



مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی
جلد دوم، شماره چهارم، زمستان ۸۸
۷۰-۵۵
www.ejcp.info



اثرات خوسرمایی بر تحمل به سرمای گندم (*Triticum aestivum*) تحت شرایط آزمایشگاهی

*احمد نظامی^۱، حمیدرضا خزاعی^۱، هما عزیزی^۲ و سمانه نجیب‌نیا^۲

^۱دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد،
^۲دانشجوی دکتری گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

سرمای شدید سبب بروز خسارت در گندم شده و رشد و عملکرد آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد، بنابراین این آزمایش با هدف بررسی تحمل به یخ‌زدگی ۲۹ ژنوتیپ گندم در شرایط کنترل شده اجرا شد. تیمار خوسرمایی^۱ (در دو سطح خوسرمایی و عدم خوسرمایی) به‌عنوان عامل اصلی و ترکیب دما (صفر، ۴-، ۸-، ۱۲- و ۱۶- درجه سانتی‌گراد) و ژنوتیپ به‌صورت فاکتوریل در نظر گرفته شدند. ۴ هفته پس از اعمال تیمار یخ‌زدگی درصد بقاء، وزن خشک و ارتفاع گیاهان در شرایط گلخانه اندازه‌گیری شد. درصد بقاء، وزن خشک و ارتفاع گیاهان گندم به‌طور معنی‌داری ($P < 0.001$) تحت تأثیر تیمار یخ‌زدگی قرار گرفت. با کاهش دما به کمتر از ۸- درجه سانتی‌گراد درصد بقاء گندم کاهش معنی‌داری داشت. خوسرمایی سبب تخفیف اثرات یخ‌زدگی شد، به‌صورتی که در دمای ۱۲- درجه سانتی‌گراد در شرایط عدم خوسرمایی وزن خشک بوته ۷۲/۱ میلی‌گرم بود، درحالی‌که در شرایط خوسرمایی به ۱۴۴/۹ میلی‌گرم رسید. میزان LT₅₀ در ۱۴ ژنوتیپ کمتر از ۱۵- درجه سانتی‌گراد و در ۱۵ ژنوتیپ بالاتر از ۱۵- درجه سانتی‌گراد بود. در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه ژنوتیپ‌های الموت، بزوستایا، فلات، گلنسون و MV-17 تحمل به سرمای بالاتری را نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها داشتند. جهت تأیید تحمل به سرمای ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، انجام آزمایش‌های تکمیلی در شرایط کنترل شده و مزرعه مفید خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: گندم؛ خوسرمایی؛ درصد بقاء، دمای ۵۰ درصد کشندگی

*- مسئول مکاتبه: nezamiahmad@yahoo.com

مقدمه

گندم به عنوان یکی از مهم ترین محصولات زراعی در اغلب مناطق معتدله در ایران به صورت پاییزه کشت می شود. در این شرایط، بروز سرمای شدید در زمستان ممکن است رشد و نمو گیاه را تحت تأثیر قرار داده و منجر به کاهش عملکرد شود (فولر و گاستا، ۱۹۷۹؛ پیتر، ۱۹۹۱). جهت موفقیت در تولید گندم پاییزه، مقاومت به سرما در این گیاه امری ضروری است و ارقام گندمی که قادر به تحمل شرایط سخت زمستان باشند از تولید و عملکرد بالاتری برخوردار خواهند بود (گاستا و فولر، ۱۹۷۷؛ میرزایی اصل و همکاران، ۲۰۰۲).

در بین تنش های مختلف زمستانه (از جمله یخ زدگی، پوشش برف و یخ، غرقاب، برخی بیماری ها و...)، تنش یخ زدگی به عنوان مهم ترین و بارزترین تنش توسط محققان زیادی مورد مطالعه قرار گرفته است. این محققان به دلیل شرایط غیریکنواخت زمانی و مکانی در بروز سرما و یخ زدگی در سطح مزرعه، استفاده از روش های آزمون یخ زدگی در شرایط کنترل شده را مورد آزمون قرار داده اند (بریگر و همکاران، ۱۹۹۶؛ گاستا و همکاران، ۲۰۰۱؛ نظامی و همکاران، ۲۰۰۷). در این روش ها گیاهان به صورت مصنوعی در معرض تنش یخ زدگی قرار گرفته و درصد بقاء و برخی صفات دیگر مورد مطالعه قرار گرفته و براساس آن ارقام مقاوم به سرما شناسایی شده اند (گالرد و همکاران، ۱۹۷۵؛ گاستا و فولر، ۱۹۷۷؛ بریگر و همکاران، ۱۹۹۶؛ میرزایی اصل و همکاران، ۲۰۰۲). به عنوان مثال در آزمایشی بر روی گندم و براساس مقادیر دمای ۵۰ درصد کشتندگی (LT_{50}) در ارقام نورستار، فردریک و پرلو، رقم نورستار به عنوان رقم مقاوم تر به یخ زدگی نسبت به دو رقم دیگر معرفی شد (بریگر و همکاران، ۱۹۹۶). در آزمایشی دیگر که بر روی سه رقم گندم بزوستایا، بولانی و لاین ۵۱۸ (به ترتیب به عنوان ارقام مقاوم، نیمه مقاوم و حساس) انجام شد، سرعت جوانه زنی و رشد ریشه چه و ساقه چه رقم بزوستایا در دمای کم نسبت به دو رقم دیگر بیشتر بود (میرزایی اصل و همکاران، ۲۰۰۲). رشد مجدد گندم پس از سرما نیز بسته به شدت یخ زدگی متفاوت است، به عنوان مثال چن و همکاران (۱۹۸۳) در آزمایش خود بر روی گندم در شرایط کنترل شده مشاهده کردند که کاهش دمای یخ زدگی از ۵- به ۱۰- درجه سانتی گراد سبب کاهش ۲۰ درصدی رشد مجدد اندام های هوایی گندم نسبت به تیمار شاهد (عدم یخ زدگی) شد. در صورتی که در تیمارهای یخ زدگی ۱۵- و ۲۰- درجه سانتی گراد رشد مجدد اندام های هوایی گندم نسبت به شاهد به ترتیب ۶۰ و ۸۰ درصد کاهش یافت.

خوسرمایی یکی از عواملی است که بر روی تحمل به یخزدگی گیاهان در کاشت پاییزه تأثیر بارزی دارد (نظامی، ۲۰۰۲). در حقیقت گیاهان از طریق قرار گرفتن در معرض دمای کم و فتوپریود کاهش یافته در پاییز خود را برای شرایط سخت زمستان مهیا کرده و در این حالت قادر خواهند بود که زمستان‌گذرانی مناسبی داشته باشند (فولر و گاستا، ۱۹۷۷؛ بریگر و همکاران، ۱۹۹۶). به همین دلیل در اغلب آزمایش‌های انجام شده، خوسرمایی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر روی تحمل به یخزدگی گیاهان مورد مطالعه قرار گرفته است. به‌عنوان مثال بررسی بریگر و همکاران (۱۹۹۶) نشان داد که خوسرمایی سبب بهبود تحمل به یخزدگی ارقام گندم شد. در بررسی ایشان خوسرمایی سبب کاهش LT_{50} ارقام گندم به میزان ۵/۵ تا ۸ درجه سانتی‌گراد نسبت به تیمار عدم خوسرمایی شده است. در بررسی اثر خوسرمایی بر روی گیاه نخود نیز مشاهده شده است که در شرایط کنترل شده خوسرمایی سبب بهبود درصد بقاء و کاهش LT_{50} شده است (نظامی و همکاران، ۲۰۰۷). علاوه بر این بررسی وزن خشک گیاهان یونجه رشد یافته در شرایط خوسرمایی نشان داد که رشد مجدد و وزن خشک این گیاهان پس از قرار گرفتن در معرض دماهای یخزدگی در مقایسه با گیاهان رشد یافته در شرایط عدم خوسرمایی بیشتر بوده است (هکنبای و همکاران، ۲۰۰۶).

در اغلب مناطق معتدله ایران گندم به‌صورت پاییزه- زمستانه کشت می‌شود و نسبت به اهمیت این گیاه اطلاعات منتشر شده موجود در کشور در خصوص تحمل به سرمای آن بسیار اندک است (به‌عنوان مثال محفوظی و همکاران، ۲۰۰۵؛ ناظری و همکاران، ۲۰۰۶؛ عزیزی و همکاران، ۲۰۰۷). بر این اساس آزمایش حاضر با هدف بررسی اثرات خوسرمایی بر تحمل به سرما و برخی ویژگی‌های رشدی ۲۹ ژنوتیپ گندم در شرایط کنترل شده طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

در این آزمایش تحمل به یخزدگی ۲۹ ژنوتیپ (نمونه^۱) گندم تحت شرایط کنترل شده در دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد مورد مطالعه قرار گرفت. ژنوتیپ‌های مورد استفاده عبارت بودند از: الوند، چمران، سبلان، گاسپارد، گلنسون، مرودشت، مهدوی، نیک‌نژاد، زاگرس، فلات، قدس، مارون، زرین، الموت، بزوستایا، آنزا، سرداری، شیروودی، کل محلی، نوید، توس، MV-17، گاسکوژن، آذر ۲، پشتاز، C-73-5، C-73-20، روشن و امید. در گلخانه، ۵ بذر جوانه‌دار در گلدان‌های

پلاستیکی به قطر ۱۰ سانتی متر و در عمق ۲ سانتی متری خاک کشت شدند. خاک گلدان دارای یک سوم شن، یک سوم خاک برگ و یک سوم خاک مزرعه بود. دمای گلخانه $22/16 \pm 2$ درجه سانتی گراد (شب و روز) و فتوپریود ۱۴ ساعت در نظر گرفته شد. گیاهان تا مرحله ۵-۳ برگی در شرایط فوق نگهداری شدند. پس از این مرحله، گلدان‌ها یا بلافاصله تحت تیمار یخ‌زدگی قرار گرفتند (تیمار عدم خوسرمایی) و یا به شرایط خوسرمایی منتقل شدند.

به منظور ایجاد خوسرمایی، گیاهان به شرایط دمایی $5/3 \pm 1$ درجه سانتی گراد (تاریکی/روشنایی) منتقل شدند. در این شرایط فتوپریود کاهشی (هفته اول ۱۱ ساعت، هفته دوم ۱۰ ساعت و هفته سوم ۹ ساعت روشنایی) و شدت تشعشع فعال فتوستتزی در ۸۰ میلی متری سطح خاک معادل ۲۵۰-۲۰۰ میکرومول فوتون بر مترمربع بر ثانیه در نظر گرفته شد. روشنایی از طریق نور لامپ فلورسنت و تنگستن فراهم شد. تیمار خاموشی به طور ناگهانی و یک دفعه اعمال شد. طول مدت خوسرمایی ۳ هفته بود و گیاهان در مواقع نیاز آبیاری می‌شدند.

جهت اعمال تیمار یخ‌زدگی، بوته‌ها ۲۴ ساعت قبل از تیمار یخ‌زدگی آبیاری شدند. در مرحله بعد، گلدان‌ها به فریزر ترموگرادین منتقل شدند. دمای فریزر در شروع آزمایش، ۵ درجه سانتی گراد بود 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 می‌افتد، فراهم می‌کند. به منظور جلوگیری از پدیده فراسرما و ایجاد هستک یخ در گیاهچه‌ها و اطمینان از این که مکانیزم از نوع تحمل است و نه اجتناب، در دمای ۲- درجه سانتی گراد بر روی گیاهان محلول INAB^۱ به نحوی پاشیده شد که سطح گیاهان را قشر نازکی از این محلول پوشاند. پس از آن دما با سرعت ۲ درجه سانتی گراد در ساعت کاهش یافت. در این آزمایش ۵ تیمار دمایی صفر، ۴-، ۸-، ۱۲- و ۱۶- درجه سانتی گراد در نظر گرفته شد (عزیزی و همکاران، ۲۰۰۷). به منظور ایجاد تعادل در دمای محیط، گیاهان در هر دمای مورد نظر به مدت یک ساعت نگه داشته شده و سپس برداشت شدند. به منظور کاهش سرعت ذوب، گلدان‌ها بلافاصله پس از برداشت به اتاقک با دمای 5 ± 2 درجه سانتی گراد منتقل و به مدت ۲۴ ساعت در آن جا نگهداری شدند. سپس گلدان‌ها به گلخانه (مشابه شرایط قبل از خوسرمایی) منتقل شده و پس از ۴ هفته در صد بقاء و بازیافت گیاهان ارزیابی شد.

1- Ice Nucleation Active Bacteria

درصد بقاء از طریق شمارش تعداد بوته زنده در هر گلدان و از طریق فرمول: (تعداد گیاهان قبل از تیمار یخزدگی / تعداد گیاهان زنده ۴ هفته پس از تیمار یخزدگی) X ۱۰۰ محاسبه شد. بازیافت گیاهان از طریق اندازه‌گیری ارتفاع و وزن خشک آنها ۴ هفته پس از اعمال تیمار یخزدگی بررسی شد. دمای ۵۰ درصد کشندگی (LT_{۵۰}) و نیز دمای کاهنده ۵۰ درصد وزن خشک گیاه (RDMT^۱) با استفاده از رسم نمودار درصد بقاء و وزن خشک نمونه‌ها در مقابل دماهای یخزدگی تعیین شد. در این مطالعه ۲۹ ژنوتیپ گندم به همراه ۵ دمای یخزدگی (شامل دماهای ذکر شده در فوق) به صورت فاکتوریل و تیمار خوسرمایی و عدم خوسرمایی به عنوان عامل اصلی به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو تکرار مورد بررسی قرار گرفتند. جهت آنالیز داده‌ها از نرم‌افزار MSTAT-C و جهت مقایسه میانگین آنها از آزمون LSD در سطح ۵ درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

اثر متقابل خوسرمایی با دمای یخزدگی بر درصد بقاء گیاهان معنی‌دار ($P < 0.001$) بود (جدول ۱). با وجود عدم تفاوت معنی‌دار درصد بقاء گیاهان در تیمارهای دمایی بالاتر از ۸- درجه سانتی‌گراد، تیمار خوسرمایی سبب افزایش درصد بقاء گیاهان در دماهای ۱۲- و ۱۶- درجه سانتی‌گراد نسبت به تیمار عدم خوسرمایی شد (جدول ۲). در تیمار خوسرمایی در دمای ۱۲- درجه سانتی‌گراد درصد بقاء گیاهان ۱۷ درصد بیشتر از گیاهان تیمار عدم خوسرمایی در همین تیمار دمایی بود. از سوی دیگر در دمای ۱۶- درجه سانتی‌گراد، گیاهان تیمار خوسرمایی ۲۱/۷ درصد بقاء داشتند، در حالی‌که در تیمار عدم خوسرمایی در دمای ۱۶- درجه سانتی‌گراد تمامی گیاهان از بین رفتند. همچنین در تیمار عدم خوسرمایی با کاهش دما از ۸- درجه سانتی‌گراد به دمای پایین‌تر تلفات گیاهی افزایش یافت، در حالی‌که در تیمار خوسرمایی تلفات گیاهی از دمای ۱۲- درجه سانتی‌گراد به پایین زیاد شد (جدول ۲). در آزمایشی بر روی ژنوتیپ‌های نخود در شرایط کنترل شده نیز خوسرمایی سبب افزایش درصد بقاء گیاهان شده است (نظامی و همکاران، ۲۰۰۷). به نظر می‌رسد گیاهان در مرحله خوسرمایی از طریق کاهش میزان آب در بافت‌ها و افزایش ذخیره قندهای محلول تحمل خود را شرایط سخت زمستان افزایش می‌دهند (پیتر، ۱۹۹۱).

جدول ۱- منابع تغییر، درجات آزادی و میانگین مجذورات درصد بقاء، وزن خشک و ارتفاع گندم ۴ هفته پس از بازیافت در شرایط گلخانه.

میانگین مجذورات				
منابع تغییر	درجات آزادی	درصد بقاء	وزن خشک	ارتفاع گیاه
خوسرمایی	۱	۹۰۱۵/۲۷ ^{ns}	۸۹۳۷۶۱/۷۷*	۲۵۵۹/۹۰*
خطای اصلی	۲	۱۵۲۴/۹۲	۲۱۰۸۵/۱۴	۳۶/۵۲
دما	۴	۱۷۲۴۰۷/۶۶***	۹۰۸۹۲۹/۸۲***	۵۱۳۱/۷۶***
خوسرمایی X دما	۴	۳۲۶۹/۲۸***	۴۳۴۴۳/۳۱***	۴۶/۲۳***
ژنوتیپ	۲۸	۵۶۶/۳۵***	۲۵۶۷۶/۴۰***	۸۳۳/۴۸***
ژنوتیپ X خوسرمایی	۲۸	۲۳۲/۲۳*	۳۹۶۳/۷۸**	۷۲/۱۴***
ژنوتیپ X دما	۱۱۲	۳۸۷/۳۰***	۳۲۹۶/۱۷***	۷۲/۰۶***
ژنوتیپ X خوسرمایی X دما	۱۱۲	۲۸۴/۷۶***	۱۰۱۶/۰۶***	۱۴/۲۶***
خطای فرعی	۲۸۸	۱۴۵/۵۲	۵۸۰/۹۹	۷/۱۹
کل	۵۷۹			

ns، *، ** و ***: به ترتیب بیانگر غیرمعنی دار و معنی دار در سطح ۵، ۱ و ۰/۱ درصد.

جدول ۲- اثرات متقابل خوسرمایی و دمای یخزدگی بر درصد بقاء، وزن خشک و ارتفاع گندم ۴ هفته پس از بازیافت در شرایط گلخانه.

تیمار	درصد بقاء	وزن خشک (میلی گرم)	ارتفاع گیاه (سانتی متر)
خوسرمایی			
صفر	۱۰۰/۰	۲۹۵/۸	۲۰/۲
-۴	۱۰۰/۰	۲۳۹/۹	۱۸/۳
-۸	۱۰۰/۰	۲۰۳/۱	۱۶/۱
-۱۲	۸۷/۴	۱۴۴/۹	۱۲/۳
-۱۶	۲۱/۷	۱۴/۳	۲/۰
عدم خوسرمایی			
صفر	۱۰۰/۰	۱۸۵/۲	۱۵/۷
-۴	۱۰۰/۰	۱۳۵/۶	۱۳/۳
-۸	۹۹/۳	۱۱۲/۵	۱۱/۰
-۱۲	۷۰/۳	۷۲/۱	۷/۸
-۱۶	۰/۰	۰/۰	۰/۰
LSD (۰/۰۵)	۴/۴	۸/۸	۰/۹۸

اثر متقابل ژنوتیپ و خوسرمایی بر درصد بقاء گیاهان معنی‌دار ($P \leq 0.05$) بود (جدول ۱). خوسرمایی در ۸۵ درصد از ژنوتیپ‌ها سبب بهبود درصد بقاء شد، در حالی‌که در ۳ درصد از ژنوتیپ‌ها عکس این حالت مشاهده شد (جدول ۳). بالاترین درصد بقاء (۹۰ درصد) را ژنوتیپ‌های بزوستایا، MV-17، C-73-20، الموت، گلنسون و فلات در شرایط خوسرمایی داشتند و کمترین میزان درصد بقاء (۶۰ درصد) مربوط به ژنوتیپ توس در شرایط عدم خوسرمایی بود. بریگر و همکاران (۱۹۹۶) ارقام گندم و جو را تحت رژیم‌های متفاوت خوسرمایی و عدم خوسرمایی مورد مطالعه قرار داده و مشاهده کردند ارقامی از گندم که در معرض خوسرمایی بودند، تحمل به سرمای بیشتر و LT_{۵۰} پایین‌تری از گیاهان تیمار عدم خوسرمایی داشتند.

جدول ۳- اثر متقابل ژنوتیپ و خوسرمایی بر درصد بقاء، وزن خشک و ارتفاع گندم ۴ هفته پس از بازیافت در شرایط گلخانه.

ژنوتیپ	درصد بقاء		وزن خشک (میلی گرم)		ارتفاع بوته	
	خوسرمایی	عدم خوسرمایی	خوسرمایی	عدم خوسرمایی	خوسرمایی	عدم خوسرمایی
آذر ۲	۷۰/۰	۷۴/۰	۱۲۴/۴	۷۳/۰	۵/۲	۴/۳
الموت	۹۰/۰	۸۰/۰	۱۳۶/۵	۷۳/۹	۷/۶	۷/۱
الوند	۸۰/۰	۶۷/۱	۲۳۴/۵	۹۸/۱	۱۹/۹	۷/۴
امید	۸۰/۰	۸۰/۰	۱۶۷/۵	۱۱۱/۳	۸/۰	۴/۱
بزوستایا	۹۰/۰	۸۰/۰	۱۳۲/۸	۷۷/۷	۹/۷	۵/۱
پیشناز	۷۰/۰	۷۸/۰	۱۹۳/۵	۹۴/۴	۱۵/۴	۱۱/۳
توس	۸۰/۰	۶۰/۰	۱۷۵/۲	۷۹/۰	۱۲/۸	۴/۹
چمران	۸۰/۰	۶۹/۵	۲۳۸/۱	۱۶۶/۲	۲۱/۶	۱۷/۳
روشن	۸۰/۰	۷۳/۳	۱۷۵/۶	۱۰۱/۶	۱۷/۵	۱۱/۲
زاگرس	۸۰/۰	۸۰/۰	۲۲۶/۱	۱۵۴/۹	۲۳/۷	۱۵/۷
زرین	۸۰/۰	۷۸/۰	۱۶۸/۴	۵۸/۲	۱۶/۹	۵/۶
سبلان	۸۶/۰	۸۰/۰	۱۶۳/۹	۷۶/۳	۶/۹	۴/۵
سرداری	۸۰/۰	۸۰/۰	۱۵۱/۸	۷۴/۱	۸/۶	۵/۳
شیرودی	۷۰/۰	۷۰/۰	۱۸۹/۷	۱۱۷/۹	۱۶/۷	۱۳/۳
فلات	۹۰/۰	۸۰/۰	۱۶۲/۹	۱۰۳/۱	۱۹/۱	۱۶/۱
قدس	۸۰/۰	۷۷/۵	۱۹۸/۹	۱۴۸/۸	۱۸/۳	۲۲/۱

ادامه جدول ۳- اثر متقابل ژنوتیپ و خوسرمایی بر درصد بقاء، وزن خشک و ارتفاع گندم ۴ هفته پس از بازیافت در شرایط گلخانه.

ژنوتیپ	درصد بقاء		وزن خشک (میلی گرم)		ارتفاع بوته	
	خوسرمایی	عدم خوسرمایی	خوسرمایی	عدم خوسرمایی	خوسرمایی	عدم خوسرمایی
کل محلی	۸۰/۰	۶۶/۰	۲۰۳/۴	۸۷/۶	۲۴/۶	۱۲/۸
گاسپارد	۸۴/۰	۷۰/۰	۱۳۳/۳	۸۱/۹	۴/۸	۳/۸
گاسکوژن	۸۸/۰	۷۸/۰	۱۰۵/۷	۷۸/۴	۳/۷	۳/۶
گلنسون	۹۰/۰	۸۰/۰	۱۳۶/۴	۷۳/۸	۴/۲	۴/۰
مارون	۷۸/۰	۶۶/۶	۲۹۳/۲	۱۹۵/۰	۲۸/۷	۲۱/۴
مرو دشت	۷۰/۰	۶۶/۰	۲۰۲/۵	۱۲۶/۰	۲۰/۰	۱۴/۸
مهدوی	۸۰/۷	۷۰/۰	۱۹۹/۱	۸۷/۳	۱۵/۱	۸/۶
نوید	۸۸/۰	۷۶/۰	۲۱۰/۴	۹۵/۶	۱۸/۲	۱۶/۶
نیک نژاد	۸۸/۰	۷۸/۰	۲۵۹/۸	۱۳۲/۷	۲۴/۹	۱۹/۱
انزا	۸۸/۰	۷۰/۰	۱۴۵/۰	۹۴/۰	۷/۰	۴/۸
C-73-5	۸۸/۰	۷۰/۰	۲۰۰/۷	۹۲/۷	۱۱/۱	۵/۲
C-73-20	۹۰/۰	۷۰/۰	۱۲۵/۲	۸۶/۷	۴/۹	۴/۴
MV-17	۹۰/۰	۸۰/۰	۱۵۳/۶	۹۱/۴	۴/۸	۳/۹
		۱۰/۶		۲۱/۲		۲/۴
	LSD (۰/۰۵)					

اثر متقابل ژنوتیپ X دما بر درصد بقاء گیاهان معنی دار ($P < ۰/۰۰۱$) بود (جدول ۱). با وجود اینکه درصد بقاء اغلب ژنوتیپ‌های مورد مطالعه تا دمای ۸- درجه سانتی‌گراد تحت تأثیر دمای یخبندگی قرار نگرفتند، ولی در دمای ۱۲- درجه سانتی‌گراد درصد بقاء ۱۶ ژنوتیپ کمتر از ۹۰ درصد بود و در دمای ۱۶- درجه سانتی‌گراد نیز ۱۳ ژنوتیپ کاملاً از بین رفتند (جدول ۴). ناظری و همکاران (۲۰۰۶) با مطالعه تحمل به یخبندان ژنوتیپ‌های امیدبخش گندم به روش یخبندان طوقه مشاهده کردند که اثرات ژنوتیپ بر درصد بقاء پس از یخبندان بسیار معنی دار بود، به طوری که ژنوتیپ C-78-9 بالاترین درصد بقاء (۹۸/۳) پس از یخبندان را دارا بود. در این ژنوتیپ نزول دما تا ۲۰- درجه سانتی‌گراد تنها ۱/۷ درصد بوته‌ها را از بین برد، در حالی که در ژنوتیپ حساس به سرما با ۶۶/۷ درصد بقاء در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد حدود ۳۳/۳ درصد بوته‌ها در اثر یخبندان از بین رفتند.

جدول ۴- اثر متقابل ژنوتیپ و دما بر درصد بقاء گندم ۴ هفته پس از بازیافت در شرایط گلخانه.

ژنوتیپ	دمای بیخ زدگی (درجه سانتی گراد)				
	صفر	-۴	-۸	-۱۲	-۱۶
آذر ۲	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۶۰	۰
الموت	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۲۵
الوند	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۷۳	۰
امید	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۰
بزوستایا	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۲۵
پیشناز	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۷۰	۰
توس	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۵۰	۰
چمران	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۷۹	۰
روشن	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۰
زاگرس	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۰
زرین	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۵	۰
سبلان	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۵
سرداری	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۰	۱۰
شیرودی	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۵۰	۰
فلات	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۲۵
قدس	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۴	۰
کل محلی	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۶۵	۰
گاسپارد	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۷۵	۱۰
گاسکوژن	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۵۰	۰
گلنسون	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۲۵
مارون	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۴۲	۲۰
مرو دشت	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۳۵	۵
مهدوی	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۶۲	۱۵
نوید	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۸۵	۲۵
نیک نژاد	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۰	۲۵
انزا	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۷۵	۲۰
C-73-5	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۷۵	۲۰
C-73-20	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۰	۲۵
MV-17	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۲۵
			۱۶/۸		
					LSD (۰/۰۵)

در بررسی داده‌های حاصل از اثرات متقابل ژنوتیپ و خوسرمایی و دما مشاهده شد که در شرایط خوسرمایی درصد بقاء ۱۷ ژنوتیپ کمتر از ۵۰ درصد بود (داده‌ها نشان داده نشده‌اند) و بنابراین LT_{50} آنها تعیین گردید. نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌های LT_{50} در این ۱۷ ژنوتیپ نشان داد که خوسرمایی اثر معنی‌داری بر این صفت داشته است (جدول ۵)، به نحوی که در ۳ ژنوتیپ چمران، کل محلی و توس خوسرمایی به ترتیب سبب کاهش LT_{50} به میزان ۳۳، ۳۸ و ۵۵ درصد شد، در صورتی که در ژنوتیپ‌های امید و زاگرس خوسرمایی اثری بر LT_{50} نداشت (جدول ۶). این در حالی است که در ۳ ژنوتیپ آذر ۲، پیشتاز و سرداری خوسرمایی سبب افزایش LT_{50} به ترتیب به میزان ۱۵، ۱۹ و ۲۴ درصد شد. در مجموع در شرایط خوسرمایی ۶۵ درصد از ژنوتیپ‌ها قادر به تحمل یخ‌زدگی کمتر از ۱۴- درجه سانتی‌گراد بودند (زیرا در این دما بیش از ۵۰ درصد بقاء داشتند)، در حالی که در شرایط عدم خوسرمایی تنها ۳۵ درصد از ژنوتیپ‌ها قادر به تحمل دمای کمتر از ۱۴- درجه سانتی‌گراد بودند. در بررسی نتایج دیگران نیز مشاهده شده است که واکنش ژنوتیپ‌ها به خوسرمایی متفاوت بوده و ممکن است اثر خوسرمایی بر بهبود تحمل به یخ‌زدگی و LT_{50} به میزان مشابهی نباشد (کاردونا و همکاران، ۱۹۹۷؛ نظامی و همکاران، ۲۰۰۷). در آزمایشی که فولر و همکاران (۱۹۹۶) بر روی تحمل به یخ‌زدگی چند رقم گندم و چاودار انجام دادند، بین ارقام گندم از نظر LT_{50} تفاوت وجود داشت، به طوری که میزان LT_{50} از ۵/۷- درجه سانتی‌گراد در رقم گلنلیا، تا ۲۰/۸- درجه سانتی‌گراد در رقم نورستار متفاوت بود. در بررسی گالرد و همکاران (۱۹۷۵) بر روی ۱۴ رقم گندم هم مشاهده شد که LT_{50} از ۱۵/۸- درجه سانتی‌گراد برای ارقام مقاوم، تا ۱۱/۶- درجه سانتی‌گراد برای ارقام حساس تفاوت داشت. در مطالعه محفوظی و همکاران (۲۰۰۵) بر روی تحمل به سرمای ژنوتیپ‌های گندم نان نیز مشاهده شد که LT_{50} ژنوتیپ‌های مورد بررسی بین ۸- تا ۲۵- درجه سانتی‌گراد بود.

بازیافت و رشد مجدد گیاه پس از یخ‌زدگی: اثر متقابل خوسرمایی و دما بر رشد مجدد گیاه پس از اعمال تیمارهای یخ‌زدگی معنی‌دار ($P < 0.001$) بود (جدول ۱). بیشترین وزن خشک را گیاهان تیمار خوسرمایی در دمای صفر درجه سانتی‌گراد داشتند (۲۹۵/۸ میلی‌گرم) و کمترین آن مربوط به تیمار عدم خوسرمایی در دمای ۱۶- درجه سانتی‌گراد (صفر) بود (جدول ۲). گریفیت و مک‌ایتنایر (۱۹۹۳) بیان نمودند که گیاه چاودار در دمای پایین ماده خشک کمتری تولید می‌نماید. در مطالعه هکنبای و همکاران (۲۰۰۶) بر روی ارقام مختلف یونجه و شبدر یک‌ساله نیز مشخص شد که کاهش دما از ۱- تا

۱۳- درجه سانتی‌گراد ماده خشک گیاه را به‌طور معنی‌داری کاهش می‌دهد، به‌نحوی‌که وزن خشک گیاهانی که خوسرمایی را تجربه نکردند، در دمای ۷- درجه سانتی‌گراد به صفر رسید، در حالی‌که گیاهان خو گرفته به سرما در دمای ۱۰- درجه سانتی‌گراد از بین رفتند. این محققان نتیجه‌گیری نمودند که گیاهانی که LT₅₀ پایین‌تری داشتند، از تولید ماده خشک بیشتری نیز پس از رشد مجدد برخوردار بودند. نظامی و همکاران (۲۰۰۷) نیز مشاهده نمودند که اثر متقابل دما و خوسرمایی بر اجزای رویشی گیاه نخود معنی‌دار بود و خوسرمایی اثر منفی تنش یخ‌زدگی را بر رشد طولی ساقه و شاخه‌ها کاهش داد.

اثر متقابل ژنوتیپ و خوسرمایی بر وزن خشک گیاه معنی‌دار ($P < 0.001$) بود. با وجود اینکه در تمام ژنوتیپ‌ها خوسرمایی سبب بهبود وزن خشک گیاه شد، ولی این تأثیر بسته به ژنوتیپ متفاوت بود (جدول ۳). به‌طور مثال در ژنوتیپ‌های مارون و امید خوسرمایی تنها سبب ۵۰ درصد بهبود وزن خشک گیاه شد، در حالی‌که در ژنوتیپ‌های الوند، زرین و کل محلی بهبود وزن خشک تحت تأثیر خوسرمایی بین ۱۳۰ تا ۱۹۰ درصد بود. مطالعه فولر و گاستا (۱۹۷۷) بر روی گندم نیز نشان داد که بین ارقام مختلف گندم تفاوت معنی‌داری از نظر وزن خشک پس از اعمال تیمار یخ‌زدگی وجود داشت. در بررسی RDMT₅₀ ژنوتیپ‌های مورد مطالعه مشاهده شد که خوسرمایی تأثیر معنی‌داری ($P < 0.001$) بر دمای کاهنده ۵۰ درصد وزن خشک گیاهان داشته است (جدول ۵). به‌عنوان مثال در شرایط عدم خوسرمایی RDMT₅₀ ژنوتیپ کل محلی حدود ۴/۲- درجه سانتی‌گراد بود، در صورتی که خوسرمایی سبب بهبود صفت مذکور به میزان ۳ برابر (۱۲/۹- درجه سانتی‌گراد) شد (جدول ۶). با وجود این RDMT₅₀ در ژنوتیپ‌هایی مانند الوند، زاگرس و شیرودی تحت تأثیر خوسرمایی قرار نگرفت. در ارزیابی تحمل به سرمای نخود در شرایط کنترل شده مشاهده شد که شاخص RDMT₅₀ در ژنوتیپ‌های متحمل به سرما، ۲ درجه سانتی‌گراد کمتر از ژنوتیپ حساس به سرما بود (نظامی، ۲۰۰۲). در آزمایش ایشان ضریب همبستگی RDMT₅₀ با LT₅₀، ۰/۸۹ بود که نشان‌دهنده کارایی این شاخص در تخمین میزان خسارت سرما به گیاه بیان شده است. وی همچنین نتیجه‌گیری نمود که علاوه‌بر شاخص LT₅₀ از این شاخص نیز می‌توان برای ارزیابی میزان خسارت سرما به گیاه و بازیافت و رشد مجدد آن استفاده کرد.

جدول ۵- منابع تغییر، درجات آزادی و میانگین مجدورات LT₅₀ و RDMT₅₀ گندم ۴ هفته پس از بازیافت در شرایط گلخانه.

RDMT ₅₀		LT ₅₀		منابع تغییر
میانگین مجدورات	درجات آزادی	میانگین مجدورات	درجات آزادی	
۶۶/۸۴*	۱	۲۶/۳۶ ^{ns}	۱	خوسرمایی
۳/۲۹	۲	۹/۳۸	۲	خطای اصلی
۷/۵۳***	۲۸	۶/۸۰**	۱۶	ژنوتیپ
۶/۸۰***	۲۸	۵/۹۷**	۱۶	ژنوتیپ X خوسرمایی
۱/۹۴	۵۶	۲/۱۴	۳۲	خطای فرعی
	۱۱۵		۶۷	کل

ns، *، ** و ***: به ترتیب بیانگر غیرمعنی دار و معنی دار در سطح ۵، ۱ و ۰/۱ درصد.

جدول ۶- اثر متقابل ژنوتیپ و خوسرمایی بر RDMT₅₀ و LT₅₀ گندم ۴ هفته پس از بازیافت در شرایط گلخانه.

RDMT ₅₀		LT ₅₀		ژنوتیپ
عدم خوسرمایی	خوسرمایی	عدم خوسرمایی	خوسرمایی	
-۱۰/۲	-۱۲/۴	-۱۳/۸	-۱۲/۰	آذر ۲
-۵/۸	-۱۱/۷	-	-*	الموت
-۱۰/۷	-۹/۴	-۱۱/۱	-۱۵/۷	الوند
-۶/۶	-۱۱/۴	-۱۵/۷	-۱۵/۷	امید
-۸/۳	-۱۰/۸	-	-	بزوستایا
-۱۰/۸	-۱۱/۵	-۱۴/۳	-۱۲/۰	پیشتاز
-۷/۶	-۱۲/۰	-۱۰/۱	-۱۵/۷	توس
-۱۰/۴	-۱۲/۳	-۱۱/۸	-۱۵/۷	چمران
-۸/۰	-۱۰/۱	-۱۳/۸	-۱۵/۷	روشن
-۱۱/۷	-۱۱/۲	-۱۵/۷	-۱۵/۷	زاگرس
-۱۰/۴	-۱۱/۲	-۱۴/۳	-۱۵/۷	زرین
-۷/۳	-۱۲/۲	-	-	سبلان
-۱۰/۰	-۱۲/۹	-۱۵/۷	-۱۲/۷	سرداری
-۱۰/۸	-۱۱/۰	-۱۲/۹	-۱۲/۰	شیرودی
-۱۳/۲	-۱۰/۱	-	-	فلات

ادامه جدول ۶- اثر متقابل ژنوتیپ و خوسرمایی بر LT_{50} و $RDMT_{50}$ گندم ۴ هفته پس از بازیافت در شرایط گلخانه.

ژنوتیپ	$RDMT_{50}$		LT_{50}	
	عدم خوسرمایی	خوسرمایی	عدم خوسرمایی	خوسرمایی
قدس	-۹/۷	-۱۱/۳	-۱۴/۱	-۱۵/۷
کل محلی	-۴/۲	-۱۲/۹	-۱۰/۲	-۱۴/۱
گاسپارد	-۱۱/۰	-۱۲/۲	-۱۲/۹	-۱۵/۸
گاسکوژن	-۱۳/۰	-۱۱/۱	-۱۱/۴	-۱۲/۳
گلنسون	-۱۳/۱	-۱۴/۴	-	-
مارون	-۱۰/۱	-۱۰/۴	-	-
مرو دشت	-۶/۲	-۷/۹	-۱۱/۰	-۱۱/۹
مهدوی	-۱۰/۱	-۱۲/۹	-	-
نوید	-۹/۲	-۹/۴	-	-
نیکانژاد	-۷/۹	-۱۱/۱	-۱۲/۸	-۱۴/۲
آنرا	-۱۱/۶	-۱۱/۳	-	-
C-73-5	-۱۱/۹	-۱۱/۷	-	-
C-73-20	-۱۲/۰	-۸/۷	-	-
MV-17	-۱۱/۹	-۱۲/۳	-	-
	۲/۸		۳/۰	
	LSD(۰/۰۵)			

*: به دلیل درصد بقاء بالاتر از ۵۰ درصد تحت شرایط خوسرمایی (در گستره تیمارهای دمایی آزمایش)، LT_{50} این ژنوتیپ‌ها کمتر از ۱۶- درجه سانتی‌گراد بود و بنابراین محاسبه نشد.

اثر متقابل خوسرمایی و دما بر ارتفاع گیاه معنی‌دار ($P < ۰/۰۰۱$) بود (جدول ۱). بیشترین ارتفاع مربوط به تیمار خوسرمایی و دمای صفر درجه (۲۰/۲ سانتی‌متر) و کمترین آن مربوط به تیمار عدم خوسرمایی و دمای ۱۶- درجه (صفر سانتی‌متر) بود (جدول ۲). اثر متقابل ژنوتیپ و خوسرمایی بر ارتفاع گندم ۴ هفته پس از بازیافت در گلخانه معنی‌دار ($P < ۰/۰۰۱$) بود (جدول ۱). ژنوتیپ مارون در شرایط خوسرمایی بلندترین (۲۸/۷ سانتی‌متر) و ژنوتیپ کاسکوژن در شرایط عدم خوسرمایی کوتاهترین (۳/۶ سانتی‌متر) ارتفاع را داشتند (جدول ۳). در رقم زرین خوسرمایی سبب ۲۰۲ درصد بهبود ارتفاع شد، در صورتی که در رقم الموت این بهبود حدود ۷ درصد بود.

نتیجه گیری

نتایج این آزمایش نشان داد که در شرایط خوش‌سرمایی تمام ژنوتیپ‌های مورد بررسی قادر به تحمل دمای یخ‌زدگی تا حدود ۸- درجه سانتی‌گراد بودند و بعد از آن واکنش متفاوتی به یخ‌زدگی شدیدتر نشان دادند. در دمای ۱۲- درجه سانتی‌گراد اغلب ژنوتیپ‌ها بیش از ۵۰ درصد بقاء داشتند و تنها در یک ژنوتیپ درصد بقاء کمتر از ۵۰ درصد بود، در صورتی که در دمای ۱۶- درجه سانتی‌گراد ۲۱ ژنوتیپ کمتر از ۵۰ درصد بقاء داشتند. در شرایط عدم خوش‌سرمایی نیز هر چند که گیاهان تا دمای ۸- درجه سانتی‌گراد را به خوبی تحمل کردند، ولی در دمای ۱۲- درجه سانتی‌گراد ۶ ژنوتیپ کمتر از ۵۰ درصد بقاء داشتند و در دمای ۱۶- درجه سانتی‌گراد کلیه ژنوتیپ‌ها از بین رفتند. خوش‌سرمایی سبب بهبود تحمل به یخ‌زدگی و رشد مجدد ژنوتیپ‌های مورد بررسی شد، به نحوی که در شرایط خوش‌سرمایی LT₅₀ در ۲۱ ژنوتیپ کمتر از ۱۵- درجه سانتی‌گراد بود، در حالی که در شرایط عدم خوش‌سرمایی تنها در ۳ ژنوتیپ LT₅₀ کمتر از ۱۵- درجه سانتی‌گراد بود و به همین دلیل اغلب گیاهان در شرایط خوش‌سرمایی، ۴ هفته پس از یخ‌زدگی وزن خشک و ارتفاع بیشتری نسبت به گیاهان در شرایط عدم خوش‌سرمایی داشتند. جهت تأیید تحمل به سرمای ژنوتیپ‌های مورد بررسی، تداوم آزمایش‌ها در شرایط مزرعه و کنترل شده پیشنهاد می‌شود.

