مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی
جلد دوم، شماره چهارم، زمستان ۸۸
۹۳-۱۱۲
www.ejcp.info

پاسخ فیزیولوژیکی ژنوتیپ‌های مختلف گندم دیم به تنش سرما

*عادل سی‌وسه‌مرده[۱]، خسرو محمدی[۲]، ابراهیم روحی[۳]، مجید آقاعلیخانی[۴] و علی مختصی‌بیدگلی[۵]

[۱]استادیار گروه زراعت، دانشگاه کردستان، [۲]عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی، سنندج، [۳]عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان، [۴]استادیار گروه زراعت، دانشگاه تربیت مدرس، [۵]دانشجوی دکتری گروه زراعت، دانشگاه تربیت مدرس

چکیده

به‌منظور ارزیابی پاسخ فیزیولوژیکی ژنوتیپ‌های مختلف گندم دیم به تنش سرما آزمایشی در سال زراعی ۸۷-۱۳۸۶ طی دو فاز مزرعه‌ای و آزمایشگاهی در ایستگاه تحقیقات دیم قاملو در استان کردستان و آزمایشگاه فیزیولوژی دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان انجام شد. آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده (اسپلیت پلات) در قالب بلوک‌های کامل تصادفی، در ۳ تکرار انجام گرفت. در بررسی آزمایشگاهی تنش سرمایی شامل کاشت در دماهای ۲۰ (شاهد)، ۱۰ و ۵ درجه سانتی‌گراد به‌عنوان سطوح عامل اصلی و ۱۲ ژنوتیپ مختلف گندم دیم (*Triticum aestivum* L.) نیز به‌عنوان سطوح عامل فرعی در نظر گرفته شد. در فاز مزرعه‌ای نیز سه تاریخ کاشت ۱۰ مهر، ۲۵ مهر و ۱۵ آبان که برای اعمال دماهایی حدوداً معادل دماهای فوق‌الذکر انتخاب شدند به‌عنوان سطوح عامل اصلی تعیین گردید. نتایج آزمایش نشان داد که تنش سرما و ژنوتیپ تأثیر معنی‌داری بر محتوی کلروفیل و قند برگ، اسیدهای چرب، پلی‌آمین‌ها و آب برگ هم در شرایط مزرعه‌ای و هم در آزمایشگاه دارند. بین ژنوتیپ‌های مختلف تفاوت معنی‌داری از نظر پروتئین، اسپرمین و اسید اولئیک مشاهده نگردید. تنش سرما و ژنوتیپ تأثیر معنی‌داری بر مقاومت به سرما (LT_{50}) و نشت الکترولیت‌ها داشتند. از بین ژنوتیپ‌ها، آگوستا دارای بیشترین مقاومت به سرما (LT_{50}) و کمترین درصد نشت الکترولیت‌ها بود.

*- مسئول مکاتبه: a33@uok.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

ژنوتیپ‌های سرداری و آگوستا با دارا بودن بیشترین کلروفیل a، کلروفیل b، قندهای محلول، پروتئین برگ، پلی‌آمین‌هایی نظیر پوترسین، اسپرمین، اسپرمیدین و اسیدهای چرب اسید لینولنیک و اسید اولئیک دارای بیشترین عملکرد دانه (۱۱۷۸ تا ۱۲۱۰ کیلوگرم در هکتار) بودند.

واژه‌های کلیدی: گندم دیم، ژنوتیپ، تنش سرما، مقاومت

مقدمه

بخش قابل‌توجهی از سطح زیر کشت گندم دیم کشور در مناطق سردسیر و مرتفع کوهستانی واقع شده است. در استان کردستان نیز بخش وسیعی از زراعت گندم به‌صورت دیم می‌باشد که با توجه به کوهستانی بودن منطقه و داشتن زمستان‌های سرد بررسی مقاومت به سرما در ژنوتیپ‌های مختلف گندم دیم قابل‌توجه و درخور اهمیت می‌باشد، زیرا خسارت سرما و یخزدگی می‌تواند منجر به کاهش قابل‌توجه عملکرد گندم در این منطقه گردد. در تنش سرما انرژی متابولیکی کمتری در دسترس گیاه زراعی قرار می‌گیرد، جذب آب و عناصر غذایی محدود می‌شود، آسیمیلاسیون کاهش یافته و رشد متوقف می‌گردد. بر این اساس علت عدم موفقیت‌های مکرر در ایجاد پوشش سبز و یکنواخت در برخی کشت‌های پاییزه به صدمات فیزیولوژیک ناشی از تنش سرما نسبت داده شده است (میرمحمدی، ۱۳۸۳). زیرا به‌طورکلی دمای پایین در مرحله جوانه‌زنی موجب عدم استقرار مناسب گیاه می‌گردد و ضعف گیاهچه در این مرحله دستیابی به عملکرد مطلوب را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد (ویتامواس و پراسیل، ۲۰۰۸؛ یین و همکاران، ۲۰۰۹).

اعمال تیمار سرما در گندم منجر به بروز واکنش‌های فیزیولوژیک از جمله افزایش قندهای محلول، اسیدهای آمینه و پروتئین‌های محلول در ارقام مقاوم به سرما می‌گردد. این مواد محلول در ایجاد مقاومت به سرما در گیاه نقش کلیدی ایفا می‌کنند (ویتامواس و همکاران، ۲۰۰۷؛ کرپسی و همکاران، ۲۰۰٤؛ گریفت و یایش، ۲۰۰٤). افزایش میزان اسیدهای چرب غیراشباع در غشاء نیز می‌تواند موجب پایین آمدن دمای تغییر حالت غشاء شده و مقاومت گیاه به تنش سرما را افزایش دهد (ژالای و همکاران، ۲۰۰۱؛ جاندا و همکاران، ۲۰۰۷؛ بوهن و همکاران، ۲۰۰۷). فلوئورسانس فتوسیستم II و نسبت Fv/Fm که ماکزیمم عملکرد کوانتومی واکنش فتوشیمیایی فتوسیستم II را نشان می‌دهد می‌تواند به‌عنوان یک معیار مهم در تعیین شدت تنش سرما به‌کار رود (باکر و روسن کوئیست، ۲۰۰٤).

Archive of SID

www.SID.ir

در دماهای پایین، از متابولیسم برگ به شدت ممانعت به عمل می‌آید و خسارت نوری به فتوسیستم II زیاد است و اندازه‌گیری Fv/Fm می‌تواند به‌عنوان یک روش موفقیت‌آمیز در شناسایی تفاوت در تحمل به سرما به‌کار گرفته شود (بیندر و فیلدر، ۱۹۹۶). قدرت زنده ماندن ژنوتیپ‌ها در هنگام مواجه شدن با تنش سرما در مزرعه نقش تعیین‌کننده‌ای در انتخاب ارقام مقاوم به سرما دارد. این صفت به‌طور عمده توسط LT_{50}[1] یعنی دمایی که در آن ۵۰ درصد بوته‌ها بر اثر تنش سرما در آن دما از بین می‌روند اندازه‌گیری می‌گردد. در گندم بین میزان آب موجود در بافت‌های گیاهی و LT_{50} همبستگی بالایی گزارش شده است (فاولر و همکاران، ۱۹۸۱). یکی دیگر از عکس‌العمل‌های فیزیولوژیک ارقام مقاوم به سرما افزایش پلی‌آمین‌هایی نظیر پوتریسین[2]، اسپرمیدین[3] و اسپرمین[4] می‌باشد (نادوا و همکاران، ۱۹۸۷؛ شن و همکاران، ۲۰۰۰). این پلی‌آمین‌ها از ترکیبات ضروری گیاه محسوب می‌گردد که در سنتز پروتئین‌ها، DNA، RNA و پایداری غشاء سلولی نقش عمده‌ای دارند و منجر به مقاومت گیاه در برابر تنش‌های محیطی مانند تنش سرما می‌گردند (نادوا و همکاران، ۱۹۸۷).

