

مطالعه قابلیت ترکیب‌پذیری و برآورد اثرات ژن در برخی صفات لاین‌های اینبرد ذرت شیرین (*Zea mays L. var saccharata*) به‌روش تلاقی لاین × تستر

علی برزگری^۱، سعید ملک‌زاده شفاوردی^۲، سعید خاوری خراسانی^{۳*} و فرج‌اله شهریار احمدی^۴

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه به‌نژادی و بیوتکنولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد
- ۲- دانشیار، گروه به‌نژادی و بیوتکنولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد
- ۳- استادیار، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، مشهد
- ۴- استاد، گروه به‌نژادی و بیوتکنولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۱۰ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۰۴)

چکیده

دستیابی به نتایج مطلوب در برنامه‌های به‌نژادی گیاهی، نیازمند انتخاب آگاهانه والدین بر اساس قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی و نوع اثرات ژن‌ها می‌باشد. به‌منظور برآورد اجزای واریانس ژنتیکی و قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی لاین‌های ذرت شیرین، آزمایشی با استفاده از ۸ لاین اینبرد S6 ذرت شیرین (شامل ۴ لاین مادری و ۴ والد پدری) با استفاده از طرح ژنتیکی لاین × تستر در سال ۱۳۹۸ در ایستگاه طرق مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی انجام شد. ترکیبات تست‌کراس حاصل از این تلاقی‌ها برای شرکت در آزمون نتاج در یک طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در سال ۱۳۹۹ مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج تجزیه لاین × تستر نشان داد اثر لاین، تستر و لاین × تستر برای اکثر صفات اندازه‌گیری شده دارای اختلاف معنی‌دار بودند ($p < 0.05$). تغییرات نسبت $\sigma_{gca}^2/\sigma_{sca}^2$ برای صفت عملکرد دانه برابر با ۰/۱ برآورد گردید و نشان داد که هر دو اثر افزایشی و غالبیت در کنترل این صفت نقش دارند، اما سهم اثر غالبیت بیشتر بود. نتایج تحقیق نشان داد ترکیب‌پذیری عمومی لاین‌های L3 و T1 برای صفت عملکرد دانه با اثر GCA مثبت و معنی‌دار برآورد گردید. همچنین نتایج عملکرد دانه نشان داد که ترکیبات L3 × T1، L2 × T4 و L4 × T1 به ترتیب با میانگین عملکرد بلال سبز ۳۳/۹۶، ۳۰/۴۷ و ۲۷/۸۵ تن در هکتار برترین هیبریدها بودند. این ترکیبات می‌توانند به‌عنوان هیبریدهایی با پتانسیل عملکرد بالا در برنامه‌های اصلاحی پیشرفته برای تولید و معرفی ارقام جدید ذرت شیرین مورد استفاده گیرند.

واژگان کلیدی: ذرت شیرین، اینبرد لاین، عملکرد دانه، ترکیب‌پذیری، اثر ژن

* نویسنده مسئول، آدرس پست الکترونیکی: s.khavari@areo.ir

یکی از اولین برنامه‌های اصلاحی لاین‌های اینبرد، برای به‌نژادی ذرت، ارزیابی ترکیب‌پذیری‌ها در نسل‌های اولیه می‌باشد. اصولاً قابلیت ترکیب‌پذیری و اثرات ژن نقش معنی‌داری در اصلاح مواد ژنتیکی ایفا می‌کند. به‌علاوه طرح تلاقی لاین × تستر که توسط کمپتون در سال ۱۹۵۷ پیشنهاد شد، یکی از ابزارهای قدرتمند برای ارزیابی ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی لاین‌ها است که بر اساس نتایج حاصل از تلاقی‌ها، به انتخاب والدین مطلوب برای تولید هیبریدهای تجاری کمک می‌کند (EI- Degwy et al., 2014).

به‌طور کلی، توانایی ترکیب‌پذیری عمومی (General combining ability, GCA) و توانایی ترکیب‌پذیری خصوصی (Specific combining ability, SCA)، ارزش‌های ژنتیکی بالقوه منابع اصلاح‌شده را برای تولید هیبرید را اندازه‌گیری می‌کنند. ژن‌هایی که دارای اثرات افزایشی هستند GCA و ژن‌هایی که دارای اثرات غالبیت و اپیستازی هستند SCA تولید می‌کنند؛ بنابراین می‌توان گفت که برآورد ترکیب‌پذیری عمومی (GCA) و ترکیب‌پذیری خصوصی (SCA) نسبت به مجموعه مشخصی از لاین‌های اصلاحی آزمایش شده بستگی دارد (Debesa Gobu, 2021).

برای بهبود ژنتیکی صفت عملکرد، ضروری است تا تلاقی‌های با پتانسیل ترکیب‌پذیری پایین حذف شوند و همچنین والدین در برنامه‌ی به‌نژادی در گروه‌های هتروژیک قرار گیرند. ارزیابی اثرات ژن در هر یک از صفات مؤثر بر میزان عملکرد، نقش مهمی در انتخاب روش‌های به‌نژادی ایفا می‌کند. اینکه قابلیت ترکیب‌پذیری والدین مشخص باشد کاربرد زیادی در تعیین والدین از لحاظ عملکرد هیبریدهای آن‌ها دارد (Ravikesavan et al. 2020).

روسواندی و همکاران (Ruswandi et al. 2021)، در یک آزمایش برای بررسی کارایی طرح تلاقی لاین × تستر نشان دادند که یک تستر خالص‌شده بهتر از یک تستر

هتروژیکوس حاصل از تلاقی ژنوتیپ‌های مختلف عمل خواهد کرد.

در پژوهشی دیگر برای بررسی توانایی ترکیب‌پذیری ۲۳ لاین اینبرد ذرت شیرین، لاین‌ها به‌صورت ۳ تستر و ۲۰ لاین، در یک طرح آزمایشی به روش لاین × تستر تلاقی داده شدند. ارزیابی ۶۰ ترکیب حاصل از تلاقی لاین‌ها نشان داد که توانایی ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی برای همه صفات معنی‌دار بود که این امر وجود اثرات غالبیت و افزایشی را در کنترل صفات مربوطه نشان داد (Revilla et al. 2021).

منکیر و همکاران (Mankir et al., 2004) واریانس معنی‌داری برای لاین‌ها در صفات ارتفاع بوته، ارتفاع بلال و روز تا ظهور تاسل و کاکل به‌دست آوردند و واریانس معنی‌داری برای اثر متقابل لاین × تستر برای صفات ارتفاع بوته و روز تا ظهور تاسل به‌دست آوردند.

بنایی و همکاران (Banaii et al., 2016) در تحقیقی بر روی برآورد اثرات ژن‌ها در لاین‌های ذرت نتیجه گرفتند که در تنش شوری اثر لاین × تستر فقط در صفات تعداد کل برگ و تعداد روز تا ظهور ۵۰ درصد کاکل غیرمعنی‌دار بود. واریانس افزایشی برای صفات تعداد روز تا ظهور ۵۰ درصد کاکل و تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک در شرایط کنترل بیشتر از واریانس غالبیت ارزیابی شد که نسبت بیشتر از یک واریانس افزایشی به واریانس غیرافزایشی نیز گویای این مطلب بود.

آسیف و همکاران (Asif et al., 2014) در تحقیقی میزان ترکیب‌پذیری عملکرد و اجزای آن را بر روی ذرت دانه‌ای با استفاده از روش تجزیه لاین × تستر به‌دست آوردند.

هدف مطالعه حاضر، برآورد قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی لاین‌های S6 ذرت شیرین و تخمین نوع اثرات ژنی عملکرد دانه کنسروی و صفات وابسته، با استفاده از طرح تلاقی لاین × تستر می‌باشد. با استفاده از این روش، لاین‌های والدینی دارای ترکیب‌پذیری مناسب شناسایی شده و برای تولید هیبریدهای سینگل کراس تجاری مورد استفاده قرار می‌گیرند.

مواد و روش‌ها

آزمایشی انتخاب و خصوصیات مربوط به اجزای عملکرد، شامل طول بلال، قطر بلال، تعداد ردیف دانه، تعداد دانه در ردیف اندازه‌گیری و ثبت شد. سپس دانه‌ها از سطح چوب‌بلال تراشیده و تعیین وزن چوب‌بلال بر روی باسکول انجام شد. در نهایت برداشت علوفه کرت با کف‌بر کردن بوته‌ها از سطح زمین صورت پذیرفت.

پس از ثبت داده‌ها در نرم‌افزار اکسل تجزیه و تحلیل اطلاعات از طریق روابط ۱ تا ۱۲ با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۲ انجام شد.

مجموع مربعات تکرار

$$SS_R = \frac{\sum Y_{.k}^2}{mf} - \frac{Y_{...}^2}{rmf} \quad (\text{رابطه ۱})$$

مجموع مربعات لاین‌ها

$$SS_L = \frac{\sum Y_{i.}^2}{rf} - \frac{Y_{...}^2}{rmf} \quad (\text{رابطه ۲})$$

مجموع مربعات تسترها

$$SS_T = \frac{\sum Y_{.j}^2}{rm} - \frac{Y_{...}^2}{rmf} \quad (\text{رابطه ۳})$$

مجموع مربعات لاین × تستر

$$SS_{L \times T} = \frac{\sum Y_{ij.}^2}{r} - \frac{\sum Y_{i.}^2}{rf} - \frac{\sum Y_{.j}^2}{rm} + \frac{Y_{...}^2}{rmf} \quad (\text{رابطه ۴})$$

$$\sigma_{gca}^2 = \text{CovHS} = \frac{1}{2} \sigma_A^2 \quad (\text{رابطه ۵})$$

$$\sigma_{gca}^2 = \sigma_A^2 + \sigma_D^2 - \frac{1}{2} \sigma_A^2 - \frac{1}{2} \sigma_A^2 = \sigma_D^2 \quad (\text{رابطه ۶})$$

$$\sigma_A^2 = 2 \sigma_{gca}^2 \quad (\text{رابطه ۷})$$

برآورد اثر ترکیب‌پذیری عمومی تسترها و لاین‌ها به شرح زیر محاسبه شد:

$$GCA_{Line} = \hat{g}_i = \frac{Y_{i.}}{tr} - \frac{Y_{...}}{ltr}, \sum \hat{g}_i = 0 \quad (\text{رابطه ۸})$$

$$SE \hat{S}_{ij} = \left(\frac{MSE}{rt} \right)^{1/2} \quad (\text{رابطه ۹})$$

$$SE (\hat{S}_{ij} - \hat{S}_{kl}) = \left(2 \frac{MSE}{r} \right)^{1/2} \quad (\text{رابطه ۱۰})$$

$$GCA_{Tester} = \hat{g}_j = \frac{Y_{.j}}{lr} - \frac{Y_{...}}{ltr}, \sum \hat{g}_j = 0 \quad (\text{رابطه ۱۱})$$

$$SCA = S_{ij} = \frac{Y_{ij.}}{lr} - \frac{Y_{i.}}{tr} - \frac{Y_{.j}}{lr} + \frac{Y_{...}}{ltr}, \quad \sum_i S_{ij} = \sum_j S_{ij} = \sum_i \sum_j S_{ij} = 0 \quad (\text{رابطه ۱۲})$$

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه حاکی از وجود تفاوت بسیار معنی‌دار ($p < 0.01$) بین هیبریدهای ذرت شیرین به‌دست آمده از تلاقی لاین‌ها × تسترها بود (جدول ۱)؛ بنابراین اثرات تلاقی یا ترکیب تست‌کراس به

در این تحقیق که با هدف بررسی ترکیب‌پذیری و اثرات ژن در لاین‌های اینبرد ذرت شیرین، انجام شد، ۸ لاین اینبرد ذرت شیرین S6 (شامل ۴ لاین مادری و ۴ والد پدری) با استفاده از طرح ژنتیکی لاین × تستر در سال ۱۳۹۸ با هم تلاقی داده شدند. ترکیبات حاصل از تلاقی‌ها در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در سال ۱۳۹۹ در ایستگاه طرق مشهد واقع در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی کشت شده و مورد ارزیابی قرار گرفتند. شایان‌ذکر است که لاین‌های خالص ذرت شیرین مورد استفاده در سال‌های قبل از طریق خودگشنی اجباری از هیبریدهای نسل اول ذرت‌های شیرین خارجی عمدتاً با منشأ اروپایی استخراج شده بودند. در سال اول اجرای طرح، بذر ۸ لاین مختلف ذرت شیرین شامل چهار وارپته به‌عنوان آزمون‌کننده (Tester) و چهار وارپته به‌عنوان لاین آزمون‌شونده (Testing) که تا مرحله S6 خالص‌شده بودند، در ردیف‌هایی به طول ۵ متر با فاصله‌ی بین و روی ردیف به‌ترتیب ۷۵ و ۲۰ سانتی‌متر با تراکم ۷/۵ بوته در مترمربع، کشت شدند. بذوری که در سال اول از تلاقی بین تسترها و لاین‌های مادری حاصل شده بودند، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۶ تیمار (۱۶ ترکیب حاصل شده از انجام تلاقی بین ۴ والد مادری و ۴ والد پدری) در ۳ تکرار کشت شدند. پس از مرحله شروع گل‌دهی در سال دوم اجرای آزمایش، خصوصیات مورفولوژیک، شامل تعداد کل برگ‌ها، تعداد برگ بالای بلال اصلی، قطر ساقه، قطر بلال، عمق دانه، تعداد شاخه‌های فرعی گل‌تاجی، ارتفاع بوته و ارتفاع گل‌تاجی بر روی ۸ بوته تصادفی رقابت‌کننده در هر کرت اندازه‌گیری و ثبت شدند. در مرحله نمودی اوایل خمیری شدن دانه‌ها در هر کرت که معمولاً دانه‌ها دارای ۶۰-۷۰ درصد رطوبت هستند، ابتدا تعداد بوته برداشتی شمارش و پس از حذف اثرات حاشیه، کلیه بلال‌های هر کرت برداشت و توزین شدند. سپس ۸ بلال به‌صورت تصادفی از هر کرت

اجزای آن یعنی لاین، تستر و لاین \times تستر تجزیه شد تا بتوان اثرات ژنی را با توجه به نقش والدین شرکت کننده در تلاقی برای صفات مورد بررسی تجزیه و تحلیل و برآورد نمود. اثر لاین برای اکثر صفات مورد بررسی به جز تعداد ردیف دانه، طول بلال، تعداد بلال در بوته و شاخص برداشت معنی دار برآورد گردید (جدول ۱)؛ بنابراین می توان گفت که اثر والد مادری در انتقال اکثر صفات مورد مطالعه مؤثر بوده است. از سویی اثر تستر برای بیش از نیمی از صفات مورد بررسی، یعنی ارتفاع بوته، قطر بلال، تعداد ردیف دانه، عملکرد دانه و شاخص برداشت معنی دار برآورد شد (جدول ۱)؛ بنابراین در ارزیابی اولیه نقش لاین ها در غربالگری ترکیبات بیشتر از تسترها می باشد.

در خصوص اثر متقابل لاین در تستر به عنوان مهم ترین جزء تجزیه ژنتیکی لاین \times تستر تفاوت معنی دار ($p < 0.05$) یا خیلی معنی دار ($p < 0.01$) برای بیشتر صفات به جز تعداد دانه در ردیف و تعداد بلال در بوته برآورد شد (جدول ۲)؛ بنابراین با توجه به نتایج اولیه حاصل شده از انجام آزمایش می توان انتظار داشت که اجزای واریانس ژنتیکی در رابطه با ارزیابی صفات مختلف تفرق مطلوبی نشان دهند. برآورد اثرات ژنی و قابلیت ترکیب پذیری برای صفات اندازه گیری شده به شرح زیر بود:

ارتفاع بوته: نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس نشان داد که بین تلاقی ها برای صفت ارتفاع بوته اختلاف معنی داری وجود داشت (جدول ۱). تجزیه واریانس به دست آمده این صفت به اثرات لاین، تستر و لاین \times تستر نشان داد که واریانس ها برای تمام اثرات فوق الذکر معنی دار می باشند. این تفاوت ها بیانگر این است که در کنترل ارتفاع بوته هر دو اثرات افزایشی و غالبیت نقش دارند. محاسبه نسبت $\sigma_{gca}^2 / \sigma_{sca}^2$ برای این صفت نشان داد که اثرات غیرافزایشی دارای اثر بیشتر بر کنترل ژن های دخیل در ارتفاع ذرت شیرین می باشند (جدول ۲). به دلیل بالا بودن هر دو نوع وراثت پذیری عمومی و خصوصی این صفت در کنار نقش بیشتر اثرات غالبیت می توان از طریق روش های مبتنی بر هیبریداسیون و استفاده از قابلیت هتروزیس تا حد زیادی آن

را به نسل بعد منتقل کرد. لاین های L4 و L2 دارای بیشترین اختلاف معنی دار از نظر اثر GCA برای این صفت بودند. در میان تسترها بیشترین اثر مثبت و معنی دار به والد T1 اختصاص یافت. ترکیب $L1 \times T1$ بیشترین اثر SCA مثبت و معنی دار را برای این صفت به خود اختصاص داد (جدول ۴). میسویک (1989, Misevic)، در مطالعه ای روی هفت واریته آزاد گرده افشان ذرت، نشان داد که سهم غالبیت ژن ها برای عملکرد دانه و ارتفاع بوته مهم تر از اثرات افزایشی است که با یافته های این تحقیق مطابقت دارد.

تعداد برگ کل بوته: لاین های L2 و L4 و تسترهای T1 و T4 دارای بیشترین اثر GCA برای این صفت در میان لاین های شرکت کننده در آزمایش بودند که از این میان لاین های L1 و L4 به ترتیب دارای اثر مثبت و منفی معنی دار برای اثر GCA بودند. ترکیب $L2 \times T4$ دارای بیشترین ترکیب پذیری خصوصی مثبت و غیر معنی دار برای این صفت بود (جدول ۴).

قطر ساقه: صفت قطر ساقه یک صفت مؤثر بر عملکرد دانه می باشد، به طوری که معمولاً هر چه قطر ساقه بوته ها بیشتر باشد، انتقال مواد غذایی و آسمیلات ها بین قسمت های مختلف گیاه بهتر صورت می گیرد. بررسی ها نشان داد که اختلاف بین تیمارها برای اثر لاین \times تستر ($p < 0.01$) و برای اثر لاین ($p < 0.05$) معنی دار بود (جدول ۲). لاین های L1 و L2 به ترتیب دارای بالاترین میزان ترکیب پذیری عمومی مثبت و منفی معنی دار برای این صفت بودند. تسترهای T1 و T4 نیز به ترتیب بیشترین اثر GCA مثبت و منفی معنی دار را به عنوان والدین پدری شرکت کننده در تلاقی ها به خود اختصاص دادند (جدول ۴). با بررسی اثرات ترکیب پذیری خصوصی مشخص شد ترکیبات $L2 \times T4$ و $L2 \times T3$ به ترتیب برترین هیبریدهای دارای اثر SCA مثبت و منفی معنی دار برای صفت قطر ساقه بودند.

عملکرد دانه: مهم ترین هدف از انجام هر برنامه اصلاحی افزایش عملکرد است؛ بنابراین افزایش عملکرد دانه کنسروی به عنوان هدف نهایی از اصلاح این گیاه در نظر گرفته می شود. بررسی نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر لاین و لاین \times تستر برای عملکرد دانه معنی دار بود (جدول ۱).

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس آماری عملکرد و صفات وابسته در ترکیبات تست کراس ذرت شیرین

Table 1. Analysis of variance for yield and related traits of sweet corn test cross combinations

منبع تغییر	درجه آزادی	صفات (Traits)											
		طول Ear length	بال به Ear per plant	عملکرد Grain yield	عملکرد Ear yield	عملکرد Forage yield	شاخص Harvest index	ارتفاع Plant height	تعداد برگ Leaves per plant	قطر Stem diameter	قطر Ear diameter	تعداد دانه No. of kernel per row	تعداد ردیف دانه No. of kernel row
تکرار Rep	2	1.07 ^{ns}	0.14 ^{ns}	1.65 ^{ns}	34.49 ^{ns}	48.05 ^{ns}	1.50 ^{ns}	72.89 ^{ns}	0.47 ^{ns}	0.41 ^{ns}	41.15 ^{**}	0.31 ^{ns}	0.34 ^{ns}
تلافی Cross	15	3.04 ^{**}	0.22 ^{**}	100.41 ^{**}	342.75 ^{**}	138.48 ^{**}	46.74 ^{**}	1233.41 ^{**}	1.53 ^{**}	7.98 ^{**}	34.35 ^{**}	11.08 ^{**}	3.45 ^{**}
لاین Line	3	5.87 ^{ns}	0.34 ^{ns}	162.58 [*]	795.96 ^{**}	399.47 ^{**}	49.62 ^{ns}	2885.35 ^{**}	3.76 ^{**}	14.08 [*]	31.72 [*]	22.63 ^{**}	3.14 ^{ns}
تستر Tester	3	2.85 ^{ns}	0.33 ^{ns}	197.08 [*]	505.87 [*]	90.91 ^{ns}	97.80 [*]	2097.85 ^{**}	1.35 ^{ns}	12.05 ^{ns}	117.36 ^{**}	13.04 ^{ns}	10.00 ^{**}
لاین × تستر Line × Tester	9	2.17 [*]	0.15 ^{ns}	47.47 [*]	137.34 [*]	67.34 [*]	28.75 ^{**}	394.61 ^{**}	0.86 [*]	4.58 ^{**}	7.55 [*]	6.58 ^{ns}	1.37 [*]
خطا Error	30	0.65	0.05	10.98	39.94	16.81	6.11	77.31	0.27	0.79	2.47	2.52	0.34
ضریب تغییرات (درصد) Coefficient of variation (%)		4.79	17.70	15.62	16.43	23.82	16.65	4.73	4.66	4.61	3.71	4.60	3.47

^{ns}, * و **: به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

^{ns}, * and **: Non significant, significant at 5% and 1% probability levels, respectively

جدول ۳- برآورد ترکیب پذیری عمومی (GCA) هیبریدها بر اساس طرح تالافی لاین × تستر لاین های اینبورد ذرت شیرین

Table 3. Estimation of general combining ability (SCA) for hybrids using line × tester mating design in sweet corn inbred lines

لاین Line	صفات (Traits)											
	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد برگ Leaves per plant	قطر ساقه Stern diameter (cm)	قطر بادل (سانتی متر) Ear diameter (cm)	تعداد دانه No. of kernel per row	تعداد ردیف دانه No. of kernel row	طول بادل Ear length (cm)	بادل به بوته دانه Ear per plant (tha)	صمغک دانه Grain yield (tha)	صمغک بادل Ear yield (tha)	صمغک علوفه Forage yield (tha)	تستر
لاین ۱ (Line1)	-12.35*	-0.49*	-1.17*	-2.13*	-1.15	-0.76*	-10.58**	-0.62	-0.22*	-5.28*	-5.30*	۱
لاین ۲ (Line2)	8.14*	0.78*	1.24*	1.68*	0.811	0.22	9.08*	-0.54	-0.01	0.87	8.21**	۲
لاین ۳ (Line3)	-13.60*	0.01	0.50	0.68	1.45*	0.27*	2.05	0.81*	0.07	3.26*	-1.21	۳
لاین ۴ (Line4)	17.81**	-0.29	-0.57	-0.23	0.75	0.26	-0.54	0.35	0.16	1.15	-1.70	۴
S.E. (line)	2.53	0.15	0.25	0.45	0.45	0.17	1.82	0.23	0.06	0.95	1.18	
S.E. (g ⁻¹ g ⁻¹)	3.59	0.21	0.36	0.64	0.64	0.24	2.58	0.32	0.09	1.35	1.67	
تستر ۱ (Tester1)	17.89**	0.41	0.88*	1.35	-1.06	-1.15*	8.49*	0.29	0.24*	5.39*	3.10	۱
تستر ۲ (Tester2)	-0.10	-0.02	0.44	-2.12*	-0.26	0.91	-1.94	-0.61	-0.06	-2.64	0.70	۲
تستر ۳ (Tester3)	-13.68**	0.01	0.09	-2.98**	-0.10	-0.26*	-7.09*	-0.16	-0.12	-3.54*	-3.54	۳
تستر ۴ (Tester4)	-4.10	-0.4	-1.42*	3.75**	1.43	0.50	0.54	0.47	-0.05	0.80	-0.25	۴
S.E. (tester)	2.84	0.23	0.19	0.39	0.52	0.14	1.70	0.23	0.04	1.06	1.35	
S.E. (g ⁻¹ g ⁻¹)	4.03	0.18	0.41	0.54	0.74	0.21	2.30	0.19	0.09	1.33	1.72	

جدول ۴- برآورد ترکیب پذیری خصوصی (SCA) هیبریدها بر اساس طرح تلافی لاین × تستر لاین های اینبرد ذرت شیرین

Table 4. Estimation of specific combining ability (SCA) of hybrids using line × tester design in sweet corn inbred lines

ترکیب Cross	صفات (Traits)													
	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد برگ Leaves per plant	قطر ساقه Stem diameter (cm)	قطر بلال Ear diameter (cm)	تعداد دانه No of kernel per row	تعداد No of kernel row	رديف دانه No of kernel row	طول بلال Ear length (cm)	بلال به Ear per plant	عسکر دانه Grain yield (t/ha)	عسکر بلال Ear yield (t/ha)	عسکر علوفه Forage yield (t/ha)	شاخص Harvest index	
L1×T1	18.08*	-0.3	0.05	-0.57	2.86	-0.26	0.43	0.01	-1.08	1.50	2.58	-1.39		
L2×T1	-3.81	0.28	0.50	0.90	-0.53	0.12	-0.44	-0.06	-3.06	-2.24	0.81	-3.03		
L3×T1	-5.72	0.09	-0.20	1.11	-1.10	0.15	-0.54	0.11	4.07*	0.26	-3.81	4.04		
L4×T1	-8.47	-0.07	-0.35	-1.44	-1.22	0.08	0.55	-0.05	0.07	0.48	0.41	0.38		
L1×T2	-12.64	-0.29	-0.16	0.30	-2.27	-0.91	-0.02	-0.02	0.78	-1.07	-1.85	0.43		
L2×T2	-1.14	0.01	-0.93	-0.71	0.64	0.96	-0.99	-0.19	-2.70	0.86	3.56	-1.70		
L3×T2	13.60	0.36	1.19	-1.59	1.32	0.26	1.08	0.22	1.12	3.45	2.32	0.37		
L4×T2	0.18	-0.08	-0.10	1.99	0.29	-0.31	-0.07	-0.01	0.79	-3.24	-4.03	0.89		
L1×T3	-6.06	0.33	0.52	2.05	-0.57	0.98	-0.74	0.04	2.60	5.08	2.47	1.82		
L2×T3	-5.89	-0.93	-1.74	-0.75	-0.24	-0.81	0.26	-0.16	-1.80	-10.79*	-8.98*	-0.29		
L3×T3	2.18	0.12	0.18	0.08	0.10	-0.14	0.27	-0.06	-3.34	-0.33	3.01	-3.33		
L4×T3	9.77	0.47	1.02	-1.38	0.71	-0.03	0.21	0.19	2.54	6.04	3.50	1.80		
L1×T4	0.68	0.25	-0.42	-1.79	-0.02	0.29	0.33	-0.02	-2.30	-5.51	-3.21	-0.86		
L2×T4	10.85	0.64	2.16*	0.56	0.13	-0.28	1.17	0.42*	7.56*	12.18*	4.61	5.05*		
L3×T4	-10.06	-0.58	-1.17	0.39	-0.32	-0.28	-0.81	-0.27	-1.85	-3.37	-1.52	-1.08		
L4×T4	-1.47	-0.32	-0.56	0.82	0.21	0.26	-0.69	-0.11	-3.41	-3.29	0.12	-3.08		
SE(sig)	5.07	0.30	0.51	0.90	0.91	0.34	0.46	0.13	1.19	3.64	2.36	1.42		
SE(gr- \bar{g})	7.18	0.42	0.72	1.28	1.29	0.48	0.65	0.18	2.70	5.16	3.34	2.01		

و $L3 \times T1$ به‌عنوان هیبریدهای برتر از لحاظ اثر مثبت ترکیب‌پذیری خصوصی برای این صفت شناسایی شدند (جدول ۴). با توجه به‌وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین عملکرد بلال و عملکرد دانه کنسروی با شاخص برداشت (داده‌ها نشان داده نشده‌اند)، می‌توان چنین بیان نمود که هرچقدر عملکرد زیست‌توده افزایش یابد، شاخص برداشت هم افزایش یافته، بنابراین مواد فتوسنتزی ارسال شده به بلال صرف تولید دانه کنسروی می‌شود و این مسئله به‌عنوان مزیتی برای ترکیبات امیدبخش اصلاح‌شده در این پژوهش می‌تواند در برنامه‌های آتی اصلاحی مدنظر قرار گیرد.

تعداد ردیف دانه: صفات تعداد ردیف دانه و دانه در ردیف از اجزاء اصلی عملکرد دانه ذرت می‌باشند و معمولاً به‌دلیل همبستگی بالا با طول و قطر بلال، منجر به تولید عملکرد بیشتر می‌شوند که این امر برای بازارپسندی محصول ذرت شیرین به‌صورت تازه‌خوری اهمیت ویژه‌ای دارد. بررسی جدول تجزیه لاین \times تستر نشان داد که فقط اثر لاین برای این صفت معنی‌دار می‌باشد (جدول ۱). لاین $L3$ و تستر $T4$ بهترین لاین‌های دارای اثر ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت برای این صفت شناخته شدند (جدول ۴).

دانه در ردیف: نتایج به‌دست آمده برای صفت دانه در ردیف نشانگر وجود هر دو اثر افزایشی و غیرافزایشی برای ژن‌ها کنترل‌کننده این صفت بود (جدول ۲). بیشترین اثر ترکیب‌پذیری خصوصی مربوط به ترکیب $L2 \times T1$ بود. به‌علاوه لاین $L1$ و تستر $T1$ به‌عنوان والدین با بیشترین اثر GCA مثبت برای صفت تعداد دانه در ردیف شناخته شدند (جدول ۳).

قطر بلال: قطر بلال یک صفت تعیین‌کننده در عملکرد می‌باشد که به‌طور مستقیم بر عمق دانه بلال تأثیر می‌گذارد. تجزیه لاین \times تستر برای صفت قطر بلال نشان داد که تیمارهای مورد مطالعه اختلاف معنی‌دار برای اجزا واریانس تلاقی‌ها داشتند (جدول ۲). بررسی بهترین ترکیب‌شونده‌های عمومی برای والدین تلاقی‌ها نشان داد که لاین $L2$ و تستر $T4$ دارای بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار برای اثر GCA صفت قطر بلال بودند، در حالی که لاین‌های والدینی $L1$ ، $T2$ و $T3$ نیز همبستگی منفی و معنی‌داری داشتند.

نسبت $\sigma_{sca}^2 / \sigma_{gsa}^2$ برای صفت عملکرد دانه، برابر با $0/1$ به‌دست آمد و نشان داد که ضمن دو اثر افزایشی و غالبیت در کنترل این صفت مؤثر می‌باشد، سهم اثرات غالبیت در این مورد بیشتر بود (جدول ۲)؛ بنابراین می‌توان با روش‌های اصلاحی مبتنی بر تولید هیبرید و بهره بردن از مزیت اثر هتروزیس در این مسئله که ناشی از اثرات غیرافزایشی ژن‌ها می‌باشد، برای افزایش عملکرد اقدام کرد. لاین‌های $L3$ و $T1$ با اثر مثبت و لاین‌های $L1$ و $T3$ با اثر منفی معنی‌دار برای ترکیب‌پذیری عمومی به‌عنوان بهترین لاین‌های مؤثر مشخص شدند. بهترین ترکیبات از لحاظ این صفت $L2 \times T4$ و $L3 \times T1$ بودند (جدول ۳). در آزمایشی که برای برآورد ترکیب‌پذیری در لاین‌های ذرت انجام شد، لال‌بیداری و همکاران (*Lal Bidari et al.*, 2015)، اثر هر دو جزء افزایشی و غیرافزایشی را در کنترل صفت عملکرد دانه دخیل دانستند. نتایج به‌دست آمده در این تحقیق با نتایج لال‌بیداری و همکاران (*Lal Bidari et al.*, 2015) مطابقت دارد.

عملکرد علوفه: ارزیابی نتایج حاصل شده از آزمایش نشان داد که اثر تستر در سطح احتمال ۱ درصد و لاین \times تستر در سطح احتمال ۵ درصد برای صفت عملکرد بوته معنی‌دار بود (جدول ۱). کنترل ژن‌های صفت عملکرد علوفه هر دو اثر غالبیت و افزایشی دخیل هستند (جدول ۲). بهترین ترکیب‌شونده‌ها با اثر GCA معنی‌دار لاین‌های $L1$ و $L2$ بودند. تسترهای $T1$ و $T3$ نیز به‌عنوان بهترین والدین پدری شرکت‌کننده در تلاقی‌ها برای اثر GCA شناخته شدند (جدول ۳). با توجه به این‌که علوفه به‌عنوان محصول فرعی ذرت شیرین پس از برداشت بلال مطرح می‌باشد؛ بنابراین علوفه تولیدی از کیفیت مطلوبی برخوردار نیست و معمولاً به‌عنوان تازه‌خوری برای دام استفاده می‌شود و ارزش سیلوسازی ندارد.

شاخص برداشت: ارزیابی نتایج حاصل شده از جدول تجزیه لاین \times تستر برای صفت شاخص برداشت نشان داد که اثر تستر در سطح احتمال ۵ درصد و اثر لاین \times تستر در سطح احتمال ۱ درصد بین تیمارهای آزمایش دارای اختلاف معنی‌داری بودند (جدول ۲). این مسئله اهمیت هر دو اثر افزایشی و غیرافزایشی را در کنترل این صفت نشان داد (جدول ۳). ترکیبات $L2 \times T4$

ترکیبات $L1 \times T3$ و $L2 \times T4$ نیز دارای بیشترین اثر SCA برای قطر بلال بودند (جدول ۴) که با برترین هیبریدهای مورد مطالعه در آزمایش از لحاظ عملکرد دانه مطابقت داشت.

طول بلال: معنی دار شدن اثر لاین \times تستر صفت طول بلال، مشخص کرد که اثرات غیرافزایشی در کنترل این صفت نقش دارند (جدول ۲)؛ بنابراین می توان از روش های مبتنی بر هیبریداسیون برای اصلاح این صفت استفاده کرد. بهترین ترکیب شونده ها برای این صفت لاین $L3$ و تستر $T4$ بودند (جدول ۴).

تعداد بلال به بوته: چند بلال بودن از خصوصیات ترکیبات و ارقام تجاری ذرت شیرین می باشد و زیاد بودن این شاخص بیانگر تعداد بیشتر بلال در واحد سطح بوده که می تواند منجر به افزایش عملکرد گردد. هیچ کدام از اثرات لاین، تستر و لاین \times تستر برای این صفت معنی داری نبودند (جدول ۱). لاین $L1$ و تستر $T4$ به عنوان بهترین ترکیب شونده های عمومی برای این صفت شناسایی شدند (جدول ۳).

بررسی داده های حاصله نشان داد که واریانس GCA (اثرات افزایشی ژنها) برای تمام صفات بزرگ تر از واریانس SCA (اثرات غیرافزایشی ژنها) بود. نسبت واریانس GCA به SCA برای همه صفات کمتر از یک بود که این امر بیانگر اهمیت بیشتر اثرات غالبیت، فوق غالبیت و اپیستازی در کنترل صفات مورد بررسی می باشد. برآورد نسبت $\sigma_{sca}^2 / \sigma_{gca}^2$ و همچنین اثر افزایشی و غالبیت برای صفت عملکرد دانه به ترتیب ۰/۱، ۳/۶۶ و ۳۶/۶۹ برآورد شد. بررسی اثر ترکیب پذیری عمومی و خصوصی لاین های مورد مطالعه نشان داد که از نظر صفت عملکرد دانه لاین های $L1$ و $L3$ دارای ترکیب پذیری مثبت و معنی دار و لاین های $L2$ و $L4$ دارای اثر ترکیب پذیری منفی و معنی داری بودند. تسترهای $T1$ و $T3$ نیز به ترتیب با اثر GCA مثبت و منفی معنی دار، برای صفت عملکرد دانه شناخته شدند. لاین $L3$ و همچنین تستر $T1$ به عنوان بهترین ترکیب شونده های عمومی، به عنوان والدین مناسب برای صفت عملکرد دانه می توانند در برنامه های اصلاحی آینده مورد استفاده قرار گیرند. نتایج به دست آمده برای ترکیب پذیری خصوصی عملکرد دانه نشان داد که

ترکیبات $L1 \times T3$ و $L3 \times T1$ ، $L2 \times T4$ نیز دارای بیشترین اثر SCA می باشند.

بررسی اثرات ترکیب پذیری برای لاین $L1$ نشان داد که این لاین برای صفات ارتفاع بوته، انشعابات فرعی گل تاجی، برگ کل بوته، برگ بالای بلال اصلی، قطر ساقه، قطر بلال، عملکرد علوفه و عملکرد بیولوژیک دارای ترکیب پذیری عمومی مثبت و معنی دار بود. به دلیل معنی دار شدن صفات فوق و ترکیب پذیری بالا برای این صفات، می توان از این لاین جهت افزایش زیست توده گیاهی، به طور ویژه در تولید و اصلاح ترکیبات مناسب به عنوان ارقام علوفه ای و علوفه ای-دانه ای استفاده کرد. طبق نتایج به دست آمده از اثر ترکیب پذیری در لاین $L3$ صفات ردیف دانه، تعداد دانه و عملکرد دانه دارای ترکیب پذیری مثبت و معنی دار بودند. بررسی تلاقی های این لاین نشان داد که $L3 \times T1$ با $33/96$ تن در هکتار به عنوان بهترین هیبرید از لحاظ عملکرد دانه می باشد. ضمن آن که بیشترین اثر SCA مربوط به صفت عملکرد دانه، بعد از ترکیب $L2 \times T4$ مربوط به هیبرید $L3 \times T1$ بود. لاین $L4$ به عنوان سومین لاین برتر از لحاظ اثر GCA مثبت و معنی دار در تولید ترکیبات هیبرید برای صفت عملکرد دانه شناخته شد. نتایج نشان داد، لاین $T1$ که به عنوان تستر شماره ۱ در ترکیب با چهار لاین دیگر مورد ارزیابی قرار گرفت بود، در نهایت منجر به تولید ترکیبات برتر $L3 \times T1$ و $L4 \times T1$ با عملکردی به ترتیب معادل $33/96$ و $27/85$ تن در هکتار در منطقه مشهد شد؛ بنابراین این لاین می تواند به عنوان یک والد پدری مطلوب جهت تولید هیبریدهای با عملکرد بالا برای شرایط اقلیمی مشهد در نظر گرفته شود.

معنی دار شدن اثر ترکیب پذیری عمومی برای صفت انشعابات فرعی گل تاجی در کنار قرار گرفتن در رتبه دوم از نظر بیشترین میزان اثر SCA مثبت و معنی دار برای والد $T2$ نشان داد که از این لاین می توان به عنوان یک والد پدری برتر استفاده کرد. بررسی ترکیبات به دست آمده از والد مشترک $T3$ نیز نشان داد که این ترکیبات از عملکرد دانه پایینی برخوردار بودند. این مسئله بیانگر عدم عملکرد مناسب ترکیبات حاصل از تلاقی این والد با لاین های مادری بود. هیبرید $L3 \times T3$ با عملکرد دانه $17/60$ تن در هکتار به عنوان بهترین ترکیبات حاصل از مشارکت والد $T3$ شناخته شد. برآورد اثر GCA و SCA در مورد صفات مختلف و

بودند؛ بنابراین این والد می‌تواند به‌عنوان یک تستر مناسب برای شرکت در تلاقی‌ها به‌عنوان والد پدری پیشنهاد شود.

ترکیبات حاصل از مشارکت والد T4 نشان داد، هیبریدهای L2 × T4 و L3 × T4 دارای عملکرد دانه بالا و قابل‌قبولی (به‌ترتیب با عملکرد ۳۰/۴۷ و ۲۳/۴۵ تن در هکتار) برای والد T4

References

- Asif, A. Liaqat, S., Shah, K.A. and Shamsur, R.** (2014). Heterosis for grain yield and its attributing components in maize variety azam using line× tester analysis method. *Academia Journal of Agricultural Research*, **2(11)**: 225-230.
- Banaei, R., Baghizadeh, A. and Khavari Khorasani, S.** (2016). Estimates of genetic variance parameters and general and specific combining ability of morphological traits, yield and yield components of maize hybrids in normal and salt stress conditions. *Plant Genetic Researches*, **3(1)**: 57-74 (In Persian).
- Debesa Gobu, B.** (2021). Heterosis, combining ability and heterotic grouping for maize (*Zea Mays L.*) inbred lines in the moisture stress areas. M.Sc. Thesis, Jimma University, Oromia Region, Ethiopia.
- Dorri, P., Khavari Khorasani, S., Vali Zadeh, M. and Taheri, P.** (2014). Investigation the heritability and gene effects on yield and some agronomic traits of maize (*Zea mays L.*). *Plant Genetic Researches*, **1(2)**: 33-42 (In Persian).
- El-Degwy, I.S., Kamara, M.M. and Koyama, H.** (2014). Estimation combining ability of some maize inbred lines using line × tester mating design under two nitrogen levels. *Australian Journal of Crop Science*, **8(9)**:1 336-1342.
- Esmaili, A., Dehghani, H., Khavari Khorasani, S. and Mirzayi Nodoushan, H.** (2005). Estimate of combining ability and genetic effects on early lines of maize plant density by line × tester method. *Journal of Iran Agricultural Sciences*. **36**: 917-929 (In Persian).
- Khavari Khorasani, S. and Mahdi Poor, A.** (2017). Genetic improvement of grain yield by determination of selection index in single cross hybrids of maize (*Zea mays L.*). *Plant Genetic Researches*, **5(1)**: 1-18 (In Persian).
- Kumara, B.S., Ganesan, K.N., Nallathambi, G., and Senthil, N.** (2013). *Heterosis of Single Cross Sweet Corn Hybrids Developed with Inbreds of Domestic Genepool*. Tamil Nadu Agricultural University, Coimbatore, IN.
- Lāl Bidari, M., Babaeian Jelodar, N.A., Khavari Khorasani, S. and Ranjbar, G.A.** (2015). Estimation of combining ability of agronomic and physiological traits of inbred lines of maize (*Zea Mays L.*) using line × tester crosses under normal irrigation and drought stress conditions. *Journal of Crop Breeding*, **7(16)**: 79-88.
- Mankir, A., Melake-Berhan, A., Ingelbrecht, I. and Adepoju, A.** (2004). Grouping of tropical mid-altitude maize inbred lines on the basis of yield data molecular markers. *Theoretical and Applied Genetics*, **108**: 1582-1590.
- Misevic, D.** (1989). Identification of inbred lines as a source of new alleles for improvement of elite maize single crosses. *Crop Science*, **29**: 1120-1125.
- Ravikesavan, R., Suhasini, B., Yuvaraja A. and Kumari Vinodhana, N.** (2020). Assessment of combining ability for yield and yield contributing traits in sweet corn. *Electronic Journal of Plant Breeding*, **11(1)**: 224-229.
- Riboniesa P.L. and Efren, E.M.** (2008). Classifying white inbred lines into heterotic groups using yield combining ability effects. *Journal of University of Southern Mindanao*, **16(1)**: 99-103.
- Revilla, P., Anibas, C.M. and Tracy, W.F.** (2021). Sweet corn research around the world 2015-2020. *Agronomy*, **11(3)**: 534.
- Ruswandi, D., Syafii, M., Maulana, H., Ariyanti, M., Poppy Indriani, N. and Yuwariah, Y.** (2021). GGE biplot analysis for stability and adaptability of maize hybrids in western region of Indonesia. *International Journal of Agronomy*, **2021**: 2166022.

Study on Combining Ability and Gene Effects Estimation in Some Sweet Corn Inbred Lines (*Zea mays* L. var *saccharata*) by Line × Tester Method

Ali Barzgari¹, Saeed Malekzade Shafaroudi², Saeed Khavari Khorasani^{3,*}
and Farajollah Shahriari Ahmadi⁴

- 1- M.Sc. Student, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University Mashhad, Mashad, Iran
- 2- Associated Professor, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University Mashhad, Mashad, Iran
- 3- Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, ARREO, Mashhad, Iran
- 4- Professor, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University Mashhad, Mashad, Iran

(Received: December 1, 2021 – Accepted: February 23, 2022)

Abstract

In breeding programs determination of gene effects and general and specific combining ability for screening of test crosses is necessary. In order to estimate the genetic variance components and the general and specific combining ability of sweet corn lines, an experiment was conducted using 8 sweet corn S6 inbred lines (including 4 maternal and 4 paternal lines) by line × tester mating design in 2019, at the Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Khorasan Razavi Province, Mashhad, Iran. The obtained test cross hybrids were evaluated in a randomized complete block design with 3 replications in 2020. The results of line, tester and line × tester analysis for most of measured traits showed significant differences ($p < 0.05$). The $\sigma_{gca}^2/\sigma_{sca}^2$ ratio for grain yield was equal to 0.1, showed that while both additive and dominance effects play a role in controlling this trait, but dominance effect was higher. The results for general combining ability of L3 and T1 lines showed positive and significant GCA effect for grain yield. Also, the specific combining ability of grain yield showed that $T4 \times L2$, $T1 \times L3$ and $T3 \times L1$ had the highest SCA rate. In this study, in terms of grain yield, $T1 \times L3$, $T4 \times L2$ and $T1 \times L4$ with 33.96, 30.47 and 27.85 tons per hectare had the highest green ear yield, respectively. These combinations can be as the hybrids with high yield potential in advanced breeding programs for release of new sweet corn varieties.

Keywords: Sweet corn, Inbred line, Grain yield, Combining ability, Gene effect

* Corresponding Author, E-mail: s.khavari@areo.ir