مجله بوم‌شناسی گیاهان زراعی
جلد ۱۱، شماره ۴، صفحات ۲۴- ۱۳
(زمستان ۱۳۹۴)

شناسایی ژنوتیپ‌های برنج متحمل به تنش خشکی با تجزیه و تحلیل چندمتغیره

رضا کریم کشته
دانش‌آموخته کارشناسی ارشد بیوتکنولوژی کشاورزی
دانشگاه پیام نور کرج
کرج، ایران
نشانی الکترونیک ✉:
rezakarim597@yahoo.com

حسین صبوری*
دانشیار گروه تولیدات گیاهی
دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی
دانشگاه گنبدکاووس
گنبدکاووس، ایران
نشانی الکترونیک ✉:
hos.sabouri@gmail.com
*مسؤل مکاتبات

چکیده به منظور شناسایی ژنوتیپ‌های برنج متحمل به شرایط تنش خشکی، ۱۴ ژنوتیپ برنج در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو شرایط غرقاب و تنش خشکی در شهرستان علی‌آباد کتول در سال زراعی ۹۱-۹۰ مورد آزمایش قرار گرفتند. تفاوت بسیار معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها از نظر کلیه صفات مورد مطالعه وجود داشت که بیانگر وجود تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ‌ها بود. تحلیل همبستگی بین عملکرد در شرایط غرقاب و تنش خشکی و شاخص تحمل به خشکی نشان داد که شاخص‌های حساسیت به تنش، تحمل، میانگین عملکرد، میانگین هندسی، میانگین هارمونیک و عملکرد را به عنوان شاخص‌هایی برتر در هر دو شرایط غرقاب و تنش خشکی که قادرند ژنوتیپ‌های مقاوم با عملکرد بالا را نشان دهند انتخاب نمود. تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌ها به کمک شاخص‌های تحمل به خشکی انجام شد. براساس این نمودار ژنوتیپ‌ها به سه گروه تقسیم شدند. ژنوتیپ‌های Graldo، IRAT216، غریب سیاه ریحانی، USEN، IR63372-15 که در گروه سوم قرار گرفتند و جزو ژنوتیپ‌های حساس به خشکی بودند. با توجه به شاخص‌های تحمل خشکی ژنوتیپ‌های سپیدرود، طارم محلی و IR83752-B-B-12-3 نظر به دارا بودن بیشترین میزان عملکرد در هر دو شرایط محیطی و داشتن شاخص تحمل به تنش بالا به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل پیشنهاد می‌شوند.

شناسه مقاله:
نوع مقاله: **پژوهشی**
تاریخ پژوهش: **۱۳۹۱**
تاریخ دریافت: **۹۳/۱۰/۱۱**
تاریخ پذیرش: **۹۴/۰۷/۰۳**

واژه‌های کلیدی:
- **استرس خشکی**
- **تجزیه بای‌پلات**
- **تحمل به خشکی**
- **تنش آبی**
- **شاخص تحمل**

مقدمه دسترسی برنج از غلات دانه ریز بوده و پس از گندم از نظر منبع غذایی، تولید و سطح زیر کشت، جایگاه عمده‌ی در تغذیه بشر دارد.[۲۴] تولید برنج تا اوایل دهه ۴۰ می‌توانست نیازهای داخلی کشور را تأمین کند اما در حال حاضر با توجه به افزایش سریع جمعیت و بهبود وضعیت اقتصادی مردم، تولید داخلی کفاف نیاز مردم را نمی‌دهد و همه ساله مقادیر زیادی برنج ازخارج وارد کشور می‌شود، بنابراین باید تولید این محصول را از طریق افزایش عملکرد در واحد سطح افزایش داد[۱۰] زیرا برنج یکی از مهمترین محصولاتی است که با محدودیت شدید سطح زیرکشت روبرو است.[۲۳]

خشکی به عنوان یک مسأله جهانی به طور جدی بر تولید و کیفیت دانه غلات اثر می‌گذارد[۸] و برحسب زمان، طول و شدت دوره تنش سبب کاهش عملکرد از طریق تأثیر بر هریک از اجزای آن می‌شود.[۱۴] خشکی اصلی‌ترین مشکلی است که سازگاری ارقام پرمحصول برنج به خصوص در محیط های خشک و دیم برنج را محدود می کند.[۱۲] حدود ۲۰۰ میلیون تن از محصول برنج در اثر تنش های زنده و غیرزنده از بین می‌رود.[۵] تنش خشکی تقریباً در ۵۰٪ از اراضی تولید برنج دنیا اتفاق می افتد.[۱۵] تنش آب می‌تواند آناتومی، مرفولوژی، فیزیولوژی و بیوشیمی گیاهان را تحت تأثیر قرار دهد و تقریباً بر کلیه جنبه‌های رشد و نمو آنها اثر بگذارد.[۹] افزایش تحمل به خشکی مخصوصاً در برنج که از مهمترین گیاهان زراعی در آسیا محسوب میشود ضروری به نظر می‌رسد.[۲۲] تنش خشکی ناشی از آبیاری غیر غرقابی ضمن تأثیر بر میزان آب مصرفی با جلوگیری از انتقال املاح و مواد غذایی به گیاه و کاهش فتوسنتز باعث کاهش تعداد پنجه، سطح برگ، تجمع ماده خشک، تعداد دانه پر در خوشه، وزن صد دانه و در نهایت عملکرد می‌شود.[۱۷] ژنوتیپ‌ها را براساس واکنش آنها به شرایط محیطی تنش و بدون تنش به چهار گروه تقسیم می‌کنند: گروه اول ژنوتیپ‌هایی که عملکرد خوبی در دو محیط تنش و بدون تنش دارند، گروه دوم فقط عملکرد خوبی در محیط بدون تنش دارند، گروه سوم ژنوتیپ‌هایی که فقط عملکرد خوبی در محیط تنش دارند و گروه چهارم ژنوتیپ‌هایی که عملکرد پایینی در هر دو محیط دارند.[۳] شاخص‌های متفاوتی برای ارزیابی واکنش گیاهان در شرایط محیطی مختلف و تعیین مقاومت و حساسیت آنها ارایه شده است. *فیشر و مائورر (۱۹۷۸)* شاخص حساسیت به تنش[۱] را پیشنهاد نمودند.[۳] مقدار کمتر شاخص حساسیت به تنش تغییرات کم عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط تنش نسبت به شر ایط بدون تنش و در نتیجه پایداری آن ژنوتیپ است.[۸۱] شاخص تحمل[۲] را به صورت اختلاف بین عملکرد تحت شرایط تنش و بدون تنش و شاخص میانگین حسابی[۳] را میانگین دو مقدار مذکور تعریف نمودند. هنگامی که اختلاف نسبی زیادی بین عملکرد تحت شرایط تنش و بدون تنش وجود داشته باشد، شاخص میانگین حسابی دارایی یک اریب به طرف پتانسیل عملکرد خواهد بود بنابراین جهت رفع این مشکل شاخص میانگین هندسی[۴] که براساس میانگین هندسی عملکرد ژنوتیپ تحت شرایط تنش و بدون تنش محاسبه می‌شود ارایه گردید.[۴] با استفاده از شاخص حساسیت به تنش ژنوتیپ-های گروه دوم و سوم از سایر گروه‌ها براساس تقسیم بندی فرناندز قابل تمایزند. *فرناندز (۱۹۹۲)* شاخص تحمل به تنش[۵] را نیز معرفی نمود، ژنوتیپ‌های پایدار براساس این شاخص دارایی مقادیر بالاتر شاخص تحمل به تنش هستند.

[1] Sensitive Stress Index (SSI)

[2] Tolerance
[3] Mean parent
[4] Geometric Mean (GM)
[5] Stress Tolerance Index (STI)

شاخص دیگر شاخص میانگین هارمونیک[1] توسط فرناندز معرفی شد. *صفایی چائی کار و همکاران (۱۹۹۷ و ۲۰۰۸)* در ارزیابی تحمل ژنوتیپ‌های برنج به تنش خشکی انتهایی فصل بیشترین آسیب ناشی از تنش خشکی مربوط به عملکرد شلتوک بیان کردند و شاخص تحمل به تنش را به عنوان بهترین شاخص برای گزینش ارقام پرمحصول معرفی کردند.[۱۹،۲۰] *امیری و همکاران (۲۰۰۰)* با ارزیابی تحمل به خشکی ژنوتیپ‌های جو دریافتند که شاخص تحمل به خشکی شاخص تحمل به تنش شاخص مناسبی برای انتخاب با عملکرد بالا در دو محیط تنش و بدون تنش است.[۱] در ارزیابی شاخص‌های تحمل در ارقام جو شاخص‌های شاخص تحمل به تنش، میانگین هندسی و میانگین حسابی را به عنوان بهترین معیار برای ارقام با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش معرفی شد.[۱۶] در بررسی مقاومت به خشکی ارقام گندم بیان شد که شاخص‌های شاخص تحمل به تنش، میانگین هندسی و میانگین حسابی به عنوان بهترین شاخص برای انتخاب ارقام گندم با عملکرد بالا در شرایط تنش و بدون تنش است.[۷]

هدف از تحقیق حاضر تعیین تحمل ارقام مختلف برنج به خشکی و شناسایی ارقام متحمل بر اساس شاخص‌های مناسب تحمل بود.

مواد و روش‌ها در این پژوهش نُه ژنوتیپ خارجی شامل IRAT216، IR83752-B-B-12-3، Caiapo، Pegaso، IR63372-15، USEN، IR82616-B-B-64-3، Swarna و Graldo و پنج ژنوتیپ ایرانی شامل غریب سیاه ریحانی، سنگ جو، سپیدرود، طارم محلی در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در دو شرایط جداگانه، بدون تنش (غرقاب) و تنش خشکی در شهرستان علی آباد کتول با طول جغرافیایی ۵۴/۵۱ شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶/۵۴ شمالی با ارتفاع ۱۳۶ متر از سطح دریا، در سال زراعی ۱۳۹۰ مورد بررسی قرار گرفتند. این منطقه از نظر آب و هوایی جزء اقلیم معتدل و مرطوب محسوب می‌شود و دارای زمستان‌های سرد و تابستان گرم می‌باشد. برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک نمونه‌ای از سطح خاک (۳۰-۰ سانتی‌متر) تهیه و تجزیه آن در آزمایشگاه آب و خاک شهرستان گنبد انجام شد (جدول ۱). قبل از کاشت بذور در خزانه، محل خزانه با دقت توسط تیلر شخم زده شد و کاشت بذور جوانه دار شده در تاریخ ۱۳۹۰/۳/۲۸ صورت گرفت. بذرها به مدت ۲۴ ساعت در آب معمولی خیسانده شده سپس در پارچه‌های نخی قرار داده شدند تا جوانه دار شوند. خزانه به طریق ژاپنی احداث شد، بدین ترتیب که سطح خزانه بالاتر از جوی‌های آبیاری طرفین قرار گرفت. سپس آبیاری خزانه انجام شد و زمانی که سطح آن کاملاً مرطوب شد آب اضافی خارج گردید و بذور جوانه دار شده در سطح خزانه پاشیده شدند. هم زمان با رشد نشاها در خزانه اقدام به آماده سازی زمین اصلی شد. انتقال نشاها به زمین اصلی زمانی که طول آنها به حدود ۳۰ سانتی متر رسید صورت گرفت. اندازه واحدهای آزمایشی ۲ متر مربع ابعاد کرت (۱ × ۲ متر) و با فاصله ۱ متر از یکدیگر در نظر گرفته شده بعد از احتساب تصادفی بودن تیمارها به واحدهای آزمایشی نشاکاری به صورت سه بوته در هر کپه انجام شد هر ژنوتیپ در ۵ ردیف با فاصله ۲۵ سانتی‌متر بین بوته‌ها و ۲۵ سانتی‌متر بین ردیف‌ها در ردیف‌های به طول ۲ متر کشت شد. آبیاری مزرعه آزمایشی در هر دو محیط غرقاب و تنش، تا مرحله پنجه‌دهی ارقام به طور یکسان به طور غرقاب انجام شد. سپس برای ایجاد تنش، آبیاری از ۴۰ روز پس از نشاء (مرحله حداکثر پنجه‌زنی) تا

[1] Harmonic Mean (HM)

جدول ۱) خصوصیات نمونه خاک مورد مطالعه

Table 1) Studied soil samples characteristics

Type of soil	sand (%)	loam (%)	clay (%)	absorbable potassium (ppm)	absorbable phosphorus (ppm)	total nitrogen (%)	organic carbon (%)	neutral material (%)	pH	electrical conductivity	saturation
C	12	36	52	295	9.8	0.24	2.43	4	7.9	10.5	79.9

پایان فصل زراعی به فاصله ۲۵ روز انجام شد.

میزان کود مورد استفاده به ترتیب ۱۰۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم ازت، فسفر و پتاس بود. جهت جلوگیری از فرار آب و علف‌کش‌ها مرز کرت‌ها تا عمق ۱ متری با پوشش نایلونی پوشانیده شدند. وجین علف‌های هرز، ۲۱ روز پس از نشاءکاری و وجین دوم به فاصله ۱۹ روز از وجین اول انجام شد. به منظور مبارزه با کرم ساقه-خوار برنج از سم دیازینون ۱۰٪ به میزان ۱۵ کیلوگرم در هکتار در موقع وجین و درزمان خوشه دهی و چند روز قبل از رسیدگی استفاده شد.

صفات مورد مطالعه شامل وزن بوته (وزن ۱۰ بوته تصادفی در هر کرت بر حسب گرم)، وزن خوشه (وزن خوشه‌های ۱۰ بوته تصادفی در هر کرت بر حسب گرم)، تعداد خوشه (تعداد خوشه‌های۱۰ بوته تصادفی ازهر کرت)، وزن کاه (وزن کاه ۱۰ بوته تصادفی ازهر کرت)، طول خوشه (طول ۱۰ خوشه اصلی از ۱۰ بوته در هر کرت، از گره زیر خوشه تا انتهای خوشه بدون در نظر گرفتن ریشک برحسب سانتی‌متر)، تعداد دانه پر خوشه (تعداد دانه‌های پر در خوشه های اصلی ۱۰ بوته تصادفی از هر کرت بعد از رسیدن کامل دانه‌ها)، تعداد دانه پوک خوشه (تعداد دانه-های پوک و معیوب در خوشه‌های اصلی ۱۰ بوته تصادفی از هر کرت)، باروری (از تقسیم تعداد دانه پر بر تعداد کل دانه‌ها)، وزن دانه پر (وزن دانه پر خوشه‌های اصلی ۱۰ بوته تصادفی از هر کرت)، تعداد خوشه‌چه اولیه (تعداد خوشه‌چه اولیه خوشه-های اصلی ۱۰ بوته تصادفی از هر کرت)، ارتفاع بوته (ارتفاع بلندترین پنجه از ناحیه طوقه در سطح خاک تا نوک خوشه بدون احتساب ریشک بر حسب سانتیمتر)، وزن تر ریشه (وزن تر ریشه ۱۰ بوته تصادفی از هر کرت)، وزن خشک ریشه (وزن خشک ریشه ۱۰ بوته تصادفی از هر کرت) و حجم ریشه (حجم ریشه ۱۰ بوته تصادفی از هر کرت) بودند. نمونه‌ها با حذف اثر حاشیه انتخاب شدند و صفات مربوطه مورد اندازه گیری قرار گرفتند.

اندازه‌گیری شاخص‌های حساسیت به تنش با استفاده از عملکرد ژنوتیپ‌های مورد بررسی در شرایط غرقاب و تنش براساس روابط پیشنهادی *فیشر و مورر (۱۹۷۸)*، *روزیل و هامبلین (۱۹۸۱)* و *فرناندز (۱۹۹۲)* با استفاده از معادله‌های زیر محاسبه شدند:[۳، ۴، ۱۸]

شاخص حساسیت به تنش:

$$SSI = \frac{1-(\frac{YS}{YP})}{SI}$$

YP و YS به ترتیب عملکرد و میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط غرقاب و تنش و SI شدت تنش در آن که هستند.

شدت تنش با رابطه زیر محاسبه شد.

شاخص تحمل:

TOL= YP-YS

در این فرمول YS وYP به ترتیب عملکرد ارقام در شرایط عادی و تنش خشکی می‌باشد

شاخص تحمل به تنش:

$$STI = \frac{Yp.Ys}{(Yp)2}$$

شاخص میانگین تولید:

MP = (YS+YP)/2

میانگین هندسی:

GMP=√(YP.YS)

میانگین هامونیک:

HM=2(YP.YS) /(YP+YS)

شاخص پایداری عملکرد:

YSI = YS/ YP

شاخص عملکرد

پس از ثبت صفات، تجزیه واریانس مرکب آنها در قالب تجزیه ادغام

شده برای داده‌ها در هر دو محیط انجام شد. همچنین ضرایب همبستگی بین شاخص‌ها و عملکرد تحت هر دو شرایط، تجزیه بای پلات و تجزیه کلاستر ژنوتیپ‌ها براساس شاخص‌ها محاسبه گردید. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و انجام تجزیه‌های آماری از نرم‌افزارهای SAS ver. 9.2، SPSS 23 و PAST2 استفاده شد.

نتایج و بحث اختلاف نتایج تجزیه واریانس مرکب حاکی از اثر معنی‌داری در سطح ۱٪ ژنوتیپ بر کلیه صفات مورد مطالعه در دو شرایط محیطی تنش خشکی و بدون تنش خشکی است (جدول ۲). معنی‌دار بودن صفات مورد مطالعه بیانگر وجود تنوع ژنتیکی بین ارقام از لحاظ صفات مورد مطالعه است که برخی از این صفات می‌توانند در تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه مورد استفاده قرار گیرد. البته چون ارقام مورد مطالعه در آزمایش دارای مبدأ متفاوت و شامل ارقام محلی، اصلاح شده داخلی و خارجی هستند، طبیعتاً وجود تفاوت بین آن‌ها نیز منطقی بود. تجزیه واریانس اثر متقابل شرایط کشت در ژنوتیپ‌ها برای صفات وزن بوته، وزن خوشه، تعداد خوشه، وزن کاه، طول خوشه، تعداد دانه پر خوشه، تعداد دانه پوک خوشه، باروری، وزن دانه پر، تعداد خوشه چه اولیه، وزن تر ریشه در هر دو شرایط غرقاب و تنش خشکی نشان داد ژنوتیپ‌ها از نظر کلیه‌ی صفات مورد مطالعه در هر دو شرایط تفاوت بسیار معنی‌داری داشتند. واکنش‌های متفاوت ژنوتیپ‌های برنج بین محیط غرقاب و تنش خشکی توسط تعدادی از پژوهشگران مختلف بررسی شد که می‌توان به *لنسراس و همکاران (۲۰۰۴)* و *صفایی چایی کار و همکاران (۲۰۰۸)* اشاره کرد. شاخص‌های میانگین هندسی و شاخص تحمل به تنش به ترتیب ژنوتیپ‌های سپیدرود، IR83752-B-B-12-3، سنگ جو، Caiapo، Pegaso، را به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش شناسایی شدند، میزان بالای عددی این شاخص‌ها نشان دهنده تحمل نسبی به تنش

جدول ۲) تجزیه واریانس صفات مختلف متأثر از تنش خشکی در ژنوتیپ‌های برنج

Table 2) Variance Analysis of different traits affected by drought stress in rice genotypes

Sources of variation	df	Mean of square					
		plant weight	panicle weight	number of panicle	straw weight	panicle length	filled grain per panicle
Culture conditions	1	104157.58**	95769.65**	8580.96**	386053.20**	141.44**	65632.19**
The first error	4	418.90	11.15	5.07	87.58	3.55	658.78
Genotype	13	10960.68**	1356.49**	314.35**	4841.99**	59.15**	4670.30**
Genotype × Culture conditions	13	8714.04**	983.28**	129.16**	3944.42**	8.77**	3914.29**
The Second error	-	1020.23	139.33	15.58	541.41	3.17	939.03
CV (%)	-	21.63	28.57	23.17	29.37	7.13	32.48

Sources of variation	df	Mean of square						
		fertility	filled grain weight	spikelet number	plant height	root fresh weight	root dry weight	root volume
Culture conditions	1	4583.22**	61.13**	17.19**	56.07	174093.06**	19407.96**	7797029.33**
The first error	4	182.05	1.64*	2.65	1236.48	5.18	0.31	230.26**
Genotype	13	1635.21**	4.11**	22.20**	3933.36**	21732.53**	1123.35**	168457.31**
Genotype × Culture conditions	13	767.02**	1.92**	3.13*	1049.75	15648.11**	764.36**	163621.61**
The Second error	-	232.64	0.57	1.20	1161.13	5.37	1.12	41.97
CV (%)	-	22.14	35.26	10.95	33.08	3.33	4.20	1.96

ns، *، **، به ترتیب غیرمعنی‌دار بودن، معنی‌دار بودن در سطح ۵٪، معنی‌دار بودن در سطح ۱٪

ns, *, **, non-significant means of significance at 5% and 1 probability, respectively.

است (جدول ۴). براساس شاخص میانگین هارمونیک از بین ۱۴ ژنوتیپ مورد بررسی به ترتیب IR83752-B-B-12-3 ، سپیدرود، سنگ جو، طارم محلی، Swarna، Caiapo را به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش شناسایی شدند، میزان بالای عددی این شاخص‌ها نشاندهنده تحمل نسبی به تنش است.

شاخص بهره‌وری متوسط به ترتیب ژنوتیپ‌های IR83752-B-B-12-3، سپیدرود، سنگ جو، طارم محلی، گرده، Swarna، Graldo، Pegaso را به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش شناسایی شدند، میزان بالای عددی این شاخص‌ها نشاندهنده تحمل نسبی به تنش است. ژنوتیپ‌های IR82616-B-B-64-3 و Swarna در شرایط تنش دارای عملکرد نسبتاً یکسانی بودند ولی به دلیل بالا بودن عملکرد Swarna در شرایط غرقاب، شاخص بهره وری متوسط آن بالاتر شد. می‌توان چنین نتیجه گرفت که این شاخص زمانی قابل اعتماد است که با عملکرد بالا در شرایط تنش در نظر گرفته شود. از لحاظ شاخص حساسیت به تنش مقادیر عددی پایین نشان دهنده تحمل بالای ژنوتیپ‌ها و مقادیر بالا نشاندهنده حساسیت ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی است. ارزیابی ژنوتیپ‌ها با استفاده از شاخص حساسیت محیطی، مواد آزمایشی را صرفاً براساس مقاومت و حساسیت به تنش دسته بندی می‌کند به عبارت دیگر با استفاده از این شاخص می‌توان ژنوتیپ‌های حساس و متحمل را بدون توجه به پتانسیل عملکرد آنها مشخص کرد.[۴] به منظور یافتن ژنوتیپ‌های متحمل این شاخص کارایی بالایی دارد. در واقع در شاخص تغییر یا آسیب وارده به ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش مدنظر قرار می‌گیرد. به این معنی که اگر ژنوتیپی در هر دو شرایط تنش و بدون تنش دارای عملکرد بالاتری باشد اما درصد تغییرات زیادی را نشان دهد به عنوان ژنوتیپ متحمل شناسایی نمی‌شود. ژنوتیپ‌های سپیدرود و IR83752-B-B-12-3 از لحاظ شاخص میانگین عملکرد به عنوان شاخص مناسب شناخته شدند در حالی که از لحاظ شاخص حساسیت به تنش به عنوان ژنوتیپ‌های حساس شناخته شدند که نشان دهنده این است که این ژنوتیپ‌ها دارای میانگین عملکرد بالا بودند ولی درصد تغییرات زیادی را نشان داده‌اند و به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل شناسایی نشدند. از لحاظ شاخص تحمل ژنوتیپ‌هایی که کمترین مقدار را نشان بدهند به عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها شناخته می‌شوند. به ترتیب ژنوتیپ‌های گرده، Caiapo، IR82616-B-B-64-3، Pegaso، Swarna، سپیدرود کمترین مقدار شاخص تحمل را به خود اختصاص دادند. با بررسی عملکرد ژنوتیپ ها در هر دو شرایط تنش و بدون تنش مشخص شد که شاخص تحمل در گزینش ژنوتیپ‌های که در هر دو محیط تنش و بدون تنش دارای عملکرد مناسب باشند، موفق نبود. در واقع شاخص تحمل به نوعی تغییر حاصل از شرایط تنش را بیان می‌کند .یعنی ژنوتیپ‌هایی که دارای شاخص تحمل پایینی هستند تغییرات کمتری نشان می‌دهند و برعکس پایین بودن درصد تغییرات به عنوان یک فاکتور تحمل به تنش، بیشتر ارزش فیزیولوژیک دارد تا زراعی، انتخاب بر اساس شاخص تحمل باعث گزینش ژنوتیپ‌های با عملکرد به نسبت پایین در محیط عادی و عملکرد پایین در شرایط تنش می‌گردد، که چنین ژنوتیپ‌هایی از نظر *اشنایدر و همکاران (۱۹۹۷)* به علت پایین بودن عملکرد از نظر زراعی مناسب نیستند.[۲۱] در نتیجه پایین بودن شاخص تحمل الزاماً به معنی بالا بودن عملکرد در شرایط بدون تنش نیست، بلکه ممکن است عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط بدون تنش پایین باشد و در شرایط تنش نیز با افت کمتری همراه باشد که این باعث کوچک ماندن شاخص تحمل به تنش شود و در نتیجه این ژنوتیپ به عنوان ژنوتیپ متحمل معرفی گردد.[۱۳] به عنوان مثال ژنوتیپ‌های Caiapo و گرده که در هر دو شرایط دارای عملکرد نسبتاً کمی نسبت به دیگر ژنوتیپ‌ها بودند اما به دلیل افت اندک عملکرد در شرایط تنش بر اساس، این شاخص به عنوان ژنوتیپ متحمل شناسایی شد در حالی که شاخص حساسیت

به تنش این ژنوتیپ‌ها را ژنوتیپ‌های حساس معرفی کردند. از لحاظ شاخص‌های پایداری عملکرد به ترتیب ژنوتیپ‌های گرده،Caiapo، سپیدرود، Pegaso و از لحاظ شاخص عملکرد به ترتیب ژنوتیپ‌هایIR83752-B-B-12-3، سپیدرود و گرده را به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش شناسایی شدند، میزان بالای عددی این شاخص‌ها نشاندهنده تحمل نسبی به تنش است (جدول ۳).

همبستگی بین شاخص‌های تحمل به خشکی و عملکرد می‌تواند به عنوان معیاری مناسب برای بهترین ژنوتیپ‌ها و شاخص‌ها به کار رود. نتایج ضرایب همبستگی شاخص‌های مقاومت نشان داد که همبستگی عملکرد در شرایط غرقاب به ترتیب با شاخص حساسیت به تنش، شاخص تحمل به تنش، شاخص میانگین تولید، میانگین هندسی، میانگین هارمونیک و شاخص عملکرد قوی و معنی‌دار بود که بیشترین آن مربوط به همبستگی با شاخص‌میانگین تولید بود و در شرایط تنش نیز شاخص‌های حساسیت به تنش، شاخص تحمل به تنش، شاخص میانگین تولید، میانگین هندسی، میانگین هارمونیک، شاخص پایداری عملکرد و شاخص عملکرد همبستگی بالایی با عملکرد نشان دادند که بیشترین آن مربوط به شاخص‌های حساسیت به تنش و شاخص عملکرد بالا بود (جدول ۴). به طور کلی، شاخص‌های که در هر دو محیط دارای همبستگی بالایی با عملکرد دانه باشند می‌توانند به عنوان شاخص‌های مناسب معرفی شوند، چرا که این شاخص‌ها به جدا کردن و شناسایی ژنوتیپ-های با عملکرد دانه بالا در هر دو محیط می‌باشند.[۴]

در همین رابطه با توجه به نتایج ضرایب همبستگی شاخص‌های مختلف و عملکرد تحت شرایط تنش و بدون تنش، می‌توان شاخص‌های حساسیت به تنش، تحمل به تنش، میانگین عملکرد، میانگین هندسی، میانگین هارمونیک و عملکرد را به عنوان شاخص‌هایی برتر در هر دو شرایط غرقاب و تنش خشکی که قادرند ژنوتیپ‌های مقاوم با عملکرد بالا را نشان دهند انتخاب نمود.

جدول ۳) شاخص‌های تحمل به خشکی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه

Table 3) Drought tolerance indices of the studied genotypes condition

Cultivars	YP	YS	STI	MP	SSI	TOL	GMP	HM	YSI	YI
Sang jo	4.3	2.02	0.64	3.16	6.05	2.28	2.94	2.74	0.46	1.1
IR82616-B-B-64-3	2.87	1.88	0.4	2.37	5.49	0.99	2.32	2.27	0.65	1.02
Gardeh	3.12	2.41	0.55	2.76	7.6	0.71	2.7	2.71	0.77	1.31
Swarna	3.55	1.98	0.52	2.76	5.89	1.57	2.64	2.54	0.55	1.08
Spidroud	4.66	3	1.04	3.83	9.95	1.66	3.73	3.65	0.64	1.63
Tarom Mahalli	4.21	2	0.62	3.1	5.97	2.21	2.9	2.71	0.47	1.09
Graldo	3.65	1.5	0.4	2.57	3.98	2.15	2.33	2.12	0.41	0.81
Gharib siah Ryhani	3	0.96	0.21	1.98	1.82	2.04	1.69	1.45	0.32	0.52
IRAT216	3.05	0.902	0.2	1.97	1.59	2.14	1.65	1.39	0.29	0.49
IR83752-B-B-12-3	5.21	2.84	1.1	4.02	9.31	2.37	3.84	3.67	0.54	1.55
Caiapo	2.91	2.02	0.43	2.46	6.05	0.89	2.42	2.38	0.69	1.1
Pegaso	3.5	2	0.52	2.75	5.97	1.5	2.64	2.54	0.57	1.09
IR63372-15	3.4	1.02	0.25	2.21	2.06	2.38	1.86	1.56	0.3	0.55
USEN	4	1.18	0.35	2.59	2.7	2.82	2.17	1.82	0.29	0.64

جدول ۴) ضرایب همبستگی بین عملکرد در شرایط تنش و غرقاب و شاخص‌های تحمل

Table 4) Coefficient between yield stress and flooding tolerant indices

Traits	YS	STI	MP	SSI	TOL	GMP	HM	YSI	YI
YP	0.578**	0.832**	0.898**	0.577*	0.524	0.811**	0.725**	-0.023	0.579**
YS	1	0.922**	0.878**	0.998**	-0.392	0.945**	0.979**	0.795**	0.998**
STI		1	0.986**	0.922**	-0.023	0.991**	0.975**	0.502	0.922**
MP			1	0.878**	0.096	0.985**	0.953**	0.415	0.897**
SSI				1	0.392	0.945**	0.979**	0.795**	0.998**
TOL					1	-0.071	-0.204	-0.856**	0.391
GMP						1	0.991**	0.559**	0.945**
HM							1	0.622**	0.980**
YSI								1	0.795**

ns، *، **، به ترتیب غیر معنی‌دار بودن، معنی‌دار بودن در سطح ۵٪، معنی‌دار بودن در سطح ۱٪

ns, *, **, respectively, non-significant means of, significance at 5% and 1% probability

ژنوتیپ‌هایCaiapo، Pegaso، IR83752-B-B-12-3، سپیدرود، سنگ جو، طارم محلی، گرده براساس شاخص‌های مذکور در رده بالای قرار داشتند و با توجه به این که این شاخص‌ها به عنوان برترین شاخص‌ها در این تحقیق شناخته شدند، می‌توان این ژنوتیپ‌ها را به عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها و ژنوتیپ‌های که کمترین مقدار این شاخص‌ها ها را داشتند به عنوان حساسترین ژنوتیپ‌ها در این تحقیق معرفی کرد. عملکرد دانه تحت شرایط تنش با شاخص تحمل همبستگی منفی داشت، بنابراین با افزایش عملکرد در شرایط تنش میزان این شاخص کاهش می‌یابد. در بررسی ژنوتیپ‌های گندم همبستگی مثبت و معنی داری بین عملکرد در محیط تنش و شاخص‌های تحمل به تنش، میانگین هندسی، میانگین عملکرد و همچنین همبستگی مثبت و معنی‌داری را بین عملکرد در محیط غیر تنش و تمام شاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی گزارش شد.[۷]

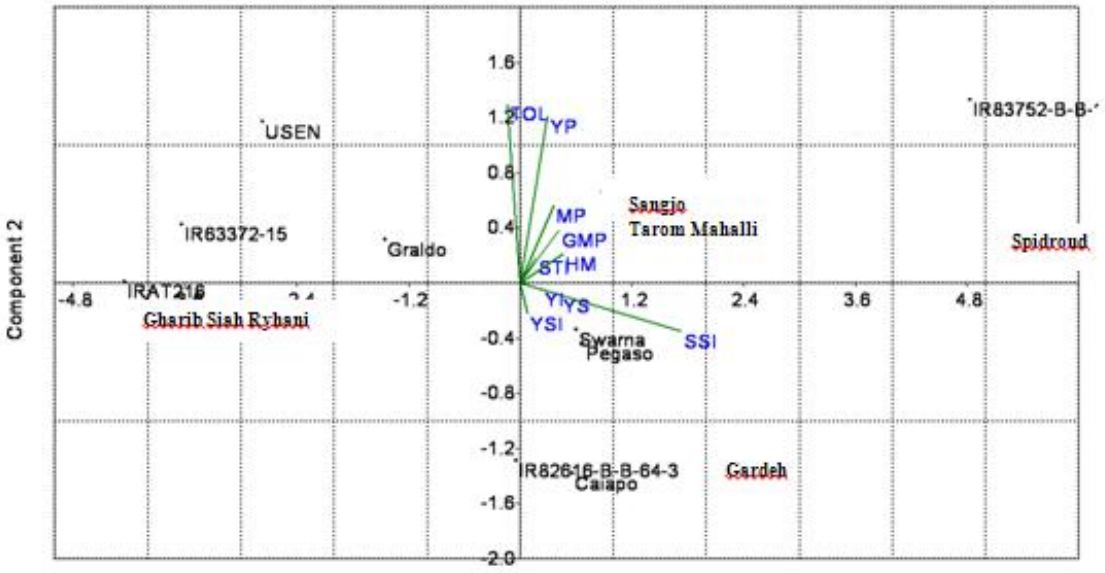
نتایج تجزیه به عامل‌ها در جدول ۵ نشان داده شده است با توجه به این که ۹۳/۱۸ تغییرات توسط دو مؤلفه اول قابل تفسیر بود و حذف سایر مؤلفه ها تأثیر بسیار ناچیزی در میان تغییرات داشت، ترسیم بای پلات براساس این دو مؤلفه انجام شد (شکل ۱).

مؤلفه اول ۹۱/۶۴٪ از تغییرات توجیه کرد و ارتباط بالایی با عملکرد در شرایط غرقاب و تنش و شاخص-های میانگین عملکرد و میانگین هندسی، میانگین هارمونیک، حساسیت به تنش و عملکرد داشت. در نتیجه می توان مؤلفه اول را پتانسیل عملکرد یا نماینده شاخص های مقاومت به خشکی که قادر به جداسازی ژنوتیپ های با عملکرد بالا در شرایط تنش بود

جدول ۵) بردارهای ویژه مؤلفه‌ها برای شاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی

Table 5) Eigen vectors of component for drought sensitive and tolerance indices

Indices	first component	second component
YP	0.148	0.615
YS	0.219	-0.044
STI	0.085	0.094
MP	0.184	0.286
SSI	0.876	-0.176
TOL	-0.070	0.659
GMP	0.211	0.159
HM	0.234	0.107
YSI	0.040	-0.112
YI	0.120	-0.023
%Variance	91.064	8.31
%Cumulative	91.64	99.95

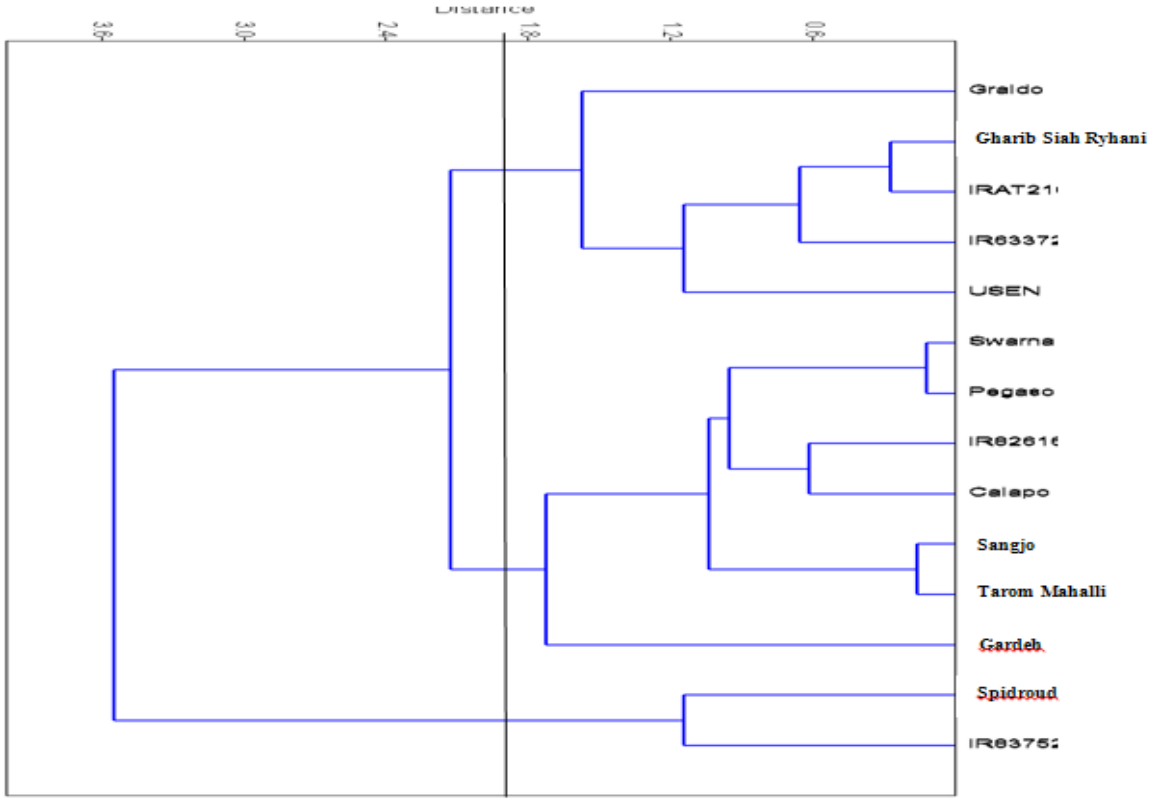


شکل۱) نمایش بای پلات ژنوتیپ های مورد مطالعه برای شناسایی بهترین ژنوتیپ ها و شاخص ها در شرایط غرقاب و خشکی

Figure 1) Biplot of studied genotypes for determination of best genotypes and indices under flooding and drought condition

نامگذاری کرد. دومین مؤلفه ۸/۳۱٪ از تغییرات را توجیه میکرد و ارتباط مثبتی با شاخص تحمل را داشت این مؤلفه یک ارتباط منفی با عملکرد دانه در شرایط تنش نشان داد بنابراین مؤلفه دوم را میتوان به عنوان مؤلفه حساسیت به تنش و عملکرد دانه در شرایط تنش معرفی کرد که قادر به جداسازی ژنوتیپ های حساس به تنش رطوبتی است. توجه به بار عامل‌ها در مؤلفه دوم نشان داد که عملکرد دانه در دو محیط بدون تنش و تنش دارای بار عاملی مثبت و منفی است که تأییدی بر رابطه منفی شاخص تحمل با حساسیت به تنش و عملکرد است. هرچه مقدار این مؤلفه کمتر باشد ژنوتیپ‌هایی انتخاب می‌شوند که دارای مقادیر کمتر شاخص تحمل و حساسیت به تنش و عملکرد دانه بیشتر در شرایط تنش رطوبتی باشند .به طورکلی ژنوتیپ هایی که بیشترین مقدار مؤلفه اول و کمترین مقدار مؤلفه دوم را داشته باشند، برای هر دو شرایط محیطی بدون تنش و تنش مطلوب خواهند بود. ژنوتیپ‌هایی مانند سنگ جو، طارم محلی، سپیدرود و IR83752-B-B-12-3 ژنوتیپ‌هایی متحمل با میانگین عملکرد بالا در هر دو محل بودند. در مقابل ژنوتیپ‌های غریب سیاه ریحانی، IRAT216 و IR63372-15 به عنوان ژنوتیپ‌های کم محصول و حساس شناخته شدند (شکل ۱).

همچنین نمایش بای پلات نشان داد که بهترین شاخص‌ها برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل برنج در این آزمایش، شاخص‌های تحمل به تنش شاخص میانگین تولید، شاخص تحمل به تنش، میانگین هندسی، میانگین هارمونیک، و عملکرد بود. *یاهوئیان و همکارن (۲۰۰۵)* شاخص‌های میانگین میانگین هندسی و شاخص تحمل به تنش را که در نمودار بای پلات در زاویه بین عملکرد در شرایط نرمال و تنش تنش قرار داشتند به عنوان شاخص‌های برتر معرفی کردند. تجزیه خوشه ای ژنوتیپ ها به کمک شاخص های تحمل به خشکی انجام شد (شکل ۲) بر اساس این نمودار ژنوتیپ ها به ۳ گروه تقسیم شدند. ژنوتیپ های سپیدرود و IR83752-B-B-12-3 در گروه اول قرار گرفتند.



شکل ۲) گروه‌بندی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بر اساس شاخص‌های تحمل به خشکی

Figure 2) Clustering of studied genotypes based on drought tolerance indices

این ژنوتیپ ها عملکرد خوبی به خصوص در شرایط غرقاب از خود نشان داده بودند .در واقع در این گروه ژنوتیپ‌های که دارای بیشترین عملکرد در شرایط غرقاب بودند قرار گرفتند. در این گروه شاخص حساسیت به تنش بیشترین مقدار را برای ژنوتیپ سپیدرود داشت، اگرچه رابطه این صفت با عملکرد دانه در شرایط تنش منفی است، اما بالا بودن عملکرد دانه در شرایط غیر تنش و در نتیجه بالا بودن اختلاف عملکرد در دو محیط، منجر به افزایش میزان حساسیت به تنش شد. ژنوتیپ های گرده، سنگ جو، طارم محلی، Caiapo، Pegaso، Swarna، IR82616-B-B-64-3 در گروه دوم قرار گرفتند. این ژنوتیپ ها دارای میانگین عملکرد نسبی بالا و تحمل خوبی در شرایط تنش بودند. ژنوتیپ‌های Graldo، IRAT216، غریب سیاه ریحانی، USEN، IR63372-15 در گروه سوم قرار گرفتند و جزء ژنوتیپ‌های حساس به خشکی بودند.

نتیجه‌گیری کلی شاخص‌های تحمل به تنش شاخص میانگین تولید، شاخص تحمل به تنش، میانگین هندسی، میانگین هارمونیک، شاخص‌هایی برتر در هر دو شرایط غرقاب و تنش خشکی هستند که قادرند ژنوتیپ‌های مقاوم با عملکرد بالا را نشان دهند. تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌ها را به سه گروه تقسیم نمود. ژنوتیپ‌های Graldo، IRAT216، غریب سیاه ریحانی، USEN، IR63372-15 که در گروه سوم قرار گرفتند و جزو ژنوتیپ‌های حساس به خشکی بودند. ژنوتیپ های سپیدرود، طارم محلی و IR83752-B-B-12-3 نظر به دارا بودن بیشترین میزان عملکرد در هر دو شرایط محیطی و داشتن شاخص تحمل به تنش بالا به عنوان ژنوتیپ-های متحمل پیشنهاد شدند.

References

1. Amiri A, Haghparast R, Aghaei A, Farshadfar A, Rajabi R (2000) Evaluation of drought tolerance of barley genotypes using physiological characterize and drought tolerance indices. Journal of Seed and Seedling Improvement 26:43-60.
2. Bouslama MS, Schapaugh WT (1984) Stress Tolerance in soybeans. I. evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. Crop Science 24: 933.
3. Fischer RA, Maurer R (1978) Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. Australian Journal of Agriculture Research 29: 897-912.
4. Fernandez GC (1992) Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. Proceeding of the International Symposium on Adaptation of Vegetable and other Food Crops to Temperature and Water Stress. Taiwan, 13-18 August. 257-270.
5. Giri CC, Laxmi GV (2000) Production of transgenic rice with ergonomically useful genes: an assessment. Biotechnology Advances 18: 653-683.
6. Gavuzzi P, Rizza F, Palumbo M, Campanile RG, Ricciardi GL, Borghi B (1997) Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. Canadian Journal of Plant Science 77: 523-531.
7. Golabadi M, Arzani A, Maibody SAM (2006) Assessment of drought tolerance in segregating populations in durum wheat. African Journal of Agriculture Research 5: 162-171.
8. Hongbo S, Zongsuo L Mingan S (2005) Changes of anti-oxidative enzymes and MDA content under soil water deficits among 10 wheat *Triticum aestivum* L. genotypes at maturation stage. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. 45(1):7-13.
9. Kocheki E, Soltani A (1997) Principle of Agricultural Practice in Arid Environment. Education of Agriculture Press. 942.
10. Khodabande N (1990) Gramineae. Tehran University Press. 538 pp.
11. Lanceras JC, Pantuwan G, Jongdee B, Toojinda T (2004) Quantitative trait loci associated with drought tolerance at reproductive stage in rice. Plant Physiology 135: 384.
12. Lafitte HR, Yongsheng G, Yan S, Li ZK (2007) Whole plant responses, key processes, and adaptation to drought stress: the case of rice. Journal of Experimental Botany 58: 169-175.
13. Moghaddam A, Hadizade MH (2002) Response of corn (*Zea mays* L.) hybrids and their parental lines to drought using different stress tolerance indices. Plant and Seed Journal 18(3): 255-272
14. Nahvi M, Yazadani MR, Allahgholipour M, Hosseini M (1994) Evaluation of irrigation management on water efficiency and yield in Khazar cultivar. Iranian Journal of Crop Science 6: 35-60.
15. Ndjiondjop MN, Cisse F, Futakuchi K, Lorieux M, Manneh B, Bocco R and Fatondji B (2010) Effect of drought on rice (*Oryza* spp.) genotypes according to their drought tolerance level. Innovation and Partnerships to Realize Africa's Rice Potential, Second Africa Rice Congress, Bamako, Mali, 22-26 March 2010.
16. Nazari L, Pakniat H (2010) Assessment of Drought Tolerance in Barley Genotypes. Journal of Applied Sciences. 10(2):151-156.
17. Rezaei M, Nahvi M (2007) Effect of different irrigation management methods on water use efficiency and rice yield. Agriculture Science 1: 15-25.
18. Rosielle AA, Hambelen J (1981) Theatrical aspect of selection for yield in stress and non-stress environment. Crop Science 21: 943-946.
19. Safaei Chaei Kar S (1997) Drought tolerance in rice genotypes. MSc Thesis. College of agriculture science, Guilan University.
20. Safaei Chaeikar S, Rabiei B, Samizadeh H Esfahani M (2008) Evaluation of tolerance to terminal drought stress in rice (*Oryza sativa* L.) genotypes. Iranian Journal of Crop Sciences 9(4): 315-331.
21. Schnider KA, Rosales-Serna R, Ibarra-Perez F, Cazares-Enriques B, Acosta-Gallegos JA, Ramirez-Allejo P, Wassimi N, Kelly JD (1997) Improving common bean performance under drought stress. Crop Sci. 37: 43-50
22. Singh A (2003) Enhancing Rice Productivity in Water Stressed Environments. IRRI Publications DOI No: 10.1142/9789814280013_0013.
23. Silva MA, Jifon JL, Da Silva JAG, Sharma V (2007) Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. Brazilian Journal of Plant Physiology 19: 193-201.
24. Thiyagaragan K, manomani S, Pushpam, R, Malarvizhi D, Shankar P (2005) Heterotic performance of private and public bred rice hybrids. Madras Agriculture Journal 927(7-9): 532-535.
25. Widawsky DA, O'Toole JC (1990) Prioritizing the Rice Biotechnology Research Agenda for Eastern India. The Rockefeller Foundation, NewYork 86 pp.
26. Yahoueian SH, Ghannadha MR, Babaie HR, Habibi D (2006) Evaluation of soybean genotypes in drought stress conditions. Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding. 2: 57-72.
27. Wennman P (2004) Decomposition and nitrogen transformations in digested sewage sludge applied to mine tailings effects of temperature, soil moisture, pH and plants. Licentiate Thesis. ISBN 91-576-6628-8.

Rice drought-tolerant genotypes recognition using multivariate analysis

Agroecology Journal
Volume 11, Issue 4, pages 13-24
winter, 2015

Reza Karim Koshteh
Master student of Agricultural Biotechnology
Payam Noor university of Karaj
Karaj, Iran
Email ✉: rezakarim597@yahoo.com

Hossein Sabouri*
Associate Professor of Plant Production
College of Agriculture Science and Natural Resources
Gonbad Kavous University
Gonbad Kavous, Iran
Email ✉: hos.sabouri@gmail.com
(Corresponding author)

Received: 29 January 2014 **Accepted:** 03 September 2015

ABSTRACT Breeding rice for drought tolerance requires proper evaluation and analysis of genetic diversity in breeding parameters are related to drought tolerance. To identify tolerant index and sensitive rice genotypes to drought stress, an environment was conducted with 59 genotypes of rice in a complete block design with three replications in two flooding and water stress conditions in 2013 growing season in Aliadad Research Farm in Gonbad Kavous, Iran. Data variance analysis showed highly significant differences among genotypes for all studied traits. Significant genetic variation detected between genotypes and the traits evaluated. Analysis of correlation among the performance in terms of flooding and drought and stress tolerance indices showed that the SSI, STI, MP, GMP, HM and YI indices as the best indicators in both flooding and drought stress conditions which could be detect the genotypes by demonstrate robust, high-performance. Cluster analysis was performed using drought tolerance indices, genotypes were divided into three groups. Genotypes with drought tolerance indices were used and they were divided into three groups. Genotype-by IRAT177, IR62761-20, IR60080-42, B6144F-MR-6-0-0, CT13382-8-3-M, UPLRi-7, and IRAT212 were placed in third group and considered as the most drought-sensitive genotypes. According to the indicators of drought tolerance genotypes Caiapo, IR68702-072-1- 4-B and Pegaso considered to have the highest yield in both environmental conditions and a high STI as suggested tolerant genotypes.

Keywords:
- biplot analysis
- water stress
- drought tolerance
- tolerance indices