در این آزمایش نیز صفات متعدد فیزیولوژیک مرتبط با مقاومت به سرما در ژنوتیپ‌های مختلف گندم دیم ارزیابی گردید. با توجه به اقلیم سرد استان کردستان تعیین ژنوتیپ‌های متحمل به سرما و شناخت مکانیسم‌های مقاومت آنها می‌تواند تضمین‌کننده موفقیت زراعت گندم دیم و کاهش خسارت سرمازدگی محسوب گردد.

مواد و روش‌ها

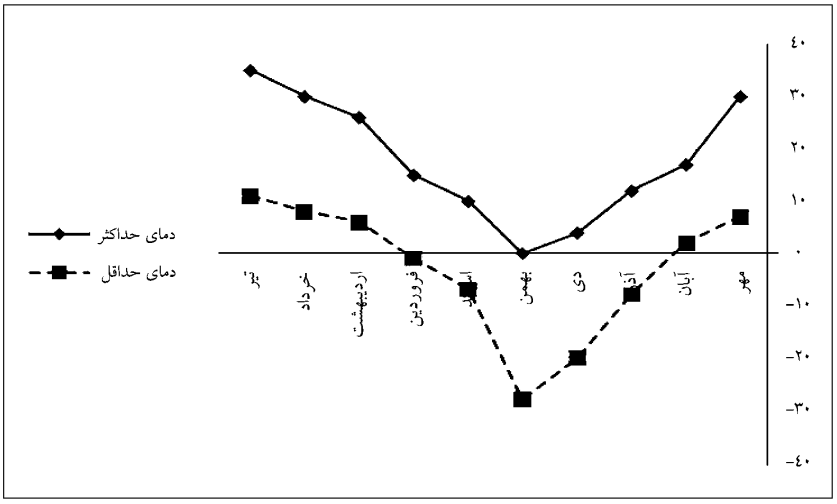
این تحقیق در سال زراعی ۸۷-۱۳۸۶ به‌صورت دو فاز مزرعه‌ای و آزمایشگاهی در مزرعه تحقیقاتی ایستگاه تحقیقات دیم قاملو در استان کردستان واقع در مختصات جغرافیایی ۳۰ درجه و ۴۷ دقیقه طول شرقی و ۱۱ درجه و ۳۵ دقیقه عرض شمالی با ارتفاع ۱۸۰۰ متری از سطح دریا و آزمایشگاه فیزیولوژی دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان انجام شد. آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده (اسپلیت پلات) در قالب بلوک‌های کامل تصادفی، در سه تکرار انجام گرفت. در بررسی آزمایشگاهی تنش سرمایی شامل کاشت در دماهای ۲۰ (شاهد)، ۱۰ و ۵ درجه سانتی‌گراد به‌عنوان

1- Lethal Temperature 50
2- 1,4-Diaminobutane
3- N-(3-Aminopropyl)-1,4-Diaminobutane
4- N,N0-Bis (3-Aminopropyl)-1,4-Diaminobutane

Archive of SID

www.SID.ir

سطوح عامل اصلی و ۱۲ ژنوتیپ مختلف گندم دیم (جدول ۱) نیز به‌عنوان سطوح عامل فرعی در نظر گرفته شد. ژنوتیپ‌های یاد شده همگی دارای منشاء ایرانی بودند. برای ایجاد تنش سرمایی در مزرعه عملیات کاشت در سه تاریخ کاشت ۱۰ مهر، ۲۵ مهر و ۱۵ آبان که طبق آمار ۳۰ ساله ایستگاه هواشناسی و میانگین دمای روزانه سال اجرای آزمایش دارای دمایی در حد سطوح دمایی مورد بررسی بودند، انجام گرفت. نمودار دمای حداقل و حداکثر منطقه در شکل ۱ مشاهده می‌گردد. به‌رغم دیم بودن آزمایش، در روز کاشت عمل آبیاری در هر تاریخ کاشت صورت گرفت تا جوانه‌زنی بذر از همان روز تاریخ کاشت آغاز گردد. اعمال تنش سرما در فاز آزمایشگاهی توسط اتاقک رشد[1] و با تنظیم دمای مورد نظر صورت گرفت. برای انطباق بیشتر شرایط مزرعه‌ای و آزمایشگاهی و کاهش تدریجی دما، در آزمایشگاه دمای اتاقک رشد که بوته‌ها در آن رشد یافته بودند هر ٤ روز یک درجه کاهش داده شد. این عمل تا مرحله ٤ برگی رشد بوته‌ها ادامه یافت. بدین ترتیب بوته‌ها هم در مزرعه هم در آزمایشگاه تا مرحله ٤ برگی دارای شرایط تقریباً یکسانی از نظر دمایی بودند. ژنوتیپ‌های مختلف در مزرعه در تاریخ کاشت‌های مربوطه با تراکم ۳۵۰ بوته در مترمربع کشت شدند.



شکل ۱- نمودار دمای حداقل و حداکثر (سانتی‌گراد) در ایستگاه تحقیقات دیم قاملو در سال زراعی ۸۷-۱۳۸٦.

1- Sanyo MLR-350 h, Sanyo, Japan

www.SID.ir

در فاز آزمایشگاهی نیز ۵ بذر از هر ژنوتیپ در گلدان‌هایی به قطر ۱۲ و عمق ۱۵ سانتی‌متر در اتاقک رشد کشت شد و شرایط نوری شامل ۳۲۰ میکرو مول در متر مربع بر ثانیه و ۱٦ ساعت روشنایی فراهم گردید (احمدی و همکاران، ۲۰۰۵). بدین منظور ابتدا بذور هر ژنوتیپ گندم جداگانه، ۲٤ ساعت در آب معمولی و در دمای اتاق خیسانده شد و تعداد ۱۰ عدد بذر در گلدان‌های آماده شده در عمق ۳ سانتی‌متری از سطح خاک کشت گردید. پس از جوانه‌زنی در هر گلدان گیاهچه‌ها تنک گردیدند و ۵ بوته در هر گلدان باقی ماند. این بوته‌ها تا مرحله ٤ برگی رشد داده شدند، اما در مزرعه رشد بوته‌ها تا مرحله برداشت نهایی ادامه یافت.

در فاز آزمایشگاهی در مرحله ٤ برگی ترکیب اسیدهای چرب غشای سلولی برگ شامل اسید اولئیک، پالمتیک، لینولنیک و اسید لینولئیک به روش ژالای و همکاران (۲۰۰۱) و توسط دستگاه گاز کروماتوگرافی (GC[1]) مدل (Hewlett-Packard 5890) اندازه‌گیری شد. پروتئین موجود در برگ به روش کجلدال تعیین گردید. فلوئورسانس کلروفیل برگ‌ها شامل پارامترهای پنج‌گانه F_v ،F_v/F_m، F_m ،F_o و $t_{1/2}$ توسط دستگاه مدل PSM Biomonitor (S.C.I. AB, Umea, Sweden) اندازه‌گیری شد. این دستگاه فلوئورسانس کلروفیل a در برگ‌ها را در طول موج ٦۹۵ nm و شدت نور ٦۰۰ میکرو مول در متر مربع بر ثانیه تعیین می‌کند. برای تعیین محتوی کلروفیل برگ، در مرحله ٤ برگی، برگ‌های دوم و سوم از هر گلدان جدا گردید پس از عصاره‌گیری میزان کلروفیل a و b به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتری در دو طول موج ٦٤۵ و ٦۳۳ نانومتر قرائت و میزان کلروفیل بر حسب میلی‌گرم در گرم وزن تر محاسبه گردید (کارلا، ۱۹۹۸). برای اندازه‌گیری هدایت الکترولیت‌ها از روش نشت الکترولیتی[2] با دستگاه هدایت‌سنج متروم[3] استفاده گردید. هدایت الکترولیتی در ۱، ٤، ۸ و ۱۲ ساعت پس از تهیه نمونه اندازه‌گیری شد (C_s)، پس از آخرین قرائت هدایت الکترولیتی نمونه‌ها ۰/۵ ساعت در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و پس از سرد شدن هدایت الکترولیتی آنها (C_t) اندازه‌گیری شد و از طریق رابطه زیر درصد نشت الکترولیت تعیین گردید.

$$EL = \frac{C_s}{C_t} \times ۱۰۰$$

1- Gas Chromatograph
2- Electrolyte Leakage
3- Metrohm

Archive of SID

www.SID.ir

میزان قندهای محلول با روش فنل اسید سولفوریک (هودج و هوفریتر، ۱۹۷٤) و با دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. برای به‌دست آوردن محتوی نسبی آب برگ از روش آیریگوون و همکاران (۱۹۹۲) استفاده شد. پلی‌آمین‌های پوتریسین، اسپرمیدین و اسپرمین نیز به روش فلور و گالستون (۱۹۸۲) و توسط دستگاه HPLC[1] اندازه‌گیری شد.

تعیین LT_{50} براساس روش پیشنهادی فولر و همکاران (۱۹۸۱) انجام شد. در مرحله ٤ برگی گلدان‌ها به اتاقک انجماد (Kotterman آلمانی) منتقل شدند و هر ۱ ساعت دمای محیط ۲ درجه سانتی‌گراد کاهش داده شد تا در نهایت دما به ۲۰- درجه سانتی‌گراد برسد. در هر ساعت ۲ گلدان از هر ژنوتیپ از اتاقک خارج گردید.

جدول ۱- ژنوتیپ‌های گندم دیم مورد استفاده در آزمایش.

شماره	نام ژنوتیپ
۱	Sardari-hr86
۲	Sardari-hr20
۳	Ogosta/sefid
٤	Turkey 13//f9.10/maya
٥	14 Gene bank
٦	914 Gene bank
۷	812 Gene bank
۸	Azar2
۹	Sabalan/1-27-56/4
۱۰	Roshan/3/F 12.71/Coc
۱۱	Unknown cultivar
۱۲	Sbn/1-64-199

1- High Performance Liquid Chromatography

Archive of SID

www.SID.ir

پس از آنکه ۱۲ ساعت در دمای ۳ تا ٤ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند، طوقه آنها در کاغذ صافی پیچیده شد و در ظروفی محتوی محلول هوگلند قرار گرفت، پس از یک هفته طوقه‌ها ارزیابی شدند و طوقه‌های زنده مانده شمارش گردید و با رسم نمودار LT_{50} برای هر ژنوتیپ تعیین گردید. در فاز مزرعه‌ای نیز محتوی کلروفیل، آب، قندهای محلول و فلورسانس کلروفیل برگ‌ها در مرحله ٤ برگی براساس روش‌های ذکر شده مجدداً اندازه‌گیری شد. پایان فصل زراعی در مرحله رسیدگی عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها اندازه‌گیری شد. داده‌های حاصل از نمونه‌برداری‌ها برای سهولت در محاسبات ریاضی در صفحات برنامه Excel ثبت شدند. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از برنامه آماری SAS استفاده شد. مقایسه میانگین‌های صفات به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام گرفت.

نتایج و بحث

بخش آزمایشگاهی: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که اثر دما، ژنوتیپ و برهم‌کنش آن دو بر بازده کوانتومی فتوسیستم II معنی‌دار می‌باشد. در مقایسه میانگین‌ها مشخص شد که بیشترین بازده کوانتومی در ژنوتیپ‌های گندم دیم در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد ایجاد می‌گردد (جدول ۳). به‌طورکلی کاهش دما منجر به کاهش کارایی فتوسیستم II در گندم گردید. در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی ژنوتیپ شماره ۸ (آذر ۲) بیشترین و ژنوتیپ‌های شماره ۹ و ۱۰ کمترین بازده کوانتومی فتوسیستم را نشان دادند (جدول ٤). لانگ و همکاران (۱۹۸۷) نیز بین ژنوتیپ‌های مختلف گندم از لحاظ بازده کوانتومی فتوسیستم در واکنش به تنش سرما تفاوت آماری معنی‌داری یافتند. تأثیر سوء دمای پایین بر فتوسیستم II و انتقال الکترون در فتوسنتز را می‌توان به از بین رفتن استحکام غشای تیلاکوئید و در نتیجه نشت الکترولیت‌ها از غشاء که با نسبت Fv/Fm همبستگی زیادی دارد نسبت داد (زبید و همکاران، ۲۰۰۵). از این رو پارامتر Fv/Fm را می‌توان به‌عنوان یک شاخص مهم برای تعیین خسارت سرما به گیاهان مورد توجه قرار داد. در بررسی اثرات متقابل (داده‌ها نشان داده نشده) مشاهده شد که بیشترین راندمان کوانتومی (۰/۸۱) هنگامی به‌دست آمد که ژنوتیپ آذر ۲ در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد کشت گردید.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲- تجزیه واریانس میانگین مربعات صفات مورد بررسی برگ گندم تحت‌تأثیر دما و ژنوتیپ.

منابع تغییر (S.O.V)	درجه آزادی	Fv/Fm	کلروفیل a	کلروفیل b	قندهای محلول	پروتئین برگ	پوتریسین	اسپرمین	اسپرمیدین
بلوک (R)	۲	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰٤	۰/۰۰۰۲	۱۲٤۵	۱۷۵/۲	۲۲٤۵	۱۹۵/٤	۷۵۰
دما (T)	۲	۰/۹۰۹**	۰/۰۵۷**	۰/۰۰۱۷	۳۲۱٤۵**	۱۰۷۸/۲**	۱۸۹٤۵**	۳۳۵۲*	٤۱۱۰۸**
خطای a (R.T)	٤	۰/۰۰۰۰۸	۰/۰۱٤	۰/۰۰٤	۲۱٤٤	۱۰۹	۳۱۲۵	۵۱۲	۳۲۵
ژنوتیپ (G)	۱۱	۰/۰۱۷**	۰/٤۳**	۰/۱۹**	۲۰۸۵۰**	۸۵/۲	۲۱۲۵۸**	۱۰۷	۲۱۱۰۹**
اثر متقابل (G.T)	۲۲	۰/۰۰۱**	۰/۰۷۷**	۰/۰۰۳	٤۲۵۰	۵۱۹/٦**	۱۰۷	٦٤	۵۹۳
خطای آزمایشی (E)	٦٦	/۰۰۰۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۲	۳٤٤۲	٦۸/۷	۳۱۵	۸۲/۸	۱٤۱٦

** و *به‌ترتیب نشانه معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد می‌باشد.

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های صفات مورد بررسی برگ گندم تحت‌تأثیر دما.

دما	Fv/Fm	کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم)	کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم)	قند محلول (میلی‌گرم بر گرم)	پروتئین برگ (درصد)	پوتریسین (نانومول بر گرم)	اسپرمین (نانومول بر گرم)	اسپرمیدین (نانومول بر گرم)
۵ درجه سانتی‌گراد	۰/٤۷۷^{c}	۲/۱٦^{a}	۰/۷۵^{a}	۱۳۲/۲^{a}	۷/۵۸^{a}	۱۲۵^{a}	۲۳^{b}	۱٤۱^{a}
۱۰ درجه سانتی‌گراد	۰/۵۵۳^{b}	۲/۱۵^{a}	۰/٦۹^{a}	۱۱۰^{b}	٦/٤۲^{b}	۸۷^{b}	۲٦^{b}	۸۱^{b}
۲۰ درجه سانتی‌گراد	۰/۷۸۲^{a}	۲/۰۹^{b}	۰/۷۲^{a}	۹٦/۹^{c}	۵/۱^{c}	۲۱^{c}	۲۷^{a}	٦۷^{b}

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ٤- مقایسه میانگین‌های صفات مورد بررسی برگ گندم در ژنوتیپ‌های مختلف.

نام ژنوتیپ	شماره	Fv/Fm	کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم)	کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم)	قند محلول (میلی‌گرم بر گرم)	پروتئین برگ (درصد)	پوتریسین (نانومول بر گرم)	اسپرمین (نانومول بر گرم)	اسپرمیدین (نانومول بر گرم)
Sardari-hr86	١	٠/٦٤^{b}	٢/٣٨^{a}	٠/٩٥^{a}	١٥٧^{b}	٧/٦^{a}	١٠١^{a}	٢٥/٢^{a}	٧٨^{b}
Sardari-hr20	٢	٠/٦٥^{b}	٢/٤١^{a}	٠/٩٣^{a}	١٤٩^{b}	٧/١^{a}	٧٩^{b}	٢٥/١^{a}	١١٠^{a}
Ogosta/ sefid	٣	٠/٥٩^{c}	٢/٣٦^{a}	٠/٩٢^{a}	١٧٢^{a}	٧/٧^{a}	١٠٢^{a}	٢٤^{a}	١١٦^{a}
Turkey 13//f9.10	٤	٠/٦٠^{c}	٢/١٦^{c}	٠/٨٩^{a}	١٢١^{c}	٧/٦^{a}	٨٧^{ab}	٢٣^{a}	٨٧^{ab}
14 Gene bank	٥	٠/٦٥^{b}	٢/٨٦^{a}	٠/٧٨^{b}	١٦٨^{a}	٧/٢^{a}	٧٥^{b}	٢٥^{a}	٨٨^{ab}
914 Gene bank	٦	٠/٥٥^{de}	١/٩١^{e}	٠/٥٨^{c}	٦٢^{d}	٧/١^{a}	٣٩^{c}	٢٥^{a}	٥١^{c}
812 Gene bank	٧	٠/٦١^{c}	٢/٠٨^{d}	٠/٥٨^{e}	١٢٩^{e}	٦/٦^{a}	١٩^{e}	٢٤/٢^{a}	٥٩^{c}
Azar2	٨	٠/٦٧^{a}	٢/٣٤^{ab}	/٩٠^{a}	١٦٨^{a}	٧^{a}	٥٥^{bc}	٢٤^{a}	٧٥^{b}
Sabalan/1-27-56/4	٩	٠/٥٤^{e}	١/٨٤^{e}	٠/٦٢^{c}	٦٥^{d}	٦/٥^{a}	٤٥^{c}	٢٥/١^{a}	٦٥^{c}
Roshan/3/F 12.71/Coc	١٠	٠/٥٤^{e}	١/٨٥^{e}	٠/٥٧^{c}	٦٢^{d}	٦/٥^{a}	٢٦^{c}	٢٤/٤^{a}	٤٣^{c}
Unknown cultivar	١١	٠/٦٠^{c}	٢/٠٧^{d}	٠/٦٢^{c}	١٣١^{c}	٧^{a}	٣٦^{c}	٢٥/٢^{a}	٥٦^{c}
Sbn/1-64-199	١٢	٠/٥٦^{d}	١/٨٨^{e}	٠/٥٢^{c}	٦٩^{d}	٧/٣^{a}	٧٩^{b}	٢٤^{a}	٦٠^{c}

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ٥ درصد می‌باشد.

براساس تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ٢) دماهای مختلف تأثیر معنی‌داری بر محتوی کلروفیل a داشتند ولی تأثیر آن بر کلروفیل b از نظر آماری معنی‌دار نبود. همچنین در دماهای مختلف بین ژنوتیپ‌های مختلف نیز از نظر محتوی کلروفیل a و b تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده شد. اثر متقابل بین دما و ژنوتیپ نیز تأثیر معنی‌داری بر محتوی کلروفیل a بر جای گذاشت. در مقایسه میانگین‌ها مشخص شد که بیشترین محتوی کلروفیل a و b در تیمارهایی که در معرض تنش سرما قرار داشتند ایجاد گردید (جدول ٣). با افزایش مدت زمان سرمادهی و کاهش بیشتر محتوی آب نسبی سلول‌های برگ غلظت کلروفیل در سلول‌های برگ به‌تدریج افزایش می‌یابد. این روند می‌تواند ناشی از کند شدن رشد گیاهچه در سرما و کاهش تقسیم سلول باشد که باعث افزایش میزان کلروفیل در

Archive of SID

www.SID.ir

واحد سطح می‌گردد (چن و همکاران، ۲۰۰٦). احمدی و همکاران (۲۰۰۵) نیز در آزمایش خود نشان دادند که کاهش دما منجر به افزایش میزان کلروفیل در برگ می‌گردد. حفظ و افزایش رنگ‌دانه‌های فتوسنتز کننده به‌عنوان یک راهبرد تطبیقی برای بهره‌گیری بیشتر گیاه از تابش در دمای پایین که فرآیندهای متابولیکی کند می‌باشد محسوب می‌گردد. این موضوع با توجه به اهمیت ذخایر هیدرات‌های کربن در ایجاد مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی از جمله سرما قابل توجه می‌باشد. در مقایسه میانگین‌ها (جدول ٤) مشخص شد که بیشترین میزان کلروفیل a در ژنوتیپ‌های شماره ۵ ایجاد گردید هر چند ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۲ و ۳ نیز اختلاف آماری معنی‌داری با این ژنوتیپ نداشتند. این ژنوتیپ‌ها با حفظ محتوی کلروفیل خود در مواجهه با تنش سرما مقاومت بیشتری خواهند داشت. ژنوتیپ شماره ۹ نیز دارای کمترین میزان کلروفیل a بود.

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که دما تأثیر معنی‌داری بر قندهای محلول و پروتئین برگ دارد. همچنین بین ژنوتیپ‌های مختلف نیز از نظر قندهای محلول تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده شد. اثر متقابل دما و ژنوتیپ نیز تأثیر معنی‌داری بر پروتئین برگ بر جای گذاشت. در جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول ۳) مشاهده می‌شود که کاهش دما منجر به افزایش محتوی قند به میزان ۳۵/۳ میلی‌گرم بر گرم و افزایش ٤۸ درصدی پروتئین برگ می‌گردد. گیاهان با افزایش قندهای محلول به نوعی خود را کمتر در معرض یخزدگی و سرما قرار می‌دهند. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که ژنوتیپ‌های شماره ۳، ۵ و ۸ دارای بیشترین محتوی قندهای محلول در برگ بودند و از نظر آماری تفاوت معنی‌داری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها داشتند. در آزمایشی که محفوظی و همکاران (۱۳۸٤) انجام دادند نیز ژنوتیپ شماره ۳ به‌عنوان یکی از ژنوتیپ‌های مقاوم به سرما معرفی گردید. به‌طورکلی قندها در کاهش دمای انجماد آب سلولی، تأمین انرژی قابل دسترس و محافظت از ساختمان و نحوه عمل پروتئین‌ها در ایجاد مقاومت به سرما نقش عمده‌ای دارند (آتیسی و همکاران، ۲۰۰۳). قندها همچنین باعث کاهش پسابیدگی سلول‌ها در مقابل تشکیل یخ‌های بین‌سلولی می‌گردند. به‌طورکلی افزایش محتوی قند برگ و طوقه را می‌توان به‌عنوان یک شاخص فیزیولوژیک مناسب برای مقاومت به سرما در نظر گرفت (کرپسی و همکاران، ۲۰۰٤؛ گریفت و یایش، ۲۰۰٤). همان‌طور که انتظار می‌رفت ژنوتیپ‌های شماره ۱ و ۳ که از نظر سایر صفات مقاومت به سرما نیز دارای برتری قابل ملاحظه‌ای نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها بودند همراه با ژنوتیپ شماره ٤ دارای بیشترین درصد پروتئین بود و ژنوتیپ‌های شماره ۹ و ۱۰ دارای کمترین میزان پروتئین برگ بودند. البته این اختلافات از لحاظ

Archive of SID

www.SID.ir

آماری معنی‌دار نبود. افزایش درصد پروتئین برگ نیز همانند محتوی قند برگ یکی از صفات سازگاری به تنش سرما محسوب می‌گردد و در کاهش خسارت سرما و یخزدگی بافت‌های گیاهی نقش دارد. به‌نحوی‌که مشاهده شده که با کاهش دما محتوی پروتئین برگ اغلب افزایش می‌یابد. (کرپسی و همکاران، ۲۰۰٤؛ ویتامواس و پراسیل، ۲۰۰۸).

دما تأثیر معنی‌داری بر میزان پلی‌آمین‌های برگ داشت (جدول ۲). به‌نحوی‌که در مقایسه میانگین‌ها مشخص شد کاهش دما منجر به افزایش پوتریسین و اسپرمیدین به میزان ۱۰٤ و ۷٤ نانومول بر گرم و کاهش اسپرمین به میزان ٤ نانومول بر گرم گردید (جدول ۳). بین ژنوتیپ‌های مختلف تفاوت آماری معنی‌داری از نظر اسپرمین مشاهده نگردید. افزایش محتوی پلی‌آمین‌های موجود در برگ منجر به افزایش پایداری غشای و افزایش سنتز پروتئین‌ها می‌گردد (آلکازار و همکاران، ۲۰۰٦). در مقایسه میانگین‌ها مشاهده شد که بیشترین میزان پوتریسین در ژنوتیپ‌های شماره ۱ و ۳ و بیشترین میزان اسپرمیدین در ژنوتیپ‌های شماره ۲ و ۳ وجود دارد. نادوا و همکارن (۱۹۸۷) در آزمایشی نشان دادند که قرار گرفتن گیاهچه‌های گندم و یونجه در معرض تنش سرما منجر به افزایش پلی‌آمین‌های پوتریسین و اسپرمیدین و کاهش اسپرمین می‌گردد. وجود پلی‌آمین‌ها علاوه‌بر پایداری غشاء سلولی منجر به بروز ژن‌های مقاومت به سرما در گیاهان نیز می‌گردد (آلکازار و همکاران، ۲۰۰٦).

تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۵) نشان داد که دما تأثیر معنی‌داری بر محتوی نسبی آب برگ دارد. همچنین بین ژنوتیپ‌های مختلف نیز از نظر محتوی نسبی آب برگ تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده شد. اما اثر متقابل بین دما و ژنوتیپ تأثیر معنی‌داری بر محتوی آب برگ بر جای نگذاشت. مقایسه میانگین‌ها (جدول ٦) نشان داد که کاهش دما از ۲۰ به ۱۰ درجه سانتی‌گراد منجر به کاهش معنی‌دار محتوی نسبی آب برگ می‌گردد. در بین ژنوتیپ‌های مختلف نیز مشاهده شد که ژنوتیپ‌های شماره ۱۰ و ۱۲ دارای بیشترین محتوی نسبی آب برگ بودند (جدول ۷). بدیهی است این ژنوتیپ‌ها به‌دلیل دارا بودن آب بالا حساسیت بیشتری به خسارت تنش سرما نشان خواهند داد. همچنین ژنوتیپ شماره ۳ با دارا بودن میانگینی معادل ۷۳/۷ درصد دارای کمترین میزان آب نسبی برگ بود. به‌طورکلی کاهش مقدار آب در گیاه احتمال تشکیل یخ و خسارت حاصل از آن را کاهش می‌دهد. یکی از اولین رخدادهای مقاوم‌سازی غلات پاییزه در برابر سرما کاهش نسبت آب بافت به وزن خشک می‌باشد (مت‌کالف و همکاران، ۱۹۷۰). البته باید در نظر داشت که کاهش مقدار آب منجر به کاهش توسعه

Archive of SID

www.SID.ir

سلولی نیز می‌گردد بنابراین گیاهان اغلب تا حدی میزان آب بافت‌های خود را در جهت مقابله با سرما کاهش می‌دهند.

براساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ٥) مشخص شد که دما و ژنوتیپ تأثیر معنی‌داری بر درصد اسیدهای پالمتیک، اولئیک، لینولنیک در مرحله ٤ برگی داشتند. در مقایسه میانگین‌ها مشخص شد که کاهش دما منجر به افزایش اسیدهای چرب لینولنیک و اولئیک به‌ترتیب به میزان ۳۷ و ۳٦ درصد و کاهش اسید لینولئیک و پالمتیک به‌ترتیب به میزان ١٤ و ۲۹ درصد در برگ می‌گردد. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در ژنوتیپ‌های مختلف گندم دیم بیشترین اسید چرب پالمتیک اسید در ژنوتیپ‌های شماره ۱۰ و بیشترین اسید چرب اولئیک اسید در ژنوتیپ‌های شماره ۳ مشاهده گردید (جدول ۷). به‌طورکلی افزایش میزان اسیدهای چرب غیراشباع غشاء سلولی می‌تواند باعث پایین آمدن دمای تغییر حالت غشاء شده و مقاومت گیاه به تنش سرما را افزایش دهد (ژالای و همکاران، ۲۰۰۱؛ لویت، ۱۹۸۰).

جدول ٥- تجزیه واریانس میانگین مربعات اسیدهای چرب برگ و سایر صفات فیزیولوژیک مرتبط با مقاومت به سرما.

منابع تغییر (S.O.V)	درجه آزادی	محتوی نسبی آب برگ	اسید پالمتیک	اسید لینولئیک	اسید لینولنیک	اسید اولئیک	نشت الکترولیتی	LT_{50}
بلوک (R)	۲	۹٤٥	۱۱۰٥	۹٥۸	۲۱٥۰*	٥۲	۲۱٥۲/۲	۳۲٥
دما (T)	۲	۳۰۱٤٥**	۳٤٥۸**	۲۹۸٥/۲**	٤۲٥۸**	۱۰۰۲**	۱۱۸۷۱**	۱٤۱٥**
خطای a (R.T)	٤	۱۷٤۹	٥۱۲	٤۱۲	٤۰۸	۸۹	۲۰۱۰/٦	۲۱۲
ژنوتیپ (G)	۱۱	۱۰۹٥۰**	٤۱٥۹**	۹۸٥/٥	۷۰۱۲**	۱۱۲٦**	۱۳٥٦۹/٤**	٥۲۱۷**
اثر متقابل (G.T)	۲۲	۲۹٥	۳۲٥۸**	۱۰٥۰	٤۱۲٥**	۱۲۹	۱۲٥٦۹**	۱۱۷/۲
خطای آزمایشی (E)	٦٦	۲۱۰۰	۷۹۰	٥۱۰	۷۰۲	۹۸/۱	۲۰۱۰	۱۱۰

** و * به‌ترتیب نشانه معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ٥ درصد می‌باشد.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ٦- مقایسه میانگین اسیدهای چرب برگ و سایر صفات فیزیولوژیک مرتبط با مقاومت به سرما تحت‌تأثیر دما.

دما	محتوی نسبی آب برگ (درصد)	اسید پالمتیک (درصد)	اسید لینولئیک (درصد)	اسید لینولنیک (درصد)	اسید اولئیک (درصد)	نشت الکترولیتی (درصد)	LT_{50} (سانتی‌گراد)
٥ درجه سانتی‌گراد	٨١/٥^{b}	٢٢/٧^{b}	٢١/٧^{b}	٤٣^{a}	٧/١^{a}	٣٩/٢^{b}	-١٦^{a}
١٠ درجه سانتی‌گراد	٨٢/٢^{b}	٢٩/٤^{a}	٢٢/٤^{b}	٣٧^{b}	٦/٨٥^{a}	٤٥/٣^{a}	-١٣^{b}
٢٠ درجه سانتی‌گراد	٨٦/٧^{a}	٣٢/٢^{a}	٢٥/٤^{a}	٣١/٢^{c}	٥/٢^{b}	٤٥/٤^{a}	-١٢^{b}

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ٥ درصد می‌باشد.

جدول ٧- مقایسه میانگین اسیدهای چرب برگ و سایر صفات مرتبط با مقاومت به سرما در ژنوتیپ‌های مختلف گندم دیم.

نام ژنوتیپ	شماره	محتوی نسبی آب برگ (درصد)	اسید پالمتیک (درصد)	اسید لینولئیک (درصد)	اسید لینولنیک (درصد)	اسید اولئیک (درصد)	نشت الکترولیتی (درصد)	LT_{50} (سانتی‌گراد)
Sardari- hr86	١	٧٧/٢^{bc}	٢٢^{c}	٢٢/٢^{a}	٤٣^{a}	٧/٦^{a}	٣٧^{c}	-١٦^{a}
Sardari- hr20	٢	٧٩^{b}	٢٢/٤^{c}	٢٢/١^{a}	٤١/٢^{a}	٧/٦^{a}	٣٧/١^{c}	-١٥^{ab}
Ogosta/sefid	٣	٧٣/٨^{c}	٢٣^{c}	٢٢^{a}	٤٤^{a}	٧/٧^{a}	٣٧/١^{c}	-١٧^{a}
Turkey 13//f9.10	٤	٨٢^{b}	٢٧^{b}	٢٢/٤^{a}	٣١/٣^{cd}	٦/٥^{b}	٣٨/٣^{b}	-١٦^{a}
14 Gene bank	٥	٧٩^{b}	٢٧^{b}	٢٢/٢^{a}	٣١/٢^{cd}	٦/٢^{b}	٣٩/٦^{b}	-١٦^{a}
914 Gene bank	٦	٧٩^{b}	٢٨/٤^{b}	٢٢^{a}	٣٢^{cd}	٦/٩^{b}	٤٢^{b}	-١١^{b}
812 Gene bank	٧	٨١^{b}	٢٦^{b}	٢٢/٥^{a}	٣١^{cd}	٦/٥^{b}	٤٦^{a}	-١٠^{b}
Azar2	٨	٨١^{b}	٢٤^{c}	٢٢/٤^{a}	٣٩^{b}	٧/٨^{a}	٤٠/١^{b}	-١٦^{a}
Sabalan/1-27-56/4	٩	٨٠^{b}	٣١^{a}	٢٢/٣^{a}	٣١^{d}	٦/٨^{b}	٤٧^{a}	-٩^{c}
Roshan/3/F 12.71/Coc	١٠	٨٦^{a}	٣١/٢^{a}	٢٢/٧^{a}	٣١^{d}	٦/٧^{b}	٤٧/٤^{a}	-١١^{b}
Unknown cultivar	١١	٨٢^{b}	٢٩^{a}	٢٢/٢^{a}	٣٤^{c}	٦/٨^{b}	٤٧^{a}	-١٢^{b}
Sbn/1-64-199	١٢	٨٧^{a}	٢٨^{b}	٢٢/١^{a}	٢٩/٩^{d}	٦/٥^{b}	٤٣^{a}	-١٢^{b}

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ٥ درصد می‌باشد.

Archive of SID

www.SID.ir

کاهش اسیدهای چرب غیراشباع موجب از دست رفتن حالت سیالیت و نفوذپذیری غشاء نسبت به آب و در نتیجه کاهش مقاومت به سرما می‌گردد (لویت، ۱۹۸۰). ویلسون و همکاران (۱۹۷۲) همبستگی مثبتی بین افزایش اسیدهای چرب غیراشباع غشاء سلولی و کاهش نشت یونی در غشاء سلولی مشاهده نمودند. بین ژنوتیپ‌های مختلف نیز از نظر اسید چرب لینولئیک اسید اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نشد.

دما، ژنوتیپ و برهم‌کنش آنها تأثیر معنی‌داری بر درصد نشت الکترولیتی در ۱۲ ساعت پس از تهیه نمونه داشتند. اما ژنوتیپ‌های مختلف از نظر درصد نشت الکترولیتی در تنها یک ساعت پس از نمونه‌برداری تفاوت آماری معنی‌داری نداشتند (داده‌ها نشان داده نشده). در مقایسه میانگین‌ها مشخص شد که با گذشت زمان درصد نشت الکترولیتی افزایش می‌یابد. همچنین مشخص شد که برگ‌هایی که دوره رشد خود را در دمای پایین‌تری طی نموده‌اند (تیمار ۵ درجه سانتی‌گراد) به‌دلیل تطابق با سرما هنگام مواجهه با تیمار انجماد ٦/۲ درصد نشت الکترولیتی کمتری نسبت به تیمار ۲۰ درجه سانتی‌گراد داشتند (جدول ٦). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که ژنوتیپ‌های ۱، ۲ و ۳ دارای کمترین درصد نشت الکترولیتی نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها بودند (جدول ۷). به نظر می‌رسد افزایش اسیدهای چرب لینولنیک و اولئیک و ترکیباتی نظیر پروتئین در این ژنوتیپ‌ها منجر به افزایش مقاومت غشاء سلولی در برابر تنش سرما و کاهش نشت یونی آنها گردیده است.

نتیجه تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۵) نشان داد که دما و ژنوتیپ تأثیر معنی‌داری بر میزان تحمل به سرما (LT_{50}) دارد. مقایسه میانگین‌ها (جدول ٦) نشان داد که کاهش دما از ۱۰ به ۵ درجه سانتی‌گراد منجر به افزایش معنی‌دار میزان تحمل به سرما می‌گردد. ویتامواس و همکاران (۲۰۰۷) نیز در آزمایش خود نشان دادند که گیاهانی که مراحل اولیه رشد خود را در دمای پایین‌تری سپری نموده‌اند و به سرما سازگار شده‌اند در مواجه شدن با تنش یخبندان دارای LT_{50} و مقاومت بالاتری بودند. به‌نحوی‌که برای یک رقم خاص مقاومت از ٤- درجه سانتی‌گراد به ۱۸- افزایش یافت. در مقایسه میانگین‌ها مشخص شد که ژنوتیپ‌های مختلف گندم دیم دارای تحمل به سرمای متفاوت بودند و اختلاف آماری معنی‌داری بین آنها مشاهده شد. به‌نحوی‌که ژنوتیپ شماره ۳ با تحمل دمای ۱۷ درجه سانتی‌گراد زیر صفر و ژنوتیپ شماره ۹ با تحمل دمای ۹ درجه سانتی‌گراد زیر صفر دارای بیشترین و کمترین تحمل به سرما بودند. قدرت زنده ماندن ژنوتیپ‌ها در برابر سرمای زمستان به‌عنوان یکی از نهایی‌ترین فاکتورها در انتخاب ژنوتیپ‌ها محسوب می‌گردد. فولر و همکاران (۱۹۸۱) در

Archive of SID

www.SID.ir

آزمایشی ۳٤ صفت فیزیولوژیک و مورفولوژیک مرتبط با مقاومت به سرما را در گندم ارزیابی نمودند که از بین این صفات LT_{50} دارای بیشترین همبستگی با شاخص ماندگاری در مزرعه بود.

بخش مزرعه‌ای: نتایج تجزیه واریانس (جدول ۸) نشان داد که تاریخ کاشت و ژنوتیپ‌های مختلف و برهم‌کنش آنها تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه و محتوی کلروفیل و قند برگ داشتند. تاریخ کاشت تأثیر معنی‌داری بر آب برگ و بازده کوانتومی فتوسیستم داشت ولی بین ژنوتیپ‌های مختلف از نظر این دو صفت تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد. در مقایسه میانگین‌ها مشخص شد که عملکرد دانه در تاریخ کاشت ۱۰ مهر از نظر آماری افزایش معنی‌داری نسبت به سایر تاریخ‌های کاشت داشت. عملکرد دانه نتیجه نهایی تمام فرآیندهای بیولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه از زمان سبزشدن تا بلوغ و اثرات متقابل این فرآیندها با محیط می‌باشد. به نظر می‌رسد سپری شدن مراحل اولیه رشد در این تیمار در روزهایی که دمای هوا هنوز کاهش نیافته بود و مواجه شدن تدریجی و سازگاری با تنش سرما منجر به استقرار مناسب گیاهچه گردیده و این استقرار به‌عنوان پتانسیلی برای افزایش عملکرد عمل نموده است. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که ژنوتیپ شماره ۳ دارای بیشترین عملکرد دانه بود. ولی عملکرد دانه این ژنوتیپ از نظر آماری تفاوتی با ژنوتیپ‌های شماره ۱ و ۲ نداشت. با توجه به برتری محسوس این ژنوتیپ‌ها از نظر صفات مقاومت به سرما در آزمایشگاه برتری عملکرد آنها در شرایط مزرعه‌ای نیز مورد انتظار بود. سایر صفات اندازه‌گیری شده در مزرعه روندی مشابه داده‌های اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه داشت. کاشت در تاریخ ۱۵ آبان منجر به حصول بیشترین درصد قندهای محلول و کمترین محتوی آب نسبی برگ گردید. افزایش غلظت مواد محلول درون سلول و کاهش محتوی آب منجر به منفی‌تر شدن پتانسیل اسمزی سلول و پایین‌تر رفتن نقطه انجماد مایع درون‌سلولی و افزایش مقاومت در برابر سرما می‌گردد. مت‌کالف و همکاران (۱۹۷۰) همبستگی بالایی بین میزان آب طوقه و برگ و مقاومت به سرما را گزارش نمودند. نتایج نشان داد که تأخیر در کاشت منجر به کاهش بازده کوانتومی فتوسیستم می‌گردد. پرسیوال و همکاران (۱۹۹۹) نشان دادند که همبستگی بالایی بین Fv/Fm و پایداری غشاء سلولی و در نهایت بقای گیاهچه در برابر تنش سرما وجود دارد. ژنوتیپ‌هایی که دارای بازده کوانتومی فتوسیستم بالایی هستند پتانسیل تولید عملکرد بالاتری را نیز دارا خواهند بود.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۸- تجزیه واریانس میانگین مربعات عملکرد دانه و برخی صفات فیزیولوژیک ژنوتیپ‌های گندم دیم در مزرعه.

منابع تغییر (S.O.V)	درجه آزادی	عملکرد دانه	Fv/Fm	کلروفیل a	کلروفیل b	محتوی نسبی آب برگ	قندهای محلول
بلوک (R)	۲	٥٧٢١٢	۰/۰۰۰۱۲	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۰۹	۹/۷	۱۰۷۸
تاریخ کاشت (S)	۲	۷٥۲۳٦۹**	۰/۹۳۸**	۰/۰۹۷**	۰/۰٤۷**	۲۱٤٥۸**	۲۹٥٥۲**
خطای a (R.S)	٤	۷۸۲۱٥	۰/۰۰۱٤	۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۹	۲۱۰٥	۱۰٥۰
ژنوتیپ (G)	۱۱	٦۹۸۲۱٥**	۰/۰۰۱۷	۰/۹۱۳**	۰/۹٥۹**	۱۰۲٥	۱۹۸٥٦**
اثر متقابل (G.S)	۲۲	٥۲۱۹۸۷**	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۹۷**	۰/۰۰۱۲	۹۱۷	۱۲۱۰۷**
خطای آزمایشی (E)	٦٦	٥٤۱۲٦	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۱٤	۰/۰۳۷	۸٥٦	۲٤۱۰/٥

** و *به‌ترتیب نشانه معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ٥ درصد می‌باشد.

جدول ۹- مقایسه میانگین عملکرد دانه و برخی صفات فیزیولوژیک ژنوتیپ‌های گندم دیم در مزرعه.

تاریخ کاشت	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	Fv/Fm	کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم)	کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم)	قند محلول (میلی‌گرم بر گرم)	محتوی نسبی آب برگ (درصد)
۱۰ مهر	۱۱۲٥^{a}	۰/۷٦۰^{a}	۲/۰٤^{b}	۰/۷۹^{b}	۸٥/۹^{b}	۸٤/۷^{a}
۲٥ مهر	۹۸۰^{b}	۰/٥۲۳^{b}	۲/۲٥^{a}	۰/۷۹^{b}	۱۰۰^{a}	۸۱/۲^{a}
۱٥ آبان	٦۰۷^{c}	۰/٤۰۷^{c}	۲/۲۱^{a}	۰/۸٥^{a}	۱۰۲/۲^{a}	۷۱/٥^{b}

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ٥ درصد می‌باشد.

به‌طورکلی نتایج این تحقیق نشان داد که دمای زمان جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه قبل از وقوع تنش سرما بر واکنش‌های فیزیولوژیک گیاه تأثیرگذار است و شدت این واکنش‌ها در ژنوتیپ‌های حساس و مقاوم متفاوت می‌باشد. صفات فیزیولوژیک متعددی منجر به افزایش ثبات عملکرد در طیف وسیعی از شرایط محیطی مانند تنش سرما می‌گردد. ژنوتیپ‌های مقاوم در مواجهه با تنش سرما محتوی کربوهیدرات و کلروفیل برگ خود را افزایش دادند و با کاهش آب درون‌سلولی بازده فتوسنتزی بیشتری در مواجهه با تنش سرما دارا بودند. مجموع این صفات فیزیولوژیک منجر به حصول عملکرد بالاتر در ژنوتیپ‌های مقاوم شماره ۱، ۲ و ۳ گردید. همچنین کاشت در تاریخ ۱۰ مهر منجر به تطابق تدریجی گیاهچه‌های گندم با سرما گردید و در نهایت به افزایش مقاومت به سرما و افزایش عملکرد منتهی گردید.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱۰- مقایسه میانگین درصد عملکرد دانه و برخی صفات فیزیولوژیک ژنوتیپ‌های گندم دیم در مزرعه.

نام ژنوتیپ	شماره	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	Fv/Fm	کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم)	کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم)	قند محلول (میلی‌گرم بر گرم)	محتوی نسبی آب برگ (درصد)
Sardari- hr86	۱	۱۱۷۸^{ab}	۰/۶۲^{a}	۲/۲۲^{a}	۰/۹۷^{a}	۱۶۱^{ab}	۷۸^{a}
Sardari- hr20	۲	۱۱۷۹^{ab}	۰/۶۱^{a}	۲/۳^{a}	۰/۹۲^{a}	۱۴۷^{c}	۷۹^{a}
Ogosta/sefid	۳	۱۲۱۰^{a}	۰/۶^{a}	۲/۳۵^{a}	۰/۹۲^{a}	۱۷۷^{a}	۷۸^{a}
Turkey 13//f9.10	٤	۱۱۵۲^{b}	۰/۵۹^{a}	۲/۳٤^{a}	۰/۹^{a}	۱۳۱^{c}	۷۸/۸^{a}
14 Gene bank	۵	۱۰۷۸^{b}	۰/۶۱^{a}	۲/۲^{a}	۰/۷۹^{b}	۱۶۰^{b}	۷۸/۷^{a}
914 Gene bank	۶	۶۵۸^{d}	۰/۶۲^{a}	۱/۹^{b}	۰/۵۷^{c}	۹۵^{d}	۷۸^{a}
812 Gene bank	۷	۷۵۲^{d}	۰/۶۳^{a}	۱/۷^{b}	۰/۵۸^{c}	۱۲۹^{c}	۷۷^{a}
Azar2	۸	۹۵۰^{c}	۰/۶۵^{a}	۱/۹^{b}	/۹٤^{a}	۱۶۸^{ab}	۷۶^{a}
Sabalan/1-27-56/4	۹	٤۱۵^{e}	۰/۶۲^{a}	۱/۹^{b}	۰/۶۲^{c}	۹۷^{d}	۷۸^{a}
Roshan/3/F 12.71/Coc	۱۰	۶۱۵^{d}	۰/۶۱^{a}	۱/۷۸^{b}	۰/۵۹^{c}	۸۲^{d}	۷۷/۷^{a}
Unknown cultivar	۱۱	۵۱۲^{d}	۰/۶۲^{a}	۲^{ab}	۰/۶۱^{c}	۱۳۱^{c}	۷۸^{a}
Sbn/1-64-199	۱۲	۶۱۰^{d}	۰/۶۳^{a}	۲/۲^{ab}	۰/۶۲^{c}	۱۱۰^{cd}	۷۹^{a}

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

منابع

Ahmadi, A., Yazdi Samadi, B., and Netaj, J. 2005. Physilogical response of wheat seedling to low temperatures. Agric. Sci. 15: 27-44.

