Iranian Journal of Horticultural Science
Vol 52, No 4, Winter 2022 (965-976)
DOI: 10.22059/ijhs.2021.320691.1908

علوم باغبانی ایران
دورهٔ ۵۲، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۴۰۰ (ص ۹۷۶-۹۶۵)

نشریه پژوهشی:

تولید و ارزیابی قدرت ترکیب‌پذیری عمومی لاین‌های دابل هاپلویید فلفل دلمه‌ای (*Capsicum annuum* L.)

اعظم زارع بیاتی[۱]، خداداد مصطفوی[۲]، مهران عنایتی شریعت پناهی[۳*] و سیدمهدی میری[۲]
۱ و ۲. دانشجوی دکتری و دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران
۳. دانشیار، بخش تحقیقات کشت بافت و سلول، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی ایران
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۲۵ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۲/۲۸)

چکیده

ایجاد فناوری‌های کارآمد نظیر دابل هاپلوییدی یک راه حل سریع برای تهیه لاین‌های خالص می باشد. در این تحقیق با به کارگیری روش جنین‌زایی میکروسپور لاین‌های دابل هاپلوئید (اینبرد) فلفل تولید گردید. آزمون تاپ‌کراس با استفاده از ۳۲ لاین دابل هاپلوئید تولیدی و والد تاپ‌کراس California Wonder جهت بررسی ترکیب‌پذیری عمومی لاین‌ها صورت گرفت. هیبریدهای حاصل از تلاقی لاین× تستر در سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۸ کشت شدند. به منظور ارزیابی قدرت ترکیب‌پذیری عمومی لاین‌ها صفات روز تا جوانه‌زنی، روز تا گلدهی، روز تا میوه‌دهی، وزن تر میوه، وزن خشک میوه، طول میوه، عرض میوه، قطر گوشت میوه، تعداد بذر در میوه، میانگین عملکرد تک بوته، تعداد میوه در بوته و ارتفاع بوته اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل شدند. مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون دانکن نشان داد نتاج تاپ‌کراس لاین‌های دابل هاپلوئید DH55, DH64, DH57, DH53, DH202, DH217 و DH90 به ترتیب با میانگین ۸/۵۸، ۷/۲۲، ۷/۱۸، ۵/۹۹، ۵/۹۳، ۵/۸۰ و ۵/۶۹ کیلوگرم در بوته بالاترین میزان عملکرد میوه را داشتند که در این میان بالاترین مقدار مربوط به نتاج تاپ‌کراس حاصل از تلاقی DH55 × California Wonder با میانگین ۸/۵۸ کیلوگرم در بوته بود. وراثت‌پذیری صفات مورد ارزیابی بالای ۷۰ درصد بود که در این میان صفات تعداد روز تا جوانه‌زنی و میانگین عملکرد میوه در بوته بیشترین میزان را به خود اختصاص دادند. همچنین لاین‌های اشاره شده بالاترین میزان ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی دار برای صفت متوسط عملکرد در بوته را نیز به خود اختصاص دادند. بنابراین می‌توان از این ۷ لاین به عنوان لاین‌های والدینی برتر در برنامه‌های اصلاحی آینده استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: تستر، عملکرد، فلفل دلمه‌ای، وراثت‌پذیری.

Production and evaluation of general combining ability of doubled haploid lines in sweet pepper (*Capsicum annuum* L.)

Azam Zarebayati[1], Khodadad Mostafavi[2], Mehran Enayati Shariatpanahi[3*] and Seied Mehdi Miri[2]
1, 2. Ph. D. Candidate and Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran
3. Associate Professor, Department of Tissue and Cell Culture, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran (ABRII)
(Received: Mar. 15, 2021 - Accepted: May 18, 2021)

ABSTRACT

Creating new efficient technologies such as doubled haploids is a fast solution for producing inbred lines. In this study, using the microspore embryogenesis method, doubled haploid (inbred) pepper lines were produced. The Topcross test was performed using 32 doubled-haploid lines produced and the topcross parent of California Wonder to examine the general combining ability of the lines. Hybrids derived from crosses line × tester in 2018- 2019 were planted. In order to evaluate the general combining ability of the lines, days to germination, days to flowering, days to fruit set, fresh fruit weight, dry fruit weight, fruit length, fruit width, thickness of fruit diameter, number of seeds, average yield per plant, number of fruits per plant and plant height were measured and analyzed. Comparison of means by Duncan test showed that top-cross progeny of DH55, DH64, DH57, DH53, DH217, DH202, and DH90 doubled haploid lines respectively with average of 8.58, 7.22, 7.18, 5.99, 5.93, 5.80 and 5.69 kg per plant had the highest fruit yield, among them the highest amount was related to the Topcross offset from DH55× California Wonder with an average of 8.58 kg per plant. The heritability of the evaluated traits was over 70%, among them the number of days to germination and the average fruit yield per plant were the highest. The above-mentioned lines also had the highest positive and significant general combining ability for the average yield per plant. Therefore, these 7 lines can be used as superior parent lines in future breeding programs.

Keywords: Heritability, sweet pepper, tester, yield.

* Corresponding author E-mail: m.shariatpanahi@abrii.ac.ir

مقدمه

فلفل دلمه ای با نام علمی *Capsicum annuum* L. متعلق به خانواده Solanaceae بوده و بومی آمریکای مرکزی و جنوبی است (Greenleaf, 1986; Grubben & El Tahir, 2004). جنس *Capsicum* به طور کلی شامل حدود ۳۰ گونه از جمله ۵ گونه اهلی *C. annuum* L.، *C. frutescens* L.، *C. chinense* Jacq.، *C. baccatum* L. و *C. pubescens* Ruiz and Pav. می‌باشد که سه گونه نخست بیشترین سطح زیر کشت را در تمامی مناطق معتدل و گرمسیری به خود اختصاص داده‌اند (Grubben & El Tahir, 2004). این گیاه دیپلوئید بوده و دارای 2n=2x=24 کروموزوم می‌باشد. فلفل گیاهی خودگشن است و گرده‌افشانی پس از باز شدن گل‌ها انجام می‌شود که بسته به فعالیت حشرات ۴۰-۵ درصد دگرگشنی هم اتفاق می‌افتد. اگرچه ۶۴-۱۱ درصد دگرگشنی در گرده‌افشانی باز قابل مشاهده است (Lemma, 1998). فلفل حاوی ویتامین‌های ضروری مانند ویتامین ث و مواد کانی مورد نیاز بدن است، همچنین منبع غنی کاروتنوئیدها، مواد فنولیک و پتاسیم است که منجر به ارزش غذایی بالای این گیاه می‌شود (Mohammadi *et al*., 2018).

در اصلاح فلفل باید بر صفات مهم زراعی مانند مقاومت در برابر بیماری‌ها، افزایش عملکرد، ماندگاری میوه‌های بالغ روی بوته (مقاومت میوه در برابر باد در کشت مزرعه‌ای) و تحمل گرما برای فلفل شیرین یا دلمه‌ای توجه ویژه‌ای شود. صفات دیگری که باید در برنامه‌های اصلاحی در نظر گرفته شوند شامل بازارپسندی میوه، ماندگاری طولانی‌تر و افزایش ضخامت یا قطر دیواره میوه (برای صادرات طی مسافت‌های طولانی و نگهداری میوه تازه و خشک به ترتیب بسیار مورد توجه است) می‌باشد. سلیقه و جذابیت بصری موارد مهم دیگری هستند که باید مورد توجه قرار گیرند زیرا سلایق مصرف کنندگان بین جوامع و درون آن‌ها متفاوت است. خوشبختانه تنوع گسترده در خصوصیات میوه، فرصت مناسبی را برای اصلاح‌گر جهت جمع‌آوری، تشخیص، ارزیابی و انتخاب گونه‌های *Capsicum* و ایجاد واریته‌هایی با خصوصیات میوه متفاوت را فراهم می‌کند (Dagnoko *et al*., 2013).

برنامه‌های اصلاح سنتی و یا مولکولی می‌توانند منجر به دست‌یابی به ارقام جدید همراه با ژنتیک پایدار شوند اما متاسفانه بسیار زمان‌بر بوده و هزینه زیادی را به دنبال دارد؛ لذا به‌نژادگران گیاهی به دنبال روش‌هایی جهت کاهش زمان و هزینه‌ها می‌باشند. یکی از روش‌های قابل اعتماد و کوتاه برای ایجاد واریته‌های جدید، استفاده از روش دابل هاپلوئیدی است (Enayati Shariatpanahi & Emami Meybodi, 2009)، که از طریق القای مصنوعی جنین‌زایی در گامت‌های نابالغ صورت می‌گیرد. گامت‌های نابالغ ماده یا نر کشت شده در محیط درون شیشه‌ای می‌توانند مسیر گامتوفیتی خود را به مسیر اسپوروفیتی تغییر داده و جنین تشکیل دهند (Enayati Shariatpanahi *et al*., 2006; Niazian & Enayati Shariatpanahi, 2020). از جمله روش‌های درون شیشه‌ای القاء هاپلوئیدی می‌توان به روش آندروژنز (کشت دانه گرده نابالغ با استفاده از روش میکروسپور جدا شده، کشت دولایه و یا کشت بساک) و همینطور روش ژینوژنز (کشت تخمک نابالغ) و در نهایت دست‌یابی به جنین و گیاه باززا اشاره نمود (Enayati Shariatpanahi & Zare Bayati, 2020). گیاهان هاپلوئید حاصل پس از کاربرد مواد ضد میتوزی مانند کلشی‌سین تبدیل به لاین خالص دابل هاپلوئید می‌شوند که می‌توانند وارد برنامه‌های اصلاحی شده و منجر به تولید ارقام هیبرید گردند (Miri, 2020).

موفقیت روش اصلاح از طریق دورگ‌گیری به طور گسترده‌ای وابسته به انتخاب صحیح والدین است (Adday, 2017). به همین خاطر اصلاح ارقام پرمحصول به روش دورگ‌گیری نیازمند شناسایی ساختار ژنتیکی والدین و همینطور بررسی صفات مطلوب آن‌ها است که هر دوی این موارد با استفاده از ژنتیک کمّی مانند طرح‌های کارولینای شمالی، تلاقی‌های دو والدی، پلی‌کراس، تاپ‌کراس، دای‌الل و یا تلاقی تستر× لاین انجام می‌گیرد (Nduwumuremyi *et al*., 2013; Moradi Dezfouli *et al*., 2017). یکی از مهم‌ترین اهداف اصلاح‌گران

محاسبه ترکیب‌پذیری و اجزای واریانس ژنتیکی جهت دورگ‌گیری و در نتیجه تعیین عمل ژن یا ژن‌های تظاهر کننده صفات کمّی است که طی آن والدین و لاین‌های دارای ترکیب‌پذیری عمومی بالا و مثبت و در ادامه هیبریدهای دارای ترکیب‌پذیری خصوصی بالا مشخص و شناسایی می‌گردند (Mirarab *et al*., 2011; Moradi Dezfouli, *et al*., 2017). برای این‌که یک ویژگی زراعی در برنامه‌های اصلاح ژنتیکی مورد انتخاب قرار گیرد، باید دارای مبنای ژنتیکی بوده و وراثت‌پذیر باشد (Falconer & Mackay, 1996). به طور کلی وراثت‌پذیری به عنوان نسبتی از واریانس فنوتیپی کل جمعیت تعریف می‌شود که تحت تاثیر اثرات ژنی است. وراثت‌پذیری عمومی بر اساس نسبت واریانس ژنتیکی کل به واریانس فنوتیپی کل است (Retes-Manjarrez *et al*., 2017). همچنین تجزیه و تحلیل پایه ژنتیکی و وراثت‌پذیری صفات هدف، با استفاده از طراحی بهترین مدل اصلاحی جهت انتقال صفات مطلوب در ارقام مختلف است (Retes-Manjarrez *et al*., 2017).

تحقیق حاضر با هدف بررسی امکان ایجاد گیاهان دابل هاپلوئید فلفل دلمه‌ای از طریق کشت میکروسپور و تعیین قدرت ترکیب‌پذیری عمومی و شناخت لاین‌های والدینی برجسته از نظر کیفیت میوه و صفات مرتبط با عملکرد فلفل دلمه‌ای تحت شرایط گلخانه‌ای صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

لاین‌های دابل هاپلویید فلفل با استفاده از روش کشت میکروسپورهای آزادشده (Shed microspore culture) در محیط کشت دولایه براساس پروتکل توسعه یافته در بخش کشت بافت و سلول پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی ایران به دست آمدند (بدون گزارش داده‌ها). بذور هیبریدهای تجاری از قبیل رقم مگنو (شرکت Enza zaden)، مارس، ویزارد (شرکت Seminis) و اینسپیریشن (شرکت Rijk zwaan) در گلخانه پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی کرج کشت شده و پس از دو ماه غنچه‌ها برداشت شدند. برای تولید گیاهان هاپلوئید و دابل هاپلوئید، شناسایی مرحله مناسب برداشت غنچه‌ها و کشت بساک آن‌ها مهم می‌باشد. یکی از روش‌های قابل اطمینان برای این امر، روش رنگ‌آمیزی با استفاده از DAPI (4,6-diamidino-2-phenylindole) می‌باشد به این صورت که پس از رنگ‌آمیزی میکروسپورها، با استفاده از میکروسکوپ اینورت مرحله دقیق نموی میکروسپورها تعیین و زمان برداشت غنچه مشخص می‌شود. بنابر گزارش محققان مختلف و نتایج تحقیقات گوناگون، مناسب‌ترین زمان برداشت غنچه زمانی است که گلبرگ مساوی و یا مقداری بلندتر از کاسبرگ باشد زیرا در این مرحله میکروسپورهای موجود در بساک‌ها در مرحله انتهای تک هسته‌ای و یا ابتدای دو هسته ای هستند. به همین منظور، برای بدست آوردن بساک‌ها با میکروسپورهایی که در مرحله انتهای تک هسته‌ای و یا ابتدای دو هسته‌ای هستند، غنچه‌ها زمانی که گلبرگ مساوی و یا مقداری بلندتر از کاسبرگ باشد، برداشت شدند (Çiner & Tipirdamaz, 2002). حداقل ۶۰ غنچه از هر رقم برداشت شده و ضدعفونی شد. ضدعفونی غنچه‌ها با استفاده از محلول هیپوکلریت سدیم (NaClO) ۲ درصد به مدت ۱۰ دقیقه و شستشوی غنچه‌ها با آب مقطر استریل ۳ بار و هر بار ۵ دقیقه صورت گرفت. بساک‌ها در محیط کشت دو لایه (لایه زیرین جامد و لایه رویی مایع) کشت شدند. محیط کشت مورد استفاده B_5 (Gamborg *et al*., 1968) بود که در محیط زیرین جامد از ۷ گرم در لیتر آگار و ۱۰ گرم در لیتر زغال فعال استفاده شد ولی محیط مایع رویی همان محیط B_5 بدون این دو ماده بود. میکروسپورها حدودا پس از ۵ تا ۷ روز در محیط دو لایه آزاد شده و پس از یک ماه و نیم جنین‌ها مشاهده شدند. جنین‌ها باززا شده و گیاه هاپلوئید ایجاد شد. سطح پلوئیدی گیاهان هاپلوئید با استفاده از دستگاه فلوسایتومتری و گیاه فلفل دیپلوئید هیبرید تجاری به عنوان شاهد تعیین و تایید شد. گیاهان هاپلوئید با استفاده از کلشی‌سین دابل هاپلوئید شده و پس از طی مراحل سازگاری در فیتوترون به گلخانه منتقل شدند. کلیه لاین‌های دابل هاپلوئید تولید شده در گلخانه در مرحله گلدهی با استفاده از توری‌هایی با منافذ ریزتر از

دانه گرده (۶۰ میکرومتر) ایزوله شده و خودگشن شدند. پس از تشکیل و رسیدگی کامل میوه‌ها (تغییر رنگ میوه از سبز به قرمز به طور کامل) اقدام به برداشت آن‌ها و بذرگیری از میوه‌ها و تعیین کد مخصوص برای هر لاین شد. از هر لاین حدود ۷ تا ۱۰ میوه برداشت شد که در مجموع تقریبا ۱۰۰۰ عدد بذر داشتند.

بذور لاین‌های دابل هاپلوئید در گلدان‌هایی با قطر ۲۵ سانتی‌متر و عمق نیم سانتی‌متر حاوی دو قسمت خاک مزرعه و یک قسمت پیت سیاه و پرلیت کشت شدند. همزمان با کشت لاین‌های دابل هاپلوئید حاصل از هیبریدهای مورد اشاره، تعدادی بذر آزاد گرده‌افشان California Wonder نیز کشت گردیدند. عملیات نگهداری بر اساس نیاز گیاهان صورت گرفت. هر ماه یک بار بذور لاین‌های دابل هاپلوئید و رقم تجاری California Wonder کشت مجدد شدند تا همیشه گیاهان قوی و جوان دارای غنچه‌های مطلوب موجود باشند. پس از رسیدن گیاهان به مرحله گلدهی، لاین‌های دابل هاپلوئید به عنوان پایه مادری اخته شده (بساک‌ها قبل از رسیدن دانه گرده با استفاده از پنس نوک‌تیز حذف شدند) و با تستر مشترک California Wonder به عنوان پایه پدری (دهنده دانه گرده) تلاقی داده شدند. تلاقی‌ها به صورت دستی انجام گرفت و روی غنچه‌ها پاکت گذاری شد (شکل B-۱A ۱ و ۱C). تلاقی‌ها بارها و به دفعات زیاد انجام گرفت و پس از تشکیل کامل میوه حاصل از تلاقی، پاکت‌ها برداشته شده و میوه حاصل پلاک‌گذاری می‌شد. ۳۲ لاین در تلاقی با رقم آزاد گرده‌افشان California Wonder شرکت کردند که از میان آن‌ها فقط ۲۷ لاین دابل هاپلوئید، منجر به تولید موفق نتاج F_1 حاصل از تلاقی لاین با تستر شدند. پس از برداشت میوه‌های حاصل از تلاقی و بذرگیری آن‌ها، بذور حاصل جهت خشک شدن در محلی بدون رطوبت و تاریک نگهداری شدند. سپس بذور حاصل در گلخانه پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی جهت ارزیابی گلخانه‌ای در گلدان‌های ۱۰ سانتی‌متری و دو بذر در هر گلدان نشا شدند. پس از یک ماه نشاهای حاصل در مرحله چهار برگی بر اساس طرح کاملا تصادفی با سه تکرار به گلدان اصلی منتقل و بر اساس نیاز گیاه آبیاری و تغذیه کودی (هفته‌ای یکبار کود NPK ۲۰-۲۰-۲۰ در مراحل اولیه رشد و در مراحل گلدهی و میوه‌دهی استفاده از کود NPK ۱۰-۵۶-۱۰ و ۱۰-۱۰-۴۰ و همچنین کود میکرو Zarbar) انجام شد. جهت ارزیابی و انتخاب لاین‌تسترهای برتر، از ابتدای جوانه‌زنی یادداشت برداری صفات آغاز شد و صفات مهمی همچون تعداد روز تا جوانه‌زنی بذر، روز تا گلدهی، روز تا میوه‌دهی، همچنین صفات عملکردی از جمله طول، عرض و قطر میوه، وزن و سایر صفات مورفولوژیک مرتبط با بوته و میوه اندازه‌گیری شدند (شکل 1D-1E).

این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی کرج اجرا شد. تجزیه واریانس و مقایسه میانگین توسط آزمون دانکن (سطح احتمال ۵ درصد) با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد. به منظور تخمین ترکیب‌پذیری عمومی لاین‌های دابل هاپلوئید از فرمول ترکیب‌پذیری عمومی در آزمون تاپ‌کراس استفاده شد:

$$GCA\ (pi)= \bar{X}prog - \bar{X}..$$

که در این فرمول GCA نشان‌دهنده میزان ترکیب‌پذیری عمومی لاین دابل هاپلویید iام، $\bar{X}prog$ نشان‌دهنده ارزش متوسط نتاج مربوط به یک لاین مشخص و $\bar{X}..$ میزان میانگین کل در آزمایش است.

همچنین وراثت‌پذیری عمومی لاین‌ها (h^2_{bs}) با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد:

$$h^2_{bs}= \frac{\sigma_g^2}{\sigma_g^2+\sigma_e^2} \times 100$$

در فرمول فوق h^2_{bs} وراثت‌پذیری عمومی لاین‌ها، σ_g^2 واریانس ژنوتیپی و σ_e^2 واریانس خطا را نشان می‌دهد.

نتایج و بحث

لاین‌های دابل هاپلوئید

نتایج آزمایش نشان‌دهنده کارآیی بالای روش کشت دولایه برای تولید گیاهان هاپلوئید و نهایتا لاین‌های دابل هاپلوئید فلفل دلمه‌ای بود. به کمک این روش بیش از ۳۲ لاین دابل هاپلوئید به دست آمد که نتیجه قابل قبولی است.

از میان لاین‌های تولیدشده، ۲۷ لاین قابلیت جوانه‌زنی و تلاقی‌پذیری خوبی داشتند که در ادامه مورد تلاقی با تستر و ارزیابی قرار گرفتند. بر اساس تحقیقی بر روی لاین‌های دابل هاپلوئید کلزا که از طریق جنین‌زایی میکروسپور حاصل شده بودند، توانایی ترکیب‌پذیری عمومی لاین‌های حاصل با تستر هایبولا۴۲۰ مورد مطالعه قرار گرفته و در نهایت ۶ لاین برتر از نظر صفات مورد مطالعه انتخاب شدند (Moradi Dezfouli *et al*., 2017).

شکل ۱. ترکیب‌پذیری عمومی به روش تاپ‌کراس. (A) اخته کردن لاین‌های دابل هاپلوئید. (B& C) انجام تلاقی تاپ‌کراس بین لاین دابل هاپلوییید و والد آزاد گرده‌افشان California Wonder. (D) کشت بذور حاصل از تلاقی تاپ‌کراس. (E) ارزیابی میوه حاصل از تلاقی تاپ‌کراس.

Figure 1. General combining ability based on top-cross. (A) Emasculation of doubled haploid lines. (B& C) Performing top-cross between doubled haploid line and California Wonder OP parent. (D) Cultivation of seeds obtained from the top-cross. (E) Evaluation of fruit obtained from top-cross.

آزمون تاپ‌کراس

بررسی تجزیه واریانس صفات مطالعه شده در قالب طرح کاملا تصادفی حاکی از وجود اختلاف معنی‌دار میان نتاج حاصل از تلاقی‌ها برای برخی از صفات مورد مطالعه در سطح احتمال یک و یا پنج درصد و تعدادی از صفات غیر معنی‌دار بود (جدول ۱).

بیشترین میزان وراثت‌پذیری عمومی برای صفت تعداد روز تا جوانه‌زنی (۹۳/۴۵ درصد) و پس از آن برای میانگین عملکرد میوه در بوته (۸۸/۸۹ درصد) به دست آمد (جدول ۲). در مجموع میزان وراثت‌پذیری عمومی برای تمامی صفات مطلوب بوده و بالای ۷۰ درصد مشاهده شد (جدول ۲). در مطالعه‌ای که بر روی ۹ والد آسیایی و ۳ والد اتیوپی و تلاقی‌های آن‌ها در فلفل تند صورت گرفت نیز وراثت‌پذیری عمومی بالای ۶۰ درصد برای صفات میوه گزارش شد (Marame *et al*., 2009). در تحقیق دیگری که بر روی فلفل چیلی به منظور ارزیابی صفات مورفوفیزیولوژی و صفات متحمل به گرما انجام شد وراثت‌پذیری بالا (بیشتر از ۶۰ درصد) مشاهده شد که نشان‌دهنده اثرات قابل توجه ژن افزایشی بیش از اثرات محیطی بود (Usman *et al*., 2014).

نتایج حاصل از مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه با روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد برای برخی از صفات معنی دار شدند (جدول ۳). نتایج حاصل از آزمون چند دامنه‌ای دانکن نشان داد کمترین تعداد روز تا جوانه‌زنی (ظهور گیاهچه) متعلق به تلاقی لاین‌های ۸۱، ۹۰ و ۴ و بیشترین تعداد روز به تلاقی لاین ۲۱۰ با هیبرید تجاری CW تعلق داشت؛ در حالی‌که کمترین تعداد روز تا گلدهی مربوط به تلاقی لاین ۷۶ و پس از آن به ترتیب تلاقی لاین‌های ۶۲، ۴۶، ۲۲۳ و ۱۱ با هیبرید CW و بیشترین تعداد روز مربوط به تلاقی لاین ۸۵ و هیبرید CW بود. نتاج تلاقی لاین‌های ۶۲ و ۲۲۳ کمترین و به ترتیب نتاج حاصل از تلاقی‌های ۳۳، ۸۱ و ۸۵ بیشترین تعداد روز تا میوه‌دهی را دارا بودند (جدول ۳). مطالعه برخی صفات مانند وزن میوه روش مناسبی برای انتخاب لاین‌های برتر در فلفل است (Testoni *et al.,* 1983). نتاج حاصل از تمامی تلاقی‌ها از نظر صفات میانگین وزن تر و خشک میوه اختلاف معنی‌داری نشان ندادند (جدول ۳). همچنین مقایسه میانگین عملکرد میوه در بوته نشان داد بیشترین میزان عملکرد متعلق به تلاقی لاین ۵۵ بود و پس از آن نتاج حاصل از تلاقی لاین‌های ۶۴ و ۵۷ بالاترین میزان عملکرد را داشتند (جدول ۳).

یکی از مهم‌ترین صفات مربوط به فلفل، صفت عملکرد میوه و صفات مرتبط با بازارپسندی آن است که باید در انتخاب لاین‌های دابل هاپلویید توجه ویژه‌ای به آن‌ها شود و در این آزمایش دارای اختلاف معنی‌دار بین نتاج تلاقی‌های لاین×تستر برای این صفات مشاهده شد. در خصوص صفت میانگین عملکرد و تعداد میوه در بوته، نتاج CW × ۵۵ افزایش معنی‌داری نسبت به CW × ۲۱۰ داشت. همچنین تلاقی CW × ۵۵ دارای بیشترین تعداد میوه در بوته بود. مطالعه توانایی ترکیب‌پذیری عمومی فلفل چیلی نشان داد که والد ۵ دارای اثرات GCA بالا برای میوه در بوته، وزن میوه و عملکرد میوه سبز در بوته است. همچنین مقادیر GCA مثبت و قابل توجهی برای ضخامت گوشت میوه گزارش کردند (Aiswarya *et al*., 2020). ترکیب‌پذیری لاین‌های مختلف خیار در تحقیقات متعددی مورد بررسی قرار گرفته و لاین‌های برتر هر گروه مورد شناسایی قرار گرفته‌اند (Mule *et al*., 2012; Shen *et al*., 2015; Airina *et al*., 2017; Kumar *et al*., 2017; Ene *et al*., 2019). بر اساس بررسی ترکیب‌پذیری عمومی مطلوب بر روی لاین‌های خیار و تلاقی آن‌ها با هیبرید تجاری نگین به منظور بهبود صفات پارتنوکارپی و ماده گلی، مشخص شد که نتاج حاصل از تلاقی لاین‌B12 و هیبرید تجاری نگین، بیشترین تعداد میوه‌های پارتنوکارپ را دارا بودند (Moslemi *et al*., 2019). همچنین Shen *et al*. (2015) ترکیب‌پذیری خصوصی ۵ لاین دابل هاپلوئید خیار را در انواع تلاقی‌های دو طرفه متقابل بررسی نموده و اثر

ترکیبات مختلف هسته‌ای- سیتوپلاسمی را بر روی صفات مهمی از جمله عملکرد گزارش کردند. تلاقی‌های CW × ۷۶ و CW × ۲۰۱ به ترتیب بیشترین و تلاقی‌های CW × ۱۱ و CW × ۵۷ کمترین طول میوه را داشتند. همچنین نتاج CW × ۲۲۳ میانگین عرض میوه بیشتری از CW × ۵۶ نشان دادند (جدول ۳). یکی دیگر از صفات مهم در فلفل قطر گوشت میوه یا همان ضخامت پریکارپ است که در تلاقی CW × ۲۱۸ بیشترین و در تلاقی CW × ۸۱ کمترین میزان را داشت. بلندترین گیاه حاصل از تلاقی نتاج CW × ۳۳ بود در حالی‌که کوتاه‌ترین گیاه به تلاقی CW × ۲۰۲ تعلق داشت (جدول ۳). نتاج دیگر حاصل از تلاقی‌های لاین × تستر اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند.

موفقیت هر برنامه اصلاحی مستقیما به انتخاب والدین درست و مناسب بستگی دارد. پتانسیل رقم با مقایسه میانگین عملکرد و توانایی ترکیب‌پذیری والدین ارزیابی می‌شود (Devi *et al*., 2018). همچنین Devi و همکاران (2018) اظهار داشتند که والدین با عملکرد بالا ممکن است همیشه نتوانند صفات برتر خود را به هیبرید منتقل کنند، بنابراین ارزیابی توانایی ترکیب‌پذیری مورد نیاز است. توانایی ترکیب‌پذیری عمومی (GCA) یک والد عاملی است که باعث می‌شود عملکرد یک والد طی یک سری ترکیبات مورد تلاقی پیش‌بینی شود (Rohini *et al*., 2017). Sprague & Tatum (1942) توانایی ترکیب‌پذیری عمومی (GCA) را به عنوان عملکرد متوسط یک لاین در یک دوره تلاقی‌ها تعریف می‌کنند، که به دلیل عمل ژن افزایشی است و قابل اصلاح است. همچنین بر اساس مطالعه‌ای بر روی ۸ والد فلفل دلمه‌ای در هند ترکیب‌پذیری عمومی صفات مختلفی از جمله ارتفاع بوته، تعداد روز تا گلدهی، روز تا برداشت میوه، تعداد میوه در بوته، میانگین وزن میوه، عملکرد میوه در بوته و ضخامت گوشت میوه اندازه‌گیری شد (Aditika *et al.*, 2020). ترکیب‌پذیری عمومی لاین‌های دابل هاپلوئید برای صفات مورد مطالعه در جدول ۴ ارائه شده است. با توجه به نتایج حاصل، بالاترین مقدار ترکیب‌پذیری عمومی معنی‌دار و مثبت برای صفت عملکرد مربوط به لاین دابل هاپلوئید ۵۵ بود، همچنین لاین‌های ۶۴، ۵۷، ۵۳، ۲۰۲ و ۲۱۷ به ترتیب دارای بالاترین قدرت ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌دار برای صفت فوق بودند در حالی‌که بالاترین میزان ترکیب‌پذیری منفی برای این صفت به لاین ۲۱۰ تعلق داشت (جدول ۴). بر اساس تحقیقی که شامل ۲۹ ژنوتیپ متنوع فلفل دلمه‌ای و ۱۴ لاین امیدبخش (۱۱ لاین و ۳ تستر)، ۳۳ F_1 و ۱ شاهد برای مطالعات قدرت ترکیب‌پذیری بود، یک ژنوتیپ و ۳ لاین برای صفت عملکرد میوه بازارپسند در بوته، به عنوان والد ترکیب‌پذیر مطلوب انتخاب شدند (Devi *et al*., 2018).

صفات مرتبط با اندازه میوه که هم از نظر عملکرد و هم از نظر بازارپسندی حائز اهمیت فراوان هستند نیز دارای میزان ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بودند که بر این اساس صفت طول میوه برای لاین‌های ۷۶، ۹۰، ۳۳، ۸۱، ۲۱۸ و ۲۱۷ مثبت و معنی‌دار بود اما لاین‌های ۱۱ و ۵۷ بیشترین میزان ترکیب‌پذیری منفی و معنی دار را نشان دادند. بررسی صفت عرض میوه نشان‌دهنده مقادیر ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی دار برای تلاقی لاین‌های ۲۲۳، ۴۶ و ۵۴ بود، ضمن اینکه تلاقی لاین‌تستر CW × ۵۷ و پس از آن تلاقی‌های ۵۶، ۳۳ و ۵۵ کمترین میزان ترکیب‌پذیری عمومی را برای صفت ذکر شده نشان دادند (جدول ۴). همچنین صفت مهم بعدی قطر گوشت یا پریکارپ میوه است که در این مطالعه برای تلاقی لاین‌های ۲۱۸، ۴، ۶۲ و ۵ بالاترین میزان و برای تلاقی لاین‌های ۳۳، ۸۱، ۵۴ و ۱۱ پایین‌ترین میزان ترکیب‌پذیری را شامل شد (جدول ۴). مطالعات بسیار کمی در خصوص این موضوع برای فلفل دلمه‌ای در دسترس می‌باشد. نتایج تحقیقی در برزیل روی فلفل چیلی نشان داد که ترکیب‌پذیری عمومی صفات ارتفاع بوته، میانگین وزن میوه، وزن خشک میوه، ماده خشک، قطر میوه و محتوای کل مواد جامد محلول (total soluble solids content) معنی‌دار می‌باشد که نشان می‌دهد اثرات افزایشی ژن‌ها بر روی کنترل این صفات نقش دارد (Rodrigues *et al*., 2012). در این

آزمایش ارتفاع بوته برای نتاج حاصل از تلاقی‌های ۲۰۲ و ۶۴ و ۵ با هیبرید تجاری CW بالاترین میزان ترکیب‌پذیری منفی و معنی‌دار را دارا بودند درحالی که تلاقی‌های ۸۱ و ۴۲ با هیبرید CW بیشترین میزان مثبت و معنی‌دار ترکیب‌پذیری را نشان دادند. بیشترین میزان ترکیب‌پذیری مثبت و معنی‌دار برای صفت وزن تر میوه مربوط به نتاج حاصل از تلاقی‌های ۷۶ و ۹۰ بود ولی کمترین میزان منفی و معنی‌دار برای صفت فوق در تلاقی‌های ۵۷ و ۱۱ با هیبرید تجاری CW نشان داده شد. همچنین بالاترین میزان ترکیب‌پذیری مثبت و معنی‌دار برای صفت وزن خشک میوه متعلق به لاین‌های ۷۶، ۲۱۰، ۹۰، ۲۱۸ و ۳۳ بود با این حال بیشترین میزان به لاین‌های ۷۶ و ۲۱۰ تعلق داشت، بیشترین میزان ترکیب‌پذیری منفی و معنی‌دار نیز مربوط به نتاج حاصل از تلاقی لاین‌های ۵۷ و ۱۱ بود (جدول ۴). مطالعه‌ای بر روی فلفل چیلی با استفاده از ۵ لاین و ۵ تستر انجام شد که در آن هیچ یک از لاین‌ها و یا تسترها اثرات ترکیب‌پذیری عمومی قابل توجهی را برای هیچ کدام از صفات نشان ندادند (Chaudhary *et al*., 2013). نتاج حاصل از تلاقی لاین ۳۳ با اختلاف بیشترین میزان ترکیب‌پذیری را نشان داد و پس از آن به ترتیب لاین‌های ۸۱، ۴۲ و ۵۷ بیشترین میزان مثبت را دارا بودند اما در رابطه با صفت ذکر شده به ترتیب لاین‌های ۲۰۲، ۶۴، ۵، ۲۴ و ۲۲۳ بیشترین مقدار منفی و معنی‌دار را نشان دادند. در این مطالعه بالاترین مقدار ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌دار برای صفت تعداد روز تا جوانه‌زنی به لاین‌های ۴۲، ۲۱۰، ۳۳ و ۵۶ تعلق داشت، همچنین بیشترین میزان ترکیب‌پذیری عمومی منفی و معنی‌دار برای این صفت مربوط به لاین‌های ۸۱، ۹۰، ۴ و ۲۴ بود (جدول ۴). بیشترین مقدار ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌دار برای صفت تعداد روز تا گلدهی متعلق به لاین‌های ۸۵، ۳۳، ۸۱ و ۲۱۷ بود، اما در مقابل بالاترین میزان ترکیب‌پذیری عمومی منفی برای صفت فوق مربوط به لاین‌های ۷۶ و ۶۲ بود (جدول ۴). همچنین نتاج حاصل از تلاقی لاین‌های دابل هاپلوئید ۸۱، ۸۵، ۳۳ و ۲۱۷ ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌داری برای صفت تعداد روز تا میوه‌دهی نشان دادند، در حالی‌که بیشترین مقدار ترکیب‌پذیری عمومی منفی برای صفت فوق‌الذکر مربوط به لاین‌های ۶۲، ۲۲۳ و ۴۶ بود (جدول ۴). در مطالعه‌ای که بر روی توده‌های فلفل بومی ایران انجام شد در نهایت ۱۷ لاین برتر انتخاب شدند (Keshavarz *et al*., 2015).

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس برخی صفات لاین‌های دابل هاپلوئید فلفل دلمه‌ای (با استفاده از آزمون تاپ‌کراس).

Table 1. Analysis of variance of some traits in doubled haploid (DH) lines of sweet pepper (using top-cross test).

Source of variation(	df	Mean of squares											
		Days to seed gemination	Days to flowering	Days to fruit set	Fruit length	Fruit width	Pericarp thickness	Fresh fruit weight	Dry fruit weight	Seed no.	Fruit no./plant	Average yield/plant	Plant height
Line × CW	24	31.1**	116.39*	102.80$^{n.s}$	119.97$^{n.s}$	17.70$^{n.s}$	0.49**	154.80$^{n.s}$	1.48$^{n.s}$	1609.84$^{n.s}$	5.62$^{n.s}$	6.52**	502.03$^{n.s}$
Error	50	7.03	59.13	59.24	79.71	25.09	0.21	266.44	2.64	1788.12	6.09	2.98	377.30
CV		17.48	7.37	7.05	14.80	9.57	8.61	24.87	24.78	38.33	28.62	35.42	16.95

n.s، * و **: به ترتیب نبود تفاوت معنی‌دار و تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

n.s, *, **: Non-significantly difference and significantly difference at 5 and 1 percent of probability level, respectively.

جدول ۲. وراثت‌پذیری برخی صفات لاین‌های دابل هاپلوئید فلفل دلمه‌ای.

Table 2. Heritability of some traits in doubled haploid (DH) lines of sweet pepper.

	Days to seed germination	Days to flowering	Days to fruit set	Fruit length	Fruit width	Pericarp thickness	Fresh fruit weight	Dry fruit weight	Seed no.	Fruit no./plant	Average yield/plant	Plant height
$h^2_{bs\ (\%)}$	93.45	87.35	86.12	84.65	75.71	88.89	73.28	72.84	78.73	79.03	88.32	83.31

جدول ۳. مقایسه میانگین برخی صفات لاین‌های دابل هاپلوئید فلفل دلمه‌ای (با استفاده از آزمون تاپ‌کراس).

Table 3. Mean compression of some traits in doubled haploid (DH) lines of sweet pepper (using top-cross test).

DH line ×CW	Days to seed germination	Days to flowering	Days to fruit set	Fruit length (mm)	Fruit width (mm)	Pericarp thickness (mm)
201× CW	13.33ab	101.33a-e	105.33abc	62.78a	52.26ab	5.62abc
223× CW	14.33a-d	97.67ab	101.67a	59.07abc	57.66a	5.12bcd
11× CW	13.33ab	98.33ab	103.00ab	49.60c	52.94ab	4.79cd
202× CW	18.00bcd	100abc	104.00ab	58.12abc	51.90ab	5.21a-d
210× CW	19.00d	107.67a-f	111.33 abc	64.23abc	52.92ab	5.08bcd
214× CW	13.67abc	107.33a-f	114.00abc	58.61abc	52.21ab	5.83ab
217× CW	13.67abc	113.67c-f	117.67bc	64.90abc	52.49ab	5.16bcd
218× CW	15.00a-d	104.67a-f	108.67 abc	67.20abc	54.03ab	6.08a
24× CW	13.00ab	103.33a-f	107.67 abc	61.92abc	51.84ab	5.32a-d
33× CW	18.67cd	116.33ef	120.00c	69.06ab	49.13ab	4.66d
4× CW	12.33a	103.33a-f	109.00 abc	61.41abc	51.02ab	5.92ab
42× CW	27.00e	104.00a-f	112.00 abc	57.48bc	53.83ab	5.08bcd
46× CW	14.67a-d	97.67ab	102.33ab	56.15bc	56.06ab	5.47a-d
5× CW	14.33a-d	103.67a-f	107.67 abc	58.83abc	53.68ab	5.88ab
53× CW	13.33ab	102.33a-f	106.00 abc	53.22bc	53.10ab	5.14bcd
54× CW	16.33a-d	105.67a-f	109.67 abc	54.98bc	55.98ab	4.78cd
55× CW	15.00a-d	109.67b-f	113.67 abc	55.98bc	49.74ab	5.54a-d
56× CW	18.67cd	106.67a-f	111.00 abc	56.27bc	47.38b	5.15bcd
57× CW	13.67abc	101.00a-d	106.00 abc	50.83c	47.16b	5.03bcd
62× CW	14.67a-d	95.67ab	100.33a	66.07abc	50.66ab	5.88ab
76× CW	14.33a-d	94.00a	103.67ab	75.48a	51.13ab	5.45a-d
81× CW	11.33a	115.33def	120.33c	67.53abc	53.10ab	4.70d
85× CW	16.00a-d	116.67f	120.33c	57.03bc	53.45ab	4.90cd
90× CW	12.33a	104.00a-f	109.00 abc	69.72ab	53.45ab	5.42a-d
64× CW	13.00ab	100.00abc	106.33 abc	59.20abc	51.90ab	5.45a-d

در هر ستون میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

In each column, means followed by at least a common letter are not significantly difference at 5% probability level.

ادامه جدول ۳. مقایسه میانگین برخی صفات لاین‌های دابل هاپلوئید فلفل دلمه‌ای (با استفاده از آزمون تاپ‌کراس).

Continued table 3. Mean compression of some traits in doubled haploid (DH) lines of sweet pepper (using top-cross test).

DH line ×CW	Fresh fruit weight (g)	Dry fruit weight (g)	Seed no.	Fruit no./plant	Average yield/plant (Kg/plant)	Plant height (cm)
201× CW	62.78a	6.15a	96.35a	9.00ab	5.21bcd	103.07bc
223× CW	70.81a	6.76a	133.43a	8.00ab	4.66bcd	97.97bc
11× CW	53.76a	5.46a	113.24a	9.67ab	5.45abc	101.33bc
202× CW	58.04a	5.75a	109.50a	10.67ab	5.93abc	96.37c
210× CW	69.68a	7.59a	68.37a	6.33b	1.81d	118.80abc
214× CW	68.33a	6.32a	101.90a	8.00ab	4.24bcd	116.60abc
217× CW	67.00a	6.15a	139.53a	9.67ab	5.80abc	112.73abc
218× CW	78.24a	7.29a	125.20a	7.00ab	3.78bcd	117.00abc
24× CW	65.05a	6.47a	105.32a	8.33ab	4.55bcd	97.73bc
33× CW	59.52a	7.18a	89.64a	7.67ab	4.45bcd	146.93a
4× CW	70.67a	6.99a	116.67a	8.33ab	5.01bcd	106.97bc
42× CW	62.83a	6.15a	87.97a	6.67ab	2.64cd	129.50abc
46× CW	66.86a	6.44a	132.40a	8.00ab	4.27bcd	119.27abc
5× CW	67.53a	6.07a	110.47a	7.67ab	3.93bcd	97.13bc
53× CW	60.48a	6.78a	145.50a	10.00ab	5.99abc	113.07abc
54× CW	66.32a	6.42a	124.63a	8.67ab	4.83bcd	122.00abc
55× CW	65.51a	6.91a	143.83a	11.33a	8.58a	123.97abc
56× CW	59.82a	5.90a	75.15a	7.67ab	3.41cd	114.83abc
57× CW	46.29a	4.69a	70.22a	11.00ab	7.18ab	125.23abc
62× CW	70.08a	6.96a	73.80a	8.67ab	4.86bcd	113.20abc
76× CW	77.45a	7.71a	121.00a	6.67ab	3.02cd	120.40abc
81× CW	70.38a	6.82a	119.73a	8.00ab	4.62bcd	135.60ab
85× CW	61.07a	6.27a	103.04a	9.00ab	4.80bcd	115.93abc
90× CW	75.87a	7.46a	113.95a	9.33ab	5.69abc	122.73abc
64× CW	66.96a	7.12a	137.55a	10.33ab	7.22ab	96.50c

در هر ستون میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

In each column, means followed by at least a common letter are not significantly difference at 5% probability level.

جدول ۴. برآورد قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی برخی صفات لاین‌های دابل هاپلوئید فلفل دلمه ای.
Table 4. Estimation of general combining ability (GCA) of some traits of sweet pepper doubled haploid lines.

DH line ×CW	Days to seed germination	Days to flowering	Days to fruit set	Fruit length	Fruit width	Pericarp thickness	Fruit fresh weight	Fruit dry weight	Seed no.	Fruit no./plant	Average yield/plant	Plant height
201 × CW	-1.83	-3.07	-3.90	-4.96	-0.10	0.31	-2.87	-0.40	-13.99	0.37	0.34	-11.52
223 × CW	-0.83	-6.73	-7.56	-1.26	5.29	-0.19	5.16	0.22	23.09	-0.63	-0.21	-16.62
11 × CW	-1.83	-6.07	-6.23	-10.73	0.58	-0.52	-11.89	-1.09	2.90	1.04	0.58	-13.26
202 × CW	2.84	-4.40	-5.23	-2.22	-0.46	-0.10	-7.61	-0.80	-0.84	2.04	1.06	-18.22
210 × CW	3.84	3.27	2.10	3.91	0.56	-0.23	4.03	1.04	-41.97	-2.30	-3.07	4.21
214 × CW	-1.49	2.93	4.77	-1.72	-0.15	0.53	2.68	-0.23	-8.44	-0.63	-0.64	2.01
217 × CW	-1.49	9.27	8.44	4.57	0.13	-0.15	1.35	-0.40	29.19	1.04	0.93	-1.86
218 × CW	-0.16	0.27	-0.56	6.87	1.67	0.77	12.59	0.74	14.86	-1.63	-1.09	2.41
24 × CW	-2.16	-1.07	-1.56	1.60	-0.52	0.01	-0.60	-0.08	-5.02	-0.30	-0.33	-16.86
33 × CW	3.51	11.93	10.77	8.74	-3.23	-0.65	-6.13	0.63	-20.70	-0.96	-0.43	32.34
4 × CW	-2.83	-1.07	-0.23	1.08	-1.34	0.61	5.02	0.44	6.33	-0.30	0.13	-7.62
42 × CW	11.84	-0.40	2.77	-2.85	1.46	-0.24	-2.82	-0.41	-22.37	-1.96	-2.23	14.91
46 × CW	-0.49	-6.73	-6.90	-4.18	3.70	0.16	1.21	-0.10	22.06	-0.63	-0.60	4.68
5 × CW	-0.83	-0.73	-1.56	-1.50	1.31	0.57	1.88	-0.48	0.13	-0.96	-0.95	-17.46
53 × CW	-1.83	-2.07	-3.23	-7.11	0.66	-0.17	-5.17	0.23	35.16	1.37	1.11	-1.52
54 × CW	1.17	1.27	0.44	-5.35	3.62	-0.53	0.68	-0.13	14.29	0.04	-0.05	7.41
55 × CW	-0.16	5.27	4.44	-4.35	-2.62	0.23	-0.14	0.36	33.49	2.70	3.71	9.38
56 × CW	3.51	2.27	1.77	-4.06	-4.98	-0.16	-5.83	-0.65	-35.19	-0.96	-1.47	0.24
57 × CW	-1.49	-3.40	-3.23	-9.51	-5.20	-0.28	-19.36	-1.87	-40.12	2.37	2.31	10.64
62 × CW	-0.49	-8.73	-8.90	5.74	-1.70	0.57	4.43	0.41	-36.54	0.04	-0.01	-1.39
76 × CW	-0.83	-10.40	-5.56	15.15	-1.23	0.14	11.79	1.16	10.66	-1.96	-1.86	5.81
81 × CW	-3.83	10.93	11.10	7.20	0.74	-0.61	4.73	0.27	9.39	-0.63	-0.26	21.01
85 × CW	0.84	12.27	11.10	-3.30	1.09	-0.41	-4.58	-0.28	-7.30	0.37	-0.08	1.34
90 × CW	-2.83	-0.40	-0.23	9.39	1.10	0.11	10.22	0.90	3.61	0.70	0.81	8.14
64 × C. W	-2.16	-4.40	-2.90	-1.13	-0.46	0.14	1.32	0.56	27.21	1.70	2.34	-18.09

نتیجه‌گیری کلی

تولید ارقام هیبرید یکی از روش‌های اصلاحی کاربردی بوده که در گیاهانی مانند فلفل دلمه‌ای به ویژه در ایران روشی نو و در ابتدای مسیر محسوب می‌شود. از سوی دیگر تولید لاین با استفاده از روش هاپلوئیدی صرفه‌جویی موثر در هزینه و زمان را به دنبال دارد که دستیابی به لاین‌های متعدد و غیر یکنواخت از لحاظ ژنتیکی را میسر می‌سازد که خود امتیاز مثبت دیگری است. در این پژوهش، از ۳۲ لاین دابل هاپلوئید فلفل دلمه‌ای ایجاد شده به روش جنین‌زایی میکروسپور و ارزیابی قدرت ترکیب‌پذیری عمومی آن‌ها، لاین‌های ۵۵، ۶۴، ۵۷، ۵۳، ۲۰۲، ۲۱۷ و ۹۰ با بیشترین میزان متوسط عملکرد میوه شناسایی شدند و وراثت‌پذیری نیز در تمامی صفات مطالعه شده بالای ۷۰ درصد بود. به علاوه، لاین‌های فوق بیشترین میزان ترکیب‌پذیری عمومی را نیز به خود اختصاص دادند. این لاین‌های دابل هاپلوئید انتخابی را می‌توان برای توسعه هیبریدهای برتر در فلفل دلمه‌ای مورد بهره برداری قرار داد. از سایر لاین‌ها نیز می‌توان با توجه به هدف و نیاز برنامه‌های اصلاحی متنوع، بهره لازم را برد. بنابراین مطالعه حاضر خاطرنشان کرد که لاین‌های امیدبخش فوق می‌توانند برای توسعه هیبریدهای فلفل دلمه‌ای زودبازده و پربازده مناسب برای کشت گلخانه‌ای مورد مطالعات ترکیب‌پذیری خصوصی و مقایسه با ارقام تجاری به منظور معرفی هیبریدهای جدید قرار گیرند.

سپاسگزاری

این تحقیق بخشی از پایان نامه دوره دکتری گروه اصلاح نباتات دانشگاه آزاد اسلامی-واحد کرج می‌باشد که با حمایت پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی ایران تحت پروژه شماره ۰۴-۰۵-۰۵-۰۰۴-۹۵۰۰۵۰ انجام گرفت.

REFERENCES

1. Adday, H. A. (2017). Estimation of heterosis, combining ability and some genetic parameters in sweet pepper. *Journal of Plant Production*, 8(5), 629-633.

2. Aditika, Kanwar, H.S., Priyanka, Singh, Sh. & Singh, Sa. (2020). Heterotic potential, potence ratio, combining ability and genetic control of quality and yield traits in bell pepper under net-house conditions of NW Himalayas. *Agricultural Research*, 9, 526- 535.
3. Airina, C.K., Pradeepkumar, T. & Krishnan, S. (2017). Combining ability studies exploiting gynoecy in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Electronic Journal of Plant Breeding*, 8(2), 724-731.
4. Aiswarya, C. S., Vijeth, S., Sreelathakumary, I. & Prashant, K. (2020). Diallel analysis of chilli pepper (*Capsicum annuum* L.) genotypes for morphological and fruit biochemical traits. *Plants*, 9(1), 1.
5. Chaudhary, A., Kumar, R. & Solankey, SS. (2013). Estimation of heterosis for yield and quality components in chilli (*Capsicum annuum* L.). *African Journal of Biotechnology*. 12(47): 6605-6610.
6. Çiner, D.Ö. & Tipirdamaz, R. (2002). The effects of cold treatment and charcoal on the *in vitro* androgenesis of pepper (*Capsicum annuum* L.). *Turkish Journal of Botany*, 26, 131-139.
7. Dagnoko, S., Yaro-Diarisso, N., Sanogo, P. N., Adetula, O., Dolo-Nantoumé, A., Gamby-Touré, K., Traoré-Théra, A., Katilé, S. & Diallo-Ba, D. (2013). Overview of pepper (*Capsicum* spp.) breeding in West Africa. *African Journal of Agricultural Research*, 8(13), 1108-1114.
8. Devi, M.B., Pathania, N., & Thakur, N. (2018). Estimation of genetic variability, GCA and SCA effects for development of early and high yielding bell pepper hybrids suitable for protected cultivation. *Journal of Applied and Natural Science*, 10(1), 410-416.
9. Enayati Shariatpanahi, M. & Emami Meybodi, D. (2009). Microspore: Haploid cell with variety of applications in genetic and plant breeding. *Modern Genetics*, 3, 5-16. (In Farsi).
10. Enayati Shariatpanahi, M. & Zare Bayti, A. (2020). Capsicum production, varieties and nutrition. *Nova Science Publishers Inc.* Chapter 4: 131-156.
11. Enayati Shariatpanahi, M., Bal, U., Heberle-Bors, E. & Touraev, A. (2006). Stresses applied for the re-programming of plant microspores towards *in vitro* embryogenesis. *Physiologia Plantarum*, 127, 519-534.
12. Ene, C.O., Ogbonna, P.E., Agbo, C.U. & Chukwudi, U.P. (2019). Heterosis and combining ability in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Information Processing in Agriculture*, 6 (1), 150-157.
13. Falconer, D.S. & Mackay, T.F.C. (1996). Introduction to quantitative genetics. *Pearson Education, Harlow*
14. Gamborg, O.L., Miller, R.A. & Ojima, K. (1968). Nutrient requirements of suspension cultures of soyabean root cells. *Experimental Cell Research*, 50, 151-158.
15. Greenleaf, W.H. (1986). Breeding vegetable crops, Pepper breeding. Basset MJ (ed.). *The AVI Publishing Company Inc.* Westport, Connecticut. Chapter 3: 67-134.
16. Grubben, G.J.H. & El Tahir, I.M. (2004). "*Capsicum annuum* L." In: Grubben, G. J. H. and O. A. Denton (eds.). *PROTA 2: Vegetables/Légumes.* [CDRom]. PROTA, Wageningen, 154-163.
17. Keshavarz, S., Bagheri, M., Ghanbari, A.A. & Mousavi, S.H. (2015). Comparison of pure lines selected from local landraces of pepper (*Capsicum annuum* L.). *Seed and Plant Improvement Journal*, 31-1 (3), 403- 419. (In Farsi).
18. Kumar, S., Kumar, R., Kumar, D., Gautam, N., Singh, N., Parkash, C., Dhiman, M.R. & Shukla, Y.R. (2017). Heterotic potential, potence ratio, combining ability and genetic control of yield and its contributing traits in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 45(3), 175- 190.
19. Lemma, D. (1998). Seed production guideline for tomatoes, onion and hot pepper. *IAR, Addis Ababa.* 1-22.
20. Marame, F., Dessalegne, L., Fininsa, C. & Sigvald, R. (2009). Heterosis and heritability in crosses among Asian and Ethiopian parents of hot pepper genotypes. *Euphytica*, 168, 235-247.
21. Mirarab, M., Ahmadikhah, A. & Pahlavani, M.H. (2011). Study on combining ability, heterosis and genetic parameters of yield traits in rice. *African Journals of Biotechnology*, 10(59), 12512-12519.
22. Miri, S.M. (2020). Artificial polyploidy in the improvement of horticultural crops. *Journal of Plant Physiology and Breeding*, 10(1), 1-28.
23. Mohammadi, M., Saidi, M. & Khademi, O. (2018). Evaluation of effect of gibberellins and calcium spray in different growth stages on some qualitative and quantitative traits of sweet pepper. *Iranian Journal of Horticultural Science,* 48(4), 823-832. (In Farsi).
24. Moradi Dezfouli, P., Sedghi, M., Enayati Shariatpanahi, M. & Alizade, B. (2017). Production of doubled haploid lines in rapeseed (*Brassica napus* L.) via microspore embryogenesis and evaluation of general combining ability of the lines for morphological and yield traits. *Crop Biotechnology*, 18, 1-14. (In Farsi).
25. Moslemi, F.S., Olfati, J. & Hamidoghli, Y. (2019). The evaluation of cross progeny between elite lines and commercial hybrid 'Negeen'. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 50(3), 539-548. (In Farsi).

26. Mule, P.N., Khandelwal, V., Lodam V.A., Shinde D.A., Patil P.P. & Patil A.B. (2012). Heterosis and combining ability in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Madras Agriculture Journal*, 99 (7-9), 420- 423.
27. Nduwumuremyi, A., Tongoona, P. & Habimana, S. (2013). Mating designs: helpful tool for quantitative plant breeding analysis. *Journal of Plant Breeding and Genetics*, 1(3), 117-129.
28. Niazian, M. & Shariatpanahi, M.E. (2020). *In vitro*-based doubled haploid production: recent improvements. *Euphytica*, 216 (69), 1- 21.
29. Retes-Manjarrez, J.E., Hernández-Verdugo, S., Evrard, A. & Garzón-Tiznado, J.A. (2017). Heritability of the resistance to pepper huasteco yellow vein virus in wild genotypes of *Capsicum annuum*. *Euphytica*, 213, 275.
30. Rodrigues, R. Gonçalves, LSA., Bento, CS., Sudré, CP., Robaina, RR. & Amaral Júnior, AT. (2012). Combining ability and heterosis for agronomic traits in chili pepper. *Horticultura Brasileira* 30: 226-233.
31. Rohini, N., Lakshmanan, V., Saraladevi, D., Amalraj, J.J & Govindaraju, P. (2017). Assessment of combining ability for yield and quality components in hot pepper (*Capsicum annuum* L.). *Spanish Journal of Agriculture Research*, 15(2), 1-12.
32. Shen, J., Dirks, R. & Havey, M.J. (2015). Diallel crossing among doubled haploids of cucumber reveals significant reciprocal-cross differences. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 140(2), 178-182.
33. Sprague, G.F. & Tatum, L.A. (1942). General versus specific combining ability in single crosses of corn. *Agron Journal*, 34, 923- 932.
34. Testoni, A. Eccher Zerbini, P. & Sozzi, A. (1983). Objective quality evaluation of fruit of some sweet pepper varieties for fresh consumption. In: Belletti, P., Nassi, M. O. & Quagliotti, L. (eds.) Capsicum Newsletter 2: 73-74. *Institute of Plant Breeding and Seed Production*. Turin, Italy
35. Usman, Magaji G., Rafii, M.Y., Ismail, M.R., Malek, M.A. & Abdul Latif, M. (2014). Heritability and Genetic Advance among Chili Pepper Genotypes for Heat Tolerance and Morphophysiological Characteristics. *The Scientific World Journal,* 1-14.