Archive of SID

نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی
جلد بیست و هفتم، شماره سوم، ۱۳۹۹
۱-۲۱
http://jopp.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jopp.2020.14475.2296

ارزیابی و انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی برنج با کاربرد روش‌های فلئورومتری

***مرتضی نصیری[۱]، موسی مسکرباشی[۲]، پیمان حسیبی[۳] و همت‌الله پیردشتی[۴]**

[۱]استادیار پژوهش مؤسسه تحقیقات برنج کشور، معاونت مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، آمل، ایران،
[۲]استاد دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران،
[۳]دانشیار دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران،
[۴]استاد گروه زراعت، پژوهشکده ژنتیک و زیست فناوری کشاورزی طبرستان دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۰۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۶/۳۱

چکیده

سابقه و هدف: کمبود آب در خاک و جوّ، مهم‌ترین عامل محدودکننده فتوسنتز و رشد گیاه به‌ویژه برنج بوده و بر تولید مواد فتوسنتزی که ناشی از کاهش جذب کربن به واسطه محدودیت متابولیکی و روزنه‌ای می‌باشد، اثرات منفی ایجاد می‌کند. با توجه به ظرفیت محدود کربن‌گیری در گیاه، خشکی منجر به خسارت یا تلفات مراکز واکنش فعال در فتوسیستم II می‌گردد. بنابراین اندازه‌گیری غیرتخریبی فتوسنتز از طریق فلئورومتری کلروفیل a، پتانسیل زنده ماندن گیاه و علائمی از پاسخ به خشکی را فراهم می‌نماید. برنج به افزایش تنش خشکی که طی دوره رویشی و گلدهی اتفاق می‌افتد، حساسیت بیش‌تری نشان می‌دهد. پاسخ گیاهان به تنش خشکی از طریق شناسایی خصوصیاتی که نقش مهمی در تحمل به تنش خشکی در سطوح ریخت‌شناسی، فیزیولوژیکی، سلولی، زیست-شیمیایی و مولکولی ایفا می‌کنند، ارزیابی می‌گردد. این آزمایش با هدف ارزیابی ژنوتیپ‌های برنج با اندازه‌گیری صفات مرتبط با رنگیزه‌های فتوسنتزی و مولفه‌های فلئورسانس کلروفیل به‌منظور انتخاب معیار مناسب برای غربالگری و ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی انجام شده است.

مواد و روش‌ها: آزمایش به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در دو شرایط آبیاری کامل و تنش طی مرحله گیاهچه‌ای با ٥٦ ژنوتیپ برنج از استان‌های مختلف ایران و مؤسسه تحقیقات بین‌المللی برنج (IRRI) در سال ۱۳۹۳ در مؤسسه تحقیقات برنج کشور (آمل) اجرا شد. بعد از بذرپاشی، آبیاری به‌صورت روزانه تا مرحله دو تا سه برگی گیاهچه انجام پذیرفت. برای تیمار شاهد (بدون تنش) آبیاری طبیعی تا پایان دوره رشد ادامه یافت و برای تیمار تحت تنش آبیاری از روز پانزدهم بعد از بذرپاشی تا پایان دوره رشد متوقف گردید. پس ازاین‌که رطوبت خاک به ۲۰ درصد رسید (حدود ۱۰ روز بعد از قطع آبیاری)، صفات مربوط به رنگیزه‌های کلروفیل مانند کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها و هم‌چنین مؤلفه‌های فلئورسانس کلروفیل مانند Fv/Fm، ΦPSII، qN، ETR به همراه PAR بر اساس روش‌های علمی اندازه‌گیری شد.

* مسئول مکاتبه: m_nasiri1@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

یافته‌ها: نتایج نشان داده است که مقادیر کلروفیل a و b به‌ترتیب به مقدار ۲/۳ و ۲۱/٤ درصد در تنش خشکی افزایش و مقدار کاروتنوئیدها ۳/۸ درصد کاهش داشت. مؤلفه‌های فلئورسانس کلروفیل به‌جز Fv/Fm اختلاف آماری معنی‌داری در دو محیط نشان دادند. مؤلفه‌های ΦPSII، ETR، qN و PAR به‌ترتیب به مقدار ۳/۷، ۱۳، ۳۵/۵ و ۲۸/۸ درصد در شرایط تنش نسبت به نرمال کاهش داشتند. نتایج همبستگی صفات نشان داده که بین کلروفیل a با b و کاروتنوئید با کلروفیل a و b همبستگی مثبت و معنی‌دار وجود داشت. همبستگی بین ΦPSII با Fv/Fm و qN به‌ترتیب با ضریب همبستگی ۰/۲۹ و ۰/۹۱- معنی‌دار بوده است.

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از این پژوهش بیانگر آن است که ژنوتیپ‌های برنج، واکنش‌های متفاوتی در دو شرایط تنش و طبیعی در مرحله گیاهچه‌ای نشان دادند. بر اساس ارزیابی رنگیزه‌های کلروفیل a، b، کاروتنوئیدها و مؤلفه‌های فلئورسانس کلروفیل به‌ویژه ΦPSII و ETR و هم‌چنین وزن خشک بوته و محتوی نسبی آب برگ، تعدادی از ژنوتیپ‌های برنج متحمل به تنش خشکی انتخاب گردید. با ادامه فعالیت‌های تکمیلی در مراحل رویشی، زایشی و رسیدگی تعدادی از این ژنوتیپ‌ها به‌عنوان ارقام متحمل به خشکی جهت مقابله با کم‌آبی و افزایش بهره‌وری آب معرفی خواهند شد.

واژه‌های کلیدی: برنج، عملکرد کوآنتومی، غربال‌گری، فتوسیستم II، فلئورسانس کلروفیل

مقدمه

گیاهان در شرایط محیطی نامساعد با تنش‌های مختلف زنده و غیرزنده روبرو می‌شوند و خشکی از جمله مهم‌ترین تنش‌های غیرزنده است که بر تولید محصولات کشاورزی اثر می‌گذارد (۲۱). با توجه به ظرفیت محدود فتوسنتز، خشکی منجر به خسارت یا تلفات مراکز واکنش فعال در فتوسیستم II می‌گردد. بنابراین اندازه‌گیری غیرتخریبی فتوسنتز از طریق فلئورومتری کلروفیل a، میانگینی از پتانسیل زنده ماندن گیاه و علایمی از پاسخ به خشکی را فراهم می‌نماید (۳۱).

مطالعه هاکام و همکاران (۲۰۰۱) همبستگی زیادی بین تغییر در مؤلفه‌های فلئورسانس کلروفیل در پاسخ به تنش‌های محیطی نشان داد (۱۲). پاسخ گیاهان به تنش خشکی از طریق شناسایی خصوصیاتی که نقش مهمی در تحمل به تنش خشکی در سطوح ریخت‌شناسی، فیزیولوژیکی، سلولی، زیست-شیمیایی و مولکولی بازی می‌کنند، ارزیابی می‌گردد (۱۹).

به‌طورکلی انرژی جذب شده توسط رنگدانه‌های کلروفیل در برگ با سه سرنوشت روبرو خواهد شد. ۱- به‌طور مستقیم در تولید مواد فتوسنتزی مورد استفاده قرار می‌گیرد (واکنش‌های فتوشیمیایی). ۲- انرژی اضافی می‌تواند به‌صورت حرارت اتلاف شود. ۳- بخشی از آن می‌تواند به‌صورت فلئورسانس کلروفیل مجدداً انتشار یابد (۲۰). این سه فرایند در رقابت با هم اتفاق افتاده، به‌طوری‌که افزایش کارایی یکی از آن‌ها منجر به کاهش کارایی دو فرایند دیگر خواهد شد (۲۸). تعین فلئورسانس کلروفیل یک روش غیرتخریبی است که به‌طور گسترده برای ارزیابی و غربال‌گری گیاهان نسبت به تنش‌های محیطی به‌کار می‌رود (۲۳). نوردهی به برگ سازگار شده با تاریکی منجر به تغییرات ویژه‌ای در شدت فلئورسانس کلروفیل می‌گردد که به‌عنوان اثر

www.SID.ir

Archive of SID

کاتسکی شناخته شده است (۱۸). تنش خشکی در گیاهان موجب کاهش هدایت روزنه‌ای با بسته شدن روزنه‌ها و افزایش درجه حرارت برگ با کاهش تعرق می‌گردد (۱۵). مدرانو و همکاران (۲۰۰۲) گزارش نمودند که فلئورسانس کلروفیل همبستگی زیادی با هدایت روزنه‌ای نشان داده است (۲۲). چندین مؤلفه فتوسنتزی دیگر مانند سرعت انتقال الکترون، افت اولیه fv/fm، فتوسنتز خالص و غلظت داخلی CO_2 همبستگی زیادی با هدایت روزنه‌ای داشته‌اند (۱۰). نتایج حاصل از آزمایش حسیبی و همکاران (۲۰۰۷) نشان داد که مؤلفه Fv/Fm (حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در شرایط سازگار شده به تاریکی که بیانگر حداکثر کارایی در جذب نور توسط کمپلکس جمع‌کننده نوری فتوسیستم II است که به انرژی فتوشیمیایی تبدیل می‌شود) یکی از بهترین شاخص‌های انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش سرما می‌باشد (۱٤). در یک شدت نور معین، ΦPSII سنجشی از کارایی کوآنتومی انتقال خطی الکترون از طریق فتوسیستم II می‌باشد، در حالی‌که ETR نشان‌دهنده سرعت انتقال الکترون از فتوسیستم II به فتوسیستم یک بر حسب میکرومول الکترون بر مترمربع در ثانیه است و ارتباط زیادی با سرعت فتوسنتز داشته و شاخصی از توانایی گیاه در محافظت فتوسیستم II در برابر خسارت‌های اکسیداتیو می‌باشد (۱۱). شایبرو اسچلیوا (۱۹۸٦) بیان نمودند که خاموشی غیرفتوشیمیایی کلروفیل برانگیخته (NPQ)، نشان‌دهنده اتلاف غیرتشعشعی انرژی جذب‌شده توسط فتوسیستم بوده و برطرف‌کننده بر انگیختگی الکترون می‌باشد، این برانگیختگی بیش‌تر از طریق دفع گرما و توزیع مجدد انرژی الکترون برانگیخته از فتوسیستم II به فتوسیستم I یک صورت می‌گیرد (۲۷). رونگ هوو همکاران (۲۰۰٦) با بررسی ارقام و لاین‌های مختلف جو با استفاده از فلئورسانس کلروفیل نتیجه گرفتند که از مقادیر Fo، Fv/Fo و Fv/Fm می‌توان به‌عنوان شاخص‌هایی مناسب برای غربال‌گری ژرم‌پلاسم‌های جو متحمل به تنش خشکی استفاده نمود (۲٦). پیردشتی و همکاران (۲۰۰۹) در ارتباط با تنش خشکی در چهار رقم برنج ایرانی (طارم، خزر، فجر و نعمت) بیان نمودند که تنش خشکی بر مقدار کلروفیل، رشد ریشه، تولید ماده خشک، Fv، Fm، عملکرد و اجزای عملکرد تأثیر منفی داشته و رطوبت نسبی آب برگ رقم فجر و نعمت بیش‌تر از طارم و خزر بوده و بنابراین نسبت به خشکی تحمل بیش‌تری دارند.

کاهش مقدار کلروفیل a در طول دوره خشکی، نوعی تنش اکسیداتیو است که توسط پیگمان‌های فتواکسیداتیو منجر به کاهش کلروفیل می‌شود (۹). کاهش مقدار کلروفیل منجر به خسارت غشاء کلروپلاست و پراکسیداسیون چربی می‌گردد (۱۷). کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها رنگیزه‌های اصلی فتوسنتز در کلروپلاست بوده و وظیفه مهمی را در جذب و بهره‌وری انرژی نورانی به عهده داشته و راندمان فتوسنتز را تحت‌تأثیر قرار می‌دهند (۳۳). در تنش سرما (۱۵/۱۳ درجه سانتی‌گراد شب/ روز) مؤلفه‌های Fv/Fm، qP، ETR و ΦPSII، عدد کلروفیل‌متر و قدرت رویش گیاهچه برنج کاهش معنی‌داری نسبت به شرایط طبیعی (۱۹/۲۲ درجه سانتی‌گراد) داشته که بیانگر وارد شدن خسارت به زنجیره انتقال الکترون و افزایش اتلاف حرارتی و هم‌چنین کاهش جذب فتوشیمیایی الکترون‌ها می‌باشد (۱٤). هدف از اجرای این آزمایش بررسی نقش

www.SID.ir

Archive of SID

رنگیزه‌ها و مؤلفه‌های فلئورسانس کلروفیل طی تنش خشکی به‌منظور غربال‌گری و انتخاب ژنوتیپ‌های برنج ایرانی و خارجی متحمل به تنش خشکی برای مطالعات تکمیلی بوده است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مؤسسه تحقیقات برنج- معاونت مازندران (آمل) با طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۲۳ دقیقه شرقی و با عرض جغرافیایی ۳٦ درجه و ۲۸ دقیقه شمالی و با ارتفاع ۲۹/۸متر از سطح دریا در سال ۱۳۹۳ و در شرایط گلخانه با دمای ۳۰/۲۰ درجه سانتی‌گراد (شب/ روز) و با رطوبت نسبی ۵±۷۰ درصد به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ٥٦ ژنوتیپ (۳۰ رقم و لاین ایرانی از پنج استان کشور و ۲٦ لاین انتخابی از مؤسسه تحقیقات بین‌المللی برنج- ایری) (جدول ۱) با دو تکرار در دو شرایط (محیط) تنش خشکی و بدون تنش در مرحله گیاهچه‌ای برنج اجرا شده است. ابتدا چهار ظرف فلزی با مساحت یک مترمربع و با ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر تهیه شد. داخل ظرف‌ها تا ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر از خاک نرم مخلوط شده با عناصر غذایی (۰/۲۵ گرم از عناصر خالص نیتروژن، فسفر، پتاس و گوگرد به‌ازای هر کیلو خاک) پرگردید. بذرهای جوانه‌زده در ژرمیناتور به تعداد ۵۰ بذر برای هر ژنوتیپ و با فاصله دو سانتی‌متر روی ردیف و پنج سانتی‌متر بین ردیف در داخل ظرف‌های فلزی کشت شد. بعد از بذرپاشی، آبیاری به‌صورت روزانه تا مرحله دو تا سه برگی گیاهچه (۱۵ روز بعد از کاشت) انجام شد. برای تیمار شاهد (بدون تنش) آبیاری طبیعی تا پایان دوره رشد ادامه و برای تیمار تحت تنش آبیاری از روز پانزدهم بعد از بذرپاشی تا پایان دوره رشد متوقف گردید. بعد از اعمال تنش هر سه روز یکبار حجم مشخصی از خاک نمونه‌برداری شده و وزن تر (Fw) و وزن خشک (Dw) آن با قرار دادن در آونی با حرارت ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ٤۸ ساعت اندازه‌گیری شد و سپس با رابطه ۱ مقدار رطوبت خاک تعیین گردید (۷). پس از این‌که رطوبت خاک به ۲۰ درصد رسید (۱۰ روز بعد از قطع آبیاری)، صفات و پارامترهای مختلف شامل رنگیزه‌های کلروفیل مانند کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها و هم‌چنین مؤلفه‌های فلئورسانس کلروفیل مانند Fv/Fm (حداکثر عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II در شرایط سازگار شده به تاریکی)، ΦPSII (عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II در شرایط سازگار شده به روشنایی)، NPQ (خاموشی غیرفتوشیمیایی کلروفیل بر انگیخته)، ETR (سرعت انتقال الکترون) به همراه PAR (تشعشع فعال فتوسنتزی) به‌شرح زیر اندازه‌گیری شدند.

$$\frac{Fw-Dw}{Dw} * 100 \qquad (۱)$$

برای اندازه‌گیری صفات فوق دو نمونه از قسمت وسط آخرین برگ توسعه یافته همه تیمارها انتخاب و حداقل به‌مدت ۳۰ دقیقه با استفاده از کلیپس‌های مخصوص در شرایط تاریکی قرار گرفتند. بعد از سپری شدن زمان فوق، مولفه‌های فلئورسانس کلروفیل شامل فلئورسانس حداکثر در شرایط سازگار شده با تاریکی (Fm)، فلئورسانس حداقل در شرایط سازگارشده با تاریکی (Fo)، حداکثر عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II در شرایط سازگارشده با تاریکی (Fv/Fm)، فلئورسانس حداکثر در شرایط

www.SID.ir

Archive of SID

سازگار شده با نور (Fm′)، فلئورسانس حداقل در شرایط سازگار شده با نور (Fo′)، عملکرد کوآنتومی فتوسیستم دو (ΦPSII)، سرعت انتقال الکترون (ETR)، خاموشی فتوشیمیایی کلروفیل برانگیخته (qP)، خاموشی غیرفتوشیمیایی کلروفیل برانگیخته (NPQ) و تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR) با استفاده از دستگاه فلئورسانس‌متر مدل PAM 2500 برای همه تیمارها در دو شرایط طبیعی و تنش اندازه‌گیری و ثبت گردید (١٤). برای اندازه‌گیری کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها در برگ، ١٥ روز پس از اعمال تنش خشکی از آخرین برگ توسعه یافته تعداد ٦ دیسک برگ، هر یک به مساحت یک سانتی‌متر تهیه و در ٨ میلی‌لیتر متانول ٨٠ درصد غوطه‌ور گردید و به‌مدت ٢٤ ساعت در شرایط تاریکی و دمای معمولی اتاق قرار گرفت. سپس فالکون‌های حاوی محلول متانول و رنگیزه‌های کلروفیل به خوبی تکان داده و مقدار ٣/٥ میلی‌لیتر از محلول فوق در کوت‌های شیشه‌ای قرار داده شد. قبل از شروع کار، دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل SPEKOL 1300) با متانول خالص در مقابل منبع نوری خوانده و سپس نمونه‌های تهیه شده در طول موج‌های ٦٦٥/٢، ٦٥٢/٤ و ٤٧٠ نانومتر برای همه تیمارها قرائت گردید. پس از تهیه داده‌ها مقادیر کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها بر حسب میکروگرم در میلی‌لیتر محاسبه شد (٢٥).

بعد از جمع‌آوری داده‌ها و محاسبات لازم با نرم‌افزار اکسل، تجزیه آماری و مقایسه میانگین ساده و مرکب و هم‌چنین همبستگی صفات مورد مطالعه برای محیط‌های تنش و طبیعی با نرم‌افزار آماری SAS نسخه ٩/١ انجام شد.

نتایج و بحث

میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها: نتایج تجزیه واریانس ساده در تیمار آبیاری طبیعی (جدول ٢) و تنش (جدول ٣) و تجزیه مرکب دو محیط (جدول ٤) در مرحله گیاهچه‌ای نشان داده است که اثر ژنوتیپ در شرایط آبیاری طبیعی، تنش و اثر متقابل دو محیط طبیعی و تنش از نظر آماری در سطح یک درصد برای صفات کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها معنی‌دار می‌باشد. برش‌دهی مقایسات میانگین ژنوتیپ‌ها در هر سطح تنش نشان داد که تمام صفات مربوط به رنگیزه‌های فتوسنتزی اختلاف آماری معنی‌داری در دو محیط تنش و طبیعی نشان دادند (جدول ٤). این نتایج علاوه بر این که تفاوت ژنتیکی ژنوتیپ‌ها را در هر یک از محیط‌های آزمایش نشان می‌دهد، بیانگر اختلاف بین ژنوتیپ‌ها در دو محیط با آبیاری طبیعی و تنش است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- نام و منشأ ژنوتیپ‌های مورد استفاده در آزمایش.

Table 1. Name and origin of the genotypes used in the experiment.

شماره Number	ژنوتیپ Genotype	منشا Origin	شماره Number	ژنوتیپ Genotype	منشا Origin	شماره Number	ژنوتیپ Genotype	منشا Origin	شماره Number	ژنوتیپ Genotype	منشا Origin
1	طارم محلی	مازندران	15	دمسیاه	گیلان	29	IR81025-B-327-3	ایری	43	IR74719-23-3-2-2	ایری
2	TaromMohali	Maz		Domsia	Gilan			IRRI			IRRI
3	طارم دیلمانی	مازندران	16	خزر	گیلان	30	IR79907-B-493-3-1	ایری	44	IR64	ایری
	TaromDilamani	Maz		Khazar	Gilan			IRRI			IRRI
4	نعمت	مازندران	17	حسنی	گیلان	31	IR79971-B-204-1-4	ایری	45	OMCS2009	ایری
	Nemat	Maz		Hasani	Gilan			IRRI			IRRI
5	ندا	مازندران	18	درفک	گیلان	32	IR79971-B-201-2-3	ایری	46	سازندگی	اصفهان
	Neda	Maz		Dorfac	Gilan			IRRI		Sazandgi	Esf
6	شفق	مازندران	20	گوهر	گیلان	34	IR81063-B-94-U3-2	ایری	48	زایندەرود	اصفهان
	Shafagh	Maz		Gohar	Gilan			IRRI		Zayanderoud	Esf
7	ساحل	مازندران	21	چمپا	خوزستان	35	IRS14m3-sat	ایری*	49	فیروزان	اصفهان
	Sahel	Maz		Champa	Kho			IRRI		Firouzan	Esf
8	شیرودی	مازندران	22	حمر	خوزستان	36	IR8S6- sat	ایری	50	دروذن	فارس
	Shirodi	Maz		Hamar	Kho			IRRI		Doroudzan	Fars
9	تابش	مازندران	23	هویزه	خوزستان	37	IR8S3- Sat	ایری	51	لاین	فارس
	Tabesh	Maz		Hovize	Kho			IRRI		G3 (Line)	Fars
10	پویا	مازندران	24	گرده رامهرمز	خوزستان	38	IR75479-199-3-3	ایری	52	لاین ٤	فارس
	Poya	Maz		GerdeRamhormoz	Kho			IRRI		Line 4	Fars
11	کشوری	مازندران	25	عنبوری قرمز	خوزستان	39	IR70422-95-1-1	ایری	53	IR74482-135-2-3	ایری
	Keshvari	Maz		Anborigermez	Kho			IRRI			IRRI
12	کوهسار	مازندران	26	VANDANA	ایری*	40	IR72860-109-2-3-2	ایری	54	IR75481-104-2-3	ایری
	Kohsar	Maz			IRRI			IRRI			IRRI
13	بینام	گیلان	27	IR-78908-193-B-3-B	ایری	41	PR4092-412-120-15	ایری	55	IR75482-149-1-1	ایری
	Binam	Gilan			IRRI			IRRI			IRRI
14	طارم هاشمی	گیلان	28	IR81429-B-3-31	ایری	42	IR2574-643-1-2	ایری	56	IR70416-53-2-2	ایری
	Tarom Hashemi	Gilan			IRRI			IRRI			IRRI

Maz = mazadaran, Kho = Khozestan, Esf = Esfahan .(IRRI:International Ricer Research Institute) *ایری: مؤسسه تحقیقات بین‌المللی برنج

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه برای ژنوتیپ‌های مختلف برنج در مرحله گیاهچه (شرایط طبیعی).

