دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

پاسخ ویژگی‌های ریشه و تسهیم ماده خشک ۴۰ ژنوتیپ اصلاح شده و بومی برنج (*Oryza sativa* L.) در شرایط کم‌آبیاری

سیده ارحامه فلاح شمسی [۱]، همت‌اله پیردشتی [۲]، علی‌اکبر عبادی [۳]، مسعود اصفهانی [۴] و محمود رائینی [۵]

۱ و ۵- دانشجوی دکتری زراعت و استاد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۲- دانشیار، پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری (نویسنده مسوول: h.pirdashti@sanru.ac.ir)
۳- استادیار و عضو هیئت علمی موسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران
۴- استاد، دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان
تاریخ دریافت: ۹۴/۱۲/۱۱ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱/۲۱

چکیده

امروزه از ویژگی‌های ریشه به‌عنوان صفات ثانویه در کنار عملکرد دانه برای بررسی پاسخ ارقام برنج در شرایط کم‌آبیاری استفاده می‌شود. از این رو جهت ارزیابی صفات ریشه ۴۰ ژنوتیپ برنج غرقابی در شرایط کم‌آبیاری، آزمایشی گلدانی به صورت فاکتوریل در سال ۱۳۹۳ در موسسه تحقیقات برنج کشور (رشت) انجام شد. تیمار آبیاری در دو سطح شاهد (آبیاری مرسوم) و کم‌آبیاری از مرحله آبستنی اعمال گردید. نتایج نشان داد که در شرایط کم‌آبیاری، طول ریشه از حدود ۴۵ به ۲۸ سانتی‌متر، سطح ریشه از ۱۹۰ به ۱۱۷ سانتی‌متر مربع و چگالی سطح ریشه نیز از شش به حدود چهار سانتی‌متر مربع بر سانتی‌متر مکعب کاهش یافتند. میانگین عملکرد شلتوک و وزن خوشه طی این شرایط نیز به ترتیب ۲۵ و ۱۸/۵ درصد کاهش نشان دادند. در شرایط کم‌آبیاری، وزن خشک ریشه کاهش و از سویی وزن خشک شاخساره نیز از ۴۲/۷ گرم در شرایط شاهد به ۴۹/۴ گرم در شرایط کم‌آبیاری افزایش یافت. گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها براساس صفات مورد مطالعه و به روش حداقل واریانس وارد در شرایط شاهد و کم‌آبیاری به ترتیب ژنوتیپ‌ها را به چهار و سه گروه تفکیک نمود. در هر دو شرایط، گروه‌هایی با عملکرد شلتوک بالاتر مقدار صفات ریشه کمتری داشتند. بر این اساس در گروه سوم ۱۹ ژنوتیپ از جمله خزر، شیرودی و گوهر در شرایط کم‌آبیاری ضمن ثبت عملکرد شلتوک بالاتر مقدار صفات ریشه کمتری داشتند. مقایسات گروهی نیز اختلاف معنی‌دار ارقام بومی نسبت به اصلاح شده را از نظر صفات وزن خشک ریشه، وزن خشک شاخساره، وزن خوشه و عملکرد شلتوک (به ترتیب حدود ۲۱+، ۱۴+، ۱۹- و ۱۴- درصد) نشان دادند. ازاین‌رو به نظر می‌رسد هرچند بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه نیز اولویت اصلاح گیاه تخصیص بیشتر ماده‌ی خشک گیاه به اندام‌های هوایی در مقایسه با ریشه بوده اما تنوع قابل ملاحظه‌ای از نظر نحوه تسهیم ماده خشک گیاه به اندام‌های مختلف در شرایط کم‌آبیاری وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: تجزیه خوشه‌ای، تسهیم ماده خشک، حجم ریشه، نسبت ریشه به زیست‌توده

مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.) در بین گیاهان زراعی بالاترین نیاز آبی، معادل نیمی از منابع آبی بخش کشاورزی در آسیا را به خود اختصاص می‌دهد. این امر در حالی است که منابع آب شیرین در حال کاهش است (۲۶) و خشکی به‌عنوان رایج‌ترین تنش غیرزیستی، مناطق عمده‌ی رویش برنج در آسیا را مورد تهدید قرار می‌دهد. تخمین زده می‌شود که ۵۰ درصد تولید جهانی برنج تحت تأثیر خشکی قرار گیرد (۱۷). استان مازندران با ۳۸/۸ درصد از ۵۶۴ هزار هکتار اراضی شالیکاری کشور رتبه نخست سطح زیرکشت را داراست و پس از آن گیلان با ۳۱/۷ درصد در جایگاه دوم کشور قرار دارد (۴). با گرم شدن هوا و تغییر اقلیم در خوشبینانه‌ترین شرایط و ثابت بودن منابع آب، نیاز به آب در بخش کشاورزی که اصلی‌ترین بخش مصرف آب را تشکیل می‌دهد، به شدت افزایش خواهد یافت. همچنین با توجه به وقوع خشک‌سالی در سال‌های اخیر در کشور که پیامد آن به صورت کاهش ذخایر آبی پشت سدها برای تأمین آب مورد نیاز برنج در استان‌های شمالی کشور است، این استان‌ها نیز از اثرات سوء کمبود آب برای زراعت برنج مصون نیستند. پیش‌بینی روند خشک‌سالی در ایران در ۳۰ سال آینده نیز حاکی از روند رو به رشد خشکسالی در کشور بوده و در همین راستا پیش‌بینی شده که طی سال‌های ۲۰۲۵، ۲۰۳۴، ۲۰۳۵ و ۲۰۳۹ در بیشتر نقاط کشور از جمله مناطق شمال‌شرق و شمال‌غرب، خشک‌سالی شدید و بسیار شدید حاکم خواهد بود (۱۶). بنابراین به نظر می‌رسد شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به کمبود آب با عملکرد بالا و استفاده از آن‌ها در مناطق مواجه با تنش، خسارت کمبود آب را به حداقل رسانده و پایداری تولید برنج را تضمین خواهد نمود. در سال‌های اخیر ویژگی‌های ریشه به‌عنوان یکی از صفات ثانویه‌ای مطرح شده است که می‌توان از آن در کنار عملکرد دانه در انتخاب ارقام برنج متحمل به تنش بهره برد (۷). زیرا در مراحل بحرانی زایشی و پر شدن دانه خصوصیات هیدرولیکی مرتبط با ریشه می‌تواند موجب سازگاری گیاه به خشکی شود. کنترل مصرف و از دست دادن آب توسط گیاه از طریق توسعه سطح برگ و کنترل گشودگی روزنه صورت می‌گیرد که هر دو فرآیند عموماً با فرآیندهای هیدرولیکی کنترل می‌شوند (۲۳). از سوی دیگر، دریافت بیشتر آب از خاک نیز، سازوکار دیگر برای تحمل به خشکی در برنج است. ازاین‌رو، بهبود شناخت برهم‌کنش کارکرد ریشه و خشکی در برنج می‌تواند اثر معنی‌داری بر امنیت جهانی غذا داشته باشد (۲۴). با نگاهی به مطالعات انجام شده در زمینه ویژگی‌های ریشه و صفات مرتبط با آن در برنج مشخص گردید که از بین بررسی‌های صورت گرفته تعدادی از آن‌ها به مطالعه

