



دانشگاه گنبد کاووس

نشریه "تحقیقات کاربردی اکوفیزیولوژی گیاهی"

دوره چهارم، شماره دوم، پاییز و زمستان ۹۶

<http://arpe.gonbad.ac.ir>

بهبود پارامترهای مرتبط با خوشه برنج رقم طارم هاشمی با به کارگیری قارچ‌های *Trichoderma virens* و *Piriformospora indica* در سطوح مختلف کود فسفر

فائزه محمدی کشکا^۱، همت‌اله پیردشتی^{۲*}، یاسر یعقوبیان^۳

^۱ دانشجوی دکتری گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

^۲ دانشیار گروه زراعت، پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

^۳ دانشجوی دکتری گروه زراعت، پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع

طبیعی ساری

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۷/۱۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۲۷

چکیده

مقدمه: کشاورزی پایدار بر پایه مصرف کودهای زیستی با هدف حذف یا کاهش چشم‌گیر در مصرف نهاده‌های شیمیایی، یک راه‌حل مطلوب برای غلبه بر مشکلات زیست‌محیطی از جمله آلودگی منابع آب، افت کیفیت محصولات کشاورزی و کاهش میزان حاصل‌خیزی خاک‌ها به‌شمار می‌آید.

مواد و روش‌ها: آزمایشی مزرعه‌ای در بهار ۱۳۹۴ به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شهرستان قائم‌شهر انجام شد. تیمارهای مورد بررسی شامل سه سطح کود فسفر (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار از منبع سوپرفسفات تریپل) و به‌کارگیری قارچ‌های *Trichoderma virens* و *Piriformospora indica* در چهار سطح (عدم تلقیح (شاهد)، تلقیح بذر، تلقیح نشاء و تلقیح بذر + نشاء) حاصل بود.

نتایج: نتایج آزمایش حاکی از تأثیر مثبت و معنی‌دار تلقیح قارچ‌ها بر صفات عملکرد شلتوک، زیست‌توده و وزن خوشه در بوته گیاه برنج بود؛ به‌طوری‌که عملکرد شلتوک و زیست‌توده در روش تلقیح بذر به‌ترتیب افزایش

*نویسنده مسئول: h.pirdashti@sanru.ac.ir

معنی‌دار ۴۲/۸ و ۳۶/۹ درصدی را نشان داد. در شرایط کاربرد کود فسفر صفر و ۵۰ کیلوگرم در هکتار، تلقیح قارچ‌ها به روش بذر مال باعث افزایش معنی‌دار صفات وزن خوشه در بوته (به ترتیب ۳۵/۷ و ۴۵/۴ درصد)، وزن شلتوک در خوشه (به ترتیب ۲/۹ و ۲۴/۸ درصد) و زیست‌توده (به ترتیب حدود ۴۰ و ۴۱ درصد) گیاه برنج شد. در کاربرد سطح فسفر ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیز، تلقیح قارچ‌ها با روش‌های تلقیح بذر، نشاء و تلقیح بذر و نشاء زیست‌توده را به ترتیب حدود ۳۰، ۴۳ و ۲۴ درصد افزایش داد.

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی، این آزمایش نشان داد که کاربرد هم‌زمان دو قارچ *T. virens* و *P. indica* و کود شیمیایی فسفر اثر افزایشی بیش‌تری نسبت به کاربرد جداگانه کود شیمیایی فسفر به‌همراه داشت.

واژه‌های کلیدی: برنج، تریکودرما، قارچ اندوفیت، زیست توده، عملکرد

مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.) یکی از انواع پرمصرف غلات در رژیم غذایی مردم جهان به‌شمار می‌رود و در این میان، انواع برنج طارم مرغوبیت و بازارپسندی بیش‌تری در منطقه شمال کشور و ایران برخوردار است (Shokrzadeh et al., 2013). به‌دلیل افزایش جمعیت کشور، تقاضا برای برنج سالانه افزایش قابل توجهی می‌یابد. این در شرایطی است که افزایش تولید آن به سبب محدودیت‌های فیزیکی منابع تولید، مانند زمین با مشکل روبروست (Dashti et al., 2011). از سویی فعالیت‌های کشاورزی رایج منوط به مصرف کودهای شیمیایی، آفت‌کش‌ها و سایر مواد شیمیایی برای بهبود رشد و کنترل عوامل بیماری‌زای گیاهی جهت دستیابی به افزایش عملکرد محصولات می‌باشد. از جمله کودهای شیمیایی که در کشاورزی رایج به‌وفور مصرف می‌شود کود شیمیایی فسفره است (Moghadassi, 2009).

فسفر در مجموعه‌ای از فرآیندها از جمله تولید انرژی، سنتز اسیدنوکلئیک، فتوسنتز، تنفس، گلیکولیز، فعال و غیرفعال شدن آنزیم‌ها، متابولیسم کربوهیدرات‌ها، ترکیب و ثبات غشاء و تثبیت نیتروژن ایفای نقش می‌نماید (Vance et al., 2003). این عنصر پرمصرف و ضروری برای گیاهان، به فرم کود فسفر به خاک اضافه می‌شود؛ اما بخش اعظم آن به‌علت تثبیت‌شدن در خاک به‌سرعت بی‌حرکت شده و از دسترس گیاهان خارج می‌شود (Zhu et al., 2011). پیامد چنین وضعیتی روی آوردن کشاورزان به کشاورزی فشرده و مصرف بالای نهاده‌های شیمیایی است. استفاده فزاینده از این فرآورده‌ها در خاک‌های زراعی سبب مخاطرات زیست‌محیطی از قبیل آلودگی آب‌های طبیعی و زیرزمینی و در نتیجه ورود آن به شبکه غذایی انسان و شیوع بیماری‌های مختلف می‌گردد (Ramezani and Hanifi, 2011).

بر همین اساس، مصرف بی‌رویه کود و سموم شیمیایی از جمله عوامل آلودگی و ناپایداری خاک در استان مازندران عنوان شده است (Boudaghi *et al.*, 2012). به طوری که محققین بالا بودن غلظت کادمیوم (Cd) کود سوپرفسفات‌تریپل مصرفی شالیکاران شهرستان قائم‌شهر را بیش‌تر از مقدار استاندارد 2 CdFA^۲ گزارش نمودند (Boudaghi *et al.*, 2012). بنابراین سیستم مدیریتی کشاورزی یکپارچه‌ای جهت تمرکز بر مدیریت مواد مغذی گیاهی با فراهمی تغذیه بهتر و کنترل عوامل بیماری‌زا و در عین حال حفظ و بهبود مواد مغذی خاک و از بین بردن مواد شیمیایی مضر برای افزایش بهره‌وری ایجاب می‌نماید (Mishra and Sundaris, 2015). از این رو می‌توان جهت دستیابی به کشاورزی پایدار، از کودهای زیستی و نهاده‌های تجدیدپذیر به جهت بهبود حاصل‌خیزی خاک و به حداقل رساندن مخاطرات زیست‌محیطی بهره گرفت (Verma *et al.*, 2013).

