دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

"مقاله پژوهشی"

ارزیابی رفتار مورفولوژیکی برخی از ژنوتیپ‌های برنج تحت تنش خشکی

آرام پاشا[۱]، نادعلی بابائیان جلودار[۲]، نادعلی باقری[۳] و حمید نجفی زرینی[۴]

۱- دانشجوی دکتری، مهندسی ژنتیک و ژنتیک مولکولی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۲ و ۴- استاد و دانشیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۳- دانشیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، (نویسنده مسوول: n.bagheri@sanru.ac.ir)
تاریخ دریافت: ۹۸/۳/۲۲ تاریخ پذیرش: ۹۸/۶/۹
صفحه: ۱۴۲ تا ۱۵۰

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: تنش خشکی محدودیت عمده‌ای برای تولید و ثبات عملکرد محصولات زراعی می‌باشد. تجزیه و تحلیل صفات زایشی و پاسخ آنها به خشکی می‌تواند برای شناسایی ژنوتیپ‌های برنج متحمل به خشکی مفید باشد. هدف از این مطالعه، ارزیابی رفتار مورفولوژیکی برخی از ژنوتیپ‌های برنج تحت شرایط محیطی متفاوت در مرحله زایشی بود.

مواد و روش‌ها: این مطالعه در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری بصورت آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملا تصادفی در سال زراعی۱۳۹۷ انجام گرفت. فاکتورهای آزمایش شامل ژنوتیپ‌های برنج (IR64 حساس به خشکی و ژنوتیپ‌های Dinorado و Moroberecan متحمل به خشکی) و شرایط محیطی (آبیاری نرمال و آبیاری مجدد) بودند.

یافته‌ها: تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ژنوتیپ، شرایط محیطی و اثر متقابل ژنوتیپ × شرایط محیط برای صفات مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری دارد که بیانگر این امر می‌باشد که ژنوتیپ‌های برنج مورد مطالعه در شرایط محیطی مختلف، رفتار متفاوتی دارند. مقایسه ضرایب همبستگی ساده بین صفات مختلف ژنوتیپ‌های برنج تحت آبیاری نرمال نشان داد که عملکرد با تعداد پنجه (r = ۰/۹۷) همبستگی مثبت و معنی‌داری دارد. اما تحت تنش خشکی عملکرد با تعداد پنجه (r = −۰/۶۹) همبستگی منفی و با صفات طول برگ پرچم، طول و وزن خوشه، تعداد خوشه‌چه اولیه و ثانویه، تعداد دانه پر در خوشه و درصد باروری خوشه همبستگی مثبت و معنی‌داری داشته است. نتایج حاصل از رگرسیون گام‌به‌گام برای توجیه تغییرات عملکرد ژنوتیپ‌های برنج بر اساس صفات مورفولویکی مورد مطالعه تحت شرایط آبیاری نرمال صفات تعداد پنجه، وزن صددانه و تعداد خوشه‌چه ثانویه و در شرایط تنش خشکی صفات تعداد دانه پر در خوشه و وزن خوشه را به‌عنوان مهمترین صفات تبیین‌کننده تغییرات معرفی نمودند. مقایسه ضرایب مسیر عملکرد و اجزای عملکرد نشان داد که تحت شرایط آبیاری نرمال تعداد پنجه (۰/۶۵۲)، اما تحت شرایط تنش خشکی صفت تعداد دانه پر در خوشه (۱/۵۱۳) بیشترین اثر مستقیم را روی عملکرد داشتند. به‌طوریکه در تنش خشکی بیشترین ضریب همبستگی را صفت تعداد دانه پر در خوشه با عملکرد دانه (r = ۰/۹۳۱) نشان داد.

نتیجه‌گیری: بطورکلی ژنوتیپ IR64 تحت تاثیر تنش خشکی برای صفات عملکرد و اجزای عملکرد (نظیر طول خوشه، وزن خوشه، تعداد دانه پر در خوشه و درصد باروری خوشه) کاهش بیشتری نسبت به ژنوتیپ‌های متحمل نشان داد.

واژه‌های کلیدی: برنج، شرایط محیطی، روش‌های آماری چندمتغیره، عملکرد

مقدمه

آب در حال حاضر یک کالای کمیاب در بسیاری از نقاط جهان است و پیش‌بینی تغییرات آب و هوایی، وضعیت کمبود آب در آینده را تشدید می‌کند. کمبود آب سبب از دست‌رفتن محصولات کشاورزی در سراسر جهان می شود و به‌همین دلیل خطر جدی برای کشاورزی پایدار است. برنج (*Oryza sativa* L.) نقش مهمی در غذای اصلی بیش از سه میلیارد نفر از مصرف‌کننده آن دارد که حدود ۵۰ تا ۸۰ درصد کالری مصرف روزانه خود را از آن دریافت می‌کنند (۹). خشکی بیش از ۲۳ میلیون هکتار از مزارع برنج تحت آبیاری در آسیا را مورد تهدید قرار می‌دهد. پیش‌بینی می‌شود که افزایش تقاضای جهانی برای غذا، باعث افزایش قابل ملاحظه‌ای در میزان تولید محصولات کشاورزی در این مناطق شود (۱۱) که با کاهش منابع آب برای کشاورزی در سراسر جهان، نیاز به اصلاح سازگاری به خشکی در برنج و دستیابی به ارقام متحمل در برابر آن، به‌طور فزاینده‌ای اهمیت می‌یابد (۱۷).

ارزیابی تغییرات مورفولوژیکی ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش آبی مختلف یک پیش‌شرط مهم برای برنامه اصلاحی موفق در تحمل به خشکی است. تنش خشکی به‌شدت بر تولید برنج تاثیر می‌گذارد. برنج، یک گونه زراعی حساس به خشکی محسوب می‌شود. در بین ژنوتیپ‌های این گونه، حساسیت نسبت به این استرس محیطی تفاوت‌های وجود دارد و در مراحل مختلف رشدی در واکنش به تنش خشکی، ژنوتیپ‌ها تغییرات مورفولوژیکی متفاوتی را نشان می‌دهند (۴). این تغییرات شامل کاهش ارتفاع بوته، لوله‌ای‌شدن برگ، پیری برگ، بستن روزنه، کاهش طویل‌شدن برگ و تولید ماده خشک کمتر می‌باشد (۱۰). با این‌حال، حساسیت برنج به تنش خشکی یا تنش آب با زمان، مدت زمان، شدت تنش خشکی، تنوع و مرحله رشد برنج متفاوت است (۲۰). تنش خشکی باعث کاهش رشد و نمو برنج می‌شود زیرا با توجه به کاهش فشار تورژسانس تحت استرس، رشد سلولی به‌شدت کاهش می‌یابد (۲۳). خشکی همچنین طویل‌شدن و گسترش رشد سلول را تحت تأثیر قرار می‌دهد و مانع بزرگ‌شدن سلول قبل از تقسیم سلولی می‌شود (۷). بسیاری از محققین گزارش دادند که تنش خشکی باعث کاهش جوانه زنی بذر (۲۱)، ارتفاع گیاه (۲۰)، وزن گیاه (۸) و تعداد پنجه (۲) در برنج می‌شود. فاروق و همکاران (۶) اظهار داشتند که خشکی به‌طور معنی‌داری وزن تازه و خشک گیاه را کاهش می‌دهد. لذا خسارت جانبی ناشی از تنش خشکی، کاهش تولید بیوماس می‌باشد.

فاروق و همکاران (۶) اظهار داشتند که عوارض جانبی ناشی از خشکی کاهش تولید بیوماس است. همچنین مشخص شد که خشکی به‌طور معنی‌داری وزن تازه و خشک گیاه را کاهش می‌دهد (۸).

