

تأثیر سطوح مختلف پاکلوبوترازول و تنش یخ‌زدگی بر رشد و عملکرد دو رقم گندم در شرایط کنترل‌شده و مزرعه

محمد کریمان^۱، محمد کافی^{۲*}، احمد نظامی^۲، سعید صادق زاده حمایتی^۳

۱- دانشجوی دکتری، گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲- گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۳- موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند، کرج، ایران

* مسئول مکاتبه: m.kafi@um.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR. 2023.322666.1177

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۰۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۱۳

چکیده

در مناطق دارای زمستان‌های سرد، تنش یخ‌زدگی استقرار، رشد و نمو و عملکرد گندم پاییزه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این تحقیق به منظور اثر بررسی پاکلوبوترازول در شرایط کنترل‌شده و مزرعه به ترتیب در دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد و ایستگاه تحقیقات کشاورزی کهنه‌کند بجنورد اجرا شد. در آزمایش کنترل‌شده کرت‌های اصلی شامل دمای یخ‌زدگی در شش سطح (صفر، -۴، -۸، -۱۲، -۱۶ و -۲۰- درجه سانتی‌گراد)، کرت‌های فرعی شامل پاکلوبوترازول در سه سطح شاهد (بدون محلول‌پاشی) و محلول‌پاشی با غلظت‌های ۳۰ و ۶۰ میلی‌گرم در لیتر و کرت‌های فرعی شامل دو رقم گندم میهن و پیش‌تاز و در آزمایش مزرعه کرت‌های اصلی تاریخ کاشت در سه سطح (۲۴ مهر، ۲۲ آبان و ۱۴ آذر) و کرت فرعی و کرت فرعی مشابه آزمایش کنترل‌شده بودند. نتایج نشان داد که با کاهش دما از صفر تا -۲۰- درجه سانتی‌گراد، درصد نشت الکترولیت‌های غشا به‌طور معنی‌داری به میزان ۷۱/۵ درصد افزایش یافت. در شرایط دمایی یادشده، تفاوت درصد نشت الکترولیت‌ها بین دو رقم (۱۷ درصد) معنی‌دار بود و رقم میهن توانایی بیشتری در حفظ پایداری غشا نشان داد. تأخیر در تاریخ کاشت از ۲۴ مهر به ۲۲ آبان و ۱۴ آذر عملکرد دانه را به ترتیب ۱۹ و ۳۰ درصد کاهش داد. هم‌چنین عملکرد دانه رقم میهن ۱۷ درصد بیشتر از رقم پیش‌تاز بود. در آزمایش مزرعه‌ای کاربرد پاکلوبوترازول و اثر متقابل آن با سایر تیمارها معنی‌دار نبود. بر اساس این نتایج و در صورت تایید در آزمایش‌های تکمیلی، کاشت رقم میهن را می‌توان در مناطقی با مشخصات دمایی یادشده توصیه کرد.

واژه‌های کلیدی: تریازول، تنش سرما، صفات مورفولوژیکی، نشت الکترولیت‌ها

مقدمه

می‌شود، خسارت شدید سرما رخ می‌دهد (Hassan et al., 2021).

بنابراین، برای موفقیت در تولید این گیاه، ارقام گندمی که قادر به تحمل شرایط سخت زمستان باشند از تولید و عملکرد بالاتری برخوردار خواهند بود.

در طول ۵۰ سال اخیر، روش‌های متفاوتی برای مطالعه تحمل به سرما و یخ‌زدگی به کار گرفته شده است. این گونه مطالعات در مزرعه و یا در شرایط آزمایشگاهی، با کنترل عوامل محیطی، فرآیندهای فیزیولوژیک و رشد مجدد پس از سرما و یخ‌زدگی، به اجرا درآمده‌اند (Ding et al., 2021; Saadati et al., 2021). تعدادی از این پژوهش‌ها به کاربرد برخی مواد شیمیایی از جمله تریازول‌ها در کاهش اثرات ناشی از تنش‌های محیطی از جمله سرما اشاره داشته‌اند (Moradi et al., 2017; Kamandi et al., 2015).

پاکلوبوترازول به عنوان مشتقی از گروه تریازول‌ها در بسیاری

گندم (*Triticum aestivum* L.) به‌عنوان یکی از محصولات مهم زراعی در اغلب مناطق معتدله به‌صورت پاییزه کشت می‌شود. در این شرایط، بروز سرمای شدید در زمستان به عنوان یکی از بحرانی‌ترین تنش‌های غیرزنده، رشد و عملکرد گیاه را تحت تأثیر قرار داده و سبب کاهش معنی‌دار در عملکرد دانه می‌گردد (Zheng et al., 2021; Zhao et al., 2019). اقلیم‌های سرد و فراسرد، بیش از ۶۲ درصد از سطح کشور را تحت پوشش خود دارند (Khalili et al., 1991). بنابراین، تنش سرما در انواع مختلف سرمازدگی و یخ‌زدگی و شوک دمایی، زراعت گندم را در اراضی واقع در اقلیم‌های مذکور تهدید می‌کند. هر ساله ۸۵ درصد از سطح زیر کشت گندم در جهان تحت تأثیر سرمازدگی بهاره قرار می‌گیرد و معمولاً در فصل بهار، زمانی که دمای کانوپی گندم صفر درجه سانتی‌گراد یا کمتر

سبب محافظت گیاهان از تنش‌های محیطی می‌شوند (Soumya *et al.*, 2017). مشتقات تریازول‌ها در کاهش سنتز متیل استرول‌ها نقش دارند (Amoo aghaei and Shariaat, 2014). هم‌چنین تریازول‌ها با ایجاد تغییر در بیوسنتز استرول‌ها باعث کاهش استرول غشا شده و از این طریق سازگاری گیاه به سرما را افزایش می‌دهند (Rozhon *et al.*, 2019; Desta and Amare, 2021).

مطالعات متعددی جهت شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل گندم به سرما و شرایط رشد آن‌ها انجام شده است (Li *et al.*, 2013; Gordeeva *et al.*, 2017). اما تحقیقات در مورد میزان و حد تحمل این گیاه به سرما و اثرات محلول‌پاشی با ترکیبات تخفیف‌دهنده تنش سرما ناچیز است (Roustaii, 2009). لذا پژوهش حاضر با هدف بررسی تحمل به سرمای دو رقم گندم (میهن و پیشتاز) مورد توصیه در استان خراسان شمالی و بررسی تأثیر کاربرد مواد ضدتنش سرما (پاکلوپوترازول) بر روی این گیاه زراعی و اثرات آن بر درصد بقای زمستانه و سلامت غشا تحت شرایط کنترل شده طراحی و اجرا شد. مشخصات زراعی این ارقام در جدول ۱ نشان داده شده است.

از گیاهان زراعی گرمسیری و نیمه‌گرمسیری در تنظیم رشد، گل‌دهی و عملکرد مورد استفاده قرار می‌گیرند (Desta and Amare, 2021). پاکلوپوترازول‌ها در گیاهان اثرات بیوشیمیایی نظیر سمیت‌زدایی گونه‌های فعال اکسیژن، افزایش سطح پرولین و تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی و افزایش محتوای کلروفیل را القا می‌نمایند (Srivastav *et al.*, 2010). هم‌چنین این ترکیبات در ضخیم شدن بافت برگ، افزایش نسبت ریشه به اندام هوایی، بزرگ شدن کلروپلاست‌ها نقش داشته و نیز مانع رشد گیاه و طول شدن آن می‌شود (Desta *et al.*, 2021).