ژنوتیپ‌های آپلند (دیم) و متحمل به خشکی در شرایط رطوبتی مختلف (خشکی، کم‌آبیاری و کشت هوازی) پرداختند تا از این طریق به شناخت سازوکارهای ریشه در تحمل ژنوتیپ‌های برنج سازگار به تنش دست یابند (برای مثال: ۸). در این میان، تعدادی از مطالعات نیز به بررسی پاسخ ارقام غرقابی برنج به تنش پرداخته‌اند (برای نمونه: ۲۰ و ۱۳). بنابراین، روند پاسخ‌ها و شیوه واکنش ژنوتیپ‌ها در بررسی‌های مختلف یکسان نبوده و تقریباً به دو سری پاسخ متفاوت منتج گردید. بر اساس گزارش‌ها، برنج‌های آپلند (دیم)، سیستم ریشه‌ای طویل‌تری نسبت به برنج‌های غرقابی دارند که به دلیل عوامل محیطی اکوسیستم‌های آن‌هاست. خاک مناطق آپلند (دیم) حرکت آب را محدود نمی‌کند و با انتشار بهتر اکسیژن شرایط مطلوبی برای طویل شدن ریشه‌ها فراهم می‌کند. در حالی که در شرایط غرقابی و غیرهوازی، طویل شدن ریشه و نیز تشکیل تارهای کشنده می‌تواند مختل شود (۹). از آنجایی که ساختار و توسعه سیستم ریشه کارکرد گیاه تحت تنش را تعیین می‌کند، در بین ارقام آپلند (دیم)، ارقامی با ریشه‌های باریکتر و سیستم ریشه‌دهی عمیق‌تری تحت تنش مناسب‌ترند. از سوی دیگر در ارقام غرقابی، پژوهش‌ها به سمت غربالگری برای ریشه‌های باریکتر با نفوذ به لایه‌های عمیق‌تر خاک متمرکز شده است که به نظر می‌رسد ریشه‌های ظریف‌تر در شرایط غرقابی سبب جذب بهتر آب و عملکرد بالاتر تحت تنش می‌شوند (۱۰). در همین راستا، کاتو و همکاران (۱۴) گزارش کردند که رقم برنج غرقابی در شرایط خشکی شدید با داشتن شاخساره کوچک‌تر نسبت به حفظ پتانسیل آب بالا واکنش نشان داد. در حالی که واکنش اولیه رقم آپلند (دیم) به تنش آبی ملایم توسعه عمقی ریشه بود تا بتواند از این طریق به خارج کردن آب از خاک و حفظ سطح آب خود مبادرت ورزد. البته این عمقی شدن ریشه تحت تأثیر شدت تنش و اندازه شاخساره بوده و نقش مهمی در وضعیت آبی گیاهان در شرایط تنش دارد. در پژوهش سلطان و همکاران (۲۲) که به بررسی ارتباط بین صفات ریشه و عملکرد دانه تحت شرایط بدون تنش (آبیاری با فاصله چهار روز یکبار) و تنش خشکی (آبیاری به فاصله هر ده روز) پرداختند، مشاهده شد که بین عملکرد دانه با صفات طول ریشه، حجم ریشه، تعداد ریشه در بوته و نسبت ریشه به شاخساره همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت. در آزمایش آنان افزایش نسبت ریشه به شاخساره عمدتاً به جای این که به سبب افزایش در زیست‌توده ریشه باشد به دلیل کاهش در زیست‌توده شاخساره بود. گزارش گردید که آنزیم‌های تبدیل کننده سوکروز در تغییر نسبت ریشه به شاخساره در شرایط تنش خشکی نقش دارند و موجب فراهمی بیشتر سوکروز برای انتقال از برگ‌ها به ریشه می‌گردند. این امر به سبب افزایش میزان سوکروز فسفات سینتاز برگ و فعالیت اینورتاز ریشه روی می‌دهد که در نهایت تغییر زیست‌توده را به دنبال دارد (۲۵). با توجه به نقش ریشه‌ها در پاسخگویی گیاه به تنش، پژوهش حاضر جهت ارزیابی واکنش ویژگی‌های ریشه ژنوتیپ‌های برنج غرقابی تحت تنش کم‌آبیاری و گروه‌بندی آن‌ها طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در سال زراعی ۱۳۹۳ روی ۴۰ لاین و رقم اصلاح شده پرمحصول و بومی از ژنوتیپ‌های برنج غرقابی (جدول ۱) در دو شرایط آبیاری معمول و کم‌آبیاری اجرا شد. این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار و با ارزیابی دو عامل آبیاری و ژنوتیپ‌های برنج بود. آزمایش به صورت گلدانی زیر بارانگیر در موسسه تحقیقات برنج کشور (رشت) با طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۳۸ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۲ دقیقه شمالی و ارتفاع هفت متر از سطح دریا به اجرا گذاشته شد. برای اجرای آزمایش، از گلدان‌های پلاستیکی با قطر دهانه ۲۵ و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر و سه نشا در هر گلدان استفاده گردید. آبیاری در هر دو گروه گلدان‌های شاهد و کم‌آبیاری، تا انتهای مرحله پنجه‌زنی ارقام به طور یکسان و به صورت غرقابی انجام و در آزمایش مربوط به کم‌آبیاری، آبیاری در مرحله آبستنی (مرحله پنج، کدبندی SES[1] (۳)) به طور کامل قطع و پس از اعمال تنش (فاصله گرفتن خاک گلدان از جداره حدود پنج تا هشت سانتی‌متر)، آبیاری از سر گرفته شد (۳۰). برطبق معادله‌ای که بین میزان فاصله گرفتن خاک‌های شالیزاری از جداره گلدان و مقدار رطوبت حجمی از سوی یزدانی (۳۰) بر اساس آزمایش‌های گلدانی روی خاک‌های شالیزاری موسسه تحقیقات برنج کشور گزارش گردید، میزان رطوبت حجمی خاک محاسبه و بر اساس منحنی رطوبتی خاک میزان افت پتانسیل آبی و شدت تنش اعمال شده به صورت رابطه ۱ مشخص گردید.

$$y = 11x^2 - 38.8x + 11.3$$

در این رابطه، y: نصف فاصله خاک از جداره گلدان و x: مقدار رطوبت حجمی است. با استفاده از رابطه ذکر شده با فاصله گرفتن خاک به میزان پنج سانتی‌متر از جداره گلدان، مکش اشباعی برابر ۲۸۱ کیلوپاسکال اعمال گردید. با رسیدن فاصله خاک از جداره به حدود هشت سانتی‌متر (۹۰۰ کیلوپاسکال) به منظور جلوگیری از خسارت شدید گیاه، آبیاری گلدان‌های تنش از سر گرفته شد. گلدان‌های شاهد، به طور کامل تا انتهای دوره رسیدگی آبیاری شدند. در پایان دوره رشد گیاه، گلدان‌ها برای مدتی از آب پر شدند تا خارج کردن ریشه و اندازه‌گیری صفات ریشه راحت‌تر انجام گردد. پس از آن ریشه‌ها از گلدان خارج و با آب شسته شدند. وزن‌تر ریشه با ترازوی دقیق اندازه‌گیری و حجم ریشه از طریق اختلاف حجم ایجاد شده پس از قرار دادن در حجم مشخصی از آب محاسبه شد. در پایان وزن خشک نمونه‌ها نیز تعیین گردید. طول ریشه (سانتی‌متر)، چگالی ریشه (سانتی‌متر مربع بر سانتی‌متر مکعب)، سطح ریشه (سانتی‌متر مربع) با استفاده از رابطه‌های ۲ تا ۴ (۲) محاسبه شدند. در انتهای دوره رشد گیاه و در مرحله رسیدگی، بوته‌های هر گلدان کف‌بر شده و عملکرد شلتوک در هر گلدان، وزن خشک شاخساره و وزن خشک کل بوته (زیست‌توده) ثبت شد. نسبت وزن خشک ریشه به شاخساره و نیز نسبت وزن خشک ریشه به وزن خشک کل بوته محاسبه شد. برای تعیین وزن خشک، نمونه‌ها

1- Standard Evaluation System for Rice

به‌مدت ۴۸ ساعت در آون ۷۲ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند.

