J. Crop Prod. Process. 2025, 15(2), 75-94; DOI: 10.47176/jcpp.15.2.38661

Journal of Crop Production and Processing

Journal homepage: https://jcpp.iut.ac.ir/

Original Article

Evaluation of the Effect of Paclobutrazol Foliar application under Cold Stress Conditions on Amount of Soluble Carbohydrates and Rice Yield cv Hashemi

Pari Tousi[1*], Masoud Esfahani [2] and Maryam Hosseini Chaleshtori [3]

1 and 3. Research Assistant Professor and Research Associate Professor, respectively, Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran.
2. Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Guilan, Iran.

Extended Abstract

Introduction: Rice is a cold-sensitive crop plant, hence, low temperatures reduce its yield. Environmental stresses, especially cold stress, affect the morphological and physiological characteristics of plants and are considered the most significant limiting factors for rice growth and production in areas where this crop is cultivated. The use of growth regulators to promote or restrict plant production has attracted the attention of plant science researchers. Paclobutrazol, commercially known as Bonzi (PBZ), is one of these plant growth regulators and is considered one of the most important and widely used compounds in the triazole group. It acts as an inhibitor of gibberellin synthesis by affecting its biosynthesis pathway and is utilized in various methods to control vegetative growth in plants. Research results have shown that osmotic protectants significantly increase tolerance to low temperature stress in rice and can increase root growth and shoot development by up to 50% under low temperature stress conditions. Low temperatures can affect the developmental stages and photosynthesis of rice, and by reducing the amount of carbohydrates, they may reduce plant growth and, consequently, grain yield. The use of growth regulators to develop or limit plant production is of interest to plant science researchers.

Materials and Methods: Experiment was carried out in a factorial form in a randomized complete block design with 3 replications in the 2023-2024 crop year at the Rice Research Institute of Iran, Rasht, north of Iran. The first factor included the concentration of paclobutrazol at five levels (0, 5, 10, 15, and 20 g/400 L ha equaling to 0, 0.125, 0.25, 0.375 and 0.5%) and the second factor was the date of seeding in the nursery (March 6 and 16, April 4 and 14) with the common nursery method. After seed germination in the nursery, taking notes and reaching the 2-3-leaf stage, foliar application of paclobutrazol at the desired concentrations was carried out in the early hours of the day using appropriate sprayers. The distance between plots and replicates was one meter. The distance between rows was 20 cm, the distance between plants on the same row was 20 cm, and three seedlings were planted at each hole. The traits studied included plant height, main stem diameter, grain yield, fertile tillers/plant, grains/panicle, 1000-grain weight, panicle length, chlorophyll content, soluble carbohydrates concentration, and antioxidant enzymes activity. The Sheligl method was used to measure the amount of soluble carbohydrates.

Received: Jan. 27, 2025; Revised: Apr. 28, 2025; Accepted: Apr. 28, 2025; Published Online: Jun. 16, 2025.

* Corresponding Author: p.tousi@areeo.ac.ir

Journal of Crop Production and Processing

Journal homepage: https://jcpp.iut.ac.ir/

Results and Discussion: The results showed that there was a significant differences between seed sowing times in the nursery, foliar application concentrations, and the interaction effect in terms of all studied traits. The results showed that the highest grain yield (2.896 kg/4m^2), grains/spike (198), 1000-grain weight (32.8 g), fertile tillers/plant (32), plant height (174 cm), stem diameter (7.8 mm), panicle length (39 cm), the amount of soluble carbohydrates (2.89 mg g^{-1} dry weight) and the antioxidative enzymes activity were obtained when seeds sown on March 6 with 0.5% of paclobutrazol. The lowest amount of the studied traits were observed in the control treatment when seeds sown on 6 and 16 March in the nursery. Early nursery preparation in March, combined with the presence of snow and cold, appears to alleviate the effects of low-temperature stress through paclobutrazol spraying. This treatment increases the levels of antioxidant enzymes, reducing the adverse effects of low temperatures. As a result, it promotes seed germination and enhances the seedlings' adaptability to cold conditions. With seed sowing times in the nursery on March compared to April, the production of soluble carbohydrates in the rice plants increased, which is probably due to increased plant growth and height, tillering, and maximum use of environmental conditions, soil, and water during the growth period, and increased photoassimilates production. The highest amount of non-structural carbohydrates was observed upon sowing in the nursery on March 15. The ability to produce carbohydrates by plant green tissues and their accumulation in other organs varied depending on the time of seeding and concentration of foliar-applied paclobutrazol.

Conclusion: According to the results of the present experiment, sowing times in the nursery on March 6 and spraying with 0.5% of paclobutrazol achieved the highest grain yield, yield components, plant height, stem diameter, and soluble carbohydrates content. In fact, paclobutrazol spray treatments improved the effects of low-temperature stress, enhancing seedling vigor. After transplanting to the main field, it increased tillering and plant height, leading to larger stem diameter, carbohydrate reserves, enhanced antioxidant enzyme activity, grain filling and plant resistance to stress, ultimately compensating for the yield losses caused by cold stress.

Keywords: Seeding date, Growth regulators, Cold, Stem diameter.

How to Cite: Tousi P., Esfahani M., Hosseini Chaleshtori M. Evaluation of the Effect of Paclobutrazol Foliar application under Cold Stress Conditions on Amount of Soluble Carbohydrates and Rice Yield cv Hashemi *J. Crop Prod. Process*. 2025, 15(2), 75-94 (*In Persian*). DOI: 10.47176/jcpp.15.2.38661

Copyright © 2025 Isfahan University of Technology, Published by Isfahan University of Technology press. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی، ۱٤۰٤، دوره ۱۵، شماره ۲، صص. ۹٤-۷۵ DOI: 10.47176/jcpp.15.2.38661

نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی
صفحه خانگی نشریه: https://jcpp.iut.ac.ir/

مقاله پژوهشی

اثر محلول‌پاشی پاکلوبوترازول در شرایط تنش سرما بر میزان کربوهیدرات‌های محلول و عملکرد برنج رقم هاشمی

پری طوسی[۱*]، مسعود اصفهانی[۲] و مریم حسینی چالشتری[۳]

چکیده– به‌منظور ارزیابی اثر محلول‌پاشی پاکلوبوترازول بر عملکرد برنج رقم هاشمی در شرایط تنش سرما، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال زراعی ۱٤۰۳-۱٤۰۲ در مؤسسه تحقیقات برنج کشور (رشت) اجرا شد. در این آزمایش فاکتور اول شامل غلظت پاکلوبوترازول در پنج سطح (صفر، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ گرم در ٤۰۰ لیتر آب در هکتار معادل صفر، ۰/۱۲۵، ۰/۲۵، ۰/۳۷۵ و ۰/۵ در هزار) و فاکتور دوم تاریخ بذرپاشی در خزانه (۱۵ و ۲۵ اسفند، ۱۵ و ۲۵ فروردین) با روش خزانه‌گیری رایج بود. محلول‌پاشی پاکلوبوترازول در مراحل پیش از کاشت و دو تا سه برگی صورت گرفت. نتایج نشان داد که بین زمان بذرپاشی در خزانه، غلظت‌های محلول‌پاشی و اثر متقابل زمان بذرپاشی و غلظت محلول‌پاشی از نظر همه صفات مورد بررسی تفاوت معنی‌داری وجود داشت. نتایج آزمایش نشان داد، بیشترین عملکرد دانه (۲/۸۹ کیلوگرم در چهار متر مربع)، تعداد دانه در خوشه (۱۹۸)، وزن هزار دانه (۳۲/۸ گرم)، تعداد پنجه بارور (۳۲)، ارتفاع بوته (۱۷٤ سانتی‌متر)، قطر ساقه (۷/۸ میلی‌متر)، طول خوشه (۳۹ سانتی‌متر)، میزان کربوهیدرات‌های محلول (۲/۸۹ میلی‌گرم برگرم وزن خشک) و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در تیمار بذرپاشی ۱۵ اسفند با محلول‌پاشی ۰/۵ در هزار پاکلوبوترازول به‌دست آمد. کمترین مقدار صفات مورد مطالعه در خزانه ۱۵ و ۲۵ اسفند در تیمار شاهد مشاهده شد. به‌نظر می‌رسد محلول‌پاشی پاکلوبوترازول با افزایش مقاومت گیاه نسبت به سرما در خزانه‌گیری ماه اسفند موجب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد برنج رقم هاشمی میشود.

واژه‌های کلیدی: تاریخ بذرپاشی، تنظیم‌کننده‌های رشد، سرما، قطر ساقه

دریافت مقاله: ۱٤۰۳/۱۱/۰۸، بازنگری: ۱٤۰٤/۰۲/۰۸، پذیرش: ۱٤۰٤/۰۲/۰۸، اولین انتشار: ۱٤۰٤/۰۳/۲٦

۱ و ۳. به‌ترتیب استادیار و دانشیار پژوهشی، مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران.
۲. استاد، گروه زراعت دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، گیلان، ایران.
*: نویسنده مسئول، رایانامه: p.tousi@areeo.ac.ir

حق انتشار این مستند، متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است. ©۱٤۰٤.
این مقاله تحت گواهی زیر منتشر شده و هر نوع استفاده غیرتجاری از آن مشروط بر استناد صحیح به مقاله و با رعایت شرایط مندرج در آدرس زیر مجاز است:
Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

