پژوهش‌های بذر ایران/ سال دهم/ شماره اول/ ۱۴۰۲/ صفحات: ۶۱-۴۳

مقاله پژوهشی

اثر قارچ‌های همزیست ریشه بر مؤلفه‌های جوانه‌زنی و رشدی دو رقم بومی و اصلاح‌شده برنج (*Oryza sativa*)

همت‌اله پیردشتی[1*]، یاسر یعقوبیان[2]، زهرا نوری آکندی[3]، مهرانوش امامیان طبرستانی[4]، سید یاسر اشرفی[5]، فائزه وادی‌پور[6]

چکیده مبسوط

مقدمه: جوانه‌زنی و سبزشدن، حساس‌ترین مرحله رشد و نمو گیاه برنج محسوب می‌شوند. در این زمینه، استفاده از قارچ‌های افزاینده رشد به‌صورت پیش‌تیمار زیستی (بیوپرایمینگ) بذر جهت جوانه‌زنی و رشد مطلوب گیاهچه‌ها می‌تواند مفید باشد. در همین راستا، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر قارچ‌های همزیست ریشه بر بهبود مؤلفه‌های جوانه‌زنی و رشدی دو رقم بومی و اصلاح‌شده برنج (*Oryza sativa* L.) اجرا شد.

مواد و روش‌ها: این آزمایش در تابستان ۱۴۰۰ در آزمایشگاه تنش‌های محیطی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل ۲۲ جدایه قارچی همزیست ریشه (جداسازی و شناسایی شده از آزمایش‌های پیشین) و شاهد (بدون تلقیح) و دو رقم بومی (هاشمی) و اصلاح شده (روشن) برنج بودند. پس از پایان دوره جوانه‌زنی، تعداد گیاهچه نرمال شمارش شده و به‌صورت تصادفی پنج عدد گیاهچه نرمال برای اندازه‌گیری طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه و همچنین وزن‌تر و خشک ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه انتخاب شدند.

یافته‌ها: بر اساس نتایج تجزیه خوشه‌ای در رقم روشن و هاشمی قارچ‌ها به‌ترتیب به چهار و سه گروه تقسیم و در هر دو رقم گروه I به‌عنوان بهترین گروه انتخاب شد، به‌طوری‌که در این گروه بیشترین اثر افزایشی بر صفات رویشی از ۵ تا ۵۹ درصد نسبت به شاهد در تیمارهای قارچی مربوط به قارچ‌های *Bjerkandera adusta* (ST1)، *Trichoderma atroviride* (SF1)، *Monosporascus cannonballus* (B3) و *Trichoderma atroviride* (SN1) در رقم روشن و *Bjerkandera adusta* (ST1) در رقم هاشمی بود. برترین تیمارهای قارچی در صفات جوانه‌زنی دو رقم روشن و هاشمی به‌ترتیب مربوط به *Chaetomium globosum* (SE2) و *Bjerkandera adusta* (ST1) بود.

نتیجه‌گیری: در مجموع، نتایج بیانگر تأثیر مثبت بسیاری از قارچ‌های همزیست مورد مطالعه بر ویژگی‌های جوانه‌زنی و رشدی گیاهچه برنج در هر دو رقم روشن و هاشمی بود. این نتایج نشان می‌دهد که قارچ‌های همزیست از سازوکارهای مختلفی برای افزایش رشد و بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی در گیاهان استفاده می‌کنند.

واژه‌های کلیدی: برنج، پیش‌تیمار زیستی، تریکودرما، مؤلفه‌های جوانه‌زنی، همزیستی

جنبه‌های نوآوری:

۱- از قارچ‌های همزیست به‌صورت پیش‌تیمار زیستی (بیوپرایمینگ) بذر جهت جوانه‌زنی و رشد مطلوب گیاهچه‌ها در برنج استفاده شد.

۲- تأثیر جدایه‌های اندوفیت بومی برای اولین بار بر ویژگی‌های جوانه‌زنی دو رقم بومی و اصلاح شده برنج مورد بررسی قرار گرفت.

[1] استاد گروه زراعت، پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

[2] استادیار گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

[3] دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

[4] دکتری زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

[5] دانشجوی دکتری اگروتکنولوژی-فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

[6] دانشجوی کارشناسی مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

[*] رایانامه نویسنده مسئول: h.pirdashti@sanru.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۰۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۲۷)

http://dorl.net/dor/20.1001.1.23831251.1402.10.1.3.1

DOI: 10.61186/yujs.10.1.43

مقدمه

افزایش روزافزون جمعیت دنیا و مسئله گرسنگی که بشر را در حال و آینده تهدید می‌کند، جز با افزایش تولیدات کشاورزی قابل کنترل نیست. نیل به این هدف از دو طریق افزایش سطح زیرکشت و عملکرد در واحد سطح به‌دست می‌آید (آقازاده فولکی[1] و همکاران، ۲۰۰۸) به‌دلیل محدود بودن سطح زیرکشت، بدون تردید افزایش عملکرد در واحد سطح، مناسب‌ترین و بهترین گزینه خواهد بود (عزیزی[2] و همکاران، ۲۰۱۸). در این میان، غلات به‌دلیل برخورداری از برخی ویژگی‌های مهم از جمله داشتن انرژی زیاد، سهولت حمل، انبار کردن و سازگاری به عوامل محیطی در زمره مهم‌ترین گیاهانی محسوب می‌شوند که در تأمین نیاز بشر نقش عمده‌ای را به‌خود اختصاص داده است. برنج با نام علمی *Oryza sativa* L. یکی از مهم‌ترین غلات می‌باشد. این گیاه راهبردی ماده غذایی اصلی بیش از نیمی از جمعیت دنیا را تشکیل می‌دهد. در قاره آسیا نیز ۳۵ تا ۸۰ درصد از کالری مورد نیاز روزانه ۳/۳ میلیارد نفر را تأمین می‌کند؛ بنابراین نقش مهمی در تغذیه، درآمد و اشتغال‌زایی مردم از جمله ایران دارد که غذای اصلی بیش از نیمی از جمعیت جهان را تأمین می‌کند و از لحاظ کشاورزی و تغذیه اهمیت بسیار زیادی دارد. در ایران بعد از گندم، برنج دومین محصول کشاورزی پرمصرف است که مصرف آن بعد از دهه ۵۰ افزایش چشمگیری داشته است (عرفانی[3] و همکاران،۲۰۲۰؛ بادیردست[4] و همکاران، ۲۰۱۹). در میان ارقام مختلف برنج، رقم هاشمی جزء ارقام زودرس بوده و کیفی محسوب می‌شود (موسوی دیزکوهی[5]، ۲۰۱۳). از طرفی، در سال‌های اخیر رقم روشن به‌عنوان یک رقم اصلاح شده با عملکرد بالا به همراه خصوصیات فیزیکوشیمیایی و عطر و طعم مطلوب معرفی شد (نعمت‌زاده[6]، ۲۰۱۸).

جوانه‌زنی و سبز شدن حساس‌ترین مراحل رشد و نمو گیاهان از جمله برنج به‌شمار می‌روند. جوانه‌زنی سریع بذور و استقرار سریع بوته‌ها به‌دلیل افزایش سرعت رشد اولیه بوته‌ها، دستیابی سریع‌تر به پوشش کامل زمین و شاخص سطح برگ مناسب و در نتیجه افزایش کارایی استفاده از عوامل محیطی مانند تشعشع، بهبود قدرت رقابت با علف‌های هرز حائز اهمیت است (مرادی[7] و همکاران، ۲۰۱۸). همچنین، بوته‌های دارای ریشه گسترده‌تر پس از نشا از نظر قابلیت استقرار در خاک و جذب مواد غذایی بیشتر و عملکرد بالاتر موفقیت بیشتری خواهند داشت (ناکاگارا[8] و همکاران، ۱۹۹۷). به‌نظر می‌رسد در صورت عبور بذر از مرحله جوانه‌زنی، گیاهچه‌های حاصل شانس بیشتری برای ادامه رشد و توسعه داشته و توانایی بالاتری جهت تحمل و غلبه بر شرایط نامساعد محیطی پیدا خواهند کرد (محمدی[9]، ۲۰۰۹). ظهور سریع و یکنواخت گیاهچه‌ها در مزرعه نیز از جمله عوامل مهم در استقرار و حصول تراکم بوته مطلوب برای دستیابی به عملکرد کمی و کیفی بالقوه گیاهان زراعی گزارش شده است (یونسی[10] و همکاران، ۲۰۱۲).

امروزه فناوری‌های مختلفی برای افزایش کیفیت بذر با هدف افزایش درصد، سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی و استقرار بهتر گیاهچه مورد استفاده قرار می‌گیرد. یکی از این فناوری‌ها، پیش‌تیمار یا پرایمینگ بذر است (ثابتی[11] و همکاران، ۲۰۱۹). فناوری پرایمینگ بذر نوعی پیش‌تیمار بذرها است که با تأثیر بر وضعیت متابولیکی، بیوشیمیایی و آنزیمی بذر، قدرت آن را در راستای ایفای بهتر وظایف زیستی از جمله جوانه‌زنی و استقرار گیاه بالا می‌برد (توسلی[12]، ۲۰۲۱) در بذرهای پیش‌تیمار شده برخی تغییرات متابولیکی صورت گرفته و کربوهیدرات‌ها در اثر آنزیم‌ها از جمله آلفاآمیلاز و واکنش‌های هیدرولیزکننده شکسته شده و آماده شرکت در فرآیند جوانه‌زنی می‌گردند. این مسئله می‌تواند توجیهی برای تسریع جوانه‌زنی و کاهش متوسط زمان جوانه‌زنی باشد (مرادیان[13] و همکاران، ۲۰۱۸).

[1] Aghazadeh Foulaki
[2] Azizi
[3] Erfani
[4] Badirdast
[5] Mousavi Dizkouhi
[6] Nematzadeh
[7] Moradi
[8] Nakagahra
[9] Mohammadi
[10] Younesi
[11] Sabeti
[12] Tavassoli
[13] Moradian

پیش‌تیمار زیستی یا بیوپرایمینگ بذر به‌عنوان یکی از روش‌های پرایمینگ با ادغام دو جنبه زیستی (تلقیح بذر با ریز جانداران مفید) و فیزیولوژیک (آبنوشی بذر) باعث بهبود کیفیت بذر می‌شود (ردی[1]، ۲۰۱۳). یکی از ریزجانداران مفید مورد استفاده در بیوپرایمینگ، قارچ‌های همزیست هستند. قارچ‌های همزیست از جمله ریزجانداران خاک می‌باشند که بدون ایجاد بیماری در بافت‌های گیاهی ساکن می‌شوند (نیکولتی و فیورنتی[2]، ۲۰۱۵). این قارچ‌ها با برقراری روابط همیاری و همزیستی در تعامل با گیاهان بوده و از طریق انجام فعالیت‌هایی مانند تولید انواع بی‌شماری از متابولیت‌ها، تجزیه ترکیبات آلی مختلف، تثبیت نیتروژن جوی، تولید مواد افزاینده رشد گیاهان و افزایش فراهمی عناصر غذایی معدنی سبب بهبود رشد گیاهان می‌گردند (سپهری[3] و همکاران، ۲۰۰۹). طی تحقیقاتی که در زمینه شناسایی قارچ‌های همزیست بومی از برخی گیاهان انجام شد، اثر مثبت این قارچ‌ها بر رشد دو گیاه خرفه (نوری آکندی[4]، ۲۰۱۹) و کلزا (امامیان طبرستانی[5]، ۲۰۱۹) گزارش گردید. همچنین در همین رابطه گزارش شد قارچ‌های همزیست سبب افزایش طول ساقه‌چه و وزن‌تر ساقه‌چه و ریشه‌چه گیاهچه برنج شدند (پنگ[6] و همکاران، ۲۰۲۰). ازجمله این ریزجانداران می‌توان به قارچ اندوفیت *Piriformospora indica* که اخیراً تحت عنوان *Serendipita indica* نامگذاری شد (بهاری ساروی[7] و همکاران، ۲۰۲۲) اشاره کرد. این قارچ قارچ جزء قارچ‌های خانواده Sebacinaceae بوده و دارای ویژگی‌هایی همانند قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار می‌باشد (ورما[8] و همکاران، ۲۰۲۱). از دیگر قارچ‌های خاک‌زی می‌توان به قارچ‌های تریکودرما اشاره کرد که نقش اصلی آن‌ها در تبدیل بازمانده‌های آلی و تولید کمپوست می‌باشد (یعقوبیان[9] و همکاران، ۲۰۱۹).

[1] Reddy
[2] Nicoletti and Fiorentino
[3] Sepehri
[4] Nouri Akandi
[5] Emamian Tabarestani
[6] Pang
[7] Bahari Saravi
[8] Verma
[9] Yaghoubian

گونه‌های قارچ تریکودرما، همزیست فرصت‌طلب و غیربیماریزای گیاهی هستند که بعضی از گونه‌های آن با سطوح ریشه کلونی‌های قوی و پایداری برقرار کرده و به درون اپیدرم و سلول‌های زیر سطح آن نفوذ می‌کنند (دشتی[10] و همکاران، ۲۰۲۱). استفاده از این ریزجانداران به ویژه کاربرد ترکیبی *Piriformospora indica* (Pi) + *Pantoea ananatis* باعث بهبود تمامی صفات رویشی و عملکرد دانه برنج نسبت به شاهد شد (گیلانی[11] و همکاران، ۲۰۱۸). سراج[12] و همکاران (۲۰۱۷) نیز گزارش دادند پیش‌تیمار بذر با قارچ‌های همزیست به‌ویژه Pi و تلفیق آن با *T. virens* رشد رویشی و محتوای نسبی آب برگ را در گندم به‌صورت قابل‌توجهی افزایش داد. همچنین پژوهشگران نشان دادند پیش‌تیمار زیستی بذر جوانه‌زنی و شاخص‌های رشدی گیاهچه گندم (قیاسی[13] و همکاران، ۲۰۱۲) و برنج (نا[14] و همکاران، ۲۰۱۴) را بهبود بخشید. بنابراین، با توجه به اهمیت مرحله جوانه‌زنی و رشد گیاهچه بر عملکرد برنج، هدف از انجام این پژوهش، بررسی تأثیر قارچ‌های همزیست ریشه جداسازی شده و منتخب از پژوهش‌های قبلی (جدول ۱) بر افزایش مؤلفه‌های جوانه‌زنی و رشدی دو رقم بومی (هاشمی) و اصلاح شده (روشن) برنج بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در تابستان سال ۱۴۰۰ در آزمایشگاه تنش‌های محیطی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. ۲۲ سویه قارچ‌های همزیست ریشه (جدول ۱) و شاهد (بدون تلقیح) و دو رقم بومی (هاشمی) و اصلاح شده (روشن) برنج به‌عنوان تیمارهای آزمایشی در نظر گرفته شدند. ابتدا قارچ‌ها در محیط کشت مایع (PDB) کشت و سپس به‌مدت دو هفته در دمای ۲۸ درجه سلسیوس و سرعت ۱۲۰ دور در دقیقه روی شیکر قرار گرفتند. پس از گذشت مدت

[10] Dashti
[11] Gilani
[12] Seraj
[13] Ghiasi
[14] Na

زمان مذکور که رشد رویشی قارچ‌ها به حداکثر خود رسید، سوسپانسیونی با غلظت 10^8 واحد کلونی‌ساز در میلی‌لیتر (CFU/ml) تهیه گردید (نوری آکندی، ۲۰۱۹؛ امامیان طبرستانی، ۲۰۱۹). پس از تهیه بذرهای برنج از پژوهشکده ژنتیک و زیست فناوری کشاورزی طبرستان، ابتدا به‌مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر خیسانده و سپس با استفاده از محلول هیپوکلریت سدیم دو درصد به مدت ۱۵ دقیقه ضدعفونی و پنج مرتبه با آب مقطر شستشو شدند. در مرحله بعد بذرها جهت تلقیح به‌مدت پنج دقیقه در سوسپانسیون قارچی (به میزان ۴۰ میلی‌لیتر) قرار گرفتند. تعداد ۲۰ عدد بذر در هر پتری (اندازه ۸) روی کاغذ صافی گذاشته و دور پتری‌ها توسط پارافیلم بسته شد تا از تبخیر رطوبت جلوگیری شود. پتری‌ها به‌مدت ده روز در دمای ۲۵ درجه سلسیوس (ایستا[1]، ۲۰۲۰) نگه‌داری و روزانه تعداد بذرهای جوانه‌زده شمارش گردید. پس از پایان دوره جوانه‌زنی، تعداد گیاهچه نرمال شمارش شده و به‌صورت تصادفی پنج عدد گیاهچه نرمال برای اندازه‌گیری طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه و همچنین وزن‌تر و خشک ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه انتخاب شدند. ریشه‌چه‌ها و ساقه‌چه‌ها به‌مدت ۴۸ ساعت در آون در دمای ۷۲ درجه سلسیوس خشک شده و وزن خشک آن‌ها با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۰۱ اندازه‌گیری گردید. مؤلفه‌های جوانه‌زنی شامل درصد جوانه‌زنی نهایی و سرعت جوانه زنی روزانه بر اساس روابط یک و دو و سرعت تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی، یکنواختی جوانه‌زنی، زمان تا ده و ۹۰ درصد جوانه‌زنی با استفاده از نرم‌افزار Germin (سلطانی و مداح[2]، ۲۰۱۰) محاسبه شد.

$$FGP = \frac{n1}{n2} \times 100 \quad \text{(رابطه ۱)}$$

FGP= درصد جوانه‌زنی نهایی، n_1= تعداد بذرهای جوانه زده، n_2= تعداد کل بذرها (شکیروا و سحابوتدینوا[3]، ۲۰۰۳).

$$DGS = \frac{1}{MDG} \quad \text{(رابطه ۲)}$$

DGS= سرعت جوانه‌زنی روزانه، MDG= متوسط جوانه زنی روزانه (مگوایر[4]، ۱۹۶۲).

$$MDG = \frac{FGP}{d} \quad \text{(رابطه ۳)}$$

MDG=متوسط جوانه‌زنی روزانه، FGP= درصد جوانه‌زنی نهایی، d= تعداد روزها تا رسیدن به حداکثر جوانه‌زنی (هانتر[5] (هانتر[5] و همکاران، ۱۹۸۴).

در نهایت آزمون نرمال بودن داده‌ها به‌روش کولموگروف-اسمیرنوف و سپس آنالیز واریانس داده‌ها و تجزیه خوشه‌ای به‌ترتیب به‌وسیله نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۴) و SPSS (نسخه ۲۲) انجام شد. میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد مورد مقایسه قرار گرفتند.

