دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارسنجان

مجله علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی
سال یازدهم، شماره سی و هفتم، ۱۳۹۸

نقش قارچ *Piriformospora indica* بر بهبود صفات مرتبط با عملکرد دو رقم بومی و اصلاح‌شده برنج در شرایط کم‌آبیاری

عابد آقاجانی دلاور[۱]، مهدی پارسا[۲]، همت‌اله پیردشتی[۳]، محمد کافی[٤]، ولی‌اله بابایی‌زاد[٥]

دریافت: ۹۵/٦/۱۷ پذیرش: ۹۵/۹/۱۸

چکیده

به‌منظور بررسی نقش قارچ *Piriformospora indica* بر بهبود عملکرد و بهره‌وری آب در برنج با روش کم‌آبیاری تنظیم‌شده، پژوهشی مزرعه‌ای در سال ۱۳۹۳ به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در سه تکرار انجام گرفت. تیمارهای آزمایش شامل آبیاری در سه سطح (غرقاب، غرقاب پس از کاهش ارتفاع آب به پایین‌تر از ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متری خاک) در کرت اصلی، دو سطح تلقیح با قارچ (عدم تلقیح و تلقیح ریشه‌چه گیاهچه شش روزه) و دو رقم بومی (طارم) و اصلاح شده (شیرودی) برنج در کرت‌های فرعی به‌صورت فاکتوریل قرار داده شدند. نتایج نشان داد که میزان عملکرد شلتوک رقم شیرودی در روش غرقاب دائم از ۷۸۰۱ به ۵۵۹۲ و ۵۵۷۵ کیلوگرم در هکتار در سایر سطوح کم‌آبیاری کاهش یافت. کاهش عملکرد در رقم طارم هاشمی، تنها با کاهش میزان آب به ارتفاع ۲۰ سانتی‌متری خاک، معنی-دار و افت عملکرد در مقایسه با تیمار غرقاب حدود ۱۸ درصد بود. از سوی دیگر، تلقیح با قارچ سبب بهبود حدود هشت درصدی عملکرد بیولوژیک در رقم شیرودی در مقایسه با رقم طارم هاشمی گردید. از نظر عملکرد دانه نیز، تلقیح با قارچ موجب افزایش چهار درصدی نسبت به گیاهچه‌های شاهد شد. همچنین، با کاهش ارتفاع آب به پایین‌تر از ۲۰ سانتیمتر زیر سطح خاک، میزان بهره‌وری و کارایی مصرف آب به‌ترتیب حدود ۵۵ و ۵۷ درصد بیشتر از آبیاری به روش غرقاب حاصل شد. در مجموع، یافته‌های این پژوهش حاکی از تأثیر مثبت همزیستی ریشه برنج با قارچ *P. indica* در راستای کاهش اثرات تنش حاصل از کم‌آبیاری است.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری آب، تلقیح گیاهچه، تنش کم‌آبی، عملکرد بیولوژیک، کارایی مصرف آب

آقاجانی دلاور، ع.، م. پارسا، ه. پیردشتی، م. کافی و و. بابایی زاده. ۱۳۹۸. نقش قارچ *Piriformospora indica* بر بهبود صفات مرتبط با عملکرد دو رقم بومی و اصلاح‌شده برنج در شرایط کم‌آبیاری. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی. ۳۷: ٦۲-۵۰.

۱- دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران – مسئول مکاتبات. parsa@um.ac.ir

۳- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

٤- استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۵- استادیار گروه گیاهپزشکی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

مقدمه

بخش کشاورزی، عمده‌ترین مصرف‌کننده منابع آب کشور می‌باشد و آماری که در گزارش‌های مختلف ارائه گردید، حاکی از آن است که بیش از ۹۰ درصد از حجم آبی که در کشور مورد استفاده قرار می‌گیرد، صرف تولیدات کشاورزی می‌شود و بیشترین حجم تلفات آب نیز مربوط به همین بخش می‌باشد (عربی یزدی و همکاران، ۱۳۸۸). بهره‌وری مصرف آب یکی از شاخص‌های مصرف بهینه آب آبیاری است، استفاده از روش‌های جدید مدیریت آبیاری با توجه به کاهش منابع آبی باید مورد توجه جدی قرار گیرد (عباسی و همکاران، ۱۳۹٤). در ایران نیز، بـه طـور کلـی زراعت برنج برای تولید محصول کافی، به ۵۰۰۰ تا ۳۰۰۰۰ متر مکعب آب نیاز دارد (اسدی و همکاران، ۱۳۸٤). در شرایط کم‌آبی و با توجه به نیاز آبی برنج مهمترین چالش در رابطه با تولید این محصول، ذخیره آب، افزایش بهره‌وری آب و تولید بیشتر با مصرف آب کمتر است (بومن و تانگ، ۲۰۰۱)، چرا که در حال حاضر، این گیاه در بیشتر مناطق کشور به صورت غرقابی آبیاری می‌شود که استفاده از این روش موجب مصرف آب به مقدار بیش از حد مورد نیاز و عملکرد پایین به ازای واحد آب مصرفی می‌گردد (حقایقی مقدم و فرزانه، ۱۳۸۷). از سویی دیگر، استفاده از روش‌های نوین آبیاری و ایجاد شرایط غیرغرقاب، احتمال بروز اثرات تنش خشکی در گیاه برنج را افزایش می‌دهد. خشکی به عنوان یک عامل محیطی تنش‌زا، دومین عامل اصلی کاهش عملکرد بعد از عوامل بیماری‌زا به شمار می‌رود (فرشادفر و همکاران، ۲۰۰۳). صدیق و همکاران (۱۹۹۹) گزارش کردند که خشکی به عنوان مهم‌ترین عامل کنترل کننده عملکرد محصولات، تقریباً روی کلیه فرایندهای رشد گیاه تأثیرگذار است. به طوری‌که کمبود رطوبت، گیاه را وادار به واکنش‌های مختلف مورفولوژیکی مانند کاهش سطح برگ، افزایش رشد ریشه، واکنش‌های فیزیولوژیکی و متابولیکی مانند بسته شدن روزنه‌ها، کاهش در سرعت رشد، تجمع آنتی اکسیدان‌ها و مواد محلول و فعالیت ژن‌های خاص می‌کند (هیوز و همکاران، ۱۹۸۹). غلات نیز از طریق تغییرات مورفولوژیکی و متابولیکی در تمام اندام‌های گیاه نسبت به این تنش واکنش نشان می‌دهند (اسلافر و همکاران، ۲۰۰۵).

در سال‌های اخیر استفاده از ریزجانداران یکی از روش‌های مناسب برای کاهش اثرات زیانبار خشکی معرفی شده‌است که در راستای حرکت به سوی کشاورزی پایدار نیز بسیار موثر می‌باشد (ورما و همکاران، ۱۹۹۸). قارچ درون‌رُست *Piriformospora indica* از راسته Sebacinales، خانواده Sebacinaceae و شاخه قارچ‌های بازیدیومیکوتا است که توسط ورما و همکاران (۱۹۹۸) در کشور هند کشف و معرفی گردید (یعقوبیان، ۱۳۹۰). این قارچ قابلیت کشت و تکثیر بدون همزیستی با گیاه را دارد (دشموک و همکاران، ۲۰۰٦). از آنجایی که این قارچ، مانند قارچ‌های میکوریزای آربوسکولار، همزیست داخلی ریشه گیاهان بوده و ویژگی‌های آن‌ها را تقلید می‌کند، به‌عنوان شبه‌میکوریز[1] (MLF) شناخته می‌شود (بالدی و همکاران، ۲۰۰۸) و در حقیقت نقش میکوریز را برای گیاه بازی کرده و باعث افزایش رشد و تولید گیاه می‌گردد (ورما و همکاران، ۱۹۹۸). همچنین در بررسی های اخیر نشان داده شد که همزیستی گیاهان با قارچ *P. indica* منجر به افزایش تعداد پنجه‌ها و خوشه‌ها و به دنبال آن افزایش عملکرد در غلات می شود (والر و همکاران ۲۰۰۵؛ موسوی و همکاران ۱۳۹۱).

