نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی
سال هفتم / شماره چهارم / زمستان ۱۳۹۶

مطالعه پاسخ به تنش خشکی ژنوتیپ‌های برنج در ابتدای مرحله زایشی با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش

نرجس طبخ‌کار[۱]، بابک ربیعی[۲*]، حبیب‌الله سمیع‌زاده لاهیجی[۳] و مریم حسینی چالشتری[۴]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۲/۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۵/۲۳)

چکیده

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیر زنده‌ای است که تولید جهانی برنج را محدود می‌کند. در این مطالعه ۸۳ ژنوتیپ برنج تحت شرایط تنش خشکی در مرحله زایشی و بدون تنش در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفتند. یازده شاخص شناخته‌شده تحمل و حساسیت به تنش براساس مقادیر عملکرد تحت شرایط تنش خشکی و بدون تنش محاسبه شدند. همچنین با استفاده از رتبه هریک از ژنوتیپ‌ها برای شاخص‌های محاسبه شده قبلی، شاخص میانگین رتبه محاسبه شد. بیشترین مقدار عملکرد در شرایط بدون تنش خشکی به‌ترتیب متعلق به ژنوتیپ‌های سنگ‌جو، Zenith، IR70445-146-3-3، Norin 22 و قصرالدشتی بود. در شرایط تنش خشکی ارقام IR83750-131-1، IR74718-24-2-3، سپیدرود، TETEP و IR71739-24-3-5 به‌ترتیب بیشترین عملکرد را داشتند. بررسی شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش نشان داد که شاخص‌های تحمل به تنش، میانگین هندسی بهره‌وری، شاخص میانگین عملکرد نسبی و کارایی نسبی با داشتن همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد دانه تحت هر دو شرایط تنش خشکی و بدون تنش، مناسب‌ترین شاخص‌ها برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی هستند. براساس این شاخص‌ها، ژنوتیپ‌های IR83750-131-1، سنگ جو، سپیدرود، Zenith و IR58 بالاترین رتبه‌ها را کسب کردند و دارای تحمل بیشتری به تنش خشکی بودند. برمبنای شاخص میانگین رتبه، ژنوتیپ‌های IR83750-131-1، IR74718-24-2-3، سپیدرود، TETEP و IR74720-13-1-2 به‌ترتیب بهترین رتبه را کسب کردند. تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های با بالاترین تحمل به تنش خشکی را در گروه دوم دسته‌بندی کرد.

واژه‌های کلیدی: برنج، تنش غیر زنده، شاخص تنش، عملکرد دانه

۱ ، ۲ و ۳. به‌ترتیب دانشجوی دکتری و استادان گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه گیلان، گیلان
۴. استادیار بخش اصلاح بذر، مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران
*. مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: rabiei@guilan.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

برنج نیمی از کالری مصرفی کشورهای آسیایی را تأمین می‌کند و تنش خشکی در مرحله زایشی بیشترین خسارت را به این گیاه وارد می‌کند (۳۷). در آینده به‌دلیل تغییرات آب‌وهوایی و پیامدهای آن، الگوی بارش در فصول کشت نامنظم‌تر خواهد شد و در نتیجه آن ایجاد تنش خشکی در نواحی زیر کشت برنج باعث کاهش قابل توجه عملکرد می‌شود (۳۹).

اولین نشانه برای ورود برنج به مرحله زایشی متورم شدن ساقه برگ به‌دلیل وجود خوشه در حال رشد می‌باشد که این مرحله را به اصطلاح مرحله آبستنی (Booting stage) می‌نامند (www.knowledgebank.irri.org). مرحله آبستنی در برنج با برآمدگی در غلاف برگ پرچم اغلب در ساقه اصلی، پیر و خشک شدن برگ‌ها و پنجه‌های غیر بارور در پایه گیاه، رشد سریع وافزایش طول میان‌گره‌ها قابل تشخیص است (۲۱). این مرحله در ارقام مختلف ۲۰ – ۱۵ روز طول می‌کشد. شروع گل‌دهی با ظهور خوشه اولیه در بالای جوانه در حال رشد مشخص می‌شود. تنش خشکی در طی دوره رشد برنج مخصوصاً در مراحل آبستنی، گل‌دهی و دوره انتهایی رشد می‌تواند منجر به اختلال در آغاز گل‌دهی، عقیمی دانه، کند شدن سرعت پرشدن دانه، کاهش وزن دانه و در نهایت کاهش عملکرد شود (۲۳، ۳۱ و ۴۱). این کاهش عملکرد می‌تواند به‌دلیل کاهش در مقدار فتوسنتز، تعرق، هدایت روزنه‌ای، راندمان مصرف آب، نرخ جذب CO_2، فعالیت آنزیم‌های تولید کننده ساکاروز و نشاسته و مختل کردن نسبت‌های آبی و شاخص پایداری غشاء باشد (۲۳).

یکی از مهم‌ترین روش‌ها جهت بررسی واکنش ارقام به تنش‌های غیر زیستی مانند خشکی، ارزیابی عملکرد ارقام در هر دو شرایط نرمال و تنش و سپس مقایسه عملکرد ارقام در این دو شرایط از طریق محاسبه شاخص‌های تحمل و حساسیت است. غربال جمعیت‌های بزرگ اصلاحی در محدوده وسیعی از محیط‌های هدف تحت شرایط تنش خشکی طبیعی‌کاری مشکل، پرهزینه و غیرمطمئن است و این به‌دلیل ماهیت غیر قابل پیش‌بینی ریزش باران در فصول مختلف می‌باشد. اما اثبات شده که غربال این جمعیت‌ها تحت شرایط تنش خشکی مرحله زایشی در فصل خشک در آزمایشات تکراردار تحت شرایط تنش آبی مدیریت شده مفید خواهد بود (۶).

موفقیت در اصلاح گیاهان متحمل به تنش خشکی نیازمند دسترسی به منابع ژنتیکی متحمل، تکنیک‌های غربال‌گری قابل اعتماد، تعیین اجزای ژنتیکی متحمل، دست‌کاری ژنتیکی موفق زمینه‌های ژنتیکی مورد نظر و در نهایت ایجاد ارقام متحمل به تنش خشکی با صفات زراعی و کیفی مطلوب است (۴). روش‌های اولیه برای افزایش عملکرد دانه تحت تنش خشکی از طریق انتخاب بر روی صفات ثانویه‌ای مثل ساختار ریشه، پتانسیل آب برگ، پتانسیل آب خوشه، تنظیم اسمزی و محتوی آب نسبی نتایج مورد انتظار برای افزایش عملکرد تحت تنش خشکی را نداشته است (۲۴). برای مدت زمان طولانی تصور می‌شد که عملکرد دانه تحت شرایط تنش خشکی وراثت‌پذیری پایینی دارد و این امر را به‌دلیل کنترل ژنتیکی پیچیده این صفت و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بالا با این صفت می‌دانستند (۶). نتایج تحقیقات اخیر در ایری (International Rice Research Institute, IRRI) وراثت‌پذیری متوسط تا زیاد را برای صفت عملکرد دانه تحت تنش خشکی نشان داده است، بنابراین انتخاب مستقیم براساس صفت عملکرد دانه را به‌جای صفات ثانویه پیشنهاد کرده‌اند، علاوه بر اینکه انتخاب مستقیم برای عملکرد دانه تحت شرایط تنش خشکی را مؤثرتر دانسته‌اند (۲۰). وراثت‌پذیری متوسط تا زیاد عملکرد تحت شرایط تنش خشکی در مرحله زایشی با دستورالعمل‌های غربال‌گری دقیق و استفاده از جمعیت‌های اصلاحی بزرگ در تحقیقات دیگری نیز در ایری گزارش شده است (۶). مطالعات نشان داده است که انتخاب مستقیم برای عملکرد تحت شرایط تنش شدید نسبت به انتخاب در شرایط بدون تنش افزایش عملکرد بالاتری را در پی داشته است (۳۶). فرناندز (۱۰) ژنوتیپ‌ها را براساس واکنش آنها به شرایط محیطی تنش و بدون تنش به چهار گروه تقسیم کرد. ژنوتیپ‌هایی که

Archive of SID

www.SID.ir

عملکرد خوبی در هر دو شرایط بدون تنش و تنش دارند (گروه A)، ژنوتیپ‌هایی که فقط عملکرد خوبی در محیط بدون تنش دارند (گروه B)، ژنوتیپ‌هایی که فقط عملکرد خوبی در محیط تنش دارند (گروه C) و ژنوتیپ‌هایی که عملکرد پایینی در هر دو محیط دارند (گروه D).

کارایی عملکرد نسبی ژنوتیپ‌ها در محیط‌های تنش و بدون تنش می‌تواند شاخصی برای تعیین واریته‌های متحمل به خشکی در اصلاح برای محیط‌های در معرض خشکسالی باشد (۲۷). شاخص‌های خشکی زیادی براساس یک رابطه ریاضی بین عملکرد در شرایط خشکسالی و شرایط بدون تنش پیشنهاد شده است. این شاخص‌ها براساس تحمل به خشکی و یا حساسیت به خشکی ژنوتیپ‌ها هستند (۲۷). بهترین معیار برای انتخاب باید ژنوتیپ‌هایی که بیان برتری یکنواختی در هر دو محیط تنش و بدون تنش دارند را از ژنوتیپ‌هایی که تنها در یک محیط مطلوب هستند، متمایز کند (۸).

صفائی چائی‌کار و همکاران (۳۱) با بررسی ۴۹ ژنوتیپ ایرانی و خارجی برنج در دو محیط تحت تنش خشکی و آبیاری، همبستگی مثبت و معنی‌داری را بین شاخص‌های MP (Mean productivity)، GMP (Geometric mean productivity)، HM (Harmonic mean) و STI (Stress tolerance index) با عملکرد در هر دو شرایط گزارش کردند و این شاخص‌ها را کاراتر و مفیدتر از سایر شاخص‌ها جهت گزینش ارقام پرمحصول در هر دو محیط تنش و بدون تنش دانستند. رحیمی و همکاران (۲۶) ۱۵۰ لاین F_5 برنج حاصل از تلاقی دو رقم سپیدرود و غریب را با مکان‌یابی چند صفتی نواحی ژنومی کنترل‌کننده شاخص‌های تحمل به خشکی در دو شرایط نرمال و تنش بررسی و براساس نتایج حاصل از تجزیه بای‌پلات، شاخص‌های STI، MP، GMP و HM را شاخص‌های مناسب برای انتخاب ژنوتیپ‌های پرمحصول در برنامه‌های کاربردی اصلاح برنج معرفی کردند. نتایج تحقیقات گل‌آبادی و همکاران (۱۳) نیز در بررسی ۱۵۱ لاین گندم تحت شرایط تنش خشکی و بدون تنش نشان داد که تحت هر دو شرایط محیطی، انتخاب می‌تواند براساس مقادیر بالا برای شاخص‌های MP، GMP و STI و مقادیر پایین برای SSI (Stress susceptibility index) و TOL (Tolerance index) انجام شود.

تحقیق حاضر به‌منظور بررسی واکنش ۸۳ ژنوتیپ برنج به تنش خشکی در ابتدای مرحله زایشی، شناسایی ارقام متحمل و حساس و بررسی شاخص‌های مهم حساسیت و تحمل به تنش و روابط بین آنها انجام شده است.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی این تحقیق شامل ۸۳ لاین مادری برنج بود که بذرهای آنها در سال ۱۳۹۳ از مؤسسه تحقیقات برنج کشور دریافت شدند. کلیه ارقام انتخابی خالص بودند و به‌عنوان لاین‌های مادری در برنامه‌های اصلاحی مورد استفاده قرار می‌گیرند (جدول ۱). ارزیابی زراعی ارقام مورد مطالعه از اوایل خرداد تا اوایل آبان ماه سال ۱۳۹۳ انجام شد. جدول ۲ مشخصات مکانی و شرایط جوی دوره انجام آزمایش را نشان می‌دهد. آزمایش در دو مجموعه جداگانه هر کدام در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. به‌طورکلی ۴۹۸ گلدان مورد استفاده قرار گرفت. گلدان‌ها از جنس پلاستیک با قطر ۴۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر بودند که با خاک مزرعه پر شدند. از هر رقم حدود ۳۰ بذر انتخاب و با وایتکس تجاری ۱۰ درصد ضدعفونی و جهت جوانه‌زنی در ظروف جداگانه‌ای کشت شدند. بسته به رشد ارقام مورد مطالعه ۲۰ الی ۳۰ روز پس از کاشت، نشاءها به محل کشت اصلی در گلدان‌ها منتقل و در فضای آزاد در مزرعه قرار گرفتند. حدود پنج نشاء در هر گلدان در عمق دو تا سه سانتی‌متری کاشته شد. دو هفته بعد از انتقال نشاءها، تنک کردن نشاءهای اضافی انجام و در نهایت تنها دو گیاه سالم در هر گلدان نگه‌داری شدند. پس از تنظیم دمای آب آبیاری (حدود ۲۵ تا ۳۰ درجه سلسیوس)، آبیاری نشاءها به‌طور یکسان و روزانه انجام شد، به‌نحوی‌که ارتفاع آب روی خاک همواره در حدود ۴ سانتی‌متر حفظ شد.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱. نام و مشخصات ژنوتیپ‌های برنج مورد مطالعه در این تحقیق