کودهای زیستی به ریزجاندارانی اطلاق می‌شود که می‌توانند به صورت‌های مختلف اعم از تلقیح با بذر، کاربرد روی سطح گیاه و یا خاک مورد استفاده قرار گرفته و از طریق افزایش دسترسی به عناصر غذایی برای گیاه میزبان باعث بهبود رشد آن شوند (Vessey, 2003; Jan and Boswal, 2015). این نهاده‌ها از طریق سازوکارهایی مانند تثبیت زیستی نیتروژن، محلول‌سازی فسفات، جذب بهتر عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف، تولید مواد افزاینده رشد و فعالیت‌های کنترل زیستی می‌توانند سبب افزایش حاصل‌خیزی خاک شوند (Vessey, 2003; Saharan and Nehra, 2011). باکتری‌ها و قارچ‌های خاک‌زاد همزیست با ریشه گیاهان نمونه‌هایی از این فرآورده‌ها می‌باشد (Hermosa *et al.*, 2012).

گونه‌های قارچ تریکودرما (*Trichoderma spp.*) از جمله هیفومیست‌های^۳ خاک‌زی هستند که به دلیل تنوع متابولیسمی و قدرت رقابتی در اغلب مناطق از موجودات غالب میکروفلور خاک می‌باشند (Samuels, 1996). این گونه قارچی نه تنها سبب افزایش پتانسیل رشدی گیاه و مقاومت در برابر بیماری‌ها و تنش‌های زنده می‌شود (Hermosa *et al.*, 2012)، بلکه برخی از سویه‌های این قارچ، به عنوان انگل عوامل بیماری‌زای قارچی گیاه از طریق تولید آنتی‌بیوتیک‌ها، سبب مقاومت سیستمیک و موضعی گیاه به این عوامل و افزایش رشد و نمو گیاهان می‌گردد (Ha, 2010). از این رو به عنوان یک قارچ‌کش زیستی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد (Elad, 2000). جدایه‌های تریکودرما قادرند از طریق ترشح اسیدهای آلی هم‌چون اسید گلوکونیک، اسید سیتریک و اسید فوماریک باعث کاهش اسیدیته (pH) خاک و در نهایت افزایش حلالیت و جذب ریزمغذی‌های مهم مورد نیاز برای رشد گیاه هم‌چون آهن، منگنز، منیزیم، کاتیون‌های معدنی و فسفات‌ها شوند (Benitez *et al.*, 2004; Vinale *et al.*, 2004).

² California Department of Food and Agriculture

³ Hyphomycetes

2008). همچنین، کنترل زیستی تنش‌های غیرزنده از جمله خشکی (Bae et al., 2009)، شوری (Hashem et al., 2014) توسط گونه‌های قارچی *تریکودرما* گزارش شده است. در همین راستا، محققین تأثیر مثبت قارچ *تریکودرما* را بر بهبود رشد رویشی گیاه از جمله ارتفاع بوته، تعداد برگ، پنجه، طول ریشه و وزن تر ریشه (Doni et al., 2014) و همچنین عملکرد دانه برنج و گندم (Cuevas, 2006; Sharma et al., 2012) گزارش نمودند.

قارچ اندوفیت *Piriformospora indica* نمونه دیگری از این ریزجانداران است. این قارچ عضوی از خانواده *Sebacinaceae* است که در ریشه بسیاری از گونه‌های گیاهان عالی (تک‌لپه‌ای‌ها و دولپه‌ای‌ها) و خزها مستقر شده و با توجه به القاء رشدی دارای اهمیت زیادی در زمینه دارویی، کشاورزی، جنگل‌کاری و باغبانی می‌باشد (Vadassery et al., 2008). قارچ *P. indica* افزایش رشد⁴ (Rai and Varma, 2005) بوده و از طریق افزایش جذب آب و مواد مغذی سبب افزایش رشد و عملکرد دانه گیاهان زراعی (Achatz et al., 2010) و القاء مقاومت در برابر تنش‌های زنده و غیرزنده از جمله خشکی (Sun et al., 2010)، شوری (Jogavat et al., 2013) و بیماری‌ها (Kumar et al., 2009) می‌شود. این ویژگی‌ها، *P. indica* را به‌عنوان یک کود زیستی در خاک‌های دارای کمبود مواد غذایی و ابزاری جهت تحقیقات بنیادی متمایز می‌سازد (Bagde et al., 2010).

کمبود فسفر قابل جذب در خاک از یک طرف و اثرهای زیانبار زیست‌محیطی و اقتصادی ناشی از مصرف زیاد کودهای شیمیایی فسفوری از طرف دیگر لزوم تجدیدنظر در روش‌های افزایش تولید محصولات زراعی از جمله برنج را از طریق توسعه کشاورزی پایدار بر مبنای استفاده از نهاده‌های زیستی از جمله ریزجانداران خاک (قارچ‌ها) را دو چندان نموده است. لذا، این پژوهش با هدف بهبود پارامترهای مرتبط با خوشه برنج رقم طارم هاشمی با به‌کارگیری قارچ‌های *P. indica* و *T. virens* در کاربرد سطوح مختلف کود فسفر و در شرایط واقعی مزرعه در شهرستان قائم‌شهر استان مازندران اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در بهار و تابستان ۱۳۹۴ تحت شرایط مزرعه‌ای مطابق با کشت مرسوم کشاورزان در شهرستان قائم‌شهر، منطقه جاده نظامی (روستای نوکلاء) استان مازندران با موقعیت جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۴ دقیقه عرض شمالی و ۵۲ درجه و ۴۸ دقیقه طول شرقی با ارتفاع ۱۴/۷ متر از سطح آب‌های آزاد به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. عامل اصلی کود فسفر در سه سطح صفر (بدون کاربرد کود فسفر)، کاربرد ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در

⁴ Plant Growth Promoting

هکتار از منبع سوپرفسفات تریپل به صورت P_2O_5 و عامل فرعی تلقیح توأم قارچ‌های *Trichoderma virens* و *Piriformospora indica* در چهار سطح (عدم تلقیح (شاهد)، تلقیح بذر (در مرحله خزانه)، تلقیح نشاء و تلقیح بذر + نشاء حاصل) بودند. براساس نتایج آزمون خاک، مقادیر پتاسیم و فسفر قابل جذب و نیتروژن کل خاک (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر) به ترتیب ۱۶۰ و ۱۱/۸۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم و ۰/۱۲ درصد بودند. مزرعه مورد آزمایش دارای خاکی با بافت سیلتی-رسی، اسیدیته (pH) ۸/۱۴ و هدایت الکتریکی (EC) ۲/۰۷ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر بود. هم‌چنین، مقادیر ماده آلی و کربن آلی نیز به ترتیب ۲ و ۱/۱۶ درصد بودند. نشاء‌کاری به صورت دستی در اول خرداد و در کرت‌هایی به ابعاد ۳ × ۲ متر انجام شد. فواصل نشاءها ۲۰ × ۲۰ سانتی‌متر بود و هر کرت به وسیله پشته‌هایی به ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر و عرض ۵۰ سانتی‌متر از یکدیگر جدا شدند.