برنج حساس‌ترین غله نسبت به خشکی (اخوت و دانش وکیلی، ۱۳۷٦) می‌باشد، لذا جهت کاهش آسیب‌های ناشی از این تنش، استفاده از روابط همزیستی و میکوریزایی در شرایط اکولوژیکی مناسب، می‌تواند به عنوان یک راهکار موثر همانند نقش و اهمیت مدیریت آبیاری مطرح گردد (یوسفیان، ۱۳۸۰). چرا که این قارچ در شرایط کم آبی با افزایش سطح جذب ریشه، موجب افزایش جذب آب، افزایش سطح سبز گیاه و در نتیجه با افزایش فتوسنتز و انتقال شیره پرورده در مرحله پر شدن دانه باعث افزایش تحمل به تنش و عملکرد گیاه می‌گردد (جمشیدی و همکاران، ۱۳۹۲). در مطالعات گذشته در مورد اثر این قارچ در افزایش تحمل به خشکی گیاهانی چون گندم (یعقوبیان و همکاران، ۱۳۹۱)، جو (سپهری و همکاران، ۱۳۸۸) و کلم چینی (سان و همکاران، ۲۰۱۰) به اثبات رسیده است ولی در زمینه اثر آن در تحمل به خشکی در برنج گزارشی وجود ندارد. آبیاری به صورت غرقاب موجب کاهش بهره‌وری آب برای کشت ارقام مختلف برنج می‌گردد (عباسی و سپاسخواه، ۲۰۱۱). از طرف دیگر، با توجه به بحران‌های موجود در زمینه آب که عمدتاً ناشی از کاهش نزولات آسمانی در اثر تغییر اقلیم و نیز افزایش تقاضا برای آب می‌باشد، لازم است از منابع آبی موجود به بهترین نحو استفاده گردد و با اعمال مدیریت صحیح آبیاری، بهره‌وری مصرف آب را در بخش کشاورزی تا حد ممکن افزایش داد. به همین منظور، در این پژوهش اثربخشی رابطه همزیستی قارچ شبه‌میکوریزایی *P. indica* بر برخی صفات مورفولوژیکی دو رقم برنج در روش‌های مختلف کم‌آبیاری مورد بررسی قرار گرفت.

1- Mycorrhiza Like Fungi

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی نقش قارچ *Piriformospora indica* برای بهبود صفات مرفولوژیکی و اجزای عملکرد دو رقم برنج، آزمایشی در سال زراعی ۱۳۹۳ در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری واقع در کیلومتر نه جاده دریا با طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۱۳ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۲ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۴ متری از سطح دریا اجرا گردید. مجموع بارندگی در طول فصل رشد (در بازه زمانی یک اردیبهشت تا ۳۱ شهریور)، ۱۵۵/۳ میلی‌متر و متوسط رطوبت نسبی، ۷۰/۷۵ درصد بود. روش‌های مختلف آبیاری در سه سطح (غرقاب سه سانتیمتر بالای سطح خاک، غرقاب پس از کاهش ارتفاع آب به پایین‌تر از ۱۰ و ۲۰ سانتیمتر از سطح خاک) همراه با تلقیح قارچ *P. indica* در دو سطح (عدم تلقیح و تلقیح ریشه‌چه گیاهچه شش روزه) به‌صورت آزمایش اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار بررسی شدند. در این پژوهش از دو رقم بومی (طارم) و اصلاح شده (شیرودی) برنج استفاده شد.

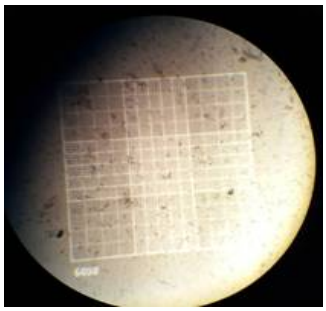
قارچ *P. indica* یک ماه قبل از جوانه‌دار کردن بذور برنج، در آزمایشگاه و در محیط کشت جامد CM[1] تکثیر و پس از رشد کامل قارچ و تولید اسپور در سطح محیط کشت، مایه تلقیح با تعداد 10^6 ml^{-1} کلامیدوسپور قارچ تهیه گردید (دشموخ و همکاران، ۲۰۰۶). جهت کلونیزه کردن، ریشه گیاهچه‌های شش روزه برنج در مایه تلقیح به همراه ۰/۰۵ درصد توئین ۲۰، غوطه‌ور و به مدت پنج ساعت روی شیکر قرار گرفت. در این زمان ریشه گیاهچه‌های شاهد نیز در محلول مورد اشاره، ولی بدون حضور اسپور قارچ غوطه‌ور شد تا شرایط برای همه گیاهچه‌ها یکسان باشد (والر و همکاران، ۲۰۰۵). سپس گیاهچه‌های تیمار شده و شاهد به سینی نشا انتقال یافتند. سینی‌ها نیز بعد از آماده شدن کرت خزانه در شالیزار به آنجا منتقل و تا زمان کاشت نشاها در زمین اصلی، در آن‌جا نگهداری شدند. دو هفته بعد از زمان تلقیح، با رنگ‌آمیزی ریشه‌ها (ویرهیلیگ و همکاران، ۱۹۹۸)، همزیست شدن قارچ *P. indica* با گیاهچه‌ها بوسیله میکروسکوپ نوری مورد بررسی و حضور کلامیدوسپور قارچ مورد تأیید قرار گرفت (شکل ۱). کرت‌ها به مساحت شش متر مربع ایجاد و جهت اعمال تیمار رطوبتی، جلوگیری از نفوذ آب و انتقال قارچ بین کرت‌ها، فاصله بین کرت‌های داخلی ۰/۵ متر و فاصله بین کرت‌های اصلی یک متر تعیین و با استفاده از پوشش نایلونی کلیه مرزها نفوذناپذیر گردیدند. انتقال و کاشت نشاها در زمین اصلی (شالیزار) برای هر دو رقم در روز ششم خرداد انجام گرفت. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک (عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری زمین شالیزار) تعیین شد (جدول ۱). بر اساس نتایج آزمون خاک برای رقم طارم از کودهای اوره، سوپر-فسفات‌تریپل و سولفات‌پتاسیم هر کدام به میزان ۱۰۰ کیلوگرم، سولفات‌روی به میزان ۸۰ کیلوگرم و برای رقم شیرودی نیز کودهای اوره و سولفات‌پتاسیم به مقدار ۲۰۰، سوپرفسفات‌تریپل ۱۵۰ و سولفات‌روی به میزان ۸۰ کیلوگرم در هکتار استفاده شد. سپس به وسیله مارکر فواصل ۲۰×۲۰ سانتیمتر برای کاشت رقم طارم محلی و ۲۵×۲۵ برای رقم شیرودی در زمین اصلی علامت‌گذاری شد. نشاها در مرحله سه الی چهار برگی، زمانی که ارتفاع آنها به ۲۰ سانتی‌متر رسید، به-صورت تک‌بوته به زمین انتقال داده شدند. مبارزه با آفات و بیماری‌های برنج بر اساس دستورالعمل فنی موسسه تحقیقات برنج کشور و وجین دستی نیز در دو مرحله انجام پذیرفت.

مقدار آب مورد نیاز برای هر کرت توسط سیستم لوله‌کشی از چاه عمیق تأمین و توسط کنتور آب اندازه‌گیری گردید. برای اعمال تیمارهای آبیاری از روش آبیاری تر و خشک نمودن متناوب زمین (AWD)[2] استفاده شد. در این روش لوله‌های پلیکا منفذدار (جهت نفوذ آب به داخل لوله) به ارتفاع ۴۰ و قطر ۱۰ سانتی‌متر در خاک شالیزار در کرت‌ها قرار داده شد، به نحوی که حداقل ۱۰ سانتی‌متر لوله در بالای سطح خاک قرار گرفت. جهت نفوذ و تعیین سطح آب، تمامی گل و لای موجود در لوله تا انتهای عمق آن در داخل زمین تخلیه گردید. ارتفاع آب در داخل هر کرت، به‌وسیله‌ی قراردادن خط‌کش در درون لوله‌های نصب شده در داخل زمین اندازه‌گیری و در صورت نیاز بر اساس کاهش میزان آب به ۱۰ و ۲۰ سانتی متر زیر سطح خاک، آبیاری مجدد به صورت غرقاب (سه سانتی‌متر بالای سطح خاک) اعمال و بلافاصله شماره کنتور قرائت و میزان آبیاری در هر مرحله بر حسب لیتر ثبت گردید. در زمان حساس یک هفته قبل تا یک هفته بعد از زمان گل‌دهی، آب به صورت غرقاب به ارتفاع سه سانتی‌متر در کلیه کرت‌ها قرار گرفت.