تریازول‌ها از طریق تأثیر بر مسیر سنتز ایزوپروپونوئیدها موجب تغییرات هورمونی در گیاه مانند کاهش اتیلن، افزایش سیتوکینین و آبسزیک اسید و عدم سنتز جیبرلین می‌شوند (Amoo aghaei and Shariaat, 2014). تریازول‌ها از جمله پاکلوپوترازول در فعالیت کائورن اکسیداز که در مسیر سنتز جیبرلین موجب تبدیل انت‌کائورن به کائورونیک اسید می‌شود، نقش دارد (Desta and Amare, 2021) و از این طریق سوبستراهایی برای بیوسنتز هورمون آبسزیک اسید و رنگدانه کارتنوئید فراهم می‌آورند (Amoo aghaei and Shariaat, 2014). مطالعات نشان داده‌اند که بهبود تولید آبسزیک اسید،

جدول ۱- مشخصات زراعی ارقام گندم میهن و پیشتاز قابل کشت در استان خراسان شمالی

Table 1- Agronomical characteristics of Mihan and Pishtaz wheat cultivars in north Khorasan province

مقاومت به زنگ قهوه‌ای Brown rust tolerance	مقاومت به ورس Lodging tolerance	مقاومت به زنگ زرد Strip rust tolerance	مقاومت به سرما Cold tolerance	اقلیم Climate	تیپ رشد Growth habits	رقم Cultivar
نیمه مقاوم Semi-resistant	مقاوم Resistant	نیمه مقاوم Semi-resistant	متحمل Tolerate	سرد Cold	زمستانه Winter	میهن Mihan
مقاوم Resistant	متحمل Tolerate	متحمل Tolerate	متحمل Tolerate	معتدل Moderate	بهاره Spring	پیشتاز Pishtaz

۸-، ۱۲-، ۱۶- و ۲۰- درجه سانتی‌گراد)، غلظت‌های مختلف پاکلوپوترازول (شاهد یا بدون اعمال محلول‌پاشی، محلول‌پاشی با غلظت‌های ۳۰ و ۶۰ میلی‌گرم در لیتر) به عنوان عامل فرعی و دو رقم (شامل رقم میهن و پیشتاز به ترتیب به عنوان رقم‌های متحمل و حساس به یخ زدگی در استان خراسان شمالی) گندم نان به عنوان عامل فرعی فرعی بودند.

تعداد ۱۰ عدد پذیر گندم در هر گلدان پلاستیکی با قطر دهانه ۱۰ و ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر در عمق دو تا سه سانتی‌متری

مواد و روش‌ها

آزمایش گلخانه‌ای

این آزمایش به صورت کرت‌های دو بار خرد شده (اسپلیت اسپلیت پلات) با طرح پایه کاملاً تصادفی در سه تکرار و قبل از اعمال تنش یخ‌زدگی در محیط طبیعی شهرستان بجنورد و پس از تنش، در دوره بازیافت در محیط کنترل شده در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا شد. تیمارها شامل اعمال تنش یخ‌زدگی در شش سطح (صفر، ۴-،

بارندگی در طی این مدت زمان، در دو ایستگاه مشهد و بجنورد در جدول ۲ ارائه شده است. سپس، بعد از این مدت در تاریخ ۲۰ دی ماه و ۴۸ ساعت قبل از گذاشتن آن‌ها در فریزر ترموگرادیان محلول پاشی پاکلوبوترازول مطابق غلظت‌های تعیین شده انجام و سپس در معرض دماهای یخزدگی قرار داده شدند.

خاک (مخلوطی از خاک زراعی، ماسه شسته شده و خاک برگ، هر یک به نسبت یک سوم) در اول مهرماه ۱۳۹۳ کشت شد. به منظور القاء خوسرمایی در نتیجه کاهش روند طول روز و دما در پاییز، گیاهان از مرحله کاشت تا مرحله سه تا چهار برگی در محیط بیرون از گلخانه و شرایط طبیعی شهرستان بجنورد نگهداری شدند. حداقل دما، حداکثر دما، دمای متوسط و

جدول ۲- حداقل دما، حداکثر دما، دمای متوسط و بارندگی مشهد و بجنورد در زمان اجرای آزمایش

Table 2- Minimum, maximum, Average temperature and rainfall of Mashhad and Bojnord meteorological stations in the period of experiments

	حداقل دما Min. temperate (°C)	حداکثر دما Max. temperate (°C)	متوسط دما Av.e temperate (°C)	میزان بارندگی Rainfall (mm)
مشهد Mashhad				
مهر و آبان October	8.7	24.4	16.5	0.6
آبان و آذر November	1.6	15.2	8.55	3.5
آذر و دی December	-0.4	9.7	4.7	20.5
دی و بهمن January	-4.9	6	0.6	5.8
بجنورد Bojnord				
مهر و آبان October	6.7	19.8	12.6	17.3
آبان و آذر November	1.7	11.6	5.8	51.6
آذر و دی December	-2.1	9.9	2.6	11.3
دی و بهمن January	-2.1	8.2	2.1	22.5
بهمن و اسفند March	1.5	8.7	4.6	47.8
اسفند و فروردین March- Apri	2.6	12.5	6.9	31.1
فروردین و اردیبهشت May	6.7	21.9	13.9	2.7
اردیبهشت و خرداد June	12.7	28.4	20.5	11.4
خرداد و تیر	17.2	34.6	26.7	0.3

در داخل سلول‌ها فراهم می‌کند (Murry *et al.*, 1988). برای جلوگیری از پدیده فراسرمایی و ایجاد هسته‌های یخ در گیاهچه‌ها در دمای حدود ۳- درجه سانتی‌گراد، قشر نازکی از محلول باکتری‌های ایجاد کننده هسته یخ بر روی برگ‌ها

دمای یخچال در شروع آزمایش پنج درجه سانتی‌گراد بود و پس از قرار دادن نمونه‌ها در دستگاه، با سرعت دو درجه سانتی‌گراد در ساعت کاهش یافت. این وضعیت، شرایط را برای توزیع مجدد آب به بافت‌های گیاهی و جلوگیری از تشکیل یخ

محلول پاشی با غلظت ۳۰ و ۶۰ میلی گرم در لیتر) و کرت فرعی فرعی دو رقم گندم (میهن و پیشتاز) بود.

پس از عملیات آماده سازی، کاشت و داشت، تیمار پاکلوبوترازول یک هفته قبل از وقوع سرما بر اساس پیش آگاهی های در دسترس، به صورت محلول پاشی با غلظت های مشابه آزمایش کنترل شده اعمال شد. در انتهای فصل زراعی با برداشت دو متر مربع از هر کرت، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه گندم بدست آمد.

تجزیه و تحلیل داده ها با نرم افزار MSTAT-C صورت پذیرفت و مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی دار (LSD)^۳ در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

تعداد برگ در گیاه

نتایج نشان داد که برهمکنش سرما × پاکلوبوترازول نیز در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی داری بر تعداد برگ در بوته گذاشته است (جدول ۳).

با کاهش دما، تعداد برگ های گیاه در غلظت ۳۰ میلی گرم بر لیتر پاکلوبوترازول نسبت به شاهد افزایش یافت. به طوری که، میزان این افزایش در دما ۲۰- درجه سانتی گراد بیش از ۵/۵ درصد بوده است (شکل ۱ الف).

همچنین کاربرد ۶۰ میلی گرم بر لیتر پاکلوبوترازول سبب افزایش تعداد برگ در دمای ۱۲- و ۱۶- درجه سانتی گراد به ترتیب به میزان سه و ۱۰ درصد در مقایسه با شاهد شده است. نتایج این تحقیق در بهبود اثرات تنش سرما در نتیجه کاربرد پاکلوبوترازول بر روی گیاه کوشیا (*Kochia scoparia*) مطابقت دارد (Kamandi et al., 2015).

کاهش دما از صفر به ۲۰- درجه سانتی گراد موجب کاهش معنی دار تعداد برگ در بوته هر دو رقم گندم شد (شکل ۱ ب). با کاهش دما، تعداد برگ در مقایسه با دمای صفر درجه سانتی گراد از ۶ تا ۲۰ درصد در رقم میهن و از ۸ تا ۳۸ درصد در رقم پیشتاز کاهش یافته است. در گیاه تربیتیکاله نیز دمای یخ زدگی تأثیر معنی داری بر تعداد برگ در بوته داشته است به طوری که، تعداد برگ در دماهای ۴-، ۸-، ۱۲- درجه

پاشیده شد. به منظور ایجاد تعادل با دمای محیط، گیاهان در هر تیمار دمایی به مدت یک ساعت نگهداری و سپس گلدان ها به اتاقک سرد با دمای ۵±۲ درجه سانتی گراد منتقل و به مدت ۲۴ ساعت در آنجا نگهداری شدند. پس از آن گیاهان به محیط گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی منتقل و به مدت چهار هفته نگهداری و پس از آن نمونه برداری و اندازه گیری های مورد نظر انجام شدند.

