

اثر کود پتاسیم به همراه قارچ *Piriformospora indica* و باکتری *Pantoea ananatis* بر عملکرد، اجزای عملکرد و جذب پتاسیم در برنج رقم طارم محلی

زهرا گیلانی^۱، همت اله پیردشتی^۲، اسماعیل بخشنده^{۳*}

تاریخ دریافت: ۹۶/۵/۱۳ تاریخ پذیرش: ۹۷/۴/۱۶

۱-دانشجوی کارشناس ارشد 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
*مسئول مکاتبه: Email: e.bakhshandeh@sanru.ac.ir , Bakhshandehesmail@gmail.com

چکیده

برنج به عنوان یک غله مهم در رژیم غذایی بسیاری از مردم جهان و ایران اهمیت دارد. همچنین، مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی در مزارع برنج نیز موجب بروز مشکلات زیست‌محیطی شده که استفاده از کودهای زیستی به‌عنوان جایگزینی مناسب برای تولید محصول سالم به‌همراه کاهش مخاطرات محیطی از اهمیت بسزایی برخوردار است. بنابراین، به منظور ارزیابی باکتری *Pantoea ananatis* و قارچ اندوفیت *Piriformospora indica* بر عملکرد، اجزای عملکرد و جذب پتاسیم برنج (رقم 'طارم محلی')، پژوهشی در مزرعه واقع در شهرستان جویبار در سال ۱۳۹۵ انجام شد. آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. تیمارها شامل چهار سطح کود سولفات پتاسیم (صفر، ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار) به‌عنوان کرت اصلی و تلقیح در چهار سطح عدم تلقیح ریشه برنج به‌عنوان تیمار شاهد، تلقیح با باکتری، تلقیح با قارچ و تلقیح توأم با باکتری و قارچ به‌عنوان کرت فرعی بودند. طبق نتایج، اثرات اصلی بر صفاتی از قبیل تعداد خوشه در کپه، طول خوشه، تعداد خوشه‌چه پر در خوشه، تعداد خوشه‌چه پوک در خوشه، عملکرد شلتوک، عملکرد زیستی، شاخص برداشت و جذب پتاسیم دانه معنی‌دار و اثر متقابل تیمارها نیز در برخی صفات مورد مطالعه معنی‌دار بود. تلقیح توأم با باکتری و قارچ به‌عنوان بهترین تیمار، موجب افزایش معنی‌دار تعداد خوشه در کپه، طول خوشه، تعداد خوشه‌چه پر در خوشه، عملکرد زیستی، شاخص برداشت و جذب پتاسیم دانه به‌ترتیب ۴/۵۲، ۴/۶۵، ۱۵/۷، ۱۹/۴، ۶/۸۵، ۱۱/۷ و ۲۲/۱ درصد و کاهش تعداد خوشه‌چه پوک در خوشه به مقدار ۴۱/۸ درصد نسبت به شاهد شد. همچنین، با مصرف کود پتاسیم از صفر تا ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار مقدار تمامی صفات فوق به‌جز تعداد خوشه‌چه پوک در خوشه افزایش یافت. در مجموع، طبق نتایج تجزیه رگرسیون تلقیح توأم باکتری و قارچ علاوه بر کاهش مصرف کود پتاسیم به مقدار ۵۵/۵ کیلوگرم در هکتار (۴۰ درصد)، عملکرد شلتوک را به میزان ۷۹۰ کیلوگرم در هکتار (۱۸/۶ درصد) نسبت به شاهد افزایش داد که از آن می‌توان به‌خوبی در زراعت پایدار برنج استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: برنج، تلقیح ریشه، ریزجانداران افزایش‌دهنده رشد، سولفات پتاسیم، کود زیستی

Effect of Potassium Fertilizer with *Piriformospora indica* and *Pantoea ananatis* on Yield, Yield Components and Potassium Uptake of Rice (cv. 'Tarom Mahalli')

Zahra Gilani¹, Hemmatollah Pirdashti², Esmail Bakhshandeh^{3*}

Received: August 4, 2017 Accepted: July 7, 2018

1-MSc Student in Agronomy, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

2-Assoc. Prof., Agronomy Dept., Genetics and Agricultural Biotechnology Institute of Tabarestan, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

3- Assist. Prof., Genetics and Agricultural Biotechnology Institute of Tabarestan, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

*Corresponding Author Email: Bakhshandehesmail@gmail.com , e.bakhshandeh@sanru.ac.ir

Abstract

Rice is an important cereal in the diet of many people in the world and Iran. An overuse of chemical fertilizers in rice fields also causes environmental problems so that the use of biofertilizers as an appropriate alternative is important for producing healthy crops and reducing environmental hazards. Therefore, in order to evaluation of the effect of *Pantoea ananatis* and *Piriformospora indica* on yield, yield components and potassium uptake of rice (cv. 'Tarom Mahalli'), a field experiment was carried out in Joybar city in 2016. The experiment was conducted in a split plot arrangement based on randomized complete block design with three replications. Four levels of potassium sulfate fertilizer (PSF: 0, 60, 120 and 180 kg.ha⁻¹) were used as the main plot and four levels of inoculation (non-inoculation as control, rice root seedling inoculation with *P. ananatis* and *P. indica*, separately, and co-inoculation treatment) served as the sub-plots. The results indicated that all studied traits such as panicle number per hill (PN), panicle length (PL), number of filled (NFG) and empty (NEG) grain per panicle, paddy yield (PY), biological yield (BY), harvest index (HI) and potassium uptake (PU) in the grain of rice were significantly affected by PSF and various inoculation treatments and also the interaction effect between them were statistically significant in more studied traits. Co-inoculation treatment significantly increased PN, PL, NFG, PY, BY, HI and PU by 4.52, 4.65, 15.7, 19.4, 6.85, 11.7 and 22.1 percentage, respectively, and the NEG was decreased by 41.8 percentage as compared to the control. Furthermore, values of all studied traits increased with the addition of PSF from zero to 180 kg.ha⁻¹, except for NEG. According to the results of regression analysis, consequently, the co-inoculation treatment as the best, reduced the application of PSF ~55.5 kg.ha⁻¹ (about 40%) and increased PY ~790 kg.ha⁻¹ (about 18.6%), compared to the control which can be used in the sustainable rice system production as well as.