1 -Complex medium

2-Alternate wetting drying

(الف)



(ب)

شکل ۱- همزیست شدن قارچ *P. indica* با ریشه برنج. الف) کلامیدوسپور قارچ در همزیستی با ریشه و ب) تعیین تراکم اسپور قارچ در مایه تلقیح بوسیله لام هماسیتومتر

در زمان رسیدن فیزیولوژیکی و قبل از برداشت محصول برای اندازه‌گیری طول خوشه، تعداد دانه پر و پوک و وزن هزار دانه از داخل هر کرت به طور تصادفی ده خوشه انتخاب و سپس جهت تعیین طول خوشه، از گردن خوشه تا انتهای آخرین دانه توسط خط‌کش اندازه‌گیری شد. سپس دانه‌ها جدا و تعداد دانه‌های پر و پوک تعیین شد. برای اندازه‌گیری وزن هزار دانه از ترازوی دیجیتال استفاده شد. جهت اندازه‌گیری ارتفاع بوته، در زمان رسیدگی ده بوته به طور تصادفی از هر کرت انتخاب و ارتفاع بوته از سطح زمین تا نوک بلندترین خوشه (بدون در نظر گرفتن ریشک) اندازه-گیری شد. برای تعیین تعداد پنجه کل و پنجه‌های به خوشه رفته یا بارور در بوته نیز، بعد از اتمام دوره رویشی، ۱۰ بوته در هر کرت انتخاب و تعداد آنان در هر بوته شمارش و میانگین اعداد بدست آمده برای محاسبات آماری استفاده گردید. برای اندازه‌گیری عملکرد پس از مرحله رسیدگی کامل محصول با در نظر گرفتن اثر حاشیه‌ای، دو متر مربع از متن هر کرت، بوته‌ها به صورت کف-بر برداشت و خرمن‌کوبی گردیدند. سپس دانه‌ها و ساقه‌ها به صورت جداگانه در دستگاه آون به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد قرار گرفتند. عملکرد دانه‌ها (براساس رطوبت ۱۴ درصد)، وزن زیست‌توده، اندازه‌گیری و شاخص برداشت بر اساس رابطه (۱) محاسبه شد.

$$\text{شاخص برداشت} = \frac{\text{عملکرد دانه}}{\text{عملکرد بیولوژیک}} \qquad \text{رابطه [۱]}$$

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

شن	لای	رس	بافت خاک	کربن آلی	ماده آلی	اسیدیته کل اشباع	هدایت الکتریکی	ازت کل	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب
درصد				درصد			دسی‌زیمنس بر متر	درصد	میلی گرم بر کیلوگرم	
۴۱	۲۸	۳۱	لومی رسی	۱/۹۶	۳/۳۹	۸/۴	۰/۶	۰/۱۹	۵	۱۸۶

بهره‌وری و کارایی مصرف آب، بعد از تعیین میزان عملکرد شلتوک، عملکرد بیولوژیک، مقدار آب آبیاری و میزان بارندگی در طول فصل زراعی با استفاده از روابط (۲) و (۳) محاسبه گردید (عرب‌زاده و یوسفیان، ۱۳۹۱).

$$\text{بهره‌وری مصرف آب} = \frac{\text{عملکرد شلتوک (کیلوگرم)}}{\text{مقدار آب آبیاری + میزان بارش باران (مترمکعب)}} \quad \text{رابطه [۲]}$$

$$\text{کارایی مصرف آب} = \frac{\text{عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم)}}{\text{مقدار آب آبیاری + میزان بارش باران (مترمکعب)}} \quad \text{رابطه [۳]}$$

در پایان، داده‌ها پس از آزمون نرمال بودن، با استفاده از نرم-افزار MSTAT-C تجزیه و تحلیل و میانگین صفات مورد بررسی توسط آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

با توجه به تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در جداول ۲ و ۳ و بر اساس نتایج، ارتفاع نهایی بوته در گیاهان تحت تیمار کم-آبیاری در مقایسه با روش غرقاب در هر دو رقم به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. به‌طوری‌که میزان ارتفاع از ۱۲٤/٤ سانتی‌متر در تیمار شاهد (روش غرقاب) به ۱۱۷/٦ و ۱۱۲/۵ سانتی‌متر در تیمارهای سطح دوم و سوم آبیاری (پایین‌تر از ۱۰ و ۲۰ سانتیمتری خاک) کاهش یافت. با وجود این، همزیستی گیاه با قارچ موجب افزایش معنی‌دار ارتفاع گیاه در مقایسه با ترکیب‌های تیماری بدون تلقیح شد. در همین راستا، میزان ارتفاع بوته در تیمار شاهد (عدم تلقیح) از حدود ۱۱۵/۳ سانتی‌متر به حدود ۱۲۱/۳ سانتی‌متر در تیمار تلقیح قارچ افزایش یافت. میزان ارتفاع نهایی بوته رقم شیرودی با ۱۰٦/۱ سانتی‌متر به‌طور معنی‌داری کمتر از رقم طارم هاشمی با ارتفاع ۱۳۰/۳ سانتی‌متر بود (جدول ٤).

جدول ۲- میانگین مربعات اثر تیمارهای کم‌آبیاری و همزیستی شبه‌میکوریز بر صفات ارتفاع بوته، تعداد کل پنجه، تعداد پنجه بارور، طول خوشه و تعداد دانه کل و پر در خوشه در دو رقم برنج

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		ارتفاع بوته	تعداد کل پنجه	تعداد پنجه بارور	طول خوشه	تعداد دانه کل در خوشه	تعداد دانه پر در خوشه
بلوک		۱٤/٦۷۸	۳/۹۲	۱/٦٦٤	۰/٤٦۱	٤۵/۵۵۱	۱۳۱/۸۷۵
کم آبیاری (A)		٤۲۸/۹٦۳**	۸/۳۹**	۵/۷٤۳**	۱۰/۰۰۱**	۱۳۸٦/۳۳۲**	۹۷۸/۵۵۷**
تلقیح‌قارچ (B)		۳۳٦/۲۹٤**	۳/٦۵*	۲۷/۵٦۲**	۰/۰٦۳^{ns}	۲۰/۷۹٤^{ns}	٤۵۱/۷۰٤*
A×B		۱۰/٦۵۵^{ns}	٤/۳٤*	۰/٦۷۷^{ns}	۱/۱۳۸^{ns}	۹۱/۱٦۱^{ns}	۱٤۷/۷٦۹^{ns}
رقم (C)		۵۲۳۱/۸۷۰**	۷٤۱/٦۵٤**	۵۹۹/۱۰۷**	٤۱/۲۳۸**	٤۳٤۹/٤۰۳**	۲۹٤۲/۷۰۰**
A×C		٦/۳۵۱^{ns}	٦/۱۵۵**	۸/۳۰٤**	۲/۵٤۳**	۵۱۸/٤۰۷**	۳۰۸/۰۸۵*
B×C		۳/۳۵۵^{ns}	٤/۷۹٦*	۱/۰۰۰^{ns}	۱/٤۷٦^{ns}	۵/٦۹۵^{ns}	۱/۵۷۱^{ns}
A×B×C		۱۳/۲۳۳^{ns}	۱/۳۱۳^{ns}	۰/٦۵۳^{ns}	۰/۰٤٤^{ns}	۱۳٦/٤۱۰^{ns}	۱٤۵/۷۵۷^{ns}
خطا		۹/٤۸۹	۰/۹۲	۰/۵۲۸	۰/٤۳۹	٤٦/۷۸۲	٦۱/۵٤۸
ضریب تغییرات (درصد		۳/٦۱	۸/۰۱	٦/۷۱	۲/۵٦	٦/٦۲	۸/۰٦

به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم تفاوت معنی‌دار می‌باشد ns** ، * و

جدول ۳- میانگین مربعات اثر تیمارهای کم‌آبیاری و همزیستی شبه میکوریز برعملکرد شلتوک، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، میزان مصرف آب، بهره‌وری و کارایی مصرف آب در دو رقم برنج

