University of Tehran Press

Iranian Journal of Field Crop Science

Online ISSN: 2423-8082

Homepage:https://ijfcs.ut.ac.ir/

Investigation and Feasibility of Pearl Millet Hybrid Cultivars Development in Iran

Reza Ataei [1]✉ | Masoud Torabi [2]| Ahmad Ghasemi[3]| Mohammad Reza Shiri[4]

1. Corresponding Author, Seed and Plant Improvement Institute (SPII), Agricultural Research, Education & Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. Email: reza_ataei@ut.ac.ir
2. Horticulture-Crops Research Department, Isfahan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education & Extension Organization (AREEO), Isfahan, Iran.
3. Horticulture-Crops Research Department, Sistan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education & Extension Organization (AREEO), Zabol, Iran.
4. Seed and Plant Improvement Institute (SPII), Agricultural Research, Education & Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: April 24, 2023
Received in revised form: August 16, 2023
Accepted: August 23, 2023
Published online: March 20, 2024

Keywords:
Forage yield,
heterosis,
hybrid cultivars,
pearl millet,
seed yield.

ABSTRACT

Pearl Millet (*Pennisetum glaucum* L.) is one of the most important crops in arid and semi-arid regions that are cultivated for grain and forage. Due to cross pollination and high heterosis, the development of hybrid varieties is the most important breeding method of pearl millet. In order to study the preliminary yield comparison of hybrid cultivars and investigate the possibility of replacing open-pollinated cultivars with hybrid cultivars, 11 promising pearl millet hybrid cultivars with a check variety (Mehran cultivar) were planted in the randomized complete block design with three replications in Karaj, Isfahan and Zabul. The days to 50% flowering, plant height, stem diameter, leaves number, panicle length, panicle thickness, tiller number, fresh fodder yield, dry matter yield, 1000 seed weight, and seed yield were evaluated. The results of combined variance analysis and mean comparisons showed that there is considerable genetic diversity for the studied traits. The results showed that the cultivars H294, H444, H504, H604, H824, and H794 had the highest grain yield compared to the total mean of the experiment. In addition, five cultivars H543, H333, H353, H563, and H604 were above of total average in terms of fodder production and had good potential to be used in the field as commercial cultivars with the aim of fodder and seed production.

Cite this article: Ataei, R., Torabi, M., Ghasemi, A., & Shiri, M.R. (2024). Investigation and feasibility of pearl millet hybrid cultivars development in Iran. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *55*(1), 63-73. DOI: 10.22059/ijfcs.2023.358056.654999.

© The Authors.

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: http//doi.org/10.22059/ijfcs.2023.358056.654999

انتشارات دانشگاه تهران

علوم گیاهان زراعی ایران

شاپا الکترونیکی: ۸۰۸۲-۲۴۲۳

Homepage:https://ijfcs.ut.ac.ir/

بررسی و امکان‌سنجی تولید ارقام هیبرید ارزن مرواریدی در ایران

رضا عطایی[۱]✉ | مسعود ترابی[۲] | احمد قاسمی[۳] | محمدرضا شیری[۴]

۱. نویسنده مسئول، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. رایانامه: reza_ataei@ut.ac.ir

۲. بخش علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران.

۳. بخش علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سیستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زابل، ایران.

۴. موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۰۴

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۵/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۰۱

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۱/۰۱

کلیدواژه‌ها:
ارزن مرواریدی،
ارقام هیبرید،
عملکرد دانه،
عملکرد علوفه،
هتروزیس.

چکیده

ارزن مرواریدی (*Pennisetum glaucum* L.) یکی از گیاهان مهم مناطق خشک و نیمه‌خشک است که به منظور تولید دانه و علوفه کشت می‌شود. با توجه به دگرگشنی و هتروزیس بالا ایجاد ارقام هیبرید مهم‌ترین روش اصلاحی ارزن مرواریدی است. در این تحقیق به منظور مطالعه مقایسه عملکرد مقدماتی ارقام هیبرید و بررسی امکان جایگزینی ارقام آزاد گرده‌افشان با ارقام هیبرید، ۱۱ رقم امیدبخش هیبرید ارزن مرواریدی به همراه شاهد (رقم مهران) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و در مناطق کرج، اصفهان و زابل کشت شدند. صفات تعداد روز تا ۵۰٪ گلدهی، ارتفاع گیاه، قطر ساقه، تعداد برگ، طول پانیکول، قطر پانیکول، تعداد پنجه، عملکرد علوفه تر، عملکرد ماده خشک، وزن هزار دانه، و عملکرد دانه مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج تجزیه واریانس مرکب و مقایسات میانگین نشان داد که تنوع ژنتیکی قابل ملاحظه‌ای برای صفات مورد بررسی وجود دارد. نتایج این آزمایش نشان داد ارقام H294، H444، H504، H604، H824 و H794 به‌ترتیب بیشترین عملکرد دانه را نسبت به میانگین کل آزمایش داشتند. همچنین پنج رقم H543، H333، H353، H563 و H604 از لحاظ تولید علوفه بالاتر از میانگین قرار داشتند و از پتانسیل خوبی برای استفاده در عرصه به عنوان رقم تجاری با هدف تولید علوفه و دانه برخوردار بودند.

استناد: عطایی، ر.، ترابی، م.، قاسمی، ا.، و شیری، م.ر. (۱۴۰۳). بررسی و امکان‌سنجی تولید ارقام هیبرید ارزن مرواریدی در ایران. *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۵۵(۱)، ۶۳-۷۳. DOI: 10.22059/ijfcs.2023.358056.654999

ناشر: موسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان

۱. مقدمه

تأمین امنیت غذایی در مناطق خشک و نیمه‌خشک به دلیل رشد سریع جمعیت و تغییرات شدید آب و هوایی همواره یکی از چالش‌های بزرگ بخش کشاورزی است (Lobell *et al.*, 2008). پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰ جمعیت جهان به بیش از ۹ میلیارد نفر (۳۴٪ بیشتر از حال حاضر) برسد. همچنین تمامی این افزایش جمعیت در کشورهای در حال توسعه رخ خواهد داد و ۷۰ درصد از جمعیت سال ۲۰۵۰ (۲۱٪ بیشتر از حال حاضر) شهرنشین خواهد بود (Wise, 2013). لذا به منظور تأمین امنیت غذایی چنین جمعیتی نیاز به ارقام اصلاح‌شده‌ای است که بتواند عملکرد بالا و پایداری را در محیط‌های مختلف تولید کند. از طرفی تنش‌های غیر زنده به‌ویژه تنش خشکی یک معضل جهانی است (Liu *et al.*, 2011). پایگاه‌های هواشناسی و تغییرات مدل‌های شبیه‌سازی‌شده همگی نشان‌دهنده افزایش شدت و فراوانی خشکی در مقیاس جهانی است (Zhao & Dai, 2015). لذا در چنین شرایطی کشت گیاهان زراعی متحمل به خشکی، گرما و شرایط تنش‌زا (مانند سورگوم و ارزن‌ها) از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

ارزن‌ها گروهی از غلات دانه‌ریز و یکی از قدیمی‌ترین گیاهان زراعی هستند که در سراسر دنیا به منظور تولید دانه و علوفه کشت می‌شوند (Radhouane, 2013) و از لحاظ اهمیت اقتصادی در بین غلات در رتبه ششم بعد از گندم، برنج، ذرت، جو و سورگوم قرار دارد (Boncompagni *et al.*, 2018). دانه ارزن مرواریدی از لحاظ ارزش غذایی نسبت به گندم، برنج، ذرت و سورگوم از وضعیت بهتری برخوردار است و دارای مقادیر بالایی از پروتئین، ویتامین‌ها، اسیدهای آمینه ضروری، آنتی‌اکسیدان‌ها و ریزمغذی‌های ضروری مانند آهن و روی است (Muthamilarasan *et al.*, 2016). به دلیل ارزش غذایی بالا در برخی کشورهای در حال توسعه مانند هند و چین به عنوان غذای انسان مورد استفاده قرار می‌گیرد (Davis *et al.*, 2003). علاوه بر این به دلیل کیفیت علوفه بالا و وجود ریزمغذی‌های ضروری، این گیاه به عنوان یک گیاه علوفه‌ای در بسیاری از مناطق جهان از جمله ایران مطرح می‌باشد. علوفه سبز این گیاه برخلاف سورگوم فاقد اسیدهیدروسیانیک است و غنی از پروتئین، کلسیم، فسفر و دیگر مواد معدنی بوده و منبع خوبی برای تغذیه دام به شمار می‌رود (Yadav & Rai, 2013). ارزن مرواریدی مقاومت خوبی به خشکی و فقر خاک از خود نشان می‌دهد و در مناطقی با محدودیت آب (۴۰۰۰ تا ۴۵۰۰ متر مکعب در هکتار) و خاک می‌توان این گیاه را کشت کرد. همچنین به‌دلیل طول دوره رشد کوتاه، این گیاه به‌خوبی می‌تواند در تناوب‌های مختلف قرار گیرد.

طی پنج دهه اخیر تلاش‌های زیادی در سطح دنیا برای اصلاح ارزن مرواریدی صورت گرفته است و هند به عنوان کشور پیشرو در اصلاح ارزن‌ها مطرح است. اصلاح ارزن مرواریدی در هند در اوایل دهه ۳۰ میلادی شروع شد و تمرکز اصلی روی افزایش عملکرد به روش انتخاب توده‌ای و آزمون نتاج بود که منجر به ایجاد ارقام آزادگرده‌افشان شد. به‌دلیل اینکه این ارقام آزادگرده‌افشان از توده‌های بومی با پایه ژنتیکی محدود در آزمایش‌های مزرعه‌ای محدود ایجاد شده بودند نتوانستند افزایش عملکرد قابل ملاحظه‌ای داشته باشند. با تأسیس موسسه بین‌المللی تحقیقات گیاهان زراعی برای مناطق نیمه‌خشک گرمسیری[1] در دهه ۷۰ میلادی برنامه اصلاح جمعیت‌های ارزن مرواریدی و ایجاد ارقام آزادگرده‌افشان به صورت مدون اجرا شد. جمع‌آوری ژرم‌پلاسم متنوع از سراسر دنیا (اغلب از آفریقا) و اصلاح ارقام مخلوط[2] به‌وسیله انواع گزینش‌های دوره‌ای منجر به ایجاد و توسعه ارقام جدید با پایه ژنتیکی وسیع و عملکرد بالا در دهه ۸۰ میلادی شد.

در ایران با ورود رقم نوتریفید[3] (از استرالیا) در دهه ۷۰ شمسی، ارزن مرواریدی به عنوان گیاه علوفه‌ای با کیفیت در شرایط خشکسالی ایران مورد استقبال کشاورزان و بهره‌برداران قرار گرفت. با این حال اصلاح ارزن مرواریدی برای اولین بار به صورت هدفمند در ایران از دهه ۸۰ شمسی در موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر شروع شد. توده‌ها و ارقام وارداتی از استرالیا و هند مورد ارزیابی قرار گرفت و برنامه اصلاح جمعیت و ایجاد ارقام آزادگرده‌افشان به‌وسیله گزینش به صورت مستمر اجرا و در سال ۱۳۹۷ اولین رقم اصلاح‌شده ارزن مرواریدی به نام مهران در دسترس عموم قرار گرفت.

به‌طور کلی ارقام هیبرید در گیاهان دگرگشن (مانند ارزن مرواریدی) به بهترین نحو ممکن می‌تواند از هتروزیس (برتری عملکرد نتاج در مقایسه با والدین) استفاده کنند. در میان گیاهان زراعی ارقام هیبرید ذرت به‌طور قابل ملاحظه‌ای رشد داشته است؛

1. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT)
2. Composite Cultivar
3. Nutrifeed

به‌طوری‌که امروزه بیش از ۹۰ درصد کشت ذرت با استفاده از این ارقام صورت می‌گیرد. علاوه بر این ارقام هیبرید برنج علی‌رغم هتروزیس کمتر (نسبت به گیاهان دگرگشن) ولی تا حدود زیادی موفق عمل کرده است؛ به‌طوری‌که بکارگیری ارقام هیبرید برنج در ۵۵ درصد شالیزارهای شرق آسیا منجر به افزایش تولید ۲۰ میلیون تن شده است (Beyene & Abate, 2016). در میان غلات ارزن مرواریدی یکی از گیاهانی است که در اوایل دهه ۶۰ میلادی با بکارگیری سیستم نرعقیمی و ایجاد هیبریدهای سینگل‌کراس افزایش عملکرد چشمگیری از خود نشان داد. رقم HHB67 یکی از موفق‌ترین کاربرد ارقام هیبرید در ارزن مرواریدی در دهه ۶۰ است که برای عملکرد دانه در حدود ۸۰ درصد هتروزیس از خود نشان داد (Srivastava *et al.*, 2020). علی‌رغم گزارش‌های ضد و نقیض درباره میزان هتروزیس ارزن مرواریدی با این حال توافق خوبی بر استفاده از ارقام هیبرید به جای ارقام آزادگرده‌افشان در ارزن مرواریدی وجود دارد (Gupta *et al.*, 2018).

در پژوهشی به منظور بررسی هتروزیس در ارقام ارزن مرواریدی ۱۵۰ هیبرید ارزن مرواریدی به همراه والدین مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد هتروزیس قابل ملاحظه‌ای برای تمامی صفات مورد ارزیابی (تعداد روز تا گلدهی، ارتفاع، تعداد پنجه، طول پانیکول، وزن صد دانه و عملکرد تک‌بوته) وجود دارد. دامنه تغییرات هتروزیس برای صفت عملکرد دانه نسبت به رقم استاندارد بین ۶۵/۵۱- تا ۴۸/۹۹ بود (Vetriventhan *et al.*, 2008).

مقایسه ۱۲۲ هیبرید تجاری در سه منطقه نشان داد تنوع قابل ملاحظه‌ای برای صفات زراعی (گلدهی، پنجه‌زنی، اندازه دانه، ارتفاع و عملکرد دانه) وجود دارد. تمامی هیبریدها در هفت کلاستر طبقه‌بندی شدند و نتایج این آزمایش نشان داد صفات گلدهی و پنجه‌زنی به صورت مستقیم و غیر مستقیم تأثیر معنی‌داری روی افزایش عملکرد دارند (Yadav *et al.*, 2016).

تعداد ۶۰ هیبرید، ۱۶ والدین و دو رقم شاهد با هدف بررسی وسعت و بزرگی هتروزیس هیبریدهای تجاری هند کشت و مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج تحقیق حاضر نشان داد دو هیبرید ICMA 98444 × J 2526 و AIB-2 × ICMA 96222 به‌ترتیب دارای بیشترین هتروزیس نسبت به والد برتر و هتروزیس استاندارد برای صفت عملکرد دانه بودند (Bc *et al.*, 2016).

هدف اولیه از این تحقیق مقایسه عملکرد هیبریدهای مختلف ارزن مرواریدی و تعیین بهترین هیبرید است. علاوه بر این، در بلندمدت این پروژه مقدمه‌ای بر بررسی امکان تغییر جهت برنامه اصلاح ارزن به سمت ایجاد ارقام هیبرید ارزن مرواریدی برای اولین بار در کشور خواهد بود؛ لذا انتظار می‌رود نتایج این تحقیق بتواند در آینده و در ایجاد ارقام زراعی جدید به‌طور قابل ملاحظه‌ای به کار گرفته شود.

۲. روش‌شناسی پژوهش

به منظور ارزیابی هیبریدهای جدید ارزن مرواریدی، تعداد ۱۱ هیبرید ایجادشده در موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر با استفاده از سیستم نرعقیمی سیتوپلاسمی (جدول ۱) به همراه رقم مهران به عنوان شاهد به صورت طرح بلوک کامل با دسته‌بندی احتمالی هیبریدها به صورت دانه‌ای و علوفه‌ای در سه تکرار در سال ۱۴۰۰ و در مناطق کرج (موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر)، اصفهان (مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان) و زابل (مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سیستان) بر اساس اقلیم منطقه در زمان مناسب کشت شد.

جدول ۱. ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی در این مطالعه.

No.	Genotype	No.	Genotype
1	H294	7	H543
2	H314	8	H563
3	H333	9	H604
4	H353	10	H794
5	H444	11	H824
6	H504	12	Mehran (Control)

هر واحد آزمایشی شامل چهار ردیف به طول پنج متر و با فاصله ردیف ۶۰ سانتیمتر بود. تمامی عملیات زراعی بر اساس عرف منطقه انجام شد. یادداشت‌برداری صفات در تمامی مناطق به صورت یکسان و بر اساس دستورالعمل ICRISAT انجام شد. به

منظور بررسی تعداد روز تا ۵۰٪ گلدهی، ارتفاع گیاه، تعداد برگ، طول پانیکول، قطر پانیکول و تعداد پنجه، ده بوته به صورت تصادفی از کرت‌ها انتخاب و یادداشت‌برداری صفات فوق بر اساس میانگین ده بوته انجام شد. به منظور بررسی عملکرد علوفه در چین‌های مختلف، دو خط وسط از هر تکرار در زمان گلدهی برداشت و توزین شد و همچنین عملکرد علوفه خشک بعد از ۷۲ ساعت نگهداری در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد بررسی و اندازه‌گیری شد. صفات عملکرد دانه و وزن هزار دانه در انتهای فصل رشد اندازه‌گیری شد. داده‌های جمع‌آوری‌شده از لحاظ آزمون نرمال‌بودن با استفاده از دو آزمون کولموگروف- اسمیرنوف و شاپیرو-ویلک و با استفاده از نرم‌افزار SPSS مورد بررسی قرار گرفت و به دلیل اینکه تعداد ژنوتیپ‌ها کمتر از ۵۰ بود تمرکز اصلی روی آزمون شاپیرو- ویلک (برای نمونه‌های کوچک) بود و تمامی تجزیه‌های بعدی با داده‌های نرمال انجام شد. داده‌های خام با استفاده از نرم‌افزار SAS مورد تجزیه آماری قرار گرفت و مقایسات میانگین بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن انجام گرفت. بهترین هیبرید موجود در آزمایش بر مبنای نتایج داده‌های آماری برای آزمایش‌های سازگاری و پایداری انتخاب شد.

۳. نتایج پژوهش و بحث

دو آزمون شاپیرو-ویلک و کولموگروف اسمیرنوف معمول‌ترین روش‌های آماری برای بررسی نرمال‌بودن داده‌ها هستند. نتایج آزمون نرمال‌بودن داده‌ها نشان داد تمامی متغیرهای مورد بررسی حداقل در سطح معنی‌داری یک درصد از توزیع نرمال برخوردار بودند. علاوه بر این نتایج آزمون بارتلت جهت بررسی همگنی واریانس‌های خطای آزمایشی در سه منطقه نشان داد آزمایش‌های انجام‌شده در مناطق مختلف از دقت یکسانی برخوردار بودند و امکان بررسی هم‌زمان داده‌ها با استفاده از تجزیه واریانس مرکب وجود دارد.

نتایج تجزیه واریانس مرکب صفات مورد بررسی در سه منطقه مختلف نشان داد اثر اصلی مناطق مورد بررسی برای تمامی صفات مورد بررسی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بررسی واریانس اثرات متقابل نشان داد اثر متقابل ژنوتیپ و منطقه برای تمامی صفات مورد بررسی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. با توجه به معنی‌داربودن واریانس اثر متقابل، برای آزمون اثر اصلی ژنوتیپ در جدول تجزیه واریانس و مقایسات میانگین ژنوتیپ‌ها از واریانس اثرات متقابل ژنوتیپ و منطقه به عنوان واریانس خطا استفاده شد؛ به‌عبارت دیگر در این آزمایش اثرات ژنوتیپ به صورت ثابت و اثرات مناطق به صورت تصادفی در نظر گرفته شد. همچنین نتایج نشان داد اثر اصلی ژنوتیپ برای تمامی صفات بجز صفت تعداد برگ معنی‌دار بود. درصد تنوع ایجادشده توسط محیط از ۲۹/۸ درصد برای صفت قطر پانیکول تا ۸۸/۵ درصد برای صفت قطر ساقه متغیر بود و واریانس ایجادشده توسط مناطق، بخش بزرگی از تنوع موجود را توجیه کرد (جدول ۲).

این نتایج نشان داد ژنوتیپ‌های مورد بررسی از تنوع خوبی برای صفات مورد بررسی (به‌ویژه دو صفت انتهایی عملکرد علوفه و عملکرد دانه) برخوردار بودند و پاسخ ژنوتیپ‌ها برای این صفات در مناطق مختلف به‌طور یکسانی تغییر نمی‌کند و تحت تأثیر شرایط خاص آن منطقه است (Bavandpori *et al.*, 2015). معنی‌داری اثر اصلی منطقه و بزرگی واریانس ایجادشده توسط مناطق آزمایش نشان‌دهنده تفاوت بین مناطق از لحاظ ویژگی‌های جغرافیایی (مانند ارتفاع از سطح دریا) و شرایط آب و هوایی (مانند میزان بارندگی، پراکنش بارندگی و درجه حرارت) بود (Kang, 1997). نتایج مطالعات قبلی نشان داد که بخش بزرگی از واریانس ایجادشده توسط محیط توجیه می‌شود. در مطالعات انجام‌شده روی ژنوتیپ‌های ارزن معمولی و لوبیا گزارش شد که به‌ترتیب بیش از ۸۶ درصد و ۸۹ درصد از واریانس کل توسط محیط ایجاد می‌شود (Temesgen *et al.*, 2015; Zhang *et al.*, 2016).

همچنین با توجه به معنی‌داری واریانس اثر متقابل برای کلیه صفات، این نتایج نشان داد وجود اثرات متقابل ژنوتیپ‌های ارزن مرواریدی با محیط‌های چندگانه منجر به ایجاد تفاوت پاسخ‌های ژنوتیپی در مناطق مختلف شده و نشان‌دهنده تفاوت عملکرد و رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها در مناطق مختلف است (Fikere *et al.*, 2008). بزرگی واریانس اثر متقابل در مقایسه با واریانس ژنوتیپ با نتایج مطالعات صورت‌گرفته روی برنج (Lakew *et al.*, 2014) و ذرت (Shiri, 2013) مطابقت داشت. نوسان عملکرد در محیط‌های مختلف و وجود اثرات متقابل ژنوتیپ و محیط روی انتخاب و توصیه ارقام برای مجموعه محیط‌ها تأثیر می‌گذارد (Dawson *et al.*, 2011; Mikó *et al.*, 2014).

نتایج تجزیه واریانس در این آزمایش نشان داد ارقام مورد بررسی از لحاظ تعداد برگ تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند. با این حال یکی از عوامل مهم و تأثیرگذار روی افزایش کیفیت علوفه تعداد برگ و نسبت برگ به ساقه است. هر چند عملکرد، صفت مهمی برای گزینش ارقام و لاین‌های جدید است با این حال کیفیت علوفه نیز همواره یکی از نگرانی‌های اصلاحگران برای ایجاد ارقام جدید است. یکی از عوامل تعیین‌کننده کیفیت علوفه گونه (رقم و یا ژنوتیپ‌ها) گیاهی است. کیفیت علوفه گونه‌های مختلف و یا واریته‌های مختلف یک گونه گیاهی تا حد زیادی ممکن است با یکدیگر تفاوت داشته باشند. تعداد برگ یکی از اجزای ارقام گیاهی است که در تعیین کیفیت علوفه نقش دارد؛ به‌طوری‌که یکی از دلایل کاهش کیفیت علوفه در برداشت‌های دیرهنگام کاهش نسبت برگ به ساقه است (Ball *et al.*, 2001; Van Man & Wiktorsson, 2003). ارقام پربرگ با برگ‌های ظریف و کوچک قابلیت هضم بیشتری دارند (Reddy *et al.*, 2003). ارقام با برگ‌های بزرگ‌تر به دلیل اینکه کارایی فتوسنتز بالایی دارند و انرژی خورشیدی بیشتری را به ماده خشک تبدیل می‌کنند عملکرد علوفه بیشتری دارند. این ارقام به دلیل تجمع ماده خشک زیاد و لیگنینی‌شدن زیاد بافت‌ها از قابلیت هضم کمتری برخوردارند (Fahey & Fahey Jr, 1994). هرچند این صفت نقش مهمی در کیفیت علوفه دارد با این حال از دیدگاه اصلاحگر، عملکرد نیز یک صفت مهم است و با توجه به اینکه تجمیع عملکرد بالا و کیفیت خوب کاری بسیار دشوار و پیچیده است؛ لذا اصلاحگران بیشتر به دنبال ایجاد تعادلی منطقی بین این دو شاخص هستند. در این مطالعه تمامی ژنوتیپ‌ها از لحاظ تعداد برگ تفاوت چندانی با یکدیگر نداشتند؛ بنابراین گزینش از لحاظ این صفت و دخیل‌کردن صفاتی که از لحاظ آماری با یکدیگر اختلاف معنی‌داری ندارند در تصمیم‌گیری‌های اصلاحگر منطقی به نظر نمی‌رسد. عملکرد علوفه تر صفتی بسیار پیچیده و در تعامل با دیگر صفات است؛ لذا درک ارتباطات بین عملکرد علوفه و دیگر صفات مؤثر و تأکید بر گزینش این صفات در برنامه‌های اصلاحی از اهمیت خاصی برخوردار است (Kumar *et al.*, 2017). بررسی روابط بین صفات مورفولوژیک نشان داد عملکرد ارزن همبستگی مثبت و معنی‌داری با تعداد پنجه، تعداد روز تا گلدهی و قطر ساقه دارد؛ در حالی که ارقام با طول پانیکول بیشتر از عملکرد دانه پایین‌تری برخوردار بودند. همچنین تجزیه مسیر نشان داد عملکرد علوفه خشک تا حد زیادی با صفات تعداد برگ، تعداد پنجه و تعداد روز تا گلدهی به صورت همسو و در یک جهت تغییر می‌کنند (Dezfouli & Mehrani, 2010). نتایج تحقیقات دیگر نیز نشان می‌دهد صفات تعداد پنجه، تعداد برگ، تعداد روز تا گلدهی و ارتفاع ارتباط تنگاتنگی با عملکرد علوفه دارد (Imran *et al.*, 2010; Kumar *et al.*, 2017; Shinde *et al.*, 2010; Zhang *et al.*, 2010)؛ بنابراین مدنظر قرار دادن این صفات در فرآیند انتخاب برای افزایش عملکرد علوفه از اهمیت زیادی برخوردار است.

علی‌رغم وجود رقم مهران به‌عنوان شاهد در آزمایش، به‌دلیل برتری تمامی ارقام مورد بررسی نسبت به رقم شاهد مقایسات میانگین به روش دانکن، جایگزین روش حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) شد. مقایسه میانگین (به روش دانکن) ژنوتیپ‌های مورد بررسی برای تعداد روز تا گلدهی، عملکرد علوفه و دانه (به عنوان محصول نهایی) در جدول ۳ نمایش داده شده است. میانگین کل آزمایش برای عملکرد دانه ۵/۷۸ تن در هکتار بود که اختلاف زیادی با عملکرد رقم شاهد (۲/۸۵ تن در هکتار) داشت. برای صفت عملکرد دانه ژنوتیپ‌های H294، H444، H504، H604، H824 و H794 به‌ترتیب بیشترین عملکرد را نسبت به میانگین کل آزمایش داشتند. با این حال دو رقم H824 و H794 بیشترین عملکرد دانه را به خود اختصاص دادند؛ این دو رقم علاوه بر عملکرد بالا دارای ویژگی‌های مطلوب یک رقم دانه‌ای نیز بودند. دو رقم H824 و H794 به‌ترتیب با میانگین ارتفاع ۱۴۸/۹ و ۱۵۱/۹ سانتی‌متر و میانگین تعداد پنجه ۱۴/۹ و ۱۴/۱ کمترین ارتفاع و تعداد پنجه را در آزمایش داشتند. کاهش ارتفاع گیاه در بسیاری از مواقع به دلیل افزایش شاخص برداشت، امکان افزایش تراکم و مقاومت به ورس یکی از اهداف اصلاحی مهم است. پنجه‌زنی زیاد هر چند در ارقام علوفه‌ای صفت مناسبی برای افزایش عملکرد می‌باشد؛ ولی در ارقام دانه‌ای پنجه‌زنی زیاد به‌دلیل عدم یکنواختی در رسیدگی و اختلال در برداشت مکانیزه صفت مطلوبی به شمار نمی‌آید. رقم H794 با ۵۲ روز تا گلدهی زودرس‌ترین رقم موجود در آزمایش بود و اختلاف فاحشی با رقم مهران (شاهد) داشت. با افزایش سطح زیر کشت و افزایش هزینه‌های کارگری، امکان برداشت مکانیزه یکی از عوامل موفقیت رقم در عرصه است (Yang *et al.*, 2021). در سال‌های اخیر برخی گزارش‌ها مبنی بر معماری گیاه برای سهولت برداشت مکانیزه در گیاهان مختلف به‌ویژه ذرت پرداخته است (Jiang *et al.*, 2022; Wang *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2011; Yan *et al.*, 2019). مقاومت به ورس و یکنواختی رسیدگی، دو صفت کلیدی برای تناسب رقم به برداشت

مکانیزه است. ارقام پاکوتاه به‌دلیل کودپذیری بیشتر و مقاومت به ورس نسبت به ارقام پابلند که رشد رویشی بیشتری دارند و دیررس‌تر هستند ترجیح داده می‌شود. در پنبه ارتفاع بین ۸۰ تا ۱۲۰ سانتی‌متر به‌عنوان ارقام مناسب برداشت ماشینی معرفی می‌شوند (Yan *et al.*, 2019). در ارزن مرواریدی سه نوع الگوی پنجه‌زنی هم‌زمان، غیر هم‌زمان (که از محور جوانه برگ پایه مشتق می‌شود) و غیر انتهایی (که از محور جوانه‌های جانبی رشد می‌کند) وجود دارد (Salama *et al.*, 2020) و الگوی پنجه‌زنی غیر انتهایی بیشترین تأثیر را روی عدم یکنواختی رسیدگی در ارقام دیررس دارد. ژنوتیپ H794 و H824 علی‌رغم ارتفاع مناسب، مقاومت بالا به ورس (بدون ورس) همراه با زودرسی دارای کمترین الگوی پنجه‌زنی غیر انتهایی و از یکنواختی بالایی برخوردار بودند.

زودرسی یکی از مهم‌ترین صفات ارزن مرواریدی است. به‌دلیل اینکه اغلب ارزن به عنوان کشت دوم بعد از گندم در کشور مطرح است؛ بنابراین کشت ارقام زودرس ارزن امکان برنامه‌ریزی برای سیستم کشت دوم را فراهم می‌آورد. از طرفی در مقیاس جهانی اغلب کشت و کار ارزن‌ها در نواحی گرم و خشک است و در طول رشد با انواع تنش‌ها به‌ویژه تنش خشکی روبرو است. ارزن مرواریدی مقاومت خوبی به تنش خشکی میان فصل دارد و هنگام روبرو شدن با آن قابلیت جبران کاهش عملکرد را با توجه به تولید پنجه‌های ثانویه دارد؛ بنابراین خشکی میان فصل اهمیت کمتری در مقایسه با خشکی آخر فصل دارد. ارقام زودرس در نواحی که با تنش خشکی آخر فصل روبرو هستند تا حد زیادی به‌وسیله مکانیسم فرار از خسارت وارده در امان می‌مانند (Vadez *et al.*, 2012).

نتایج نشان داد میانگین عملکرد علوفه تر در کل آزمایش ۸۳/۶ تن در هکتار بود که با رقم مهران (شاهد) با عملکرد ۵۹/۳۴ تن در هکتار اختلاف قابل ملاحظه‌ای داشت. پنج رقم H543، H333، H353، H563 و H604 بالاتر از میانگین قرار داشتند. رقم H353 با عملکرد ۱۰۶/۶ تن در هکتار بهترین رقم موجود در آزمایش از لحاظ عملکرد علوفه بود؛ هر چند عملکرد این رقم تفاوت معنی‌داری با ارقام H543 با عملکرد ۱۰۴/۲۱ تن در هکتار و H333 با عملکرد ۹۸/۱۹ تن در هکتار نداشت (جدول ۳).

ارقام H353،H333 و H543 به‌ترتیب با میانگین ارتفاع ۲۰۴/۷، ۱۹۴/۴ و ۲۰۵/۲ سانتی‌متر و میانگین ۷۶/۵، ۷۶/۱ و ۷۱ روز تا گلدهی بیشترین مقدار این صفات را به خود اختصاص دادند؛ در حالی که رقم H604 با عملکرد علوفه متوسط (۸۵/۵۵ تن در هکتار) از لحاظ تعداد روز تا گلدهی با رقم شاهد اختلاف معنی‌دار نداشت با این حال با ارتفاع ۱۵۸/۵ سانتی‌متر بلندتر از رقم شاهد (۱۲۳/۴ سانتی‌متر) بود. ارقام دیررس به دلیل اینکه ماده خشک بیشتری تولید می‌کنند لذا عملکرد بیشتری نیز دارند. علاوه بر این ارقام پابلند به دلیل ارتباط معنی‌دار بین ارتفاع گیاه و عملکرد علوفه و به دلیل اینکه زمان بیشتری برای تجمع ماده خشک دارند عملکرد علوفه بیشتری تولید می‌کنند. صفات تعداد پنجه، نسبت برگ به ساقه، ارتفاع گیاه و پتانسیل عملکرد ارقام مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده انتخاب رقم برای تولید علوفه بیشتر است (Assaeed, 1994).

در حال حاضر پدیده جهانی‌شدن و مدرنیزاسیون روز به روز افزایش می‌یابد. کشاورزی نیز متأثر از این پدیده بوده و بر اثر فشارهای وارده از یک سیستم تأمین غذا توسط میلیون‌ها کشاورز خرده‌پا به سیستم کنترل‌شده به‌وسیله تعدادی شرکت بزرگ تغییر یافته است. گزارش‌های متعدد نشان می‌دهد به‌کارگیری تکنولوژی‌های جدید کشاورزی تا حد زیادی باعث افزایش تولید، بهبود امنیت غذایی و تسریع رشد اقتصادی در کشورهای در حال توسعه شده است (Thanh & Duong, 2021). یکی از تکنولوژی‌های جدید که به صورت نهاده عرضه می‌شود ارقام جدید و پرمحصول است که تا حد زیادی باعث افزایش بهره‌وری و کاهش خلأ بین عرضه و تقاضای غذا می‌شود. جایگزینی ارقام قدیمی با ارقام جدید به‌ویژه ارقام هیبرید در گیاهان دگرگشن نتایج رضایت‌بخشی داشته است (Ficiciyan *et al.*, 2021; Pixley, 2006). علاوه بر این با مدرن‌شدن کشاورزی تأکید بر ارقام دانه‌ای پاکوتاه، ارقام علوفه‌ای تک‌چین و مناسب سیلو با ساقه‌های نازک بدون خسارت بر ماشین‌های برداشت رو به افزایش است. این تحقیق برای اولین بار در کشور تأکید ویژه‌ای بر استفاده از ارقام هیبرید دارد؛ به طوری که تمامی ارقام مورد آزمایش هم در عملکرد دانه و علوفه نسبت به رقم تجاری حال حاضر (رقم مهران) از افزایش عملکرد قابل قبولی برخوردارند و امید است با بکارگیری این ارقام میانگین عملکرد کشور تا حد زیادی بهبود یابد. علاوه بر این ارقام مورد بررسی تناسب خوبی با برداشت مکانیزه دارند.

جدول ۲. تجزیه واریانس مرکب صفات مورد بررسی بر اساس داده‌های سه منطقه.

S.O.V	d.f	MS										
		Days To 50% Flowering	Tiller Number	Plant Height (Cm)	Stem Diameter (mm)	Leaves Number	Panicle Length (Cm)	Panicle Thickness (mm)	Fresh Fodder Yield (Ton/ha)	Dry Matter Yield (Ton/ha)	1000 Seed Weight (g)	Seed Yield (Ton/ha)
Location	2	1427.11**	102.69**	15765.81**	310.72**	6404.19**	34.20**	43.03**	1372.65**	76.49**	28.53**	40.19**
Location (rep)	6	4.90	4.00	265.47	13.07	67.87	3.86	4.58	145.18	29.63	0.10	0.47
Genotype	11	474.40**	54.18*	5573.83**	19.68**	1651.88^{ns}	34.39**	82.21**	1962.47**	85.42**	8.04**	26.34**
Location * Genotype	22	13.98**	23.59**	309.29**	5.03**	1083.30**	7.86**	9.76**	201.90**	18.21**	1.83**	2.45**
Error	66	1.92	6.90	49.09	2.09	316.49	2.35	4.70	76.69	7.94	0.21	0.66
Variance by location (%)		74.2	53.6	71.7	88.5	67.2	41.3	29.8	36.5	34.8	73.1	57.4
Variance by Genotype (%)		24.6	28.3	25.3	5.6	17.3	41.6	56.9	52.19	38.9	20.5	37.6
Variance by G×L (%)		0.72	12.3	1.4	1.4	11.3	9.5	6.7	5.4	8.2	4.6	3.5

^{ns}، * و ** به‌ترتیب عدم معنی‌داری، سطح معنی‌داری پنج و یک درصد.

جدول ۳. مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها به روش دانکن در سطح احتمال پنج درصد.

Genotype	Seed Yield (Ton/ha)	Fresh Fodder Yield (Ton/ha)	Days to 50% Flowering
H794	8.73[a]	77.88[cd]	52[e]
H824	7.71[b]	67.20[df]	59[d]
H604	7.66[b]	85.55[c]	58[d]
H504	5.99[c]	74.20d[e]	60.5[d]
H444	5.99[c]	78.20[cd]	63.44[cd]
H294	5.92[c]	76.39[cd]	62.11[cd]
H563	5.78[c]	95.74[b]	66.2[c]
H353	5.54[c]	106.60[a]	76.5[a]
H314	4.45[d]	79.78[cd]	60.6[d]
H333	4.43[d]	98.19[ab]	76.1[a]
H543	4.23[d]	104.21[ab]	71[b]
Mehran (Control)	2.85[e]	59.34[f]	66.4[cd]
Total	5.78	83.6	64.3

ژنوتیپ‌هایی که دارای حرف یا حروف مشترک هستند از لحاظ آماری تفاوتی با یکدیگر ندارند.

۴. نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر نشان داد تنوع ژنتیکی قابل ملاحظه‌ای بین ارقام مورد بررسی از حیث صفات مورد بررسی وجود دارد. علاوه بر این نتایج نشان داد امکان fبهره‌گیری از هتروزیس موجود در ارزن مرواریدی برای جایگزینی ارقام قدیمی با تکنولوژی جدید ایجاد ارقام هیبرید وجود دارد؛ به‌طوری‌که تمامی ارقام مورد بررسی نسبت به رقم شاهد از عملکرد (علوفه و دانه) بالاتری برخوردار بودند. نتایج این آزمایش نشان داد ارقام H294، H444، H504، H604، H824 و H794 به‌ترتیب بیشترین عملکرد دانه را نسبت به میانگین کل آزمایش داشتند. همچنین پنج رقم H543، H333، H353، H563 و H604 از لحاظ تولید علوفه بالاتر از میانگین قرار داشتند و از پتانسیل خوبی برای استفاده در عرصه به عنوان رقم تجاری با هدف تولید علوفه و دانه بالا برخوردار بودند.

۵. منابع

Assaeed, A. (1994). Evaluation of some forage sorghum varieties under the condition of central region, Saudi Arabia. *Annals of Agricultural Science, 39*(2), 649-653.

Ball, D.M., Collins, M., Lacefield, G., Martin, N., Mertens, D., Olson, K., Putnam, D., Undersander, D., & Wolf, M. (2001). Understanding forage quality. USA: American Farm Bureau Federation Publication.

Bavandpori, F., Ahmadi, J., & Hossaini, S.M. (2015). Yield stability analysis of bread wheat lines using AMMI model. *Agricultural Communications, 3*(1), 8-15.

Bc, P., Js, D., & Ja, P. (2016). Heterosis for grain yield components in pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.). *Innovare Journal of Agricultural Sciences, 4*(3), 1-3.

Beyene, T.M., & Abate, M. (2016). Heterotic response in major cereals and vegetable crops. *International Journal of Plant Breeding and Genetics, 10*, 69-79.

Boncompagni, E., Orozco-Arroyo, G., Cominelli, E., Gangashetty, P.I., Grando, S., Zu, T.T.K., Daminati, M.G., Nielsen, E., & Sparvoli, F. (2018). Antinutritional factors in pearl millet grains: Phytate and goitrogens content variability and molecular characterization of genes involved in their pathways. *PloS One, 13*(6), e0198394.

Davis, A., Dale, N., & Ferreira, F. (2003). Pearl millet as an alternative feed ingredient in broiler diets. *Journal of Applied Poultry Research, 12*(2), 137-144.

Dawson, J.C., Rivière, P., Berthellot, J.F., Mercier, F., Kochko, P.D., Galic, N., Pin, S., Serpolay, E., Thomas, M., & Giuliano, S. (2011). Collaborative plant breeding for organic agricultural systems in developed countries. *Sustainability, 3*(8), 1206-1223.

Dezfouli, A., & Mehrani, A. (2010). A study of the relationships between yield and yield components in promising cultivars of foxtail millet (*Setaria italica*). *Iranian Journal of Field Crop Science, 41*(2), 413-421.

Fahey, G.C., & Fahey Jr, G.C. (1994). *Forage quality, evaluation, and utilization.* Paper presented at the National Conference on Forage Quality, Evaluation, and Utilization (1994: University of Nebraska).

Ficiciyan, A.M., Loos, J., & Tscharntke, T. (2021). Similar yield benefits of hybrid, conventional, and organic tomato and sweet pepper varieties under well-watered and drought-stressed conditions. *Frontiers in Sustainable Food Systems, 5*, 628537.

Fikere, M., Tadesse, T., & Letta, T. (2008). Genotype-environment interactions and stability parameters for grain yield of faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes grown in South Eastern Ethiopia. *International Journal of Sustainable Crop Production, 3*(6), 80-87.

Gupta, S.K., Nepolean, T., Shaikh, C.G., Rai, K., Hash, C.T., Das, R.R., & Rathore, A. (2018). Phenotypic and molecular diversity-based prediction of heterosis in pearl millet (*Pennisetum glaucum* L. (R.) Br.). *The Crop Journal*, *6*(3), 271-281.

Imran, M., Ashiq, H., Rizwan, K., Sartaj, K., Zahid, M., Ali, G.Z., Allah, B., & Daulat, B. (2010). Study of correlation among yield contributing and quality parameters in different millet varieties grown under and HWAR conditions. *Sahrad Journal Agriculture, 26*, 365-368.

Jiang, L., Rong, M., Wang, M., Chen, D., & Yu, H. (2022). Combining ability analysis of relevant characters of maize inbred lines suitable for machine harvest. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022.

Srivastava, R., Bollam, S., Pujarula, V., Pusuluri, M., Singh, R.B., Potupureddi, G., & Gupta, R. (2020). Exploitation of heterosis in pearl millet: A Review. *Plants, 9*(7), 807.

Kang, M.S. (1997). Using genotype-by-environment interaction for crop cultivar development. *Advances in Agronomy, 62*, 199-252.

Kumar, S., Babu, C., Revathi, S., & Iyanar, K. (2017). Estimation of genetic variability, heritability and association of green fodder yield with contributing traits in napier grass [*Pennisetum purpureum* Schum.]. *Vegetos-An International Journal of Plant Research, 30*(special), 463-468.

Lakew, T., Tariku, S., Alem, T., & Bitew, M. (2014). Agronomic performances and stability analysis of upland rice genotypes in North West Ethiopia. *International Journal of Scientific and Research Publications, 4*(4), 1-9.

Liu, Z., Bai, G., Zhang, D., Zhu, C., Xia, X., Cheng, R., & Shi, Z. (2011). Genetic diversity and population structure of elite foxtail millet [*Setaria italica* (L.) P. Beauv.] germplasm in China. *Crop Science, 51*(4), 1655-1663.

Lobell, D.B., Burke, M.B., Tebaldi, C., Mastrandrea, M.D., Falcon, W.P., & Naylor, R.L. (2008). Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030. *Science, 319*(5863), 607-610.

Mikó, P., Löschenberger, F., Hiltbrunner, J., Aebi, R., Megyeri, M., Kovács, G., Molnár-Láng, M., Vida, G., & Rakszegi, M. (2014). Comparison of bread wheat varieties with different breeding origin under organic and low input management. *Euphytica, 199*(1-2), 69-80.

Muthamilarasan, M., Dhaka, A., Yadav, R., & Prasad, M. (2016). Exploration of millet models for developing nutrient rich graminaceous crops. *Plant Science, 242*, 89-97.

Pixley, K.V. (2006). *Hybrid and open-pollinated varieties in modern agriculture.* Paper presented at the plant breeding: The Arnel R. Hallauer international symposium.

Radhouane, L. (2013). The evolutionary history of *Pennisetum Glaucum* L. *Nyame akuma*(80), 115-123.

Reddy, B., Reddy, P.S., Bidinger, F., & Blümmel, M. (2003). Crop management factors influencing yield and quality of crop residues. *Field Crops Research, 84*(1), 57-77.

Salama, H.S., Shaalan, A.M., & Nasser, M.E. (2020). Forage performance of pearl millet (*Pennisetum glaucum* [L.] R. Br.) in arid regions: Yield and quality assessment of new genotypes on different sowing dates. *Chilean Journal of Agricultural Research, 80*(4), 572-584.

Shinde, S., Sonone, A., & Gaikwad, A. (2010). Association of characters and path coefficient analysis for forage and related traits in bajra× napier grass hybrids. *International Journal of Plant Sciences, 5*(1), 188-191.

Shiri, M. (2013). Grain yield stability analysis of maize (*Zea mays* L.) hybrids under different drought stress conditions using GGE biplot analysis. *Crop Breeding Journal, 3*(2), 107-112.

Temesgen, T., Keneni, G., Sefera, T., & Jarso, M. (2015). Yield stability and relationships among stability parameters in faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes. *The Crop Journal, 3*(3), 258-268.

Thanh, P., & Duong, P. (2021). Economic impacts of hybrid rice varieties in Vietnam: An instrumental analysis. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 0-0.

Vadez, V., Hash, T., Bidinger, F., & Kholova, J. (2012). Phenotyping pearl millet for adaptation to drought. *Frontiers in Physiology*, *3*, 386.

Van Man, N., & Wiktorsson, H. (2003). Forage yield, nutritive value, feed intake and digestibility of three grass species as affected by harvest frequency. *Tropical Grasslands, 37*(2), 101-110.

Vetriventhan, M., Nirmalakumari, A., & Ganapathy, S. (2008). Heterosis for grain yield components in pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.). *World Journal of Agricultural Sciences, 4*(5), 657-660.

Wang, Y., Li, L., Gao, S., Guo, Y., Zhang, G., Ming, B., Xie, R., Xue, J., Hou, P., & Wang, K. (2020). Evaluation of grain breakage sensitivity of maize varieties mechanically-harvested by combine harvester. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 13*(5), 8-16.

Wang, Z., Lu, X., Zhang, X., Zhang, Q., & Wei, X. (2011). Analysis of maize breeding objective from full mechanization in China. *Journal of Henan Agricultural Sciences, 40*(11), 1-3.

Wise, T.A. (2013). Can we feed the world in 2050. *A scoping paper to assess the evidence. Global Development and Environment Institute Working Paper* (13-04).

Yadav, O.P., Rai, K., Yadav, H., Rajpurohit, P., Gupta, S., Rathore, A., & Karjagi, C. (2016). Assessment of diversity in commercial hybrids of pearl millet in India. *Indian Journal of Plant Genetic Resources, 29*(2), 130-136.

Yadav, O.P., & Rai, K.P.N. (2013). Genetic improvement of pearl millet in India. *Agricultural Research, 2*(4), 275-292.

Yan, W., Du, M., Zhao, W., Li, F., Wang, X., Eneji, A.E., Yang, F., Huang, J., Meng, L., & Qi, H. (2019). Relationships between plant architecture traits and cotton yield within the plant height range of 80–120 cm desired for mechanical harvesting in the Yellow River Valley of China. *Agronomy, 9*(10), 587.

Yang, M., He, J., Wan, S., Li, W., Chen, W., Wang, Y., Jiang, X., Cheng, P., Chu, P., & Shen, W. (2021). Fine mapping of the BnaC04. BIL1 gene controlling plant height in *Brassica napu*s L. *BMC Plant Biology, 21*(1), 1-11.

Zhang, P.P., Hui, S., Ke, X.W., Jin, X.J., Yin, L.H., Yang, L., Yang, Q., Wang, S., Feng, N.J., & Zheng, D.F. (2016). GGE biplot analysis of yield stability and test location representativeness in proso millet (*Panicum miliaceum* L.) genotypes. *Journal of Integrative Agriculture*, *15*(6), 1218-1227.

Zhang, X., Gu, H., Ding, C., Zhong, X., Zhang, J., & Xu, N. (2010). Path coefficient and cluster analyses of yield and morphological traits in *Pennisetum purpureum* L. *Tropical Grasslands*, *44*, 95-102.

Zhao, T., & Dai, A. (2015). The magnitude and causes of global drought changes in the twenty-first century under a low–moderate emissions scenario. *Journal of Climate, 28*(11), 4490-4512.