Keywords: Biofertilizer, Plant Growth Promoting Microorganisms, Potassium Sulfate, Rice, Root Inoculation

مقدمه

برنج به عنوان یک غله مهم در رژیم غذایی بسیاری از مردم ایران اهمیت بسزایی دارد. این محصول در برخی از مناطق شمالی کشور مانند مازندران، گلستان و گیلان و برخی از مناطق جنوبی کشور از جمله خوزستان و فارس کشت می‌گردد (بخشنده و همکاران ۲۰۱۴). سطح زیر کشت این گیاه در ایران معادل ۵۳۰ هزار هکتار با تولید سالانه حدود دو میلیون و ۳۴۷ هزار تن (میانگین عملکرد شلتوک ۴/۴۳ تن در هکتار) است. استان مازندران نیز حدود ۳۸/۵ درصد از سطح زیر کشت برنج کشور را به خود اختصاص داده است (حدود ۲۰۵ هزار هکتار). تولید سالانه این محصول در این استان حدود یک میلیون تن با میانگین عملکرد شلتوک ۴/۸ کیلوگرم در هکتار می‌باشد (آمارنامه کشاورزی ۲۰۱۶). پتاسیم بعد از نیتروژن و فسفر، یکی از مهم‌ترین عناصر پرمصرف برای گیاهان محسوب شده که نقش مهمی در رشد و توسعه گیاهان ایفا می‌کند. از جمله اثرات مثبت پتاسیم در برنج می‌توان به افزایش تعداد پنجه، تعداد خوشه و مقاومت به بیماری‌ها اشاره نمود (بهمنیار و سودائی‌مشایی ۲۰۱۰، بخشنده و همکاران ۲۰۱۷). امروزه روش‌های متداول کشاورزی جهان با اتکای بیش از حد به کودهای شیمیایی به منظور افزایش تولید، موفقیت چندان در جهت مدیریت منابع نداشته و موجب مشکلات زیست‌محیطی زیادی از جمله کاهش باروری خاک، کیفیت محصولات کشاورزی، افزایش آلودگی منابع آب و ایجاد اکوسیستم‌های ناپایدار شده است. بنابراین، در سال‌های اخیر به دلیل کمبود مواد اولیه، افزایش هزینه‌های نهاده‌های مصرفی در بخش کشاورزی و افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی، استفاده از کودهای زیستی، جایگزین مناسبی برای تولید عملکردهای بالاتر به همراه کاهش مخاطرات بوم‌شناختی معرفی شده است (حجتی‌پور و همکاران ۲۰۱۳، بخشنده و همکاران ۲۰۱۴). کود زیستی به مجموعه از ریزجانداران (باکتریایی و یا قارچی) اطلاق می‌گردد که از طریق سازوکارهای مختلف از قبیل تثبیت نیتروژن اتمسفری، محلول کردن ترکیبات

نامحلول مانند فسفر و پتاسیم در خاک، تولید هورمون‌های افزایش‌دهنده رشد (مانند اکسین، جیبرلین و سیتوکینین)، ترشح برخی از آنزیم‌ها مانند آنزیم فسفاتاز و اسیدهای آلی بر رشد و نمو و عملکرد گیاهان زراعی و همچنین ویژگی‌های خاک تأثیر مثبت می‌گذارند (بخشنده و همکاران ۲۰۱۴ و شارما و همکاران ۲۰۱۳). بر اساس نتایج مطالعات متعدد، تلقیح گیاهان با *Piriformospora indica* موجب بهبود جذب آب و عناصر غذایی، افزایش فتوسنتز، زیست‌توده و مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی گردید (انصاری و همکاران ۲۰۱۴ و وارما و همکاران ۲۰۱۲). همچنین، حضور باکتری‌های *Pantoea ananatis* sp. *Enterobacter* و *Rahnella aquatilis* موجب افزایش وزن خشک ریشه، برگ و ساقه برنج نسبت به شرایط شاهد شد (بخشنده و همکاران ۲۰۱۷ و بخشنده و همکاران ۲۰۱۵). تسریع در ظهور سنبله، افزایش تعداد پنجه، سنبله و در نهایت افزایش عملکرد گیاه جو در زمان کاربرد قارچ *P. indica* نیز گزارش گردید (آکاتز و همکاران ۲۰۱۰). در آزمایشی دیگر مصرف کود زیستی به همراه کودهای شیمیایی به عنوان مکمل، موجب کاهش معنی‌دار مصرف کود شیمیایی شد به طوری که بیشترین عملکرد دانه، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه گندم در تیمار تلفیقی کود زیستی و کود شیمیایی مشاهده گردید (حجتی‌پور و همکاران ۲۰۱۳). دیگر محققان کاهش ۵۰ درصدی مصرف کود شیمیایی فسفره را در زمان کاربرد ریزجانداران حل‌کننده فسفات گزارش کردند (بخشنده و همکاران ۲۰۱۵). در آزمایشی دیگر، وزن خشک ساقه، تعداد پنجه و تعداد دانه در خوشه برنج با کاربرد *P. indica* به ترتیب به میزان ۱۰/۹، ۱۹/۱ و ۷/۲۱ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت (اشرف‌عبداللهی و زارع ۲۰۱۵). در مجموع، استفاده از ریزجانداران افزایش‌دهنده رشد را می‌توان به عنوان یک راهکار مناسب برای افزایش رشد و نمو گیاهان و در نهایت عملکرد دانه به‌ویژه در مقادیر کاهش یافته کودهای شیمیایی مصرفی محسوب کرد (لواکوش و همکاران ۲۰۱۴). بنابراین، مطالعه حاضر به

کشت) و برای کشت قارچ *P. indica* از محیط کشت کفر (حاوی بیست گرم گلوکز، دو گرم پپتون، یک گرم عصاره مخمر، یک گرم گلوکوزامین 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، ۱۰/۴ گرم کلرید پتاسیم، ۱۰/۴ گرم سولفات منیزیم، ۳۰/۴ 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، ۱/۶ گرم کلرید کبالت، ۱/۶ کلرید مس، ۵۰ گرم نمک دی‌سدیم اتیلن دی‌آمین تترا استات دی‌هیدرات به ازای هر لیتر محلول) برای یک لیتر محیط کشت استفاده گردید. گیاهچه‌های برنج در زمان تلقیح ۳۰ روز سن و به طور میانگین ۴-۵ برگ داشتند. جهت تلقیح از سوسپانسیون باکتری و قارچ به ترتیب با جمعیت 10^6 و 10^8 سلول زنده در هر میلی‌لیتر به مدت ۱۲ ساعت و به روش غوطه‌وری ریشه (ریشه گیاهچه‌های برنج به طور کامل در داخل سوسپانسیون‌ها مورد نظر 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. پس از اعمال تیمارها، در تاریخ ۱۷ اردیبهشت ماه نشاءها به صورت دستی کشت شدند به طوری که هر کپه شامل چهار گیاهچه برنج بود. هر کرت به طول شش متر و عرض دو و نیم متر شامل ۱۲ ردیف کشت با فاصله ردیف ۲۰ سانتی‌متر و روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر بود. بر اساس نتایج آزمون خاک (جدول ۱)، ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات‌تریپل و تیمارهای مختلف کود سولفات پتاسیم قبل از نشاءکاری و نیز ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در دو مرحله نشاءکاری (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) و آغازش خوشه (۵۰ کیلوگرم در هکتار) به زمین اضافه شد. تمام عملیات زراعی از قبیل آبیاری، مبارزه با علف‌های‌هرز، آفات و بیماری‌ها برای همه کرت به‌صورت یکنواخت و در زمان ضروری انجام شد.