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		عملکرد شلتوک	وزن هزار دانه	عملکرد بیولوژیک	شاخص برداشت	میزان مصرف آب	بهره‌وری مصرف آب	کارایی مصرف آب
بلوک	۲	٦۲۳٦۷	۰/۲۷۹	۱۱۱۱۲۲۷٤	۱۵/۸۵۱	۱۷۹۵۷۷/۲۸۷	۰/۰۰۳	۰/۰۱۰
کم آبیاری (A)	۲	٦۹۲۳۰۱۵**	۲/۸۷۵^{ns}	۳۲۳۷۰٤۳۱**	۱/۳۵۵^{ns}	۱۰۲۰۹۵۱۱۳/۸۲۳**	۰/۲۲۵**	۱/٤۲۵**
تلقیح قـارچ (B)	۱	۳٦۱۵۷۱*	۸٤/۷۹۳**	۲۹۸٦۹٦٤*	۲/۹۳۹^{ns}	٦۱۲٤۸۲/۷۸٤^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۲۰^{ns}
A×B	۲	۷۳۸۹۰^{ns}	۰/۰۵۷^{ns}	۷۳٤۸٦۵^{ns}	۲۰/۸۷۹^{ns}	۲۷۳٤۲۵/۹٤۸^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰٦۵^{ns}
رقم (C)	۱	۸٤۰۰۸۳۷٤**	۵۱/۹۱۲**	۸۹۵٤۵۵۳۱**	۲۰۷۱/۰۹۷**	٦۵۹۲۸۸۳/٦۹۳**	۰/۰۱۸**	۰/٦۷۱**
A×C	۲	۳۵۵۷۲۸۲**	٤/۱۹۲^{ns}	۱٦۵۳۲۳۹**	۲٤/۰۲۵*	۷۳۳۲۳۳۵/۲۲۹**	۰/۰۰۷^{ns}	۰/۰٤۷^{ns}
B×C	۱	٤۲۹٤۲^{ns}	۰/۹٦٤^{ns}	۱٦۵۳۲۳۹*	۱۳/۸۱۳^{ns}	۱۸۹۱۷۹/۲٦۵^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۵^{ns}
A×B×C	۲	٤۷۷۹^{ns}	۱/۰۸۸^{ns}	۵۳۷۱۱۳^{ns}	٦/۵۲۱^{ns}	۲۲٦۰٦/۵۳۰^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۷^{ns}
خطا	۲۲	۵۱۳۸۹	۲/۲٤۱	٤۱۰۹۰۹	٦/۲۹٤	٦۹٦۲۱٦/۷۱۲	۰/۰۰۸	۰/۰٤۳
ضریب تغییرات (درصد)		٤/۷۳	۵/۷۰	۵/۵۰	٦/۲٤	۱۰/٤۳	۱۳/۵۸	۱۳/۳۹

**، * و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم تفاوت معنی‌دار می‌باشد.

جدول ٤- مقایسه میانگین تیمارهای کم‌آبیاری و همزیستی قارچ شبه‌میکوریزی بر میزان صفات مورد مطالعه در دو رقم برنج

صفت	رقم			کم‌آبیاری (ارتفاع آب از سطح خاک بر حسب سانتی متر)				تلقیح قارچ		
	طارم هاشمی	شیرودی	عدد LSD	+۳	- ۱۰	-۲۰	عدد LSD	شاهد	تلقیح	عدد LSD
ارتفاع بوته (cm)	۱۳۰/۳ ^{a}	۱۰٦/۱ ^{b}	۲/۱۲	۱۲٤/٤ ^{a}	۱۱۷/٦ ^{b}	۱۱۲/۵ ^{c}	۲/٦۰	۱۱۵/۳ ^{b}	۱۲۱/۳ ^{a}	۲/۱۲
تعداد پنجه بارور	۸/۲٤	۱٦/٤۱	۰/۵۰	۱۳/۰۳	۱۲/۲۹	۱۱/٦۵	۰/٦۱	۱۱/٤۵ ^{b}	۱۳/۲ ^{a}	۰/۵۰
دانه پر در خوشه	۸۸/۲۷	۱۰٦/۳	۵/٤۲	۱۰۷/۵	۹٤/۱	۹۰/۳	۲/٤۰	۹۳/۷ ^{b}	۱۰۰/۸ ^{a}	۵/٤۲
وزن هزار دانه (g)	۲۷/٤۵ ^{b}	۲۵/۰۵ ^{a}	۱/۰۳	۲٦/۳۲	۲۵/۷۲	۲٦/۹۷	۱/۲٦	۲٤/۷۱ ^{b}	۲۷/۷ ^{a}	۱/۰۳
عملکرد شلتوک (kg/ha)	۳۲٦۸	٦۳۲۳	۱٤۳	۵٦٦۰	٤٤۹۰	٤۲۳٦	۱۷۵	٤٦۹۵^{b}	٤۸۹۵^{a}	۱٤۳/٤
بهره‌وری آب (kg/m^3)	۰/٤٦^{b}	۰/۷۸ ^{a}	۰/۰٦	۰/٤۹ ^{c}	۰/٦۳ ^{b}	۰/۷٦ ^{a}	۰/۰۷	۰/٦۲	۰/٦۳	۰/۰٦
کارایی آب (kg/m^3)	۱/٤۱^{b}	۱/٦۸ ^{a}	۰/۱٤	۱/۲۰ ^{c}	۱/۵۵ ^{b}	۱/۸۹ ^{a}	۰/۱۷	۱/۵۲	۱/۵٦	۰/۱٤

در هر ردیف میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) ندارند.

نتایج نشان داد، در هر دو سطوح تیمار قارچ (شاهد و تلقیح) کاهش میزان آبیاری موجب کاهش معنی‌دار و حدود ده درصدی در تعداد کل پنجه در گیاه گردید، با این تفاوت که تقریباً در تمام سطوح آبیاری، تعداد پنجه کل در گیاهان تلقیح شده با قارچ بیشتر از گیاهان شاهد بود، هرچند این تفاوت از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۵).

جدول ۵- مقایسه میانگین برهمکنش تیمارهای کم‌آبیاری و همزیستی شبه‌میکوریز بر تعداد کل پنجه

ترکیب تیماری		تعداد کل پنجه
ارتفاع آب از سطح زمین (cm)	تلقیح قارچ	
+۳	شاهد	۱۳/۸۱ ab
	تلقیح	۱٤/٤۱ a
- ۱۰	شاهد	۱۳/۰۱ bc
	تلقیح	۱۳/۰٦ bc
-۲۰	شاهد	۱۲/٤۲ c
	تلقیح	۱۲/۹۱ bc
عدد LSD(۵٪)		۱/۱۹٤

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) ندارند.

جدول ٦- مقایسه میانگین برهمکنش تیمارهای کم‌آبیاری و دو رقم برنج بر برخی صفات مورفولوژیکی، اجزای عملکرد و عملکرد

ترکیب تیماری		تعداد دانه پر در خوشه	تعداد دانه کل در خوشه	طول خوشه (cm)	تعداد پنجه بارور	تعداد کل پنجه	شاخص برداشت (%)	عملکرد بیولوژیک (kg/ha)	عملکرد شلتوک (kg/ha)	میزان آب مصرفی (m^3/ha)
ارتفاع آب از سطح (cm)	رقم									
+۳	ط هاشمی	۹۲/٦۷ bcd	۹٦/۷۲ cd	۲۵/۲۸ cd	۸/۰۰ c	۸/۷۱ d	۳۱/۳٤ b	۱۱۲۷۰ b	۳۵۱۹ c	۱۰۰۳۰ b
	شیرودی	۱۲۲/۲ a	۱۳۳/۹ a	۲۸/٤۸ a	۱۸/۰۷ a	۱۹/۲۵ a	٤۹/۷٦ a	۱۵٦۸۰ a	۷۸۰۱ a	۱۲٤۰۰ a
- ۱۰	ط هاشمی	۸۷/۲۵ cd	۹۲/٤۷ de	۲٤/۷۸ de	۸/۷۹ c	۸/۵۳ d	۳۲/۹٦ b	۱۰۲۹۰ c	۳۳۸۷ c	۷٦۳٦ c
	شیرودی	۱۰۱/۱ b	۱۰۷/۲ b	۲٦/٤۱ b	۱۵/۷۹ b	۱٦/۲۱ c	٤٦/۷۹ a	۱۲۰۲۰ b	۵۵۹۲ b	٦۸۸۳ cd
-۲۰	ط هاشمی	۸٤/۸۹ d	۸۷/٦۱ e	۲٤/۳۲ e	۷/۹٤ c	۹/۰٦ d	۳۳/۵۵ b	۸٦۵۰ d	۲۸۹۷ d	۵۰٤۹ e
	شیرودی	۹۵/٦۵ bc	۱۰۱/٦ bc	۲۵/۹۱ bc	۱۵/۳٦ b	۱۸/۰۹ b	٤٦/۸۰ a	۱۱۹۷۰ b	۵۵۷۵ b	٦۰۰۱ de
عدد LSD (۵٪)		۹/۳۹	۸/۱۸	۰/۷۹	۰/۸۷	۱/۱٤	۳/۰۰	۷٦۷/۵	۲۷۱/٤	۹۹۹/۱

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) ندارند.