با این‌حال، تاثیر تنش خشکی بر تغییرات مختلف مورفوفیزیولوژیکی در ارقام برنج به‌طور قابل‌توجهی متفاوت است (۱۰) که اهمیت مطالعه ژنتیکی برنج را برای تحمل به خشکی مشخص می‌کند. از سوی دیگر، پاسخ به استرس زیست‌محیطی در گیاهان پیچیده و چندگانه است و عملکرد بسیاری از ژن‌های القاشده تاکنون بطور دقیق مشخص نشده است. به‌دلیل این پیچیدگی، انتخاب و اصلاح ژنوتیپ‌های متحمل در برابر خشکی بسیار دشوار است (۲۴). بنابراین برای داشتن ژنوتیپ‌های برنج متحمل به تنش خشکی لازم است که مطالعه‌ای با استفاده ژنوتیپ‌های برنج در شرایط محیطی متفاوت انجام گیرد که به‌طور واضح ژنوتیپ‌های حساس به خشکی را از ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی مشخص نماید (۲۲). تنش خشکی به‌خاطر مصرف انرژی در حفظ پتانسیل آب گیاه، سبب کاهش عملکرد می‌شود. بنابراین تجزیه و تحلیل صفات زایشی و پاسخ آنها به خشکی می‌تواند برای شناسایی ژنوتیپ‌های برنج متحمل به خشکی مفید باشد (۱۷). با این‌حال، اصلاح انواع برنج متحمل در برابر خشکی ضروری است تا تقاضای غذای آینده برای جمعیت اضافه‌شده کشور را برآورده سازد. بنابراین هدف از این مطالعه، ارزیابی رفتار مورفولوژیکی برخی از ژنوتیپ‌های برنج تحت شرایط محیطی متفاوت در مرحله زایشی بود.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری بصورت آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملا تصادفی در سه تکرار و در سال زراعی۱۳۹۷ انجام گرفت. فاکتورهای آزمایش شامل ژنوتیپ‌های برنج (IR64 حساس به خشکی و ژنوتیپ‌های Dinorado و Moroberecan متحمل به خشکی) و سطوح شرایط محیطی (آبیاری نرمال و آبیاری مجدد) بودند.

مواد گیاهی

بذر ژنوتیپ‌های برنج Moroberekan، Dinorado (متحمل به خشکی) و IR64 (حساس به خشکی) (۱۴) از آزمایشگاه بیوتکنولوژی گیاهی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری تهیه شد. برای جوانه‌زنی، بذرها به‌مدت سه روز در دمای ۲۷ درجه سانتی‌گراد روی کاغذ صافی مرطوب درون پتری دیش نگهداری شدند. بذرهای جوانه‌زده به خاک منتقل شدند و ۲۱ روز در سینی‌های ۴ لیتری پرورش یافتند (۱۹). سپس هر سه گیاه به یک گلدان حاوی ۷ گیلوگرم خاک مخلوط با ۷/۵ گرم آمونیوم سولفات، ۱/۵ گرم پتاسیم کلراید (KCl) و ۱/۵ گرم سدیم فسفات (NaH_2PO_4) منتقل شد. یک ماه (۳۰ روز) پس از نشاءکاری، ۷/۵ گرم آمونیوم سولفات دیگر نیز اضافه شد. گیاهان تا زمان رسیدگی (از فروردین تا مرداد ماه) در شرایط گلخانه‌ای نگهداری شدند.

شرایط محیطی

الف – آبیاری نرمال: گلدان‌ها دو بار در روز آبیاری شدند تا حالت غرقابی آنها حفظ شود (۱۳).

ب- آبیاری مجدد: یک روز بعد از تنش خشکی (تنش خشکی سه روز پیش از ظهور خوشه با خالی‌کردن آب سطحی گلدان‌ها آغاز گردید و آبیاری به‌مدت سه روز متوقف شد، این مرحله با استفاده از فاصله‌ی میان گوشوارکی برگ پرچم با برگ ما قبل آن و موقعیت خوشه درون غلاف برگ پرچمی مشخص شد و پنجه‌های این مرحله برای هر ژنوتیپ نشانه‌گذاری شدند) آبیاری همانند حالت آبیاری نرمال انجام گرفت (۱۴). وضعیت آب گیاهان با اندازه‌گیری محتوای آب نسبی برگ پرچمی و دمگل هر روز صبح در طی تنش خشکی و مراحل اولیه آبیاری مجدد طبق رابطه زیر بررسی گردید (۱۵). براساس مطالعات انجام‌شده گیاهان برنج در شرایط آبیاری نرمال محتوای آب نسبی برگ پرچم و دمگل ۹۰ درصد و ۷۵ درصد، تنش خشکی محتوی آب نسبی برگ پرچم و دمگل در آخرین روز تنش به‌ترتیب حدود ۴۰ درصد و ۵۰ درصد و آبیاری مجدد، آب نسبی برگ پرچم و دمگل یک روز پس از آبیاری مجدد به‌ترتیب در حدود ۵۰ درصد و ۶۵ درصد) صورت گرفت.

محتوای آب نسبی (٪) =
[(وزن خشک − وزن آماس کرده) / (وزن خشک − وزن تازه)] × ۱۰۰

با توجه به تفاوت ژنوتیپ‌ها از نظر زمان گلدهی و رسیدن، اعمال تیمار تنش خشکی و برداشت برنج در تاریخ‌های متفاوت انجام گرفت. برای اندازه‌گیری صفات مورفولوژیکی در هر دو سطح تیمار تنش جهت دوری از هرگونه اشتباه، خوشه انتخاب شده با اتیکت مشخص شد. اندازه‌گیری صفات بر اساس دستورالعمل سیستم استاندارد ارزیابی برنج انجام گرفت (۵). صفات مورد اندازه‌گیری شامل تعداد پنجه، طول برگ پرچم، طول و وزن خوشه، تعداد خوشه چه اولیه و ثانویه، تعداد دانه پر و پوک در خوشه، درصد باروری خوشه، وزن صد دانه و عملکرد تک بوته (میانگین ۳ بوته) می‌باشد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها شامل تجزیه واریانس، مقایسات میانگین، همبستگی (به منظور تعیین میزان رابطه، نوع و جهت رابطه بین دو متغیر)، رگرسیون گام به گام، تجزیه مسیر (برای شناسایی اثرات مستقیم و غیرمستقیم صفات موثر بر عملکرد) و تجزیه به مولفه‌های اصلی (برای تلخیص تعداد زیادی از متغیرها در تعداد محدودی از عامل‌ها) می‌باشند، با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام گرفت. مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس صفات مختلف نشان داد که ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در ارزیابی گلخانه‌ای تحمل به تنش خشکی تفاوت معنی‌داری با هم دارند. اثر شرایط محیطی نیز برای صفات مورد مطالعه (به جز ارتفاع بوته) تفاوت معنی‌داری داشت. همچنین اثر متقابل ژنوتیپ × شرایط محیط برای صفات مورد مطالعه به جز صفات تعداد پنجه، تعداد خوشه چه اولیه و ثانویه و وزن صد دانه معنی‌دار بود که نشان می‌دهد ژنوتیپ‌های مورد بررسی در ارزیابی تحمل به تنش خشکی عکس‌العمل متفاوتی در شرایط محیطی مختلف داشتند (جدول ۱).

مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ‌های برنج و سطوح متفاوت تنش خشکی برای صفت تعداد پنجه معنی‌دار نبود. از آنجایی که اعمال تنش خشکی ۳ روز قبل از ظهور خوشه انجام می‌گیرد، لذا انتظار می‌رود که ژنوتیپ‌ها از لحاظ ژنتیکی تعداد پنجه کافی را داشته باشند. بنابراین صفت تعداد پنجه تحت تاثیر تنش قرار نخواهد گرفت. اما ژنوتیپ‌ها از نظر تعداد پنجه با هم تفاوت معنی‌داری دارند بطوریکه ژنوتیپ IR64 (شاهد حساس) بطور متوسط ۲۰/۳۳ عدد پنجه داشته که بیشتر از ژنوتیپ‌های Dinorado ($\bar{y}$ = ۷/۳ عدد) و Moroberekan ($\bar{y}$ = ۷/۰ عدد) می‌باشد (جدول ۲).

ژنوتیپ‌های Dinorado و Moroberekan طول برگ پرچم بلندتری (به ترتیب با میانگین ۵۱/۶۷ و ۵۲/۸ سانتی‌متر) در شرایط آبیاری نرمال نسبت به ژنوتیپ IR64 ($\bar{y}$ = ۳۵/۲ سانتی‌متر) داشتند، اما در اثر تنش خشکی ژنوتیپ IR64 کاهش طول برگ پرچم بیشتری (۴۰/۴۵ درصد) را نسبت به ژنوتیپ‌های شاهد متحمل یعنی Dinorado (۱۱/۶۳ درصد) و Moroberekan (۱۵/۲۸ درصد) نشان داد (جدول ۲).

از نظر طول خوشه ژنوتیپ‌های Dinorado ($\bar{y}$ = ۳۷/۸ سانتی‌متر) و Moroberekan ($\bar{y}$ = ۳۵/۹ سانتی‌متر) در شرایط آبیاری نرمال طول خوشه بلندتری نسبت به ژنوتیپ IR64 ($\bar{y}$ = ۲۷/۷۳ سانتی‌متر) داشتند اما تحت تاثیر تنش خشکی IR64 درصد کاهش طول خوشه بیشتری (۲۵/۷۱ درصد) را نسبت به ژنوتیپ‌های متحمل داشته است. وزن خوشه نیز در ژنوتیپ‌های Dinorado (به ترتیب $\bar{y}$ = ۵/۱۱ و $\bar{y}$ = ۲/۲۲ گرم در شرایط آبیاری نرمال و مجدد) و Moroberekan (به ترتیب $\bar{y}$ = ۴/۴۳ و $\bar{y}$ = ۱/۶۴ گرم در شرایط آبیاری نرمال و مجدد) بیشتر از ژنوتیپ IR64 ($\bar{y}$ = ۲/۴۲ و $\bar{y}$ = ۰/۵۸ گرم در شرایط آبیاری نرمال و مجدد) می‌باشد. با توجه به اینکه ژنوتیپ‌های Dinorado و Moroberekan طول خوشه بلندتری نسبت به IR64 داشتند این انتظار نیز می‌رود که وزن خوشه بیشتری هم داشته باشند. در اثر تنش خشکی کاهش وزن خوشه در هر سه ژنوتیپ بیش از ۵۰ درصد بود، منتها رقم حساس IR64 درصد کاهش وزن خوشه بیشتری (۷۶/۰۳ درصد) داشت (جدول ۲).

از نظر تعداد خوشه چه اولیه و ثانویه ژنوتیپ‌های Dinorado و Moroberekan در شرایط آبیاری نرمال تعداد بیشتری نسبت به ژنوتیپ IR64 داشتند و با توجه به طول خوشه بلندتر این ژنوتیپ‌ها نسبت به IR64 این انتظار قابل پیش‌بینی بود، منتها درصد کاهش این صفات تحت تاثیر تنش خشکی در هر سه ژنوتیپ آنقدر نبوده که اختلاف معنی‌داری را نشان دهد. با این وجود درصد کاهش این صفات در رقم حساس IR64 بیشتر از دو ژنوتیپ دیگر می‌باشد (جدول ۲).

تعداد دانه پر در خوشه از صفات مهم و از اجزای عملکرد در برنج می‌باشد. این صفت در ژنوتیپ Dinorado (۲۲۵/۶۶ = $\bar{y}$ عدد) بیشتر از ژنوتیپ‌های Moroberekan (۱۴۲/۶ = $\bar{y}$ عدد) و IR64 (۹۳/۳۲ = $\bar{y}$ عدد) در شرایط آبیاری نرمال می‌باشد. تحت شرایط تنش خشکی (آبیاری مجدد) ژنوتیپ IR64 حدود ۲ برابر کاهش تعداد دانه پر در خوشه (۷۵/۷۲ درصد) نسبت به ژنوتیپ‌های متحمل Dinorado و Moroberekan داشته است. از لحاظ تعداد دانه پوک در خوشه، در شرایط آبیاری نرمال ژنوتیپ Dinorado ($\bar{y}$ = ۳۵/۳۳ عدد) نسبت به دو ژنوتیپ دیگر تعداد دانه پوک در خوشه بیشتری داشت. ژنوتیپ IR64 در شرایط آبیاری نرمال تعداد دانه پوک کمتری ($\bar{y}$ = ۱۷/۶۶ عدد) داشته ولی در شرایط تنش خشکی تعداد دانه پوک در خوشه به شدت در هر سه ژنوتیپ زیاد شد که این افزایش تعداد دانه پوک در ژنوتیپ IR64 بیشتر بود. درصد باروری خوشه در شرایط آبیاری نرمال برای هر سه ژنوتیپ حدود ۸۶ درصد بود اما تحت تاثیر تنش خشکی (آبیاری مجدد) کاهش درصد باروری خوشه در ژنوتیپ حساس IR64 بسیار بیشتر (۷۱/۳۴ درصد) از ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی بود (جدول ۲).

صفت وزن صد دانه در شرایط آبیاری نرمال در ژنوتیپ Moroberekan ($\bar{y}$ = ۳/۱۰ گرم) بیشتر از IR64 (۲/۴۲ = $\bar{y}$ گرم) و Dinorado ($\bar{y}$ = ۱/۷۲ گرم) می‌باشد. به عبارتی ژنوتیپ Dinorado دارای دانه‌های ریزتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌های مورد مطالعه می‌باشد. درصد کاهش این صفت تحت تنش معنی‌دار نبوده اما در ژنوتیپ‌های IR64 و Dinorado (بطور متوسط ۱۶ درصد) بیشتر از ژنوتیپ Moroberekan (۱۱/۶۱ درصد) می‌باشد.

عملکرد بوته در شرایط آبیاری نرمال در ژنوتیپ IR64 ($\bar{y}$ = ۳۶/۴۰ گرم) بیشتر از ژنوتیپ‌های Dinorado (۲۲/۱۵ = $\bar{y}$ گرم) و Moroberekan ($\bar{y}$ =۱۵/۵۸ گرم) می‌باشد. با توجه به این که IR64 یک ژنوتیپ پاکوتاه، پر پنجه و با عملکرد بالا می‌باشد این نتیجه قابل پیش‌بینی بود. اما تحت تنش خشکی ژنوتیپ Moroberekan (شاهد متحمل) نسبت به IR64 و Dinorado کاهش عملکرد کمتری نشان داد (جدول ۲).

