doi: 10.22124/cr.2021.18996.1651

(مقاله پژوهشی)

تحقیقات غلات

دوره دهم/ شماره چهارم/ زمستان ۱۳۹۹ (۳۶۲-۳۵۱)

تجزیه ژنتیکی عملکرد علوفه و صفات مرتبط در ارزن مرواریدی

رضا عطایی[1*]، فرید گلزردی[2] و محمد رزمی چرمخوران[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۱۳۹۹/۱۲/۰۹

چکیده

ارزن مرواریدی (*Pennisetum glaucum* L.) یکی از گیاهان مهم مناطق گرم و خشک است که به‌منظور تولید دانه و علوفه کشت می‌شود. با توجه به دگرگشنی و هتروزیس بالا، بررسی ترکیب‌پذیری و انتخاب والدین بر اساس آن یکی از مهم‌ترین مراحل اصلاح ارزن مرواریدی است. به‌منظور مطالعه ترکیب‌پذیری عمومی لاین‌های ارزن مرواریدی، تعداد ده لاین در خزانه پلی‌کراس تلاقی داده شدند و سپس خانواده‌های ناتنی حاصل به‌همراه رقم شاهد در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار مورد ارزیابی قرار گرفتند. صفات مورد مطالعه شامل تعداد روز تا گلدهی، ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد برگ، تعداد پنجه، عملکرد علوفه تر و عملکرد ماده خشک بود. نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تنوع ژنتیکی قابل ملاحظه‌ای برای صفات مورد بررسی وجود دارد. برآورد وراثت‌پذیری از ۵۳/۸۶ درصد برای صفت عملکرد علوفه خشک تا ۹۹/۲۳ درصد برای صفت تعداد پنجه متغیر بود. این نتایج نشان داد که واریانس افزایشی سهم قابل‌توجهی در کنترل صفات مورد بررسی در این جمعیت داشت و بنابراین می‌توان از آن در برنامه‌های اصلاحی استفاده کرد. بررسی ترکیب‌پذیری لاین‌ها نشان داد که لاین شماره ۲ برای صفات تعداد روز تا گلدهی، ارتفاع بوته و تعداد برگ، لاین شماره ۳ برای صفت قطر ساقه، لاین‌های شماره ۴، ۷ و ۸ برای صفت تعداد پنجه و لاین شماره ۷ برای صفات عملکرد علوفه تر و ماده خشک، بهترین ترکیب‌شونده‌های عمومی بودند و بنابراین امکان استفاده از آن‌ها به‌عنوان والدین تلاقی‌ها برای اصلاح جمعیت مورد مطالعه وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: ارزن مرواریدی، ترکیب‌پذیری عمومی، پلی‌کراس، واریانس ژنتیکی

۱- استادیار پژوهش، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

۲- استادیار پژوهش، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

۳- کارشناس، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

* نویسنده مسئول: reza_ataei@ut.ac.ir

مقدمه

تأمین امنیت غذایی در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا به‌دلیل رشد سریع جمعیت و تغییرات شدید آب و هوایی همواره یکی از چالش‌های بزرگ بخش کشاورزی بوده است (Lobell *et al.*, 2008). افزایش عملکرد گیاهان زراعی، افزایش پایداری عملکرد در محیط‌های مختلف و بهبود ارزش غذایی و کیفیت محصولات کشاورزی تا حد زیادی می‌تواند به تأمین غذا در این مناطق کمک کند (Wheeler and Von Braun, 2013). امروزه تولید علوفه به‌دلیل ارتباط مستقیم با بخش دامپروری و تولید محصولات پروتئینی یکی از مهم‌ترین بخش‌های کشاورزی است. هر چند امروزه ایران با تولید بیش از ۲۰ میلیون تن علوفه (یونجه، شبدر، ذرت علوفه‌ای و سایر نباتات علوفه‌ای) در وضعیت نسبتاً خوبی قرار دارد، با این‌حال پیش‌بینی می‌شود در سال‌های آینده واردات علوفه افزایش چشم‌گیری داشته باشد. از طرفی به‌دلیل خشک‌سالی و بحران آب در سال‌های اخیر انتظار می‌رود تولید علوفه از گونه‌های گیاهی متحمل به خشکی (مانند ارزن و سورگوم) بخش بزرگی از تأمین نیاز علوفه کشور را به‌خود اختصاص دهند.

ارزن‌ها گروهی از غلات دانه‌ریز و یکی از قدیمی‌ترین گیاهان زراعی هستند که در سراسر دنیا برای تولید دانه و علوفه کشت می‌شوند (Radhouane, 2013). گونه‌های ارزن در مناطق مختلف دنیا اهلی شده‌اند و تاریخچه متفاوتی دارند. ارزن معمولی (*Panicum miliaceum* L.)، ارزن دم‌روباهی (*Setaria italica* L.)، ارزن انگشتی (*Eleusine coracana* L.) و ارزن مرواریدی (*Pennisetum glaucum* L.) مهم‌ترین گونه‌های ارزن هستند که در سطح وسیعی از دنیا کشت می‌شوند. بر اساس آخرین گزارش فائو تولید ارزن (شامل تمامی گونه‌های ارزن) در سال ۲۰۱۹ بیش از ۲۸ میلیون تن (با سطح زیر کشت حدود ۳۲ میلیون هکتار) بوده است که در مقایسه با ذرت با تولید بیش از هزار میلیون تن (با سطح زیر کشت بیش از ۱۹۷ میلیون هکتار)، سهم بسیار کمی در اقتصاد کشاورزی دنیا دارد (FAO, 2020). ارزن مرواریدی (*Pennisetum glaucum* L.) بیش از نیمی از سطح زیر کشت ارزن‌ها را به‌خود اختصاص داده 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). ارزن مرواریدی از *Pennisetum glaucum* ssp. *Monidii* در حدود ۴۵۰۰ سال قبل میلاد در مناطقی از سنگال تا سودان (امروزه به‌عنوان کشور مالی شناخته می‌شود) مشتق شده و از آنجا به شرق آفریقا، غرب آفریقا، جنوب آسیا و هند پراکنده شده است (Brunken, 1977; Manning *et al.*, 2011; Oumar *et al.*, 2008). این گیاه به‌دلیل مقاومت زیاد به تنش خشکی، تحمل مناسب به خاک‌های فقیر و دارا بودن ارزش غذایی خوب، امروزه به‌طور وسیعی در هند و غرب آفریقا و در مقیاس کم‌تر در استرالیا، برزیل، مکزیک و آمریکا کشت و کار می‌شود.

ارزن مرواریدی گیاهی با بیش از ۸۵ درصد دگرگشنی است و درجه بالایی از هتروزیس برای عملکرد دانه و علوفه نشان می‌دهد. اولین تلاش‌ها برای بهره‌گیری از هتروزیس و تولید واریته هیبرید در ارزن مرواریدی در دهه ۵۰ میلادی صورت گرفت. روش معمول برای تولید هیبرید در آن زمان کشت مخلوط، لاین‌های والدی و تلاقی تصادفی لاین‌ها با یکدیگر بود (Yadav and Rai, 2013b). نتاج تلاقی‌های تصادفی بین دو والد، دارای ۴۰ درصد بذر هیبرید بود و نسبت به واریته‌های بومی ۱۰ تا ۱۵ درصد افزایش عملکرد نشان می‌دادند. با این حال، هیبریدهای شانسی ایجاد شده به‌دلیل عملکرد پایین‌تر و سازگاری کم‌تر نسبت به ارقام آزادگرده‌افشان و نبود برنامه مدون تولید بذر موفق نبودند. این مشکلات با کشف نرعقیمی ژنتیکی- سیتوپلاسمی و آزادسازی لاین نرعقیم Tift 23A و Tift 18A در اوایل دهه ۶۰ میلادی در آمریکا برطرف شد. سپس این لاین‌ها در برنامه‌های اصلاحی هند وارد شدند (Athwal, 1961). لاین نرعقیم Tift 23A به‌دلیل پاکوتاهی، پنجه‌دهی زیاد، گلدهی هم‌زمان و ترکیب‌پذیری زیاد به‌وفور در برنامه‌های اصلاحی تولید هیبرید استفاده شد (Witcombe and Beckerman, 1987)، اما کشت وسیع هیبریدهایی با پایه ژنتیکی محدود باعث طغیان بیماری سفیدک کاذب شد و برنامه تولید هیبرید با شکست مواجه شد. این امر منجر به گسترش تحقیقات برای افزایش تنوع ژنتیکی لاین‌های نرعقیم شد و طی سال‌های ۱۹۹۵-۱۹۸۱ تعداد زیادی لاین نرعقیم ایجاد و در برنامه‌های اصلاحی استفاده شد، به‌طوری که عملکرد طی این سال‌ها به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای افزایش یافت (Khairwal and Yadaw, 2005).

تمرکز اصلی برنامه‌های اصلاحی در هند (به‌عنوان یک کشور پیشرو در زمینه تحقیقات ارزن مرواریدی) از سال ۱۹۶۰ به بعد، ایجاد ارقام هیبرید با استفاده از سیستم نرعقیمی سیتوپلاسمی بود. تولید ارقام هیبرید به‌همراه برنامه‌های به‌زراعی باعث شد که متوسط عملکرد دانه در

هند از ۳۰۵ کیلوگرم در هکتار در سال ۱۹۵۵ به بیش از ۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار در سال ۲۰۱۹ افزایش یابد (Yadav and Rai, 2013a). با این‌حال، اغلب تولید ارزن مرواریدی در ایران (چه از لحاظ عملکرد دانه و چه از لحاظ عملکرد علوفه) متکی به استفاده از ارقام بومی با عملکرد پایین بوده است و به‌دلیل مشکلات فنی و نبود سیستم نرعقیمی سیتوپلاسمی، تحقیقات این گیاه با مشکلات فراوانی مواجه است، به‌طوری‌که تا کنون رقم مهران، تنها رقم اصلاح شده کشور از طریق گزینش می‌باشد. بنابراین، ایجاد ارقام اصلاح‌شده با عملکرد بالا و پایدار که بتواند بخشی از بازار تولید علوفه کشور را به‌خود اختصاص دهد از اولویت‌های تحقیقاتی در این زمینه می‌باشد.

بر اساس گزارش وزارت جهاد کشاورزی در حدود ۱۱ هزار هکتار از مزارع کشور در سال ۱۳۹۹ به کشت ارزن (شامل ارزن معمولی، ارزن دم‌روباهی و ارزن مرواریدی) اختصاص داده شده است که میانگین عملکرد دانه آن در حدود ۸۰۰ کیلوگرم و عملکرد علوفه آن در حدود ۳۵ تن در هکتار می‌باشد و اغلب کشت آن در استان‌های خراسان جنوبی، اصفهان، سیستان و بلوچستان، یزد، مازندران و در مناطقی از استان فارس است.

به‌طور کلی ارقام هیبرید به بهترین نحو ممکن می‌توانند از هتروزیس (برتری عملکرد نتاج در مقایسه با والدین) استفاده کنند، با این‌حال در مواقعی که امکان تولید بذر هیبرید وجود ندارد و یا در مناطقی که از لحاظ اقتصادی امکان خرید هر ساله بذر هیبرید توسط کشاورزان وجود ندارد، ارقام سینتیتک از ارزش بالایی برخوردارند. در تمامی برنامه‌های اصلاحی با هدف ایجاد رقم زراعی مطلوب (رقم آزاد گرده‌افشان، رقم هیبرید، رقم سینتتیک، رقم مخلوط و غیره) شناسایی والدین برتر جهت تلاقی با یکدیگر از مهم‌ترین مراحل تولید رقم است (Gopal *et al.*, 2008). بهترین روش شناسایی والدین روشی است که بتواند به‌طور مؤثری اثرات محیطی و ژنتیکی را از یکدیگر جدا کند. یکی از روش‌های پیشنهادی در این زمینه انتخاب والدین بر اساس ترکیب‌پذیری است. هنگامی که یک لاین با چندین لاین دیگر تلاقی داده می‌شود، میانگین تلاقی‌ها نشان‌دهنده توانایی آن والد در ترکیب شدن با والدین دیگر است. به عبارت دیگر ترکیب‌پذیری برآوردی از ارزش ژنوتیپی یک والد بر اساس عملکرد نتاج آن در یک سری از تلاقی‌هاست (Fasahat *et al.*, 2016). ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی دو مفهوم متفاوت هستند که در ارزیابی لاین‌ها و تشکیل جمعیت‌ها به‌وفور استفاده می‌شوند. ترکیب‌پذیری عمومی به‌صورت میانگین عملکرد یک لاین در تلاقی با تعداد زیادی لاین دیگر تعریف می‌شود، در حالی‌که ترکیب‌پذیری خصوصی میانگین عملکرد یک لاین در تلاقی با لاین دیگر است (Fasahat *et al.*, 2016). از این تعارف مشخص است که برای برآورد ترکیب‌پذیری (عمومی و خصوصی) نیاز به طرح‌های آمیزشی خاصی برای تلاقی لاین‌ها با یکدیگر و روش‌های آماری خاص برای برآورد عددی ترکیب‌پذیری است. تلاقی دای‌آلل، تجزیه لاین × تستر، طرح‌های سه‌گانه کارولینای شمالی، تاپ‌کراس و پلی‌کراس از روش‌های عمده برآورد ترکیب‌پذیری هستند. این روش‌ها در تعیین ترکیب‌پذیری در گندم (Bao *et al.*, 2009; Khaled *et al.*, 2013)، آفتابگردان (Deglene *et al.*, 1999)، برنج (Qu *et al.*, 2012)، سورگوم (Makanda *et al.*, 2010) و ارزن (Pucher *et al.*, 2016) به‌طور موفقیت‌آمیزی به‌کار گرفته شده‌اند. با توجه به اینکه روش پلی‌کراس نیاز به گرده‌افشانی ندارد، از این‌رو یکی از متداول‌ترین و آسان‌ترین روش‌های برآورد قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی در گیاهان علوفه‌ای است. این روش به‌دلیل سهولت اجرا، تولید بذر فراوان، تعداد والد بیش‌تر و امکان برآورد واریانس افزایشی، نسبت به دیگر روش‌ها روش مناسبی برای گزینش والدین است (Nguyen and Sleper, 1983).

در پژوهشی به‌منظور بررسی ترکیب‌پذیری و هتروزیس برای عملکرد و مقاومت به زنگ در ارزن مرواریدی، آزمایشی در قالب طرح آمیزشی کارولینای شمالی II اجرا شد. نتایج نشان داد برای صفات عملکرد دانه، تعداد روز تا گلدهی، تعداد روز تا گرده‌افشانی، تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، ارتفاع گیاه، تعداد پنجه، عملکرد زیستی و شاخص برداشت ترکیب‌پذیری عمومی نقش بیش‌تری داشت در حالی‌که برای سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری ترکیب‌پذیری خصوصی از اهمیت بیش‌تری برخوردار بود (Lubadde *et al.*, 2016). در پژوهش دیگری، الگوی ترکیب‌پذیری جمعیت‌های بومی ارزن مرواریدی در شش منطقه در غرب آفریقا با استفاده از طرح آمیزشی لاین× تستر بررسی و مشخص شد که عملکرد دانه دارای هتروزیس متوسط نسبت به والدین بود و میانگین عملکرد دانه در مناطق مختلف اختلاف معنی‌داری از خود نشان ندادند. علاوه بر این همبستگی بین ترکیب‌پذیری عمومی و عملکرد هیبریدها ۰/۵۶ بود (Pucher *et al.*, 2016). به‌منظور

برآورد ترکیب‌پذیری لاین‌های ارزن مرواریدی، چهار لاین نرعقیم به‌عنوان پایه مادری و نه لاین خالص به‌عنوان تستر به‌صورت فاکتوریل با یکدیگر تلاقی داده شدند. نتایج نشان داد که لاین‌های GIB 144، ICMA 93222، GIB 3346 و ICMA 95333 دارای بیش‌ترین ترکیب‌پذیری عمومی برای صفات عملکرد دانه، سطح برگ، شاخص برداشت، وزن هزار دانه و طول پانیکول بودند. علاوه بر این، نتایج این تحقیق نشان داد که ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی از اهمیت خاصی برخوردارند و ترکیب‌پذیری خصوصی در این تحقیق بیش‌تر از ترکیب‌پذیری عمومی برآورد شد که اهمیت واریانس غیرافزایشی را برای صفات مورد مطالعه نشان داد (Singh and Sharma, 2014).

در آزمایش دیگری، ده لاین و پنج تستر به‌صورت فاکتوریل تلاقی داده شدند. نتایج ارزیابی نتاج نشان داد که نسبت ترکیب‌پذیری عمومی به ترکیب‌پذیری خصوصی برای صفات عملکرد و اجزای عملکرد کم‌تر از یک بود که نشان‌دهنده اهمیت واریانس غیر افزایشی در کنترل این صفات بود. دو لاین H77/833-2 و RIB57SO5 بهترین ترکیب‌شونده‌های عمومی برای صفات مورد بررسی در این تحقیق بودند (Solanki *et al.*, 2017). با توجه به اهمیت ترکیب‌پذیری عمومی قبل از تهیه واریته‌های سینتتیک در گیاهان علوفه‌ای، ۳۶ توده بومی اسپرس ایران در خزانه پلی‌کراس با یکدیگر تلاقی داده شدند. نتایج نشان داد که از نظر قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی، شش توده برای صفت عملکرد علوفه تر، شش توده برای وزن خشک، نه توده برای شاخص عملکرد و ده توده برای خوش‌خوراکی دارای بالاترین ارزش بودند (Toorchi *et al.*, 2007).

در تحقیق حاضر نیز ده لاین ارزن مرواریدی به‌منظور بررسی قابلیت ترکیب‌پذیری برای صفات مختلف مورد ارزیابی قرار گرفتند. این تحقیق بر اساس این فرض استوار بود که لاین‌های مورد استفاده از خلوص بالایی برخوردارند، به‌طوری‌که هتروزیگوسیتی موجود در جمعیت قابل چشم‌پوشی است. همچنین لاین‌ها از قابلیت بالایی در تلاقی با یکدیگر جهت افزایش عملکرد برخوردارند و برخی از لاین‌ها در تلاقی با یکدیگر نسبت به تلاقی مجموعه کل لاین‌ها می‌توانند عملکرد بهتر و بالاتری تولید کنند. هدف از تحقیق حاضر نیز شناسایی بهترین لاین‌های مورد بررسی از لحاظ ترکیب‌پذیری عمومی بود. علاوه بر این، برآورد واریانس افزایشی و وراثت‌پذیری خصوصی صفات مختلف ارزن مرواریدی جهت تعیین بهترین روش اصلاح جمعیت مورد مطالعه از دیگر اهداف این آزمایش بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی ترکیب‌پذیری لاین‌های ارزن مرواریدی، آزمایشی در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ در موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر اجرا شد. ده لاین ارزن مرواریدی حاصل از ژرم‌پلاسم داخلی کشور بر اساس نتایج آزمایشات سال‌های قبل انتخاب و در سال اول در خزانه پلی‌کراس به‌صورت مربع لاتین ۱۰×۱۰ در تمامی جهات ممکن تلاقی داده شدند (جدول ۱). هر واحد آزمایشی شامل یک خط پنج متری با فاصله ردیف ۶۰ سانتی‌متر بود. در طول فصل زراعی تمامی مراقبت‌های زراعی اعم از کوددهی و آبیاری طبق دستورالعمل انجام و بعد از گرده‌افشانی برای اجتناب از خسارت پرندگان تمامی پانیکول‌ها با پاکت پوشانده شد.

در آخر فصل زراعی، بذرهای خانواده‌های ناتنی حاصل از خزانه پلی‌کراس جمع‌آوری و در انبار نگهداری شد. در سال بعد به‌میزان برابر از بذر هر لاین در تکرارهای مختلف با هم مخلوط و به‌همراه رقم شاهد (رقم مهران) به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار کشت شد. هر واحد آزمایشی شامل چهار ردیف به‌طول پنج متر با فاصله ردیف ۶۰ سانتی‌متر بود. دو ردیف انتهایی به‌عنوان حاشیه در نظر گرفته شد و یادداشت‌برداری صفات بر اساس دستورالعمل ایکریسات از دو ردیف وسط انجام شد. جهت اندازه‌گیری صفات تعداد روز تا جوانه‌زنی، تعداد روز تا ۵۰ درصد گلدهی، ارتفاع بوته، تعداد برگ، قطر ساقه و تعداد پنجه، ده بوته به‌طور تصادفی از هر کرت انتخاب و سپس میانگین آن‌ها ثبت شد. به‌منظور بررسی عملکرد علوفه در چین‌های مختلف، دو خط از هر کرت آزمایشی در زمان گلدهی برداشت و عملکرد علوفه تر اندازه‌گیری شد. همچنین عملکرد علوفه خشک بعد از ۷۲ ساعت نگهداری در آون در دمای ۷۰ درجه سلسیوس اندازه‌گیری شد.

برای تجزیه آماری داده‌های، ابتدا نرمال بودن داده‌ها با دو آزمون کولموگروف- اسمیرنوف و شاپیرو- ویلک با استفاده از نرم‌افزار SPSS مورد بررسی قرار گرفت و با توجه به اینکه تعداد ژنوتیپ‌ها کم‌تر از ۵۰ بود، تمرکز اصلی روی آزمون شاپیرو- ویلک بود و تمامی تجزیه‌های بعدی با داده‌های نرمال انجام شد. سپس تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد و بر اساس امید ریاضی منابع تغییرات در طرح بلوک‌های کامل تصادفی، واریانس

ژنتیکی (Vg) و واریانس محیطی برآورد شد. ضریب تغییرات فنوتیپی (PCV) و ژنتیکی (GCV) نیز با استفاده از رابطه‌های زیر به‌دست آمد (Burton, 1952):

$$PCV = \frac{\sqrt{V_P}}{\overline{X}} \times 100 \quad (۱)$$

$$GCV = \frac{\sqrt{V_G}}{\overline{X}} \times 100 \quad (۲)$$

در این رابطه‌ها، V_P واریانس فنوتیپی، V_G واریانس ژنتیکی و $\overline{X}$ میانگین کل داده‌ها است.

به‌دلیل خویشاوندی خانواده‌های مورد بررسی در این آزمایش، واریانس ژنتیکی بین خانواده‌های ناتنی (V_f) برابر با کوواریانس بین نتاج درون خانواده‌های ناتنی (COV_{HS}) برابر در نظر گرفته شد و بنابراین واریانس افزایشی (V_A) و وراثت‌پذیری خصوصی (h^2_N) به‌ترتیب از رابطه‌های (۳) و (۴) به‌دست آمد (Nguyen and Sleper, 1983):

$$V_{HS} = Cov_{HS} = \frac{1+F}{4} V_A = \frac{1}{2} V_A \quad (۳)$$

$$h^2_N = \frac{V_{HS}}{V_{HS} + \frac{V_E}{r}} \times 100 \quad (۴)$$

در این رابطه V_{HS} واریانس ژنتیکی خانواده‌های ناتنی، V_E واریانس محیطی (خطای آزمایش طرح بلوکی) و r تعداد تکرارهای آزمایش است. به‌دلیل اینکه در این آزمایش از لاین‌های خالص به‌عنوان والدین استفاده شد (و بنابراین ضریب اینبریدینگ والدین یعنی F=1 بود)، بنابراین کوواریانس بین خانواده‌های ناتنی معادل $\frac{1}{2}$ واریانس افزایشی در نظر گرفته شد. همچنین ترکیب‌پذیری عمومی از اختلاف میانگین هر لاین ترکیب‌شده در تمامی جهات از میانگین کل آزمایش محاسبه شد.

جدول ۱- نام و شجره لاین‌های مورد بررسی

Table 1. Name and pedigree of the studied lines

No.	Name	Pedigree
1	KPM 97737	US-1-13-112-43-25-25-31-4
2	KPM 97735	CM-1-10-106-1-4-25-21-41-2
3	KPM 97731	IV-25-35-10-30-35-37-42-31
4	KPM 97744	Nutri-I -5-40-21-45-6-16
5	KPM 97614	V-8-10-8-53-26-32-39-14
6	KPM 9772	IV-17-79-5-25-11-6-2
7	KPM 9778	V-8-10-2-17-23-27-26-8
8	KPM 97710	IV-17-79-15-35-14-12-10
9	KPM 97716	CD-7-10-75-1-35-17-14-10-16
10	KPM 97613	V-8-10-2-47-23-27-25-13

نتایج و بحث

دو آزمون شاپیرو-ویلک و کولموگروف اسمیرنوف معمول‌ترین روش‌های آماری برای بررسی نرمال بودن داده‌هاست با این حال حساسیت بالا به داده‌های پرت، احتمال زیاد رد فرض صفر در صورت تصحیح لیلیفرز و قدرت کم آزمون (احتمال رد فرض صفر هنگامی که فرض صفر به واقع غلط است) از محدودیت‌های بررسی نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف- اسمیرنوف در مقایسه با آزمون شاپیرو-ویلک است. علاوه بر این، استفاده از آزمون کولموگروف- اسمیرنوف در نمونه‌های کوچک‌تر از ۵۰ و زمانی که پارامترهای آزمون از داده‌های مورد بررسی تخمین زده می‌شود (بدون توجه به اندازه نمونه) توصیه نمی‌شود (Steinskog *et al.*, 2007). در این بررسی با توجه به اینکه تعداد نمونه‌ها کمتر از ۵۰ بود و به دلیل محدودیت‌های ذکر شده، تمرکز اصلی نرمال بودن داده‌های مورد بررسی با استفاده از آزمون شاپیرو-ویلک بود. نتایج این آزمون نشان داد تمامی متغیرهای مورد بررسی حداقل در سطح معنی‌داری ۰/۰۶۹ از توزیع برخوردار بودند و نتایج آزمون کولموگروف- اسمیرنوف نشان داد تمامی صفات مورد بررسی به جز سه صفت تعداد روز تا گلدهی، قطر ساقه و تعداد پنجه به صورت نرمال توزیع شده‌اند (جدول ۲).

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها بین ده خانواده ناتنی همراه با رقم شاهد نشان داد که کلیه صفات مورد بررسی به‌غیر از عملکرد علوفه خشک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند. علاوه بر این، برای صفت عملکرد علوفه خشک در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری بین خانواده‌های ناتنی مشاهده شد (جدول ۳). تفاوت معنی‌دار مشاهده شده بین خانواده‌های ناتنی و بزرگی واریانس بین تیمارها نسبت به واریانس کل در صفات مورد بررسی نشان می‌دهد که تنوع ژنتیکی قابل ملاحظه‌ای بین خانواده‌های ناتنی از نظر صفات مورد بررسی وجود داشت. وجود تنوع کافی در بین خانواده‌ها می‌تواند ناشی از پایه ژنتیکی متفاوت والدین و موفقیت‌آمیز بودن تلاقی‌های تصادفی در خزانه پلی‌کراس باشد. به‌دلیل اینکه ارزن‌ها مقاومت خوبی به شرایط محیطی نامطلوب (مانند خشکی، گرما، شوری و فقر مواد غذایی) دارند، از این‌رو اغلب در زمین‌های حاشیه‌ای با بارندگی اندک و در شرایط گرما کشت و کار می‌شود (Bhoite *et al.*, 2008).

جدول ۲- آزمون نرمال بودن داده‌های به‌دست آمده در این آزمایش

Table 2. Normality test of the data obtained in this study

Trait	Kolmogorov–Smirnov		Shapiro–Wilk	
	Parameter	Significance level	Parameter	Significance level
Days to flowering	0.148	0.017	0.953	0.070
Plant height	0.118	0.145	0.953	0.069
Stem diameter	0.182	0.001	0.962	0.161
Number of leaves	0.126	0.077	0.963	0.162
Number of tillers	0.138	0.036	0.973	0.385
Fresh forage yield	0.096	0.200	0.982	0.694
Dry matter	0.065	0.200	0.980	0.616

جدول ۳- تجزیه واریانس و شاخص‌های آماری و ژنتیکی محاسبه شده برای صفات مورد مطالعه

Table 3. Analysis of variance and statistical and genetic parameters calculated for the studied traits

Source of variations †	df	Mean squares						
		Days to flowering	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	Number of leaves	Number of tillers	Fresh forage yield (ton/ha)	Dry matter (T/ha)
Replication	3	2.68 ^{ns}	731.05**	7.29 ^{ns}	4.21^{ns}	0.87**	159.85**	8.63*
Family	10	35.17**	2048.32**	17.76**	213.42**	2.62**	106.54**	5.07*
Error	30	5.09	133.15	4.41	4.01	0.02	14.33	2.33
PCV †	-	5.36	11.06	24.89	14.48	8.34	9.38	16.20
GCV ‡	-	4.25	9.72	16.37	14.43	8.14	6.64	7.26
h^2 ₸	-	82.52	93.15	75.12	98.12	99.23	86.54	53.86

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

†: PCV and GCV, phenotypic and genotypic coefficient of variation, respectively; h^2, narrow-sence heritability.

با وجود تمام تلاش‌های اصلاحگران در سال‌های اخیر جهت افزایش عملکرد (علوفه و دانه)، متاسفانه عملکرد ارزن‌ها (شامل ارزن مرواریدی، ارزن دم‌روباهی و ارزن معمولی) در حال حاضر حتی در مقیاس جهانی نیز رضایت‌بخش نیست (Shashikala *et al.*, 2013; Kumar *et al.*, 2017a). اصلاح ژنتیکی و افزایش عملکرد ارزن تا حد زیادی بستگی به وجود تنوع ژنتیکی در ژرم‌پلاسم پایه و شناسایی صفات مؤثر در عملکرد دارد. بررسی تنوع ژنتیکی در ۲۶ ژنوتیپ ارزن مرواریدی نشان داد ضریب تنوع ژنتیکی از ۳/۸۴ برای صفت تعداد روز تا رسیدگی تا ۳۰/۳۵ برای صفت عملکرد دانه متغیر است (Bhoite *et al.*, 2008) علاوه بر این نتایج مطالعات قبلی بر روی ژرم‌پلاسم ارزن مرواریدی تنوع قابل‌ملاحظه‌ای برای مقاومت به بیماری نشان داد (Kanfany *et al.*, 2018).

بررسی ضرایب تنوع فنوتیپی و ژنوتیپی نشان داد که صفت تعداد روز تا گلدهی کم‌ترین مقدار این دو شاخص و صفت قطر ساقه بیش‌ترین مقدار ضرایب تنوع فنوتیپی و ژنوتیپی را داشت (جدول ۳). بالا بودن این ضرایب نشان‌دهنده وجود تنوع و تغییرپذیری در جمعیت پایه است. علاوه بر این، اختلاف بین ضریب تنوع فنوتیپی و ژنوتیپی بیانگر تأثیر محیط در بروز صفات مختلف است. با این حال ضریب تنوع ژنوتیپی تا حد زیادی به ژنوتیپ‌های مورد بررسی بستگی دارد (Katara *et al.*, 2019). مقایسه ضرایب تنوع فنوتیپی و ژنوتیپی نشان داد که مقدار ضریب تنوع فنوتیپی برای تمامی صفات مورد بررسی بیش‌تر از ضریب تنوع ژنوتیپی بود. علاوه بر این، تفاوت بین این دو ضریب در صفات تعداد برگ و تعداد پنجه بسیار کم و نشان‌دهنده تأثیر کم محیط روی این دو صفت بود. بررسی نتایج پیشین نشان‌دهنده گزارش‌های بسیار متفاوت در مورد تأثیر محیط روی صفات مختلف است، با این حال بیش‌تر نتایج قبلی مطابق با این آزمایش، کم‌ترین میزان تنوع فنوتیپی و ژنوتیپی را برای صفت تعداد روز تا گلدهی ذکر کرده‌اند (Kaushik *et al.*, 2018; Patel *et al.*, 2018; Sharma *et al.*, 2018; Thakur *et al.*, 2018).

با توجه به اینکه ضرایب تنوع ژنتیکی به‌تنهایی نمی‌تواند نشان‌دهنده اهمیت تنوع ژنتیکی موجود و تعیین میزان تنوع ژنتیکی قابل انتقال به نسل بعد باشد، از این‌رو محاسبه وراثت‌پذیری خصوصی برای صفات مورد بررسی انجام شد. نتایج نشان داد که کم‌ترین میزان وراثت‌پذیری با ۵۳/۸۶ درصد مربوط به صفت عملکرد علوفه خشک و بیش‌ترین

مقدار آن با ۹۹/۲۳ درصد مربوط به صفت تعداد پنجه در بوته بود (جدول ۳). بررسی گزارش‌های پیشین در مورد وراثت‌پذیری صفات مختلف در ارزن مرواریدی نشان داد که برخی مطالعات وراثت‌پذیری بالایی برای صفات مختلف ارزن گزارش کرده‌اند که توافق خوبی با تحقیق حاضر داشت (Govindaraj *et al.*, 2011; Govindaraj *et al.*, 2010; Patel *et al.*, 2018; Sabiel *et al.*, 2014; Sharma *et al.*, 2018).

باید توجه داشت که اگرچه وراثت‌پذیری شاخص مهمی برای تعیین میزان واریانس ژنتیکی در جمعیت مورد مطالعه است و بسیاری از مطالعات قبلی وراثت‌پذیری بالایی برای صفات مختلف ارزن گزارش کرده‌اند، اما وقتی وراثت‌پذیری بر اساس نتایج آزمایش در یک محیط محاسبه می‌شود، برهمکنش خانواده‌های ناتنی با محیط موجب اریبی واریانس بین خانواده‌های ناتنی می‌شود. چنین اریبی باعث تخمین غیرواقعی واریانس افزایشی و در نتیجه فوق‌برآورد میزان وراثت‌پذیری خواهد شد (Nguyen and Sleper, 1983). بررسی وراثت‌پذیری صفات مختلف سورگوم و ارزن مرواریدی به‌ترتیب در شش و دو محیط به صورت جداگانه و ادغام‌شده نشان داد که بزرگی واریانس برهمکنش در مقایسه با واریانس ژنتیکی در برخی از صفات باعث برآورد اریبی وراثت‌پذیری در محیط‌های جداگانه می‌شود (Kumar *et al.*, 2017b; Phuke *et al.*, 2017).

مقایسه میانگین بین لاین‌های مورد مطالعه به‌روش دانکن نشان داد که صفت روز تا گلدهی بین ۵۹/۵۰ تا ۷۰ روز بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی متغیر بود (جدول ۴). لاین شماره ۲ با میانگین ۷۰ روز تا گلدهی دیررس‌ترین لاین بود و اختلاف معنی‌داری با رقم مهران (شاهد) داشت. علاوه بر این، لاین شماره ۲ از لحاظ ارتفاع و تعداد برگ برتر از دیگر ژنوتیپ‌های مورد بررسی بود در حالی‌که با تعداد پنجه ۸/۴۸ کمترین تعداد پنجه را بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی داشت. با توجه به اینکه تعداد پنجه زیاد، ساقه‌های نازک و ارتفاع کم از ویژگی‌های بارز رقم مهران است، از این‌رو این رقم از لحاظ این سه صفت (با ارتفاع ۱۷۸/۷۵ سانتی‌متر و میانگین تعداد ۱۱/۴۱ پنجه و قطر ساقه ۲۵/۷ میلی‌متر) اختلاف معنی‌داری با دیگر ژنوتیپ‌های مورد بررسی داشت. لاین شماره ۴ با میانگین ۵۹/۵ روز تا گلدهی زودرس‌ترین لاین در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی بود (جدول ۴).

زودرسی یکی از مهم‌ترین صفات ارزن مرواریدی است. به‌دلیل اینکه ارزن اغلب به‌عنوان کشت دوم بعد از گندم در کشور مطرح است، بنابراین کشت ارقام زودرس ارزن امکان برنامه‌ریزی برای این نوع سیستم کشت را فراهم می‌آورد. در مقیاس جهانی، کشت ارزن اغلب در نواحی گرم و خشک است و در طول رشد با انواع تنش‌ها به‌ویژه تنش خشکی روبروست. ارزن مرواریدی مقاومت خوبی به تنش خشکی میان‌فصل داشته و با توجه به تولید پنجه‌های ثانویه، قابلیت جبران کاهش عملکرد را دارد و بنابراین خشکی میان‌فصل اهمیت چندانی نسبت به خشکی آخر فصل ندارد. ارقام زودرس در نواحی که با تنش خشکی آخر فصل مواجه می‌شوند، با مکانیسم فرار تا حد زیادی از خسارت وارده در امان می‌مانند (Vadez *et al.*, 2012).

جدول ۴- مقایسه میانگین بین لاین‌ها برای صفات مورد مطالعه به‌روش دانکن در سطح احتمال پنج درصد

Table 4. Comparison of means between lines foe the studied traits by Duncan's method at 5% probability level

Genotype	Days to flowering	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	Number of leaves	Number of illers	Fresh forage yield (ton/ha)	Dry matter (ton/ha)
1	64.25^{bcd}	221.25^{cd}	11.75^{ab}	49.50^{de}	9.54^{c}	67.80^{b}	11.13^{bc}
2	70^{a}	257^{a}	13.50^{ab}	63.50^{a}	8.48^{d}	69.07^{b}	9.94^{c}
3	67.50^{ab}	237^{bc}	14.25^{a}	40^{g}	9.54^{c}	70.02^{b}	11^{bc}
4	59.50^{a}	210.25^{d}	8c^{d}	56^{c}	10.60^{b}	75.82^{a}	12.67^{ab}
5	66^{bc}	242.75^{ab}	12^{ab}	41^{g}	9.54^{c}	66.05^{b}	10.58^{bc}
6	63.25^{cd}	238^{bc}	1075^{bc}	50.50^{d}	9.54^{c}	76.52^{a}	11.21^{bc}
7	63.50^{cd}	208^{d}	10.75^{bc}	49.50^{de}	10.60^{b}	80.77^{a}	13.68^{a}
8	64^{bcd}	237.50^{bc}	12^{ab}	46.50^{ef}	10.60^{b}	77.52^{a}	12.07^{abc}
9	66.25^{bc}	240.25^{ab}	12.25^{ab}	51^{d}	9.54^{c}	76.15^{a}	12.07^{abc}
10	60.75^{de}	204.50^{d}	10.25^{bcd}	44.50^{f}	9.54^{c}	67.42^{b}	10.30^{bc}
Mehran (Check)	63.25^{cd}	178.75^{e}	7.25^{d}	59.50^{b}	11.41^{a}	67.45^{b}	10.57^{bc}

Means followed by the similar letters in each column are not significantly different.

در این آزمایش، لاین شماره ۴ علاوه بر زودرسی از لحاظ عملکرد علوفه (با میانگین ۷۵/۸۲ تن در هکتار) نیز در وضعیت خوبی قرار داشت. عملکرد علوفه صفتی بسیار پیچیده و در تعامل با صفات دیگر است و بنابراین درک روابط بین عملکرد علوفه و صفات دیگر و تأکید بر گزینش این صفات، اهمیت خاصی در برنامه‌های اصلاحی دارد (Kumar *et al.*, 2017a). دزفولی و مهرانی (Dezfouli and Mehrani, 2010) با بررسی روابط بین صفات نشان دادند که عملکرد دانه ارزن دم‌روباهی همبستگی مثبت و معنی‌داری با تعداد پنجه، تعداد روز تا گلدهی و قطر ساقه داشت، در حالی‌که ارقام با طول پانیکول بیش‌تر دارای عملکرد کم‌تری بودند. آن‌ها با تجزیه مسیر نشان دادند که عملکرد علوفه خشک تا حد زیادی به‌صورت همسو تحت تاثیر صفات تعداد برگ، تعداد پنجه و تعداد روز تا گلدهی قرار دارد. نتایج مطالعات دیگر نیز نشان داد که صفات تعداد پنجه، تعداد برگ، تعداد روز تا گلدهی و ارتفاع بوته، ارتباط معنی‌داری با عملکرد علوفه دارند (Imran *et al.*, 2010; Kumar *et al.*, 2017a; Shinde *et al.*, 2010; Zhang *et al.*, 2010). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که لاین شماره ۷ به‌دلیل توانایی در ایجاد تعادل بین صفات تعیین‌کننده عملکرد علوفه (تعداد برگ، تعداد پنجه، ارتفاع و تعداد روز تا گلدهی) با میانگین تولید ۸۰/۷۷ تن در هکتار علوفه تر از عملکرد بالایی برخوردار بود و علی‌رغم عدم اختلاف معنی‌دار با لاین‌های شماره ۶، ۸، ۹ و ۴، در مقایسه با شاهد هم از لحاظ عملکرد علوفه تر و هم از لحاظ تولید ماده خشک وضعیت بهتری داشت (جدول ۴).

تلاقی یک لاین در تلاقی با لاین‌های دیگر امکان برآورد میانگین آن لاین را در مقایسه با میانگین کلیه تلاقی‌هایی که آن لاین شرکت داشته است، فراهم می‌آورد. قدرت ترکیب‌پذیری به‌عنوان توانایی ژنوتیپ‌ها و یا والدین در ترکیب با یکدیگر در یک سری تلاقی تعریف می‌شود، به‌طوری‌که ژن‌ها و یا صفات مطلوب به‌طور موفقیت‌آمیزی به نتاج نسل بعد انتقال یابد (Sprague and Tatum, 1942). از دیدگاه آماری، ترکیب‌پذیری عمومی یک اثر اصلی و ترکیب‌پذیری خصوصی یک اثر متقابل است. به عبارت بهتر ترکیب‌پذیری عمومی حاصل فعالیت ژن‌هایی با آثار افزایشی است، در حالی‌که ترکیب‌پذیری خصوصی نتیجه آثار غالبیت و غیر افزایشی (شامل هر سه نوع اپیستازی) است و هر دو مفهوم، حاصل جریان ژنی از والدین به نتاج نسل (های) بعدی است (LV *et al.*, 2012). بررسی نتایج این آزمایش نشان داد که ترکیب‌پذیری لاین‌های مورد بررسی برای صفت گلدهی از ۵- در لاین شماره ۴ تا ۵/۵ در لاین شماره ۲، برای صفت ارتفاع از ۲۵/۱۵- در لاین شماره ۱۰ تا ۲۷/۳۵ در لاین شماره ۲، برای قطر ساقه از ۳/۵۵- در لاین شماره ۴ تا ۲/۷۰ در لاین شماره ۳، برای تعداد برگ از ۹/۲۰- در لاین شماره ۳ تا ۱۴/۳۰ در لاین شماره ۲، برای تعداد پنجه از ۱/۲۷- در لاین شماره ۲ تا ۰/۸۴ در لاین‌های شماره ۴، ۷ و ۸، برای عملکرد علوفه از ۶/۶۶- در لاین شماره ۵ تا ۸/۰۶ در لاین شماره ۷ و برای عملکرد ماده خشک از ۱/۵۲- در لاین شماره ۲ تا ۱/۲۱ در لاین شماره ۷ متغیر بود (جدول ۵).

جدول ۵- ترکیب‌پذیری عمومی لاین‌های مورد بررسی ارزن در خزانه پلی‌کراس

Table 5. General combining ability (GCA) of the studied lines in polycross nursery

Genotype	Days to flowering	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	Number of leaves	Number of tillers	Fresh forage yield (ton/ha)	Dry matter (ton/ha)
1	-0.25	-8.4	0.20	0.30	-0.21	-4.91	-0.34
2	5.50	27.35	1.95	14.30	-1.27	-3.63	-1.52
3	3	7.35	2.70	-9.20	-0.21	-2.68	-0.46
4	-5	-19.4	-3.55	6.80	0.84	3.11	1.20
5	1.50	13.1	0.45	-8.20	-0.21	-6.66	-0.88
6	-1.25	8.35	-0.80	1.30	-0.21	3.81	-0.25
7	-1	-21.65	-0.80	0.30	0.84	8.06	2.21
8	-0.50	7.85	0.45	-2.70	0.84	4.81	0.61
9	1.75	10.6	0.70	1.80	-0.21	3.44	0.60
10	-3.75	-25.15	-1.30	-4.70	-0.21	-5.28	-1.16
Total mean	64.50	229.65	11.55	49.20	9.75	72.71	11.47

نتایج این بررسی نشان داد که لاین شماره ۲ پتانسیل خوبی برای افزایش صفات تعداد روز تا گلدهی، ارتفاع، قطر ساقه و تعداد برگ دارد، در حالی‌که لاین شماره ۴ والد خوبی برای کاهش این صفات در برنامه‌های اصلاحی است. همچنین، بالاترین دامنه تغییرات ترکیب‌پذیری برای صفت ارتفاع از ۲۵/۱۵- در لاین شماره ۱۰ تا ۲۷/۳۵ در لاین شماره ۲ بود، به این معنی که ژن‌های با آثار افزایشی در کنترل این صفت نقش مهمی دارند و انتخاب برای اصلاح این صفت به‌طور موفقیت‌آمیزی می‌تواند انجام شود. این نتایج با نتایج مطالعات قبلی مطابقت داشت (Eldie *et al.*, 2009; Kumar *et al.*, 2017b). کم‌ترین دامنه تغییرات ترکیب‌پذیری مربوط به صفت تعداد پنجه از ۱/۲۷- در لاین شماره ۲ تا ۰/۸۴ در لاین‌های شماره ۴، ۷ و ۸ بود. این امر می‌تواند به‌دلیل محدود بودن تنوع در ژرم‌پلاسم مورد استفاده برای این صفت و یا دخیل بودن آثار غیرافزایشی در کنترل صفت پنجه‌زنی در ارزن مرواریدی باشد.

در مورد صفت عملکرد علوفه تر، لاین‌های شماره ۷، ۸، ۹، ۶ و ۴ دارای ترکیب‌پذیری مثبت و بیش‌تر از صفر بودند. لاین شماره ۷ با انحراف از میانگین کل ۸/۰۶ بهترین ترکیب‌شونده عمومی برای این صفت بود و سپس لاین ۸ با میانگین ۴/۸۱، لاین ۹ با میانگین ۳/۴۴، لاین ۶ با میانگین ۳/۸۱ و لاین ۴ با میانگین ۳/۱۱ به‌ترتیب بهترین ترکیب‌شونده‌های عمومی بعد از لاین ۷ بودند. کم‌ترین ترکیب‌پذیری عمومی مربوط به لاین شماره ۵ (با میانگین ۶/۶۶-) بود. از لحاظ صفت عملکرد ماده خشک چهار لاین شماره ۷، ۸، ۹ و ۴ دارای ترکیب‌پذیری مثبت و بیش‌تر از صفر بودند. لاین شماره ۷ با ترکیب‌پذیری ۲/۲۱ پتانسیل خوبی برای افزایش ماده خشک از خود نشان داد و برترین لاین از لحاظ این صفت بود در حالی‌که لاین شماره ۲ با میانگین ۱/۵۲- از کم‌ترین ترکیب‌پذیری عمومی برای صفت عملکرد ماده خشک برخوردار بود (جدول ۵).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان داد که تنوع ژنتیکی قابل‌توجهی بین خانواده‌های ناتنی از نظر صفات مورد بررسی وجود داشت. در این آزمایش، وراثت‌پذیری بالایی برای تمامی صفات مورد بررسی برآورد شد که با وجود اریبی، نشان داد که واریانس افزایشی برای این صفات در دسترس است و می‌توان از آن برای اصلاح جمعیت با روش‌های مبتنی بر انتخاب استفاده کرد. نتایج همچنین نشان داد که لاین‌های شماره ۲ و ۴ بهترین ترکیب‌شونده عمومی برای اصلاح (افزایش یا کاهش) صفات تعداد روز تا گلدهی، ارتفاع، قطر ساقه و تعداد برگ هستند. همچنین لاین‌های شماره ۶، ۷، ۸ و ۹ بیش‌ترین ترکیب‌پذیری عمومی را برای افزایش عملکرد علوفه داشتند و از پتانسیل خوبی برای استفاده در برنامه‌های اصلاحی به‌عنوان والدین واریته‌های سینتتیک با هدف تولید علوفه بالا برخوردار بودند.

References

Athwal, D. 1961. Recent developments in the breeding and improvement of bajra (pearl millet) in the Punjab. **Madras Agricultural Journal** 48: 18-19.

Bao, Y.-G., Sen, W., Wang, X.-Q., Wang, Y.-H., Li, X.-F., Lin, W. and Wang, H.-G. 2009. Heterosis and combining ability for major yield traits of a new wheat germplasm shannong 0095 derived from *Thinopyrum intermedium*. **Agricultural Sciences in China** 8: 753-760.

Bhoite, K., Pardeshi, S., Mhaske, B. and Wagh, M. 2008. Study of genetic variability in pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.). **Agricultural Science Digest** 28: 115-117.

Boncompagni, E., Orozco-Arroyo, G., Cominelli, E., Gangashetty, P. I., Grando, S., Zu, T. T. K., Daminati, M. G., Nielsen, E. and 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: e0198394.

Brunken, J. N. 1977. A systematic study of *Pennisetum* sect. *Pennisetum* (Gramineae). **American Journal of Botany** 64: 161-176.

Burton, G. 1952. Quantitative inheritance in grasses. Proceedings of the 6th International Grassland Congress. 17-23 Aug., Pennsylvania State College, USA.

Deglene, L., Alibert, G., Lesigne, P., De Labrouhe, D. T. and Sarrafi, A. 1999. Inheritance of resistance to stem canker (*Phomopsis helianthi*) in sunflower. **Plant Pathology** 48: 559-563.

Dezfouli, A. and 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: 413-421. (In Persian with English Abstract).

Eldie, Y. D., Ibrahim, A. E. S. and Ali, A. M. 2009. Combining ability analysis for grain yield and its components in pearl millet. **Gezira Journal of Agricultural Science** 7: 1-10.

FAO. 2020. FAO statistical year book. Food and Agricultural Organization. www.fao.org.

Fasahat, P., Rajabi, A., Rad, J. and Derera, J. 2016. Principles and utilization of combining ability in plant breeding. **Biometrics and Biostatistics International Journal** 4: 1-24.

Gopal, J., Kumar, V. and Luthra, S. 2008. Top-cross vs. poly-cross as alternative to test-cross for estimating the general combining ability in potato. **Plant Breeding** 127: 441-445.

Govindaraj, M., Selvi, B., Rajarathinam, S. and Sumathi, P. 2011. Genetic variability and heritability of grain yield components and grain mineral concentration in India's pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L) R. Br.) accessions. **African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development** 11: 4758-4771.

Govindaraj, M., Shanmugasundaram, P. and Muthiah, A. 2010. Estimates of genetic parameters for yield and yield attributes in elite lines and popular cultivars of India's pearl millet. **African Journal of Agricultural Research** 5: 3060-3064.

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

Kanfany, G., Fofana, A., Tongoona, P., Danquah, A., Offei, S., Danquah, E. and Cisse, N. 2018. Estimates of combining ability and heterosis for yield and its related traits in pearl millet inbred lines under downy mildew prevalent areas of Senegal. **International Journal of Agronomy** 2018: 1-13.

Katara, D., Kumar, R., Rajan, D., Chaudhari, S. B. and Zapadiya, V. J. 2019. Genetic-morphological analysis in little millet (*Panicum sumatrance* Roth. Ex Roemer and Schultes) under different sown conditions. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences** 8: 177-189.

Kaushik, J., Vart, D., Kumar, M., Kumar, A. and Kumar, R. 2018. Phenotypic diversity in pearl millet [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.] germplasm lines. **International Journal of Chemical Studies** 6: 1169-1173.

Khairwal, I. and Yadaw, O. 2005. Pearl millet (*Pennisetum glaucum*) improvement in India-retrospect and prospects. **Indian Journal of Agricultural Sciences** 75: 183-191.

Khaled, A., Hamam, K., Motawea, M. and El-Sherbeny, G. 2013. Genetic studies on tissue culture response and some agronomical traits in Egyptian bread wheat. **Journal of Genetic Engineering and Biotechnology** 11: 79-86.

Kumar, S., Babu, C., Revathi, S. and Iyanar, K. 2017a. 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: 463-468.

Kumar, S., Hash, C. T., Nepolean, T., Satyavathi, C. T., Singh, G., Mahendrakar, M. D., Yadav, R. S. and Srivastava, R. K. 2017b. Mapping QTLs controlling flowering time and important agronomic traits in pearl millet. **Frontiers in Plant Science** 8: 1-13.

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

Lubadde, G., Tongoona, P., Derera, J. and Sibiya, J. 2016. Combining ability and heterosis for grain yield and rust resistance in pearl millet. **Journal of Agricultural Science** 8: 80-96.

LV, A.-Z., Zhang, H., Zhang, Z.-X., Tao, Y.-S., Bing, Y., Zheng, Y.-L. 2012. Conversion of the statistical combining ability into a genetic concept. **Journal of Integrative Agriculture** 11: 43-52.

Makanda, I., Tongoona, P., Derera, J., Sibiya, J. and Fato, P. 2010. Combining ability and cultivar superiority of sorghum germplasm for grain yield across tropical low-and mid-altitude environments. **Field Crops Research** 116: 75-85.

Manning, K., Pelling, R., Higham, T., Schwenniger, J.-L. and Fuller, D. Q. 2011. 4500-year old domesticated pearl millet (*Pennisetum glaucum*) from the Tilemsi Valley, Mali: New insights into an alternative cereal domestication pathway. **Journal of Archaeological Science** 38: 312-322.

Nguyen, H. and Sleper, D. 1983. Theory and application of half-sib matings in forage grass breeding. **Theoretical and Applied Genetics** 64: 187-196.

Patel, S. N., Patil, H. E., Modi, H. M. and Singh, T. J. 2018. Genetic variability study in little millet (*Panicum miliare* L.) genotypes in relation to yield and quality traits. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences** 7: 2712-2725.

Phuke, R. M., Anuradha, K., Radhika, K., Jabeen, F., Anuradha, G., Ramesh, T., Hariprasanna, K., Mehtre, S. P., Deshpande, S. P. and Anil, G. 2017. Genetic variability, genotype× environment interaction, correlation, and GGE biplot analysis for grain iron and zinc concentration and other agronomic traits in RIL population of sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. **Frontiers in Plant Science** 8: 1-12.

Pucher, A., Sy, O., Sanogo, M. D., Angarav ۳۶۰ **, Zangre, R., Ouedraogo, M., Boureima, S., Hash, C. T. and Haussmann, B. I. 2016.** Combining ability patterns among west African pearl millet landraces and prospects for pearl millet hybrid breeding. **Field Crops Research** 195: 9-20.

Qu, Z., Li, L., Luo, J., Wang, P., Yu, S., Mou, T., Zheng, X. and Hu, Z. 2012. QTL mapping of combining ability and heterosis of agronomic traits in rice backcross recombinant inbred lines and hybrid crosses. **PLoS One** 7: e28463.

Radhouane, L. 2013. The evolutionary history of *Pennisetum glaucum* L. **Nyame Akuma** 1: 115-123.

Sabiel, S. A., Ismail, M. I., Abdalla, E., Osman, K. A. and Ali, A. M. 2014. Genetic variation among pearl millet genotypes for yield and its components in semi-arid zone Sudan. **International Journal of Agriculture and Crop Sciences (IJACS)** 7: 822-826.

Sharma, B., Chugh, L. K., Sheoran, R. K., Singh, V. K. and Sood, M. 2018. Study on genetic variability, heritability and correlation in pearl millets germplasm. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry** 7: 1983-1987.

Shashikala, T., Rai, K., Balaji Naik, R., Shanti, M., Chandrika, V. and Loka Reddy, K. 2013. Fodder potential of multicut pearlmillet genotypes during summer season. **International Journal of Bioresource Stress Management** 4: 628-630.

Shinde, S., Sonone, A. and 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: 188-191.

Singh, J. and Sharma, R. 2014. Assessment of combining ability in pearl millet using line × tester analysis. **Advances in Crop Science and Technology** 2: 1000149.

Solanki, K. L., Bhinda, M. S., Gupta, P., Saini, H. and Saini, L. K. 2017. Combining ability and gene action studies for grain yield and component characters in pearl millet [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.] under arid condition of Rajasthan. **International Journal of Pure and Applied Bioscience** 5: 2121-2129.

Sprague, G. F. and Tatum, L. A. 1942. General vs. specific combining ability in single crosses of corn **Agronomy Journal** 34: 923-932.

Steinskog, D. J., Tjøstheim, D. B. and Kvamstø, N. G. 2007. A cautionary note on the use of the Kolmogorov–Smirnov test for normality. **Monthly Weather Review** 135: 1151-1157.

Thakur, J., Kanwar, R., Kumar, P., Salam, J. and Kar, S. 2018. Studies of genetic parameters for yield and yield attributing traits of Kodo millet (*Paspalum scrobiculatum* L.). **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences** 7: 278-287.

Toorchi, M., Aharizad, S., Moghaddam, M., Etedali, F. and Tabatabavakil, S. H. 2007. Estimation of genetic parameters and general combining ability of Sainfoin landraces with respect to forage yield. **Journal of Crop Production and Processing** 11: 213-223. (In Persian with English Abastract).

Vadez, V., Hash, T., Bidinger, F. and Kholova, J. 2012. Phenotyping pearl millet for adaptation to drought. **Frontiers in Physiology** 3: 1-12.

Wheeler, T. and Von Braun, J. 2013. Climate change impacts on global food security. **Science** 341: 508-513.

Witcombe, J. R. and Beckerman, S. R. 1987. Proceedings of the International Pearl Millet Workshop. 7-11 Apr. 1986, ICRISAT, India. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics.

Yadav, O. and Rai, K. 2013a. Genetic improvement of pearl millet in India. **Agricultural Research** 2: 275-292.

Yadav, O. P. and Rai, K. N. 2013b. Genetic improvement of pearl millet in India. **Agricultural Research** 2: 275-292.

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

doi: 10.22124/cr.2021.18996.1651

University of Guilan
Faculty of Agricultural Sciences

(Research Article)

Cereal Research
Vol. 10, No. 4, Winter 2021 (351-362)

Genetic analysis of forage yield and related traits in pearl millet

Reza Ataei[1*], Farid Golzardi[2] and Mohammad Razmi-Charmkhoran[3]

Received: November 25, 2020 Accepted: February 27, 2021

Abstract

Pearl Millet (*Pennisetum glaucum* L.) is one of the most important crops in arid and semi-arid regions that is cultivated for grain and forage. Due to cross pollination and high heterosis, selection of parents based on combining ability is one of the most important steps in pearl millet breeding programs. To study the general combining ability (GCA) of pearl millet lines, a set of 10 lines were crossed in polycross nursery and the resulting half-sib families (HS) along with a check variety were evaluated in a randomized complete block design with four replications. The studued traits included days to flowering, plant height, stem diameter, number of leaves, number of tillers, fresh forage yield and dry matter. The results of analysis of variance and comparison of means showed that there was considerable genetic diversity for the studied traits. Estimated heritability ranged from 53.86% for dry forage yield to 99.23% for number of tillers. These results showed that additive variance had a significant role in controlling the studied traits in this population and therefore it can be used in breeding programs. Combining ability showed that line 2 for days to flowering, plant height and number of leaves, line 3 for stem diameter, lines 4, 7 and 8 for number of tillers and line 7 for fresh forage and dry matter yield were the best general combiner and could be used as the parents of crosses to improve the studied population.

Keywords: Combining ability, Genetic variation, Pearl millet, Poly-cross

1. Research Assist. Prof., Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
2. Research Assist. Prof., Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
3. Research Assisstant, Seed and Plant Improvement Institute (SPII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
* Corresponding author: reza_ataei@ut.ac.ir