[1] ISTA
[2] Soltani and Maddah
[3] Shakirova and Sahabutdinova
[4] Maguire
[5] Hunter

جدول ۱. سویه‌های قارچ‌های همزیست استفاده شده در آزمایش

Table 1. Strains of symbiotic fungi used in experiment

ردیف Row	نام قارچ Fungi name	منبع Source
1	*Bjerkandera adusta* (ST1)	نوری آکندی، ۲۰۱۹
2	*Chaetomium globosum* (SE2)	نوری آکندی، ۲۰۱۹
3	*Chaetomium subaffine* (SF3)	نوری آکندی، ۲۰۱۹
4	*Cladorrhinum flexuosum* (DA3)	امامیان طبرستانی، ۲۰۱۹
5	*Didymosphaeriaceae* sp. B2 [OL347576]	امامیان طبرستانی، ۲۰۱۹
6	*Libertella* sp. B6 [OL336844]	امامیان طبرستانی، ۲۰۱۹
7	*Monosporascus cannonballus* (B3)	امامیان طبرستانی، ۲۰۱۹
8	*Phoma betae* (B1)	امامیان طبرستانی، ۲۰۱۹
9	*Piriphormospora indica*	یعقوبیان و همکاران، ۲۰۱۹
10	*Plectosphaerella pauciseptata* (SN2)	نوری آکندی، ۲۰۱۹
11	*Stemphylium amaranti* (SF2)	نوری آکندی، ۲۰۱۹
12	*Trichoderma atroviride* (SF1)	نوری آکندی، ۲۰۱۹
13	*T. atroviride* (SN1)	نوری آکندی، ۲۰۱۹
14	*T. citrinoviride* [UTFC 10062]	یعقوبیان و همکاران، ۲۰۱۹
15	*T. harzianum* [UTFC 10064]	یعقوبیان و همکاران، ۲۰۱۹
16	*T. lixii* [UTFC 10059]	یعقوبیان و همکاران، ۲۰۱۹
17	*T. longibrachiatum* (B8)	امامیان طبرستانی، ۲۰۱۹
18	*T. longibrachiatum* (SN4)	نوری آکندی، ۲۰۱۹
19	*T. longibrachiatum* [UTFC 10060]	یعقوبیان و همکاران، ۲۰۱۹
20	*T. simmonsii* [UTFC 10061]	یعقوبیان و همکاران، ۲۰۱۹
21	*T. simmonsii* [UTFC 10063]	یعقوبیان و همکاران، ۲۰۱۹
22	*Zopfiella latipes* (B9)	امامیان طبرستانی، ۲۰۱۹

نتایج

نتایج توزیع فراوانی و آماره‌های توصیفی شامل میانگین، انحراف معیار، واریانس، مقادیر حداکثر و حداقل و ضریب تغییرات برای دو رقم روشن و هاشمی به‌ترتیب در جدول ۲ و ۳ ارائه شده است. بیشترین مقدار ضریب تغییرات در رقم روشن مربوط به یکنواختی جوانه‌زنی (۰/۲۴۳) و زمان تا ۹۰ درصد جوانه‌زنی (۰/۲۲۹) و رقم هاشمی مربوط به یکنواختی جوانه‌زنی (۰/۲۴۳) و وزن خشک (۰/۲۳۹) و طول ریشه‌چه (۰/۲۱۱) بود. همچنین نتایج حاصل نشان داد صفت درصد جوانه‌زنی دارای کمترین ضریب تغییرات و تنوع در دو رقم مورد مطالعه بود. براین اساس شاید بتوان نتیجه گرفت که یکنواختی جوانه‌زنی، زمان تا ۹۰ درصد جوانه‌زنی و وزن خشک و طول ریشه‌چه می‌تواند معیار مناسبی برای انتخاب قارچ‌های برتر در هر دو رقم باشد.

با توجه به نتایج تجزیه خوشه‌ای قارچ‌های همزیست ریشه در رقم روشن، گروه‌بندی به‌روش حداقل واریانس وارد انجام شد. خط برش برای دندروگرام حاصل در نظر گرفته و بر این اساس قارچ‌ها به چهار گروه تقسیم شدند. لامبدای ویلکس برای تابع اول و دوم بسیار معنی‌دار (۰/۰۰۰ و ۰/۰۰۲) و برای تابع سوم معنی‌دار (۰/۰۳۰) (جدول ۴) و صحت گروه‌بندی ۱۰۰ درصد بود. گروه‌های حاصل به‌ترتیب شامل ۱۳، سه، چهار و سه تیمار قارچی بودند.

جدول ۲. آماره‌های توصیفی صفات مورد بررسی در برنج رقم روشن در تیمارهای قارچ همزیست ریشه

Table 2. Descriptive statistics of rice cv. 'Roshan' in root symbiotic fungi

	تعداد نمونه No. of sample	دامنه Range	کمینه Min.	بیشینه Max.	میانگین Mean	انحراف معیار Standard deviation	واریانس Variance	ضریب تغییرات CV	Skewness		Kurtesis	
									Value	Std. error	Value	Std. error
طول ریشه‌چه (سانتی‌متر) Root length (cm)	69	3.480	7.620	11.100	9.398	0.761	0.579	8.1	-0.086	0.289	-0.167	0.570
طول ساقه‌چه (سانتی‌متر) Shoot length (cm)	69	1.820	2.180	4.000	2.722	0.361	0.131	13.3	1.373	0.289	2.940	0.570
وزن خشک ریشه‌چه (میلی‌گرم) Root dry weight (mg)	69	1.840	3.700	5.540	4.573	0.360	0.130	7.9	-0.297	0.289	0.096	0.570
وزن خشک ساقه‌چه (میلی‌گرم) Shoot dry weight (mg)	69	1.860	3.040	4.900	3.981	0.337	0.113	8.5	-0.081	0.289	0.350	0.570
درصد جوانه‌زنی Germination percentage (%)	69	15.000	85.000	100.000	96.884	3.748	14.045	3.9	-0.967	0.289	0.251	0.570
سرعت جوانه‌زنی (بذر در روز) Germination rate (Seed per day)	69	5.000	15.000	20.000	18.144	1.011	1.022	5.6	-0.722	0.289	1.035	0.570
سرعت تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی (روز/۱) Rates reach to 50% germination (1/day)	69	0.035	0.048	0.083	0.073	0.007	0.000	9.6	-1.348	0.289	2.716	0.570
یکنواختی جوانه‌زنی (روز) Germination uniformity (day)	69	25.370	19.200	44.570	25.696	6.251	39.077	24.3	0.871	0.289	-0.219	0.570
زمان تا ۱۰ درصد جوانه‌زنی (روز) Times reach to 10% germination (day)	69	1.750	2.400	4.150	2.769	0.321	0.103	11.6	2.231	0.289	6.450	0.570
زمان تا ۹۰ درصد جوانه‌زنی (روز) Times reach to 90% germination (day)	69	26.400	21.600	48.000	28.465	6.529	42.635	22.9	0.892	0.289	-0.157	0.570

جدول ۳. آماره‌های توصیفی صفات مورد بررسی در رقم هاشمی برنج در تیمارهای قارچ همزیست ریشه

Table 3. Descriptive statistics of rice cv. 'Hashemi' in root symbiotic fungi

	تعداد نمونه No. of sample	دامنه Range	کمینه Min.	بیشینه Max.	میانگین Mean	انحراف معیار Standard Deviation	واریانس Variance	ضریب تغییرات CV	چولگی Skewness		کشیدگی Kurtesis	
									Value	Std. error	Value	Std. error
طول ریشه‌چه (سانتی‌متر) Root length (cm)	69	4.020	2.080	6.100	4.151	0.877	0.769	21.1	-0.548	0.289	0.137	0.570
طول ساقه‌چه (سانتی‌متر) Shoot length (cm)	69	1.700	2.060	3.760	3.116	0.358	0.128	11.5	-0.821	0.289	0.678	0.570
وزن خشک ریشه‌چه (میلی‌گرم) Root dry weight (mg)	69	1.080	0.320	1.400	0.833	0.199	0.040	23.9	0.047	0.289	0.404	0.570
وزن خشک ساقه‌چه (میلی‌گرم) Shoot dry weight (mg)	69	1.040	0.960	2.000	1.585	0.220	0.048	13.9	-0.378	0.289	0.302	0.570
درصد جوانه‌زنی Germination percentage (%)	69	20.000	80.000	100.000	97.391	4.166	17.359	4.3	-1.892	0.289	4.089	0.570
سرعت جوانه‌زنی (بذر در روز) Germination rate (Seed per day)	69	3.660	5.920	9.580	7.989	0.815	0.665	10.2	-0.567	0.289	0.251	0.570
سرعت تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی (روز/۱) Rates reach to 50% germination (1/day)	69	0.012	0.015	0.027	0.021	0.003	0.000	14.3	-0.214	0.289	-0.167	0.570
یکنواختی جوانه‌زنی (روز) Germination uniformity (day)	69	47.310	21.330	68.640	42.999	10.441	109.025	24.3	0.659	0.289	0.605	0.570
زمان تا ۱۰ درصد جوانه‌زنی (روز) Times reach to 10% germination (day)	69	24.330	26.670	51.000	29.701	4.732	22.390	15.9	4.023	0.289	16.103	0.570
زمان تا ۹۰ درصد جوانه‌زنی (روز) Times reach to 90% germination (day)	69	49.200	48.000	97.200	72.656	10.470	109.622	14.4	0.555	0.289	0.489	0.570

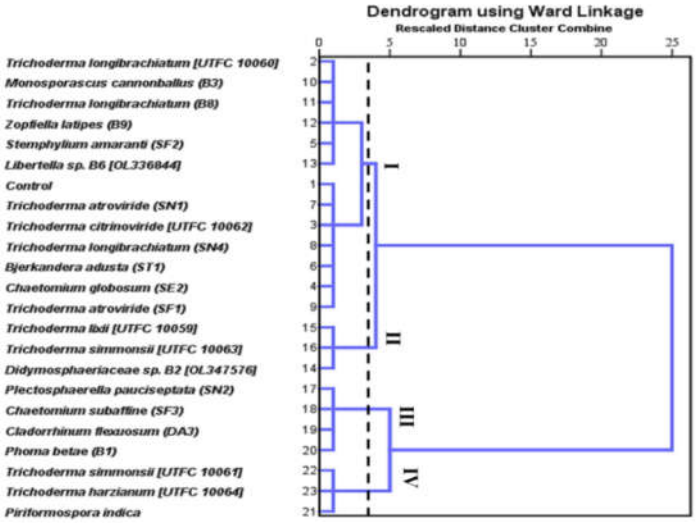
جدول ۴. آزمون تابع تشخیص برای تلقیح قارچ‌های همزیست ریشه با برنج رقم روشن با استفاده از لامبدای ویلکس

Table 4. Discriminant function test for inoculation of root symbiotic fungi with rice cv. 'Roshan' using Wilks' Lambda

آزمون توابع Test of Function(s)	لامبدای ویلکس Wilks' Lambda	کای اسکوئر Chi-square	درجه آزادی df	معنی‌داری Significant
تابع اول از درون تابع سوم 1 through 3	0.008	73.926	27	0.000
تابع دوم از درون تابع سوم 2 through 3	0.092	36.950	16	0.002
تابع سوم 3	0.367	15.549	7	0.030

گروه اول (I) شامل شاهد (تیمار عدم تلقیح قارچ)، *Trichoderma longibrachiatum* [UTFC 10060]، *Monosporascus cannonballus* (B3)، *Zopfiella Trichoderma longibrachiatum* (B8)، *Stemphylium amaranti latipes* (B9)، (SF2) *Libertella* sp. B6 [OL336844]، *Trichoderma atroviride* (SN1)، *Trichoderma citrinoviride* [UTFC 10062]، *Trichoderma longibrachiatum* (SN4)، *Bjerkandera adusta* (ST1)، *Chaetomium globosum* (SE2) و *Trichoderma atroviride* (SF1)، گروه دوم (II) شامل قارچ‌های *Trichoderma lixii* [UTFC 10059]، *Trichoderma simmonsii* [UTFC 10063] و *Didymosphaeriaceae* sp. B2 [OL347576]، گروه سوم (III) شامل *Plectosphaerella pauciseptata* (SN2)، *Chaetomium subaffine* (SF3)، *Cladorrhinum flexuosum* (DA3) و *Phoma betae* (B1) و گروه چهارم (IV) شامل قارچ‌های *Trichoderma simmonsii* [UTFC 10061]، *Trichoderma harzianum* [UTFC 10064] و *Piriformospora indica* می‌باشند (شکل ۱).

مقایسه میانگین ویژگی‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ای بین گروه‌های قارچی ایجاد شده در برنج رقم روشن نشان داد که چهار گروه قارچ از نظر تمامی صفات مورد مطالعه به‌جز طول و وزن خشک ساقه‌چه تفاوت معنی‌داری داشتند. به‌طوری‌که طول ریشه‌چه در گروه چهارم حدود ۱۰، ۷ و ۱۳ درصد به‌ترتیب از گروه اول، دوم و سوم بیشتر بود. اما وزن خشک ریشه‌چه در گروه دوم به‌ترتیب حدود ۳، ۱۰ و ۱ درصد بیشتر از گروه اول، سوم و چهارم بود. در ویژگی‌های جوانه‌زنی نیز درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و سرعت تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی در گروه اول نسبت به گروه دوم (به‌ترتیب حدود ۷، ۷ و ۱ درصد)، گروه سوم (به‌ترتیب حدود ۱، ۵ و ۹ درصد) و گروه چهارم (به‌ترتیب حدود ۱، ۱۲ و ۲۷ درصد) افزایش و زمان یکنواختی جوانه‌زنی و رسیدن به ۱۰ و ۹۰ درصد جوانه‌زنی به‌ترتیب حدود ۸، ۱ و ۸ درصد نسبت به گروه دوم، حدود ۲۳، ۷ و ۲۲ درصد نسبت به گروه سوم و حدود ۳۷، ۲۲ و ۳۶ درصد نسبت به گروه چهارم کاهش یافت (جدول ۵ و شکل ۳-ب).



شکل ۱. دندوگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای قارچ‌های همزیست ریشه تلقیح شده با برنج رقم روشن به روش گروه‌بندی حداقل واریانس وارد

Fig. 1. Dendrogram obtained from the cluster analysis of root symbiotic fungi inoculated with rice cv. 'Roshan' using Ward's method

جدول ۵. مقایسه میانگین بین گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای اثر قارچ‌های همزیست ریشه بر ویژگی‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ای برنج رقم روشن

Table 5. Mean comparison between groups obtained from the clusters analysis of the effect of root symbiotic fungi on germination characteristics and seedling growth of rice cv. 'Roshan'

گروه‌ها groups	طول (سانتی‌متر) Length (cm)		وزن خشک (میلی‌گرم) Dry weight (mg)		درصد جوانه‌زنی (درصد) Germination percentage (%)	سرعت جوانه‌زنی (بذر در روز) Germination rate (Seed per day)	سرعت تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی (روز/۱) Rates reach to 50% germination (1/day)	یکنواختی جوانه‌زنی (روز) Germination uniformity (day)	زمان تا Times reach to	
	ساقه‌چه Shoot	ریشه‌چه Radicle	ساقه‌چه Shoot	ریشه‌چه Radicle					ده درصد جوانه‌زنی (روز) 10% germination (day)	۹۰ درصد جوانه‌زنی (روز) to 90% germination (day)
I	2.74	9.30^{bc}	3.94	4.60^{a}	97.95^{a}	18.72^{a}	0.076^{a}	22.51^{c}	2.63^{b}	25.14^{c}
II	2.57	9.52^{b}	4.00	4.73^{a}	91.67^{b}	17.43^{b}	0.075^{a}	24.57^{c}	2.67^{b}	27.24^{c}
III	2.80	9.01^{c}	4.15	4.30^{b}	97.08^{a}	17.90^{b}	0.070^{b}	29.33^{b}	2.84^{b}	32.17^{b}
IV	2.70	10.20^{a}	3.94	4.67^{a}	97.22^{a}	16.71^{c}	0.060^{c}	35.80^{a}	3.36^{a}	39.16^{a}
معنی‌داری Significant	ns	**	ns	**	*	**	**	**	**	**

ns، * و ** به ترتیب، غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, * and ** Non-significant, significant at the 5% and 1% probability levels, respectively

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

The same letters in each column indicate non-significant different according to LSD at 5% of probability.

همان‌طور که در مقایسه میانگین اثر گروه‌های قارچی بر ویژگی‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ای رقم روشن برنج مشاهده شد، در بیشتر صفات، گروه I قارچ‌ها در بهترین گروه قرار داشتند و به‌همین دلیل مقایسه میانگین بین قارچ‌های این گروه انجام شد. براساس یافته‌ها، در همه صفات بسیاری از تیمارهای قارچی نسبت به شاهد برتر بودند، به‌طوری‌که در طول و وزن خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه به‌ترتیب تیمارهای قارچی *Bjerkandera adusta* (ST1)، *Trichoderma atroviride* (SF1)، *Monosporascus cannonballus* (B3) و *Trichoderma atroviride* (SN1) با حدود ۲۰، ۱۲، ۵ و ۲۴ درصد بیشترین افزایش را نسبت به عدم تلقیح نشان دادند. به‌کارگیری دو قارچ *Trichoderma atroviride* (SN1) و *Chaetomium globosum* (SE2) با حدود ۰/۶ و ۵ درصد افزایش بیشترین تأثیر را به‌ترتیب بر سرعت جوانه‌زنی و سرعت تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی نسبت به عدم تلقیح داشتند. در مقایسه، کاربرد قارچ *Chaetomium globosum* (SE2) با حدود ۵ درصد کاهش بیشترین تأثیر را بر یکنواختی جوانه‌زنی و زمان رسیدن به ۱۰ و ۹۰ درصد جوانه‌زنی نسبت به عدم تلقیح این رقم برنج داشت (جدول ۶ و شکل ۳-ب).

جدول ۶. مقایسه میانگین اثر قارچ‌های همزیست ریشه گروه یک (انتخاب شده به‌عنوان گروه برتر) حاصل از تجزیه خوشه‌ای بر ویژگی‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه برنج رقم روشن

Table 6. Mean comparison for the effect of root symbiotic fungi of group I (Selected as superior group) obtained from the cluster analysis on germination characteristics and seedling growth of rice cv. 'Roshan'

تیمار قارچی Fungi treatment	طول (سانتی‌متر) Length (cm)		وزن خشک (میلی‌گرم) Dry weight (mg)		درصد جوانه‌زنی (درصد) Germination percentage (%)	سرعت جوانه‌زنی (بذر در روز) Germination rate (Seed per day)	سرعت تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی (روز/۱) Rates reach to 50% germination (1/day)	یکنواختی جوانه‌زنی (روز) Germination uniformity (day)	زمان تا Times reach to	
	ساقه‌چه Shoot	ریشه‌چه Radicle	ساقه‌چه Shoot	ریشه‌چه Radicle					ده درصد جوانه‌زنی (روز) 10% germination (day)	۹۰ درصد جوانه‌زنی (روز) 90% germination (day)
شاهد Control	2.64	9.46^{bcd}	4.00	4.06^{d}	100.00	19.17	0.076	20.96	2.62	23.58
Trichoderma longibrachiatum [UTFC 10060]	2.75	9.27^{bcd}	3.85	4.57^{a-d}	98.33	18.78	0.076	24.03	2.63	26.67
Trichoderma citrinoviride [UTFC 10062]	3.04	9.56^{bc}	3.47	4.87^{ab}	95.00	18.33	0.078	21.41	2.59	24.00
Chaetomium globosum (SE2)	2.61	9.22^{cd}	3.65	4.87^{ab}	96.67	19.00	0.080	19.91	2.49	22.40
Stemphylium amaranti (SF2)	2.52	8.62^{de}	3.77	4.34^{cd}	100.00	18.67	0.072	25.22	2.78	28.00
Bjerkandera adusta (ST1)	3.16	8.56^{de}	4.03	4.84^{abc}	96.67	18.61	0.078	21.40	2.58	23.99
Trichoderma atroviride (SN1)	3.11	8.30^{e}	3.95	5.04^{a}	100.00	19.28	0.078	20.58	2.58	23.16
Trichoderma longibrachiatum (SN4)	2.69	9.65^{bc}	4.20	4.69^{abc}	95.00	18.28	0.078	21.02	2.58	23.60
Trichoderma atroviride (SF1)	2.75	10.60^{a}	3.95	4.53^{a-d}	98.33	18.83	0.076	20.98	2.62	23.60
Monosporascus cannonballus (B3)	2.73	9.61^{bc}	4.21	4.65^{abc}	98.33	18.67	0.075	23.97	2.68	26.65
Trichoderma longibrachiatum (B8)	2.89	10.17^{ab}	4.17	4.42^{bcd}	98.33	18.53	0.075	24.93	2.67	27.60
Zopfiella latipes (B9)	2.51	8.82^{cde}	3.80	4.81^{abc}	96.67	18.17	0.073	24.60	2.73	27.33
Libertella sp. B6 [OL336844]	2.20	9.11^{cde}	4.13	4.09^{d}	100.00	19.00	0.075	23.57	2.67	26.65
معنی‌داری Significant	ns	**	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns

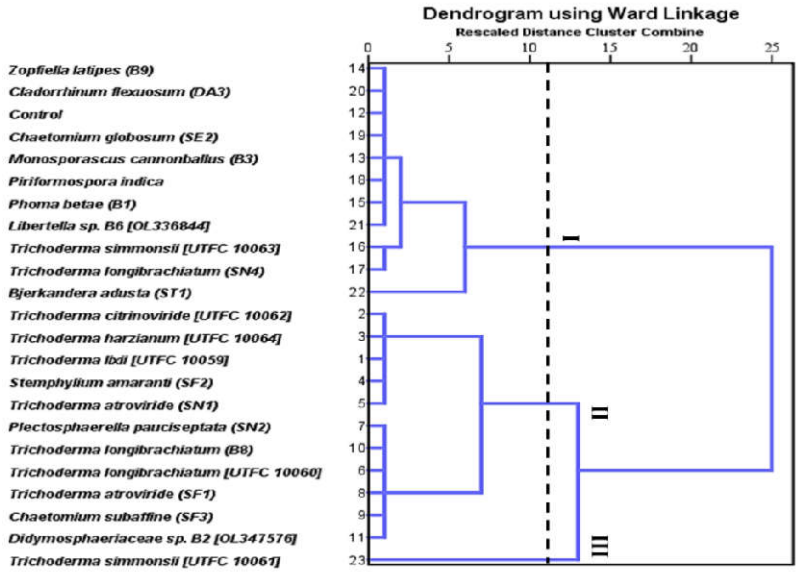
ns، * و ** به ترتیب، غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, * and ** Non-significant, Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

The same letter in each column indicate non-significant different according to LSD at 5% of probability.

در تجزیه خوشه‌ای قارچ‌های همزیست ریشه در رقم هاشمی نیز گروه‌بندی به‌روش حداقل واریانس وارد انجام شد. خط برش برای دندوگرام حاصل در نظر گرفته و بر این اساس قارچ‌ها به سه گروه تقسیم شدند. لامبدای ویلکس برای تابع اول و دوم بسیار معنی‌دار (۰/۰۰۰ و ۰/۰۰۴) (جدول ۷) و صحت گروه‌بندی ۱۰۰ درصد بود. گروه‌های حاصل به‌ترتیب شامل ۱۱، ۱۱ و یک قارچ بودند. گروه اول (I) شامل شاهد (تیمار عدم تلقیح قارچ)، *Zopfiella latipes* (B9)، *Cladorrhinum flexuosum* (DA3)، *Chaetomium globosum* (SE2)، *Monosporascus cannonballus* (B3)، *Piriformospora indica*، *Phoma betae* (B1)، *Libertella* sp. B6 [OL336844]، *Trichoderma simmonsii* [UTFC 10063]، *Bjerkandera adusta* و *longibrachiatum* (SN4)، گروه دوم (II) شامل قارچ‌های *Trichoderma citrinoviride* [UTFC 10062]، *Trichoderma harzianum* [UTFC 10064]، *Trichoderma lixii* [UTFC 10059]، *Stemphylium amaranti* (SF2)، *Trichoderma atroviride* (SN1)، *Plectosphaerella pauciseptata* (SN2)، *Trichoderma longibrachiatum* (B8)، *Trichoderma longibrachiatum* [UTFC 10060]، *Trichoderma atroviride* (SF1)، *Chaetomium subaffine* (SF3) و *Didymosphaeriaceae* sp. B2 [OL347576] و در گروه سوم (III) فقط تیمار قارچی *Trichoderma simmonsii* [UTFC 10061] قرار گرفت (شکل ۲).



شکل ۲. دندوگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای قارچ‌های همزیست ریشه تلقیح شده با برنج رقم هاشمی به روش گروه‌بندی حداقل واریانس وارد

Fig. 2. Dendrogram obtained from the cluster analysis of the root symbiotic fungi inoculated with rice cv. 'Hashemi' using Ward's method

جدول ۷. آزمون تابع تشخیص برای تلقیح قارچ‌های همزیست ریشه با برنج رقم هاشمی با استفاده از لامبدای ویلکس

Table 7. Discriminant function test for inoculation of root symbiotic fungi with rice cv. 'Hashemi' using Wilks' Lambda

آزمون توابع Test of Function(s)	لامبدای ویلکس Wilks' Lambda	کای اسکوئر Chi-square	درجه آزادی df	معنی‌داری Sig.
تابع اول از درون تابع دوم 1 through 2	0.001	108.173	20	0.000
تابع دوم 2	0.214	23.910	9	0.004

در مقایسه میانگین ویژگی‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ای بین گروه‌های قارچی در رقم هاشمی برنج مشاهده شد که سه گروه قارچ از نظر وزن خشک ریشه‌چه، درصد جوانه‌زنی و زمان تا ۹۰ درصد جوانه‌زنی برنج تفاوت معنی‌داری نداشتند، اما از نظر سایر صفات تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. به‌طوری‌که طول و وزن خشک ساقه‌چه در گروه اول حدود ۲ و ۵ درصد نسبت به گروه دوم و حدود ۲۹ و ۳۴ درصد نسبت به گروه سوم بیشتر بود. اما طول ریشه‌چه در گروه دوم حدود ۲۸ درصد بیشتر از گروه سوم بود. در ویژگی‌های جوانه‌زنی نیز سرعت جوانه‌زنی و سرعت تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی در گروه اول نسبت به گروه دوم (به‌ترتیب حدود ۳ و ۵ درصد) و گروه سوم (به‌ترتیب حدود ۳۳ و ۵ درصد) افزایش و زمان یکنواختی جوانه‌زنی در گروه سوم نسبت به گروه اول و دوم (به‌ترتیب حدود ۱۳ و ۳۵ درصد) و زمان رسیدن به ۱۰ درصد جوانه‌زنی در گروه اول نسبت به گروه دوم و سوم (به‌ترتیب حدود ۲ و ۴۴ درصد) کاهش یافت (جدول ۸ و شکل ۳-الف).

همان‌طور که در مقایسه میانگین اثر گروه‌های قارچی بر ویژگی‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ای رقم هاشمی برنج مشاهده شد، در بیشتر صفات گروه I قارچ‌ها در بهترین گروه قرار داشتند و به‌همین دلیل مقایسه میانگین بین قارچ‌های این گروه انجام شد. براساس یافته‌ها، اگرچه تیمار عدم تلقیح در این گروه قرار گرفت اما در همه صفات بسیاری از تیمارهای قارچی نسبت به عدم تلقیح برتر بودند، به‌طوری‌که در طول و وزن خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه به‌ترتیب تیمارهای قارچی *Cladorrhinum flexuosum* (DA3)، *Zopfiella latipes* (B9)، *Libertella* sp. B6 [OL336844] و *Bjerkandera adusta* (ST1) با حدود ۱۱، ۱۰، ۱۷ و ۵۹ درصد بیشترین افزایش را نسبت به عدم تلقیح نشان دادند. به‌علاوه تیمار قارچی *Bjerkandera adusta (ST1)* با حدود ۲۱ و ۳۷ درصد افزایش به‌ترتیب در سرعت جوانه‌زنی و سرعت تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی و با حدود ۳۰، ۱۰ و ۲۱ درصد کاهش به‌ترتیب در زمان یکنواختی جوانه‌زنی و رسیدن به ۱۰ و ۹۰ درصد جوانه‌زنی نسبت به عدم تلقیح بیشترین تغییرات مثبت را بر این رقم داشت (جدول ۹ و شکل ۳-الف).

جدول ۸. مقایسه بین گروهی ویژگی‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه برنج رقم هاشمی

Table 8. Between-groups comparison of germination characteristics and seedling growth of cv. 'Hashemi' rice

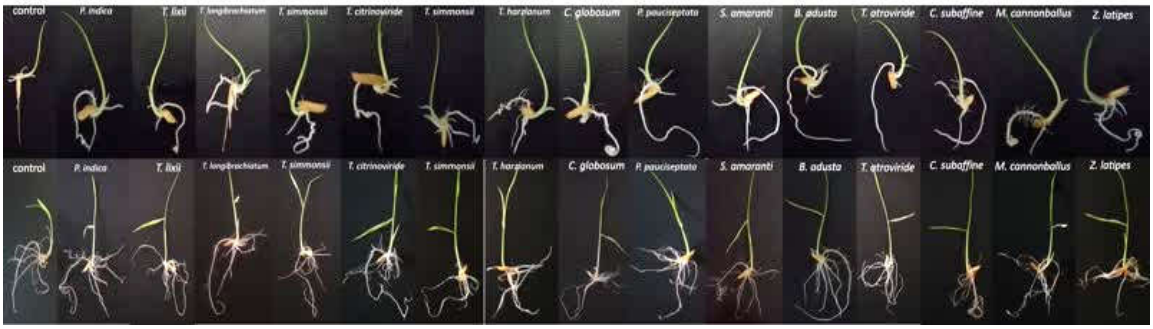
گروه‌ها Groups	طول (سانتی‌متر) Length (cm)		وزن خشک (میلی‌گرم) Dry weight (mg)		درصد جوانه‌زنی (درصد) Germination percentage (%)	سرعت جوانه‌زنی (بذر در روز) Germination rate (Seed per day)	سرعت تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی (روز/۱) Rates reach to 50% germination (1/day)	یکنواختی جوانه‌زنی (روز) Germination uniformity (day)	زمان تا Times reach to	
	ساقه‌چه Shoot	ریشه‌چه Radicle	ساقه‌چه Shoot	ریشه‌چه Radicle					ده درصد جوانه‌زنی (روز) 10% germination (day)	۹۰ درصد جوانه زنی (روز) 90% germination (day)
I	3.17[a]	4.18[a]	1.64[a]	0.87	96.52	8.18[a]	0.022[a]	37.29[ab]	28.49[c]	66.49
II	3.12[a]	4.20[a]	1.56[a]	0.80	98.33	7.96[a]	0.021[b]	49.67[a]	28.99[b]	77.85
III	2.45[b]	3.27[b]	1.22[b]	0.76	96.67	6.16[b]	0.016[c]	32.49[b]	50.84[a]	83.33
معنی‌داری Significant	*	*	**	ns	ns	**	**	*	**	ns

ns، * و ** به ترتیب، غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, * and ** Non-significant, Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

The same letters in each column indicate non-significant different according to LSD at 5% of probability.



الف

ب

شکل ۳. اثر قارچ‌های همزیست ریشه بر رشد گیاهچه دو رقم برنج هاشمی (الف) و روشن (ب)

Fig. 3. Effect of root symbiosis fungi on seedling growth of two Hashemi (a) and Roshan (b) rice cultivars

جدول ۹. مقایسه میانگین اثر قارچ‌های همزیست ریشه گروه یک (انتخاب شده به‌عنوان گروه برتر) حاصل از تجزیه خوشه‌ای بر ویژگی‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه برنج رقم هاشمی

Table 9. Mean comparison for the effect of root symbiotic fungi of group I (Selected as a superior group) obtained from the cluster analysis on germination characteristics and seedling growth of rice cv. 'Hashemi'

تیمار قارچی Fungi treatment	طول (سانتی‌متر) Length (cm)		وزن خشک (میلی‌گرم) Dry weight (mg)		درصد جوانه‌زنی (درصد) Germination percentage (%)	سرعت جوانه‌زنی (بذر در هر روز) Germination rate (Seed in each day)	سرعت تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی (روز/۱) Rates reach to 50% germination (1/day)	یکنواختی جوانه‌زنی (روز) Germination uniformity (day)	زمان تا Times reach to	
	ساقه‌چه Shoot	ریشه‌چه Radicle	ساقه‌چه Shoot	ریشه‌چه Radicle					ده درصد جوانه‌زنی (روز) 10% germination (day)	۹۰ درصد جوانه‌زنی (روز) 90% germination (day)
شاهد Control	3.15^{a-d}	4.61^{ab}	1.54	0.71^{def}	100.00^{a}	7.70^{cde}	0.019^{de}	38.30	30.00^{b}	68.41
Monosporascus cannonballus (B3)	2.83^{de}	4.07^{abc}	1.46	0.81^{b-e}	96.67^{ab}	8.10^{bcd}	0.021^{bcd}	40.59	28.53^{cd}	69.12
Zopfiella latipes (B9)	3.07^{b-e}	5.07^{a}	1.61	0.97^{a-d}	100.00^{a}	8.54^{abc}	0.022^{bc}	39.24	28.27^{cde}	67.51
Phoma betae (B1)	3.00^{cde}	5.01^{a}	1.63	0.77^{c-f}	91.67^{b}	8.02^{bcd}	0.024^{ab}	39.03	27.69^{de}	66.72
Piriformospora indica	3.31^{abc}	4.15^{abc}	1.69	1.05^{abc}	95.00^{ab}	8.23^{bc}	0.023^{ab}	39.86	28.03^{cde}	67.89
Trichoderma simmonsii [UTFC 10063]	3.15^{a-d}	3.39^{cd}	1.69	0.65^{ef}	93.33^{ab}	7.14^{de}	0.019^{cde}	37.35	29.40^{bc}	73.62
Trichoderma longibrachiatum (SN4)	2.70^{e}	2.37^{d}	159	0.49^{f}	90.00^{b}	6.82^{e}	0.018^{e}	37.14	31.60^{a}	69.61
Chaetomium globosum (SE2)	3.42^{ab}	3.53^{bc}	1.74	1.09^{ab}	100.00^{a}	8.93^{ab}	0.024^{ab}	37.16	27.50^{de}	64.67
Bjerkandera adusta (ST1)	3.39^{abc}	5.01^{a}	1.66	1.13^{a}	100.00^{a}	9.31^{a}	0.026^{a}	26.70	27.01^{e}	53.71
Cladorrhinum flexuosum (DA3)	3.49^{a}	4.17^{abc}	1.65	0.99^{a-d}	100.00^{a}	8.72^{abc}	0.023^{ab}	38.95	27.85^{de}	66.80
Libertella sp. B6 [OL336844]	3.35^{abc}	4.62^{ab}	1.81	0.92^{a-e}	95.00^{ab}	8.51^{abc}	0.024^{ab}	35.82	27.53^{de}	63.35
معنی‌داری Significant	*	**	ns	**	*	**	**	ns	**	ns

ns، * و ** به ترتیب، غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns * and ** Non-significant, Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively

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

The same letter in each column indicate non-significant different according to LSD at 5% of probability.

بحث

نتایج تجزیه خوشه‌ای بین‌گروهی برای تمامی صفات مورد مطالعه نشان دهنده تأثیر کم قارچ‌های همزیست در مرحله جوانه‌زنی در هر دو رقم روشن و هاشمی بود. در این آزمایش اگرچه تیمار شاهد (عدم تلقیح) در گروه برتر قرار داشت اما تأثیر قارچ‌های همزیست این گروه بر بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی و گیاهچه‌ای دو رقم اصلاح شده و بومی برنج مشهود بود. این نتیجه نشان می‌دهد که قارچ‌های همزیست از سازوکارهای مختلفی برای افزایش رشد و بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی در گیاهان استفاده می‌کنند. تأثیر مثبت قارچ‌های همزیست این آزمایش پیش‌تر در پژوهش نوری آکندی (۲۰۱۹) و امامیان طبرستانی (۲۰۱۹) در گیاه خرفه و کلزا مشاهده شده است. در همین زمینه تحقیقات نشان داد افزایش سرعت جوانه‌زنی و کاهش متوسط زمان جوانه‌زنی در بذرهای پیش‌تیمار شده با قارچ‌های همزیست در اثر واکنش‌های هیدرولیز کننده می‌باشد که بخشی از کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌ها شکسته شده و آماده شرکت در فرآیند جوانه‌زنی می‌شوند و این به‌معنای وقوع تغییرات متابولیکی و بیوشیمیایی به نفع جوانه‌زنی است (تیلور[1] و همکاران، ۱۹۹۸). همچنین بیان شده است افزایش رشد و بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی تحت تأثیر قارچ‌های همزیست از جمله پیریفورموسپورا[2] و تریکودرما می‌تواند به‌دلیل افزایش تولید و رهاسازی برخی از آنزیم‌های خارج‌سلولی به‌ویژه آمیلاز و تولید برخی از هورمون‌ها مانند اکسین، سیتوکینین، جیبرلین، اسید جاسمونیک و اتیلن باشد که موجب افزایش جذب آب و در نهایت رشد گیاهچه می‌شوند (زهیر[3] و همکاران، ۲۰۰۴؛ کایمک[4] و همکاران، ۲۰۰۹؛ پیری[5] و همکاران، ۲۰۱۹). در رابطه با قارچ تریکودرما نیز بیان شده است که پیش‌تیمار زیستی بذر زیره سبز به‌طور قابل‌توجهی بر شاخص‌های بنیه و جوانه‌زنی تأثیر گذاشته و موجب بهبود کیفیت و سلامت بذر گیاهچه گردید (خالدی[6] و همکاران، ۲۰۲۱). همچنین خالدی و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که ترشحات قارچ تریکودرما موجب افزایش جوانه‌زنی بذرها می‌شود که با مشاهدات پژوهش حاضر مطابقت دارد. در پژوهشی دیگری متوسط زمان جوانه‌زنی و یکنواختی جوانه‌زنی در بذرهای پیش‌تیمار شده ذرت شیرین، گندم و چغندر قند با قارچ تریکودرما به‌طور معنی‌داری بهبود یافت که این امر حکایت از تسریع جوانه‌زنی و افزایش بنیه بذر در اثر کاربرد تیمارهای پیش از کاشت دارد (رضالو[7] و همکاران، ۲۰۲۰). در این پژوهش اگرچه قارچ‌های همزیست گروه برتر بر تمامی صفات اثر مثبت داشتند اما بیشترین تأثیر بر وزن خشک ریشه‌چه در بذرهای تلقیح شده دو رقم روشن و هاشمی به‌ترتیب با قارچ‌های *Trichoderma atroviride* (SN1) و *Bjerkandera adusta* (ST1) مشاهده شد. محققان افزایش رشد ریشه و ساقه را به‌واسطه تولید هورمون‌های رشد مانند ایندول استیک اسید می‌دانند که از پژوهش و بررسی پاسخ صفات رشد ساقه و ریشه گوجه فرنگی به قارچ تریکودرما بدست آمده است (گراول[8] و همکاران، ۲۰۰۷). در پژوهش چاکون[9] و همکاران (۲۰۰۷) نیز مشاهده شد که تلقیح گیاه توتون با قارچ تریکودرما تعداد ریشه‌های جانبی سه برابر نسبت به شاهد افزایش داشت و شواهد آزمایش رضالو و همکاران (۲۰۰۲) در گیاهان ذرت و گندم و چغندر قند و سلیمی تملی[10] و همکاران (۲۰۱۴) در گیاه ماش نیز مؤید همین نتیجه بود. در همین راستا شورش[11] و همکاران (۲۰۱۰) نیز در آزمایش خود علت افزایش ریشه‌های جانبی و طول ریشه درگیاه ذرت در اثر تلقیح با قارچ تریکودرما را افزایش ترکیباتی از جمله متیونین سینتاز در ساقه این گیاه بیان کرد؛ زیرا متیونین سینتاز می‌تواند متیونین را به اس-آدنوزین‌متیونین تبدیل کند که پیش‌ماده اتیلن است. احتمالاً این موضوع ثابت می‌کند سامانه‌های تنظیم اتیلن در ارتباط بین گیاه و تریکودرما مهم

[1] Taylor
[2] Piriformospora
[3] Zahir
[4] Kaymak
[5] Piri

[6] Khaledi
[7] Rezalou
[8] Gravel
[9] Chacon
[10] Salimi tamalli
[11] Shoresh

هستند. قارچ پیریفورموسپورا نیز از طریق تغییر در مورفولوژی ریشه و طویل کردن سامانه ریشه گیاه میزبان و افزایش سطح جذب از طریق ریسه‌های قارچ موجب افزایش جذب آب و بهبود روابط می‌گردد (آگو[1]، ۲۰۰۱). با توجه به نتایج این آزمایش می‌توان این چنین استدلال کرد که گیاه در مرحله جوانه‌زنی از اندوخته بذر استفاده می‌کند و در شرایط مطلوب با کمبود مواد غذایی و آبی مواجه نمی‌شود، بنابراین قارچ‌های همزیست در مرحله جوانه‌زنی تأثیر مثبت خود را به‌طور چشمگیری نشان نداد ولی ایجاد رابطه همزیستی می‌تواند در بذرهایی با قوه نامیه پایین و یا در شرایط تنش‌های محیطی به‌ویژه در سامانه‌های کشت مستقیم بذر مفید واقع شود.

نتیجه‌گیری

در مجموع، نتایج بیانگر تأثیر مثبت بسیاری از قارچ‌های همزیست مورد استفاده در این آزمایش بر ویژگی‌های رشدی و جوانه‌زنی برنج در دو رقم روشن و هاشمی بود. اگرچه در تجزیه خوشه‌ای هر دو رقم تیمار عدم تلقیح در گروه برتر قرار گرفت اما تیمارهای قارچی در آن گروه تأثیر مثبت خود را بر صفات جوانه‌زنی و رشد گیاهچه ارقام برنج نسبت به تیمار عدم تلقیح نشان دادند. به‌طوری‌که بیشترین اثر افزایشی بر صفات رویشی طول و وزن خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه به ترتیب در تیمارهای قارچی *Bjerkandera adusta* (ST1)، *Trichoderma atroviride* (SF1)، *Monosporascus cannonballus* (B3) و *Trichoderma atroviride* (SN1) از ۵ تا ۲۴ درصد افزایش نسبت به عدم تلقیح در رقم روشن و وزن خشک ریشه‌چه در تیمار قارچی *Bjerkandera adusta* (ST1) با ۵۹ درصد افزایش نسبت به عدم تلقیح در رقم هاشمی مشاهده گردید. همچنین برترین تیمارهای قارچی در صفات جوانه‌زنی دو رقم روشن و هاشمی به‌ترتیب مربوط به *Chaetomium globosum* (SE2) و *Bjerkandera adusta* (ST1) بود. با این وجود، پژوهش‌های تکمیلی برای بررسی تأثیر این ه‌های قارچی بر گیاه برنج در گلخانه و مزرعه لازم است چون به‌نظر می‌رسد که در ادامه رشد گیاه تأثیر مثبت این قارچ‌ها بر رشد گیاه نسبت به مرحله جوانه‌زنی مشهودتر باشد.

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت‌های مالی و معنوی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری و پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان به شماره ۱۲-۱۴۰۰-۰۱ انجام گردید که به این وسیله سپاسگزاری می‌شود.

[1] Auge

منابع

Aghazadeh Foulaki, R., Nematzadeh, Gh.A. and Babaeian Jeloudar, N.A. 2008. Assessment of genetic diversity of rice varieties and lines (*Oryza sativa* L.) using quantitative characters. Journal of Agroecology (Journal of New Agriculture Science), 3(9): 1-12. [In Persian with English Summary]

Auge, R.M. 2001. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. Mycorrhiza. 11(1): 3-42. https://doi.org/10.1007/s005720100097

Azizi, H., Aalami, A., Esfahani M. and Ebadi, A.A. 2018. Evaluation of genetic diversity in some of Iranian and foreign rice genetic resources based on morphological traits. Journal of Applied Field Crops Research, 31(1): 1-18. [In Persian with English Summary]

Badirdast, H., Salehi Lisar, S.Y., Sabouri, H., Movafeghi, A. and Gholamalalipour Alamdari, E. 2019. Genetic diversity of rice germplasm under flooding and drought stress. Journal of Crop Breeding, 11: 209-225. [In Persian with English Summary] https://doi.org/10.29252/jcb.11.31.209

Bahari Saravi, H., Gholami, A., Pirdashti, H., Baradaran Firouzabadi, M., Asghari, H.R. and Yaghoubian, Y. 2022. Improvement of salt tolerance in Stevia rebaudiana by co-application of endophytic fungi and exogenous spermidine. Industrial Crops and Products, 177: p.114443. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114443

Chacon, M.R., Rodriguz-Galan, O., Benitez, T., Sousa, S., Rey, M., Llobell, A. and Delgado-Jarana, J. 2007. Microscopic and transcriptome analyses of early colonization of tomato roots by *T. harzianum*. International Microbiology, 10: 19-27.

Dashti, Z., Biabani, A., Ahangar, L., Talie, F. and Hosseini Moghadam, H. 2021.The effect of *Trichoderma* fungus and chitosan on resistance of basil (*Ocimum basilicum*) to salt stress. Environmental Stresses in Crop Sciences, 14(2): 545-555. [In Persian with English Summary]

Emamian Tabarestani, M. 2019. The effect of spermidine application and some root concomitant fungi on improving canola (*Brassica napus* L.) phytoremediation to lead toxicity, Ph.D. Dissertation, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran. [In Persian with English Summary]

Erfani, R., Yaghoubian, Y. and Pirdashti, H. 2020. The contribution of chemical, organic and bio-fertilizers on rice production in Iran: A meta-analysis. Russian Agricultural Sciences, 46(6): 596-601. https://doi.org/10.3103/S1068367420060130

Ghiasi, A., Parsa, S., Hamidi, A. and Khavazi K. 2012. Seed priming effect on germination, seedling vigor index and colony forming unit per grain of wheat (*Triticum aestivum*). Journal of Seed Research, 2(1): 25-38. [In Persian with English Summary]

Gilani, Z., Pirdashti, H. and Bakhshandeh, E. 2018. Effect of plant growth promoting micro-organisms on some vegetative characteristics and grain yield of rice (*Oryza sativa* L.) under different levels of potassium fertilizer. Electronic Journal of Crop Production, 11(2): 197-214. [In Persian with English Summary]

Gravel, V., Antoun, V. and Twedell, R.J. 2007. Growth stimulation and fruit yield improvement of greenhouse tomato plant by inoculation with *Pseudomonas putida* or *Trichoderma atroviride*: possible role of indole acetic acid (IAA). Soil Biology and Biochemistry, 39(8): 1968-1977. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.02.015

Hunter, E.A., Glasbey, C.A. and Naylor, R.E.L. 1984. The analysis of data from germination tests. The Journal of Agricultural Science, 102: 207-213. https://doi.org/10.1017/S0021859600041642

International Seed Testing Association (ISTA). 2020. International Rules for Seed Testing. International Seed Testing Association (ISTA), Zurich, Switzerland. (Edited book)

Kaymak, H.C., Guvenc, I., Yarali, F. and Donmez, M.F. 2009. The effects of bio-priming with PGPR on germination of radish (*Raphanus sativus* L.) seeds under saline conditions. Journal of Agriculture and Forestry, 33: 173-179. https://doi.org/10.3906/tar-0806-30

Khaledi, N., Dehshiri, A. and Hassani, F. 2021. Effects of seed biopriming with fungus Trichoderma harzianum on secondary metabolites production in cumin (*Cuminum cyminum* L.). Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 37(3): 513-529. [In Persian with English Summary]

Maguire, J.D. 1962. Speed of germination, aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. Crop Science, 2: 176-177. https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x

Mohammadi, G.R. 2009. The effect of seed priming on plant traits of late-spring seeded soybean (*Glycine max* L.). American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science, 5(3): 322-326.

Moradi, M., Hasnaki Fard, A. and Motamedi, M. 2018. Evaluation the effects of drought stress induced by polyethylene glycol on germination and seedling growth of maize hybrids. Journal of Plant Production Science, 2: 115-124. [In Persian with English Summary]

Moradian, Z., Omidi, H., Azad Bakht, F., Karimi, T. and Bazmakani, R. 2018. Effect of pre-treatment with plant hormones on germination characteristics of flax (*Linum usitatissimum* L.) in drought stress condition. Journal of Seed Research, 7(4): 1-10. [In Persian with English Summary]

Mousavi Dizkouhi, S.H. 2013. Comparison between nitrocara and composted azolla on the efficiency of phosphorous absorption, yield and yield components of rice and population of borer worm. M.Sc. thesis, Shahrood University of Technology, Iran. [In Persian with English Summary]

Na, W., Zhen, Y., Jun, C., Xun, C., Na, G. and Tao, Y. 2014. Effects of extracts of plant endophyte on growth of rice. Journal of Jilin Agricultural University, 36(1): 10-16.

Nakagahra, M., Okuno, K. and Vaughan, D. 1997. Rice genetic resources: history, conservation, investigative characterization and use in Japan. Plant Molecular Biology, 35: 69-77. https://doi.org/10.1007/978-94-011-5794-0_7

Nematzadeh, Q., Oladi, M., Afkhami Qadi, A., Gholizadeh, A., Bagheri, A., Aghajani Qara, M., Emami Qara, M., Babaei, A., Rahimi, M., Mozaffari, K., Vajdan, R., Ziaei, A. and Esfandiari, A. 2018. Tarom roushan, new rice mutant Nemat: aromatic, early maturity and high yielding. 18th National Rice Conference, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources. [In Persian]

Nicoletti, R. and Fiorentino, A. 2015. Plant bioactive metabolites and drugs produced by endophytic fungi of Spermatophyta. Agriculture, 5(4): 918-970. https://doi.org/10.3390/agriculture5040918

Nouri Akandi, Z. 2019. Identification and evaluation of performance of some endophytic fungi and foliar spraying of iron nanoparticles on phytoremediation of purslane (*Portulaca oleracea* L.) under different levels of cadmium. Ph.D. Dissertation, Shahrood University of Technology, Iran. [In Persian with English Summary]

Pang, Z., Zhao, Y., Xu, P. and YU, D. 2020. Microbial diversity of upland rice roots and their influence on rice growth and drought tolerance. Microorganisms, 8(9): 1-18. https://doi.org/10.3390/microorganisms8091329

Piri, R., Moradi, A., Balouchi, H. and Salehi, A. 2019. Improvement of cumin (*Cuminum cyminum* L.) seed performance under drought stress by seed coating and biopriming. Scientia Horticulturae, 257: 1-8. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108667

Reddy, P.P. 2013. Recent advances in crop protection. Springer. (Edited book). https://doi.org/10.1007/978-81-322-0723-8

Rezalou, Z., Shahbazi, S. and Askari, H. 2020. Effect of biopriming with Trichoderma, germination and vegetative characteristics Seeds of sweet corn, sugar beet and wheat. Iranian Journal of Seed Science and Technology, 8(2): 199-210. [In Persian with English Summary]

Sabeti, M., Ghehsareh Ardestani, E., Tahmasebi, P. and Nikookhah, F. 2019. Effects of seed biopriming on some characteristics of the germination and growth of *Astragalus ovinus* Boiss under drought stress. Desert Management, 7: 49-64. [In Persian with English Summary]

Salimi Tamalli, N. Seraj, F. Pirdashti, H. and Yaghoubian, Y. 2014. The effect of seed biopriming by Piriformospora indica and Trichoderma virens on the growth, morphological and physiological parameters of mung bean (*Vigna radiate* L.) seedlings. Iranian Journal of Seed Science and Research, 1(2): 67-78. [In Persian with English Summary]

Sepehri, M., Saleh Rastin, N., Hosseini Salkadeh, Gh. and Khayam Nekouei, M. 2009. Effect of endophytic fungus, *Piriformospora indica*, on growth and resistance of *Hordeum vulgare* L. to salinity stress. Journal of Rangeland, 3(3): 508-518. [In Persian with English Summary]

Seraj, F., Salimi Tamali, N., Pirdashti, H. and Yaghubian, Y. 2017. The response of wheat (*Triticum aestivum* L.) vegetative and physiological attributes to salt stress and effect of seed biopriming by *Piriformospora indica* and *Trichoderma virens* in improving salinity compatibility. Journal of Seed Science and Technology, 7(2): 77-90. [In Persian with English Summary]

Shakirova, F.M. and Sahabutdinova, D.R. 2003. Changes in the hormonal status of wheat seedling induced by salicylic acid and salinity. Plant Science, 164: 317-322. https://doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00415-6

Shoresh, M., Harman, G.E. and Mastouri, F. 2010. Induced systemic resistance and plant responses to fungal biocontrol agents. The Annual Review Phytopathology, 48: 21-43. https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-073009-114450

Soltani, A. and Maddah, V. 2010. Simple and practical programs for education and research in agriculture. Shahid Beheshti University Press. [In Persian]

Tavassoli, A. 2021. Effect of seed priming on yield and some qualitative indicators of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) under drought stress. Journal of Desert Management, 9(1): 81-96. [In Persian with English Summary]

Taylor, A.G., Allen, P.S., Bennet, M.A. and Bradford, K.J. 1998. Seed enhancements. Seed Science Research, 8: 245-256. https://doi.org/10.1017/S0960258500004141

Walker-Simmons, M.K. and Sesing, J. 1990. Temperature effects on embryonic abscisic acid levels during development of wheat grain dormancy. Journal of Plant Growth Regulation. 9: 51-56. https://doi.org/10.1007/BF02041941

Verma, H., Kumar, D., Kumar, V., Kumari, M., Singh, S.K., Sharma, V.K., Droby, S., Santoyo, G., White, J.F. and Kumar, A. 2021. The potential application of endophytes in management of stress from drought and salinity in crop plants. Microorganisms, 9(8): 1-19. https://doi.org/10.3390/microorganisms9081729

Yaghoubian, Y. Siadat, S.A., Moradi Telavat, M.R., Pirdashti, H. and Yaghoubian, I. 2019. Bio-removal of cadmium from aqueous solutions by filamentous fungi: *Trichoderma spp*. and *Piriformospora indica*. Environmental Science and Pollution Research, 26(8): 7863-7872. [In Persian with English Summary] https://doi.org/10.1007/s11356-019-04255-6

Younesi, O., Poustini, K., Chaichi, M.R. and Pourbabaie, A. 2012. Effect of growth promoting rhizobacteria on germination and early growth of two alfalfa cultivars under salinity stress condition. Journal of Crops Improvement, 2: 83-97. [In Persian with English Summary]

Zahir, Z.A., Arshad, M.G. and Frankenberger, W.T. 2004. Plant growth promoting rhizobacteria application and perspectives in agriculture. Advances in Agronomy, 81: 96-168. https://doi.org/10.1016/S0065-2113(03)81003-9

Iranian Journal of Seed Research, 2023, 10(1): 43-61

Research Article

Effect of root symbiosis fungi on germination and growth components of two traditional and bred rice (*Oryza sativa*) cultivars

Hemmatollah Pirdashti[1*], Yasser Yaghoubian[2], Zahra Nouri Akandi[3], Mehranoosh Emamian Tabarestani[4], Seyed Yasser Ashrafi[5], Faezeh Vadipour[6]

Extended abstract

Introduction: Seed germination and emergence are the most sensitive stages of growth and development of rice plants. In this regard, the use of growth-promoting fungi in the form of seed biological pretreatment (bio-priming) for germination and optimal growth of seedlings can be feasible. Therefore, this study aimed to investigate the effect of isolated root symbiotic fungi on the improvement of germination and growth components of two traditional and bred rice (*Oryza sativa* L.) cultivars.

Materials and Methods: This experiment was done as a factorial-based completely randomized design with three replicates at Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University in the summer of 2021. Experimental treatments included 22 isolates of root symbiotic fungi (isolated and identified from previous experiments) and control (without inoculation) and two native (Hashemi) and bred (Roshan) rice cultivars. After the end of the germination period, the number of normal seedlings was counted and five normal seedlings were randomly selected to measure the length of the root, stem, and seedling as well as the fresh and dry weight of the root, stem, and seedling.

Results: Based on the results of cluster analysis the fungi were divided into four and three groups in Roshan and Hashemi cultivars, respectively. In both cultivars, group I was selected as the best group. In this group, the highest positive effect on vegetative traits varied from 5 to 59% compared to the control in fungal treatments was related to *Bjerkandera adusta* (ST1), *Trichoderma atroviride* (SF1), *Monosporascus cannonballus* (B3) and *Trichoderma atroviride* (SN1) in Roshan cultivar and *Bjerkand adusta* (ST1) in Hashemi cultivar. The best fungal treatments in germination traits of Roshan and Hashemi cultivars were *Chaetomium globosum* (SE2) and *Bjerkandera adusta* (ST1), respectively.

Conclusions: Overall, the results indicated the positive effect of most symbiotic fungi on the growth and germination characteristics of rice in both Roshan and Hashemi cultivars. These results show that symbiotic fungi use different mechanisms to increase growth and improve germination indicators in plants.

Keywords: Biopriming, Germination components, Rice, Symbiosis, Trichoderma

Highlights:

1- Growth-promoting fungi in the form of seed biological pretreatment were used (bio-priming) for optimal growth and germination and of rice seedlings.

2- The effect of native fungi isolated was investigated for the first time in two native (Hashemi) and bred (Roshan) rice cultivars.

[1] Professor, Department of Agronomy, Genetics and Agricultural Biotechnology Institute of Tabarestan, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

[2] Assistant Professor, Department of Agronomy, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

[3] Ph.D. in Crop Ecology, Genetics and Agricultural Biotechnology Institute of Tabarestan, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

[4] Ph.D. in Agronomy, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

[5] Ph.D. Student of Crop Physiology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

[6] Bachelor's Student in Plant Genetics and Production Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

*Corresponding author, E-mail: h.pirdashti@sanru.ac.ir

(Received: 09.25.2022; Accepted: 03.18.2023)

http://dorl.net/dor/20.1001.1.23831251.1402.10.1.3.1

DOI: 10.61186/yujs.10.1.43