

ارزیابی تحمل به یخزدگی در ارقام گندم (*Triticum aestivum* L.) تحت شرایط کنترل شده

هما عزیزی، احمد نظامی، مهدی نصیری محلاتی، حمید رضا خزاعی^۱

چکیده

به منظور بررسی تحمل به یخزدگی ارقام گندم در شرایط کنترل شده، نمونه‌هایی از ۱۴ رقم آنزا، بزوستایا، پیشتاز، توس، زاگرس، زرین، شهریار، فلات، قدس، گلنسون، مارون، نوید، نیک‌نژاد و MV-17 که در مزرعه کشت شده بودند پس از گذراندن دوره خوسرمایی در شرایط مزرعه در مرحله ۴ تا ۶ برگی برداشت و طوقه‌ها پس از قطع ریشه‌ها و برگ‌ها از دو سانتی‌متری هر طوقه، به فریزر ترموگرادیان منتقل شدند. پس از اعمال تیمار یخزدگی در گستره دمایی صفر تا ۲۰- درجه سانتی‌گراد، نمونه‌ها به گلخانه منتقل و در گلدان کشت شدند. بعد از سه هفته درصد بقاء، ارتفاع، سطح برگ، وزن خشک، عدد کلروفیل متر، دمای کشنده ۵۰٪ نمونه‌های گیاهی (LT₅₀) و دمای کاهنده ۵۰٪ وزن خشک گیاه (DMT₅₀) اندازه‌گیری و ثبت شد. پس از اعمال تیمار یخزدگی ارقام از نظر درصد بقاء تفاوت معنی‌داری نشان دادند (P<0.05). گلنسون با ۷۲/۲ درصد و مارون با ۲۴/۴ درصد به ترتیب بیشترین و کمترین درصد بقاء را دارا بودند. از لحاظ وزن خشک، LT₅₀، DMT₅₀، ارتفاع، سطح برگ و عدد کلروفیل متر نیز ارقام با یکدیگر اختلاف معنی‌داری داشتند. گلنسون با LT₅₀ معادل ۱۵/۸- درجه سانتی‌گراد مقاوم‌ترین و مارون با LT₅₀ معادل ۳/۷- درجه سانتی‌گراد حساس‌ترین رقم شناخته شد. به نظر می‌رسد که با تداوم این سری آزمایش‌ها در شرایط کنترل شده و مزرعه و بررسی همبستگی داده‌های مربوطه، نتایج حاصله در شرایط کنترل شده را بتوان با اعتماد بالاتری مورد استفاده قرار داد.

واژه‌های کلیدی: بقاء، خوسرمایی، LT₅₀، DMT₅₀، گندم.

مقدمه

نشان می‌دهد که میزان زیان اقتصادی سرما و یخبندان بر محصولات زراعی کشور از جمله گندم، به مراتب بیشتر از زیان‌های سایر پدیده‌های مخرب جوی و حتی گاهی بیشتر از خسارات آفات و بیماری‌ها است (۲). مقاومت به سرما در گندم، یکی از مهم‌ترین عواملی است که سبب بقاء گیاه در زمستان می‌شود. مقاومت به سرما بسته به شرایط آب و هوایی متغیر است و برای ایجاد مقاومت گیاه به سرما وجود دوره‌های سرمایی ملایم (بالای صفر) در ابتدای رشد گیاه ضروری است. در این حالت پدیده خوسرمایی در گیاه القاء شده و گیاه قادر خواهد بود که شرایط سخت زمستان را

گندم یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی است که کشت آن در مناطق با شرایط آب و هوایی متفاوت انجام می‌شود. این گیاه یکی از منابع غذایی عمده مردم جهان است که ۲۰ درصد کالری و ۲۲ درصد پروتئین مورد نیاز انسان را تأمین می‌کند (۳).

شرایط سخت زمستان یکی از عوامل محدود کننده تولید گندم در مناطق معتدله ذکر شده و در نتیجه وقوع سرمای شدید در برخی سال‌ها بقاء و رشد و نمو این گیاه تحت تأثیر قرار گرفته و عملکرد آن کاهش می‌یابد (۴). گزارش‌ها

۱- به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و اعضای هیأت علمی دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

تحمل کند.

فولر و گاستا (۱۴ و ۱۶) برای اندازه‌گیری تحمل به سرما در گندم «شاخص بقاء مزرعه»^۱ 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. تحمل زمستان توسط گیاه به توانایی تحمل تنش‌هایی نظیر یخ‌زدگی، آب‌کشیدگی، پوشش یخ، غرقاب، خفه شدن و بیماری‌های مختلف وابسته است. اگر چه این محققان معتقدند که بقاء در مزرعه آزمون مناسبی است ولی در اغلب مواقع در آزمون‌های مزرعه‌ای به دلیل بقاء کامل و یا مرگ کامل گیاه تفاوت بقاء در زمستان آشکار نمی‌شود. حتی وقتی که تفاوت در میزان بقاء نیز وجود دارد، کشف تفاوت‌های کوچک در بقاء زمستانه غالباً به دلیل شرایط ناهمگن مزرعه مانند پوشش متغیر برف، پوشش یخ، رطوبت و حاصلخیزی خاک و پاتوژن‌ها مشکل می‌باشد. به همین علت جهت پرهیز از بعضی محدودیت‌های اجتناب‌ناپذیر در ارزیابی‌های مزرعه‌ای انواع مختلفی از آزمون‌های یخبندان مصنوعی ابداع شده است (۱۴). این آزمون‌ها کنترل دما را امکان‌پذیر ساخته و به محقق این امکان را می‌دهند که تکرار در زمان را اعمال نماید (۱۹). تعیین دمایی که سبب ۵۰ درصد تلفات^۲ در گیاه شود، یکی از این روش‌ها است که توسط محققان مختلفی به عنوان یک روش مناسب برای اندازه‌گیری مقاومت به سرما توصیه شده است. در این روش گیاهان در شرایط کنترل شده در معرض دماهای یخ‌زدگی قرار می‌گیرند (۲۱). گیاهان بعد از اعمال یخ‌زدگی به گلخانه منتقل شده و پس از گذراندن یک دوره بازیافت^۳ که حدود ۳ تا ۴ هفته می‌باشد، منحنی درصد بقاء آن‌ها در برابر دماهای آزمایش ترسیم می‌شود و بر اساس آن دمایی که سبب ۵۰ درصد مرگ و میر در نمونه‌های گیاهی هر ژنوتیپ شده است به عنوان LT₅₀ تعیین می‌گردد (۵، ۹ و ۱۹).