ضرایب همبستگی ساده بین صفات

همبستگی بین صفات در اصلاح نباتات از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد، زیرا این همبستگی‌ها ممکن است اصلاحگر را در گزینش غیر مستقیم برای صفات مهم از طریق صفات کم اهمیت که اندازه‌گیری آنها آسانتر است، کمک نماید (۱). مقایسه ضرایب همبستگی ساده بین صفات مختلف ژنوتیپ‌های برنج تحت آبیاری نرمال نشان داد که عملکرد با تعداد پنجه (r = ۰/۹۷) همبستگی مثبت و معنی‌داری دارد (جدول ۳). لذا ژنوتیپ IR64 (شاهد حساس) تحت آبیاری نرمال به دلیل داشتن تعداد پنجه بیشتر از عملکرد بوته بیشتری برخوردار می‌باشد. اما عملکرد بوته با صفات طول برگ پرچم، طول خوشه، وزن خوشه، تعداد خوشه چه اولیه و درصد باروری خوشه در شرایط آبیاری نرمال برای ژنوتیپ‌های برنج مورد مطالعه همبستگی منفی و معنی‌داری را نشان داد. از آنجایی که IR64 یک ژنوتیپ پاکوتاه، پر پنجه و پر محصول می‌باشد (جدول ۲) و در مقایسه با دو ژنوتیپ دیگر از نظر صفات فوق مقادیر کمتری را دارد، عملکرد بوته در این ژنوتیپ بیشتر تحت تاثیر صفت تعداد پنجه می‌باشد.

تحت تنش خشکی روابط همبستگی بین صفات برخلاف شرایط نرمال بود. بطوریکه عملکرد با تعداد پنجه (r = −۰/۶۹) همبستگی منفی و با صفات طول برگ پرچم،

طول خوشه، وزن خوشه، تعداد خوشه چه اولیه و ثانویه، تعداد دانه پر در خوشه و درصد باروری خوشه همبستگی مثبت و معنی‌داری داشته است (جدول ۳). ضرایب همبستگی رابطه خطی بین متغیرها را نشان می‌دهند، با توجه به نتایج ضرایب همبستگی ساده بین صفات مورد مطالعه می‌توان بیان کرد که در شرایط تنش خشکی (آبیاری مجدد) ژنوتیپ IR64 که از تعداد پنجه بیشتری برخوردار است (جدول ۲) درصد کاهش عملکرد بیشتری دارد. با توجه به اینکه صفات طول برگ پرچم، طول و وزن خوشه، تعداد خوشه چه اولیه و ثانویه، تعداد دانه پر در خوشه و درصد باروری خوشه همبستگی مثبت و معنی‌دار بالایی با عملکرد بوته دارند این صفات تاثیر بسزایی در تحمل به تنش خشکی را خواهند داشت به‌طوری‌که ژنوتیپ‌های Dinorado و Moroberekan که از لحاظ صفات فوق مقادیر بیشتری نسبت به ژنوتیپ IR64 دارند و تعداد پنجه کمتری داشتند نسبت به تنش خشکی متحمل تر بودند. به نظر می‌رسد ژنوتیپ‌هایی با تعداد پنجه بیشتر نظیر IR64، در مواجهه با تنش خشکی پتانسیل لازم برای خروج مناسب خوشه از غلاف برگ پرچم و داشتن تعداد دانه پر در خوشه بیشتر را نداشته باشند (۸).

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در ژنوتیپ‌های برنج تحت تنش خشکی

Table 1. Analysis of variance of studied traits in rice genotypes under drought stress

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات										
		تعداد پنجه	طول برگ پرچم (سانتی‌متر)	طول خوشه (سانتی‌متر)	وزن خوشه (گرم)	تعداد خوشه چه اولیه	تعداد خوشه چه ثانویه	تعداد دانه پر در خوشه	تعداد دانه پوک در خوشه	باروری خوشه (٪)	وزن صد دانه (گرم)	عملکرد (تک بوته)
ژنوتیپ	۲	۷۲/۳۵۵**	۸۵۱/۴۸**	۲۱۶/۶۷**	۷/۴۴**	۱۱۳/۱۶**	۷۵۸/۲۲**	۲۳۷۸۴/۳۹**	۲۶۴/۶۶**	۷۵۶/۹۶**	۲/۷۰۹**	۱۰۹/۲۰۵**
شرایط محیطی	۱	۲۲^{ns}/۰	۴۰۰/۴۴**	۱۳۲/۸۴**	۲۸/۳۲**	۲۶/۸۹**	۱۸۶/۸۹**	۲۳۴۷۲/۲۲**	۹۶۶۰/۵۰**	۶۳۸۲/۹۹**	۰/۵۶۵**	۸۹۷/۶۰۶**
ژنوتیپ × تنش	۲	/۰۵۶ ۰	۲۷/۵۲**	۵/۴۷*	۰/۴۹۸*	۰/۳۸۹^{ns}	۲/۸۹^{ns}	۱۹۵/۳۸**	۶۲/۰**	۵۹۵/۴۳**	۰/۰۰۵^{ns}	۱۹۹/۶۰**
خطا	۱۲	/۷۲۲ ۰	۱/۹۳	۱/۸۹	۰/۱۱۱	۱/۰	۲/۱۶۷	۵/۶۱۱	۴/۸۸۹	۱/۳۲	۰/۰۰۵	۰/۷۹۷**
ضریب تغییرات (٪)		/۲۷ ۱۳	۶/۳۸	۴/۵	۱۳/۹۱	۶/۸۱	۶/۹۵	۱۲/۹۷	۱۲	۸/۱۶	۶/۲۷	۱۲/۱۵

** و * : به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۱ و ۵ درصد؛ ns: عدم معنی‌دار

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ‌های برنج و تنش خشکی برای صفات مورد مطالعه

Table 2. Comparison of mean interactions of rice genotypes and drought stress for studied traits

ژنوتیپ	تنش	تعداد پنجه	طول برگ پرچم (سانتی‌متر)	طول خوشه (سانتی‌متر)	وزن خوشه (گرم)	تعداد خوشه چه اولیه	تعداد خوشه چه ثانویه	تعداد دانه پر در خوشه	تعداد دانه پوک در خوشه	درصد باروری خوشه	وزن صد دانه (گرم)	عملکرد (تک بوته)
IR64	آبیاری نرمال	†۲۰/۳۳^{a}	۳۵/۲۰^{c}	۲۷/۷۳^{c}	۲/۴۲^{c}	۱۰/۶۶^{d}	۲۴/۳۳^{c}	۹۳/۳۳^{c}	۱۷/۶۶^{f}	۸۴/۰۹^{b}	۲/۴۲^{c}	۳۶/۴۰^{a}
	تنش خشکی	۲۰/۰^{a}	۲۰/۹۶^{d}	۲۰/۶۰^{d}	۰/۵۸^{e}	۸/۳۳^{e}	۱۸/۳۳^{d}	۲۲/۶۶^{e}	۷۱/۳۴^{b}	۲۴/۱^{f}	۲/۰۱^{d}	۸/۹۸^{f}
	کاهش یا افزایش (٪)	۱/۶۲	۴۰/۴۵	۲۵/۷۱	/۰۳ ۷۶	۲۱/۸۵	۲۴/۶۶	۷۵/۷۲	۳۰۳/۹۶	۷۱/۳۷	۱۶/۹۴	۷۵/۳۲
Dinorado	آبیاری نرمال	۷/۳^{b}	۵۱/۶۷^{a}	۳۷/۸۰^{a}	۵/۱۱^{a}	۱۹/۶۷^{a}	۴۶/۰۰^{a}	۲۲۵/۶۶^{a}	۳۵/۳۳^{d}	۸۶/۴۵^{a}	۱/۷۲e	۲۲/۲۵^{b}
	تنش خشکی	۷/۰^{b}	۴۵/۶۶^{b}	۳۲/۰^{b}	۲/۲۲^{d}	۱۶/۶۶^{b}	۳۸/۰۰^{b}	۱۴۱/۳۳^{b}	۷۷/۰^{a}	۶۴/۷۲^{c}	۱/۴۳f	۵/۴۷^{d}
	کاهش یا افزایش (٪)	۴/۱۱	۱۱/۶۳	۱۵/۳۴	/۵۵ ۵۶	۱۵/۳۰	۱۷/۳۹	۳۷/۳۷	۱۱۷/۹۴	۲۵/۱۳	۱۶/۸۶	۷۵/۴۱
Moroberekan	آبیاری نرمال	۷/۰^{b}	۵۲/۸۰^{a}	۳۵/۹۰^{a}	۴/۴۳^{b}	۱۴/۳۳^{c}	۴۲/۰^{b}	۱۴۲/۶^{b}	۲۳/۰۰^{e}	۸۶/۱۲^{b}	۳/۱۰^{a}	۱۷/۵۸^{c}
	تنش خشکی	۶/۶۶^{b}	۴۴/۷۳^{b}	۳۲/۵۳^{b}	۱/۶۴^{d}	۱۲/۳۴^{d}	۳۶/۶۶^{b}	۸۱/۰۰^{d}	۶۶/۶۷^{c}	۵۴/۸۶^{e}	۲/۷۴^{b}	۱۰/۷۴^{e}
	کاهش یا افزایش (٪)	۴/۸۵	۱۵/۲۸	۹/۳۸	/۹۷ ۶۲	۱۳/۸۸	۱۲/۷۱	۴۳/۱۹	۱۸۹/۸۶	۳۶/۲۹	۱۱/۶۲	۳۸/۹

