به نژادی گیاهان زراعی و باغی
دوره ٤ ■ شماره ١ ■ بهار و تابستان ١٣٩٥
صفحه‌های ١٦٥-١٥٣
انتشار الکترونیکی: بهار ١٣٩٨

تجزیه ژنتیکی عملکرد دانه ذرت و صفات فیزیولوژیکی وابسته به روش تلاقی دای‌آلل در شرایط نرمال و تنش خشکی

محمد مرادی[1*]، اسلام مجیدی هروان[2]

۱. استادیار، گروه اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر، ایران.
۲. استاد، گروه اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۷/۱۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۱۲/۲۶

چکیده

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی در کشاورزی سراسر جهان است و بهبود عملکرد دانه تحت تنش خشکی یکی از اهداف مهم اصلاح نباتات است. در برنامه‌های اصلاحی، برای بهبود عملکرد دانه و صفات فیزیولوژیکی وابسته اطلاع از نحوه کنترل ژنتیکی و تجزیه‌وتحلیل گرافیکی آنها ضروری می‌باشد. به این منظور، آزمایشی با ٦ اینبرد لاین ذرت و ١٥ هیبرید حاصل از ترکیب آنها در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ٣ تکرار و به‌طور جداگانه در دو رژیم رطوبتی شامل آبیاری بر اساس ٩٠ و ١٤٠-١٣٠ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی صفی‌آباد دزفول در سال ١٣٩١ اجرا گردید. برآورد پارامترهای ژنتیکی به‌روش گرافیکی جینکز- هیمن نشان داد که در شرایط تنش برای صفات عملکرد دانه در بوته و کاروتنوئید و در شرایط نرمال برای صفات عملکرد دانه در بوته، کلروفیل کل، رطوبت نسبی برگ و وزن ریشه پارامتر D کوچک‌تر از پارامترهای H_1 و H_2 بود که نشان‌دهنده مهم‌تر بودن جز واریانس غالبیت نسبت به واریانس افزایشی در کنترل این صفات می‌باشد. بنابراین گزینش در نسل‌های در حال تفکیک، از موفقیت چندانی برخوردار نبوده، لذا باید گزینش را تا نسل‌های پیشرفته اصلاحی به تعویق انداخت. درحالی‌که بیشتر بودن پارامتر D از پارامترهای H_1 و H_2 برای صفات کلروفیل کل، رطوبت نسبی برگ و وزن ریشه در شرایط تنش نشان‌دهنده مهم‌تر بودن جز واریانس افزایشی نسبت به واریانس غیرافزایشی در کنترل این صفات می‌باشد و انتخاب در نسل‌های اولیه می‌تواند موفقیت‌آمیز باشد. بنابراین صفاتی مانند کلروفیل کل، رطوبت نسبی برگ و وزن ریشه می‌توانند برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی و با عملکرد دانه بیشتر شاخص‌های قابل اطمینانی باشند. با استفاده از نمودار گرافیکی و موقعیت خطوط رگرسیون کوواریانس ردیف‌ها روی واریانس ردیف‌ها و نحوه پراکنش والدها چنین نتیجه‌گیری شد که در هر دو شرایط تنش و نرمال والد SD/17 برای صفات رطوبت نسبی برگ و وزن ریشه و والد SD/3 برای صفات عملکرد دانه و کلروفیل کل دارای بیشترین ژن‌های مغلوب و والد CML برای اکثر صفات دارای بیشترین ژن‌های غالب می‌باشند.

کلیدواژه‌ها: پارامترهای ژنتیکی، تنش خشکی، ذرت، کلروفیل، وزن ریشه.

* نویسنده مسئول
Email: moradim_17@yahoo.com

مقدمه

ذرت (*Zea mays* L.) به‌عنوان مهم‌ترین غله تأمین‌کننده امنیت غذایی در جهان به‌همراه برنج و گندم به‌طور مستقیم و یا غیرمستقیم بیش از ٦٠ درصد کالری مورد نیاز انسان را تأمین می‌کند [١١]. تنش رطوبتی ناشی از کمبود آب یکی از اصلی‌ترین و فراگیرترین عوامل محدودکننده عملکرد گیاهان زراعی بخصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان به‌شمار می‌رود [٢]. طبق گزارش فائو [٩] سالانه حدود ١٥ تا ٢٠ درصد عملکرد ذرت به‌دلیل تنش خشکی کاهش می‌یابد و چنین کاهشی حتی ممکن است در آینده به‌علت تغییرات مداوم و شدیدتر آب‌وهوایی افزایش یابد. این امر به‌نژادگران را بر آن داشته تا در برنامه اصلاح گیاهان زراعی، تقویت صفات تحمل به تنش خشکی را به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین اهداف خود قرار دهند [٢]. کلروفیل‌ها به‌عنوان مهم‌ترین رنگدانه جذب‌کننده نور از جمله ماکرومولکول‌هایی هستند که در غشاهای تیلاکوئیدی وجود دارند و کاهش غلظت آنها باعث کلروز شدن برگ‌ها، کاهش رشد رویشی و عملکرد دانه می‌گردد [٢٣]. تنش خشکی یکی از فاکتورهای مهم محدودکننده فتوسنتز گیاهان است که باعث کاهش عمده محتوای کلروفیل a و b و در نهایت محتوای کلروفیل کل در گیاهان می‌شود [١٩]. علاوه بر کلروفیل‌ها غشاهای تیلاکوئیدی دارای رنگدانه‌های جذب نور ثانویه یعنی کاروتنوئیدها هستند. رنگدانه‌های کاروتنوئیدی نور را در طول موج‌های ٤٥٠ تا ٥٥٠ نانومتر جذب می‌کنند که توسط کلروفیل‌ها جذب نمی‌شوند و بنابراین گیرنده‌های نوری مکمل هستند [٢٣]. یکی دیگر از مهم‌ترین شاخص‌های ارزیابی تحمل به خشکی در گیاهان بررسی محتوی نسبی آب برگ[1] می‌باشد. تنش خشکی در بسیاری از گیاهان موجب کاهش محتوای نسبی آب برگ، بسته شدن روزنه‌ها و در نتیجه کم شدن جذب دی‌اکسید کربن و کاهش عملکرد گیاه می‌شود [١٤]. ساختار سیستم ریشه صفتی است که به‌دلیل حساسیت آن به محیط انعطاف‌پذیری قابل توجهی از خود نشان می‌دهد. به‌دلیل اهمیت سیستم ریشه درک نحوه توسعه ریشه و تنوع ژنتیکی آن برای دست‌ورزی خصوصیات ریشه به‌منظور افزایش عملکرد ضروری است [٢٤]. علاوه بر صفات مورفولوژیکی که در سازگاری گیاه به تنش‌های محیطی نقش دارند، صفات فیزیولوزیکی نیز اهمیت حیاتی در بقاء و سازگاری گیاهان به تنش‌های محیطی دارند و بنابراین به‌منظور مطالعه میزان تحمل به خشکی یکی از جنبه‌های مهم اصلاح برای تحمل به خشکی توجه به معیارهای فیزیولوژیکی است [١٦]. به‌منظور طراحی برنامه‌های به‌نژادی دقیق‌تر برای بهبود ژنتیکی پتانسیل عملکرد دانه آگاهی از نقش صفات فیزیولوژیک مؤثر بر عملکرد و نحوه توارث آن‌ها ضروری است [١٥]. چوهان و همکاران [٥] با ارزیابی ٦ لاین ذرت و ترکیبات F_1 آنها تحت شرایط نرمال و تنش خشکی گزارش نمودند که صفات رطوبت نسبی برگ و عملکرد دانه در بوته تحت هر دو شرایط نرمال و تنش اثر افزایشی ژن با غالبیت جزئی نشان دادند که این صفات ممکن است در طول دوره انتخاب برای بهبود واریته‌های ساختگی مفید باشند. مرادی و همکاران [٢٢] با ارزیابی ٦ لاین ذرت و ترکیبات F_1 آنها تحت شرایط نرمال و تنش خشکی گزارش نمودند که اجزای a و b که به‌ترتیب ناشی از اثرات افزایشی و غالبیت ژن‌ها می‌باشند، برای کلیه صفات در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. همین محققین گزارش نمودند که صفات رطوبت نسبی برگ و عملکرد دانه در بوته تحت هر دو شرایط نرمال و تنش توسط اثرات فوق‌غالبیت ژن‌ها کنترل می‌شوند.

1. Ralative water content (RWC)

مصطفوی و همکاران [۱] در ذرت گزارش نمودند که که اجزای a و b که به‌ترتیب ناشی از اثرات افزایشی و اثرات غالبیت ژن‌ها می‌باشند، برای کلیه صفات در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. حسین و همکاران [۱۳] با ارزیابی ۸ لاین ذرت و ترکیبات F_1 آنها تحت شرایط نرمال و تنش خشکی گزارش نمودند که صفات ارتفاع بوته، وزن هزار دانه، تعداد ردیف دانه در بلال و عملکرد دانه در بوته تحت هر دو شرایط تنش و نرمال توسط اثرات فوق‌غالبیت ژن‌ها کنترل می‌شوند. هدف از این مطالعه تعیین پارامترهای مهم ژنتیکی صفات فیزیولوژیکی لاین‌های ذرت و تلاقی‌های آنها در دو شرایط نرمال و تنش خشکی و تجزیه‌وتحلیل گرافیکی صفات در تلاقی دای‌آلل به‌روش مدل جینکز و هیمن و همچنین بررسی امکان استفاده از آنها در برنامه‌های به‌نژادی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۳۹۱ در دو محیط تنش خشکی و بدون تنش در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی صفی‌آباد واقع در ۱۸ کیلومتری جنوب شهرستان دزفول اجرا گردید. این مرکز با ارتفاع ۸۲ متر از سطح دریا و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۲ دقیقه شمالی و طول ٤٨ درجه و ۲۳ دقیقه شرقی در جنوب غرب کشور واقع شده است. خاک محل آزمایش از نوع رسی- لومی با هدایت الکتریکی ۱/٤۲ میلی‌موس بر سانتی‌متر، PH برابر ۷/۵، ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی خاک به‌ترتیب ۲۵ و ۱۰ درصد وزنی بود. در این آزمایش شش اینبرد لاین ذرت (جدول ۱) و ۱۵ هیبرید مستقیم ذرت حاصل از تلاقی آنها در تاریخ ۱۰ مرداد ماه سال ۱۳۹۱ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در دو آزمایش مستقل با دو رژیم رطوبتی مختلف شامل، آبیاری در قطعهٔ بدون تنش به‌طور معمول و پس از ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A از ابتدای کاشت تا زمان برداشت انجام شد. آبیاری در قطعهٔ تنش تا مرحله رویشی (۷- ٦ برگی ذرت) به‌طور معمول و از آن به بعد تا زمان برداشت پس از ۱٤۰-۱۳۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A انجام گردید. هر کرت در ۳ خط ۵ متری به فاصله ۷۵ سانتی‌متر کشت گردید، در روی هر خط کاشت ۳۰ کپه و در هر کپه ۲ عدد بذر قرار داده شد و بعد از مرحله ٤ برگی بوته اضافی حذف و در هر کپه یک بوته حفظ گردید. کلیه مراحل کاشت و داشت طبق عرف منطقه صورت پذیرفت.

به‌منظور بررسی صفات مورد نظر از هر کرت آزمایشی خط اول و سوم به‌عنوان حاشیه در نظر گرفته شد و از خط وسط برای یادداشت‌برداری‌ها استفاده گردید.

جدول ۱. فرمول لاین، نام اختصاری و منشأ اولیه لاین‌های مورد بررسی

ردیف	فرمول لاین	نام اختصاری لاین	منشاء لاین
۱	CML384	CML	سیمیت (CIMMYT)
۲	SD\(3-6)\2-2-1-2-m-1	SD\3	مرکز تحقیقات کشاورزی صفی‌آباد
۳	SD\172-1-2-2-2-1-1	SD\17	مرکز تحقیقات کشاورزی صفی‌آباد
٤	SD\10\1-1-1-1-3-1-1	SD\10	مرکز تحقیقات کشاورزی صفی‌آباد
۵	SD\15\1-1-1-2-1-1-1	SD\15	مرکز تحقیقات کشاورزی صفی‌آباد
٦	SD\704\4-1-1-3-1-1	SD\704	مرکز تحقیقات کشاورزی صفی‌آباد

صفات مهم فیزیولوژیکی شامل رطوبت نسبی برگ که برای محاسبه این صفت تعداد سه برگ بالغ در ساعت ۱۰ صبح از هر کرت از دو ردیف وسطی با رعایت اثر حاشیه انتخاب و این برگ‌ها در داخل کیسه‌های نایلونی در داخل کلمن یخ سریعاً به آزمایشگاه منتقل شدند. ابتدا ۱۵ دیسک برگی به قطر هفت میلی‌متر توسط پانچ از برگ‌های گیاه جدا و وزن‌تر آن‌ها اندازه‌گیری شد، سپس نمونه‌ها را به‌مدت ٢٤ ساعت در پتری‌دیش در بسته حاوی ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر در روشنایی اتاق (معادل نقطه جبرانی نور) قرار داده و بعد از خشک کردن با دستمال کاغذی وزن اشباع برگ اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌های برگ به آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد منتقل و بعد از ٢٤ ساعت وزن خشک نمونه‌ها یاداشت شد. سپس رطوبت نسبی برگ طبق فرمول زیر به‌دست آمد:

$$RWC = \frac{\text{وزن خشک برگ} - \text{وزن برگ تازه}}{\text{وزن خشک برگ} - \text{وزن برگ اشباع از آب}} \times ۱۰۰$$

برای تعیین غلظت کلروفیل a و b برگ، مجموع کلروفیل و کاروتنوئید برگ از روش آرنون [۳] استفاده شد. ابتدا یک گرم برگ تازه با ۱۰ میلی‌لیتر محلول استون[1] ۸۰ درصد کوبیده و له شده، سپس نمونه‌ها توسط کاغذ صافی صاف شدند و حجم آن توسط استون به ۱۰ میلی‌لیتر رسید. محلول حاصله توسط دستگاه اسپکتوفتومتر قرائت شد. به این منظور ابتدا دستگاه با استون، صفر شده و میزان جذب محلول در طول موج ٦٦٣ (کلروفیل a)، طول موج ٦٤٥ (کلروفیل b) و طول موج ٤٧٠ برای کاروتنوئید بررسی شد بر اساس اعداد خوانده‌شده توسط دستگاه اسپکتوفتومتر و فرمول‌های زیر کلروفیل a و b، کلروفیل کل و کاروتنوئید برحسب میکروگرم بر گرم وزن‌تر برگ محاسبه گردید.

$$Chla = [(19.3(OD663) - 0.86(OD645)] \times (V/1000W)$$

$$Chlb = [(19.3(OD645) - 3.6(OD663)] \times (V/1000W)$$

$$ChlT = [(20.2(OD645) - 8.02(OD663)] \times (V/1000W)$$

$$Carotenoides = [100(OD470) + 3.27(mgChla)] - [104 \times (mg\ Chlb)/227]$$

Chla، Chlb و ChlT به‌ترتیب میزان کلروفیل a و b و کلروفیل کل بوده و OD645، OD663 و OD470 به‌ترتیب اپتیکال دانسیته عصاره حاصل در طول موج‌های ٦٤٥، ٦٦٣ و ٤٧٠ نانومتر، V حجم نهایی عصاره در استن ۸۰٪ و W وزن نمونه برحسب گرم است. به‌منظور تعیین عملکرد دانه در بوته، از بلال‌های خط میانی ۱۰ بلال تصادفی برداشت گردیدند و پس از خشک نمودن آنها در آون به‌مدت ٢٤ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد عملکرد دانه در بوته برحسب گرم اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری وزن خشک ریشه ابتدا به کمک بیل کل بوته از خاک خارج گردید بعد از پاک کردن و شستن ریشه‌ها، نمونه‌ها را در پاکت کاغذی و به‌مدت ٤٨ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده و بعد وزن خشک ریشه توسط ترازوی دقیق اندازه‌گیری شد. قبل از تجزیه داده‌ها آزمون بارتلت جهت بررسی همگن بودن واریانس والدها و واریانس هیبریدها و آزمون نرمال بودن داده‌ها توسط نرم‌افزار آماری Mini-tab انجام شد و تجزیه واریانس صفات مختلف در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در هر آزمایش با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS انجام شد. تجزیه دای‌آلل به‌روش ۲ گریفینگ و مدل II (مدل تصادفی) و برآورد اثرات ژنی و پارامترهای ژنتیکی توسط نرم‌افزار Dial98 انجام شد. در ادامه، به‌منظور بررسی صحت فرضیات اصلی دای‌آلل با استفاده از روش هیمن و جینکز از روش‌های رگرسیون کوواریانس روی واریانس و آزمون F

1. Aston

برای Wr -Vr استفاده شد [۱۵]. در صورت صادق بودن فرضیات مدل، پارامترهای آماری برآورد شد و عمل ژن برای صفات مورد بررسی مشخص گردید.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تفاوت بین ژنوتیپ‌ها برای کلیه صفات مورد بررسی در دو محیط تنش خشکی و آبیاری نرمال به استثنای صفت کلروفیل b در محیط نرمال در سطوح احتمال ۵ درصد و یا ۱ درصد معنی‌دار بود. بنابراین والدین و تلاقی‌های حاصل از آنها از نظر ژنتیکی متفاوت بودند و امکان بررسی کامل‌تر و شناسایی جزئیات این تفاوت‌های ژنتیکی وجود داشت (جدول ۲). همبستگی بین صفت رطوبت نسبی برگ با عملکرد دانه در شرایط تنش رطوبتی مثبت و بسیار معنی‌دار بود (جدول ۲). بنابراین با توجه به مثبت و معنی‌دار بودن همبستگی میزان رطوبت نسبی برگ با عملکرد دانه در شرایط تنش، می‌توان از این شاخص برای گزینش در شرایط تنش استفاده نمود. برخی محققین از رطوبت نسبی برگ به‌عنوان یک شاخص در گزینش برای تحمل به خشکی استفاده نمود [٦]. محققین دیگری میزان رطوبت نسبی برگ را به‌عنوان یک معیار تحمل به خشکی پیشنهاد نمود. محتوای نسبی آب برگ، شاخصی برای نشان دادن آسیب‌های ناشی از تنش خشکی معرفی شده است [٢٤]. محتوای نسبی آب برگ بیشتر سبب افزایش فتوسنتز و در نتیجه افزایش عملکرد در شرایط تنش می‌شود [۱۰]. ارتباط مستقیم و معنی‌داری بین شاخص محتوای نسبی آب برگ با عملکرد گندم تحت تنش خشکی گزارش شده است [١٦]. در نتیجه از این صفت می‌توان به‌عنوان یکی از بهترین شاخص‌های ترازمندی آب در گیاه برای گزینش ارقام در شرایط تنش بهره برد [۲۸]. در مورد صفت وزن ریشه، این صفت در شرایط تنش با عملکرد دانه همبستگی مثبت و بسیار معنی‌داری داشت (جدول ۲). محققان دیگر نیز نتایج مشابهی را مبنی بر افزایش عمق ریشه بر اثر تنش خشکی و محدودیت آب گزارش کرده‌اند. در شرایط تنش خشکی اگر مقدار رطوبت در لایه‌های زیرین خاک بیشتر باشد، به‌طور معمول ریشه‌ها عمیق‌تر می‌شوند و سرعت رشد ریشه افزایش می‌یابد، که این کار با افزایش جذب آب، عملکرد را در گیاهانی که به‌ویژه با محدودیت تنظیم اسمزی مواجه‌اند، افزایش می‌دهد [۱۸]. بنابر گزارش محققان برای انتخاب ارقام پرعملکرد در شرایط تنش خشکی می‌توان انتخاب را براساس قابلیت افزایش عمق ریشه به اعماق خاک و جذب آب انجام داد، این انتخاب به‌ویژه برای ژنوتیپ‌هایی که تنظیم اسمزی محدودی دارند مناسب‌تر است [۲۷].

جدول ۲. تجزیه واریانس خصوصیات فیزیولوژیکی و ضریب همبستگی صفات فیزیولوژیکی با عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش خشکی

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد دانه در بوته (گرم)		کلروفیل a (میکروگرم بر گرم)		کلروفیل b (میکروگرم بر گرم)		کلروفیل کل (میکروگرم بر گرم)	
		تنش	نرمال	تنش	نرمال	تنش	نرمال	تنش	نرمال
بلوک	۲	۳٦۸۹/٦*	۲۳۱۰/۹*	۰/۵٦۷*	۰/۱۳۲^{ns}	۱/۹۸۵*	۰/۲۰۷^{ns}	۱/۳۰۵^{ns}	۰/۵٦۲*
ژنوتیپ	۲۰	۷۹۰۱/۹**	۹۲٤۹/٦**	۰/۷۱۷**	۰/۷۳۷**	۰/٦۷٦*	۰/۱۲۹^{ns}	۲/۸٤۰*	۱/۱۲٤**
خطا	٤۰	٤۸٦/۱	۷۸۹/٦	۰/۲۱۹	۰/۱۰۸	۰/۳۰۵	۰/۱۲۸	۰/۵٦۷	۰/۱٦۷
ضریب تغییرات		۱۵/۷٦	۱۲/۹٤	۹/٦۱	۵/۱۱	۲۲/۰۵	۱۵/٦۰۲	۱۱/۰۲	٤/۷۲
ضریب همبستگی		--	--	-۰/۱۰	-۰/۱٦	۰/۳٤	-۰/۰۱	-۰/۱۹	-۰/۱۳

ns، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

ادامه جدول ۲. تجزیه واریانس خصوصیات فیزیولوژیکی و ضریب همبستگی صفات فیزیولوژیکی با عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش خشکی

منابع تغییر	درجه آزادی	RWC (درصد)		کاروتنوئید (میکروگرم بر گرم)		وزن ریشه (گرم)	
		تنش	نرمال	تنش	نرمال	تنش	نرمال
تکرار	۲	٦٥/٣٢**	٣٨/٣٠**	٤٧١/٢٥*	٢٩٧/٠٧*	٥٩/٩٨*	٧٣/٥٢*
ژنوتیپ	٢٠	٤٥/٦٢**	٢٤/١٢**	١٢٨٤/٤٢**	٥٥٦/٢٧**	٢٧٥/٣٦**	١٦٨/٩٥**
خطا	٤٠	٩/٤٢	٧/١٥	131/80	٨٣/٥٤	١٢/٢١	١٢/٤٤
ضریب تغییرات		٣/٥٢	٢/٩٨	٧/٤٩	٥/٥٦	٤/٥٨	٦/٩٨
ضریب همبستگی		٠/٧٣**	٠/٢٢	٠/٤١	٠/٠٧	٠/٨١**	٠/٤٤

ns، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس بر اساس روش پیشنهادی هیمن [۱۲] نشان داد که جز a که برآوردی از واریانس افزایشی و ترکیب‌پذیری عمومی می‌باشد، برای کلیه صفات مورد بررسی در هر دو محیط تنش و نرمال در سطوح احتمال ۵ درصد و یا ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳)، این موضوع بیانگر اهمیت اثرات افزایشی در توارث صفات موردنظر است. همچنین جز b که مربوط به تفاوت‌های بین هیبریدها و والدین و ناشی از اثرات غیرافزایشی ژن‌ها می‌باشد، و تخمینی از ترکیب‌پذیری خصوصی است، در محیط تنش برای کلیه صفات مورد بررسی به‌استثنای صفات رطوبت نسبی برگ و کلروفیل کل برگ، همچنین در محیط نرمال برای کلیه صفات مورد بررسی در سطوح احتمال ۵ درصد و یا ۱ درصد معنی‌دار شد، که نشان‌دهنده اهمیت اثرات غیرافزایشی در توارث صفات مورد نظر است. بر اساس روش پیشنهادی هیمن [۱۲] این جز واریانس به اجزای b_1، b_2 و b_3 تفکیک گردید. جز b_1 مقایسه بین والدها در برابر تلاقی‌ها می‌باشد. به‌عبارت دیگر این جز بیان‌کننده متوسط اثر هتروزیس است. با مراجعه به جدول ۳ ملاحظه می‌گردد که مقادیر b_1 در محیط تنش برای صفات مورد بررسی به‌جز صفات کلروفیل کل و رطوبت نسبی برگ و نیز در محیط نرمال برای صفات مورد بررسی به‌جز صفت رطوبت نسبی برگ در سطوح احتمال ۵ درصد و یا ۱ درصد معنی‌دار گردید. این امر نشان می‌دهد که برای کلیه صفات هیبریدها به‌طور متوسط به طرف والد واجد مقدار بیشتر صفت گرایش داشته‌اند. جز b_2 غالبیت یا هتروزیس خاص مرتبط با هر والد را نشان می‌دهد. مقادیر b_2 در هر دو محیط تنش و نرمال برای اکثر صفات مورد بررسی به استثنای صفت رطوبت نسبی برگ در سطوح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد معنی‌دار گردید، معنی‌دار شدن این جز بیان‌کننده این است که آلل‌های غالب و مغلوب در والدین متفاوت می‌باشند و بیان کننده برتری هیبریدها نسبت به والدین در صفات مورد بررسی است. به عبارت بهتر، معنی‌دار بودن b_2 نشان می‌دهد که برای این صفات، برخی از والدین نسبت به بقیه دارای آلل‌های غالب بیشتری هستند. جز b_3 بیشترین جز غالبیت بوده و معادل مقدار ترکیب‌پذیری خصوصی می‌باشد. با مراجعه به جدول ۳ ملاحظه می‌گردد که مقادیر b_3 برای صفت عملکرد دانه در محیط تنش و نیز صفات عملکرد دانه، رطوبت نسبی برگ و کلروفیل کل برگ در محیط نرمال در سطوح احتمال ۵ و یا ۱ درصد معنی‌دار شدند که بیان‌کننده معنی‌دار شدن اثرات ترکیب‌پذیری خصوصی برای این صفات است. معنی‌دار شدن اثرات ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی بر این دلالت دارد که در کنترل این صفات هر دو اثرات افزایشی و غالبیت نقش دارند. برخی محققان گزارش کردند که اجزای a و b برای

صفت رطوبت نسبی برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. گزارش شده است که اگر جز b_2 معنی‌دار باشد نشان‌دهنده عدم توزیع یکنواخت آلل‌های غالب و مغلوب در والدین می‌باشد و اگر جز b_3 معنی‌دار باشد بیان‌کننده معنی‌دار شدن اثرات ترکیب‌پذیری خصوصی برای این صفت است [۲۰]. محققین دیگری با بررسی صفات کلروفیل a و b و کلروفیل کل برگ گزارش کردند که جز واریانس غالبیت برای صفات مذکور نسبت به جز واریانس افزایشی بیشتر است که بیانگر اثرات غالبیت یا فوق غالبیت ژن‌ها در کنترل ژنتیکی آنها می‌باشد [۲۳].

برآورد پارامترهای ژنتیکی نشان داد که واریانس افزایشی (D) در محیط تنش و نرمال در مورد کلیه صفات مورد بررسی در سطوح احتمال ۵ درصد و یا ۱ درصد معنی‌دار بود، این موضوع بیانگر اهمیت اثرات افزایشی در توارث صفات موردنظر است. همچنین واریانس غالبیت (پارامترهای H_1 و H_2) در مورد کلیه صفات مورد بررسی در سطوح احتمال ۵ درصد و یا ۱ درصد معنی‌دار شدند. پارامتر D برای صفات عملکرد دانه و کاروتنوئید در دو محیط تنش و نرمال و صفات وزن ریشه، RWC و کلروفیل کل برگ در محیط نرمال کوچک‌تر از پارامترهای H_1 و H_2 بود که نشان‌دهنده مهم‌تر بودن جز واریانس غالبیت نسبت به واریانس افزایشی در کنترل این صفات می‌باشد. این موضوع بیانگر اهمیت اثرات غالبیت یا فوق‌غالبیت ژن‌ها در کنترل ژنتیکی صفات موردنظر است. اما بیشتر بودن پارامتر D از پارامترهای H_1 و H_2 برای صفات وزن ریشه، RWC و کلروفیل کل برگ در محیط تنش نشان‌دهنده مهم‌تر بودن جز واریانس افزایشی نسبت به واریانس غیرافزایشی در کنترل این صفات می‌باشد (جدول ٤). محققان دیگری گزارش کردند که پارامتر D برای صفت RWC کوچک‌تر از پارامترهای H_1 و H_2 بود که نشان‌دهنده مهم‌تر بودن جز واریانس غالبیت نسبت به واریانس افزایشی در کنترل این صفت می‌باشد [۲۰].

در این بررسی شاخص F (کواریانس اثرات افزایشی و غالبیت) به‌عنوان معیاری از فراوانی آلل‌های غالب و مغلوب برای صفات عملکرد دانه، کلروفیل کل برگ و کاروتنوئید در محیط تنش و صفات عملکرد دانه و وزن ریشه در محیط نرمال مثبت و معنی‌دار بود که نشان‌دهنده این است که لاین‌های مورد مطالعه دارای فراوانی آلل‌های غالب بیشتری نسبت به آلل‌های مغلوب برای این صفات می‌باشند. در بررسی دیگری گزارش شده که لاین‌های ذرت برای عملکرد دانه دارای آلل‌های مغلوب بیشتری نسبت به آلل‌های غالب می‌باشند [۱].

جدول ۳. تفکیک میانگین مربعات صفات مختلف ذرت به‌روش هیمن در دو شرایط نرمال و تنش خشکی

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد دانه در بوته (گرم)		کلروفیل کل (میکروگرم بر گرم)		RWC (درصد)		کاروتنوئید (میکروگرم بر گرم)		وزن ریشه (گرم)	
		تنش	نرمال	تنش	نرمال	تنش	نرمال	تنش	نرمال	تنش	نرمال
تکرار	۲	۱٤۷/٤۹**	۱۲٦/۲۹**	۱/۰۹^{ns}	۰/۳۱^{ns}	۲۷/۲۳*	٤۳/٦۸**	۲۷/۹۷^{ns}	–	۰/۵۹^{ns}	٤۵/۰۰**
a	۵	۳۹۱/٦۳**	۲۹۳/۵۱**	۲/۵۸**	۱/۳٦**	۱۹/۹۸*	۳٤/۷۷**	۵٦/۳۱**	–	۹۸/۰۹**	۱٤٤/۳۸**
b	۱۵	۳۸۹٤/۱۷**	۲۱۵٦/۳۸**	۰/۵۳^{ns}	۰/۷٤**	۱۰/۱۱^{ns}	۲۰/٤٤**	۲۲/۱۰*	–	۲۸٤/۰۹**	۱۹۹/۸۰**
b_1	۱	۸۰۲۵/۳۹**	٦۳۲۵/٤۲**	۰/۰۲^{ns}	۰/۰۵^{ns}	۰/۱۷^{ns}	۵/۹٦^{ns}	۱۵/۵٤^{ns}	–	۳٤۲۱/۰۹**	۲٤۳۸/٦۷**
b_2	۵	٦۰۸/۹۵**	۵۹۳/۷٤**	۱/۰۹^{ns}	۰/٦۱*	۱٤/۹٤^{ns}	۱۱/۱۳^{ns}	۷۰/٤٦**	–	۱۷/۲۸^{ns}	۱۰۲/٤۸**
b_3	۹	۱٤۹/۱٦**	۱۷۵/۲۹**	۰/۲۸^{ns}	۱/۰۲**	۸/۵۳^{ns}	۲۷/۲۲**	۱۷/۳۲^{ns}	–	۸۳/۷٦**	۵/۱۳^{ns}
خطا	٤۰	۱۱/۷۰	۱۹/۰۸	۰/٤۹	۰/۱۳	۷/۱۹	٦/۹٤	۱۰/۷۲	–	۱۱/٤٦	۸/۵۲

ns، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

جدول ٤. برآوردهای پارامترهای ژنتیکی برای صفات مختلف ذرت در دو شرایط نرمال و تنش خشکی

پارامتر	عملکرد دانه در بوته (گرم)		کلروفیل کل (میکروگرم بر گرم)		RWC (درصد)		کاروتنوئید (میکروگرم بر گرم)		وزن ریشه (گرم)	
	تنش	نرمال	تنش	نرمال	تنش	نرمال	تنش	نرمال	تنش (۵ والدی)	نرمال
D	٤٢٤/٧**	٥١٠/٥٩**	٠/٨١*	٠/٣٧*	٢١/١٨*	٩/٢٢*	١٥/٣١*	–	٢٥٨/٦٤**	١٤٥/١٩**
H_1	٥٨٦/٩**	٨٨٧/١٦**	٠/٧٤**	٠/٨٤**	١٤/٠٦*	١٦/٢٢*	٤٥/٠٤*	–	٢١٠/٢٩**	١٩٧/٢٤**
H_2	٥١٠/٧**	٧٥٩٣/٢٥**	٠/٥٢**	٠/٧٦**	١١/٤٤*	١٤/٦٥*	٢٦/٨٤*	–	٢٠٨/٠٩**	١٦٨/٨٣**
F	٢٢٥/١**	١٤٩/٢٤*	٠/٧٨*	٠/٢٩ns	٦/٩٥ns	٣/٧٧ns	٣٠/٩٨*	–	٣/٤٦ns	٥٧/٣٢*
h^2	٦٦٩/١٢**	٢٧٢/٩٤**	−٠/٠٨ns	−٠/٠٢ns	−١/٢٤ns	٠/١٢ns	١/٤٥ns	–	٧٣٧/٠٦**	٥٢٣/٦٨**
E	٥/٨**	١٠/٥٩**	٠/١٦*	٠/٠٨*	٢/٥٠**	٢/٣٦**	٣/٤٧**	–	٤/٠٥**	٢/٩٤**
$\sqrt{H_1/D}$	١/١٧	١/٣٢	١/٤٩	٠/٩٥	٠/٨١	١/٣٢	١/٧٣	–	٠/٩٠	١/٣٦
$kd/(kd+kr)$	٠/٥٩	٠/٥٥	٠/٦٣	٠/٦١	٠/٧٣	٠/٥٧	٠/٦٣	–	٠/٥١	٠/٦٥
h	١٠٨/٠٣**	١٣٥/١٩**	٣/٨٦**	−٠/٠٩ns	٠/١٩ns	١/١٥*	−١/٨٣ns	–	٢٧/١٩**	٢٢/٩٢**
$\overline{uv}$	٠/٢٤	٠/٢٥	٠/٢٣	٠/١٨	٠/٢٠	٠/٢٣	٠/١٨	–	٠/٢٥	٠/٢١
h_b^2	٠/٧٦	٠/٥٩	٠/٧٨	٠/٤١	٠/٥٠	٠/٥٩	٠/٦٨	–	٠/٥٤	٠/٧٣
h_n^2	٠/٢٥	٠/٢٠	٠/٢٢	٠/٦٠	٠/٥٧	٠/٤١	٠/١٢	–	٠/٦٢	٠/١٥

ns، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

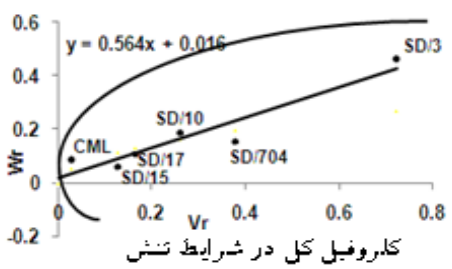
D: واریانس افزایشی، H_1 و H_2: واریانس غالبیت، F: کواریانس اثرات افزایشی و غالبیت، E: واریانس محیطی، $\sqrt{H_1/D}$: میانگین درجه غالبیت، $kd/(kd+kr)$: نسبت ژن‌های غالب، h: میانگین جهت غالبیت، $\overline{uv}$: نسبت ژن‌های غالب و مغلوب، h_b^2: قابلیت توارث عمومی و h_n^2: قابلیت توارث خصوصی.

برآورد میانگین درجه غالبیت برای صفات وزن ریشه و کلروفیل کل برگ در محیط تنش کمتر از یک به‌دست آمد که نشان از وجود غالبیت نسبی برای ژن‌های کنترل‌کننده این صفات بود. برای بقیه صفات برآورد میانگین درجه غالبیت بیشتر از یک به‌دست آمد که نشان از وجود فوق غالبیت برای ژن‌های کنترل‌کننده این صفات بود. محققان دیگری [۲۱] با بررسی صفات محتوای کلروفیل، کلروفیل a و b و کلروفیل کل برگ در گندم نان میانگین درجه غالبیت برای این صفات را بیشتر از یک برآورد کردند که مبین وجود فوق غالبیت برای ژن‌های کنترل‌کننده این صفات بود. آماره $\overline{uv}$ بیانگر حاصلضرب فراوانی آلل‌های غالب و مغلوب در والدین می‌باشد و هنگامی‌که فراوانی آلل‌ها در والدین یکسان و برابر ۰/۵ باشد، بیشترین مقدار یعنی۰/۲۵ را خواهد داشت. درصورتی‌که فراوانی آلل‌ها در والدین متفاوت باشد، این مقدار کمتر از ۰/۲۵ به‌دست خواهد آمد. در این بررسی مقدار $\overline{uv}$ برای صفت وزن ریشه در محیط تنش و عملکرد دانه در محیط نرمال برابر ۰/۲۵ بود که بیانگر یکسان بودن فراوانی آلل‌های غالب و مغلوب در والدها می‌باشد، برای سایر صفات مقدار $\overline{uv}$ کمتر از ۰/۲۵ به‌دست آمد (جدول٤)، که بیانگر این است که فراوانی آلل‌های غالب و مغلوب در والدها یکسان نمی‌باشد.

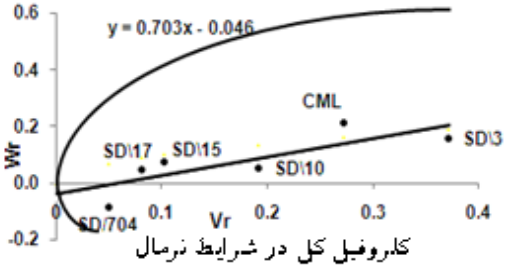
دامنه تغییرات وارث‌پذیری عمومی در شرایط نرمال از ۵۹ درصد تا ۷۸ درصد که به‌ترتیب مربوط به صفات عملکرد دانه در بوته و کلروفیل کل برگ بود. اما در شرایط تنش از ٤١ درصد تا ٧٦ درصد که به‌ترتیب مربوط به صفات کلروفیل کل برگ و عملکرد دانه در بوته بود. دامنه تغییرات وارث‌پذیری خصوصی در شرایط تنش از ۱۲ درصد تا ٦٢ درصد که به‌ترتیب مربوط به صفات کاروتنوئید و وزن ریشه

بود. اما در شرایط نرمال از ۱۵ درصد تا ٤١ درصد بود که به‌ترتیب مربوط به صفات وزن ریشه و رطوبت نسبی برگ (جدول ٤). محققین دیگری با انجام دای‌آلل به‌روش هیمن و جینگز در گیاه ذرت، مقادیر توارث‌پذیری خصوصی برای صفت عملکرد دانه در دو محیط تنش خشکی و نرمال را به‌ترتیب ٧٦ و ٨٥ گزارش کردند [٥]. محققین دیگری برای صفات محتوای کلروفیل، کلروفیل a و b و کلروفیل کل برگ وراثت‌پذیری عمومی بالا ولی وراثت‌پذیری خصوصی پایین گزارش کردند که این امر تأییدکننده اهمیت اثرات ژنی غیرافزایشی است [٢٣]. در تحقیق دیگری مقادیر توارث‌پذیری عمومی برای صفات کلروفیل a و b و عملکرد دانه را به‌ترتیب ٧٢، ٧٥ و ٤٩ درصد گزارش کردند [٣٤]. نتایج مطالعه دیگری وراثت‌پذیری عملکرد دانه ذرت را در محیط تنش خشکی ٣٧ درصد و در محیط نرمال ٦٠ درصد گزارش کرده است [٣١]. به‌طور کلی با توجه به اینکه توارث‌پذیری خصوصی برای صفات وزن ریشه، RWC و کلروفیل کل برگ در محیط تنش بیشتر از توارث‌پذیری عمومی بود، این امر بیانگر این موضوع است که اثر افزایشی ژن‌ها در کنترل این صفات سهم عمده‌ای داشته است (جدول ٤). بنابراین برای این صفات انتخاب در نسل‌های اولیه می‌تواند موفقیت‌آمیز باشد. پایین بودن وراثت‌پذیری خصوصی صفات می‌تواند به‌علت بیشتر بودن سهم اثرات غیرافزایشی ژن‌ها نسبت به افزایشی، در کنترل صفات مورد مطالعه باشد، ضمن این‌که پایین بودن نسبی این برآوردها سبب خواهد شد که گزینش در نسل‌های در حال تفکیک، از موفقیت چندانی برخوردار نباشد. بنابراین باید گزینش را تا نسل‌های پیشرفته اصلاحی به تعویق انداخت.

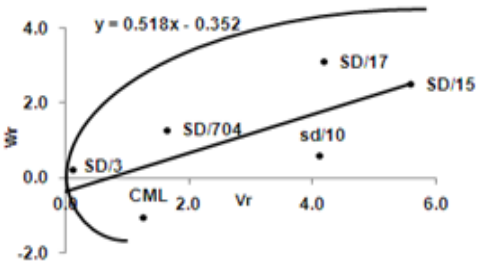
شکل ١ سهمی‌های محدودکننده و خطوط رگرسیون کوواریانس ردیف‌ها روی واریانس ردیف‌ها و پراکنش والدها را برای صفات مورد بررسی در دو محیط تنش و نرمال نشان می‌دهد. بر اساس تجزیه‌وتحلیل گرافیکی، خط رگرسیون کوواریانس ردیف‌ها روی واریانس ردیف‌ها برای صفات عملکرد دانه، RWC و کاروتنوئید در هر دو محیط تنش و نرمال و برای صفات وزن ریشه و کلروفیل کل در محیط نرمال محور کوواریانس (Wr) را در پایین مرکز مختصات قطع نمود که بیان‌کننده اثر فوق غالبیت ژن‌ها در ارتباط با این صفات می‌باشد. اما برای صفات وزن ریشه و کلروفیل کل در محیط تنش خط رگرسیون محور کوواریانس را بالاتر از مرکز مختصات قطع نمود که گویای وجود اثر غالبیت نسبی ژن‌ها در کنترل این صفات می‌باشد. پراکنش والدها در اطراف خط رگرسیون بیانگر فراوانی ژن‌های غالب و مغلوب می‌باشد، به این ترتیب که والدی که حاوی ژن‌های غالب بیشتر است در پایین و نزدیک مرکز مختصات و والدی که حاوی ژن‌های مغلوب بیشتر است در نقطه مقابل قرار می‌گیرد. علت این است که والد هموزیگوت مغلوب دارای واریانس و کوواریانس بزرگتری است، بنابراین موقعیت آن در بالای خط رگرسیون قرار می‌گیرد. بر این اساس، نزدیک‌ترین و دورترین لاین‌ها به مبدأ مختصات برای صفت وزن ریشه در محیط نرمال لاین‌های CML و SD/17، و در محیط تنش لاین‌های SD/3 و SD/17، برای صفت RWC در محیط نرمال لاین‌های CML و SD/15، در محیط تنش لاین‌های SD/3 و SD/15، برای صفت کلروفیل کل در محیط نرمال لاین‌های SD/704 و SD/3، در محیط تنش لاین‌های CML و SD/3، برای صفت کاروتنوئید در محیط نرمال لاین‌های CML و SD/17، در محیط تنش لاین‌های CML و SD/3، برای عملکرد دانه لاین‌های CML و SD/17 در محیط نرمال و در محیط تنش لاین‌های SD/3 و SD/17 بودند. به این ترتیب انتظار می‌رود برای تمامی صفات مورد بررسی تلاقی بین لاین‌های مذکور تولید ژنوتیپ دورگی با بیشترین هتروزیگوتی را بنماید و بدیهی است که تلاقی بین این ژنوتیپ‌ها می‌تواند منجر به تولید هیبریدهای مناسبی گردد.



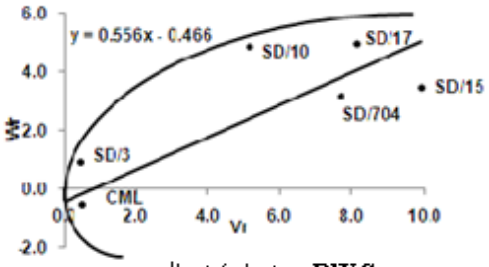
کلروفیل کل در شرایط تنش



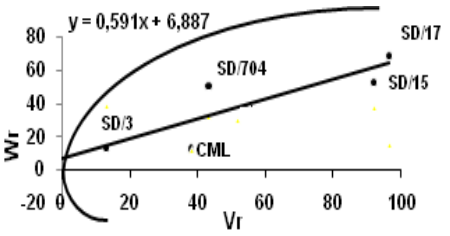
کلروفیل کل در شرایط نرمال



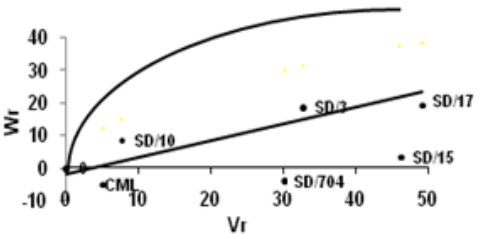
RWC در شرایط تنش



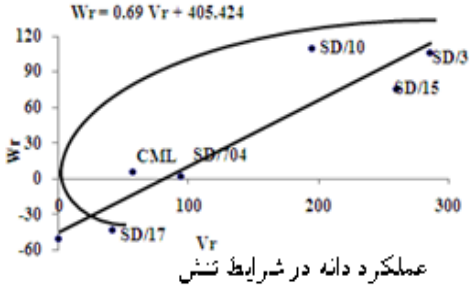
RWC در شرایط نرمال



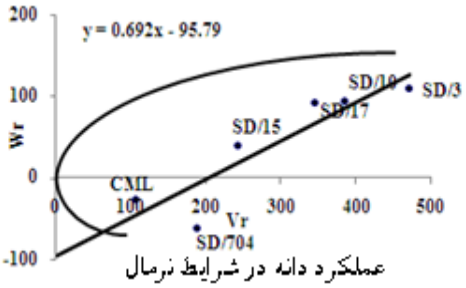
وزن ریشه در شرایط تنش



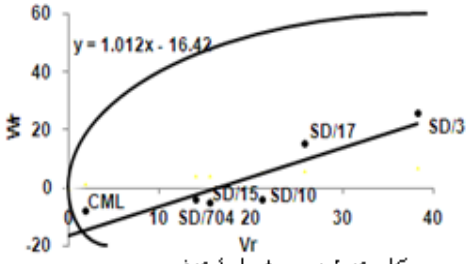
وزن ریشه در شرایط نرمال



عملکرد دانه در شرایط تنش



عملکرد دانه در شرایط نرمال



کاروتنوئید در شرایط تنش

شکل ۱. تجزیه‌وتحلیل گرافیکی و پراکنش والدها برای عملکرد و صفات وابسته در ذرت

نتیجه‌گیری کلی

اصلاح عملکرد دانه به‌دلیل وراثت‌پذیری پایین آن مشکل است و اصلاح برای محیط‌های نامطلوب، نیاز به درک عمیق فرایندهای تعیین‌کننده عملکرد دارد [٤]. درک بهتر پاسخ‌های فیزیولوژیک گیاهان به تنش‌های محیطی می‌تواند اصلاحگر را در برنامه‌هایی که هدف آنها اصلاح برای تحمل واریته‌های گیاهی به خشکی است، یاری نماید [١٦]. با توجه به نتایج این تحقیق عملکرد دانه و صفات فیزیولوژیکی وابسته توسط آثار افزایشی و غیرافزایشی ژن‌ها کنترل می‌شوند. با توجه به سهم بیشتر آثار افزایشی ژن‌ها در کنترل صفات وزن ریشه، رطوبت نسبی برگ و کلروفیل کل، انتخاب مستقیم برای این صفات در نسل‌های اولیه می‌تواند در محیط تنش مفید باشد. اما به‌دلیل سهم بیشتر آثار غیرافزایشی ژن‌ها در کنترل عملکرد دانه و کاروتنوئید در هر دو محیط تنش و نرمال و برای صفات وزن ریشه، رطوبت نسبی برگ و کلروفیل کل در محیط نرمال، انتخاب مستقیم برای این صفات در نسل‌های اولیه مؤثر نیست و باید گزینش را به نسل‌های پیشرفته برنامه به‌نژادی موکول کرد.

منابع

١. مصطفوی خ.، ر. چوکان.، م. ر. بی‌همتا.، ا. مجیدی هروان و م. تائب (١٣٨٩) مطالعه ژنتیکی عملکرد و صفات وابسته در ذرت (*Zea mays* L.) با استفاده از تجزیه گرافیکی دای‌آلل. مجله زراعت و اصلاح نباتات. ٦(٣): ١٢٩-١١٧.

2. Andjelkovic V, Ignjatovic-Micic D, Mladenovic S and Vancetovic J (2012) Implementation of maize gentic resources in drought tolerance and grain quality improvement at maize research institute. "Zemun Polje". Thiyrd International Scientific Smposium. 10.7251/AGSY1203429A. UDK 631. 147: 633.15.
3. Arnon DI (1949) Copper enzymes in isolated chloroplasts. polyphenoloxidase in Beta vulgaris. Plant Physiol. 24: 1-15.
4. Blanco IA, Rajaram S, Kronstad WE and Reynolds MO (2000) Physiological performance of synthetice hexaploid wheatderived populations. Crop Science. 40: 1257-1263.
5. Chohan MSM, Saleem M, Ahsan m and Asghar M (2012) Genetic analysis of water stress tolerance and various morpho-physiological traits in *Zea mays* L. using graphical approach. Pakistan Journal of Nutrition. 11(5): 489-500.
6. Dedio W (1975) Water relations in wheat leaves as screening tests for drought resistance. Canadian Journal of Plant Science. 55: 369-378.
7. Davies DD, Giovanelli J and Rees T (1964) Plant biochemistry. Blackwell Scientific Publications, Oxford. UK.
8. Falconer DS (1989) Introduction to quantitative genetics. Longman Group Ltd. London. FAO (2010) Statistical data. www. FAOSTAT. Org.
9. Farooq M, Wahid A, Kobayashi N, Fujita D and Basra SM (2009) Plant drought stress: effects, mechanisms and management. Agronomy for Sustainable Development. 29: 185-212.
10. Gaffney J, Schussler J, Loffler C, Cai W, Paszkiewicz S, Messina C, Groeteke J, Keaschall J and Cooper M (2015) Industry-scale evaluation of maize hybrids selected for increased yield in drought-stress conditions of the US Corn Belt. Crop Science. 55:1608–1618.
11. Hayman BI (1957) Interaction, heterosis and diallel crosses. Genetics. 42: 33-35.
12. Hussain M, Shah KN, Ghafoor A, Kiani TT and Mahmood T (2014) Genetic analysisfor grain yield and various morfological traits in corn (*Zea mays* L) under normal and water stress environmets. The Journal of Animal and Plant Sciences, 24(4): 1230-1240.
13. Jiang Y and Hung B (2001) Drought and heat stress injury to two cool-season turfgrasses in relation to antioxidant metabolism and lipid peroxidation. Crop Science. 41: 436-442.
14. Jinks JL and Hayman BI (1953) The analysis of diallel crosses. Maize Genetics Cooperation Newsletter. 27: 48-54.
15. Khakwani AA, Dearin M and Munir M (2011) Drought tolerance screening of wheat varieties by inducing water stress conditions. Songklanakarin Journal of Science & Technology. 33: 135-142.
16. Koc M, Barutcular C and Genc I (2003) Photosynthesis and productivity of old and modern durum vheats in Mediterranean environment. Crop Science. 43: 2089-2098.

17. Kondo M, Pablico PP, Aragones DV, Agbisit R, Abe J, Morita S and Courtois B (2003) Genototypic and environmental variation in root morphology in rice genotypes under upland field conditions. In: Abe, J. (ed.), Roots: The dynamic Interface between Plants and the Earth. The Sixth Symposium of the International Society of Root Research. Speciial issue Plant and Soil. 255: 189-200.
18. Manivannan P, Abdul Jaleel C, Sankar B, Kishorekumar A, Somasundaram D, Lakshmanan GMA and Panneerselvam R (2007) Growth, Biochemical modifications and proline metabolism in *Helianthus annuus* L. as induced by drought stress. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. 59:141–149.
19. Mohammadi-Sarab-Badieh M, Farshadfar E, Haghparast R, Rajabi R and Zarei L (2012) Evaluation of gene actions of some traits contributing in drought tolerance in bread wheat utilizing diallel analysis. Annals of Biological Research. 3(7): 3591-3596.
20. Moll RH and Stuber CW (1974) Quantitative genetics: Imperical results relevant to plant breeding. Advance Agronomy. 26: 277-313.
21. Moradi M, Choukan R, MajidiHeravan E and Bihamta MR (2014) Genetic analysis of various morpho-physiological traits in maize using graphical approach under normal and water stress conditions. Research on Crops. 15(1): 62-70.
22. Naroui-Rad MR, Abdul-Kadir M and Yusop MR (2012) Genetic behaviour for plant capacity to produce chlorophyll in wheat (*Triticum aestivum* L) under drought stress. 6(3): 415-420.
23. Schonfeld MA, Johnson RC, Carver BF and Mornhinweg DW (1988) Water relations in winter wheat as drought resistance indicators. Crop Science. 28: 526-531.
24. Smith S and Smet I (2012) Phil. Trans. R. Soc Root system architecture: Insights from Arabidopsis and cereal crops. B. 365(1595): 1441-1452.
25. Teulat B, Borries C and This D (2001) New QTLs identified for plant water status, water-soluble carbohydrate and osmotic adjustment in a barley population grown in a growth chamber under two water regimes. Theoritical Appllied Genetic. 103: 161-170.
26. Tuberosa R (2011) Phenotyping for drought tolerance of cropin the genomics era: Key concepts, issues and approaches. University of Bolongna, Italy. Frontiers in Physiology Journal. 3: 1-26.
27. Vaezi B, Borman V and Shiran B (2010) Screening of barley genotypes for drought tolerance by agro-physiological traits in field condition. African Journal of Agricultural Research. 5: 881-89.
28. Von Braun J, Byerlee D, Charters C, Lumpkin T, Olembo N and Waage J (2010) A draft strategy and results framework for the CGIAR. The world bank, Washington DC.
29. Zhang K, Zhang Y, Chen G and Tian J (2009) Genetic Analysis of Grain Yield and Leaf Chlorophyll Content in Common Wheat. Cereal Res Communications. 37: 499-511.
30. Ziyomo C and Bernardo R (2013) Drought tolerance in maize: Indirect selection through secondary traits versus genome-wide selection. Crop Science. 53: 1269-1275.

Breeding of Agronomic and Horticultural Crop
(Journal of Agriculture, University of Tehran)

Vol. 4 ■ No. 1 ■ Spring & Summer 2016

Genetic analysis for grain yield of maize and its related physiological traits using diallel crosses under normal and drought stress

Mohammad Moradi[1*], Eslam Majidi Hervan[2]

1. Assistant Professor, Department of Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Shoushtar Branch, Iran.
2. Professor, Department of Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran.

Received: Octobr 02, 2016 Accepted: March 17, 2019

Abstract

Drought is the most significant environmental stress in agriculture worldwide and improving yield maize under drought is a major goal of plant breeding. Information on genetic control of yeild and related traits and graphical analysis are essential for improvement these traits in breeding programs. In order to the F1 hybrids along with their parents (6 inbred line) evaluated in field under normal and water stress regimes (irrigated after 90±5 and 135±5 mm evaporation from class A pan for normal and water stress conditions, respectively) at dezful research station in safi abad, at 2012 in 31 July, using RCBD with three replications. Estimation of genetic parameters based on Hayman (1954) revealed that the value of D is less than H_1 and H_2 indicating that dominant genetic effects for traits such as grain yeild per plant and total carotenoid in stress condition and for traits such as grain yeild per plant, total chlorophyll (a+b), RWC and root weight in normal condition were more important than additive genetic effects. Therefore the selection for these traits in later generations may be more effective. However, the values of H1 and H2 were < D denoting that genes showing dominance effect for the total chlorophyll (a+b), RWC and root weight was less important than additive genes. Thus, these traits were under the control of additive type of gene action and so the selection in early generations will be more effective for these traits. The total chlorophyll (a+b), RWC and root weight can be reliable criteria for the selection of tolerant genotypes with prospect to higher yields. Based on graphical analyses and regression line of array wr/vr, and the distribution of parent along the regression line, it was concluded that SD/17 inbred line for RWC and root weight and SD/3 inbred line for grain yield and total chlorophyll (a+b) carried the most recessive genes and CML inbred line having the most dominant genes for most traits in both conditions (normal and water stress conditions).

Keywords: Chlorophyll, drought stress, genetic parameters, maize, root weight.

Corresponding author: moradim_17@yahoo.com