(۲) وزن ریشه ها × ۰/۸۹ = طول ریشه

(۳) (طول ریشه ÷ قطر ریشه × π) = چگالی سطح ریشه

(۴) سطح ریشه = ۲(طول ریشه × π × حجم ریشه)$^{۰/۵}$

برای تجزیه خوشه‌ای از نرم‌افزار PAST نسخه ۳/۰۵ و معیار فاصله اقلیدسی و روش حداقل واریانس وارد[1] استفاده شد (۶، ۱۲،۱۸). دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌ها بر اساس میانگین مشاهدات صفات در هر کرت برای هر دو شرایط کم‌آبیاری و شاهد رسم گردید. برای تشخیص صحیح‌ترین گروه‌بندی حاصل از تجزیه‌ای خوشه‌ای از روش تجزیه تابع تشخیص در نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶ استفاده شد (۱ و ۱۸). تجزیه و تحلیل داده‌ها نیز با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ و مقایسه میانگین تیمارها و نیز مقایسات گروهی با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک درصد انجام شد.

جدول ۱- خصوصیات ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی در آزمایش

Table 1. Characteristics of evaluated rice genotypes

شماره	ژنوتیپ	ویژگی	منشأ	شماره	ژنوتیپ	ویژگی	منشأ
۱	خزر	اصلاح شده	گیلان	۲۱	کشوری	اصلاح شده	مازندران
۲	درفک	اصلاح شده	گیلان	۲۲	شیرودی	اصلاح شده	مازندران
۳	نعمت	اصلاح شده	مازندران	۲۳	کوهسار	اصلاح شده	مازندران
۴	گوهر	اصلاح شده	گیلان	۲۴	هاشمی	بومی	گیلان
۵	صالح	اصلاح شده	مازندران	۲۵	علی کاظمی	بومی	گیلان
۶	کادوس	اصلاح شده	گیلان	۲۶	دم سیاه	بومی	گیلان
۷	تابش	اصلاح شده	مازندران	۲۷	سنگ‌جو	بومی	گیلان
۸	شفق	اصلاح شده	مازندران	۲۸	صدری	بومی	گیلان
۹	پویا	اصلاح شده	مازندران	۲۹	بینام	بومی	گیلان
۱۰	فجر	اصلاح شده	مازندران	۳۰	حسن سرائی	بومی	گیلان
۱۱	ساحل	اصلاح شده	مازندران	۳۱	حسنی ۱	بومی	گیلان
۱۲	قائم	اصلاح شده	مازندران	۳۲	دیلمانی طارم	بومی	مازندران
۱۳	جلودار	اصلاح شده	مازندران	۳۳	اهلمی طارم	بومی	مازندران
۱۴	پژوهش	اصلاح شده	مازندران	۳۴	حمر اهواز	بومی	خوزستان
۱۵	پردیس	اصلاح شده	مازندران	۳۵	چمپا اهواز	بومی	خوزستان
۱۶	زاینده‌رود	اصلاح شده	اصفهان	۳۶	عنبوری اهواز	بومی	خوزستان
۱۷	سازندگی	اصلاح شده	اصفهان	۳۷	حسنی ۲	بومی	گیلان
۱۸	دانیال	اصلاح شده	خوزستان	۳۸	گیلانه	اصلاح شده	گیلان
۱۹	هویزه	بومی	خوزستان	۳۹	۸۳۱	اصلاح شده	گیلان
۲۰	ندا	اصلاح شده	مازندران	۴۰	فیروزان	اصلاح شده	اصفهان

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که ژنوتیپ‌های مورد مطالعه پاسخ متفاوتی (P<۰/۰۱) به صفات مورد بررسی نشان دادند. علاوه بر آن تمامی صفات به جز وزن زیست‌توده به طور معنی‌داری (P<۰/۰۱) تحت تأثیر کم آبیاری قرار گرفتند. برهم‌کنش رقم و آبیاری نیز به جز صفتوزن خشک شاخساره بر تمامی صفات اثر معنی‌داری (P<۰/۰۱) داشت.

1-Ward's Minimum Variance

جدول ۲– تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در آزمایش

Table 2. Analysis of variance for studied traits

منابع تغییر	درجه آزادی	حجم ریشه	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	طول ریشه	سطح ریشه	چگالی سطح ریشه
رقم	۳۹	۸/۷۸**	**۹/۱۷۴	**۲/۴۶	۸/۱۷۱**	**۳۰/۱۶	۱/۰۸۴**
تنش	۱	۱۹۴/۱۶**	**۱۳۲/۷۵	**۷/۸۱	۱۱۸/۰۳**	**۵۵۵/۱۳	۱۵/۶۸**
رقم×تنش	۳۹	۳/۵۶**	**۳/۵۰	**۱/۰۵۴	۳/۱۲**	**۱۱/۳۱	۰/۴۱۴**
خطا	۱۶۰	۰/۷۵۸	۰/۷۶۷	۰/۰۸۴	۰/۶۸۲	۲/۴۳	۰/۰۹۱
ضریب تغییرات (درصد)		۱۲/۶۲	۱۴/۱۶	۱۳/۵۰	۱۴/۱۵	۱۳/۰۷	۱۴/۱۵
منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد شلتوک	وزن خوشه	وزن خشک شاخساره	وزن زیست‌توده	نسبت ریشه به شاخساره	نسبت ریشه به زیست‌توده
رقم	۳۹	۳/۴۹**	۲/۸۸**	۶/۴۸**	۳/۹۱**	۰/۰۲۷**	۰/۰۱۸**
تنش	۱	۳۵/۳۳**	۲۲/۱۳**	۱۱/۳۸**	۰/۳۹	۰/۳۳۸**	۰/۰۹۶**
رقم×تنش	۳۹	۰/۲۵۹**	۱/۰۸**	۰/۶۵۹	۱/۱۴۲*	۰/۰۱۸**	۰/۰۱۱**
خطا	۱۶۰	۰/۰۶۹	۰/۵۰۴	۰/۶۹۷	۰/۷۲۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲
ضریب تغییرات (درصد)		۵/۱۲	۱۲/۶۲	۱۲/۵۳	۹/۶۵	۱۷/۶۲	۱۸/۴۹