منابع

- Azizi, H., Nezami, A., Nasiri Mahallati, M., and khazaei, H. 2007. Evaluation of wheat cultivars freezing tolerance under controlled conditions. *Iranian J. of Field Crop Res.* 5: 1. 109-119.
- Bridger, G.M., Falk, D.E., Mckersie, B.D., and Smith, D.L. 1996. Crown freezing tolerance and field winter survival of winter cereals in eastern Canada. *Crop Sci.* 36: 150-157.
- Cardona, C.A., Duncan, R.R., and Lindstrom, O. 1997. Low temperature tolerance assessment in paspalm. *Crop Sci.* 37: 1283-1291.
- Chen, T.H., Gusta, L.V., and Fowler, D.B. 1983. Freezing injury and root development in winter cereals. *Plant Physiol.* 73: 773-777.
- Fowler, D.B., Limin, A.E., Wang, S.Y., and Ward, R.W. 1996. Relationship between low-temperature tolerance and vernalization response in wheat and rye. *Can. J. Plant Sci.* 76: 37-42.
- Fowler, D.B., and Gusta, L.V. 1977. Dehardening of winter wheat and rye under spring field conditions. *Can. J. Plant Sci.* 57: 1049-1054.

- Fowler, D.B., and Gusta, L.V. 1979. Selection for winter hardiness in wheat. I. Identification of genotypic variability. *Crop Sci.* 19: 769-772.
- Griffith, M., and McIntyre, C.H. 1993. The interrelationship of growth and frost tolerance in winter rye. *Physiol. Plant.* 87: 335-344.
- Gullord, M., Olien, C.R., and Everson, E.H. 1975. Evaluation of freezing hardiness in winter wheat. *Crop Sci.* 15: 153-157.
- Gusta, L.V., and Fowler, D.B. 1977. Cold resistance and injury in winter cereals, P. 159-178, In: Mussel, H., and Staples, R.C. (eds.), *Stress Physiology in Crop Plants*, John Wiley & Sons, New York.
- Gusta, L.V., O'Connor, B.J., Gao, Y.P., and Jana, S. 2001. A re-evaluation of controlled freeze-test and controlled environment hardening conditions to estimate the winter survival potential of hardy winter wheat. *Can. J. Plant Sci.* 81: 241-246.
- Hekneby, M., Antolin, M.C., and Sanchez-Diaz, M. 2006. Frost resistance and biochemical changes during cold acclimation in different annual legumes. *Environ. Exp. Bot.* 55: 305-314.
- Mahfuzi, S., Rustaie, M., and Ansari Maleki, Y. 2005. Determining of Low Temperature tolerance in some bread wheat, durum wheat and barely genotypes. *Iranian J. seed Plant.* 21: 3. 467-483.
- Mirzaie Asl, A., Yazdi Samadi, B., Zali, A., and Sadeghian Motahhar, Y. 2002. Study on the cold resistance of wheat with laboratory methods. *Iranian J. of Sci. Tech. Agric. Nat. Reso.*, 6: 1. 177-186.
- Nazeri, M., Ahmadi, A., Tabeei, M., and Kohestani, B. 2006. Study of frost tolerance in promising wheat genotypes using crown freezing method. *Iranian J. of Field Crop Res.* 4: 1. 155-168.
- Nezami, A. 2002. Evaluation of cold tolerance in chickpea (*Cicer arietinum* L.) for fall planting in the highlands. Ph.D. Thesis, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad.
- Nezami, A., Bagheri, A., Rahimian, H., Kafi, M., and Nasiri Mahallati, M. 2007. Evaluation of freezing tolerance of chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes under controlled conditions. *Iranian J. of Sci. Tech. Agric. Nat. Reso.* 10: 4a. 257-269.
- Petr, J. 1991. *Weather and yield, developments in crop science*. Elsevier, Amsterdam and NewYork, 311p.



Effects of acclimation on wheat (*Triticum aestivum* L.) cold tolerance under laboratory conditions

*** A. Nezami¹, H.R. Khazaei¹, H. Azizi² and S. Najibnia²**

¹Associate Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran, ²Ph.D. Student, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

Abstract

Sever coldness causes damage to the wheat and affect its growth and yield, thereby this experiment was conducted in controlled conditions to investigate freezing tolerance of 29 wheat genotypes. Acclimation treatments (in two levels: acclimation and non-acclimation) were considered in the main plot and combination of temperature (0, -4, -8, -12, -16 °C) and genotypes as sub plot. Survival percentage, dry weight and plant height were measured four weeks after freezing in the glasshouse. All these traits were affected significantly by freezing treatments ($P < 0.001$). Reducing temperature under -8 °C caused a significant reduction in the wheat survival percentage. Acclimation alleviated the effects of freezing, so that at -12 °C in non-acclimation conditions, dry weight was 72.1 mgr, but it reached to 144.9 mgr in acclimation conditions. Lethal Temperature 50 (LT₅₀) was lower than -15 °C in 14 cultivars and higher than -15 °C in 15 cultivars. Among studied genotypes, Alamout, Bezostaja, Falat, Glenson and MV-17 were more cold tolerant than others. In order to determine the cold tolerance of genotypes, conducting complementary experiments in controlled and field conditions could be useful.

Keywords: Wheat; Acclimate; LT₅₀; Survival percentage

*- Corresponding Author; Email: nezamiahmad@yahoo.com