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 کنترل‌شده، نمونه‌هایی از ۱۴ رقم آنزا، بزوستایا، پیشتاز، توس، زاگرس، زرین، شهریار، فلات، قدس، گلنسون، مارون، نوید، نیک‌نژاد وMV-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 کلروفیل‌متر، دمای کشنده ۵۰٪ نمونه‌های گیاهی(LT_{50}) و دمای کاهنده ۵۰٪ وزن خشک گیاه (DMT_{50}) اندازه گیری 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، LT_{50} ، DMT_{50}، ارتفاع، سطح برگ و عدد کلروفیل‌متر نیز ارقام با یکدیگر اختلاف معنی‌داری داشتند. گلنسون با LT_{50} معادل ۱۵/۸- درجه سانتی‌گراد مقاوم‌ترین و مارون با LT_{50} 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، LT_{50} ، DMT_{50}، گندم.

مقدمه

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 نتیجهٔ وقوع سرمای شدید در برخی سال‌ها بقاء و رشد و نمو این گیاه تحت تأثیر قرار گرفته و عملکرد آن کاهش می‌یابد (۴). گزارش‌ها 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

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»[1] 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[2] 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[3] 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 LT_{50} تعیین می‌گردد (۵، ۹ و ۱۹).

در بررسی تحمل به یخ زدگی طوقه و نیز بقاء زمستانه غلات در مزرعه، در شرق کانادا، مشاهده شد که بین FSI و LT_{50} همبستگی قوی وجود دارد. مقادیر LT_{50} 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 یخ زدگی شناخته شد به طوریکه بقاء گندم زمستانه نورستار[4] به طور متوسط ۱۹٪ بیش از ژنوتیپ فردریک[5] و ۲۳٪ بیش از ژنوتیپ پرلو[6] 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 LT_{50} دارد. LT_{50} حاصل از طوقه‌های گیاهان مزرعه همبستگی زیادی با LT_{50} حاصل از گیاهان کشت شده در گلدان‌های کوچک داشت (r=۰/۹۸). پایداری غشاء سیتوپلاسمی بیشترین همبستگی را با LT_{50} 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 LT_{50} معادل ۱۶/۷- درجه سانتی‌گراد مقاوم‌ترین ژنوتیپ و نمونه

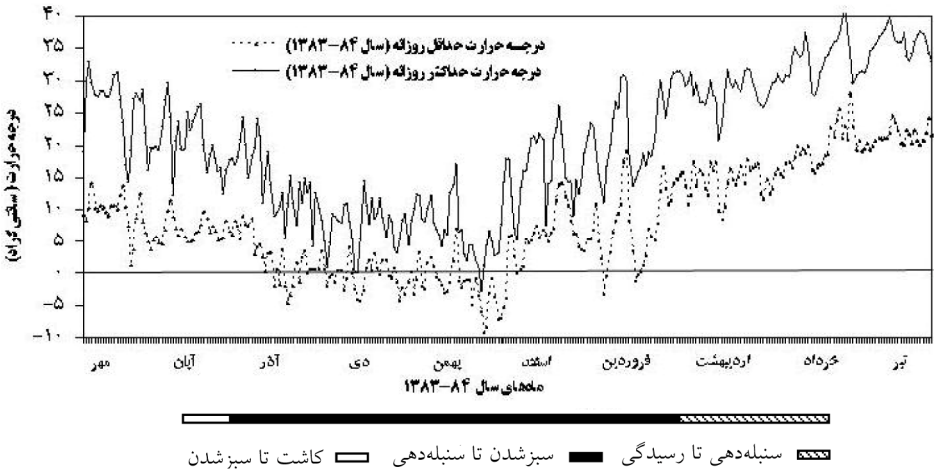
1- Field Survival Index (FSI)
2- Lethal temperature 50 (LT50)
3- Recovery
4- Norstar
5- Fredrick
6- Perlo

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 ـ وی ـ۱۷ (زمستانه)، پیشتاز، 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 یخ‌زدگی این ارقام در شرایط کنترل‌شده، ابتدا گیاهان در تاریخ ۸۳/۸/۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد کشت شدند. سپس گیاهچه‌های ۶-۴ برگی هر رقم پس از گذراندن دوره خوسرمایی 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 سانتی‌متری پایین و بالای طوقه، به فریزر ترموگرادیان[1] 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 INAB[2] 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



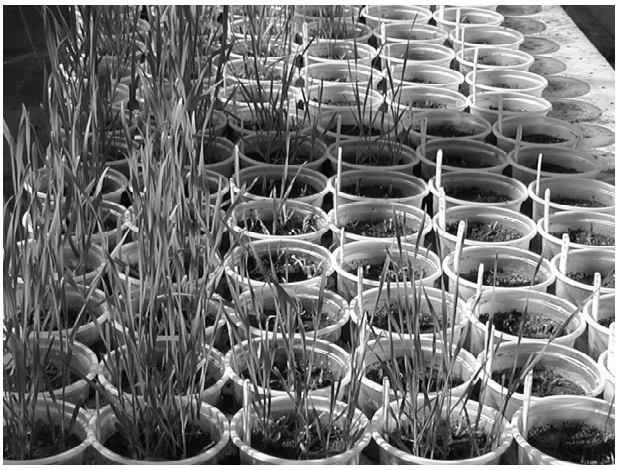
شکل۱: درجه حرارت حداقل و حداکثر روزانه در طی دوره رشد گندم در شرایط مشهد

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)

ساعت نگه داشته و سپس برداشت شده و به منظور جلوگیری از ذوب شدن سریع یخ نمونه‌های گیاهی به اتاقک سرد با دمای ۱ ± ۴ 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) ×۱۰۰] محاسبه شد. در این زمان طوقه‌های زنده تولید گیاه سالم کرده بودند درصورتیکه طوقه‌های خسارت دیده از تیمار یخ زدگی نتوانستند گیاهی تولید کنند (شکل۲). همزمان صفات دیگری نظیر ارتفاع ساقه از سطح خاک تا محل خروج آخرین برگ، سطح برگ توسط دستگاه اندازه گیری سطح برگ، عدد کلروفیل‌متر توسط دستگاه SPAD[1] در جوان‌ترین برگ کاملاً توسعه یافته و وزن خشک پس از ۴۸ ساعت قرار گرفتن نمونه‌ها در آون 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 (DMT_{50})[2] با استفاده از رسم نمودار درصد بقاء و وزن خشک نمونه‌ها در مقابل دماهای یخزدگی تعیین شد. محاسبات آماری و



شکل۲: بازیافت ژنوتیپ های گندم سه هفته پس از تیمار یخ زدگی در شرایط کنترل شده.

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

نتایج و بحث

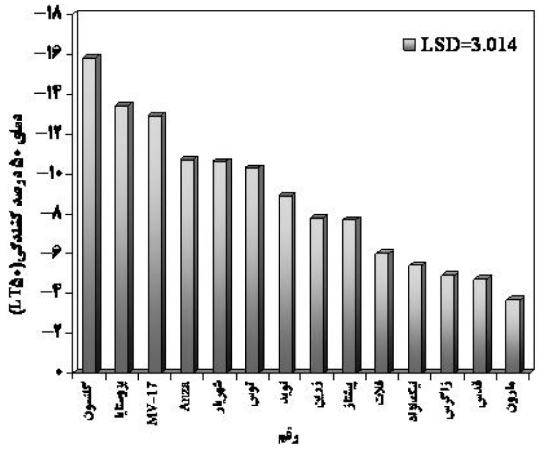
درصد بقاء و درجه حرارت کشنده برای ۵۰ درصد ارقام

ارقام گندم از نظر درصد بقاء سه هفته پس از اعمال تیمار یخزدگی تفاوت معنی‌داری 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 (جدول۱). اثر تیمارهای دمایی نیز بر درصد بقاء گیاهان معنی‌دار 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 معنی‌دار 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

1- SPAD, Minolta 502 2- Dry Matter Temperature 50

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

تیمار / رقم	درصد بقاء	DMT_{50} (°C)	وزن‌خشک (میلی‌گرم)	ارتفاع (سانتی‌متر)	سطح‌برگ (سانتی‌مترمربع)	عددکلروفیل متر
گلنسون	۷۲/۲	-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	۶۲/۲	-۱۴/۲	۷۷۳/۰	۴/۷	۸/۶	۲۵/۰
شهریار	۵۴/۴	-۷/۱	۴۰۱/۰	۳/۲	۴/۴	۱۸/۵
توس	۵۱/۱	-۸/۲	۳۷۳/۰	۳/۵	۵/۵	۱۶/۷
Anza	۵۱/۱	-۸/۸	۲۷۸/۰	۴/۲	۶/۶	۱۷/۹
نوید	۴۳/۳	-۹/۵	۴۳۷/۰	۴/۴	۵/۵	۱۷/۰
زرین	۳۸/۹	-۷/۷	۳۱۸/۰	۳/۴	۴/۸	۱۹/۰
پیشتاز	۳۷/۸	-۸/۰	۱۶۸/۰	۳/۲	۳/۷	۱۶/۳
زاگرس	۳۲/۲	-۵/۵	۱۶۵/۰	۳/۴	۴/۲	۱۴/۰
فلات	۳۲/۲	-۴/۳	۱۴۳/۰	۳/۱	۳/۴	۱۳/۲
نیک‌نژاد	۳۱/۱	-۴/۴	۱۳۰/۰	۲/۹	۳/۴	۱۰/۲
قدس	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



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

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

تیمار / دمای یخ‌زدگی	درصد بقاء	وزن‌خشک (میلی‌گرم)	ارتفاع‌گیاه (سانتی‌متر)	سطح‌برگ (سانتی‌مترمربع)	عددکلروفیل متر
صفر	۹۹/۵	۷۳۹	۸/۸	۱۱/۳	۳۷/۹
-۴	۹۱/۹	۶۲۰	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	۵/۲	۴۰	۰/۲	۰/۴	۱/۹
-۲۰	۰/۰	۰	۰/۰	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. درحالیکه 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 (شکل۳). 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°C مقاوم‌ترین رقم و نمونه محلی ۵۱۸ با LT_{50} = -۸/۲°C 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 آذر۲ 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 °C- در رقم گلنلیا تا ۲۰/۸ °C- در

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 ۱۵/۸ ^{o}C- برای ارقام مقاوم تا ۱۱/۶ ^{o}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 ۹/۱- تا ۷/۴- درجه سانتی‌گراد بود (۹). واکنش متفاوت ارقام گندم در مقابل تیمارهای یخ زدگی 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 یخ زدگی 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 یخزدگی) کاهش یافت و در دمای ۲۰- درجه به صفر رسید (جدول ۲). اثر متقابل رقم × 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 (جدول۳). وزن خشک گیاه در ارقام MV-17، گلنسون و بزوستایا در دمای ۱۶- درجه سانتی‌گراد به ترتیب ۱۷، ۱۳۳و ۴۱۷ میلی‌گرم بود درصورتی‌که 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. درصورتی 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. گریفیت 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 شبدر 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

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

تیمار		درصد بقاء	وزن‌خشک (میلی‌گرم)	ارتفاع (سانتیمتر)	سطح‌برگ (سانتیمترمربع)	عددکلروفیل متر
گلنسون	صفر	۱۰۰/۰	۱۰۲۱	۷/۲	۸/۹	۴۰/۷
	-۴	۱۰۰/۰	۹۲۹	۶/۷	۱۰/۵	۳۹/۱
	-۸	۱۰۰/۰	۷۶۰	۶/۲	۹	۳۷/۶
	-۱۲	۱۰۰/۰	۴۸۳	۵/۲	۶/۷	۳۳/۷
	-۱۶	۳۳/۳	۱۳۳	۱/۲	۱/۳	۶/۸
	-۲۰	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
MV-17	صفر	۱۰۰/۰	۹۶۴	۶/۰	۱۳/۱	۴۰/۷
	-۴	۱۰۰/۰	۷۳۱	۵/۷	۱۰/۴	۳۸/۵
	-۸	۱۰۰/۰	۴۶۳	۵/۳	۸/۴	۳۵/۲
	-۱۲	۸۰/۰	۲۴۴	۴/۳	۵/۳	۲۷/۲
	-۱۶	۶/۷	۱۷	۰/۳	۰/۲	۵/۰
	-۲۰	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
بزوستایا	صفر	۱۰۰/۰	۱۱۳۷	۷/۳	۱۲/۱	۴۱/۶
	-۴	۱۰۰/۰	۱۲۴۸	۷/۳	۱۴/۰	۳۷/۴
	-۸	۸۰/۰	۹۷۵	۶/۵	۹/۴	۳۳/۶
	-۱۲	۶۰/۰	۸۶۱	۵/۷	۱۲/۵	۲۳/۲
	-۱۶	۳۳/۳	۴۱۷	۱/۷	۳/۶	۱۴/۲
	-۲۰	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
شهریار	صفر	۱۰۰/۰	۱۰۱۸	۷/۰	۱۰/۶	۳۴/۴
	-۴	۱۰۰/۰	۷۳۶	۵/۵	۸/۴	۳۳/۱
	-۸	۸۶/۷	۴۲۶	۴/۸	۵/۳	۲۸/۵
	-۱۲	۴۰/۰	۲۲۶	۱/۸	۲/۴	۱۴/۷
	-۱۶	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
	-۲۰	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
توس	صفر	۱۰۰/۰	۹۴۱	۷/۲	۱۲/۱	۳۵/۵
	-۴	۱۰۰/۰	۶۶۷	۷/۲	۱۱/۵	۳۴/۰
	-۸	۸۶/۷	۵۵۱	۶/۰	۸/۳۸	۲۴/۰
	-۱۲	۲۰/۰	۷۹	۱/۰	۰/۹	۶/۶
	-۱۶	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
	-۲۰	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
Anza	صفر	۱۰۰/۰	۶۴۵	۱۰/۳	۱۴/۳	۳۹/۱
	-۴	۱۰۰/۰	۵۵۶	۹/۳	۱۳/۷	۳۴/۷
	-۸	۱۰۰/۰	۴۶۱	۵/۲	۱۰/۲	۳۱/۷
	-۱۲	۶/۷	۷	۰/۲	۱/۵	۱/۷
	-۱۶	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
	-۲۰	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
نوید	صفر	۱۰۰/۰	۹۳۳	۹/۳	۱۰/۷	۳۸/۱
	-۴	۱۰۰/۰	۸۳۰	۹/۲	۱۳/۵	۳۵/۵
	-۸	۴۶/۷	۷۵۷	۶/۳	۶/۶	۲۲/۵
	-۱۲	۱۳/۳	۱۰۲	۱/۵	۲/۵	۶/۱
	-۱۶	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
	-۲۰	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰

تیمار		درصد بقاء	وزن‌خشک (میلی‌گرم)	ارتفاع (سانتیمتر)	سطح‌برگ (سانتیمترمربع)	عددکلروفیلم تر
زرین	صفر	۱۰۰/۰	۸۴۱	۸/۲	۱۰/۲	۴۰/۵
	-۴	۱۰۰/۰	۶۳۳	۷/۲	۱۳/۲	۳۸/۲
	-۸	۳۳/۳	۴۳۵	۵/۳	۵/۳	۳۴/۸
	-۱۲	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
	-۱۶	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
	-۲۰	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
پیشتاز	صفر	۱۰۰/۰	۴۲۸	۱۱/۳	۱۰/۴	۴۱/۴
	-۴	۱۰۰/۰	۳۵۷	۵/۰	۸/۶	۳۱/۰
	-۸	۲۶/۷	۲۲۵	۲/۷	۳/۵	۲۵/۲
	-۱۲	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
	-۱۶	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
	-۲۰	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
زاگرس	صفر	۱۰۰/۰	۴۸۱	۱۰/۳	۱۳/۰	۳۷/۹
	-۴	۸۶/۷	۴۳۴	۹/۵	۱۱/۷	۳۵/۱
	-۸	۶/۷	۷۳	۵/۰	۰/۷	۱۰/۸
	-۱۲	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
	-۱۶	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
	-۲۰	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
فلات	صفر	۱۰۰/۰	۴۸۰	۹/۸	۹/۹	۴۱/۴
	-۴	۹۳/۳	۳۷۶	۸/۸	۱۰/۷	۳۷/۷
	-۸	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
	-۱۲	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
	-۱۶	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
	-۲۰	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
نیک‌نژاد	صفر	۱۰۰/۰	۴۲۸	۹/۰	۱۰/۴	۳۲/۵
	-۴	۸۶/۷	۳۵۰	۸/۳	۱۰/۳	۲۸/۹
	-۸	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
	-۱۲	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
	-۱۶	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
	-۲۰	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
قدس	صفر	۱۰۰/۰	۶۷۲	۹/۸	۱۰/۹	۳۲/۹
	-۴	۶۶/۷	۵۱۶	۹/۵	۸/۵	۲۷/۸
	-۸	۶/۷	۰	۱/۰	۱/۴	۶/۸
	-۱۲	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
	-۱۶	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
	-۲۰	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
مارون	صفر	۹۳/۳	۳۵۱	۱۰/۸	۱۱/۱	۳۴/۶
	-۴	۵۳/۳	۳۱۹	۹/۳	۸/۱	۳۲/۶
	-۸	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
	-۱۲	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
	-۱۶	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
	-۲۰	۰/۰	۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
LSD(0.05)		۲۰/۵	۸۸	۱/۱	۴/۲	۶/۱

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=۰/۸۵). در بررسی نظامی (۷) بر روی تحمل به سرمای نخود 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 معنی داری 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 خوسرمایی ۴۵ درصد آن نسبت به تیمار عدم یخزدگی (صفر درجه سانتی‌گراد) بود، درصورتی‌که در شرایط عدم خوسرمایی این مقدار به ۲۰ درصد کاهش یافت (۷). اثر متقابل رقم × 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
۱- LT_{50}	۱					
۲- DMT_{50}	۰/۸۵***	۱				
۳- عددکلروفیل‌متر	-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

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 × 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 کلروفیل‌متر

اثر رقم بر عدد کلروفیل‌متر معنی‌دار بود ($P<0.05$). رقم گلنسون بیشترین و رقم نیک‌نژاد کمترین عدد کلروفیل‌متر را دارا بودند (جدول ۱). اثر دما بر عدد کلروفیل‌متر معنی‌دار بود ($P<0.05$). بیشترین عدد کلروفیل‌متر در تیمار شاهد (عدم یخ‌زدگی) و کمترین آن در تیمار ۲۰- درجه سانتی‌گراد به دست آمد. با کاهش دما عدد کلروفیل‌متر 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 کلروفیل‌متر به دنبال کاهش دماهای یخ زدگی 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 × دما بر عدد کلروفیل‌متر معنی‌دار بود ($P<0.05$). در گیاهان زنده بیشترین میزان عدد کلروفیل‌متر 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 کلروفیل‌متر 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 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= -۰/۹۴) و ارتفاع بوته کمترین همبستگی (r= -۰/۶۸) را با LT_{50} نشان دادند (جدول ۴). وزن خشک نیز همبستگی بالایی با LT50 داشت (r=-۰/۸۵). همبستگی سطح برگ با LT50 نیز معنی‌دار (۰/۸۲-) 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

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 کلروفیل‌متر سه هفته پس از بازیافت با یکدیگر اختلاف معنی‌داری داشتند.

وزن خشک و عدد کلروفیل‌متر 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 LT50 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 یخ زدگی ژنوتیپ‌های گندم استفاده کرد.

منابع

۱- احمدی، ع.، ب. یزدی صمدی و ج. زرگرنتاج. 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. سرمازدگی 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: ۱۸۶-۱۷۷.

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. رسالهٔ 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-Diaz. 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.

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

H. Azizi, A. Nezami, M. Nassiri Mahallati and H.R. Khazaie[1]

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 ^{o}C, samples were transferred to the greenhouse and planted in the pots. Survival percentage, height, leaf area, chlorophyll content, dry weight, LT_{50} and DMT_{50} 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, LT_{50} and DMT_{50}. Glenson was the most cold tolerant cultivar (LT_{50}=-15.8 ^{o}C) and Maron was the most sensitive cultivar (LT_{50}=-3.7 ^{o}C). Conducting further experiments in controlled and field conditions and study of correlations, leads to more reliable results from controlled experiments.

Keywords: Cold acclimation, DMT_{50}, LT_{50}, survival, wheat

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