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال۵٪ و ۱٪

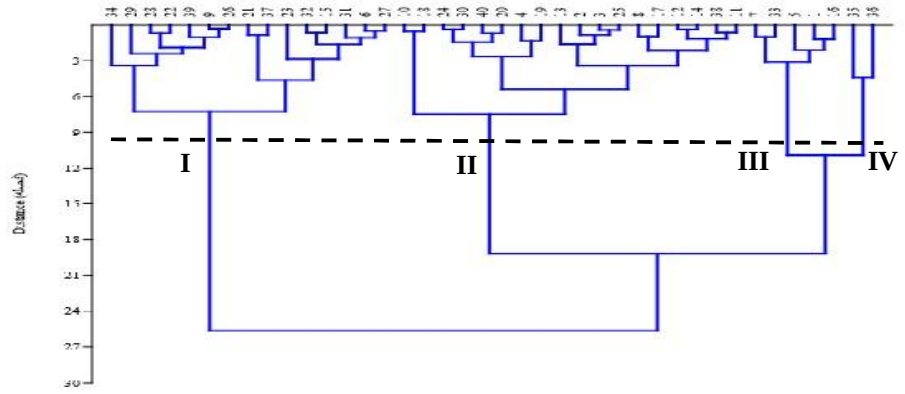
همبستگی صفات ریشه و صفات روزمینی با عملکرد شلتوک

برطبق نتایج همبستگی ساده بین صفات (جدول ۳)، عملکرد شلتوک با وزن خشک شاخساره در هر دو شرایط تنش و بدون تنش همبستگی منفی و معنی‌داری داشت، البته این ارتباط در شرایط تنش قوی‌تر بود (P<۰/۰۱). از آنجایی که انتقال مجدد و انتقال ذخایر از بافت‌های رویشی به دانه‌ها در گیاهان تک لپه مانند برنج منجر به پیری گیاه شده، از ذخایر بافت رویشی کاسته و به ازای آن به شاخص برداشت افزوده می‌شود. در شرایط تنش کمبود آب در مرحله پر شدن دانه نیز، کمک به بهبود آبگیری گیاه در شب موجب می‌گردد که فتوسنتز شدیداً تحت تأثیر قرار نگرفته و با القاء پیری زودرس در برنج، انتقال مجدد آسیمیلات‌های ذخیره شده از بافت‌های رویشی به دانه‌ها افزایش یابد (۲۷) در نتیجه افزایش در عملکرد و کاهش در وزن شاخساره روی می‌دهد. همبستگی بین عملکرد شلتوک و وزن خوشه در هر دو محیط تنش و بدون تنش مثبت و معنی‌دار و با نسبت ریشه به زیست‌توده در شرایط بدون تنش منفی و معنی‌دار (P<۰/۰۵) بود. این نتایج بیانگر آن است که با کاهش تسهیم مواد فتوسنتزی به ریشه و اولویت تخصیص به بخش‌های هوایی گیاه، عملکرد افزایش می‌یابد. بین عملکرد شلتوک و وزن خشک ریشه نیز رابطه منفی و معنی‌دار (P<۰/۰۵) در شرایط بدون تنش مشاهده گردید (جدول ۳). در پژوهش کانبار و صدری، بینام، حمر اهواز، سنگ‌جو، کادوس، حسنی ۱، پردیس، دیلمانی طارم، کوهسار، حسنی ۲ و کشوری (جدول ۵) با میانگین عملکرد حدود ۳۳ گرم در گلدان بیشترین مقدار عملکرد را به خود اختصاص دادند (جدول ۶). متوسط وزن خوشه برای این گروه ۳۶/۷ گرم ثبت شد. درحالی‌که نسبت به سایر گروه‌ها کمترین مقدار صفات ریشه از قبیل وزن تر و خشک ریشه، طول ریشه، سطح ریشه، چگالی سطح ریشه، حجم ریشه، نسبت ریشه به زیست‌توده و نسبت ریشه به شاخساره برای گروه یک به دست آمد. زیست‌توده و وزن خشک شاخساره نیز برای این گروه نسبت همکاران (۱۳) در شرایط شاهد، نسبت طول ریشه به ساقه مهم‌ترین عامل بود و پس از آن نسبت وزن ریشه به ساقه و وزن خشک ریشه اهمیت بالایی داشت. در شرایط تنش نیز مهم‌ترین ویژگی نسبت طول ریشه به ساقه گزارش گردید و بعد از آن حداکثر طول ریشه بر عملکرد شلتوک تأثیرگذار بود. نقوی و همکاران (۱۹) نیز با بررسی تنش خشکی قبل از مرحله آبستنی بر ۲۰ رقم گندم بهاره گزارش کردند که بین تمامی صفات ریشه مورد بررسی آنان شامل تعداد ریشه در بوته، طول ریشه، حجم ریشه و وزن خشک ریشه با عملکرد دانه در شرایط تنش و شاهد همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت به جز تعداد ریشه که فقط در شرایط شاهد این همبستگی را نشان داد.

گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر طبق تجزیه خوشه‌ای شرایط بدون تنش

دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای براساس صفات مورد بررسی برای محیط بدون تنش در ناحیه ۹ و ۱۲ برش‌دهی شد (شکل ۱). صحت گروه‌بندی با استفاده از آزمون تابع تشخیص صورت گرفت. نتایج این آزمون حاکی از معنی‌داری لامبدای ویلکس برای سه تابع شناسایی‌شده بود (جدول ۴). بر این اساس، ۴۰ ژنوتیپ بومی و اصلاح شده برنج در چهار گروه قرار گرفتند (شکل ۱). این چهار گروه به ترتیب ۱۵، ۱۸، ۵ و ۲ ژنوتیپ را شامل شدند. گروه یک در شرایط بدون تنش با در برگرفتن ژنوتیپ‌های دم‌سیاه، پویا، ۸۳۱، شیرودی به سایر گروه‌ها کمترین مقدار بود (جدول ۶). در شرایط بدون تنش برای گروه چهارم با دو ژنوتیپ عنبوری و چمپا اهواز نسبت به سه گروه دیگر کمترین مقدار عملکرد شلتوک، همچنین کمترین مقدار وزن خوشه با حدود ۲۳ گرم حاصل شد. درحالی‌که از نظر سایر صفات مورد بررسی، بالاترین مقدار برای گروه چهارم ثبت گردید (جدول ۶). گروه دوم و سوم از لحاظ عملکرد شلتوک با حدود ۳۱ گرم در گلدان میزان متوسطی را دارا بودند. از نظر صفات وزن خشک شاخساره، وزن خوشه، زیست‌توده و نسبت ریشه به زیست‌توده اختلاف معنی‌داری بین گروه‌های دو و سه با گروه یک وجود

نداشت و پاسخ مشابهی در شرایط بدون تنش به محیط داشتند. اما گروه دوم و سوم از لحاظ صفات حجم ریشه و وزن خشک ریشه متفاوت از گروه اول بودند (جدول ۶) که به نظر می‌رسد تفاوت در این صفات به اختلاف در عملکرد شلتوک بین گروه‌های دوم و سوم با گروه اول منجر شد.