شماره ژنوتیپ	نام ژنوتیپ	شجره	منشأ	شماره ژنوتیپ	نام ژنوتیپ	منشأ	شجره
۱	قصر الدشتی	Landrace	ایران	۴۲	Argentina 1	آرژانتین	-
۲	آبجی‌بوجی	Landrace	ایران	۴۳	CY-Egypt	مصر	-
۳	دیلمانی	Landrace	ایران	۴۴	IR25571-Egypt	مصر	IR9129-209-2-2/IR2307-247-2-2-3
۴	گرده	Landrace	ایران	۴۵	Norin-22	ژاپن	KINKI15/NORIN6
۵	دم سفید	Landrace	ایران	۴۶	Giza-181	مصر	IR 24 /IR 22
۶	دم سرخ	Landrace	ایران	۴۷	Fujiminori	ژاپن	TOHOKU 25/FUJISAKA 5
۷	دم سیاه	Landrace	ایران	۴۸	NP-125	هند	-
۸	بینام	Landrace	ایران	۴۹	Zenith	آمریکا	-
۹	هاشمی	Landrace	ایران	۵۰	Dular	هند	Landrace
۱۰	غریب	Landrace	ایران	۵۱	TETEP	ویتنام	-
۱۱	عنبربو	Landrace	ایران	۵۲	DCL	مصر	-
۱۲	عنبربو ایلام	Landrace	ایران	۵۳	IR28	فیلیپین	IR833-6-1-1-1/IR1561-149-1//IR1737
۱۳	بجار	Domsiah/IR8/IR28	ایران	۵۴	IR30	فیلیپین	IR1541-102-6-3//IR20*4/*O.nivara*
۱۴	علی کاظمی	Landrace	ایران	۵۵	IR36	فیلیپین	IR1561-228-1-2/IR1737// /CR94-13
۱۵	سنگ‌جو	Landrace	ایران	۵۶	IR50	فیلیپین	IR-2153-14-1-6-2/IR-28/IR-36
۱۶	دشتی	Amol 1/IR 28	ایران	۵۷	IR58	فیلیپین	IR28/Kwang-Chang-Ai//IR36
۱۷	اهلمی طارم	Landrace	ایران	۵۸	IR60	فیلیپین	IR4432-53-3-3/. Ptb 33/IR36
۱۸	طارم پاکوتاه	Landrace	ایران	۵۹	IR70445-146-3-3	فیلیپین	IR66295-71-2/IR67015-1-4
۱۹	سنگ طارم	Landrace	ایران	۶۰	IR67418-110-3-2-2-2	فیلیپین	IR59645-146-2-6-2/IR62873-278-4-3
۲۰	طارم منطقه	Landrace	ایران	۶۱	IR71739-24-3-5	فیلیپین	IR67417-174-6-2/BASMATI 385
۲۱	درفک	Salari/Sepidrood	ایران	۶۲	IR75489-15-2-1	فیلیپین	IR70423-170-2-3/IR74728
۲۲	صدری	Landrace	ایران	۶۳	IR66233-169-3-3	فیلیپین	PUSA615-140-10-1/IR59648-218-1-2-1
۲۳	سالاری	Landrace	ایران	۶۴	IR74718-24-2-3	فیلیپین	IR70423-170-2-3/IR66233-234-2-1-2

Archive of SID

www.SID.ir

ادامه جدول ۱. نام و مشخصات ژنوتیپ‌های برنج مورد مطالعه در این تحقیق

۲۴	شاه پسند	Landrace	ایران	۶۵	IR74721-199-1-3	فیلیپین	IR70423-170-2-3/IR70434-18-1-1
۲۵	نعمت	Sangtarom/Amol 3	ایران	۶۶	IR70445-86-21	فیلیپین	-
۲۶	محمدی چپر سر	Landrace	ایران	۶۷	IR74719-68-2-3	فیلیپین	IR70423-170-2-3/IR67415-11-3-2
۲۷	زیره	Landrace	ایران	۶۸	IR75481-108-3	فیلیپین	IR70423-170-2-3/IR74720
۲۸	ندا	Sangtarom/Amol 3//Hassansaraee	ایران	۶۹	IR74720-13-1-2	فیلیپین	IR70423-170-2-3/IR70416-15-2-2
۲۹	موسی طارم	Landrace	ایران	۷۰	IR75481-123-3	فیلیپین	IR70423-170-2-3/IR74720
۳۰	رشتی سرد	Landrace	ایران	۷۱	IR74719-145-2-3	فیلیپین	IR70423-170-2-3/IR67415-11-3-2
۳۱	غریب سیاه ریحانی	Landrace	ایران	۷۲	IR74720-85-1-2	فیلیپین	IR70423-170-2-3/IR70416-15-2-2
۳۲	چمپاپو دار	Landrace	ایران	۷۳	IR75481-146-3	فیلیپین	IR70423-170-2-3/IR74720
۳۳	خزر	Tanu7456/IR 2071-625-252	ایران	۷۴	IR71735-6-3-3	فیلیپین	IR7417-153-1-5/BASMATI385
۳۴	حسن سرایی	Landrace	ایران	۷۵	IR70422-95-1-1	فیلیپین	IR66295-71-2/IR66233-137-2-3-3
۳۵	سپیدرود	Garmsadri/IR 8//IR 28	ایران	۷۶	IR70416-53-2-2	فیلیپین	IR66295-71-2/IR66696-97-4-3-1
۳۶	گیل ۳	IR498/Salari	ایران	۷۷	IR60232-1-3-2	فیلیپین	-
۳۷	Kanto 51	GIN BOZU/TO TO	ژاپن	۷۸	IRON-70-7053-7	فیلیپین	-
۳۸	CH-21	-	-	۷۹	IR4491-89-1	فیلیپین	-
۳۹	DC-Egypt	-	مصر	۸۰	IR66232-88-2-2-1	فیلیپین	PUSA615-140-10-1/IR59645-146-2-6-2
۴۰	USEN	-	مصر	۸۱	IR67017-71-3-2	فیلیپین	-
۴۱	Canturypatna	-	-	۸۲	IR67015-49-2-6	فیلیپین	PUSA615-140-10-1/IR59645-146-2-6-2
				۸۳	IR83750-131-1	فیلیپین	-

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲. مشخصات خاک و محیط انجام آزمایش

محل اجرای آزمایش	کیاشهر، ایران	درجه حرارت در طی دوره رشد (°C) (حداقل – حداکثر)	۱۲/۲–۲۹/۳
ارتفاع از سطح دریا (متر)	۲۱–	میانگین درجه حرارت در طی دوره رشد (°C)	۲۴/۸
طول و عرض جغرافیایی	E 49°57 ´ 12˝, N 37°25 ´ 4˝	رطوبت در طی دوره رشد (٪) (حداقل – حداکثر)	۵۴–۹۵
بافت خاک	لوم‌رسی	میانگین رطوبت در طی دوره رشد (٪)	۷۵
درصد ازت کل خاک (%)	۰/۱۵	* بارندگی در طی دوره رشد (mm) (حداقل – حداکثر)	۰–۵۵/۶
پتاسیم قابل جذب خاک (ppm)	۲۰۰	*میانگین بارندگی در طی دوره رشد (mm)	۲/۶
فسفر قابل جذب خاک (ppm)	۷/۲	دوره تنش (روز)	۴۵
هدایت الکتریکی خاک (dS/m)	۰/۹	* بارندگی در طی دوره تنش (mm) (حداقل – حداکثر)	۰–۳
pH خاک	۷/۴۴	*میانگین بارندگی در طی دوره تنش (mm)	۰/۱
دوره رشد (روز)	۱۵۷	* تعداد روزهای بارانی در طی دوره تنش	۳

* در زمان بارندگی در دوران تنش، گلدان‌ها در زیر پوشش پلاستیکی قرار داده شدند و از رسیدن آب باران به آنها جلوگیری شد.

در شرایط بدون تنش، آبیاری به‌طور کامل تا زمان رسیدگی انجام شد. جهت تغذیه کافی گیاهان ۱۶۰ گرم از کود تجاری (۲۰ درصد نیتروژن، ۲۰ درصد فسفر، ۲۰ درصد پتاسیم) به‌میزان دو در هزار در دو مرحله استفاده شد. از دیازینون مایع ۶۰ درصد به‌میزان دو در هزار جهت کنترل آفات کرم ساقه‌خوار و کرم سبز برگ‌خوار استفاده شد. کنترل علف‌های هرز به‌طور مرتب و به شکل دستی برای هریک از گلدان‌ها انجام شد. روش اعمال تنش خشکی به روش یو و همکاران (۴۱) بود، به این ترتیب که در آزمایش تنش خشکی، گیاهان به‌طور کامل هر روز تا رسیدن به مرحله آبستنی آبیاری شدند. سپس تنش خشکی به‌طور جداگانه برای هر گلدان با توجه به زمان رسیدگی هر گیاه به مرحله آبستنی اعمال شد. در مرحله آبستنی آبیاری به‌طور کامل انجام شد سپس آب از سوراخ‌های کوچک ایجاد شده در طرفین گلدان به آرامی خارج شد. در طول مدت اعمال تنش خشکی گیاهان با استفاده از پوشش پلاستیکی از باران محافظت شدند. تنش تا زمانی اعمال شد که برگ گیاه در هنگام ظهر کاملاً پیچیده شود. پس از آن یک مرحله آبیاری به‌طور کامل تا حد ظرفیت کامل گلدان انجام شد و ۲۴ ساعت پس از این آبیاری، دور دوم تنش خشکی اعمال شد تا زمانی‌که همه برگ‌های گیاه مجدداً در هنگام ظهر کاملاً پیچیده شوند. پس از دور دوم تنش، آبیاری تا انتهای زمان رسیدگی به‌طور معمول انجام شد. با استفاده از منحنی رطوبتی خاک، پتانسیل آب در خاک ارزیابی شد. صفت عملکرد دانه براساس میانگین وزن دانه‌های گیاهان هر گلدان و برحسب واحد گرم در بوته اندازه‌گیری شد.

شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش خشکی براساس روابط ارائه شده در جدول ۳ محاسبه شدند. رابطه بین این شاخص‌ها با استفاده از ضریب همبستگی اسپیرمن و پس از رتبه‌دهی هر ژنوتیپ بر مبنای شاخص‌ها مشخص شد. برای رتبه‌دهی، ژنوتیپ‌های با بیشترین مقدار برای شاخص‌های YP (Potential of yield)، YS (Yield under stress)، HM، MP (Yield stability index)، YSI، STI، GMP، YI (Yield index)، DI (Drought resistance index)، MRP (Mean relative performance)، REI (Relative efficiency index) و ژنوتیپ‌های با کمترین مقدار برای شاخص‌های SSI و TOL رتبه یک دریافت کردند. تجزیه واریانس ساده و مرکب و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۲ (۳۳) انجام شد. برای رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها و محاسبه شاخص‌ها از

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۳. نام و مشخصات شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش به‌کار رفته در این تحقیق

شاخص	نام اختصاری	رابطه*	شماره منبع
شاخص حساسیت به تنش	SSI	$\frac{1-\left(\frac{Y_S}{Y_P}\right)}{SI}$	۱۱
شدت تنش	SI	$1-\frac{\overline{Y_S}}{\overline{Y_P}}$	۱۱
شاخص میانگین هارمونیک	HM	$\frac{2(Y_s \times Y_P)}{(Y_s + Y_P)}$	۳۰
شاخص تحمل	TOL	$Y_P - Y_S$	۳۰
شاخص میانگین بهره‌وری	MP	$\frac{Y_P + Y_S}{2}$	۳۰
شاخص پایداری عملکرد	YSI	$\frac{Y_S}{Y_P}$	۵
شاخص تحمل تنش	STI	$\frac{Y_P \times Y_S}{\overline{Y_P}^2}$	۱۰
شاخص میانگین هندسی بهره‌وری	GMP	$\sqrt{Y_P \times Y_S}$	۱۰
شاخص عملکرد	YI	$\frac{Y_S}{\overline{Y_S}}$	۱۲
شاخص مقاومت به خشکی	DI	$\frac{Y_S \times \left(\frac{Y_S}{Y_P}\right)}{\overline{Y_S}}$	۲۲
شاخص میانگین عملکرد نسبی	MRP	$\frac{Y_S}{\overline{Y_S}} + \frac{Y_P}{\overline{Y_P}}$	۱۵
شاخص کارایی نسبی	REI	$\frac{Y_S}{\overline{Y_S}} \times \frac{Y_P}{\overline{Y_P}}$	۱۵

* در این روابط Y_S و Y_P به‌ترتیب عملکرد دانهٔ هر رقم تحت شرایط تنش خشکی و بدون تنش و $\overline{Y_S}$ و $\overline{Y_P}$ به‌ترتیب میانگین حسابی عملکرد دانهٔ تمامی ارقام تحت شرایط تنش خشکی و بدون تنش می‌باشند.

Archive of SID

www.SID.ir

نرم‌افزار CropStat نسخه ۷/۲ (۱۷) استفاده شد. تجزیه خوشه‌ای و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی با استفاده از نرم‌افزار PAST نسخه ۲/۱۷ (۱۴) انجام شد.

نتایج و بحث

نتیجه تجزیه واریانس تحت شرایط تنش خشکی و بدون تنش نشان داد که اثر ژنوتیپ برای صفت عملکرد گیاه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. نتایج حاصل از تجزیه مرکب (جدول ۴) نیز اثر معنی‌دار محیط برای صفت عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد را نشان داد که نشان‌دهنده تأثیر قابل ملاحظه تنش آبی اعمال شده بر روی این صفت می‌باشد. اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و اثر ژنوتیپ نیز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و به این ترتیب ژنوتیپ‌های مختلف در شرایط محیطی تنش و بدون تنش عکس‌العمل متفاوتی برای عملکرد دانه هر گیاه نشان داده‌اند. معنی‌داری اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و عکس‌العمل متفاوت ژنوتیپ‌های برنج در شرایط تنش خشکی آخر فصل در تحقیقات دیگری نیز گزارش شده است (۲۶، ۲۷ و ۳۱). در این مطالعه تنش خشکی باعث کاهش عملکرد ۳۷/۲۲ درصدی شد. ژنوتیپ‌های IR70445-146-3-3 (۸۲/۲۴ درصد) و قصرالدشتی (۷۸/۴۲ درصد) به‌ترتیب بیشترین کاهش عملکرد و ژنوتیپ‌های چمپابودار (۰/۴۹ درصد)،IR30 (۱/۶۹ درصد) و دیلمانی (۲/۴۰ درصد) به‌ترتیب کمترین کاهش عملکرد را نشان دادند. در تحقیقی بر روی اثر تنش خشکی بر مراحل رشدی برنج کاهش عملکرد در ۱۵ روز اول ظهور خوشه، مرحله گل‌دهی و مرحله پر شدن دانه به‌ترتیب ۷۰، ۸۸ و ۵۲ درصد گزارش شده است (۴۰). صفائی چائی‌کار و همکاران (۳۱) مقدار کاهش صفات عملکرد شلتوک و تعداد دانه پر در خوشه را در شرایط تنش خشکی به‌ترتیب ۴۰/۰۴ و ۱۴/۱۹ درصد گزارش کردند. بیشترین مقدار عملکرد در شرایط بدون تنش خشکی متعلق به رقم محلی سنگ‌جو بود و پس از آن ارقام Zenith، IR70445-146-3-3، Norin 22 و قصرالدشتی بیشترین عملکرد دانه را در

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس مرکب ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در دو محیط بدون تنش و تحت تنش خشکی

منابع تغییرات	df	عملکرد دانه هر گیاه	F	P
محیط	۱	۸۶۰/۲۸	۱۸۲/۰۹	<۰/۰۰۰۱
ژنوتیپ	۸۲	۱۸/۹۹	۴/۰۲	<۰/۰۰۰۱
ژنوتیپ × محیط	۸۲	۹/۰۴	۱/۹۱	<۰/۰۰۰۱
اشتباه	۳۳۲	۴/۷۲		

شرایط بدون تنش داشتند. این در حالی است که در شرایط تنش خشکی رقم IR83750-131-1 بالاترین مقدار عملکرد را نشان داد. این رقم در شرایط بدون تنش نیز رتبه ۱۰ را در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه کسب کرد. ژنوتیپ‌های IR74718-24-2-3، سپیدرود، TETEP و IR71739-24-3-5 به‌ترتیب رتبه‌های بعدی را از نظر مقدار عملکرد در شرایط تنش خشکی داشتند. دو ژنوتیپ IR70445-146-3-3 و قصرالدشتی که بیشترین کاهش عملکرد را داشتند از نظر پتانسیل عملکرد به‌ترتیب رتبه‌های سه و پنج را نشان دادند.

با توجه به شاخص‌های مورد بررسی در این مطالعه، ارقامی که بیشترین مقدار را برای شاخص‌های HM، MP، YSI، STI، GMP، YI، DI، MRP و REI و کمترین مقدار را برای شاخص‌های SSI و TOL نشان دهند و در عین حال عملکرد بالایی نیز داشته باشند، تحمل بالاتری نسبت به شرایط تنش خشکی نشان خواهند داد (۳، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۵، ۲۲ و ۳۰). بر این اساس کلیه شاخص‌ها رتبه‌بندی شدند و در نهایت میانگین رتبه آنها برای کلیه شاخص‌ها و عملکردها تحت شرایط تنش و بدون تنش محاسبه و تحت عنوان شاخص میانگین رتبه (Rank mean) ارائه شد (جدول ۵). براساس رتبه‌بندی انجام شده برای هر شاخص در کل ۱۷ ژنوتیپ، رتبه‌های ۱ تا ۵ را برای ۱۴ شاخص مورد بررسی به‌دست آوردند (جدول ۶) که شامل پنج ژنوتیپ ایرانی، چهار ژنوتیپ خارجی و هشت ژنوتیپ ایری بودند. شدت تنش (SI) براساس رابطه ارائه شده در جدول ۳، به‌میزان ۰/۳۷ برآورد شد. در برنج کاهش عملکرد

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۵. میانگین شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش به‌همراه عملکرد ارقام برنج تحت شرایط تنش خشکی و بدون تنش

شماره ژنوتیپ	YP	YS	SSI	HM	TOL	MP	YSI	STI	GMP	YI	DI	MRP	REI	RM
۱	۱۲/۱۰	۲/۶۰	۲/۰۶	۴/۲۸	۹/۴۶	۷/۳۳	۰/۲۱	۰/۶۲	۵/۶	۰/۵۹	۰/۱۲	۲/۲۹	۱	۵۲/۹۲
۲	۷/۴۰	۴/۳۳	۱/۰۹	۵/۴۶	۳/۰۷	۵/۸۶	۰/۵۸	۰/۶۳	۵/۶۶	۰/۹۸	۰/۵۷	۲/۰۲	۱/۰۲	۴۱/۷۷
۳	۶/۱۱	۵/۹۶	۰/۰۶	۶/۰۳	۰/۱۴	۶/۰۳	۰/۹۷	۰/۷۲	۶/۰۳	۱/۳۵	۱/۳۲	۲/۲۱	۱/۱۶	۲۲/۵۴
۴	۷/۲۶	۴/۵۷	۰/۹۷	۵/۶۱	۲/۶۹	۵/۹۱	۰/۶۲	۰/۶۵	۵/۷۶	۱/۰۳	۰/۶۵	۲/۰۶	۱/۰۶	۳۸/۴۶
۵	۷/۶۵	۲/۸۳	۱/۶۵	۴/۱۲	۴/۸۲	۵/۲۴	۰/۳۶	۰/۴۲	۴/۶۵	۰/۶۴	۰/۲۳	۱/۷۲	۰/۶۹	۵۹/۰۸
۶	۷/۸۰	۶/۵۳	۰/۴۳	۷/۱۰	۱/۲۷	۷/۱۶	۰/۸۳	۱/۰۱	۷/۱۳	۱/۴۸	۱/۲۴	۲/۵۸	۱/۶۳	۱۶/۱۵
۷	۱۰/۸۱	۴/۹۷	۱/۴۲	۶/۸۱	۵/۸۴	۷/۸۹	۰/۴۵	۱/۰۶	۷/۳۳	۱/۱۲	۰/۵۱	۲/۶۵	۱/۷۲	۳۰/۶۲
۸	۱۰/۱۸	۴/۵۶	۱/۴۵	۶/۲۹	۵/۶۳	۷/۳۷	۰/۴۴	۰/۹۲	۶/۸۱	۱/۰۳	۰/۴۶	۲/۴۷	۱/۴۸	۳۶/۳۱
۹	۷/۴۲	۵/۶۴	۰/۶۳	۶/۴۰	۱/۷۸	۶/۵۳	۰/۷۶	۰/۸۳	۶/۴۶	۱/۲۸	۰/۵۷	۲/۳۲	۱/۳۳	۲۴/۶۲
۱۰	۷/۰۷۳	۶/۱۰	۰/۳۶	۶/۵۵	۰/۹۶	۶/۵۸	۰/۸۶	۰/۸۵	۶/۵۷	۱/۳۸	۱/۱۹	۲/۳۸	۱/۳۸	۲۰/۵۴
۱۱	۱۰/۶۶	۴/۹۳	۱/۴۱	۶/۷۴	۵/۷۲	۷/۷۹	۰/۴۶	۱/۰۴	۷/۲۴	۱/۱۲	۰/۵۱	۲/۶۲	۱/۶۸	۳۱/۶۹
۱۲	۹/۴۳	۵/۱۵	۱/۱۹	۶/۶۵	۴/۲۸	۷/۲۹	۰/۵۴	۰/۹۶	۶/۹۶	۱/۱۶	۰/۶۳	۲/۴۹	۱/۵۵	۲۸/۵۴
۱۳	۶/۰۵	۲/۶۳	۱/۴۸	۳/۶۶	۳/۴۲	۴/۳۴	۰/۴۳	۰/۳۱	۳/۹۸	۰/۵۹	۰/۲۵	۱/۴۴	۰/۵	۶۵/۲۳
۱۴	۹/۱۱	۲/۶۱	۱/۸۷	۴/۰۶	۶/۴۹	۵/۸۶	۰/۲۸	۰/۴۷	۴/۸۷	۰/۵۹	۰/۱۷	۱/۸۷	۰/۷۶	۵۹
۱۵	۱۴/۷۷	۶/۳۲	۱/۵	۸/۸۵	۸/۴۵	۱۰/۵۴	۰/۴۲	۱/۸۵	۹/۶۶	۱/۴۳	۰/۶۱	۳/۵۱	۲/۹۸	۲۳
۱۶	۳/۳۹	۲/۳۱	۰/۸۴	۲/۷۴	۱/۰۸	۲/۸۵	۰/۶۸	۰/۱۵	۲/۷۹	۰/۵۲	۰/۳۵	۱	۰/۲۵	۶۸/۶۹
۱۷	۸/۶۶	۴/۶۳	۱/۲۲	۶/۰۳	۴/۰۳	۶/۶۲	۰/۵۳	۰/۷۹	۶/۳۳	۱/۰۵	۰/۵۶	۲/۲۷	۱/۲۸	۳۷/۳۱
۱۸	۴/۹۳	۳/۷۷	۰/۶۱	۴/۲۷	۱/۱۵	۴/۳۵	۰/۷۶	۰/۳۶	۴/۳۱	۰/۸۵	۰/۴۴	۱/۵۵	۰/۵۹	۴۷/۸۵
۱۹	۵/۳۰	۳/۲۲	۱/۰۳	۴	۲/۰۷	۴/۲۵	۰/۶۰	۰/۳۳	۴/۱۲	۰/۷۲	۰/۸۹	۱/۴۷	۰/۵۴	۵۵/۸۱
۲۰	۷/۲۱	۵/۳۱	۰/۶۹	۶/۱۱	۱/۸۹	۶/۲۶	۰/۷۳	۰/۷۵	۶/۱۸	۱/۲	۰/۳۵	۲/۲۲	۱/۲۲	۳۰
۲۱	۵/۶۲	۲/۹۷	۱/۲۴	۳/۸۸	۲/۶۵	۴/۲۹	۰/۵۲	۰/۳۳	۴/۰۸	۰/۶۷	۰/۵۹	۱/۴۶	۰/۵۳	۶۰/۷۷
۲۲	۸/۵۹	۴/۷۳	۱/۱۸	۶/۰۹	۳/۸۷	۶/۶۶	۰/۵۴	۰/۸۰	۶/۳۷	۱/۰۷	۰/۵۹	۲/۲۸	۱/۳	۳۵/۱۵
۲۳	۷/۲۷	۶/۶۲	۰/۲۳	۶/۹۳	۰/۶۵	۶/۹۴	۰/۹۱	۰/۹۵	۶/۹۴	۱/۵	۱/۳۷	۲/۵۲	۱/۵۴	۱۵/۷۷
۲۴	۵/۲۳	۲/۸۰	۱/۲۲	۳/۶۴	۲/۴۳	۴/۰۱	۰/۵۳	۰/۲۸	۳/۸۲	۰/۶۳	۰/۳۴	۱/۳۷	۰/۴۶	۶۵/۷۷

Archive of SID

www.SID.ir

ادامه جدول ۵.

شماره ژنوتیپ	YP	YS	SSI	HM	TOL	MP	YSI	STI	GMP	YI	DI	MRP	REI	RM
۲۵	۷/۷۳	۳/۶۳	۱/۳۹	۴/۹۳	۴/۱۰	۵/۶۷	۰/۴۶	۰/۵۵	۵/۲۹	۰/۸۲	۰/۳۸	۱/۹۱	۰/۸۹	۵۰/۵۴
۲۶	۵/۶۹	۳/۸۵	۰/۸۵	۴/۵۹	۱/۸۵	۴/۷۷	۰/۶۷	۰/۴۳	۴/۶۸	۰/۸۷	۰/۵۹	۱/۶۷	۰/۷	۴۷/۳۱
۲۷	۸/۳۵	۵/۲۵	۰/۹۷	۶/۴۴	۳/۰۹	۶/۸۰	۰/۶۲	۰/۸۷	۶/۶۲	۱/۱۹	۰/۷۵	۲/۳۷	۱/۴	۲۸/۳۱
۲۸	۶/۳۹	۲/۲۸	۱/۶۹	۳/۳۵	۴/۱۱	۴/۳۳	۰/۳۵	۰/۲۸	۳/۸۱	۰/۵۱	۰/۱۸	۱/۴۱	۰/۴۶	۷۱/۳۱
۲۹	۳/۹۹	۳/۶۶	۰/۲۱	۳/۸۱	۰/۳۳	۳/۸۲	۰/۹۱	۰/۲۸	۳/۸۲	۰/۸۳	۰/۷۶	۱/۳۹	۰/۴۶	۵۳/۲۳
۳۰	۵/۸۶	۵/۰۷	۰/۳۵	۵/۴۳	۰/۷۹	۵/۴۶	۰/۸۶	۰/۵۹	۵/۴۵	۱/۱۵	۰/۹۹	۱/۹۷	۰/۹۵	۳۴/۰۴
۳۱	۴/۳۹	۳/۵۴	۰/۵۱	۳/۹۱	۰/۸۵	۳/۹۶	۰/۸۰	۰/۳	۳/۹۴	۰/۸۰	۰/۶۴	۱/۴۲	۰/۴۹	۵۳/۷۷
۳۲	۳/۴۳	۳/۴۲	۰/۰۱	۳/۴۲	۰/۰۱	۳/۴۲	۰/۹۹	۰/۲۳	۳/۴۲	۰/۷۷	۰/۷۷	۱/۲۶	۰/۳۷	۵۲/۶۹
۳۳	۶/۱۲	۲/۴۳	۱/۵۸	۳/۴۷	۳/۶۹	۴/۲۷	۰/۳۹	۰/۲۹	۳/۸۵	۰/۵۵	۰/۲۱	۱/۴۱	۰/۴۷	۶۸/۹۲
۳۴	۵/۷۶	۵/۲۶	۰/۲۲	۵/۵۰	۰/۵	۵/۵۱	۰/۹۱	۰/۶۰	۵/۵	۱/۱۹	۱/۰۹	۲	۰/۹۷	۳۱/۱۵
۳۵	۹/۹۷	۸/۴۹	۰/۳۸	۹/۱۷	۱/۴۷	۹/۲۳	۰/۸۵	۱/۶۷	۹/۲۰	۱/۹۳	۱/۶۴	۳/۳۳	۲/۷۱	۸/۸۵
۳۶	۵/۲۵	۳/۱۰	۱/۰۷	۳/۸۹	۲/۱۵	۴/۱۷	۰/۵۹	۰/۳۲	۴/۰۳	۰/۷۰	۰/۴۱	۱/۴۴	۰/۵۲	۵۹/۶۲
۳۷	۸/۹۹	۴/۶	۱/۲۸	۶/۰۸	۴/۳۹	۶/۷۹	۰/۵۱	۰/۸۲	۶/۴۳	۱/۰۴	۰/۵۳	۲/۳۱	۱/۳۲	۳۷/۳۸
۳۸	۵/۳۷	۱/۸۷	۱/۷۱	۲/۷۷	۳/۴۹	۳/۶۱	۰/۳۴	۰/۱۹	۳/۱۶	۰/۴۲	۰/۱۴	۱/۱۸	۰/۳۲	۷۶/۱۵
۳۹	۴/۲۶	۱/۵۷	۱/۶۶	۲/۲۹	۲/۶۹	۲/۹۱	۰/۳۶	۰/۱۳	۲/۵۸	۰/۳۵	۰/۱۳	۰/۹۵	۰/۲۱	۷۸/۶۲
۴۰	۸/۰۶۳	۴/۱۱	۱/۲۹	۵/۴۴	۳/۹۵	۶/۰۸	۰/۵۰	۰/۶۵	۵/۷۵	۰/۹۳	۰/۴۷	۲/۰۶	۱/۰۶	۴۳/۳۸
۴۱	۸/۵۱	۵/۵۷	۰/۹۰	۶/۸۳	۲/۹۴	۷/۰۴	۰/۶۵	۰/۹۴	۶/۸۸	۱/۲۶	۰/۸۲	۲/۴۶	۱/۵۱	۲۵
۴۲	۷/۵۹	۲/۷۱	۱/۶۹	۳/۹۹	۴/۸۸	۵/۱۵	۰/۳۵	۰/۴۰	۴/۵۴	۰/۶۱	۰/۲۲	۱/۶۸	۰/۶۶	۶۱/۰۸
۴۳	۵/۳۴	۵/۰۹	۰/۱۲	۵/۲۰	۰/۲۵	۵/۲۱	۰/۹۵	۰/۵۳	۵/۲۱	۱/۱۵	۱/۱	۱/۹	۰/۸۶	۳۳/۴۶
۴۴	۶/۵۶	۶/۲۶	۰/۱۲	۶/۴۰	۰/۳۰	۶/۴۱	۰/۹۵	۰/۸۱	۶/۴۰	۱/۴۲	۱/۳۵	۲/۳۴	۱/۳۱	۱۹/۸۵
۴۵	۱۲/۳۸	۳/۲۳	۱/۹۴	۵/۱۲	۹/۱۵	۷/۸۰	۰/۲۶	۰/۷۹	۶/۳۲	۰/۷۳	۰/۱۹	۲/۴۷	۱/۲۸	۴۵/۷۷
۴۶	۶/۸۶	۵/۰۴	۰/۶۹	۵/۸	۱/۸۲	۵/۹۴	۰/۷۳	۰/۶۸	۵/۸۴	۱/۱۴	۰/۸۴	۲/۱۱	۱/۱۰	۳۳
۴۷	۵/۱۴	۵/۰۱	۰/۰۶	۵/۰۷	۰/۱۳	۵/۰۷	۰/۹۷	۰/۵۱	۵/۰۷	۱/۱۳	۱/۱۱	۱/۸۶	۰/۸۲	۳۳/۶۹
۴۸	۵/۲۸	۳/۱۷	۱/۰۵	۳/۹۶	۲/۱۱	۴/۲۲	۰/۶۰	۰/۳۳	۴/۰۹	۰/۷۲	۰/۴۳	۱/۴۶	۰/۵۳	۵۷/۵۴

Archive of SID

www.SID.ir

ادامه جدول ۵.

شماره ژنوتیپ	YP	YS	SSI	HM	TOL	MP	YSI	STI	GMP	YI	DI	MRP	REI	RM
۴۹	۱۳/۹۷	۵/۷۵	۱/۵۴	۸/۱۴	۸/۲۲	۹/۸۵	۰/۴۱	۱/۵۹	۸/۹۵	۱/۳۰	۰/۵۳	۳/۲۷	۲/۵۶	۲۵/۳۱
۵۰	۶/۸۰	۴/۷۹	۰/۷۷	۵/۶۲	۲/۰۱	۵/۷۹	۰/۷۰	۰/۶۴	۵/۷۰	۱/۰۸	۰/۷۶	۲/۰۴	۱/۰۴	۳۶/۴۶
۵۱	۷/۶۴	۷/۳۷	۰/۰۹	۷/۵۰	۰/۲۷	۷/۵	۰/۹۶	۱/۱۱	۷/۵۰	۱/۶۷	۱/۶۱	۲/۷۵	۱/۸	۹/۲۳
۵۲	۹/۷۰	۵/۱۱	۱/۲۴	۶/۶۹	۴/۵۹	۷/۴۰	۰/۵۲	۰/۹۸	۷/۰۳	۱/۱۶	۰/۶۱	۲/۵۲	۱/۵۸	۲۹/۶۲
۵۳	۱۰/۷۱	۵/۱۷	۱/۳۶	۶/۹۷	۵/۵۴	۷/۹۳	۰/۴۸	۱/۰۹	۷/۴۳	۱/۱۷	۰/۵۶	۲/۶۸	۱/۷۷	۲۷/۵۴
۵۴	۳/۶۷	۳/۸۹	۰/۰۴	۳/۹۲	۰/۰۶	۳/۹۲	۰/۹۸	۰/۳۰	۳/۹۲	۰/۸۸	۰/۸۶	۱/۴۴	۰/۴۹	۴۷
۵۵	۷/۹۴	۵/۴۰	۰/۸۴	۶/۴۲	۲/۵۳	۶/۶۶	۰/۶۸	۰/۸۵	۶/۵۴	۱/۲۲	۰/۸۳	۲/۳۴	۱/۳۷	۲۶/۵۴
۵۶	۴/۷۳	۳/۷۵	۰/۴۰	۴/۰۶	۰/۶۸	۴/۰۹	۰/۸۴	۰/۳۳	۴/۰۷	۰/۸۵	۰/۷۲	۱/۴۷	۰/۵۳	۴۹/۱۵
۵۷	۱۱/۵۷	۶/۳۵	۱/۱۸	۸/۲۰	۵/۲۲	۸/۹۶	۰/۵۴	۱/۴۵	۸/۵۷	۱/۴۴	۰/۷۹	۳/۰۷	۲/۳۵	۱۹/۸۵
۵۸	۵/۰۶	۳/۰۳	۱/۰۵	۳/۷۸	۲/۰۳	۴/۰۴	۰/۵۹	۰/۳۰	۳/۹۱	۰/۶۸	۰/۴۱	۱/۴۰	۰/۴۹	۶۱/۹۲
۵۹	۱۳/۱۴	۲/۳۳	۲/۱۶	۳/۹۶	۱۰/۸	۷/۷۳	۰/۱۷	۰/۶۰	۵/۵۳	۰/۵۳	۰/۰۹	۲/۳۸	۰/۹۸	۵۳/۸۵
۶۰	۴/۵۴	۳/۲۵	۰/۷۴	۳/۷۸	۱/۲۸	۳/۸۹	۰/۷۱	۰/۲۹	۳/۸۴	۰/۷۳	۰/۵۳	۱/۳۷	۰/۴۷	۵۸/۹۲
۶۱	۹/۷۳	۷/۲۸	۰/۶۶	۸/۳۲	۲/۴۵	۸/۵۰	۰/۷۴	۱/۴۰	۸/۴۱	۱/۶۵	۱/۲۳	۳/۰۲	۲/۲۶	۱۳/۵۴
۶۲	۷/۲۴	۵/۳۶	۰/۶۸	۶/۱۵	۱/۸۷	۶/۲۹	۰/۷۴	۰/۷۶	۶/۲۲	۱/۲۱	۰/۹	۲/۲۳	۱/۲۴	۲۸/۹۲
۶۳	۴/۳۲	۴/۱۹	۰/۰۷	۴/۲۵	۰/۱۳	۴/۲۵	۰/۹۶	۰/۳۵	۴/۲۵	۰/۹۵	۰/۹۲	۱/۵۶	۰/۵۸	۴۱/۹۶
۶۴	۶/۳۵	۹/۹۷	−۱/۵	۷/۷۵	−۳/۶۲	۸/۱۵	۱/۵۷	۱/۲۵	۷/۹۵	۲/۲۶	۳/۵۵	۳/۱۵	۲/۰۲	۷/۱۵
۶۵	۵/۶۱	۵/۳۶	۰/۱۱	۵/۴۸	۰/۲۴	۵/۴۸	۰/۹۵	۰/۵۹	۵/۴۸	۱/۲۱	۱/۱۶	۲	۰/۹۶	۲۹/۲۳
۶۶	۴/۲۵	۳/۷۵	۰/۳۰	۳/۹۸	۰/۵۰	۳/۹۹	۰/۸۸	۰/۳۱	۳/۹۸	۰/۸۵	۰/۷۵	۱/۴۴	۰/۵۰	۵۰/۵۴
۶۷	۷/۹۵	۳/۶۸	۱/۴۱	۵/۰۳	۴/۲۷	۵/۸۱	۰/۴۶	۰/۵۸	۵/۴۱	۰/۸۳	۰/۳۸	۱/۹۵	۰/۹۳	۴۹/۶۲
۶۸	۴/۳۶	۲/۲۶	۱/۲۶	۲/۹۷	۲/۱۰	۳/۳۱	۰/۵۱	۰/۱۹	۳/۱۳	۰/۵۱	۰/۲۶	۱/۱۲	۰/۳۱	۷۲/۸۵
۶۹	۷/۴۸	۷/۰۹	۰/۱۳	۷/۲۸	۰/۳۸	۷/۲۸	۰/۹۴	۱/۰۵	۷/۲۸	۱/۶۱	۱/۵۲	۲/۶۶	۱/۶۹	۱۲/۲۳
۷۰	۶/۰۸	۳/۳۲	۱/۱۹	۴/۲۹	۲/۷۷	۴/۷۰	۰/۵۴	۰/۴۰	۴/۴۹	۰/۷۵	۰/۴۱	۱/۶۱	۰/۶۴	۵۴/۳۸
۷۱	۲/۷۴	۲/۵۳	۰/۱۹	۲/۶۲	۰/۲۰	۲/۶۳	۰/۹۲	۰/۱۳	۲/۶۲	۰/۵۷	۰/۵۳	۰/۹۵	۰/۲۲	۶۲/۴۶

Archive of SID

www.SID.ir

ادامه جدول ۵.

شماره ژنوتیپ	YP	YS	SSI	HM	TOL	MP	YSI	STI	GMP	YI	DI	MRP	REI	RM
۷۲	۷/۸۶	۳/۱۸	۱/۵۶	۴/۵۳	۴/۶۷	۵/۵۲	۰/۴۰	۰/۴۹	۵	۰/۷۲	۰/۲۹	۱/۸۳	۰/۸۰	۵۵/۳۸
۷۳	۴/۵۱	۳/۵۳	۰/۵۷	۳/۹۶	۰/۹۸	۴/۰۲	۰/۷۸	۰/۳۱	۳/۹۹	۰/۸۰	۰/۶۲	۱/۴۳	۰/۵۰	۵۳/۰۸
۷۴	۴/۵۸	۲/۴۴	۱/۲۲	۳/۱۸	۲/۱۴	۳/۵۱	۰/۵۳	۰/۲۲	۳/۳۴	۰/۵۵	۰/۲۹	۱/۱۹	۰/۳۵	۷۰/۱۵
۷۵	۵/۰۳	۴/۶۸	۰/۱۸	۴/۸۵	۰/۳۴	۴/۸۵	۰/۹۳	۰/۴۶	۴/۸۵	۱/۰۶	۰/۹۹	۱/۷۷	۰/۷۵	۳۸/۳۸
۷۶	۶/۶۷	۶/۳۲	۰/۱۳	۶/۴۹	۰/۳۴	۶/۴۹	۰/۹۴	۰/۸۳	۶/۴۹	۱/۴۳	۱/۳۶	۲/۳۷	۱/۳۵	۱۸/۷۷
۷۷	۵/۳۵	۳/۹۳	۰/۶۹	۴/۵۳	۱/۴۲	۴/۶۴	۰/۷۳	۰/۴۱	۴/۵۸	۰/۸۹	۰/۶۵	۱/۶۴	۰/۶۷	۴۵/۹۲
۷۸	۷/۵۸	۵/۱۴	۰/۸۴	۶/۱۲	۲/۴۴	۶/۳۶	۰/۶۷	۰/۷۷	۶/۲۴	۱/۱۶	۰/۷۹	۲/۲۳	۱/۲۴	۳۱/۸۵
۷۹	۴/۱۱	۲/۹۱	۰/۷۶	۳/۴۰	۱/۱۹	۳/۵۱	۰/۷۰	۰/۲۳	۳/۴۶	۰/۶۶	۰/۴۶	۱/۲۴	۰/۳۸	۶۳/۲۳
۸۰	۵/۱۶	۲/۲۷	۱/۴۷	۳/۱۵	۲/۸۸	۳/۷۱	۰/۴۴	۰/۲۳	۳/۴۲	۰/۵۱	۰/۲۲	۱/۲۴	۰/۳۷	۷۳/۰۸
۸۱	۵/۹۲	۳/۱۹	۱/۲۱	۴/۱۴	۲/۷۲	۴/۵۵	۰/۵۳	۰/۳۷	۴/۳۴	۰/۷۲	۰/۳۹	۱/۵۵	۰/۶۰	۵۶/۲۳
۸۲	۵/۹۹	۴/۹۴	۰/۴۶	۵/۴۱	۱/۰۵	۵/۴۶	۰/۸۲	۰/۵۸	۵/۴۴	۱/۱۲	۰/۹۲	۱/۹۶	۰/۹۴	۳۶/۱۹
۸۳	۱۰/۵۹	۱۰/۲۴	۰/۰۸	۱۰/۴۱	۰/۳۵	۱۰/۴۱	۰/۹۶	۲/۱۵	۱۰/۴۱	۲/۳۲	۲/۲۴	۳/۸۱	۳/۴۷	۳/۸۵

YP: عملکرد در شرایط بدون تنش، YS: عملکرد در شرایط تنش، SSI: شاخص حساسیت به تنش، HM: میانگین هارمونیک، TOL: شاخص تحمل، MP: شاخص میانگین بهرووری و YSI: شاخص پایداری عملکرد، STI: شاخص تحمل به تنش، GMP: میانگین هندسی بهرووری، YI: شاخص عملکرد، DI: شاخص مقاومت به خشکی، MRP: شاخص میانگین عملکرد نسبی، REI: شاخص کارایی نسبی و RM: شاخص میانگین رتبه.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۶. ژنوتیپ‌های با رتبه ۱ تا ۵ برای شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش و عملکرد تحت شرایط تنش و بدون تنش

شماره ژنوتیپ	نام ژنوتیپ	YP	YS	SSI	HM	TOL	MP	YSI	STI	GMP	YI	DI	MRP	REI	RM
۱	قصرالدشتی	۵													
۳	دیلمانی			۴				۴							
۱۵	سنگ‌جو	۱			۳		۱		۲	۲			۲	۲	
۳۲	چمپابودار			۲		۲		۲							
۳۵	سپیدرود		۳		۲		۴		۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳
۴۵	Norin 22	۴													
۴۷	Fujiminori			۵		۴		۵							
۴۹	Zenith	۲					۳		۴	۴			۴	۴	
۵۱	TETEP		۴								۴	۴			۴
۵۴	IR30			۳		۳		۳							
۵۷	IR58				۵		۵		۵	۵				۵	
۵۹	IR70445-146-3-3	۳													
۶۱	IR71739-24-3-5		۵		۴						۵				
۶۳	IR66233-169-3-3					۵									
۶۴	IR74718-24-2-3		۲	۱		۱		۱			۲	۱	۵		۲
۶۹	IR74720-13-1-2											۵			۵
۸۳	IR83750-131-1		۱		۱		۲		۱	۱	۱	۲	۱	۱	۱

YP: عملکرد در شرایط بدون تنش، YS: عملکرد در شرایط تنش، SSI: شاخص حساسیت به تنش، HM: میانگین هارمونیک، TOL: شاخص تحمل، MP: شاخص میانگین بهره‌وری و YSI: شاخص پایداری عملکرد، STI: شاخص تحمل به تنش، GMP: میانگین هندسی بهره‌وری، YI: شاخص عملکرد، DI: شاخص مقاومت به خشکی، MRP: شاخص میانگین عملکرد نسبی، REI: شاخص کارایی نسبی و RM: شاخص میانگین رتبه.

Archive of SID

www.SID.ir

دانه به‌میزان ۳۱ تا ۶۴ درصد در مقایسه با شرایط بدون تنش را می‌توان به‌عنوان تنش متوسط مشخص نمود (۲۰).

ژنوتیپ‌های IR83750-131-1، سپیدرود، سنگ‌جو، IR71739-24-3-5 و IR58 به‌ترتیب بیشترین مقدار را برای شاخص HM نشان دادند. برمبنای شاخص MP، ژنوتیپ‌های سنگ‌جو، IR83750-131-1، Zenith، سپیدرود و IR58 به‌ترتیب بیشترین مقادیر را داشتند. بیشترین مقدار شاخص‌های GMP، STI، REI با روند مشابه به‌ترتیب به ژنوتیپ‌های IR83750-131-1، سنگ جو، سپیدرود، Zenith و IR58 اختصاص یافت. شاخص MRP نیز با روند تقریباً مشابه‌ای بیشترین مقادیر را به‌ترتیب به ژنوتیپ‌های IR83750-131-1، سنگ جو، سپیدرود، Zenith و IR74718-24-2-3 اختصاص داد. در مطالعات زیادی برتری شاخص‌های GMP، MP و STI (۴، ۱۳، ۲، ۳، ۷، ۱۸، ۱۹، ۲۵، ۲۶، ۳۱، ۳۲ و ۳۵)، شاخص REI (۲۷ و ۳۴) و شاخص HM (۱۹، ۲۶ و ۳۵) برای غربال ارقام با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش و با کمترین نوسان عملکرد در محیط‌های تنش گزارش شده است و به این ترتیب این شاخص‌ها قادر به تفکیک ژنوتیپ‌های گروه A براساس تقسیم‌بندی فرناندز (۱۰) هستند. مقدار بالا برای شاخص STI دلالت بر تحمل بالاتر به شرایط تنش دارد. ژنوتیپ‌های پایدارتر براساس این شاخص دارای مقادیر بالاتر STI هستند و بنابراین انتظار می‌رود که با استفاده از این شاخص ژنوتیپ‌های گروه A از سایر گروه‌ها قابل تفکیک باشند (۳۱). هنگامی‌که اختلاف نسبی زیادی بین Y_P و Y_S وجود داشته باشد شاخص MP دارای یک اریب به طرف پتانسیل عملکرد خواهد بود (۳۱). شاخص GMP که براساس میانگین هندسی عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش و بدون تنش است برای رفع این اشکال معرفی شده است. این شاخص زمانی مفید است که مواد اصلاحی مستقیماً تحت شرایط تنش و بدون تنش و با در نظر گرفتن تغییر در شدت خشکی در محیط‌ها و سال‌های مختلف آزمایش می‌شوند (۲۷). از آنجایی که تنش خشکی در محیط زراعی در طی سال‌های مختلف متفاوت است. این شاخص اغلب توسط اصلاحگرانی که به عملکرد نسبی علاقمند هستند استفاده می‌شود (۲۸). شاخص MRP انتخاب برای تحمل را براساس تفاوت در عملکرد دانه تحت شرایط تنش و بدون تنش انجام می‌دهد و ژنوتیپ‌هایی با کاهش پایین عملکرد دانه و عملکرد دانه پایین در هر دو شرایط تنش و بدون تنش را انتخاب می‌کند (۳۴).

کمترین مقدار شاخص SSI و بیشترین مقدار شاخص YSI با روند رتبه مشابه به‌ترتیب برای ژنوتیپ‌های IR74718-24-2-3، چمپابودار، IR30، دیلمانی و Fujiminori محاسبه شد. با توجه به فرمول شاخص YSI اینطور استنباط می‌شود که هرچه عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط تنش بزرگ‌تر و در شرایط بدون تنش کوچک‌تر باشد، مقدار YSI بزرگ‌تری خواهد داشت. فرشادفر و همکاران (۸) شاخص YSI و شاخص‌های با همبستگی بالا با این شاخص مانند SSI را جهت غربال ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی مناسب دانستند. فرناندز (۱۰) شاخص SSI را مناسب برای تمایز ژنوتیپ‌های گروه B و C دانست. مقادیر پایین‌تر شاخص SSI نشان‌دهنده اختلاف پایین‌تر عملکرد در بین سطوح تنش و به‌عبارت دیگر تحمل بیشتر است (۲۷). به این ترتیب می‌توان این‌طور نتیجه‌گیری کرد که این پنج ژنوتیپ برتر از نظر شاخص‌های SSI و YSI عملکرد بالایی تحت شرایط تنش خشکی نشان دادند و لزوماً پتانسیل عملکرد بالاتری ندارند. همچنان که در جدول ۶ مشخص است، هیچ‌یک از پنج ژنوتیپ برتر برای این شاخص‌ها از نظر پتانسیل عملکرد نتوانسته‌اند در رتبه‌های بالا قرار بگیرند و بنابراین ژنوتیپ‌های با YSI بالاتر عملکرد بالاتری در شرایط تنش دارند و از این لحاظ می‌توان آنها را در گروه C براساس تقسیم‌بندی فرناندز (۱۰) قرار داد.

کمترین مقادیر برای شاخص TOL به‌ترتیب برای ژنوتیپ‌های IR74718-24-2-3، چمپابودار، IR30، Fujiminori و IR66233-169-3-3 محاسبه شد. مقادیر بالاتر شاخص TOL حاکی از حساسیت یک ژنوتیپ است (۲۷) و ژنوتیپ‌های با مقادیر پایین برای این شاخص در هر دو شرایط تنش و بدون

Archive of SID

www.SID.ir

تنش پایدارتر هستند (۸). شاخص‌های YI و DI روند تقریباً نامشابه‌ای براساس رتبه برای پنج ژنوتیپ اول نشان دادند، به‌طوری‌که بیشترین مقادیر شاخص YI به‌ترتیب برای ژنوتیپ‌های IR83750-131-1، IR74718-24-2-3، سپیدرود، TETEP و IR71739-24-3-5 مشاهده شد. با توجه به رابطه شاخص YI اطلاعات حاصل از پتانسیل عملکرد در این شاخص وارد نمی‌شود و اگر همبستگی بالایی بین پتانسیل عملکرد و عملکرد در شرایط تنش وجود نداشته باشد، ژنوتیپ‌های انتخابی با این شاخص تنها براساس برتری عملکرد در شرایط تنش انتخاب خواهند شد. بیشترین مقادیر شاخص DI به‌ترتیب برای ژنوتیپ‌های IR74718-24-2-3، IR83750-131-1، سپیدرود، TETEP و IR74720-13-1-2 محاسبه شد. شاخص DI نسبت عملکرد در شرایط تنش را به پتانسیل عملکرد به‌دست آورده و در صورت کسر YI ضرب می‌کند. به این ترتیب اطلاعاتی از پتانسیل عملکرد را به‌همراه داشته و جهت انتخاب ژنوتیپ‌های با تحمل بالا به تنش از شاخص YI قابل اعتمادتر است. فرشادفر و همکاران (۸) شاخص DI را مانند شاخص STI مناسب برای تشخیص ژنوتیپ‌های گروه A از سایر ژنوتیپ‌ها دانستند.

براساس شاخص میانگین رتبه ژنوتیپ‌های IR83750-131-1، IR74718-24-2-3، سپیدرود، TETEP و IR74720-13-1-2 کمترین مقدار این شاخص را نشان دادند. در این شاخص میانگین رتبه هر ژنوتیپ برای تمام شاخص‌ها محاسبه شده و ژنوتیپی که کمترین مقدار میانگین رتبه را نشان دهد، بیشترین تحمل را تحت شرایط تنش خشکی خواهد داشت (۷). ژنوتیپ IR74718-24-2-3 در بسیاری از شاخص‌های مورد محاسبه بر سایر ژنوتیپ‌ها برتری نشان داده به‌طوری‌که برای شاخص‌های SSI، TOL، YSI و DI رتبه نخست و برای شاخص YI و عملکرد در شرایط تنش خشکی رتبه دوم را داشته است. علی‌رغم پایین بودن شاخص RM برای ژنوتیپ IR74718-24-2-3 این ژنوتیپ با رتبه ۴۵ برای عملکرد در شرایط بدون تنش، پتانسیل عملکرد بالایی نشان نداد، درحالی‌که ژنوتیپ‌های IR83750-131-1 و سپیدرود به‌ترتیب با رتبه ۱۰ و ۱۲ برای عملکرد در شرایط بدون تنش پتانسیل عملکرد خوبی داشتند و می‌توان آنها را جزو ژنوتیپ‌های گروه A در نظر گرفت. مقادیر به‌دست آمده از شاخص RM با در نظر گرفتن پتانسیل عملکرد می‌تواند به‌خوبی ژنوتیپ‌های گروه A را از سایر ژنوتیپ‌ها تفکیک کند.

صفائی چائی‌کار و همکاران (۳۱) از نظر شاخص STI ارقام نعمت، سپیدرود، IR64، IR50 و بجار را به‌عنوان ارقام متحمل و ارقام Araguiua، Diwani، دم‌سفید، حسن‌سرایی آتشگاه و دم‌سرخ را به‌عنوان ارقام حساس به تنش خشکی انتهای فصل معرفی کردند. در تحقیق دیگری براساس ارزیابی ۷۵ ژنوتیپ برنج تحت تنش خشکی مرحله زایشی، ژنوتیپ‌های IR55419-04، IR84895-B-B-127-CRA-5-1-1، IR83376-B-B-24-2، IR83387-B-B-40-1 و IR83373-B-B-24-3 به‌ترتیب با کمترین مقدار برای شاخص‌های SSI و TOL و با بیشترین مقدار برای شاخص STI به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل معرفی شدند و این چهار شاخص به‌عنوان شاخص‌های مناسب جهت شناسایی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد پایدار و برتری بارز در عملکرد و صفات فیزیولوژیکی شناخته شدند (۲۱). جدای از توسعه ارقام با عملکرد دانه بالاتر تحت شرایط تنش خشکی، مهم این است که این ارقام پتانسیل عملکرد برابر یا بیشتر از واریته‌های شناخته شده با عملکرد بالا داشته باشند (۶).

ضرایب همبستگی اسپیرمن بین رتبه شاخص‌های تنش و عملکرد ژنوتیپ‌ها تحت شرایط تنش خشکی و بدون تنش در جدول ۷ ارائه شده است. ارتباط بین عملکرد در هر دو شرایط تنش خشکی و بدون تنش همبستگی مثبت و معنی‌داری (r=۰/۴۴) در سطح احتمال یک درصد نشان داد. فرشادفر و همکاران (۸) اثر متقابل ژنوتیپ × سال را برای عملکرد دانه گزارش کردند، به‌طوری‌که در آزمایش آنها ارتباط بین عملکرد در شرایط تنش خشکی و بدون تنش در دو سال اول غیر معنی‌دار بود و در سال سوم ارتباط مثبت خیلی معنی‌داری مشاهده شد. عملکرد در شرایط تنش (YS) ارتباط مثبت و

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۷. ضرایب همبستگی اسپیرمن بین رتبه شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش خشکی و عملکرد

	YP	YS	SSI	HM	TOL	MP	YSI	STI	GMP	YI	DI	MRP	REI
YP	۱												
YS	۰/۴۴**	۱											
SSI	−۰/۴۳**	۰/۵۴**	۱										
HM	۰/۷۲**	۰/۹۲**	۰/۲۲**	۱									
TOL	−۰/۶۷**	۰/۲۸**	۰/۹۳*	−۰/۰۷ns	۱								
MP	۰/۹۱**	۰/۷۳**	−۰/۰۷ns	۰/۹۱**	−۰/۳۵**	۱							
YSI	−۰/۴۳**	۰/۵۴**	۱**	۰/۲۲*	۰/۹۳**	−۰/۰۷ns	۱						
STI	۰/۸۲**	۰/۸۵**	۰/۰۹ns	۰/۹۸**	−۰/۲ns	۰/۹۷**	۰/۰۹ns	۱					
GMP	۰/۸۲**	۰/۸۵**	۰/۰۹ns	۰/۹۸**	−۰/۲ns	۰/۹۷**	۰/۰۹ns	۱**	۱				
YI	۰/۴۴**	۱**	۰/۵۴**	۰/۹۲**	۰/۲۸**	۰/۷۳**	۰/۵۴**	۰/۸۵**	۰/۸۵**	۱			
DI	۰/۰۰۶ns	۰/۸۷**	۰/۸۶**	۰/۶۴**	۰/۶۹**	۰/۳۶**	۰/۸۶**	۰/۵۳**	۰/۵۳**	۰/۸۷**	۱		
MRP	۰/۸۴**	۰/۸۲**	۰/۰۶ns	۰/۹۵**	−۰/۲۲*	۰/۹۸**	۰/۰۶ns	۰/۹۹**	۰/۹۹**	۰/۸۳**	۰/۴۹**	۱	
REI	۰/۸۲**	۰/۸۵**	۰/۰۹ns	۰/۹۸**	−۰/۲ns	۰/۹۷**	۰/۰۹ns	۱**	۱**	۰/۸۵**	۰/۵۳**	۰/۹۹**	۱

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

YP: عملکرد در شرایط بدون تنش، YS: عملکرد در شرایط تنش، SSI: شاخص حساسیت به تنش، HM: میانگین هارمونیک، TOL: شاخص تحمل، MP: شاخص میانگین بهره‌وری و YSI: شاخص پایداری عملکرد، STI: شاخص تحمل به تنش، GMP: میانگین هندسی بهره‌وری، YI: شاخص عملکرد، DI: شاخص مقاومت به خشکی، MRP: شاخص میانگین عملکرد نسبی ، REI: شاخص کارایی نسبی و RM: شاخص میانگین رتبه

Archive of SID

www.SID.ir

معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد با همه شاخص‌های تنش نشان داد. شاخص‌های HM، MP، STI، GMP، MRP و REI با صفت عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش خشکی و بدون تنش همبستگی بالایی (۰/۹۲ > r > ۰/۷۲) داشتند و احتمالاً شاخص‌های مناسبی برای تشخیص ژنوتیپ‌های گروه A از سایر ژنوتیپ‌ها هستند.

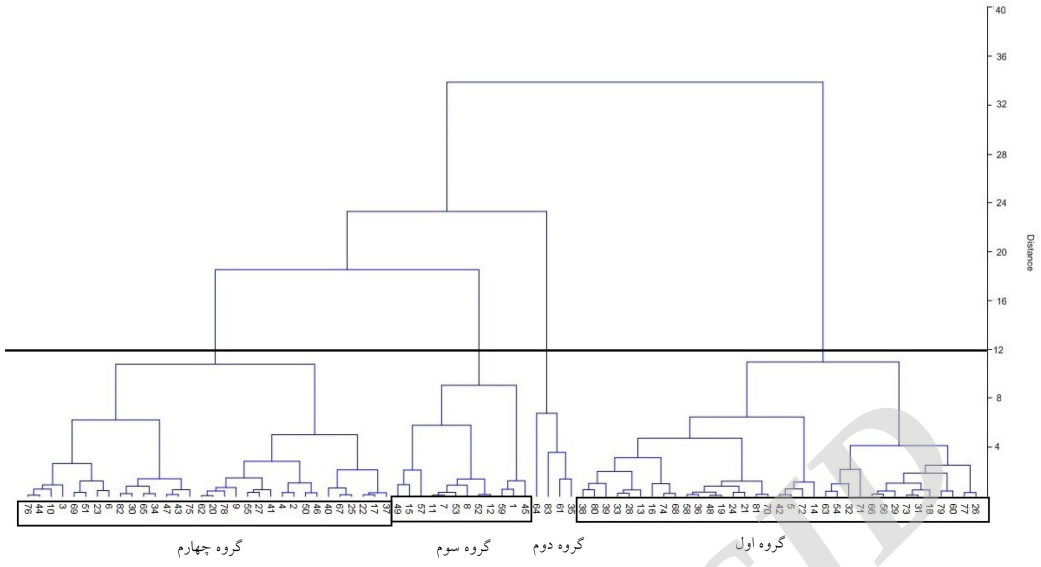
پیشتر نتایج بررسی همبستگی شاخص‌های STI، TOL، MP و SSI با عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش، نشان داده است که شاخص STI به‌خوبی قادر به انتخاب ژنوتیپ‌های با پتانسیل عملکرد بالا و متحمل به تنش خشکی هستند (۱۰). در ارزیابی تحمل به خشکی در گندم دوروم (۱۶) مشخص شد که به‌دلیل همبستگی مثبت و معنی‌دار شاخص‌های MP، GMP و STI با عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش انتخاب می‌تواند براساس مقادیر بالا برای این شاخص‌ها در هر دو شرایط تنش و بدون تنش انجام شود. در بررسی سطح تحمل هفت ژنوتیپ گندم در شرایط تنش کمبود آب و بدون تنش، شاخص‌های MP، GMP و STI به‌عنوان بهترین شاخص‌ها برای انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو شرایط و شاخص‌های TOL و SSI شاخص‌های مناسب جهت تعیین سطوح تحمل ژنوتیپ‌ها معرفی شدند (۱۶). ارتباط بالای بین GMP و REI قبلاً نیز گزارش شده بود و این شاخص‌ها به‌عنوان شاخص‌هایی با قدرت انتخاب ژنوتیپ‌هایی با کمترین کاهش عملکرد و تولید بالا برای ارزیابی ژنوتیپ‌های سورگوم در شرایط تنش زنده (ساقه‌خوار) معرفی شده‌اند (۳۴). در بررسی ژنوتیپ‌های گندم با شاخص‌های مختلف تنش خشکی شاخص‌های DI، YI، STI، GMP و MP شاخص‌های مناسبی جهت شناسایی ژنوتیپ‌های گروه A (براساس تقسیم‌بندی فرناندز) معرفی شدند (۷).

همبستگی مثبت معنی‌دار عملکرد در شرایط تنش با شاخص‌های HM، MP، STI و GMP قبلاً نیز گزارش شده بود و این شاخص‌ها به‌عنوان شاخص‌های مناسب برای انتخاب ارقام متحمل معرفی شده بودند (۸). شاخص YI همبستگی مثبت خیلی معنی‌داری (r = ۱) با عملکرد در شرایط تنش خشکی داشت ولی در شرایط بدون تنش همبستگی متوسطی (r = ۰/۴۴) نشان داد. شاخص DI با عملکرد دانه در شرایط تنش ارتباط مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد نشان داد، درحالی‌که در شرایط بدون تنش ارتباطی بین این شاخص و عملکرد مشاهده نشد. به‌نظر می‌رسد که دو شاخص YI و DI شاخص‌های مناسبی برای تشخیص ژنوتیپ‌های گروه C از سایر ژنوتیپ‌ها هستند. این درحالی است که فرشادفر و همکاران (۷) همبستگی بالای شاخص‌های DI و YI را با عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش گزارش کردند. بهترین شاخص‌ها آنهایی هستند که همبستگی بالایی با عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش و بدون تنش دارند و قادر به تفکیک ژنوتیپ‌های با پتانسیل عملکرد و تحمل بالاتر به تنش خشکی باشند (۳۲). همبستگی شاخص TOL با عملکرد در شرایط بدون تنش و تنش به‌ترتیب ۰/۶۷ و ۰/۲۸ بود. ارتباط ضعیف شاخص TOL با عملکرد در شرایط تنش در تحقیقات قبلی نیز گزارش شده بود (۷). همبستگی مثبت خیلی معنی‌دار (r=۱) بین شاخص‌های SSI و YSI و همچنین بین شاخص‌های STI، GMP و REI مشاهده شد. همچنین بین شاخص‌های HM، MP، STI، GMP، MRP و REI نیز همبستگی بالایی (۰/۹<r<۱) مشاهده شد. به این ترتیب شاخص‌هایی که همبستگی بالایی بین رتبه آنها وجود داشت، به‌ویژه آن دسته از شاخص‌هایی که ضریب همبستگی بین آنها یک بود را می‌توان جایگزین هم کرد. همبستگی مثبت بالا بین شاخص‌های REI، MRP، STI، GMP (۲۷) و همچنین بین شاخص‌های MP، MRP، REI، GMP و STI (۳۲) در تحقیقات دیگری نیز گزارش شد به‌طوری‌که این شاخص‌ها به‌عنوان شاخص‌های قابل استفاده به‌جای یکدیگر معرفی شده‌اند.

برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها براساس اطلاعات حاصل از شاخص‌های تنش از روش گروه‌بندی Ward استفاده شد و دندروگرام حاصل، ژنوتیپ‌ها را به پنج گروه اصلی تفکیک کرد (شکل ۱). صحت محل برش دندروگرام با تجزیه تابع تشخیص

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱. دندروگرام تجزیه خوشه‌ای ۸۳ ژنوتیپ برنج با استفاده از شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش براساس روش Ward

تأیید شد (جدول ۸). نتایج حاصل از تجزیه واریانس با در نظر گرفتن گروه‌ها به‌عنوان تیمار و ژنوتیپ‌های داخل هر گروه به‌عنوان تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی اختلاف معنی‌دار گروه‌ها در سطح احتمال یک درصد را نشان داد و این نشان‌دهنده انتخاب صحیح گروه‌ها بود. نتیجه مقایسه میانگین گروه‌ها برای عملکرد و شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش در جدول ۹ ارائه شده است.

نتایج حاصل از گروه‌بندی نشان داد که گروه اول با ۳۵ ژنوتیپ و با متوسط عملکرد ۵/۲۱ گرم و ۳/۰۳ گرم به‌ترتیب برای پتانسیل عملکرد و عملکرد تحت شرایط تنش شامل ارقام کم‌محصول بودند که عملکرد پایینی در هر دو شرایط داشتند. ژنوتیپ‌های این گروه با اختلاف معنی‌داری نسبت به سایر گروه‌ها کمترین مقادیر را برای شاخص‌های HM، MP، STI، GMP، YI، MRP و REI و بیشترین مقدار شاخص RM را نشان دادند. بدترین ژنوتیپ‌ها از نظر شاخص میانگین رتبه در این گروه قرار گرفته‌اند. برای مثال شش ژنوتیپ DC-Egypt، CH-21، IR66232-88-2-2-1، IR75481-108-3، ندا و IR71735-6-3-3 به‌ترتیب رتبه‌های ۷۸ تا ۸۳ را برای شاخص میانگین رتبه کسب کردند. سایر ژنوتیپ‌های این گروه نیز

جدول ۸. نتایج تجزیه تابع تشخیص برای تعیین محل برش دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای

تعداد گروه	سطح احتمال	Wilks' Lambda	Chi-square
۲	۰/۰۰	۰/۰۲	۳۰۰/۹۲
۳	۰/۰۰	۰/۱۳	۱۵۷/۹۶
۴	۰/۰۰	۰/۴۳	۶۵/۶۵

رتبه‌های پایینی برای شاخص‌های مورد بررسی کسب کردند. گروه دوم شامل ژنوتیپ‌های سپیدرود، IR71739-24-3-5، IR74718-24-2-3 و IR83750-131-1 بود. ژنوتیپ‌های این گروه با میانگین عملکرد ۸/۹۹ گرم با اختلاف معنی‌داری از سایر گروه‌ها بیشترین عملکرد را تحت شرایط تنش نشان دادند. همچنین ژنوتیپ‌های این گروه با میانگین عملکرد ۹/۱۶ گرم رتبه دوم پتانسیل عملکرد را در بین سایر گروه‌ها داشتند. این گروه با اختلاف معنی‌داری نسبت به سایر گروه‌ها بیشترین مقادیر را برای شاخص‌های HM، MP، YSI، STI، GMP، YI، DI، MRP و REI و کمترین مقادیر را برای شاخص‌های SSI و RM نشان دادند. ارقام سپیدرود و IR83750-131-1 متحمل‌ترین ژنوتیپ‌های این گروه بودند که عملکرد بالایی در

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۹. میانگین شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش خشکی و عملکرد در گروه‌های مختلف حاصل از تجزیه خوشه‌ای

گروه‌بندی	YP	YS	SSI	HM	TOL	MP	YSI	STI	GMP	YI	DI	MRP	REI	RM
D گروه اول	۵/۲۱^{d}	۳/۰۳^{c}	۱^{ab}	۳/۷۳^{c}	۲/۱۷^{b}	۴/۱۲^{d}	۰/۶۲^{bc}	۰/۳۱^{d}	۳/۹۲^{d}	۰/۶۹^{c}	۰/۴۵^{c}	۱/۴۲^{d}	۰/۵۰^{d}	۵۹/۳۹^{a}
A گروه دوم	۹/۱۶^{b}	۸/۹۹^{a}	−۰/۰۹^{c}	۸/۹۲^{a}	۰/۱۶^{b}	۹/۰۸^{a}	۱/۰۳^{a}	۱/۶۲^{a}	۹^{a}	۲/۰۴^{a}	۲/۱۷^{a}	۳/۳۳^{a}	۲/۶۲^{a}	۸/۳۵^{c}
B گروه سوم	۱۱/۶۲^{a}	۴/۷۱^{b}	۱/۵۴^{a}	۶/۵۶^{b}	۶/۹۱^{a}	۸/۱۶^{b}	۰/۴۱^{c}	۱/۰۸^{b}	۷/۲۹^{b}	۱/۰۷^{b}	۰/۴۷^{c}	۲/۷۰^{b}	۱/۷۵^{b}	۳۳/۷۵^{b}
گروه چهارم	۷/۱۲^{c}	۵/۲۹^{b}	۰/۶۳^{b}	۶^{b}	۱/۸۳^{b}	۶/۲۱^{c}	۰/۷۶^{b}	۰/۷۵^{c}	۶/۱^{c}	۱/۲۰^{b}	۰/۹۴^{b}	۲/۲۱^{c}	۱/۲۰^{c}	۳۰/۳۰^{b}

YP: عملکرد در شرایط بدون تنش، YS: عملکرد در شرایط تنش، SSI: شاخص حساسیت به تنش، HM: میانگین هارمونیک، TOL: شاخص تحمل، MP: شاخص میانگین بهره‌وری و YSI: شاخص پایداری عملکرد، STI: شاخص تحمل به تنش، GMP: میانگین هندسی بهره‌وری، YI: شاخص عملکرد، DI: شاخص مقاومت به خشکی، MRP: شاخص میانگین عملکرد نسبی ، REI: شاخص کارایی نسبی و RM: شاخص میانگین رتبه. تیمارهایی که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، با آزمون دانکن در سطح احتمال ۱ درصد در گروه آماری مشابه قرار دارند.

Archive of SID

www.SID.ir

شرایط تنش داشتند و همینطور به‌ترتیب رتبه‌های ۱۲ و ۱۰ را برای پتانسیل عملکرد به‌دست آوردند. این درحالی است که ژنوتیپ IR74718-24-2-3 فقط عملکرد بالایی در شرایط تنش نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها داشت و به‌عبارت دیگر ژنوتیپ مناسبی فقط برای شرایط تنش بود. گروه سوم از ۱۲ ژنوتیپ تشکیل شد. ژنوتیپ‌های این گروه با اختلاف معنی‌داری بیشترین میانگین را برای پتانسیل عملکرد نسبت به سایر گروه‌ها داشتند، درحالی‌که از نظر عملکرد تحت شرایط تنش بعد از گروه اول کمترین مقدار را نشان دادند. این گروه بیشترین مقدار شاخص TOL را در بین گروه‌ها داشت. برترین ژنوتیپ‌ها در این تحقیق از نظر شاخص پتانسیل عملکرد یعنی ژنوتیپ‌های قصرالدشتی، سنگ‌جو، 22 Norin، Zenith و IR70445-146-3-3 در این گروه قرار گرفتند ولی عملکرد پایینی تحت شرایط تنش خشکی نشان دادند (جدول ۶). نتایج این تحقیق نشان داد که این ژنوتیپ‌ها فقط عملکرد خوبی در محیط بدون تنش داشتند. گروه چهارم متشکل از ۳۲ ژنوتیپ بود. ژنوتیپ‌های این گروه از نظر پتانسیل عملکرد بعد از گروه اول کمترین مقدار را داشتند این در حالی است که مقادیر میانگین عملکرد تحت شرایط تنش، HM، YI و RM برای این گروه اختلاف معنی‌داری با گروه سوم نشان نداد. رقم بومی هندوستان، Dular که به‌عنوان ژنوتیپ متحمل به خشکی شناخته می‌شود و آلل‌های تحمل به خشکی مکان ژنی $qDTY_{1.1}$ آن مشابه با والد شناخته‌شده متحمل به خشکی N22 است نیز در این گروه دسته‌بندی شده است (۳۸)، هرچند که در تحقیق حاضر این واریته شاخص میانگین رتبه ۳۶/۴۶ را برای شاخص‌های مورد مطالعه کسب کرد (جدول ۵). از بین ژنوتیپ‌های این گروه ژنوتیپ‌های دیلمانی، TETEP، Fujiminori و IR74720-13-1-2 در بین ژنوتیپ‌های با رتبه برتر در جدول ۶ قرار گرفتند. مهم‌ترین عامل برای کسب رتبه‌های خوب برای این ژنوتیپ‌ها اختلاف پایین بین پتانسیل عملکرد و عملکرد تحت شرایط تنش خشکی بود.

در نگاه کلی و بدون در نظر گرفتن برخی استثنائات، چهار گروه حاصل از تجزیه خوشه‌ای را می‌توان بدین‌گونه توصیف کرد. گروه اول شامل ژنوتیپ‌های با عملکرد پایین در شرایط تنش خشکی و بدون تنش، گروه دوم شامل ژنوتیپ‌های با بالاترین تحمل به شرایط تنش خشکی و عملکرد بالا در هر دو شرایط، گروه سوم شامل ژنوتیپ‌هایی با بیشترین عملکرد تحت شرایط بدون تنش و گروه چهارم ژنوتیپ‌هایی با تحمل متوسط به شرایط تنش خشکی می‌باشند. تجزیه خوشه‌ای براساس شاخص‌های تحمل به تنش در تحقیقات دیگری نیز انجام و منجر به تشخیص ژنوتیپ‌ها براساس تقسیم‌بندی فرناندز شده است (۱و۴ و ۹). بهرامی و همکاران (۴) با استفاده از تجزیه کلاستر بر مبنای شاخص‌های تحمل به خشکی توانستند ۶۴ ژنوتیپ گلرنگ را به گروه‌های متحمل و حساس تفکیک کنند. در تحقیق دیگری فرشادفر و همکاران (۹) براساس اطلاعات حاصل از ۱۶ شاخص تحمل به تنش خشکی و عملکرد تحت شرایط تنش و بدون تنش، مجموعه‌ای از ۲۰رقم بومی گندم را به سه گروه مقاوم، حساس و نیمه مقاوم گروه‌بندی کردند.

برای انجام تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، ابتدا ماتریس ضرایب همبستگی بین متغیرها محاسبه و سپس ریشه‌های مشخصه و بردارهای متناظر آنها استخراج شدند. جدول ۱۰ مقادیر ویژه و واریانس پنج مؤلفه اصلی مهم‌تر را نشان می‌دهد. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که دو مؤلفه اول به‌ترتیب ۶۷/۴۵ و ۳۰/۱۵ درصد از تغییرات کل بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه را توجیه کردند. بر این اساس، گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها براساس دو مؤلفه اصلی اول و دوم انجام و نتایج در شکل ۲ ارائه شد. نتایج تجزیه خوشه‌ای با نتایج حاصل از تجزیه مؤلفه‌های اصلی برای دو مؤلفه اصلی مطابقت داشت. گروه‌های مشخص‌شده در نمودار تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (شکل ۲) با گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای (شکل ۱) مطابقت دارند.

نتیجه‌گیری

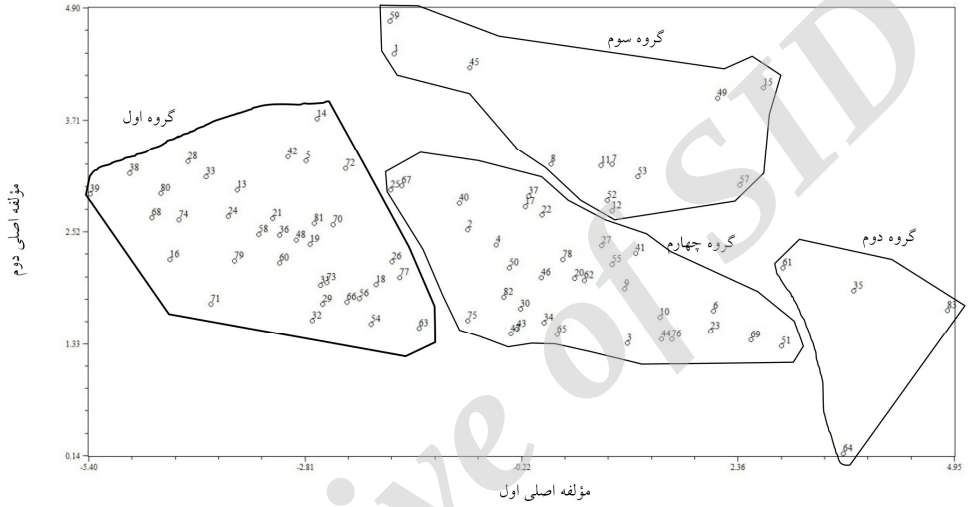
در مجموع با توجه به نتایج به‌دست آمده در این تحقیق می‌توان این‌طور نتیجه گیری کرد که شاخص‌های HM، MP، STI،

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱۰. تعداد، مقادیر ویژه و واریانس مؤلفه‌های اصلی براساس اطلاعات حاصل از شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش

مؤلفه‌ها	مقادیر ویژه	درصد واریانس	درصد واریانس تجمعی
۱	۹/۴۴	۶۷/۴۵	۶۷/۴۵
۲	۴/۲۲	۳۰/۱۵	۹۷/۶
۳	۰/۱۵	۱/۰۶	۹۸/۶۶
۴	۰/۱۲	۰/۸۶	۹۹/۵۲
۵	۰/۰۶	۰/۴۴	۹۹/۹۶



شکل ۲. گروه‌بندی ۸۳ ژنوتیپ برنج مورد مطالعه براساس دو مؤلفه اصلی حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

GMP، MRP و REI با داشتن همبستگی بالا با عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش خشکی و بدون تنش می‌توانند شاخص‌های مناسبی برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی می‌باشند. در بین این شاخص‌ها، شاخص‌های STI، GMP و MRP شاخص‌های بهتری بودند زیرا همبستگی بیشتری نسبت به شاخص‌های دیگر داشتند و در توافق با هم بودند. براساس این شاخص‌ها ژنوتیپ‌های IR83750-131-1، سنگ جو، سپیدرود، Zenith، IR58 و IR74718-24-2-3 بهترین رتبه‌ها را کسب کردند و دارای تحمل بالاتری در شرایط تنش خشکی بودند. ژنوتیپ‌های IR70445-146-3-3 و قصرالدشتی جزو ارقام حساس به تنش خشکی شناخته شدند. با در نظر گرفتن همبستگی بین شاخص‌های مورد بررسی و با استفاده از میانگین رتبه شاخص‌های پتانسیل عملکرد، عملکرد تحت تنش، شاخص تحمل به تنش (یا یکی از شاخص‌های میانگین هندسی بهره‌وری و کارایی نسبی)، شاخص پایداری عملکرد (یا شاخص حساسیت به تنش)، شاخص مقاومت به خشکی و شاخص عملکرد می‌توان بهترین ژنوتیپ‌ها از نظر تحمل به تنش خشکی را انتخاب کرد. براساس نتایج به‌دست آمده ژنوتیپ‌های گروه دوم تجزیه کلاستر متحمل‌ترین و ژنوتیپ‌های گروه اول حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها به شرایط تنش خشکی بودند.

Archive of SID
www.SID.ir

منابع مورد استفاده

1. Abdi, N., R. Darvishzadeh and H. H. Maleki. 2013. Effective selection criteria for screening drought tolerant recombinant inbred lines of sunflower. *Genetika* 45(1): 153-166.
2. Ali, M. B. and A. N. El-Sadek. 2016. Evaluation of drought tolerance indices for wheat (*Triticum aestivum* L.) under irrigated and rainfed conditions. *Communications in Biometry and Crop Science* 11(1): 77-89.
3. Amini, A. R., A. Soleymani and M. H. Shahrajabian. 2012. Assess the usefulness of various indices and yield potential in identifying cultivars of barley adapted to water stress. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences* 4(7): 364-367.
4. Bahrami, F., A. Arzani and V. Karimi. 2014. Evaluation of yield-based drought tolerance indices for screening safflower genotypes. *Agronomy Journal* 106(4): 1219-1224.
5. Bouslama, M. S. and W. T. Schapaugh. 1984. Stress tolerance in soybeans. Part 1. Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science* 24: 933.
6. Dixit, S., A. Singh and A. Kumar. 2014. Rice breeding for high grain yield under drought: a strategic solution to a complex problem. *International Journal of Agronomy*, Available online at: https://www.hindawi.com/journals/ija/2014/863683/
7. Farshadfar, E., B. Jamshidi and M. Aghaee. 2012a. Biplot analysis of drought tolerance indicators in bread wheat lanraces of Iran. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences* 4(5): 226-233.
8. Farshadfar, E., M. M. Poursiahbidi and A. R. Pour Abooghadareh. 2012b. Repeatability of drought tolerance indices in bread wheat genotypes. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences* 4(13): 891-903.
9. Farshadfar, E., M. M. Poursiahbidi and S. M. Safavi. 2013. Assessment of drought tolerance in land races of bread wheat based on resistance/ tolerance indices. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research* 1(2): 143-158.
10. Fernandez, G. C. J. 1992. Effective selection criteria for assessing stress tolerance, *In:* Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress Tolerance, Asian Vegetable Research and Development Centre. Shanhua, Taiwan. pp 257-270.
11. Fischer, R. A. and R. Maurer. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research* 29: 897-912.
12. Gavuzzi, P., F. Rizza, M. Palumbo, R. G. Campanile, G. L. Ricciardi and B. Borghi. 1997. Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. *Canadian Journal of Plant Science* 77: 523-531.
13. Golabadi, M., A. Arzani and S. A. M. Mirmohammadi Maibody. 2006. Assessment of drought tolerance in segregating populations in Durum wheat. *African Journal of Agricultural Research* 1(5): 162-171.
14. Hammer, A., D. A. T. Harper and P. D. Ryan. 2001. PAST: Paleontological statistics package for education and data analysis. *Palaentologia Electronica* 4(1): 9.
15. Hossain, A. B. S., A. G. Sears, T. S. Cox and G. M. Paulsen. 1999. Desiccation tolerance and its relationship to assimilate partitioning in winter wheat. *Crop Science* 30: 622-627.
16. Ilker, E., Ö. Tatar, F. Aykut Tonk and S. Tosun. 2011. Determination of tolerance level of some wheat genotypes to post- anthesis drought. *Turkish Journal of Field Crops* 16(1): 59-63.
17. IRRI. 2009. CROPSTAT, Version 7.2. (IRRI: Los Banos, Philippines).
18. Jalilvandy, A. and M. Rozrokh. 2013. Assessment of drought tolerance Indices in wheat genotypes. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences* 6(7): 370-374.
19. KohansalVajargah, F., E. Amiri, F. Paknejad, S. Vazan, S. KohansalVajargah, M. Motamedi. 2010. Determination of the suitable drought resistance indices in rice varieties. *Journal of Crop Production Research* 2(3): 299-314. (In Farsi).
20. Kumar, A., J. Bernier, S. Verulkar, H. R. Lafitte and G. N. Atlin. 2008. Breeding for drought tolerance: direct selection for yield, response to selection and use of drought-tolerant donors in upland and lowland adapted populations. *Field Crops Research* 107: 221-231.
21. Kumar, S., S. K. Dwivedi, S. S. Singh, B. P. Bhatt, P. Mehta, R. Elanchezhian, V. P. Singh, O. N. Singh. 2014. Morphophysiological traits associated with reproductive stage drought tolerance of rice (*Oryza sativa* L.) genotypes under rain-fed condition of eastern indo-gangetic plain. *Indian Journal of Plant Physiology* 19(2): 87-93.
22. Lan, J. 1998. Comparison of evaluating methods for agronomic drought resistance in crops. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica* 7: 85-87.
23. Pandey, V. and A. Shukla. 2015. Acclimation and tolerance strategies of rice under drought stress. *Rice Science* 22(4): 147-161.

Archive of SID

www.SID.ir

24. Pantuwan, G., S. Fukai, M. Cooper, S. Rajatasereekul and J. C. O'Toole. 2002. Yield response of rice (*Oryza sativa* L.) genotypes to drought under rainfed lowlands. 2. Selection of drought resistant genotypes. *Field Crops Research* 73: 169-180.
25. Rahimi, M., H. Dehghani, B. Rabiei and A. R. Tarang. 2012. Multi-trait mapping of QTLs for drought tolerance indices in rice. *Cereal Research* 2(2): 107-121. (In Farsi).
26. Rahimi, M., H. Dehghani, B. Rabiei and A. R. Tarang. 2013. Evaluation of rice segregating population based on drought tolerance criteria and biplot analysis. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences* 5(3): 194-199.
27. Raman, A., S. Verulkar, N. Mandal, M. Variar, V. Shukla, J. Dwivedi, B. Singh, O. Singh, P. Swain, A. Mall, S. Robin, R. Chandrababu, A. Jain, T. Ram, S. Hittalmani, S. Haefele, H. P. Piepho and A. Kumar. 2012. Drought yield index to select high yielding rice lines under different drought stress severities. *Rice* 5: 31.
28. Ramirez, V. P. and J. D. Kelly. 1998. Traits related to drought resistance in common bean. *Euphytica* 99: 127-136.
29. Rohlf, F. J. 1999. NTSYSpc: Numerical taxonomy and multivariate analysis system. ver. 2.02. Exeter software, Setauket, New York, NY, USA 223-270.
30. Rosielle, A. A. and J. Hamblin. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Science* 21: 943-946.
31. Safaei Chaeikar S, B. Rabiei, H. Samizadeh and M. Esfahani .2008. Evaluation of tolerance to terminal drought stress in rice (*Oryza sativa* L.) genotypes. *Iranian Journal of Crop Science* 9: 315–331. (In Farsi).
32. Sahar, B., B. Ahmed, N. Naserelhaq, J. Mohammed and O. Hassan. 2016. Efficiency of selection indices in screening bread wheat lines combining drought tolerance and high yield potential. *Journal of Plant Breeding and Crop Science* 8(5): 72-86.
33. SAS Institute, Inc. 2008. SAS/STAT Software: Reference, Version 9.2" Cary, N.C.: SAS Institute, Inc.
34. Singh, B. U., K. V. Rao and H. C. Sharma. 2011. Comparison of selection indices to identify sorghum genotypes resistant to the spotted stemborer Chilo partellus (*Lepidoptera: Noctuidae*). *International Journal of Tropical Insect Science* 31: 38-51.
35. Tousi Mojarrad, M. and M. R. Ghannadha. 2007. Evaluation of grain yield potential and dry matter remobilization to seed in commercial bread wheat cultivars in normal and drought conditions. *Journal of Water and Soil Science* 10(4): 323-339. (In Farsi).
36. Venuprasad, R., M. T. Sta Cruz, M. Amante, R. Magbanua, A. Kumar and G. N. Atlin. 2008. Response to two cycles of divergent selection for grain yield under drought stress in four rice breeding populations. *Field Crops Research* 107(3): 232-244.
37. Venuprasad, R., C. O Dalid, M. Del Valle, D. Zhao, M. Espiritu, M. T Sta Cruz, M. Amante, A. Kumar and G. N. Atlin. 2009. Identification and characterization of large-effect quantitative trait loci for grain yield under lowland drought stress in rice using bulk-segregant analysis. *Theoretical and Applied Genetics* 120: 177-190.
38. Vikram, P., B. P. M. Swamy, S. Dixit, R. Singh, B. P. Singh, B. Miro, A. Kohli, A. Henry, N. K. Singh and A. Kumar. 2015. Drought susceptibility of modern rice varieties: an effect of linkage of drought tolerance with undesirable traits. *Scientific Reports* 5: 14799.
39. Wassmann, R., S. V. K. Jagadish, K. Sumfleth, H. Pathak, G. Howell, A. Ismail, R. Serraj, E. Redoña, R. K. Singh and S. Heuer. 2009. Regional vulnerability of climate change impacts on Asian rice production and scope for adaptation. *Advances in Agronomy* 102: 91-133.
40. Yambao, E. B. and K. T. Ingram. 1988. Drought stress index for rice. *Philippine Journal of Crop Science* 193: 105-111.
41. Yue, B., W. Xue, L. Xiong, X. Yu, L. Luo, K. Cui, D. Jin, Y. Xing and Q. Zhang. 2006. Genetic basis of drought resistance at reproductive stage in rice: Separation of drought tolerance from drought avoidance. *Genetics* 172: 1213-1228

Archive of SID

www.SID.ir

Journal of Crop Production and Processing
Vol. 7, No. 4, Winter 2018, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Assessment of Rice Genotypes Response to Drought Stress at the early Reproductive Stage Using Stress Tolerance Indices

N. Tabkhkar[1], B. Rabiei[2*], H. Samizadeh Lahiji[3] and M. Hosseini Chaleshtori[4]

(Received: April 25-2017; Accepted: August 14-2017)

Abstract

Drought stress is one of the major abiotic stresses that limits rice productivity in the world. In this study 83 diverse rice genotypes were evaluated under reproductive-stage drought stress and non-stress conditions in a completely randomized design with three replications. Eleven well known stress tolerance and susceptibility indices were calculated based on the grain yield under stress and non-stress conditions. Also rank mean (RM) indices were calculated based on the ranks of genotypes for the former calculated indices. The highest seed yield under non-stress condition belonged to the genotypes Sangjo, Zenith, IR70445-146-3-3, Norin 22 and Ghasroldashti. Under stress condition, however, IR83750-131-1, IR74718-24-2-3, Sepidrood, TETEP and IR71739-24-3-5 genotypes showed the highest seed yield. STI, GMP, MRP and REI indices with positive and significant correlations with grain yield in stress and non-stress conditions were found to be the most suitable indices for selection of drought tolerant rice genotypes. According to these indices, IR83750-131-1, Sangjo, Sepidrood, Zenith and IR58 genotypes showed the highest ranks and had a higher tolerance to drought stress. Based on RM index, IR83750-131-1, IR74718-24-2-3, Sepidrod, TETEP and IR74720-13-1-2 obtained the highest ranks. Cluster analysis grouped the most drought tolerant genotypes in the second cluster.

Keywords: Abiotic stress, Grain yield, Rice, Stress index

1, 2, 3. PhD. Student and Professors, Respectively, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran.
4. Assistant Professor, Rice Research Institute of Iran (RRII), Agriculture Research Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran.
*. Corresponding Author, Email: rabiei@guilan.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir