University of Birjand

Journal homepage:
https://escs.birjand.ac.ir

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses In Crop Sciences

Vol. 17, No. 2, pp. 243-253 (Summer 2024)

https://dx.doi.org/10.22077/ESCS.2023.5698.2168

Original article

Effect of breeding for plant height on yield and yield component of bread wheat under rain-fed conditions

M. Salari[1], A. Kazemipour[2*], M. Kashigarzadeh[1], S. Pourtabrizi[1], M.GH. Ghaderi[3], R.A. Abdolshahi[4]

1. MSc students of Plant Breeding, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
2. Assistant Professor, Department of Plant Genetics and Production Engineering, Shahid Bahonahr University of Kerman, Kerman, Iran
3. Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, University of Birjand, Birjand, Iran
4. Associate Professor, Department of Plant Genetics and Production engineering, Shahid Bahonahr University of Kerman. Iran

Received 13 October 2022; Accepted 27 November February 2022

Extended abstract

Introduction

Green Revolution which occurred by introducing dwarfing genes into bread wheat varieties had a great impact on the global wheat production. Nevertheless, these genes decrease grain yield under rain-fed conditions. In general, semi-dwarf genes may not have any advantage in heat and drought stress conditions. In rain-fed conditions, the combination of Rht-D1b and Rht-B1b genes causes a decrease in the grain yield and coleoptile length. It should be noted that the genes Rht4, Rht5, Rht7, Rht8, Rht9, Rht12, Rht13 and Rht14, which are sensitive to gibberellic acid, do not affect coleoptile length.

Materials and methods

In the present research, wild type genes which cause higher plant height were transferred from Roshan to Excalibur variety using backcrossing. Similarly, in the F3 generation of a cross between Roshan and Mahdavi, a semi-dwarf plant was observed. This plant was backcrossed with Roshan to have semi-dwarf isogenic lines of this cultivar. Development of isogenic lines for plant height in two genetic backgrounds made it possible to study the effect of the plant height on yield and yield components. Isogenic lines and their parents were evaluated in two successive years (2020-2021 and 2021-2022) under Sepidan rain-fed conditions.

Results and discussion

On average, plant height of Roshan and its semi-dwarf isogenic lines were 90.84 and 51.22 cm, respectively. Also, the average plant height of Excalibur and its tall isogenic line were 47.61 and 65.36 cm, respectively. Results showed that breeding for higher plant height had a positive and significant effect on wheat grain yield under rain-fed conditions. On average, tallness increased grain yield by 375.43 and 177.94 kg.ha in Roshan and Excalibur genetic backgrounds, respectively. In addition, the effect of plant height on yield components under rain-fed conditions was investigated. The findings of this research show that breeding for higher plant height indirectly increase grains number per spike and 1000 grain weight to improve grain yield. While, spikes number per meter square was not affected with

[*] Corresponding author: Ali Kazemipour; E-Mail: ali.kazemi@uk.ac.ir

© 2024, The Author(s). Published by University of Birjand. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

plant height. Considering the high heritability of plant height and its significant correlation with grain yield, it is suggested that this trait be considered in breeding programs under rain-fed conditions.

Conclusion

In the present research, it was found that tallness improve grains yield of bread wheat under rain-fed conditions via increasing grains number per spike. Two other yield components were also investigated and it was found that the plant height had no effect on spikes number per meter square. 1000-grains weight did not affected by plant height in the first year, although in the second year, the taller genotypes had higher 1000-grains weight. Considering that plant height has high heritability and response to selection, it is recommended to pay special attention to this trait in breeding programs for rain-fed conditions. It should be mentioned that as narrow sense heritability of plant height is very high, selection for this trait based on single plant is very effective. Consequently, selection for plant height in backcrossing and pedigree breeding methods could be extremely successful.

Keywords: Backcrossing, Drought stress, Grains number per spike, Isogenic lines, Tallness

تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد هفدهم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۳

https://dx.doi.org/10.22077/ESCS.2023.5698.2168

مقاله پژوهشی

تأثیر بهنژادی برای ارتفاع بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم نان در شرایط دیم

مرضیه سالاری[۱]، علی کاظمی‌پور[۲*]، مهرناز کاشیگرزاده[۱]، ثریا پورتبریزی[۱]، محمدقادر قادری[۳]، روح‌اله عبدالشاهی[۴]

۱. دانشجو کارشناسی ارشد اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان
۲. استادیار بخش تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان
۳. استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند
۴. دانشیار بخش زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
پابلندی
تنش خشکی
تلاقی برگشتی
دانه در سنبله
لاین‌های ایزوژن