برای اندازه گیری میزان نشت الکترولیت ها، تعداد پنج نمونه برگ و طوقه از گیاه مربوط به هر تیمار جدا و در ویال هایی حاوی ۱۵۰ میلی لیتر آب دو بار تقطیر قرار داده و به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق نگهداری شدند. سپس، هدایت الکتریکی (EC₁)^۱ هر نمونه با استفاده از دستگاه EC متر (مدل Jenway) اندازه گیری شد. به منظور اندازه گیری میزان کل نشت الکترولیت ها پس از مرگ سلول ها، ویال های حاوی نمونه های گیاه در دمای ۱۲۱ درجه سانتی گراد و فشار یک بار به مدت ۲۰ دقیقه در اتوکلاو قرار گرفتند. پس از این، مجدداً نمونه ها به مدت ۲۴ ساعت در محیط آزمایشگاه قرار داده شدند و سپس هدایت الکتریکی (EC₂) آن ها اندازه گیری شد. در نهایت با استفاده از معادله ۱ درصد نشت الکترولیت ها (EL)^۲ در هر تیمار محاسبه شد (Teutonica et al., 1993).

$$EL(\%) = (EC_1/EC_2) \times 100 \quad (1)$$

صفات دیگری نظیر ارتفاع گیاه، سطح سبز برگ، تعداد برگ و تعداد پنجه و بقای گیاهان در هر بوته اندازه گیری و ثبت شدند ولی چون تعداد بوته های خشک شده در هر دو رقم معنی دار نشد نتایج بقا نیز ارائه نشدند.

آزمایش مزرعه ای

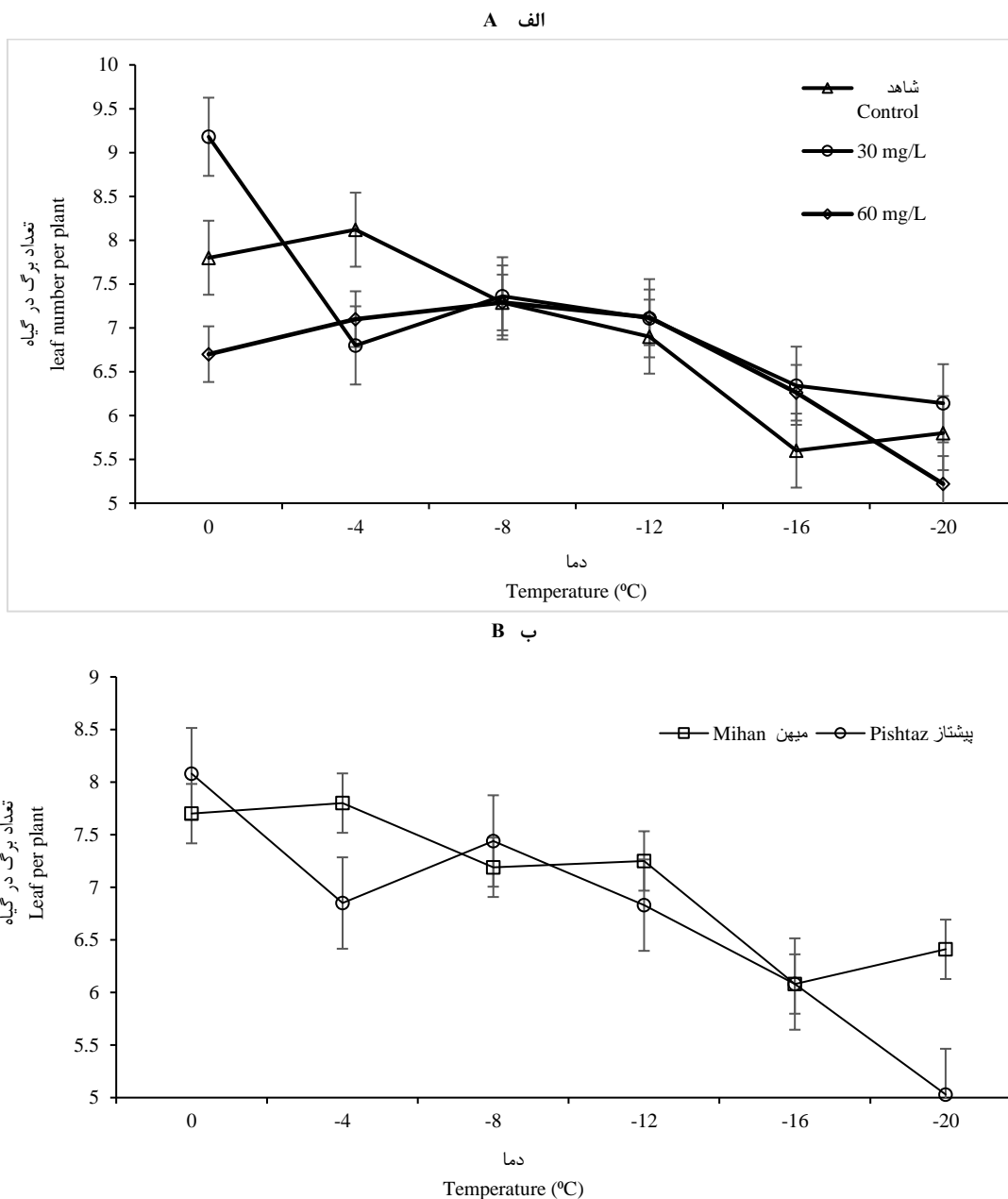
این پژوهش در مزرعه ایستگاه تحقیقات کشاورزی کهنه کند واقع در پنج کیلومتری شمال غربی بجنورد (عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۱۸ دقیقه شرقی)، به صورت کرت های دوبارخرد شده با طرح پایه بلوک کامل تصادفی در سه تکرار در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ اجرا شد. کرت های اصلی تاریخ کاشت در سه سطح (۲۴ مهر، ۲۲ آبان و ۱۴ آذر)، کرت فرعی اعمال غلظت های مختلف پاکلوبوترازول در سه سطح (شاهد یا بدون اعمال محلول پاشی،

³ Least significant difference

¹ Electrical conductivity

² Electrolyte leakage

سانتی گراد به ترتیب به میزان ۶/۲، ۱۰/۴ و ۲۲/۹ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت (Nezami *et al.*, 2010).



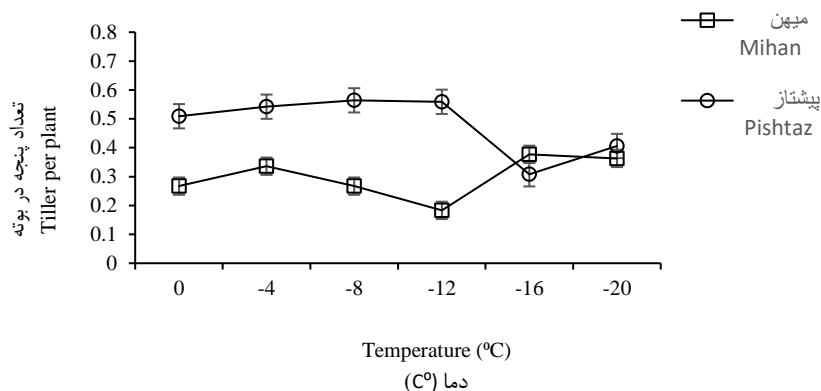
شکل ۱- اثر متقابل دماهای یخزدگی با غلظت‌های مختلف پاکلوبوترازول (الف) و نیز با رقم (ب) بر تعداد برگ گندم زمستانه

Figure 1- The interaction of freezing temperature with different paclobutrazol concentrations (A) and cultivars (B) on leaf number of winter wheat

میهن در دامنه دمایی صفر تا ۱۲- درجه سانتی گراد معنی دار (به میزان ۶۴ درصد) و سپس با کاهش دما به ۱۶- و ۲۰- درجه سانتی گراد این اختلاف معنی دار نشد (شکل ۲).

تعداد پنجه در بوته

برهمکنش تیمار یخزدگی × رقم در سطح احتمال یک درصد بر تعداد پنجه در بوته تأثیر معنی داری گذاشته است (جدول ۳). برتری رقم پیشتاز در خصوص تعداد پنجه در بوته نسبت به رقم



شکل ۲- اثر متقابل دماهای یخ زدگی و رقم بر تعداد پنجه گندم زمستانه

Figure 2- The interaction of freezing temperatures and cultivar on tiller number of winter wheat

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس درصد نشت الکترولیت‌ها، تعداد برگ، سطح برگ، تعداد پنجه و ارتفاع بوته دو رقم گندم زمستانه پس از اعمال تنش یخ‌زدگی و کاربرد پاکلوبوترازول

Table 3- Results of Variance analysis of electrolyte leakage, leaf number, leaf area, tiller number and plant height of two winter wheat cultivars after freezing stress and paclobutrazol application

میانگین مربعات					
Mean squares					
منابع تغییر	تعداد برگ	تعداد پنجه	ارتفاع بوته	سطح برگ	نشت الکترولیت‌ها
S. O. V.	Leaf number	Tiller number	Plant height	Leaf area	Electrolyte leakage
تنش یخ‌زدگی (C)	12.31**	0.01 ^{ns}	387.07**	21.62**	9613.66**
Cold stress (C)					
تکرار	0.01 ^{ns}	0.03 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.01 ^{ns}	1.04 ^{ns}
Replication					
خطا	0.79	0.02	5.89	1.71	117.29
Error a					
پاکلوبوترازول (P)	2.68**	0.02 ^{ns}	247.40**	4.67**	480.82 ^{ns}
Paclobutrazol (P)					
یخ‌زدگی × پاکلوبوترازول	2.34**	0.04 ^{ns}	15.82 ^{ns}	1.62*	198.21 ^{ns}
C×P					
خطای کرت فرعی	0.44	0.02	8.51	0.61	148.79
Error b					
رقم (K)	3.44*	0.54**	38.70*	14.73**	149.48 ^{ns}
Cultivar (K)					
یخ‌زدگی × رقم	2.24**	0.08**	248.12**	5.67**	318.34**
C×K					
پاکلوبوترازول × رقم	0.25 ^{ns}	0.03 ^{ns}	15.09 ^{ns}	1.70 ^{ns}	28.17 ^{ns}
P×K					
یخ‌زدگی × پاکلوبوترازول × رقم	1.63**	0.05*	25.89**	1.59 ^{ns}	47.00 ^{ns}
C×P×K					
خطای کرت فرعی فرعی	0.57	0.02	8.67	1.15	41.70
Error c					
ضریب تغییرات	10.93	24.13	15.72	22.33	20.75
CV (%)					

ns, * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵ و ۹۹ درصد

ns, * and **: no significant, significant at 95 and 99% levels of probability, respectively

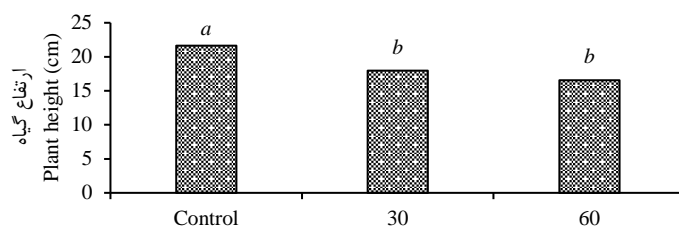
مراحل رشد برنج (*Oryza sativa* L.) باعث تضعیف رشد

در یک پژوهش مشاهده شد که تنش یخ‌زدگی در اوایل

گیاه بر اجزای عملکرد دانه تأثیر معنی داری می گذارد.

ارتفاع ساقه اصلی

نتایج نشان داد که کاربرد پاکلوبوترازول در غلظت های ۳۰ و ۶۰ میلی گرم بر لیتر، موجب کاهش ارتفاع گیاه به ترتیب به میزان ۱۷ و ۲۳ درصد شده است (شکل ۳).

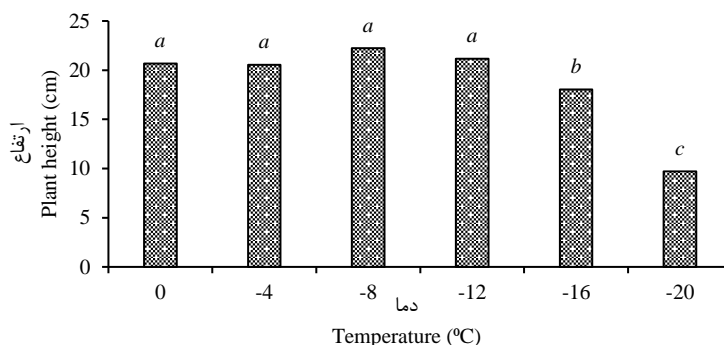


شکل ۳- اثر غلظت های مختلف پاکلوبوترازول بر ارتفاع بوته گندم زمستانه. حروف یکسان بیانگر عدم تفاوت معنی دار در آزمون LSD ($P < 0.05$) است.

Figure 3- The effect of different concentration of paclobutrazol on plant height of winter wheat cultivars. Same letters represent no significant differences using LSD test ($P < 0.05$).

ارتفاع ساقه گندم تأثیر معنی داری گذاشته است (جدول ۳). میزان این تأثیر با کاهش دما از صفر تا ۱۲- درجه سانتی گراد معنی دار نبوده است در صورتی که افت دما به ۱۶- و ۲۰- درجه سانتی گراد، ارتفاع گیاه را به طور معنی داری به ترتیب به میزان ۲۲ و ۵۴ درصد نسبت به شاهد کاهش داد (شکل ۴).

گزارشی مشابه مبنی بر کاهش ارتفاع بوته های برنج (*Oryza sativa*) با کاربرد این مواد شیمیایی وجود دارد (Yim *et al.*, 1996). در گزارش دیگری اعلام شد که ترکیبات تریازول با کاهش بیوسنتز جیبرلین، فاصله میان گره و سطح برگ را کاهش می دهند (Kishorekumar *et al.*, 2007). هم چنین، دماهای یخزدگی در سطح احتمال یک درصد بر



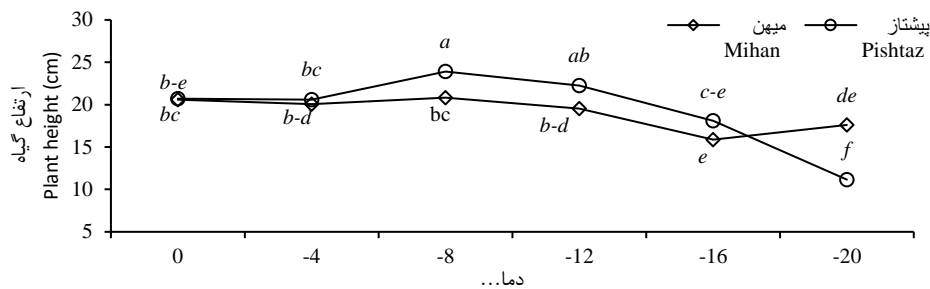
شکل ۴- اثر دماهای یخزدگی بر ارتفاع بوته گندم زمستانه. حروف یکسان بیانگر عدم تفاوت معنی دار در آزمون LSD ($P < 0.05$) است.

Figure 4- The effect of freezing temperatures on plant height of winter wheat cultivar. Same letters represent significant no differences with LSD test ($P < 0.05$).

دماهای ۱۲- و ۱۶- درجه سانتی گراد ارتفاع بوته های رقم پیشستاز به طور معنی داری به ترتیب به میزان ۱۴ و ۳۴ درصد بیشتر از رقم میهن بود (شکل ۵). در سایر پژوهش ها نیز روند کاهش ارتفاع بوته در ارقام گندم هم زمان با کاهش دما رخ داد

برهمکنش تیمار یخزدگی × رقم در سطح احتمال یک درصد بر ارتفاع ساقه اصلی تأثیر معنی داری داشته است (جدول ۳). ارتفاع بوته دو رقم مورد مطالعه در دماهای صفر، ۴- و ۱۶- درجه سانتی گراد در گروه آماری مشابه قرار داشتند. اما در

(Azizi et al., 2007; Nezami et al., 2010)



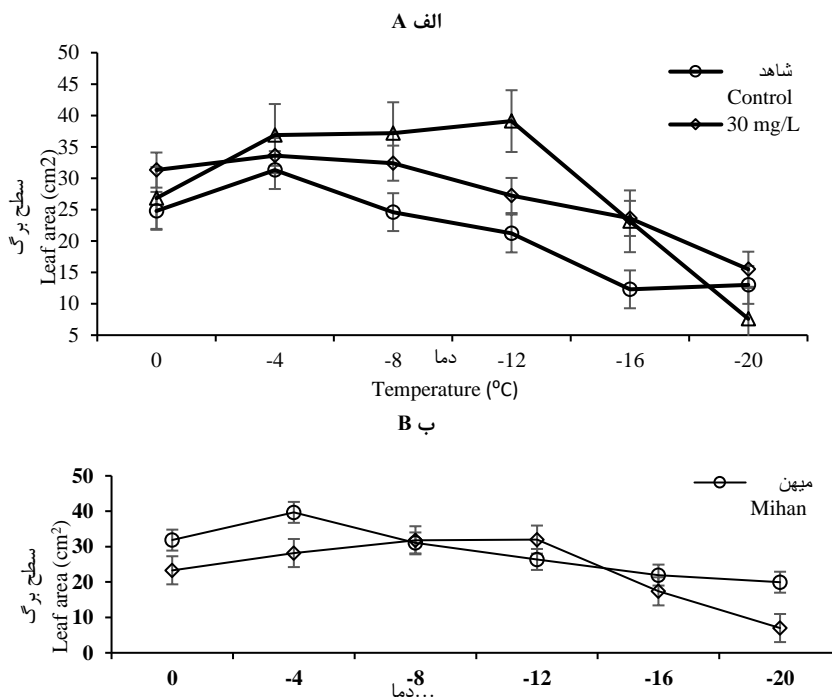
شکل ۵- اثر متقابل دماهای یخزدگی و رقم بر ارتفاع بوته گندم زمستانه

Figure 5- The interaction of freezing temperatures and cultivar on plant height of winter wheat cultivars

سطح برگ

یک درصد تأثیر معنی‌داری گذاشت (جدول ۳). این تأثیر به‌نحوی بود که تنها در دو دمای ۸- و ۱۲- درجه سانتی‌گراد، سطح برگ رقم پیشتاز بیشتر از رقم میهن شد و در سایر سطوح دمایی، رقم میهن از سطح برگ بالاتری در مقایسه با رقم پیشتاز برخوردار بود (شکل ۶ ب). به‌عنوان مثال، در دمای صفر و ۲۰- درجه سانتی‌گراد، سطح برگ رقم میهن به ترتیب بیش از ۲۶ و ۷۹ درصد بیشتر از رقم پیشتاز شده است.

نتایج نشان داد که برهم‌کنش یخزدگی × پاکلوبوترازول بر سطح برگ در سطح احتمال پنج درصد تأثیر معنی‌داری گذاشته است (جدول ۳). کاربرد پاکلوبوترازول در هر دو غلظت ۳۰ و ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر در مقایسه با شاهد موجب افزایش سطح برگ گندم به ترتیب به بیش از هفت و هشت درصد در تمام سطوح دماهای یخزدگی شده است (شکل ۶ الف). برهم‌کنش یخزدگی × رقم نیز بر سطح برگ در سطح احتمال



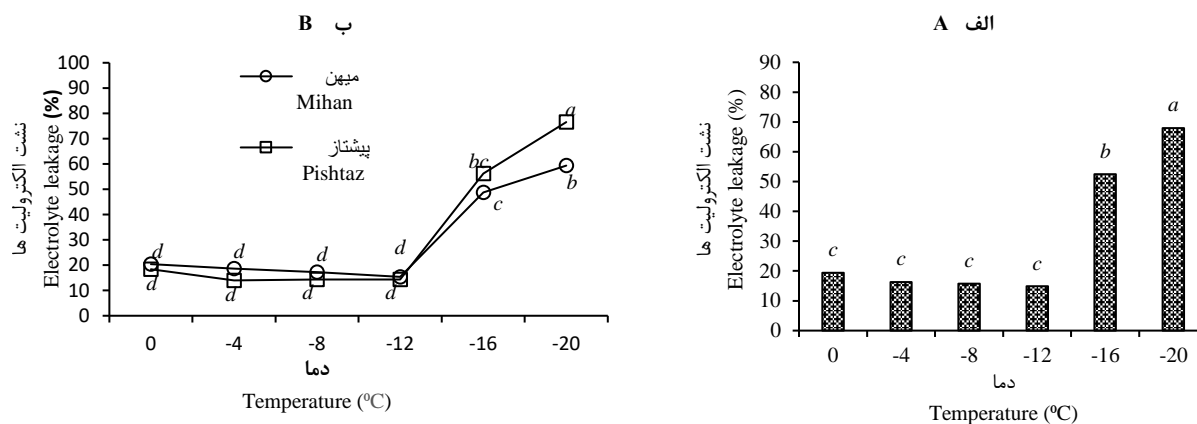
شکل ۶- اثر متقابل دماهای یخزدگی با غلظت‌های مختلف پاکلوبوترازول (الف) بر سطح برگ دو رقم گندم زمستانه (ب)

Figure 6- The interaction of freezing temperature with different paclobutrazol concentrations (A) on leaf area of winter wheat cultivars (B)

نشست الکترولیت‌ها

این تأثیر به نحوی بود که با کاهش دما از صفر تا ۲۰- درجه سانتی‌گراد، افزایش معنی‌داری به میزان ۷۱/۵ درصد از حیث نشست الکترولیت‌های غشا مشاهده شد (شکل ۷ الف).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تنش یخزدگی بر نشست الکترولیت‌های بافت برگ تأثیر معنی‌داری ($P \leq 0.01$) گذاشته است (جدول ۳).



شکل ۷- اثر دماهای یخ‌زدگی بر درصد نشست الکترولیت‌های (الف) دو رقم گندم زمستانه (ب). حروف یکسان بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار در آزمون LSD ($P < 0.05$) است.

Figure 7- The effect of freezing temperature on electrolytes leakage (A) of two wheat cultivars (B). Same letters represent no significant differences with LSD test ($P < 0.05$).

معنی‌داری گذاشته است (جدول ۳). هم‌چنان که در شکل ۷ ب مشاهده می‌شود، با کاهش دما به ۱۶- درجه سانتی‌گراد، درصد نشست الکترولیت‌ها در رقم میهن (۴۹ درصد) کمتر از رقم پیش‌تاز (۵۶ درصد) شد. در نهایت، با کاهش دما به ۲۰- درجه سانتی‌گراد، تفاوت بین دو رقم (۱۷ درصد) موجب اختلاف نشست الکترولیت‌ها در رقم‌های مورد مطالعه شد، اما این اختلاف معنی‌دار نبود (شکل ۷ ب).