بر اساس یافته‌ها، تفاوت معنی‌داری از لحاظ تعداد پنجه بارور در تیمارهای کم‌آبیاری در رقم شیرودی نیز مشاهده شد و با کاهش میزان آبیاری، میزان این صفت به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمار غرقاب دائم کاهش یافت، اما برای رقم طارم هاشمی این اختلاف معنی‌دار نبود (جدول ٦). تعداد پنجه کل نیز در تیمار تلقیح با قارچ، معادل ۹/۳۲ در رقم طارم هاشمی و ۲۰/٦۳ عدد در رقم شیرودی به‌دست آمد که به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمارهای بدون تلقیح بود (جداول ۲ و ۷). مشابه تعداد پنجه بارور، کاهش معنی‌داری در تعداد کل پنجه در رقم شیرودی تحت تأثیر کاهش دور آبیاری مشاهده شد، اما این کاهش در رقم طارم هاشمی وجود نداشت و همه‌ی سطوح تیمار کم‌آبیاری در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ٦).

جدول ۷- مقایسه میانگین برهمکنش تیمارهای همزیستی شبه‌میکوریز و دو رقم برنج بر برخی صفات مورفولوژیکی و اجزای عملکرد

ترکیب تیماری		عملکرد بیولوژیک (kg/ha)	تعداد کل پنجه
رقم	تلقیح قارچ		
طارم هاشمی	شاهد	۹۹۹۷^{c}	۸/۱۱^{d}
	تلقیح	۱۰۱٤۰^{c}	۹/۳۲^{c}
شیرودی	شاهد	۱۲۷۲۰^{b}	۱۷/۸۸^{b}
	تلقیح	۱۳۷۳۰^{a}	۲۰/٦۳^{a}
عدد LSD (٥٪)		٦۲٦/۷	۱/۱٤٥

در هر ستون میانگین های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) ندارند

مطابق نتایج مقایسه میانگین، برهم‌کنش تیمارهای کم‌آبیاری و ارقام مورد مطالعه اثر معنی‌داری بر صفت طول خوشه داشت (جدول ۲). طول خوشه در تیمار ارتفاع آب ۲۰ سانتی‌متری عمق خاک، به‌ترتیب معادل ۲۵/۹۱ و ۲٤/۳۲ سانتی‌متر برای رقم‌های شیرودی و طارم هاشمی بود که به‌طور معنی‌داری کمتر از تیمار غرقاب دائم بود (جدول ٦). تعداد کل دانه در خوشه نیز با کاهش میزان آبیاری به‌طور معنی‌داری به میزان ۱۰/۳۹ و ۲٤/۱۲ درصد در رقم‌های طارم هاشمی و شیرودی نسبت به غرقاب کاهش یافت. در مقایسه، کاهش صفت تعداد دانه پر در خوشه تحت تیمارهای کم‌آبیاری، تنها در رقم شیرودی معنی‌دار بود (جداول ۲ و ٦). اینگونه به‌نظر می‌رسد که میزان این صفت در رقم طارم هاشمی تحت تأثیر تنش مختصر خشکی قرار نگرفت. همچنین در تمامی سطوح آبیاری رقم شیرودی، شاخص برداشت بالاتری نسبت به طارم هاشمی داشت (جدول ٦).

افزایش میزان پراکسید هیدروژن، پرولین و آنزیم کاتالاز در این پژوهش، نشان‌دهنده‌ی بروز تنش مختصری در گیاه در اثر کاربرد روش‌های کم‌آبیاری است (داده‌ها نشان داده نشده است). لذا استفاده از روش‌های کاهش‌یافته یا کم‌آبیاری، امکان قرار گرفتن گیاه در شرایط تنش آبی یا خشکی را افزایش داده و متعاقب آن موجب بروز اثرات متعددی در صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه می‌گردد (یعقوبیان، ۱۳۹۰). کم‌آبی به عنوان مهم‌ترین عامل محدودکننده رشد، اثر نامطلوبی بر رشد و تولید گیاهان زراعی می‌گذارد که با نتایج این پژوهش در کاهش میزان صفات یاد شده در اثر تنش حاصل از کم‌آبیاری، مطابقت دارد. در پژوهشی دیگر نیز نشان داده شده است که در شرایط کم-آبیاری، ارتفاع برنج به‌طور معنی‌داری کمتر از شرایط غرقابی است (قربانلی و همکاران، ۲۰۰٤). به‌عبارتی، ارتفاع گیاه برنج مستقیماً تحت تأثیر ارتفاع آب در کرت قرار دارد و با افزایش عمق آب در کرت افزایش می‌یابد (سلیمانی و امیری لاریجانی، ۲۰۰۳). علاوه بر این، تولید هورمون جیبرلین در شرایط غرقاب بیشتر از شرایط هوازی است و این افزایش موجب بیشتر شدن رشد طولی ساقه می‌گردد (یوشیدا، ۱۹۷۵). نتایج حاصله از اثر قارچ شبه‌میکوریز در افزایش ارتفاع گیاه و تعداد پنجه بارور در این پژوهش با نتایج سایر پژوهشگران روی گیاه آرابیدوپسیس (شرامتی و همکاران، ۲۰۰۸) و ذرت (سینگ و وارما، ۲۰۰۵) مطابقت دارد. نتایج سایر پژوهش‌ها نیز نشان دهنده اثر مثبت قارچ *P. indica* بر رشد اندام‌های هوایی گیاهان مختلف است (والر و همکاران، ۲۰۰۵). در همین راستا، افزایش ۵۰ درصدی میزان پنجه‌زنی و ٤٥ درصدی تعداد خوشه در گیاه برنج همزیست‌شده با قارچ *P. indica* *ایندیکا* گزارش شد (موسوی و همکاران، ۱۳۹۱). اثرات مثبت همزیستی شبه‌میکوریزایی در رشد رویشی و عملکرد گیاه می‌تواند به علت بهبود جذب فسفر و افزایش جذب آب به وسیله هیف‌های قارچی و همچنین افزایش تراکم و طول ریشه گیاه، به‌ویژه در شرایط تنش خشکی باشد (ابو-قالیا و خلافلاح، ۲۰۰۸). همچنین، گزارش گردید که *P. indica* با تولید مقادیر فراوانی اسید فسفاتاز موجب حلالیت فسفر نامحلول خاک و فراهمی آن برای گیاه می‌شود (زرین‌جوب و همکاران، ۱۳۹۱) و جذب مواد مغذی و معدنی را تسهیل می‌کند (وارما و همکاران، ۲۰۱۳). در پژوهشی دیگر، مزایای این قارچ را ترشحات هورمون‌های افزاینده رشد بر گیاه میزبان ذکر نمودند (برازنی و همکاران، ۲۰۰۷).

با توجه به تفاوت‌های فیزیولوژیکی دو رقم کیفی و پرمحصول مورد مطالعه، اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها از لحاظ وزن هزار دانه، عملکرد شلتوک، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت

مشاهده شد. کاهش میزان آبیاری موجب کاهش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک در هر دو رقم گردید. عملکرد بیولوژیک به‌ترتیب از ۱۱۲۷۰ و ۱۵۶۸۰ کیلوگرم در هکتار در روش غرقاب دائم برای طارم هاشمی و شیرودی به ۸۶۵۰ و ۱۱۹۷۰ در تیمار کاهش ارتفاع آب به ۲۰ سانتی‌متری عمق خاک، کاهش یافت. اما این تغییر برای عملکرد شلتوک در رقم طارم هاشمی، تنها با کاهش میزان آب به ارتفاع ۲۰ سانتی‌متری عمق خاک، معنی‌دار بود و در مقایسه با تیمار غرقاب دائم، حدود ۱۸ درصد کاهش نشان داد. میزان عملکرد شلتوک در رقم شیرودی نیز از ۷۸۰۱ کیلوگرم در هکتار در روش غرقاب دائم به ۵۵۹۲ و ۵۵۷۵ کیلوگرم در هکتار به ترتیب در تیمارهای کاهش سطح آب به عمق ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متر کاهش یافت (جداول ۳ و ٦). همچنین مقایسه میانگین برهم‌کنش تیمارهای همزیستی با قارچ *P. indica* و دو رقم مورد مطالعه نشان داد که تیمار تلقیح با قارچ سبب افزایش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک در رقم شیرودی گردید، به‌طوری‌که در مقایسه با تیمار عدم تلقیح، ۷/٤ درصد افزایش داشت؛ اما این افزایش برای رقم طارم هاشمی معنی‌دار نبود (جدول ۷).

مطابق نتایج مقایسات میانگین، تمام ترکیب‌های تیماری در هر رقم از لحاظ شاخص برداشت در یک گروه آماری قرار گرفتند و تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نشان ندادند (جدول ٦). از لحاظ وزن هزار دانه نیز، تیمار تلقیح با قارچ موجب افزایش معنی‌دار این صفت در مقایسه با تیمار عدم تلقیح گردید. همچنین، وزن هزار دانه رقم طارم هاشمی به میزان ۲۷/٤۵ گرم بوده که برتری معنی‌داری در مقایسه با رقم شیرودی با وزن هزار دانه ۲۵/۰۵ گرم داشت. این در حالی است که بین سطوح مختلف کم‌آبیاری اختلاف معنی‌داری از لحاظ وزن هزار دانه مشاهده نشد (جدول ۳ و ٤). برتر بودن میزان عملکرد شلتوک و عملکرد بیولوژیک در شرایط غرقاب و متفاوت بودن پاسخ برنج به روش‌های مختلف آبیاری قبلاً نیز گزارش شده بود (حسنی و همکاران، ۱۳۸۸). در پژوهشی روی برنج نشان داده شد که در هر دو رقم طارم و شیرودی، بیش‌ترین عملکرد در تیمار غرقاب دائم رخ داد که مقدار آن به ترتیب ٤۲۱۰/۳ و ٦۷۹۹/۷ کیلوگرم در هکتار بود (عرب‌زاده و یوسفیان، ۱۳۹۱). به‌نظر می‌رسد تنش رطوبتی در مراحل مختلف رشد غلات باعث کاهش عملکرد کل ماده خشک، عملکرد شلتوک، شاخص برداشت، وزن هزار دانه و سایر اجزای عملکرد دانه می‌شود (کمیلی و همکاران، ۱۳۸۵). پژوهشگران دلیل اصلی کاهش عملکرد و وزن هزار دانه در تنش خشکی را تغییر طول دوره پر شدن دانه در این شرایط می‌دانند (گودینگ و همکاران، ۲۰۰۳). البته گزارش‌هایی وجود دارد که تأثیر خشکی بر عملکرد و اجزای آن امری بدیهی است، ولی طول دوره خشکی مشخص‌کننده شدت و ضعف آن می‌باشد و کاهش رطوبت در مرحله تشکیل خوشه و گل‌دهی باعث می‌گردد عمل تلقیح به خوبی انجام نشده و عملکرد دانه برنج کاهش یابد (سلیمانی و امیری‌لاریجانی، ۲۰۰۳). البته گزارش‌هایی وجود دارد که تنش‌های مقطعی در برخی از دوره‌های فیزیولوژیکی برنج باعث افزایش عملکرد در مقایسه با حالت غرقاب دائم می‌شود، اما با افزایش تنش عملکرد کاهش می‌یابد (یانگ و همکاران، ۲۰۰۱).

تلقیح با قارچ شبه‌میکوریز سبب افزایش عملکرد شلتوک و عملکرد بیولوژیک در مقایسه با تیمار عدم تلقیح گردید. این یافته با نتایج مطالعات روی گندم مطابقت دارد، که گزارش شده است همزیستی قارچ *P. indica* در شرایط تنش خشکی، موجب افزایش مثبت و معنی‌دار تمام صفات مورفولوژیکی اندازه‌گیری شده (تعداد سنبله، وزن دانه هر سنبله، تعداد دانه هر سنبله، تعداد بوته، عملکرد بیولوژیک) به جز شاخص برداشت و وزن هزار دانه گردید (یعقوبیان، ۱۳۹۰). همچنین در پژوهشی دیگر، با تلقیح همزمان قارچ‌های میکوریز و شبه‌میکوریز، افزایش معنی‌داری در عملکرد بیولوژیک گندم مشاهده شد (یعقوبیان و همکاران، ۱۳۹۱). نتایج تحقیقات روی گیاه جو نیز نشان داد که تلقیح ریشه با قارچ *P. indica* سبب افزایش مقدار وزن خشک اندام هوایی به میزان ٤٦ درصد نسبت به شرایط بدون تلقیح گردید (کریمی شرودانی و همکاران، ۱۳۹٤). تأثیر تلقیح قارچ *P. indica* در افزایش زیست‌توده گیاهان ذرت و تنباکو نیز توسط محققان مورد بررسی قرار گرفته است و نتایج حاکی از افزایش زیست‌توده قسمت‌های هوایی و ریشه گیاهان تلقیح شده با قارچ به میزان دو برابر نسبت به گیاهان تلقیح نشده بوده است (ورما و همکاران، ۱۹۹۸). گزارش شده است که گیاهان برنج تلقیح شده با *P. indica* از نظر تمام شاخص‌های رشد اندازه‌گیری شده در مراحل رشد رویشی و زایشی، نسبت به شاهد برتری داشتند (پراجاپاتی و همکاران، ۲۰۰۸). والر و همکاران (۲۰۰۵) نیز نشان دادند تلقیح گیاه جو با قارچ یاد شده باعث افزایش ۱۱ درصدی عملکرد دانه نسبت به شاهد گردید. افزایش عملکرد دانه در گیاهان تلقیح شده در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده توسط سایر پژوهشگران نیز گزارش شده است که دلیل چنین افزایشی را مرتبط به سازوکار عمل این قارچ در بهبود جذب فسفر و آب دانستند (برای نمونه: جمشیدی و همکاران، ۱۳۹۲). هرچند کاهش وزن هزار دانه برنج در اثر تنش آب قبلاً گزارش شده بود (ساداتی، ۱۹۹٦)، اما در یافته‌های تحقیق حاضر این تفاوت معنی‌دار نبوده است. این امر می‌تواند به دلیل رابطه جبران-

کنندگی بین اجزای عملکرد باشد، به‌طوری‌که در تیمارهای کم‌آبیاری تعداد دانه در خوشه کمتری تولید شده و در نتیجه فرصت بیشتری برای پر کردن دانه‌ها و افزایش وزن هزار دانه وجود داشته است (میری و همکاران، ۱۳۹۱). افزایش وزن هزار دانه در تیمار تلقیح با *P. indica* پیش‌تر در پژوهشی دیگر گزارش شده بود که این افزایش به اثر تلقیح قارچ در افزایش فتوسنتز و انتقال شیره پرورده بیشتر به دانه در مرحله پر شدن دانه، به دلیل بهبود جذب آب و عناصر غذایی مرتبط دانسته شد (جمشیدی و همکاران، ۱۳۹۲). علاوه بر موارد ذکر شده، تحقیقات ثابت نموده است که قارچ *P. indica* باعث افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی زنده و غیرزنده از جمله خشکی می‌شود (سان و همکاران، ۲۰۱۰). ضمن اینکه پژوهشگران نیز اظهار داشتند که قارچ *P. indica* با بسیاری از گونه‌های گیاهی همزیستی داشته و رشد رویشی و عملکرد آن‌ها را به‌دلیل نفوذ بهتر هیف‌های قارچ در مقایسه با ریشه‌های مویین به‌نسبت ضخیم، افزایش می‌دهد (اوئلمولر و همکاران، ۲۰۰۹). از آنجایی که قارچ درون‌رست *P. indica* در شرایط خشک جداسازی شده است، این احتمال می‌رود که توانایی القای مقاومت به خشکی را به گیاه داشته باشد (اوئلمولر و همکاران، ۲۰۰۹). در بررسی اثر تلقیح *P. indica* در مقاومت به خشکی آرابیدوپسیس گزارش شد که در مجاورت تنش خشکی متوسط، گیاهچه‌های همزیست‌شده با قارچ به رشد خود ادامه دادند حال آن که گیاهچه‌های بدون همزیستی پژمرده شدند و رشد نکردند (شرامتی و همکاران، ۲۰۰۸).

نتیجه گیری

بر اساس یافته‌ها، میزان بهره‌وری و کارآیی مصرف آب به‌ترتیب معادل ۰/٤٦١ و ۱/٤۰۹ کیلوگرم بر مترمکعب برای رقم طارم هاشمی و ۰/۷۹۷ و ۱/٦۸۲ کیلوگرم بر مترمکعب برای رقم شیرودی به‌دست آمد. مطابق نتایج، رقم شیرودی از نظر بهره‌وری مصرف آب برتری معنی‌داری نسبت به رقم طارم هاشمی از خود نشان داد که ممکن است یکی از دلایل آن بالاتر بودن عملکرد این رقم باشد. هم بهره‌وری و هم کارایی مصرف آب در تیمارهای کم‌آبیاری به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمار غرقاب دائم افزایش یافت. این صفات به‌ترتیب از ۰/٤۹۱ و ۱/۱۹۹ در تیمار غرقاب به ۰/۷٦٥ و ۱/۸۸۸ کیلوگرم بر مترمکعب در سطح سوم تیمار کم‌آبیاری (کاهش ارتفاع آب به پایین‌تر از ۲۰ سانتیمتری خاک) رسید. از سوی دیگر، تیمار تلقیح با قارچ اثر معنی‌داری بر صفات یاد شده نداشت، اگرچه میزان آن‌ها را اندکی افزایش داده بود (جدول ٤). پژوهشگران یکی از مزایای روش‌های کم‌آبیاری را افزایش نسبت محصول تولید شده در واحد آب مصرفی (بهره‌وری) گزارش کردند (عرب‌زاده و آقاجانی، ۱۳۸۱) که با یافته‌های این پژوهش مطابقت دارد. افزایش کارایی مصرف آب با روش آبیاری تناوبی در پژوهشی دیگر نیز گزارش شده است (گورا و همکاران، ۱۹۹۸).

در مجموع، یافته‌های این پژوهش حاکی از اثر مثبت همزیستی ریشه گیاه برنج با قارچ *P. indica* در کاهش اثرات تنش حاصل از کم‌آبیاری بود. در چنین شرایطی میزان برخی صفات مورد مطالعه نظیر تعداد دانه پر در خوشه، عملکرد شلتوک، عملکرد بیولوژیک و وزن هزاردانه افزایش یافت. بنابراین به‌نظر می‌رسد استفاده از این قارچ همراه با کم‌آبیاری تناوبی، در مواقع کم‌آبی مانند زمان خشکسالی که در چند سال اخیر بـه طور مرتب رخ داده است، بتواند به‌عنوان راهکاری جدید جهت افزایش بهره‌وری آب در دسترس و کاستن از زیان‌های اقتصادی و زیست‌محیطی مورد توجه قرار گیرد. با این وجود، شناسایی سازوکارهای دخیل نیازمند انجام پژوهش‌های تکمیلی است.

منابع

اخوت، م. و م. دانش وکیلی. ۱۳۷٦. برنج (کاشت، داشت، برداشت). انتشارات فارابی، تهران. ۲۱۲ صفحه.

اسدی، م. ا.، پ. شاهین و ر. احمدی. ۱۳۸٤. معرفی روش جدید آبیاری برنج در کشور چین. فصلنامه علمی ترویجی خشکی و خشکسالی کشاورزی. شماره۱۷: ۲۱-۱۳.

جمشیدی، ا.، ا. قلاوند، ف. سفیدکن و ا. محمدی گل‌تپه. ۱۳۹۲. اثر مثبت قارچ *P. indica* بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد رازیانه تحت تأثیر مواد آلی. ویژه‌نامه نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار. ۱۵۸-۱٤٤.

حسنی، ا.، ع. تشکری، م. قاسمپور علمداری و غ. علیزاده .۱۳۸۸. روش‌های مختلف کشت و آبیاری و اثر آن بر رقم برنج طارم محلی. پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد. دانشگاه آزاد اسلامی واحد قائمشهر.

حقایقی مقدم، ا. و ع. فرزانه. ۱۳۸۷. ارائه راهکارهایی برای افزایش بهره‌وری آب در مزارع برنج کشور. ۱۲ صفحه.

زرین‌جوب، ح.، م. ج. زارع ، ا. محمدی گل‌تپه، ع. حاتمی و م. پورسیابیدی. ۱۳۹۱. تأثیر منابع مختلف فسفر بر عملکرد و جذب عناصر آفتابگردان تحت دو سیستم کشت. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی. جلد ۵، شماره ۳: ۱۱٤-۹۹.

سپهری، م.، صالح راستین، ن.، حسینی سالکده، ق. و خیام نکویی، م. ۱۳۸۸. بررسی تأثیر قارچ *Piriformospora indica* بر بهبود رشد و افزایش مقاومت گیاه جو *Hordeum vulgare* L. به تنش شوری. مجله علمی پژوهشی مرتع، ۳: ۵۰۸-۵۱۸.

سعادتی، ن. ۱۳۷۷. اثر تنش خشکی روی عملکرد و مصرف آب در مراحل مختلف رشد برنج. گزارش پژوهش. انتشارات مؤسسه تحقیقات برنج ایران. ۱۸ صفحه

سلیمانی، الف و ب، امیری‌لاریجانی. ۱۳۸۲. اصول تولید برنج. انتشارات ترویج. ۳۰۳ صفحه.

عباسی، ف.، ناصری، ا.، سهراب، ف.، باغانی، ج.، عباسی، ن. و اکبری، م. ۱۳۹٤. ارتقای بهره‌وری مصرف آب. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.

عرب‌زاده، ب. و س. آقاجانی. ۱۳۸۱. برنج (رشد و نمو گیاهی، نیاز آبی، آفات و بیماری‌ها و مدیریت علف‌های هرز). نشر آمل. ۱٤۲ صفحه.

عرب‌زاده، ب. و م. یوسفیان. ۱۳۹۱. مطالعه بهره‌وری مصرف آب در کشت نشایی برنج. اولین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه. موسسه تحقیقات خاک و آب کرج صفحه‌ی ۱۲.

عربی یزدی، ا.، ا. علیزاده و ف. محمدیان. ۱۳۸۸. بررسی ردپای اکولوژیک آب در بخش کشاورزی ایران. نشریه آب و خاک. جلد ۲۳، شماره ٤: ۱۵-۱.

کریمی شرودانی، ف.، م. سپهری ، م. افیونی و م.ع. حاج عباسی. ۱۳۹٤. اثر قارچ اندوفایت *Piriformospora indica* بر افزایش مقاومت گیاه جو به فلز سرب. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک. جلد ۱۹، شماره ۷۱: ۳۲۱-۳۱۱.

کمیلی، ح. ر.، م. ح. راشد محصل، م. قدسی و ا. زارع. ۱۳۸۵. ارزیابی تحمل به خشکی ژنوتیپ‌های جدید گندم در شرایط تنش رطوبتی. مجله پژوهش زراعی. شماره ٤: ۳۰۱ تا ۳۱۰.

موسوی، ح. ۱۳۹۱. استفاده از قارچ اندومایکوریز (*Piriformospora indica*) در القای مقاومت علیه بیماری بلاست برنج (*Maganaporthe grise*a). پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی. دانشگاه صنعتی اصفهان.

موسوی، س. ح.، شریف‌نبی، ن.، بابایی‌زاد، و.، علوی، س. م.، تاجیک قنبری، م. ع. و مساح، ا. ۱۳۹۱. بررسی امکان همزیستی و ارزیابی قارچ اندومایکوریز *Piriformospora indica* در گیاه برنج. بیماری‌های گیاهی، ٤۸ (۳): ٤٤۲-٤٤۱.

میری، ح. ر.، و. نیاکان و ع. ر. باقری. ۱۳۹۱. تأثیر آبیاری تناوبی بر عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری آب در کشت مستقیم برنج در منطقه کازرون. مجله تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی. جلد۲، شماره ۵: ۲۷-۱۳.

یعقوبیان، ی. ۱۳۹۰. تأثیر قارچ‌های آربوسکولار و شبه میکوریزا (*Piriformospora indica, Glomus mosseae*) روی مقاومت به خشکی گندم با استفاده از شاخص‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

یعقوبیان، ی.، ه. پیردشتی، ا. محمدی گل‌تپه، و. فیضی اصلی و ع. اسفندیاری. ۱۳۹۱. ارزیابی واکنش گندم دیم رقم آذر ۲ به همزیستی با قارچ‌های میکوریزای آربوسکولار و شبه میکوریزا در سطوح مختلف تنش خشکی. مجله بوم‌شناسی کشاورزی. جلد ٤، شماره (۱): ۷۳-٦۳.

یوسفیان، م. ۱۳۸۰. بررسی کارایی مصرف آب (WUE) در ارقام برنج. پایان نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی. دانشکده کشاورزی. دانشگاه زنجان.

Abbasi, M.R. and Sepaskhah, A. R. 2011. Effects of water-saving irrigation on different cultivars (*Oryza sativa* L.) in field conditions. .Int. J. Plant Prod. 5 (2): 153- 166.

Abo-Ghalia, H. H. and A. A. Khalafallah. 2008. Responses of wheat plants associated with arbuscular mycorrhizal fungi to short-term water stress followed by recovery at three growth stages. J. Appl. Sci. Res.4: 570-580.

Baldi, A., A. Jain, N. Gupta, A. K. Srivastava and V. S. Bisaria. 2008. Co-culture of arbuscular mycorrhiza-like fungi (*Piriformospora indica* and *Sebacina vermifera*) with plant cells of *Linum album* for enhanced production of podophyllotoxins: a first report. Biotechnol. Lett. 30:1671-1677.

Barazani, O., C. C. Von Dahl and I. T. Baldwin. 2007. *Sebacina vermifera* promotes the growth and fitness of *Nicotiana attenuata* by inhibiting ethylene signaling. Plant Physiol. 144: 1223-1232.

Bouman, B. A. M. and T. P. Tuong. 2001. Field water management to save water and increase its productivity in irrigated rice. Agric. Water Manag. 49: 11–30.

Deshmukh, S., R. Huckelhoven, P. Schafer, J. Imani, F. Sharma and K. Kogel. 2006. The root endophytic fungus *Piriformospora indica* requires host cell death for proliferation during mutualistic symbiosis with barley. Proc. Natl. Acad. Sci.103:18450–18457.

Farshadfar, E., R. Mohammadi, M. Aghaee and J. Sutka. 2003. Identification of QTLs involved in physiological and agronomic indicators of drought tolerance in rye using a multiple selection index. Acta Agron. Acad. Sci. Hung. 51: 419-428.

Ghorbanli, M., S. H. Hashemi Moghadam and A. Fallah. 2004. Evaluation of interaction of irrigation and nitrogen on some physiological and morphological traits of rice. J. Agric. Sci. 3: 415-428.

Gooding, M. J., R. H. Ellis, P. R. Shewry and J. D. Schofield. 2003. Effects of restricted water availability and increased temperature on the grain filling, drying and quality of winter wheat. J. Cereal Sci. 37: 295-309.

Guerra, L. C., S. I. Bhuiyan, T. P. Tuong and R. Barker. 1998. Producing more rice with less water from irrigated systems. SWIM Paper 5, International Irrigation Management Institute, Colombo, Sri Lanka.

Hughes, S. G., J. A. Bryant and N. Smirinoff. 1989. Molecular biology, application to studies of stress tolerance. In: Plants under stress. Hamlyn, G.J., T.J. Flowers, M.B. Jonea, eds. New York: Cambridge University Press 131-135.

IRRI, PhilRice, NIA and BASC. 2005. Aerobic rice: A water-saving technology in development. www.irri.com.

Nematzadeh, G. A., G. S. Khush and B. S. Brar. 1993. Classification of rice germplasm from Iran via isozyme analysis. Rice Genet. Newsl. 1(10): 1-10.

Oelmuller, R., I. Sherameti, S. Tripathi and A. Varma. 2009. *Piriformospora indica*, a cultivable root endophyte with multiple biotechnological applications. Symbiosis. 49:1-17.

Prajapati, K., K. D. Yami and A. Singh. 2008. Plant growth promotional effect of *Azotobacter chroococcum*, *Piriformospora indica* and vermicompost on rice plant. Nepal J. Sci. Technol. 9: 85-90.

Sherameti, I., S. Tripathi, A. Varma and R. Oelmüller. 2008. The root-colonizing endophyte *Piriformospora indica* confers drought tolerance in Arabidopsis by stimulating the expression of drought stress-related genes in leaves. Mol. Plant-Microbe Interact. 21:799-807.

Siddique, M. R. B., A. Hamid and M. S. Islam. 1999. Drought stress effects on photosynthetic rate and leaf gas exchange of wheat. Bot. Bull. Acad. Sin. (Taipei). 40:141-145.

Singh, A. and A. Varma. 2005. Functional and immuno-characterization of sebacinaes: fungi with a broad mycorrhizal potentials. Sci. World J. 3: 53-61.

Slafer, G., J. Araus, C. Royo and L. G. Morol. 2005. Promising eco-physiological traits for genetic improvement of cereal yields in Meditarranean environments. Ann. Appl. Biol. 146:61-70.

Sun, C., J. M. Johnson, D. Cai, I. Sherameti, R. Oelmuller and B. Lou. 2010. *Piriformospora indica* confers drought tolerance in Chinese cabbage leaves by stimulating antioxidant enzymes, the expression of drought related genes and the plastid-localized CAS protein. J. Plant Physiol. 167: 1009-1017.

Varma, A., K. Sowjanya Sree, M. Arora, R. Bajaj, R. Prasad and A. Kharkwal. 2014. Functions of novel symbiotic fungus - *Piriformospora indica.* Proc. Indian Natn. Acad. Sci. 80(2): 429-44.

Verma, S., A. Varma, K. H. Rexer, G. Kost, A. Sarbhoy, P. Bisen, B. Butehorn and P. Franken. 1998. *Piriformospora indica* gen. et sp. Nov., A new root-colonizing fungus. Mycologia. 95: 896-903.

Vierheilig, H., A. P. Coughlan, U. Wyss and Y. Piche. 1998. Ink and vinegar, a simple staining technique for arbuscular mycorrhizal fungi. Appl. Environ. Microbiol. 64(12): 5004- 5007.

Waller, F., B. Achatz, H. Baltruschat, J. Fodor, K. Becker, M. Fischer, T. Heier, R. Huckelhoven, C. Neumann, D. Von Wettstein, P. Franken and K. H. Kogel. 2005. The endophytic fungus *Piriformospora indica* reprograms barley to salt-stress tolerance, disease resistance, and higher yield. Proc. Natl. Acad. Sci. 102(38): 13386-13391.

Yang, J., J. Zhang, Z. Wang, Q. Zhu and W. Wang. 2001. Remobilization of carbon reserves in response to water deficit during grain filling in rice. *Field Crops Res*. 71:47-55.

Yoshida, S. 1975. Factors that limit the growth and yields of upland rice. PP. 46-71. *In:* Major Research in Upland Rice, IRRI, Los Banos, Philippines.

The rol of fungus Piriformospora indica on improving the grain related parameters of two native and improved rice cultivars under limited irrigation regimes

A. Aghajani Delavar[1], M. Parsa[2], H. Pirdashti[3], M. Kafi[4], V. Babaeizad[5]

Received: 2016-9-7 Accepted: 2016-12-8

Abstract

In order to evaluate the rol of mycorrhiza-like fungus Piriformospora indica on rice grain yield and water use efficiency under different limited irrigation regimes a field experiment was conducted in split factorial design with three replicates during 2014. Treatments were different irrigation methods at three levels (flooding, flooding after falling water depth less than 10 and 20 cm of soil surface) in main plot, two levels of P. indica inoculation (control and inoculation of six days old seedlings) and two rice cultivars (Tarom-Hashemi and Shiroudi) in sub plots as factorial. Results showed that maximum grain yield was obtained in Shiroudi cultivar in flooding (7801 kg/ha), followed by -10 and -20 cm irrigation regimes (5592 and 5575 kg/ha, resectively). This reduction in Tarom-Hashemi cultivar, however, was only significant where falling water depth was less than 20 cm of soil surface and yield loss was about 18 percent as compared to the flooding treatment. Nevertheless, P. indica inoculation in Shiroudi cultivar increased biological yield by 8 %, as compared to Tarom-Hashemi cultivar. Also inoculated plants had 4% more grain yield than the uninoculated plants. Water use productivity and efficiency amounts in limited irrigation regimes was increased significantly in falling water depth less than 20 cm of soil surface treatment by 55 and 57 % , respectively as compared to flooding treatment. In conclusion, results represented a positive effect of coexistence between P. indica and rice plants particularly to ameliorate water deficit negative effects.

Keywords: Biological yield, drought stress, seedling inoculation, water efficiency, water productivity

1- Ph.D student of Crop Physiology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
2- Associate Professor and Professor, Department of Agronomy, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
3- Associate Professor, Department of Agronomy, Genetics and Agricultural Biotechnology Institute of Tabarestan, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
4- Professor, Department of Agronomy, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
5- Assistant Professor, Department of Plant Protection, Genetics and Agricultural Biotechnology Institute of Tabarestan, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran