Archive of SID

نشریه تولید گیاهان زراعی
جلد یازدهم، شماره دوم، تابستان ۹۷
۱۹۷-۲۱٤
http://ejcp.gau.ac.ir
DOI:

# تأثیر ریزجانداران افزاینده رشد بر برخی صفات رویشی و عملکرد دانه برنج در مقادیر مختلف کود پتاسیم

**زهرا گیلانی[۱]، همت‌اله پیردشتی[۲] و *اسماعیل بخشنده[۳]**

[۱]دانشجوی کارشناسی‌ارشد زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری،
[۲]دانشیار گروه زراعت، پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری،
[۳]استادیار پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

تاریخ دریافت: ۱۳۹٦/۱/۲٦؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۳/۱۳

## چکیده

**سابقه و هدف:** افزایش و پایداری تولید برنج یکی از اهداف تولید این محصول در کشور می‌باشد که برای دستیابی به این هدف و بر اساس اصول کشاورزی پایدار رعایت نکات به‌زراعی از جمله استفاده مناسب و بهینه از کودهای شیمیایی و یا کاربرد کودهای زیستی به‌عنوان جایگزین و یا مکمل مناسب ضروری می‌باشد. همچنین، بهره‌گیری از نهاده‌های تجدیدپذیر مانند ریزجانداران افزاینده رشد (با توانایی تثبیت نیتروژن اتمسفری و محلول کردن ترکیبات نامحلول مانند فسفر و پتاسیم، تولید هورمون‌های رشد، آنزیم‌ها و اسیدهای آلی) به‌همراه سودمندی‌های اکولوژیکی بالا و آسیب‌های زیست‌محیطی پایین امری لازم است. در همین راستا، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی اثرات استعمال ریزجانداران افزاینده رشد بر بهبود برخی صفات رویشی و عملکرد دانه برنج (رقم 'طارم محلی') در مقادیر مختلف کود سولفات پتاسیم اجرا شد.

**مواد و روش‌ها:** آزمایش در یکی از مزارع واقع در شهرستان جویبار از استان مازندران به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۵ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل چهار سطح کود سولفات پتاسیم (۰، ٦۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار) به‌عنوان کرت اصلی و چهار سطح تلقیح ریشه گیاهچه برنج (شاهد، تلقیح نشاء تنها با باکتری *Pantoea ananatis*، تلقیح نشاء تنها با قارچ اندوفیت *Piriformospora indica* و تلقیح نشاء با قارچ و باکتری به‌صورت ترکیبی (به نسبت ۵۰:۵۰)) به‌عنوان کرت فرعی بودند. بر اساس نتایج آزمون خاک، ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات‌تریپل و تیمارهای مختلف کود سولفات پتاسیم قبل از نشاکاری و نیز ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در دو مرحله نشاکاری و خوشه‌دهی به زمین اضافه شد. در مرحله گرده‌افشانی صفات رویشی مانند ارتفاع بوته، تعداد کل برگ در کپه، شاخص سطح برگ، تعداد کل پنجه در کپه و روز تا مرحله گرده‌افشانی اندازه‌گیری شد. عملکرد دانه نیز در زمان رسیدگی برداشت با حذف اثر حاشیه‌ای در مساحتی معادل یک مترمربع ثبت گردید.

*مسئول مکاتبه: e.bakhshandeh@sanru.ac.ir



www.SID.ir

Archive of SID



**یافته‌ها:** نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده سطوح مختلف کود پتاسیم، تیمارهای تلقیح و اثر متقابل بین آن‌ها در تمامی صفات مورد مطالعه در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بود. با افزایش مصرف کود پتاسیم از صفر تا ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار، ارتفاع بوته از ۱٤۲/۱ تا ۱۵۰ سانتی‌متر (٦ درصد)، تعداد کل پنجه در کپه از ۹/۲ تا ۱۱ عدد (۲۰/۱ درصد)، تعداد کل برگ در کپه از ٦٤/۲ تا ٦۵/٤ عدد (۲ درصد)، شاخص سطح برگ از ۳/۹ تا ۵/٦ (٤۱/۲ درصد) و عملکرد دانه از ٤٤۸/۸ تا ۵۸۵/۷ گرم در مترمربع (۳۰/۵ درصد) نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار و تعداد روز تا گرده‌افشانی نیز از ۵۷/٦ به ۵٦/۲ روز (۲/۳ درصد) کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد (بدون مصرف کود) نشان داد. اگرچه با افزایش بیشتر مصرف کود تا ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار مقادیر در صفات کمی بیشتر بود؛ اما این اختلاف‌ها از لحاظ آماری معنی‌دار نبودند. علاوه‌بر این، تلقیح تنها با باکتری، تلقیح تنها با قارچ و تلقیح ترکیبی قارچ و باکتری به‌ترتیب باعث افزایش معنی‌دار ٤/٤، ٤/۱ و ۳/٤ درصدی ارتفاع بوته؛ ۸/۷، ۸/۷ و ۲۲/۷ درصدی تعداد کل پنجه در کپه؛ ۲/۸، ۲/٤ و ٤/٤ درصدی تعداد کل برگ در کپه؛ ۱۳/۱، ۱۵/۰ و ۲۷/۲ درصدی شاخص سطح برگ؛ ۱۱/۲، ۱۱/۲ و ۱۹/٤ درصدی عملکرد دانه و کاهش معنی‌دار ۲/۰، ۲/۰ و ۳/۳ درصدی روز تا گرده‌افشانی نسبت به شاهد (بدون تلقیح) شد.

**نتیجه‌گیری:** استفاده ریزجانداران مورد مطالعه به‌ویژه کاربرد ترکیبی آن‌ها (*P. indica* + *P. ananatis*) به‌عنوان بهترین تیمار باعث بهبود تمامی صفات رویشی و عملکرد دانه برنج نسبت به شاهد شد. در زمان کاربرد ترکیبی قارچ و باکتری علاوه‌بر کاهش مصرف کود پتاسیم در حدود ۵۵ کیلوگرم در هکتار (٤۰ درصد)، عملکرد دانه به مقدار ۱/۵۲±۷۹ گرم در مترمربع (۱۸/٦ درصد) نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار یافت. در مجموع، به نظر می‌رسد از این ریزجانداران می‌توان در شرایطی مشابه به صورت ترکیبی در مقادیر کاهش‌یافته کود سولفات پتاسیم استفاده نمود.

***واژه‌های کلیدی:*** برنج، ریزجانداران افزاینده رشد، سولفات پتاسیم، *Pantoea ananatis*، *Piriformospora indica*

## مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.) یکی از اصلی‌ترین منبع تأمین نیاز غذایی میلیون‌ها نفر در جهان به شمار می‌رود. سطح زیرکشت این گیاه در دنیا حدود ۱٦٤ میلیون هکتار و در ایران ۵۹۰ هزار هکتار با تولید سالانه ۲/٦ میلیون تن شلتوک می‌باشد (۱۹). هفتاد و پنج درصد از اراضی زیرکشت برنج در استان‌های شمالی کشور (مازندران، گیلان و گلستان) قرار دارد که حدود ۸۰ درصد برنج کشور را تولید می‌نمایند (۱٤). پتاسیم بعد از نیتروژن و فسفر، از جمله مهم‌ترین عناصر پرمصرف بوده که در بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی مانند حفظ تورژسانس سلول، افزایش فتوسنتز، فعالیت آنزیم‌ها، کمک به انتقال قند و نشاسته، جذب نیتروژن، سنتز پروتئین و در نهایت رشد و توسعه گیاهان نقش دارد (۷). این عنصر در برنج از طریق افزایش اندازه و وزن دانه، مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی، بیماری‌ها، استحکام ساقه و همچنین کاهش ورس (خوابیدگی) نقش تعیین‌کننده‌ای در رشد و افزایش عملکرد ایفا می‌کند (۳۰). به‌طوری‌که، اهمیت پتاسیم در مزارع برنج برابر با عنصر نیتروژن و بسیار فراتر از عنصر فسفر می‌باشد (۲٦).

در چند دهه اخیر، بسیاری از پژوهشگران در سراسر دنیا برای دستیابی به کشاورزی پایدار، کاهش بروز مشکلات اقتصادی و زیست‌محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی استفاده از کودهای



www.SID.ir

Archive of SID



زیستی را آغاز نمودند (۲۹). استفاده از کودهای زیستی به تنهایی و یا به‌عنوان مکمل کودهای شیمیایی نه تنها موجب بهبود رشد گیاهان زراعی شده بلکه باعث پایداری تولید، حداکثر بهره‌وری زراعی، کاهش خطرات زیست‌محیطی شده و از تخریب خاک نیز جلوگیری می‌نماید (۲٤). کود زیستی به مجموعه از ریزجانداران (باکتریایی و یا قارچی) اطلاق می‌گردد که از طریق سازوکارهای مختلف مانند تثبیت نیتروژن اتمسفری و محلول کردن ترکیبات نامحلول مانند فسفر و پتاسیم در خاک، تولید تنظیم‌کننده‌های رشد (مانند اکسین، جیبرلین و سیتوکینین)، ترشح برخی از آنزیم‌ها مانند فیتاز و فسفاتاز و یا تولید اسیدهای آلی بر رشد و نمو و عملکرد گیاهان زراعی و همچنین ویژگی‌های خاک تأثیر مثبت می‌گذارند (۱، ٤، ۱۳ و ۲٦).

باکتری *Pantoea ananatis* و قارچ اندوفیت *Piriformospora indica* از جمله ریزجانداران افزاینده رشد محسوب می‌شوند که از آن‌ها می‌توان در تولید کود زیستی بهره برد (۱۳ و ۳٦). احتشامی و همکاران (۲۰۱۳) نیز افزایش عملکرد دانه برنج ناشی از افزایش تعداد پنجه بارور را در زمان تلقیح بذر با باکتری *Pseudomonas fluorescens* گزارش کردند (۱۸). علاوه‌بر این، این باکتری از طریق افزایش جذب عناصر غذایی به‌ویژه فسفر می‌توانند منجر به افزایش وزن خشک و عملکرد دانه برنج گردد (۳). در پژوهشی مشابه، تلقیح گیاه برنج (رقم 'طارم محلی') با باکتری *Enterobacter* sp. در شرایط گلدانی باعث افزایش وزن خشک ریشه (۲۵ درصد)، ساقه (۱۷/٦ درصد) و برگ (۱۳/۳ درصد) نسبت به شاهد گردید (۱٤). نشاءهای برنج تلقیح‌شده با باکتری *Azospirillum brasiliense* نیز رشد بهتری نسبت به نشاءهای بدون تلقیح به‌علت گسترش بیشتر ریشه‌ها و در نتیجه افزایش جذب مواد غذایی داشتند (۱۵). در ذرت (*Zea mays* L.)، کاربرد باکتری *P. fluorescens* به‌ترتیب موجب افزایش ٤٦، ۲۲، ۱۱٤، ۵۳، ۲۲ و ۷٤ درصدی عملکرد دانه، وزن‌تر بوته، مقدار آهن، روی، کلروفیل و فسفر نسبت به شاهد شد (۳۳). استفاده هم‌زمان *Pseudomonas putida* و *Pantoea aggromerans* نیز با بهبود جذب فسفر و ترشح برخی ترکیبات افزاینده رشد موجب افزایش عملکرد سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) شد (۲۵).

کاربرد قارچ *P. indica* نیز باعث تسریع ظهور سنبله، افزایش تعداد پنجه و در نهایت عملکرد گیاه جو (*Hordeum vulgare* L.) شد (۱٤). تلقیح ریشه گیاهچه برنج با *P. indica* سبب افزایش وزن خشک اندام هوایی (٤۷ درصد) و ریشه (٦۳ درصد) نسبت به شاهد گردید (۲۰). در آزمایشی دیگر، کاربرد *P. indica* موجب افزایش وزن ساقه، تعداد پنجه و دانه در خوشه برنج به‌ترتیب ۱۰/۹، ۱۹/۱و ۷/۲ درصد نسبت به شاهد شد (٦). بخشنده و همکاران (۲۰۱۵) کاهش ٦۷ درصدی مصرف کود سوپرفسفات‌تریپل و افزایش ۱۷/۷، ۱۰/۱ و ۲۹/٦ درصدی عملکرد دانه برنج (به‌ترتیب در ارقام طارم هاشمی، طارم محلی و شیرودی) را در زمان کاربرد همزمان باکتری‌های حل‌کننده فسفات و کود شیمیایی گزارش نمودند (۱٤). در نتیجه، این مطالعه با هدف بررسی تأثیر جداگانه و توأم باکتری *P. ananatis* و قارچ *P. indica* بر بهبود برخی صفات رویشی و عملکرد دانه برنج رقم 'طارم محلی' در سطوح مختلف کود سولفات پتاسیم و تعیین مقدار بهینه مصرف پتاسیم جهت دستیابی به حداکثر مقدار این صفات طراحی و اجرا شد.

## مواد و روش‌ها

آزمایش در شرایط مزرعه زارعین واقع در روستای لاریم شهرستان جویبار از استان مازندران با



www.SID.ir

Archive of SID



عرض جغرافیایی ۳٦ درجه و ۳۳ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۳ درجه شرقی با ارتفاع ۲۵/۷ متر از سطح آب‌های آزاد به صورت کرت‌های خردشده و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۵ اجرا شد. بر اساس نتایج آزمون خاک (عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری) ارائه شده در جدول (۱)، ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات‌تریپل و تیمارهای مختلف کود سولفات پتاسیم قبل از نشاکاری و نیز ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در دو مرحله نشاکاری (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) و خوشه‌دهی (۵۰ کیلوگرم در هکتار) به زمین اضافه شد.

باکتری افزاینده رشد *Pantoea ananatis* (هوازی و بی‌هوازی اختیاری؛ جداسازی‌شده از مزارع برنج استان مازندران با توانایی حل‌کنندگی فسفات نامحلول (۱۷۲ میکروگرم در میلی‌لیتر از منبع تری‌کلسیم‌فسفات بعد از پنج روز)، پتاسیم نامحلول (۳۸/۹ میکروگرم در میلی‌لیتر از منبع میکا بعد از بیست و پنج روز) و تولید ایندول استیک اسید (۸ میکروگرم در میلی‌لیتر بعد از سه روز)) (۱۰ و ۱۲) و قارچ اندوفیت *Piriformospora indica* (رجوع به مقاله وارما و همکاران (۲۰۱۲) برای مشاهده ویژگی‌های این قارچ) از پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان تهیه شدند.

**جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش (عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری).**

Table 1. Phyico-chemical properties of the sudied soil (at a depth of 0 – 30 cm).

| بافت خاک Soil texture | سیلت (درصد) Silt (%) | رس (درصد) Clay (%) | شن (درصد) Sand (%) | پتاسیم در دسترس (میلی‌گرم در کیلوگرم) Available K ($mg\ kg^{-1}$) | فسفر در دسترس (میلی‌گرم در کیلوگرم) Available P ($mg\ kg^{-1}$) | کربن آلی (درصد) Organic carbon (%) | اسیدیته pH | هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) Eletrical condectivoty ($ds.m^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| لومی شنی Sandy loam | 7 | 20 | 73 | 92 | 14.2 | 1.02 | 7.75 | 3.15 |
| حد بحرانی Critical value | | | | 170 | 11 | | | |

تیمارهای آزمایشی شامل چهار سطح کود سولفات پتاسیم (۰، ٦۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار) به‌عنوان کرت اصلی و چهار سطح تلقیح ریشه گیاهچه برنج (شاهد، تلقیح نشاء تنها با باکتری، تلقیح نشاء تنها با قارچ و تلقیح نشاء با باکتری و قارچ به صورت ترکیبی) به‌عنوان کرت فرعی بودند. برای کشت باکتری *P. ananatis* از محیط کشت نوترینت براث (حاوی یک گرم عصاره گوشت، دو گرم عصاره مخمر، پنج گرم پپتون و پنج گرم کلرید سدیم به ازای هر لیتر محیط کشت) (۱٤) و برای کشت قارچ *P. indica* از محیط کشت کفر (حاوی بیست گرم گلوکز، دو گرم پپتون، یک گرم عصاره مخمر، یک گرم کازامین اسید، یک میلی‌لیتر محلول ویتامین، یک میلی‌لیتر کلرید کلسیم ۰/۱ مولار، یک میلی‌لیتر کلرید آهن ۰/۱ مولار، ۵۰ میلی‌لیتر محلول عناصر پرمصرف (حاوی ۱۲۰ گرم نیترات سدیم، ۱۰/٤ گرم کلرید پتاسیم، ۱۰/٤ گرم سولفات منیزیم، ۳۰/٤ گرم فسفات پتاسیم به ازای هر لیتر محلول) و ۲/۵ میلی‌لیتر محلول عناصر کم‌مصرف (حاوی ۲۲ گرم سولفات روی، ۱۱ گرم اسید بوریک، ۵ گرم کلرید منگنز، ۵ گرم سولفات آهن، ۱/٦ گرم کلرید کبالت، ۱/٦ کلرید مس، ۵۰ گرم نمک دی‌سدیم اتیلن



www.SID.ir

Archive of SID



دی‌آمین تترا استات دی‌هیدارت به ازای هر لیتر محلول) برای یک لیتر محیط کشت استفاده گردید (۳۵). گیاهچه‌های برنج در زمان تلقیح ۳۰ روز سن و به‌طور میانگین ۵-٤ برگ داشتند. جهت تلقیح از سوسپانسیون باکتری و قارچ به‌ترتیب با جمعیت $10^6$ و $10^8$ سلول زنده در هر میلی‌لیتر به مدت ۱۲ ساعت و به روش غوطه‌وری ریشه (ریشه گیاهچه‌های برنج به‌طور کامل در داخل سوسپانسیون‌ها موردنظر قرار گرفتند) استفاده گردید. برای جلوگیری از ایجاد خطا در تیمار شاهد تنها از محیط کشت بدون باکتری و یا قارچ جهت تلقیح استفاده شد. بعد از تلقیح، نشاءها از محلول خارج و نشاءکاری بلافاصله در زمین اصلی انجام شد. هر کپه نشاء شامل چهار گیاهچه بود که با فاصله ۲۰×۲۰ سانتی‌متر کشت شده بودند. هر کرت آزمایشی شش متر طول، ۲/۵ متر عرض و شامل ۱۲ خط کشت بود. برای تسهیل در آبیاری فاصله بلوک‌ها از یکدیگر ۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در طول دوره آزمایش کلیه عملیات زراعی از قبیل آبیاری (با ارتفاع آب آبیاری حدود ۳ تا ۵ سانتی‌متر تا دو هفته قبل از برداشت)، مبارزه با علف‌های‌هرز (شیمیایی با استفاده از بوتاکلر به‌همراه دو مرتبه وجین دستی)، آفات (استفاده از تریکوکارت برای کرم ساقه‌خوار و ملاتیون برای کرم برگ‌خوار) و بیماری‌ها (تری‌سیکلازول برای مبارزه با بلاست) برای همه کرت به‌صورت یکنواخت و در زمان ضروری بر اساس دستورالعمل فنی موسسه تحقیقات برنج کشور انجام شد. در مرحله گرده‌افشانی (حدود ٦۰ روز پس از نشاءکاری) صفاتی همچون ارتفاع بوته (سانتی‌متر، با استفاده از خط‌کش)، تعداد کل برگ و پنجه در کپه اندازه‌گیری و تاریخ وقوع مرحله گرده‌افشانی (از طریق بازدید روزانه) ثبت شد (زمانی که ۵۰ درصد هر کرت به مرحله گرده‌افشانی رسید، آن روز به‌عنوان مرحله گرده‌افشانی برای آن کرت ثبت گردید) (۱۱). جهت تعیین سطح برگ از معادله پیشنهاد شده توسط بخشنده و همکاران (۲۰۱۷) به شکل زیر استفاده گردید (۹):

(۱)

وزن خشک برگ سبزدر بوته×۲٥٤/٦۳ =سطح برگ در بوته

شاخص سطح برگ نیز از تقسیم سطح برگ هر کپه به سطح سایه‌انداز آن محاسبه شد (۹). در مرحله رسیدگی کامل (۸۵ روز پس از کاشت)، پس از حذف اثر حاشیه‌ایی یک مترمربع از هر کرت به روش تخریبی برداشت و عملکرد دانه واقعی اندازه‌گیری گردید. به‌منظور توصیف روند تغییرات صفات مورد مطالعه در سطوح مختلف کود سولفات پتاسیم و تعیین مقدار بهینه مصرف کود جهت دستیابی به حداکثر مقدار صفات در زمان کاربرد ریزجانداران افزاینده رشد از یک معادله دوتکه‌ای به شکل زیر استفاده شد (۸):

$$y = a + bx \quad \text{اگر} \quad x \leq x_0 \qquad (۲)$$

$$y = a + bx_0 \quad \text{اگر} \quad x > x_0$$

که در آن a، عرض از مبدأ؛ b، شیب خط (افزایش/ کاهش صفت) به ازای افزایش هر کیلوگرم مصرف کود پتاسیم و $x_0$، نقطه چرخش یا مقدار مصرف کود پتاسیم برای رسیدن به حداکثر/ حداقل مقدار هر یک از صفات می‌باشند. تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایشی با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/٤ و شکل‌ها به‌وسیله نرم‌افزار SigmaPlot نسخه ۱۰ ترسیم شدند. مقایسه میانگین‌ها نیز به روش حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۰/۰۵ درصد صورت گرفت.

## نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایش بر صفات مورد بررسی در گیاه برنج نشان داد



www.SID.ir

Archive of SID



که اثر ساده کود پتاسیم بر صفات ارتفاع بوته، تعداد کل پنجه در کپه، تعداد کل برگ در کپه، تعداد روز تا رسیدن به مرحله گرده‌افشانی، شاخص سطح برگ و عملکرد دانه معنی‌دار بود. همچنین، اثر ساده تلقیح با ریزجانداران افزاینده رشد نیز بر تمامی صفات فوق از لحاظ آماری معنی‌دار بود. نتایج برهم‌کنش کود پتاسیم و تلقیح با ریزجانداران افزاینده رشد نیز بر تمامی صفات اثر معنی‌داری داشت (جدول ۲).

**ارتفاع بوته:** دامنه تغییرات ارتفاع بوته از ۱٤۰/٤ تا ۱٥٤/٥ سانتی‌متر متغیر بود. مصرف تنها کود پتاسیم و یا حضور ریزجانداران افزاینده رشد باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته نسبت به شاهد شد و برهم‌کنش بین تیم‌ارها نیز معنی‌دار بود (جدول ۲). جهت توصیف روند تغییرات ارتفاع بوته در مقابل مقادیر مختلف کود پتاسیم از یک معادله دوتکه‌ای (معادله ۲) استفاده گردید (شکل ۱- الف). نتایج حاکی از آن بود که معادله به خوبی و با ضریب تبیین بالاتر از ۰/۹۸ توانست این تغییرات را توصیف نماید (جدول ۲). به‌طورکلی، با افزایش مصرف کود پتاسیم از شاهد (صفر کیلوگرم در هکتار) تا زمان مصرف ۱۱۰/۷، ۱۳٤/٦، ۱٤۲/۰ و ۱٤۹/۲ کیلوگرم در هکتار، ارتفاع بوته به ازای هر کیلوگرم افزایش مصرف کود با سرعتی معادل ۰/۰۲٥۰، ۰/۰۸۰٦، ۰/۰۷۷۸ و ۰/۰۷۹۷ سانتی‌متر به‌ترتیب در تیمارهای شاهد، تلقیح ترکیبی باکتری و قارچ، تلقیح تنها با باکتری و تلقیح تنها با قارچ افزایش یافت، سپس مقدار آن تا ۱۸۰ کیلوگرم کود در هکتار ثابت باقی ماند (شکل ۱- الف).

براساس نتیجه تجزیه رگرسیون حضور تنها قارچ (۱٥٤/۳ سانتی‌متر) باعث افزایش ۷/٤ درصدی ارتفاع بوته نسبت به شاهد (بدون تلقیح، ۱٤۳/٦ سانتی‌متر) گردید، البته اختلافات بین تیمارهای مختلف تلقیح از لحاظ آماری معنی‌دار نبود (جدول ۳). طبق نتایج اگرچه سرعت افزایش ارتفاع بوته در تلقیح ترکیبی باکتری و قارچ بیشتر از تیمارهای دیگر بود؛ اما دوره افزایش ارتفاع بوته در تیمار تلقیح تنها با قارچ ۱٥ روز بیشتر از تلقیح ترکیبی می‌باشد که نتیجه آن وقوع حداکثر ارتفاع بوته در زمان حضور تنها قارچ بود (جدول ۳). اصغری و همکاران (۲۰۱۳) و امین‌دلدار و همکاران (۲۰۱۲) نیز افزایش ۲٥/۱ و۷/٤ درصدی ارتفاع بوته برنج را در زمان کاربرد باکتری *P. fluorescens* نسبت به شاهد گزارش کردند (۳ و ٥). در آزمایشی دیگر، بورد و همکاران (۲۰۰۰) اظهار داشتند که باکتری‌های افزاینده رشد می‌توانند ارتفاع گیاه را از طریق تولید فیتوهورمون، افزایش فراهمی و جذب مواد غذایی، کاهش سمیت فلزات سنگین در گیاهان، جلوگیری از عوامل بیماری‌زا و القا مقاومت سیستماتیک با عوامل بیماری‌زا افزایش دهند (۱٦). بخشنده و همکاران (۲۰۱۷) گزارش نمودند که ارتفاع گیاه برنج با تلقیح جداگانه باکتری‌های *P. ananatis*، *Enterobacter* sp. و *Rahnella aquatilis* به‌ترتیب ۱۰/۷۱، ۷/۸ و ٤/۱ درصد بیشتر نسبت به شاهد افزایش یافت (۱۰). همچنین این محققین افزایش رشد گیاهچه برنج در زمان حضور این باکتری را به توانایی آن در آزادسازی پتاسیم و فسفر نامحلول و تولید هورمون ایندول استیک و جذب بهتر عناصر غذایی توسط این ریزجانداران نسبت دادند.



www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه در برنج (رقم 'طارم محلی') تحت تأثیر سطوح مختلف کود سولفات پتاسیم و تلقیح با ریزجانداران ***Pantoea ananatis*** و ***Piriformospora indica***.

Table 2. The results of analysis of variance and means comparsion on the studied traits in rice (cv. 'Tarom Mahalli') under different levels of potassium sulfate fertilizer (PSF, kg $ha^{-1}$) and inoculation with various plant growth promoting microorganisms (PGPM, *Pantoea ananatis* and *Piriformospora indica*).

| منابع تغییر S.O.V. | درجه آزادی df | ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm) | تعداد کل پنجه در کپه Total number of tillers $hill^{-1}$ | تعداد کل برگ در کپه Total leaves number $hill^{-1}$ | مرحله گرده‌افشانی Anthesis stage (DAP) | شاخص سطح برگ Leaf area index | عملکرد دانه (گرم در مترمربع) Grain yield ($gr\ m^{-2}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | آماره‌های توصیفی Descriptive statistical | | | | | |
| تعداد مشاهده Observation | | 48 | 48 | 48 | 48 | 48 | 48 |
| حداقل Minimum | | 140.4 | 8.00 | 61.7 | 55.0 | 3.68 | 427.5 |
| حداکثر Maximum | | 154.5 | 13.0 | 68.2 | 58.0 | 6.54 | 634.5 |
| میانگین Average | | 147.1 | 10.4 | 65.2 | 56.8 | 4.92 | 537.1 |
| انحراف‌معیار Standard deviation | | 0.68 | 0.18 | 0.20 | 0.14 | 0.13 | 9.92 |
| | | میانگین مربعات Means square | | | | | |
| بلوک Block | 2 | 0.25 | 0.89 | 0.62 | 0.14 | 0.014 | 324 |
| کود پتاسیم PSF | 3 | 205.72** | 9.47* | 8.09** | 3.74* | 8.550** | 52801.31** |
| خطای اصلی Main-plot error | 6 | 0.05 | 1.03 | 0.37 | 0.53 | 0.003 | 7.87 |
| ریزجانداران افزاینده رشد PGPM | 3 | 104.28** | 9.63** | 15.77** | 7.52** | 2.790** | 18063.56** |
| کود پتاسیم × ریزجانداران افزاینده رشد PSF×PGPM | 9 | 11.02** | 0.65** | 0.36* | 0.39* | 0.230** | 927.18** |
| خطای فرعی Sub-plot error | 24 | 0.05 | 0.19 | 0.32 | 0.13 | 0.001 | 4.50 |
| ضریب تغییرات (درصد) CV (%) | | 6.11 | 4.21 | 9.38 | 6.33 | 11.13 | 5.23 |



www.SID.ir

Archive of SID



**ادامه جدول ۲**

Continuing Table 2

| | | †مقایسه میانگین‌ها<br>Means comparison | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| کود پتاسیم<br>PSF (kg ha$^{-1}$) | 0 | 142.0 d | 9.16 b | 64.15 c | 57.58 b | 3.96 d | 359.1d |
| | 60 | 145.3 (+2.2)c | 10.6 (+15.5)a | 65.10 (+1.48)b | 56.91 (-1.16)ab | 4.46 (+12.6)c | 418.8 (+16.6)c |
| | 120 | 149.8 (+5.48)ab | 11.0 (+20.1)a | 65.40 (+1.94)ab | 56.25 (-2.30)a | 5.59 (+41.1)ab | 468.6 (+30.5)ab |
| | 180 | 151.0 (+6.28)a | 11.1 (+20.9)a | 66.13 (+3.08)a | 56.66 (-1.59)a | 5.66 (+42.9)a | 472.5 (+31.5)a |
| LSD | | 0.236 | 1.016 | 0.568 | 0.730 | 0.034 | 10.69 |
| ریزجانداران افزاینده رشد<br>PGPM | شاهد<br>Control | 142.6 d | 9.5 c | 63.77 c | 57.9 c | 4.3 d | 389.1 c |
| | باکتری<br>*P. ananatis* | 148.6 (+4.39)a | 10.3 (+8.73)b | 65.19 (+2.82)b | 56.75 (-2.00)b | 4.88 (+12.9)c | 432.6 (+11.2)b |
| | قارچ<br>*P. indica* | 148.9 (+4.14)b | 10.3 (+8.73)b | 65.47 (+2.38)b | 56.75 (-2.00)b | 4.97 (+15.0)b | 432.6 (+11.2)b |
| | باکتری+ قارچ<br>*P. ananatis* + *P. indica* | 148.0 (+3.37)c | 11.6 (+22.7)a | 66.44 (+4.35)a | 56.00 (-3.29)a | 5.57 (+27.3)a | 464.7 (+19.4)a |
| LSD | | 0.200 | 0.771 | 0.515 | 0.306 | 0.046 | 10.89 |

**، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک، پنج درصد و عدم معنی‌دار به روش آزمون LSD می‌باشد. CV و DAP به‌ترتیب ضریب تغییرات و روز پس از نشاءکاری می‌باشند.

† حروف مشترک در هر ستون نشان‌دهندهٔ عدم اختلاف معنی‌دار از لحاظ آماری در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد. اعداد داخل پرانتز بیانگر درصد افزایش (+) یا کاهش (-) هر یک از تیمارها نسبت به شرایط شاهد می‌باشد.

**, * and ns values significant at the levels of 0.01, 0.05 probability level and non-significant based on the least significant differences test (LSD), respectively. CV is the coefficient of variation and DAP is days after planting.

† Means with the same letter are not significantly different at the probability level of 0.05%. Values in parentheses indicate percent change (positive or negative) in the respective studied traits in comparison with the control condition.



www.SID.ir

Archive of SID



**تعداد پنجه کل در کپه:** اثر ساده کود پتاسیم در سطح احتمال پنج درصد و اثر ساده تیمارهای تلقیح و برهم‌کنش بین تیمارها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین تعداد کل پنجه در تیمار تلقیح ترکیبی قارچ و باکتری (۱۱/٦ عدد در کپه) و کمترین آن نیز در تیمار شاهد (عدم تلقیح، ۹/۵ عدد در کپه) مشاهده شد (جدول ۲). به‌طور مشابه از معادله دوتکه‌ای برای توصیف روند تغییرات تعداد کل پنجه در کپه در سطوح مختلف کود پتاسیم استفاده گردید. ضریب تبیین بالاتر از ۰/۹۸ نشان‌دهندهٔ توصیف خوب این روابط توسط معادله بود (جدول ۳). با افزایش مصرف کود پتاسیم از صفر تا ٦۰ کیلوگرم در هکتار تعداد کل پنجه در کپه به طور خطی و با سرعتی معادل ۰/۰۳۷۰، ۰/۰۲۹۵، ۰/۰۲۹٦ و ۰/۰۱۸۵ عدد به ازای هر کیلوگرم افزایش مصرف کود به‌ترتیب در تیمارهای تلقیح ترکیبی قارچ و باکتری، تلقیح تنها با باکتری، تلقیح تنها با قارچ و شاهد افزایش یافت و سپس به بالاترین میزان (به‌ترتیب ۱۲/۲، ۱۰/۵، ۱۰/۸ و ۹/۸ عدد در کپه) رسید که نشان‌دهنده عدم تأثیر افزایش مقدار کود (بیش از ٦۰ کیلوگرم در هکتار) بر این صفت می‌باشد. به عبارت دیگر، تعداد کل پنجه در تلقیح تنها با باکتری (۸ درصد)، تلقیح تنها با قارچ (۱۰/۲ درصد) و تلقیح ترکیبی قارچ و باکتری (۲۵/۱ درصد) نسبت به شاهد افزایش یافت (جدول ۲ و شکل ۱-ب).

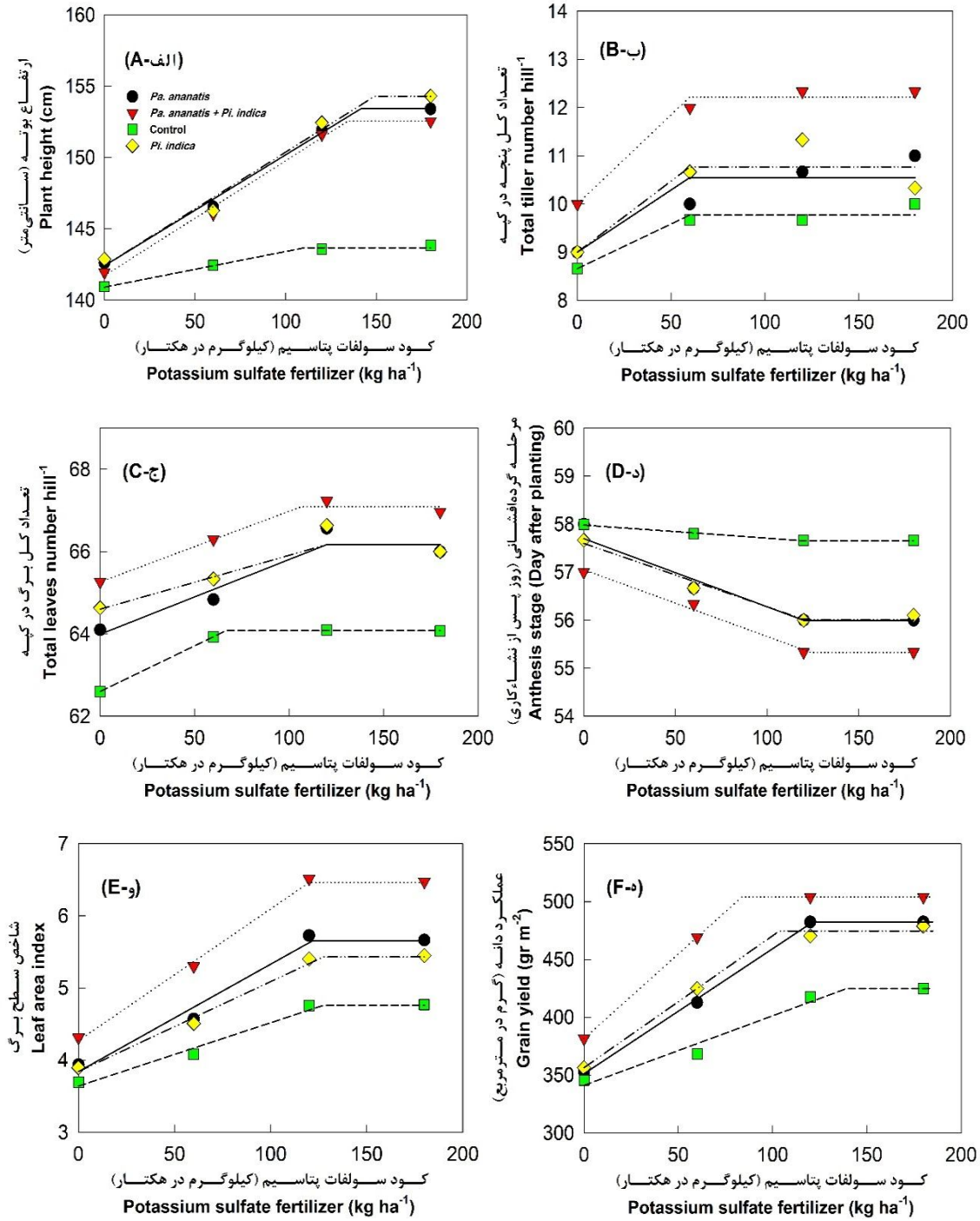
قاسمی‌میانایی و همکاران (۲۰۱۱) در برنج اظهار داشتند که کمترین تعداد پنجه بارور در کپه متعلق به تیمار شاهد (بدون مصرف کود، ۹/۷ عدد در کپه) بود و با افزایش مصرف کود پتاسیم تا ۹۰ کیلوگرم در هکتار تعداد پنجه بارور ۱٦/۳ درصد نسبت به شاهد افزایش نشان داد (۲۱). در آزمایشی دیگر، مصرف کود سولفات پتاسیم تا ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار باعث افزایش ۸/۲۲ درصدی تعداد کل پنجه برنج شد (۲). ابراهیمی‌چمانی و همکاران (۲۰۱۵) بیشترین تعداد کل پنجه (۲٦/۳ عدد در کپه) را در زمان کاربرد تلفیقی *P. fluorescens* و *P. Putida* به‌همراه مصرف ۱٦۵ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات‌تریپل گزارش نمودند (۱۷). حسین و همکاران (۲۰۱٦) افزایش ٦٤ و ۱٤ درصدی تعداد پنجه در زمان تلقیح بذر گندم به‌ترتیب با باکتری *P. aurentiaca* و *Bacillus subtilis* به‌همراه مصرف ۱۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن و سوپرفسفات‌تریپل را نسبت به شاهد گزارش نمودند (۲۳). کاربرد *P. indica* در برنج همچنین موجب افزایش ۱۹/۱ درصدی تعداد پنجه برنج نسبت به شاهد شد (٦). موسوی و همکاران (۲۰۱٤) بیان کردند که تلقیح ریشه گیاهچه برنج با *P. indica* موجب افزایش ۵۰ درصدی تعداد کل پنجه نسبت به شاهد گردید (۲۸). در مجموع، علت افزایش تعداد کل پنجه در زمان کاربرد ریزجانداران افزاینده رشد را می‌توان به افزایش حجم ریشه (۱٤) و بهبود جذب عناصر غذایی از قبیل نیتروژن، فسفر و پتاسیم توسط گیاه (۱) نسبت داد.



www.SID.ir

Archive of SID






شکل ۱- کمی‌سازی اثر سطوح مختلف کود سولفات پتاسیم بر صفات مورد مطالعه شامل ارتفاع بوته (الف)، تعداد پنجه کل در کپه (ب)، تعداد کل برگ در کپه (ج)، وقوع مرحله گرده‌افشانی (د)، شاخص سطح برگ (و) و عملکرد دانه (ه) در زمان کاربرد ریزجانداران افزاینده رشد در برنج (رقم 'طارم محلی').

Figure 1. Modelling of the effect of potassium sulfate fertilizer (PSF) on the studied traits including plant height (A), total number of tillers hill$^{-1}$ (B), total leaves number hill$^{-1}$ (C), anthesis stage time (D), leaf area index (E) and grain yield (F) in the presence of plant growth promoting micro-organisms in rice (cv. 'Tarom Mahali').



www.SID.ir

Archive of SID



جدول ۳- پارامترهای تخمین‌زده شده توسط مدل دوتکه‌ای (معادله ۲) برازش داده شده به صفات مورد مطالعه تحت تأثیر سطوح مختلف کود سولفات پتاسیم و تلقیح با باکتری ***Pantoea ananatis*** و قارچ ***Piriformospora indica***

Table 3. Estimated parameters values using the segmented model (Eq. 2) fitted to the data related to the studied traits under different levels of potassium sulfate fertilizer (PSF, kg ha$^{-1}$) and inoculation with *Pantoea ananatis* and *Piriformospora indica*.

| صفات Traits | روش تلقیح Inoculation methods | ضرایب مدل Model coefficients | | | حداکثر مقدار صفات Maximum values† | ضریب تبیین $R^2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $a \pm$ se | $b \pm se$ | $x_0 \pm$ se | | |
| ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm) | شاهد Control | 140.9 ± 0.188 | 0.0250 ± 0.0044 | 110.7 ± 16.20 | 143.66 | 0.99 |
| | باکتری *P. ananatis* | 142.4 ± 0.546 | 0.0778 ± 0.0071 | 142.0 ± 11.59 | 153.44 (+6.80) | 0.99 |
| | قارچ *P. indica* | 142.4 ± 1.031 | 0.0797 ± 0.0133 | 149.2 ± 22.12 | 154.29 (+7.39) | 0.98 |
| | باکتری + قارچ *P. ananatis* + *P. indica* | 141.7 ± 0.546 | 0.0806 ± 0.0070 | 134.6 ± 10.77 | 152.54 (+6.18) | 0.99 |
| تعداد پنجه در کپه Tillers number hill$^{-1}$ | شاهد Control | 8.66 ± 0.192 | 0.0185 ± 0.0037 | 60.00 ± 0.00 | 9.77 | 0.92 |
| | باکتری *P. ananatis* | 9.00 ± 0.509 | 0.0295 ± 0.0098 | 60.00 ± 0.00 | 10.55 (+7.980) | 0.80 |
| | قارچ *P. indica* | 9.00 ± 0.509 | 0.0296 ± 0.0098 | 60.00 ± 0.00 | 10.77 (+10.23) | 0.82 |
| | باکتری + قارچ *P. ananatis* + *P. indica* | 10.00 ± 0.192 | 0.0370 ± 0.0037 | 60.00 ± 0.00 | 12.22 (+25.07) | 0.98 |
| تعداد کل برگ در کپه Total leaves number hill$^{-1}$ | شاهد Control | 62.60 ± 0.023 | 0.0222 ± 0.0006 | 66.75 ± 15.40 | 64.08 | 0.99 |
| | باکتری *P. ananatis* | 63.99 ± 0.463 | 0.0059 ± 0.0182 | 120.0 ± 17.81 | 66.17 (+3.26) | 0.93 |
| | قارچ *P. indica* | 64.60 ± 0.494 | 0.0131 ± 0.0110 | 120.0 ± 18.57 | 66.17 (+3.26) | 0.90 |
| | باکتری + قارچ *P. ananatis* + *P. indica* | 65.26 ± 0.188 | 0.0172 ± 0.0044 | 106.5 ± 22.56 | 67.09 (+4.69) | 0.98 |



www.SID.ir

Archive of SID



**ادامه جدول ۳**

Continuing Table 3

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| مرحله گرده‌افشانی<br>Anthesis stage (Days after transplanting) | شاهد<br>Control | 57.98 ± 0.018 | -0.0027 ± 0.0002 | 120.0 ± 8.95 | 57.65 | 0.99 |
| | باکتری<br>*P. ananatis* | 57.87 ± 0.181 | -0.0162 ± 0.0020 | 120.0 ± 10.2 | 55.99 (-2.88) | 0.97 |
| | قارچ<br>*P. indica* | 57.59 ± 0.114 | -0.0132 ± 0.0013 | 120.0 ± 9.54 | 56.02 (-2.83) | 0.98 |
| | باکتری + قارچ<br>*P. ananatis* + *P. indica* | 57.05 ± 0.124 | -0.0139 ± 0.0016 | 124.0 ± 13.5 | 55.33 (-4.03) | 0.99 |
| شاخص سطح برگ<br>Leaf area index | شاهد<br>Control | 3.64 ± 0.107 | 0.0088 ± 0.0013 | 127.6 ± 18.72 | 4.76 | 0.98 |
| | باکتری<br>*P. ananatis* | 3.84 ± 0.195 | 0.0149 ± 0.0025 | 121.6 ± 19.53 | 5.65 (+18.69) | 0.98 |
| | قارچ<br>*P. indica* | 3.84 ± 0.105 | 0.0125 ± 0.0013 | 130.7 ± 12.90 | 5.47 (+14.91) | 0.99 |
| | باکتری + قارچ<br>*P. ananatis* + *P. indica* | 4.31 ± 0.084 | 0.0183 ± 0.0010 | 120.0 ± 6.814 | 6.50 (+36.55) | 0.99 |
| عملکرد دانه<br>Grain yield (g $m^{-2}$) | شاهد<br>Control | 341.2 ± 9.83 | 0.60 ± 0.1271 | 139.3 ± 26.7 | 424.7 | 0.97 |
| | باکتری<br>*P. ananatis* | 351.0 ± 3.57 | 1.08 ± 0.0462 | 121.5 ± 4.94 | 482.4 (+13.58) | 0.99 |
| | قارچ<br>*P. indica* | 356.4 ± 5.94 | 1.14 ± 0.1403 | 103.7 ± 10.5 | 474.6 (+11.75) | 0.99 |
| | باکتری + قارچ<br>*P. ananatis* + *P. indica* | 381.6 ± 5.21 | 1.46 ± 0.0125 | 83.83 ± 8.34 | 503.9 (+18.65) | 0.99 |

† اعداد داخل پرانتز بیانگر درصد افزایش (+) یا کاهش (-) هر یک از تیمارها نسبت به شرایط شاهد می‌باشد.

† Values in parentheses indicate percent change (positive or negative) in the respective studied traits in comparison with the control condition.



www.SID.ir

Archive of SID



**تعداد برگ کل در کپه:** حداکثر و حداقل تعداد کل برگ در کپه از ٦١/٧ تا ٦٨/٢ عدد متغیر بوده و بیشترین تعداد برگ در کپه نیز در تیمار تلقیح ترکیبی باکتری و قارچ (٦٦/٤ عدد در کپه) مشاهده شد، البته بین تیمارهای جداگانه قارچ و یا باکتری اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ٢). مشابه سایر صفات از یک معادله دو تکه‌ای جهت توصیف روند تغییرات تعداد کل برگ در کپه و کود پتاسیم استفاده شد (جدول ٣). افزایش مصرف کود پتاسیم از صفر تا ١٠٦/٥، ١٢٠، ١٢٠ و ٦٦/٧ کیلوگرم در هکتار موجب افزایش خطی تعداد برگ در کپه با سرعتی معادل ٠/٠١٧٢، ٠/٠٠٥٩، ٠/٠١٣١ و ٠/٠٢٢٢ عدد به ازای هر کیلوگرم افزایش مصرف کود به‌ترتیب در تیمارهای تلقیح ترکیبی قارچ و باکتری، تلقیح تنها با باکتری، تلقیح تنها با قارچ و شاهد شد و سپس مقدار این صفت به حداکثر (به‌ترتیب ٦٧/١، ٦٦/٢، ٦٦/٢ و ٦٤/١ عدد در کپه) رسید که نشان‌دهنده عدم تأثیر افزایش مقدار کود بر این صفت می‌باشد. به عبارت دیگر، تعداد کل برگ در کپه ٣/٢٦، ٣/٢٦ و ٤/٦٩ درصد نسبت به شاهد به‌ترتیب در تلقیح تنها با باکتری، تلقیح تنها با قارچ و تلقیح ترکیبی قارچ و باکتری افزایش یافت (جدول ٣ و شکل ١-ج). تلقیح گیاه برنج (رقم 'طارم محلی') با باکتری *Enterobacter* sp. در شرایط گلدانی باعث افزایش ١٠ درصدی تعداد برگ در بوته نسبت به شاهد شد (١٣). همچنین، حضور باکتری‌های حل‌کننده فسفات در شرایط مزرعه باعث افزایش ٥/٦ تا ١٦/٤ درصدی تعداد کل برگ در کپه برنج (وابسته به نوع باکتری) نسبت به شاهد گردید (١٠). شارما و همکاران (٢٠١٣) نیز افزایش تعداد کل برگ در کپه برنج را در زمان تلقیح ریشه برنج با باکتری *P. fluorescens* نسبت به شاهد گزارش کردند (٣٤). قارچ *P. indica* از طریق تأثیرگذاری بر مسیرهای بیوشیمیایی درگیر در تولید هورمون‌های رشد و یا تشدید جذب عناصر غذایی می‌تواند سبب بهبود رشد و تولید برگ در گیاه میزبان گردد (٣٨). در مجموع، علت افزایش تعداد برگ در کپه را می‌توان به افزایش قابلیت دسترسی و جذب بهتر عنصر پتاسیم و سایر عناصر و یا ترشح برخی ترکیبات افزاینده رشد، هورمون‌ها، گسترش بیشتر ریشه، تسهیل در جذب عناصرغذایی، بهبود رشد و نمو گیاه نسبت داد (١، ١٠ و ١٤).

**وقوع مرحله گرده‌افشانی:** وقوع مرحله گرده‌افشانی از ٥٥ تا ٥٨ روز پس از نشاکاری متغیر بود. حضور ریزجانداران افزاینده رشد و مصرف کود پتاسیم به طور معنی‌دار باعث تسریع وقوع مرحله گرده‌افشانی شدند (جدول ٢). با افزایش مصرف کود پتاسیم از صفر تا ١٨٠ کیلوگرم در هکتار، مرحله گرده‌افشانی حدود یک روز (١/٦ درصد) نسبت به شاهد (بدون مصرف کود) سریع‌تر اتفاق افتاد. تلقیح تنها با باکتری، تلقیح تنها با قارچ و تلقیح ترکیبی قارچ و باکتری به‌ترتیب ٢، ٢ و ٣/٣ درصد وقوع مرحله گرده‌افشانی را نسبت به شاهد (بدون تلقیح) سرعت بخشیدند. علاوه بر این، مصرف کود پتاسیم از صفر تا حدود ١٢٠ کیلوگرم در هکتار موجب افزایش خطی سرعت وقوع مرحله گرده‌افشانی معادل ٠/٠١٣٩، ٠/٠١٣٢، ٠/٠١٦٢ و ٠/٠٠٢٧ روز به ازای هر کیلوگرم افزایش مصرف کود به‌ترتیب در تیمارهای تلقیح ترکیبی قارچ و باکتری، تلقیح تنها با باکتری، تلقیح تنها با قارچ و شاهد شد و سپس مقدار این صفت به حداکثر (به‌ترتیب ٥٥/٣، ٥٦، ٥٦ و ٥٧/٦ روز پس از نشاکاری) رسید که نشان‌دهنده عدم تأثیر افزایش مقدار کود بر این صفت می‌باشد (جدول ٣ و شکل ١-د). به طور مشابه، شهسوارپور و همکاران (٢٠١٦) گزارش کردند که با مصرف کود سولفات پتاسیم از



www.SID.ir

Archive of SID



صفر تا ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار، زمان وقوع مرحله گرده‌افشانی حدود ۳/۰۲ درصد نسبت به شاهد زودتر اتفاق افتاد. همچنین، تلقیح ریشه گیاهچه برنج در زمان نشاکاری با باکتری *Enterobacter* sp. موجب کاهش ۰/۷۸ درصدی زمان تا وقوع مرحله گرده‌افشانی نسبت به شاهد (بدون تلقیح) شد (۳۲).

**شاخص سطح برگ:** حداکثر و حداقل شاخص سطح برگ در تیمار تلقیح ترکیبی قارچ و باکتری و شاهد به‌ترتیب ٦/٥٠ و ٤/٧٦ مشاهده گردید (جدول ۲). معادله دو تکه‌ای با ضریب تبیین بالاتر از ۰/۹۸ به خوبی توانست تا رابطه بین شاخص سطح برگ و کود پتاسیم را توصیف نماید (جدول ۳). به‌طورکلی، به ازای هر کیلوگرم افزایش مصرف کود در تیمارهای تلقیح ترکیبی قارچ و باکتری، تلقیح تنها با باکتری، تلقیح تنها با قارچ و شاهد به‌ترتیب شاخص سطح برگ به صورت خطی و با سرعت معادل ۰/۰۱۸۳، ۰/۰۱٤۹، ۰/۰۱۲۵ و ۰/۰۰۸۸۱ تا زمان مصرف کود ۱۲۰، ۱۲۱/٦، ۱۳۰/۷ و ۱۲۷/٦ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت و سپس مقدارش ثابت و به حداکثر خود یعنی به‌ترتیب ٦/٥٠، ٥/٦٥، ٥/٤٧ و ٤/٧٦ رسید (شکل ۱–و). به عبارت دیگر، تلقیح تنها با باکتری، تلقیح تنها با قارچ و تلقیح ترکیبی قارچ و باکتری به‌ترتیب باعث افزایش ۱۸/۷، ۱٤/۹ و ۳٦/٦ درصدی شاخص سطح برگ شد (جدول ۳). به طور مشابه، حضور باکتری‌های *P. fluorescens* ، *P. putida* و *R. aquatilis* باعث افزایش به‌ترتیب ۱۳/۲، ۱۷/۵ و ۱۸/۹ درصدی شاخص سطح برگ برنج در زمان مصرف ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات‌تریپل نسبت به شاهد شدند (۹). این محققین علت افزایش این صفت را بهبود رشد ریشه و جذب بیشتر عناصر غذایی توسط گیاه ناشی از تولید هورمون ایندول استیک اسید توسط این ریزجانداران نسبت دادند. همچنین، تلقیح بذر گندم با باکتری *P. aurentiaca* و *B. subtilis* به‌همراه مصرف ۱۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن و سوپرفسفات‌تریپل باعث افزایش به‌ترتیب ۳۵ و ۵۱ درصدی شاخص سطح برگ گردید (۲۲). در نخود محمدی و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که شاخص سطح برگ این گیاه در زمان مصرف ۲۵ کیلوگرم کود فسفر به همراه قارچ میکوریزا به‌میزان ٤۹/۲ درصد بیشتر از شاهد بود (۲۷).

**عملکرد دانه:** دامنه تغییرات عملکرد دانه از ٤۲۷ تا ٦۳٤ گرم در مترمربع متغیر بود. تلقیح تنها با باکتری، تلقیح تنها با قارچ و تلقیح ترکیبی باکتری و قارچ به‌ترتیب باعث افزایش معنی‌دار ۱۱/۲، ۱۱/۲ و ۱۹/٤ درصدی عملکرد دانه نسبت به شاهد شد (جدول ۲). طبق نتایج، با افزایش مقدار کود پتاسیم از شاهد (عدم مصرف کود) تا زمان مصرف ۸۳/۸، ۱۰۳/۷، ۱۲۱/۵ و ۱۳۹/۳ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب در تیمارهای تلقیح ترکیبی باکتری و قارچ، تلقیح تنها با قارچ، تلقیح تنها با باکتری و شاهد به ازای هر کیلوگرم افزایش مصرف کود، عملکرد دانه به‌ترتیب با سرعت ۱/٤٦، ۱/۱٤، ۱/۰۸ و ۰/٦۰ گرم در مترمربع افزایش یافت و سپس مقدار عملکرد ثابت و حداکثر مقدار باقی ماند (جدول ۳ و شکل ۱–ه). در تمامی سطوح کود پتاسیم، حداکثر و حداقل عملکرد دانه به‌ترتیب متعلق به تیمار تلقیح ترکیبی قارچ و باکتری و شاهد بود (شکل ۱–ه). کاربرد تلقیح ترکیبی قارچ و باکتری علاوه بر کاهش مصرف کود پتاسیم به مقدار ۵۵/۵ کیلوگرم در هکتار (٤۰ درصد)، عملکرد دانه را به میزان ۱/۵۲±۷۹ گرم در مترمربع (۱۸/٦ درصد) نسبت به شاهد افزایش داد (جدول ۳ و شکل ۱–ه).

مطابق با نتایج این مطالعه، رضایی (۲۰۱۰) کمترین عملکرد دانه برنج را در شرایط بدون مصرف کود پتاسیم (۳۱٤/۳ گرم در مترمربع) و بیشترین مقدار آن را در زمان مصرف ۹۰ کیلوگرم در هکتار کود



www.SID.ir

Archive of SID



پتاسیم (۱۲/۵ درصد بیشتر از شاهد) گزارش نمود (۳۱). ایشان علت افزایش عملکرد دانه با مصرف ۹۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار را به خاطر افزایش تعداد کل پنجه و پنجه مؤثر در کپه، تعداد کل خوشه‌چه در خوشه و وزن هزار دانه گزارش کرد. تلقیح ریشه ارقام مختلف برنج (طارم محلی، طارم هاشمی و شیرودی) با باکتری‌های حل‌کننده فسفات باعث افزایش عملکرد شلتوک به میزان ۷/۷٤ تا ۳۷/۰ درصد نسبت به شاهد شد (١٤). در مطالعه‌ای دیگر، عملکرد برنج، تعداد پنجه در کپه و وزن هزار دانه تحت تأثیر باکتری‌های افزاینده رشد *P. fluorescens* و *P. putida* به همراه مصرف فسفر معدنی قرار گرفتند، به طوری که عملکرد دانه از ٤٩٩ گرم در مترمربع در تیمار شاهد به ٥٦٢ گرم در مترمربع در تیمار تلقیح ترکیبی افزایش یافت (۱۷). اشرف‌عبدالهی و زارع (۲۰۱۵) بهبود رشد و عملکرد برنج در زمان کاربرد قارچ *P. indica* را گزارش نمودند (٦). والر و همکاران (۲۰۰۵) نیز نشان دادند که تلقیح گیاه جو با قارچ *P. indica* موجب افزایش ۱۱ درصدی عملکرد دانه نسبت به شاهد شد (۳۷). علت وقوع عملکردهای بالاتر در زمان حضور ریزجانداران افزاینده رشد را می‌توان به خاطر بهبود جذب آب و عناصرغذایی (از طریق افزایش سطح جذب ریشه و یا قابل استفاده کردن برخی از ترکیبات نامحلول)، القای مقاومت گیاه به پاتوژن‌های گیاهی و یا تولید برخی هورمون‌های رشد گیاهی مانند ایندول استیک اسید، جیبرلین و سیتوکینین نسبت داد (۱). همچنین، کاربرد این ریزجانداران علاوه بر پایداری تولید، باعث کاهش مصرف کودهای شیمیایی و کاهش آلودگی‌های زیست محیطی خواهد شد (۳۳).

بررسی ضرایب همبستگی نشان داد که بین صفات مورد مطالعه همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت (جدول ٤). همبستگی بین عملکرد دانه و تعداد کل پنجه در کپه، تعداد کل برگ در کپه، شاخص سطح برگ و ارتفاع بوته (به‌ترتیب ۰/۸٤، ۰/۷۸، ۰/۹٤ و ۰/۹۰) مثبت و از لحاظ آماری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ٤). چنین رابطه‌ای منطقی به نظر می‌رسد زیرا تولید پنجه بیشتر برابر تعداد برگ بیشتر، شاخص سطح بالاتر و جذب نور بیشتر می‌باشد که در نهایت منجر به تجمع ماده خشک بیشتر و عملکرد دانه بیشتر خواهد شد. بخشنده و همکاران (۲۰۱۳) نیز نتایج مشابهی را در گندم گزارش کردند (۱۱).

**جدول ٤- نتایج آنالیز همبستگی بین صفات مورد مطالعه (n = ٤٨).**

Table 4. Correlation analysis results between the studied traits (n = 48).

| نام صفت Trait name | (1) ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm) | (2) تعداد کل پنجه در کپه Total number of tillers hill$^{-1}$ | (3) تعداد کل برگ در کپه Total leaves number hill$^{-1}$ | (4) شاخص سطح برگ Leaf area index | (5) عملکرد دانه Grain yield (gr m$^{-2}$) |
|---|---|---|---|---|---|
| (1) | 1 | | | | |
| (2) | 0.68 ** | 1 | | | |
| (3) | 0.69 ** | 0.75 ** | 1 | | |
| (4) | 0.90 ** | 0.76 ** | 0.75 ** | 1 | |
| (5) | 0.90 ** | 0.84 ** | 0.78 ** | 0.94 ** | 1 |

** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

** Sidnificant at 0.01 probability level



www.SID.ir

Archive of SID



## نتیجه‌گیری کلی

در مجموع، کاربرد باکتری *P. ananatis* و قارچ *P. indica* به صورت ترکیبی از طریق بهبود صفات رویشی باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه برنج (رقم 'طارم محلی') نسبت به تیمار شاهد شد. به‌طوری‌که کاربرد این تیمار علاوه بر کاهش مصرف کود سولفات پتاسیم به مقدار ۵۵/۵ کیلوگرم در هکتار (۴۰ درصد)، باعث افزایش عملکرد دانه به مقدار ۱/۵۲±۷۹ گرم در مترمربع (۱۸/۶ درصد) در زمان مصرف بهینه کود فسفر و اوره نسبت به شاهد شد. در نتیجه، برای دستیابی به کشاورزی پایدار به خوبی می‌توان از این ریزجانداران به صورت ترکیبی به همراه مقادیر کمتر کود سولفات پتاسیم استفاده نمود.

## سپاسگزاری

بدینوسیله از پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان و دانشگاه علوم کشاورزی منابع طبیعی ساری به‌خاطر حمایت‌های مالی این مطالعه تشکر و قدردانی می‌گردد.

## منابع

1. Ahemad, M., and Kibret, M. 2014. Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: current perspective. J. King Saud Univ., Sci., 26: 1-20.
2. Akbarlou, R. 2013. Effect of potassium and planting method on yield and some agronomical traits of local variety of round-grain rice in Khoy. J. Res. Crop Sci., 5: 1-14. (In Persian)
3. Amin-Deladr, Z., Ehteshami, S., Shahabi Komoleh, A., and Khavazi, K. 2012. Effect of *Pseudomonas fluorescens* strains on morphophysiologic traits and nutrients uptake in some of rice cultivars. J. Crop Prod., 5: 141-149. (In Persian)
4. Anith, K., Faseela, K., Archana, P., and Prathapan, K. 2011. Compatibility of *Piriformospora indica* and *Trichoderma harzianum* as dual inoculants in black pepper (*Piper nigrum* L.). Symbiosis., 55: 11-17.
5. Asghari, J., Ehteshami, S., Rajabi Darvishan, Z., and Khavazi, K. 2013. Investigation of spraying or root inoculation by plant growth promoting bacteria (PGPB) and their metabolites on morphophysiological indices, qualitative indices and yield in Hashemi cultivar of rice. J. Plant Proce. Function., 2: 25-39. (In Persian)
6. Ashraf-Abdolahi, A., and Zarea, M. 2015. Effect of mycorrhiza and root endophytic fungi under flooded and semi-flooded conditions on grain yield and yield components of rice. J. Crop Prod., 8: 223-230. (In Persian)
7. Bahmanyar, M., and Mashaee, S.S. 2010. Influences of nitrogen and potassium top dressing on yield and yield components as well as their accumulation in rice (*Oryza sativa* L.). African J. Biotechnol., 9: 2648-2653.
8. Bakhshandeh, E., Ghadiryan, R., and Ghaderi-Far, F. 2011. Changes in seed quality during seed development and maturation in four cultivars sesame (*Sesamum indicum* L.). J. Plant Prod., 18: 1-24. (In Persian)
9. Bakhshandeh, E., Pirdashti, H., and Gilani, Z. 2018. Application of mathematical models to describe rice growth and nutrients uptake in the presence of plant growth promoting microorganisms. Appl. Soil Ecol., 124: 171-184.
10. Bakhshandeh, E., Pirdashti, H., and Shahsavarpour Lendeh, K. 2017. Phosphate and potassium-solubilizing bacteria effect on the growth of rice. Ecol. Eng., 103: 164-169.
11. Bakhshandeh, E., Soltani, A., Zeinali, E., and Ghadiryan, R. 2013. Study of dry matter and nitrogen accumulation, remobilization and harvest index in



www.SID.ir

Archive of SID



Greenhouse Culture., 4: 99-107. (In Persian)

19. FAO 2014. FAOSTAT/ Productionstat/ Crops [Online]. Available at http://Faostat.Fao.Org/Site/567/Default.aspx. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
20. Ghabooli, M., Hosseini Salekdeh, G., and Sepehri, M. 2015. The Effect of mycorrhiza-like fungus *Piriformospora indica* on some morphophysiological traits of rice under normal and drought stress conditions. Plant Prod. Technol., 7: 59-69. (In Persian)
21. Ghasemi Mianaie, A., Mobaser, H., Madani, H., and Dastan, S. 2011. Silicon and potassium application facts on loding related characteristics and quantity yield in rice (*Oryza sative* L.) Tarom Hashemi variety. New Find. Agricul., 5: 423-435. (In Persian)
22. Hojattipor, S., Jafari Haghighi, B., and Drostkar, M. 2014. The effect of integration of biological and chemical fertilizers on yield, yield components and growth indexs of wheat. Plant Ecophysiol., 5: 36-48. (In Persian)
23. Hussain, M., Asgher, Z., Tahir, M., Ijaz, M., Shahid, M., Ali, H., and Sattar, A. 2016. Bacteria in combination with fertilizers improve growth, productivity and net returns of wheat (*Triticum aestivum* L.). Pak. J. Agricul. Sci., 53: 633-645.
24. Kızılkaya, R. 2008. Yield response and nitrogen concentrations of spring wheat (*Triticum aestivum*) inoculated with *Azotobacter chroococcum* strains. Ecol. Eng., 33: 150-156.
25. Malboobi, M.A., Owlia, P., Behbahani, M., Sarokhani, E., Moradi, S., Yakhchali, B., Deljou, A., and Heravi, K.M. 2009. Solubilization of organic and inorganic phosphates by three highly efficient soil bacterial isolates. World J. Microbiol. Biotechnol., 25: 1471-1477.
26. Meena, V.S., Maurya, B.R., Verma, J.P., and Meena, R.S. 2016. Potassium Solubilizing Microorgan. Springer. Pp: 1-20.

bread and durum wheat cultivars. J. Crop Prod., 6: 49-69. (In Persian)

12. Bakhshandeh, E., Rahimian, H., Pirdashti, H., and Nematzadeh, G.A. 2014a. Application of *Rahnella aquatilis* and *Enterobacter* sp. as phosphate solubilizing bacteria on some of vegetative traits and photosynthetic pigments in the early growing stage of rice plant, First Conference on New Finding in Environment and Agricultural Ecosystems, Tehran, Iran. (In Persian)
13. Bakhshandeh, E., Rahimian, H., Pirdashti, H., and Nematzadeh, G.A. 2014b. Phosphate solubilization potential and modeling of stress tolerance of rhizobacteria from rice paddy soil in northern Iran. World J. Microbiol. Biotechnol., 30: 2437-2447.
14. Bakhshandeh, E., Rahimian, H., Pirdashti, H., and Nematzadeh, G. 2015. Evaluation of phosphate-solubilizing bacteria on the growth and grain yield of rice (*Oryza sativa* L.) cropped in northern Iran. J. Appl. Microbiol., 119: 1371-1382.
15. Bashan, Y., Holguin, G., and De-Bashan, L.E. 2004. *Azospirillum*-plant relationships: physiological, molecular, agricultural, and environmental advances (1997-2003). Can. J. Microbiol., 50: 521-577.
16. Burd, G.I., Dixon, D.G., and Glick, B.R. 2000. Plant growth promoting rhizobacteria that decreaseheavy metal toxicity in plants. Can. J. Microbiol., 33: 237-245.
17. Ebrahimi-Chamani, H., Yasari, E., and Pirdashti, H. 2015. Response of yield and yield components of rice (*Oryza sativa* L. cv. Shiroodi) to different phosphate solubilizing microorganisms and mineral phosphorous. Int. J. Biosci., 6: 70-75.
18. Ehteshami, S., Amin-Deldar, Z., and Khavazi, K. 2013. Foliar spraying of different strains of *Pseudomonas fluorescens* on quantitative characteristics, yield and yield components of two rice cultivars under greenhouse conditions. J. Sci. Technol.



www.SID.ir

Archive of SID



27. Mohammadi, E., Asghari, H., and Gholami, A. 2013. Effect of mycorrhiza inoculation and phosphorus fertilizer on some growth indices of chickpea (*Cicer arietinum* L.) Hashem cultivar. Agroecology. 5: 263-271. (In Persian)
28. Mousavi, S., Babaeezad, V., Sharifnabi, B., Tajic Ghanbari, M., Massah, A., and Alavi, S. 2014. Induction of blast disease resistance in rice plants by endophyte funus *Piriformospora indica*. Iran. J. Plant Pathol. 50: 255-267. (In Persian)
29. Park, J., Bolan, N., Megharaj, M., and Naidu, R. 2010. Isolation of phosphate-solubilizing bacteria and characterization of their effects on lead immobilization. Pedology. 53: 67-75.
30. Parmar, P., and Sindhu, S. 2013. Potassium solubilization by rhizosphere bacteria: influence of nutritional and environmental conditions. J. Microbiol. Res., 3: 25-31.
31. Rezaee, A. 2010. Investigation of the effects of different levels of silica and potassium in two planting arrangements on some agronomic and morphologic characteristics related to the lodging of rice (cv. 'Tarom Mahali'), M.Sc. Thesis in Agronomy, Islamic Azad University Ghaemshahr Branch. 102p. (In Persian)
32. Shahsaverpour Lendeh, K., Pirdashti, H., and Bakhshandeh, E. 2016. Effect of *Enterobacter* sp. on some vegetative properties of rice under different levels of potassium fertilizer, 17th Rice Conference, Sari, Iran. (In Persian)
33. Shariati, N., Alikhani, H., Babai, A., and Shariati, P. 2014. Effect of soil and seed inoculation with plant growth promoting bacteria *Pseudomonas fluorescens* on yield and uptake of some nutrients in corn. The Scient. J. Agricul., 37: 93-106.
34. Sharma, S.B., Sayyed, R.Z., Trivedi, M.H., and Gobi, T.A. 2013. Phosphate solubilizing microbes: sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. Springer Plus., 2: 1-14.
35. Sherameti, I., Shahollari, B., Venus, Y., Altschmied, L., Varma, A., and Oelmüller, R. 2005. The endophytic fungus *Piriformospora indica* stimulates the expression of nitrate reductase and the starch-degrading enzyme glucan-water dikinase in tobacco and Arabidopsis roots through a homeodomain transcription factor that binds to a conserved motif in their promoters. J. Biol. Chem., 280: 26241-26247.
36. Varma, A., Bakshi, M., Lou, B., Hartmann, A., and Oelmueller, R. 2012. *Piriformospora indica*: a novel plant growth-promoting mycorrhizal fungus. Agricul. Res., 1: 117-131.
37. Waller, F., Achatz, B., Baltruschat, H., Fodor, J., Becker, K., Fischer, M., Heier, T., Hückelhoven, R., Neumann, C., and von Wettstein, D. 2005. The endophytic fungus *Piriformospora indica* reprograms barley to salt-stress tolerance, disease resistance, and higher yield. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 102: 13386-13391.
38. Zhang, H.W., Song, Y.C., and Tan, R.X. 2006. Biology and chemistry of endophytes. Nat. Prod. Rep., 23: 753-771.



www.SID.ir