†: در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند از لحاظ آزمون چند دامنه ای دانکن ($p< ۰/۰۵$) اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

جدول ۳- ضرایب همبستگی ساده بین صفات مختلف ژنوتیپ‌های برنج تحت آبیاری نرمال (بالای قطر) و تنش خشکی (پایین قطر)
Table 3. Simple correlation coefficients of different traits of rice genotypes under normal irrigation (above diameter) and drought stress (low diameter)

صفات	تعداد پنجه	طول برگ پرچم (سانتی‌متر)	طول خوشه (سانتی‌متر)	وزن خوشه (گرم)	تعداد خوشه چه اولیه	تعداد خوشه چه ثانویه	تعداد دانه پر در خوشه	تعداد دانه پوک در خوشه	درصد باروری خوشه	وزن صد دانه (گرم)	عملکرد (تک بوته)
۱	۱	-۰/۹۸۲**	-۰/۹۴۴**	-۰/۹۱۸**	-۰/۷۷۴*	-۰/۹۵۸**	-۰/۷۶۹*	-۰/۶۹۹*	-۰/۷۶۳*	-۰/۰۱۳	۰/۹۶۸**
۲	-۰/۹۸۴**	۱	۰/۹۳۳**	۰/۸۷۵**	۰/۷۱۵*	۰/۹۴۲**	۰/۷۳۹*	۰/۶۶۸*	۰/۷۴۳*	۰/۰۳۴	-۰/۹۶۱**
۳	-۰/۹۶۲**	۰/۹۷۹**	۱	۰/۸۶۸**	۰/۸۵۴**	۰/۹۶۶**	۰/۸۵۸**	۰/۷۵۱*	۰/۸۷۳**	-۰/۱۶۷	-۰/۸۹۰**
۴	-۰/۸۹۳**	۰/۹۱۸**	۰/۸۵۰**	۱	۰/۸۹۵**	۰/۹۳۲*	۰/۸۶۶**	۰/۸۶۷**	-۰/۶۳۶	-۰/۲۴۶	-۰/۸۴۲**
۵	-۰/۸۰۴**	۰/۸۴۱*	۰/۷۹۰*	۰/۹۶۹**	۱	۰/۸۵۹**	۰/۹۷۳**	۰/۹۴۹**	۰/۶۷۰*	-۰/۵۶۶	-۰/۶۳۶
۶	-۰/۹۸۳**	۰/۹۹۵**	۰/۹۷۱**	۰/۹۴۰*	۰/۸۷۲**	۱	۰/۸۶۶**	۰/۷۹۴*	۰/۸۰۹**	-۰/۱۷۴	-۰/۹۰۳**
۷	-۰/۸۴۳**	۰/۸۷۵*	۰/۸۲۵**	۰/۹۵۲**	۰/۹۷۰**	۰/۸۸۸**	۱	۰/۹۶۸**	۰/۶۸۱*	-۰/۶۲۲	-۰/۶۱۰
۸	-۰/۰۴۵	۰/۰۷۲	-۰/۰۵۳	۰/۳۷۷	۰/۴۸۸	۰/۱۰۱	۰/۴۹۸	۱	۰/۴۹۱	-۰/۶۸۵*	-۰/۵۳۴
۹	-۰/۹۵۹*	۰/۹۷۶**	۰/۹۴۷**	۰/۹۵۷**	۰/۹۲۳**	۰/۹۸۰**	۰/۹۵۵	۰/۲۴۲	۱	-۰/۰۴۸	-۰/۷۱۹*
۱۰	-۰/۰۸۵	۰/۰۲۴	۰/۰۹۱	-۰/۲۷۰	-۰/۴۳۹	۰/۰۰۴	-۰/۴۵۳	-۰/۸۸۳**	-۰/۱۷۲	۱	-۰/۲۲۶
۱۱	-۰/۶۹۵*	۰/۷۴۸*	۰/۷۱۶*	۰/۸۲۹**	۰/۸۷۲**	۰/۷۴۹*	۰/۹۳۱**	۰/۵۵۳	۰/۸۳۹**	-۰/۵۸۱	۱

رگرسیون گام به گام

نتایج حاصل از رگرسیون گام به گام برای توجیه تغییرات عملکرد ژنوتیپ‌های برنج بر اساس صفات مورفولویکی مورد مطالعه تحت شرایط آبیاری نرمال (جدول ۴)، سه صفت تعداد پنجه، وزن صد دانه و تعداد خوشه چه های ثانویه را بعنوان مهمترین صفات تبیین کننده (R^2 = ۹۸/۸) کل تغییرات عملکرد معرفی نمود. با توجه به ضریب رگرسیون استاندارد شده ی تعداد پنجه (۰/۶۴۹) بار دیگر رابطه مثبت تعداد پنجه و عملکرد مشاهده شد. همچنین با توجه به ضرایب رگرسیون استاندارد شده‌ی وزن صد دانه (۰/۲۷۵-) و تعداد خوشه‌چه‌های ثانویه (۰/۳۲۹-) رابطه منفی این صفات و عملکرد مشاهده می‌شود. لذا ژنوتیپی که تعداد پنجه بیشتر و وزن صد دانه کمتری داشته همانند ژنوتیپ IR64 میزان عملکرد بوته بیشتری خواهد داشت.

نتایج حاصل از رگرسیون گام به گام برای توجیه تغییرات عملکرد ژنوتیپ‌های برنج بر اساس صفات مورفولویکی مورد مطالعه تحت شرایط تنش خشکی (جدول ۵)، صفات تعداد دانه پر در خوشه و وزن خوشه را بعنوان مهمترین صفات تبیین‌کننده (R^2 = ۹۰/۲) کل تغییرات عملکرد دانه معرفی نمود. با توجه به ضریب رگرسیون استاندارد شده ی تعداد دانه پر در خوشه (۱/۵۲۰) رابطه مثبت تعداد دانه پر در خوشه و عملکرد بوته تحت تنش خشکی مشاهده شد. همچنین ضریب رگرسیون استاندارد شده‌ی برای صفت وزن خوشه منفی بود زیرا وزن خوشه علاوه بر محور خوشه شامل گلچه‌های پر و پوک می‌باشد که در مواجهه با خشکی تعداد دانه پوک افزایش می‌یابد. لذا ژنوتیپی که تعداد دانه پر در خوشه بیشتری داشته همانند Moroberekan از کاهش عملکرد کمتری تحت تاثیر تنش خشکی خواهد داشت.

تجزیه مسیر

مقایسه ضرایب مسیر عملکرد و اجزای عملکرد (صفاتی که در مدل رگرسیونی قرار گرفتند) تحت شرایط آبیاری نرمال نشان داد که تعداد پنجه بیشترین اثر مستقیم (۰/۶۵۲) را روی عملکرد داشته است. اثر غیرمستقیم صفت تعداد پنجه از طریق صفات تعداد خوشه چه ثانویه و وزن صد دانه بالا بوده بطوریکه همبستگی این صفت با عملکرد r = ۰/۹۶۸ بدست آمد (جدول ۶). اثرات باقیمانده ($1 - R^2$ = ۰/۱۱۱) پایین بوده که نشان می‌دهد صفات مورد مطالعه به خوبی توانستند تغییرات عملکرد را توجیح نمایند. صفت تعداد خوشه چه ثانویه که تحت آبیاری نرمال برای ژنوتیپ‌های مورد مطالعه همبستگی منفی و معنی‌داری نشان داد، در تجزیه ضرایب مسیر مشخص شد که این صفات اثر غیر مستقیم منفی و بالایی با تعداد پنجه داشت. در واقع از بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه تحت شرایط آبیاری نرمال ژنوتیپ IR64 که از عملکرد بالایی برخوردار بود عمدتا بخاطر داشتن تعداد پنجه بیشتر (حدود چهار برابر) در مقایسه با ژنوتیپ‌های Dinorado و Moroberekan بوده است.

مقایسه ضرایب مسیر عملکرد و اجزای عملکرد (صفاتی که در مدل رگرسیونی قرار گرفتند) تحت شرایط تنش خشکی نشان داد که تعداد دانه پر در خوشه بیشترین اثر مستقیم (۱/۵۱۳) را روی عملکرد داشته است. اثر مستقیم مثبت و بالای این صفت توسط اثر غیر مستقیم وزن خوشه خنثی شده بطوریکه همبستگی این صفت با عملکرد r = ۰/۹۶۸ بدست آمد (جدول ۷). همچنین اثرات باقیمانده ($1 - R^2$ = ۰/۳۱۳) پایین بوده که نشان می‌دهد صفات مورد مطالعه به خوبی توانستند تغییرات مربوط عملکرد را تحت تنش خشکی توجیح نمایند.

تجزیه به مولفه‌های اصلی

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه به مولفه های اصلی در ژنوتیپ های برنج بر اساس ۱۱ صفت مورفولوژیکی در شرایط آبیاری نرمال (جدول ۸) تعداد ۲ مولفه معرفی شدند که در مجموع ۹۴/۱۷۱ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه نمودند. بر اساس مولفه اول که ۷۷/۰۸۱ درصد از تغییرات را توجیه می کند صفات طول برگ پرچم، طول خوشه، وزن خوشه، تعداد خوشه چه اولیه و ثانویه، تعداد دانه پر و پوک در خوشه

در جهت مثبت و تعداد پنجه، درصد باروری خوشه و عملکرد بوته در جهت منفی نقش داشتند (جدول ۹). لذا این مولفه را می توان مولفه خوشه در نظر گرفت. در مولف دوم که ۱۷/۰۹ درصد از تغییرات را توجیه می کند صفت وزن صد دانه در جهت منفی نقش داشت. لذا این مولفه را می توان مولفه وزن صد دانه نام‌گذاری نمود.

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه به مولفه های اصلی در ژنوتیپ‌های برنج در شرایط تنش خشکی (جدول ۸) تعداد ۲ مولفه معرفی شدند که در مجموع ۹۶/۴۲ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه نمودند. بر اساس مولفه اول که ۷۵/۴۹ درصد از تغییرات را توجیه می‌کند صفت تعداد پنجه در جهت منفی و سایر صفات بجزء وزن صد دانه در جهت مثبت نقش داشتند (جدول ۹). لذا این مولفه را می‌توان مولفه تعداد دانه پر در خوشه در نظر گرفت. در مولف دوم که ۲۰/۹۴ درصد از تغییرات را توجیه می‌کند صفت تعداد دانه پوک در خوشه در جهت مثبت و صفت وزن صد دانه در جهت منفی نقش داشتند. لذا این مولفه را می توان مولفه وزن صد دانه نام‌گذاری نمود.

جدول ۴- رگرسیون گام به گام جهت گزینش صفات تبیین‌کننده تغییرات عملکرد در ژنوتیپ‌های برنج تحت آبیاری نرمال
Table 4. Stepwise regression for selection of traits explaining the variation of yield in rice genotypes under normal irrigation

متغیر وابسته (y)	مرحله	متغیر مستقل	میانگین مربعات رگرسیون	ضریب رگرسیون استاندارد شده	ضریب تبیین درصد (R^2)	
					نسبی	تجمعی
عملکرد	۱	تعداد پنجه (x_1)	۵۴۴/۴۷**	۰/۶۴۹	۰/۹۳۷	۰/۹۳۷
	۲	وزن صد دانه (x_{10})	۲۸۵/۴۸**	– ۰/۲۷۵	۰/۰۴۶	۰/۹۸۳
	۳	تعداد خوشه چه ثانویه (x_6)	۱۹۱/۳۳**	– ۰/۳۲۹	۰/۰۰۵	۰/۹۸۸
مدل پیشنهادی		$\hat{y} = 35.55 + 0.964\ (X_1) - 0.275\ (X_{10}) - 0.329\ (X_6)$				

**: معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد

جدول ۵- رگرسیون گام به گام جهت گزینش صفات تبیین کننده تغییرات عملکرد در ژنوتیپ‌های برنج تحت تنش خشکی
Table 5. Stepwise regression for selection of traits explaining the variation of yield in rice genotypes under drought stress

متغیر وابسته (y)	مرحله	متغیر مستقل	میانگین مربعات رگرسیون	ضریب رگرسیون استاندارد شده	ضریب تبیین درصد (R^2)	
					نسبی	تجمعی
عملکرد	۱	تعداد دانه پر در خوشه (x_7)	۴۰/۰۴۵**	۱/۵۲۰	۸۶/۶	۸۶/۶
	۲	وزن خوشه (x_4)	۲۰/۸۵**	–۰/۶۱۹	۳/۶	۹۰/۲
مدل پیشنهادی		$\hat{y} = 8.44 + 1.520\ (X_7) - 0.619\ (X_4)$				

**: معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد

جدول ۶- اثرات مستقیم (روی قطر) و غیر مستقیم صفات مختلف روی عملکرد دانه تحت شرایط آبیاری نرمال
Table 6. Direct (diagonal) and indirect effects of various traits on grain yield normal irrigation condition

صفات	۱–تعداد پنجه	۲–تعداد خوشه چه ثانویه	۳–وزن صد دانه (گرم)	عملکرد (تک بوته)
۱	۰/۶۵۲	۰/۳۱۱	۰/۰۰۳	۰/۹۶۸**
۲	–۰/۶۲۶	–۰/۳۲۶	۰/۰۴۷	–۰/۹۰۳**
۳	–۰/۰۰۹	۰/۰۵۶	–۰/۲۷۵	–۰/۲۲۶**
اثرات باقیمانده= ۰/۱۱۱				

جدول ۷- اثرات مستقیم (روی قطر) و غیر مستقیم صفات مختلف روی عملکرد دانه تحت شرایط تنش خشکی
Table 7. Direct (diagonal) and indirect effects of various traits on grain yield drought stress condition

صفات	۱–وزن خوشه (گرم)	۲–تعداد دانه پر در خوشه	عملکرد (تک بوته)
۱	–۰/۶۱۲	۱/۴۴	۰/۸۳۹**
۲	–۰/۵۸۳	۱/۵۱۳	۰/۹۳۱**
اثرات باقیمانده= ۰/۳۱۳			

جدول ۸- مقادیر ویژه، درصد واریانس و درصد واریانس تجمعی مربوط به مولفه های اصلی در ژنوتیپ های برنج در تحت شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی
Table 8. Specific values, percentage of variance and percentage of cumulative variance related to the main components of rice genotypes under normal irrigation and drought stress conditions

	مولفه	مقادیر ویژه	درصد واریانس	درصد واریانس تجمعی
آبیاری نرمال	۱	۸/۴۷۹	۷۷/۰۸۱	۷۷/۰۸۱
	۲	۱/۸۸۰	۱۷/۰۹۰	۹۴/۱۷۱
تنش خشکی	۱	۸/۳۰۴	۷۵/۴۹۳	۷۵/۴۹۳
	۲	۲/۳۰۲	۲۰/۹۳۶	۹۶/۴۱۹

جدول ۹- تجزیه به مولفه های اصلی در ژنوتیپ های برنج در تحت شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی

Table 9. Principal components analysis in rice genotypes under normal irrigation and drought stress conditions

صفات	آبیاری نرمال		تنش خشکی	
	مولفه		مولفه	
	۱	۲	۱	۲
۱.تعداد پنجه	-۰/۹۵۱	۰/۲۷۹	-۰/۹۲۹	۰/۳۳۱
۲. طول برگ پرچم	۰/۹۲۷	-۰/۳۱۰	۰/۹۵۴	-۰/۲۸۶
۳. طول خوشه	۰/۹۷۲	-۰/۱۲۳	۰/۹۱۵	۰/۳۷۱
۴. وزن خوشه	۰/۹۵۱	۰/۰۲۱	۰/۹۷۵	۰/۰۳۶
۵. تعداد خوشه چه اولیه	۰/۶۲۰	۰/۳۴۵	۰/۹۵۴	۰/۲۰
۶. تعداد خوشه چه ثانویه	۰/۹۸۴	-۰/۱۰۴	۰/۹۶۳	۰-/۲۶۱
۷. تعداد دانه پر در خوشه	۰/۹۲۲	۰/۳۷۹	۰/۹۷۸	۰/۱۹۹
۸. تعداد دانه پوک در خوشه	۰/۸۵۹	۰/۴۸۳	۰/۳۳۴	۰/۸۹۷
۹. درصد باروری خوشه	-۰/۷۹۸	۰-/۲۱۹	۰/۹۹۲	-۰/۰۹۹
۱۰. وزن صد دانه	-۰/۲۴۷	-۰/۹۵۳	-۰/۲۶۲	-۰/۹۴۵
۱۱. عملکرد	-۰/۸۶۷	۰/۴۷۶	۰/۸۸۴	۰/۳۴۲

با توجه به تولید ۷۵ درصدی برنج در مزارعی که به صورت غرقابی آبیاری می‌شوند، می‌توان گفت که خشکی در برنج مهمترین عامل محدود کننده تولید در سطح جهان است (۱۶). در مقایسه با آبیاری نرمال، تنش خشکی روی صفات وزن خوشه، تعداد دانه پر و پوک در خوشه و عملکرد بوته نسبت به سایر صفات مورد مطالعه تاثیر بیشتری داشته بطوریکه این صفات بیشترین درصد کاهش/ افزایش را نشان دادند (۱۰). طول برگ پرچم در فتوسنتز و ذخیره مواد در دانه تاثیر بسزایی دارد و کاهش طول و یا بعبارتی کاهش سطح آن روی کاهش عملکرد بوته تاثیر خواهد گذاشت (۲۳). هر چه طول خوشه بلندتر باشد تعداد دانه در خوشه نیز بیشتر خواد بود. کاهش طول خوشه تاثیر زیادی روی تعداد دانه پر در خوشه گذاشته و در نتیجه عملکرد بوته کاهش بیشتری خواهد داشت. تنش خشکی در مرحله گلدهی و گرده افشانی باعث کاهش شدید عملکرد از طریق عقیمی دانه و کاهش تعداد دانه بارور می شود چرا که در شرایط تنش خشکی رشد زایشی گیاه بیشتر به ذخایر برگ و ساقه وابسته است و عدم تشکیل مناسب دانه می تواند به دلیل ناکافی بودن مواد فتوسنتزی در زمان گرده افشانی، پر شدن دانه و یا قبل از آن باشد (۱۲). بطورکلی ژنوتیپ IR64 (شاهد حساس) تحت تاثیر تنش خشکی برای صفات عملکرد و اجزای عملکرد (نظیر طول خوشه، وزن خوشه، تعداد دانه پر در خوشه و درصد باروری خوشه) کاهش بیشتری نسبت به ژنوتیپ‌های متحمل نشان داد.

مقایسه ضرایب همبستگی در دو شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی نشان داد که روابط بین متغییرها با عملکرد بوته در دو شرایط متفاوت می‌باشد بطوریکه در حالت آبیاری نرمال صفت تعداد پنجه و در شرایط تنش خشکی تعداد دانه پر در خوشه بیشترین همبستگی را با عملکرد بوته داشتند. مقایسه ضرایب مسیر نیز این نتایج را تایید کرد. ضمنا تجزیه رگرسیون نیز نشان داد که ژنوتیپی که تعداد پنجه بیشتر و وزن صد دانه کمتری دارد نظیر ژنوتیپ IR64 در حالت آبیاری نرمال عملکرد بیشتری خواهد داشت. اما در حالت تنش خشکی ژنوتیپ‌هایی که تعداد دانه پر در خوشه بیشتری دارند عملکرد بوته آنها بیشتر خواهد بود.

پیشنهاد می‌شود برای تولید و معرفی ارقامی که در مقابل تنش خشکی خسارت کمتر ببینند بایستی صفات طول برگ پرچم، طول خوشه، وزن خوشه، تعداد خوشه چه اولیه و ثانویه، تعداد دانه پر در خوشه و درصد باروری خوشه مد نظر قرار گیرند تا در مواجهه با تنش خشکی خسارت کمتری ایجاد شود. رقم کاملاً متحمل به خشکی وجود ندارد ولی با روش‌های اصلاحی می‌توان ارقام و لاین‌هایی تولید کرد که خسارت کمتری داشته باشند.

منابع

1. Amooghli-Tabari, M., G. Nouri Ganbalani, S.A. Fathi, A. Moumeni, A. Razmjou and A.R. Nabipour. 2015. Mass screening of different rice genotypes to rice striped stem borer, Chilo suppressalis Walker (Lep: Pyralidae), under the field condition. Journal of Entomological Society of Iran, 35(2): 49-61.
2. Bunnag, S. and P. Pongthai. 2013. Selection of rice (Oryza sativa L.) cultivars tolerant to drought stress at the vegetative stage under field conditions. American Journal of Plant Science, 4(9): 1701-1708.
3. Farooq, M., N. Kobayashi, O. Ito, A. Wahid and R. Serraj. 2010. Broader leaves result in better performance of indica rice under drought stress. Journal of Plant Physiology, 167(13): 1066-1075.
4. Henry, A., R. Wehler, A. Grondin, R. Franke and M. Quintana. 2016. Environmental and physiological effects on grouping of drought tolerant and susceptible rice varieties related to rice (*Oryza sativa*) root hydraulics under drought. Annals of Botany, 118(4): 711-724.
5. IRRI. 2002. Standard Evaluation System for Rice. International Rice Research Institute, Manila Philippines, 1-56 pp.
6. Farooq M., N. Kobayashi, O. Ito, A. Wahid and R. Serraj. 2010. Broader leaves result in better performance of indica rice under drought stress. Journal of Plant Physiology, 167(13): 1066-1075

7. Jaleel, C.A., P. Manivannan, A. Wahid, M. Farooq, H.J. Al-Juburi, R. Somasundaram and R. Panneerselvam. 2009. Drought stress in plants: A review on morphological characteristics and pigments composition. International Journal of Agricultural Biology, 11: 100-105.
8. Ji, K.X., Y.Y. Wang, W.N. Sun, Q.J. Lou, H.W. Mei, S.H. Shen and H. Chen. 2012. Drought responsive mechanisms in rice genotypes with contrasting drought tolerance during reproductive stage. Journal of Plant Physiology, 169(4): 336-344.
9. Khush, G.S. 2005. What it will take to feed 5.0 billion rice consumers in 2030. Plant Molecular Biology, 59(1): 1-6.
10. Kumar, R., K. Sreenu, N. Singh, N. Jain, N.K. Singh and V. Rai. 2015. Effect of drought stress on contrasting cultivars of rice. International Journal of Tropical Agriculture, 33(2): 1559-1564.
11. Kumbhar, S.D., P.L. Kulwal, J.V. Patil, C.D. Sarawate, A.P. Gaikwad and A.S. Jadhav. 2015. Genetic diversity and population structure in landraces and improved rice varieties from India. Rice Science, 22(3): 99-107.
12. Limouchi, K., M. Yarnia, A. Siyadat, V. Rashidi, A. Guilani. 2016. Assessing Performance of Some Aerobic Rice Genotypes for Grain Yield and Yield Components under Water Defcit Conditions in the north of Khuzesan, Applied Field Crops Research, 29(4): 15-18 (In Persian).
13. Liu, J., M. Raveendran, R. Mushtaq, X. Ji, X. Yang, R. Bruskiewich, S. Katiyar, S. Cheng, R. Lafitte and J. Bennett. 2004. Proteomic analysis of drought-responsiveness in rice: OsADF5. Proceedings of the International Congress "In the Wake of the Double Helix: From the Green Revolution to the Gene
14. Liu, J.X. and J. Bennett. 2011. Reversible and Irreversible Drought-Induced Changes in the Anther Proteome of Rice (*Oryza sativa* L.) Genotypes IR64 and Moroberekan. Molecular Plant, 4(1): 59-69.
15. Liu, J.X., D.Q. Liao, R. Oane, L. Estenor, X.E. Yang, Z.C. Li and J. Bennett. 2006. Genetic variation in the sensitivity of anther dehiscence to drought stress in rice. Field Crops Research, 97: 87-100.
16. MacLean, J.L., D.C. Dawe, B. Hardy and P.G. Hettel. 2002. Rice Almanac, third ed. IRRI, Los Banos, Philippines, 253 pp.
17. Pandey, V. and A. Shukla. 2015. Acclimation and tolerance strategies of rice under drought stress. Rice Science, 22(4): 147-161.
18. Sarkar, R.K., K.R. Mahata and D.P. Singh. 2013. Differential responses of antioxidant system and photosynthetic characteristics in four rice cultivars differing in sensitivity to sodium chloride stress. Acta Physiology of Plant, 35(10): 2915-2926.
19. Shobbar, S., R. Oane, R. Gamuyao, J. de Palma, M.A .Malboobi, G. Karimzadeh, M. Jalali Javaran, and J. Bennett. 2008. Abscisic acid regulates gene expression in cortical fiber cells and silica cells of rice shoots. New Phytol, 178(1): 68-79.
20. Sokoto, M.B. and A. Muhammad. 2014. Response of rice varieties to water stress in Sokoto, Sudan Savannah, Nigeria. Journal of Bioscience Med, 2: 68-74.
21. Swain, P., M. Anumalla, S. Prusty, B.C. Marnd and G.J.N. Rao. 2014. Characterization of some Indian native land race rice accessions for drought tolerance at seedling stage. Australian Journal of Crop Science, 8(3): 324-331.
22. Swamy, B.P.M. and A. Kumar. 2012. Sustainable rice yield in water-short drought-prone environments: Conventional and molecular approaches. In: Lee T S. Irrigation Systems and Practices in Challenging Environments. German: InTech, 149-168.
23. Taiz, L. and E. Zeiger. 2006. Plant Physiology.4th Edition. Sinauer Associates, Inc., Sunderland, PP. 690.
24. Tirado, R. and J. Cotter. 2010. Ecological farming: Drought-resistant agriculture. In: Erwood S, Truchi N, Stabinsky D. Greenpeace Research Laboratories Technical Note. Amsterdam, Netherland: the Netherlands Greenpeace International, 1-16.

Evaluation of Morphological Behavior of Some Rice Genotypes under Drought Stress

Aram Pasha[1], Nadali Babaeian Jelodar[2], Nadali Bagheri[3] and Hamid Najafi Zarrini[4]

1- PhD Student, Genetic Engineering and Molecular Genetics of Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
2 and 4- Professor and Associate Professor, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University,
3- Associate Professor, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University,
(Corresponding Author: n.bagheri@sanru.ac.ir)
Received: June 12, 2019 Accepted: August 31, 2019

Abstract

Introduction and Objective: Drought stress is a major constraint for the production and stability of crop yields. Analysis of reproductive traits and their response to drought can be useful to identify drought tolerant rice genotypes. The aim of this study was to evaluate the morphological behavior of some rice genotypes under different environmental conditions in the reproductive stage.

Materials and Methods: This study was conducted in greenhouse of Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, a factorial experiment based on a completely randomized design in 2018. The experimental factors included rice genotypes (IR64, drought sensitive and Dinorado and Moroberecan, drought tolerant) and drought stress levels (normal irrigation and re-watering).

Results: Analysis of variance of data showed that the effect of genotype, drought stress and genotype × drought stress interaction on studied traits was significantly different, indicating that rice genotypes behave differently under different environmental conditions. Comparison of simple correlation coefficients between different traits of rice genotypes under normal irrigation showed that yield had a positive and significant correlation with tiller number (r = 0.97). However, under drought stress, yield with tiller number (r = -0.66) was negatively correlated with flag leaf length, length and weight of panicle, number of primary and secondary spikelet, number of filled grains in panicle and percentage of panicle fertility percentage were positive and significant had. The results of stepwise regression to justify the variation of yield of rice genotypes based on morphological traits under normal irrigation conditions, tiller number, 100 seed weight and Number of secondary spikelet traits, and in drought stress conditions, the number of filled grains in the panicle and panicle weight as the most important traits explaining variations seed yields. Comparison of path coefficients of yield and yield components showed that in normal irrigation conditions the number of tillers (0.652), however, under drought stress conditions; number of filled grains in panicle (1.513) had the most direct effect on yield. The highest correlation coefficient was observed in the number of filled grains in the panicle with grain yield (r = 0.931) under drought stress.

Conclusion: In general, IR64 genotype (susceptible control), under the influence of drought stress showed a significant decrease in yield and yield components (such as panicle length, panicle weight, number of filled grains in the panicle and percentage of panicle fertility percentage) than tolerant genotypes.

Key words: Environmental conditions, Multivariate statistical methods, Rice, Yield