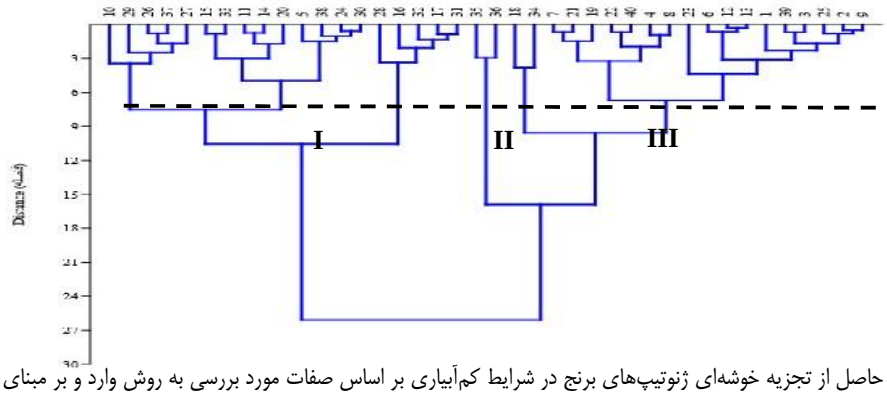
شکل ۱- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های برنج در شرایط شاهد بر اساس صفات مورد بررسی به روش وارد و بر مبنای فاصله اقلیدسی

Figure 1. Dendrogram of rice genoypes clustered analysis under non-stress condition based on studied traits using ward method and Euclidean distance

شرایط کم‌آبیاری

برش‌دهی دندروگرام به دست آمده از تجزیه خوشه‌ای در شرایط کم‌آبیاری در ناحیه ۱۲ تا ۱۵، ژنوتیپ‌ها را به سه گروه تفکیک کرد (شکل ۲). بر اساس نتایج آزمون تابع تشخیص لامبدای ویلکس برای دو تابع شناسایی شده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). گروه یک و سه هرکدام ۱۹ ژنوتیپ و گروه دوم دو ژنوتیپ را در بر گرفت (جدول ۵). از بین سه گروه ایجاد شده گروه دو شامل ارقام عنبوری و چمپا اهواز (جدول ۵) بیشترین مقدار صفات ریشه و کمترین میزان عملکرد شلتوک و وزن خوشه را داشت (جدول ۶). بررسی میانگین صفات نشان می‌دهد که در شرایط تنش، وزن خشک ریشه نسبت به شرایط بدون تنش کاهش و از سویی وزن خشک شاخساره نیز از ۴۲/۷ در شرایط شاهد به ۴۹/۴ گرم در تنش افزایش یافت (جدول ۶). افزایش وزن شاخساره و کاهش وزن خشک ریشه طبیعتاً منجر به کاهش نسبت وزن ریشه به شاخساره خواهد شد. در آزمایش اش و همکاران (۵) در تنش متوسط، تسهیم ماده خشک به نفع شاخساره بود. ولی در تنش شدید تغییر معنی‌داری در تسهیم آسیمیلات بین ریشه و شاخساره مشاهده نشده و تنش شدید به تأخیر در نمو گیاه منجر شد. در آزمایش حاضر صفات طول ریشه از حدود ۴۵ به ۲۸ سانتی‌متر، سطح ریشه از ۱۹۰ به ۱۱۷ سانتی مترمربع و چگالی سطح ریشه نیز از شش به حدود چهار سانتی‌متر مربع بر سانتی‌متر مرکعب کاهش یافتند. همچنین بر طبق نتایج، میانگین عملکرد شلتوک و وزن خوشه طی تنش به ترتیب ۲۵ و ۱۸/۵ درصد کاهش داشتند (جدول ۶). بر اساس مطالعه هنری و همکاران (۱۱) تنش خشکی در ژنوتیپ‌های برنج سبب افزایش شکل‌گیری ریشه‌های جانبی، کاهش قطر ریشه و نازک شدن ریشه‌ها گردید. همچنین تنش کم‌آبی کاهش چوب‌پنبه‌ای و فشرده شدن سلول‌های لایه اسکلرانشیم و افزایش چوب‌پنبه‌ای شدن آندودرم را به همراه داشت. این محققین این امر را به منظور پاسخ متفاوت دو لایه سلولی برای حفظ اکسیژن تحت شرایط غرقاب (لایه اسکلرانشیم) و حفظ آب تحت تنش (آندودرم) دانستند. تنش آبی در برنج، سطوح سیتوکینین را در برگ‌ها و ریشه کاهش می‌دهد. با توجه به نقش تنظیم‌کنندگی سیتوکینین در تمایز ریشه کاهش این هورمون تحت تنش، کاهش رشد ریشه را به دنبال خواهد داشت. همچنین تعداد سلول‌ها و تقسیم سلولی در اندوسپرم برنج تحت تأثیر سطوح سیتوکینین در اندوسپرم بوده و سیتوکینین (زآتین و زآتین ریبوساید) ریشه نیز نقشی محوری دارد (۲۷). سنتز سیتوکینین از طریق تنظیم متابولیسم کربن و نیتروژن بر ظرفیت مخزن برگ پرچم نیز اثر می‌گذارد (۲۱). مقدار کم این هورمون در دانه‌ها و ریشه‌ها منجر به پر شدن ضعیف خوشه‌چه‌های پایینی در خوشه می‌شود (۳۲). اثر کاهش سطوح سیتوکینین در شاخساره به کاهش سرعت پر شدن دانه و کاهش وزن دانه‌ها در رژیم تناوب خشکی و رطوبت نیز گزارش گردید (۳۱). همچنین ظهور ریشه‌های نابجا و تکثیر ریشه‌های جانبی تحت شرایط کشت هوازی کاهش می‌یابد و این امر منتج به کاهش در طول کل ریشه در این سیستم کشت می‌گردد. هدایت هیدرولیکی خاک-برگ در این شرایط نیز به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کمتر از کشت غرقابی است که به کاهش اندازه ریشه مرتبط است و این امر اثر منفی بر پتانسیل آب برگ حتی در نزدیکی شرایط اشباع خاک دارد (۱۵). براساس یافته‌ها، ژنوتیپ‌های دم‌سیاه، پویا، ۸۳۱، شیرودی، صدری، بینام، حمر اهواز، سنگ‌جو، کادوس، حسنی ۱، پردیس، دیلمانی طارم، کوهسار، حسنی ۲، کشوری که در شرایط بدون تنش عملکرد شلتوک بالایی داشتند، در

شرایط کم‌آبیاری نیز توانستند در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها عملکرد بهتری داشته باشند. اما ژنوتیپ‌های دانیال، فجر، علی‌کاظمی، نعمت، درفک، جلودار، هویزه، گوهر، ندا، فیروزان، حسن‌سرائی، هاشمی، ساحل، گیلانه، پژوهش، قائم، سازندگی، شفق که در محیط بدون تنش عملکرد متوسطی برای آن‌ها ثبت گردید، پس از اعمال کم‌آبیاری، با ژنوتیپ‌های متحمل از لحاظ آماری در گروه مشابه قرار گرفتند. درحالی‌که از بین پنج رقم مورد مطالعه از خوزستان در این آزمایش، ارقام چمپای اهواز و عنبوری اهواز در هر دو محیط کمترین عملکرد را داشتند. براساس نتایج مقایسات گروهی، کم‌آبیاری سبب کاهش ۲۷ درصدی عملکرد شلتوک ارقام بومی و ۲۱ درصدی ژنوتیپ‌های اصلاح شده گردید. در شرایط شاهد عملکرد شلتوک ارقام بومی حدود ۷ درصد کمتر از ژنوتیپ‌های اصلاح شده بود. اما در شرایط تنش کم‌آبیاری این کاهش نسبت به ژنوتیپ‌های اصلاح شده به حدود ۱۴ درصد رسید. وزن خشک شاخساره ارقام بومی و نیز ژنوتیپ‌های اصلاح شده در اثر تنش به‌طور معنی‌داری ($P>0/01$) افزایش یافت. همچنین در شرایط کم‌آبیاری وزن زیست‌توده به‌طور غیرمعنی‌داری بیشتر شد. سایر صفات مورد بررسی در آزمایش تحت‌تأثیر شرایط کم‌آبیاری، در ارقام بومی و اصلاح شده کاهش یافتند. در شرایط شاهد، ارقام بومی و اصلاح شده پاسخ متفاوتی به صفات وزن خشک ریشه، وزن خشک شاخساره، عملکرد شلتوک، نسبت ریشه به شاخساره و نسبت ریشه به زیست‌توده نشان دادند. درحالی‌که در شرایط کم‌آبیاری، ارقام بومی نسبت به ارقام اصلاح شده از نظر صفات وزن خشک ریشه، وزن خشک شاخساره، وزن خوشه و عملکرد شلتوک (به ترتیب حدود ۲۱+، ۱۴+، ۱۹– و ۱۴– درصد) اختلاف داشتند (جدول ۷). ارقام بومی در شرایط بدون تنش از نسبت ریشه به شاخساره و ریشه به زیست‌توده (به ترتیب حدود ۱۳ و ۲۸ درصد) بیشتری در قیاس با ارقام اصلاح شده برخوردار بودند. اما در شرایط تنش کم‌آبیاری، این افزایش از لحاظ آماری معنی‌دار نبود. به نظر می‌رسد ارقام بومی با تغییر در تسهیم ماده خشک توانستند سازگاری بهتری با شرایط کم‌آبیاری داشته باشند.



شکل ۲– دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های برنج در شرایط کم‌آبیاری بر اساس صفات مورد بررسی به روش وارد و بر مبنای فاصله اقلیدسی

Figure 2. Dendrogram of rice genoypes cluster analysis under deficit irrigation based on studied traits using ward method and Euclidean distance

جدول ۴– آزمون تابع تشخیص با استفاده از لامبدای ویلکس

Table 4. Discriminant function analysis using by Wilks' Lambda

آزمون تابع (ها)	لامبدای ویلکس	کای اسکور	درجه آزادی	معنی‌داری
شکل ۱ (شاهد)				
تابع اول از درون تابع سوم	۰/۰۱۷	۱۳۰/۵۷۵	۳۰	۰/۰۰۰
تابع دوم از درون تابع سوم	۰/۲۶۳	۴۲/۷۲۰	۱۸	۰/۰۰۱
تابع سوم	۰/۶۱۴	۱۵/۵۸۸	۸	۰/۰۴۹
شکل ۲ (کم‌آبیاری)				
تابع اول از درون تابع دوم	۰/۰۲۳	۱۲۲/۳۶۰	۲۰	۰/۰۰۰
تابع دوم	۰/۴۱۱	۲۸/۹۰۷	۹	۰/۰۰۱

جدول ۵- گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های برنج بر اساس صفات مورد بررسی

Table 5. Rice genotyps groups clusterd based on studied traits

گروه‌ها	تعداد اعضا	شاهد
یک	۱۵	دم‌سیاه، پویا، ۸۳۱، شیرودی، صدری، بینام، حمر اهواز، سنگ‌جو، کادوس، حسنی ۱، پردیس، دیلمانی طارم، کوهسار، حسنی ۲، کشوری
دو	۱۸	دانیال، فجر، علی‌کاظمی، نعمت، درفک، جلودار، هویزه، گوهر، ندا، فیروزان، حسن‌سرائی، هاشمی، ساحل، گیلانه، پژوهش، قائم، سازندگی، شفق
سه	۵	زاینده‌رود، خزر، صالح، اهلمی طارم، تابش
چهار	۲	چمپا اهواز، عنبوری اهواز
گروه‌ها	تعداد اعضا	کم‌آبیاری
یک	۱۹	سنگ‌جو، حسنی۲، دم‌سیاه، بینام، فجر، حسن‌سرائی، هاشمی، گیلانه، صالح، ندا، پژوهش، ساحل، اهلمی طارم، پردیس، حسنی ۱، سازندگی، دیلمانی طارم، زاینده‌رود، صدری
دو	۲	چمپا اهواز، عنبوری اهواز
سه	۱۹	حمر اهواز، دانیال، شفق، گوهر، فیروزان، شیرودی، هویزه، کشوری، تابش، پویا، درفک، علی‌کاظمی، نعمت، ۸۳۱، خزر، جلودار، قائم، کادوس، کوهسار

جدول ۶- مقایسه میانگین بین گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای

Table 6. Mean comparison of studied traits between clustered groups

گروه‌ها		۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
I	شاهد	۳۳/۳a	۳۶/۶b	۳۶/۷a	۷۳/۲b	۰/۱۰c	۰/۰۵b	۴۵/۸d	۳۲/۵c	۳/۳d	۲۸/۹c	۱۲۸/۵c	۳/۹c
II		۳۰/۵b	۴۳/۲b	۳۷/۱a	۸۰/۸b	۰/۱۴c	۰/۰۷b	۶۲/۶c	۴۹/۵bc	۵/۷c	۴۴/۱bc	۱۸۵/۷bc	۵/۹bc
III		۳۰/۶b	۴۴/۵b	۳۶/۰a	۸۰/۵b	۰/۲۰b	۰/۱۰b	۸۳/۸b	۷۶/۷b	۸/۵b	۶۸/۳b	۲۷۱/۲b	۹/۱b
IV		۲۲/۴c	۷۹/۳a	۲۲/۹b	۱۰۲/۲a	۰/۳۷a	۰/۲۶a	۱۴۷/۵a	۱۳۵/۳a	۲۵/۵a	۱۲۰/۴a	۴۸۴/۵a	۱۶/۰a
میانگین محیط		۳۱/۲	۴۲/۷	۳۶/۱	۷۹/۰	۰/۱۴	۰/۰۸	۶۳/۲	۵۰/۸	۶/۱	۵۴/۲	۱۸۹/۹	۶/۰
I	کم‌آبیاری	۲۳/۳a	۴۰/۷c	۲۸/۳a	۶۹/۷c	۰/۰۶c	۰/۰۳c	۲۴/۰c	۲۰/۲c	۲/۲c	۱۸/۰c	۷۲/۹c	۲/۴c
II		۱۶/۱b	۹۲/۳a	۲۵/۷a	۱۲۴/۲a	۰/۱۸a	۰/۱۲a	۹۹/۵a	۸۹/۹a	۱۵/۷a	۸۰/۰a	۳۱۸/۶a	۱۰/۷a
III		۲۴/۱a	۵۳/۵b	۳۱/۰a	۸۳/۴b	۰/۱۱b	۰/۰۷b	۴۷/۰b	۳۷/۶b	۵/۵b	۳۳/۵b	۱۳۸/۸b	۴/۵b
میانگین محیط		۲۳/۴	۴۹/۴	۲۹/۴	۷۸/۹	۰/۰۹	۰/۰۵	۳۸/۷	۳۲/۰	۴/۵	۲۸/۴	۱۱۶/۵	۳/۸

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

۱: عملکرد شلتوک (گرم در گلدان)، ۲: وزن خشک شاخساره (گرم)، ۳: وزن خوشه (گرم در گلدان)، ۴: زیست‌توده (گرم در گلدان)، ۵: نسبت ریشه به شاخساره، ۶: نسبت ریشه به زیست‌توده، ۷: حجم ریشه (سانتی‌متر مکعب)، ۸: وزن تر ریشه (گرم)، ۹: وزن خشک ریشه (گرم)، ۱۰: طول ریشه (سانتی‌متر)، ۱۱: سطح ریشه (سانتی‌متر مربع)، ۱۲: چگالی سطح ریشه (سانتی‌مترمربع بر سانتی‌متر مکعب)

