان متحمل‌ترین ارقام به سرما معرفی نماید. این ارقام مکانیسم‌های متفاوتی ازنظر تحمل به سرما نشان دادند به‌گونه‌ای که برخی از آن‌ها ازلحاظ صفات مورفولوژیک مثل وزن خشک ریشه و برخی دیگر ازنظر صفات فیزیولوژیک مثل میزان پرولین برتر بودند. ازجمله ویژگی‌هایی که باعث تفکیک ارقام شدند میزان پرولین، کارایی فتوسیستم II و وزن خشک ریشه بود. بر اساس معیار شدت تنش نیز میزان پرولین (۹۰ درصد) و وزن خشک ریشه (۷۸ درصد) بیشتر از سایر صفات تحت تأثیر سرما قرار گرفتند؛ بنابراین از این ویژگی‌ها شاید بتوان به‌عنوان معیار تحمل به سرما در مرحله گیاهچه‌ای استفاده کرد.

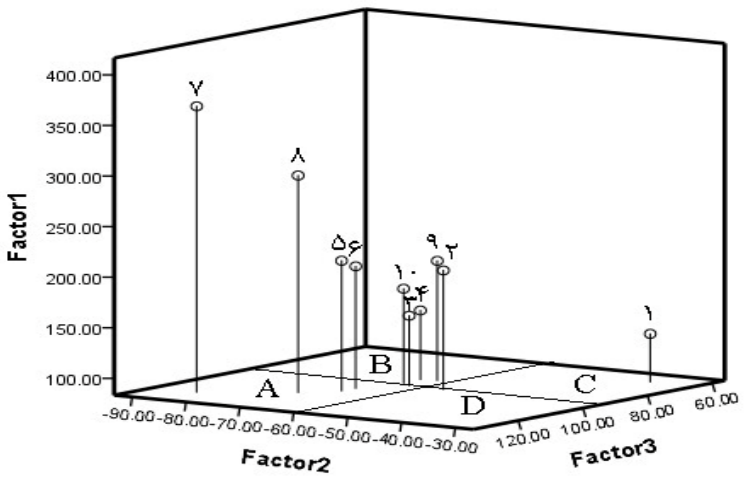
www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۶. بار عامل‌های دوران یافته به روش واریماکس، واریانس جزء و واریانس تجمعی برای چهار عامل اول مربوط به ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در چغندرقند در شرایط تنش سرما (دمای صفر درجه سلسیوس)

Table 6. Load of rotated factors by varimax method, component and cumulative variances for the first fourth factors related to the measured traits on sugar beet at cold stress (0˚C) conditions.

Traits	صفات	عامل اول First factor	عامل دوم Second factor	عامل سوم Thired factor	عامل چهارم Fourth factor	واریانس مشترک common variance
Shoot height	ارتفاع اندام هوایی	0.88	-0.0006	-0.32	-0.20	0.935
Fm	حداکثر فلورسانس	0.87	-0.14	0.18	0.22	0.913
Proline	پرولین	.0.01	0.93	-0.03	0.08	0.899
Root fresh weight	وزن تر ریشه	-0.15	0.86	-0.27	-0.15	0.906
STI	STI	-0.31	-0.23	0.85	0.05	0.906
SPAD	میزان سبزینگی	0.19	-0.08	0.82	0.05	0.873
Total slouble sugar	قندهای محلول کل	-0.14	-0.14	0.19	0.91	0.930
Fo	حداقل فلورسانس	-0.31	-0.23	0.17	-0.75	0.902
Fv/Fm	کارایی فتوسیستم II	-0.24	-0.12	-0.17	-0.02	0.878
Shoot fresh weight	وزن تر اندام هوایی	0.30	0.28	0.25	0.10	0.849
Electrolyte leakage	نشت الکترولیت	-0.09	-0.03	-0.13	0.12	0.950
Component variance	ورایانس جزء	23.45	18.69	16.26	13.37	-
Cumulative variance	واریانس تجمعی	23.4	42.1	58.4	71.7	-



شکل ۱. نمودار پراکنش سه‌بعدی بر اساس امتیازهای سه عامل اول برای ویژگی‌های چغندرقند در دمای صفر درجه سلسیوس.
۱-کرجی، ۲-SBSI-005، ۳-شیرین، ۴- راستاد، ۵- آناکوندا، ۶-دروتی، ۷-مراک، ۸-آنتیک، ۹-زرقان و ۱۰-پرشیا.

Fig. 1. Three-dimensional scatter plot of sugarbeet cultivars based on the first three factor scores at stress (0˚ Celsius) condition. 1- Karaji, 2- SBSI- 005, 3- Shirin, 4- Rastad, 5- Anaconda, 6- Drothy, 7- Merac, 8- Antic, 9- Zarghan and 10- Persia.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

Abdelmula, A.A., Link W., 1998. Evaluation of drought tolerance in faba bean (*Vicia faba* L.). Int. Symp. Breed. Oil and Protein Crops, Eucarpia, Apr. 1-4, Pontevedra, pp. 54-55.

Barzan, Z., 2013. Study of chilling tolerance in rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars at seedling stage and its relationship whith SSR markers. M. Sc. Thesis. P 106.

Blum, A., 1988. Plant Breeding for Environmental Stress. CRC press, USA.

Beltrano, J., Ronco, M.G., 2008. Improved tolerance of wheat plants (*Triticum aestivum*) to drough stress and rewatering by the arbuscular mycorrhizal fungus Glomus claroideum effect on growth and cell membrane stability. Brazilian Journal of Plant Physiology. 20, 29-31.

Cardona, C.A., Duncan, R.R., Lindstrom, O., 1997. Low temperature tolerance assessment in paspalm. Crop Science. 37, 1283-1291.

Emam, Y., Saghatoleslami, M. H., 2006. Yield Crop: Processes and Physiology. Shiraz University Press. 594p. [In Persian].

Falconer, D.S., Mackay, T.F.C., 1996. Introduction to Quantitative Genetics. Fourth edition. Logman, Inc, New York.

Fernandez, G.C.J., 1992. Effective selection criteria for assessing stress tolerance. In: Kuo, C.G. (ed.), Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress. AVRDC Publication, Tainan, Taiwan. pp. 257-270.

Galiba, G., 1994. In vitro adaptation for drought and cold hardiness in wheat. Plant Breeding Reviews. 12, 115-162.

Ghorbani, A., Zarinkamar, F., Fallah, A., 2009. The effect of cold stress on the morphologic and physiologic characters of two rice varieties in seedling stage. Jurnal of Crop Breeding. 1(3), 50-66. [In Persian with English Summary].

Hajmohamadnia Ghalibaf, K., Nezami, A., Kamandi, A., 2010. Investigation of possibility the using of electrolyte leakage index for evaluation of cold tolerance in sugar beet cultivars. Iranian Journal of Field Crops Research. 8(3), 465-472. [In Persian with English Summary].

Irigoyen, J.J., Emerich, D.W., Sanchez-Diaz, M., 1992. Water stress induced changes in concentration of prolineand total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. Physiology Plants. 84, 55-60.

Jalilian A., Mazaheri, D., Tavakkol Afshari, R., Abdollahian-Noghabi, M., Rahimian, H., Ahmadi, A., 2009. Effect of freezing damage at seedling stage in different sugar beet cultivars. Iranian Journal of Crop Science. 10(4), 400-415. [In Persian with English Summary].

Johnson, R.E., Wichern, D.W., 2008. Applied Multivariate Statistical Analysis (6th Edition). Prentice Hall press. 800p.

Jose, A. I., 2002. Package of Practice Recommendations: Crop. 12th Edition. Kerala Agriculture University, Trichur, Kerala, India, 278p.

Kaya, C., Higges D., Kirnak H., 2001. The effects of high salinity (NaCl) and supplementary phosphorus and potassium of physiology and nutrition development of spinach. Journal of Plant Physiology. 27(3), 47-59.

Kocheki, A., Soltani, A., 1997. Sugar Beet Agronomy. Mashhad University Jihad Press. 200p. [In Persian].

Kyani, H., Hajmohamadnia Ghalibaf, K., 2001. Sugar Beet Qualify. Research and Farming Services Sugar Beet of Khorasan Co. Press. 285p. [In Persian].

Lacic, N., Kovacey L., 2004. Spring frost damage to suger beet in 2003. Plant Doctor. 32(1), 37-40.

Mohamadi Goltapeh, A., Pakdami Sardroud, B., Rezaeidanesh, B., 2000. Pests and Diseases of Sugar Beet. Tarbiat Modares University Press. 275 p.

Molinari, H.B.C., Marur, C.J., Bespalhok, J.C., Kobayashi, A.K., Pileggi, M., Pereira, F.P.P., Vieira, L.G.E., 2004. Osmotic adjustment in transgenic Citrus rootstocks (*Carrizo citrange*) overproducing proline. Plant Science. 167, 1375–1381.

Nezami, A., Khazaee, H.R., Hosseinpanahi, F., Fazeli Kakhki, S.F., 2013. Assessment of freezing tolerance in lentil genotypes (*Lens culinaris*) by electrolyte leakage index. Iranian Journal of Field Crops Research.

www.SID.ir

Archive of SID

11(1), 23-50. [In Persian with English Summary].

Nezami, A., Hajmohammadnia Ghalibaf, K., Kamandi, A., 2010. Evaluation of freezing tolerance of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) cultivars under controlled conditions. Environmental Stress in Crop Sciences. 3(2), 177-187. [In Persian with English Summary].

Papagecorgious, G., 1975. Chlorophyll fluorescence: an intrinsic probe of photosynthesis. In: Govindiee, W. (ed.), Bioenergetics of Photosynthesis. Academic Press, New York. pp. 319-371.

Paquine, F., Lechasseur, P., 1979. Observations sure one method dosage 1a Libra-dens les de plants. Canadian Journal of Botany. 57, 1851-1854.

Schapendonk, A.H.C.M., Dolstar, O., Van Kooten, O., 1989. The use of chlorophyll fluorescence as screening method for cold tolerance in maize. Photosynthesis Research. 20, 235-247.

Sharghi, M., Latifi Navid, S., Razavi, M., Zahari, S., 2014. Investigation the effect of cold stress on chlorophyll content and fluorescence in some sugar beet cultivars. National Congress of Organic and Conventional Agriculture, pp.223-220.

Steponkus, P. L., Uemura, M. Webb, M. S., 1993. Redesigning crops for increased tolerance to freezing stress. In: Jackson, M.B., Black, C.R. (eds.), Interating Stresses on Plant in a Changing Climate pp. 697-714.

Uemura, M., Ttominaga, Y.C.S., Nakagawara, A., Shigematsu, M., Kawamura, Y., 2006. Responses of plasma membrane to low temperature. Physiologia Plantarum. 126, 81-89.

Zeinali Yadegari, L., Heidari, R. Karapetian, J., 2010. The effect of cold pretreatment on respiration rates and the contents of proline and phothosyntetic pigments in soybean seedling (*Glycine max* cv. L17). Iranian Journal of biology. 23 (3), 409-417. [In Persian with English Summary].

www.SID.ir