تاریخ دریافت:
۱۴۰۱/۰۷/۲۱

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۱/۰۹/۰۶

تاریخ انتشار:
تابستان ۱۴۰۳

۱۷(۲): ۲۴۳-۲۵۳

چکیده

انقلاب سبز با واردکردن ژن‌های پاکوتاهی به ارقام گندم نان رخ داد و تأثیر زیادی بر تولید جهانی این محصول گذاشت. ولی این ژن‌ها در شرایط دیم باعث کاهش عملکرد می‌شوند. در این پژوهش با استفاده از تلاقی برگشتی ژن‌های پابلندی از رقم روشن به رقم اکسکلیبر منتقل گردید. همین‌طور، در نسل F3 تلاقی روشن و مهدوی بوته پاکوتاه مشاهده شد. با تلاقی برگشتی این بوته با رقم روشن، لاین‌های ایزوژن پاکوتاه برای این رقم ایجاد شد. ایجاد لاین‌های ایزوژن برای ارتفاع در دو زمینه ژنتیکی، امکان مطالعه دقیق تأثیر صفت ارتفاع بر عملکرد و اجزای عملکرد را فراهم نمود. لاین‌های ایزوژن و والدین آن‌ها در دو سال زراعی (۱۳۹۹-۱۴۰۰ و ۱۴۰۰-۱۴۰۱) در شرایط دیم سپیدان مورد ارزیابی قرار گرفتند. به‌طور متوسط، رقم روشن و لاین‌های ایزوژن پاکوتاه حاصل از آن به ترتیب ۹۰/۸۴ و ۵۱/۲۲ سانتی‌متر ارتفاع داشتند. همین‌طور، میانگین ارتفاع رقم اکسکلیبر و لاین ایزوژن پابلند حاصل از آن به ترتیب ۴۷/۶۱ و ۶۵/۳۶ سانتی‌متر بود. نتایج نشان داد بهنژادی برای پابلندی تأثیر مثبت و معنی‌داری بر عملکرد گندم در شرایط دیم دارد. به‌طور میانگین پابلندی باعث افزایش عملکرد ۳۷۵/۴۳ و ۱۷۷/۹۴ کیلوگرم در هکتار به ترتیب در زمینه‌های ژنتیکی روشن و اکسکلیبر شد. علاوه بر این، تأثیر ارتفاع بوته بر اجزای عملکرد در شرایط دیم موردبررسی قرار گرفت. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد پابلندی از طریق افزایش تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه باعث افزایش عملکرد می‌گردد. درحالی‌که تعداد سنبله در مترمربع تحت تأثیر ارتفاع بوته قرار نمی‌گیرد. با توجه به وراثت-پذیری بالای ارتفاع بوته و همبستگی بالای آن با عملکرد دانه، پیشنهاد می‌گردد این صفت در برنامه‌های بهنژادی در شرایط دیم موردتوجه قرار گیرد.

مقدمه

گندم مهم‌ترین گیاه زراعی جهان است و بخش عمده این محصول در مزارع دیم تولید می‌شود. به‌طوری‌که بیش از ۷۰٪ گندم جهان در این شرایط تولید می‌گردد (Zhang et al., 2021). ارتفاع گندم صفت بسیار تعیین‌کننده‌ای برای عملکرد است. انقلاب سبز به‌واسطه معرفی ارقام پاکوتاه برای شرایط فاریاب رخ داد، به‌طوری‌که بیش از ۸۰ درصد ارقام گندمی که تا پایان دهه ۹۰ میلادی در جهان ثبت شده بودند حداقل یک ژن پاکوتاهی را داشتند (Sourdille et al., 1998). اکثر ژن‌های پاکوتاهی باعث افزایش تعداد دانه در سنبله و شاخص برداشت می‌شوند (Chapman et al., 2007; Rebetzke et al., 2012; Du et al., 2018). ژن‌های پاکوتاهی با هدف کاهش ارتفاع، بهبود مقاومت به ورس و افزایش شاخص برداشت استفاده‌شده‌اند (Rebetzke et al., 2012; Du et al., 2018; Zhang et al., 2021). ژن‌های پاکوتاهی Rht-B1b و Rht-D1b به‌طور گسترده از زمان انقلاب سبز تاکنون در پروژه‌های بهنژادی گندم به کار گرفته‌شده‌اند. این ژن‌ها

* نگارنده پاسخگو: علی کاظمی‌پور. پست الکترونیک: ali.kazemi@uk.ac.ir

طول و عرض سلول را کاهش می‌دهند و منجر به کاهش طول پدانکل و ارتفاع بوته می‌شوند (Botwright et al., 2005; Li et al., 2017; Niu et al., 2021). این ژن‌ها به جیبرلیک اسید حساس نیستند و به همین دلیل، حساسیت بافت‌های رویشی به جیبرلیک اسید درون بافت‌ها را کاهش می‌دهند و نتیجه آن کاهش طول میانگره ساقه و کاهش ارتفاع بوته است (Keyes et al., 1990). این فرایند باعث می‌شود اسمیلات‌های بیشتری به گلچه‌ها فرستاده شود و زنده‌مانی گلچه‌ها و تعداد دانه در سنبله را افزایش دهد (Hoogendoorn et al., 1990; Zhang et al., 2021).

هرچند معرفی ارقام پاکوتاه منجر به انقلاب سبز گردید، در اکثر موارد ارقام پاکوتاه در شرایط دیم موفق نبوده‌اند. به‌طورکلی در شرایط تنش گرما و خشکی ژن‌های پاکوتاهی ممکن است هیچ‌گونه مزیتی نداشته باشند (Butler et al., 2005). هرچند ارقام پاکوتاه در شرایط پرنهاده (کودهای شیمیائی، آب و ...) بسیار موفق بوده‌اند ولی در شرایط کم‌نهاده ارقام پابلند پایداری و عملکرد بیشتری دارند (Reynolds et al., 1994; Butler et al., 2005). در شرایط دیم، ترکیب ژن‌های Rht-D1b و Rht-B1b باعث کاهش عملکرد (Allan, 1989; Butler et al., 2005; Du et al., 2018) و کاهش طول کلئوپتیل (Botwright et al., 2005; Li et al., 2017; Niu et al., 2021) گندم می‌شوند. لازم به ذکر است که ژن‌های پاکوتاهی Rht4، Rht5، Rht7، Rht8، Rht9، Rht12، Rht13 و Rht14 که به جیبرلیک اسید حساس هستند تأثیر زیادی بر روی طول کلئوپتیل ندارند (Ellis et al. 2004; Botwright et al. 2005). در آزمایشی مشخص شد ارقام دارای ژن‌های حساس به جیبرلیک اسید Rht8 و Rht13 نسبت به ارقام دارای ژن‌های عدم حساسیت به جیبرلیک اسید Rht-B1b و Rht-D1b به میزان ۴۲٪ کلئوپتیل بلندتری داشتند (Abdolshahi et al., 2021). به‌عنوان جمع‌بندی می‌توان چنین استنباط کرد که ژن‌های پاکوتاهی Rht-B1b و Rht-D1b که باعث افزایش کودپذیری بیشتر، مقاومت به ورس و افزایش چشمگیر عملکرد در شرایط پرنهاده شده‌اند در شرایط مصرف کم کودهای شیمیائی (Kowalskia et al., 2016)، تنش خشکی (Chapman et al., 2007; Kowalskia et al., 2016) و تنش گرما (Butler et al., 2005) عملکرد را کاهش می‌دهند. رابطه آلل‌ها در هر دو مکان ژنی Rht-B1b و Rht-D1b به‌صورت غالبیت است و پاکوتاهی نسبت به پابلندی غلبه دارد. این ژن‌ها مستقل از هم عمل می‌نمایند و بر روی ژنوم‌های B و D قرار دارند (Kowalskia et al., 2016).

از مقایسه یافته‌های مربوط به ارتفاع در دو شرایط فاریاب و دیم چنین استنباط می‌شود که مسیر بهنژادی این صفت در این دو شرایط کاملاً عکس همدیگر است. لازم به ذکر است که تنش خشکی باعث کاهش ارتفاع ارقام پابلند می‌شود. می‌توان گفت، عملکرد به ژن‌های پاکوتاهی بستگی ندارد، بلکه بیشتر به ارتفاع اپتیمم (۷۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر) برای محیط هدف بستگی دارد (Richards, 1992; Butler et al., 2005). بهینه‌سازی ارتفاع گندم برای به حداکثر رساندن عملکرد مهم است و ارتفاع بهینه با توجه به پتانسیل عملکرد محیط از ۷۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر متغیر است (Kowalskia et al., 2016). از نتایج این یافته‌ها چنین استنباط می‌شود که با در نظر گرفتن محیط هدف بایستی رقم حاصل از بهنژادی، ارتفاعی بین ۷۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر داشته باشد. حال‌آنکه در شرایط پرنهاده فاریاب رقم پاکوتاه با تغذیه و آبیاری مناسب به ارتفاع اپتیمم می‌رسد و رقم پابلند در مواجهه با تنش خشکی و کاهش ارتفاع به این حد بهینه از ارتفاع خواهد رسید. هدف این پژوهش بررسی تأثیر ارتفاع بر عملکرد و اجزای عملکرد در شرایط دیم بود. برای این منظور لاین‌های ایزوژن نزدیک برای ارتفاع در دو زمینه ژنتیکی (روشن و اکسکلیبر) ایجاد گردید. با ایجاد لاین‌های ایزوژن، تغییرات زمینه ژنتیکی کنترل و ارزیابی دقت بالایی خواهد داشت.

مواد و روش‌ها

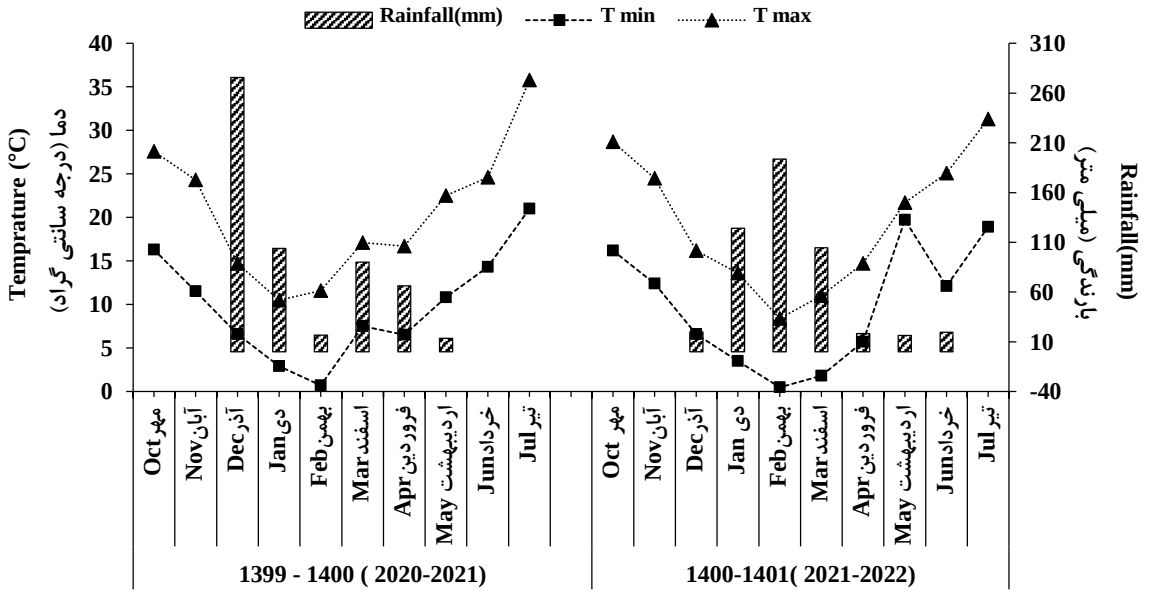
ایجاد جمعیت ایزوژن نزدیک

تلاقی ارقام مهدوی و روشن در سال ۱۳۹۰ انجام شد. در بهار ۱۳۹۴ و در نسل F3 (اندازه جمعیت ۹۸۵ بوته) یک بوته پاکوتاه در جمعیت در حال تفرق مشاهده گردید. سه نسل تلاقی برگشتی با والد روشن انجام شد و پس‌ازآن سه نسل خودگشنی صورت گرفت. دو ژنوتیپ پاکوتاه که یکی سنبله بزرگی داشت گزینش شدند. لاین‌های ایزوژن ایجادشده با زمینه ژنتیکی روشن تکثیر شدند. رقم روشن که در سال ۱۳۳۷ معرفی شد همواره موردتوجه کشاورزان بوده است. این رقم مطلوب مناطقی از کرمان است که با کمبود آب، تنش شوری و شرایط ضعیف خاک مواجه باشند (Abdolshahi et al. 2015). برای افزایش ارتفاع رقم اکسکلیبر، در سال ۱۳۹۴ تلاقی این رقم با روشن انجام شد. پس از دو تلاقی

برگشتی و گزینش برای پابلندی سه نسل دیگر خودگشنی انجام شد تا لاین ایزوژن پابلند برای رقم اکسکلیبر ایجاد شود. اکسکلیبر رقمی پاکوتاه، زودرس و متحمل به خشکی با منشأ استرالیا است که در شرایط دیم استرالیا موفق بوده است (Izanloo et al., 2008).

آزمایش مزرعه‌ای در شرایط دیم

رقم روشن و لاین‌های ایزوژن پاکوتاه حاصل از آن (روشن-پاکوتاه-۱ و روشن-پاکوتاه-۲) و رقم اکسکلیبر و لاین ایزوژن پابلند آن (اکسکلیبر-پابلند-۱) در قالب یک طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در دو سال زراعی (۱۳۹۹-۱۴۰۰ و ۱۴۰۰-۱۴۰۱) در شرایط دیم سپیدان مورد ارزیابی قرار گرفت. کشت سال زراعی نخست (۱۳۹۹-۱۴۰۰) و دوم (۱۴۰۰-۱۴۰۱) به ترتیب در تاریخ‌های ۲۸ مهر و ۳ آبان انجام شد. تراکم کشت ۳۰۰ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد. هر کرت شامل ۲۲ ردیف با طول ۵ متر و فاصله خطوط ۲۰ سانتی‌متر بود. قبل از برداشت دو خط حاشیه حذف گردید تا اثر حاشیه در ارزیابی‌ها مشکل ایجاد ننماید. مساحت هر کرت پس از حذف حاشیه ۲۰ مترمربع بود. بافت خاک موردنظر لومی و درصد ماده آلی و pH آن به ترتیب ۰/۷۳ درصد و ۶/۸۹ بود. کودهای فسفاته و نیتروژنه بر اساس عرف محل به مزرعه داده شد. سوپر فسفات تریپل و کود اوره به میزان ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به کرت‌ها اضافه گردید. سوپر فسفات تریپل همزمان با کاشت و اوره در دو نوبت (همزمان با کاشت و نیمه دوم اسفند) به مزرعه داده شد. کنترل علف‌های هرز به‌صورت دستی و دو بار در هرسال زراعی انجام شد. شکل ۱ دما و بارندگی را در دو سال آزمایش نشان می‌دهد.



شکل ۱. میزان بارندگی و دمای هوا (بیشینه و کمینه) در دو سال زراعی.

Fig. 1. Rainfall and air temperature (maximum and minimum) during two successive years.

در این پژوهش صفات ارتفاع بوته، عملکرد، تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در مترمربع و وزن ۱۰۰۰ دانه اندازه‌گیری شد. ارتفاع بوته در زمان رسیدگی اندازه‌گیری شد و ریشک نیز در میزان ارتفاع لحاظ گردید. برای اندازه‌گیری عملکرد، از هر کرت سطح ۲۰ مترمربع برداشت و پس از خرمن‌کوبی و تمیز کردن دانه‌ها وزن گردید. سپس با استفاده از تناسب وزن حاصل‌شده هر کرت به کیلوگرم در هکتار تبدیل شد. برای اندازه‌گیری تعداد دانه در سنبله و وزن ۱۰۰۰ دانه تعداد ۱۰۰ سنبله در هر کرت به‌تصادف انتخاب شد و پس از جدا کردن دانه‌ها شمارش و وزن شدند. با استفاده از تناسب تعداد دانه در سنبله و وزن ۱۰۰۰ دانه حاصل گردید. با توجه به رابطه ۱، تعداد سنبله در مترمربع از رابطه ۲ از تقسیم عملکرد به (وزن یک‌دانه×تعداد دانه در سنبله) محاسبه شد.

عملکرد ($g.m^{-2}$) = تعداد سنبله در مترمربع × تعداد دانه در سنبله × وزن یک‌دانه (g) [۱]

تعداد سنبله در مترمربع = عملکرد ÷ (وزن یک‌دانه×تعداد دانه در سنبله) [۲]

در رابطه ۲ بایستی واحد اندازه‌گیری عملکرد و وزن یک‌دانه به ترتیب گرم در مترمربع و گرم باشد و اعداد وزن یک‌دانه حداقل ۵ رقم اعشار داشته باشند.

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS v9.1 (SAS Institute Inc, 2004) و مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها با روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد منبع تغییر ژنوتیپ در سال زراعی نخست (۱۳۹۹-۱۴۰۰) برای صفات عملکرد، تعداد دانه در سنبله و ارتفاع بوته معنی‌دار بود. این منبع تغییر در سال زراعی دوم (۱۴۰۰-۱۴۰۱) برای همه صفات به‌جز تعداد سنبله در مترمربع معنی‌دار بود (جدول ۱). این نتایج نشان می‌دهد در مورد تعداد سنبله در مترمربع بین ژنوتیپ‌های موردبررسی تنوع ژنتیکی وجود ندارد. ولی در مورد سایر صفات تنوع ژنتیکی تائید شد.

مقایسه میانگین ارتفاع بوته‌ها در شرایط دیم نشان می‌دهد رقم روشن نسبت به لاین‌های ایزوژن خود (روشن-پاکوتاه-۱ و روشن-پاکوتاه-۲) و رقم اکسکلیبر نسبت به لاین ایزوژن خود (اکسکلیبر-پابلند-۱) تفاوت معنی‌داری دارند (شکل ۲). این نتایج نشان می‌دهند پروژه بهنژادی برای کاهش ارتفاع رقم روشن و افزایش ارتفاع رقم اکسکلیبر موفق بوده است. عبدالشاهی و همکاران (Abdolshahi et al., 2021) نشان دادند رقم روشن حاوی ژن پاکوتاهی Rht8، رقم مهدوی حاوی ژن‌های پاکوتاهی Rht1 و Rht13 و رقم اکسکلیبر دارای ژن‌های پاکوتاهی Rht1، Rht2 و Rht13 است.

جدول ۱. تجزیه واریانس عملکرد، اجزای عملکرد و ارتفاع

Table 1. Analysis of variance for yield, yield components and plant height

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی Df	عملکرد Grains yield	تعداد دانه در سنبله Number of grain per spike	وزن ۱۰۰۰ دانه 1000 grains weight	سنبله در مترمربع Spikes number per m^2	ارتفاع height Plant
		The first cropping year (2020-2021)		*سال زراعی نخست (۱۳۹۹-۱۴۰۰)*		
بلوک Block	3	87776.80*	29.18ns	50.42ns	1001.05ns	225.45**
ژنوتیپ Genotype	3	159573.36**	145.02**	1.76ns	1189.54ns	1648.82**
خطا Error	9	16276.85	14.85	20.32	691.14	21.74
		Second cropping year (2021-2022)		*سال زراعی دوم (۱۴۰۰-۱۴۰۱)*		
بلوک Block	3	19020.03ns	9.25*	29.38ns	4234.39ns	106.43**
ژنوتیپ Genotype	4	131372.52**	55.82**	111.23**	1272.64ns	982.36**
خطا Error	12	12287.91	1.78	16.50	1619.93	15.14

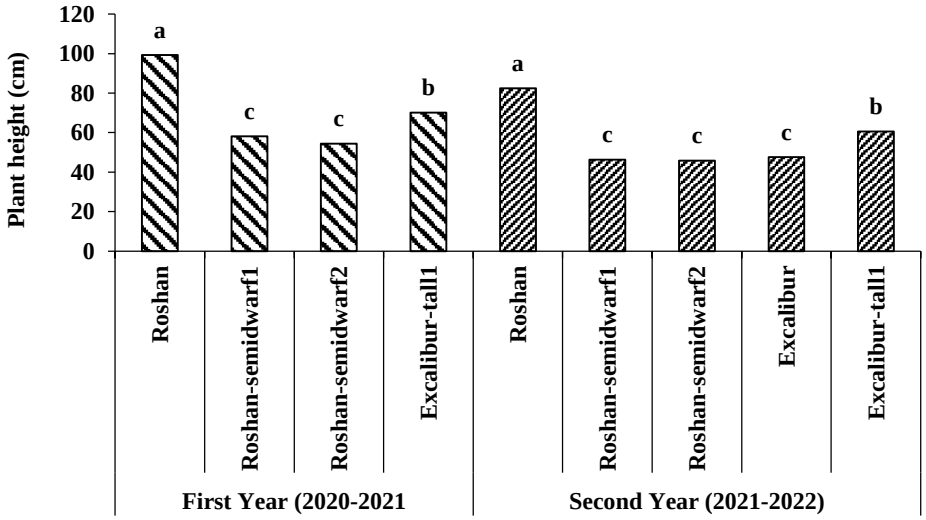
*، ** و n.s به ترتب معنی‌دار و غیر معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد

ns, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

اگرچه والد بخشنده پابلندی به رقم اکسکلیبر رقم روشن است، لاین ایزوژن ایجادشده (اکسکلیبر-پابلند-۱) به‌طور معنی‌داری ارتفاع کمتری نسبت به رقم روشن دارد. دلیل این امر ممکن است اثر زمینه ژنتیکی باشد.

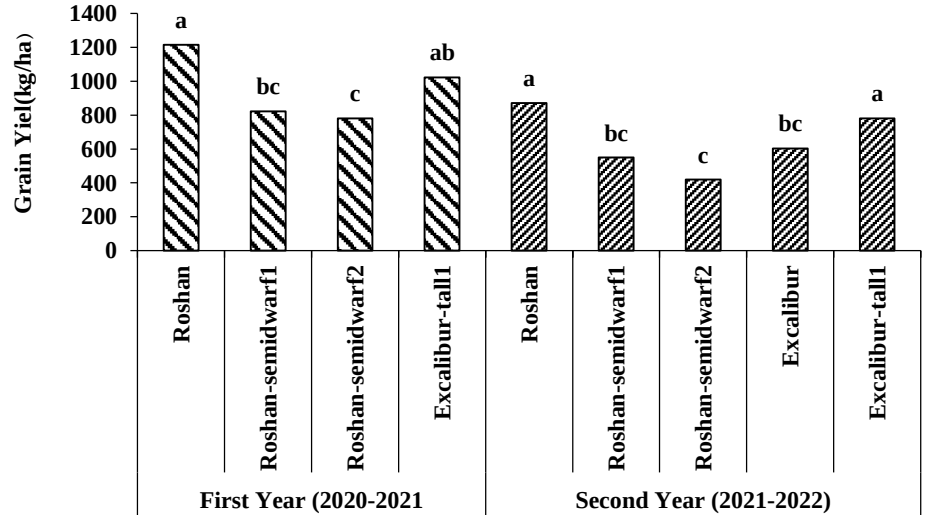
مقایسه میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها نشان داد در هر دو سال زراعی رقم پابلند روشن نسبت به لاین-های ایزوژن پاکوتاه خود (روشن-پاکوتاه-۱ و روشن-پاکوتاه-۲) در شرایط دیم منطقه سپیدان به‌طور معنی‌داری عملکرد بیشتری دارد (عملکرد رقم روشن، روشن-پاکوتاه-۱ و روشن-پاکوتاه-۲ به ترتیب در سال اول ۱۲۱۴/۴۹، ۸۲۲/۳۸ و ۷۸۰/۸۴ و در سال دوم ۸۷۰/۸۹، ۵۴۹/۵۵ و ۴۱۹/۲۳ کیلوگرم در هکتار بود). از طرف دیگر، رقم پاکوتاه اکسکلیبر به‌طور معنی‌داری نسبت به

لاین ایزوژن پابلند خود (اکسکلیبر-پابلند-۱) عملکرد کمتری داشت (عملکرد رقم اکسکلیبر و اکسکلیبر-پابلند-۱ در سال دوم به ترتیب ۶۰۳/۰۹ و ۷۸۱/۰۳ کیلوگرم در هکتار بود) (شکل ۳).



شکل ۲. مقایسه ارتفاع والدهای بخشنده (روشن و اکسکلیبر) و لاین‌های ایزوژن آن‌ها در دو سال زراعی در شرایط دیم با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد

Fig. 2. Plant height comparison of donor parents (Roshan and Excalibur) and their isogenic lines during two cropping years under rain-fed conditions using Duncan's multi-range test at the 5% level



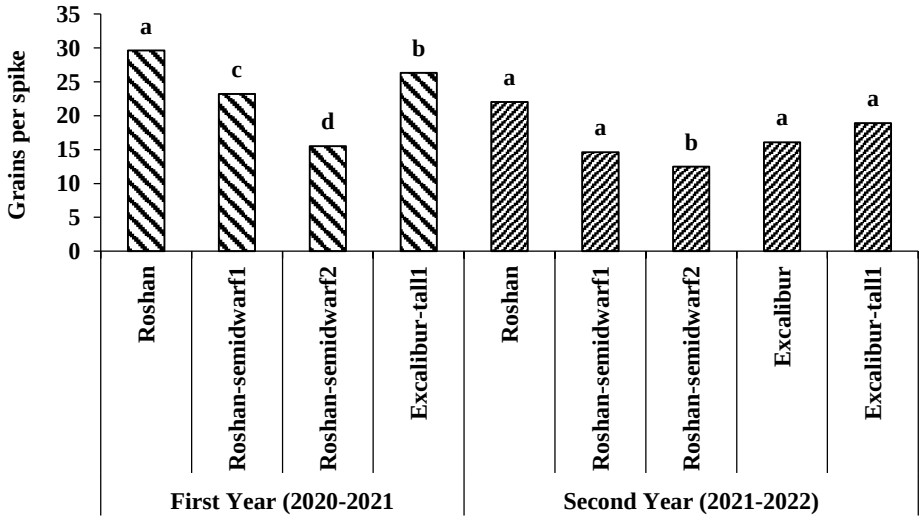
شکل ۳. مقایسه عملکرد والدهای بخشنده (روشن و اکسکلیبر) و لاین‌های ایزوژن آن‌ها در دو سال زراعی در شرایط دیم با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد

Fig. 3. Grain yield comparison of donor parents (Roshan and Excalibur) and their isogenic lines during two cropping years under rain-fed conditions using Duncan's multi-range test at the 5% probability level

نتایج این پژوهش نشان داد بهنژادی برای افزایش ارتفاع گندم به‌طور معنی‌داری باعث بهبود عملکرد در شرایط دیم می‌شود. پژوهش‌های متعددی نشان داده‌اند در شرایط دیم و تنش خشکی برخلاف شرایط فاریاب عملکرد ارقام پابلند نسبت به پاکوتاه بیشتر است (Reynolds et al., 1994; Butler et al., 2005; Chapman et al., 2007; Kowalskia et al., 2016). عملکرد وابسته به ارتفاع اپتیمم برای محیط هدف است (Richards, 1992; Butler et al., 2005). بهینه‌سازی ارتفاع گندم برای به حداکثر رساندن عملکرد مهم است و ارتفاع بهینه با توجه به پتانسیل عملکرد

محیط از ۷۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر متغیر است (Kowalskia et al., 2016). در شرایط موردبررسی رقم روشن و لاین اکسکلیبر-پابلند-۱ بیشترین ارتفاع و عملکرد را داشتند. در محیط هدف (شرایط دیم سپیدان)، به‌طور میانگین رقم روشن و لاین اکسکلیبر-پابلند-۱ دارای ارتفاع ۹۰/۸۳ و ۶۵/۳۶ سانتی‌متر بودند.

بررسی لاین‌های ایزوژن نشان داد افزایش ارتفاع به‌طور معنی‌داری بر تعداد دانه در بوته تأثیر گذاشته است (شکل ۴). مقایسه میانگین تعداد دانه در سنبله نشان داد رقم پابلند روشن نسبت به لاین‌های ایزوژن پاکوتاه خود به‌طور معنی-داری دانه در سنبله بیشتری دارد (تعداد دانه در سنبله رقم روشن، روشن-پاکوتاه-۱ و روشن-پاکوتاه-۲ به ترتیب در سال اول ۲۹/۶۱، ۲۳/۲۲ و ۱۵/۵۳ و در سال دوم ۲۲/۰۴، ۱۴/۶۳ و ۱۲/۴۸ بود). همین‌طور، رقم پاکوتاه اکسکلیبر به‌طور معنی‌داری نسبت به لاین ایزوژن پابلند خود (اکسکلیبر-پابلند-۱) تعداد دانه در سنبله پایین‌تری داشت (تعداد دانه در سنبله رقم اکسکلیبر و اکسکلیبر-پابلند-۱ در سال دوم به ترتیب ۱۶/۰۷ و ۱۸/۹۲ بود).



شکل ۴. مقایسه تعداد دانه در سنبله والدهای بخشنده (روشن و اکسکلیبر) و لاین‌های ایزوژن آن‌ها در دو سال زراعی در شرایط دیم با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد

Fig. 4. Grain number per spike comparison for donor parents (Roshan and Excalibur) and their isogenic lines during two cropping years under rain-fed conditions using Duncan's multi-range test at the 5% probability level

در این پژوهش مشخص شد افزایش ارتفاع بوته باعث افزایش تعداد دانه در سنبله می‌گردد. در پژوهش دیگری نیز مشخص شده بود ارتفاع بوته با تعداد دانه در بوته و میزان زیست‌توده همبستگی مثبت و معنی‌داری دارد (Zhang et al., 2021).

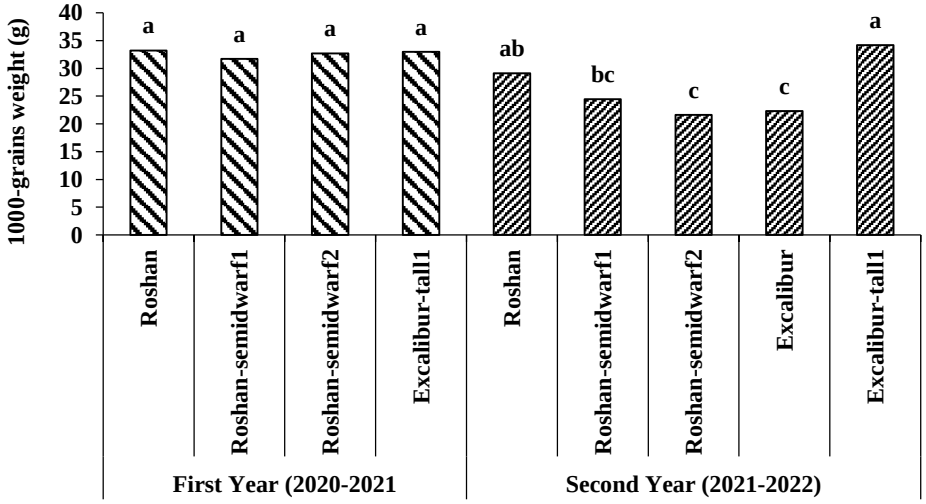
نتایج نشان داد سال اول تفاوت معنی‌داری بین ژنوتیپ-ها ازلحاظ وزن هزار دانه وجود نداشت درحالی‌که سال دوم تفاوت بین ژنوتیپ‌ها معنی‌دار بود. در این سال اختلاف وزن هزار دانه روشن فقط با یکی از لاین‌های ایزوژن (روشن-پاکوتاه-۲) معنی‌دار بود و اکسکلیبر نیز به‌طور معنی‌داری نسبت به لاین ایزوژن پابلند خود (اکسکلیبر-پابلند-۱) وزن هزار دانه کمتری داشت (شکل ۵). با توجه به عدم ثبات این صفت در دو سال زراعی بهتر است پژوهش‌های بیشتری در مورد این صفت انجام شود.

ژنوتیپ‌های موردبررسی در هر دو سال زراعی تفاوت معنی‌داری ازلحاظ تعداد سنبله در مترمربع نداشتند (شکل ۶). این نتایج نشان می‌دهد تعداد سنبله در مترمربع تحت تأثیر ارتفاع بوته قرار نمی‌گیرد.

نتیجه‌گیری نهایی

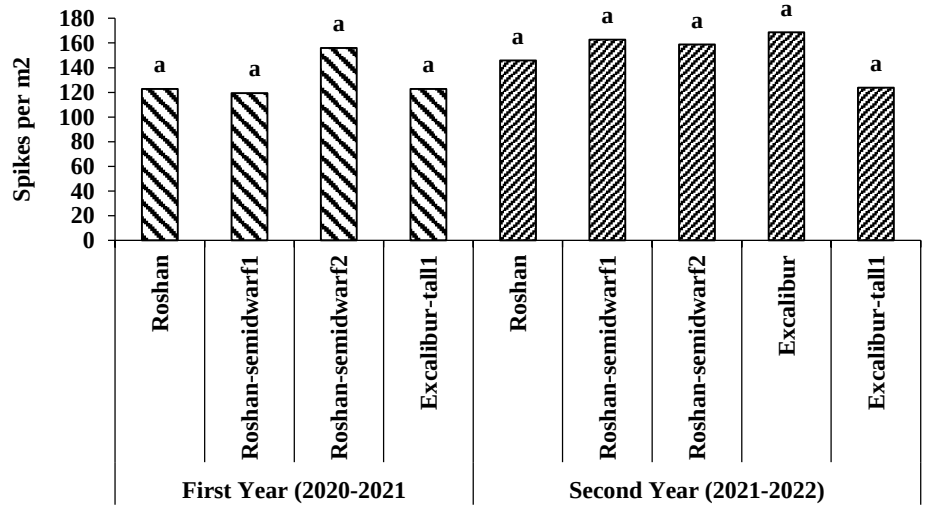
ژن‌های پاکوتاهی و به‌طور عمده ژن‌های Rht-B1b و Rht-D1b به‌طور گسترده از زمان انقلاب سبز تاکنون در پروژه‌های بهنژادی گندم استفاده‌شده‌اند. این ژن‌ها که باعث افزایش کودپذیری، مقاومت به ورس و افزایش عملکرد در شرایط فاریاب شده‌اند در شرایط دیم باعث کاهش عملکرد می‌شوند.

در این پژوهش مشخص شد پابلندی از طریق افزایش تعداد دانه در سنبله باعث افزایش معنی‌دار عملکرد در شرایط دیم می‌شود. دو جزء دیگر عملکرد نیز موردبررسی قرار گرفت و مشخص شد ارتفاع بوته تأثیری بر تعداد سنبله در مترمربع ندارد. وزن هزار دانه نیز در سال اول تحت تأثیر ارتفاع بوته قرار نگرفت. هرچند که در سال دوم ژنوتیپ‌های پابلندتر وزن هزار دانه بیشتری داشتند. نتایج این پژوهش ضرورت توجه بیشتر به صفت ارتفاع بوته در شرایط دیم را تائید می‌نماید. با توجه به اینکه صفت ارتفاع بوته وراثت‌پذیری و پاسخ به گزینش بالایی دارد توصیه می‌شود در برنامه‌های بهنژادی برای شرایط دیم توجه ویژه‌ای به این صفت داشته باشیم. نتاج ایزوژنی که در این پژوهش حاصل شده است در صورت نیاز سایر پژوهشگران، در اختیار آن‌ها قرار خواهند گرفت.



شکل ۵. مقایسه وزن هزار دانه والدهای بخشنده (روشن و اکسکلیبر) و لاین‌های ایزوژن آن‌ها در دو سال زراعی در شرایط دیم با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد

Fig. 5. Comparison of the1000 grains weight of the donor parents (Roshan and Excalibur) and their isogenic lines in two crop years under dry conditions using Duncan's multi-range test at the 5% level



شکل ۶. مقایسه تعداد سنبله در مترمربع والدهای بخشنده (روشن و اکسکلیبر) و لاین‌های ایزوژن آن‌ها در دو سال زراعی در شرایط دیم با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد

Fig. 6. Comparison of spikes number per meter^2 of donor parents (Roshan and Excalibur) and their isogenic lines during two cropping years under rain-fed conditions using Duncan's multi-range test at the 5% probability level

منابع

Abdolshahi, R., Foroodi-Safat, S., Mokhtarifar, K., Ataollahi, R., Moud, A.M., Kazemipour, A., Pourseyedi, S., Rahmani, A., 2021. Challenges of breeding for longer coleoptile in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). Genetic Resources and Crop Evolution, 68, 1517-1527. https://doi.org/10.1007/s10722-020-01081-5

Abdolshahi, R., Nazari, M., Safarian, A., 2015. Integrated selection criteria for drought tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) breeding programs using discriminant analysis. Field Crops Research 174, 20-29. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.01.009

Allan, R., 1989. Agronomic comparisons between Rht1 and Rht2 semidwarf genes in winter wheat. Crop Science. 29, 1103–1108. https://doi.org/10.2135/cropsci1989.0011183X002900050001x

Botwright, T.L., Rebetzke, G.J., Condon, A.G., Richards, R.A., 2005. Influence of the gibberellinsensitive Rht8 dwarfing gene on leaf epidermal cell dimensions and early vigour in wheat (*Triticum aestivum* L.). Ann. Bot. 95, 631–639. https://doi.org/10.1093/aob/mci069

Butler, J.D., Byrne, P.F., Mohammadi, V., Chapman, P.L., Haley, S.D., 2005. Agronomic performance of Rht alleles in a spring wheat population across a range of moisture levels. Crop Science. 45, 939-947. https://doi.org/10.1071/CP21645

Chapman, S., Mathews, K., Trethowan, R., Singh, R., 2007. Relationships between height and yield in near-isogenic spring wheats that contrast for major reduced height genes. Euphytica. 157, 391–397. https://doi.org/10.1007/s10681-006-9304-3

Du, Y., Chen, L., Wang, Y., Yang, Z., Saeed, I., Daoura, B.G., Hu, Y.G., 2018. The combination of dwarfing genes Rht4 and Rht8 reduced plant height, improved yield traits of rainfed bread wheat (*Triticum aestivum* L.). Field Crops Research. 215, 149-155. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.10.015

Ellis, M.H., Rebetzke, G.J., Chandler, P., Bonnett, D., Spielmeyer, W., Richards, R.A., 2004. The effect of different height reducing genes on the early growth of wheat. Functional Plant Biology 31, 583–589. https://doi.org/10.1071/FP03207

Hoogendoorn, J., Rickson, J., Gale, M., 1990. Differences in leaf and stem anatomy related to plant height of tall and dwarf wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Plant Physiology. 136, 72–77. https://doi.org/10.1016/S0176-1617(11)81618-4

Izanloo, A., Condon, A., Langridge, P., Tester, M., Schnurbusch, T., 2008. Different mechanisms of adaptation to cyclic water stress in two South Australian bread wheat cultivars. Experimental Botany. 59, 3327–3346. https://doi.org/10.1093/jxb/ern199

Keyes, G., Sorrells, M.E., Setter, T.L., 1990. Gibberellic acid regulates cell wall extensibility in wheat (*Triticum aestivum* L.). Plant Physiology. 92, 242–245. https://doi.org/10.1104/pp.92.1.242

Kowalski, A.M., Gooding, M., Ferrante, A., Slafer, G.A., Orford, S., Gasperini, D., Griffiths, S., 2016. Agronomic assessment of the wheat semi-dwarfing gene Rht8 in contrasting nitrogen treatments and water regimes. Field Crops Research. 191, 150-160. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.02.026

Li, G., Bai, G., Carver, B.F., Elliott, N.C., Bennett, R.S., Wu, Y., Hunger, R., Bonman, J.M., Xu, X., 2017. Genome‐wide association study reveals genetic architecture of coleoptile length in wheat. Theoretical and Applied Genetic. 130, 391–401. https://doi.org/10.1007/s00122-016-2820-1

Niu, Y., Chen, T., Zhao, C., Zhou, M., 2021. Improving Crop Lodging Resistance by Adjusting Plant Height and Stem Strength. Agronomy. 11, 2421. https://doi.org/10.3390/agronomy11122421

Rebetzke, G.J., Ellis, M.H., Bonnett, D.G., Mickelson, B., Condon, A.G., Richards, R.A., 2012. Height reduction and agronomic performance for selected gibberellin-responsive dwarfing genes in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). Field Crops Research. 126, 87–96. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.09.022

Reynolds, M.P., Acevedo, E., Sayre, K.D., Fischer, R.A., 1994. Yield potential in modern wheat varieties: its association with a less competitive ideotype. Field Crops Research. 37, 149-160. https://doi.org/10.1016/0378-4290(94)90094-9

Richards, R.A., 1992. The effect of dwarfing genes in spring wheat in dry environments. I.

,of Agricultural Research, 43, 517-527. https://doi.org/10.1007/s10722-020-01081-5

SAS Institute., 2004. Base SAS 9.1 procedures guide. Cary (NC): SAS Institute Inc.

Sourdille, P., Charmet, G., Trottet, M., Tixier, M.H., Boeuf, C., Negre, S., Barloy, D., Bernard, M., 1998. Linkage between RFLP molecular markers and the dwarfing genes Rht- B1 and Rht- D1 in wheat. Hereditas. 128, 41-46. https://doi.org/10.1111/j.1601-5223.1998.00041.x

Zhang, Y., Liu, H., Yan, G., 2021. Characterization of near-isogenic lines confirmed QTL and revealed candidate genes for plant height and yield-related traits in common wheat. Molecular Breeding. 41, 1-17. https://doi.org/10.1007/s11032-020-01196-8