

برآورد پارامترهای ژنتیکی در کلزا با استفاده از روش های مختلف دی آلل گریفینگ

Estimation of genetic parameters in rapeseed (*Brassica napus* L.) using different diallel methods of Griffing approach

سید سعید پورداد^۱ و جی. ان. ساچان^۲

چکیده

تئوری و نحوه تجزیه تلاقی های دی آلل توسط تعداد زیادی از دانشمندان بیان و توسعه داده شده است. گریفینگ (Griffing 1956) تجزیه دی آلل را در چهار روش مختلف بیان نمود. هر یک از این چهار روش در چهار مدل آماری توضیح داده شده است. هدف از این بررسی مقایسه بین برآورد پارامترهای ژنتیکی در این چهار روش مختلف در گیاه کلزا (*Brassica napus* L.) است. در این بررسی هفت لاین کلزا در تمامی حالات ممکن (تلاقی های مستقیم و متقابل) با یکدیگر تلاقی داده شدند. نتاج حاصله که شامل F_1 42 و تلاقی متقابل بود به همراه هفت والد مربوطه در قالب یک طرح بلوک های کامل تصادفی در دو تکرار به مقایسه گذارده شدند. تجزیه ترکیب پذیری لاین ها از نظر دوازده صفت زراعی با استفاده از روش های چهار گانه گریفینگ انجام شد. واریانس های افزایشی (σ_A^2) و غالبیت (σ_D^2) و درجه غالبیت (σ_D^2 / σ_A^2) برای هر یک از صفات تحت بررسی در چهار روش دی آلل گریفینگ برآورد شد. نتایج نشان داد که در روش سوم، برآورد واریانس ژنتیکی برای تمامی صفات منفی بود. در روش دوم و چهارم نیز این برآورد برای تعدادی از صفات منفی شد اما تنها در روش اول برآورد واریانس افزایش و به طبع آن درجه غالبیت برای تمامی صفات تحت بررسی مثبت بود. مقدار عددی واریانس می بایست همواره مثبت باشد اما با توجه به فرمول های برآورد واریانس افزایشی، دیده شد که هرگاه در جدول های تجزیه واریانس میانگین مربعات ترکیب پذیری خصوصی (SCA) بزرگ تر از میانگین مربعات ترکیب پذیری عمومی (GCA) شود برآورد واریانس افزایشی منفی خواهد بود. این وضعیت در روش های ۲، ۳ و ۴ مشاهده شد اما در روش اول (دی آلل کامل با والدین) برای صفات تحت بررسی دیده نشد. این امر به عنوان معیاری جهت مقایسه روش های دی آلل گریفینگ در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که در این بررسی روش اول گریفینگ نسبت به سایر روش ها برآورد بهتری از اجزاء واریانس ژنتیکی را به دست می دهد.

واژه های کلیدی: کلزا، ترکیب پذیری عمومی، ترکیب پذیری خصوصی، واریانس ژنتیکی، واریانس ژنتیک افزایشی.

مقدمه

لاین های خالص و یا ارقام باشند (Hayman, 1954).
تئوری و تجزیه تلاقی های دی آلل
توسط تعداد زیادی از دانشمندان
از جمله کمپتورن (Kempthorne, 1956) جینگز

تلاقی های دی آلل عبارتند از: یک سری
از تلاقی های ممکن بین چندین ژنوتیپ که این
ژنوتیپ ها ممکن است افراد، کلون ها،

اثرات ترکیب پذیری عمومی (GCA) و خصوصی (SCA) بوده و اجزاء واریانس ژنتیکی از طریق برآورد این ترکیب پذیری ها محاسبه می شود. روش های دی آلل گریفینگ از روش های متداول دی آلل بوده و روش نیم دی آلل (بدون تلاقی های متقابل) به علت سهولت در اجرا بیشترین کاربرد را دارد. روش نیم دی آلل توسط محققین در گیاهان مختلف از جمله گندم، احمدی و همکاران (۱۳۸۱)، قندی و همکاران (۱۳۷۶)، قنادها و همکاران (۱۳۷۹ و ۱۳۷۷)، مهدوی و همکاران (۱۳۶۹) در برنج، هنرژاد (۱۳۷۴ و ۱۳۷۳)، در ذرت، رامنه و همکاران (۱۳۷۹)، دهقانپور و همکاران (۱۳۷۵)، چوکان (۱۳۷۸)، در آفتاب گردان، عالمی سعید و وجدانی (۱۳۷۱)، در چغندر قند، اوراضی زاده و همکاران (۱۳۸۱)، نظریان فیروزآبادی و همکاران (۱۳۷۷)، در کنجد، منصوری و احمدی (۱۳۷۷)، توتون، هنرژاد و شعایی دیلمی (۱۳۷۵ و ۱۳۷۶)، در پنبه، حسینی نژاد (۱۳۷۵ و ۱۳۷۶) مورد استفاده قرار گرفته است. انجام تلاقی های دی آلل مستلزم صرف وقت و هزینه زیادی بوده و برای حصول نتایج دقیق و معتبر انتخاب روش انجام تلاقی های دی آلل بسیار حائز اهمیت است. هدف از این بررسی مقایسه بین برآورد پارامترهای ژنتیکی از طریق این چهار روش مختلف در گیاه کلزا (*Brassica napus* L.) و انتخاب بهترین روش است.

مواد و روش ها

در این بررسی هفت لاین از کلزا (*Brassica napus* L.) به اسامی GSC3A00, TERI(OE) NPN01 R15, TERI(OE) R983, HN9802, HNS9801 و NPN02 به طور تصادفی انتخاب و در سال ۱۳۷۸ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه کشاورزی جی بی پانت هندوستان در تمامی حالات ممکن (تلاقی های مستقیم و متقابل) با یکدیگر تلاقی داده شدند. لاین های TERI(OE)R78 و TERI(OE)R15 زودرس، لاین های

(Jinks, 1954)، هیمن (Hayman, 1954)، لی و کالتسایکز (Lee & Kaltsikes, 1972)، گاردنر و ابرهات (Gardner & Eberhart, 1966)، کوکرهام (Cokerham, 1963)، گریفینگ (Griffing, 1956a) و والتر و مورتون (Walter and Morton, 1978) شرح و توسعه داده شده است. تلاقی های دی آلل یکی از متداول ترین و مهم ترین روش های تلاقی جهت برآورد پارامترهای ژنتیکی (جنبه تئوری استفاده از تلاقی های دی آلل) و قدرت ترکیب پذیری لاین ها (جنبه عملی استفاده از تلاقی های دی آلل) است. برآورد پارامترهای ژنتیکی از روش دی آلل بر شش فرضیه استوار است که شامل: ۱- رفتار دیپلوئیدی کروموزوم ها در والدین ۲- خالص بودن والدین ۳- فراوانی ژن ها برابر ۰/۵ باشد ۴- توزیع مستقل ژن ها در والدین ۵- عدم وجود اپیستازی ۶- عدم وجود چند آللی. کوکرهام (Cokerham, 1963) اظهار داشت که فرضیات ۱ و ۲ معمولاً برآورده می شوند اما باید در مورد بقیه فرضیات با احتیاط عمل نمود. ساکول و بیکر (Sokol and Baker, 1977) این فرضیات را ارزیابی نموده و اعلام نمودند که اگر فراوانی ژنی برابر ۰/۵ نباشد آنگاه ترکیب پذیری عمومی نشان دهنده اثرات افزایشی نبوده بلکه شامل اثرات افزایشی، غالبیت و اپیستازی خواهد بود. کمپتورن (Kempthorne, 1956) اعلام نمود در صورتی که ژن ها به صورت مستقل بین والدین توزیع نشده باشند نتایج حاصل از تجزیه دی آلل قابل اعتماد نیست. گریفینگ (Griffing, 1956a,b) تجزیه دی آلل را در چهار روش مختلف شامل ۱- دی آلل کامل با والدین (والدین، F1 ها و تلاقی های متقابل) ۲- نیم دی آلل با والدین (والدین و F1 ها) ۳- دی آلل کامل بدون والدین (F1 ها و تلاقی های متقابل) ۴- نیم دی آلل بدون والدین (F1 ها) بیان نمود و هر یک از این چهار روش را در چهار مدل آماری تصادفی، ثابت، مخلوط A و مخلوط B توضیح داد. این روش ها بر اساس برآورد واریانس ها و

"برآورد پارامترهای ژنتیکی در کلزا..."

نظر صفات طول غلاف و تعداد دانه در غلاف در روش های ۱ و ۲ و از نظر عملکرد دانه و تعداد شاخه های اولیه در بوته در روش ۱ غیر معنی دار گردید. در مجموع نتایج حاکی از آن است که وجود اختلاف معنی دار در تیمارها بیشتر به علت وجود اختلاف معنی دار در هیبریدها بوده است یعنی تلاقی های حاصله تنوع ژنتیکی مناسبی را ایجاد کرده بود. به علت وجود این اختلاف معنی دار بین تیمارها تجزیه ترکیب پذیری نیز برای تمامی صفات در چهار روش دی آلل انجام شد. تجزیه واریانس ترکیب پذیری (جدول ۶) نشان داد که در هر چهار روش دی آلل ترکیب پذیری عمومی (GCA) لاین ها از نظر تمامی صفات بجز تعداد دانه در غلاف در روش ۲ معنی دار بود. این امر حاکی از اهمیت واریانس افزایشی در توارث این صفات است. در روش های ۱ و ۳ ترکیب پذیری خصوصی تمامی صفات تحت بررسی معنی دار بود ولی در روش های ۲ و ۴ صفات طول شاخه اصلی، تعداد غلاف در شاخه اصلی و طول غلاف و در روش ۲ به تنهایی صفات تعداد شاخه های اولیه در بوته و وزن هزار دانه اختلاف معنی داری را نشان ندادند. این نتایج نشان داد که برای بیشتر صفات تحت بررسی بجز صفات مذکور جزء واریانس غالبیت نیز مهم می باشد. اختلاف بین تلاقی های متقابل نیز از طریق روش های ۱ و ۳ آزمون گردید و مشخص شد که در روش ۳ تمامی صفات و در روش ۱ تعداد شش صفت اختلاف معنی داری را نشان دادند. بر اساس نتایج حاصل از تجزیه ترکیب پذیری واریانس های افزایشی، غالبیت و درجه غالبیت محاسبه گردید (جدول ۷). مقدار عددی برآورد واریانس غالبیت (σD^2) برای تمامی صفات در چهار روش دی آلل مثبت بود. اما برآورد واریانس افزایشی در صفات تحت بررسی نشان داد که در روش سوم واریانس افزایشی برای تمامی صفات منفی برآورد شد و به طبع آن درجه غالبیت نیز منفی گردید. واریانس افزایشی از طریق روش ۲ برای دو صفت عملکرد دانه در بوته و تعداد دانه در غلاف و از طریق روش ۴ برای

HNS9802 و NPN01 متوسط و سایر لاین ها دیررس بودند. از نظر کیفیت روغن لاین های GSC3A00 و TERI(OE)R983 به ترتیب دو صفر و یک صفر و سایر لاین ها نرمال بودند. صفات زراعی اندازه گیری شده در والدین در جدول ۱ آورده شده است. نتایج حاصله که شامل F1 ۴۲ و تلاقی متقابل بود به همراه هفت والد مربوطه در سال ۱۳۷۹ در کرت هایی با فاصله ردیف ۳۰ سانتیمتر و فاصله بین بوته ۱۰ سانتیمتر در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی در دو تکرار به مقایسه گذارده شدند. دوازده صفت زراعی شامل تعداد روزها تا گلدهی، تعداد روزها تا رسیدن فیزیولوژیک، تعداد شاخه های فرعی در بوته، تعداد شاخه های اولیه در بوته، ارتفاع بوته، طول شاخه اصلی، تعداد غلاف در شاخه اصلی، تعداد دانه در غلاف، طول غلاف، وزن هزار دانه، عملکرد دانه در بوته و درصد روغن بذر بر روی تیمارها اندازه گیری شد. درصد روغن در نتاج و والدین با استفاده از دستگاه NMR اندازه گیری شد. تجزیه واریانس از روش های چهار گانه دی آلل گریفینگ و با استفاده از مدل تصادفی (مدل II) انجام شد. واریانس های افزایشی و غالبیت از طریق امید ریاضی میانگین مربعات و فرمول های مربوطه محاسبه گردید. تجزیه های آماری توسط نرم افزار SPAR1 صورت گرفت.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس ساده در هر یک از چهار روش دی آلل گریفینگ بر روی عملکرد دانه، میزان روغن بذر و ده صفت زراعی دیگر (جدول های ۵-۲) نشان داد که بین تیمارها اختلاف معنی داری در سطوح احتمال ۱ و ۵ درصد وجود دارد. در روش های ۱، ۲ و ۳ دی آلل اثر تیمارها به اثرات والدین و هیبریدها تفکیک شد و نتایج نشان داد که هیبریدها از نظر تمامی صفات زراعی بجز وزن هزار دانه در روش اول اختلاف معنی داری با یکدیگر داشتند. اما اختلاف بین والدین از

میانگین مربعات اشتباه آزمایشی ($M'e$) بزرگتر از میانگین مربعات ترکیب پذیری خصوصی باشد، برآورد واریانس ترکیب پذیری خصوصی (σ^2) منفی خواهد شد. که این امر در مورد هیچ یک از صفات تحت بررسی و روش های چهارگانه دی آلل مشاهده نشد. برآورد منفی واریانس افزایشی به عنوان معیاری جهت مقایسه روش های چهارگانه گریفینگ در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که در این آزمایش روش اول گریفینگ (دی آلل کامل با والدین) توانست واریانس افزایشی را بهتر برآورد نماید. سینگ و پارودا (Singh and Paroda, 1984) با مقایسه روش های مختلف تجزیه تلاقی های دی آلل اظهار داشتند که روش دوم گریفینگ متفاوت از سایر روش ها بوده و این روش نتوانسته است نتایج واضحی از واریانس افزایشی و غالبیت را در مقایسه با سایر روش ها نشان دهد.

پونی و همکاران (Pooni et al., 1984) نیز با بررسی رابطه بین برآورد ترکیب پذیری عمومی و خصوصی و برآورد واریانس های افزایشی و غالبیت در چهار روش گریفینگ با استفاده از مدل تصادفی از طریق تئوریک و آزمایشات مزرعه ای اظهار داشتند که در روش اول گریفینگ امید ریاضی میانگین مربعات ترکیب پذیری عمومی و خصوصی به ترتیب با تعاریف کلی واریانس های افزایشی و غالبیت همخوانی دارد. آن ها پیشنهاد نمودند که روش اول همواره به طور مناسبی واریانس های افزایشی و غالبیت را برآورد می نماید اما روش های ۲، ۳ و ۴ تنها در حالتی که حداقل تعداد والدین شرکت کننده در تلاقی ها ۲۰ والد باشد می تواند برآورد نزدیکی از این واریانس ها را تخمین بزند.

تلاقی های دی آلل و ارزیابی مواد حاصل از آن جزء روش های پر هزینه در اصلاح نباتات بوده و با توجه به نتایج بررسی حاضر می توان توصیه نمود که برای برآورد اجزاء واریانس ژنتیکی صفات مختلف در کلزا با استفاده از تلاقی های

صفات وزن هزار دانه و تعداد دانه در غلاف نیز منفی برآورد شد. اما این برآورد از طریق روش ۱ برای تمامی صفات مثبت بود. پورداد و ساچان (Pourdad and Sachan, 2001) با برآورد واریانس های افزایشی و غالبیت صفات مختلف زراعی در کلزا از طریق روش همین (Hayman, 1960) نتایجی مطابق با نتایج فوق در روش ۱ گریفینگ را گزارش نمودند. در واقع با توجه به ماهیت واریانس می دانیم که مقدار عددی آن می بایست بزرگتر یا برابر صفر باشد. اما از آن جایی که واریانس افزایشی در روش های گریفینگ از طریق غیر مستقیم محاسبه می شود و در واقع برآوردی از واریانس افزایشی جامعه است پس این برآورد می تواند گاهی منفی باشد. روی (Roy, 2000) علت برآورد منفی اجزاء واریانس را کلا چهار مورد ذکر نمود ۱- مدل نامناسب آماری ۲- نمونه گیری نامناسب از جامعه ۳- اشتباه نمونه گیری و ۴- طرح آماری نامناسب. برای پی بردن به علت برآورد منفی واریانس افزایشی فرمول های ارائه شده در روش های مختلف گریفینگ مورد توجه قرار گرفت (جدول ۸). با دقت در این فرمول ها دیده شد که هرگاه در جدول تجزیه واریانس ترکیب پذیری میانگین مربعات ترکیب پذیری خصوصی (MSSCA) بزرگتر از میانگین مربعات ترکیب پذیری عمومی (MSGCA) باشد مقدار عددی واریانس افزایشی منفی برآورد می شود. بزرگی میانگین مربعات ترکیب پذیری خصوصی نسبت به میانگین مربعات ترکیب پذیری عمومی برای برخی از صفات در گزارشات متعددی مشاهده شده است از جمله سینگ و چاودری (Singh & Chaudhary, 1985)، چاودری و همکاران (Chaudhary et al., 2000)، دانا و داسگوپتا (Dana & Dasgupta, 2001)، رامئه و همکاران (۱۳۷۹)، قنادها و همکاران (۱۳۷۷)، هنرنژاد و شعایی دیلمی (۱۳۷۵ و ۱۳۷۶)، منصوری و احمدی (۱۳۷۷)، عالمی سعید و وجدانی (۱۳۷۱)، هنرنژاد (۱۳۷۴)، چوکان (۱۳۷۸)، فرشادفر (۱۳۷۶). هم چنین هرگاه

دی آلل بهتر است تلاقی ها به صورت انجام شده و تجزیه آن از طریق روش اول گریفینگ
دی آلل کامل (تلاقی های مستقیم و متقابل) صورت پذیرد.

References

منابع مورد استفاده

- احمدی، ج. ع. زالی، ب. یزدی صمدی، ع. طالعی، م. قنادها و ع. سعیدی. ۱۳۸۱. ترکیب پذیری و عمل ژن‌ها در گندم نان در شرایط تنش خشکی با استفاده از تجزیه دی آلل. هفتمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران - کرج.
- اوراضی زاده، م. س. ی. صادقیان مطهر و م. مصباح. ۱۳۸۱. بررسی ژنتیکی مقاومت به بولتینگ و برخی صفات کمی و کیفی چغندر قند به روش دی آلل. هفتمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران - کرج.
- چوکان، ر. ۱۳۷۸. بررسی ترکیب پذیری عمومی و خصوصی ده لاین ذرت برای صفات مختلف در تلاقی دی آلل. مجله نهال و بذر. جلد ۱۵، شماره ۳، صفحه ۲۹۴-۲۸۰.
- حسینی نژاد، ز. ۱۳۷۵. بررسی ترکیب پذیری در ارقام زودرس پنبه. چهارمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران - اصفهان.
- حسینی نژاد، ز. ۱۳۷۷. بررسی ترکیب پذیری و پدیده هتروزیس در پنبه. پنجمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران - کرج.
- دهقانپور، ز. م. مقدم، ب. اهدایی و س. عبد میثانی. ۱۳۷۵. بررسی ترکیب پذیری لاین های انبرد در ذرت دانه سفید. چهارمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران - اصفهان.
- رامنه، و. ع. رضایی و ا. ارزانی. ۱۳۷۹. برآورد پارامترهای ژنتیکی برای عملکرد و اجزاء آن در لاین های انبرد ذرت به روش دی آلل. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. جلد ۴، شماره ۲، صفحه ۱۰۴-۹۵.
- عالمی، سعید. خ. و پ. وجدانی. ۱۳۷۱. بررسی قدرت ترکیب پذیری صفات کمی عملکرد در ارقام آفتاب گردان. مجله نهال و بذر. جلد ۸، شماره ۲ و ۱، ۲۶-۱۸.
- فرشادفر، ع. ۱۳۷۶. کاربرد ژنتیک کمی در اصلاح نباتات. جلد دوم، فصل هشتم. انتشارات طاق بستان.
- قنادها، م. ر. م. تقوی و م. ترابی. ۱۳۷۷. توارث مقاومت به زنگ زرد در لاین های گندم. مجله علوم کشاورزی ایران. جلد ۲۹، شماره ۱، صفحه ۱۳۸-۱۳۱.
- قنادها، م. ر. ع. ا. نصراله نژاد قمی و م. ترابی. ۱۳۷۹. برآورد اثر ژن ها و ترکیب پذیری مقاومت گیاه بالغ در تعدادی اثر کالتیوارهای گندم نسبت به نژاد 226E222A+ زنگ زرد به روش دی آلل. مجله علوم کشاورزی ایران. جلد ۳۱، شماره ۱، صفحه ۱۸-۹.
- قندی، ا. ع. زالی و پ. وجدانی. ۱۳۷۶. بررسی ترکیب پذیری عمومی و خصوصی صفات گندم به روش دی آلل کراس. مجله نهال و بذر. جلد ۱۳، شماره ۳، صفحه ۴۰-۳۱.
- منصوری، س. و م. احمدی. ۱۳۷۷. بررسی ترکیب پذیری و نوع عمل ژن لاین های کنجد (*Sesamum indicum*) با استفاده از روش دی آلل. مجله علوم کشاورزی ایران. جلد ۲۹، شماره ۱، صفحه ۵۶-۴۷.
- مهدوی صفا، د. م. مقدم، ح. کاظمی و م. ر. شکبیا. ۱۳۶۹. تجزیه و تحلیل بیومتریکی برخی صفات مرتبط با مقاومت به خشکی و سرما در گندم پاییزه به روش دی آلل. مجله دانش کشاورزی، جلد ۱، شماره های ۴ و ۳، صفحه ۴۸-۲۶.
- نظریان فیروزآبادی، ف. س. ی. صادقیان و ح. میرزایی. ۱۳۷۷. بررسی چگونگی توارث پذیری برخی از خصوصیات مرفولوژیکی و فیزیولوژیکی در گیاهچه های جوان چغندر قند به روش دی آلل. پنجمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران - کرج.

- هنرئزاد، ر. ۱۳۷۳. خصوصیات ژنتیکی و قابلیت ترکیب پذیری واریته های برنج (*Oryza sativa* L.). مجله علوم کشاورزی ایران. جلد ۲۵، شماره ۴، صفحه ۵۰-۳۱.
- هنرئزاد، ر. ۱۳۷۴. مطالعه ای در ترکیب پذیری و همبستگی برخی از صفات زراعی در شش رقم برنج. مجله نهال و بذر. جلد ۱۱، شماره ۴، صفحه ۵۲-۳۷.
- هنرئزاد، ر. و م. شعایی دیلمی. ۱۳۷۵. ترکیب پذیری و وراثت پذیری برخی صفات کمی و کیفی در جمعیت های متنوع (F2) توتون (*Nicotiana tabacum*). مجله نهال و بذر. جلد ۱۲، شماره ۴، صفحه ۵۸-۴۹.
- هنرئزاد، ر. و م. شعایی دیلمی. ۱۳۷۶. اثر ژن ها و قابلیت ترکیب پذیری برخی صفات کمی و کیفی واریته های توتون. مجله علوم کشاورزی ایران. جلد ۲۸، شماره ۴، صفحه ۱۴۶-۱۲۱.
- Chaudhary, A. K., L. B. Chaudhary and K. C. Sharma. 2000. Combining ability estimates of early generation inbred lines derived from maize populations. *Indian J. of Genetics and Plant Breeding*. **60(1)**:55-61.
- Cockerham, C.C. 1963. Estimation of genetic variances. In: statistical genetics and plant breeding, W.D. Hanson and H.F. Robinson, (eds), pp.53-94. NASNRC Publ. 982.
- Dana, I. and T. Dasgupta. 2001. Combining ability in blackgram. *Indian J. of Genetics and Plant Breeding*. **61(2)**:170-171.
- Gardner, C. O. and S. A. Eberhart. 1966. Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations. *Biometrics* **22**:439-452.
- Griffing, B. 1956a. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing system. *Aust. J. Biot. Sci.* **9**:463-493.
- Griffing, B. 1956b. A generalized treatment of use of diallel crosses in quantitative inheritance. *Heredity*. **10**:31-50.
- Hayman, B. I. 1954. The analysis of variance of diallel tables. *Biometrics*, **10**:235-244.
- Hayman, B. I. 1960. The theory and analysis of diallel crosses. *Genetics*, **39**:789-809.
- Jinks, J. L. 1954. The analysis of heritable variation in diallel crosses of *Nicotiana rustica* varieties. *Genetics*, **39**:767-788.
- Kempthorne, O. 1956. The theory of diallel cross. *Genetics*, **41**:451-459.
- Lee, J. and P. J. Kaltsikes. 1972. Supplemental information on the use of computer program for the Jinks-Hyman diallel analysis of data from F1, F2 and F3 generations. *Crop Sci.* **12**:pp.633.
- Pooni, H. S., J. L. Jinks and R. K. Singh. 1984. Methods of analysis and the estimation of the genetic parameters from a diallel set of crosses. *Heredity*, **52(2)**:243-253.
- Pourdard, S. S. and J. N. Sachan. 2001. Studies on heterosis, inbreeding depression and combining ability for important economic traits and inheritance of erucic acid in *Brassica napus* (L.). Ph.D., Thesis, G. B. Pant Univ. of Agri. & Tech. Pantnagar, India. 254p.
- Roy, D. 2000. Plant breeding: Analysis and exploitation of variation. NAROSA Publishing House. New Delhi.
- Singh, O. and R. S. Paroda. 1984. A comparison of different diallel analyses. *Theor. Appl. Genet.* **67**:541-545.

- Singh, R. K. and B. D. Chaudhary. 1985. Biometrical methods in quantitative genetic analysis. Kalyani Publishers. New Delhi.
- Sokol, M. J. and R. J. Baker. 1977. Evaluation of the assumptions required for the genetic interpretation of diallel experiments in self pollinating crops. *Can. J. of Plant Sci.*, **57**:1185-1191.
- Walter, D. E. and J. R. Morton. 1978. On the analysis of variance of half diallel table. *Biometrics*, **34**:91-94.