در بررسی تحمل به یخ‌زدگی طوقه و نیز بقاء زمستانه غلات در مزرعه، در شرق کانادا، مشاهده شد که بین FSI و LT₅₀ همبستگی قوی وجود دارد. مقادیر LT₅₀ ژنوتیپ‌های تطابق یافته به سرما و ژنوتیپ‌های تطابق نیافته تفاوت معنی‌داری با یکدیگر داشتند و مقدار آن در ژنوتیپ‌های تطابق یافته به سرما کمتر بود. در این آزمایش نورستار مقاوم‌ترین ژنوتیپ گندم به یخ‌زدگی شناخته شد به طوریکه بقاء گندم زمستانه نورستار^۴ به طور متوسط ۱۹٪ بیش از ژنوتیپ فردریک^۵ و ۲۳٪ بیش از ژنوتیپ پرلو^۶ بود (۹).

محققان واکنش ارقام گندم (بزوستایا، بولانی و لاین ۵۱۸، به ترتیب به عنوان ارقام مقاوم، نیمه مقاوم و حساس) را به تنش سرما در دو مرحله جوانه‌زنی و گیاهچه‌ای مورد آزمون قرار دادند. نتایج نشان داد که واکنش ارقام از لحاظ رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه به دما متفاوت بود. در دمای کم وزن خشک، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه و همچنین مقدار قندهای محلول و کلروفیل برگ در رقم بزوستایا به طور معنی‌داری بیشتر از دو رقم دیگر بود (۱). میرزایی اصل و همکاران (۵) به منظور بررسی روش‌های ارزیابی مقاومت به سرما و تعیین روشی سریع و مؤثر در ارزیابی مقاومت به سرمای گندم، ۹ ژنوتیپ بزوستایا، سبلان، بولانی، خلیج و ناز و چهار نمونه محلی را در ایران مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که در میان صفات مورد بررسی، پایداری غشاء سیتوپلاسمی، مقدار آب و قند طوقه همبستگی معنی‌داری با LT₅₀ دارد. LT₅₀ حاصل از طوقه‌های گیاهان مزرعه همبستگی زیادی با LT₅₀ حاصل از گیاهان کشت شده در گلدان‌های کوچک داشت (r=۰/۹۸). پایداری غشاء سیتوپلاسمی بیشترین همبستگی را با LT₅₀ نشان داد. در این آزمایش مشخص شد که مقدار آب گیاه با افزایش خوسرمایی کاهش می‌یابد و میزان کاهش مقدار آب در ژنوتیپ‌های مقاوم بیشتر بود. رقم بزوستایا با LT₅₀ معادل ۱۶/۷- درجه سانتی‌گراد مقاوم‌ترین ژنوتیپ و نمونه

1- Field Survival Index (FSI)
5- Fredrick

2- Lethal temperature 50 (LT₅₀)
6- Perlo

3- Recovery

4- Norstar

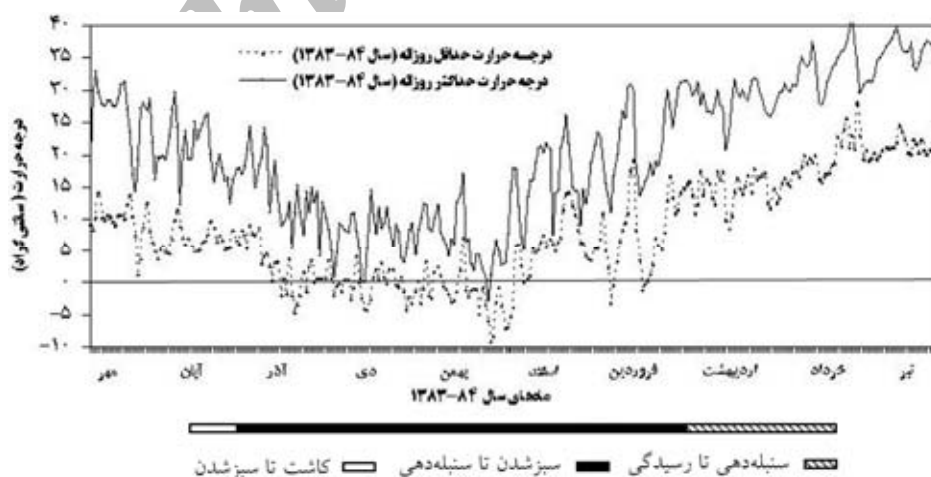
دانشگاه فردوسی مشهد کشت شدند. سپس گیاهچه‌های ۶- ۴ برگی هر رقم پس از گذراندن دوره خوش‌سرمایی در مزرعه (شکل ۱)، در تاریخ ۸۳/۱۰/۱۴ از مزرعه برداشت و به آزمایشگاه منتقل شدند. در آزمایشگاه، نمونه‌های گیاهی شسته شده و طوقه‌های هر نمونه پس از قطع ریشه‌ها و برگ‌ها از ناحیه دو سانتی متری پایین و بالای طوقه، به فریزر ترموگرادیان^۱ منتقل شدند. برای هر تیمار ۵ طوقه گندم مورد استفاده قرار گرفت. دمای فریزر در شروع آزمایش، ۵ درجه سانتی‌گراد بوده که پس از قرار دادن نمونه‌ها در آن، دما با سرعت ۲ درجه سانتی‌گراد در ساعت تا ۲۰- درجه سانتی‌گراد کاهش یافت. به منظور جلوگیری از پدیده فراسرما و ایجاد هستک یخ در طوقه‌ها و اطمینان از این که مکانیزم از نوع تحمل است و نه اجتناب، در دمای ۲- درجه سانتی‌گراد اسپری^۲ INAB بر روی نمونه‌های مربوط به تیمارهای دمایی کمتر از صفر درجه سانتی‌گراد به نحوی انجام شد که سطح گیاه را به طور نسبی قشری از این محلول پوشانده و تقریباً خیس شدند. به منظور ایجاد تعادل در دمای محیط، طوقه‌ها در هر تیمار دمایی (شامل دماهای صفر، ۴-، ۸-، ۱۲-، ۱۶- و ۲۰- درجه سانتی‌گراد) به مدت یک

محلی ۵۱۸ با LT_{50} معادل ۸/۲- درجه سانتی‌گراد حساس‌ترین ژنوتیپ به سرما شناخته شدند.

در اغلب مناطق کشور، گندم به صورت زمستانه کشت می‌شود و علیرغم اهمیت اطلاع از وضعیت تحمل به سرمای آن، مطالعات اندکی در خصوص ارزیابی تحمل به سرمای این گیاه انجام شده است (۱ و ۵)، از این رو آزمایش حاضر با هدف بررسی تحمل به سرمای تعدادی از ارقام گندم رشد یافته در مزرعه تحت شرایط کنترل شده طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

در این آزمایش تحمل به یخ زدگی ۱۴ رقم گندم شامل بزوستایا، گلنسون، نیک‌نژاد و ام-وی-۱۷ (زمستانه)، پیشناز، فلات، قدس، مارون و نوید (بهاره) و آنزا، زاگرس، زرین، توس و شهریار (دو منظوره) مورد مطالعه قرار گرفت. این ارقام در ارزیابی مقدماتی تحمل به سرمای ۲۹ رقم گندم در شرایط کنترل شده تحمل به یخ زدگی بهتری از سایر ارقام نشان داده بودند (مشاهدات شخصی). به منظور تعیین تحمل به یخ زدگی این ارقام در شرایط کنترل شده، ابتدا گیاهان در تاریخ ۸۳/۸/۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی



شکل ۱: درجه حرارت حداقل و حداکثر روزانه در طی دوره رشد گندم در شرایط مشهد

۱- این فریزر که قابل برنامه ریزی و کنترل از طریق کامپیوتر می‌باشد، با همکاری دانشکده مهندسی و دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد ساخته شده است
 ۲- Ice Nucleation Active Bacteria (INAB) این محلول با همکاری آزمایشگاه‌های فیزیولوژی گیاهان زراعی و میکروبیولوژی دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد تهیه شده است



شکل ۲: بازیافت ژنوتیپ های گندم سه هفته پس از تیمار یخ زدگی در شرایط کنترل شده.

