دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

"مقاله پژوهشی"

بررسی تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌های ذرت با استفاده از عملکرد بلال و صفات فیزیولوژیکی

سجاد محرم‌نژاد[1] و محمدرضا شیری[2]

۱- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)، سازمان تحقیقات، ترویج و آموزش کشاورزی، مغان، ایران، (نویسنده مسوول: sm.chakherlo@yahoo.com)

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

تاریخ دریافت: ۹۹/۲/۱۷ تاریخ پذیرش: ۹۹/۵/۱۱

صفحه: ۳۰ تا ۴۰

چکیده

به‌منظور ارزیابی تنوع ژنتیکی ۱۱ ژنوتیپ ذرت، آزمایشی به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی مغان در سال زراعی ۱۳۹۸ اجرا شد. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین هیبریدهای ذرت از لحاظ عملکرد بلال، شاخص کلروفیل، کلروفیل a، فلورسانس حداکثر (Fm)، فلورسانس متغیر (Fv) و حداکثر کارآیی فتوسیستم II (Fv/Fm) اختلاف معنی‌دار وجود داشت. اما بین هیبریدهای ذرت از لحاظ دمای برگ، کلروفیل b، کلروفیل کل، کاروتنوئید و فلورسانس حداقل (Fo) اختلاف معنی‌دار وجود نداشت. هیبرید KLM77021/4-1-2-1-2-4-1× K47/3 با بیشترین عملکرد بلال و فعالیت سیستم فتوسنتزی برترین هیبرید در مقایسه با سایر هیبریدها شناسایی شد. دامنه تغییرات وراثت‌پذیری بسیار گسترده بود و از ۱٤ درصد برای کلروفیل b تا ۸۷ درصد برای فلورسانس متغییر (Fv) نوسان داشت. نتایج حاصل از تجزیه همبستگی نشان داد که بین عملکرد بلال و رنگدانه کلروفیل ارتباط مثبت و معنی‌دار وجود داشت. همچنین بین کارآیی فتوسیستم II و کلروفیل a همبستگی مثبت معنی‌دار مشاهده شد. تجزیه خوشه‌ای به‌روش Ward با صفت عملکرد بلال و صفات فیزیولوژیکی، ژنوتیپ‌های ذرت را در دو گروه متفاوت طبقه‌بندی کرد. براساس نتایج حاصل می‌توان از فلورسانس کلروفیل برای گزینش افراد با عملکرد بالا استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: گروه‌بندی، گزینش، وراثت‌پذیری، همبستگی

مقدمه

گیاهان زراعی از مهم‌ترین منبع اساسی در تأمین غذای انسان می‌باشند، و در بین آن‌ها غلات ازجایگاه ویژه‌ای برخوردار هستند. برای تغذیه جمعیت رو به رشد جهان، افزایش تولیدات زراعی جزء اهداف اولیه به‌شمار می‌آیند. با توجه به محدودیت اراضی قابل کشت، کوشش بیشتر محققین در سال‌های اخیر بر افزایش عملکرد در واحد سطح متمرکز شده است. ذرت (*Zea mays* L.) یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی در دنیا محسوب می‌شود به گونه‌ای که بعد از گندم مقام دوم از لحاظ سطح زیر کشت را به خود اختصاص داده‌است (۱).

مقدار کلروفیل و رنگدانه‌های فتوسنتزی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در ظرفیت فتوسنتزی گیاهان هستند. زیرا، به‌طور مستقیم بر سرعت و میزان فتوسنتز و در نهایت تولید زیست توده مؤثر هستند. به‌طور کلی مواد فتوسنتزی ذخیره‌شده در دانه از دو منبع فتوسنتز جاری و مواد ذخیره‌شده در اندام‌های رویشی تأمین می‌شود (۲). کلروفیل a انرژی دریافتی از فوتون نوری را به مرکز واکنشی انتقال داده و این فعل و انفعالات سبب راه‌افتادن زنجیره انتقال الکترونی در کلروپلاست می‌گردد. در شرایط تنش‌های محیطی به‌دلیل مسدودشدن مسیر انتقال الکترونی، زنجیره متوقف می‌شود. در چنین شرایطی، یکی از راه‌حل‌هایی که کلروفیل a برانگیخته برای برگشت به حالت پایدار در پیش می‌گیرد، فلورسانس است. میزان فلورسانس کلروفیل در شرایط عادی حدود ۰/۳ تا ۳ درصد کل انرژی دریافتی است که این میزان در شرایط تنش افزایش می‌یابد (۳). در حالت کلی فلورسانس کلروفیل a یک شاخص فیزیولوژیک معتبر برای مشخص‌نمودن تغییرات القاءشده در دستگاه فتوسنتزی می‌باشد (۴). در زنجیره انتقال الکترون فتوسنتزی، فتوسیستم II نسبت به فتوسیستم I در گیاه از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد (۵). یکی از دلایل آن وجود کمپلکس تجزیه‌کننده آب در فتوسیستم II است. اختلال در کارایی فتوسنتز بیشتر مربوط به فتوسیستم II است. اگر فعالیت فتوسیستم II کاهش یابد، باعث اختلال در انتقال الکترون زنجیره کینونی موجود در فتوسیستم II شده، که در نهایت عملکرد کوانتومی را کاهش می‌دهد (۶). همچنین پروتئین‌های D_1 و D_2 فتوسیستم II در شرایط تنش آسیب می‌بینند. این پروتئین‌ها از اجزای اصلی این فتوسیستم بوده و تخریب آن‌ها بازدارندگی نوری را در پی دارد. از این رو ثابت شده است که فتوسیستم II نقش مهمی در دستگاه فتوسنتزی گیاهان آلی ایفا می‌کنند (۵). مقدار فلورسانس کلروفیل، سالم بودن غشای تیلاکوئید و کارایی زنجیره انتقال الکترون را از فتوسیستم II به فتوسیستم I نشان می‌دهد. همچنین با استفاده از تکنیک فلورسانس کلروفیل می‌توان عدم توازن بین فرآیند متابولیسم و تولید را بررسی نمود، چرا که جریان الکترون در

فتوسیستم شاخصی برای میزان کلی فتوسنتز می‌باشد و اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل تخمینی از نحوه عمل فتوسنتز را برای ما امکان‌پذیر می‌سازد. در نتیجه ارزیابی این مکانیسم نقش بسیار مهمی در گیاه ایفا می‌کند (۶).

افزایش عملکرد اقتصادی و بهبود صفات فیزیولوژیکی مرتبط با آن از اساسی‌ترین خصوصیات مورد نظر اصلاح‌گران در جهت شناسایی افراد برتر می‌باشد. شناسایی افراد از لحاظ صفات زراعی از قبیل عملکرد و اجزای عملکرد دانه به‌دلیل سهولت اندازه‌گیری، احتمالاً روشی آسان و سریع برای ارزیابی جوامع گیاهی برای بهبود عملکرد دانه می‌باشد، در این راستا ارزیابی صفات فیزیولوژیکی نیز می‌تواند در جهت شناسایی افراد با کارآیی بالا در کنار صفات زراعی نقش بسیار مهمی داشته باشد (۷). روش‌های متعددی برای مطالعه میزان تنوع ژنتیکی وجود دارد که از مهم‌ترین آنها، روش‌های آماری چندمتغیره است. که همزمان اطلاعات بیشتری از چندین صفت در تمام افراد مورد مطالعه را در اختیار به‌نژادگر قرار می‌دهد. در این میان تجزیه خوشه‌ای و تجزیه به مولفه‌های اصلی جزء مهم‌ترین و پرکاربردترین روش آماری در توصیف میزان تنوع ژنتیکی می‌باشند (۸). به‌علت پایین‌بودن وراثت‌پذیری عملکرد دانه، گزینش مستقیم برای عملکرد مشکل خواهد بود. زیرا عملکرد دانه بیشتر تحت تأثیر محیط قرار می‌گیرد. لذا برای انتخاب افراد مطلوب از گزینش غیرمستقیم برای عملکرد دانه در ذرت از طریق برخی صفاتی که همبستگی بالایی با آن دارند، می‌تواند مؤثر باشد (۷). پژوهش حاضر با هدف بررسی و گروه‌بندی هیبریدهای ذرت از لحاظ عملکرد بلال و صفات فیزیولوژیکی درگیر در فتوسنتز از قبیل فلورسانس کلروفیل، غلظت رنگدانه‌های کلروفیل و میزان کلروفیل در منطقه مغان اجرا شد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در سال زراعی ۱۳۹۸ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی مغان واقع در شمالی‌ترین نقطه استان اردبیل (بین ۳۴ درجه و ۹۲ دقیقه عرض شمالی و ۹۴ درجه و ۳۲ دقیقه طول شرقی و ارتفاع ۹۹ تا ۹۲ متر از سطح دریای آزاد) با بافت خاکی لومی رسی (جدول ۱) انجام گرفت. آزمایش در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. هشت هیبرید امید بخش ذرت به همراه سه هیبرید شامل SC704، SC647 و TWC647 مورد مطالعه قرار گرفتند (جدول ۲). عملیات تهیه شرایط مناسب زمین آزمایش شامل شخم برگردان، رتیواتور، دیسک و تسطیح بهاره انجام گرفت. قبل از کاشت، معادل ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار فسفات آمونیوم و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره که نیمی از آن قبل از کاشت و مابقی در مراحل مختلف رشدی گیاه ذرت به‌صورت کود سرک توزیع گردید. هر کرت آزمایشی شامل چهار خط به فاصله ۷۵ سانتی‌متر و به‌طول ۵/۶ متر بود (روی هر خط ۱۶ کپه، فاصله هر کپه از هم ۳۵ سانتی‌متر و میزان تراکم حدود ۷۶ هزار بوته در هکتار). جهت اطمینان از سبزشدن در هر کپه چهار بذر به‌صورت دستی کاشته شد و پس از تنک‌کردن در مرحله ۴-۳ برگی فقط دو بوته در هر کپه نگه داشته شد. وجین علف‌های هرز از مرحله ابتدایی کاشت تا مراحل نهایی به‌صورت دستی انجام گرفت.

جدول ۱- خصوصیات شیمیایی خاک مورد استفاده

Table 1. Chemical properties of the used soil

pH	کربنات کلسیم (%)	مواد آلی (%)	Na (mg kg^{-1})	K (mg kg^{-1})	P (mg kg^{-1})
۷/۷	۹/۸	۱/۴	۱۹۵/۰	۴۴۸/۴	۳۰/۰

عملکرد بلال

برداشت محصول پس از حذف دو ردیف کناری هر کرت و ۲۵ سانتی‌متر از ابتدا و انتهای هر خط کاشت به‌عنوان حاشیه، فقط از دو خط وسط هر کرت به مساحت ۸/۴ متر مربع انجام شد. بعد از برداشت توسط ترازو وزن بلال هیبریدهای ذرت مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.

فلورسانس کلروفیل

برای اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیلی برگ‌های کاملاً توسعه‌یافته بالای بوته انتخاب شدند. برگ‌های انتخاب‌شده با استفاده از کلیپس‌های مخصوص دستگاه Handy-PEA به‌مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی قرار گرفتند. در این دوره تاریکی مراکز واکنشی موجود در سیستم فتوسنتزی به‌صورت کامل باز می‌شود. سپس به این برگ‌ها به‌مدت چهار ثانیه یک پالس نوری در طول موج ۶۵۰ نانومتر با شدت ۳۰۰۰ میکرومول‌فوتون بر مترمربع بر ثانیه تابیده شد و پارامترهای مختلف دستگاه با استفاده از نرم‌افزار ویژه این دستگاه (PEA plus v1.10) قرائت و یادادشت شدند.

جدول ۲- هیبریدهای ذرت مورد مطالعه

Table 2. Studied maize hybrids

شماره	هیبرید
۱	K47/2-2-1-2-2-1-1-1× MO17
۲	K47/2-2-1-4-1-1-1× MO17
۳	K47/2-2-1-4-2-1-1-1× MO17
۴	K47/2-2-1-4-1-1-1-1 × K3640/3
۵	KLM82010 × K3640/3
۶	KLM82010 × K3640/3
۷	KLM77021/4-1-2-1-2-4-1× K47/3
۸	K47/2-2-1-2-2-1-1-1×K18(SC715B)
۹	SC647
۱۰	TWC647
۱۱	SC704

غلظت رنگدانه‌ها، شاخص کلروفیل و دمای برگ

نمونه‌های تازه از برگ‌های بالایی بوته‌ها به‌طور تصادفی برداشته و برای اندازه‌گیری غلظت کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئید از روش محرم‌نژاد و همکاران (۹) مورد استفاده قرار گرفت. شاخص کلروفیل و دمای برگ به‌ترتیب توسط دستگاه کلروفیل‌متر دستی (SPAD-502, Minolta) و دماسنج مادون قرمز از برگ‌های بالایی بوته‌ها به‌طور تصادفی اندازه‌گیری شد.

تجزیه‌های آماری

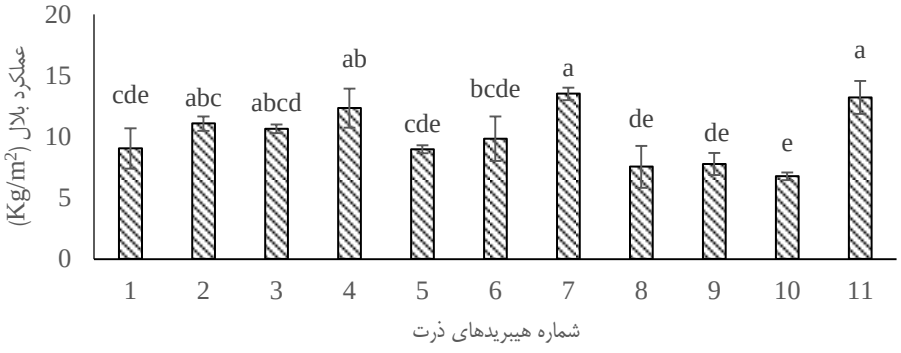
نرمال‌بودن داده‌های حاصل از صفات اندازه‌گیری‌شده توسط تست کرلمرگروف- اسمیرنوف مورد آزمون قرار گرفت و پس از تجزیه آماری و مقایسه میانگین توسط آزمون دانکن در سطح پنج درصد انجام شد. برای برآورد وراثت‌پذیری از امید ریاضی جدول تجزیه واریانس استفاده شد (۱۰). برای اعتماد به همبستگی صفات مورد مطالعه، از میانگین ۱۱ هیبرید ذرت استفاده شد. برای تجزیه خوشه‌ای از روش Ward استفاده شد و برای تعیین نقطه برش دندروگرام، از تجزیه تابع تشخیص و MANOVA استفاده شد. تمام تجزیه و تحلیل آماری توسط نرم‌افزار SPSS انجام گرفت.

نتایج و بحث

عملکرد بلال

براساس تجزیه واریانس داده‌ها، اختلاف معنی‌داری بین هیبریدهای ذرت برای عملکرد بلال در سطح احتمال یک درصد وجود داشت (جدول ۳). مقایسه میانگین عملکرد بلال در هیبریدهای ذرت نشان داد که هیبرید KLM77021/4-1-2-1-2-4-1× K47/3 و SC704 بیشترین و هیبرید TWC647 کمترین عملکرد بلال را داشتند (شکل ۱).

روزبهانی و همکاران (۱۱) با ارزیابی هیبریدهای ذرت تجاری و امید بخش ذرت علوفه‌ای در شرایط آب و هوایی استان مرکزی اظهار کردند که بین هیبریدهای ذرت از لحاظ عملکرد بلال اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد وجود داشت. که با نتایج ما مطابقت داشت. نتایج حاصل نشان داد که تنوع قابل توجهی از لحاظ عملکرد بلال در بین هیبریدهای ذرت مورد مطالعه وجود داشت.



شکل ۱- میانگین عملکرد بلال هیبریدهای ذرت (حروف متفاوت نشانگر اختلاف معنی‌دار براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند)

Figure 1. Mean of ear yield in maize hybrids (Different letters indicate significant differences by Duncan test $p<0.05$)

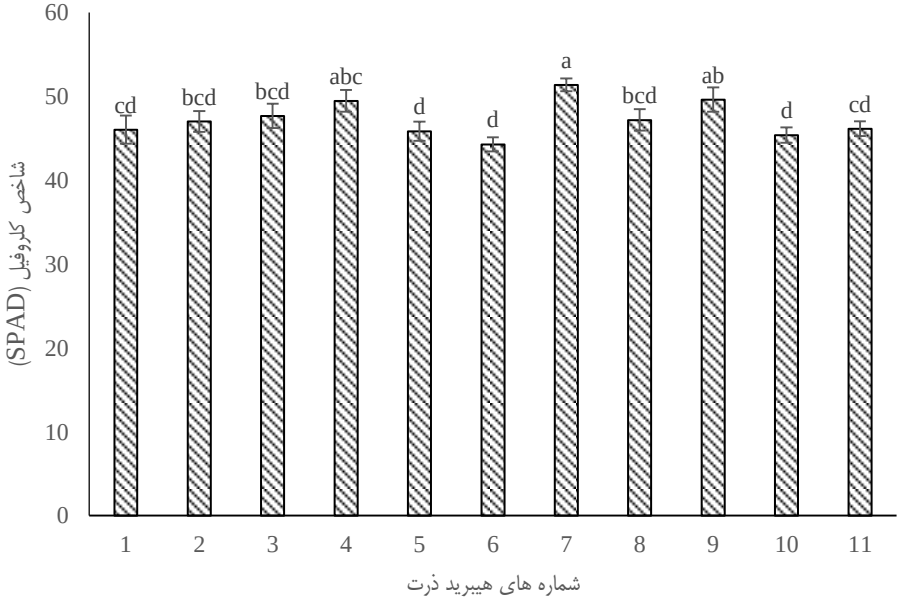
دمای برگ و شاخص کلروفیل

تجزیه واریانس داده‌ها برای دمای برگ و شاخص کلروفیل (جدول ۳) نشان داد که اثر هیبرید فقط برای شاخص کلروفیل معنی‌دار بود ($p< 0.05$). مقایسه میانگین داده‌های شاخص کلروفیل در هیبریدهای ذرت نشان داد که هیبرید KLM77021/4-1-2-1-2-4-1× K47/3 بیشترین شاخص کلروفیل را به‌خود اختصاص داد (شکل ۲).

مقدار کلروفیل و رنگدانه‌های فتوسنتزی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در ظرفیت فتوسنتزی گیاهان هستند. زیرا، به‌طور مستقیم بر سرعت و میزان فتوسنتز و در نهایت تولید زیست‌توده مؤثر هستند. به‌طور کلی مواد فتوسنتزی ذخیره‌شده در دانه از دو منبع فتوسنتز جاری و مواد ذخیره‌شده در اندام‌های رویشی تأمین می‌شود (۱۲). دمای مناسب برگ گیاه و محیط اثر بسزایی روی بخش‌های مختلف سیستم فتوسنتزی از جمله تنظیم قطر منافذ روزنه‌ها، سنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی، فعالیت فتوسیستم I و II و تثبیت دی‌اکسیدکربن دارد که در نهایت موجب افزایش فعالیت فتوسنتزی می‌گردد (۵). خدادادی و همکاران (۱۳) با بررسی تنوع ژنتیکی و وراثت‌پذیری محتوای کلروفیل و شاخص‌های کلروفیل در ژنوتیپ‌های مختلف گندم اظهار کردند که بین ژنوتیپ‌ها از لحاظ دمای برگ و محتوای کلروفیل اختلاف معنی‌دار وجود داشت که نشان از میزان تنوع قابل توجهی از لحاظ صفات دمای برگ و محتوای کلروفیل است. که با نتایج ما مطابقت داشت.

رنگدانه‌های کلروفیلی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های غلظت رنگدانه‌ها نشان داد که بین هیبریدهای ذرت در سطح احتمال یک درصد برای غلظت کلروفیل a اختلاف معنی‌دار وجود داشت. اما اثر هیبرید برای غلظت کلروفیل b، غلظت کل کلروفیل و کاروتنوئید معنی‌دار نبود (جدول ۳). مقایسه میانگین غلظت کلروفیل a در هیبریدهای ذرت مورد مطالعه نشان داد که هیبرید KLM77021/4-1-2-1-2-4-1× K47/3 و SC704 بیشترین غلظت کلروفیل a را داشتند و کمترین غلظت کلروفیل a مربوط به هیبرید K47/2-2-1-4-1-1-1-1 × K3640/3 بود (شکل ۳).



شکل ۲- میانگین شاخص کلروفیل هیبریدهای ذرت (حروف متفاوت نشانگر اختلاف معنی‌دار براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند)

Figure 2. Mean of chlorophyll index in maize hybrids (Different letters indicate significant differences by Duncan test $p<0.05$)

جدول ۳- تجزیه واریانس عملکرد بلال و صفات فیزیولوژیکی در هیبریدهای ذرت

Table 3. ANOVA of ear yield and physiological traits in the maize hybrids

منابع تغییر	درجات آزادی	میانگین مربعات											
		عملکرد بلال	دمای برگ	شاخص کلروفیل	رنگدانه‌های کلروفیلی					فلورسانس کلروفیل			
					کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید	Fo	Fm	Fv	Fv/Fm
تکرار	۲	۱۸/۴**	۳۷/۷**	۱۵/۸*	۲/۱ns	۱۷/۰*	۱۳/۰ns	۱۱/۸ns	۹۱/۵**	۷۸/۵ns	۷۹/۱**	۶/۰**
هیبرید	۱۰	۱۵/۹**	۲/۸ns	۱۳/۴**	۱۱/۸**	۴/۹ns	۱۹/۶ns	۲/۸ns	۱۲/۹ns	۲۹/۶*	۴۰/۸**	۴/۰*
خطا	۲۰	۲/۷	۱/۷	۳/۲	۲/۴	۳/۳	۹/۰	۱/۸	۸/۲	۹/۹	۱/۹	۱/۲
ضریب تغییرات (٪)		۱۶/۳	۵/۴	۳/۸	۱۰/۸	۲۰/۳	۱۲/۷	۲۹/۳	۸/۸	۸/۴	۱۲/۵	۵/۲
وراثت‌پذیری (٪)		۶۱	۱۸	۵۲	۵۷	۱۴	۲۸	۱۶	۱۶	۴۰	۸۷	۴۴

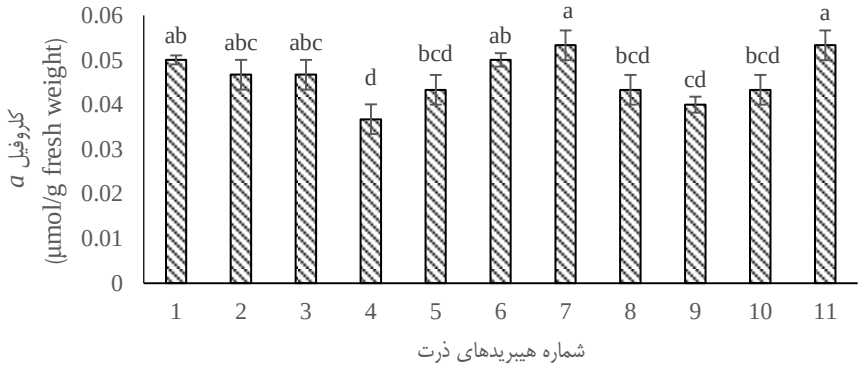
ns، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد می باشد.

Fo: فلورسانس حداقل

Fm: فلورسانس حداکثر

Fv: فلورسانس متغییر

Fv/Fm: نسبت فلورسانس متغییر به فلورسانس حداکثر (حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II)

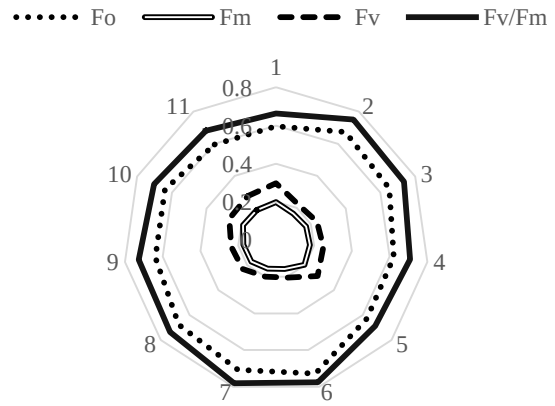


شکل ۳- میانگین کلروفیل a هیبریدهای ذرت (حروف متفاوت نشانگر اختلاف معنی‌دار براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند)
Figure 3. Mean of chlorophyll a in maize hybrids (Different letters indicate significant differences by Duncan test p<0.05)

با توجه به ارتباط مستقیم میزان فتوسنتز و تولید محصول در گیاهان، کاهش فتوسنتز سبب کاهش معنی‌دار محصول می‌شود. کاهش فتوسنتز می‌تواند به‌علت بسته‌شدن روزنه‌ها و کاهش ورود دی‌اکسیدکربن به سلول‌های مزوفیل و از سوی دیگر کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی نظیر کلروفیل a، b و کاروتنوئید باشد. جلوگیری از سنتز کلروفیل و کاهش مقدار پروتئین متصل‌شونده به کلروفیل، موجب کاهش میزان دریافت نور خورشید از طریق کمپلکس جمع‌کننده نور و در نهایت کاهش فتوسنتز می‌شود (۱۴).

فلورسانس کلروفیل

تجزیه واریانس داده‌های فلورسانس کلروفیل نشان داد که اثر هیبریدهای ذرت برای فلورسانس حداقل (Fo) غیرمعنی‌دار بود. اما اثر هیبریدهای ذرت برای فلورسانس متغیر (Fv) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). همچنین بین هیبریدهای ذرت برای فلورسانس حداکثر (Fm) و حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار وجود داشت (جدول ۳). مقایسه میانگین فلورسانس کلروفیل هیبریدهای ذرت، هیبرید KLM77021/4-1-2-1-2-4-1× K47/3 بیشترین کارآیی کوانتومی فتوسیستم II را داشت (شکل ۴). براساس نتایج حاصل چنین به‌نظر می‌رسد که تنوع قابل توجهی از لحاظ فلورسانس کلروفیل در بین هیبردهای ذرت مورد مطالعه وجود داشت.



شکل ۴- میانگین فلورسانس کلروفیل هیبریدهای ذرت (Fo: فلورسانس حداقل، Fm: فلورسانس حداکثر، Fv: فلورسانس متغییر و Fv/Fm: حداکثر کارآیی فتوسیستم II)
Figure 4. Mean of chlorophyll fluorescence in maize hybrids (Fo: minimum fluorescence, Fm: maximum fluorescence, Fv: variable fluorescence and Fv/Fm: maximum quantum yield of PSII)

در اثر تابش فوتون‌های نوری همه‌ی ناقل‌های الکترون به فرم احیا در آمده و همه‌ی مراکز واکنشی بسته می‌شوند کلروفیل a در این زمان نشان‌دهنده فلورسانس حداکثر است (۳). میزان فلورسانس حداکثر به‌علت کاهش فعالیت کمپلکس تجزیه‌کننده و کاهش فعالیت فتوسیستم II کاهش می‌یابد (۱۵). افزایش در میزان فلورسانس حداقل (Fo) با تجمع پلاستوکینون‌های احیاءشده در ارتباط است و این تجمع می‌تواند منجر به فسفریلاسیون کمپلکس‌های دریافت‌کننده‌ی نور در فتوسیستم

II شوند. کاهش در میزان حداکثر فلورسانس (Fm) نشان از افزایش تعداد QA احیاءنشده در مراکز واکنشی باشد که منجر به از دست‌دادن انرژی به شکل گرما می‌شود. بازدارندگی شدید در بخش پذیرنده فتوسیستم I می‌تواند میزان فلورسانس حداکثر را کاهش دهد (۱۲).

وراثت‌پذیری عملکرد بلال و صفات فیزیولوژیکی

نتایج حاصل از برآورد میزان وراثت‌پذیری صفات مورد مطالعه در هیبریدهای ذرت براساس امید ریاضی جدول تجزیه واریانس نشان داد که میزان وراثت‌پذیری عمومی بین ۱۴ درصد و ۸۷ درصد بود (جدول ۳). فلورسانس متغیر کلروفیل (Fv) با ۰/۸۷ بیشترین و کلروفیل b با ۰/۱۴ کمترین وراثت‌پذیری را به‌خود اختصاص دادند. همچنین میزان وارثت‌پذیری برای عملکرد بلال ۶۱ درصد برآورد شد.

بررسی تنوع ژنتیکی به کمک پارامترهای مناسب از جمله ضریب تنوع ژنوتیپی و وراثت‌پذیری برای شروع یک برنامه اصلاحی با کارآیی بالا بسیار ضروری می‌باشد. اگرچه گزینش مستقیم براساس پرامترهای مختلف می‌تواند سخت و گمراه‌کننده باشد اما گزینش غیرمستقیم از طریق پارامترهای مرتبط با وراثت‌پذیری بالا ممکن است بهتر از گزینش مستقیم باشد (۱۶). با بررسی پتانسیل ژنتیکی لاین‌های ذرت ایرانی با استفاده از روش گریفینگ و مدل امی توسط چوکان و همکاران (۱۷) میزان وراثت‌پذیری را برای صفات مورد مطالعه بین ۰/۶۲ و ۰/۸۵ برآورد کردند. صارمی‌راد و همکاران (۱۸) با ارزیابی تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌های ذرت از نظر صفات فیزیولوژیکی، میزان وراثت‌پذیری برای صفات مورد مطالعه بین ۰/۳ و ۰/۸۱ گزارش کردند.

همبستگی و گروه‌بندی

نتایج حاصل از آنالیز همبستگی بین صفات عملکرد بلال و شاخص‌های مهم درگیر در سیستم فتوسنتزی هیبریدهای ذرت مورد مطالعه نشان داد (شکل ۵) که عملکرد بلال فقط با رنگدانه کلروفیل همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت ($p<۰/۰۵$). بین کارآیی کوانتومی فتوسنتزی و کلروفیل a همبستگی قوی وجود داشت ($p<۰/۰۱$). اما هیچ ارتباط معنی‌داری بین سایر اجزای رنگدانه کلروفیل و اجزای فلورسانس کلروفیل وجود نداشت (شکل ۵). همچنین همبستگی مثبت معنی‌داری بین رنگدانه‌های کلروفیل و شاخص کلروفیل وجود داشت ($p<۰/۰۵$).

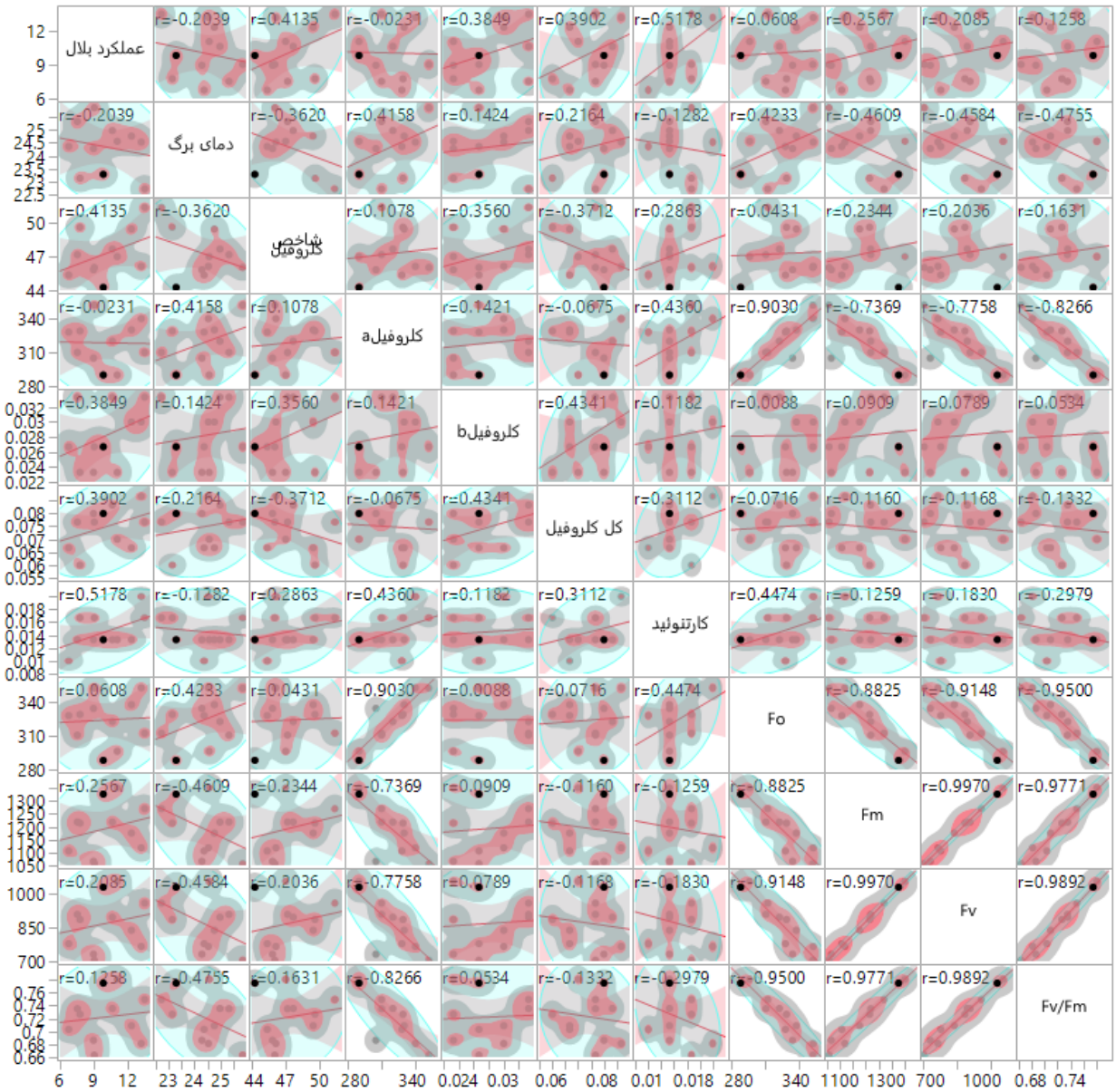
محتوای کلروفیل با سرعت فتوسنتز که عملکرد و بیوماس گیاه را افزایش می‌دهد ارتباط مثبت معنی‌داری دارد. بنابراین درک مکانسیم ژنتیکی محتوای کلروفیل برای بهبود عملکرد بسیار مهم می‌باشد. ارتباط بین محتوای کلروفیل و عملکرد و اجزای عملکرد دانه باعث گزینش ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا می‌شود. افزایش بیش از حد دمای برگ سبب کاهش فتوسنتز در گیاهان می‌شود. این میزان کاهش می‌تواند از عوامل بیوشیمیایی خارجی (روزنه‌ها) و داخلی (مزوفیل) منشأ گرفته باشد (۱۹).

همبستگی مثبت قوی بین اجزای فلورسانس کلروفیل و کلروفیل a و کلروفیل کل توسط درویش بلوچی و همکاران (۲۰) گزارش شده‌است. همبستگی قوی و معنی‌داری بین اجزای فلورسانس کلروفیل در گیاهان مختلف گزارش شده‌است (۴, ۱۵). عسکر و همکاران (۲۱) با بررسی خصوصیات فیزیولوژیک و عملکرد هیبریدهای ذرت بیان کردند که بین اجزای فلورسانس کلروفیل همبستگی مثبت معنی‌دار وجود دارد اما بین عملکرد هیبریدهای ذرت با سیستم فتوسنتزی در شرایط عادی مزرعه وجود نداشت. که با نتایج ما مطابقت داشت.

نتایج حاصل از تجزیه خوشه‌ای براساس صفات عملکرد بلال و سیستم فتوسنتزی، هیبریدهای ذرت مورد مطالعه را در دو گروه مختلف تقسیم‌بندی کرد. طوریکه هیبریدهای ۱، ۵ و ۱۱ به‌ترتیب K47/2-2-1-2-2-1-1-1× MO17، KLM82010 × K3640/3 و SC704 در یک گروه و سایر هیبردها در گروه دیگر قرار گرفتند (شکل ۶ الف). همچنین نتایج حاصل از نقشه دمایی داده‌های عملکرد بلال و سیستم فتوسنتزی در هیبریدهای ذرت نشان از مطابقت کامل و ارتباط مناسب بین صفات مورد مطالعه با همدیگر در گروه‌بندی هیبریدهای ذرت داشت (شکل ۶ ب).

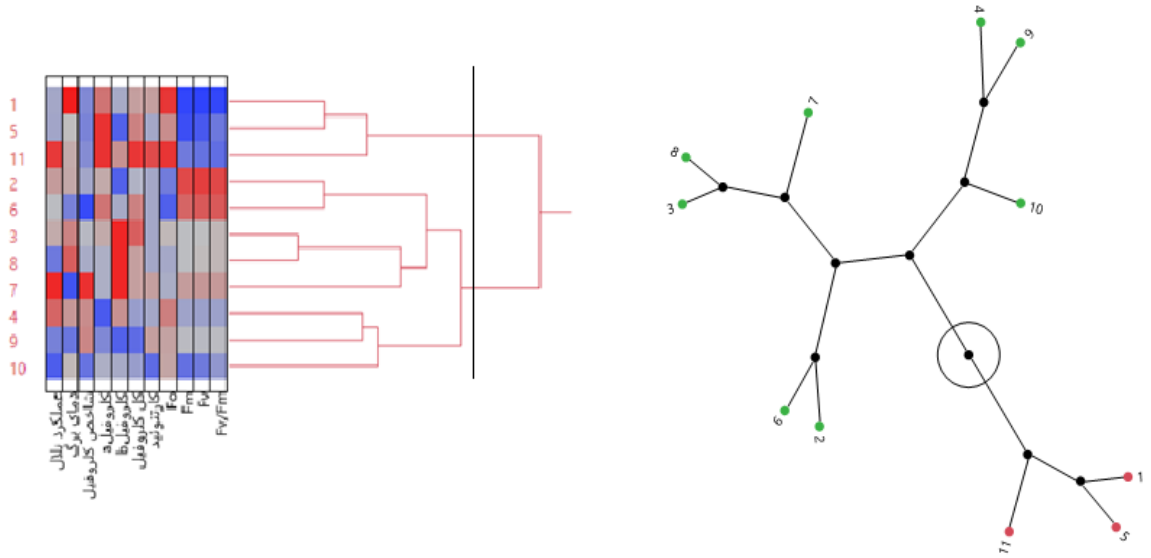
روزبهانی و همکاران (۱۱) با ارزیابی هیبریدهای تجاری و امید بخش ذرت در شرایط آب و هوایی استان مرکزی از لحاظ صفات زراعی و فنولوژیکی، ۱۲ هیبرید ذرت مورد مطالعه را در سه گروه مختلف تقسیم‌بندی کردند. صادقی و رتبه (۲۲) با بررسی عملکرد و اجزای عملکرد دانه ژنوتیپ‌های مختلف ذرت با استفاده از روش‌های آماری توصیفی و چندمتغیره، نتایج حاصل از تجزیه خوشه‌ای براساس صفات زراعی، ۲۱ ژنوتیپ ذرت را در سه گروه مختلف گروه‌بندی کردند.

نتایج حاصل از تجزیه آماری عملکرد بلال، دمای برگ، شاخص کلروفیل، رنگدانه‌های کلروفیل و فلورسانس کلروفیل نشان داد که بین هیبریدهای ذرت اختلاف معنی‌دار وجود داشت. هیبرید KLM77021/4-1-2-1-2-4-1× K47/3 با دارا بودن بالاترین عملکرد بلال و کارآیی سیستم فتوسنتزی، جزء برترین هیبرید نسبت به سایر هیبریدهای مورد مطالعه بود. میزان وراثت‌پذیری صفات مورد مطالعه بین ۱۴ و ۸۷ درصد برآورد شد. نتایج حاصل از تجزیه همبستگی، ارتباط مثبت و معنی‌دار بین عملکرد بلال و رنگدانه کلروفیل وجود داشت. همچنین همبستگی مثبت معنی‌دار بین کلروفیل a و کارآیی فتوسیستم II نیز وجود داشت. براساس تجزیه خوشه‌ای ۱۱ هیبرید ذرت مورد مطالعه از لحاظ عملکرد بلال و سیستم فتوسنتزی در دو گروه مختلف طبقه‌بندی شدند. براساس نتایج حاصل چنین به‌نظر می‌رسد که تنوع قابل توجهی بین هیبریدها از لحاظ صفات مورد مطالعه وجود داشت.



شکل ۵- همبستگی بین صفات عملکرد بلال، دمای برگ، شاخص کلروفیل، رنگدانه‌های کلروفیل و فلورسانس کلروفیل (Fo: فلورسانس حداقل، Fm: فلورسانس حداکثر، Fv: فلورسانس متغییر و Fv/Fm: حداکثر کارآیی فتوسیستم II) در هیبریدهای ذرت

Figure 5. Correlation coefficients between ear yield, leaf temperature, chlorophyll pigments, and chlorophyll fluorescence (Fo: minimum fluorescence, Fm: maximum fluorescence, Fv: variable fluorescence and Fv/Fm: maximum quantum yield of PSII) in maize hybrids



شکل ۶- نقشه دمایی همراه با تجزیه و تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی
Figure 6. Heatmap and hierarchical cluster analysis

منابع

1. FAO, http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize, 2017.
2. Omrani, B. and S. Moharramnejad. 2018. Study of salinity tolerance in four maize (*Zea mays* L.) hybrids at seedling stage. Journal of Crop Breeding, 9: 79-86 (In Persian).
3. Mehta, P., A. Jajoo, S. Mathur and S. Bharti. 2010. Chlorophyll a fluorescence study revealing effects of high salt stress on Photosystem II in wheat leaves. Journal of Plant Physiology and Biochemistry, 48: 16-20.
4. Kalaji, H., A. Oukarroum, V. Alexandrov, M. Kouzmanova, M. Brestic, M. Zivcak, I. Samborska, M. Cetner, S. Allakhverdiev and V. Goltsev. 2014. Identification of nutrient deficiency in maize and tomato plants by in vivo chlorophyll a fluorescence measurements. Plant Physiology and Biochemistry, 81: 16-25.
5. Maksimov, E., K. Klementiev, E. Shirshin, G. Tsoraev, I. Elanskaya and V. Paschenko. 2015. Features of temporal behavior of fluorescence recovery in *Synechocystis* sp. PCC6803. Journal of Photosynthesis Research, 125: 167-178.
6. Baghbani, F., R. Lotfi, S. Moharramnejad, A. Bandehagh, M. Roostaei, A. Rastogi and H.M. Kalaji. 2019. Impact of *Fusarium verticillioides* on chlorophyll fluorescence parameters of two maize lines. Journal of European Journal of Plant Pathology, 154: 337-346.
7. Studer, A.J., H. Wang and J.F. Doebley. 2017. Selection during maize domestication targeted a gene network controlling plant and inflorescence architecture. Journal of Genetics, 207: 755-765.
8. Silva, T.N., G.V. Moro, F.V. Moro, D.M.M.d. Santos and R. Buzinaro. 2016. Correlation and path analysis of agronomic and morphological traits in maize. Journal of Revista Ciência Agronômica, 47: 351-357.
9. Moharramnejad, S., O. Sofalian, M. Valizadeh, A. Asghari, M. Shiri and M. Ashraf. 2019. Response of maize to field drought stress: Oxidative defense system, osmolytes' accumulation and photosynthetic pigments. Pakistan Journal of Botany, 51: 799-807.
10. Mohammadzadeh Jalaly, H., M. Valizadeh, V. Nasrollahzade Asl, J. Emaratpardaz, M. Yusefi and S. Moharramnejad. 2017. A study of genetic diversity and heritability in some of agronomic traits in alfalfa half-sib families. Journal of Crop Breeding, 9: 82-88 (In Persian).

11. Ruzbehani, A., T. Bsaki, S. Karami and F. Azizi. 2018. Evaluation of promising forage maize hybrids under Markazi province climatic condition. Journal of Applied Field Crops Research, 31: 87-92.
12. Zlatev, Z. and F.C. Lidon. 2012. An overview on drought induced changes in plant growth, water relationsand photosynthesis. Journal of Emirates Journal of Food Agriculture, 57-72.
13. Leaf-nosed bat, Encyclopædia Britannica, Encyclopædia Britannica Online, 2009.
14. Ashraf, M. and P.J. Harris. 2013. Photosynthesis under stressful environments: an overview. Photosynthetica, 51: 163-190.
15. Lotfi, R., M. Pessarakli, P. Gharavi-Kouchebagh and H. Khoshvaghti. 2015. Physiological responses of Brassica napus to fulvic acid under water stress: Chlorophyll a fluorescence and antioxidant enzyme activity. The Crop Journal, 3: 434-439.
16. Silva-Pérez, V., J. De Faveri, G. Molero, D.M. Deery, A.G. Condon, M.P. Reynolds, J.R. Evans and R.T. Furbank. 2020. Genetic variation for photosynthetic capacity and efficiency in spring wheat. Journal of Experimental Botany, 71: 2299-2311.
17. Choukan, R., K. Mostafavi, M. Taeb, M.R. Bihamta and E. Majidi Heravan. 2017. Genetic potential evaluation of Iranian corn Inbred lines using griffing diallel and AMMI model. Journal of Plant Production Sciences, 6: 13-24 (In Persian).
18. Saremi-Rad, A., A. Akbari, H. Shojaei and S.H. Ghasemi. 2018. Genetic diversity Study of corn (*Zea may*s L.) genotypes for morpho-physiological traits under drought stress Scientific. Journal Management System, 14: 9-23 (In Persian).
19. Zhang, K., Y. Zhang, G. Chen and J. Tian. 2009. Genetic analysis of grain yield and leaf chlorophyll content in common wheat. Cereal Research Communications, 37: 499-511.
20. Darvish Balouchi, M., F. PakNezhad, A. Kashani, M. Ardakani and M. Darvishi Balouchi. 2010. Effect of drought stress and some microelements on fluorescence chlorophyll parameters, chlorophyll content, RWC, EC and grain yield in corn (SC704). Iranian Journal of Field Crop Science, 41: 531-543 (In Persian).
21. Askary, M., A.A. Maghsoudi Moud and V.R. Saffari. 2013. Investigation of some physiological characteristics and grain yield of corn (*Zea mays* L.) hybrids under salinity stress. Journal of Crop Production and Processing, 3: 93-104 (In Persian).
22. Sadeghi, F. and J. Rotbeh. 2016. Evaluation of grain yield and yield components using descriptive and multivariate statistics. Journal of Crop Breeding, 8: 212-221 (In Persian).

Study of Genetic Diversity in Maize Genotypes by Ear Yield and Physiological Traits

Sajjad Moharramnejad[1] and Mohammadreza Shiri[2]

1- Research Assistant Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Moghan, Iran,
(Corresponding author: sm.chakherlo@yahoo.com)
2- Research Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
Received: June 2, 2020 Accepted: August 17, 2020

Abstract

To evaluate genetic diversity of 11 maize genotypes, an experiment based on complete randomized block design with three replications at the Moghan Agriculture Research Station during 2019 growing season. Analysis of variance showed that the significant differences among maize hybrids for ear yield, chlorophyll index, chlorophyll a, maximum fluorescence (Fm), variable fluorescence (Fv) and maximum quantum yield of PSII (Fv/Fm), but there were not significant differences among maize hybrids for leaf temperature, chlorophyll b, total chlorophyll, carotenoid and minimum fluorescence (Fo). KLM77021/4-1-2-1-2-4-1× K47/3 hybrid with high ear yield and photosynthetic system introduced the best hybrid to comparing with other hybrids. The range of heritability was from 14% for chlorophyll b to 87 % for variable fluorescence (Fv). Correlation between ear yield, leaf temperature, chlorophyll index, pigment contents and chlorophyll fluorescence indicated that ear yield was correlated with chlorophyll pigment ($p< 0.05$), and maximum quantum yield of PSII (Fv/Fm) was correlated with chlorophyll a ($p< 0.05$). The cluster analysis based Ward method, with ear yield and photosynthetic system, was classified maize genotypes in two different groups. It can be concluded that chlorophyll fluorescence can be used for selecting genotype with high yield.

Keywords: Clustering, Correlation, Heritability, Selection