منظور بررسی اثرات کود سولفات پتاسیم به همراه ریزجانداران افزایش‌دهنده رشد (باکتری *Pantoea ananatis* و قارچ اندوفیت *Piriformospora indica*) بر عملکرد، اجزای عملکرد و جذب پتاسیم در گیاه برنج (رقم 'طارم محلی') اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در سال ۱۳۹۵ در مزرعه‌ای واقع در شهرستان جویبار با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۳ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۳ درجه شرقی با ارتفاع ۱۴- متر از سطح آب‌های آزاد به صورت کرت‌های خردشده و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارها شامل چهار سطح کود سولفات پتاسیم ۴۴ درصد تهیه شده از شرکت خدمات حمایتی کشاورزی (صفر، ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار) به‌عنوان کرت اصلی و تلقیح با باکتری و قارچ در چهار سطح (تلقیح با باکتری، تلقیح با قارچ، تلقیح توأم با قارچ و باکتری و عدم تلقیح به عنوان شاهد) به‌عنوان کرت‌های فرعی بودند. باکتری افزایش‌دهنده رشد *Pantoea ananatis* (هوازی و بی‌هوازی اختیاری؛ جداسازی شده از مزارع برنج استان مازندران که توانایی حل‌کنندگی فسفات نامحلول به مقدار ۱۷۲ میکروگرم در میلی‌لیتر از منبع تری‌کلسیم‌فسفات بعد از پنج روز، پتاسیم نامحلول به مقدار ۲۸/۹ میکروگرم در میلی‌لیتر از منبع میکا بعد از بیست و پنج روز و تولید ایندول استیک اسید به مقدار ۸ میکروگرم در میلی‌لیتر بعد از سه روز را داشت (بخشنده و همکاران ۲۰۱۴ و ۲۰۱۷)) و قارچ اندوفیت *Piriformospora indica* (اثرات مثبت این قارچ بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی مختلف توسط محققان متعددی گزارش شد (وارما و همکاران، ۲۰۱۲)) از پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان تهیه شدند. برای کشت باکتری *P. ananatis* از محیط کشت نوترینت برات (حاوی یک گرم عصاره گوشت، دو گرم عصاره مخمر، پنج گرم پپتون به ازای هر لیتر محیط

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

هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	pH	پتاسیم فسفر		ماده آلی	رس شن	سیلت	بافت خاک
		(میلی‌گرم در کیلوگرم)					
۳/۱۵	۷/۷۵	۱۴/۲	۹۲	۱/۰۲	۷۳	۲۰	۷

میانگین‌ها نیز به‌روش حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که صفاتی از قبیل تعداد خوشه در کپه، طول خوشه، تعداد خوشه‌چه کل و پر در خوشه، تعداد خوشه‌چه پوک در خوشه، عملکرد شلتوک، عملکرد زیستی، شاخص برداشت و جذب پتاسیم دانه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثرات اصلی سطوح مختلف کود پتاسیم و تیمارهای تلقیح قرار گرفتند. علاوه بر این، اثرات متقابل در صفات تعداد خوشه‌چه کل و پر در خوشه، تعداد خوشه‌چه پوک در خوشه، عملکرد شلتوک، عملکرد زیستی، شاخص برداشت معنی‌دار شد (جدول ۲). دامنه تغییرات تعداد خوشه در کپه از ۱۱/۲ تا ۱۳/۶ عدد متغیر بود. تلقیح با باکتری، با قارچ و توأم با قارچ و باکتری به‌ترتیب باعث افزایش ۵/۳۴، ۳/۹۵ و ۴/۵۲ درصدی و مصرف ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم به‌ترتیب باعث افزایش ۴/۵۹، ۶/۰۱ و ۹/۰۹ درصدی تعداد خوشه در کپه نسبت به شرایط شاهد شد (جدول ۲). طبق نتایج تجزیه رگرسیون، سرعت افزایش تعداد خوشه در کپه به ازای هر کیلوگرم افزایش مصرف کود پتاسیم در تیمارهای شاهد، تلقیح با باکتری، قارچ و تلقیح توأم باکتری و قارچ به‌ترتیب ۰/۰۰۰۴۱، ۰/۰۰۶۰، ۰/۰۰۵۳ و ۰/۰۰۷۶ عدد برآورد گردید. علاوه بر این، مقادیر اولیه (ضریب a) این صفت نیز در زمان حضور ریزجانداران افزایش‌دهنده رشد بالاتر از تیمار شاهد بود (جدول ۳).

در مرحله رسیدگی (۸۵ روز پس از کاشت) پس از حذف اثر حاشیه‌ایی یک مترمربع از هر کرت به‌روش تخریبی برداشت و عملکرد شلتوک و عملکرد زیستی واقعی اندازه‌گیری گردید (بخش‌نده و همکاران ۲۰۱۵). همچنین، صفات اجزای عملکرد مانند تعداد خوشه در کپه، تعداد خوشه‌چه در خوشه (پر و پوک به تفکیک)، طول خوشه و وزن هزار دانه (محاسبه شده از سه تکرار ۱۰۰ عددی) روی ده بوته انتخاب شده به‌صورت تصادفی اندازه‌گیری و ثبت شدند. به‌منظور توصیف روند تغییرات عملکرد شلتوک و زیستی در مقابل سطوح مختلف کود سولفات پتاسیم و تعیین مقدار بهینه مصرف کود برای دستیابی به حداکثر عملکردها از یک معادله دوتکه‌ای به شکل زیر استفاده شد:

$$y = a + bx \quad \text{اگر} \quad x \leq x_0 \quad (\text{رابطه ۱})$$

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

که در آن a ، عرض از مبدأ؛ b ، شیب خط به ازای افزایش هر کیلوگرم مصرف کود پتاسیم و x_0 نقطه چرخش یا مقدار مصرف کود پتاسیم برای رسیدن به حداکثر مقدار هر یک از صفات هستند. علاوه بر این، از یک معادله ساده خطی ($y = a + bx$) نیز برای توصیف روند تغییرات در بقیه صفات مورد مطالعه استفاده گردید. غلظت پتاسیم در دانه برنج به‌روش پیشنهاد شده توسط استفان و همکاران (۲۰۱۳) و به کمک دستگاه فلیم‌فوتومتر اندازه‌گیری شد. در نهایت، برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۴ استفاده گردید. مقایسه

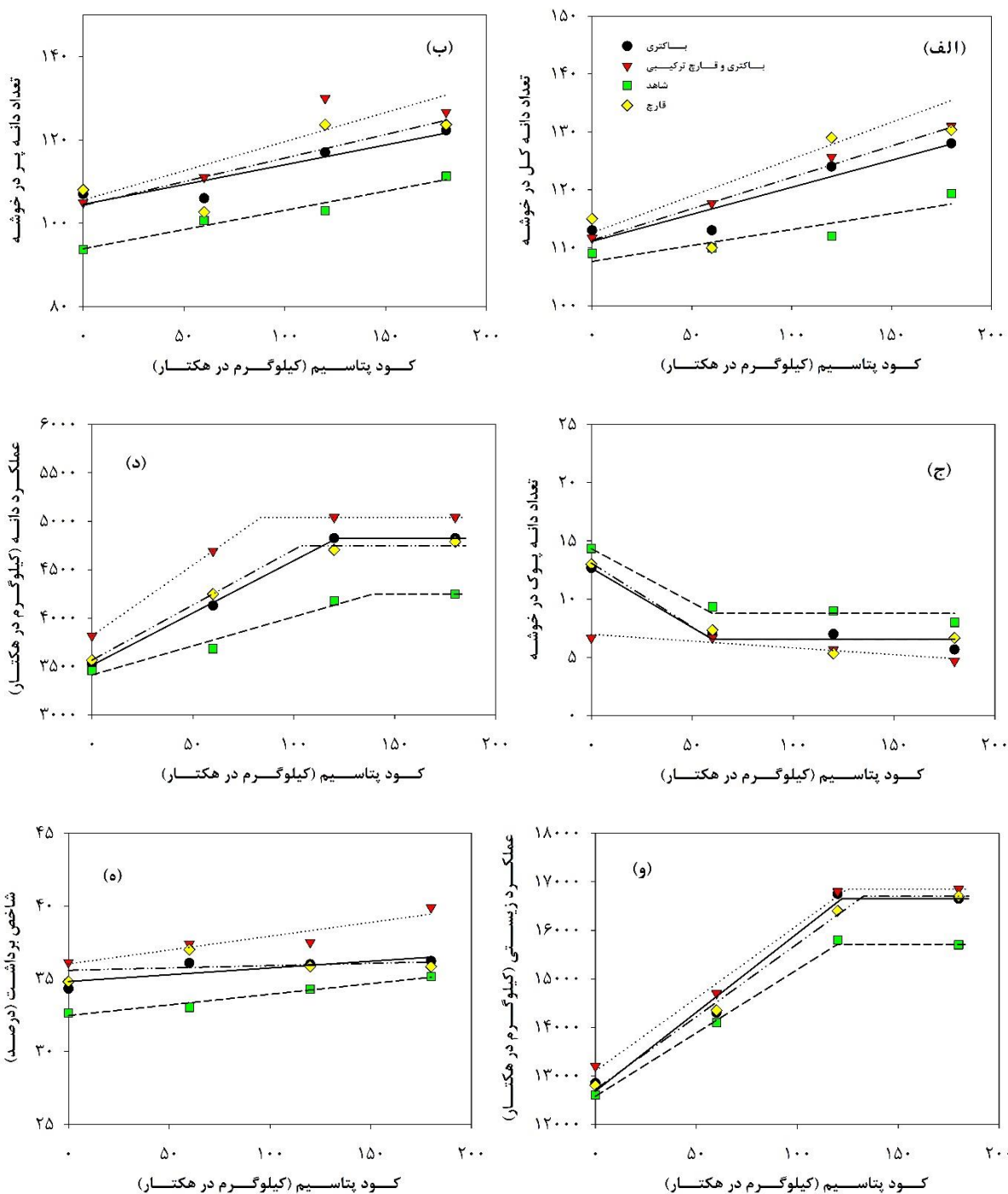
جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه در برنج (رقم 'طارم محلی') تحت تأثیر سطوح مختلف

کود سولفات پتاسیم و تلقیح با تلقیح با ریزجانداران *Pantoea ananatis* و *Piriformospora indica*

منابع تغییر	درجه آزادی	تعداد خوشه در کپه	طول خوشه	جذب پتاسیم در دانه	وزن هزار دانه	تعداد کل خوشه‌چه در خوشه	تعداد خوشه‌چه پر در خوشه	تعداد خوشه‌چه پوک در خوشه	عملکرد شلتوک	عملکرد زیستی	شاخص برداشت
بلوک	۲	۰/۷۳۸	۰/۰۲۱	۱۱/۶۱	۰/۴۵	۳۶/۳۳	۲۵/۷۷	۳/۸۱	۳۲۴/۰	۱۲۲۵/۰	۰/۱۴۲
کود پتاسیم (K)	۳	۲/۴۶*	۲/۷۱**	۴۰/۶۹**	۱/۱۰ ns	۷۶۴/۷۵**	۹۷۴/۷۴**	۷۲/۹۰**	۵۲۸۰/۱۳**	۳۵۱۸۹۲/۱**	۵/۴۶**
خطای اصلی	۶	۰/۴۳۵	۰/۰۲۴	۲۳/۸۱	۰/۷۹	۳/۳۳	۱۶/۸۲	۰/۴۵	۴/۵۰	۲۵/۰	۰/۰۴۴
ریزجانداران افزایش‌دهنده رشد (PGPM)	۳	۹۷/۰*	۳/۶۵**	۱۴۷/۶**	۰/۸۰ ns	۲۸۱/۶۹**	۵۶۸/۵۷**	۳۶/۱۳**	۱۸۰۶۳/۵**	۲۱۳۱۷/۱**	۳۱/۱**
PGPM × K	۹	۰/۱۰ ns	۰/۷۱ ns	۱۹/۶۱ ns	۰/۳۰ ns	۵۴/۳۶**	۵۳/۲۹**	۵/۸۱*	۹۲۷/۱۸**	۳۰۰۴/۶**	۳/۵۸**
خطای فرعی	۲۴	۰/۱۶۰	۰/۰۲۳	۱۰/۸۷	۰/۴۱	۰/۵۲	۴/۲۸	۱/۴۵	۷/۸۷	۲۵/۰	۰/۰۵۶
ضریب تغییرات (درصد)		۳/۱۸	۵/۴۲	۷/۷۹	۲/۵۹	۶/۰۰	۳/۸۴	۴/۹۰	۵/۲۳	۷/۳۰	۶/۶۱
کود پتاسیم (کیلوگرم در هکتار)	(عدد)	(سانتی‌متر)	(میلی‌گرم در مترمربع)	(گرم)							
.	d	۲۷/۶۲ c	۶۹۷/۰ c	۲۴/۲۹	-	-	-	-	-	-	-
۶۰	ab (+۴/۵۹)	(+۲/۹۶) b	(+۱۸/۷) b	(+۱/۹۷)	-	-	-	-	-	-	-
۱۲۰	a (+۶/۰۱)	(+۴/۵۰) a	(+۲۶/۸) ab	(+۲/۰۹)	-	-	-	-	-	-	-
۱۸۰	a (+۹/۰۹)	(+۳/۴۰) b	(+۳۹/۹) a	(+۲/۹۶)	-	-	-	-	-	-	-
LSD	۰/۶۶	۰/۱۸	۷۴	۰/۸۹	-	-	-	-	-	-	-
تیمارها											
شاهد	b ۱۲/۱۵	۲۷/۵۰ c	۷۵۶/۲ c	۲۴/۴۸	-	-	-	-	-	-	-
تلقیح با باکتری	a (+۵/۳۴)	(+۳/۳۴) b	(+۱۴/۴) b	(+۱/۹۱)	-	-	-	-	-	-	-
تلقیح با قارچ	a (+۳/۹۵)	(+۳/۴۹) b	b ۸۳۷/۴(+۱۰/۸)	(+۰/۰۸) ۲۴/۵۰	-	-	-	-	-	-	-
تلقیح توأم با باکتری و قارچ	a (+۴/۵۲)	(+۴/۶۵) a	a ۹۲۵/۰(+۲۲/۱)	(+۱/۸۳) ۲۴/۹۳	-	-	-	-	-	-	-
LSD	۰/۳۴	۰/۱۳	۵۹	۰/۵۴	-	-	-	-	-	-	-

***, ** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم وجود اختلاف معنی‌دار است.

حروف مشترک در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار از لحاظ آماری در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد. اعداد داخل پرانتز بیانگر درصد افزایش هر یک از تیمارها نسبت به تیمار شاهد است.



شکل ۱- تأثیر تلقیح با ریزجانداران *Piriformospora indica* و *Pantoea ananatis* در سطوح مختلف کود سولفات پتاسیم بر تعداد خوشه‌چه کل در خوشه (الف)، تعداد خوشه‌چه پر در خوشه (ب)، تعداد خوشه‌چه پوک در خوشه (ج)، عملکرد شلتوک (د)، عملکرد زیستی (و) و شاخص برداشت (ه).

حاصل شد که از تیمار محلول‌پاشی نیتروژن و پتاسیم در مرحله پنجه‌زنی استفاده گردید (اسدی‌صنم و همکاران ۲۰۱۴). در آزمایشی دیگر، تعداد پنجه برنج با کاربرد *P. indica* به میزان ۱۹/۱ درصد نسبت به شرایط

به طور مشابه، حضور باکتری‌های حل‌کننده فسفات باعث افزایش ۱۵ تا ۳۴ درصدی تعداد پنجه در کپه برنج نسبت به شاهد شد (بخشنده و همکاران ۲۰۱۵). همچنین، افزایش ۱۵ درصدی تعداد خوشه در کپه برنج زمانی

به شاهد شد (مواشاشا و همکاران ۲۰۱۶). همچنین، بیشترین طول خوشه برنج (۲۹/۲۲ سانتی‌متر) در زمان تلقیح بذر برنج با باکتری *P. fluorescens* سویه ۱۶۸ و کمترین مقدار آن در تیمار شاهد (۲۷/۱۸ سانتی‌متر) مشاهده شد (امین‌دلدار و همکاران ۲۰۱۲). به طور کلی، افزایش طول خوشه برنج را می‌توان به دلیل تسهیل در جذب مواد معدنی ضروری و تولید هورمون‌های گیاهی مانند ایندول استیک اسید توسط ریزجانداران افزایش‌دهنده رشد نسبت داد (بخشنده و همکاران ۲۰۱۵).

شاهد افزایش یافت (اشرف‌عبداللهی و زارع ۲۰۱۵). طول خوشه از ۲۶/۵ تا ۲۹/۶ سانتی‌متر متغیر بود. تلقیح با باکتری، با قارچ و توأم با قارچ و باکتری به ترتیب باعث افزایش ۳/۳۴، ۳/۴۹ و ۴/۶۵ درصدی و مصرف ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم به ترتیب باعث افزایش ۲/۹۶، ۴/۰۵ و ۳/۴۰ درصدی طول خوشه نسبت به شاهد شد (جدول ۲). سایر محققان، گزارش کردند که تلقیح برنج با باکتری‌های *Bacillus*، *Enterobacter* و *Aspergillus* باعث بهبود تعداد خوشه، طول خوشه، وزن صد دانه و نهایت عملکرد دانه نسبت

جدول ۳- پارامترهای تخمین‌زده شده توسط مدل‌های دو تکه‌ای و خطی برازش داده شده به صفات مورد مطالعه در سطوح مختلف کود سولفات پتاسیم برای هر یک از روش‌های تلقیح با باکتری *Pantoea ananatis* و قارچ *Piriformospora indica*

R ²	حداکثر مقدار*	$x_0 \pm se$	$b \pm se$	$a \pm se$	†	روش تلقیح	صفات
۰/۸۳	-	-	۰/۰۵۵ ± ۰/۰۱۷	۱۰۷/۶۳ ± ۱/۹۵		شاهد	تعداد خوشه‌چه کل در خوشه
۰/۸۸	-	-	۰/۰۹۳۳ ± ۰/۰۲۳	۱۱۱/۱۰ ± ۲/۶۵	(+۳/۲۲)	باکتری	(عدد)
۰/۶۸	-	-	۰/۱۰۸۳ ± ۰/۰۵۱	۱۱۱/۳۰ ± ۵/۸۲	(+۳/۴۰)	قارچ	
۰/۷۶	-	-	۰/۱۲۶۸ ± ۰/۰۴۹	۱۱۲/۶۰ ± ۵/۵۶	(+۴/۶۱)	باکتری + قارچ	
۰/۹۶	-	-	۰/۰۹۲۲ ± ۰/۰۱۳	۹۳/۸۶ ± ۱/۴۶		شاهد	تعداد خوشه‌چه پر در خوشه
۰/۸۶	-	-	۰/۰۹۵۰ ± ۰/۰۲۶	۱۰۴/۵۳ ± ۲/۹۹	(+۱۱/۳۶)	باکتری	(عدد)
۰/۶۵	-	-	۰/۱۱۳۳ ± ۰/۰۵۷	۱۰۴/۳۰ ± ۶/۴۵	(+۱۱/۱۲)	قارچ	
۰/۸۰	-	-	۰/۱۴۰۰ ± ۰/۰۴۸	۱۰۵/۵۷ ± ۵/۴۲	(+۱۲/۴۷)	باکتری + قارچ	
۰/۹۶	۸/۷۸	۶۰/۰۰ ± ۰۰/۰۰	-۰/۰۹۲۶ ± ۰/۰۱۳۴	۱۴/۳۳ ± ۰/۶۹۰		شاهد	تعداد خوشه‌چه پوک در خوشه
۰/۹۴	۶/۵۶ (-۲۵/۲۸)	۶۰/۰۰ ± ۰۰/۰۰	-۰/۱۰۱۹ ± ۰/۰۱۴۸	۱۲/۶۶ ± ۰/۷۶۹	(-۱۱/۶)	باکتری	(عدد)
۰/۹۴	۶/۴۴ (-۲۶/۶۵)	۶۰/۰۰ ± ۰۰/۰۰	-۰/۱۰۹۳ ± ۰/۰۱۷۵	۱۳/۰۹ ± ۱/۰۱۸	(-۸/۶۵)	قارچ	
۰/۸۹	-	-	-۰/۰۱۱۶ ± ۰/۰۲۸۰	۶/۹۷ ± ۰/۳۲۴	(-۵۱/۳)	باکتری + قارچ	
۰/۹۷	۴۲۴۷	۱۳۹/۳ ± ۲۶/۷	۶/۰۰ ± ۱/۲۷۱	۳۴۱۲ ± ۹۸/۳		شاهد	عملکرد شلتوک
۰/۹۹	۴۸۲۴ (+۱۳/۵۸)	۱۲۱/۵ ± ۴/۹۴	۱۰/۸ ± ۰/۴۶۲	۳۵۱۰ ± ۳۵/۷	(+۲/۹۳)	باکتری	(کیلوگرم در هکتار)
۰/۹۹	۴۷۴۶ (+۱۱/۷۵)	۱۰۳/۷ ± ۱۰/۵	۱۱/۴ ± ۱/۴۰۳	۳۵۶۴ ± ۵۹/۴	(+۶/۴۸)	قارچ	
۰/۹۹	۵۰۳۹ (+۱۸/۶۵)	۸۳/۸۳ ± ۸/۳۴	۱۴/۶ ± ۱/۲۵۰	۳۸۱۶ ± ۵۲/۱	(+۱۱/۸)	باکتری + قارچ	
۰/۹۹	۱۵۷۱۰	۱۲۰/۰ ± ۵/۲۵	۲۶/۱ ± ۱/۱۹۴	۱۲۵۷۷ ± ۹۲/۵		شاهد	عملکرد زیستی
۰/۹۸	۱۶۶۵۰ (+۵/۹۹)	۱۲۲/۱ ± ۱۷/۲	۳۲/۵ ± ۴/۸۱۱	۱۲۶۸۳ ± ۳۷۲	(+۰/۸۴)	باکتری	(کیلوگرم در هکتار)
۰/۹۹	۱۶۷۰۰ (+۶/۳۱)	۱۳۲/۸ ± ۹/۷۸	۳۰/۰ ± ۲/۴۰۶	۱۲۷۱۷ ± ۱۸۶	(+۱/۱۱)	قارچ	
۰/۹۹	۱۶۸۵۰ (+۷/۲۶)	۱۲۵/۰ ± ۱۱/۳	۳۰/۰ ± ۲/۸۸۷	۱۳۱۰۰ ± ۲۲۳	(+۴/۱۵)	باکتری + قارچ	
۰/۱۱	-	-	۰/۰۰۵۰ ± ۰/۰۰۹۹	۳۳/۳۳ ± ۱/۱۱		شاهد	شاخص برداشت
۰/۶۶	-	-	۰/۰۰۹۳ ± ۰/۰۰۴۸	۳۴/۸۱ ± ۰/۵۳	(+۴/۴۴)	باکتری	(درصد)
۰/۱۰	-	-	۰/۰۰۳۲ ± ۰/۰۰۷۸	۳۵/۵۸ ± ۰/۸۸	(+۶/۷۵)	قارچ	
۰/۱۲	-	-	۰/۰۰۲۳ ± ۰/۰۱۴۲۰	۳۷/۵۲ ± ۱/۶۰	(+۱۲/۵)	باکتری + قارچ	

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

* حداکثر مقادیر برآورد شده توسط ضریب معادله ارائه شده در جدول است.

پژوهشی دیگر، تعداد دانه در سنبله و وزن دانه در سنبله گندم (رقم 'میلان') در زمان کاربرد روش بذرمال باکتری *Enterobacter sp.* به ترتیب ۳۱/۵ و ۲۷/۴ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت (محمدی کشکا و همکاران ۲۰۱۷).

تعداد خوشه‌چه پوک در خوشه از ۳ تا ۱۶ عدد متغیر بود. تلقیح با باکتری، با قارچ و توأم با باکتری و قارچ به ترتیب باعث کاهش ۲۰/۴، ۲۰/۴ و ۴۱/۸ درصدی تعداد خوشه‌چه پوک در خوشه نسبت به شاهد شد. علاوه بر این، مصرف ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم به ترتیب موجب کاهش ۳۵/۰، ۴۲/۱ و ۴۶/۴ درصدی این صفت نسبت به شاهد گردید (جدول ۲). در واقع، تأثیر کاربرد کود پتاسیم بر این صفت بیشتر از حضور ریزجانداران افزایش‌دهنده رشد بود. پس از برآزش معادله دو تکه‌ای و خطی (تنها برای تیمار تلقیح توأم با باکتری و قارچ) نتایج نشان داد که حضور این ریزجانداران در سطح کود صفر (ضریب *a*) به شدت تعداد خوشه‌چه پوک در خوشه را نسبت به شاهد کاهش داد (۱۱/۶، ۸/۶۵ و ۵۱/۳ درصد به ترتیب برای تلقیح با باکتری، با قارچ و توأم با باکتری و قارچ) (جدول ۳ و شکل ۱). علاوه بر این، تا مصرف ۶۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم تعداد خوشه‌چه پوک در خوشه روند کاهشی نشان داد و سپس مقدارش ثابت باقی ماند (۸/۷۸، ۶/۵۶ و ۶/۴۴ عدد به ترتیب برای تیمار شاهد، تلقیح با باکتری و با قارچ) (جدول ۳ و شکل ۱). کاربرد *Enterobacter sp.* به همراه کود سولفات پتاسیم در برنج موجب کاهش تعداد دانه پوک در خوشه به مقدار ۱۳ تا ۶۰ درصد نسبت به شاهد گردید (شهسواری پورلنده و همکاران ۲۰۱۷). در پژوهشی دیگر، مصرف کود پتاسیم به تنهایی باعث کاهش معنی‌دار تعداد دانه‌های پوک در برنج شد (بهمنیار و سودائی‌مشایی ۲۰۱۰).

دامنه تغییرات عملکرد شلتوک از ۴۲۷۰ تا ۶۳۴۰ کیلوگرم در هکتار متغیر بود. تلقیح با باکتری، با قارچ و توأم با باکتری و قارچ به ترتیب باعث افزایش معنی‌دار ۱۱/۲، ۱۱/۲ و ۱۹/۴ درصدی عملکرد شلتوک نسبت به

کمترین و بیشترین تعداد کل خوشه‌چه در خوشه به ترتیب ۱۰۷ و ۱۳۷ عدد بود. تلقیح با باکتری، با قارچ و توأم با قارچ و باکتری به ترتیب باعث افزایش ۶/۱، ۷/۵ و ۱۰/۱ درصدی تعداد کل خوشه‌چه در خوشه و مصرف ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم به ترتیب باعث افزایش ۰/۴۴، ۱۱/۵ و ۱۳/۳ درصدی این صفت نسبت به شاهد شد (جدول ۲). از آنجایی که اثر متقابل برای این صفت معنی‌دار بود، از یک معادله ساده خطی برای توصیف بهتر این روابط استفاده شد، سرعت افزایش این صفت به ازای هر کیلوگرم افزایش مصرف کود پتاسیم در تیمار شاهد (۰/۰۵۵۰ عدد) پایین‌تر از تیمارهای تلقیح با باکتری، با قارچ و توأم با باکتری و قارچ به ترتیب ۰/۰۹۳۳، ۰/۱۰۸۳ و ۰/۱۲۶۸ عدد برآورد گردید (جدول ۳ و شکل ۱). به طور مشابه، تعداد خوشه‌چه در خوشه برنج با کاربرد *P. indica* به میزان ۷/۲۱ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت (اشرف‌عبداللهی و زراع ۲۰۱۵). همچنین، کاربرد توأم باکتری *Enterobacter sp.* به همراه کود سولفات پتاسیم باعث افزایش تعداد خوشه‌چه در خوشه برنج شد (شهسواری پورلنده و همکاران ۲۰۱۷).

تعداد خوشه‌چه پر در خوشه از ۹۳ تا ۱۳۱ عدد متغیر بود. تلقیح ریشه برنج با باکتری، با قارچ و یا تیمار ترکیبی باکتری و قارچ موجب افزایش تعداد خوشه‌چه پر در خوشه به ترتیب ۱۰/۷، ۱۲/۱، ۱۵/۷ درصد و همچنین افزایش مصرف کود سولفات پتاسیم تا ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار به ترتیب باعث افزایش ۱/۶۱، ۱۴/۵ و ۱۷/۰ درصدی این صفت نسبت به شاهد شد (جدول ۲). به طور مشابه پس از برآزش معادله ساده خطی، سرعت افزایش تعداد خوشه‌چه پر در خوشه به ازای هر کیلوگرم افزایش مصرف کود پتاسیم در تیمارهای شاهد، تلقیح با باکتری، با قارچ و توأم با باکتری و قارچ به ترتیب ۰/۰۹۲۲، ۰/۰۹۵۰، ۰/۱۱۳۳ و ۰/۱۴۰۰ عدد برآورد گردید (جدول ۳ و شکل ۱). همچنین، مقدار اولیه (ضریب *a*) این صفت در زمان حضور ریزجانداران افزایش‌دهنده رشد بالاتر از تیمار شاهد بود (جدول ۳ و شکل ۱). به طور مشابه در

بین تیمارهای مختلف تلقیح اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری وجود نداشت (جدول ۲). در مجموع، از شرایط عدم مصرف کود پتاسیم تا حدود ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار، به ازای افزایش هر کیلوگرم مصرف کود، عملکرد زیستی ۰٫۳۲، ۰٫۳۰، ۰٫۳۰ و ۰٫۲۶ کیلوگرم در هکتار به ترتیب برای روش تلقیح با باکتری، با قارچ، توأم با باکتری و قارچ و شاهد افزایش یافت و سپس مقدارش در حداکثر باقی ماند. به عبارت دیگر، در منطقه مورد مطالعه مصرف بیش از ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم تأثیری بر عملکرد زیستی نداشت (شکل ۱). محققین افزایش ۲۲/۵ درصدی عملکرد زیستی گندم رقم N80 را در زمان کاربرد همزمان *Azotobacter* و *Azospirillum* گزارش کردند (بهاری‌ساروی و پیردشتی ۱۳۹۱). علاوه بر این، بسیاری از محققین دیگر در مطالعاتی جداگانه افزایش معنی‌دار عملکرد زیستی را در زمان حضور ریزجانداران افزایش‌دهنده رشد نشان دادند (شهسوارپورلنده و همکاران ۲۰۱۷، بخشنده و همکاران ۲۰۱۵ و وارما و همکاران ۲۰۱۲).

شاخص برداشت در کلیه تیمارها از ۳۲/۵ تا ۴۰/۱ درصد متغیر بود. تلقیح ریشه برنج با باکتری، با قارچ و یا تیمار ترکیبی باکتری و قارچ موجب افزایش شاخص برداشت به ترتیب ۵/۵۳، ۶/۱۸، ۱۱/۷ درصد و همچنین افزایش مصرف کود سولفات پتاسیم تا ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار به ترتیب باعث افزایش ۲/۰۳، ۳/۴۶ و ۴/۳۸ درصدی این صفت نسبت به شاهد شد (جدول ۲). طبق نتایج این مطالعه در تمامی سطوح کود پتاسیم مقدار شاخص برداشت در زمان حضور ریزجانداران افزایش‌دهنده رشد بالاتر نسبت به تیمار شاهد بود (شکل ۱). به طور مشابه، سایر محققین افزایش شاخص برداشت در زمان کاربرد ریزجانداران افزایش‌دهنده رشد و یا مصرف کودهای شیمیایی فسفره و پتاسه را گزارش نمودند (شهسوارپورلنده و همکاران ۲۰۱۷، بخشنده و همکاران ۲۰۱۵، وارما و همکاران ۲۰۱۲). در آزمایشی دیگر، افزایش ۷/۶۹ درصدی شاخص برداشت گندم رقم N80

شاهد شد (جدول ۲). طبق نتایج تجزیه رگرسیون، با افزایش مصرف کود پتاسیم از شاهد تا زمان مصرف ۸۳/۸، ۱۰۳/۷، ۱۲۱/۵ و ۱۳۹/۳ کیلوگرم در هکتار به ترتیب در تیمارهای تلقیح توأم با باکتری و قارچ، تلقیح با قارچ، با باکتری و شاهد به ازای هر کیلوگرم افزایش مصرف کود، عملکرد شلتوک به ترتیب با سرعت ۱۴/۶، ۱۱/۴، ۱۰/۸ و ۶/۰۰ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت و سپس مقدار عملکرد ثابت و حداکثر مقدار باقی ماند (جدول ۳ و شکل ۱). به عبارت دیگر، حداکثر عملکرد شلتوک برآورد شده برابر ۴۸۲۴، ۴۷۴۶ و ۵۰۳۹ کیلوگرم در هکتار به ترتیب برای تلقیح با باکتری، با قارچ و توأم با باکتری و قارچ بود که نسبت به شاهد (۴۲۴۷ کیلوگرم در هکتار) به ترتیب ۱۳/۵، ۱۱/۷ و ۱۸/۶ درصد افزایش نشان داد (جدول ۳ و شکل ۱). در مجموع، کاربرد تلقیح توأم باکتری و قارچ علاوه بر کاهش مصرف کود پتاسیم به مقدار ۵۵/۵ کیلوگرم در هکتار (۴۰ درصد)، عملکرد شلتوک را به میزان ۷۹۰ کیلوگرم در هکتار (۱۸/۶ درصد) نسبت به شاهد افزایش داد (جدول ۳). در آزمایشی دیگر، افزایش ۳/۴۰ تا ۱۹/۸ درصدی عملکرد شلتوک برنج در زمان حضور باکتری *Enterobacter sp.* و یا مصرف کود سولفات پتاسیم نیز گزارش گردید (شهسوارپورلنده و همکاران ۲۰۱۷). تلقیح ریشه ارقام مختلف برنج (طارم محلی، طارم هاشمی و شیرودی) با باکتری‌های حل‌کننده فسفات باعث افزایش عملکرد شلتوک از ۷/۷۴ تا ۳۷/۰ درصد نسبت به شاهد شد (بخشنده و همکاران ۲۰۱۵). همچنین، تلقیح گیاه جو با *P. indica* عملکرد دانه را ۱۱ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (والر و همکاران ۲۰۰۵). بهبود رشد و عملکرد برنج در زمان کاربرد *P. indica* نیز گزارش گردید (اشرف‌عبداللهی و زارع ۲۰۱۵). محدوده عملکرد زیستی از ۱۲۵۰۰ تا ۱۶۹۵۰ کیلوگرم در هکتار متغیر بود. نتایج حاکی از آن بود که در تمامی سطوح مصرف کود پتاسیم مقدار عملکرد زیستی در شرایط شاهد (عدم تلقیح) به‌طور معنی‌داری پایین‌تر از تیمارهای تلقیح‌شده با ریزجانداران افزایش‌دهنده رشد بود اما

پتاسیم نامحلول در خاک را به فرم قابل دسترس گیاه تبدیل کرده و از طریق بهبود جذب عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم توسط گیاه موجب کاهش مصرف کود شیمیایی شوند (زانگ و کنگ ۲۰۱۴).

نتیجه‌گیری کلی

طبق نتایج این مطالعه، تلقیح توأم باکتری و قارچ به‌عنوان بهترین تیمار موجب افزایش معنی‌دار تعداد خوشه در کپه، طول خوشه، تعداد دانه پر در خوشه، عملکرد شلتوک، عملکرد زیستی، شاخص برداشت و جذب پتاسیم دانه به‌ترتیب ۴/۵۲، ۴/۶۵، ۱۵/۶، ۱۹/۴، ۶/۸، ۱۱/۷ و ۲۲/۱ درصد و کاهش تعداد خوشه‌چه پوک در خوشه به مقدار ۴۱/۸ درصد نسبت به شاهد شد. کاربرد این روش علاوه بر کاهش مصرف کود پتاسیم به مقدار ۵۵/۵ کیلوگرم در هکتار (۴۰ درصد)، عملکرد شلتوک را به میزان ۷۹۰ کیلوگرم در هکتار (۱۸/۶ درصد) نسبت به شاهد افزایش داد. در نتیجه، کاربرد این ریزجانداران علاوه بر پایداری تولید، باعث کاهش مصرف کودهای شیمیایی و کاهش آلودگی‌های زیست محیطی در زراعت پایدار برنج خواهد شد.

در زمان کاربرد توأم *Azospirillum* و *Azotobacter* نسبت به شاهد گزارش گردید (بهاری‌ساروی و پیردشتی ۱۳۹۱). همچنین، محققین گزارش کردند که مصرف کود پتاسیم به تنهایی بر صفاتی همچون تعداد خوشه‌چه در خوشه، تعداد خوشه‌چه پوک در خوشه، عملکرد شلتوک، عملکرد زیستی و شاخص برداشت برنج تأثیر معنی‌داری داشت (بهمنیار و سودائی‌مشایی ۲۰۱۰). جذب پتاسیم دانه از ۶۱۹/۰ تا ۱۱۱۰/۴ میلی‌گرم در مترمربع متغیر بود. تلقیح با باکتری، با قارچ و توأم با قارچ و باکتری به‌ترتیب باعث افزایش ۱۴/۴، ۱۰/۸ و ۲۲/۱ درصدی جذب پتاسیم دانه و مصرف ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم به‌ترتیب باعث افزایش ۱۸/۷، ۲۶/۸ و ۳۹/۹ درصدی این صفت نسبت به شاهد شد (جدول ۲). علت افزایش را می‌توان به گسترش بیشتر ریشه‌های گیاه در زمان کاربرد این ریزجانداران و در نهایت جذب بیشتر عناصر غذایی نسبت داد. به طور مشابه، تلقیح گیاهچه برنج با باکتری *Enterobacter* sp. موجب افزایش ماده خشک کل و پتاسیم جذب شده در برگ، ساقه و ریشه به‌ترتیب ۶۵/۳، ۶۹/۲، ۵۲/۹ و ۵۰/۰ درصد نسبت به شاهد شد (بخشنده و همکاران ۲۰۱۷). در تنباکو همچنین مشاهده شد که باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم می‌توانند

منابع مورد استفاده

- Achatz B, Von Rűden S, Andrade D, Neumann E, Pons-Kűhnemann J, Kogel KH, Franken P and Waller F. 2010. Root colonization by *Piriformospora indica* enhances grain yield in barley under diverse nutrient regimes by accelerating plant development. *Plant and Soil*, 333: 59-70.
- Amin-Deladr Z, Ehteshami S, Shahabi Komoleh A and Khavazi K. 2012. Effect of *Pseudomonas fluorescens* strains on morphophysiological traits and nutrients uptake in some of rice cultivars. *Electronic Journal of Crop Production*, 5(1):141-149. (In Persian).
- Ansari M, Gill S and Tuteja N. 2014. *Piriformospora indica* a powerful tool for crop improvement. *Proceedings of the Indian National Science Academy*, pp. 317-324.
- Asadi Sanam S, Zavareh M, Shokri-Vahed H and Shahinrokhsar P. 2015. Effect of foliar supplements of nitrogen and potassium on yield and yield components of hybrid rice (*Oryza sativa* cv. Daylam). *Agricultural Crop Management (Journal of Agriculture)*. 16(3):693-706. (In Persian).
- 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. *Electronic Journal of Crop Production*, 8(1):223-230. (In Persian).
- Bahari Saravi SH and Pirdashti H. 2012. The Effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and phosphate solubilizing microorganism (PSM) on yield and yield components of wheat (cv. N80) under

- different nitrogen and phosphorous fertilizers levels in greenhouse condition. Iranian Journal of Field Crops Research, 10(4): 681-689. (In Persian).
- Bahmanyar M and Mashae SS. 2010. Influences of nitrogen and potassium top dressing on yield and yield components as well as their accumulation in rice (*Oryza sativa* L.). African Journal of Biotechnology, 9: 2648-2653.
- Bakhshandeh E, Pirdashti H and Shahsavarpour Lendeh KH, 2017. Phosphate and potassium-solubilizing bacteria effect on the growth of rice. Ecological Engineering. 103: 164-169.
- Bakhshandeh E, Rahimian H, Pirdashti H and Nematzadeh GA, 2015 Evaluation of phosphate solubilizing bacteria on the growth and grain yield of rice (*Oryza sativa* L.) cropped in northern Iran. Journal of Applied Microbiology, 119: 1371-1382.
- Bakhshandeh E, Rahimian H, Pirdashti H and Nematzadeh GA. 2014. Phosphate solubilization potential and modeling of stress tolerance of rhizobacteria from rice paddy soil in northern Iran. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 30: 2437-2447.
- Estefan G, Sommer R and Ryan J. 2013. Methods of soil, plant, and water analysis. A manual for the West Asia and North Africa region. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA). P. 244.
- Hojattipor S, Jafari Haghghi B, and Drostkar M. 2014. The effect of integration of biological and chemical fertilizers on yield, yield components and growth indexes of wheat. Plant Ecophysiology 5:36-48. (In Persian).
- Lavakush Yadava J, Verma JP, Jaiswal DK and Kumar A. 2014. Evaluation of PGPR and different concentration of phosphorus level on plant growth, yield and nutrient content of rice (*Oryza sativa* L.). Ecological Engineering. 62: 123-128.
- Mohammadi Kashka F, Pirdashti H, Yaghoobian Y and Bakhshandeh E. 2017. Evaluation of growth and yield stability of wheat by application of *Trichoderma* and *Enterobacter* sp. Agricultural Science and Sustainable Production, 26: 1-15. (In Persian).
- Mwashasha R, Hunja M and Kahangi EM. 2016. The effect of inoculating plant growth promoting microorganisms on rice production. International Journal of Agronomy and Agricultural Research. 9: 34-44.
- Shahsavarpour Lendeh KH, Pirdashti H and Bakhshandeh E. 2017. Evaluation of different methods of inoculation with native plant growth promoting bacteria on yield, yield components and potassium uptake in rice (cv. 'Tarom Hashemi'). Agroecology. (In Persian).
- Sharma SB, Sayyed RZ, Trivedi MH and Gobi TA. 2013. Phosphate solubilizing microbes: sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. Journal Springer Plus, 587. 1-14.
- 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. Journal of Biological Chemistry, 280: 26241-26247.
- Varma A, Bakshi M, Lou B, Hartmann A and Oelmueller R. 2012. *Piriformospora indica*: a novel plant growth-promoting mycorrhizal fungus. Journal of Agricultural Research, 1: 117-131.
- 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.
- Zhang C and Kong F. 2014. Isolation and identification of potassium-solubilizing bacteria from tobacco rhizospheric soil and their effect on tobacco plants. Applied Soil Ecology. 82: 18-25.