رسم نمودارها با استفاده از نرم افزارهای MS-Excel، MSTAT-C و SigmaStat انجام گرفت. کلیه میانگین‌ها با آزمون LSD مقایسه شدند.

نتایج و بحث

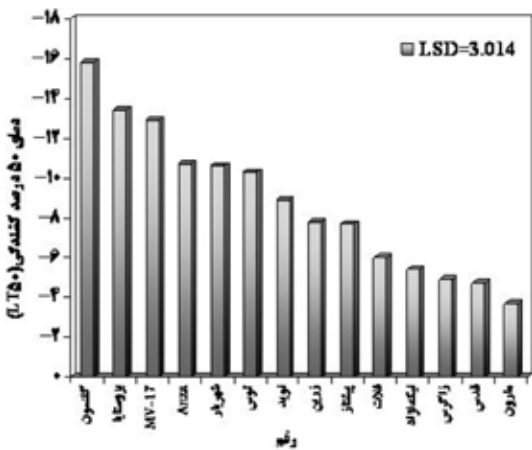
درصد بقاء و درجه حرارت کشته برای ۵۰ درصد ارقام
ارقام گندم از نظر درصد بقاء سه هفته پس از اعمال تیمار یخ‌زدگی تفاوت معنی داری داشتند ($P < 0.05$). رقم گلنسون با ۷۲/۲ درصد و رقم مارون با ۲۴/۴ درصد به ترتیب بیشترین و کمترین درصد بقاء را دارا بودند (جدول ۱). اثر تیمارهای دمایی نیز بر درصد بقاء گیاهان معنی دار بود ($P < 0.05$). به نحوی که با کاهش دما به کمتر از صفر درجه سانتی‌گراد درصد بقاء گیاهان کاهش یافت. بیشترین درصد بقاء در تیمار شاهد (صفر درجه سانتی‌گراد) (۹۹/۵ درصد) و کمترین آن در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد (صفر درصد) مشاهده شد (جدول ۲). اثر متقابل رقم × دما بر درصد بقاء گیاهان معنی دار بود ($P < 0.05$). در بررسی اثر متقابل رقم × دما مشاهده شد که در رقم گلنسون بقاء گیاه تا دمای ۱۲- درجه سانتی‌گراد تحت تأثیر قرار نگرفت و تیمار

ساعت نگه داشته و سپس برداشت شده و به منظور جلوگیری از ذوب شدن سریع یخ نمونه‌های گیاهی به اتاقک سرد با دمای 1 ± 4 درجه سانتی‌گراد منتقل و به مدت ۲۴ ساعت در آن جا نگهداری شدند. سپس نمونه‌های هر تیمار (۵ طوقه ذکر شده در فوق) به گلخانه منتقل شده و در گلدان‌هایی به قطر ۱۰ سانتی‌متر در عمق ۲ تا ۳ سانتی‌متری خاک کاشته شدند. خاک گلدان دارای یک سوم شن، یک سوم خاک برگ و یک سوم خاک مزرعه بود و گیاهان در مواقع نیاز آبیاری شدند. بعد از سه هفته درصد بقاء از طریق شمارش تعداد بوته زنده در هر گلدان و از طریق فرمول [(تعداد طوقه‌ها قبل از تیمار یخ‌زدگی / تعداد گیاهان زنده سه هفته پس از تیمار یخ‌زدگی) $\times 100$] محاسبه شد. در این زمان طوقه‌های زنده تولید گیاه سالم کرده بودند در صورتیکه طوقه‌های خسارت دیده از تیمار یخ‌زدگی نتوانستند گیاهی تولید کنند (شکل ۲). همزمان صفات دیگری نظیر ارتفاع ساقه از سطح خاک تا محل خروج آخرین برگ، سطح برگ توسط دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ، عدد کلروفیل متر توسط دستگاه^۱ SPAD در جوان‌ترین برگ کاملاً توسعه یافته و وزن خشک پس از ۴۸ ساعت قرار گرفتن نمونه‌ها در آن ۷۰ درجه سانتی‌گراد، توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری و بر اساس میانگین تک بوته ثبت شد.

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی عبارت بودند از رقم (شامل ۱۴ رقم ذکر شده در فوق) و دمای یخ‌زدگی (شامل دماهای ذکر شده پیش از این). تجزیه داده‌هایی که به صورت درصد (بین صفر تا ۳۰ و ۷۰ تا ۱۰۰ درصد) بودند، پس از تبدیل زاویه‌ای انجام شد. LT_{50} و نیز درجه حرارت کاهنده ۵۰ درصد وزن خشک گیاه^۲ (DMT_{50}) با استفاده از رسم نمودار درصد بقاء و وزن خشک نمونه‌ها در مقابل دماهای یخ‌زدگی تعیین شد. محاسبات آماری و

1- SPAD, Minolta 502

2- Dry Matter Temperature 50



شکل ۳: مقایسه ارقام گندم از نظر LT_{50} در مرحله گیاهچه‌ای

جدول ۱: اثر رقم بر درصد بقاء، DMT_{50} و برخی ویژگی‌های رشدی گندم (بر اساس میانگین تک بوته) سه هفته پس از بازیافت در شرایط گلخانه

رقم تیمار	درصد بقاء	DMT_{50} (°C)	وزن خشک (میلی‌گرم)	ارتفاع (سانتی‌متر)	سطح برگ (سانتی‌متر مربع)	عدد کلروفیل متر
گلنسون	۷۲/۳	-۱۱/۸	۵۵۴/۰	۴/۴	۶/۱	۲۶/۳
MV-17	۶۴/۴	-۷/۷	۴۰۳/۰	۳/۶	۶/۲	۲۴/۴
بزوستایا	۶۲/۳	-۱۴/۳	۷۷۲/۰	۴/۷	۸/۶	۲۵/۰
شهریار	۵۴/۴	-۷/۱	۴۰۱/۰	۳/۲	۴/۴	۱۸/۵
نوس	۵۱/۱	-۸/۲	۳۷۳/۰	۳/۵	۵/۵	۱۶/۷
Anza	۵۱/۱	-۸/۸	۳۷۸/۰	۴/۲	۶/۶	۱۷/۹
نوب	۴۳/۳	-۹/۵	۴۳۷/۰	۴/۴	۵/۵	۱۷/۰
زین	۳۸/۹	-۷/۷	۳۱۸/۰	۳/۴	۴/۸	۱۹/۰
پیشناز	۳۷/۸	-۸/۰	۱۶۸/۰	۳/۲	۳/۷	۱۶/۳
زاگرس	۳۲/۳	-۵/۵	۱۶۵/۰	۳/۴	۴/۲	۱۴/۰
فلات	۳۲/۳	-۴/۳	۱۴۳/۰	۳/۱	۲/۴	۱۳/۲
لیکنژاد	۳۱/۱	-۴/۴	۱۳۰/۰	۲/۹	۳/۴	۱۰/۳
قدسی	۲۸/۹	-۴/۳	۱۹۸/۰	۳/۴	۳/۵	۱۱/۳
مارون	۲۴/۴	-۴/۶	۱۱۲/۰	۳/۴	۳/۲	۱۱/۲
LSD(0.05)	۸/۴	۱/۴	۳۶	-۰/۴۵	۱/۷۳	۲/۵۰

جدول ۲: اثر دمای یخ‌زدگی بر درصد بقاء، عدد کلروفیل متر و برخی ویژگی‌های رشدی گندم (بر اساس میانگین تک بوته) سه هفته پس از بازیافت در شرایط گلخانه

دمای یخ‌زدگی	درصد بقاء	وزن خشک (میلی‌گرم)	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)	سطح برگ (سانتی‌متر مربع)	عدد کلروفیل متر
صفر	۹۹/۵	۷۳۹	۸/۸	۱۱/۳	۳۷/۹
-۴	۹۱/۹	۶۳۰	۷/۷	۱۰/۹	۳۴/۵
-۸	۴۸/۱	۳۶۶	۳/۶	۴/۹	۲۰/۸
-۱۲	۲۲/۹	۱۴۳	۱/۴	۲/۳	۸/۱
-۱۶	۵/۳	۴۰	-۰/۲	-۰/۴	۱/۹
-۲۰	+۰	-	+۰	+۰	+۰
LSD(0.05)	۵/۴۸	۲۴	-۰/۳۰	۱/۱۳	۱/۶۴

دمایی -۱۶ درجه سانتی‌گراد سبب $۶۶/۷$ درصد تلفات در این رقم گردید. در حالیکه در رقم مارون درصد بقاء در دمای -۴ درجه سانتی‌گراد $۵۳/۳۳$ درصد بود و در دمای -۸ درجه سانتی‌گراد تمام گیاهان این رقم از بین رفتند (جدول ۳).
در این آزمایش بین ارقام گندم از نظر LT_{50} اختلاف معنی‌داری مشاهده شد (شکل ۳). به نحوی که رقم گلنسون پایین‌ترین میزان LT_{50} ($-۱۵/۸$ درجه سانتی‌گراد) را داشت و بالاترین میزان آن در رقم مارون ($-۳/۷$ درجه سانتی‌گراد) به دست آمد.
در آزمایش میرزایی و همکاران (۵)، بزوستایا با $LT_{50} = -۱۶/۷$ در ۵۱۸ با

$LT_{50} = -۸/۲$ حساس‌ترین رقم گندم به سرما شناخته شد. در آزمایشی که محفوظی و همکاران (۲۳) بر روی تحمل به یخ‌زدگی ۴ رقم گندم در مزرعه انجام دادند، رقم نورستار با LT_{50} معادل -۲۸ درجه سانتی‌گراد مقاوم‌ترین رقم و گندم بهاره کوه‌دشت با LT_{50} حدود -۵ درجه سانتی‌گراد حساس‌ترین رقم شناخته شد. در آزمایش فوق میزان LT_{50} ارقام سرداری و آذر ۲ نیز، حدود -۱۵ درجه سانتی‌گراد بود (۲۳).

فولر و همکاران (۱۵) نیز در آزمایش خود بر روی ۱۵ رقم گندم و جو مشاهده نمودند که ارقام مختلف گندم اختلاف معنی‌داری از نظر درصد بقاء و LT_{50} داشتند، دامنه LT_{50} در این ارقام از $۵/۷$ در $۲۰/۸$ در

یخ‌زدگی) کاهش یافت و در دمای ۲۰- درجه به صفر رسید (جدول ۲). اثر متقابل رقم \times دما بر وزن خشک گیاه معنی‌دار بود ($P < 0.05$), در گیاهان زنده بیشترین وزن خشک در رقم بزوستایا و در دمای ۴- درجه سانتی‌گراد (۱۲۴۸ میلی‌گرم) به دست آمد و کمترین وزن خشک گیاه نیز در رقم Anza و در دمای ۱۲- درجه سانتی‌گراد (۷ میلی‌گرم) مشاهده شد (جدول ۳). وزن خشک گیاه در ارقام MV-17, گلنسون و بزوستایا در دمای ۱۶- درجه سانتی‌گراد به ترتیب ۱۷, ۱۳۳ و ۴۱۷ میلی‌گرم بود در صورتی که یازده ژنوتیپ دیگر کاملاً از بین رفته و هیچگونه وزن خشکی نداشتند.

چن و همکاران (۱۰) با اعمال تیمارهای یخ‌زدگی در شرایط کنترل شده بر روی گندم مشاهده کردند که کاهش دمای یخ‌زدگی از ۵- به ۱۰- درجه سانتی‌گراد سبب کاهش ۲۰ درصدی رشد مجدد اندام‌های هوایی گندم (رشد یافته در گلدان به مدت سه هفته پس از اعمال تیمار یخ‌زدگی) نسبت به تیمار شاهد عدم یخ‌زدگی شد. در صورتی که در تیمارهای یخ‌زدگی ۱۵- و ۲۰- درجه سانتی‌گراد رشد مجدد اندام‌های هوایی گندم نسبت به شاهد به ترتیب ۶۰ و ۸۰ درصد کاهش یافت.

در بررسی فولر و گاستا (۱۳) نیز تفاوت معنی‌داری بین ارقام مختلف گندم از لحاظ وزن خشک پس از اعمال تیمار یخ‌زدگی وجود داشت. کیفیت و مک‌این‌تایر (۱۷) اظهار داشتند که بخش هوایی گیاه چاودار در دمای کم ماده خشک کمتری در خود جمع می‌کند. هکنبای و همکاران (۲۰) در بررسی تحمل به یخ‌زدگی چندین رقم یونجه و شیدر یکساله مشاهده نمودند که با کاهش دما از ۱- تا ۱۳- درجه سانتی‌گراد (با فواصل ۳ درجه) ماده خشک گیاه کاهش معنی‌داری نشان داد، به طوری که در گیاهانی که خوسرمایی نداشتند، در تیمار دمایی ۷- درجه سانتی‌گراد وزن خشک گیاه به صفر رسید درحالی‌که این وضعیت در گیاهان خو گرفته به سرما در دمای ۱۰- درجه سانتی‌گراد اتفاق افتاد. آن‌ها در آزمایش خود به این نتیجه رسیدند که گیاهانی که LT_{50} پایین‌تری داشتند، از تولید ماده خشک

رقم نورستار متفاوت بود. گالورد و همکاران (۱۸) در آزمایش بر روی ۱۴ رقم گندم، مشاهده نمودند که LT_{50} در یخ‌زدگی با شدت کم ۳ تا ۷ درجه سانتی‌گراد کم‌تر از LT_{50} در یخ‌زدگی با شدت بیشتر بود. دامنه LT_{50} ارقام در یخ‌زدگی شدید از $15/8^{\circ}C$ - برای ارقام مقاوم تا $11/6^{\circ}C$ - برای ارقام حساس متغیر بود. در بررسی بریجر و همکاران (۹) بر روی ارقام گندم و جو که تحت رژیم‌های مختلف خوسرمایی و عدم خوسرمایی قرار گرفتند، مشخص شد در ارقامی که دوره خوسرمایی را گذرانده بودند، دامنه LT_{50} گندم از ۱۷- تا ۱۳- درجه سانتی‌گراد متغیر بود درحالی‌که در ارقامی که دوره خوسرمایی را پشت سر نگذاشتند، دامنه LT_{50} از $9/1$ - تا $7/4$ - درجه سانتی‌گراد بود (۹). واکنش متفاوت ارقام گندم در مقابل تیمارهای یخ‌زدگی احتمالاً به دلیل بروز تفاوت‌های ژنتیکی آن‌ها در دوره خوسرمایی می‌باشد. در همین راستا اظهار شده است که کاهش میزان آب در بافت‌ها و افزایش ذخیره قندهای محلول از جمله مکانیزم‌های سازش ارقام غلات زمستانه به شرایط سخت زمستان می‌باشد (۴).

وزن خشک و دمای کاهنده ۵۰ درصد وزن خشک گیاه

ارقام گندم از نظر وزن خشک سه هفته پس از اعمال تیمار یخ‌زدگی تفاوت معنی‌داری داشتند ($P < 0.05$). به نحوی که رقم بزوستایا با ۷۷۳ میلی‌گرم بیشترین وزن خشک تک بوته و رقم مارون با ۱۱۲ میلی‌گرم کمترین وزن خشک تک بوته را دارا بودند (جدول ۱). اثر دما بر وزن خشک گیاه در پایان دوره بازیافت معنی‌دار بود ($P < 0.05$), با کاهش دما به کمتر از صفر درجه سانتی‌گراد وزن خشک گیاه کاهش یافت. این کاهش احتمالاً به دلیل اثر خسارت ناشی از یخ‌زدگی بر توانایی رشد مجدد اندام‌های گیاهی از طوقه در مرحله بازیافت بوده است. وزن خشک گیاه در تیمار دمایی ۸- درجه سانتی‌گراد ۵۰ درصد، در تیمار دمایی ۱۲- درجه سانتی‌گراد ۸۱ درصد و در تیمار دمایی ۱۶- درجه سانتی‌گراد ۹۵ درصد نسبت به شاهد (تیمار عدم

جدول ۳: اثرات متقابل رقم × دما بر درصد بقاء، عدد کلروفیل متر و برخی ویژگی‌های رشدی گندم (بر اساس میانگین تک بوته) سه هفته پس از بازیافت.

تیمار	درصد بقاء	وزن خشک (میلی‌گرم)	ارتفاع (سانتیمتر)	سطح برگ (سانتیمتر مربع)	عدد کلروفیل ^a تر	تیمار	درصد بقاء	وزن خشک (میلی‌گرم)	ارتفاع (سانتیمتر)	سطح برگ (سانتیمتر مربع)	عدد کلروفیل متر
زرین	صفر	۱۰۰/۰	۸۴۱	۸/۲	۴۰/۵	زرین	صفر	۱۰۰/۰	۷/۲	۸/۹	۴۰/۷
	-۴	۱۰۰/۰	۶۳۳	۷/۲	۳۸/۲		-۴	۱۰۰/۰	۹/۲	۱۰/۵	۳۹/۱
	-۸	۳۳/۳	۴۲۵	۵/۳	۳۴/۸		-۸	۱۰۰/۰	۷/۲	۹	۳۷/۶
	-۱۲	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰		-۱۲	۱۰۰/۰	۵/۳	۶/۷	۳۳/۷
	-۱۶	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰		-۱۶	۱۰۰/۰	۱/۳	۱/۳	۶/۸
	-۲۰	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰		-۲۰	۱۰۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
پیشناز	صفر	۱۰۰/۰	۴۲۸	۱۱/۳	۴۱/۴	پیشناز	صفر	۱۰۰/۰	۶/۰	۱۳/۱	۴۰/۷
	-۴	۱۰۰/۰	۳۵۷	۵/۰	۳۱/۰		-۴	۱۰۰/۰	۵/۷	۱۰/۴	۳۸/۵
	-۸	۲۶/۷	۲۲۵	۲/۷	۲۵/۲		-۸	۱۰۰/۰	۵/۳	۸/۴	۳۵/۲
	-۱۲	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰		-۱۲	۸۰/۰	۴/۳	۵/۳	۲۷/۲
	-۱۶	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰		-۱۶	۶/۷	۰/۳	۰/۳	۵/۰
	-۲۰	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰		-۲۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
زاگرس	صفر	۱۰۰/۰	۴۸۱	۱۰/۳	۳۷/۹	زاگرس	صفر	۱۰۰/۰	۱۱/۳	۱۲/۱	۴۱/۴
	-۴	۸۶/۷	۴۳۴	۹/۵	۳۵/۱		-۴	۱۰۰/۰	۷/۳	۱۴/۰	۳۷/۴
	-۸	۶/۷	۷۳	۵/۰	۱۰/۸		-۸	۸۰/۰	۶/۵	۹/۴	۳۳/۶
	-۱۲	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰		-۱۲	۶۰/۰	۵/۷	۱۳/۵	۲۳/۲
	-۱۶	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰		-۱۶	۳۳/۳	۱/۷	۳/۶	۱۴/۲
	-۲۰	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰		-۲۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
فلات	صفر	۱۰۰/۰	۴۸۰	۹/۸	۴۱/۲	فلات	صفر	۱۰۰/۰	۷/۰	۱۰/۶	۳۳/۲
	-۴	۹۳/۲	۳۷۶	۸/۸	۳۷/۷		-۴	۱۰۰/۰	۵/۵	۸/۴	۳۳/۱
	-۸	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰		-۸	۸۶/۷	۴/۸	۵/۳	۳۸/۵
	-۱۲	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰		-۱۲	۴/۰	۱/۸	۲/۴	۱۴/۷
	-۱۶	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰		-۱۶	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
	-۲۰	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰		-۲۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
نیک‌نژاد	صفر	۱۰۰/۰	۴۲۸	۹/۰	۳۳/۵	نیک‌نژاد	صفر	۱۰۰/۰	۹/۱	۱۲/۱	۳۵/۵
	-۴	۸۶/۷	۳۵۰	۸/۳	۳۸/۹		-۴	۱۰۰/۰	۶/۷	۱۱/۵	۳۴/۰
	-۸	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰		-۸	۸۶/۷	۵/۱	۸/۳۸	۲۴/۰
	-۱۲	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰		-۱۲	۲۰/۰	۷/۹	۱/۰	۶/۶
	-۱۶	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰		-۱۶	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
	-۲۰	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰		-۲۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
قدس	صفر	۱۰۰/۰	۶۷۲	۹/۸	۳۳/۹	قدس	صفر	۱۰۰/۰	۶/۵	۱۴/۳	۳۹/۱
	-۴	۶۶/۷	۵۱۶	۹/۵	۳۷/۸		-۴	۱۰۰/۰	۵/۶	۱۳/۷	۳۴/۷
	-۸	۶/۷	۰	۱/۰	۶/۸		-۸	۱۰۰/۰	۴/۱	۱۰/۲	۳۱/۷
	-۱۲	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰		-۱۲	۶/۷	۷	۱/۵	۱/۷
	-۱۶	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰		-۱۶	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
	-۲۰	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰		-۲۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
مارون	صفر	۱۰۰/۰	۹۳۲	۱۰/۸	۳۴/۶	مارون	صفر	۱۰۰/۰	۹/۳	۱۰/۷	۳۸/۱
	-۴	۵۳/۳	۳۱۹	۹/۳	۳۳/۶		-۴	۱۰۰/۰	۸/۰	۱۳/۵	۳۵/۵
	-۸	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰		-۸	۴۶/۷	۷۵/۷	۶/۳	۲۳/۵
	-۱۲	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰		-۱۲	۱۳/۳	۱۰/۲	۱/۵	۶/۱
	-۱۶	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰		-۱۶	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
	-۲۰	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰		-۲۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
LSD(0.05)						LSD(0.05)					

بیشتری نیز پس از رشد مجدد برخوردار بودند.

ارقام گندم در این آزمایش اختلاف معنی‌داری از نظر DMT_{50} داشتند (جدول ۱). به نحوی که کم‌ترین میزان DMT_{50} در رقم بزوستایا (۱۴/۲- درجه سانتی‌گراد) و بیشترین آن در رقم قدس و فلات (۴/۳- درجه سانتی‌گراد) به دست آمد. بررسی همبستگی DMT_{50} با LT_{50} نشان داد که این دو شاخص با یکدیگر رابطه نزدیکی دارند ($r=0/85$). در بررسی نظامی (۷) بر روی تحمل به سرما یخ‌زدگی در شرایط کنترل شده مشاهده شد که در ژنوتیپ‌های متحمل به سرما شاخص DMT_{50} ۲ درجه سانتی‌گراد کمتر از ژنوتیپ حساس به سرما بود. ضریب همبستگی DMT_{50} با LT_{50} در آزمایش آنها ۰/۸۹ بود که نشان دهنده کارایی این شاخص در تخمین میزان خسارت سرما به گیاه بیان شد. وی نتیجه‌گیری نمود که علاوه بر شاخص LT_{50} از این شاخص نیز می‌توان برای ارزیابی میزان خسارت سرما به گیاه و بازیافت و رشد مجدد آن استفاده کرد.

ارتفاع گیاه

ارقام دارای تفاوت معنی‌داری در ارتفاع بودند ($P<0.05$). به نحوی که رقم بزوستایا بیشترین ارتفاع ساقه و رقم نیک‌نژاد، کمترین ارتفاع ساقه را در پایان دوره بازیافت دارا بودند (جدول ۱). اثر تیمارهای دمایی بر ارتفاع گیاه معنی‌دار بود ($P<0.05$)، به طوری که با کاهش دما ارتفاع ساقه کاهش یافت. بیشترین ارتفاع در تیمار شاهد (۸/۸)

سانتی‌متر) و کمترین ارتفاع ساقه در تیمار دمایی ۲۰- درجه سانتی‌گراد (صفر) به دست آمد. ارتفاع گیاه در تیمار دمایی ۸- درجه سانتی‌گراد ۴۱ درصد، در تیمار ۱۲- درجه ۱۶ درصد و در تیمار ۱۶- درجه ۲/۳ درصد شاهد بود (جدول ۲). در آزمایش نظامی (۷) در دمای ۱۲- درجه سانتی‌گراد طول ساقه گیاه نخود در شرایط خوش‌سرمایی ۴۵ درصد آن نسبت به تیمار عدم یخ‌زدگی (صفر درجه سانتی‌گراد) بود، در صورتی که در شرایط عدم خوش‌سرمایی این مقدار به ۲۰ درصد کاهش یافت (۷). اثر متقابل رقم \times دما بر ارتفاع گیاه معنی‌دار بود ($P<0.05$). در گیاهان زنده بیشترین ارتفاع در رقم پیش‌تاز و در دمای صفر درجه سانتی‌گراد (۱۱/۳ سانتی‌متر) و کمترین ارتفاع در رقم Anza و در دمای ۱۲- درجه سانتی‌گراد (۰/۲ سانتی‌متر) به دست آمد (جدول ۴).

سطح برگ

بر اساس نتایج به دست آمده اثر رقم بر سطح برگ معنی‌دار بود ($P<0.05$). رقم بزوستایا بیشترین سطح برگ و رقم مارون کمترین سطح برگ را در پایان دوره بازیافت دارا بودند (جدول ۱). اثر دما بر سطح برگ گیاه معنی‌دار بود ($P<0.05$). به نحوی که بیشترین سطح برگ در تیمار شاهد (۱۱/۳ سانتی‌متر مربع) به دست آمد ضمن اینکه تیمار دمایی ۴- درجه از نظر سطح برگ اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشت (۱۰/۹ سانتی‌متر مربع) و کمترین سطح برگ در تیمار دمایی ۲۰- درجه سانتی‌گراد حاصل شد (جدول ۲).

جدول ۴: ضرایب همبستگی صفات مورد بررسی با LT_{50} و DMT_{50}

صفت	۱	۲	۳	۴	۵	۶
LT_{50} -۱	۱					
DMT_{50} -۲	۰/۸۵***	۱				
۳- عدد کلروفیل متر	-۰/۹۴***	-۰/۸۶***	۱			
۴- وزن خشک	-۰/۸۵***	-۰/۹۲***	-۰/۸۶***	۱		
۵- ارتفاع بوته	-۰/۶۸**	-۰/۸۷***	-۰/۶۹**	-۰/۸۲***	۱	
۶- سطح برگ	-۰/۸۲***	-۰/۹۰***	-۰/۸۳***	-۰/۸۹***	-۰/۸۷***	۱

***، ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ و ۰/۰۰۱

شده و در نتیجه سرعت فتوسنتز و متعاقباً تولید ماده خشک و عملکرد افزایش می‌یابد (۲۵). اگر دما برای مدت زمان طولانی پایین باقی بماند، به دلیل کاهش فتوسنتز و احتمالاً خسارت کلروفیل‌های موجود در برگ، برگ‌ها ممکن است دچار کاهش مقدار کلروفیل شوند (۶). آنتولین و همکاران (۸) دریافتند که با افزایش تنش خشکی میزان کلروفیل برگ کاهش ولی نسبت کلروفیل a/b افزایش می‌یابد.