Table 2. Analysis of variance for studied triats of rice genotypes at seedling stage (Normal condition).

صفات Trait منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی Df	Par	ΦPSII	NPQ	ETR	Fv/Fm	Fv′/Fm′	کارتنوئیدها carotenoids	کلروفیل a/b chlorophyll a/b	کلروفیل a+b chlorophyll a+b	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل a chlorophyll a	محتوی آب نسبی برگ RWC	وزن خشک کل TDW	وزن ریشه به اندام هوایی R/S
تکرار Rep	1	0.03	0.3	0.0001	0.05	0.00001	0.00002	0.00005	0.004	0.0004	0.002	0.0008	0.12	2.6	0.006*
ژنوتیپ Genotype	55	145.9**	0.004**	0.51**	12.2**	0.008**	0.004**	0.06**	0.79**	1.24**	0.32**	0.6**	669.4**	574.1**	0.3**
خطا Error	55	0.8	0.0003	0.001	0.06	0.0004	0.0002	0.0002	0.002	0.01	0.002	0.006	3.8	1.8	0.0009
ضریب تغییرات CV		3	3	2.9	3.1	4.6	2.8	2.6	2.8	2.5	3	3	3	2.7	4.9

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

* and ** significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه برای ژنوتیپ‌های مختلف برنج در مرحله گیاهچه (شرایط تنش).

Table 3. Analysis of variance for studied triats of rice genotypes at seedling stage (stress condition).

وزن ریشه به اندام هوایی R/S weight	وزن خشک کل TDW	محتوی آب نسبی برگ RWC	کلروفیل a chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل a+b chlorophyll a+b	کلروفیل a/b chlorophyll a/b	کارتنوئیدها carotenoids	Fv´/Fm´	Fv/Fm	ETR	NPQ	ΦPSII	PAR	درجه آزادی Df	منابع تغییر S.O.V	صفات Trait
0.000005	0.02	0.1	0.001	0.002	0.03	0.002	0.00005	0.00002	0.0001	0.008	0.0002	0.00001	0.87	1	تکرار Rep	
3**	817.6**	756.5**	0.85**	0.32**	1.7**	0.19**	0.06**	0.002**	0.007**	14.4**	0.2**	0.003**	187.5**	55	ژنوتیپ Genotype	
0.0002	2.34	3.1	0.006	0.002	0.01	0.002	0.0002	0.0003	0.0004	0.06	0.001	0.0003	0.8	55	خطا Error	
4.4	2.9	2.2	3	3	2.5	2.8	2.6	3	4.6	3.1	2.9	3	3		ضریب تغییرات CV	

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

* and ** significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٤- تجزیه مرکب اثرمتقابل دو محیط تنش و طبیعی برای صفات مربوط به مؤلفه‌های کلروفیل.

Table 4. Combined analysis of the intraction between normal and stress for traits related to chlorophyll parameters.

صفات Trait منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی Df	PAR	ΦPSII	NPQ	ETR	Fv/Fm	Fv´/Fm´	کارتنوئیدها carotenoids	کلروفیل a/b chlorophyll a/b	کلروفیل a+b chlorophyll a+b	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیلa chlorophyll a	محتوی آب نسبی برگ RWC	وزن ریشه به اندام هوایی R/S	وزن خشک کل TDW
محیط Place	1	8184.6**	0.02**	3.1**	890.2**	0.0003^{ns}	0.02**	0.007**	17.2**	7.2**	5.4**	0.2**	10719.8**	5**	709.7**
تکرار (محیط) Rep(Place)	2	0.4	0.00002	0.0002	0.03	0.00006	0.00002	0.00008	0.003	0.01	0.001	0.001	0.1	0.003**	1.3
ژنوتیپ Genotype	55	132.7**	0.004**	0.4**	10.1**	0.0008**	0.004**	0.06**	0.47**	1.5**	0.8**	0.8**	401.3**	0.2**	818.8**
ژنوتیپ در محیط Gen*Plce	55	200.7**	0.003**	0.3**	16.5**	0.0007**	0.003**	0.05**	0.51**	1.4**	0.2**	0.67**	535.8**	0.14**	572.9**
خطاء Erorr	110	1.2	0.0002	0.002	0.09	0.0003	0.0002	0.00002	0.004	0.01	0.001	0.005	3.5	0.0005	2.2
ضریب تغییرات C.V		3	2.9	2.9	3	2.6	2.9	2.5	2.8	2.7	2.9	2.8	2.5	5	2.8
سطح تنش	برش‌دهی‌اثر متقابل: مجموع مربعات دو سطح تنش و نرمال برای صفات							Intraction of Slice: Sum of Square in Normal and Stress for trait							
Normal	55	145.9**	0.004**	0.51**	12.2**	0.0008**	0.0004**	0.05**	0.79**	1.2**	0.18**	0.6**	267**	0.05**	392**
Stress	55	187.5**	0.003**	0.2**	14.4**	0.0008**	0.0004**	0.06**	0.2**	1.7**	0.22**	0.8**	669**	0.3**	275**

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

* and ** significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

www.SID.ir

Archive of SID

مقایسه میانگین صفات (جدول ۵) بیانگر آن است که مقدار کلروفیل a برابر ۲/۵۹ و ۲/٦۵، کلروفیل b برابر ۱/۱ و ۱/٤ و کاروتنوئیدها برابر ۰/۵۳ و ۰/۵۱ میکروگرم در میلی‌لیتر به‌ترتیب در شرایط طبیعی و تنش بودند و در دو گروه مجزا قرار گرفتند. این نتایج نشان می‌دهد که مقادیر کلروفیل a و کلروفیل b در شرایط تنش بیش‌تر از شرایط طبیعی و مقدار کاروتنوئیدها در شرایط طبیعی بیش‌تر از تنش بوده است. علت افزایش کلروفیل a و b به احتمال زیاد به کاهش سطح برگ گیاهچه‌ها در شرایط تنش (داده‌ها منتشر نشد) و کاهش کاروتنوئیدها با کند شدن چرخه زانتوفیل مرتبط می‌باشد. نتایج مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش (جدول ٦) نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌ها به شماره‌های ۳، ۵، ۹، ۱۱، ۱۲،۱۳، ۱٤، ۱۵، ۱۷، ۱۸، ۱۹،۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲٤، ۲۵، ۲٦، ۲۷، ۲۸،۳۰، ۳۲، ۳٤، ۳۹، ٤۰ و ٤٤ (نعمت، فجر، تابش، بینام، کوهسار، طارم هاشمی، دمسیاه، حسنی، درفک، کادوس، گوهر، چمپا، حمر، هویزه، گرده رامهرمز، عنبوری قرمز، IR-78908-193-B-3-B، IR81429-B-3-31، IR79907-B-493-3-1 و IR72860-109-2-3-2) مقدار کلروفیل a آن‌ها بیش‌تر از میانگین ٥٦ ژنوتیپ در شرایط تنش (۲/٦۵ میکروگرم بر میلی‌لیتر) بود. مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها هم‌چنین نشان داد که ژنوتیپ‌ها به شماره ۱، ۲، ۳، ٤، ۵، ۷، ۹، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱٤، ۱۵، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲۵، ۲۷، ۲۸، ۳۰، ۳٤، ۳۹، ٤۰، ٤٤، ٤۵، ٤٦ و ۵۲ (طارم محلی، طارم دیلمانی، نعمت، ندا، فجر، ساحل، تابش، کشوری، بینام، طارم هاشمی، IR79907-B-493-3-1، IR72860-109-2-3-2 و برخی ژنوتیپ‌های دیگر) (جدول ٦) از مقدار کلروفیل b بیش‌تری نسبت به میانگین ٥٦ ژنوتیپ در شرایط تنش با ۱/٤ میکروگرم بر میلی‌لیتر (جدول ۵) برخوردار بودند. مقدار کاروتنوئیدها در برخی ژنوتیپ‌ها (شماره ۳، ۵، ٦، ۹، ۱۲، ۱۳، ۱٤، ۱۵، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۳، ۲٤، ۲۵، ۲٦، ۲۷، ۲۸، ۳۰، ۳۲، ۳۳، ۳۸، ٤۰، و ٤٤) در شرایط تنش (جدول ٦) بیش‌تر از میانگین ٥٦ ژنوتیپ در شرایط طبیعی با ۰/۵۳ میکروگرم بر میلی‌لیتر بود. نتایج همبستگی صفات مورد مطالعه نشان می‌دهد که همبستگی بین کلروفیل a با b و کاروتنوئید با کلروفیل a و b مثبت و معنی‌دار به‌ترتیب با ضریب همبستگی ۷۳، ۸۵ و ۳۸ درصد بوده است (جدول ۷). با توجه به اثر معنی‌دار این صفات در بین ژنوتیپ‌ها در دو شرایط طبیعی و تنش با اطمینان ۹۹ درصد (جدول ٤) و نتایج مقایسه میانگین ٥٦ ژنوتیپ در دو شرایط طبیعی و تنش (جدول ۵) و بر اساس مقدار این صفات در بین ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش (جدول ٦) و بر اساس نتایج همبستگی مثبت و معنی‌دار بین این صفات، ژنوتیپ‌های فوق دارای تحمل بیش‌تری نسبت به تنش خشکی در مرحله گیاهچه‌ای برنج بوده و از این صفات می‌توان به‌عنوان یکی از معیارهای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی استفاده نمود. نتایج فوق با نتایج حاصل از پژوهش میسورا و همکاران (۲۰۱٤) که بیان نمودند، تنش خشکی باعث افزایش در کلروفیل a شد مطابقت داشت (۱۸). نتایج پژوهش‌های جلیل و همکاران (۲۰۰۹) هم‌چنین نشان داد که تنش خشکی باعث افزایش مقدار کلروفیل b شد (۱٦). اما فاروق و همکاران (۲۰۰۹) بیان نمودند که تنش آب باعث کاهش وزن خشک، وزن تازه برگ و اندام هوایی، رنگیزه‌های فتوسنتزی، کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها گردید (۹). نتایج متفاوت دانشمندان شاید به نوع رقم مورد مطالعه، میزان تحمل ژنوتیپ‌ها، شدت تنش خشکی و یا مرحله اعمال تنش خشکی مرتبط باشد. در مطالعه انجام شده توسط عثمان و همکاران (۲۰۱۳) بیان شد که در تیمار ۲۵ درصد تنش خشکی مقدار کاروتنوئیدهای برنج بیش‌تر از تیمار شاهد و تنش‌های ۵۰ و ۷۵ درصد، کلروفیل a دارای کم‌ترین مقدار و کلروفیل b دارای بیش‌ترین مقدار بوده است (۳۰).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵- مقایسه میانگین شرایط طبیعی و تنش برای صفات مرتبط با مؤلفه‌های کلروفیل.

Table 5. Comparsion of mean traits related to chlorophyll parameters in normal and stress condition (P≤0.01).

صفات Trait / محیط آزمایش Place	PAR	ΦPSII	NPQ	ETR	Fv/Fm	Fv´/Fm´	کارتنوئیدها carotenoids	کلروفیل a/b chlorophyll a/b	کلروفیل a+b chlorophyll a+b	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل a chlorophyll a	مقدار آب نسبی برگ (درصد) RWC (%)	وزن خشک کل TDW (mg/p)	وزن ریشه به اندام هوایی R/S
	µmole/m²*s						میکروگرم بر میلی‌لیتر µgr/ml							
نرمال Normal	42 a	0.52 b	1.5 a	12.3 a	0.73 a	0.526b	0.53a	2.5 a	3.7 b	1.1b	2.5 b	80.1a	53.1a	0.32b
تنش Stress	29.9 b	0.54a	1.3 b	8.2 b	0.73 a	0.544a	0.51b	1.9 b	4.1 a	1.4 a	2.6 a	66.2 b	49.6b	0.6a

اعداد با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند (P≤۰/۰۱).

Numbers followed by the same are not significant (P≤0.01).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٦- مقایسه میانگین شرایط تنش برای صفات مرتبط با مؤلفه‌های کلروفیل.

Table 6. Comparsion of mean traits related to chlorophyll parameters in stress condition (P≤0.01).

شماره Number	صفات Trait ژنوتیپ Genotype	PAR	ETR	NPQ	ΦPSII	Fv/Fm	Fv´/Fm´	کلروفیل a chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل a+b chlorophyll a+b	کلروفیل a/b chlorophyll a/b	کارتنوئیدها carotenoids	مقدار آب نسبی برگ (درصد) RWC(%)	وزن ریشه به اندام هوایی R/S	وزن خشک کل TDW (mg/P)
		µmole/m²*s						میکروگرم بر میلی‌لیتر µgr/ml							
1	طارم محلی (TaromMohali)	14.8^{uv}	4.1^{r}	0.96^{za}	0.54^{e-m}	0.71^{bcd}	0.536^{d-i}	0.45^{t-r}	1.5^{x-z}	4.4^{hij}	1.8^{dfe}	2.6^{mno}	81.8^{e-h}	0.77^{e}	67.6^{ef}
2	طارم دیلمانی (TaromDilamani)	14.3^{uv}	4^{r}	1.4^{jk}	0.52^{i-o}	0.72^{bcd}	0.520^{hig}	0.3^{f}	1.3^{z}	4.4^{hij}	1.8^{d}	2.4^{o-r}	86.2^{a-c}	0.61^{g-k}	58.7^{hi}
3	نعمت (Nemat)	0.2^{w}	3.1^{s}	0.67^{zc}	0.6^{a-d}	0.69^{d}	0.578^{a-g}	0.57^{lm}	1.9^{m-r}	4.5^{hij}	1.6^{j-n}	3^{g-k}	81.8^{e-h}	0.66^{f-i}	43^{qrs}
4	ندا (Neda)	12.8^{v}	3.9^{r}	0.86^{zb}	0.58^{a-f}	0.74^{a-d}	0.611^{ab}	0.42^{x-z}	1.6^{v-y}	3.9^{kl}	1.5^{m-o}	2.5^{pq}	92.7^{a}	0.4^{p-t}	59.5^{hi}
5	فجر (Fajar)	13.9^{uv}	4^{r}	1.2^{q-t}	0.55^{b-m}	0.722^{a-d}	0.573^{a-g}	0.93^{a}	1.9^{m-r}	5.4^{cd}	1.7^{d-h}	3.6^{cd}	63.4^{nop}	0.7^{ef}	74.9^{bc}
6	شفق (Shafagh)	12.7^{v}	4^{r}	0.97^{za}	0.6^{abc}	0.748^{a-d}	0.564^{a-h}	0.57^{lm}	2^{f-m}	3.8^{lm}	1.3^{r-u}	2.6^{mno}	73.8^{i-m}	0.57^{j-n}	58.4^{hi}
7	ساحل (Sahel)	14.3^{uv}	4^{r}	0.96^{za}	0.58^{a-g}	0.715^{bcd}	0.562^{a-h}	0.46^{s-w}	1.9^{n-r}	4^{jk}	1.4^{n-p}	2.5^{nop}	58.2^{pq}	0.53^{k-o}	60.8^{gh}
8	شیرودی (Shirodi)	14.8^{t-v}	4.1^{r}	0.83^{zb}	0.62^{a}	0.736^{a-d}	0.612^{a}	0.3^{z}	1.8^{q-u}	3.1^{rs}	1.2^{u-w}	1.9^{w-z}	51.6^{qr}	0.58^{i-m}	44.4^{pqr}
9	تابش (Tabesh)	15.5^{tu}	4.9^{r}	1.3^{m-r}	0.54^{f-n}	0.732^{a-d}	0.545^{c-h}	0.68^{gh}	1.9^{k-p}	5.1^{de}	1.7^{d-h}	3.4^{de}	56.9^{pq}	0.59^{i-m}	68^{ef}
10	پویا (Poya)	29.9^{i-o}	9.2^{q}	1.2^{n-s}	0.52^{i-o}	0.723^{bcd}	0.528^{f-j}	0.43^{v-y}	1.9^{n-r}	3.4^{pq}	1.3^{s-u}	2.2^{t-w}	52.7^{qr}	0.54^{k-o}	56.2^{ij}
11	کشوری (Keshvari)	31^{k-o}	9.2^{jk}	0.87^{zb}	0.59^{a-e}	0.75^{a-d}	0.578^{a-g}	0.51^{o-q}	1.7^{r-u}	4.4^{hij}	1.6^{j-m}	2.8^{klm}	75.6^{h-l}	0.45^{o-s}	41.8^{rs}
12	کوهسار (Kohsar)	35.7^{f}	9.8^{ijk}	1.6^{gh}	0.51^{l-o}	0.828^{bcd}	0.532^{e-j}	0.89^{b}	2.4^{bc}	5.5^{bc}	1.7^{e-i}	3.9^{ab}	85.6^{a-f}	0.45^{uw}	74.3^{bcd}
13	بینام (Binam)	34^{f-j}	10^{ghi}	1.2^{-z}	0.56^{b-l}	0.73^{bcd}	0.583^{a-e}	0.63^{jk}	2^{d-i}	4.5^{ghi}	1.4^{o-r}	3^{g-k}	66.5^{mno}	0.3^{p-u}	42^{rs}
14	طارم هاشمی (Tarom Hashemi)	33.6^{f-j}	9.7^{hig}	1.2^{o-t}	0.58^{a-h}	0.722^{bcd}	0.562^{a-h}	0.56^{lmn}	1.9^{m-r}	3.9^{kl}	1.4^{o-r}	2.7^{lmn}	72.7^{j-k}	0.39^{x}	16.7^{z}
15	دمسیاه (Domsia)	31.3^{j-m}	9.8^{hig}	1.3^{m-r}	0.54^{e-m}	0.747^{a-d}	0.545^{c-h}	0.62^{jk}	2^{d-j}	4.4^{hij}	1.5^{m-p}	3^{h-l}	42.8^{st}	0.13^{j-m}	35.7^{tu}
16	خزر (Khazar)	32.5^{h-l}	9.1^{jk}	1.1^{t-w}	0.58^{a-g}	0.74^{a-d}	0.582^{a-e}	0.43^{v-x}	1.9^{i-o}	3.5^{n-q}	1.2^{uv}	2.3^{p-u}	42.3^{st}	0.58^{k-o}	68.3^{ef}
17	حسنی (Hasani)	32.5^{h-l}	9.7^{hij}	1.3^{k-p}	0.54^{f-m}	0.838^{a-d}	0.529^{f-j}	0.71^{f}	2^{e-k}	5.3^{c-e}	1.6^{h-k}	3.5^{d}	66.9^{mno}	0.48^{nop}	45^{pqr}
18	درفک (Dorfac)	35^{fg}	9.2^{ijk}	1^{v-z}	0.54^{e-m}	0.71^{bcd}	0.546^{c-h}	0.63^{jk}	1.97^{i-o}	5.2^{c-e}	1.8^{d-g}	3.5^{d}	35.2^{u}	0.58^{i-m}	26.5^{xw}
19	کادوس (Kadous)	46.5^{a}	6.9^{o}	2^{c}	0.46^{pq}	0.71^{bcd}	0.464^{kl}	0.7^{fg}	1.98^{i-o}	5.7^{ab}	1.9^{bc}	3.8^{b}	61.5^{op}	0.64^{f-j}	45^{pqr}
20	گوهر (Gohar)	29.4^{l-o}	9.1^{jk}	1.1^{v-z}	0.56^{b-j}	0.731^{bcd}	0.530^{e-j}	0.77^{de}	2.1^{f-l}	5.8^{a}	1.8^{de}	4^{a}	64.1^{nop}	0.4^{p-t}	52^{kl}
21	چمپا (Champa)	44.5^{ab}	10.6^{ef}	1.8^{de}	0.48^{o-q}	0.738^{ab}	0.484^{j-l}	0.53^{n-p}	1.5^{y-w}	5^{cr}	1.9^{cd}	3.1^{g-k}	47.6^{qr}	0.3^{vw}	22^{y}
22	حمر (Hamar)	40^{de}	12.3^{bc}	1.2^{p-t}	0.55^{cm}	0.747^{a-d}	0.546^{c-h}	0.38^{z}	1.3^{zbc}	5.3^{cd}	2.4^{a}	3.1^{ghi}	68.8^{l-o}	0.81^{ef}	64.6^{f}
23	هویزه (Hovize)	44^{abc}	23.2^{a}	1.3^{l-p}	0.55^{bm}	0.735^{a-d}	0.560^{b-h}	0.87^{b}	1.9^{i-o}	5.4^{cd}	1.7^{d-h}	3.4^{def}	77.6^{g-k}	0.51^{mo}	39.6^{s}
24	گرده رامهرمز (GerdeRamhormoz)	41.8^{cd}	13^{ab}	1.9^{d}	0.52^{g-o}	0.767^{abc}	0.516^{hig}	0.65^{h-g}	2.4^{b}	4.4^{hig}	1.3^{r-u}	3.2^{efg}	78.1^{f-k}	0.64^{f-j}	32.9^{uv}
25	عنبوری قرمز (Anborigermez)	45.8^{ab}	11.1^{de}	1.4^{jkl}	0.51^{k-o}	0.713^{bcd}	0.533^{e-j}	0.58^{gh}	2.2^{d-g}	5.1^{de}	1.6^{j-m}	3.4^{de}	88.1^{a-d}	0.38^{r-u}	71.4^{cde}

www.SID.ir

Archive of SID

ادامه جدول ٦-

Continue Table 6.

شماره Number	صفات Trait / ژنوتیپ Genotype	PAR	ETR	NPQ	ΦPSII	Fv/Fm	Fv´/Fm´	کلروفیل a chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل a+b chlorophyll a+b	کلروفیل a/b chlorophyll a/b	کارتنوئیدها carotenoids	مقدار آب نسبی برگ (درصد) RWC(%)	وزن ریشه به اندام هوایی R/S	وزن خشک کل TDW (mg/P)
		µmole/m²*s						میکروگرم بر میلی‌لیتر µgr/ml							
26	VANDANA	18.2^{s}	4.9^{q}	1^{xyz}	0.59^{a-f}	0.71^{bcd}	0.594^{abc}	0.81^{c}	2.7^{a}	4.6^{gh}	1.3^{r-u}	3.4^{de}	56.9^{pq}	0.51^{i-o}	34.7^{u}
27	IR-78908-193-B-3-B	28.4^{op}	8.2^{lm}	1^{xyz}	0.57^{a-j}	0.753^{a-d}	0.594^{abc}	0.58^{lm}	2.1^{d-h}	4.2^{ij}	1.4^{p-s}	2.9^{jkl}	35.9^{tu}	0.53^{k-o}	78.2^{ab}
28	IR81429-B-3-31	24.3^{qr}	5.9^{p}	1^{xyz}	0.52^{g-o}	0.715^{bcd}	0.542^{c-h}	0.67^{ghi}	1.9^{i-o}	4.9^{ef}	1.6^{h-k}	3.2^{fgh}	62.1^{nop}	0.6^{j-m}	35.7^{tu}
29	IR81025-B-327-3	32.6^{g-l}	6.1^{p}	1.2^{q-u}	0.56^{b-l}	0.728^{bcd}	0.544^{c-h}	0.42^{x-w}	2.3^{dc}	2.8^{stu}	0.92^{za}	2.1^{u-x}	43^{st}	0.67^{f-i}	27.6^{xw}
30	IR79907-B-493-3-1	30.5^{k-o}	9.2^{ijk}	1.1^{s-w}	0.55^{cm}	0.721^{bcd}	0.549^{c-h}	0.56^{mn}	1.9^{i-o}	4.3^{ij}	1.4^{o-r}	2.8^{klm}	67^{mno}	0.36^{s-v}	81.4^{a}
31	IR79971-B-204-1-4	16.9^{s}	5^{q}	1.5^{ij}	0.56^{b-l}	0.741^{a-d}	0.544^{c-h}	0.5^{p-s}	2.1^{d-j}	3.4^{pq}	1.1^{v-y}	2.4^{o-t}	41^{stu}	1.1^{e}	44.9^{pqr}
32	IR79971-B-201-2-3	29.1^{nop}	6.9^{o}	1.3^{m-r}	0.6^{ab}	0.795^{a}	0.588^{a-d}	0.77^{de}	2.2^{de}	3.8^{lm}	1.2^{uv}	2.6^{mno}	90.6^{ab}	0.92^{c}	28.2^{wx}
33	IR84179-B-403	24.2^{qr}	7.1^{o}	1.36^{jn}	0.55^{cm}	0.768^{abc}	0.577^{a-g}	0.64^{ij}	2.4^{b}	3.9^{kl}	1.2^{uvm}	2.9^{j-k}	89.7^{abc}	2.2^{a}	25.2^{xy}
34	IR81063-B-94-U3-2	32.7^{g-k}	9.8^{hij}	1.4^{j-m}	0.57^{a-g}	0.77^{ab}	0.549^{c-h}	0.33^{z-d}	1.4^{x-z}	4.8^{fg}	2^{b}	2.8^{jkl}	79.2^{e-i}	0.6^{h-l}	17.7^{z}
35	IRS14m3-sat	18.2^{s}	4.9^{q}	1.1^{t-x}	0.54^{cm}	0.749^{a-d}	0.560^{b-h}	0.5^{o-q}	1.9^{k-p}	3.9^{l}	1.3^{q-t}	2.6^{mno}	35^{u}	0.39^{p-u}	54.5^{jk}
36	IR8S6- sat	31.8^{i-m}	8.9^{kl}	1.7^{ef}	0.50^{a-p}	0.71^{bcd}	0.488^{j-l}	0.36^{z-e}	1.7^{l-w}	3^{rs}	1.1^{v-y}	1.9^{yz}	61.9^{nop}	0.34^{tuv}	49.3^{i-o}
37	IR8S3- Sat	32.1^{h-l}	10.3^{fgh}	1.4^{jk}	0.53^{g-o}	0.7^{d}	0.526^{g-j}	0.36^{z}	2.2^{dfe}	2.4^{vw}	0.76^{zb}	1.6^{za}	61.4^{op}	0.58^{i-m}	40.1^{s}
38	IR75479-199-3-3	34.8^{fgh}	9.8^{hij}	1.4^{j-m}	0.55^{cm}	0.74^{a-d}	0.561^{b-h}	0.56^{mn}	1.98^{i-o}	3^{st}	1^{x-z}	2.1^{v-x}	77.5^{g-k}	1.7^{b}	39^{st}
39	IR70422-95-1-1	23.9^{r}	6.9^{o}	1.2^{q-t}	0.56^{b-k}	0.724^{bcd}	0.560^{b-h}	0.55^{m-o}	1.8^{p-u}	4.5^{hij}	1.6^{j-l}	2.8^{jkl}	80.8^{d-i}	2.2^{a}	25.8^{xw}
40	IR72860-109-2-3-2	25.6^{r}	7.1^{o}	1.4^{jkl}	0.53^{i-o}	0.71^{bcd}	0.532^{e-j}	0.77^{dc}	2.2^{d}	5.5^{bc}	1.7^{f-j}	3.8^{bc}	52.3^{qr}	0.88^{d}	44.8^{pqr}
41	PR4092-412-120-15	38.8^{e}	10.9^{ef}	1.2^{r-v}	0.55^{bm}	0.73^{bcd}	0.581^{a-f}	0.36^{z-e}	1.6^{u-x}	3.3^{qr}	1.2^{tu}	1.8^{za}	53.8^{qr}	0.51^{mo}	57.7^{hig}
42	IR2574-643-1-2	34.9^{fg}	9.7^{hig}	2.3^{a}	0.44^{q}	0.748^{a-d}	0.449^{l}	0.36^{z-e}	1.8^{o-s}	2.8^{stu}	0.94^{za}	1.8^{za}	83.7^{b-g}	0.92^{d}	29.4^{vm}
43	IR74719-23-3-2-2	26.6^{pq}	7^{o}	1.3^{m-r}	0.52^{i-o}	0.748^{a-d}	0.532^{e-j}	0.37^{z}	1.8^{q-u}	2.9^{stu}	1.05^{w-z}	1.8^{z}	20.7^{v}	0.72^{ef}	70.8^{de}
44	IR64	34.5^{f-i}	9.8^{hig}	1.3^{r}	0.528^{go}	0.722^{bcd}	0.549^{c-h}	0.6^{kl}	1.9^{k-p}	4.6^{gh}	1.6^{i-m}	3^{h-k}	43^{st}	0.4^{p-t}	65.9^{ef}
45	OMCS2009	24.3^{qr}	7.2^{no}	2.1^{b}	0.45^{q}	0.70^{cd}	0.465^{kl}	0.2^{z-g}	1.3^{z}	3.7^{l-p}	1.7^{g-j}	2.1^{u-x}	38.9^{tu}	0.3^{uvw}	48^{m-p}
46	سازندگی (Sazandgi)	40.2^{de}	11.6^{cd}	1.4^{j-m}	0.52^{i-o}	0.711^{bcd}	0.527^{g-j}	0.13^{z-h}	1.2^{z}	3.4^{opq}	1.5^{k-l}	1.8^{z}	69.4^{lmn}	0.47^{opq}	47.4^{nop}
47	زایندەرود (Zayanderoud)	44.1^{abc}	12.7^{ab}	1.5^{ij}	0.54^{dm}	0.748^{a-d}	0.548^{c-h}	0.39^{za}	1.97^{i-o}	2.9^{st}	1^{y}	2^{v-y}	50.6^{qr}	0.46^{o-p}	50.7^{k-n}
48	فیروزان (Firouzan)	32.6^{g-l}	10^{ghi}	1.7^{fg}	0.49^{n-q}	0.732^{a-d}	0.484^{jkl}	0.38^{z}	1.7^{s-v}	3.4^{pq}	1.2^{stu}	2.1^{t-w}	56.4^{pq}	0.65^{f-j}	76.2^{b}
49	درودزن (Doroudzan)	43.9^{bc}	7.9^{mn}	1.3^{km}	0.52^{i-o}	0.732^{a-d}	0.515^{hig}	0.24^{g}	1.4^{yz}	2.3^{w}	0.91^{z}	1.4^{z}	87.7^{a-d}	0.65^{f-j}	74.7^{bc}
50	لاین G28 (Line)	36.1^{f}	11^{efd}	1.2^{r-u}	0.55^{cm}	0.739^{a-d}	0.538^{d-i}	0.31^{z-f}	1.8^{o-s}	2.6^{u-v}	0.97^{yz}	1.7^{z}	79.5^{e-i}	0.38^{q-u}	52.4^{kl}
51	لاین G3 (Line)	34.6^{fgh}	9.7^{hij}	1.1^{uw}	0.58^{a-h}	0.733^{a-d}	0.552^{c-h}	0.34^{z-e}	1.9^{m-q}	2.7^{tu}	0.94^{z}	1.7^{z}	89.2^{abc}	0.25^{w}	41^{rs}
52	لاین ٤ (Line 4)	32.1^{h-l}	10.3^{fgh}	1.3^{m-r}	0.55^{em}	0.741^{a-d}	0.551^{c-h}	0.32^{z-f}	1.4^{z}	3.8^{lmn}	1.6^{i-m}	2.2^{s-v}	86.7^{a-d}	0.46^{o-r}	51.6^{klm}
53	IR74482-135-2-3	34.1^{f-i}	8.2^{lm}	1.6^{hi}	0.51^{j-o}	0.733^{a-d}	0.515^{h-k}	0.47^{r-u}	2.02^{h-k}	3.4^{opq}	1.1^{wx}	2.4^{o-s}	82.3^{c-h}	0.68^{e-h}	72.2^{cd}
54	IR75481-104-2-3	34.3^{f-j}	9.8^{hig}	1.1^{s-w}	0.60^{abc}	0.747^{a-d}	0.593^{abc}	0.51^{o-q}	2.1^{d-j}	3.7^{l-o}	1.2^{uvw}	2.5^{opq}	85.9^{a-f}	0.58^{i-m}	46.7^{opq}
55	IR75482-149-1-1	28.6^{op}	8^{m}	1.3^{n-r}	0.57^{a-j}	0.728^{bcd}	0.544^{c-h}	0.46^{r-v}	1.96^{k-o}	3.5^{n-q}	1.2^{vum}	2.2^{q-v}	71.6^{k-l}	0.41^{p-t}	61.7^{gh}
56	IR70416-53-2-2	39.7^{e}	12^{c}	1.3^{k-o}	0.52^{i-o}	0.747^{a-d}	0.535^{e-j}	0.48^{st}	2^{g-k}	3.5^{m-q}	1.1^{vw}	2.3^{p-u}	93.2^{a}	0.23^{w}	32.4^{uv}

اعداد با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند (P≤۰/۰۱).

Significantly different (P≤0.01) In each column, numbers followed by the same letters are not.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۷- همبستگی ساده پیرسون صفات مرتبط با مؤلفه‌های کلروفیل در شرایط تنش خشکی مرحله گیاهچه‌ای برنج.

Table 7. Pearson simple correlation of traits related to chlorophyll parameters under drought stress in rice seedling stage.

	وزن خشک کل TDW	وزن ریشه به اندام هوایی R/S	محتوی نسبی آب برگ RWC	Fv/Fm	ETR	NPQ	ΦPSII	PAR	کلروفیل a chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل a+b chlorophyll a+b	کلروفیل a/b chlorophyll a/b	کاروتنوئیدها carotenoids	
کاروتنوئیدها Carotenoids													1	
کلروفیل a/b chlorophyll a/b												1	0.7***	
کلروفیل a+b chlorophyll a+b											1	-0.16 ns	0.72***	
کلروفیل b Chlorophyll b										1	0.88***	-0.31*	0.35**	
کلروفیل a chlorophyll a									1	0.73***	0.97***	0.39**	0.85***	
PAR								1	-0.04 ns	-0.06 ns	-0.04 ns	-0.01 ns	-0.06 ns	
ΦPSII							1	-0.44**	0.04 ns	-0.06 ns	0.006 ns	0.16 ns	0.17 ns	
NPQ						1	-0.91***	0.47**	-0.09 ns	-0.04 ns	-0.08 ns	-0.06 ns	-0.14 ns	
ETR					1	0.11 ns	0.29*	0.11 ns	-0.08 ns	-0.05 ns	-0.07 ns	-0.03 ns	-0.1 ns	
Fv/ Fm				1	0.18 ns	0.11 ns	0.29*	0.11 ns	-0.1 ns	-0.25*	-0.17 ns	0.25*	0.09 ns	
محتوی نسبی آب برگ RWC			1	0.24 ns	0.1 ns	-02 ns	0.12 ns	0.08 ns	-0.03 ns	-0.006 ns	-0.02 ns	-0.02 ns	0.01 ns	
وزن ریشه به اندام هوایی R/S		1	0.19 ns	0.15 ns	-0.19 ns	0.05 ns	0.008 ns	-0.19 ns	-0.02 ns	-0.1 ns	-0.02 ns	-0.02 ns	0.1 ns	
وزن خشک کل TDW	1	-0.25*	-0.13 ns	-0.13 ns	-0.16 ns	-0.11 ns	0.04 ns	-013 ns	-0.04 ns	0.006 ns	-0.05 ns	0.17 ns	-0.04 ns	

*، **، *** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ۵، ۱، ۰/۱ درصد و بدون اختلاف معنی‌دار.

*, **, *** and ns significant at 5%, 1%, 0.1% probability levels and not significant, respectively.

www.SID.ir

Archive of SID

مجموع و نسبت کلروفیل a و b: نتایج تجزیه واریانس مجموع و نسبت کلروفیل a و b در شرایط طبیعی (جدول ۲) و تنش (جدول ۳) نشان داد که میان ژنوتیپ‌ها از نظر مجموع کلروفیل a و b (a+b) و نسبت کلروفیل a به b (a/b) اختلاف آماری معنی‌داری در سطح یک درصد وجود دارد. تجزیه مرکب این صفات در دو محیط طبیعی و تنش (جدول ٤) بیانگر این بود که اثر محیط آزمایش و هم‌چنین اثر متقابل ژنوتیپ و محیط از نظر آماری معنی‌دار است. مقایسه میانگین صفات فوق برای ٥٦ ژنوتیپ مورد بررسی (جدول ٥) بیانگر این است که مقدار کلروفیل a+b برابر ۳/۷ و ٤/۱ و نسبت کلروفیل a به b برابر ۲/٥ و ۱/۹ میکروگرم بر میلی‌لیتر به‌ترتیب در شرایط طبیعی و تنش می‌باشد. این نتایج نشان داد که تنش خشکی در مرحله گیاهچه‌ای برنج باعث افزایش مقادیر کلروفیل a وb شد. اما با توجه به کاهش نسبت کلروفیل a به b درشرایط تنش می توان نتیجه گرفت که مقدار افزایش کلروفیل b بیش‌تر از کلروفیل a در تنش خشکی بوده است. فاروق و همکاران (۲۰۰۹) وانجوم و همکاران (۲۰۰۳) گزارش کردند که خشکی در گونه‌های مختلف گیاهی می‌تواند نسبت کلروفیل a/b و مقدار کاروتنوئید را تغییر دهد (۹ و ۱). افزایش کلروفیل b منجر به کاهش در نسبت کلروفیل a/b در تنش خشکی می‌شود (۱۸). تایز و زایگر (۱۹۹۱) بیان نمودند که کاهش مقدار کلروفیل با کاهش جریان نیتروژن به داخل بافت‌ها همانند تغییر در فعالیت سیستم‌های آنزیمی نیترات ریداکتاز مرتبط می‌باشد (۲۹). نتایج مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها در تنش خشکی (جدول ٦) نشان می‌دهد که بیش‌ترین مقدار کلروفیل a+b و a/b به ژنوتیپ‌های شماره ۳ (نعمت)، ٥ (فجر)، ۹ (تابش)، ۱۲ (کوهسار)، ۱۳ (طارم هاشمی)، ۱٥ (دمسیاه)، ۱۷ (حسنی)، ۱۸ (درفک)، ۱۹ (کادوس)، ۲۰ (گوهر)، ۲۳ (هویزه)، ۲٤ (گرده رامهرمز)، ۲٥ (عنبوری‌قرمز)، ۲٦ (Vandana)، ۲۷ (IR-78908-193-B-3-B)، ۲۸ (IR81429-B-3-31)، ۳۰ (IR79907-B-493-3-1)، ٤۰ (IR72860-109-2-3-2) مرتبط بود. نتایج همبستگی صفات مورد بررسی (جدول ۷) نشان داد که مجموع کلروفیل a+b با کلروفیل‌های a و b همبستگی مثبت و معنی‌دار و نسبت کلروفیل a به b (a/b) با کلروفیل a همبستگی مثبت و معنی‌دار و با کلروفیل b همبستگی منفی و معنی‌دار داشته است. حسنی و همکاران (۲۰۱۳) بین وزن تازه اندام هوایی و سطح برگ و هم‌چنین مقدار کاروتنوئید با کلروفیل a/b همبستگی مثبت و معنی‌دار و ارتباط خطی بین کلروفیل b، کلروفیل a+b و بین کلروفیل a و b را در درجه حرارت پائین گیاهچه‌های برنج مشاهده کردند (۱۳).

پارامترهای حداکثر عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II در شرایط سازگار شده به تاریکی (Fv/Fm) و عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II در شرایط سازگار شده به روشنایی (ΦPSII): نتایج تجزیه واریانس صفات فوق در شرایط آبیاری طبیعی (جدول ۲) و تنش خشکی (جدول ۳) نشان می‌دهد که میان ژنوتیپ‌ها از نظر مقدار Fv/Fm و ΦPSII اختلاف آماری معنی‌داری در سطح یک درصد وجود دارد. اما نتایج تجزیه مرکب صفات فوق در دو محیط طبیعی و تنش (جدول ٤) بیانگر این است که اثر محیط بر مقدار Fv/Fm از نظر آماری معنی‌دار نبوده ولی بر مقدار ΦPSII و اثر متقابل ژنوتیپ و محیط بر هر دو صفت مورد بررسی تفاوت آماری معنی‌داری داشته است. نسبت فلئورسانس متغیر به حداکثر فلوئورسانس (Fv/Fm) نشان‌دهنده پتانسیل یا بیشینه عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II می‌باشد و مقدار آن برای گیاهانی که در شرایط تنش قرار ندارند در دامنه‌ای بین ۰/٦٥ تا ۰/۸٥ می‌باشد. چنان‌چه گیاهان در شرایط

www.SID.ir

Archive of SID

تنش خشکی، شوری، گرما و تشعشع زیاد قرار گیرند مقدار آن کم‌تر خواهد شد (۳٤). مقایسه میانگین ٥٦ ژنوتیپ نشان داد که Fv/Fm با مقدار ۰/۷۳ در هر دو شرایط نرمال و تنش در یک گروه آماری قرار گرفتند اما عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II در شرایط سازگار با نور (ΦPSII) با ۰/۵۲ و ۰/٥٤ در دو گروه آماری به‌ترتیب در شرایط طبیعی و تنش قرار گرفتند (جدول ٥). این نتایج بیانگر این است که کارایی کوآنتومی زنجیره انتقال الکترون در فتوسیستم II با حضور نورکافی در شرایط تنش خشکی بیش‌تر از شرایط طبیعی می‌باشد. افزایش ΦPSII به احتمال زیاد به‌خاطر کاهش مقدار تشعشع فعال فتوسنتزی در شرایط تنش (جدول ٥) و وجود تعداد قابل‌توجه ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی با حفظ تولید ماده خشک (جدول ٦) در مقایسه با شرایط طبیعی (داده‌ها نشان نشان داده نشد) می‌باشد. نتایج فوق با نتایج پیردشتی و همکاران (۲۰۰۹) که بیان نمودند تنش خشکی در ارقام برنج باعث تغییر در مؤلفه‌های کلروفیل به‌جز Fv/Fm شده مطابقت دارد. در شرایط آبیاری کامل اختلاف آماری معنی‌داری بین ژنوتیپ‌های جو در مقدار Fo/Fm و Fv/Fm مشاهده نشد اما در شرایط تنش خشکی مقادیر این صفات برای همه ژنوتیپ‌های متحمل، این کاهش از نظر آماری معنی‌دار نبوده است (۲٦). مقایسه میانگین بین ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش (جدول ٦) نشان می‌دهد که مقدار Fv/Fm از حداقل ۰/٦۹ در ژنوتیپ شماره ۳ (رقم نعمت) تا حداکثر ۰/۷٦۸ در شماره ۳۳ (IR84179-B-403) که یک لاین هوازی و متحمل به خشکی ارسالی از ایری می‌باشد، متغیر بوده است. نتایج جدول ٦ هم‌چنین نشان داد که بیش‌ترین مقدار ΦPSII به تعدادی از ژنوتیپ‌ها (شماره‌های ۳، ٤، ۷، ۸، ۱٤، ۱٦، ۲٦، ۲۷، ٥۱، ٥٤ و ٥٥) با تغییرات ۰/٥۷ تا ۰/٦۰ اختصاص دارد. نتایج همبستگی ساده بین صفات (جدول ۷) نشان داد که صفت Fv/Fm با ΦPSII همبستگی مثبت و معنی‌دار (r=۰/۲۹) و با مقدار کلروفیل b همبستگی منفی و معنی‌دار (r=۰/۲٥) در سطح آماری پنج درصد داشته است. با توجه به نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب (جدول ٤) در ارتباط با معنی‌دار نبودن صفت Fv/Fm و معنی‌دار بودن ΦPSII در دو شرایط طبیعی و تنش، استفاده از صفت Fv/Fm جهت انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی برنج در این مرحله از رشد که شاید به‌خاطر طول دوره رشد کوتاه این مرحله باشد مناسب نیست و احتمالاً در مراحل رشد رویشی یا زایشی این نتیجه متفاوت باشد. اما نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که از صفت ΦPSII می‌توان به‌عنوان یک مؤلفه مطلوب در جداسازی ارقام متحمل به خشکی استفاده نمود.

خاموشی غیرفتوشیمیایی الکترون (NPQ)، سرعت انتقال الکترون (ETR) و تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR): نتایج تجزیه واریانس صفات NPQ، ETR و PAR در شرایط آبیاری طبیعی (جدول ۲) و تنش خشکی (جدول ۳) نشان داد که میان ژنوتیپ‌ها در هر دو محیط طبیعی و تنش اختلاف آماری در سطح یک درصد وجود دارد. نتایج تجزیه مرکب صفات فوق (جدول ٤) در دو محیط آزمایشی بیانگر این است که اثر محیط و اثر متقابل محیط و ژنوتیپ بر مقادیر این صفات تفاوت آماری معنی‌داری داشته‌اند. برش‌دهی مقایسات میانگین ژنوتیپ‌ها در هر سطح تنش نشان داد که تمام صفات مورد مطالعه اختلاف آماری معنی‌داری در دو محیط تنش و طبیعی نشان دادند (جدول ٤). مقایسه میانگین ٥٦ ژنوتیپ (جدول ٥) برای خاموشی غیرفتوشیمیایی الکترون (NPQ) برابر ۱/٥ و ۱/۳، سرعت انتقال الکترون (ETR) برابر ۱۲/۳ و ۸/۳ مایکرومول الکترون بر مترمربع در ثانیه و برای

www.SID.ir

Archive of SID

تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR) برابر ٤٢ و ٢٩/٩ به‌ترتیب در شرایط طبیعی و تنش بوده و در دو گروه آماری قرار گرفتند. این نتایج بیانگر این است که اگرچه میزان نور خورشید در هر دو شرایط طبیعی و تنش یکسان بود اما میزان نوری که در چرخه تولید مواد فتوسنتزی مورد استفاده قرار می‌گیرد (PAR) در تنش خشکی کم‌تر از شرایط طبیعی است. تنش خشکی باعث کاهش صفات فوق در مقایسه با شرایط آبیاری طبیعی شد. میزان انتقال الکترون (ETR) و qP با افزایش تنش کمبود آب و بسته شدن روزنه‌ها کاهش می‌یابند زیرا چرخه احیای نوری مخزن الکترون (فتوسیستم) از کارایی کم‌تری نسبت به احیای CO_2 برخوردار بوده و در نتیجه بخش بیش‌تری از انرژی نورانی وارد شده به‌صورت اتلاف حرارتی یا qN نمایان می‌گردد (١٤). مقایسات میانگین ژنوتیپ‌ها درشرایط تنش (جدول ٦) نشانگر این است که ژنوتیپ‌های شماره ١٩، ٤٢ و ٤٥ به‌ترتیب با مقدار ٢، ٢/٣ و ٢/١ بیش‌ترین و شماره‌های ٣، ٤ و ٨ به‌ترتیب با ٠/٦٧، ٠/٨٦ و ٠/٨٣ کم‌ترین مقدار NPQ را به خود اختصاص دادند.

خاموشی غیرفتوشیمیایی الکترون: در واقع شاخص مربوط به هدررفت گرمایی است و گستره معمول آن برای گیاه بین ٠/٥ تا ٣/٥ می‌باشد، افزایش این پارامتر بیانگر ظرفیت بالای چرخه گزانتوفیل و توانایی گیاه در دفع تنش از طریق هدر دادن انرژی به‌صورت گرما می‌باشد (٦ و ٢). بنابراین ژنوتیپ‌هایی که در شرایط تنش خشکی مقادیر بالاتری از صفت NPQ را داشته باشند بیانگر تلفات بیش‌تر تشعشع جذب‌شده به‌صورت اتلاف حراراتی از مولکول‌ها و کلروفیل‌های آنتن در فتوسیستم II طی چرخه زانتوفیل بوده و از این طریق تحمل خود را به تنش خشکی نشان می‌دهند. بیش‌ترین مقدار ETR به تعدادی از ژنوتیپ‌ها (به شماره‌های ٢٢، ٢٣، ٢٤، ٤٦، ٤٧ و ٥٦ با مقادیر ١٢/٣، ٢٣/٢، ١٣، ١١/٦، ١٢/٧ و ١٢) و کم‌ترین مقدار به ژنوتیپ‌های ١ الی ٩ از ٣/١ الی ٤/٩ مایکرومول الکترون بر مترمربع در ثانیه تعلق داشت (جدول ٦). هم‌زمان با کاهش Fv/Fm سرعت انتقال الکترون (ETR) در طی دوره تنش خشکی تحت‌تأثیر قرار گرفته و میزان کاهش آن به‌ترتیب در طی ١٤ و ٢٨ روز تنش خشکی در همه واریته‌های برنج بیش‌تر شده است (٨). نتایج مقایسه میانگین بین ژنوتیپ‌ها (جدول ٦) در شرایط تنش نشان می‌دهد که بیش‌ترین مقدار PAR به ژنوتیپ‌های ١٩، ٢١، ٢٣، ٢٤، ٢٥، ٤٧ و ٤٩ با نوسان ٤١/٨ تا ٤٦/٥ و کم‌ترین مقدار به شماره‌های ١، ٢، ٣، ٤، ٥، ٦، ٧، ٨ و ٩ به‌ترتیب با مقدار ١٤/٨، ١٤/٣، ١٠/٢، ١٢/٨، ١٣/٩، ١٢/٧، ١٤/٣، ١٤/٨ و١٥/٥ اختصاص داشت. نتایج همبستگی صفات در شرایط تنش خشکی بیانگر این است که خاموشی غیر فتوشیمیایی الکترون (NPQ) با سرعت انتقال الکترون (ETR) و تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR) به‌ترتیب با ضریب همبستگی ٠/٣٦ و ٠/٤٧ همبستگی مثبت و معنی‌دار و NPQ با عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II (ΦPSII) همبستگی منفی و معنی‌دار با ضریب همبستگی ٠/٩١ داشته است. این نتایج بیانگر این است که با ایجاد تنش خشکی مقدار زیادی از نور خورشید که در زنجیره انتقال الکترون مورد استفاده قرار نمی‌گیرد به‌صورت اتلاف حرارتی یا خاموشی غیرفتوشیمیایی الکترون خارج می‌شود اما عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II در شرایط سازگار با نور به‌علت افزایش بهره‌وری از تشعشع و کاهش اتلاف حرارتی از همبستگی منفی با NPQ برخوردار است. نتایج پژوهش حسیبی و همکاران (٢٠٠٧) بیش ترین همبستگی مثبت و معنی‌دار را بین ΦPSII و ETR که بیانگر نوعی سازوکار تحمل به تنش اکسیداتیو (تنش ثانویه) ناشی از تنش سرما (تنش اولیه) در ژنوتیپ‌های مورد بررسی بود نشان داده

www.SID.ir

Archive of SID

است (١٤). فلئورسانس کلروفیل این امکان را فراهم می نماید تا سطوح عملکردی مختلف فتوسنتز به‌طور مستقیم (مراحل در سطح پیگمانت) مانند واکنش‌های اولیه نور، واکنش انتقال الکترون تیلاکوئید، واکنش تاریکی آنزیمی استروما را مطالعه شود. بنابراین تعیین مقدار کلروفیل و مؤلفه‌های فلئورسانس کلروفیل مانند Fo، Fv/Fo و Fv/Fm به‌عنوان یک روش مهم برای ارزیابی سلامت یا درستی دستگاه‌های داخلی در طول مراحل فتوسنتزی در داخل یک برگ شناخته شده است (۳). بر اساس نتایج حاصل از ارزیابی رنگیزه‌های کلروفیل و مؤلفه‌های فلئورسانس کلروفیل در دو محیط طبیعی و تنش در مرحله گیاهچه ژنوتیپ‌های ایرانی و خارجی، می‌توان نتیجه گرفت بین رنگیزه‌های کلروفیل به‌صورت مستقل همبستگی مثبت و معنی‌دار و بین مؤلفه‌های فلئورسانس کلروفیل نیز همبستگی معنی‌داری (مثبت / منفی) وجود دارد. بنابراین بر اساس نتایج این پژوهش می‌توان از رنگیزه‌های کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها و مؤلفه‌های فلئورسانس کلروفیل به‌ویژه ΦPSII و ETR به‌عنوان معیارهای ارزیابی برنج در مرحله گیاهچه جهت انتخاب و غربال‌گری ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی استفاده کرد.

وزن خشک کل بوته و نسبت وزن ریشه به اندام هوایی: نتایج تجزیه مرکب (جدول ٤) نشان داد که اثر محیط، ژنوتیپ و اثر متقابل آن بر وزن خشک کل بوته و نسبت ریشه به اندام هوایی از نظر آماری در سطح یک درصد معنی‌دار بوده و مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها در دو شرایط طبیعی و تنش به‌ترتیب مقدار ۵۳/۱ و ٤۹/٦ میلی‌گرم را برای وزن خشک کل بوته و ۰/۳۲ و ۰/٦۲ را برای نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی نشان می‌دهد(جدول ۵). این نتایج بیانگر این است که وزن خشک کل بوته و اندام هوایی در تنش خشکی در مقایسه با شرایط طبیعی کاهش یافته اما نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی بیش‌تر شد که بیانگر افزایش وزن خشک ریشه ژنوتیپ‌های مورد بررسی در تنش خشکی می‌باشد و به همین خاطر اختلاف کاهش وزن کل بوته در شرایط تنش و طبیعی کم‌تر از وزن خشک اندام هوایی بوته‌ها می‌باشد. در این ارتباط یوشیدا و هاسی‌گاوا (۱۹۸۲) نسبت وزن ریشه به اندام هوایی را به‌عنوان یک شاخص برای مقاومت به خشکی با توانایی استخراج بیش‌تر آب از عمق زیاد خاک پیشنهاد نمودند (۳۲). بیش‌ترین وزن خشک ریشه به اندام هوایی (جدول ٦) به ژنوتیپ‌های ۱، ۳، ۱۹، ۲۲، ۲۹، ۳۲، ۳۳، ۳۸، ۳۹، ٤۰، ٤۲، ٤۳، ٤۸، ٤۹ و ۵۲ با نسبت بیش‌تر از میانگین ۵٦ ژنوتیپ (جدول ۵) در شرایط تنش تعلق داشت. در بین این ژنوتیپ‌ها دو ژنوتیپ ۳۳ و ٤۳ از لاین‌های هوازی ارسالی از ایری دارای دو برابر وزن خشک ریشه نسبت به اندام هوایی بودند (جدول ٦). بر اساس نتایج این آزمایش، لاین‌های فوق در این مرحله از ارزیابی متحمل به تنش خشکی بوده و از این ژنوتیپ‌ها می‌توان برای ارزیابی مقاومت به خشکی در مراحل بعدی رشد استفاده کرد. افزایش ماده خشک در این لاین‌ها به احتمال زیاد به‌خاطر حفظ پتانسیل اسمزی، جلوگیری از پسابیدگی سلول و انتقال مواد محلول به اندام‌های هوایی می‌باشد. در این ارتباط چوآتووردی و همکاران (۱۹۹٦) بیان داشتند که تحت شرایط تنش، کربوهیدرات‌ها به‌طور نسبی در واریته‌های متحمل نسبت به ژنوتیپ‌های حساس سریع‌تر منتقل می‌شوند و سطح بیش‌تر فعالیت‌های قند محلول به‌عنوان یک عامل اسمزی در حفظ بیش‌تر سطح برگ و وزن خشک موثر می‌باشد.

محتوی نسبی آب برگ (RWC): نتایج مقایسه میانگین (جدول ۵) نشان داد که محتوی نسبی آب برگ در دو شرایط طبیعی و تنش در مرحله گیاهچه به‌ترتیب برابر ۸۰/۱ و ٦۲/۲ درصد بوده است. با توجه

www.SID.ir

Archive of SID

به تفاوت زیاد در دو محیط تنش و بدون تنش این صفت می‌تواند یکی از معیارهای مناسب برای غربال‌گری و انتخاب ارقام متحمل به خشکی در مرحله گیاهچه برنج طی تنش خشکی مورد توجه قرار گیرد. در شرایط تنش (جدول ٦) برخی از ژنوتیپ‌ها (شماره‌های ۱، ۲،۳، ٤، ۱۲، ۲۵، ۳۲، ۳۳، ۳۹، ٤۲، ٤۹، ۵۱، ۵۲، ۵۳، ۵٤ و ۵٦) دارای RWC بیش‌تر از ۸۰ درصد و بالاتر از میانگین ۵٦ ژنوتیپ در شرایط طبیعی (جدول ۵) بودند. بنابراین می‌توان آن‌ها را به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در مرحله گیاهچه‌ای برنج از نظر RWC انتخاب کرد. با توجه به این‌که میانگین محتوی نسبی آب برای ۵٦ ژنوتیپ در شرایط تنش ٦٦/۲ درصد بود، بنابراین ژنوتیپ‌هایی که RWC بیش‌تر از ٦٦/۲ و کم‌تر از ۸۰ درصد را به خود اختصاص دادند می‌توان به ژنوتیپ‌های نیمه‌متحمل و ژنوتیپ‌هایی که مقدار RWC آن کم‌تر از ٦٦/۲ درصد باشد، به ژنوتیپ‌های حساس به تنش خشکی در مرحله گیاهچه‌ای برنج تقسیم‌بندی کرد (جدول ٦). درهمین ارتباط چانگ و همکاران (۱۹۷۹) بیان داشتند که خشکی در مرحله گیاهچه‌ای به‌طور معمول با پتانسیل آب برگ مرتبط است و لاین‌هایی که پتانسیل آب برگ بالاتری داشتند، سبزینه‌گی برگ را حفظ نموده و از این‌رو نمره پائین خشکی می‌گیرند (٤). با توجه به نتایج به‌دست آمده و بر اساس ارتباط نزدیک محتوی نسبی آب برگ با افزایش تحمل به خشکی در گیاهان، می‌توان این صفت را به‌عنوان یکی از شاخص‌ها در غربال‌گری ژنوتیپ‌های برنج پیشنهاد کرد. ژنوتیپ‌های شماره ۱ (طارم محلی)، ۲ (طارم دیلمانی)، ۳ (نعمت)، ٤ (ندا) و ۱۲(کوهسار) از مازندران، ۲۵ (عنبوری قرمز) ازخوزستان، و شماره‌های ۳۲، ۳۳، ۳۹، ٤۲، ۵۳، ۵٤ و ۵٦ از لاین‌های ارسالی از مؤسسه تحقیقات بین‌المللی برنج (ایری) و شماره‌های ٤۹ (درودزن)، ۵۱ (لاین G3) و ۵۲ (لاین ٤) از استان فارس RWC بالایی را در شرایط تنش خشکی در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌های مورد بررسی داشته‌اند. نتایج حاصل از همبستگی صفات (جدول ۷) بیانگر این است که بین گروه‌های مختلف صفات مورد بررسی مانند مؤلفه‌های فلئورسانس، رنگیزه‌های کلروفیل، وزن خشک بوته و محتوی نسبی آب برگ همبستگی معنی‌داری وجود نداشت اما بین صفات در هر گروه همبستگی معنی‌دار مشاهده شد.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج حاصل از این آزمایش، ژنوتیپ‌های مورد مطالعه که از مناطق مختلف ایران و جهان انتخاب شدند واکنش‌های متفاوتی در ارزیابی با صفات فلئورومتری از خود نشان داده‌اند. مقادیر برخی از صفات مورد مطالعه تحت شرایط تنش خشکی کاهش و برخی از صفات افزایش یافت. این نتایج بیانگر آن است که ژنوتیپ‌های برنج، عکس‌العمل متفاوتی در واکنش به صفات مورد بررسی در دو شرایط تنش و طبیعی در مرحله گیاهچه‌ای نشان داده و بر اساس ارزیابی رنگیزه‌های کلروفیل a، b، کاروتنوئیدها و مؤلفه‌های فلئورسانس کلروفیل به‌ویژه ΦPSII و ETR و هم‌چنین وزن خشک بوته و محتوی نسبی آب برگ، تعدادی از ژنوتیپ‌های برنج متحمل به تنش خشکی انتخاب گردیدند. با ادامه فعالیت‌های تکمیلی در مراحل رویشی، زایشی و رسیدگی تعدادی از این ژنوتیپ‌ها به‌عنوان ارقام متحمل به خشکی جهت مقابله با کم‌آبی و افزایش بهره‌وری آب معرفی خواهند شد.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از مدیریت و تکنسین‌های بخش اصلاح و تهیه بذر معاونت مؤسسه تحقیقات برنج کشور (آمل) که در انجام این پژوهش مساعدت لازم را داشتند، تقدیر و تشکر می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

1. Anjum, F., Yaseen, M., Rasul, E.,Wahid, A. and Anjum, S. 2003. Water stress in barley (*Hordeum vulgare* L.) effect on chemical composition and chlorophyll contents. Pak. J. Agric. Res. 40: 45-49.
2. Baker, N.R. and Rosenqvist, E. 2004. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. J. Exp. Bot. 55: 403. 1607-1621.
3. Clark, A.J., Landolt, W., Bucher, J.B. and Strasser, R.J. 2000. Beech (*Fagus sylvatica*) response to ozone exposure assessed with a chlorophyll fluorescence performance index. Environ. Pollut. (Oxford, U.K.). 109: 501-507.
4. Chang, T.T., Somrith, B. and O'Toole, J.C. 1979. Potential for improving drought resistance in rainfed lowland rice. Pages 149-164 In: Rainfed Lowland Rice: Selected papers from the 1978. International Rice Research Conference. IRRI. Los Banos. Philippines.
5. Chatuverdi, G.S., Ram, P.C., Singh, A.K., Ram, P., Ingram, K.T., Singh, B.B., Singh, R.K. and Singh, V.P. 1996. Physiology of Stress Tolerance in Rice. Proceedings of the International Conference on Stress Physiology of Rice. 28 Feb. 5 March 1994. Lucknow. U.P. India. 252p.
6. Chaves, M., Flaxes, J. and Pinheiro, C. 2009. Photosynthesis under drought and salt stress regulation mechanism from whole plant to cell. Ann. Bot. (Oxford, U. K.). 103: 551-556.
7. Efisue, A.A. 2006. Studies of drought tolerance in interspecific progenies of *Oryza glaberrima* (Steud) and *O. Sativa* (L.) and an appraisal of the use of male game- tocides in rice hybridization PhD thesis, University of Kwazulu-Natal, South Africa.
8. Faralonia, C., Cutinob, I., Petruccelli, B.R., Levab, A.R., Lazzerib, S. and Torzillo, G. 2011. Chlorophyll fluorescence technique as a rapid tool for in vitro screening of olive cultivars (*Olea europaea* L.) tolerant to drought stress. Environ. Exp. Bot. 73: 49-56.
9. Farooq, M.A., Wahid, N., Kobayashi, D., Fujita and Basra, S.M.A. 2009. Plant drought stress: effects mechanisms and management. Agron. Sust. Dev. 29: 185-212.
10. Flexas, J., Escalona, J.M. and Medrano, H. 1998. Down-regulation of photosynthesis by drought under field conditions in grapevine leaves. Aust. J. Plant Physiol. 25: 893-900.
11. Fransis, D. and Piekielek, D. 2000. Assessing crop nitrogen needs with chlorophyll meters. The Site- Specific Management Guidelines Series is published by the Potash and Phosphate Institute (PPI). Coordinated by South Dakota State University (SDSU). 237p.
12. Hakam, P., Khanizadeh, S., DeEll, J.R. and Richer, C. 2000. Assessing chilling tolerance in roses using chlorophyll fluorescence. Hortsci.. 35: 2. 184-186.
13. Hasani, Z., Pirdashti, H., Yaghoubian, Y. and Nouri, M.Z. 2013. Comparative effects of cold air and cold water stress on chlorophyll parameters in rice (*Oryza sativa* L.). Int. J. Biol. Allied Sci. 2013 IJFAS J. -2-2: 918-921.
14. Hassibi, P., Moradi, F. and Nabipour, M. 2007. Screening of rice genotypes for low temperature stress- using chlorophyll fluorescence. Iran. J. Crop Sci. 9: 1. 14-3. (In Persian).
15. Jackson, R.D., Idso, S.B., Reginato, R.J. and Pinter, P.J. 1981. Canopy temperature as a crop water stress indicator. J. Agric. Water Resour. Res. Plant Prod. 17: 1133-1138.
16. Jaleel, J.A., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Jasim al-Juburi, H., Somasundaram, R. and Panneerselvam, R. 2009. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. Int. J. Agric. Biol. 11: 100-105.
17. Kaiser, W.M. 1987. Effect of water deficit on photosynthetic capacity. Exp. Plant. Physiol. 7: 142-149.
18. Kautsky, H. and Hirsch, A. 1931. Neuever such ezurkohl enfaure assimilation. Atmos. Environ. Res., [Ext. Lect. Workshop]. pp. 919-964.

www.SID.ir

Archive of SID

19. Maisura, Chozin, M.A., Lubis, I., Junaedi, A. and Ehara, H. 2014. Some physiological character responses of rice under drought condition a paddy system. J. Gen. Physiol. 20: 1. 104-114.
20. Maxwell, K. and Johnson, G.N. 2000. Chlorophyll fluorescence- a practical guide.J.Exp.asa reference Parameter. Ann. Bot. (Oxford, U. K.). 89: 895-905.
21. Medrano, H., Escalona, J.M., Bota, J., Gulias, J. and Flexas, J. 2002. Regulation of photosynthesis of C3 plants in response to progressive drought: stomatal conductance as a reference parameter. Ann. Bot. (Oxford, U.K.). 89: 895-905.
22. Muhammad, N., Birgit, M., Thomas, G., Reich, E., Krzysztof, W. and Angela, S. 2014. Increased drought stress resilience of maize through endophyticcolonization by Burkholderia phytofirmans. PsJN and Enterobactersp. FD17. Environ. Exp. Bot. 97: 30-39.
23. Oukarron, A., Schansker, G. and Strasser, R.J. 2009. Drought stress effects on photosystem I content and photosystem II thermozolerance and lyzed using chl *a* fluorescence kinetics in barley varieties different in their drought tolerance. J. Plant Physiol. 137: 188-199.
24. Pirdashti, H., Tahmasebi Sarvestani, Z. and Bahmanyar, M.A. 2009. Comparison of physiological responses among four contrast rice cultivars under drought stress conditions. World Academy Sci. Eng. Technol. 49: 51-53.
25. Porra, R.J. 2002. The chequered history of the development and use of simultaneous equations for the accurate determination of chlorophylls a and b. Photosynth. Pigm. 73: 149-156.
26. Rong-Hua, L.I., Pei-Pol, G., Michae, B., Stefania, G. and Salvatore, C. 2006. Evaluation of Chlorophyll Content and Fluorescence Parameters as Indicators of Drought Tolerance in Barley. Agric. Sci. China. 5: 10. 751-757.
27. Sheiber, V. and Schliwa, V.B.W. 1986. Continuous recording of photochemical and non- Photochemical chlorophyll fluorescence quenching with a new type of modulation fluorimeter. Photosynth. Res. 10: 51-62.
28. Strasser, R.J., Srivastava, A. and Tsimilli-Michael, M. 2004. Analysis of the: chlorophyll a fluorescence transient. In: Papageorgiou, G, Govindjee (Eds). Advances in photosynthesis and Respiration chlorophyll fluorescence a signature of photosynthesis, Vol. 19. kluwer Academic publishers, The Netherlands, pp. 321-362.
29. Taiz, L. and Zeiger, E. 1991. Plant physiology. The Benjamin Cummings Pub. Co. Inc. California. 782p.
30. Usman, M., Raheem, Z.F., Ahsan, T., Iqbal, A., Sarfaraz, Z.N. and Haq, Z. 2013. Morphological, Physiological and biochemical attributes as indicators for drought tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) Eur. J. Biol. Sci. 5: 1. 23-28.
31. Woo, N.S., Badger, M.R. and Pogson, B.J. 2008. A rapid, non-invasive procedure for quantitative assessment of drought survival using chlorophyll fluorescence. Plant Methods. pp. 4-27.
32. Yoshida, S. and Hasegawa, S. 1982. The rice root system: its development and function. P 97-114 In: Drought resistance in crops with emphasis on rice. IRRI, Los Banos, Laguna, Philippines.
33. Zhang, K., Fang, Z., Liang, Y. and Tian, J. 2009. Genetic dissection of chlorophyll content at different growth Stages in common wheat. J. Genet. 88: 2. 183-190.
34. Zhao, G.Q., Ma, B.L. and Ren, C.Z. 2007. Growth, Gas Exchange, chlorophyll fluorescence and ion Content of naked oat in response to salinity. J. Crop Sci. 41: 123-131.

www.SID.ir

www.SID.ir