مقدمه

برنج یکی از غلات مهم و با ارزش در جهان است که بعد از گندم منبع اساسی و عمده غذایی بیش از ۵۰ درصد جمعیت جهان را تشکیل می‌دهد (۱۱ و ۱۸). از نظر فیزیولوژی گیاهان زراعی، تغییرات محیطی می‌تواند بر فرآیندهای رشد و نمو گیاهان و در نهایت بر تولید و عملکرد گیاه زراعی مؤثر باشند (۱۹). برنج یک گیاه زراعی حساس به سرما است که دمای پایین باعث کاهش عملکرد آن می‌شود. تنش‌های محیطی به‌ویژه تنش سرما بر ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاهان تاثیر می‌گذارد و مهمترین عامل محدودیت رشد و تولید برنج در مناطق تحت کشت این محصول به حساب می‌آید (۳٤). میزان خسارت ناشی از تنش دمای پایین در برنج معمولاً به مرحله رشد، شدت سرما و طول دورهٔ سرما بستگی دارد (۷). متوسط دمای مطلوب برای جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه‌های برنج بین ۲۰ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد است، تنش دمای پایین در این زمان موجب جوانه‌زنی ضعیف، تأخیر در رشد گیاهچه‌ها و یا مرگ گیاهچه‌ها در خزانه شده و باعث تأخیر نشاکاری در زمین اصلی و غیریکنواختی در رسیدگی محصول می‌شود (۳۱). سلیمانی و شاه‌رجبیان (۲٤) کاهش معنی‌داری در قدرت گیاهچه‌های برنج بر اثر تنش دمای پائین مشاهده کردند. دمای پائین می‌تواند مراحل نموی و فتوسنتز برنج را تحت تأثیر قرار دهد و با کاهش میزان کربوهیدرات‌ها رشد گیاه را کاهش و درنتیجه باعث کاهش عملکرد شود. استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد برای توسعه یا ایجاد محدودیت در تولیدات گیاهی مورد توجه پژوهشگران علوم گیاهی است. پاکلوبوترازول با نام تجاری بونزی (PBZ) یکی از این تنظیم‌کننده‌های رشدی گیاهی و از مهم‌ترین و پرکاربردترین ترکیب‌های گروه تریازول‌ها است و به‌عنوان یک ممانعت‌کننده از سنتز جیبرلین از طریق اثر بر مسیر بیوسنتز آن، به‌منظورکاهش رشد رویشی در گیاهان به روش‌های مختلف استفاده می‌شود. نتایج تحقیقات نشان داده است که محافظت‌کننده‌های اسمزی به‌طور معنی‌داری تحمل نسبت به تنش دمای پائین را در برنج افزایش داده و می‌توانند رشد ریشه و توسعه اندام‌های هوایی را تا ۵۰ درصد در شرایط تنش دمای پائین افزایش دهند (۱۰). تسفهان (۲۷) گزارش کردند مصرف پاکلوبوترازول موجب افزایش تعداد پنجه بارور و خوشه بارور و در برخی موارد میانگین وزن دلنه در مطالعات ارزیابی پتانسیل تولید برنج شده است. استریت و همکاران (۲۵) گزارش کردند که مصرف پاکلوبوترازول در زمان دو هفته پیش از ظهور خوشه برنج و دو هفته پس از خوشه‌دهی موجب کاهش طول میانگره و افزایش اجزای عملکرد برنج شد. اشرف و همکاران (۲) گزارش کردند که افزایش تحمل تنش در غلات را می‌توان با مصرف برخی از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی از جمله پاکلوبوترازول به‌دست آورد. با توجه به تغییرات اقلیمی ملموس در سال‌های اخیر و بروز تنش‌های متعدد به‌ویژه سرما و خشکی در فصل زراعی برنج در این تحقیق در نظر است با هدف ارزیابی مقاومت گیاه در تاریخ‌های متفاوت بذرپاشی تحت تاثیر مصرف پاکلوبوترازول بر صفات زراعی و فیزیولوژیکی برنج (رقم هاشمی) بتوان همگام با پایداری عملکرد برنج، اثرات سوء تغییرات اقلیمی را کاهش و در راستای افزایش عملکرد برنج گام برداشت.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار در سال زراعی ۱٤۰۳-۱٤۰۲ در مؤسسه تحقیقات برنج کشور (رشت) به اجرا گذاشته شد. در این آزمایش فاکتور اول شامل غلظت‌های مختلف تنظیم‌کننده رشد گیاهی پاکلوبوترازول در پنج سطح (صفر، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ گرم در ٤۰۰ لیتر آب در هکتار) به‌ترتیب معادل صفر، ۰/۱۲۵، ۰/۲۵، ۰/۳۷۵ و ۰/۵ در هزار و فاکتور دوم شامل چهار تاریخ بذرپاشی در خزانه (تاریخ‌های ۱۵ و ۲۵ اسفند، ۱۵ و ۲۵ فروردین) با روش خزانه-گیری رایج انجام شد. محلول‌پاشی پاکلوبوترازول در مراحل پیش از کاشت و دو تا سه برگی صورت گرفت. بذور برنج رقم هاشمی قبل از بذرپاشی ٤۸ ساعت در آب خیسانده و سپس به مدت ۲٤ ساعت در غلظت‌های مشخص پاکلوبوترازول قرار داده شد.

جدول ۱. اطلاعات هواشناسی محل اجرای آزمایش در طول دوره رشد برنج رقم هاشمی

ماه	میانگین دمای بیشینه (سانتی‌گراد)	میانگین دمای کمینه (سانتی‌گراد)	مجموع بارندگی (میلی‌متر)	مجموع ساعات آفتابی
از ۲۹-۱۵ اسفند	۱٤/۷	٦/٥	۳۲/٦	۳٥/٦
فروردین	۲۰/۲	۸/۸	۳۱/۷	۱۰۰
اردیبهشت	۲٤/٦	۱۳/۸	۹٤/۱	۱۷۳
خرداد	۲۹/٥	۱۹	۷	۲٥۸
تیر	۳۰/٦	۲۱/۲	۷۳/۷	۲۰۹
از ۱۸-۱ مرداد	۳۰/٦	۲۱/٤	۱۰٤	۹۱/٦

جدول ۲. تقویم زمانی خزانه‌گیری تا برداشت برنج رقم هاشمی در سال زراعی ۱٤۰۳

زمان خزانه‌گیری	زمان نشاکاری	زمان برداشت	میزان روز-درجه رشد (GDD)
۱٥ اسفند	یکم اردیبهشت	۱٤ مرداد	۱٤٥۰
۲٥ اسفند	۸ اردیبهشت	۱٦ مرداد	۱٤۸۰
۱٥ فروردین	۲۲ اردیبهشت	۱۸ مرداد	۱٤۸۰/۱
۲٥ فروردین	یکم خرداد	۱۸ مرداد	۱٤٤۰

پس از جوانه‌زنی بذور در خزانه‌ها و انجام یادداشت‌برداری و رسیدن مرحله دو تا سه برگی محلول‌پاشی پاکلوبوترازول با غلظت‌های مورد نظر در ساعات ابتدای روز (۸ صبح) توسط سمپاش‌های مناسب صورت گرفت. خزانه‌گیری سوم و چهارم در تاریخ ۱٥ و ۲٥ فروردین هم به‌طور منظم صورت گرفت و با سرکشی مداوم از مزرعه و مشاهدات یادداشت‌برداری انجام شد. با توجه به گزارش اداره تحقیقات هواشناسی گیلان (رشت) بارش برف در ماه اسفند ۱٤۰۲ روی داد و شرایط آب و هوایی در دوره خزانه‌گیری، با حداقل دمای روزانه در خزانه تاریخ ۱٥ و ۲٥ اسفند ۱٤۰۲ بین ۱- تا ٦ درجه سانتی‌گراد و حداکثر دما بین ۱٦-۱۰ درجه سانتی‌گراد و در تاریخ‌های ۱٥ و ۲٥ فروردین تا ۳۱ فروردین، حداقل دما، بین ٥-۸ درجه سانتی‌گراد و حدکثر دما ۱۷ درجه سانتی‌گراد بود (جدول ۱).

عملیات آماده‌سازی زمین اصلی در ماه‌های اسفند (شخم اول و دوم)، کانال‌کشی، ماله‌کشی و تسطیح زمین اجرا و نقشه طرح با مشخص نمودن مساحت زمین در کرت‌های پژوهشی به طول سه متر و عرض دو متر انجام گرفت. فاصله بین کرت‌ها و تکرارها یک متر در نظر گرفته شد. فاصله بین ردیف‌ها ۲۰ سانتی‌متر و فاصله بوته روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر و همچنین تعداد سه گیاهچه در هر کپه نشا شد. برای تأمین عناصر غذایی مورد نیاز ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن از منبع اوره (یک سوم پیش از نشاکاری، یک سوم در زمان پیش از حداکثر پنجه‌زنی و یک سوم در مرحله گلدهی) و ۱۳۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم (ازمنبع سولفات پتاسیم به صورت تقسیطی) و ۱٥۰ کیلوگرم در هکتار فسفر (از منبع سوپر فسفات تریپل) در زمان شخم اول در زمین اصلی به خاک افزوده شدند. تاریخ نشاکاری با توجه به زمان بذرپاشی در هر خزانه از اواخر فروردین تا یکم خرداد به طول انجامید (جدول ۲). برای مبارزه با علف‌های هرز از علفکش برنووید (۲ لیتر در هکتار) و برای از بین بردن آفت حلزون در مزرعه از سم تری‌کلروفن به میزان ۲ سی‌سی در یک لیتر آب در ده مترمربع استفاده شد. زمان برداشت اواسط مرداد بسته به زمان

بذرپاشی در خزانه و شرایط رسیدگی به‌صورت دستی انجام شد (جدول ۲).

صفات مورد مطالعه شامل ارتفاع بوته، قطر ساقه اصلی (با استفاده از کولیس)، عملکرد دانه در چهار مترمربع، تعداد پنجه بارور در بوته، تعداد دانه در خوشه، وزن هزار دانه، طول خوشه، میزان کلروفیل و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی بود. جهت سنجش محتوای کلروفیل در برگ پرچم، از مرحله دانه‌بندی تا زمان برداشت به‌طور هفتگی تعداد ۳ بوته به طور تصادفی و با رعایت اثر حاشیه‌ای انتخاب و با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر دستی مدل کلروفیل متر دستی برای هر برگ پرچم در سه نقطه (نوک، وسط و قاعده) در طی ساعت‌های ۱۰ صبح تا ۱۲ ظهر قرائت کلروفیل انجام گرفت. سپس از سه مقدار کلروفیل در هر برگ میانگین‌گیری شد و در نهایت از مجموع میانگین‌ها نیز میانگین‌گیری صورت گرفت. به‌منظور سنجش کربوهیدرات‌های محلول، در هر کرت سه بوته که همزمان وارد مرحله خوشه‌دهی شدند انتخاب و با روبان قرمز علامت‌گذاری شد. نمونه‌برداری در مرحله ۵۰ درصد خوشه‌دهی و رسیدگی فیزیولوژیک انجام شد (۲۳ و ۲۹). جهت سنجش میزان کربوهیدرات‌های محلول از روش اشلیگل (۲۳) استفاده شد. در هنگام نمونه‌برداری ساقه بوته‌های علامت‌گذاری شده در آون با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد تا زمان ثابت ماندن وزن نهایی، توزین و ثبت شدند. سپس نمونه‌ها کاملا ساییده و پودر شدند. مقدار ۰/۱ گرم از نمونه آسیاب شده داخل ارلن ۵۰ میلی‌لیتری قرار داده شد و میزان ۱۵ میلی‌لیتر اتانول ۸۰ درصد که از قبل تا دمای ٤٥ درجه سانتی‌گراد، گرم شده بود به ارلن اضافه و به مدت ۲۰ ثانیه هم زده شد. سپس نمونه‌ها در دستگاه سانتریفیوژ به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شد. فاز مایع جدا شده برای اندازه‌گیری کربوهیدرات محلول مورد استفاده قرار گرفت. به‌منظور حذف رسوبات اضافی و سایر ترکیبات میزان ۵ میلی‌لیتر محلول ۵ درصد سولفات روی و ٤/۷ میلی‌لیتر محلول هیدروکسیدباریم ۰/۳ نرمال کاملا مخلوط شده و به ارلن‌ها اضافه شد (۲۳). به‌منظور سنجش فعالیت آنزیم‌های بافت گیاهی (کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسیددسموتاز)، حدود ۵ گرم نمونه‌های گیاهی تازه از بخش هوایی ۳ بوته گیاه برنج در زمین اصلی یک هفته قبل از برداشت به‌طور تصادفی تهیه شد. جهت سالم ماندن بافت گیاهی هنگام انتقال از مزرعه تا آزمایشگاه، نمونه‌ها به مدت ۵ ثانیه در داخل ازت مایع قرار داده و تا زمان اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌ها در محفظه حاوی یخ خشک جای گرفتند. برای این کار ۰/۵ گرم نمونه بافت گیاه (در خزانه و زمان برداشت) را در هاون چینی سرد، با بافر فسفات ۰/۱ مولار با اسیدیته ٦/۸ هموژن و برای مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. فاز بالایی عصاره برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های کاتالاز مورد استفاده قرار گرفت. برای توقف فعالیت آنزیم، ۱۰ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک ۲ درصد به مخلوط اضافه شد و توسط پرمنگنات پتاسیم ۰/۰۱ نرمال تا تشکیل رنگ صورتی کم رنگ تیتر شد. اندازه‌گیری آنزیم کاتالاز برحسب میکرومول بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه در طول موج ۲٤۰ نانومتر در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه گیلان انجام شد (۵). محاسبات آماری شامل تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار SAS (Version 9.4) و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

عملکرد دانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین زمان بذرپاشی در خزانه، غلظت محلول‌پاشی پاکلوبوترازول و اثر متقابل زمان بذرپاشی و محلول‌پاشی پاکلوبوترازول تفاوت معنی‌داری از نظر صفت عملکرد دانه شلتوک در سطح احتمال یک درصد وجود داشت (جدول ۳). نتایج نشان داد که بیشترین عمکرد دانه (۲/۸۹ کیلوگرم در چهار مترمربع) در تیمار بذرپاشی تاریخ ۱۵ اسفند و محلول‌پاشی ۰/۵ در هزار پاکلوبوترازول و کمترین میزان عملکرد در تیمار شاهد بدون محلول‌پاشی در تاریخ‌های ۱۵ و ۲۵ اسفند، به‌ترتیب با میانگین عملکرد دانه ۰/۸٤ و ۰/۸۸ کیلوگرم در چهار مترمربع به‌دست آمد (جدول ٤). به‌نظر می‌رسد که خزانه‌گیری زودهنگام در اسفند و وجود برف و سرما، با محلول‌پاشی

جدول ۳. تجزیه واریانس صفات گیاهی برنج رقم هاشمی در تیمارهای آزمایشی

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد دانه شلتوک	تعداد دانه در خوشه	وزن هزار دانه	تعداد پنجه بارور	ارتفاع بوته	طول خوشه	قطر ساقه	کربوهیدرات‌های محلول	میزان کلروفیل	آنزیم کاتالاز	آنزیم پراکسیداز	آنزیم سوپراکسیددسموتاز
تکرار	۲	۰/۰۷ns	۱۱۴۰**	۲/۵ ns	۲۵/۳**	۲۰۶/۱**	۳۵/۹**	۲**	۲/۱**	۰/۳ns	۱۴۵**	۴/۸۱ns	۰/۲ns
زمان بذرپاشی در خزانه	۳	۱/۲**	۱۶۸۸**	۷۹/۸**	۲۲۹**	۹۸۳۶**	۸۹۴**	۱۳/۴**	۴/۵**	۳۳/۷**	۹۴۹**	۶۱۲**	۱۶۹۹**
پاکلوبوترازول	۴	۲/۷**	۲۸۰۸**	۶۵/۱**	۲۸۶**	۱۲۱۶**	۲۸۲**	۳/۷**	۳/۶**	۹۶/۷**	۱۰۰۶**	۳۱۱۳**	۳۱۷۹**
زمان خزانه‌گیری×محلول‌پاشی	۱۲	۰/۱**	۴۱/۶*	۳/۸*	۴/۴*	۱۲۱**	۸/۶**	۰/۱**	۰/۲**	۱/۷ns	۳۳/۳**	۳۹/۴**	۵۹/۳**
خطای آزمایشی	۳۸	۰/۴	۱۷/۸	۲	۲	۱۳/۷	۰/۷	۰/۰۲	۰/۰۱	۱/۶	۳/۱	۱/۱	۱/۸
ضریب تغییرات(درصد)	–	۱۱/۹	۲/۷	۵/۵	۶/۳	۲/۶	۳/۳	۲/۴	۹/۸	۴/۲	۳/۷	۲	۱/۹

ns: غیر معنی‌دار و * و **: معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

جدول ٤. مقایسه میانگین اثر متقابل زمان بذرپاشی در خزانه و محلول‌پاشی پاکلوبوترازول در صفات گیاهی برنج رقم هاشمی

محلول‌پاشی پاکلوبوترازول	محلول‌پاشی پاکلوبوترازول (گرم در ٤٠٠ لیتر در هکتار)	عملکرد دانه شلتوک (کیلوگرم در چهار متر مربع)	تعداد دانه در خوشه	وزن هزار دانه (گرم)	تعداد پنجه بارور	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	طول خوشه (سانتی‌متر)	قطر ساقه (میلی‌متر)
١٥ اسفند	شاهد (صفر)	٠/٨٤^{f}	٩٠^{m}	٢٣/٩^{efg}	٨^{g}	٩٢^{i}	٢٣/١^{h}	٣/٠٥^{f}
١٥ اسفند	٥ گرم (٠/١٢٥ در هزار)	١/٩٩^{bcd}	١٦٨^{ef}	٢٨/٧^{abcd}	٢٠^{d}	١٦٢^{bc}	٣٠/١^{d}	٦/٥٧^{bc}
١٥ اسفند	١٠ گرم (٠/٢٥ در هزار)	٢/١٠^{bc}	١٧٧^{cde}	٢٩/٣^{ab}	٢٤^{c}	١٦٤^{bc}	٣٠^{d}	٦/٥٧^{bc}
١٥ اسفند	١٥ گرم (٠/٣٧٥ در هزار)	٢/٤٩^{ab}	١٨٣^{b}	٣٠/٢^{ab}	٢٧^{b}	١٦٨^{b}	٣٥^{b}	٧/٣^{ab}
١٥ اسفند	٢٠ گرم (٠/٥ در هزار)	٢/٨٩^{a}	١٩٨^{a}	٣٢/٨^{a}	٣٢^{a}	١٧٤^{a}	٣٩^{a}	٧/٨^{a}
٢٥ اسفند	شاهد (صفر)	٠/٨٨^{f}	٩٤^{m}	٢٤/٣^{defg}	١٠^{g}	٩٥^{i}	٢٥^{g}	٣/١١^{f}
٢٥ اسفند	٥ گرم (٠/١٢٥ در هزار)	١/٧٨^{cde}	١٤٨^{gh}	٢٤/٨^{cdefg}	١٥^{f}	١٥٤^{de}	٢٨^{e}	٦/٢١^{bc}
٢٥ اسفند	١٠ گرم (٠/٢٥ در هزار)	١/٩٠^{bcde}	١٦٣^{ef}	٢٧/٢^{bcdef}	١٩^{e}	١٥٧^{d}	٣٠^{d}	٦/٢٠^{bc}
٢٥ اسفند	١٥ گرم (٠/٣٧٥ در هزار)	٢/٠٤^{bc}	١٧١^{de}	٢٨/٥^{abcde}	٢١^{d}	١٦٠^{c}	٣٠^{d}	٦/٥١^{bc}
٢٥ اسفند	٢٠ گرم (٠/٥ در هزار)	٢/١٦^{bc}	١٧٩^{c}	٢٩/١^{abc}	٢٣^{c}	١٦٥^{bc}	٣٢^{c}	٦/٦١^{bc}
١٥ فروردین	شاهد (صفر)	٠/٩٣^{f}	١٠٥ ^{kl}	٢٢/١٠^{g}	٩^{g}	٩٧/٦^{i}	٢٤/٤^{g}	٣/١٩^{f}
١٥ فروردین	٥ گرم (٠/١٢٥ در هزار)	١/٦٢^{cde}	١٢٥^{ij}	٢٣/١^{fg}	١٣^{f}	١١٨^{h}	٢٦/٤^{f}	٥/٦١^{d}
١٥ فروردین	١٠ گرم (٠/٢٥ در هزار)	١/٦٧^{cde}	١٤٧ ^{gh}	٢٣/٩^{efg}	١٥^{f}	١٢٨^{g}	٢٦/٧^{f}	٥/٢٧^{d}
١٥ فروردین	١٥ گرم (٠/٣٧٥ در هزار)	١/٧٢^{cde}	١٦٤^{ef}	٢٤/٣^{defg}	١٥^{f}	١٣٣^{ef}	٢٧^{f}	٥/٩٣^{d}
١٥ فروردین	٢٠ گرم (٠/٥ در هزار)	١/٨٤^{cde}	١٧١ ^{de}	٢٧/٩^{bcde}	١٨^{e}	١٣٧^{e}	٢٨/٢^{e}	٦/٠٩^{c}
٢٥ فروردین	شاهد (صفر)	٠/٩٧^{f}	٩٠^{m}	٢٢/١^{g}	١٠^{g}	٩٨/٦^{i}	٢٥/٤^{g}	٣/٢٧^{f}
٢٥ فروردین	٥ گرم (٠/١٢٥ در هزار)	١/٣١^{ef}	١٠٥ ^{kl}	٢٢/١^{g}	١٣^{f}	١١٧^{h}	٢٦/٥^{f}	٤/٥٩^{e}
٢٥ فروردین	١٠ گرم (٠/٢٥ در هزار)	١/٣٨^{def}	١١٥ ^{jk}	٢٣/٤^{fg}	١٤^{f}	١٢٢^{gh}	٢٧^{f}	٤/٧٩^{e}
٢٥ فروردین	١٥ گرم (٠/٣٧٥ در هزار)	١/٦٦^{cde}	١٢٥^{ij}	٢٥/٥^{cdef}	١٤^{f}	١٢٥^{g}	٢٧^{f}	٤/٤١^{e}
٢٥ فروردین	٢٠ گرم (٠/٥ در هزار)	١/٧٠^{cde}	١٤٠^{h}	٢٧/٤^{bcde}	١٨^{e}	١٢٧^{g}	٢٩/٢^{e}	٥/١٣^{d}

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، براساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

پاکلوبوترازول اثر تنش دمای پایین با افزایش سطح آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی بهبود بخشیده و اثرات سوء دمای پایین کاهش یافته و از این طریق باعث سبز شدن بذور، افزایش سازگاری گیاهچه به سرما می‌شوند (۲۱). محلول‌پاشی پاکلوبوترازول با ممانعت از تشکیل اسید کائورونیک و درنهایت کاهش سنتز اسید جیبرلیک، بهبود تولید اسید آبسیزیک و کارتنوئیدها و همچنین کاهش سنتز متیل استرول‌ها، سبب محافظت گیاه از تنش سرما و سازگاری به آن می‌شوند (۱، ۸ و ۲۲). همچنین پاکلوبوترازول در ضخیم شدن بافت برگ، تغییر ساختار ریشه و افزایش نسبت ریشه به اندام هوایی، بزرگ شدن حجم و اندازه کلروپلاست‌ها، توسعه سیستم ریشه‌ای، افزایش قطر ساقه با افزایش میزان کربوهیدرات‌های غیرساختاری باعث افزایش عملکرد می‌شود (۸ و ۲٦). نتایج تحقیقات نشان داده است که محافظت‌کننده‌های اسمزی به‌طور معنی‌داری تحمل به تنش دمای پائین را در برنج افزایش داده و می‌توانند رشد ریشه و توسعه اندام‌های هوایی را تا ۵۰ درصد در شرایط تنش دمای پائین افزایش دهند (۱۰). چگینی و همکاران (۷) در بررسی اثر پاکلوبوترازول بر صفات مورفولوژیک گیاهچه برنج تحت تنش سرما گزارش کردند که محلول‌پاشی ۵۰ میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول در تمام سطوح تنش سرما، محدودیت گسترش سطح برگ را به دنبال داشته و باعث کاهش معنی‌دار سطح برگ شد که در نهایت منجر به کاهش حساسیت گیاه به تنش سرما شد. نتایج تحقیق جی و همکاران (۹) در بررسی اثر خیساندن بذر با غلظت‌های متفاوت پاکلوبوترازول (۰، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بر عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک برنج نشان داد که خیساندن بذر با پاکلوبوترازول در غلظت‌های متوسط (۱۵۰-۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) باعث افزایش عملکرد دانه، افزایش تولید زیست‌توده، بهبود جوانه‌زنی، کیفیت جوانه‌ها و میزان فتوسنتز خالص شد. نتایج تحقیقات تسفهان و منزیر (۲۸) اثرات مثبت مصرف پاکلوبوترازول بر اجزای عملکرد برنج مانند پنجه بارور، خوشه بارور و در برخی موارد میانگین وزن دانه در مطالعات ارزیابی پتانسیل تولید برنج نشان داده شده است. همچنین گزارش شد، افزایش تعداد پنجه بارور اجزای مهمی بود که به‌طور قابل‌توجهی با افزایش عملکرد دانه در پاسخ به مصرف پاکلوبوترازول مرتبط هستند (۲۷). نتایج تحقیقات اوسومی و همکاران (۲۰) در بررسی پاسخ‌های اقلیمی زیست‌توده و عملکرد دانه در ارقام برنج نشان داد که تأخیر در زمان نشاکاری (اواخر فصل بهار و اوایل تابستان) نسبت به نشاکاری زودهنگام (اوایل فصل بهار) و نشاکاری معمول (شرایط جوی بهینه برای رشد) موجب کاهش عملکرد دانه شد و ارقامی با دوره رشد طولانی‌تر از میزان عملکرد دانه بیشتری برخوردار بودند. با نشاکاری در انتهای فصل بهار، به‌دلیل وجود دمای بالا در مراحل پر شدن دانه باعث افزایش تنفس و کاهش فتوسنتز می‌شود و در نهایت به نقصان باروری خوشه‌چه و عملکرد دانه منجر خواهد شد (۲۰). به‌نظر می‌رسد تاریخ بذرپاشی ۱۵ اسفند در تیمار شاهد به‌دلیل سرما و تنش دمای پایین با توقف جریان سیتوپلاسمی، کاهش فعالیت فتوسنتزی و فراهم نبودن فسفات‌های سرشار از انرژی، در نهایت منجر به کاهش رشد گیاهچه و کاهش ظرفیت بیوسنتزی گیاهچه برنج شده و پس از انتقال به زمین اصلی نیز به‌دلیل ضعیف بودن گیاهچه، با تأثیر بر فعالیت‌های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و آسیب بافت‌ها و سلول‌ها (سیاه شدن گیاهچه آثار سرمازدگی) سبب کاهش اختلال در تولید کلروفیل و کلروپلاست و در نهایت فتوسنتز گیاه کاهش می‌یابد و این نتایج با تحقیقات اشرف و همکاران (۲) و سلیمانی و شاه‌رجبیان (۲٤) مطابقت داشت. میزان خسارت ناشی از تنش دمای پایین در برنج معمولاً به مرحله رشد، شدت سرما و طول دورهٔ سرما بستگی دارد (۷). سلیمانی وشاه‌رجبیان (۲٤) نیز کاهش معنی‌داری در قدرت گیاهچه‌های تعدادی از ارقام برنج بر اثر تنش دمای پائین مشاهده کردند. دمای پائین می‌تواند مراحل نموی و فتوسنتز برنج را تحت تأثیر قرار دهد و با کاهش میزان کربوهیدرات‌ها رشد گیاه را کاهش و درنتیجه به‌طور غیر مستقیم باعث کاهش عملکرد شود. لی (۱۵) اعلام کرد در مرحله رویشی برنج، دمای کمتر از ۱۵ درجه سانتی‌گراد ارتفاع گیاه، پنجه‌زنی، رشد ریشه و وزن خشک گیاه برنج را کاهش می‌دهد. نتایج نشان داد که عملکرد شلتوک با صفات تعداد دانه در

جدول ۵. ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه برنج رقم هاشمی

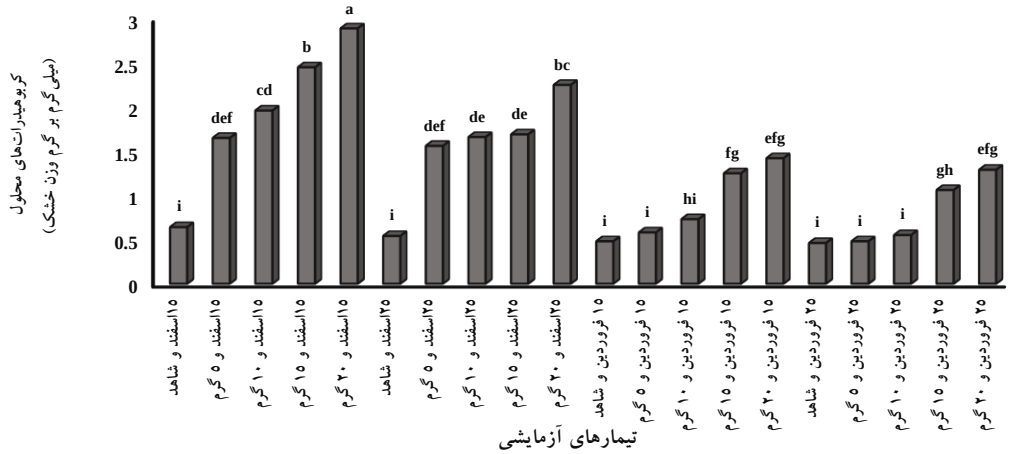
صفات	آنزیم پراکسیداز	آنزیم سوپراکسیددسموتاز	آنزیم کاتالاز	میزان کلروفیل	کربوهیدرات‌های محلول	قطر ساقه	طول خوشه	ارتفاع بوته	تعداد پنجه بارور	وزن هزار دانه	تعداد دانه در خوشه	عملکرد دانه
عملکرد دانه	۰/۷۸**	۰/۸۶**	۰/۹۰**	۰/۸۲**	۰/۷۸**	۰/۸۵**	۰/۸۹**	۰/۸۸**	۰/۸۹**	۰/۷۵**	۰/۸۹**	۱
تعداد دانه در خوشه	۰/۸۱**	۰/۸۸**	۰/۹۱**	۰/۸۶**	۰/۷۷**	۰/۸۶**	۰/۸۹**	۰/۸۹**	۰/۸۵**	۰/۷۵**	۱	
وزن هزار دانه	۰/۸۵**	۰/۷۸**	۰/۸٤**	۰/۷۵**	۰/۸۱**	۰/٦٦**	۰/۷۵**	۰/۷۳**	۰/۸۱**	۱		
تعداد پنجه بارور	۰/۸۱**	۰/۸٤**	۰/۹۳**	۰/۷۹**	۰/۷۷**	۰/۸۱**	۰/۹۰**	۰/۸٤**	۱			
ارتفاع بوته	۰/۷۵**	۰/۸٤**	۰/۸۷**	۰/۸۰**	۰/۸۱**	۰/۸٤**	۰/۹۱**	۱				
طول خوشه	۰/۸۰**	۰/۸٦**	۰/۹۲**	۰/۷۷**	۰/۷۷**	۰/۸۵**	۱					
قطر ساقه	۰/۷۳**	۰/۸۰**	۰/۸٦**	۰/۷۹**	۰/۷٤**	۱						
کربوهیدرات‌های محلول	۰/۸۱**	۰/۸۰**	۰/۸۳**	۰/۷۷**	۱							
میزان کلروفیل	۰/۸۵**	۰/۸۹**	۰/۸٤**	۱								
آنزیم کاتالاز	۰/۸۸**	۰/۸۹**	۱									
آنزیم سوپراکسیددسموتاز	۰/۹۱**	۱										
آنزیم پراکسیداز	۱											

ns: غیر معنی‌دار و * و **: معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

خوشه (r^2=۰/۸۹**)، وزن هزار دانه (r^2=۰/۷۵**)، تعداد پنجه بارور (r^2=۰/۸۹**)، ارتفاع بوته (r^2=۰/۸۵**)، طول خوشه (r^2=۰/۸۹**)، قطر ساقه (r^2=۰/۸۵**)، کربوهیدرات‌های محلول (r^2=۰/۷۸**)، میزان کلروفیل (r^2=۰/۸۲**)، میزان فعالیت آنزیم کاتالاز (r^2=۰/۹۰**)، سوپراکسید دسموتاز (r^2=۰/۸٦**) و پراکسیداز (r^2=۰/۷۸**) همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت (جدول ۵). با توجه به همبستگی مثبت و معنی‌دار عملکرد دانه شلتوک با صفات مورد مطالعه به‌نظر می‌رسد که با افزایش طول خوشه، تعداد دانه در خوشه، وزن هزار دانه، تعداد پنجه بارور، ارتفاع بوته و قطر ساقه عملکرد دانه نیز افزایش می‌یابد. براساس نتایج آزمایش حاضر به‌نظر می‌رسد که محلول‌پاشی پاکلوبوترازول با غلظت ۰/۵ در هزار در شرایط دمای پایین در اسفند اثر تنش دمای پایین را بهبود می‌بخشد و باعث افزایش قدرت گیاهچه و پس از انتقال به زمین اصلی، با افزایش ارتفاع، قطر ساقه و انتقال مواد غذایی موجب افزایش عملکرد می‌شود.

قطر ساقه

نتایج نشان داد که بین زمان بذرپاشی در خزانه، غلظت محلول‌پاشی پاکلوبوترازول و اثر متقابل زمان بذرپاشی و محلول‌پاشی پاکلوبوترازول تفاوت معنی‌داری از نظر صفت قطر ساقه در سطح احتمال یک درصد وجود داشت (جدول ۳). نتایج نشان داد که خزانه ۱۵ اسفند با محلول‌پاشی ۰/۵ و ۰/۳۷۵ در هزار



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر متقابل زمان بذرپاشی در خزانه و محلول‌پاشی پاکلوبوترازول در صفت میزان کربوهیدرات‌های محلول

میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، براساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

به ترتیب با میانگین‌های ۷/۸ و ۷/۳ میلی‌متر قطر ساقه بیشتری نسبت به سایر تیمارها داشتند. همچنین کمترین قطر ساقه در تیمار شاهد در خزانه ۱۵ اسفند با میانگین ۳/۰۵ میلی‌متر به‌دست آمد (جدول ٤). ساپیوترا و همکاران (٢٦) گزارش کردند مصرف پاکلوبوترازول موجب افزایش قطر ساقه، تعداد برگ و تغییر ساختار ریشه گیاه می‌شود که به‌طور مستقیم باعث افزایش میزان عملکرد دانه و به‌صورت غیرمستقیم باعث کاهش خوابیدگی بوته و افزایش نسبت ریشه به اندام هوایی می‌شود. به‌نظر می‌رسد که در دو تاریخ بذرپاشی خزانه اسفند نسبت به دو خزانه در فروردین، گیاه با تنش سرمای بیشتری مواجه بوده است و با توجه به اثرات مثبت محلول‌پاشی پاکلوبوترازول به‌دلایل فیزیولوژیکی منجر به افزایش سبز شدن بذور، قدرت گیاهچه و توسعه پنجه‌زنی گیاه پس از انتقال نشا، انتقال بیشتر کربوهیدرات غیر ساختاری به ساقه و هدایت بیشتر کربوهیدرات‌های محلول، مواد غذایی و انرژی به سمت مولکول‌های نگهداری‌کننده گیاه در برابر تنش و در نهایت منجر به افزایش قطر ساقه شد که با نتایج تحقیقات خالد (۱۳) مطابقت داشت. نتایج نشان داد که صفت قطر ساقه با صفات عملکرد دانه (r^2=۰/۸۵**)، تعداد دانه (r^2=۰/۸٦**)، وزن هزار دانه (r^2=۰/٦٦**)، تعداد پنجه بارور (r^2=۰/۸۱**)، ارتفاع بوته (r^2=۰/۸٤**)، طول خوشه (r^2=۰/۸۵**)، کربوهیدرات‌های محلول (r^2=۰/۷٤**)، میزان کلروفیل (r^2=۰/۷۹**)، میزان فعالیت آنزیم کاتالاز (r^2=۰/۸٦**)، سوپراکسید دسموتاز (r^2=۰/۸۰**) و پراکسیداز (r^2=۰/۷۳**) همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت (جدول ۵). با توجه به همبستگی مثبت و معنی‌دار قطر ساقه با عملکرد دانه، با افزایش قطر ساقه انتقال کربوهیدرات‌های محلول به سمت مخزن و پرشدن دانه افزایش می‌یابد که عامل مهمی در افزایش اجزای عملکرد و عملکرد دانه برنج است.

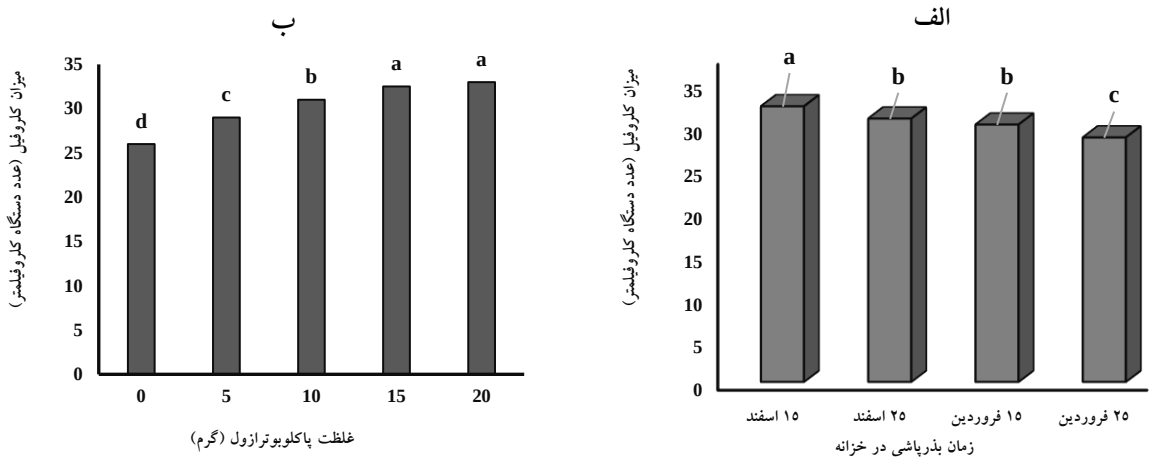
میزان کربوهیدرات‌های محلول

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین زمان بذرپاشی در خزانه، غلظت محلول‌پاشی پاکلوبوترازول و اثر متقابل زمان بذرپاشی و محلول‌پاشی پاکلوبوترازول تفاوت معنی‌داری از نظر میزان کربوهیدرات‌های محلول وجود داشت (جدول ۳). نتایج نشان داد که تیمار بذرپاشی در تاریخ ۱۵ اسفند و محلول‌پاشی ۰/۵ در هزار پاکلوبوترازول با میانگین ۲/۸۹ میلی‌گرم برگرم وزن خشک بیشترین میزان کربوهیدرات‌های محلول را به خود اختصاص داد و کمترین میزان کربوهیدرات‌های محلول در تیمارهای شاهد در هر چهار تاریخ بذرپاشی مشاهده شد (شکل ۱).

با خزانه‌گیری برنج در اسفند نسبت به فروردین، تولید کربوهیدرات‌های محلول افزایش یافت که علت آن احتمالاً به افزایش رشد و ارتفاع گیاه، توسعه پنجه‌زنی و استفاده حداکثری در طول دوره رویش از شرایط محیطی و خاک و آب و افزایش ساخت کربوهیدرات‌ها است. بیشترین میزان کربوهیدرات‌های غیرساختاری در زمان بذرپاشی خزانه ۱۵ اسفند مشاهده شد. توانایی تولید کربوهیدرات به وسیله بافت‌های سبز گیاهی و تجمع آنها در سایر اندام‌ها، بسته به زمان خزانه‌گیری و محلول‌پاشی پاکلوبوترازول متفاوت بود. جی و همکاران (۹) گزارش کردند که استفاده از غلظت مناسب پاکلوبوترازول (۱۰۰–۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر) به‌عنوان یک روش مؤثر برای افزایش میزان کربوهیدرات‌ها، عملکرد برنج، انباشت ماده خشک، تولید زیست‌توده بود. با توجه به همبستگی مثبت و معنی‌دار بین کربوهیدرات‌های محلول انتقال یافته و عملکرد دانه می‌توان نتیجه گرفت تیمارهای محلول‌پاشی پاکلوبوترازول موجب افزایش ذخایر کربوهیدرات شده است و نقصان عملکرد ناشی از تنش سرما را جبران نموده است. در نشای حاصل از خزانه فروردین به دلیل رشد رویشی کمتر، پنجه‌زنی کمتر، دریافت دمای بالا در دوره کوتاه رشد و وارد شدن سریع به فاز زایشی نسبت به خزانه اسفند باعث تولید ناکافی کربوهیدرات‌های محلول شده است که نهایتا منجر به کاهش ذخایر منبع برای اختصاص به پر شدن دانه شده است. وحدتی و همکاران (۲۹) گزارش کردند که با تأخیر در نشاکاری برنج (۱۵ خرداد) نسبت به اوایل اردیبهشت به‌علت بالارفتن دمای میانگین هوا شرایط نامساعدی برای پرشدن دانه ایجاد شده است که منجر به کاهش فتوسنتز جاری و کربوهیدرات‌های محلول می‌شود و درنتیجه باعث کاهش عملکرد دانه شد. لیموچی و همکاران (۱٦) در بررسی تاریخ مختلف کاشت (خرداد تا تیر) بر ده رقم برنج، کاهش طول دوره رشد ارقام به جهت کاهش انتقال کربوهیدرات‌های غیرساختمانی به مخزن اصلی (دانه) را از عوامل مؤثر در کاهش عملکرد عنوان نمود. نتایج نشان داد که میزان کربوهیدرات‌های محلول با صفات عملکرد دانه (r^2=۰/۷۸**)، تعداد دانه در خوشه (r^2=۰/۷۷**)، وزن هزار دانه (r^2=۰/۸۱**)، تعداد پنجه بارور (r^2=۰/۷۷**)، ارتفاع بوته (r^2=۰/۸۱**)، طول خوشه (r^2=۰/۷۷**)، قطر ساقه (r^2=۰/۷٤**)، میزان کلروفیل (r^2=۰/۷۷**)، میزان فعالیت آنزیم کاتالاز (r^2=۰/۸۳**)، سوپراکسید دسموتاز (r^2=۰/۸۰**) و پراکسیداز (r^2=۰/۸۱**) همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت (جدول ۵).

محتوای کلروفیل

نتایج نشان داد که بین زمان بذرپاشی در خزانه و غلظت محلول‌پاشی پاکلوبوترازول تفاوت معنی‌داری از نظر نسبت کلروفیل دستگاه کلروفیل‌متر در سطح احتمال یک درصد وجود داشت اما اثر متقابل زمان بذرپاشی و محلول‌پاشی پاکلوبوترازول معنی‌دار نشد (جدول ۳). مقایسه میانگین بین زمان بذرپاشی در خزانه خزانه نشان داد که خزانه ۱۵ اسفند با میانگین ۳۲/۱ نسبت به سایر زمانها بیشترین نسبت کلروفیل را داشت (شکل ۲ الف). همچنین محلول‌پاشی ۰/۵ و ۰/۳۷۵ در هزار به‌ترتیب با میانگین‌های ۳۳ و ۳۲/۵ نسبت کلروفیل بیشتری نسبت به سایر غلظت‌های محلول‌پاشی داشتند (شکل ۲ ب). محتوای کلروفیل پارامتری است که تحت تأثیر شرایط متفاوت محیطی و تغذیه‌ای قرار می‌گیرد. به‌نظر می‌رسد با محلول‌پاشی پاکلوبوترازول در غلظت‌های بیشتر، مواد مورد نیاز مقصد از طریق افزایش فعالیت فتوسنتزی برگ‌های باقی‌مانده از برگ‌ها به دانه‌ها فراهم می‌شود و با افزایش سطح فتوسنتزی، میزان فتوسنتز جاری و فعال‌سازی برخی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در مسیر نگهداری از تخریب کلروفیل موجب افزایش نسبت کلروفیل شد که این مطلب با نتایج تحقیقات تسفهان (۲۷) و سایپوترا و همکاران (۲٦) و دستا و امارو (۸) مطابقت داشت. همچنین به‌نظر می‌رسد که زمان بذرپاشی ۱۵ اسفند به واسطه تأمین زمان مناسب برای افزایش رشد سبزینه‌ای، محتوای کلروفیل و زایشی، اندام‌های زایشی بیشتری ساخته شده و سهم دریافتی مواد پرورده آن‌ها نیز بالا می‌رود. جی و همکاران (۹) گزارش کردند که استفاده از غلظت مناسب پاکلوبوترازول (۱۰۰–۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر) به‌عنوان یک روش مؤثر برای افزایش



شکل ۲. الف: مقایسه میانگین زمان بذرپاشی در خزانه در صفت میزان کربوهیدرات‌های محلول شکل ۲- ب: مقایسه میانگین محلول‌پاشی پاکلوبوترازول در صفت میزان کربوهیدرات‌های محلول

میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، براساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

سبزینگی گیاه، میزان کربوهیدرات‌ها، عملکرد برنج، انباشت ماده خشک و تولید زیست‌توده می‌باشد. نتایج نشان داد که نسبت کلروفیل با صفات عملکرد دانه (r^2=۰/۸۲**)، تعداد دانه در خوشه (r^2=۰/۸٦**)، وزن هزار دانه (r^2=۰/۷۵**)، تعداد پنجه بارور (r^2=۰/۷۹**)، ارتفاع بوته (r^2=۰/۸۰**)، طول خوشه (r^2=۰/۷۷**)، قطر ساقه (r^2=۰/۷۹**)، میزان کربوهیدرات‌های محلول (r^2=۰/۷۷**)، میزان فعالیت آنزیم کاتالاز (r^2=۰/۸٤**)، سوپراکسید دسموتاز (r^2=۰/۸۹**) و پراکسیداز (r^2=۰/۸۵**) همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت (جدول ۵).

اجزای عملکرد

نتایج نشان داد که بین زمان بذرپاشی در خزانه و غلظت محلول‌پاشی پاکلوبوترازول تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد از نظر صفت تعداد دانه در خوشه، وزن هزار دانه و تعداد پنجه بارور وجود داشت. همچنین اثر متقابل زمان بذرپاشی و محلول‌پاشی پاکلوبوترازول در سطح احتمال پنج درصد برای هر سه صفت معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین نشان داد که بذرپاشی در ۱۵ اسفند با محلول‌پاشی ۰/۵ در هزار پاکلوبوترازول با ۱۹۸ دانه بیشترین تعداد دانه و با میانگین ۳۲ پنجه، بیشترین تعداد پنجه بارور را داشت (جدول ٤). بیشترین وزن هزار دانه با میانگین ۳۲/۸ و ۳۰/۲ گرم متعلق به بذرپاشی در تاریخ ۱۵ اسفند و محلول‌پاشی ۰/۵ و ۰/۳۷۵ در هزار بود (جدول ٤). محلول‌پاشی پاکلوبوترازول با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و ایجادگیاهچه و نشای قوی باعث انتقال بیشتر کربوهیدرات غیر ساختاری به ساقه و هدایت بیشتر مواد غذایی به سمت خوشه و در نهایت منجر به افزایش تعداد دانه شد (۲٦). یکی از مراحل مهم رشد زایشی گیاه برنج، مرحله آغازش خوشه است که برجستگی‌های دوگانه روی خوشه شکل می‌گیرد. افزایش دمای میانگین در زمان شکل‌گیری برجستگی‌های دوگانه یکی از عوامل اصلی کاهش تعداد دانه در خوشه است (۱٤). بررسی تعداد دانه در خوشه نشان داد که خزانه چهارم نسبت به خزانه اول افت عملکرد بیشتری داشت. این موضوع گویای این مطلب است که افزایش دمای میانگین به خاطر کوتاه شدن دوره رشدی از زمان نشاکاری تا آغازش خوشه و گلدهی می‌تواند از عوامل مهم و تأثیرگذار روی کاهش تعداد دانه در خوشه برنج باشد. به‌نظر می‌رسد با توجه به افزایش وزن هزار دانه در نشای خزانه اسفند با محلول‌پاشی پاکلوبوترازول، فرایند انتقال مواد غذایی و پر شدن دانه اثرپذیری بیشتری از شرایط محیطی و دما و تابش داشته است. همچنین در نشای گیاهچه خزانه چهارم به‌دلیل افزایش دمای میانگین روزانه و کاهش طول دوره رشد وزن هزار دانه کاهش

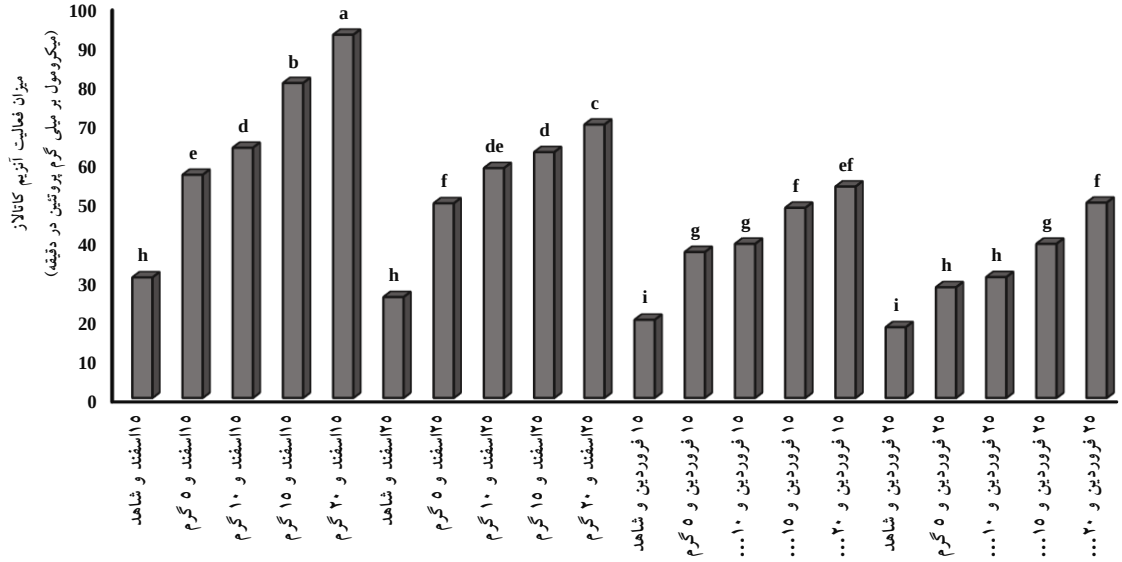
یافت. تسفهان و منزیر (۲۸) گزارش کردند مصرف پاکلوبوترازول موجب افزایش اجزای عملکرد برنج مانند افزایش تعداد دانه و در برخی موارد میانگین وزن دانه در مطالعات ارزیابی پتانسیل تولید برنج شده است. لیموچی و همکاران (۱٦) با بررسی اثر تاریخ متفاوت کاشت (۵، ۲۰ خرداد و ۵ تیر) بر شاخص‌های رشد و عملکرد ارقام برنج گزارش نمودند که با تغییر زمان کاشت و افزایش دمای هوا وزن هزار دانه از ۲۰/٤ به ۱۷/٦ گرم کاهش یافت که تفاوت در میزان دمای میانگین را علت پاسخ متفاوت ارقام در زمان‌های نشاکاری اعمال شده دانستند. اوسومی و همکاران (۲۰) نیز در بررسی زمان‌های نشاکاری ارقام برنج، کاهش وزن هزار دانه را به طور میانگین به میزان پنج درصد با تأخیر در نشاکاری و افزایش دمای هوا در ارقام تاکاناری و هوکوریکو گزارش نمودند. دوره کوتاه رشد به‌همراه دمای میانگین بالاتر باعث تولید کمتر پنجه بارور در اثر تأخیر در زمان بذرپاشی و نشاکاری شد. به‌نظر می رسد که اختلال در توزیع مواد فتوسنتزی در اندام‌های گیاهی از جمله عوامل تأثیرگذار بر کاهش تعداد پنجه بارور برنج با تأخیر در زمان کاشت است. نتایج تحقیقات تسفهان و منزیر (۲۸) اثرات مثبت مصرف پاکلوبوترازول بر اجزای عملکرد برنج مانند افزایش تعداد پنجه بارور، خوشه بارور و در برخی موارد میانگین وزن دانه در مطالعات ارزیابی پتانسیل تولید برنج نشان داده شده است. همچنین گزارش شد، افزایش تعداد پنجه بارور اجزای مهمی بود که به‌طور قابل‌توجهی با افزایش عملکرد دانه در پاسخ به مصرف پاکلوبوترازول مرتبط هستند (۲۷). گزارش شده است، زمانی که بوته‌های برنج در معرض دمای بالا در طول دوره رویشی قرار می‌گیرند، شمار پنجه‌های بارور به شدت ممکن است کاهش یابد. افزایش تنفس نگهداری و تنفس نوری در شرایط دمای بالا، مرگ و میر پنجه‌ها و دوره رشد کوتاه‌تر از عوامل اصلی کاهش شمار پنجه‌های بارور مطرح شده است (۱٤). در پژوهش حاضر تعداد پنجه بارور، از خزانه چهارم (۲۵ فروردین) با نشاکاری در اول خرداد کاهش پیدا کرد که این نقصان می‌تواند با شرایط دمای زیاد مرتبط باشد و گیاه از میانگین دمای زیاد در طول دوره رویش کمتر برخوردار شدند که دمای میانگین بالاتر نیز در طی دوره مذکور بر نتیجه حاصل تأثیرگذار بوده است. این مطلب بدین منظور است که گیاه برنج در این تاریخ بذرپاشی و نشاکاری به‌دلیل شرایط دمایی و افزایش دما، مدت زمان کمتری جهت افزایش تعداد پنجه سپری نموده و سعی در وارد شدن به فاز زایشی نموده است. به‌نظر می‌رسد که سازوکار حفظ تعداد پنجه بارور در شرایط نامناسب دما و تابش از جمله عوامل اصلی در حفظ ثبات عملکرد باشد. در واقع محلول‌پاشی پاکلوبوترازول با حفظ مناسب کارکردهای گیاهی در شرایط نامناسب محیطی از جمله دما و تابش، می‌تواند تولید تعداد پنجه بارور را حفظ نماید که این تأثیر می‌تواند به افزایش فعالیت‌های آنزیم‌های آنتی اکسیدانی، چرخه‌های دفاعی سلول و سایر فرایندهای سلولی و مولکولی مربوط باشد (۱٤). در واقع انطباق مراحل فنولوژیکی مختلف با دماهای مناسب در زمان رشد رویشی، گلدهی، پر شدن دانه و کافی بودن طول فصل رشد را عامل افزایش تعداد پنجه و عملکرد می‌توان ذکر نمود (۳، ۲٦ و ۳۰). یاماموتو و همکاران (۳۲) با بررسی روابط بین شرایط اقلیمی و رشد در گیاه برنج بیان نمودند که وقوع دماهای پایین‌تر در طول مرحله پنجه‌دهی یک مزیت مهم برای افزایش شمار پنجه‌های بارور در گیاه برنج است. به‌نظر می‌رسد زمان نشاکاری اول با دارا بودن دمای میانگین پایین در دوره پنجه‌زنی، شرایط مطلوبی را برای رشد و توسعه پنجه‌ها فراهم نموده است. نتایج تحقیقات اسارو و تاگنتی (۳) نشان می‌دهد که عوامل ژنتیکی و محیطی و اثر متقابل آنها با هم روی کنترل پنجه‌زنی اثر می‌گذارند و گزارش کردند که دماهای میانگین پایین هوا تا حد معینی در طول دوره رشد، باعث افزایش پنجه‌زنی در غلات می‌شود. گزارش شده است که بالارفتن دمای روز و شب (دمای حداقل و حداکثر)، تولید پنجه و رشد و توسعه آن‌ها را کاهش داد که علت کاهش شمار پنجه‌ها را به افزایش مرگ و میر پنجه‌ها، کاهش دوره رشد در دماهای بالا و افزایش تنفس تاریکی و نوری گیاه مرتبط دانستند (۳۰).

نتایج نشان داد که صفات تعداد دانه و وزن هزار دانه به‌ترتیب با عملکرد دانه (r^2=۰/۷۵** و r^2=۰/۸۹**)، وزن هزار دانه (r^2=۰/۷۵**)، تعداد دانه (r^2=۰/۷۵**)، تعداد پنجه بارور

(r^2=۰/۸۱** و r^2=۰/۸۵**)، ارتفاع بوته (r^2=۰/۷۳** و r^2=۰/۸۹**)، طول خوشه (r^2=۰/۷۵** و r^2=۰/۸۹**)، قطر ساقه (r^2=۰/۶۶** و r^2=۰/۸۶**)، کربوهیدرات‌های محلول (r^2=۰/۸۱** و r^2=۰/۷۷**)، میزان کلروفیل (r^2=۰/۷۵** و r^2=۰/۸۶**)، میزان فعالیت آنزیم کاتالاز (r^2=۰/۸۴** و r^2=۰/۹۱**)، سوپراکسید دسموتاز (r^2=۰/۷۸** و r^2=۰/۸۸**) و پراکسیداز (r^2=۰/۸۵** و r^2=۰/۸۱**) همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت نتایج مشابهی هم بین صفت تعداد پنج بارور با صفات مورد بررسی در این پژوهش به‌دست آمد (جدول ۵). با توجه به ژنتیکی بودن صفت وزن هزار دانه به‌نظر می‌رسد که با محلول‌پاشی ۰/۵ و ۰/۳۷۵ در هزار پاکلوبوترازول در خزانه‌های ۱۵ و ۲۵ اسفند با توجه به سپری نمودن سرمای زمستان علاوه بر افزایش مقاومت گیاه در برابر سرما، افزایش ارتفاع، رشد رویشی و تعداد پنجه‌های بارور و افزایش تعداد دانه در خوشه، انتقال مواد غذایی به سمت دانه هم افزایش داشته و موجب افزایش وزن هزاردانه برنج رقم هاشمی و در نهایت افزایش عملکرد شلتوک نیز شد.

ارتفاع بوته و طول خوشه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان‌دهنده آن است که بین زمان بذرپاشی در خزانه، غلظت محلول‌پاشی پاکلوبوترازول و اثر متقابل زمان بذرپاشی و محلول‌پاشی پاکلوبوترازول تفاوت معنی‌داری از نظر صفت ارتفاع بوته و طول خوشه در سطح احتمال یک درصد وجود داشت (جدول ۳). نتایج نشان داد که خزانه ۱۵ اسفند با محلول‌پاشی ۰/۵ در هزار پاکلوبوترازول با میانگین ۱۷۴ سانتی‌متر نسبت به سایر تیمارها بیشترین ارتفاع بوته و بیشترین میانگین طول خوشه با ۳۹ سانتی‌متر را داشت و بعد از تیمارهای شاهد در تمامی خزانه‌ها، تیمار ۰/۱۲۵ در هزار پاکلوبوترازول در خزانه ۲۵ و ۱۵ فروردین به‌ترتیب با میانگین‌های ۱۱۷ و ۱۱۸ سانتی‌متر کمترین ارتفاع بوته را به خود اختصاص دادند (جدول ٤). در این پژوهش به‌نظر می‌رسد که ارتفاع گیاه پس از نشاکاری حاصل از خزانه فروردین کاهش یافت که دلیل آن پاسخ‌های متفاوت اندام گیاهی به میزان دما و تابش دریافتی در طول دوره رویش کمتر بوده است. در واقع در خزانه فروردین به‌دلیل مواجه شدن گیاه با دماهای بالا نسبت به خزانه‌های اسفند زودتر وارد فاز رایشی شده و طول دوره رشد کوتاه‌تر شد. گزارش شده است وقوع دمای بالا در مرحله رشد رویشی گیاه برنج از جمله عوامل مهم و تأثیرگذار بر ارتفاع گیاه است و به‌طور معنی‌داری باعث کاهش آن می‌شود (۳۳). در این پژوهش محلول‌پاشی پاکلوبوترازول با افزایش مقاومت گیاه به تنش دمای پایین موجب افزایش هدایت کربوهیدرات‌های غیرساختاری به اندام‌های هوایی، سبزینگی گیاه، افزایش قطر ساقه، طول خوشه و ارتفاع بوته شد. گزارش شده است که پاکلوبوترازول با تولید گیاهچه قوی و مقاوم به تنش‌ها، موجب افزایش حجم کلروپلاست، تعداد برگ، افزایش قطر ساقه و افزایش نسبت ریشه به اندام هوایی می‌شود (۸ و ۲۶). نتایج تحقیقات تسفهان (۲۷) اثرات مثبت مصرف پاکلوبوترازول بر اجزای عملکرد برنج، طول خوشه و خوشه بارور در مطالعات ارزیابی پتانسیل تولید برنج نشان داده شده است. نتایج نشان داد که صفت ارتفاع بوته و طول خوشه به‌ترتیب با صفات عملکرد دانه (r^2=۰/۸۹** و r^2=۰/۸۸**)، تعداد دانه (هردو r^2=۰/۸۹**)، وزن هزار دانه (r^2=۰/۷۵** و r^2=۰/۷۳**)، تعداد پنجه بارور (r^2=۰/۹۰** و r^2=۰/۸٤**)، طول خوشه (r^2=۰/۹۱**)، قطر ساقه (r^2=۰/۸۵** و r^2=۰/۸٤**)، کربوهیدرات‌های محلول (r^2=۰/۷۷** و r^2=۰/۸۱**)، میزان کلروفیل (r^2=۰/۷۷** و r^2=۰/۸۰**)، میزان فعالیت آنزیم کاتالاز (r^2=۰/۹۲** و r^2=۰/۸۷**)، سوپراکسید دسموتاز (r^2=۰/۸٦** و r^2=۰/۸٤**) و پراکسیداز (r^2=۰/۸۰** و r^2=۰/۷۵**) همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت (جدول ۵). همبستگی مثبت و معنی‌دار ارتفاع بوته با طول خوشه نشان‌دهنده رابطه مثبت انتقال انرژی و مواد غذایی از اندام هوایی گیاه به سمت خوشه و وجود همبستگی با سایر صفات مورد مطالعه نشان‌دهنده آن است که با افزایش ارتفاع بوته و فعالیت فتوسنتزی گیاه همراه با افزایش قطر ساقه، انتقال مواد غذایی به سمت مخزن افزایش یافته و در واقع با افزایش طول خوشه، تعداد دانه در خوشه و در نهایت عملکرد شلتوک افزایش می‌یابد.



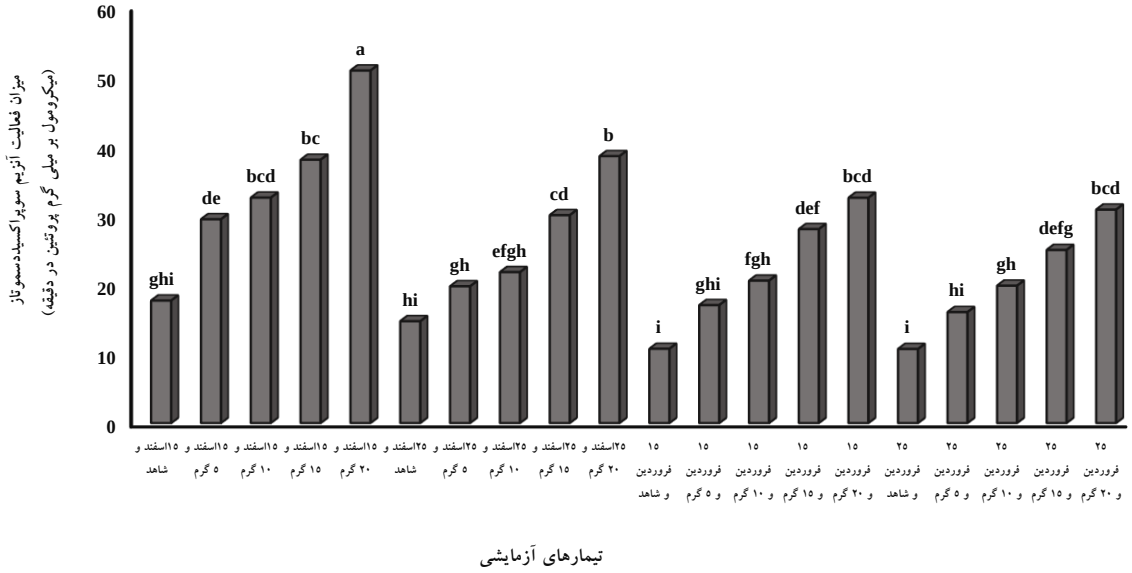
شکل ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل زمان بذرپاشی در خزانه و محلول‌پاشی پاکلوبوترازول در صفت میزان فعالیت آنزیم کاتالاز

میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، براساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی

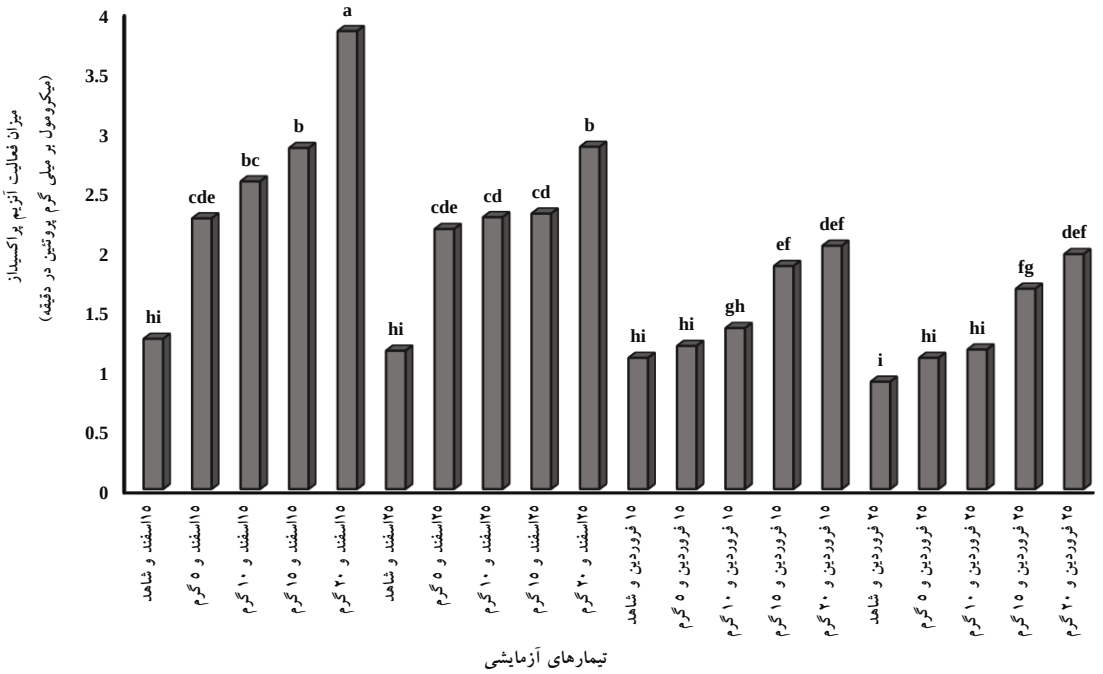
نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین زمان بذرپاشی در خزانه، غلظت محلول‌پاشی پاکلوبوترازول و اثر متقابل زمان بذرپاشی و محلول‌پاشی پاکلوبوترازول تفاوت معنی‌داری از نظر میزان فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی وجود داشت (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل زمان بذرپاشی×محلول‌پاشی پاکلوبوترازول نشان داد که تیمار بذرپاشی در تاریخ ۱۵ اسفند و محلول‌پاشی ۰/۵ در هزار پاکلوبوترازول بیشترین میزان آنزیم کاتالاز (۹۲/۷ میکرومول بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه)، آنزیم سوپراکسیددسموتاز (۵۰/۸ میکرومول بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) و آنزیم پراکسیداز (۳/۸٤ میکرومول بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) را داشتند. همچنین بذرپاشی در تاریخ ۱۵ اسفند با محلول‌پاشی ۰/۳۷۵ در هزار پاکلوبوترازول، رتبه دوم از نظر میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را به خود اختصاص داد (شکل‌های ۳، ٤ و ۵). پاکلوبوترازول تنظیم‌کننده بیوسنتز جیبرلین است. این ترکیب سبب تغییر در توازن هورمون‌های آبسیزیک اسید، سیتوکنین و اتیلن می‌شود (۲). در حقیقت پاکلوبوترازول با کاهش آسیب‌های اکسیداتیو ناشی از تنش‌های محیطی از طریق افزایش فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی از گیاهان محافظت می‌کند (۱۷). اثر فیزیولوژیکی پاکلوبوترازول شامل تغییرات در رشد، مورفولوژی گیاه، افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها و تغییرات مقدار و نسبت تنظیم‌کننده‌های درونزاد (آندوژنی)گیاه است. با توجه به مواجه شدن گیاهچه‌های برنج در خزانه اول و دوم با سرما در ماه اسفند و اوایل فروردین، در واقع محلول‌پاشی پاکلوبوترازول با تنظیم نمودن سطح هورمون‌ها، آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیرآنزیمی و اسمولیت‌ها، موجب کاهش اثرات منفی تنش‌های غیرزیستی در سبز شدن بذور و رشد و نمو گیاهچه می‌شود (۱۲). اشرف و همکاران (۲) گزارش کردند که مصرف پاکلوبوترازول می‌تواند برخی از اثرات مضر تنش خشکی، شوری و سرما را با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و محتوای پرولین، کاهش دهد و در برخی موارد خسارات ناشی از این تنش‌ها را جبران کند. گزارش‌ها حاکی از آن است که پاکلوبوترازول موجب مقاومت گیاه ذرت در برابر تنش‌های محیطی و غیرمحیطی می‌شود (٤).

نتایج همبستگی صفات نشان داد که بین میزان آنزیم کاتالاز با عملکرد دانه ($r=۰/۹۰^{**}$)، تعداد دانه ($r^۲=۰/۹۱^{**}$)، وزن هزار دانه



شکل ٤- مقایسه میانگین اثر متقابل زمان بذرپاشی در خزانه و محلول‌پاشی پاکلوبوترازول در صفت میزان فعالیت آنزیم سوپراکسیددسموتاز

میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، براساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.



شکل ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل زمان بذرپاشی در خزانه و محلول‌پاشی پاکلوبوترازول در صفت میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز

میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، براساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

(r^2=۰/۸٤**)، تعداد پنجه بارور(r^2=۰/۹۳**)، ارتفاع بوته (r^2=۰/۸۷**)، طول خوشه (r^2=۰/۹۲**)، قطر ساقه (r^2=۰/۸٦**)، میزان کربوهیدرات‌های محلول (r^2=۰/۸۳**)، میزان کلروفیل (r^2=۰/۸٤**)، میزان آنزیم سوپراکسیددسموتاز (r^2=۰/۸۹**) و آنزیم پراکسیداز (r^2=۰/۸۸**) همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت (جدول ۵). همچنین همبستگی مثبت و معنی‌داری بین میزان فعالیت آنزیم سوپراکسیددسموتاز و پراکسیداز با تمامی صفات مورد مطالعه به‌دست آمد (جدول ۵). با افزایش میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در اثر محلول‌پاشی پاکلوبوترازول، اثرات ناشی از تنش‌های محیطی کاهش یافته و موجب افزایش قدرت گیاهچه و ویژگی‌های رشدی گیاه پس از انتقال به زمین اصلی به ویژه افزایش قطر ساقه، اجزای عملکرد و عملکرد دانه می‌شود. بنابراین وجود همبستگی مثبت و معنی دار بین صفات دور از انتظار نخواهد بود.

نتیجه‌گیری کلی

براساس نتایج آزمایش حاضر به‌نظر می‌رسد که تیمار بذرپاشی تاریخ ۱۵ اسفند و محلول‌پاشی ۰/۵ در هزار پاکلوبوترازول بیشترین عمکرد دانه، اجزای عملکرد، ارتفاع بوته، قطر ساقه و میزان کربوهیدرات‌های محلول را داشت. درواقع تیمارهای محلول‌پاشی پاکلوبوترازول، اثر تنش دمای پایین را بهبود می‌بخشد و باعث افزایش قدرت گیاهچه و پس از انتقال به زمین اصلی با افزایش پنجه‌زنی و ارتفاع گیاه موجب افزایش قطر ساقه، ذخایر کربوهیدرات و استفاده آن در فرایند انتقال مجدد، افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی، پر شدن دانه و مقاومت گیاه به تنش شده است و نقصان عملکرد ناشی از تنش سرما را جبران نموده است. در نشای حاصل از خزانه فروردین به‌دلیل کاهش رشد رویشی، کاهش ارتفاع گیاه و تعداد پنجه‌های کم باعث تولید ناکافی کربوهیدرات‌های محلول شده است که نهایتا منجر به کاهش ذخایر منبع برای اختصاص به پر شدن دانه شده است. باتوجه به خزانه‌گیری مرسوم شالیکاران گیلانی در اواخر فروردین تا اواسط اردیبهشت و با توجه به تغییرات ملموس اقلیمی در استان و مواجه بودن خزانه‌های شالیکاران با تنش‌های دمایی به ویژه سرما، در این پژوهش با انجام خزانه‌گیری زودهنگام در اسفند در شرایط آب و هوایی رشت، به نظر می‌رسد که محلول‌پاشی ۰/۵ در هزار پاکلوبوترازول با افزایش مقاومت گیاهچه‌های برنج نسبت به تنش سرما نه تنها موجب کاهش عملکرد برنج نشد بلکه عملکرد شلتوک افزایش یافت.

تشکر و قدردانی

از مدیریت محترم موسسه تحقیقات برنج کشور و همکاری کارشناسان پرتلاش بخش تحقیقات اصلاح و تهیه بذر موسسه تحقیقات برنج کشور، آقای مهندس زهدقدسی رئیس محترم اداره تحقیقات هواشناسی کشاورزی گیلان (رشت) و خانم دکتر زهرا امین دلدار و کارشناسان محترم آزمایشگاه دانشکده کشاورزی دانشگاه گیلان تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

1. Amoo Aghaei, R. and A. Shariaat. 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 Farsi).
2. Ashraf, M., N. A. Akram, F. Al Qurainy and M. R. Foolad. 2011. Drought tolerance: Roles of organic osmolytes, growth regulators, and mineral nutrients. *Advances in Agronomy* 111: 249-296.
3. Assuero, S. and J. Tognetti. 2010. Tillering regulation by endogenous and environmental factors and its agricultural management. *The Americas Journal of Plant Science and Biotechnology* 4(1): 35-48.
4. Bayat, S., A. Sepehri, H. Zareaabyane and M. R. Abdolahi. 2010. Effects of salicylic acid and paclobutrazol on maize yield under salt stress. In: Proceeding of 11th Congress of Agronomy and Plant Breeding, Shahid Beheshti University, Tehran. 3715-3718.
5. Chance, B. and C. Maehly. 1955. Assay of catalase and peroxidases. *Methods in Enzymology* 2: 764-775.

6. Chegini, M., H. Pirdashti, Y. Yaghoubian and M. Khalvandi. 2014. Study of the effect of paclobutrazol on morphological traits of rice seedlings (*Oryza sativa* L.) under cold stress. In: Proceeding of 16th National Rice Conference. Sari, Iran. pp. 1-5.
7. Cruz, R. P., R. A. Sperotto, D. Cargnelutti, J. M. Adamski, T. Freitasterra and J. P. Fett. 2013. Avoiding damage and achieving cold tolerance in rice plants. *Food and Energy Security* 2(2): 96-119.
8. Desta, B. and G. Amare. 2021. Paclobutrazol as a plant growth regulator. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture* 8 (1): 1-15.
9.Gai, D., W. Liu, J. Liang, L. Guo, Y. Geng, Q. Zhang, J. Du, J. Gao and X. Shao. 2023. The effects of paclobutrazol seed soaking on biomass production and yield formation in direct-seeded rice. *Agronomy* 13: 1402.
10. Hassibi, P., M. Nabipour and F. Moradi. 2010. Study of some cryoprotectives role to induce low temperature tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) seedlings. *Electronc Journal of Crop Production* 3(1): 39-56.
11. Jabran, K. and B. S. Chauhan. 2015. Weed management in aerobic rice systems. *Crop Protection* 78: 151-163.
12. Kamran, M., S. Wennan, I. Ahmad, M. Xiangping, C. Wenwen, Z. Xudong and L. Tiening. 2018. Application of paclobutrazol affect maize grain yield by regulating root morphological and physiological characteristics under a semi-arid region. *Scientific Reports* 8: 4818.
13. Khalid, K. A. 2006. Influence of water stress on growth, essential oil and chemical composition of herbs (*Ocimum* sp.). *International Agrophysics* 20: 289- 296.
14. Krishnan, P., B. Ramakrishnan, K. Raja Reddy and V. R. Reddy. 2011. High Temperature Effects on Rice Growth, Yield, and Grain Quality. pp. 87-206, In: D. L. Sparks (ed.), Advances in Agronomy. Academic Press, Burlington.
15. Lee, M. H. 2001. Low temperature tolerance in rice; the Korean experience. Increased lowland rice in the Mekong region edited by fukai and jaya basnayake. *ACIAR proceeding* 101: 109-117.
16. Limoochi, K., A. Siyadat and A. A. Gilani. 2015. Effect of different planting dates on the panicle characteristics and yield of rice cultivars in northern khuzestan. *Journal of Crop Production and Processing* 4 (14) :77-88. (In Farsi).
17. Lin, K. H. R., C. C. Tsou, S. Y. Hwang, L. F. O. Chen and H. F. Lo. 2006. Paclobutrazol pre-treatment enhanced flooding tolerance of sweet potato. *Journal of Plant Physiology* 163: 750-760.
18. Lopez, L. A. M., R. M. Rivera, O. R. T. Herrera and W. T. Naval. 2019. Relationship between growth traits and yield formation in Indica-type rice crop. *Agronomy Mesoam* 230(1): 79-100.
19. Meza, F. J., D. Silva and H. Vigil. 2008. Climate change impacts irrigated maize in Mediterranean climates: on of double cropping as an emerging adaptation alternative. *Agricultural systems* 98(1): 21-30.
20. Ohsumi, A., M. Furuhataa and O. Matsumura. 2014. Climatic responses of biomass production and grain yield in japanese high-yielding rice cultivars under different transplanting times. *Field Crops Research* 168: 38-47.
21. Rozhon, W., S. Akter, A. Fernandez and B. Poppenberger. 2019. Inhibitors of brassinosteroid biosynthesis and signal transduction. *Molecules* 24(23): 4372.
22. Sankar, B., C. A. Jaleel, P. Manivannan, A. Kishorekumar, R. Somasundaram and R. Panneerselvam. 2007. Drought-induced biochemical modifications and proline metabolism in *Abelmoschus esculentus* L. Moench. *Acta Botanica Croatica* 66: 43-56.
23. Sheligl, H. Q. 1986. Die verwertung orgngischer souren durch chlorella lincht**.** *Planta Journal* 5: 47-51.
24. Soleymani, A. and M. H. Shahrajabian. 2012. Study of cold stress on the germination and seedling stage and determination of recovery in rice varieties. *International Journal of Biology* 4(4): 23- 30.
25.Street, J. E., J. H. Jordan, M. W. Ebelhar and D. L. Boykin. 1986. Plant height and yield responses of rice to paclobutrazol1. *Agronomy Journal* 78(2): 288-291.
26. Syahputra, B. S. A., U. R. Sinniah, M. R. Ismail and M. K. Swamy. 2016. Optimization of paclobutrazol concentration and application time for increased lodging resistance and yield in field-grown rice. *Philippine Agricultural Sciences* 99: 221–228.
27. Tesfahun, W. 2018. A review on: Response of crops to paclobutrazol application. *Cogent Food and Agriculture* 4: 1525169.
28. Tesfahun, W. and A. Menzir. 2018. Effect of rates and time of paclobutrazol application on growth, lodging, yield and yield components of Tef [*Eragrostis Tef* (Zucc.) Trotter] in Ada district, East Shewa, Ethiopia. *Journal of Biology Agriculture and Healthcare* 8(3): 104–117.
29. Vahdati rad, A., M. Esfehani, G. H. Mohsenabadi, A. Sabouri and A. Alami. 2016. Effects of transplanting time and canopy temperature on morphological traits and grain yield of rice cultivars. *Iranian Journal of Filed Crop Science* 47 (2): 251-265. (In Farsi).
30. Venkatramanan, V. and S. D. Singh. 2009. Differential Effects of day and night temperature on growth of rice crop. *Pusa Agricultural Science* 32: 57-62.
31. Wang, C., J. Wang, F. Wang, Y. Bao, Y. Wu and H. Zhang. 2009. Genetic control of germination ability under cold stress in rice. *Rice Science* 16(3): 173-180.

32. Yamamoto, Y., T. Tamori and S. Kawaguchi. 1985. Relations between weather and growth of rice plant. 1: effects of air-temperature on the growth of rice plant in the first half stage. *Bulletin of the Toyama Agricultural Experiment Station (Japan)* (16): 20-26.
33. Yang, C. and J. Heilman. 1993. Response of rice to short term high temperature, growth, development and yield. *Journal Agricultural Research of China* 42(1): 1-11.
34. Zhang, F., X. F. Ma, Y. M. Gao, X. B. Hao and Z. K. Li. 2014. Genome-wide response to selection and genetic basis of cold tolerance in rice (*Oryza sativa* L.). *Bio Medical Central Genetics* 15(55): 1-14.