جدول ۷- مقایسه میانگین گروهی صفات مورد بررسی در آزمایش بین ارقام بومی و اصلاح شده

Table 7. Group mean comparison of studied traits between local and improved genotypes

گروه‌ها	حجم ریشه (سانتی‌متر مکعب)	وزن تر ریشه (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم)	طول ریشه (سانتی‌متر)	سطح ریشه (سانتی‌متر مربع)	چگال سطح ریشه (سیانتی‌متر مربع بر سانتی‌متر مکعب)
ارقام بومی در برابر ارقام اصلاح شده در شرایط شاهد	(+۴/۵) ns	(+۱۰/۳) ns	(+۳۳/۵) **	(+۱۰/۳) ns	(+۸/۹) ns	(+۱۰/۳) ns
ارقام بومی در برابر ارقام اصلاح شده در شرایط کم-آبیاری	(+۴/۳) ns	(+۸/۲) ns	(+۲۱/۱) *	(+۸/۲) ns	(+۵/۷) ns	(+۸/۲) ns
ارقام اصلاح شده در شرایط کم‌آبیاری در برابر ارقام اصلاح شده شرایط شاهد	(−۳۸/۵) **	(−۳۵/۶) **	(−۲۲/۸) **	(−۳۵/۶) **	(−۳۷/۲) **	(−۳۵/۶) **
ارقام بومی در شرایط کم‌آبیاری در برابر ارقام بومی در شرایط شاهد	(−۳۸/۶) **	(−۳۶/۸) **	(−۳۰/۰) **	(−۳۶/۸) **	(−۳۹/۰) **	(−۳۶/۸) **
گروه‌ها	وزن خشک شاخساره (گرم)	نسبت ریشه به شاخساره	نسبت ریشه به زیست‌توده	وزن خوشه (گرم)	عملکرد شلتوک (گرم درگلدان)	وزن زیست‌توده (گرم)
ارقام بومی در برابر ارقام اصلاح شده در شرایط شاهد	(+۱۳/۵) **	(+۱۲/۹) **	(+۲۷/۸) **	(−۸/۵) ns	(−۷/۲) *	(+۲/۸) ns
ارقام بومی در برابر ارقام اصلاح شده در شرایط کم-آبیاری	(+۱۴/۰) **	(+۲/۲) ns	(+۹/۸) ns	(−۱۹/۰) **	(−۱۴/۲) **	(+۲/۲) ns
ارقام اصلاح شده در شرایط کم‌آبیاری در برابر ارقام اصلاح شده شرایط شاهد	(+۱۶/۷) **	(−۳۴/۰) **	(−۲۲/۵) **	(−۱۱/۷) *	(−۲۰/۷) **	(+۱/۲) ns
ارقام بومی در شرایط کم‌آبیاری در برابر ارقام بومی در شرایط شاهد	(+۱۷/۱) **	(−۴۰/۳) **	(−۳۳/۴) **	(−۲۱/۹) **	(−۲۶/۶) **	(+۰/۶) ns

**، * و ns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم معنی‌داری ، اعداد داخل پرانتز نشان‌دهنده درصد افزایش (+) یا کاهش (−) خصوصیات مورد مطالعه است.

براساس آنچه از نتایج این آزمایش به دست آمد کم‌آبیاری در ژنوتیپ‌های برنج غرقابی مورد مطالعه منجر به کاهش تمامی ویژگی‌های ریشه شامل طول، حجم، سطح، چگالی سطح و وزن تر و خشک ریشه، نسبت ریشه به شاخساره و نسبت ریشه به زیست‌توده گردید. وزن خوشه و عملکرد شلتوک نیز در اثر تنش کاهش یافتند. گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر طبق صفات مورد بررسی منجر به تشکیل چهار گروه در شرایط بدون تنش و سه گروه در شرایط کم‌آبیاری گردید. در هر دو شرایط شاهد و کم‌آبیاری، گروه‌هایی با مقدار کمتر برای صفات ریشه عملکرد شلتوک بالاتری داشتند. از این نظر در شرایط کم‌آبیاری ژنوتیپ‌های حمر اهواز، دانیال، شفق، گوهر، فیروزان، شیرودی، هویزه، کشوری، تابش، پویا، درفک، علی‌کاظمی، نعمت، ۸۳۱، خزر، جلودار، قائم، کادوس و کوهسار عملکرد شلتوک بالاتر و مقدار صفات ریشه کمتری داشتند. مقایسات گروهی نیز حاکی از اختلاف معنی‌دار ارقام بومی نسبت به اصلاح شده در صفات وزن خشک ریشه، وزن خشک شاخساره، وزن خوشه و عملکرد شلتوک بود.

تشکر و قدردانی

از موسسه تحقیقات برنج کشور در رشت و پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری به جهت مساعدت و همکاری طی اجرای این پژوهش قدردانی می‌شود.

منابع

1. Abarshar, M., B. Rabiei and H. Samizadeh Lahigi. 2011. Assessing genetic variability of rice varieties under drought stress conditions. Notulae Scientia Biologicae, 3(1): 114-123.
2. Akhavan, S., M. Shabanpour and M. Esfahani. 2012. Soil compaction and texture effects on the growth of roots and shoots of wheat. Journal of Water and Soil, 26(3): 727-735 (In Persian).
3. Anonymous, 2014. Standard Evaluation System for Rice (SES). International Rice Research Institute (IRRI). Loss Banos, Lenguna, Philipines. Pp: 55.
4. Anonymous. 2013. Agriculture Statistics Book. The Ministry of Jihad-e-Agriculture, Planning and Economic Department, Office of Statistics and Information Technology, Tehran, Iran. 167 pp (In Persian).
5. Asch, F., M. Dingkuhn, A. Sow and A. Audebert. 2005. Drought-induced changes in rooting patterns and assimilate partitioning between root and shoot in upland rice. Field Crops Research, 93(2): 223-236.
6. Bagheri, N., N. Babaeian-Jelodar and E. Hasan-Nataj. 2008. Genetic diversity of Iranian rice germplasm based on morphological traits. Iranian Journal of Field Crops Research, 6(2): 235-243 (In Persian).
7. Bernier, J., G. Altin, N. Serraj, R. Kumar and D. Spaner. 2007. Review: Breeding upland rice for drought resistance. IRRI, 33 pp.
8. Chu, G., C. Tingting, Z. Wang, J. Yang and J. Zhang. 2014. Morphological and physiological traits of roots and their relationships with water productivity in water-saving and drought-resistant rice. Field Crops Research, 162: 108-119.
9. Comas, L.H., S.R. Becker, V.V. Cruz, P.F. Byrne and D.A. Dierig. 2013. Root traits contributing to plant productivity under drought. Frontiers in Plant Science, 4: 1-15.
10. Gowda, V.R.P., A. Henry, A. Yamauchi, H.E. Shashidhar and R. Serraj. 2011. Root biology and genetic improvement for drought avoidance in rice. Field Crops Research, 122(1): 1-13.
11. Henry, A., A.J. Cal, T.C. Batoto, R.O. Torresand and R. Serraj. 2012. Root attributes affecting water uptake of rice (*Oryza sativa*) under drought. Journal of Experimental Botany, 63(13): 4751-4763.
12. Izaddoost, H., H. Samizadeh, B. Rabiei and S. Abdollahi. 2013. Evaluation of salt tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) cultivars and lines with emphasis on stress tolerance indices. Cereal Research, 3(3): 167-180 (In Persian).
13. Kanbar, A., M. Toorchi and H.E. Shashidhar. 2009. Relationship between root and yield morphological characters in rainfed low land rice (*Oryza sativa* L.). Cereal Research Communications, 37(2): 261-268.
14. Kato, Y. and M. Okami. 2011. Root morphology, hydraulic conductivity and plant water relations of high-yielding rice grown under aerobic conditions. Annals of Botany, 108(3): 575-583.
15. Kato, Y., A. KamoshitaYamagishi, H. Imoto and J. Abe. 2007. Growth of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars under upland conditions with different levels of water supply 3. Root system development, soil moisture change and plant water status. Plant Production Science, 10(1): 3-13.
16. Khazanedari, L., M. Koohi, F. Zabol Abbasi, S. Ghandehari and S. Malbousi. 2010. Study of the drought trend in Iran during next 30 years (2010-2039). Proceedings of the 4rd Regional Conference on Climate Change, December, 20-22 (In Persian).
17. Mostajeran, A. and V. Rahimi-Eichi. 2009. Effects of drought stress on growth and yield of rice (*Oryza sativa* L.) cultivar and accumulation of proline and soluble sugars in sheath and blades of their different ages leaves. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences, 5(2): 269-272.

18. Naghavi, M.R., M. Moghaddam, M. Toorchi and M.R. Shakiba. 2016. Evaluation of Spring Wheat Cultivars Based on Drought Resistance Indices. Journal of Crop Breeding, 8(17): 192-207 (In Persian)
19. Naghavi, M.R., M. Moghaddam, M. Toorchi and M.R. Shakiba. 2016. Evaluation of spring wheat cultivars for physiological, morphological and agronomic traits under drought stress Journal of Crop Breeding, 8(18): 64-77. (In Persian)
20. Nematzadeh, Gh.A., R. Talebie, Z. Khodarahmpour and Gh. Kiani. 2003. Study of genetic and geographical variation in rice (*Oryza sativa* L.) using physiological and agronomical traits. Iranian Journal of Crop Sciences, 5(3): 225-235 (In Persian).
21. Reguera, M., Z. Peleg, Y.M. Abdel-Tawab, E.B. Tumimbang, C.A. Delatorreand and E. Blumwald. 2013. Stress-induced cytokinin synthesis increases drought tolerance through the coordinated regulation of carbon and nitrogen assimilation in rice. Plant Physiology, 163(4): 1609-1622.
22. Sultan, M.S., M.A. Abdel-Moneam, A.B. El-Abd and S.A. El-Naem. 2014. Inheritance of some root and grain quality traits in rice under water deficiency conditions. Journal of Agronomy, 13(3): 89-99.
23. Vadez, V. 2014. Root hydraulics: the forgotten side of roots in drought adaption. Field Crops Research, 165: 15-24.
24. Wu, W. and S. Cheng. 2014. Root genetic research, an opportunity and challenge to rice improvement. Field Crops Research, 165: 111-124.
25. Xu, W., K. Cui, A. Xu, L. Nie, J. Huang and S. Peng. 2015. Drought stress condition increases root to shoot ratio via alteration of carbohydrate partitioning and enzymatic activity in rice seedlings. Acta Physiol Plant, 37(2): 1-11
26. Yang, J. and J. Zhang. 2010. Crop management technique to enhance harvest index in rice. Journal of Experimental Botany, 61(12): 3177-3189.
27. Yang, J., J. Zhang, Z. Huang, Z. Wang, Q. Zhu and L. Liu. 2002. Correlation of cytokinin levels in the endosperms and roots with cell number and cell division activity during endosperm development in rice. Annals of Botany, 90(3): 69-77.
28. Yang, J., J. Zhang, Z. Wang, Q. Zhu and L. Liu. 2002. Abscisic acid and cytokinins in the root exudates and leaves and their relationship to senescence and remobilization of carbon reserves in rice subjected to water stress during grain filling. Planta, 215(4): 645-652.
29. Yang, J., J. Zhang, Z. Wang, Q. Zhu and W. Wang. 2001. Remobilization of carbon reserves in response to water deficit during grain filling of rice. Field Crops Research, 71(1): 47-55.
30. Yazdani, M.R. 2012. Investigation on trend of cracking in paddy fields and management recommendation for percolation reduction. Irrigation Ph.D. Dissertation, Faculty of Agriculture, University of Tehran. pp: 160. (In Persian).
31. Zhang, H., T. Chen, Z. Wang, J. Yang and J. Zhang. 2010. Involvement of cytokinins in the grain filling of rice under alternate wetting and drying irrigation. Journal of Experimental Botany, 61(13): 3719-3733.
32. Zhang, H., Y. Xue, Z. Wang, J. Yang and J. Zhang. 2009. Morphological and physiological traits of roots and their relationships with shoot growth in ‘‘super’’ rice. Field Crops Research, 113(1): 31-40.

Response of Root Characteristics and Dry Matter Partitioning in 40 Improved and Local Rice (*Oryza sativa* L.) Genotypes under Deficit Irrigation

Seyedeh Arhameh Fallah-Shamsi [1], Hemmatollah Pirdashti[2], Aliakbar Ebadi[3], Masoud Esfahani[4] and Mahmood Raeini[5]

1 and 5- Ph. D. Student and Professor, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
2- Associate professor, Dept. of Agronomy, Genetics and Agricultural Biotechnology Institute of Tabarestan, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (Corresponding author: h.pirdashti@sanru.ac.ir)
3- Assistant professor at Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran
4- Professor, Faculty of Agricultural Sciences, University of Gilan
Received: March 1, 2016 Accepted: April 9, 2016

Abstract

Nowadays, the root characteristics as one of secondary traits along with grain yield are used to response evaluation of rice genotypes under deficit irrigation. Thus, to evaluate the root traits of 40 irrigated rice genotypes to water limited condition a pot experiment was performed in 2014 at Rice Research Institute (Rasht), Iran. Irrigation treatment was applied in two levels include control (traditional irrigation) and deficit irrigation (withholding irrigation at the booting stage). The results showed that deficit irrigation reduced root length from closely 45 to 28 cm, root area from 190 to 117 cm^2 and root area density from closely 6 to 4 cm^2cm^{-3}. Under deficit irrigation, average of paddy yield and panicle weight decreased 25% and 18.5%, respectively. In this condition, root dry weight decreased, in other hand the shoot dry weight increased from 42.7 to 49.4 g. Genotypes classification carried out based on studied traits by the Ward's Minimum Variance test in both conditions (control and deficit irrigation) that separated the genotypes into four and three groups, respectively. In both situations, groups with lower amount for root traits had the higher paddy yield. Accordingly in deficit irrigation conditions, group III include 19 genotypes such as Gohar, Shiroudi and Khazar with low amount for root characteristics, had paddy yield higher than other groups. Comparison of groups showed that significant variation of root dry weight, shoot dry weight, panicle weight and paddy yield (about +21, +14, -19 and -14%, respectively) in local genotypes compare with improved genotypes. Therefore, it seems that although priorities of crop improvement in studied genotypes were to allocate more dry matter from the root to the shoot, but considerable diversity existed in terms of dry matter partitioning to different organs under deficit irrigation.

Keywords: Cluster analysis, Dry matter Partitioning, Root dry weight to biomass ratio, Root volum