آزمایش مزرعه عملکرد دانه

اثر تاریخ کاشت بر عملکرد دانه هر دو رقم گندم معنی‌دار بود (جدول ۴). به این ترتیب که تأخیر در کاشت از ۲۴ مهر به ۲۲ آبان و ۱۴ آذر موجب شد تا عملکرد دانه به ترتیب با ۱۹ و ۳۰ درصد کاهش از ۶۹۷۶ کیلوگرم در هکتار در تاریخ کاشت ۲۴ مهر به ترتیب به ۵۶۸۰ و ۴۹۰۸ کیلوگرم در هکتار طی تاریخ‌های کاشت ۲۲ آبان و ۱۴ آذر برسد (جدول ۵). به عبارت دیگر، در مقایسه با تاریخ کاشت ۲۴ مهر، در منطقه بجنورد تأخیر در کاشت گندم زمستانه به ۲۲ آبان و ۱۴ آذر موجب شد تا عملکرد دانه به ترتیب ۴۶ و ۴۱ کیلوگرم در هکتار به ازای هر روز تأخیر

افزایش میزان نشست الکترولیت‌ها هم‌سو با کاهش دما، در گندم دیم، شبدر (*Trifolium hirtum*) و قرنفل (*Dianthus barbatus*) نیز گزارش شده است (Eugenia et al., 2003; Sio-Se Mardeh et al., 2009; Izadi-Darbandi et al., 2011). نتایج مطالعات پیشین نیز نشان داده‌است که تنش سرما باعث از دست رفتن ساختار یکپارچه غشا و نشست مواد محلول درون سلول می‌شود (Baek and Skinner, 2003; Shahryar and Maali-Amiri, 2016). برخی از محققان اظهار داشته‌اند که غشاء سلولی اولین مکان خسارت در اثر یخ‌زدگی است و این امر منجر به تغییر وضعیت غشاء از حالت کریستال مایع به حالت جامد - ژل می‌شود و با این تغییر فیزیکی، فعالیت غشا مختل و الکترولیت‌های محتوی سلول به بیرون نشست خواهند کرد. بنابراین، از این شاخص می‌توان برای تعیین میزان مقاومت به یخ‌زدگی در گیاهان بهره برد (Baek and Skinner, 2003). نتایج حاکی از عدم تأثیر معنی‌دار کاربرد پاکوبوترازول بر میزان نشست الکترولیت‌ها بود (جدول ۳). این موضوع امکان دارد به دلیل غلظت مورد استفاده از این ماده (۳۰ و ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر) باشد.

اثر متقابل سرما و رقم نیز بر میزان نشست الکترولیت‌ها تأثیر

تفاوت معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد (۵۸۸۴ کیلوگرم در هکتار) نداشت (جدول ۵). یکی از دلایل افزایش مقاومت به سرما با کاربرد تریازول‌ها به افزایش میزان ABA خارجی (Fletcher *et al.*, 2000) که موجب برانگیختن فرآیندهای ژنتیکی مؤثر در خوسرمایی می‌شود، نسبت داده شده است. اثرمتقابل تاریخ کاشت × پاکلوبوترازول بر عملکرد دانه غیر معنی‌دار بود و این مسئله نشان‌دهنده عدم تأثیرگذاری کاربرد این ماده شیمیایی در تاریخ‌های کاشت مورد مطالعه بود. بنابراین کاربرد آن در کاشت‌های زودهنگام و دیرهنگام گندم زمستانه به یک شکل عمل کرده است. عملکرد دانه در ارقام کشت‌شده معنی‌دار بود و این شاخص در رقم میهن (۶۳۸۶ کیلوگرم در هکتار) ۱۷ درصد در مقایسه با رقم پیشتاز (۵۳۲۴ کیلوگرم در هکتار) بیشتر بود (جدول ۵).

کاهش یابد. در یک تحقیق به‌ازای هر روز تأخیر نسبت به تاریخ کاشت مناسب، عملکرد دانه گندم حدود ۳۹ کیلوگرم در هکتار کاهش یافت (Singh and Uttam, 1999). کاهش عملکرد دانه با تأخیر در کاشت در مقایسه با کشت به‌هنگام از جمله تبعاتی است که پژوهش‌گران دیگری نیز به آن اذعان داشتند (Rajput and Verma, 1994). در آزمایشی با مقایسه نحوه واکنش پنج رقم و لاین امیدبخش گندم زمستانه نسبت به هشت تاریخ کاشت در حدفاصل بیستم اکتبر تا سی‌ام دسامبر در پاکستان نشان دادند مناسب‌ترین تاریخ کاشت برای کاشت گندم ۳۰-۲۰ اکتبر بود. طی این تاریخ، بیشترین طول سنبله، وزن هزاردانه، ارتفاع بوته و عملکرد دانه تولید شد (Baloch *et al.*, 2012).
اثر کاربرد پاکلوبوترازول بر عملکرد دانه گندم زمستانه معنی‌دار نبود (جدول ۴). به‌عبارت دیگر، عملکرد دانه در سطوح کاربرد ۳۰ و ۶۰ میلی‌گرم پاکلوبوترازول بر لیتر در شرایط مزرعه

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس تأثیر تاریخ کاشت، پاکلوبوترازول و رقم بر عملکرد دانه، کاه و کلش و عملکرد کل گندم زمستانه در منطقه بجنورد

Table 4- Result of variance analysis of the seed yield, straw yield biological yield of two winter wheat cultivars in three sowing date and paclobutrazol application in Bojnord area

منابع تغییر S. O. V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares		
		عملکرد دانه Seed yield	عملکرد کاه و کلش Straw yield	عملکرد کل Biological yield
تکرار Replication	2	637763.6 ^{ns}	95536472.9 ^{ns}	84971338.7 ^{ns}
تاریخ کاشت Sowing date (A)	2	19646307.6*	317482.7 ^{ns}	23472654.2 ^{ns}
اشتباه کرت اصلی Error A (Ea)	4	1262641.8	69038344.9	76234307.6
پاکلوبوترازول Paclobutrazol (P) (B)	2	40387.6 ^{ns}	799178.7 ^{ns}	1193027.6 ^{ns}
اثرمتقابل تاریخ کاشت و پاکلوبوترازول Interaction A×B	4	908220.4 ^{ns}	78192533. ^{ns}	13663500.4 ^{ns}
اشتباه کرت فرعی Error (Eb)	12	1276933.9	10864912.0	19060347.2
رقم Cultivar (C)	1	15215275.8**	60217344.0**	135970987.8**
اثرمتقابل رقم و تاریخ کاشت Interaction A×C	2	2596104.3 ^{ns}	14104163.6 ^{ns}	28776840.3 ^{ns}
اثرمتقابل رقم و پاکلوبوترازول Interaction B×C	2	576829.6 ^{ns}	9065006.2 ^{ns}	14192911.1 ^{ns}
اثر متقابل A×B×C Interaction A×B×C	4	1070383.4 ^{ns}	9670375.1 ^{ns}	16704438.5 ^{ns}
اشتباه کرت فرعی Total error (Ec)	18	774260.1	6518325.3	10779799.7
ضریب تغییرات Coefficient of variation (CV%)		15.03	20.60	17.99

* و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵ و ۹۹ درصد

ns, * and **: no significant, significant at 95 and 99% levels of probability, respectively

جدول ۵- مقایسه میانگین عملکرد دانه، عملکرد کاه و کلش و عملکرد کل گندم زمستانه در سطوح مورد مطالعه تاریخ کاشت، پاکلوبوترازول و رقم در منطقه بجنورد

Table 5- Mean comparison of seed yield, straw yield biological yield of two winter wheat cultivars in three sowing date and paclobutrazol application

تیمار Treatment	میانگین Average		
	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد کاه و کلش Straw yield (kgha ⁻¹)	عملکرد بیولوژیکی Biological yield
تاریخ کاشت Sowing date			
۲۴ مهر 16 th Oct.	6976.0 ^a	12356.0 ^a	19512.0 ^a
۲۲ آبان 13 th Nov.	5680.9 ^b	12252 ^a	18952.9 ^a
۱۴ آذر 5 th Dec.	49.8.4 ^c	12378.7 ^a	17287.1 ^a
پاکلوبوترازول (P) Paclobutrazol (P)			
شاهد Control	5884.0 ^a	12558.2 ^a	18443.2 ^a
۳۰ میلی گرم بر لیتر 30 mgL ⁻¹	5880.9 ^a	12469.8 ^a	18350.7 ^a
۶۰ میلی گرم بر لیتر 60 mgL ⁻¹	5800.4 ^a	12157.8 ^a	17958.2 ^a
رقم Cultivar			
میهن Mihan	6385.9 ^a	13457.6 ^a	19837.5 ^a
پیشناز Pishtaz	5324.8 ^b	11339.6 ^b	16663.4 ^b

اعدادی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی داری نشان ندادند.

Same letters represent no significant differences using LSD test ($P < 0.05$).

عملکرد کاه و کلش

برخلاف نتایج این آزمایش، گزارش شده که کاربرد پاکلوبوترازول از طریق کاهش لثرات نامطلوب دماهای پایین و بهبود خصوصیات فیزیولوژیکی پس از تنش به افزایش عملکرد گیاهان منجر می شود (Desta and Amare, 2021). بنابراین احتمالاً اثرات این ترکیب تحت تأثیر غلظت کاربرد، گونه گیاهی و سایر شرایط اکوفیزیولوژیکی گیاه متغیر است.

عملکرد کاه و کلش در ارقام مورد بررسی تفاوت معنی داری داشتند (جدول ۴). به طوری که میزان عملکرد در رقم میهن (۱۳۴۵۲ کیلوگرم در هکتار) ۲/۱ تن در هکتار بیش از رقم پیشناز بود (جدول ۵). در این آزمایش، اثر سایر تیمارها بر عملکرد کاه و کلش غیر معنی دار بود.

نتیجه گیری کلی

دماهای یخزدگی در زمستان یکی از عوامل محدودکننده تولید گندم در مناطق معتدله است که می تواند در برخی از سال ها، بقا و رشد و نمو گیاه را تحت تأثیر قرار دهد و عملکرد آن را کاهش دهد. بنابراین تحمل به تنش یخزدگی و عملکرد بالای گندم دو شاخص مهم در تعیین رقم مناسب برای کشت

عملکرد بیولوژیکی

اثر تاریخ کاشت و کاربرد پاکلوبوترازول بر عملکرد کل (زیست توده) گندم غیر معنی دار بود؛ این در حالی است که تفاوت عملکرد کل تحت تأثیر ارقام مورد آزمایش معنی دار بود (جدول ۴). به طوری که عملکرد کل در رقم میهن (۱۹۸۳۸ کیلوگرم در هکتار) ۳/۲ تن در هکتار بیش از رقم پیشناز بود (جدول ۵).

سازگاری بیشتر آن برای کشت در مناطقی با اقلیم مشابه بجنورد است. به طور کلی هرچند با توجه به نتایج این آزمایش تحمل به تنش یخزدگی و عملکرد دانه رقم میهن مناسب بود، اما اجرای آزمایش‌های تکمیلی در خصوص کاربرد ترکیبات کاهنده اثرات نامطلوب تنش یخزدگی و تعیین ظرفیت تحمل به تنش یخزدگی با سایر خصوصیات فیزیولوژیکی ضروری است.

در شرایط اقلیمی یک منطقه محسوب می‌شود. هرچند در آزمایش حاضر اثرات کاربرد پاکلوبوترازول در دو رقم گندم متفاوت بود؛ اما به نظر می‌رسد در دماهای کمتر از ۱۲- درجه سانتی‌گراد رقم میهن پاسخ مناسبی به محلول‌پاشی این ترکیب در بهبود وضعیت رشد و عملکرد گیاه نشان داد. از طرفی عملکرد دانه، عملکرد کاه و کلش و عملکرد کل رقم میهن در مقایسه با رقم پیش‌تاز بالاتر بود که این مسئله نشان‌دهنده

References

- Amoo Aghaei, R. and Shariyat, A.** 2014. The effect of cultivar, cold stress and Paclobutrazol on growth, chlorophyll content and cell membrane injury of bean seedling. *Iranian Plant Biology Journal*, 22(6): 77-90. (In Persian).
- Azizi, H., Nezami, A., Khazaei, H.R. and Nassiri, M.** 2007. Evaluation of cold tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars under field conditions. *Iranian Journal of Field Crop Research*, 5 (1): 107-120. (In Persian).
- Baek, K.H. and Skinner, D.Z.** 2003. Alteration of antioxidant enzyme gene expression during cold acclimation of near-isogenic wheat lines. *Plant Science*, 165(6): 1221-1227.
- Baloch, M.S., Nadim, M.A., Zubair, M., Aean, I.U., Khan, E.A. and Ali, S.** 2012. Evaluation of wheat under normal and late sowing conditions. *Pakistan Journal of Botany*, 44(5): 1727-1732.
- Cruz, R.P., Sperotto, R.A., Cargnelutti, D., Adamski, J.M., Terra, T. and Fett, J.P.** 2013. Avoiding damage and achieving cold tolerance in rice plants. *Food and Energy Security*, 2(2): 96-119.
- Desti, B. and Amare, G.** 2021. Paclobutrazol as a plant growth regulator. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 8(1): 1-15.
- Ding, F., Wang, C., Xu, N., Wang, M. and Zhang, S.** 2021. Jasmonic acid-regulated putrescine biosynthesis attenuates cold-induced oxidative stress in tomato plants. *Scientia Horticulturae*, 288: 110373.
- Eugenia, M., Nunes, S. and Ray Smith, G.** 2003. Electrolyte leakage assay capable of quantifying freezing resistance in rose clover. *Crop Science*, 43(4): 1349-1357.
- Fletcher, R., Gilley, A., Davis, T. and Sankhla, N.** 2000. Triazoles as plant growth regulators and stress protectants. *Horticultural Review*, 24: 55-138.
- Gordeeva, E., Shoeva, O. and Khlestkina, E.** 2013. Cold stress response of wheat genotypes having different Rc alleles. *Cereal Research Communications*, 41(4): 519-526.
- Hassan, M.A., Xiang, C., Farooq, M., Muhammad, N., Yan, Z., Hui, X., Yuanyuan, K., Bruno, A.K., Lele, Z. and Jincai, L.** 2021. Cold stress in wheat: plant acclimation responses and management strategies. *Frontiers in Plant Science*, 12: 1-15.
- Izadi-Darbandi, E., Yousef Sani, M., Nezami, A., Javadmousavi, M., Keykha, F. and Nezami, S.** 2011. Effect of freezing stress on sweet william (*Dianthus barbatus*) under controlled conditions. *Journal of Environmental*

- Stresses in Crop Sciences*, 4(2): 117-125. (In Persian).
- Kamandi, A., Nezami, A., Kafi, M. and Nabati, J.** 2015. The effect of different Paclobutrazol concentrations on freezing effects reduction in two *Kochia scoparia* lots. *Journal of Environmental Stresses in Crop Sciences*, 8(2): 319-334. (In Persian).
- Khalili, A., Hajam, S. and Irannejad, P.** 1991. The comprehensive water country project (climate knowing of Iran- climatic divisions). Ministry of Energy Publication, 274 Pp. (In Persian).
- Kishorekumar, C.A., Jaleel, C.A., Manivannan, P., Sankar, B., Sridharan, R., Somasundaram, R. and Panneerselvam, R.** 2007. Differential effects of hexaconazole and paclobutrazol on the foliage characteristics of Chinese potato (*Solenostemon rotundifolius*). *Acta Biologica Szegediensis*, 50(3-4): 127-129.
- Li, P.F., Ma, B.L., Xiong, Y.C. and Zhang, W.Y.** 2017. Morphological and physiological responses of different wheat genotypes to chilling stress: a cue to explain yield loss. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(12): 4036-4045.
- Lone, J.A., Khan, M.N., Bhat, M.A., Shikari, A.B., Wani, S.H. and Sofi, N.R.** 2018. Cold tolerance at germination and seedling stages of rice: methods of evaluation and characterization of thirty rice genotypes under stress conditions. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(1): 1103-1109.
- Moradi, S., Baninasab, B., Gholami, M. and Ghobadi, C.** 2017. Paclobutrazol application enhances antioxidant enzyme activities in pomegranate plants affected by cold stress. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 92(1): 65-71.
- Murry, G.A., Eser, D., Gusta, L.V. and Eteve, G.** 1988. Winter hardiness in pea, lentil, faba bean and chickpea. In summer field, R.J. (Ed.), *World Crops: Cool Season Food Legumes*. Kluwer Academic Publishers. The Netherlands. pp. 831-843.
- Nezami, A., Soleimani, M.R., Ziaee, M., Ghodsi, M. and Bannayan, M.** 2010. Evaluation of freezing tolerance of hexaploid triticale genotypes under controlled conditions. *Notulae Scientia Biologicae*, 2(2): 114-120.
- Rajput, R.L. and Verma, L.** 1994. Effect of sowing dates on the yield of different varieties of wheat in Chambal Command Area of Madhya Pradesh Bharyiya Krishi Anusandhan Patrika. *Indian Journal of Agronomy*, 9: 165-169
- Roustaii, M.** 2009. Study of cold tolerance and some agronomic traits in bread and durum wheat genotypes in dryland areas. *Seed and Plant*, 25(2): 275-295. (In Persian).
- Rozhon, W., Akter, S., Fernandez, A. and Poppenberger, B.** 2019. Inhibitors of brassinosteroid biosynthesis and signal transduction. *Molecules*, 24(23): 4372.
- Saadati, S., Baninasab, B., Mobli, M. and Gholami, M.** 2021. Foliar application of potassium to improve the freezing tolerance of olive leaves by increasing some osmolyte compounds and antioxidant activity. *Scientia Horticulturae*, 276: 109765.
- Shahryar, N. and Maali-Amiri, R.** 2016. Metabolic acclimation of tetraploid and hexaploid wheats by cold stress-induced carbohydrate accumulation. *Journal of Plant Physiology*, 204(1): 44-53.

- Singh, V.P.N. and Uttam, S.K.** 1999. Influence of sowing dates on yield of wheat cultivars under saline sodic conditions in Central Utter Pradesh. *Indian Agriculture*, 38 (1): 64-68.
- Sio-Se Mardeh, A., Mohammadi, Kh., Roohi, E., Aghaalikhani, M. and Mokhtasi Bidgoli, A.** 2009. Physiological responses of different wheat genotypes to cold stress. *Electronical Journal Crop Production*, 2(4): 93-112. (In Persian).
- Soumya, P.R., Kumar, P. and Pal, M.** 2017. Paclobutrazol: a novel plant growth regulator and multi-stress ameliorant. *Indian Journal of Plant Physiology*, 22(3): 267-278.
- Srivastav, M., Kishor, A., Dahuja, A. and Sharma, R.R.** 2010. Effect of paclobutrazol and salinity on ion leakage, proline content and activities of antioxidant enzymes in mango (*Mangifera indica* L.). *Scientia Horticulturae*, 125(4): 785-788.
- Teutonica, R.A., Palta, J.P. and Osborn, T.C.** 1993. In vitro freezing tolerance in relation to winter survival of rapeseed cultivars. *Crop Science*, 33(1): 103-107.
- Yim, O., Kwon, Y.W. and Bayer, D.E.** 1996. Growth responses and allocation of assimilates of rice seedling by paclobutrazol and gibberellins treatment. *Journal of Plant Growth Regulation*, 16(1): 35-41.
- Zhao, Y., Zhou, M., Xu, K., Li, J., Li, S., Zhang, S. and Yang, X.** 2019. Integrated transcriptomics and metabolomics analyses provide insights into cold stress response in wheat. *The Crop Journal*, 7(6): 857-866.
- Zheng, S., Su, M., Wang, L., Zhang, T., Wang, J., Xie, H., Wu, X., Haq, S.I.U. and Qiu, Q.S.** 2021. Small signaling molecules in plant response to cold stress. *Journal of Plant Physiology*, 266: 153534.

The effect of different levels of paclobutrazol and freezing stress on growth and yield of two wheat cultivars under controlled and field condition

Mohammad Kariman¹, Mohammad Kafi^{2*}, Ahmad Nezami², Saied Sadeghzadeh Hemayati³

¹Ph.D. Student, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

²Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

³Sugar Beet Seed Research Institute, Karaj, Iran

*Corresponding Author: m.kafi@um.ac.ir

Received: 3 January 2022

Accepted: 26 March 2022

DOI: 10.22034/CSRAR.2023.322666.1177

Abstract

Introduction: Wheat (*Triticum aestivum* L.) is the main staple food in many parts of the world, including Iran. This crop is one of the most cold -stress -tolerant crops among domesticated plants. Severe freezing in winter and early spring may influence the growth and survival of wheat plants and decrease their growth and seed yield. The absolute minimum temperature in North Khorasan will reach -20 °C in many years, and if a cold -tolerant cultivar is not chosen or if the wheat field is not hardened properly, then the freezing stress might be injurious. Therefore, each new cultivar that is introduced to the region should first be tested for chilling and freezing stress. This experiment was carried out to explore the freezing tolerance of two wheat cultivars (Mihan and Pishtaz) under controlled and field conditions with spraying paclobutrazol (PBZ) and non-spray.

Material and Methods: Seeds of two wheat cultivars, Mihan and Pishtaz, were sown in plastic pots on September 20 in Bojnord and kept in open space until the third leaf stage in order to grow in the same climatic conditions as they will grow in the future. All plants could receive enough temperature for winter hardening, then they could transfer to Mashhad to apply freezing stress in a controllable freezer. After applying freezing stress, all pots were transferred into the research greenhouse at Ferdowsi University of Mashhad with a light density of $500 \pm 50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ and a light/dark cycle of 14/10. Sampling and measurement were arranged after four weeks of plants growing in the greenhouse. Measured parameters included electrolyte leakage, plant height, green leaf area, plant survival rate, and the number of tillers and leaves per plant. A Field experiment was arranged at the Kohnkand Agricultural research center in Bojnord. Both experiments were conducted as split-split plots based on a completely randomised design with three replications. The main plots in the green house had six freezing temperatures (zero, -4, -8, -12, -16, and -20 °C); the sub-plots were PBZ concentrations (foliar application of zero as a control; 30 and 60 mg L⁻¹); and the sub-sub-plots were wheat cultivars (Mihan and Pishtaz) with three replications. In the field experiment, the main plots were three sowing dates (16th October, 13th November, and 5th December), and the sub-plots and sub-sub-plots were the same as in the controlled experiment. The Data were statistically analysed using the SAS software (SAS version 9.2). The LSD test ($p = 0.05$) was used to determine which treatment is statistically different from the others.

Results and Discussion: The results showed that the Mihan cultivar produced more leaves but a lower tiller per plant compared to pishtazup to -16°C, but at -20°C, the tiller number was also not significant. But when reduced to -20 °C, the electrolyte leakage of the membrane increased significantly by 71.5%. The electrolyte leakage in the Mihan cultivar was significantly lower than that of the Pishtaz cultivar when the freezing temperature was decreased to less than -16 °C. PBZ also caused shorter plants but less leaf loss due to freezing stress in both cultivars. Delay in sowing dates from October 16 to November 13 and December 5 caused a 19% and 31% seed yield reduction in two wheat cultivars, respectively. While the average seed yield of Mihan was 17% higher than that of the pishtaz cultivar, Biological yield also followed the same trend as grain yield. PBZ application

did not show any significant effect on seed yield; this result might be due to ABA production after PBZ spraying, which can negatively affect yield component formation. Based on our results, temperatures below -12 °C are much more injurious than higher temperatures, and the advantage of freezing tolerance in wheat cultivars appears at lower temperatures.

Conclusions: Based on our results, the Mihan cultivar has a higher freezing tolerance capacity, and in temperatures below -12 °C and PBZ applications, this cultivar can alleviate the negative effects of freezing stress. Therefore, introduction and extension of this cultivar in mountain regions and those areas where the risk of freezing stress is high might reduce the risk of freezing damage in the Bojnord area and at the same time produce reliable grain yield.

Keywords: Cold stress, Electrolyte leakage, Morphological characteristics, Triazole