

ارزیابی تحمل به یخ زدگی ارقام کلزا (*Brassica napus* L.) پس از خو سرمائی در شرایط کنترل شده

احمد نظامی^۱، اعظم برزویی^۲، مریم جهانی^۲، مهدی عزیزی^۲، محمد جواد موسوی^۴

چکیده

به منظور بررسی تحمل به یخ زدگی ارقام کلزا در شرایط کنترل شده آزمایشی در دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، در قالب طرح کاملاً تصادفی و به صورت آزمایش اسپلیت پلات فاکتوریل با دو تکرار به اجرا درآمد. ترکیب ده رقم کلزا به نامهای لیکورد، الیت، SLMO46، اُکاپی، سیمبل، کالورت، اُپرا، اُبنیت، آلیس و زرقام به همراه پنج تیمار دمائی (۰، -۴، -۸، -۱۲ و -۱۶- درجه سانتی‌گراد) به صورت فاکتوریل در پلات‌های فرعی و تیمار خو سرمائی (خو سرمائی و عدم خو سرمائی) در پلات اصلی در نظر گرفته شدند. گیاهان تا مرحله ۳-۵ برگی در گلخانه رشد یافته و سپس گیاهان تیمار عدم خو سرمائی بلافاصله و گیاهان تیمار خو سرمائی پس از قرار گرفتن در شرایط خو سرمائی به مدت سه هفته، در فریزر ترموگرادیان در معرض تیمارهای دمائی قرار گرفتند. سه هفته بعد از زمان اعمال دماهای یخ زدگی، درصد بقاء، سطح برگ، وزن خشک، عدد کلروفیل متر، دمای کشنده^۲ ۵۰ درصد گیاهان (LT₅₀) و دمای کاهنده^۳ ۵۰ درصد وزن خشک گیاهان (RDMT₅₀) ثبت شد. رقم‌های کالورت، سیمبل و زرقام با ۷۷، ۷۶ و ۷۵ درصد و رقم اپرا با ۶۳ درصد به ترتیب بیشترین و کمترین درصد بقاء را دارا بودند. ارقام از لحاظ وزن خشک، LT₅₀ و سطح برگ سه هفته پس از بازیافت نیز با یکدیگر اختلاف معنی داری داشتند به طوری که اغلب صفات مورد بررسی از تیمار دمائی -۸- درجه سانتی‌گراد به پائین کاهش معنی داری نسبت به شاهد عدم یخ زدگی (تیمار صفر درجه سانتی‌گراد) داشتند. تیمار خو سرمائی سبب بهبود در صد بقاء (۳۴٪)، LT₅₀ (۳۷٪)، وزن خشک بوته (۴۸٪) و RDMT₅₀ (۸۰٪) نسبت به تیمار خو سرمائی شد.

واژه‌های کلیدی: بقاء، خو سرمائی، LT₅₀، RDMT₅₀

مقدمه

دانه‌های روغنی و از جمله کلزا پس از غلات دومین ذخیره غذایی جهان را تشکیل می‌دهند. این محصولات علاوه بر دارا بودن ذخائر غنی اسید چرب، حاوی پروتئین نیز می‌باشند. طبق آمار فائو در سال ۱۹۹۹ کلزا پس از سویا و نخل روغنی سومین منبع تولید روغن نباتی جهان بشمار می‌آید. بطوریکه ۱۴٫۷٪ کل تولید روغن گیاهی جهان را به خود اختصاص داد. در ایران نیز نوعی کلزا در حدود ۵۰۰ سال پیش به عنوان منداب شناخته شده بود ولی کشت ارقام

اصلاح شده آن از اوایل دهه ۷۰ آغاز گردید. از آنجائی که میزان روغن حاصل از دانه‌های روغنی تولید داخل حدود ۸٪ نیاز خام کشور را تامین می‌کند لذا توسعه کشت کلزا بدلیل دارا بودن صفات مطلوبی مانند مقاومت به سرما، کم آبی، تحمل شوری، ارزش تناوبی بالا (کشت پاییزه کلزا در تناوب با غلات بویژه گندم باعث غنا بخشیدن به خاک می‌شود) و .. مورد توجه قرار گرفته است (۲).

زیانهای اقتصادی سرما و یخبندان به محصولات کشاورزی کشور به مراتب بیشتر از زیانهای سایر پدیده‌های

۱-۲،۳،۴- به ترتیب عضو هیات علمی گروه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، دانشجوی دکتری زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، عضو هیات علمی مرکز تحقیقات کشاورزی طرق و عضو هیات علمی گروه باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد.

2- Lethal Temperature 50 (LT₅₀)

3- Reduced Dry Matter Temperature 50 (RDMT₅₀)

ژنوتیپ‌های تطابق یافته به سرما و ژنوتیپ‌های تطابق نیافته تفاوت معنی داری با یکدیگر داشته و در ژنوتیپ‌های تطابق یافته به سرما LT_{50} کمتر بود. اولد و همکاران (۱۰) با بررسی تحمل به سرمای ژنوتیپ‌های نخود فرنگی در شرایط مزرعه و شرایط کنترل شده مشاهده کردند که با کاهش دما در صد بقاء لاین‌های نخود فرنگی در هر محیط کاهش یافت.

مودهن و همکاران (۱۹) اظهار نمودند که پایداری کلروفیل شاخصی از مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی است. پایداری کلروفیل باعث دریافت بهتر تشعشع توسط گیاه تحت شرایط تنش شده و در نتیجه سرعت فتوسنتز و متعاقباً تولید ماده خشک و عملکرد افزایش می‌یابد.

اهداف این آزمایش عبارت بودند از (الف) بررسی اثر خوسرمایی بر تحمل به یخ زدگی ارقام کلزا، (ب) بررسی برخی پارامترهای موثر بر رشد مجدد ارقام کلزا پس از یخ زدگی (ج) تعیین شاخصی مناسب جهت انتخاب ارقام مقاوم و حساس به تنش یخ‌زدگی.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۸۴ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد (دانشکده کشاورزی) به صورت آزمایش اسپلنت پلات فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایشی عبارت بودند از، خوسرمایی (در ۲ سطح شامل خوسرمایی و عدم خوسرمایی) به عنوان فاکتور اصلی و ارقام کلزا شامل ۱۰ رقم به نام‌های (لیکورد، الیت، SLMO46، اُکاپی، سیمبل، کالورت، اُپرا، اُبنیت و آلیس (ارقام پائیزه) و همچنین رقم زرفام (بهاره - پائیزه) و دمای یخ‌زدگی شامل ۵ تیمار (صفر، -۴، -۸، -۱۲ - و -۱۶ - درجه سانتی گراد) که به صورت فاکتوریل به عنوان فاکتورهای فرعی در نظر گرفته شدند. تعداد ۵ بذر در گلدان‌های پلاستیکی به قطر ۱۰ سانتی‌متر و در عمق ۲-۱ سانتی متری خاک کشت شدند. دمای گلخانه $25/15 \pm 2$ درجه سانتی گراد تنظیم و فتوپریود طبیعی نیز اعمال شد. گیاهان تا مرحله ۳-۵ برگی در شرایط فوق نگهداری و پس از این مرحله، گیاهان یا بلافاصله تحت تیمار یخ‌زدگی قرار گرفتند (تیمار عدم خوسرمایی) و یا به شرایط

مخرب جوی و گهگاهی فزون تر از خسارت‌هایی است که در اثر بیماریها و آفات به گیاهان وارد می‌آید (۱). از نظر کشاورزی در نتیجه وقوع دماهای تنش زای سرد در منطقه بسته به میزان سردی هوا، طول زمان آن و فراوانی آنها نتایج زیانباری در گیاه حادث می‌شود و بلافاصله بعد از وقوع تنش سرما، در صورت افزایش دما، به ندرت گیاهان صدمه دیده بهبود می‌یابند. تابش شدید در طول یا بلافاصله بعد از دوره سرما، موجب افزایش صدمه به کلروپلاست‌ها شده بهبود گیاه را به تاخیر می‌اندازد یا متوقف می‌کند (۷).

تحمل زمستان توسط گیاه به توانایی تحمل تنش‌هایی نظیر یخ‌زدگی، آب کشیدگی، پوشش یخ، غرقاب، خفه شدن و بیماری‌های مختلف وابسته است و لذا این تحمل صفت پیچیده‌ای است که مستلزم وقوع فرآیندهای متعدد شیمیایی، فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی در گیاه است (۹). فولر و گاستا (۱۴) برای اندازه‌گیری تحمل به سرما در گندم "شاخص بقاء مزرعه" را ابداع کردند. در این روش توانایی بقاء ژنوتیپ‌های مورد آزمایش با کاشت آن‌ها در مزرعه و قرار گرفتن در معرض سرما و مقایسه با نمونه شاهد ارزیابی می‌شود. ایشان معتقدند که بقاء در مزرعه آزمون مناسبی است ولی در اغلب مواقع تفاوت بقاء در بین آزمون‌های مزرعه‌ای به دلیل بقاء کامل و یا مرگ کامل گیاه در زمستان آشکار نمی‌شود. حتی زمانی که تفاوت در میزان بقاء نیز وجود دارد، کشف تفاوت‌های کوچک در بقاء زمستانه غالباً به دلیلی شرایط ناهمگن مزرعه مانند پوشش متغیر برف، پوشش یخ، رطوبت خاک، حاصلخیزی خاک و پاتوژن‌ها مشکل می‌باشد. به همین علت انواع مختلفی از آزمون‌های یخبندان مصنوعی جهت پرهیز از بعضی محدودیت‌های اجتناب‌ناپذیر در ارزیابی‌های مزرعه‌ای ابداع شده است.

در این روش گیاهان در شرایط کنترل شده با سرما خوسرمایی^۱ پیدا می‌کنند و در مرحله بعد با قرار دادن آنها در معرض دماهای مختلف یخ‌زدگی، دمایی که سبب ۵۰٪ در صد تلفات (LT_{50}) در گیاه که یک روش مناسب برای اندازه‌گیری مقاومت به سرما است محاسبه می‌کنند (۴). فولر و کارلس (۱۴) بیان نمودند که مقادیر LT_{50}

مرحله بعد گلدان‌ها به گلخانه (مشابه شرایط قبل از خوسرمایی) منتقل شده و پس از ۲۱ روز درصد بقاء و بازیافت گیاهان ارزیابی شد. درصد بقاء گیاهان از طریق شمارش تعداد بوته زنده در هر گلدان و از طریق فرمول: $[100 \times (\text{تعداد گیاهان قبل از تیمار یخ زدگی}) / (\text{تعداد گیاهان زنده سه هفته پس از تیمار یخ زدگی})]$ محاسبه شد. همزمان صفات دیگری نظیر سطح برگ (با استفاده از دستگاه Leaf Area meter)، عدد کلروفیل متر (با استفاده از دستگاه SPAD مدل Minolta-502) و وزن خشک (پس از ۴۸ ساعت قرار گرفتن نمونه‌ها در اون ۷۰ درجه سانتیگراد) اندازه گیری شد. LT_{50} و نیز $RDMT_{50}$ با استفاده از رسم نمودار درصد بقاء و وزن خشک نمونه‌ها در مقابل دماهای یخ زدگی تعیین شد. محاسبات آماری با استفاده از نرم افزارهای Excel و MSTAT-C انجام گرفت و جهت مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون LSD استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج آنالیز واریانس صفات مورد بررسی در ارقام مختلف کلزا در جدول ۱ آورده شده است. ارقام از نظر درصد بقاء تفاوت معنی داری با یکدیگر داشتند ($p < 0/01$)، به نحوی که ارقام کالورت، سیمبل و زرفام به ترتیب با ۷۷، ۷۶ و ۷۵ درصد از بیشترین و رقم اپرا با ۶۳ درصد از کمترین درصد بقاء برخوردار بودند (جدول ۳). تیمار خوسرمایی بر درصد بقاء گیاهان تأثیر معنی داری ($p < 0/01$)

خوسرمایی منتقل شدند. شرایط خوسرمایی در طول سه هفته و به صورت زیر اعمال شد، هفته اول ۱۱/۱۳ ساعت تناوب نوری و تاریکی و دمای روز و شب $1 \pm 8/5$ درجه سانتی گراد، هفته دوم ۱۰/۱۴ ساعت تناوب نوری و تاریکی و دمای روز و شب $1 \pm 6/4$ درجه سانتی گراد و هفته سوم ۹/۱۵ ساعت تناوب نوری و تاریکی و دمای روز و شب $1 \pm 5/3$ درجه سانتی گراد. روشنائی از طریق لامپ فلورسنت ۴۰ وات و تنگستن ۱۰۰ وات به نسبت سه به یک و میانگین شدت 30 ± 250 میکرومول انیشتن بر متر مربع بر ثانیه تأمین شد و گیاهان در مواقع نیاز آبیاری شدند. ۲۴ ساعت قبل از تیمار یخ زدگی نیز بوته‌ها آبیاری شدند. در مرحله بعد گلدان‌ها به فریزر ترموگرادیان منتقل شدند. دمای فریزر در شروع آزمایش ۵ درجه سانتی گراد بوده و پس از قرار دادن نمونه‌ها با سرعت ۲ درجه سانتی گراد 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 می افتد، فراهم می کند (۲۰). به منظور ایجاد هستک یخ در گیاهچه‌ها، در دمای ۳- درجه سانتی گراد محلول INAB^۱ بر روی گیاهان پاشیده شد و پس از آن دما با سرعت ۲ درجه سانتی گراد در ساعت کاهش یافت. به منظور ایجاد تعادل در دمای محیط، گیاهان در هر تیمار دمائی به مدت یک ساعت نگه داشته شده و سپس گلدان‌ها به اتاقک با دمای 1 ± 4 درجه سانتی گراد منتقل و به مدت ۲۴ ساعت در آنجا نگهداری شدند. در

جدول ۱: میانگین مربعات صفات درصد بقاء، وزن خشک، سطح برگ و عدد کلروفیل متر ارقام کلزا سه هفته پس از اعمال تیمارهای یخ زدگی و رشد مجدد در شرایط گلخانه

منبع تغییر	درجه آزادی	درصد بقاء	وزن خشک	سطح برگ در گیاه	عدد کلروفیل متر
خوسرمایی	۱	۱۱۷۴۴/۳**	۹۱/۹**	۱۳۶۶۴۲۲/۱**	۵۳۲۲/۳**
خطای اصلی	۲	۴۳/۸	۱/۰	۱۶۶۳۴/۶	۱۰/۲
رقم	۹	۳۹۷/۷**	۴/۱**	۷۵۷۶۲۴/۳**	۴۰/۶**
رقم × خوسرمایی	۹	۲۵۵/۴*	۳/۴**	۷۶۶۰۷۹/۴**	۷۰/۰**
دما	۴	۷۱۷۸۸/۸**	۱۷/۶**	۶۲۴۳۸۹/۹**	۱۲۰۵۰/۶**
دما × خوسرمایی	۴	۷۵۶۶/۴**	۶/۰**	۳۶۴۶۲۷۲/۴**	۹۷۲/۸**
دما × رقم	۳۶	۲۳۰/۰*	۰/۵**	۲۳۰۱۷۷/۳**	۴۲/۲*
خطای فرعی	۹۸	۱۲۴/۵	۰/۴	۱۷۰۶۹۹/۰	۲۶/۸

Ns: عدم اختلاف معنی دار، *: معنی دار در سطح ۰/۰۵، **: معنی دار در سطح ۰/۰۱

جدول ۲: میانگین مربعات صفات LT_{50} و $RDMT_{50}$ در ارقام کلزا سه هفته پس از اعمال تیمارهای یخ زدگی و رشد مجدد در شرایط گلخانه

منبع تغییر	درجه آزادی	LT_{50}	$RDMT_{50}$
خوسرمائی	۱	۱۵۷/۸۹ ^{***}	۲۴۴/۵۸ ^{***}
رقم	۹	۵/۷۳ [*]	۲/۵۱ ^{**}
رقم × خوسرمائی	۹	۳/۳۰ ^{**}	۲/۶۱ ^{**}
خطا	۲۰	۲/۴۵	۳/۵۵

داشت و میانگین این صفت در تیمار خوسرمائی ۱۵/۴ درصد بالاتر از شرایط عدم خوسرمائی بود (جدول ۳). به نظر می‌رسد دوره خوسرمائی قبل از مواجه شدن گیاه با تنش یخ‌زدگی از طریق ایجاد تغییرات بیوشیمیائی (۱۸) و فیزیولوژیکی (۶) در گیاه، شرایط را برای بهبود تحمل به تنش در گیاه فراهم کرده است.

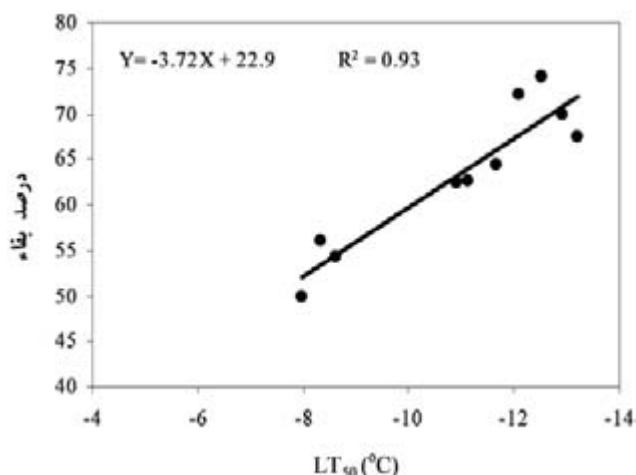
تئوتونیکا و همکاران (۲۲) بیان کردند، خوسرمائی به مدت چند هفته توانائی ارقام کلزا را برای بقاء به هنگام قرار گرفتن در معرض دماهای یخ‌زدگی افزایش می‌دهد. همچنین این پژوهشگران خاطر نشان کردند که تحمل به یخ‌زدگی پس از خوسرمائی در شرایط آزمایشگاهی

همبستگی معنی‌داری با بقاء زمستانه در شرایط مزرعه دارد ($r=0.82^{**}$). نتایج حاصل از اثر متقابل رقم و خوسرمائی بر درصد بقاء گیاهان نیز نشان داد که میزان افزایش مقاومت به دنبال خوسرمائی در ارقام اپرا و آلیس ۲۶ درصد و در رقمهای سیمبل و کالورت به ترتیب ۸ و ۶ درصد بود (جدول ۴). نظامی و همکاران (۹) نیز با ارزیابی تحمل به یخ‌زدگی ژنوتیپ‌های نخود گزارش کردند که در اثر تیمار خوسرمائی درصد بقاء، در ژنوتیپ MCC ۵۰۵ برابر با ۲۰/۶ درصد و در دو ژنوتیپ MCC۴۲۶ و MCC۲۵۲ به ترتیب ۱۳/۶ و ۱۰/۷ درصد افزایش یافت.

اثر تیمار دمائی بر درصد بقاء گیاهان معنی‌دار بود ($p<0.01$)، بطوریکه درصد بقاء گیاهان با کاهش دما به کمتر از ۸- درجه سانتیگراد کاهش معنی‌داری یافت (جدول ۵). کاهش درصد بقاء گیاهان بین دمای ۴- و ۸- درجه سانتیگراد، ۱/۱ درصد به ازاء هر درجه سانتیگراد کاهش بود، درحالیکه این کاهش بین دمای ۸- تا ۱۲- درجه سانتیگراد به ۷/۷ درصد به ازاء هر درجه سانتیگراد کاهش رسید. بنابراین اثر منفی درجه حرارت‌های کمتر از ۸- درجه سانتیگراد بر روی درصد بقاء ارقام مورد مطالعه شدیدتر از

جدول ۳: میانگین صفات درصد بقاء، LT_{50} ، وزن خشک، $RDMT_{50}$ ، سطح برگ و عدد کلروفیل متر در تیمار خوسرمائی و ارقام مختلف کلزا سه هفته پس از اعمال تیمارهای یخ زدگی و رشد مجدد در شرایط گلخانه

تیمار	بقاء (%)	LT_{50} (درجه سانتیگراد)	وزن خشک (میلی گرم)	$RDMT_{50}$ (درجه سانتیگراد)	سطح برگ (سانتیمتر مربع)	عدد کلروفیل متر
خوسرمائی	۷۸/۷	-۱۴/۹	۱۷۸۳	-۱۱/۰	۹۲/۱	۳۵/۳
عدم خوسرمائی	۶۳/۳	-۱۰/۹	۴۲۷	-۶/۱	۳۶/۷	۲۵/۰
LSD (۰/۰۵)	۲/۷	۰/۹	۴۱۴/۶	۰/۸	۳۷/۷	۲/۱
رقم						
زرغام	۷۵/۰	-۱۴/۳	۴۱۵	-۸/۵	۳۴/۴	۳۱/۵
لیکورد	۷۲/۷	-۱۳/۷	۶۸۱	-۷/۹	۳۴/۵	۲۹/۹
الیت	۶۷/۰	-۱۱/۳	۵۷۹	-۹/۰	۳۶/۸	۳۷/۷
SLMO46	۷۲/۲	-۱۳/۷	۹۰۰	-۷/۳	۳۵/۹	۳۰/۶
اکابی	۶۹/۹	-۱۲/۵	۱۲۶۸	-۹/۸	۱۴۱/۹	۳۰/۴
سیمبل	۷۶/۰	-۱۳/۹	۱۱۳۲	-۹/۳	۱۴۱/۹	۳۱/۳
کالورت	۷۷/۰	-۱۴/۱	۱۴۰۱	-۸/۰	۱۵۷/۱	۳۲/۳
اپرا	۶۳/۰	-۱۱/۰	۱۳۰۷	-۸/۳	۱۵۴/۸	۲۸/۳
اینیت	۷۰/۲	-۱۲/۷	۱۸۵۷	-۷/۹	۱۸۲/۳	۲۹/۷
آلیس	۶۷/۱	-۱۲/۲	۱۴۹۶	-۹/۲	۱۷۴/۴	۲۹/۶
LSD (۰/۰۱)	۹/۳	۲/۳	۵۱۷	۲/۸	۲۴/۷	۴/۳



شکل ۱: رابطه بین درصد بقاء و دمای ۵۰ درصد کشندگی (LT_{50}) در گیاه کلزا

تنها پس از سه روز و در ارقام پائیزه بین ۶ تا ۹ روز سبب بهبود تحمل به سرما و کاهش دمای ۵۰ درصد کشندگی گردید.

ارقام کلزا از لحاظ LT_{50} تفاوت معنی داری ($p < 0.05$) با یکدیگر داشتند (جدول ۲)، به نحوی که ارقام زرفام، کالورت، سیمبل، SLMO46 و لیکورد از کم ترین و رقمهای اپرا و الیت از بیشترین میزان LT_{50} برخوردار بودند (جدول ۳). نتایج بررسی دیون و همکاران (۱۲) بر روی علف چمنی (*Poa annua* L.) تفاوت معنی داری از لحاظ LT_{50} در بین اکوتیپ‌های این گراس یکساله نشان داد. همچنین در آزمایش ایشان پس از اعمال شرایط و سرمائی میزان LT_{50} بسته به اکوتیپ بین ۲۲/۸- تا ۳۱/۲- درجه سانتی گراد بود. در آزمایشی که عزیز و همکاران (۴) نیز بر روی تحمل به یخزدگی ۱۴ رقم گندم انجام دادند، رقم گلنسون با LT_{50} معادل ۱۵/۸- درجه سانتی گراد مقاوم ترین و رقم مارون با LT_{50} حدود ۳/۷- درجه سانتیگراد حساس ترین رقم معرفی شد.

نتایج حاصل از رگرسیون خطی بین درصد بقاء و LT_{50} بیانگر آن است که بخش زیادی از تغییرات درصد بقاء به دمای ۵۰ درصد کشندگی در هر رقم بر می گردد (شکل ۱). لذا همانطور که ارقام سیمبل، کالورت و زرفام از بیشترین درصد بقاء برخوردار بودند، منفی ترین دمای LT_{50} نیز در همین ارقام مشاهده گردید. بررسی بریجر و

درجه حرارتهای بالاتر از این دما بوده است. رایف و زینلی (۲۱) نیز با انجام آزمایشی بر روی سه رقم کلزا گزارش کردند که درصد بقاء در دماهای -۶، -۸، -۱۰ و -۱۲ به ترتیب ۶۴، ۲۷، ۹ و ۷ درصد بود. بدین لحاظ نتایج مطالعه حاضر مبنی بر کاهش بیشتر این صفت در دماهای کمتر از -۸ درجه سانتی گراد با گزارش پژوهشگران فوق مطابقت دارد. اعمال تیمار خوشمائی سبب گردید که تلفات گیاهی با کاهش دما از -۱۲ درجه سانتیگراد به پائین افزایش یابد در حالیکه در شرایط عدم خوشمائی افزایش تلفات گیاهی با کاهش دما از -۸ درجه سانتیگراد به پائین مشاهده شد.

در دمای -۱۲ درجه سانتیگراد، درصد بقای گیاهانی که در معرض تیمار خوشمائی قرار داشتند ۹۵ درصد بود، در حالیکه در همین دما میانگین بقاء در شرایط عدم خوشمائی به ۳۱/۵ درصد کاهش یافت (جدول ۵). وانر و جونتیل (۲۳) با بررسی تأثیر سرما بر روی مقاومت به یخزدگی گیاه *Arabidopsis* گزارش کردند که بقای گیاهانی که در دمای ۱ درجه سانتیگراد به مدت یک روز خو گرفتند تا دمای -۷ درجه سانتیگراد حفظ شد، در حالی که در شرایط عدم خوشمائی گیاهان در دمای -۵ درجه سانتیگراد از بین رفتند. میانگین درصد بقاء ارقام مختلف در تیمارهای دمائی مورد بررسی در جدول ۶ نشان داده شده است. همانگونه که ملاحظه می گردد، درصد بقاء ارقام زرفام، SLMO46 و سیمبل تا دمای -۸ درجه سانتیگراد تحت تأثیر قرار نگرفت ولی تیمار دمائی -۱۲ درجه سانتیگراد به ترتیب سبب ۲۵، ۳۸ و ۲۰ درصد تلفات در این ارقام گردید. در حالی که در رقم اپرا درصد بقاء در دمای -۸ درجه سانتیگراد ۷۵ درصد بود و در دمای -۱۲ درجه سانتیگراد به ۴۰ درصد کاهش یافت.

تیمار خوشمائی به نحو معنی داری ($p < 0.01$) LT_{50} را تحت تأثیر قرار داد، بطوریکه اعمال این تیمار سبب بهبود LT_{50} به میزان ۴- درجه سانتیگراد گردید (جدول ۳). در بررسی نظامی و همکاران (۹) مشاهده شد که خوشمائی سبب بهبود LT_{50} در ژنوتیپ‌های حساس و متحمل به سرمای نخود شده است. رایف و زینلی (۲۱) نیز با مطالعه دوره‌های مختلف خوشمائی بر افزایش تحمل به یخزدگی سه رقم کلزا گزارش کردند که در رقم بهاره خوشمائی

پائین ایفا می کنند (۱۱ و ۱۵). کازلوسکی و پالاردی (۱۸) بیان نمودند که دماهای کم (غیر از دمای یخ زدگی) سبب تجمع دهیدراتها و سایر پروتئینهای ضد یخ زدگی در برگها، ساقه ها و گلها می شود، لذا به نظر می رسد فرایند سازگاری گیاه به دماهای نامطلوب که از طریق مکانیسمهای بیوشیمیائی و فیزیولوژیک متفاوتی حاصل می شود، خسارت ناشی از تنش یخ زدگی و کاهش رشد مجدد گیاه را به حداقل می رساند.

ارقام کلزا از نظر وزن خشک در سه هفته پس از اعمال تیمار یخ زدگی تفاوت معنی داری داشتند ($p < 0.01$)، به نحوی که ارقام اینیت، آلیس و کالورت از بیشترین وزن خشک و ارقام زرفام، الیت و لیکورد از کمترین وزن خشک برخوردار بودند (جدول ۳). نتایج حاصل از اثرات متقابل

همکاران (۱۹۹۶) بر روی بقاء زمستانه غلات در مزرعه نشان داد که بین شاخص بقاء مزرعه و LT_{50} حاصل از گیاهان قرار گرفته در معرض دماهای یخ زدگی تحت شرایط کنترل شده همبستگی قوی وجود دارد. میرزائی اصل و همکاران (۶) نیز همبستگی بالائی، بین LT_{50} حاصل از طوقه های گیاهان مزرعه با LT_{50} حاصل از گیاهان کشت شده در گلدان های کوچک گزارش کردند ($r = 0.98^{**}$).

نتایج حاصل از آزمایش نشان داد که خو سرمائی تأثیر معنی داری بر وزن خشک گیاهان مورد بررسی داشت و اعمال این تیمار میانگین این صفت را بیش از چهار برابر نسبت به تیمار عدم خو سرمائی افزایش داد (جدول ۳). گزارش شده که خو سرمائی سبب سنتز برخی از گروههای پروتئینی می شوند که نقش مهمی در تحمل گیاه به دماهای

جدول ۴: اثر متقابل ارقام مختلف کلزا و تیمار خو سرمائی بر میانگین صفات درصد بقاء، LT_{50} ، $RDMT_{50}$ ، وزن خشک، سطح برگ و عدد کلروفیل متر سه هفته پس از اعمال تیمار یخ زدگی و رشد مجدد در شرایط گلخانه

تیمار	درصد بقاء	LT_{50} (درجه سانتیگراد)	وزن خشک (میلی گرم)	$RDMT_{50}$ (درجه سانتیگراد)	سطح برگ در گیاه (سانتی متر مربع)	عدد کلروفیل متر
خو سرمائی	زرغام	۸۰	-۸/۱	۵۶۶	-۱۰/۷	۲۶/۶
	لیکورد	۷۸	-۱۵/۲	۹۲۴	-۱۰/۰	۲۲/۳
	الیت	۷۶	-۱۳/۳	۷۵۳	-۱۲/۲	۲۲/۹
	SLMO46	۸۰	-۱۱/۳	۱۳۷۹	-۹/۴	۲۴/۳
	اکایی	۷۶	-۱۱/۲	۲۱۱۹	-۱۲/۴	۲۷/۰
	سیمبل	۸۰	-۷/۹	۲۰۵۸	-۱۲/۶	۲۵/۵
	کالورت	۸۰	-۱۰/۶	۲۱۲۱	-۱۰/۱	۲۵/۶
	ایرا	۷۶	-۱۲/۸	۲۱۴۸	-۱۲/۲	۲۴/۹
	اینیت	۷۸	-۱۳/۹	۲۲۲۹	-۹/۰	۲۵/۹
	آلیس	۸۰	-۱۱/۲	۲۵۲۶	-۱۱/۵	۲۸/۲
عدم خو سرمائی	زرغام	۷۰	-۷/۸	۲۶۴	-۶/۲	۲۶/۳
	لیکورد	۶۷/۵	-۸/۷	۴۳۸	-۵/۸	۲۷/۶
	الیت	۵۶	-۱۰/۲	۴۴۲	-۵/۸	۲۲/۵
	SLMO46	۶۴/۵	-۱۱/۷	۴۲۱	-۵/۲	۲۶/۹
	اکایی	۶۲/۵	-۸/۲	۴۱۷	-۷/۲	۲۳/۹
	سیمبل	۷۲	-۵/۱	۲۰۵	-۶/۱	۲۷/۱
	کالورت	۷۴	-۸/۳	۶۸۱	-۶/۰	۲۹/۱
	ایرا	۵۰	-۱۰/۱	۴۶۵	-۴/۴	۲۱/۷
	اینیت	۶۲/۵	-۲/۸	۴۷۴	-۶/۸	۲۳/۵
	آلیس	۵۴/۳	-۵/۲	۴۶۶	-۷/۰	۲۱/۰
LSD (+/-)						
	۱۳/۱	-۱/۵	۷۲۱	۳/۳	۴۹/۰	۶/۱

جدول ۵: اثرات دماهای مختلف یخ زدگی و دماهای مختلف یخ زدگی × خوسرمائی بر درصد بقاء، وزن خشک، سطح برگ و عدد کلروفیل مترارقام مختلف کلزا سه هفته پس از اعمال تیمار یخ زدگی و رشد مجدد در شرایط گلخانه

تیمار	درصد بقاء	وزن خشک (میلی گرم)	سطح برگ در گیاه (سانتیمتر مربع)	عدد کلروفیل متر
دمای یخ زدگی				
صفر	۹۹	۱۵۸۶	۱۴۵/۹	۴۰/۹۳
-۴	۹۸/۷	۱۵۸۲	۱۴۸/۵	۴۰/۳۸
-۸	۹۴/۱	۱۳۸۶	۱۳۶/۴	۳۸/۸۱
-۱۲	۶۳/۲	۹۹۰	۱۱۶/۲	۳۰/۵۲
-۱۶	۰	۰	۰	۰
LSD (۰/۰۵)				
خوسرمائی × دما				
صفر	۱۰۰	۲۴۰۱	۲۴۲/۱	۴۵/۴
-۴	۱۰۰	۲۳۲۹	۲۴۷/۵	۴۳/۷
-۸	۹۸	۲۳۰۳	۲۴۲/۹	۴۳/۵
-۱۲	۹۵	۱۸۸۴	۲۲۵/۹	۴۳/۸
-۱۶	۰	۰	۰	۰
صفر	۹۸	۸۴۲	۸۴/۸	۳۶/۵
-۴	۹۹	۷۶۳	۴۹/۵	۳۷/۱
-۸	۸۸	۴۲۴	۲۸/۹	۲۴/۲
-۱۲	۳۱/۵	۹۶	۶/۴	۱۷/۲
-۱۶	۰	۰	۰	۰
LSD (۰/۰۱)				

درصد کمتر از تیمار عدم یخ زدگی بود در حالیکه در تیمار خوسرمائی تنها دمای ۱۶- درجه سانتیگراد سبب کاهش معنی دار وزن خشک گیاه شد و در بین سایر دماهای یخ زدگی اختلاف معنی داری مشاهده نشد (جدول ۵). هکنبای و همکاران (۱۶) در بررسی تحمل به یخ زدگی چندین رقم یونجه و شبدر یکساله مشاهده نمودند که با کاهش دما از ۱- تا ۱۳- درجه سانتیگراد (با فواصل ۳ درجه) ماده خشک گیاه کاهش معنی داری نشان داد، بطوریکه در گیاهانی که خوسرمائی نداشتند، در تیمار دمائی ۷- درجه سانتیگراد وزن خشک به صفر رسید در حالیکه این وضعیت در گیاهان خو گرفته به سرما در دمای ۱۰- درجه سانتیگراد اتفاق افتاد. آنها در آزمایش خود به این نتیجه رسیدند، گیاهانی که LT₅₀ پائین تری داشتند، از تولید ماده خشک بیشتری نیز پس از رشد مجدد برخوردار بودند. از نظر دمای کاهنده ۵۰ در صد وزن خشک گیاه (RDMT₅₀) در بین دو تیمار خوسرمائی و عدم خوسرمائی

خوسرمائی و رقم (جدول ۴) نشان داد که اعمال تیمار خوسرمائی تأثیر معنی داری بر وزن خشک ارقام زرفام، لیکورد و الیت نداشت، در حالی که باعث افزایش چشمگیر صفت مذکور در سایر رقمهای مورد مطالعه گردید. به طوریکه اعمال این تیمار میانگین وزن خشک را در ارقام سیمبل و ابنت حدود ۱۰ و ۷ برابر افزایش داد، در حالیکه میزان این افزایش در رقم الیت تنها ۷۰ درصد بود. تیمار دمائی نیز به نحو معنی داری میانگین وزن خشک گیاه را تحت تأثیر قرار داد ($p < 0.01$). بیشترین وزن خشک گیاه در دماهای صفر و ۴- درجه سانتیگراد بدست آمد و اختلاف معنی داری از این نظر با دمای ۸- درجه سانتیگراد مشاهده نشد (جدول ۵). در حالی که وزن خشک گیاه در تیمار دمائی ۱۲- درجه سانتیگراد ۳۷/۵ درصد نسبت به تیمار عدم یخ زدگی کاهش یافت و در دمای ۱۶- درجه سانتیگراد به صفر رسید. در تیمار عدم خوسرمائی وزن خشک گیاه در دماهای ۸- و ۱۲- درجه سانتیگراد به ترتیب ۴۸/۵ و ۸۸/۶

تفاوت معنی داری وجود داشت (جدول ۲)، به نحوی که خوسرمائی سبب بهبود حدود ۵ درجه سانتیگراد در میانگین این صفت گردید (جدول ۳). به نظر می‌رسد با قرار گرفتن گیاهان در شرایط خوسرمایی، از طریق تغییر در متابولیسم و فعالیتهای سلولی، تحمل گیاه به تنش یخ زدگی بهبود یافته و همین امر منجر به رشد مجدد بهتر گیاهان پس از تنش یخ زدگی شده است. بین رقمهای مورد بررسی اختلاف معنی داری از لحاظ سطح برگ در پایان دوره رشد مجدد (۳ هفته پس از اعمال تیمار یخ زدگی) وجود داشت (جدول ۱)، به نحوی که رقمهای ابنیت و آلیس از بالاترین سطح برگ برخوردار بودند (به ترتیب ۱۸۲ و ۱۷۴ سانتی متر مربع) در حالی که کمترین سطح برگ در ارقام زرفام و لیکورد (حدود ۳۵ سانتی متر مربع) مشاهده شد (جدول ۳). همچنین خوسرمائی اثر منفی تنش سرما را بر سطح برگ گیاه در سه هفته پس از یخ زدگی کاهش داد، بطوریکه در شرایط خوسرمائی میانگین سطح برگ حدود ۳/۵ برابر بیشتر از شرایط عدم خوسرمائی بود (جدول ۳). بررسی سطح برگ در ارقام مختلف کلزا در دو شرایط خوسرمائی و عدم خوسرمائی نیز نشان داد که تیمار خوسرمائی، افزایش قابل توجه و معنی داری را در سطح برگ ارقام اکاپی، سیمبل، کالورت، اپرا، ابنیت و آلیس ایجاد کرد بطوریکه میانگین سطح برگ ارقام مذکور در شرایط خوسرمایی در شرایط خوسرمایی حداقل بیش از ۸ برابر آن نسبت به شرایط عدم خوسرمایی افزایش یافت، در صورتیکه این روند در خصوص ارقامی نظیر زرفام، لیکورد، الیت و SLMO46 کمتر از دو برابر بود (جدول ۴).

تأثیر دماهای مختلف یخ زدگی نیز بر سطح برگ ارقام مورد بررسی معنی دار بود ($p < 0/01$). کاهش دما به کمتر از ۸- درجه سانتیگراد سبب کاهش معنی دار سطح برگ گیاه نسبت به تیمار عدم یخ زدگی شد، ضمن اینکه تیمار دمائی ۸- درجه سانتیگراد از نظر سطح برگ اختلاف معنی داری با شاهد نداشت و کمترین سطح برگ در تیمار دمائی ۱۲- درجه سانتیگراد حاصل شد (جدول ۵). عزیزی و همکاران (۴) اظهار داشتند که روند تغییرات سطح برگ ارقام مختلف گندم با کاهش دما از صفر به ۲۰- درجه سانتی گراد به صورت کاهشی بود و بیشترین سطح برگ در تیمار شاهد (عدم یخ زدگی) و کمترین آن در تیمار دمائی ۲۰- درجه

سانتی گراد حاصل شد. در آزمایش ایشان تیمار دمائی ۴- درجه از نظر سطح برگ اختلاف معنی داری با شاهد نداشت. داده‌های حاصل از اثر متقابل خوسرمائی و دما نشان داد که در دماهای ۰، ۴-، ۸- و ۱۲- درجه سانتیگراد سطح برگ گیاه در شرایط خوسرمایی به ترتیب ۲/۹، ۵/۰، ۸/۴ و ۳۵/۳ برابر نسبت به شرایط عدم خوسرمائی افزایش یافت و لذا تأثیر تیمار خوسرمائی در دو دمای ۸- و ۱۲- درجه سانتیگراد بیش از دماهای ۰ و ۴- بوده است (جدول ۵). بررسی تأثیر دماهای یخ زدگی بر سطح برگ ارقام مورد بررسی نشان داد که در گیاهان زنده بیشترین سطح برگ در ارقام اکاپی، سیمبل، کالورت، اپرا، ابنیت و آلیس و در دمای صفر درجه بدست آمد و کمترین آن در دمای ۱۲- درجه سانتیگراد در رقمهای زرفام، لیکورد، الیت و SLMO46 حاصل شد (جدول ۶).

میانگین عدد کلروفیل متر ارقام کلزا در تیمارهای مختلف در جدول ۳ نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود بین ارقام مختلف از نظر میزان کلروفیل برگ اختلاف معنی داری وجود نداشت، اما تأثیر تیمار خوسرمائی بر این صفت معنی دار بود، به نحوی که اعمال خوسرمائی سبب شد عدد کلروفیل متر ۴۱/۲ درصد بیشتر از تیمار عدم خوسرمائی باشد. تغییرات عدد کلروفیل متر در ارقام مختلف کلزا در تیمار خوسرمائی نیز به این ترتیب بود که با اعمال این تیمار عدد کلروفیل متر در کلیه ارقام مورد بررسی افزایش یافت. با وجود این بیشترین میزان افزایش عدد کلروفیل متر در رقم آلیس (۸۲ درصد) و کمترین آن در رقم لیکورد (۱۷ درصد) مشاهده شد (جدول ۴). موحدی و همکاران (۱۳۸۳) با اشاره به وجود رابطه مثبت قوی بین میزان نیتروژن، کلروفیل و عدد SPAD، افزایش عدد کلروفیل متر را نشان از افزایش میزان کلروفیل در واحد سطح برگ می‌دانند.

نتایج آزمایش حاکی از آن است که از نظر عدد کلروفیل متر اختلاف معنی داری بین دماهای مختلف یخ زدگی وجود دارد ($p < 0/01$). بیشترین عدد کلروفیل متر در دمای صفر درجه سانتیگراد (عدم یخ زدگی) و کمترین آن در بین گیاهان زنده در دمای ۱۲- درجه سانتیگراد بدست آمد، به نحوی که با کاهش دما از صفر به ۱۲- سانتیگراد عدد کلروفیل متر ۲۵/۴ درصد نسبت به تیمار

جدول ۶: میانگین صفات درصد بقاء، وزن خشک، سطح برگ و عدد کلروفیل متر در ارقام مختلف کلزا در دماهای مختلف یخ زدگی سه هفته پس از اعمال تیمار یخ زدگی و رشد مجدد در شرایط گلخانه

رقم	دما	درصد بقاء	وزن خشک (میلی گرم)	سطح برگ (سانتی‌متر مربع)	عدد کلروفیل متر
کالورت	۰	۱۰۰/۰	۲۱۹۱/۰	۲۲۸/۷	۴۰/۲
	-۴	۱۰۰/۰	۲۰۰۴/۰	۲۰۷/۲	۳۹/۳
	-۸	۹۵/۰	۱۹۱۵/۰	۲۰۷/۹	۲۳/۷
	-۱۲	۹۰/۰	۸۹۵/۰	۱۴۱/۵	۳۸/۲
	-۱۶	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
ایرا	۰	۱۰۰/۰	۱۸۱۲/۰	۲۱۳/۳	۳۹/۱
	-۴	۱۰۰/۰	۱۷۱۶/۰	۲۱۷/۱	۴۲/۳
	-۸	۷۵/۰	۱۶۱۱/۰	۱۴۹/۳	۳۹/۱
	-۱۲	۴۰/۰	۱۳۹۴/۰	۱۹۲/۳	۲۱/۰
	-۱۶	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
اینست	۰	۱۰۰/۰	۳۰۶۰/۰	۲۳۰/۹	۴۲/۵
	-۴	۱۰۰/۰	۲۲۴۸/۰	۲۵۹/۰	۳۹/۴
	-۸	۹۱/۵	۲۱۶۵/۰	۲۱۲/۶	۳۶/۳
	-۱۲	۶۰/۰	۱۸۱۰/۰	۲۰۹/۲	۳۰/۰
	-۱۶	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
الیس	۰	۱۰۰/۰	۲۲۶۹/۰	۲۶۱/۳	۳۹/۲
	-۴	۹۵/۷	۲۰۸۳/۰	۲۲۳/۹	۴۰/۶
	-۸	۹۰/۰	۱۶۸۳/۰	۱۸۶/۸	۲۲/۰
	-۱۲	۵۰/۰	۱۴۴۴/۰	۲۰۰/۱	۲۶/۱
	-۱۶	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
LSD (۰/۰۵)					۹/۶

دادند.

عزیزی و همکاران (۴) در آزمایش خود بر روی ۱۴ رقم گندم به این نتیجه رسیدند که عدد کلروفیل متر، وزن خشک، سطح برگ و ارتفاع بوته همبستگی بالایی با LT_{50} داشتند. در آزمایش ایشان رابطه $RDMT_{50}$ نیز با صفات مذکور منفی و معنی‌دار بود. مودهن و همکاران (۱۹) گزارش کردند که پایداری کلروفیل شاخصی از مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی است. پایداری کلروفیل تحت شرایط تنش موجب تداوم فتوسنتز و متعاقباً تولید ماده خشک در گیاه می‌شود.

نتیجه گیری

در این آزمایش بین ارقام کلزا از نظر درصد بقاء سه هفته پس از اعمال تیمار یخ‌زدگی تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. ارقام کالورت، سیمبل و زرفام با داشتن بیش از ۷۴ درصد بقاء بیشترین و رقم اپرا با ۶۳ درصد بقاء کمترین درصد بقاء را داشتند. همچنین مشخص شد که ارقام از لحاظ وزن خشک، LT_{50} و سطح برگ سه هفته پس از بازیافت با

جدول ۶: میانگین صفات درصد بقاء، وزن خشک، سطح برگ و عدد کلروفیل متر در ارقام مختلف کلزا در دماهای مختلف یخ زدگی سه هفته پس از اعمال تیمار یخ زدگی و رشد مجدد در شرایط گلخانه

رقم	دما	درصد بقاء	وزن خشک (میلی گرم)	سطح برگ (سانتی‌متر مربع)	عدد کلروفیل متر
زرفام	۰	۱۰۰/۰	۷۰۴/۸	۴۹/۵	۴۳/۹
	-۴	۱۰۰/۰	۵۶۸/۳	۴۸/۴	۴۲/۳
	-۸	۱۰۰/۰	۵۵۶/۷	۴۸/۲	۴۱/۱
	-۱۲	۷۵/۰	۲۴۵/۸	۲۶/۱	۳۰/۱
	-۱۶	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
لیکورد	۰	۱۰۰/۰	۶۹۱/۰	۵۲/۵	۳۹/۰
	-۴	۹۵/۰	۱۱۱۶/۰	۴۷/۵	۳۹/۰
	-۸	۹۲/۷	۱۱۶۸/۰	۴۲/۰	۳۵/۹
	-۱۲	۷۵/۰	۴۲۹/۰	۳۰/۶	۳۶/۰
	-۱۶	۰	۰/۰	۰/۰	۰
الیت	۰	۱۰۰/۰	۱۰۲۹/۰	۵۶/۹	۴۲/۳
	-۴	۹۵/۰	۹۱۹/۰	۴۶/۵	۳۷/۵
	-۸	۹۵/۰	۶۸۴/۰	۵۲/۳	۳۶/۵
	-۱۲	۵۰/۰	۲۵۵/۰	۲۸/۲	۲۱/۹
	-۱۶	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
SLMO46	۰	۱۰۰/۰	۱۸۰۴/۰	۵۵/۲	۴۰/۰
	-۴	۱۰۰/۰	۱۲۱۷/۰	۵۳/۶	۴۱/۸
	-۸	۱۰۰/۰	۱۰۰۱/۰	۵۰/۳	۳۷/۰
	-۱۲	۶۲/۲	۴۷۹/۰	۲۰/۹	۲۴/۳
	-۱۶	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
اکاپی	۰	۱۰۰/۰	۲۰۲۲/۰	۲۰۴/۵	۴۴/۲
	-۴	۱۰۰/۰	۱۶۹۵/۰	۱۹۴/۹	۳۹/۵
	-۸	۹۵/۸	۱۱۲۸/۰	۱۶۶/۷	۳۸/۴
	-۱۲	۵۲/۰	۱۴۸۴/۰	۱۴۳/۳	۳۰/۲
	-۱۶	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
سیمبل	۰	۱۰۰/۰	۱۳۳۸/۰	۱۸۶/۱	۱۴/۹
	-۴	۱۰۰/۰	۱۶۶۵/۰	۱۸۹/۶	۳۸/۹
	-۸	۱۰۰/۰	۱۳۶۵/۰	۱۶۶/۲	۳۸/۱
	-۱۲	۸۰/۰	۱۲۹۹/۰	۱۶۷/۸	۳۷/۸
	-۱۶	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
LSD (۰/۰۵)					۹/۶

شاهد (عدم یخ‌زدگی) کاهش یافت (جدول ۵). داده‌های حاصل از اثر متقابل خوسرمایی و دما نشان داد که خوسرمایی اثرات سوء تنش یخ‌زدگی را بر میزان کلروفیل برگ کاهش داد، بطوریکه در دمای ۱۲- درجه سانتی‌گراد خوسرمایی سبب بهبود میانگین صفت مذکور به میزان ۲/۵ برابر آن نسبت به تیمار عدم خوسرمایی شد (جدول ۵). در تیمار دمائی صفر درجه سانتیگراد رقم اکاپی از بالاترین عدد کلروفیل متر برخوردار بود (جدول ۶) و در بین گیاهان زنده در دمای ۱۲- درجه سانتیگراد ارقام الیت و اپرا بدون تفاوت معنی‌دار کمترین میانگین این صفت را به خود اختصاص

می‌رسد در شرایط طبیعی قرار گرفتن گیاهان در یک دوره کوتاه سرمائی (با تنظیم زمان دقیق کاشت)، قبل از مواجه شدن با تنش یخ‌زدگی تا حد زیادی می‌تواند خسارت ناشی از تنش یخ‌زدگی را کاهش داده، ضمن اینکه با بررسی صفات مورد مطالعه در این آزمایش می‌توان میزان حساسیت یا تحمل ژنوتیپهای مختلف را نسبت به تنش یخ‌زدگی مشخص نمود.

یکدیگر اختلاف معنی‌داری داشتند. اغلب صفات مورد بررسی از تیمار دمائی ۸- درجه سانتی‌گراد به پائین کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد (تیمار عدم یخ‌زدگی) نشان دادند. ضمن اینکه خوش‌سرمایی سبب بهبود تحمل به تنش یخ‌زدگی و تخفیف اثرات این تنش بر گیاهان شد. در صد بقاء، LT_{50} ، وزن خشک گیاه، $RDMT_{50}$ ، سطح برگ و عدد کلروفیل متر ارقام مورد مطالعه پس از خوش‌سرمایی بهبود قابل توجهی را نسبت به تیمار عدم خوش‌سرمایی نشان دادند. لذا به نظر

منابع

- ۱- امیر قاسمی، ت. ۱۳۸۱. سرم‌زدگی گیاهان (یخبندان، صدمات و پیشگیری). نشر آیندگان.
- ۲- شریعی، ش. و پ. قاضی زاده. ۱۳۷۹. کلزا. اداره کل آمار و اطلاعات در امر کشاورزی.
- ۳- عزیزی، ه. ۱۳۸۴. ارزیابی تحمل به سرما در گندم تحت شرایط مزرعه و کنترل شده. پایان‌نامه کارشناسی ارشد زراعت. دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۴- عزیزی، ه. ا. نظامی، م. نصیری محلاتی و ح. ر. خزاعی. ۱۳۸۶. ارزیابی تحمل به یخ‌زدگی ارقام گندم تحت شرایط کنترل شده. مجله پژوهش‌های زراعی ایران، (۶): ۱۱۹-۱۰۹.
- ۵- کافی، م. ب. کامکار و ع. مهدوی دامغانی. ۱۳۸۲. واکنش‌های گیاهان زراعی به محیط رشد. (ترجمه). انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۶- میرزایی اصل، ا. ب. یزدی صمدی، ع. زالی، و ی. صادقیان مطهر. ۱۳۸۱. بررسی مقاومت گندم به سرما با روش‌های آزمایشگاهی. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، (۶): ۱۸۶-۱۷۷.
- ۷- میر محمدی میدی، ع. م. ۱۳۷۹. جنبه‌های فیزیولوژیکی و بهنژادی تنش‌های سرما و یخ‌زدگی گیاهان زراعی. انتشارات گلین اصفهان.
- ۸- موحدی دهنوی، م. ع. م. مدرس ثانوی، ع. سروش زاده و م. جلالی. ۱۳۸۳. تغییرات میزان پرولین، قندهای محلول کل، کلروفیل (SPAD) و فلورسانس کلروفیل در ارقام گلرنگ پائیزه تحت تنش خشکی و محلول پاشی روی و منگنز. مجله بیابان، (۹): ۱۰۷-۹۳.
- ۹- نظامی، ا. ع. باقری، ح. رحیمیان، م. کافی و م. نصیری محلاتی. ۱۳۸۵. ارزیابی تحمل به یخ‌زدگی ژنوتیپ‌های نخود (*Cicer arietinum* L.) در شرایط کنترل شده. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، (۱۰): ۲۷۱-۲۵۷.
- 10-Auld, D. L., R. L. Ditterline, G. A. Murray and J. B. Swensen. 1983. Screening peas for winter hardiness under field and laboratory condition. *Crop Sci.* 23: 85-88.
- 11-Bridger, G.M., D.E., Falk, B.D. Mckersie and D.L. Smith. 1996. Crown freezing tolerance and field winter survival of winter cereals in eastern Canada. *Crop Science.* 36:150-157.
- 12-Dionne, J., Y. Castonguay, P. Nadeau and Y. Desjardins. 2001. Freezing tolerance and carbohydrate changes during cold acclimation of green-type annual bluegrass (*Poa annua* L.) ecotypes. *Crop Science.* 41:443-451.
- 13-Fowler, D. B. and R. J. Carles. 1979. Growth, development, and cold tolerance of fall-acclimated cereals grains. *Crop Sci.* 19: 915-922.
- 14-Fowler, D. B., L. V. Gusta and N. J. Tyler. 1991. Selection for winter hardiness in wheat. III. Screening methods. *Crop Sci.* 21: 896-901.
- 15-Griffitt, M., M. Antikainen, W.C. Hon, K. Pihakaski Maunsbach, X.M. Yu, J.U. Chun, and D.S.C. Yang. 1997. Antifreeze proteins in winter rye. *Plant Physiology.* 100: 327-332.
- 16-Hekneby, M., M.C. Antolin and M. Sanchez-Diaz. 2006. Frost resistance and biochemical changes during cold acclimation in different annual legumes. *Environmental Experimental Botany.* 55: 305-314.
- 17-Houde, M., J. Danyluk, J.F. Laliberte, E. Passart, R.S. Dhundsaa, and F. Sarhan. 1992. Cloning, characterization and expression of cDNA encoding a 50 KD protein specifically induced by cpd acclimation in wheat. *Plant Physiology.* 99: 1381- 1387.
- 18-Kozlowski, T. T. and S. G. Pallardy. 2002. Acclimation and adaptive responses of woody plants to environmental stresses. *The Botanical Review* 68: 270.334.

- 19-Modhan, M. M., S.L. Narayanan and S.M. Ibrahim. 2000. Chlorophyll stability indexes (CSI): its impacts on salt tolerance in rice. *International Rice Research, Notes*: 25:38-40.
- 20-Murry, G.A., D. Eser, L.V. Gusta and G. Eteve. 1988. Winter hardiness in pea, lentil, faba bean and chickpea. P. 831-843. *In* R.J. Summerfield (ed.) *World Crops: Cool Season Food Legumes*. Kluwer Academic Publishers. The Netherlands.
- 21-Rife, C. L. and H. Zeinali.2003. Cold tolerance in oilseed rape over varying acclimation durations. *Crop Science*. 43:96-100.
- 22-Teutonica, R.A., J.P. Palta and T.C. Osborn. 1993. In vitro freezing tolerance in relation to winter survival of rapeseed cultivars. *Crop Science*. 33: 103-107.
- 23-Wanner, L. A. and O. Junttila.1999. Cold-induced freezing tolerance in Arabidopsis. *Plant Physiology*, 120: 391-399.

Evaluation of freezing tolerance in rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars acclimated under controlled conditions

A.Nezami¹, A. Borzooei¹, M. Jahani¹, M. Azizi², M.J. Mosavi¹

Abstract

In order to determine freezing tolerance of 10 rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars including Zarfam, Licord, Elit, SLMO46, Okapi, Symbol, Calvert, Opera, Ebonit and Alis, a green house experiment was carried out at the College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. In a two-replicate RCBD split factorial experiment two levels of acclimation (acclimated vs no acclimated) served as mainplots and a combination of five cold levels (0, -4, -8, -12 and -16 °C) and the 10 genotypes served as subplots. Plants were kept until 3-5 leaf stage in greenhouse condition with $23/16 \pm 2^\circ\text{C}$ (day/night) and natural photoperiod. Then, the plants of non-acclimation treatment were frozen immediately and for acclimation treatment after three weeks that put them under acclimation freezing were done. Survival percentage, leaf area, SPAD reading, dry weight, $(LT_{50})^1$ and $(RDMT_{50})^1$ were determined after 3 weeks. Survival percentage after freezing was different in cultivars ($P < 0.01$). Calvert, Symbol and Zarfam cultivars had the highest (77, 76 & 75) and Opera cultivar showed the lowest (63) survival percentage, respectively. Cultivars were different in leaf area, dry weight and LT_{50} . The most freezing damage on the plant was absorbed at the lower than -4°C temperatures. Although acclimation decreased the freezing effects on the most characteristics. In according to the good correlation between LT_{50} , SPAD reading, and LT_{50} with survival percentage, it seems that for evaluation of freezing tolerance in rapeseed using, the LT_{50} and SPAD reading may be useful.

Keywords: Acclimation, LT_{50} , $RDMT_{50}$, survival

1 and 2- Contribution from College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad and Research Center of Agriculture and Natural Resources of Mashhad, respectively.