جدایه‌های قارچ *T. virens* و *P. indica* از پژوهشکده ژنتیک و زیست فناوری کشاورزی طبرستان تهیه شدند. قارچ تریکودرما و *P. indica* به ترتیب در محیط کشت PDB^۵ و مایع کفر^۶ (Sherameti *et al.*, 2005) کشت و سپس به مدت دو هفته در دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد و سرعت ۱۲۰ دور در دقیقه روی شیکر قرار گرفتند. پس از گذشت مدت زمان مذکور که رشد رویشی قارچ‌ها به حد اکثر خود رسید؛ سوسپانسیونی با غلظت حدود 10^9 واحد کلونی‌ساز در میلی‌لیتر (CFU/ml) تهیه شد. بذور جوانه‌زده برنج رقم طارم هاشمی به مدت پنج ساعت با این سوسپانسیون آغشته و سپس به خزانه منتقل شدند. هم‌چنین جهت تلقیح گیاهچه برنج با ترکیب قارچی بعد از این که گیاهچه‌ها به مدت یک‌ماه در خزانه رشد یافتند در فاصله انتقال گیاهچه‌ها از خزانه به زمین اصلی، ریشه گیاهچه‌ها به مدت یک ساعت در تشتی از سوسپانسیون دو گونه قارچی قرار داده شدند. پس از کشت نیز آبیاری گیاهان براساس عرف منطقه انجام گرفت.

پس از رسیدگی فیزیولوژیکی گیاه (۸۶ روز پس از نشاء‌کاری)، تعداد ده بوته از هر کرت کفر و صفات طول خوشه، اکستراژن (فاصله بین قاعده سنبله و برگ پرچم)، پدانکل (با استفاده از خط‌کش)، وزن خوشه در بوته، وزن شلتوک در خوشه (گرم)، شاخص برداشت خوشه^۷ (رابطه ۱) (Lafitte *et al.*, 2006)، ضریب تسهیم^۸ (رابطه ۲) (De Costa *et al.*, 2006)، عملکرد شلتوک، زیست‌توده، عملکرد کاه و کلش (گرم در بوته) و شاخص برداشت^۹ (رابطه ۳) اندازه‌گیری شدند.

$$\text{رابطه ۱} \quad 100 \times (\text{وزن خوشه/وزن دانه‌های پر در خوشه}) = \text{PHI} \text{ (شاخص برداشت خوشه)}$$

⁵ Potato Dextrose Broth

⁶ Kaefer

⁷ Panicle Harvest Index

⁸ Partitioning Coefficient

⁹ Harvest Index

رابطه ۲ وزن خشک کل/وزن خشک خوشه = (PC) ضریب تسهیم

رابطه ۳ $100 \times$ (عملکرد بیولوژیک/عملکرد اقتصادی) = (HI) شاخص برداشت (درصد)

آزمون نرمال بودن داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS و روش کولموگروف-اسمیرنوف انجام گرفت. در نهایت، داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ (SAS Institute, 2004) تجزیه و میانگین‌های به‌دست آمده با آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

اثر تلقیح قارچ‌ها بر صفات وزن خوشه در بوته، وزن شلتوک در خوشه، عملکرد کاه و کلش، عملکرد زیست‌توده و عملکرد شلتوک ($P < 0.01$) معنی‌دار بود (جدول ۱). در این آزمایش، هیچ یک از صفات مورد بررسی تحت تأثیر مصرف کود فسفر قرار نگرفت؛ ولی صفات وزن خوشه در بوته، عملکرد کاه و کلش ($P < 0.05$)، وزن شلتوک در خوشه و زیست‌توده ($P < 0.01$) به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر برهم‌کنش کود فسفر و تلقیح قارچ‌ها قرار گرفتند (جدول ۱). در مقایسه میانگین اثر اصلی تلقیح قارچ‌ها (جدول ۲) مشخص شد که وزن خوشه در بوته، عملکرد زیست‌توده و عملکرد شلتوک برنج با تمامی روش‌های تلقیح با قارچ‌ها افزایش قابل توجه و معنی‌داری نسبت به شرایط شاهد (عدم تلقیح قارچ‌ها) نشان دادند. براساس نتایج، تیمار تلقیح بذر باعث بیش‌ترین افزایش عملکرد شلتوک (۴۲/۸ درصد)، زیست‌توده (۳۶/۹ درصد) و وزن شلتوک در خوشه (۱۱/۶ درصد) گردید.

در راستای این نتایج، کوئه‌واس (Cuevas, 2006) در مطالعه‌ای مزرعه‌ای روی گیاه برنج نشان داد که کاربرد گونه *T. pseudoknongii* با افزایش جذب عناصر فسفر و روی باعث افزایش عملکرد دانه برنج شد. محمدی‌کشکا و همکاران (Mohammadi Kashka et al., 2016) نیز، در پژوهشی بهبود وزن تر و خشک ریشه (به‌ترتیب ۱۳/۲ و بیش از دو برابر) و کل بوته (به‌ترتیب ۹/۳ درصد و بیش از دو برابر) گیاه فلغل (رقم دیماز) را در پی تلقیح با قارچ *T. virens* در مقایسه با شاهد (عدم تلقیح) گزارش نمودند. هم‌چنین، به‌کارگیری گونه *T. hamatum* به‌ترتیب باعث افزایش ۱۰/۵، ۱۳/۲ و ۹/۸ درصدی صفات قطر ساقه، عملکرد دانه و زیست‌توده گیاه گندم شد (Mohammadi Kashka et al., 2017). در مطالعه دیگری که روی گیاه برنج صورت گرفت؛ عملکرد دانه برنج تلقیح یافته با قارچ *P. indica* نسبت به شاهد بیش‌تر شد (Abdolahi and Zarea, 2015). هم‌چنین، این ریزجاندار سبب بهبود صفات عملکرد دانه، زیست‌توده و تعداد دانه در بوته گیاه گندم شد (Yaghoubian et al., 2012). تلقیح هم‌زمان قارچ‌های *T. virens* و *P. indica* نیز، در پژوهشی سبب بهبود عملکرد گیاه برنج شدند (Mohammadi Kashka et al., 2017).

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) کود فسفر و تلقیح قارچی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه برنج (۸۶ روز پس از نشاءکاری)
 Tabel 1- Result of analysis of variance (MS) of the effect of phosphorus fertilizer and fungal inoculation on yield and yield components of rice plant (86 days after transplanting)

منبع تغییرات	درجه آزادی	طول پدانکل	طول اکستراژن	طول خوشه	ضریب تسهیم
S.O.V.	DF	Pedancle length	Extrusion length	Panicle length	Partitioning coefficient
بلوک	2	37.83	6.92	0.61	0.0001
Block					
فسفر (P)	2	4.49 ^{ns}	3.52 ^{ns}	0.61 ^{ns}	0.00005 ^{ns}
Phosphorus					
خطا a	4	34.67	4.39	4.11	0.0002
Error a					
تلقیح قارچ (F)	3	17.09 ^{ns}	9.27 ^{ns}	4.12 ^{ns}	0.0004 ^{ns}
Fungi inoculation					
فسفر × تلقیح قارچ	6	4.34 ^{ns}	8.14 ^{ns}	0.92 ^{ns}	0.0009 ^{ns}
P × F					
خطا b	6	31.03	5.13	2.67	0.0001
Error b					
خطا کل	12	38.11	3.68	2.38	0.0005
Total error					
ضریب تغییرات		11.79	14.66	4.71	2.59
CV (%)					

ns, * and **: non-significant difference, significant difference at the level of five and one percent probability, respectively.

ادامه جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) کود فسفر و تلقیح قارچی بر عملکرد گیاه برنج (۸۶ روز پس از نشاء کاری)
 Tabel 1- Result of analysis of variance (MS) of the effect of phosphorus fertilizer and fungal inoculation on yield and yield components of rice plant (86 days after transplanting)

منبع تغییرات	درجه آزادی	وزن خوشه در بوته	وزن خوشه در خوشه	وزن شلوتک در خوشه	وزن شاخص برداشت خوشه	شاخص برداشت
S.O.V.	DF	Panicle weight/plant	Paddy weight/panicle	Panicle harvest index	Harvest index	
بلوک	2	2.01	0.0001	201.08	27.26	
Block						
فسفر (P)	2	0.74 ^{ns}	0.01 ^{ns}	239.28 ^{ns}	34.24 ^{ns}	
Phosphorus						
خطا a	4	11.81	0.005	83.07	13.78	
Error a						
تلقیح قارچ (F)	3	252.79 ^{**}	0.07 ^{**}	335.56 ^{ns}	47.74 ^{ns}	
Fungi inoculation						
فسفر × تلقیح قارچ	6	82.51 [*]	0.03 ^{**}	284.35 ^{ns}	41.50 ^{ns}	
P × F						
خطا b	6	8.25	0.01	44.44	7.94	
Error b						
خطا کل	12	21.27	0.003	242.68	25.67	
Total error						
ضریب تغییرات		10.41	3.27	15.10	11.14	
CV (%)						

ns, * and **: non-significant difference, significant difference at the level of five and one percent probability, respectively.

جدول ۱ - نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعیات) کود فسفر و تلقیح فارچی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه برنج (۸۶ روز پس از نشاءکاری) ادامه جدول ۱ - نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعیات) کود فسفر و تلقیح فارچی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه برنج (86 days after)

منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی DF	عملکرد کاه و کلس Straw yield	عملکرد زیست توده Biomass yield	عملکرد شنوک Paddy yield
بلوک Block	2	34.25	1.38	22.60
فسفر (P) Phosphorus	2	42.94 ^{ns}	6.92 ^{ns}	31.05 ^{ns}
خطا a Error a	4	18.32	13.81	15.27
تلقیح فارچ (F) Fungi inoculation	3	403.68**	1512.38**	421.28**
فسفر × تلقیح فارچ P × F	6	157.39*	242.63**	51.35 ^{ns}
خطا b Error b	6	8.68	8.43	10.96
خطا کل Total error	12	45.22	24.70	21.06
ضریب تغییرات CV (%)		12.32	4.96	10.09

ns, * and **: non-significant difference, significant difference at the level of five and one percent probability, respectively. ns, * and **: به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی دار و اختلاف معنی دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر اصلی تلقیح قارچ‌ها بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه برنج
 Tabel 2- Mean comparison of effect of fungi inoculation on yield and yield components of rice plant

تیمارها Treatments	وزن خوشه در بوته Panicle weight/plant			وزن شلتوک در خوشه Paddy weight/panicle		عملکرد کاه و کلش Straw yield		عملکرد زیست‌توده Biomass yield		عملکرد شلتوک Paddy yield
	وزن خوشه در بوته Panicle weight/plant	وزن خوشه در بوته Paddy weight/panicle	وزن شلتوک در خوشه Paddy weight/panicle	عملکرد کاه و کلش Straw yield	عملکرد زیست‌توده Biomass yield	عملکرد کاه و کلش Straw yield	عملکرد زیست‌توده Biomass yield	عملکرد کاه و کلش Straw yield	عملکرد زیست‌توده Biomass yield	
شاهد Control	36.79b	1.71 ^b	46.40 ^c	81.85 ^c	35.45 ^b					
تلقیح بذر Seed inoculation	48.91 ^a (+32.9) ^{††}	1.91 ^a (+11.6)	61.41 ^a (+32.3)	112.06 ^a (+36.9)	50.65 ^a (+42.8)					
تلقیح نشاء Seedling inoculation	44.61 ^a (+21.2)	1.85 ^a (+8.1)	52.08 ^{bc} (+12.2)	100.89 ^b (+23.2)	48.80 ^a (+37.6)					
تلقیح بذر × نشاء حاصل Seed × seedling inoculation	46.86 ^a (+27.3)	1.77 ^b (+3.5)	58.43 ^{ab} (+25.9)	105.34 ^b (+28.6)	46.91 ^a (+32.3)					

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می‌باشند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

†† بیان‌گر درصد افزایش (+) یا کاهش (-) نسبت به تیمار شاهد در هر سطح فسفر می‌باشد.

Means in each column followed by similar letters are not significantly different at the 5% probability level (LSD Test).

††% increase (+) or decrease (-) as compared to the control at each level of phosphorus.

مطابق یافته‌های پژوهش حاضر به نظر می‌رسد؛ افزایش عملکرد شلتوک گیاه برنج تلقیح یافته با قارچ‌ها، از طریق افزایش وزن خوشه در بوته و وزن شلتوک در خوشه باشد که می‌توان دلیل آن را توان‌مندی این ریزجانداران در جذب بهتر و بیش‌تر عناصر غذایی (Vinale et al., 2008; Oelmüller et al., 2009)، افزایش میزان کلروفیل برگ (Jogawat et al., 2010; Vadassery et al., 2008) و افزایش سنتز هورمون‌های رشد (Vadassery et al., 2008) در شرایط تلقیح دانست.

براساس نتایج حاصل از آنالیز داده‌ها (جدول ۳)، تلقیح قارچ‌ها با روش‌های مورد استفاده و در تمام سطوح کود فسفر مصرفی سبب افزایش قابل توجه صفات نسبت به شرایط شاهد (عدم تلقیح قارچ‌ها) گردید. برای مثال، در شرایطی که از کود فسفر استفاده نشد؛ تیمارهای تلقیح بذر و تلقیح بذر و نشاء سبب افزایش معنی‌دار وزن خوشه در بوته (به‌ترتیب به‌مقدار ۳۵/۷ و ۲۰/۲ درصد) و عملکرد زیست‌توده (به‌ترتیب به‌مقدار ۴۰/۱ و ۲۴/۰ درصد) شدند. روش تلقیح نشاء نیز افزایش ۶/۳ و ۴/۵ درصدی به‌ترتیب وزن شلتوک در خوشه و کاه و کلش را در شرایط عدم مصرف کود فسفر نسبت به شاهد به‌همراه داشت (جدول ۳).