Alca´zar, R., Marco, F., Cuevas, J.C., Patron, M., Ferrando, M., Carrasco, P., Tiburcio, A.F., and Altabella, T. 2006. Involvement of polyamines in plant response to abiotic stress. Biotechnol Lett. 28: 1867-1876.

Atici, O., Jim, R., and Nalbantoglu, B. 2003. Antifreeze proteins in higher plants. Phytochemist. 64: 1187-1196.

Baker, N., and Rosenqvist, E. 2004. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. J. Exp. Bot. 55: 1607-1621.

Binder, W., and Fielder, P. 1996. Chlorophyll fluorescence as in indicator of frost hardiness in white spruce seedlings from different latitudes. New Forests, 11: 233-253.

Bohn, M., Luthje, S., Sperling, P., Heinz, E., and Dorffling, K. 2007. Plasma membrane lipid alterations induced by cold acclimation and abscisic acid treatment of winter wheat seedlings differing in frost resistance. J. Plant. Physiol. 164: 146-156.

Archive of SID

www.SID.ir

Chen, T.H.H., Uemura, M., and Fujikawa, S. 2006. Cold hardiness in plants. CABI Publishing, 269p.

Flore, H.E., and Galston, A.E. 1982. Analysis of polyamines in higher plants by high performance liquid chromatography. Plant Physiol. 69: 701-706.

Fowler, D.B., Gusta, l.V., and Tyler, N.J. 1981. Selection for winter hardiness in wheat. III. Screening methods. Crop. Sci 21: 896-901.

Griffith, M., and Yaish, M.W.F. 2004. Antifreeze proteins in overwintering plants: a tale of two activities. Trends Plant Sci. 9: 399-405.

Hodge, J.E., and Hofreiter, B.T. 1974. Determination of reducing sugars and carbohydrates. Northern regional laboratory, U.S.D.A., Peorialitions, Pp: 388-389.

Irigoyen, J.J., Emerrich, D.W., and Sanchez-Diaz, M. 1992. Water stress induced changes in concentrations of total soluble sugars in nodulated alfalfa plant. Physiol. Plant. 84: 55-60.

Janda, T., Szalai, G., Lesko, K., Yordanova, R., Apostol, S., and Popova, L.P. 2007. Factors contributing to enhanced freezing tolerance in wheat during frost hardening in the light. Phytochemist. 68: 1674-1682.

Kalra, Y.P. 1998. Handbook of reference methods for plant analysis. Taylor & Francis Group, LLC, 291p.

Kerepesi, I., Bányai-Stefanovits, E., and Galiba, G. 2004. Cold acclimation and abscisic acid induced alterations in carbohydrate content in calli of wheat genotypes differing in frost tolerance. Plant Physiol. 161: 131-133.

Long, S.P., Nugawela, A., Bongi, G., and Farage, P.K. 1987. Chilling dependent photoinhibition of photosynthetic CO_2 uptake, In: Biggins, J. (ed) progress in photosynthesis research, Vol. 4. Pp: 131-138.

Levitt, J. 1980. Responses of plants to environmental stresses: Chilling, freezing and high temperature stresses. Ed 2, vol. 1. New York; Academic Press, USA.

Mahfoozi, S., Roustaii, M., and Ansari, Y. 2005. Determination of low temperature tolerance in some bread wheat, durum wheat and barley genotypes. Seed and Plant. 21: 467-483.

Metcalf, E.L., Cress, C.E., Plien, R.C., and Everson, E.H. 1970. Relationship between crown moisture content and killing temperature for three wheat and three barley cultivars. Crop. Sci. 10: 362-365.

Mir Mohammadi, A.M. 2005. Physiological and breeding aspect of cold and chilling stress in crops. Golban press, 325p.

Nadeau, P., Delaney, S., and Chouinard, L. 1987. Effects of cold hardening on the regulation of polyamine levels in wheat (*Triticum aestivum* L.) and alfalfa (*Medicago sativa* L.). Plant Physiol. 84: 73-77.

Percival, G., Boyle, C., and Baird, L. 1999. The influence of calcium supplementation on the freezing tolerance of woody plants. J. Arboricult. 25: 285-291.

Archive of SID

www.SID.ir

Shen, W., Nada, K., and Tachibana, S. 2000. Involvement of polyamines in the chilling tolerance of cucumber cultivars. Plant Physiol. 124: 431-439.

Szalai, G., Janda, T., Páldi, E., and Dubacq, J.P. 2001. Changes in the fatty acid unsaturation after hardening in wheat chromosome substitution lines with different cold tolerance. Plant Physiol. 158: 663-666.

Vitamvas, P., and Prasil, L.T. 2008. WCS120 protein family and frost tolerance during cold acclimation, deacclimation and reacclimation of winter wheat. Plant Physiol. Bioch. 46: 970-976.

Vitamvas, P., IIja, G.S., Prasil, L.T., Capkovac, V., Opatrnac, J., and Ahme, J. 2007. WCS120 protein family and proteins soluble upon boiling in cold-acclimated winter wheat. J. Plant Physiol. 164: 1197-1207.

Wilson, J.M. 1972. The mechanism of chill-and drought-hardening of *phaseolus vulgaris* leaves. New Phytol. 76: 257-269.

Yin, L., Wang, C., Chen, Y., Yu, C., Cheng, Y., and Li, W. 2009. Cold stratification, light and high seed density enhance the germination of *Ottelia alismoides*. Aquatic Bot. 90: 85-88.

Zobayed, S., Afreen, F., and Kozai, T. 2005. Temperature stress can alter the photosynthetic efficiency and secondary metabolite concentrations in St. John's Wort. Plant Physiol. Bioch. 43: 977-984.

Archive of SID

www.SID.ir

EJCP., Vol. 2 (4): 93-112
www.ejcp.info

Physiological responses of different wheat genotypes to cold stress

[*]A. Siosemardeh[1], Kh. Mohammadi[2], E. Roohi[3], M. Aghaalikhani[4] and A. Mokhtasi Bidgoli[5]

[1]Assistant Prof., Dept. of Agronomy, University of Kurdistan, [2]Faculty Member, Islamic Azad University of Sanandaj, [3]Faculty Member, Agricultural Research and Natural Resources Center of Kurdistan, [4]Assistant Prof., Dept. of Agronomy, Tarbiat Modares University, [5]Ph.D. Student, Dept. of Agronomy, Tarbiat Modares University

Abstract

In order to determine yield and physiological response of different wheat genotypes to low temperature, many pot and field experiments were conducted in 2007-2008 at the Plant Physiology Laboratory, University of Kurdistan, and Ghamlo Dryland Agricultural Research Station in Kurdistan province. In both experiments, the experimental design was a randomized complete block in a split plot arrangement with three replications. Experiment was carried out in 2007. Corresponding to three field sowing dates, Oct 1th, Oct 16th and Nov 5th, three pot treatments were performed. Pot treatments were conducted at following temperatures: 20 (control), 10 and 5 °C. Temperature treatments were considered in main plot and twelve genotypes of dryland wheat were assigned to the sub-plots. Both in pot and field experiments, leaf chlorophyll and sugar contents, fatty acids, polyamines and leaf water were significantly affected by treatments. When protein, spermine and oleic acid were measured, no differences were evident among genotypes. Cold stress and genotype had significant effects on the lethal temperature 50 (LT_{50}) and electrolyte leakage. Among the genotypes, Ogosta exhibited the highest cold resistance (LT_{50}), and the lowest electrolyte leakage. Also, Sardari and Ogosta had the greatest grain yield (1178-1210 kg.ha^{-1}), chlorophyll *a*, chlorophyll *b*, soluble sugars, protein, putrescine, spermine, spermidine, linolenic acid and oleic acid.

Keywords: Dryland wheat; Genotype; Cold stress; Tolerance

*- Corresponding Author; Email: a33@uok.ac.ir

Archive of SID

www.SID.ir