Iranian Genetics Society
Journal of Genetics and Plant Breeding
Shahid Bahonar University of Kerman
Print ISSN : 3060-7965 Online ISSN : 3060-7271

Simultaneous use of speed breeding and marker-assisted backcrossing in developing wheat isogenic lines

Soraya Pourtabrizi

*Corresponding Author: PhD, Department of Plant Production and Genetics, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. Email address: s.pourtabrizi@empl.uk.ac.ir

Ali Kazemi Pour

Assistant Professor, Department of Plant Production and Genetics, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. Email address: ali.kazemi@uk.ac.ir

Ghasem Mohammadi-Nejad

Professor, Research and Technology Institute of Plant Production (RTIPP), Afzalipour Research Institute, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. Email address: mohammadinejad@uk.ac.ir

Gholamreza Khajoei-Nejad

Professor, Department of Plant Production and Genetics, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. Email address: khajoei@uk.ac.ir

Roohollah Abdolshahi

Associate Professor, Research and Technology Institute of Plant Production (RTIPP), Afzalipour Research Institute and Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. Email address: abdoshahi@uk.ac.ir

Abstract

Objective

Achieving isogenic lines is a limitation in breeding programs due to the time-consuming nature of the process. The present study aims to optimize a speed breeding method concurrent with the production of isogenic lines derived from a backcross of bread wheat (cultivars Roshan and Kalheydari) with the early heading Australian cultivar Excalibur. This is to investigate the genetic status and effects of vernalization and photoperiod genes on earliness, yield, and yield components.

Materials and Methods

In the current study, early heading BC3F2 generation plants, obtained through a backcrossing method from the Excalibur cultivar to the Roshan and Kalheydari cultivars in previous studies, were crossed with the recurrent parent (Roshan/Kalheydari) to obtain the BC4F1 generation. Both parents and progeny were evaluated for vernalization and photoperiod genes using specific markers. Before planting, seeds of each generation were dried in an oven (29°C) for 120 hours, then stored for 72 hours in a refrigerator (4°C) after a 0.5 ppm gibberellic acid treatment. Subsequently, they were sown in an optimized medium consisting of cocopeat, decomposed manure, sand, and field soil. Lighting racks equipped with 18 LED lamps and timers provided 16:8 (darkness/light) photoperiod cycles. The greenhouse temperature was controlled at 21-24°C. The development of BC5F1 to BC5F4 generations under greenhouse conditions using this method allowed for speed breeding in a year. Throughout these generations, only heterozygous plants were selected using specific markers. In the BC5F5 generation, based on molecular test results, homozygous lines were chosen for final field trials.

Results

In this research, through optimized greenhouse-based speed breeding and the development of five backcross generations and four selfing generations, the *Ppd-D1b/Ppd-D1b* and *Ppd-D1a/Ppd-D1a* isogenic lines were obtained within the genetic background of the Roshan and Kalheydari cultivars. Additionally, *Vrn-B1a/Vrn-D1a*, *Vrn-B1a/vrn-D1*, *vrn-B1/Vrn-D1a*, and *vrn-B1/vrn-D1* isogenic lines were obtained within the genetic background of Roshan. The results indicated that marker-assisted selection for a combination of the *Vrn-B1* and *Vrn-D1a* vernalization alleles could reduce the number of days to heading by approximately ten days. In contrast, within a backcross breeding program for heading (phenotypic selection) in the same genetic background (Roshan), heading was 14 days earlier. The *vrn-B1/Vrn-D1a* was the isogenic line exhibiting the fewest days to ripening in both trials. The *Vrn-B1a/Vrn-D1* and *Vrn-B1a/Vrn-D1a* isogenic lines, respectively, showed the highest number of days to ripening under well-watered and rainfed conditions. The selection of the *Ppd-D1a* allele in the current study indirectly improved heading in the Roshan and Kalheydari genetic backgrounds by 4.25 and 6.03 days, respectively. The production of the BC5F1 generation within a 65-day timeframe from planting, with the genotypes entering the heading stage, facilitated the cross-pollination.

Conclusion

Year-round marker-assisted backcrossing in a greenhouse is feasible without requiring phenotypic selection. Given the recovery of a significant portion of the recurrent parent's genome

over generations, shortening the breeding cycle using new technologies like accelerated breeding methods can increase genetic progress without a substantial increase in population size.

Keywords: Classical Breeding, Controlled environment, New Generation Technologies.

Paper Type: Research Paper.

Citation: Pourtabrizi S, Kazami pour A, Mohammadi-Nejad G, Khajoei-Nejad G, Abdolshahi R (2025) Simultaneous use of speed breeding and marker-assisted backcrossing in developing wheat isogenic lines. *Journal of Genetics and Plant Breeding* 1 (2), 47-64.

Journal of Genetics and Plant Breeding 1 (2), 47- 64. DOI: 10.22103/gpb.2024.4988

Received: August 28, 2024. Received in revised form: November 15, 2024.

Accepted: November 16, 2024. Published online: December 25, 2024.

Publisher: Research and Technology Institute of Plant Production, Afzalipour Research Institute, Shahid Bahonar University of Kerman and Iranian Genetics Society.

© the authors

مجله ژنتیک و به نژادی گیاهی
شاپا چاپی: ۷۹۶۵-۳۰۶۰ شاپا الکترونیکی: ۷۲۷۱-۳۰۶۰
انجمن ژنتیک ایران
دانشگاه شهید باهنر کرمان
پژوهشگاه افضلی پور

بکارگیری همزمان به‌نژادی سریع و تلاقی برگشتی به کمک نشانگر در توسعه لاین‌های ایزوژن گندم

ثریا پورتبریزی

*نویسنده مسئول: دکترا، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: s.pourtabrizi@empl.uk.ac.ir

علی کاظمی‌پور

استادیار، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: ali.kazemi@uk.ac.ir

قاسم محمدی‌نژاد

استاد، پژوهشکده فناوری تولیدات گیاهی، پژوهشگاه افضلی‌پور، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: mohammadinejad@uk.ac.ir

غلامرضا خواجویی‌نژاد

استاد، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: khajoei@uk.ac.ir

روح‌اله عبدالشاهی

دانشیار، پژوهشکده فناوری تولیدات گیاهی، پژوهشگاه افضلی‌پور و گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: abdoshahi@uk.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۰۷ تاریخ دریافت فایل اصلاح شده نهایی: ۱۴۰۳/۰۸/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۲۶

چکیده

هدف: دستیابی به لاین‌های ایزوژن به‌دلیل زمان‌بر بودن، یک محدودیت در برنامه‌های به‌نژادی به‌شمار می‌رود. پژوهش حاضر با هدف بهینه سازی یک روش به‌نژادی سریع همزمان با تولید لاین‌های ایزوژن حا صل از تلاقی برگ شتی گندم نان (رقم رو شن و کل‌حیدری) با رقم زودرس استرالیایی اکسکلیبر و به‌منظور بررسی وضعیت ژنتیکی و تاثیر ژن‌های بهاره‌سازی و طول دوره نوری بر زودرسی، عملکرد و اجزا عملکرد، انجام شده است.

مواد و روش‌ها: در پژوهش حاضر، گیاهان زودرس نسل BC3F2 حاصل روش تلاقی برگشتی از رقم اکسکلیبر به ارقام روشن و کل‌حیدری در مطالعات قبلی را با والد تکراری (روشن/ کل‌حیدری) برای حصول نسل BC4F1 تلاقی داده و والدین و نتاج با استفاده از نشانگرهای اختصاصی ژن‌های بهاره‌سازی و طول دوره نوری ارزیابی شدند. بذرهای هر نسل، قبل از کشت به‌مدت ۱۲۰ ساعت در آون (۲۹°C) خشک و سپس ۷۲ ساعت با تیمار اسید جیبرلیک ۰/۵ پی‌پی‌ام در یخچال (۴°C) نگهداری شدند و سپس در بستر بهینه شده شامل کوکوپیت، کود دامی پوسیده، ماسه و خاک مزرعه کاشته شدند. قفسه‌های نوری مجهز به ۱۸ عدد لامپ ال‌ای‌دی و نیز زمان‌سنج، چرخه‌های نوری ۱۶:۸ (تاریکی /روشنایی) را فراهم آوردند. دمای ۲۴–۲۱ درجه سانتی‌گراد در گلخانه کنترل شد. توسعه نسل‌هایBC5F1 تا BC5F4 در شرایط گلخانه با استفاده از این شیوه، به‌نژادی سریع در یک‌سال انجام شد. در طول این نسل‌ها، با استفاده از نشانگرهای اختصاصی، تنها گیاهان هتروزیگوت انتخاب شدند. در نسل BC5F5 بر اساس نتایج آزمایش‌های مولکولی، لاین‌های هموزیگوت برای آزمون‌های مزرعه‌ای نهایی انتخاب شدند.

نتایج: در این پژوهش با کمک شیوه به‌نژادی سریع بهینه شده در گلخانه و توسعه پنج نسل تلاقی برگشتی و چهار نسل خودگشنی، لاین‌های ایزوژن *Ppd-D1b/Ppd-D1b* و *Ppd-D1a/Ppd-D1a* در زمینه ژنتیکی دو رقم روشن و کل حیدری و نیز لاین‌های ایزوژن *Vrn-B1a/Vrn-D1a*، *Vrn-B1a/ vrn-D1*، *vrn-B1/ Vrn-D1a* و *vrn-B1/ vrn-D1* در زمینه ژنتیکی روشن به‌دست آمدند. نتایج نشان داد انتخاب به کمک نشانگر برای ترکیبی از آلل‌های بهاره‌سازی *Vrn-B1* و *Vrn-D1a* می‌تواند تقریباً تعداد روز تا گلدهی را ده روز کاهش دهد، در حالی‌که در یک برنامه به‌نژادی تلاقی برگشتی برای گلدهی (انتخاب فنوتیپی) در زمینه ژنتیکی یکسان (روشن)، گلدهی ۱۴ روز زودتر بود. *vrn-B1/Vrn-D1a* لاین ایزوژنی بود که کمترین تعداد روز تا رسیدگی را در هر دو آزمایش داشت. لاین ایزوژن *Vrn-B1a/Vrn -D1* و *Vrn-B1a /Vrn-D1a* به‌ترتیب بیشترین تعداد روز تا رسیدگی را در شرایط آبی و دیم به خود اختصاص دادند. انتخاب آلل *Ppd-D1a* در تحقیق حاضر به‌طور غیرمستقیم باعث بهبود گلدهی در زمینه ژنتیکی روشن و کل‌حیدری به‌ترتیب ۴/۲۵ و ۶/۰۳ روز شد. با تولید نسل BC5F1 در یک بازه زمانی ۶۵ روز از کاشت و ورود ژنوتیپ‌ها به فاز گلدهی، امکان انجام تلاقی فراهم گردید.

نتیجه‌گیری: انجام تلاقی برگشتی به کمک نشانگر در تمام طول سال در گلخانه ممکن و به گزینش فنوتیپی نیاز نیست. با توجه به بازیابی بخش زیادی از ژنوم والد تکراری با توسعه نسل‌ها، کوتاه کردن چرخه به‌نژادی با استفاده از تکنولوژی‌های نسل جدید مانند روش‌های به‌نژادی سریع می‌تواند باعث افزایش پیشرفت ژنتیکی بدون افزایش قابل توجه اندازه جمعیت گردد.

کلیدواژه‌ها: به‌نژادی کلاسیک، تکنولوژی‌های نسل جدید، محیط کنترل شده.

نوع مقاله: پژوهشی.

استناد: پورتبریزی ثریا، کاظمی‌پور علی، محمدی‌نژاد قاسم، خواجویی‌نژاد غلامرضا، عبدالشاهی روحاله (۱۴۰۳) بکارگیری همزمان به‌نژادی سریع و تلاقی برگشتی به کمک نشانگر در توسعه لاین‌های ایزوژن گندم. *مجله ژنتیک و به‌نژادی گیاهی*، ۱(۲)، ۶۴–۴۷.

Publisher: Research and Technology Institute of Plant Production, Afzalipour Research Institute, Shahid Bahonar University of Kerman and Iranian Genetics Society
© the authors

مقدمه

گندم نان (*Triticum aestivum* L.) یکی از اولین منابع انرژی باقی‌مانده در دنیا است که با قابلیت کشت در طیف وسیعی از شرایط، یکی از گسترده‌ترین محصولات زراعی است. این موضوع نشان‌دهنده توانایی سازش بسیار زیاد این گیاه با اقلیم‌های گوناگون است (Kulkarni et al. 2017; Dennis et al. 2021). با توجه به جمعیت تخمین زده شده در سال ۲۰۵۰ (نه میلیارد نفر) و چالش بزرگ افزایش تولید غذا، اهمیت این گیاه دو چندان می‌شود (Reynolds et al. 2010). سازگاری گندم نان به‌گونه‌ای است که تقریباً ۹۱ درصد اراضی زیر کشت گندم دنیا به‌این گونه اختصاص دارد. ولی با وجود استراتژیک بودن گندم و نیز پایین بودن نرخ افزایش عملکرد آن در جهت دستیابی به تامین افزایش تقاضا، یکی از اهداف بلند مدت به‌نژادگران، افزایش عملکرد گندم می‌باشد. دستیابی به‌این امر مهم، منوط به شناخت مراحل رشد و نمو گندم و نحوه تأثیر عوامل محیطی مانند تنش خشکی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین تنش‌ها، بر آن‌ها می‌باشد (Barnabas et al. 2008). بنابراین به‌نژادی برای انطباق گندم با موقعیت‌های گوناگون کشت، توانایی سازگاری برای تعیین زمان مناسب گلدهی، رسیدگی و در نتیجه طیف گسترده‌ای از تغییرات ژنتیکی در جایگاه‌های خاص، ضروری است. در این میان عکس‌العمل به طول دوره نوری، تنظیم زمان گلدهی، مقاومت به سرما و زودرسی از جمله صفاتی هستند که به نظر می‌رسد عوامل اصلی تعیین‌کننده سازگاری به شرایط محیطی در ارقام زراعی گندم می‌باشند. زودرسی یکی از مهم‌ترین اهداف برنامه‌های به‌نژادی است که علاوه بر برداشت زود هنگام، باعث فرار از تنش‌های زیستی و غیرزیستی اواخر فصل رشد می‌شود.

زمان گلدهی در گندم طی یک فرایند پیچیده‌ی ژنتیکی کنترل می‌شود. به گونه‌ای که سه گروه اصلی از ژن‌ها شامل ژن‌های پاسخ به بهاره‌سازی[1]، طول دوره نوری[2] و ژن‌های ذاتی زودرسی[3] در آن دخیل‌اند. در این بین ژن‌های بهاره‌سازی و طول دوره نوری اثر زیادی بر این زمان دارند که به اثرات محیطی هم‌چون دما و نور وابسته‌اند. به‌نژادگران می‌توانند با استفاده از دانش خود بر پایه اطلاعات ژنتیکی زودرسی و نیز اطلاعات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی حاصل از این صفت، استراتژی‌های بهبود یافته‌ای را برای پیشرفت در کاهش طول فصل رشد به‌کار گیرند. ثابت شده است که بیشترین عملکرد دانه گندم در شرایط تنش

[1] Vernalization (*Vrn*)
[2] Photoperiod (*Ppd*)
[3] Earliness *per se* (*Eps*)

خشکی متعلق به ارقامی بوده است که در اوایل فصل رشد به سنبله رفته‌اند و از خشکی آخر فصل اجتناب نموده‌اند (Mondal et al. 2013). ژن‌های اصلی که پاسخ به بهاره‌سازی را کنترل می‌کنند در گندم‌های زمستانه، به حالت مغلوب و در بهاره‌ها به‌صورت غالب هستند و بر پیدایش گل، تعداد برگ، زمان پیدایش برگ پرچم و تعداد پنجه اثر دارند. در یک رقم حساس به طول دوره نوری تا زمانی‌که طول دوره نوری به اندازه‌ی کافی برای برآوردن نیاز نوری افزایش نیابد گیاه در مرحله رویشی باقی می‌ماند.

استفاده از نشانگرهای مولکولی برای انتخاب ژنوتیپ‌های برتر در برنامه‌های به‌نژادی، برای صفاتی که از نظر فنوتیپی گزینش آن‌ها دشوار، در معرض خطای محیطی بالا و یا ارزیابی آن‌ها پرهزینه است، بسیار سودمند است. انتخاب مبتنی بر نشانگر این امکان را می‌دهد که در هر زمان از یک برنامه به‌نژادی مورد استفاده قرار گیرد. مزیت‌های استفاده از این روش در به‌نژادی توسط پژوهشگران زیادی مطالعه شده است (Bonnett et al. 2005). ثابت شده است زمانی که از انتخاب به کمک نشانگر در تلاقی برگشتی[1] استفاده می‌شود، بازده ژنتیکی نسبت به گزینش فنوتیپی بیشتر بوده است. تلاقی برگشتی به کمک نشانگر[2] کارایی آلل‌هایی در تلاقی برگشتی را که مغلوب، اپیستاتیک یا تأثیرگذار هستند، ولی نمی‌توان آن‌ها را به‌راحتی بر روی یک گیاه واحد اندازه‌گیری کرد، بسیار بهبود بخشید. نشان داده شده است که تلاقی برگشتی به کمک نشانگر منجر به افزایش بازدهی حدود دو نسل برای بازیابی ژنوم والد تکراری در مقایسه با تلاقی برگشتی معمولی بدون استفاده از نشانگرها شد. از آنجا که تلاقی برگشتی به کمک نشانگر را می‌توان در تمام طول سال در گلخانه انجام داد، این کاهش زمان یک فاکتور بسیار ارزشمند خواهد بود، زیرا گزینش فنوتیپی ضروری نیست. علاوه براین با پیشرفت نسل‌ها، بخش زیادی از ژنوم والد تکراری بازیابی می‌شود و بنابراین بخش‌های کمی از ژنوم والدین بخشنده باقی می‌ماند (Hospital et al. 1997; Rutkoski et al. 2020).

موفقیت از طریق بذر، بستگی زیادی به استفاده از روش‌های موثر و پربازده در مسیر به‌نژادی دارد. در این میان کاهش زمان تولید ارقام جدید یک عامل موثر خواهد بود. برخلاف اینکه به‌نژادی کلاسیک هنوز یک روش موثر برای تولید ارقام گیاهی است، در این شیوه، پس از انجام یک دورگ‌گیری و قبل از آزمایش‌های میدانی، جهت انجام چهار تا شش نسل خودگشنی و انتخاب برای تولید لاین با زمینه ژنتیکی پایدار، زمان نیاز است. علاوه بر این، در شرایط عادی، محصولات زراعی فقط می‌توانند یک تا دو نسل در سال پیشرفت کنند و این امر چرخه به‌نژادی را به فرآیندی بسیار کند تبدیل می‌کند (Watson et al. 2018). تلفیق روش‌های به‌نژادی‌سریع[3] با روش‌هایی مانند گزینش به کمک نشانگر و تلاقی برگشتی به کمک نشانگر یک راهکار مناسب برای کاهش بیشتر زمان تولید لاین‌های خالص و افزایش پیشرفت ژنتیکی در واحد زمان می‌باشند (Gudi et al. 2022).

شیوه‌های به‌نژادی سریع با بهینه‌سازی فاکتورهای رشد از جمله نور، دما و دوره نوری، توسعه سریع نسل و انتخاب دقیق صفات مطلوب را تسهیل می‌کنند. این امر در مقایسه با روش‌های سنتی به‌نژادی در مزرعه، منجر به چرخه‌های زراعی کوتاه‌تر

[1] Back cross (BC)
[2] Marker assisted backcrossing (MAB)
[3] Speed Breeding

می‌شود و در نتیجه امکان تولید و ارزیابی نسل‌های بیشتری از گندم در مدت زمان بسیار کوتاه‌تر فراهم می‌گردد (Ghosh et al. 2018) زیرا دوره‌های نوری طولانی یا رژیم‌های روشنایی مداوم می‌توانند رشد مداوم را تحریک کرده و زمان لازم برای انتقال گیاه از مرحله رویشی به مرحله زایشی را کوتاه کنند. نتایج مطالعات اخیر همچنین نشان می‌دهد که پیشرفت تکنولوژی‌های ارزیابی‌های فنوتیپی و ژنوتیپی با کوتاه کردن چرخه‌های برنامه‌های به‌نژادی، به‌طور معنی‌دار باعث افزایش شدت گزینش و پیشرفت ژنتیکی شده است. بنابراین، کوتاه کردن چرخه به‌نژادی گیاهان با استفاده از تکنولوژی‌های نسل جدید مانند روش به‌نژادی سریع در گیاهان مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد (Xu et al. 2020). توسعه حداکثر ۶ نسل در سال برای گندم بهاره، گندم دوروم، جو، نخود و نخود فرنگی و ۴ نسل در کلزا با این روش در حالی است که، در شرایط عادی گلخانه این میزان ۲-۳ نسل است. استفاده از نور مکمل در محیط گلخانه امکان تسریع رسیدن به نسل از طریق کشت تک دانه را فراهم می‌کند. صرفه‌جویی در هزینه از طریق نورهای مکمل با دیودهای ساطع‌کننده نور (LED)[1] نیز ذکر شده است (Watson et al. 2018). برای ارزیابی به‌نژادی سریع به‌عنوان روشی برای تسریع تحقیقات کاربردی و بنیادی بر روی گونه‌های غلات، ژنوتیپ‌های استاندارد گندم نان بهاره، گندم دوروم و جو در یک اتاق با محیط کنترل‌شده با دوره نوری طولانی (۲۲ ساعت روشنایی/۲ ساعت تاریکی) کشت داده شدند. رشد این گیاهان با گیاهانی که در گلخانه‌ها بدون نور مکمل یا گرمایش در بهار و اوایل تابستان ۲۰۱۶ کشت شده بودند، مقایسه شد. گیاهان رشد یافته تحت روش به‌نژادی سریع در زمانی معادل تقریبا نیمی از زمان گیاهان گلخانه‌ای بدون نور مکمل به مرحله گلدهی رسیدند. بسته به رقم، گیاهان در ۳۵-۳۹ روز (گندم) و ۳۷-۳۸ روز (جو) به گلدهی رسیدند. همزمان، گیاهان گلخانه‌ای بدون مکمل نوری فقط به مرحله اولیه ساقه رفتن یا مرحله رشد سه برگی رسیده بودند (Watson et al. 2018). این مطالعه همچنین نشان داده است در مقایسه با گلخانه‌ای با دوره نوری طبیعی و بدون مکمل نوری که تنها ۲-۳ نسل از گندم، جو، نخود و کلزا در سال، قابل دستیابی بوده، به‌نژادی سریع این امکان را برای پژوهشگران فراهم ساخت که ۴-۶ نسل از این محصولات در یک سال کشت شود. علاوه بر این برداشت خوشه‌ها و خشک کردن آن‌ها در یک آون (۳ روز) امکان چرخه سریع‌تر بذر به بذر را در مقایسه با فرآیند طبیعی خشک شدن بذر که حدود ۱۵ روز طول می‌کشد، فراهم می‌آورد (Watson et al. 2018). پژوهش‌ها نشان داده است که با استفاده از ترکیب عواملی مانند نور ال ای دی و طول روز مناسب در گلخانه یا اتاقک رشد و نیز کنترل دما و رطوبت، از گندم بهاره، نخود و کلزا در یک سال بیش از سه نسل تولید شده است (Collard et al. 2017). در شرایط کنترل‌شده در برنج و نخود نیز به اثبات رسیده است که می‌توان بذور زنده را تقریباً ۶۰ روز پس از کاشت، برداشت کرد (Ghosh et al. 2018). در بهینه‌سازی یک روش به‌نژادی سریع برای گندم زمستانه نیز موفق شده‌اند رشد را برای ارزیابی بیماری بلاست خوشه گندم تسریع کنند و یک نسل کامل را در ۱۲۰ روز به اتمام برسانند (Zakieh et al. 2021).

[1] Light Emitting Diode

فاصله زمانی بین زمان برداشت یک نسل تا کاشت بذور برای نسل بعد در روش به‌نژادی سریع کوتاه است و با خواب بذر در جایی که جوانه زنی و رشد سریع مورد نیاز است عموماً یک صفت نامطلوب برای گندم محسوب می شود. اسید جیبرلیک نقش مهمی در شکستن خواب بذر گندم دارد. پژوهش‌ها نشان داده است که اثر مثبت این هورمون در شکستن خواب بذر، زمان طولانی پس‌رسی را بسیار کوتاه و تقریباً حذف کرده است. علاوه بر این در برخی از ارقام گندم، کاربرد اسید جیبرلیک می‌تواند بخشی از نیاز سرمایی را برطرف کند و باعث تسریع گلدهی شود. این بدین معنی است که دوره سرمایی مورد نیاز برای گلدهی در برخی از ارقام با استفاده از اسید جیبرلیک کاهش پیدا می‌کند (Tavakol Afshari et al. 2011).

با توجه به زمان‌بر بودن تولید لاین‌های ایزوژن در روش‌های به‌نژادی کلاسیک و از طرفی نیاز به استفاده از روش‌های تلاقی برگشتی و انتخاب به کمک مارکر و با هدف کوتاه کردن چرخه تولید نسل، بهینه‌سازی یک روش به‌نژادی سریع مطابق شرایط و امکانات محل انجام پژوهش مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

با توجه به آزمایشات سه ساله‌ای که قبل از این پژوهش در کرمان انجام شده بود، از بین ۴۰ ژنوتیپ مورد ارزیابی، رقم‌های کل‌حیدری و روشن به‌عنوان متحمل‌ترین رقم‌ها به خشکی گزینش شدند (Abdolshahi et al. 2013). در ادامه و در پژوهشی دیگر که برای بررسی تاثیر زودرسی بر عملکرد گندم نان طراحی شده بود، زودرسی با استفاده از روش تلاقی برگشتی از رقم استرالیائی و زودرس اکسکلیبر به ارقام روشن و کل‌حیدری منتقل شد. به این منظور تلاقی والدین تکراری (رقم روشن، رقم کل‌حیدری) و اکسکلیبر انجام شد تا نسل F_1 حاصل شود. در ادامه تلاقی برگشتی، گزینش نتاج زودرس بر اساس تاریخ گلدهی و خودگشنی تا توسعه نسل BC3F2 در مزرعه ادامه یافت (Dorrani-Nejad et al. 2022). با شروع پژوهش حاضر، انتخاب گیاهان زودرس BC3F2 بر اساس تاریخ گلدهی در مزرعه صورت گرفت. تلاقی برگشتی با والد تکراری (روشن / کل حیدری) جهت دستیابی به نسل BC4F1 انجام شد. در این نسل، والدین و نتاج با استفاده از نشانگرهای اختصاصی برای جایگاه ژن‌های بهاره سازی (*Vrn-A1*, *Vrn-B1*, *Vrn-D1*) و طول دوره نوری (*Ppd-B1*, *Ppd-D1b*) مورد ارزیابی مولکولی قرار گرفتند. با توجه به تنوع ژنتیکی به‌دست آمده در هریک از این مکان‌های ژنی، به‌ترتیب، آلل‌های (*Vrn-B1a/ vrn-B1*, *Vrn-D1a/ vrn-D1*) و (*Ppd-D1a/ Ppd-D1b*) جهت گزینش مورد استفاده قرار گرفتند.

ادامه فرایند توسعه نسل تا رسیدن به جمعیت مورد نظر در گلخانه و بر اساس نتایج حاصل از بهینه‌سازی یک شیوه به‌نژادی سریع انجام شد (Watson et al. 2018). به این منظور از بین سه تیمار ۱۶:۸ ، ۲۰:۴ و ۲۲:۲ ساعت (شب: روز) بر اساس زودترین زمان خوشه‌دهی، تیمار ۱۶:۸ جهت استفاده در طول پژوهش انتخاب شد (Watson et al. 2018).

با توجه به فاصله زمانی کوتاه بین برداشت بذر و کاشت مجدد جهت توسعه نسل در روش به‌نژادی سریع از تیمار اسید جیبرلیک برای شکست خواب بذر استفاده شد. با هدف آزمون و انتخاب مدت زمان سرمادهی مورد نیاز برای ورود به فاز زایشی،

روی بذور تیمار شده با اسید جیبرلیک، تیمارهای صفر، سه روز، یک، دو، سه و چهار هفته سرمادهی در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد اعمال و در نهایت با توجه به بازه زمانی بین تیمار و زمان ورود به فاز زایشی، تیمار سه روز مناسب تشخیص داده شد. بر این اساس در طی اجرای فرایند به‌نژادی سریع کلیه بذور هر نسل، قبل از کشت به‌مدت ۱۲۰ ساعت در دمای ۲۹ درجه در آون خشک و سپس به‌مدت ۷۲ ساعت با تیمار اسید جیبرلیک ۰/۵ پی پی ام در دمای چهار درجه سانتی‌گراد در یخچال نگهداری شدند (جدول ۱) (Watson et al. 2018). سپس بذور هر ژنوتیپ به‌طور مستقیم در عمق حدود ۲/۵ سانتی‌متر در بستر بهینه شده‌ای با نسبت ۲:۱:۱:۱ به‌ترتیب شامل کوکوپیت، کود دامی پوسیده، ماسه و خاک مزرعه کاشته شدند. قفسه‌های نوری مورد استفاده در این پژوهش با ۶ عدد لامپ ال‌ای‌دی در هر طبقه، نور مورد نیاز را فراهم نمودند. این قفسه‌ها با سطح کشت ۰/۷۳ متر مربع در هر طبقه و ارتفاع کشت ۶۰*۶۱ مجهز به زمان‌سنج ۲۴ ساعت (شب/ روز) بودند و بدین ترتیب چرخه‌های نوری ۲۴ ساعت (۱۶ ساعت روشنایی / ۸ ساعت تاریکی) را فراهم آوردند. دمای ۲۴-۲۱ درجه سانتی‌گراد در گلخانه در طول دوره رشدی کنترل شد.

برای ایجاد شرایط رشد مطلوب، تغذیه گیاهان در طول دوره رشد با کود کامل پتاس- فسفر – ازت و کود میکرو انجام شد. آبیاری بستر گیاهان در مرحله رسیدگی متوقف شد تا شرایط لازم برای بلوغ گیاهان فراهم آید. با ادامه پژوهش در گلخانه، تک بوته‌های هر جمعیت، جهت انتخاب بوته‌های هتروزیگوت برای هر مکان ژنی بر اساس نتایج آزمایش‌های مولکولی ، مورد بررسی قرار گرفتند. بعد از کشت بذرهای تک بوته‌های هتروزیگوت گزینش شده، با استفاده از خودگشنی‌های پیاپی، نسل‌های BC5F2، BC5F3 و BC5F4 نیز در گلخانه حاصل گردید (جداول ۱ و ۲). در تمام این نسل‌ها فقط بوته‌هایی که برای مکان‌های ژنتیکی مورد مطالعه هتروزیگوس بودند، گزینش و به نسل بعد برده شدند (جدول ۲). در نسل BC5F5 فقط بوته‌های هموزیگوس گزینش و تکثیر شدند. در طول توسعه نسل‌ها، گزینش گیاهان هتروزیگوس و هموزیگوس با استفاده از نشانگرهای اختصاصی برای جایگاه بهاره‌سازی (*Vrn-B1a/ vrn-B1* , *Vrn-D1a/ vrn-D1*) و طول دوره نوری (*Ppd-D1a/ Ppd-D1b*) انجام شد و با کمک شیوه به‌نژادی سریع بهینه شده در گلخانه و توسعه پنج نسل تلاقی برگشتی و چهار نسل خودگشنی، هشت لاین ایزوژن به‌دست آمد و برای ادامه پژوهش وارد آزمون‌های مزرعه ای شد (Pourtabrizi et al. 2024).

جهت اطمینان از خلوص مورد نظر در نسل BC5F5، بذرهای هر جمعیت، در مزرعه کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان کشت و از هر جمعیت ۲۰۰ تک بوته به تصادف انتخاب و با استفاده از نشانگرهای اختصاصی که به آن اشاره شد، از طریق آزمایش‌های مولکولی مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت لاین‌های ایزوژن برای ژن‌های پاسخ به بهاره سازی و طول دوره نوری در زمینه‌ی ژنتیکی روشن و کل‌حیدری توسعه یافتند (جدول ۱).

جهت اطمینان از خلوص مورد نظر در نسل BC5F5، بذرهای هر جمعیت، در مزرعه کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان کشت و از هر جمعیت ۲۰۰ تک بوته به تصادف انتخاب و با استفاده از نشانگرهای اختصاصی که به آن اشاره شد، از طریق

آزمایش‌های مولکولی مورد برر سی قرار گرفت و در نهایت لاین‌های ایزوژن برای ژن‌های پا سخ به بهاره سازی و طول دوره نوری در زمینه‌ی ژنتیکی روشن و کل‌حیدری توسعه یافتند (جدول ۱).

جدول ۱. زمان‌بندی اجرای روش به‌نژادی سریع در گلخانه

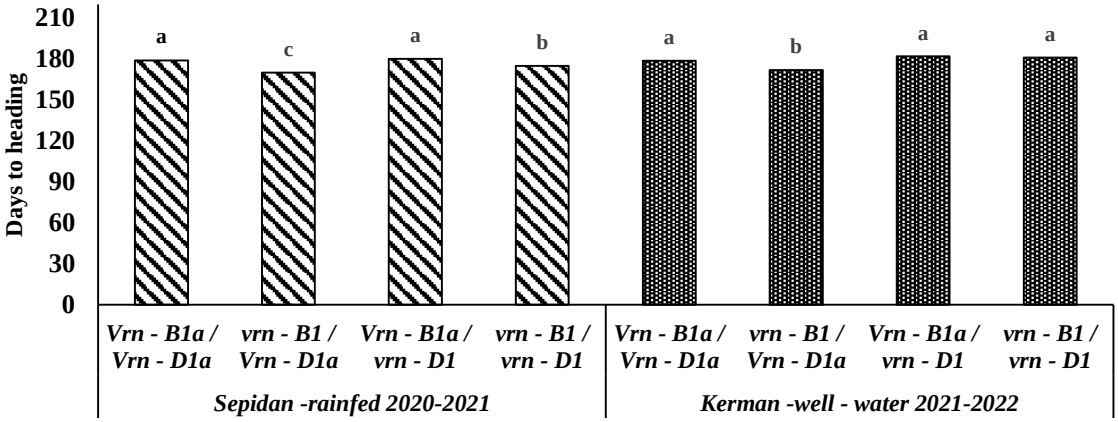
Table 1. Speed breeding implementation timeline in the greenhouse

تاریخ کاشت Planting date	ژنوتیپ‌های هدفکاشت Target planting genotypes	تاریخ برداشت Harvest date	ژنوتیپ‌های هدف برداشت Target harvest genotypes
2019/07/16	*BC5F1* -(*Ppd*)- Roshan *BC5F1* -(*Vrn*)- Roshan *BC5F1* -(*Ppd*)- Kalheydari	2019/11/04	*BC5F2* -(*Ppd*)- Roshan *BC5F2* -(*Vrn*)- Roshan *BC5F2* -(*Ppd*)- Kalheydari
فرایند خشک‌کردن بذر به‌مدت ۱۲۰ ساعت در دمای ۲۹°c - تیمار با اسید جیبرلیک جهت شکستن خواب بذر و ۷۲ ساعت سرمادهی در دمای ۴°c Seed drying process for 120 hours at 29°C, followed by gibberellic acid treatment to break seed dormancy and 72 hours of cold stratification at 4°C			
2019/11/14	*BC5F2* -(*Ppd*)- Roshan *BC5F2* -(*Vrn*)- Roshan *BC5F2* -(*Ppd*)- Kalheydari	2020/02/13	*BC5F3* -(*Ppd*)- Roshan *BC5F3* -(*Vrn*)- Roshan *BC5F3* -(*Ppd*)- Kalheydari
فرایند خشک‌کردن بذر به مدت ۱۲۰ ساعت در دمای ۲۹°c - تیمار با اسید جیبرلیک جهت شکستن خواب بذر و ۷۲ ساعت سرمادهی در دمای ۴°c Seed drying process for 120 hours at 29°C, followed by gibberellic acid treatment to break seed dormancy and 72 hours of cold stratification at 4°C			
2020/02/21	*BC5F3* -(*Ppd*)- Roshan *BC5F3* -(*Vrn*)- Roshan *BC5F3* -(*Ppd*)- Kalheydari	2020/06/22	*BC5F4* -(*Ppd*)- Roshan *BC5F4* -(*Vrn*)- Roshan *BC5F4* -(*Ppd*)- Kalheydari
فرایند خشک‌کردن بذر به مدت ۱۲۰ ساعت در دمای ۲۹°c - تیمار با اسید جیبرلیک جهت شکستن خواب بذر و ۷۲ ساعت سرمادهی در دمای ۴°c Seed drying process for 120 hours at 29°C, followed by gibberellic acid treatment to break seed dormancy and 72 hours of cold stratification at 4°C			
2020/07/05	*BC5F4* -(*Ppd*) -Roshan *BC5F4* -(*Vrn*) -Roshan *BC5F4* -(*Ppd*) - Kalheydari	2020/10/29	*BC5F5* -(*Ppd*) -Roshan *BC5F5* -(*Vrn*) -Roshan *BC5F5* -(*Ppd*) -Kalheydari

نتایج و بحث

هدف ا صلی در هر برنامه به‌نژادی در گندم، حداکثر تطابق ژنوتیپ‌ها با محیط ا ست. به‌گونه‌ای که حداکثر پایداری عملکرد حاصل شود. شناخت عوامل ژنتیکی دخیل در سازگاری، به انتخاب بهتر ژرم پلا سم برای محیط‌های هدف و در نتیجه آن به حفظ عملکرد محصول، کمک می‌کند (Ferrara et al. 1998). سیستم ژن بهاره‌سازی حدود ۷۵–۷۰ درصد و سیستم ژن طول دوره

نوری حدود ۲۵–۲۰ درصد از تنوع ژنتیکی در زمان گلدهی گندم را توجیه می‌کند (Stelmakh 1998). در این پژوهش با استفاده از تاثیر مطلوب بکارگیری همزمان شیوه‌های تلاقی برگشتی و انتخاب به کمک نشانگر و نیز به‌نژادی سریع به‌عنوان گامی موثر در تسریع و توسعه نسل‌ها در راستای انتخاب ژنوتیپ‌های برتر استفاده شد و در نهایت با کمک شیوه به‌نژادی سریع بهینه شده در گلخانه و توسعه پنج نسل تلاقی برگشتی و چهار نسل خودگشنی، لاین‌های ایزوژن *Ppd-D1b/Ppd-D1b* و-*Ppd D1a/Ppd-D1a* در زمینه ژنتیکی دو رقم روشن و کل حیدری و نیز لاین‌های ایزوژن *Vrn-B1a/Vrn-D1a*، */Vrn-B1a vrn-D1*، *vrn-B1/ Vrn-D1a* و *vrn-B1/ vrn-D1* در زمینه ژنتیکی روشن به‌دست آمدند (جدول ۲). والدین و لاین‌های ایزوژن در شرایط دیم شهرستان سپیدان استان فارس و فاریاب استان کرمان کاشته شدند. ژنوتیپ‌ها در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار مورد ارزیابی قرار گرفتند. بررسی نتایج نشان داد انتخاب به کمک نشانگر برای ترکیبی از آلل‌های بهاره‌سازی *Vrn-B1* و *Vrn-D1a* می‌تواند تقریباً تعداد روز تا گلدهی را ده روز کاهش دهد (شکل ۱)، در حالی که در یک برنامه به‌نژادی تلاقی برگشتی برای گلدهی (انتخاب فنوتیپی) در زمینه ژنتیکی یک سان (رو شن)، گلدهی ۱۴ روز زودتر بود (Dorrani-Nejad et al. 2022).



شکل ۱. اثر متقابل مکان ژنی *Vrn-B1* و *Vrn-D1* بر روز تا گلدهی لاین‌های ایزوژن در شرایط دیم و فاریاب. مقادیر با حروف مشابه در p=0.05 تفاوت ندارند.

Figure 1. Interaction of *Vrn-B1 and Vrn-D1* loci on days to heading under rain-fed and well-watered conditions using isogenic lines. Values with the same letter are not different at p=0.05.

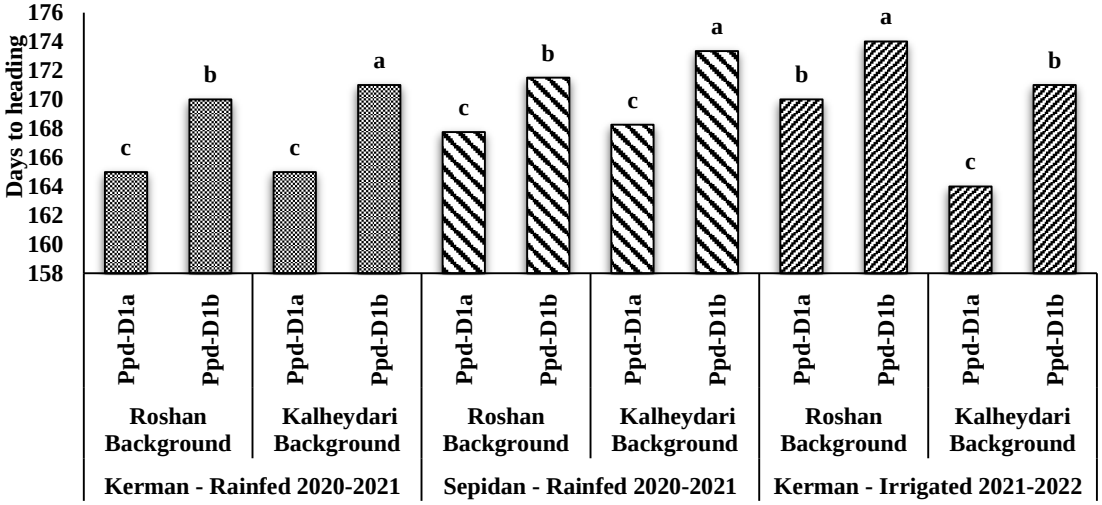
با این حال، در برنامه‌های به‌نژادی سریع در شرایط گلخانه، انتخاب به کمک نشانگر برای آلل‌های *Vrn* پاسخ به انتخاب را بهبود می‌بخشد. اگرچه *Vrn-B1* تأثیر کمی بر عملکرد دانه در شرایط دیم داشت، انتخاب به کمک نشانگر و تلاقی برگشتی برای این آلل که چرخه زندگی گندم را در این شرایط کوتاه می‌کند، برای مناطق با بارندگی محدود مطلوب است (Watson et al. 2018). نشان داده شده است که در گندم نان آلل *vrn-B1*، به‌عنوان یک آلل عادت رشد زمستانی، زودرس بودن گندم نان را به طرز چشمگیری بهبود بخشیده است (Pourtabrizi et al. 2024). در شرایط دیم و فاریاب، اختلاف تعداد روز تا رسیدگی بین لاین ایزوژن زودرس و دیررس به‌ترتیب ۱۱/۵ و ۹ روز بود. *vrn-B1/Vrn-D1a* لاین ایزوژنی بود که کمترین تعداد روز تا رسیدگی را در هر دو آزمایش داشت. لاین ایزوژن *Vrn-B1a/Vrn -D1* و *Vrn-B1a /Vrn-D1a* به‌ترتیب بیشترین تعداد روز تا رسیدگی را در شرایط آبی و دیم به خود اختصاص دادند (جدول ۲).

انتخاب آلل *Ppd-D1a* در تحقیق حاضر به‌طور غیرمستقیم باعث بهبود گلدهی در زمینه ژنتیکی روشن و کل‌حیدری به‌ترتیب ۴/۲۵ و ۶/۰۳ روز شد (شکل۲). در یک برنامه به‌نژادی تلاقی برگشتی برای گلدهی زودرس (انتخاب فنوتیپی) در زمینه‌های ژنتیکی مشابه با تحقیق حاضر، گلدهی زودهنگام به‌ترتیب ۱۴ و ۱۱ روز در زمینه‌های ژنتیکی مذکور بهبود یافت (Dorrani-Nejad et al. 2022). این نتایج نشان‌دهنده پاسخ بالاتر به انتخاب فنوتیپی در برنامه به‌نژادی برای گلدهی، در مقایسه با انتخاب به کمک نشانگر برای *Ppd-D1a* است. با این‌حال، با توجه به اثر متقابل گلدهی با محیط‌های هدف، در برنامه‌های به‌نژادی سریع در شرایط گلخانه، بر خلاف انتخاب فنوتیپی برای گلدهی، انتخاب به کمک نشانگر برای *Ppd-D1a* پاسخ بهتری به انتخاب داشت (شکل ۲) (Watson et al. 2018). این نتایج در تعداد روزها تا رسیدن نیز پیش‌بینی شد، زمانی‌که *Ppd-D1a* این صفت را به‌ترتیب در زمینه‌های ژنتیکی روشن و کل‌حیدری، ۷/۰۴ و ۸/۰۲ روز بهبود بخشید (جدول ۲).

ایده‌های بنیادی که پایه‌گذار روش به‌نژادی سریع هستند، به اوایل قرن بیستم و به زمانی برمی‌گردد که پژوهشگران تاثیر دستکاری نور مصنوعی بر روی رشد و توسعه گیاهان را بررسی کردند (Garner et al. 1927; Arthur et al. 1930). از آن زمان تاکنون، روش‌های خاصی برای سیستم‌های مختلف توسعه یافته است تا از این ایده بنیادی بهره‌برداری کنند و چرخه نسلی محصولات مهم را به‌منظور تسریع در بهره‌وری ژنتیکی افزایش دهند. در تحقیقی Ghosh et al. (2018) روشی را بهینه سازی کردند که اجازه داد گندم زمستانی در ۱۰۵ روز گلدهی کند و دانه‌ها بعد از ۱۲۳ روز برداشت شدند. مطالعه دیگری با پیاده‌سازی نورهای طولانی و با شدت بالا بر روی جمعیتی که برای ارزیابی بیماری‌ها در نظر گرفته شده بودند، توانست این زمان را به‌طور جزئی (۳–۵ روز) کاهش دهد. نتایج این مطالعات منجر به دو یا سه نسل در یک سال زراعی شده است.

ایده‌های بنیادی که پایه‌گذار روش به‌نژادی سریع هستند، به اوایل قرن بیستم و به زمانی برمی‌گردد که پژوهشگران تاثیر دستکاری نور مصنوعی بر روی رشد و توسعه گیاهان را بررسی کردند (Garner et al. 1927; Arthur et al. 1930). از آن زمان تاکنون، روش‌های خاصی برای سیستم‌های مختلف توسعه یافته است تا از این ایده بنیادی بهره‌برداری کنند و چرخه نسلی محصولات مهم را به‌منظور تسریع در بهره‌وری ژنتیکی افزایش دهند. در تحقیقی Ghosh et al. (2018) روشی را بهینه سازی

کردند که اجازه داد گندم زمستانی در ۱۰۵ روز گلدهی کند و دانه‌ها بعد از ۱۲۳ روز برداشت شدند. مطالعه دیگری با پیاده‌سازی نورهای طولانی و با شدت بالا بر روی جمعیتی که برای ارزیابی بیماری‌ها در نظر گرفته شده بودند، توانست این زمان را به‌طور جزئی (۳–۵ روز) کاهش دهد. نتایج این مطالعات منجر به دو یا سه نسل در یک سال زراعی شده است.



شکل ۲. اثر مکان ژنی *Ppd-D1* بر روز تا گلدهی لاین‌های ایزوژن در شرایط دیم و فاریاب. مقادیر با حروف مشابه در p=0.05 تفاوت ندارند.

Figure 2. Effect of *Ppd-D1* locus on days to heading of *isogenic lines under well-watered and rain-fed conditions.* Values with the same letter are not different at p=0.05.

جدول ۲. مقایسه میانگین صفت تعداد روز تا رسیدگی لاین‌های ایزوژن در شرایط دیم و فاریاب

Table 2. Mean comparison of isogenic lines for days to ripening trait under well-watered and rain-fed conditions

سال Year	زمینه ژنتیکی Genetic background	آلل Allel	روز تا رسیدگی Days to ripening	زمینه ژنتیکی Genetic background	آلل Allel	روز تا رسیدگی Days to ripening
2020-2021 دیم Rain-fed	روشن Roshan	*Vrn-B1a*	*211*^{a}	روشن Roshan	*Ppd-D1a*	*200.01*^{c}
		vrn-B1	*199.5*^{c}		*Ppd-D1b*	*206.10*^{a}
		Vrn-D1a	*206*^{b}	کل حیدری Kalheydari	*Ppd-D1a*	*191.01*^{d}
		vrn-D1	*208.25*^{ab}		*Ppd-D1b*	*204.02*^{b}
2021-2022 فاریاب Well-watered	روشن Roshan	*Vrn-B1a*	*207.25*^{b}	روشن Roshan	*Ppd-D1a*	*194.5*^{c}
		vrn-B1	*200.25*^{d}		*Ppd-D1b*	*202.5*^{a}
		Vrn-D1a	*209.25*^{a}	کل حیدری Kalheydari	*Ppd-D1a*	*193.75*^{c}
		vrn-D1	*204.5*^{c}		*Ppd-D1b*	*196.75*^{b}

در این مطالعه، شیوه به‌نژادی سریع برای ارقام گندم ایرانی روشن، کل حیدری و ژنوتیپ‌های هدف مطالعه حاصل از این دو جمعیت بر اساس شرایط موجود بهینه شد که توانست باعث دستیابی به چهار نسل در یک سال شود (جدول ۳). به‌طوری‌که میانگین تعداد روز از کاشت تا برداشت در یک‌سال از این پژوهش ۱۱۱ روز بود (جدول ۳). با توجه به اینکه فاصله زمانی بین زمان برداشت یک نسل تا کاشت بذور برای نسل بعد در روش به‌نژادی سریع کوتاه است و خواب بذر در جایی که جوانه زنی و رشد سریع مورد نیاز اســت عموماً یک صــفت نامطلوب برای گندم محســوب می‌شــود. در این پژوهش با توجه به جوانه زدن بذور، در مدت کوتاهی بعد از برداشت و بلافاصله بعد از اعمال تیمار و نیز خوشه دهی منظم ژنوتیپ های مورد نظر بدون نیاز به گذراندن سرمای زمستان جهت بهاره‌سازی ، مشخص شد که اسید جیبرلیک علاوه بر تامین بخشی از نیاز سرمایی جهت بهاره‌سازی، نقش مهمی در شکستن خواب بذرهای جمعیت هدف مطالعه داشت (جدول ۱). در بخشی از این پژوهش که برای تولید نسل BC5F1 نیاز به انجام تلاقی برگشــتی بود، در یک بازه زمانی ۶۵ روز از کاشــت، بذور BC4F1 وارد فاز گلدهی شــده و امکان انجام تلاقی فراهم گردید (جدول ۲). این بازه زمانی در پژوهش‌های به‌نژادی سریع بین ۹۰ تا ۱۱۰ روز گزارش شده است که ممکن است به شدت‌های نور، دما و نیز اندازه گلدان‌هایی که در قفسه‌های نوری استفاده کردیم، مرتبط باشد (Poorter et al. 2012; Wheeldon et al. 2021).

جدول ۳. توسعه لاین‌های ایزوژن در زمینه ژنتیکی والد تکراری (روشن و کل‌حیدری) و کاهش طول دوره کاشت تا برداشت با استفاده از روش بهینه شده به‌نژادی سریع

Table 3. Development of isogenic lines in the recurrent parent genetic background (Roshan & Kalheydari) and reduction of the growing season using an optimized speed breeding method

سال Year	توضیحات Comments	طول دوره کاشت تا برداشت (روز) Growing season length (day)
2018	انتخاب زودرس‌ترین نتاج و تلاقی برگشتی در مزرعه Selection of the earliest heading progeny and backcross in field	232
2019	به‌نژادی سریع، انتخاب به کمک نشانگر برای ژن‌های بهاره‌سازی و طول دوره نوری، گزینش نتاج هتروزیگوت و خودگشنی در گلخانه Speed breeding, marker-assisted selection for *Vrn* and *Ppd* genes (heterozygous) and selfing in greenhouse	112
2020	"	92
2020	"	122
2020	"	117
2020	انتخاب به کمک نشانگر برای ژن‌های بهاره‌سازی و طول دوره نوری (هموزیگوت)، به‌عنوان لاین‌های ایزوژن Marker-assisted selection for *Vrn* and *Ppd* genes (homozygous), as isogenic lines (*ILs*)	-

نتیجه‌گیری کلی: پژوهش حاضر توانسته است با بهینه‌سازی یک شیوه به‌نژادی سریع مطابق شرایط و امکانات موجود در محل پژوهش، با تو سعه چهار ن سل در سال از گندم نان علاوه بر تولید ۸ لاین ایزوژن برای ژن‌های بهاره سازی و طول دوره نوری، از تاثیر مطلوب استفاده همزمان از شیوه‌های تلاقی برگشتی و انتخاب به کمک نشانگر و نیز به‌نژادی سریع به‌عنوان گامی موثر در تسریع توسعه نسل‌ها در راستای انتخاب ژنوتیپ‌های برتر استفاده نماید.

References

Abdolshahi, R., Safarian, A., & Mohamadi-Nejad, G. (2013). Screening drought-tolerant genotypes in bread wheat (Triticum aestivum L.) using different multivariate methods. *Archives of Agronomy and Soil Science, 59*(5), 685-704. http://doi.org/10.1080/03650340.2012.667080

Arthur, J. M., Guthrie, J. D., & Newell, J. M. (1930). Some effects of artificial climates on the growth and chemical composition of plants. *American Journal of Botany, 17*(5), 416-482. https://doi.org/10.2307/2435930

Barnabas, B., Jager, K., & Feher, A. (2008). The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. *Plant, cell & Environment, 31*(1), 11-38. https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2007.01727.x

Bonnett, D. G., Rebetzke, G. J., & Spielmeyer, W. (2005). Strategies for efficient implementation of molecular markers in wheat breeding. *Molecular Breeding, 15*(1), 75-85. https://doi.org/10.1007/s11032-004-2734-5

Collard, B. C. Y., Beredo, J. C., Lenaerts, B. (2017). Revisiting rice breeding methods–evaluating the use of rapid generation advance (RGA) for routine rice breeding. *Plant Production Science, 20,* 337-352. https://doi.org/10.1080/1343943X.2017.1391705

Dennis, N. L., Arron, H. C., & Mason, R. (2021). Unlocking the Yield Potential of Wheat: Influence of Major Growth Habit and Adaptation Genes. *Crop Breeding, Genetics and Genomics, 3*(2), e210004. https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2007.01727.x

Dorrani-Nejad, M., Kazemipour, A., & Abdolshahi, R. (2022). Wheat breeding for early heading: Does it improve grain yield under drought stress and well-watered conditions? *Environmental and Experimental Botany*, 104902. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2022.104902

Ferrara, Q., Mossad, M. G., & Rajaram, S. (1998). Photoperiod and vernalisation response of Mediterranean wheats, and implications for adaptation. *Euphytica, 100,* 377-384. https://doi.org/10.1007/978-94-011-4896-2-66

Garner, W. W., & Allard, H. A. (1927). Effect of short alternating periods of light and darkness on plant growth. *Science, 66* (1697), 40-42. https:// doi.org/ 10.1126/science.66.1697.40

Ghosh, S., Watson, A., & Hickey, L. T. (2018). Speed breeding in growth chambers and glasshouses for crop breeding and model plant research. *Nature Protocols*, *13*, 2936-2944. https://doi.org/10.1038/s41596-018-0072-z

Gudi, S., Kumar, P., & Sharma, A. (2022). Strategies for accelerating genetic gains in crop plants: special focus on speed breeding. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, *28*(10), 1921-1938. https://doi.org/10.1007/s12298-022-01247-8

Hospital, F., & Charcosset, A. (1997). Marker-assisted introgression of quantitative trait loci. *Genetics*, *147*, 1469–1485. https://doi.org/10.1093/genetics/147.3.1469

Kulkarni, M., Soolanayakanahally, R., & Kagale, S. (2017). Drought response in wheat: key genes and regulatory mechanisms controlling root system architecture and transpiration efficiency. *Frontiers in Chemistry*, *5*, 106. https://doi.org/10.3389/fchem.2017.00106

Mondal, S., Singh, R. P., & Joshi, A. K. (2013). Earliness in wheat: a key to adaptation under terminal and continual high temperature stress in South Asia. *Field Crops Research, 151*, 19-26. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.06.015

Poorter, H., Bühler, J., & Postma, J. A. (2012). Pot size matters: A meta-analysis of the effects of rooting volume on plant growth. *Functional Plant Biology, 39*(11), 839-850. https://doi.org/10.1071/FP12049

Pourtabrizi, S., Kazemipour, A., Mohammadi-Nejad, G., Khajoei-Nejad, G., & Abdolshahi, R. (2024). Recessive Winter Growth Habit Allele on 5B Chromosome, vrn-B1, Improves Earliness and Grain Yield of Bread Wheat. *Journal of Plant Growth Regulation*, *43*(8), 2830-2840. https://doi.org/10.1007/s00344-024-11311-0

Reynolds, M., Bonnett, D., & Parry, M. A. J. (2010). Raising yield potential of wheat. I. Overview of a consortium approach and breeding strategies. *Journal of Experimental Botany*, *62*(2), 439-452. https://doi.org/10.1093/jxb/erq311

Rutkoski, J. E., Krause, M. R., & Sorrells, M. E. (2020). Wheat Improvement Food Security in a Changing Climate, Chapter 6, Breeding Methods. *Population Improvement and Selection Methods.* (pp. 83-96). IN: Springer International Publishing (Eds). https://doi.org/10.1007/978-3-030-90673-3

Stelmakh, A. F. (1998). Genetic systems regulating flowering response in wheat. *Euphytica 100*, 359-369. https://doi. org/10.1007/978-94-011-4896-2_64

Tavakol Afshari, R., Badri, S., & Abbasi, A. (2011). Effects of Gibberellin and Abscisic Acid on Germination, Dormancy Induction as well as Acid and Alkalin Phosphatase Activity in Seed Embryo of Bread Wheat Cultivar, RL4137. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *41*(4), 781-789. DOR/20.1001.1.20084811.1389.41.4.14.9 [In Persian]

Watson, A., Ghosh, S., & Reynolds, D. (2018). Speed breeding is a powerful tool to accelerate crop research and breeding. *Nature Plants*, *4*(1), 23-29. https://doi.org/10.1038/s41477-017-0083-8

Wheeldon, C. D., Walker, C. H., & Bennett, T. (2021). Wheat plants sense substrate volume and root density to proactively modulate shoot growth. *Plant, Cell and Environment*, *44*(4), 1202–1214. https://doi.org/10.1111/pce.13984

Xu, Y., Liu, X., & Zhang, A. (2020). Enhancing genetic gain through genomic selection: from livestock to plants. *Plant Communications*, *1*(1). https://doi.org/10.1016/j.xplc.2019.100005

Zakieh, M., Gaikpa, D. S., & Chawade, A. (2021). Character-izing winter wheat germplasm for fusarium head blight resistance under accelerated growth conditions. *Frontiers in Plant Science*, *12*, 705006. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.705006