در همین راستا، حاجی‌نیا و زارع (Hajinia and Zarea, 2015) در پژوهشی علاوه‌بر بهبود عملکرد دانه گندم تلقیح شده با قارچ *P. indica*، افزایش غلظت عنصر فسفر در بافت‌های گیاهی را در مقایسه با گیاهان تلقیح‌نشده نشان دادند. قارچ *P. indica* باعث تحریک ریشه برای جذب مواد غذایی و حل‌شدن فسفات غیرمحلول و ترکیب گوگرد در خاک می‌گردد (Oelmüller et al., 2009). مطالعات انجام گرفته در این زمینه نشان داده است که این ریزجاندار با تولید اسید فسفاتاز موجب افزایش انتقال فسفات از ریزوسفر به ریشه گیاهان می‌گردد (Malla et al., 2004). چنین خصوصیتی از نظر افزایش فسفر قابل دسترس برای گیاه نیز در گونه‌های قارچ *تریکودرما* گزارش شده است. این ریزجانداران با افزایش حلالیت و جذب ریزمغذی‌های مهم مانند آهن، منگنز، منیزیم، کاتیون‌های معدنی و فسفات‌ها باعث بهبود رشد گیاهان می‌شوند (Vinale et al., 2008). جاگوات و همکاران (Jogawat et al., 2013) نیز نشان دادند که برهم‌کنش قارچ *P. indica* و تنش شوری در گیاه برنج سبب بروز تغییرات ریخت‌شناسی قابل توجهی در ریشه گیاه گردید. از این تغییرات می‌توان به افزایش طول، وزن تر و خشک و ضخامت بیش‌تر، رنگ قهوه‌ای و بالاتر بودن تعداد و حجم نسبت به گیاهان شاهد اشاره نمود. در آزمایش دیگری که در شرایط مزرعه روی گیاه برنج صورت گرفت؛ تأثیر مثبت قارچ *T. viride* بر صفات ارتفاع بوته، وزن خشک ساقه، تعداد خوشه، عملکرد کاه و کلش و عملکرد دانه نسبت به شرایط عدم تلقیح گزارش گردید (Mathivanan et al., 2005).

جدول ۳- برهم کنش کود فسفر و تلقیح قارچی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه برنج
 Tabel 3- Interaction effect of phosphorus fertilizer and fungal inoculation on yield and yield components of rice plant

تیمارها Treatments		وزن خوشه در بوته Panicle weight/plant	وزن شلتوک در خوشه Paddy weight/panicle
فسفر Phosphorus (kg/ha)	تلقیح قارچها Fungi inoculation	گرم در بوته (g/plant)	
0	شاهد Control	38.37 ^{efg}	1.72 ^{cde}
	تلقیح بذر Seed inoculation	52.09 ^{ab} (+35.7) ^{††}	1.77 ^{cd} (+2.9)
	تلقیح نشاء Seedling inoculation	40.95 ^{defg} (+6.7)	1.83 ^{bc} (+6.3)
	تلقیح بذر × نشاء حاصل Seed × Seedling	46.15 ^{abcd} (+20.2)	1.81 ^{cd} (+5.2)
	شاهد Control	34.06 ^g	1.61 ^e
50	تلقیح بذر Seed inoculation	49.53 ^{abc} (+45.4)	2.01 ^a (+24.8)
	تلقیح نشاء Seedling inoculation	40.67 ^{defg} (+19.4)	1.78 ^{cd} (+10.5)
	تلقیح بذر × نشاء حاصل Seed × Seedling	51.78 ^{ab} (+52.0)	1.83 ^{bc} (+13.6)
	شاهد Control	37.95 ^{fg}	1.81 ^{cd}
	تلقیح بذر Seed inoculation	45.11 ^{bcd} (+18.8)	1.96 ^{ab} (+8.2)
100	تلقیح نشاء Seedling inoculation	52.22 ^a (+37.6)	1.96 ^{ab} (+8.2)
	تلقیح بذر × نشاء حاصل Seed × Seedling	42.66 ^{cdef} (+12.4)	1.67 ^{de} (-7.7)

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می‌باشند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

†† بیان‌گر درصد افزایش (+) یا کاهش (-) نسبت به تیمار شاهد در هر سطح فسفر می‌باشد.

Means in each column followed by similar letters are not significantly different at the % 5 probability level (LSD Test).

††% increase (+) or decrease (-) as compared to the control at each level of phosphorus

ادامه جدول ۳- برهم کنش کود فسفر و تلقیح قارچی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه برنج
 Tabel 3- Interaction effect of phosphorus fertilizer and fungal inoculation on yield and yield components of rice plant

تیمارها Treatments		عملکرد کاه و کلش Straw yield	عملکرد زیست توده Biomass yield
فسفر Phosphorus (kg/ha)	تلقیح قارچها Fungi inoculation	گرم در بوته (g/plant)	
0	شاهد Control	48.01 ^{efg}	84.23 ^g
	تلقیح بذر Seed inoculation	68.30 ^a (+42.2)	118.09 ^a (+40.1)
	تلقیح نشاء Seedling inoculation	50.18 ^{defg} (+4.5)	92.28 ^f (+9.5)
	تلقیح بذر × نشاء حاصل Seed × Seedling	57.43 ^{bcd} (+19.6)	104.52 ^{cd} (+24.0)
	شاهد Control	46.12 ^{fg}	80.00 ^g
50	تلقیح بذر Seed inoculation	62.09 ^{abc} (+34.6)	112.50 ^{ab} (+40.6)
	تلقیح نشاء Seedling inoculation	42.39 ^g (-8.0)	94.32 ^{ef} (+17.9)
	تلقیح بذر × نشاء حاصل Seed × Seedling	59.12 ^{abcd} (+28.1)	110.95 ^{abc} (+38.6)
	شاهد Control	45.08 ^{fg}	81.34 ^g
100	تلقیح بذر Seed inoculation	53.84 ^{cdef} (+19.4)	105.61 ^{bcd} (+29.8)
	تلقیح نشاء Seedling inoculation	63.68 ^{ab} (+41.2)	116.06 ^a (+42.6)
	تلقیح بذر × نشاء حاصل Seed × Seedling	58.75 ^{abcd} (+30.3)	100.57 ^{de} (+23.6)
	شاهد Control	45.08 ^{fg}	81.34 ^g

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می‌باشند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

†† بیان‌گر درصد افزایش (+) یا کاهش (-) نسبت به تیمار شاهد در هر سطح فسفر می‌باشد.

Means in each column followed by similar letters are not significantly different at the % 5 probability level (LSD Test).