همبستگی صفات مورد بررسی با LT_{50}

صفات بررسی شده همبستگی معنی‌داری با LT_{50} نشان دادند. از بین صفات بررسی شده، میزان کلروفیل بیشترین همبستگی ($r = -0/94$) و ارتفاع بوته کمترین همبستگی ($r = -0/68$) را با LT_{50} نشان دادند (جدول ۴). وزن خشک نیز همبستگی بالایی با LT_{50} داشت ($r = -0/85$). همبستگی سطح برگ با LT_{50} نیز معنی‌دار ($r = -0/82$) بود. DMT_{50} نیز با صفات مذکور همبستگی منفی و معنی‌داری داشت (جدول ۴).

در بررسی سایر محققین بر روی غلات مشاهده شده است که وزن خشک طوقه و محتوی آب آن همبستگی معنی‌داری را با LT_{50} داشته‌اند (۱۱، ۱۳ و ۲۴). در همین راستا اظهار شده است که استفاده از این دو صفت به عنوان شاخص‌های پیش‌بینی تحمل به سرما در غلات امکان‌پذیر است (۲۴). میرزایی و همکاران (۵) نیز در آزمایش خود بر روی ۵ رقم و ۴ نمونه محلی گندم به این نتیجه رسیدند که پایداری غشاء سیتوپلاسمی، محتوی آب طوقه و محتوی قند طوقه همبستگی معنی‌داری با LT_{50} نشان دادند، ولی در آزمایش آن‌ها رابطه ارتفاع گیاه با LT_{50} در ارقام مورد بررسی معنی‌دار نبود (۵). فولر و کارلز (۱۱) در آزمایش خود همبستگی معنی‌داری بین وزن خشک اندام هوایی گندم با LT_{50} در شرایط مزرعه پیدا کردند. تایلر و همکاران (۲۶) در مطالعه خود روابط معنی‌داری بین LT_{50} و پتانسیل اسمزی، محتوی رطوبت و وزن خشک طوقه گندم یافتند. در آزمایش فولر و همکاران (۱۵) نیز LT_{50} با محتوی آب

سطح برگ در تیمار شاهد ۲ برابر تیمار دمایی ۸- درجه، ۵ برابر تیمار ۱۲- درجه و ۲۸ برابر تیمار دمایی ۱۲- درجه سانتی‌گراد بود. اثر متقابل رقم \times دما بر سطح برگ معنی‌دار بود ($P < 0.05$). در گیاهان زنده بیشترین سطح برگ در رقم Anza و در دمای صفر درجه به دست آمد و کمترین آن در رقم MV-17 در تیمار دمایی ۱۶- درجه سانتی‌گراد حاصل شد (جدول ۳).

عدد کلروفیل متر

اثر رقم بر عدد کلروفیل متر معنی‌دار بود ($P < 0.05$). رقم گلنسون بیشترین و رقم نیک‌نژاد کمترین عدد کلروفیل متر را دارا بودند (جدول ۱). اثر دما بر عدد کلروفیل متر معنی‌دار بود ($P < 0.05$). بیشترین عدد کلروفیل متر در تیمار شاهد (عدم یخ‌زدگی) و کمترین آن در تیمار ۲۰- درجه سانتی‌گراد به دست آمد. با کاهش دما عدد کلروفیل متر در تیمار دمایی ۸- درجه سانتی‌گراد ۴۵ درصد، در تیمار ۱۲- درجه سانتی‌گراد ۷۹ درصد و در تیمار ۱۶- درجه سانتی‌گراد ۹۵ درصد کمتر از شاهد بود (جدول ۲). به نظر می‌رسد که کاهش عدد کلروفیل متر به دنبال کاهش دماهای یخ‌زدگی به دلیل تأثیر منفی این تیمارهای دمایی بر توانایی رشد مجدد اندام‌های گیاهی از نواحی مریستمی طوقه بوده است. در این حالت کاهش دما نه تنها سطح برگ را کاهش داده (جدول ۲) بلکه به دلیل کاهش مقدار کلروفیل هر برگ، عدد کلروفیل متر نیز کاهش یافته است. اثر متقابل رقم \times دما بر عدد کلروفیل متر معنی‌دار بود ($P < 0.05$). در گیاهان زنده بیشترین میزان عدد کلروفیل متر در تیمار شاهد و در رقم بزوستایا و کمترین آن در تیمار دمایی ۱۲- درجه سانتی‌گراد و در رقم Anza به دست آمد (جدول ۳). شواهدی وجود دارد که نشان می‌دهد بین عدد کلروفیل متر و کلروفیل برگ همبستگی بالایی وجود دارد (۲۲). مودهان و همکاران (۲۵) بیان کردند که پایداری کلروفیل شاخصی از مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی است. پایداری کلروفیل موجب دریافت بهتر تشعشع توسط گیاه تحت شرایط تنش

وزن خشک و عدد کلروفیل متر در تمامی تیمارهای دمایی نسبت به شاهد کاهش نشان دادند، سطح برگ گیاه نیز از تیمار دمایی ۴- درجه سانتی‌گراد به پایین کاهش یافت. در این بررسی گلنسون با LT_{50} معادل ۱۵/۸- درجه سانتی‌گراد مقاوم‌ترین و مارون با LT_{50} معادل ۳/۷- درجه سانتی‌گراد حساس‌ترین رقم شناخته شدند. علاوه بر این به نظر می‌رسد با توجه به همبستگی مناسب DMT_{50} و عدد کلروفیل متر با LT_{50} از این صفات نیز بتوان در ارزیابی مقاومت به یخ‌زدگی ژنوتیپ‌های گندم استفاده کرد.

طوقه، وزن خشک اندام‌های هوایی گیاه، وزن خشک برگ و ارتفاع گیاه همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت. در این آزمایش بین گیاهان از نظر درصد بقاء سه هفته پس از اعمال تیمار یخ‌زدگی تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. رقم گلنسون با ۷۲/۲ درصد و رقم مارون با ۲۴/۴ درصد به ترتیب بیشترین و کمترین درصد بقاء را دارا بودند. همچنین مشخص شد که ارقام از لحاظ وزن خشک، LT_{50} ، DMT_{50} ، ارتفاع، سطح برگ و عدد کلروفیل متر سه هفته پس از بازیافت با یکدیگر اختلاف معنی‌داری داشتند.

منابع

- ۱- احمدی، ع. ب.، یزدی صمدی و ج. زرگرتاج. ۱۳۸۱. اثر دمای پایین بر جوانه زنی بذر و ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاهچه گندم. چکیده مقالات سومین همایش کاهش ضایعات ناشی از سرما و یخ‌زدگی گیاهان زراعی و باغی کشور. ص. ۷۷. معاونت زراعت سازمان حفظ نباتات.
- ۲- امیرقاسمی، ت. ۱۳۸۱. سرم‌زدگی گیاهان (یخ‌بندان، صدمات، پیشگیری). نشر آیندگان. ۱۲۳ ص.
- ۳- خدابنده، ن. ۱۳۷۹. زراعت غلات. انتشارات دانشگاه تهران. ۵۲۴ ص.
- ۴- کافی، م. ع.، گنجعلی، ا. نظامی و ف. شریعتمدار. ۱۳۷۹. آب و هوا و عملکرد گیاهان زراعی. (ترجمه). انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. ۳۱۱ ص.
- ۵- 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: ۱۷۷-۱۸۶.
- ۶- میرمحمدی میبدی، ع. م. ۱۳۷۹. جنبه‌های فیزیولوژی و بهنژادی تنش‌های سرما و یخ‌زدگی گیاهان زراعی. انتشارات گلبن، اصفهان. ۲۲۳ ص.
- ۷- نظامی، ا. ۱۳۸۱. ارزیابی تحمل به سرما در نخود (*Cicer arietinum* L.) به منظور کشت پاییزه آن در مناطق مرتفع. رساله دکتری رشته زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.
- 8-Antolin, M. C., J. Yoller and M. Sanchez-Diaz. 1995. Effects of temporary drought on nitrate-fed and nitrogen-fixing alfalfa plants. *Plant Sci.* 107: 159-165.
- 9-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 Sci.* 36:150-157.
- 10- Chen, T. H., L. V. Gusta and D. B. Fowler. 1983. Freezing injury and root development in winter cereals. *Plant Physiol.* 73: 773-777.
- 11- Fowler, D. B. and R. J. Carles. 1979. Growth, development, and cold tolerance of fall-acclimated cereal grains. *Crop Sci.* 19:915-922.
- 12- Fowler, D. B. and L. V. Gusta. 1977. Dehardening of winter wheat and rye under spring field conditions. *Can. J. Plant Sci.* 57: 1049-1054.
- 13- Fowler, D. B. and L. V. Gusta. 1979. Selection for winterhardiness in wheat. I. Identification of genotypic variability. *Crop Sci.* 19: 769-772.
- 14- Fowler, D. B., L. V. Gusta and N. J. Tyler. 1981. Selection for winter hardiness in wheat. III. Screening methods. *Crop Sci.* 21: 896-901.
- 15- Fowler, D. B., A. E. Limin, S. Y. Wang and R. W. Ward. 1996. Relationship between low-temperature tolerance and vernalization response in wheat and rye. *Can. J. Plant Sci.* 76:37-42.
- 16- Grafius, J. E. 1981. Breeding for winterhardiness. In: Olien, C. R. and M. N. Smith. (Eds.). *Analysis and Improvement of Plant Cold Hardiness*. CRC Press. Boca Raton, Florida. pp. 161-174.
- 17- Griffith, M. and C. H. McIntyre. 1993. The interrelationship of growth and frost tolerance in winter rye. *Physiol. Plant.* 87: 335-344.
- 18- Gullord, M., C. R. Olien and E. H. Everson. 1975. Evaluation of freezing hardiness in winter wheat. *Crop Sci.* 15: 153-157.

- 19- Gusta, L. V. and D. B. Fowler. 1977. Cold resistance and injury in winter cereals. In: Mussel, H. and R. C. Staples (Eds.). *Stress Physiology in Crop Plants*. John Wiley & Sons, New York. pp.159-178
- 20- Hekneby, M., M. C. Antolin and M. Sanchez-Díaz. 2006. Frost resistance and biochemical changes during cold acclimation in different annual legumes. *Environ. Exp. Bot.* 55: 305-314.
- 21- Levitt, J. 1980. Chilling injury and resistance. In: Kozlowsky, T. T. (Ed.). *Chilling, Freezing and High Temperature Stresses. Responses of Plants to Environmental Stresses*. Academic Press, New York. Vol. 1. pp. 23-64.
- 22- Ma, B. L., M. J. Morrison and H. D. Voldeng. 1995. Leaf greenness and photosynthetic rates in soybean. *Crop Sci.* 35: 1411-1414.
- 23- Mahfoozi, S., A. E. Limin, F. Ahakpaz and D. B. Fowler. 2006. Phenological development and expression of freezing resistance in spring and winter wheat under field conditions in north-west Iran. *Field Crops Res.* 97:182-187.
- 24- McIntyre, B. L., T. H. H. Chen and M. F. Mederick. 1988. Physiological traits associated with winter survival of winter wheats and winter triticales in Alberta. *Can. J. Plant Sci.* 68: 361-366.
- 25- Modhan, M. M., S. L. Narayanan and S. M. Ibrahim. 2000. Chlorophyll stability indexes (CSI): its impacts on salt tolerance in rice. *International Rice Res. Institute. Notes*: 25.2: 38-40.
- 26- Tyler, N. J., D. B. Fowler and L. V. Gusta. 1981. The effects of salt stress on the cold hardiness of winter wheat. *Can. J. Plant Sci.* 61: 543-548.

Archive of SID

Evaluation of cold tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars under controlled conditions

H. Azizi, A. Nezami, M. Nassiri Mahallati and H.R. Khazaie¹

Abstract

In order to determine freezing tolerance of 14 wheat cultivars including Anza, Bezostaja, Pishtaz, Tous, Zagros, Zarrin, Shahryar, Falat, Qods, Glenson, Maron, Navid, Niknejad and MV-17 that were grown on field, samples of each cultivar after hardening in the field were harvested in 4-6 leave stages and trimmed to 2cm above and below the crowns and put on the thermogradient freezer. After freezing in the range of 0 to -20 °C, samples were transferred to the greenhouse and planted in the pots. Survival percentage, height, leaf area, chlorophyll content, dry weight, LT₅₀ and DMT₅₀ were determined after 3 weeks. Survival percentage after freezing was different in cultivars (P<0.05). Glenson and Maron cultivars had the highest (72.2%) and the lowest (24.4%) survival, respectively. Cultivars were different in height, leaf area, chlorophyll content, dry weight, LT₅₀ and DMT₅₀. Glenson was the most cold tolerant cultivar (LT₅₀=-15.8 °C) and Maron was the most sensitive cultivar (LT₅₀=-3.7 °C). Conducting further experiments in controlled and field conditions and study of correlations, leads to more reliable results from controlled experiments.

Keywords: Cold acclimation, DMT₅₀, LT₅₀, survival, wheat

¹ Contribution from College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad.