

Evaluation of some rice hybrids improved of cytoplasmic genetic male sterility for agronomic and physicochemical traits**Ammar Afkhami Ghadi^{*1, 2}, Raheleh Khademian², Ghorbanali Nematzadeh³, Nadali Babaeian Jelodar³, Nadali Bagheri³**

1. Crop and Horticultural Science Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ardabil, Iran

2. Genetic and Plant Breeding Department, Faculty of Agriculture, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

3. Biotechnology and Plant Breeding Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

^{*}Corresponding Author Email: a_afkhami@areeo.ac.ir**Abstract**

Introduction: Development of cytoplasmic male sterility (CMS) technology and identification of suitable fertility restorer lines are cornerstones for high-yielding and high-quality rice hybrid breeding. In Iran, despite the establishment of male sterile lines, the limited access to of effective fertility restorer lines (RFLs), the lack of synchronization in flowering time between parents, and undesirable cooking quality be considered significant limiting factors for the expansion of hybrid rice. Therefore, the objective of this research was to evaluate a set of local hybrids derived from CMS for their agronomic, physicochemical, and molecular characteristics, aiming to identify superior combinations and desirable fertility restorer lines for utilization in hybrid rice breeding programs.

Materials and Methods: Six CMS lines including four foreign lines and two local lines (NadaA and NematA) were used as female parents, and five fertility restorer lines along with one advanced mutant line derived from the *Pazhouhesh* cultivar (ninth generation of gamma-ray induced mutation) were used as male parents. In 2019 growing season, crosses were conducted between parents exhibiting synchronized flowering times. In 2020 season, seven resulting hybrids, along with the control cultivars Nemat and Hashemi, were cultivated under a randomized complete block design (RCBD) with three replications at the research farm of Sari Agricultural Sciences and Natural Resources of University. The agronomic traits, pollen sterility, panicle fertility percentage, and grain yield measured. Furthermore, the fertility restorer lines, along with the male sterile line NematA and the resulting hybrids, were screened using molecular markers RM490 and RM3148 to confirm the presence of the fertility restorer gene *Rf₃*. Percentage of amylose, gelatinization temperature, the rate of rise of cooked rice, and milling efficiency, were measured in the quality control laboratory.

Results: The results indicated that the pollen fertility percentage in all hybrids was greater than 90%, thereby identifying the genotypes IR50, IR67924R, P15-3, IR56, IR46R, and NSIC RC352 as fertility restorer male parents. The highest number of fertile tillers and the longest panicle length were observed in the cross NadaA/IR50. The highest grain yield was attributed to three hybrids NadaA/IR50, NematA/IR56, and IR68899A/IR56, yielding over 1000 g.m² of paddy rice, a performance influenced by a high number of filled grains per panicle, panicle length, pollen fertility, and panicle fertility percentage. The comparison of physicochemical traits for the rice hybrids showed that the amylose content ranged from 21.79% to 28.65%, compared to 22.45% the check, Hashemi cultivar. Hybrid NadaA/ IR50 exhibited the highest percentage of brown rice (77.98%), milling efficiency (65.45%), and head rice recovery (51.91%). Molecular analysis confirmed that genotypes IR50, IR67924R, P15-3, IR46R, and NSIC RC352 carried *Rf₃* gene based on both RM490 and RM3148 markers banding data.

Conclusion: Overall, the hybrids NadaA/IR50, NematA/IR56, and IR68899A/IR56 demonstrated high yield potential and desirable physicochemical profiles. This confirms the feasibility of producing high-quality rice hybrids. This study suggests that by leveraging hybrid technology and utilizing superior parental lines, a significant increase in rice production can be achieved, thereby contributing to enhanced food security.

Keywords: Fertility restorer genes, Grain quality, Molecular markers**Received:** 05-03-2025**Accepted:** 06-08-2025

Citation: Afkhami Ghadi, A., Khademian, R., Nematzadeh, G.A., Babaeian Jelodar, N., & Bagheri, N. (2025). Evaluation of some rice hybrids improved of cytoplasmic genetic male sterility for agronomic and physicochemical traits. *Plant Production and Genetics*, 6(2), 207-218. <https://doi.org/10.22034/plant.2025.143806.1162>

Copyrights:

Copyrights rights for this article is retained by the author (s), with publication rights granted to Plant Production and Genetics. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



تولید و ژنتیک گیاهی

<https://doi.org/10.22034/PLANT.2025.143806.1162>

ارزیابی برخی هیبریدهای برنج حاصل از نرعیمی ژنتیکی سیتوپلاسمی از نظر خصوصیات زراعی و فیزیکوشیمیایی

عمار افخمی قادی^{۱،۲*}، راحله خادمیان^۲، قربانعلی نعمت‌زاده^۲، نادعلی بابائیان جلودار^۳، نادعلی باقری^۳

۱. بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران

۲. گروه ژنتیک و به‌نژادی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

۳. گروه بیوتکنولوژی و اصلاح نباتات، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

*ایمیل نویسنده مسئول: a_afkhami@areeo.ac.ir

چکیده

مقدمه: توسعه فناوری نرعیمی سیتوپلاسمی و شناسایی لاین‌های برگرداننده باروری کارآمد، از ارکان اساسی در به‌نژادی هیبریدهای پرمحصول و باکیفیت برنج به شمار می‌رود. در ایران، با وجود بومی‌سازی لاین‌های نرعیم، محدودیت در لاین‌های برگرداننده باروری مؤثر، عدم همزمانی گلدهی والدین و کیفیت پخت نامطلوب از مهم‌ترین عوامل محدودکننده گسترش برنج هیبرید محسوب می‌شوند. بر این اساس، هدف این پژوهش، ارزیابی تعدادی از هیبریدهای بومی حاصل از نرعیمی سیتوپلاسمی از نظر خصوصیات زراعی، فیزیکوشیمیایی و مولکولی، برای شناسایی ترکیب‌های برتر و لاین‌های برگرداننده باروری مناسب جهت بهره‌برداری در برنامه‌های به‌نژادی برنج هیبرید بود.

مواد و روش‌ها: شش لاین نرعیم سیتوپلاسمی شامل چهار لاین خارجی و دو لاین بومی (ندا A و نعمت A) به عنوان والد مادری و پنج لاین برگرداننده باروری به‌همراه یک لاین موتانت پیشرفته از رقم پژوهش (نسل نهم موتاسیون القایی با اشعه گاما) به عنوان والد پدری مورد استفاده قرار گرفتند. در سال ۱۳۹۸ تلاقی بین والدینی که از نظر گلدهی هم‌زمان بودند انجام شد. در سال ۱۳۹۹ تعداد ۷ هیبرید حاصل، به‌همراه دو رقم شاهد (نعمت و هاشمی) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری کشت گردید. صفات زراعی، درصد عقیمی گرده، درصد باروری خوشه و عملکرد دانه اندازه‌گیری گردید. برای شناسایی ژن برگرداننده باروری *Rf3* در لاین‌های برگرداننده و هیبریدهای مربوطه، از نشانگرهای مولکولی RM490 و RM3148 استفاده گردید. درصد آمیلوز، درجه حرارت ژلاتینی شدن، میزان ری‌آمدن برنج پخته و راندمان تبدیل در آزمایشگاه کنترل کیفیت اندازه‌گیری شدند.

نتایج: نتایج نشان داد درصد باروری دانه گرده تمامی هیبریدها بیش از ۹۰ درصد بوده است، بر این اساس، ژنوتیپ‌های IR50، IR67924R، NSIC RC 352 و IR46R، IR 56، P15-3 بعنوان والدین پدری، برگرداننده باروری تشخیص داده شدند. بیشترین تعداد پنجه بارور و بلندترین خوشه در تلاقی ندا A و رقم IR50 مشاهده گردید. همچنین، بالاترین عملکرد دانه به هیبریدهای IR50/ندا A، IR56/نعمت A و IR 68899A/IR56 اختصاص داشت که با عملکردی بیش از ۱۰۰۰ گرم شلتوک در متر مربع، از صفاتی نظیر تعداد دانه پر در خوشه، طول خوشه، باروری دانه گرده و خوشه بالا تأثیر پذیرفته بودند. بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نشان داد که میزان آمیلوز در هیبریدها در دامنه ۲۱/۷۹ تا ۲۸/۶۵ درصد متغیر بود، در حالیکه رقم هاشمی دارای ۲۲/۴۵ درصد آمیلوز بود. هیبرید IR50/ندا A بیشترین درصد برنج قهوه‌ای (۷۷/۹۸)، راندمان تبدیل (۶۵/۴۵ درصد) و درصد برنج سالم (۵۱/۹۱ درصد) را دارا بود. نتایج مولکولی نیز تأیید نمود که ژنوتیپ‌های IR50، IR67924R، P15-3، IR46R و NSIC RC 352 از نظر هر دو نشانگر RM490 و RM3148 دارای ژن *Rf3* می‌باشند. **نتیجه‌گیری:** به طور کلی هیبریدهای IR50/ندا A، IR56/نعمت A و IR 68899A/IR56 از لحاظ عملکرد دانه و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی برتر هستند. این یافته‌ها بیانگر آن است که با بهره‌گیری از فناوری هیبرید و انتخاب لاین‌های مناسب برگرداننده باروری، می‌توان ضمن افزایش معنی‌دار عملکرد برنج، گامی مؤثر در راستای ارتقاء کیفیت دانه و تقویت امنیت غذایی برداشت.

کلید واژگان: ژن‌های برگرداننده باروری، کیفیت دانه، نشانگرهای مولکولی

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۰۵

منبع: افخمی قادی، ع، خادمیان، ر، نعمت‌زاده، ق، بابائیان جلودار، ن، و باقری، ن. (۱۴۰۴). ارزیابی برخی هیبریدهای برنج حاصل از نرعیمی ژنتیکی سیتوپلاسمی از نظر خصوصیات زراعی و فیزیکوشیمیایی، مجله تولید و ژنتیک گیاهی، ۶ (۲)، ۲۱۸-۲۰۷. <https://doi.org/10.22034/plant.2025.143806.1162>



مقدمه

تغییرات اقلیمی، سیاست‌های جهانی، بلایای طبیعی همچون سیل و خشکسالی موجب کاهش چرخه تجاری و افزایش قیمت محصولات غذایی به‌ویژه برنج شده که امنیت غذایی کشورها علی‌الخصوص کشورهای با درآمد پایین را به چالش کشانده است. با افزایش ۲۸ درصدی جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ نسبت به سال ۲۰۲۰ میلادی و روند رو به رشد شهرنشینی، به تولید بیشتر غذا نیاز است. کشور استرالیا (بیش از ۱۰ تن در هکتار) در صدر میزان عملکرد برنج در واحد سطح و سپس کشورهای مصر، آمریکا، اروگوئه و پرو (بیش از ۸ تن در هکتار) در رده‌های بعدی قرار دارند (Faostat, 2024). واردات سالانه بیش از یک میلیون تن برنج منتج به خروج بیش از یک میلیارد دلار ارز از کشور می‌شود (Faostat, 2024). بنابراین افزایش عملکرد در واحد سطح از راهبردهای اساسی برای تأمین امنیت غذایی و خوداتکایی کشور است. یکی از روش‌های افزایش عملکرد در واحد سطح که کشور چین در آن پیشتاز است، بهره‌برداری از هتروزیس در هیبریدهای تولیدشده از تلاقی لاین‌های نرعیق و برگرداننده باروری در برنج می‌باشد. این فناوری، عملکرد دانه را بیش از ۲۰ درصد نسبت به ارقام برنج اصلاح‌شده تجاری افزایش می‌دهد (Zhu et al., 2017). بکارگیری برنج هیبرید در چین در سال ۲۰۱۴ حدود ۵۷ درصد کل سطح زیر کشت برنج بوده که ۶۵ درصد کل تولید برنج را تشکیل داده است. عملکرد ۷/۵ تن در هکتار برنج هیبرید، هر ساله منجر به تأمین غذای حدود ۷۰ میلیون نفر در چین می‌شود (Yuan, 2014). مراکز تحقیقاتی متعددی در چین و هندوستان، به اصلاح ارقام برنج برای تولید بذور هیبرید مشغول هستند (Zhu et al., 2017; Feng et al., 2017, Shidenur et al., 2019, Hari Prasad et al., 2018). در دسترس بودن لاین‌های برگرداننده باروری مناسب جهت استفاده از هتروزیس و فناوری نرعیق ژنتیکی سیتوپلاسمی Genetic Cytoplasmic Male Sterility (GCMS) برای تولید هیبریدهای مطلوب ضروری است، لذا شناسایی آن از ژرم‌پلاسِم موجود برای توسعه برنامه هیبرید، واقعیتی مبرهن است. با وجود بومی‌سازی لاین‌های نرعیق در کشور (Afkhami Ghadi, 2021)، در شناسایی و تولید لاین‌های برگرداننده باروری که ارتفاع بوته، دوره گلدهی، ترکیب‌پذیری به ویژه میزان برگرداندگی باروری مطلوب داشته باشد هنوز توفیقاتی

حاصل نشده است. محدودیت لاین‌های برگرداننده باروری، پایه محدود ژنتیکی لاین‌های نرعیق، همزمانی گلدهی لاین‌ها و کیفیت خوراک همواره از عوامل محدودکننده تولید برنج هیبرید بوده است. تحقیقات و همکاری‌های مداوم بین دانشمندان، سیاست‌گذاران و کشاورزان برای بهره‌برداری کامل از پتانسیل برنج هیبرید و اطمینان از دسترسی مزایای آن به تمام اقشار جامعه ضروری است (Revathi et al., 2025). اساس روش هیبرید سه لاین (Three line) برای تولید تجاری برنج هیبرید، بر مبنای نرعیق ژنتیکی سیتوپلاسمی و سیستم برگرداننده باروری (Rf) بوده و سه لاین (لاین نرعیق Male Sterility Line) (A Line) ((A Line) CMS (Cytoplasmic Male Sterile Line) (A) لاین نگهدارنده (B Line) (B) Maintainer line و لاین برگرداننده (R Line) ((R Restorer line در آن دخالت دارد. عملکرد دانه بیشتر واریته‌های هیبرید در مقایسه با واریته‌های اینبرد برنج بدلیل افزایش بیوماس، میزان فتوسنتز برگ پرچم، ظرفیت مخزن بهتر و عوامل فیزیولوژیکی گزارش شده است (Haque et al., 2015; Julfikar, 2009; Lafarge & Bueno, 2009; Takahashi et al., 2023). با مطالعه ارزیابی خصوصیات رشدی و عملکرد ارقام برنج هیبرید در شرایط نشاکاری، مشخص شد که دو هیبرید LG94.2 و SH 4613 پتانسیل عملکرد دانه بالایی را در مناطق نیمه‌گرمسیری نپال داشته و یک راه‌حل پایدار برای تأمین تقاضای رو به رشد غذا در این کشور می‌باشد (Paudyal, 2024). در ارزیابی خصوصیات فیزیولوژیکی و عملکرد چهار رقم هیبرید و چهار رقم پرمحصول برنج در اقلیم سرد ژاپن مشخص شد که رقم هیبرید Togo 4 در دو سال دارای بیشترین میزان عملکرد (بیش از ۱۰ تن در هکتار) بود (Takahashi et al., 2023). کشور نپال واریته هاردینات-۱ (Hardinath Hybrid-1) را به‌عنوان اولین برنج هیبرید متوسط‌رس با عملکرد دانه ۶/۵ تا ۸/۲ تن در هکتار دارای آمیلوز و درجه حرارت ژلاتینی شدن متوسط با بومی‌سازی فناوری هیبرید سه لاین، برای تقویت تولید برنج و امنیت غذایی در سال ۲۰۲۵ معرفی نموده است (Subedi et al., 2025). بهبود کیفیت برنج هیبرید همواره هدفی بوده است که به‌نژادگران دنبال می‌کنند (Chen et al., 2024). دو هیبرید Zhuliangyou570 (ZLY570) و Huazheyong261

M6-P15-6، M6-N-17، M6-P14-1 بعنوان لاین برگرداننده باروری بالقوه گزارش گردید (Vejdan, 2015). هدف از این مطالعه ارزیابی تعدادی از هیبریدهای برنج بومی از نظر خصوصیات زراعی، فیزیولوژیکی و مولکولی بود.

مواد و روش‌ها

ژنوتیپ‌های والدینی مورد استفاده شامل شش لاین نرعیتم سیتوپلاسمی (چهار لاین نرعیتم خارجی و دو لاین نرعیتم بومی (نداد و نعمت A)، پنج لاین برگرداننده باروری (از مرکز بین‌المللی تحقیقات برنج در فیلیپین (International Rice Research Institute (IRRI)، یک لاین موتانت برنج از رقم پژوهش (نسل نهم از موتاسیون) جهت تولید بذر هیبرید بود. لاین پیشرفته موتانت برنج (نسل نهم موتانت) با استفاده از انرژی هسته‌ای از موتاسیون القایی با اشعه گاما از چشمه کبالت ۶۰ و دز ۲۵۰ گری روی رقم پژوهش در پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای پرتوتابی و در پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان وابسته به دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری طی چندین نسل گزینش با هدف زودرسی، ارتفاع مناسب، عملکرد بالا و دارای کیفیت پخت مطلوب (گزینش در نسل‌های اولیه از طریق روش بالک چند بذر و در نسل‌های پیشرفته به صورت روش شجره‌ای) اصلاح شده است (Oladi et al., 2015) (جدول ۱). پایداری عقیمی گرده، خلوص ژنتیکی و صفات آلوگامی لاین‌های نرعیتم سیتوپلاسمی موجود، ارزیابی و مورد تأیید قرار گرفته بود (Afkhami Ghadi, 2021). در سال ۱۳۹۸، بذریابی ژنوتیپ‌های والدینی در خزانه انجام و نشاکاری یک ماه بعد در مرحله چهار تا پنج برگی در اردیبهشت ماه انجام گردید. در زمان خوشه‌دهی، لاین‌هایی که همزمانی گلدهی داشته، تلاقی بین لاین‌های نرعیتم و لاین‌های برگرداننده باروری به صورت دستی انجام گردید. پس از رسیدگی، بذرها برداشت و در یخچال نگهداری گردید. در سال ۱۳۹۹، تعداد ۷ هیبرید به همراه ارقام شاهد منطقه (رقم نعمت بعنوان شاهد پرمحصول برای ارزیابی زراعی و رقم هاشمی بعنوان شاهد کیفی جهت ارزیابی خصوصیات فیزیولوژیکی) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان وابسته به دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری کشت شد. در دوره فصل رشد و همچنین زمان رسیدگی، صفات کمی شامل تعداد

(HZY261) در سال ۲۰۲۱ در چین معرفی شدند که به ترتیب دارای خصوصیات کیفی استاندارد درجه یک و دو هستند (Xie et al., 2024). البته کیفیت برنج از پارامترهای کمی است که علاوه بر اثر ژن‌ها، تحت تأثیر عوامل اقلیمی، از جمله دما، نور، بارندگی و همچنین شیوه‌های زراعی قرار می‌گیرد (Yang & Wang, 2019; Xiong et al., 2021; Deng et al., 2022) بطوریکه به طور مثال در هیبرید ZLY570 در شرایط محیطی مختلف، میزان آمیلوز از ۱۴/۹ تا ۲۲/۲ درصد گزارش شده است (Xie et al., 2024). ارزیابی ۲۲ هیبرید برنج از نظر صفات کیفی در هند نشان داد که پنج هیبرید IHRT-E-3102، IHRT-E-3116، IHRT-E-3114 و IHRT-E-3115 بهترین کیفیت پخت را داشتند (Nagaraju et al., 2020). در دسترس بودن نقشه ژنوم برنج با نشانگرهای SSR اشباع شده (McCouch et al., 2002)، یافتن مکان آلل‌های برگرداننده باروری در برنج را بطور دقیق ممکن ساخته است. کای و همکاران (Cai et al., 2013) دو رقم برنج از گروه ایندیکا شامل IR24 و IR64 را دارای دو ژن برگرداننده باروری Rf_3 و Rf_4 تشخیص دادند. در مطالعه مکان‌یابی مولکولی ژن‌های کنترل‌کننده نرعیتمی نوع WA در برنج هیبرید توسط بابائیان و همکاران (Babaeian Jelodar et al., 2021) استفاده از نشانگرهای SSR شامل RM258، RM490، RM151 و RM228 جهت بکارگیری در برنامه گزینش به کمک نشانگر برای لاین‌های برگرداننده باروری در سیستم نرعیتمی ژنتیکی-سیتوپلاسمی بسیار کارا و مؤثر گزارش گردید. در بررسی مولکولی از طریق نشانگرهای ریزماهواره RM171، RM258 و RM3148 پیوسته با ژن‌های برگرداننده باروری مشخص شد که ارقام برنج دیلمانی و هاشمی دارای هر دو ژن برگرداننده باروری هستند. اما ارقام برنج پرمحصول شامل شیروودی، تابش، فجر و شفق به عنوان ارقام نگهدارنده عقیمی گزارش شدند (Kiani, 2017). در تلاقی ۴ لاین نرعیتم و ۳۵ لاین پیشرفته موتانت باسماتی (موتاسیون القایی با استفاده از اشعه گاما و ماده شیمیایی EMS) با استفاده از آزمون لاین در تستر، تعدادی لاین برگرداننده باروری و نگهدارنده شناسایی شد (Parveen et al., 2013). در مطالعه ژن‌های برگرداننده باروری در تعدادی از لاین‌های امیدبخش موتانت برنج با استفاده از صفات کمی و مولکولی (SSR)، تعداد ۷ لاین شامل M6-N-37، F6-8، M6-N-14، M6-P15-2،

روز تا ۵۰ درصد گلدهی، تعداد روز تا رسیدگی، ارتفاع بوته، عرض دانه، تراکم دانه، عقیمی دانه، درصد باروری خوشه و عملکرد بر اساس روش استاندارد اندازه‌گیری برنج (IRRI, 2013) یادداشت‌برداری شد.

جدول ۱- ژنوتیپ‌های تهیه شده از بانک بذر پژوهشکده و مرکز بین‌المللی تحقیقات برنج

نام ژنوتیپ	منشأ	شجره	تعداد روز تا ۵۰ درصد گلدهی	تعداد روز تا رسیدگی	ارتفاع بوته (cm)	عملکرد شلتوک (ton/ha)
IR 68899 A	IRRI (CMS)	-	۹۰	۱۲۵*	۷۶	۴/۶*
IR 78369 A	IRRI (CMS)	-	۱۲۵	۱۵۲*	۸۶	۴/۲*
IR 93560 A	IRRI (CMS)	-	۸۵	۱۱۰*	۵۷	۳/۶*
IR 102572 A	IRRI (CMS)	-	۱۰۹	۱۳۸*	۸۷	۵*
A ندا	ایران (CMS)	ندا/IR58025A	۱۰۰	۱۳۰*	۸۸	۷/۵*
A نعمت	ایران (CMS)	نعمت/IR58025A	۱۰۴	۱۳۵*	۹۲	۷*
IR50	IRRI (R)	IR 2153-14-6-2 / IR 28 // IR36	۱۰۳	۱۲۷	۱۱۵	۴/۹
IR67924R	IRRI (R)	-	۹۱	۱۲۱	۱۲۱	۵
IR56	IRRI (R)	IR4432-53-33/PTB 33//IR36	۹۷	۱۲۸	۱۰۸	۶/۳
IR46R	IRRI (R)	IR 1416-131-5/IR 1364-37-3-1//IR 1366-120-3-1/IR 1539-111	۱۳۲	۱۶۷	۱۰۰	۲/۸
NSIC RC 352	IRRI (R)	-	۱۱۶	۱۵۰	۱۲۴	۳/۹
P15-3	ایران (R)	موتاسیون القایی رقم پژوهش	۹۱	۱۲۳	۱۰۳	۵/۹
هاشمی	ایران	رقم بومی	۹۰	۱۲۰	۱۶۰	۴/۲
شیرودی	ایران	دیلمانی / خزر	۱۰۵	۱۳۱	۱۲۱	۷/۵

*: خصوصیات لاین نگهدارنده (B Line) لحاظ گردیده است. IRRI (International Rice Research Institute) مرکز بین‌المللی تحقیقات برنج

ژل با استفاده از اتیدیوم بروماید رنگ‌آمیزی (El-Namaky *et al.*, 2016) و با دستگاه Gel Document عکس‌برداری گردید. یکماه پس از برداشت، اندازه‌گیری برخی خواص مهم فیزیکی‌شیمیایی شامل راندمان تبدیل (نسبت وزن برنج سفید به وزن شلتوک برنج)، طول دانه قبل از پخت، طول دانه بعد از پخت، میزان ری آمدن دانه (طویل شدن دانه بعد از پخت)، درجه حرارت ژلاتینی شدن (فرآیند تبدیل دانه‌های نشاسته از حالت بلوری به یک ساختار ژل‌مانند در اثر حرارت) (GT) (Little *et al.*, 1958)، درصد آمیلوز (AC) (Juliano & villareal, 1993) و میزان عطر و طعم بر اساس معیار حسی-چشایی (Sood & Siddiq, 1978) در آزمایشگاه کنترل کیفیت پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان انجام شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS (IBM Corp, 2011) و مقایسه میانگین با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت. برای رسم نمودار از صفحه‌گستر Excel استفاده شد.

لاین‌های برگرداننده باروری به همراه لاین نر عقیم نعمت A (بعنوان ژنوتیپ شاهد دارای ژن‌های مغلوب برگرداننده باروری) و هیبریدهای حاصله، برای حضور و یا عدم حضور ژن برگرداننده باروری Rf_3 غربال شد. نمونه برگی ژنوتیپ‌ها در زمان حداکثر پنجه‌زنی از برگ‌های جوان و فاقد آلودگی ناشی از بیماری برداشت گردید. برای استخراج DNA از روش CTAB (Cetyltrimethylammonium Bromide) (Saghai-Marroof *et al.*, 1984) با کمی تغییر استفاده شد. سپس کمیت و کیفیت DNA به روش اسپکتروفتومتری و الکتروفورز ژل آگارز بررسی شد. از نشانگرهای مولکولی SSR پیوسته با ژن Rf_3 که روی کروموزوم ۱ برنج واقع شده‌اند شامل RM490 و RM3148 (McCouch *et al.*, 2001; Temnykh *et al.*, 2002) برای ردیابی ژن‌های برگرداننده باروری در ژنوتیپ‌های برنج استفاده شد (جدول ۲). در ادامه PCR با توجه به پروفایل دمایی اختصاصی هر نشانگر جهت بهینه نمودن شرایط آزمایش اجرا و محصول PCR روی الکتروفورز ژل آگارز ۲ درصد بارگذاری، سپس

جدول ۲- فهرست نشانگرهای مولکولی پیوسته با ژن اصلی برگرداننده باروری Rf_3 به همراه اطلاعات آن

نام نشانگر	موتیف تکراری	دمای اتصال	اندازه باند PCR	آغازگر پیشرو	آغازگر پیرو	نام ژن	منبع
RM490	۱۳ (CT)	۵۵	۱۰۱	atctgcacactgcaaacacc	agcaagcagtgctttcagag	Rf_3	Temnykh <i>et al.</i> , 2001
RM3148	۲۰ (CA)	۵۵	۱۶۶	gactattgctcgaacactttg	ttgtctgctttgtatttgc	Rf_3	McCouch <i>et al.</i> , 2002

نتایج و بحث

در تمامی صفات به جزء صفت عقیمی دانه گرده، اختلاف معنی داری بین ژنوتیپهای برنج وجود داشت که نشان دهنده تنوع و تفاوت بین هیبریدها می باشد. نتایج مقایسه میانگین صفات زراعی ژنوتیپهای برنج (جدول ۳) نشان داد که دو هیبرید حاصل از تلاقی IR50/ندا و IR 93560 A/IR67924R دوره رسیدگی کوتاه تری (۱۲۰ روز) نسبت به سایر هیبریدها و رقم شیروودی (۱۳۱ روز) داشتند و بنابراین جزء هیبریدهای زودرس شناخته شدند. والدین مادری و پدری این هیبریدها نیز جزء ژنوتیپهای زودرس بودند (جدول ۱). زودرسی گیاه، با توجه به کاهش منابع آب در سالهای اخیر از اهمیت ویژه ای برخوردار است ضمن اینکه، در تولید بذر هیبرید باید دو لاین والدینی از نظر دوره رسیدگی و زمان گلدهی، همزمان باشد تا بیشترین مقدار تولید بذر حاصل شود. ارتفاع بوته هیبریدها نیز از ۱۱۰ الی ۱۲۰ سانتی متر بوده که در مقاومت به ورس مؤثر است. بیشترین تعداد پنجه بارور و بلندترین طول خوشه مربوط به تلاقی ندا و رقم IR50 بود. تعداد خوشه بارور بیشتر در متر مربع، علت اصلی عملکرد برتر هیبریدهای با عملکرد بالا (۹/۶۲-۹/۲۹ تن در هکتار) در مقایسه با هیبریدهای متوسط عملکرد (۸/۷۷-۸/۹۲ تن در هکتار) و کم عملکرد (Zhong *et al.*, 2020). بیشترین تعداد دانه در خوشه متعلق به هیبریدهای IR 93560 A/IR67924R و IR 68899 A/IR56 بود. طول دانه هیبریدهای مورد مطالعه بیشتر از ۹/۴۸ و کمتر

از ۱۰/۵۴ بوده است. ذائقه مردم در کشور، برنجهای دانه بلند را ترجیح می دهند بنابراین در تولید برنج هیبرید نیز باید به این امر مهم توجه نمود. بیشترین وزن هزار دانه، مربوط به هیبرید IR 93560 A/ P15-3 بوده که ناشی از عرض دانه می باشد. میزان درصد عقیمی دانه گرده تمامی هیبریدها کمتر از ۱۰ درصد بوده که کمترین و بیشترین عقیمی به ترتیب مربوط به ژنوتیپهای شیروودی و IR 68899A/IR56 بوده است بنابراین ژنوتیپهای IR50 NSIC RC 352 و IR46R، IR 56، P15-3، IR67924R به عنوان والد پدری، برگرداننده باروری تشخیص داده شدند. در ارزیابی ژنتیکی لاینهای برگرداننده باروری امیدبخش در برنج در هند، چهار لاین برگرداننده باروری مطلوب شناسایی و معرفی شد (Reddy *et al.*, 2025). همچنین بیشترین میزان باروری خوشه مربوط به هیبرید IR50/ندا بوده که سبب افزایش دانه بندی و عملکرد برنج می باشد. بیشترین مقدار عملکرد دانه مربوط به سه هیبرید IR50/ندا، IR56/نعمت A و IR 68899A/IR56 با بیش از ۱۰۰۰ گرم در متر مربع شلتوک بوده است که از تعداد دانه پر در خوشه، طول خوشه، باروری دانه گرده و خوشه بالا متأثر می باشد (جدول ۳). دو هیبرید IR80126H و IR80127H به دلیل دارا بودن فنوتیپ برتر (ایستادگی بوته، برگهای پرچم عمودی و تعداد پنجه مناسب)، وزن خوشه بالاتر و عملکرد دانه بالاتر در مطالعه خصوصیات زراعی و عملکرد ارقام و لاینهای امیدبخش برنج هیبرید انتخاب شدند (Tarang & Bakhshipour, 2015).

جدول ۳- نتایج مقایسه میانگین صفات زراعی و مورفولوژیکی هیبریدهای برنج و رقم شاهد شیرودی

ژنوتیپ والد ماده/والد نر	تعداد روز تا ۵۰ درصد گلدهی	تعداد روز تا رسیدگی	ارتفاع بوته (cm)	تعداد پنجه بارور	طول خوشه (cm)	تعداد دانه در خوشه	تعداد دانه در خوشه
IR50 / ندا A	۸۷/۶۷ ^e	۱۲۰/۶۷ ^d	۱۱۰/۳۳ ^c	۱۸/۳۳ ^a	۳۰/۹۳ ^a	۱۵۶/۳۳ ^c	۱۵۰/۳۳ ^{bc}
IR 93560 A / IR67924R	۸۹/۰۰ ^d	۱۲۰/۶۷ ^d	۱۲۰/۳۳ ^b	۱۰/۳۳ ^e	۲۶/۵۳ ^d	۲۹۰/۶۷ ^a	۱۹۲/۶۷ ^a
IR 93560 A / P15-3	۸۸/۶۷ ^{de}	۱۲۴/۳۳ ^b	۱۱۲/۳۳ ^c	۱۳/۳۳ ^{cd}	۲۸/۱۳ ^{bc}	۲۱۰/۶۷ ^b	۱۳۵/۶۷ ^c
IR56 / نعمت A	۱۰۷/۶۷ ^a	۱۳۱/۳۳ ^a	۱۲۵/۰۰ ^a	۱۷/۶۷ ^a	۲۸/۱۷ ^{bc}	۱۸۰/۰۰ ^{bc}	۱۴۳/۳۳ ^{bc}
IR 68899 A / IR56	۸۵/۰۰ ^f	۱۲۲/۰۰ ^c	۱۱۹/۰۰ ^b	۱۷/۰۰ ^{ab}	۲۵/۰۰ ^{bc}	۲۹۳/۶۷ ^a	۱۷۴/۰۰ ^{ab}
IR 78369 A / IR46R	۹۲/۳۳ ^c	۱۲۴/۳۳ ^b	۱۱۳/۰۰ ^c	۱۵/۰۰ ^{bc}	۲۷/۱۳ ^{bcd}	۲۱۳/۰۰ ^b	۱۳۲/۳۳ ^c
IR 102572 A / NSIC RC 352	۹۲/۶۷ ^c	۱۲۴/۳۳ ^b	۱۲۰/۶۷ ^b	۱۲/۳۳ ^{de}	۲۸/۵۰ ^b	۲۷۹/۰۰ ^a	۱۵۲/۰۰ ^{bc}
شیرودی	۱۰۵/۶۷ ^b	۱۳۱/۶۷ ^a	۱۲۱/۳۳ ^{ab}	۱۴/۳۳ ^{cd}	۲۶/۸۸ ^{cd}	۱۵۷/۶۷ ^c	۱۴۷/۶۷ ^{bc}

ادامه جدول ۳- نتایج مقایسه میانگین صفات زراعی و مورفولوژیکی هیبریدهای برنج و رقم شاهد

ژنوتیپ والد نر/والد ماده	طول دانه شلتوک (mm)	عرض دانه شلتوک (mm)	وزن هزار دانه (g)	نسبت طول و عرض	تراکم دانه	عقیمی دانه گرده (%)	درصد باروری خوشه	عملکرد دانه (g.m ²)
IR50 / ندا A	۱۰/۰۶ ^{bc}	۲/۲۶ ^{cd}	۲۹/۳۵ ^b	۴/۵۰ ^{cd}	۵/۰۵ ^e	۸/۰۰ ^{ab}	۹۶/۱۵ ^a	۱۱۷۱/۲۵ ^a
IR 93560 A / IR67924R	۹/۴۸ ^c	۲/۴۰ ^{bc}	۲۳/۷۳ ^f	۳/۹۶ ^{cde}	۱۰/۹۴ ^a	۷/۶۷ ^{ab}	۶۶/۱۶ ^{cd}	۶۶۳/۷۰ ^d
IR 93560 A / P15-3	۱۰/۱۷ ^{bc}	۲/۶۳ ^a	۳۰/۶۷ ^a	۳/۸۶ ^{de}	۷/۵۰ ^{bc}	۹/۰۰ ^{ab}	۶۰/۹۶ ^d	۸۷۲/۳۲ ^c
IR56 / نعمت A	۱۰/۵۵ ^b	۲/۱۵ ^d	۲۶/۳۷ ^{de}	۴/۹۱ ^b	۶/۳۹ ^{cd}	۸/۶۷ ^{ab}	۷۹/۹۰ ^{bc}	۱۰۷۴/۱۳ ^{ab}
IR 68899 A / IR56	۱۰/۳۲ ^b	۲/۳۳ ^{cd}	۲۲/۴۸ ^g	۴/۴۳ ^{bcd}	۱۰/۴۹ ^a	۹/۶۷ ^a	۵۹/۳۰ ^d	۱۰۴۵/۷۰ ^b
IR 78369 A / IR46R	۱۰/۵۴ ^b	۲/۵۴ ^{ab}	۲۷/۳۰ ^c	۴/۱۶ ^{cde}	۷/۸۴ ^b	۹/۳۳ ^{ab}	۶۱/۸۷ ^d	۹۰۱/۰۰ ^c
IR 102572 A / NSIC RC 352	۹/۸۳ ^{bc}	۲/۶۸ ^a	۲۶/۵۷ ^d	۳/۶۷ ^e	۹/۸۰ ^a	۶/۳۳ ^{ab}	۶۰/۱۶ ^d	۹۶۹/۹۵ ^{bc}
شیرودی	۱۱/۳۷ ^a	۲/۲۵ ^{cd}	۲۶/۰۳ ^e	۶/۲۵ ^a	۵/۸۸ ^{de}	۵/۹۲ ⁺⁺	۹۴/۰۸ ^{ab}	۷۴۰/۳۰ ^d

در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

داشته است. میزان آمیلوز هیبریدها از ۲۱/۷۹ تا ۲۸/۶۵ و میزان آمیلوز رقم هاشمی ۲۲/۴۵ بوده است. تمامی هیبریدها عطر کمتری از رقم هاشمی داشته‌اند. میزان درجه حرارت ژلاتینی‌شدن هیبرید IR50/ ندا A همچون رقم شاهد هاشمی (GT=۳/۲۵) بود. اخیراً تحقیقات گسترده‌ای در زمینه اصلاح هیبریدهای کیفی برنج (دانه بلند و کیفیت پخت و خوراک مطلوب) انجام شده است (Zhu et al., 2017; Feng et al., 2017). توجه به نیازها و سلائق مصرف‌کننده، ضرورت توسعه و اصلاح هیبریدهای کیفی برنج را بیش از پیش نمایان می‌سازد

در تمامی صفات فیزیکی‌وشیمیایی بین تمامی هیبریدهای گزینش‌شده اختلاف معنی‌داری وجود داشت که نشان از تنوع موجود بین هیبریدها بوده است. نتایج مقایسه میانگین صفات فیزیکی‌وشیمیایی هیبریدهای برنج (جدول ۴) نشان داد که هیبرید IR50/ ندا A بیشترین درصد برنج قهوه‌ای (۷۷/۹۸)، راندمان تبدیل (۶۵/۴۵ درصد) و درصد برنج سالم (۵۱/۹۱ درصد) و کمترین درصد پوسته سخت (۲۲/۰۲) را داشته که نسبت به شاهد هاشمی و شیرودی برتری داشته است. بلندترین طول دانه بعد از پخت مربوط به هیبرید IR56/ نعمت A که این هیبرید بالاترین ری آمدن را نیز

جدول ۴- نتایج مقایسه میانگین صفات فیزیکی و شیمیایی هیبریدهای برنج و ارقام شاهد

نسبت والد نر/والد ماده	درصد برنج قهوه‌ای	درصد پوسته سخت	راندمان تبدیل (%)	درصد پوسته نرم	درصد برنج سالم	طول دانه قبل پخت (mm)	عرض دانه قبل پخت (mm)	نسبت طول به عرض دانه
IR50 / ندا A	۷۷/۹۸ ^a	۲۲/۰۳ ^g	۶۵/۴۵ ^a	۱۲/۵۳ ^d	۵۱/۹۱ ^a	۶/۸۲ ^{bc}	۲/۱۳ ^b	۳/۳ ^{bc}
IR 93560 A / IR67924R	۷۵/۳۸ ^b	۲۴/۶۲ ^f	۶۱/۹۲ ^b	۱۳/۴۶ ^c	۴۸/۴۶ ^{cd}	۶/۵۶ ^c	۲/۱۴ ^b	۳/۰۶ ^{cd}
IR 93560 A / P15-3	۷۱/۶۳ ^e	۲۸/۳۷ ^c	۵۸/۶۹ ^c	۱۲/۹۴ ^{cd}	۴۹/۷۸ ^{bc}	۷/۴۶ ^a	۲/۱۷ ^b	۳/۴۴ ^b
IR56 / نعمت A	۷۳/۹۰ ^c	۲۶/۱۰ ^{de}	۵۷/۳۹ ^d	۱۶/۵۱ ^b	۴۸/۹۶ ^{cd}	۶/۷۵ ^c	۲/۲۰ ^{ab}	۳/۰۷ ^{cd}
IR 68899 A / IR56	۷۳/۴۲ ^c	۲۶/۵۸ ^d	۶۰/۹۹ ^b	۱۲/۴۳ ^d	۴۹/۰۳ ^{cd}	۶/۷۸ ^c	۲/۰۵ ^b	۳/۳۱ ^{bc}
IR 78369 A / IR46R	۷۵/۳۹ ^b	۲۴/۶۱ ^f	۵۶/۴۲ ^e	۱۸/۹۷ ^a	۵۱/۱۲ ^{ab}	۶/۸۹ ^{bc}	۲/۰۹ ^b	۳/۳۰ ^{bc}
IR 102572 A / NSIC RC 352	۶۷/۶۲ ^f	۳۲/۳۸ ^a	۵۱/۵۷ ^f	۱۶/۰۵ ^b	۳۸/۲۸ ^f	۶/۵۶ ^c	۲/۳۲ ^a	۲/۸۳ ^d
هاشمی	۷۵/۰۰ ^b	۲۵/۰۰ ^{ef}	۵۶/۰۰ ^e	۱۹/۰۰ ^a	۴۷/۶۷ ^d	۶/۶۵ ^c	۲/۰۶ ^b	۳/۲۴ ^{bc}
شیرودی	۷۲/۳۳ ^d	۳۰/۰۰ ^b	۶۱/۰۰ ^b	۱۱/۳۳ ^e	۴۵/۳۳ ^e	۷/۱۵ ^{ab}	۱/۹۰ ^a	۳/۷۵ ^a

ادامه جدول ۴- نتایج مقایسه میانگین صفات فیزیکی و شیمیایی هیبریدهای برنج و ارقام شاهد

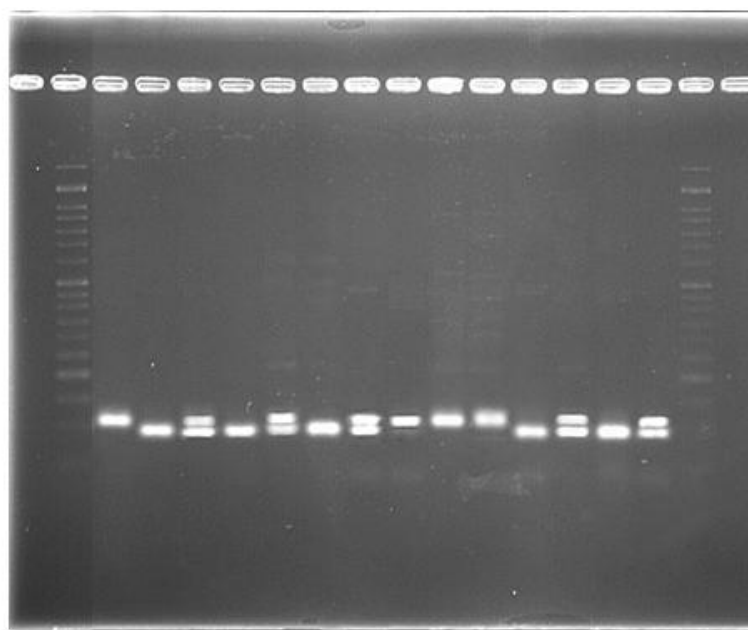
ژنوتیپ والد نر/والد ماده	طول دانه بعد پخت (mm)	ری آمدن (mm)	درصد ری آمدن	درصد آمیلوز	عطر* ژلاتینی شدن*	درجه حرارت
IR50 / ندا A	۱۱/۵۳ ^{ab}	۴/۷۱ ^{ab}	۶۹/۲۱ ^a	۲۱/۷۹ ^e	۲	۳/۲۵
IR93560A / IR67924R	۱۱/۰۰ ^{a-d}	۴/۴۴ ^{abc}	۶۷/۷۰ ^a	۲۴/۴۱ ^c	۱	۳
IR 93560 A / P15-3	۱۰/۸۳ ^{bcd}	۳/۳۷ ^d	۴۵/۲۲ ^b	۲۲/۴۷ ^d	۲	۳/۵
IR56 / نعمت A	۱۱/۶۰ ^a	۴/۸۵ ^a	۷۱/۹۸ ^a	۲۵/۶۴ ^b	۲	۷
IR 68899 A / IR56	۱۰/۶۳ ^{cd}	۳/۸۵ ^{bcd}	۵۷/۰۲ ^{ab}	۲۵/۹۹ ^b	۲	۳/۵
IR 78369 A / IR46R	۱۰/۹۷ ^{a-d}	۴/۰۸ ^{a-d}	۵۹/۳۰ ^{ab}	۲۰/۲۸ ^f	۲	۶/۵
IR 102572 A / NSIC RC 352	۱۰/۹۷ ^{a-d}	۴/۴۰ ^{abc}	۶۷/۴۵ ^a	۲۸/۶۵ ^a	۱	۳/۵
هاشمی	۱۰/۳۳ ^d	۳/۶۸ ^{cd}	۵۵/۳۴ ^{ab}	۲۲/۴۵ ^d	۳	۳/۲۵
شیرودی	۱۱/۳۴ ^{abc}	۴/۱۹ ^{a-d}	۵۸/۵۶ ^{ab}	۲۴/۳۰ ^c	۲	۴/۷۵

در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند. *: این صفات از نوع رتبه‌بندی بوده و مقایسات گروهی انجام نشد.

102572 A تأیید شده است. در تحقیقی که توسط سینگ و همکاران (Singh et al., 2014) از گزینش ۱۰۰ لاین اصلاحی با استفاده از نشانگرهای مولکولی SSR پیوسته با ژن‌های Rf₃ و Rf₄، گزارش گردید ۶۱ لاین دارای هر دو ژن برگرداننده باروری بوده، که از میان این تعداد ۱۸ لاین انتخاب شده و با ۶ لاین نرعیتم تلاقی داده شدند و مشخص شد که برخی از هیبریدها دارای باروری خوشه بیش از ۹۰ درصد بودند.

بررسی وجود ژن‌های برگرداننده باروری (Rf₃) با استفاده از نشانگر RM490 در هیبریدهای برنج به همراه ژنوتیپ‌های پدری

نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل الگوی باندهای نشانگر RM490 (شکل ۱)، نشان‌دهنده وجود باندهایی به اندازه‌های مختلف باندهی شامل ۹۸، ۱۰۱ و ۱۰۳ جفت باز است. باند ۹۸ bp احتمالاً به ژن برگرداننده باروری مربوط می‌شود و در ژنوتیپ‌های IR50، IR67924R، P15-3، IR46R و NSIC RC 352 مشاهده شده است. هیبریدهایی که والد پدری آن‌ها دارای ژن برگرداننده باروری Rf₃ تشخیص داده شدند دارای هر دو باند ۹۸ و ۱۰۳ جفت باز بودند. این موضوع در هیبریدهای IR50 / ندا A، IR 93560 A / IR67924R، P15-3 / IR 93560 A و IR 78369 / IR46R، IR 93560 A / NSIC RC 352 و IR 78369 / IR46R مشاهده شد.



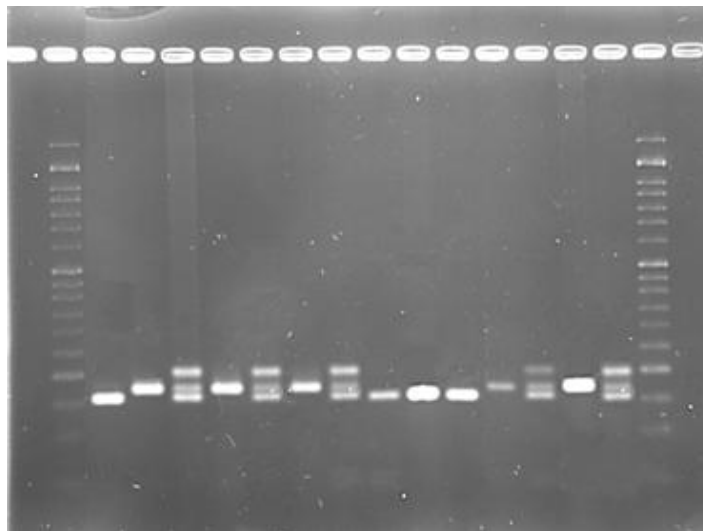
شکل ۱- الگوی باندی نشانگر RM490 در هیبریدهای برنج به همراه ژنوتیپ‌های پدری

M: مارکر لدر ۵۰ جفت باز، ۱: نعمت A، ۲: IR50، ۳: هیبرید IR50/ندا A، ۴: IR67924R، ۵: هیبرید IR 93560 A/IR67924R، ۶: P15-3، ۷: هیبرید IR 93560 A /P15-3، ۸: IR 56، ۹: هیبرید IR 56/نعمت A، ۱۰: هیبرید IR68899A/IR 56، ۱۱: IR46R، ۱۲: هیبرید IR 78369/IR46R، ۱۳: NSIC IR 102572 A/NSIC RC 352، ۱۴: RC 352

هیبریدهای IR50/ندا A، IR 93560 A/IR67924R، P15-3، IR 93560 A /3 و IR 78369/IR46R، IR /NSIC RC 352 و 102572 A تأیید شده است. همچنین تمامی هیبریدها، باندی اضافی در جفت باز نشان دادند. در ارزیابی هیبریدهای برنج از طریق نشانگرهای میکروستلایت و RAPD، باند اضافی در هیبریدها گزارش شد که از آن به عنوان باندهای هترو دوپلکس (heteroduplex) مطرح شد (Hashemi *et al.*, 2009).

بررسی وجود ژن‌های برگرداننده باروری (Rf_3) با استفاده از نشانگر RM3148 در هیبریدهای برنج به همراه ژنوتیپ‌های پدری

الگوی باندی نشانگر RM3148 (شکل ۲)، چندشکلی مشخصی در بین لاین CMS (نعمت A)، ژنوتیپ‌های والدینی و هیبریدهای برنج نشان داد. هیبریدهایی که والد پدری آن‌ها دارای ژن برگرداننده باروری Rf_3 بودند هر دو باند پدری و مادری را نشان دادند که حضور این ژن در



شکل ۲- الگوی بانندی نشانگر RM3148 در هیبریدهای برنج به همراه ژنوتیپ‌های پدری

M: مارکر لدر ۵۰ جفت باز، ۱: نعمت A، ۲: IR50، ۳: هیبرید IR50/ندا A، ۴: IR67924R، ۵: هیبرید IR93560 A/IR67924R، ۶: P15-3، ۷: هیبرید IR93560 A/IR67924R، ۸: IR56، ۹: هیبرید IR56/نعمت A، ۱۰: هیبرید IR68899A/IR56، ۱۱: IR46R، ۱۲: هیبرید IR78369/IR46R، ۱۳: NSIC IR 102572 A/NSIC RC 352، ۱۴: هیبرید RC 352

نتیجه‌گیری کلی

نتایج بدست‌آمده از آزمون عقیمی دانه گرده هیبریدهای حاصل از تلاقی لاین‌های CMS با برخی از ژنوتیپ‌های خارجی نشان داد که ژنوتیپ‌های IR50، IR67924R، P15-3، IR56، IR46R و NSIC RC 352 با داشتن باروری گرده بالای ۹۰ درصد در نتاج F_1 ، بعنوان لاین‌های برگرداننده باروری مطلوب شناخته شده و می‌توان از آن‌ها در تلاقی با سایر لاین‌های CMS بهره برد. مقایسه هیبریدها نشان داد که بیشترین مقدار عملکرد دانه شلتوک متعلق به هیبریدهای IR50/ندا A، IR56/نعمت A و IR68899A/IR56 با بیش از ۱۰۰۰ گرم در متر مربع شلتوک بوده که ناشی از طول خوشه، تعداد دانه پر در خوشه، باروری دانه گرده و خوشه بالا می‌باشد. این هیبریدها را می‌توان در گروه پرمحصول‌ترین هیبریدها قرار داد. نتایج مقایسه میانگین صفات فیزیکی‌شیمیایی هیبریدهای برنج نیز نشان داد که بیشترین میزان راندمان تبدیل مربوط به هیبرید IR50/ندا A بوده که راندمان تبدیل بیشتری از شاهد شیرودی داشتند. میزان آمیلوز هیبریدها از ۲۱/۷۹ تا ۲۸/۶۵ بوده است. اینطور می‌توان بیان نمود که هیبرید IR50/ندا A از نظر صفات فیزیکی‌شیمیایی و مطلوبیت کیفی، به عنوان بهترین هیبریدهای کیفی شناخته شد. نتایج آزمون مولکولی نشان داد که ژنوتیپ‌های IR50

IR67924R، P15-3، IR46R و NSIC RC 352 دارای ژن برگرداننده باروری $Rf3$ می‌باشند و این ژنوتیپ‌ها، برای لاین‌های نرعیقیم مورد استفاده به عنوان برترین برگرداننده باروری تشخیص داده شدند که می‌توان از آن‌ها برای انتقال ژن‌های Rf به سایر ارقام و همچنین در برنامه اصلاح برنج هیبرید بهره برد. در نهایت هیبریدهای IR50/ندا A، IR56/نعمت A و IR68899A/IR56 دارای عملکرد بالا و خصوصیات فیزیکی‌شیمیایی مطلوبی بوده، بنابراین امکان تولید هیبریدهای برنج با کیفیت محقق خواهد شد.

سپاسگزاری

این پژوهش بر اساس نتایج حاصل از اجرای رساله دکتری نویسنده مسئول است. بدین وسیله از تمامی دست‌اندرکاران پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان و مجموعه مدیریت دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری برای در اختیار قرار دادن امکانات لازم برای انجام این پژوهش تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

منابع

- Afkhami Ghadi, A. (2021). Morphological and molecular identification and evaluation of maintainer and restorer lines from various rice genetic sources. Ph. D. Thesis. Iran: Imam Khomeini International University. 181 pp. (In Persian).
- Babaeian Jelodar, N. A., Baghari, N., Pasha, A., & Afkhami Ghadi, A. (2012). Molecular mapping of the gene(s) controlling WA-type male sterility in hybrid rice. 12th Congress of Genetics of Iran, Tehran, Iranian Genetic Society. (In Persian).
- Cai, J., Liao, Q. P., Dai, Z. J., Zhu, H. T., Zeng, R. Z., Zhang, Z. M., & Zhang, G. Q. (2013). Allelic differentiation and effects of the *Rf3* and *Rf4* genes on fertility restoration in rice with wild abortive cytoplasmic male sterility. *Biol Plantarum*, 57, 274–280. <https://doi.org/10.1007/s10535-012-0294-9>
- Chen, R., Li, D., Fu, J., Fu, C., Qin, P., Zhang, X., ... & Yang, Y. (2024). Exploration of quality variation and stability of hybrid rice under multi-environments. *Molecular Breeding*, 44(1), 4.
- Deng, F., Zhang, C., He, L., Liao, S., Li, Q., Li, B., ... & Ren, W. (2022). Delayed sowing date improves the quality of mechanically transplanted rice by optimizing temperature conditions during growth season. *Field Crops Research*, 281, 108493. <https://doi.org/10.1007/s11032-024-01442-3>
- Faostat, F.A.O. (2024). FAO statistic division. food and agriculture organization-FAO. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.
- Feng, F., Li, Y., Qin, X., Liao, Y., & Siddique, K. (2017). Changes in Rice Grain Quality of Indica and Japonica Type Varieties Released in China from 2000 to 2014. *Front Plant Science*, 8, 1863. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01863>
- Haque, M. M., Pramanik, H. R., Biswas, J. K., Iftekharuddaula, K. M., & Hasanuzzaman, M. (2015). Comparative performance of hybrid and elite inbred rice varieties with respect to their source-sink relationship. *The Scientific World Journal*, 2015 (1), 11-1. <https://doi.org/10.1155/2015/326802>
- Hari Prasad, A. S., Senguttuvel, P., Revathi, P., Kemparaju, K. B., Sruthi, K., Sundaram, R. M., Seshu Madhav, M., Prasad, M.S., & Laha, G.S. (2018). Breeding strategies for hybrid rice parental line improvement. *Oryza*. 55, 38–41. <https://doi.org/10.5958/2249-5266.2018.00004.8>
- Hashemi, S. H., Mohammad, S. A., Nematzadeh, G. A. & Arzani, A. (2009). Identification of rice hybrids using microsatellite and RAPD markers. *African Journal Biotechnology*, 8(10), 2094-2101.
- IRRI. (2013). 5th edition standard evaluation system for rice. The International Rice Research Institute, P.O. Box 933, 1099 Manila, Philippines. p. 65.
- Julfiquar, A. W. (2009). BRRI: research and development of hybrid rice. *The Guardian*, 19(3), 33.
- Juliano, B. O., & Villareal, C. P. (1993). Grain quality evaluation of world rices. *International Rice Research Institute*. 205 P.
- Kiani, G. (2017). Identification of fertility restorer and maintainer varieties in rice using SSR markers. *Plant Production (Scientific Journal of Agriculture)*, 40(1), 81-87. (In Persian). <https://doi.org/10.22055/ppd.2016.12363>
- Lafarge, T., & Bueno, C. S. (2009). Higher crop performance of rice hybrids than of elite inbreds in the tropics: 2. Does sink regulation, rather than sink size, play a major role? *Field Crops Research*, 112(2-3), 238-244. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.08.011>
- Little, R. R. (1958). Differential effect of dilute alkali on 25 varieties of milled white rice. *Cereal Chemistry*. 35:111-126.
- McCouch, S. R., Teytelman, L., Xu, Y., Lobos, K. B., Clare, K., Walton, M., Fu, B., Maghirang, R., Li, Z., Xing, Y., Zhang, Q., Kono, I., Yano, M., Fjellstrom, R., DeClerck, G., Schneider, D., Cartinhour, S., Ware, D., & Stein, L. (2002). Development and mapping of 2240 new SSR markers for rice (*Oryza sativa* L.). *DNA research* 9, 199-207. <https://doi.org/10.1093/dnares/9.6.199>
- Nagaraju, M., Sindhuja, C.K., Sagar Kolluri, P. K. P., & Suresh, B. G. (2020). Evaluation of rice (*Oryza sativa* L.) hybrids for quality traits. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9(2), 1901-1904. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.19938.48329>
- Oladi, M., Nematzadeh, G., Rahimi, M., Afkhami Ghadi, A., Gholizadeh, A., Mozzafari, Ziaee, A. (2015). The effects of gamma ray on genetic and morphological diversity of some rice varieties. *Journal of Nuclear Science, Engineering and Technology*. 36 (3), 80-87.
- Parveen, S., Dhakarey, R., & Singh, J. (2013). Identification of maintainers and restorers for WA CMS lines among Basmati mutants in rice. *Agricultural Science Digest-A Research Journal*. 33 (3), 234–236. <https://doi.org/10.5958/j.0976-0547.33.3.016>
- Paudyal, M. (2024). Evaluation of hybrid rice varieties for growth and yield traits under irrigated transplanted conditions in Lumbini Province, Nepal. *Archives of Agriculture and Environmental Science*, 9(4), 641-647. <https://doi.org/10.26832/24566632.2024.090401>
- Reddy, D. V., Kumar, B. R., Suneetha, Y., Srinivas, T. & Kumar, D. M. (2025). Genetic evaluation of promising restorer lines in rice (*Oryza sativa* L.). *Agricultural Science Digest*. 1-8. <https://doi.org/10.18805/ag.D-6130>
- Revathi, P., Satheesh Naik, S. J., & Sundaram, R. M. (2025). Hybrid seed production of rice: Status and outlook.

- Hybrid seed production for boosting crop yields: Applications, Challenges and Opportunities, 41-78.
- Saghai Maroof, M. A., Soliman, K. M., Jorgensen, R. A., & Allard, R. W. (1984). Ribosomal DNA spacer-length polymorphism in barley: Mendelian inheritance, chromosomal location and population dynamics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 81, 8014-8018. <https://doi.org/10.1073/pnas.81.24.8014>
- Shidenur, S., Singh, V. J., Vinod, K. K., Krishnan, S. G., Ghritlahre, S. K., Bollinedi, H., Ellur, R. K., Dixit, B. K., Singh, B., Nagarajan, M., Singh, A. K. & Bhowmick, P. K. (2019). Molecular detection of WA-CMS restorers from tropical japonica derived lines, their evaluation for fertility restoration and adaptation. *Plant Breeding*, 138(5), 553-567. <https://doi.org/10.1111/pbr.12701>
- Singh, A. K., Revathi, P., Pavani, M., Sundaram, R. M., Senguttuvel, P., Kemparaju, K. B., Hari Prasad, A. S., Neeraja, C. N., Sravan Raju, N., Kotewara Rao, P., Suryendra, P. J., Jayaramulu, K., & Viraktamath, B. C. (2014). Molecular screening for fertility restorer genes Rf_3 and Rf_4 of WA-CMS and evaluation of F1 hybrids in Rice (*O. sativa* L.). *Journal of Rice Research*, 7, 1-2.
- Sood, B. C., & Siddiq, E. A. (1978). A rapid technique for scent determination in rice. *Indian Journal of Genetic and Plant Breeding*, 38(2), 268-271.
- Subedi, S. R., Sharma, P., Tiwari, D., Dhital, R., Poudel, A., Rijal, R., ... & Yadaw, R. B. (2025). Hardinath hybrid-1: first nepalese hybrid rice to strengthen rice production and food security. *Crop Breeding, Genetics and Genomics*, 7(1). <https://doi.org/10.20900/cbagg20250001>
- Takahashi, T., Sato, N., Matsunami, M., & Shimono, H. (2023). Yield performance of hybrid rice in a cool climate in Japan. *Field Crops Research*, 291, 108784. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2022.108784>
- Temnykh, S., DeClerck, G., Lukashova, A., Lipovich, L., Cartinhour, S., & McCouch, S. (2001). Computational and experimental analysis of microsatellites in rice (*Oryza sativa* L.): frequency, length variation, transposon associations, and genetic marker potential. *Genome research*. 11, 1441-1452. <https://doi.org/10.1101/gr.184001>
- Vejdani, R. (2015). Investigation of fertility restorer genes in promising mutant rice lines through quantitative and molecular traits (SSR). Master's Thesis. University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari. Iran. (In Persian).
- Xie, J., Xiao, Z., Li, X., Cao, F., Chen, J., Ali, I., ... & Huang, M. (2024). Stability differences of quality traits in high-quality hybrid rice. *Journal of Agriculture and Food Research*, 18, 101346. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101346>
- Xiong, R., Xie, J., Chen, L., Yang, T., Tan, X., Zhou, Y., ... & Zeng, Y. (2021). Water irrigation management affects starch structure and physicochemical properties of indica rice with different grain quality. *Food Chemistry*, 347, 129045. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129045>
- Yang, L., & Wang, Y. (2019). Impact of climate change on rice grain quality. *Rice*, 427-441. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811508-4.00013-7>
- Yuan, L. (2014). Development of hybrid rice to ensure food security. *Rice Science*. 21(1), 1-2. [https://doi.org/10.1016/S1672-6308\(13\)60167-5](https://doi.org/10.1016/S1672-6308(13)60167-5)
- Zhong, X., Zhao, B., Huang, M., Athar Hussain, H. Hussain, S., Cai, L., Yun, H., He, G., & Zhang, C. (2020). Comparison of growth and yield characteristics of mid-Season hybrid rice under different yield levels. *Agronomy*. 10, 1876. 19 PP <https://doi.org/10.3390/agronomy10121876>
- Zhu, D., Zhang, H., Guo, B., Xu, K., Dai, Q., Wei, C., Zhou, G., & Huo, Z. (2017). Physicochemical properties of indica-japonica hybrid rice starch from Chinese varieties. *Food Hydrocolloids*. 63, 356-363. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.09.013>