††% increase (+) or decrease (-) as compared to the control at each level of phosphorus

در زمان مصرف کود فسفر به میزان ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، تلقیح قارچ‌ها سبب بهبود قابل توجه صفات مورد بررسی نسبت به تیمار عدم تلقیح شد (جدول ۳). در شرایطی که کود فسفر به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار مصرف شده بود، تلقیح قارچ‌ها با روش‌های تلقیح بذر، تلقیح نشاء، تلقیح بذر + نشاء به ترتیب وزن خوشه در بوته را از ۳۴/۰۶ به ۴۹/۵۳ (۴۵/۴ درصد)، ۴۰/۶۷ (۱۹/۴ درصد) و ۵۱/۷۸ گرم (۵۲/۰ درصد) افزایش داد. همچنین، این روش‌های تلقیح به ترتیب افزایش ۴۰/۶، ۱۷/۹ و ۳۸/۶ درصدی زیست‌توده در زمان مصرف ۵۰ کیلوگرم در هکتار را به همراه داشت. وزن شلتوک در خوشه نیز افزایش معنی‌دار حدود ۲۴/۸ و ۱۳/۶ درصدی را تحت تأثیر تلقیح قارچ‌ها در روش‌های تلقیح بذر و تلقیح بذر و نشاء نشان داد. با افزایش کود فسفر به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، وزن خوشه در بوته، وزن شلتوک در خوشه و عملکرد زیست‌توده برنج تلقیح شده به روش بذر مال افزایش معنی‌دار ۱۸/۸، ۸/۲ و ۲۹/۸ درصدی را نسبت به شرایط بدون تلقیح نشان دادند. روش تلقیح نشاء نیز صفات مذکور را به ترتیب به مقدار ۳۷/۶، ۸/۲ و ۴۲/۶ درصد افزایش داد (جدول ۳).

مطابق یافته‌های پژوهش حاضر، نتایج پژوهش‌های دیگر نیز نشان‌دهنده اثر تحریک‌کنندگی این ریزجانداران می‌باشد. برای نمونه، نتایج پژوهش سپهری و همکاران (Sepahri et al., 2009) نشان داد که تلقیح ریشه گیاه جو با قارچ *P. indica* سبب افزایش وزن خشک اندام هوایی و ریشه به ترتیب به میزان ۳۷ و ۹۷ درصد نسبت به شرایط بدون تلقیح گردید. از سویی، قارچ *T. viride* نیز علاوه بر افزایش سیستم ریشه‌ای در سویا، باعث افزایش گره‌زایی و تثبیت زیستی نیتروژن، بهبود فعالیت فتوسنتزی و افزایش وزن خشک ساقه، ریشه و میوه (غلاف) می‌گردد (John et al., 2010). جهت اشاره به اثر مثبت تلقیح هم‌زمان قارچ‌های تریکودرما و *P. indica*، می‌توان به افزایش سطح برگ (۴۲/۵ درصد)، وزن خشک برگ (۱۶/۴ درصد) و اندام هوایی (۱۶/۸ درصد) گیاهچه فلفل (Patel, 2016) (Mohammadi Kashka et al., 2016)، بهبود وزن تر و خشک برگ و ریشه گیاه سویا (Patel, 2015) و عملکرد گیاه برنج (Mohammadi Kashka et al., 2017) اشاره نمود. بنابراین مطابق یافته‌های پژوهش حاضر، می‌توان بهبود صفات ذکر شده گیاه برنج را به توانایی این ریزجانداران در بهبود رشد گیاهان نسبت داد.

نتایج همبستگی ساده (پیرسون) بین صفات مورد بررسی با عملکرد شلتوک برنج (جدول ۴) نشان داد که صفات وزن خوشه در بوته ($r=0/67^{**}$)، وزن شلتوک در خوشه ($r=0/64^{**}$)، شاخص برداشت خوشه ($r=0/54^{**}$)، عملکرد زیست‌توده ($r=0/75^{**}$) و شاخص برداشت ($r=0/62^{**}$) همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد شلتوک داشتند.

جدول ۴- ضریب همبستگی صفات عملکرد و اجزای عملکرد گیاه برنج (n=۲۶)
Table 4- Correlation coefficients between yield and yield components of rice plant (n=36)

شماره	صفات	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	طول پدانکل Peduncle length	1										
2	طول اکسترژن Extrusion length	0.03 ^{ns}	1									
3	طول خوشه Panicle length	0.19 ^{ns}	-0.07 ^{ns}	1								
4	وزن خوشه در بوته Panicle weight/plant	0.12 ^{ns}	-0.12 ^{ns}	0.100 ^{ns}	1							
5	وزن شلتوک در خوشه Paddy weight/panicle	0.20 ^{ns}	0.08 ^{ns}	-0.08 ^{ns}	0.52 ^{**}	1						
6	شاخص برداشت خوشه Panicle harvest index	0.19 ^{ns}	0.16 ^{ns}	0.01 ^{ns}	-0.25 ^{ns}	0.22 ^{ns}	1					
7	ضریب تسهیم Partitioning coefficient	-0.07 ^{ns}	-0.03 ^{ns}	-0.006 ^{ns}	0.39 ^o	0.15 ^{ns}	-0.58 ^{**}	1				
8	عملکرد کاه و کلس Straw yield	0.01 ^{ns}	-0.21 ^{ns}	0.06 ^{ns}	0.83 ^{**}	0.24 ^{ns}	-0.58 ^{**}	0.21 ^{ns}	1			
9	عملکرد زیست توده Biomass yield	0.15 ^{ns}	-0.12 ^{ns}	0.09 ^{ns}	0.94 ^{**}	0.53 ^{**}	-0.08 ^{ns}	0.08 ^{ns}	0.83 ^{**}	1		
10	عملکرد شلتوک Paddy yield	0.25 ^{ns}	0.03 ^{ns}	0.09 ^{ns}	0.67 ^{**}	0.64 ^{**}	0.54 ^{**}	-0.09 ^{ns}	0.27 ^{ns}	0.75 ^{**}	1	
11	شاخص برداشت Harvest index	0.20 ^{ns}	0.17 ^{ns}	0.02 ^{ns}	-0.11 ^{ns}	0.33 ^o	0.93 ^{**}	-0.27 ^{ns}	-0.57 ^{**}	-0.03 ^{ns}	0.62 ^{**}	1

ns, * and **: non-significant difference, significant difference at the level of five and one percent probability, respectively.
ns, * and **: به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی دار و اختلاف معنی دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

در بررسی همبستگی سایر صفات با یکدیگر می توان بیان داشت که همبستگی شاخص برداشت با شاخص برداشت خوشه ($r = 0/93^{**}$) و همبستگی وزن خوشه در بوته با صفات وزن شلتوک در خوشه ($r = 0/52^{**}$)، ضریب تسهیم ($r = 0/39^*$)، عملکرد کاه و کلش ($r = 0/83^{**}$) و زیست توده ($r = 0/94^{**}$) مثبت و معنی دار بود. مطابق با یافته های پژوهش حاضر، تیموریان و همکاران (Teimoorian *et al.*, 2009) و امین پناه و شریفی (Aminpanah and Sharifi, 2013) همبستگی مثبت و معنی دار صفات زیست توده و شاخص برداشت برنج را با عملکرد دانه گزارش نمودند.

نتیجه گیری

در مجموع نتایج به دست آمده بیان گر بهبود صفات مرتبط با خوشه برنج (وزن خوشه در بوته و وزن شلتوک در خوشه) در پی تلقیح قارچ ها به روش های مختلف از جمله تلقیح بذر، گیاهچه و تلقیح بذر و نشاء بود. در تمام سطوح مصرفی کود فسفر نیز، تلقیح برنج با قارچ ها توانسته در مقایسه با شاهد (بدون تلقیح قارچ ها) به طور معنی داری صفات تعداد و وزن خوشه در بوته و زیست توده برنج را افزایش دهد. از آنجایی که مصرف فسفر در این آزمایش اثر معنی داری بر عملکرد شلتوک به عنوان مهم ترین صفت در محصول برنج نداشته است؛ لذا این طور می توان استنتاج نمود که می توان با استفاده از مقادیر کم تر کود فسفر همراه با کاربرد این ریزجانداران، علاوه بر افزایش یا حداقل ثابت نگه داشتن میزان تولید، از مصرف کود شیمیایی فسفره نیز تا حد قابل توجهی کاست. با این وجود، جهت شناخت بهتر سازوکارهای این ریزجانداران و میزان فسفر مناسب مصرفی برای برنج، نیازمند بررسی بیش تر و مطالعات تکمیلی در چند سال متوالی و در شرایط آب و هوایی و ارقام مختلف می باشد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از پژوهشکده ژنتیک و زیست فناوری کشاورزی طبرستان جهت همکاری در فراهمی گونه های قارچ و از جناب آقای محمدعلی محمدی کشکا به جهت در اختیار قرار دادن مزرعه و مساعدت در انجام پژوهش حاضر سپاسگزاری می گردد.

منابع

- Abdolahi A.A., Zarea M.J. 2015. Effect of mycorrhiza and root endophytic fungi under flooded and semi-flooded conditions on paddy yield and yield components of rice. *Electronic Journal of Crop Production*, 8 (1): 223-230. (In Persian).
- Achatz B., Kogel K.H., Franken P., Waller F. 2010. *Piriformospora indica* mycorrhization increases grain yield by accelerating early development of

- barley plants. *Plant Signaling and Behavior*, 5 (12): 1685-1687.
- Aminpanah H., Sharifi P. 2013. Path analysis of rice (*Oryza sativa* L.) grain yield and its related components in competition with barnyard grass (*Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv.). *Journal of Crop Production and Processing*, 3 (9): 105-120. (In Persian).
- Bae H., Sicher R.C., Kim M.S., Kim S.H., Strem M.D., Melnick R.L., Bailey B.A. 2009. The beneficial endophyte *Trichoderma hamatum* isolate DIS 219b promotes growth and delays the onset of the drought response in *Theobroma cacao*. *Journal of Experimental Botany*, 60 (11): 3279-3295.
- Bagde U.S., Prasad R., Varma A. 2010. Interaction of mycobiont: *Piriformospora indica* with medicinal plants and plants of economic importance. *African Journal of Biotechnology*, 9: 9214-9226.
- Benitez T., Rincon A.M., Limon M.C., Codon A.C. 2004. Biocontrol mechanisms of *Trichoderma* strains. *International Microbiology*, 7: 249-260.
- Boudaghi H., Yunesian M., Mahvi A.H., Mohammadi M.A., Dehghani M.H., Nazmara S. 2012. Cadmium, lead and arsenic concentration in soil and underground water and its relationship with chemical fertilizer in paddy soil. *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*, 22: 20-28. (In Persian).
- Cuevas C. 2006. Soil Inoculation with *Trichoderma pseudokoningii* rifai enhances yield of rice. *Philippine Journal of Science*, 135 (1): 31-37.
- Dashti Gh., Javadi A., Eshghi T.A. 2011. Estimating economic values of land and family labor in producing rice. *Journal of Economics and Agricultural Development*, 24 (4): 433-439. (In Persian).
- De Costa W.A.J.M., Weerakoon W.M.W., Herath H.M.L.K., Amaratunga K.S.P., Abeywardena R.M.I. 2006. Physiology of yield determination of rice under elevated carbon dioxide at high temperatures in a subhumid tropical climate. *Field Crops Research*, 96: 336-347.
- Doni F., Isahak A., Zain C.R.C.M., Yusoff W.M.W. 2014. Physiological and growth response of rice plants (*Oryza sativa* L.) to *Trichoderma* spp. inoculants. *AMB Express-a Springer Open Journal*, 4: 2-7.
- Elad Y. 2000. Biological control of foliar pathogens by means of *Trichoderma harzianum* and potential modes of action. *Crop Protection*, 19 (8-10): 709-714.
- Ha T.N. 2010. Using *Trichoderma* species for biological control of plant pathogens in Vietnam. *Journal of International Society for Southeast Asian Agricultural Sciences*, 16 (1): 17-21.
- Hajiniya S.; Zaree M.J. 2015. Effect of co-inoculation of endophytic fungus *Piriformospora Indica* and *Azospirillum* strains on some physiological traits, nutrient absorption and grain yield of wheat (*Triticum aestivum* cv. Sardari) under salt stress conditions. *Plant Production Technology*, 6 (2): 149-161. (In Persian).
- Hashem A., Abd-Allah E.F., Alqarawi A.A., Al Huqail A.A., Egamberdieva D.

2014. Alleviation of abiotic salt stress in *Ochradenus baccatus* (Del.) by *Trichoderma hamatum* (Bonord.) Bainier. *Journal of Plant Interactions*, 9 (1): 857-868.
- Hermosa R., Viterbo A., Chet I., Monte E. 2012. Plant-beneficial effects of *Trichoderma* and of its genes. *Microbiology*, 158: 17-25.
- Jan K., Boswal M.V. 2015. Effect of biofertilizer and organic fertilizer on physiological characteristics of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *International Journal of Scientific Research and Management*, 3 (2): 2073-2089.
- Jogawat A., Saha S., Bakshi M., Dayaman V., Kumar M., Dua M., Varma A., Oelmüller R., Tuteja N., Johri A.K. 2013. *Piriformospora indica* rescues growth diminution of rice seedlings during high salt stress. *Plant Signaling and Behavior*, 8: e26891-6.
- John R.P., Tyagi R.D., Prévost D., Brar S.K., Pouleur S., Surampalli R.Y. 2010. Mycoparasitic *Trichoderma viride* as a biocontrol agent against *Fusarium oxysporum* f. sp. adzuki and *Pythium arrhenomanes* and as a growth promoter of soybean. *Crop Protection*, 29: 1452-1459.
- Kumar M., Yadav V., Tuteja N., Johri A.K. 2009. Antioxidant enzyme activities in maize plants colonized with *Piriformospora indica*. *Microbiology*, 155: 780-790.
- Lafitte H.R., Li Z.K., Vijayakumar C.H.M., Gao Y.M., Shi Y., Xu J.L., Fu B.Y., Yu S.B., Ali A.J., Dominigo J., Maghirang R., Torres R., Mackill R. 2006. Improvement of rice drought tolerance through backcross breeding: evaluation of donors and selection in drought nurseries. *Field Crops Research*, 97: 77-86.
- Malla R., Prasad R., Kumari R., Giang P.H., Pokharel U., Oelmüller R., Varma A. 2004. Phosphorus solubilizing symbiotic fungus: *Piriformospra indica*. *Endocytobiosis and Cell Research*, 15: 579-600.
- Mathivanan N., Prabavathy V.R., Vijayanandraj V.R. 2005. Application of talc formulations of *Pseudomonas fluorescens* Migula and *Trichoderma viride* Pers. ex S.F. Gray decrease the sheath blight disease and enhance the plant growth and yield in rice. *Journal of Phytopathology*, 153: 697-701.
- Mishra N., Sundari S.K. 2015. Native PGPM consortium: a beneficial solution to support plant growth in the presence of phytopathogens and residual organophosphate pesticides. *Journal of Bioprocessing and Biotechniques*, 5 (2): 1-8.
- Moghadassi R. 2009. An strategy to meet food security (based on determined goals in agricultural section). Islamic Parliament Research Center, Tehran. (In Persian).
- Mohammadi Kashka F., Pirdashti H., Yaghoobian Y., Bahari Saravi S.H. 2016. Effect of *Trichoderma virens* and *Piriformospora indica* coexistence with *Enterobacter* sp. on the growth and photosynthetic pigments in pepper (*Capsicum annuum* L.) plant. *Plant Ecophysiology*, 8 (26): 121-133. (In

- Persian).
- Mohammadi Kashka F., Pirdashti H., Yaghoobian Y., Bakhshandeh E. 2017. Evaluation of growth and yield stability of wheat by application of *Trichoderma* and *Enterobacter* sp.. Agricultural Science and Sustainable Production, 26 (4): 1-15. (In Persian)
- Mohammadi Kashka F., Pirdashti H., Yaghoobian Y., Mohammadi Kashka O. 2017. Effect of *Trichoderma virens* and *Piriformospora indica* inoculation fungi on yield and harvest index of rice (*Oryza sativa* L.) cv. Tarom Hashemi. The 1th National Conference of Agriculture, Natural Resources and Veterinary of Ardakan, 11 May, Ardakan, Iran, 7 p. (In Persian).
- Oelmüller R., Sherameti I., Tripathi S., Varma A. 2009. *Piriformospora indica*, a cultivable root endophyte with multiple biotechnological applications, Symbiosis. 49: 1-17.
- Patel R.N. 2015. Comparison of antagonistic effects of the endophytic fungi and *Trichoderma* species against soybean charcoal rot disease under greenhouse conditions. International Journal of Humanities, Arts, Medicine and Sciences, 3 (2): 25-40.
- Rai M., Varma A. 2005. Arbuscular mycorrhiza-like biotechnological potential of *Piriformospora indica*, which promotes the growth of *Adhatoda vasica*. Electronic Journal of Biotechnology, 8: 107-111.
- Ramezani B., Hanifi A. 2011. Recognition of geographical diffusion of stomach cancer in Gilan province. Journal of Environmental Science and Technology, 13 (2): 79-91. (In Persian).
- Saharan B.S., Nehra V. 2011. Plant growth promoting rhizobacteria: a critical review. Life Sciences and Medicine Research, 2011: 1-30.
- Samuels G.J. 1996. *Trichoderma*: a review of biology and systematics of the genus. Mycological Research, 100: 923-935.
- SAS Institute. 2004. SAS User's Guide: Statistics, Version 9.1. SAS Institute Inc., Cary. NC, USA.
- Sepehri M., Saleh Rastin N., Hossieni Salkedeh G., Khayam Nekouie M. 2009. Effect of endophytic fungus, *Piriformospora indica*, on growth and resistance of *Hordeum vulgare* L. to salinity stress. Rangeland, 3 (3): 508-518. (In Persian).
- Sharma P., Patel A.N., Saini M.K., Deep S. 2012. Field demonstration of *Trichoderma harzianum* as a plant growth promoter in wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Agricultural Science, 4: 65-73.
- Sherameti I., Shahollari B., Venus Y., Altschmied L., Varma A., Oelmüller R. 2005. The endophytic fungus *Piriformospora indica* stimulates the expression of nitrate reductase and the starch-degrading enzyme glucanwater dikinase in tobacco and *Arabidopsis* roots through a homeodomain transcription factor which binds to a conserved motif in their promoters. Journal of Biological

- Chemistry, 280: 2641-7.
- Shokrzadeh M., Rokni M.A., Galstvan. 2013. Lead, cadmium, and chromium concentrations in irrigation supply of/and Tarom rice in central cities of Mazandaran province, Iran. *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*, 22 (98): 234-242. (In Persian).
- Sun C., Johnson J.M., Cai D., Sherameti I., Oelmüller R., Lou B. 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. *Journal of Plant Physiology*, 167: 1009-1017.
- Teimoorian M., Galavi M., Pirdashti H., Nasiri M. 2009. Yield and yield components of three rice (*Oryza sativa* L.) cultivars in response to source-sink limitations and different nitrogen fertilizer. *Journal of Plant Production*, 16 (3): 49-66. (In Persian).
- Vadassery J., Ritter C., Venus Y., Camehl I., Varma A., Shahollari B., Novak O., Strnad M., Ludwig-Muller J., Oelmuller R. 2008. The role of auxins and cytokinins in the mutualistic interaction between *Arabidopsis* and *Piriformospora indica*. *Molecular Plant-Microb interactions*, 21 (10): 1371-1383.
- Vance C.P., Uhde-Stone C., Allan D.L. 2003. Phosphorus acquisition and use: critical adaptation by plants for securing a nonrenewable resource. *New Phytologist*, 157: 423-447.
- Verma J.P., Yadav J., Tiwari K.N., Kumar A. 2013. Effect of indigenous *Mesorhizobium* spp. and plant growth promoting rhizobacteria on yields and nutrients uptake of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under sustainable agriculture. *Ecological Engineering*, 51: 282-286.
- Vessey J.K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*, 255: 571-586.
- Vinale F., Sivasithamparam K., Ghisalberti E.L., Marra R., Woo S.L., Lorito M. 2008. *Trichoderma* plant pathogen interactions. *Soil Biology and Biochemistry*, 40: 1-10.
- Yaghoobian Y., Pirdashti H., Mohammadi Goltapeh E., Feiziasl V., Esfandiari E. 2012. Investigation of dryland wheat (*Triticum aestivum* cv. Azar2) plants response to symbiosis with arbuscular mycorrhiza and mycorrhiza like fungi under different levels of drought stress. *Journal of Agroecology*, 4 (1): 63-73. (In Persian).
- Zhu F., Qu L., Hong X., Sun X. 2011. Isolation and characterization of a phosphate-solubilizing halophilic bacterium *Kushneria* sp. YCWA18 from Daqiao Saltern on the coast of Yellow Sea of China. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2011: 1-6.