

Effect of Plant Growth Promoting Bacteria on Yield of Rice under Reduced Chemical Fertilizers

Tayebeh Jolideh¹ , Faezeh Zaefarian^{2*} , Esmail Bakhshandeh³ , Maryam Sadegh⁴ 

Received: 01 November 2023

Accepted: 08 February 2024

1- MS.c. Student, Dept. of Agronomy, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

2- Prof., of Agronomy, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

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

4- Ph.D. Student, Dept. of Agronomy, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

*Corresponding Author Email: fa_zaefarian@yahoo.com

Abstract

Background and Objective: According to the importance of rice in ensuring food security at the national and international levels, it is essential to find ways to increase the production of this strategic crop. For this purpose, the use of growth-promoting microorganisms (alone or in combination with reduced amounts of chemical fertilizers) in rice cultivation systems is considered as a potential way to improve fertilizer efficiency and reduce environmental problems. Therefore, this study was conducted to evaluate the effect of growth-promoting bacteria on the yield and yield components of rice cv. Amir under reduced amounts of chemical fertilizers.

Materials and Methods: This experiment was conducted in a split-plot, based on randomized complete block design with three replications. The experimental treatments included two fertilizer levels (100 and 75 percent of fertilizer application based on soil test results as the optimal and reduced fertilizer levels, respectively) and four bacterial inoculation treatments (separate inoculation of each of the bacteria *Rahnella aquatilis*, *Burkholderia cepacia*, combination (*R. aquatilis* + *B. cepacia*) and control (no bacterial inoculation)) as the main and subplots, respectively. SAS version 9.4 statistical software was used to analyze the data. Comparison of means was also performed using the least significant difference (LSD) method at a probability level of 5%.

Results: According to the results, there was no significant difference between the optimal and reduced fertilizer levels in terms of the studied traits. While, the use of plant growth promoting bacteria improved the studied traits of rice compared to the control treatment (no inoculation). In other words, combined inoculation of *R. aquatilis* and *B. cepacia*, increases the height of the plant (11.3 percent), panicle length (11.6 percent), the number of total tillers per plant (29.1 percent), the total number of filled seeds in panicle (27 percent), thousand seed weight (7.9 percent), grain yield (25.2 percent), biological yield (20.6 percent), the amount of potassium in grain and above-ground biomass (46.6 and 45.6 percent, respectively) and the amount of zinc in grain and above-ground biomass (106.25 and 70.58 percent, respectively) compared to the control treatment (no inoculation).

Conclusion: In general, by using less chemical fertilizers and replacing them with biofertilizers, without any significant difference in rice yield and yield components, can achieve sustainable agriculture goals. The use of growth-promoting bacteria in combination (as the best treatment) led to a further increase in the studied traits. So that these traits had a statistically significant difference compared to the treatment of without the use of growth-promoting bacteria, which indicates the achievement of desired yield along with improved environmental health.

Keywords: Absorption of Elements, Potassium and Zinc Solubilizing Bacteria, Yield and Yield Components.



This is an open-access article under the CC BY NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/>)

Copyright© 2025 Faezeh Zaefarian Email: fa_zaefarian@yahoo.com

<https://doi.org/10.22034/saps.2024.59057.3135>



اثر کاربرد باکتری‌های محرک رشد بر عملکرد برنج در مقادیر کاهش یافته کودهای شیمیایی

طیبه ژولیده^۱، فائزه زعفریان^{۲*}، اسماعیل بخشنده^۳، مریم صادق^۴ ^{id}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۱۰	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۹
--------------------------	-------------------------

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۹

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زراعت، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۲- استاد گروه زراعت، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۳- دانشیار پژوهشکده ژنتیک و زیست فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۴- دانشجوی دکتری، گروه زراعت، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

*مسئول مکاتبه: Email: fa_zaefarian@yahoo.com

چکیده

مقدمه و اهداف: با توجه به اهمیت گیاه برنج در تأمین امنیت غذایی در سطح ملی و جهانی، یافتن مسیرهای افزایش تولید این گیاه استراتژیک امری ضروری است. برای این منظور، استفاده از ریزجانداران افزایش دهنده رشد (به طور جداگانه یا در ترکیب با مقادیر کاهش یافته کودهای شیمیایی) در سیستم های کشت برنج، به عنوان یک راه بالقوه برای بهبود کارایی کود و کاهش مشکلات زیست محیطی مورد توجه می باشد. لذا این پژوهش با هدف ارزیابی تاثیر باکتری های افزایش دهنده رشد بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج رقم امیر در مقادیر کاهش یافته کودهای شیمیایی اجرا شد.

مواد و روش ها: این آزمایش به صورت کرت های خرد شده و در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل دو سطح کودی (۱۰۰ و ۷۵ درصد مصرف کود بر اساس نتایج آزمون خاک به ترتیب به عنوان سطح کودی مطلوب و کاهش یافته) و چهار تیمار تلقیح با باکتری (تلقیح جداگانه ی هر یک از باکتری ها *Rahnella aquatilis*، *Burkholderia cepacia*، ترکیبی (*R. aquatilis*+*B. cepacia*) و شاهد (عدم تلقیح باکتری)) به ترتیب به عنوان کرت های اصلی و فرعی بودند. برای تجزیه و تحلیل داده ها از نرم افزار آماری SAS نسخه ۹/۴ استفاده گردید. مقایسه میانگین ها نیز به روش حداقل تفاوت معنی دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

یافته ها: نتایج نشان داد که از نظر صفات مورد مطالعه، بین سطوح کودی کاهش یافته و مطلوب اختلاف معنی داری وجود نداشت. در صورتیکه استفاده از باکتری های افزایش دهنده رشد سبب بهبود صفات مورد مطالعه برنج نسبت به تیمار شاهد (عدم تلقیح) شد. به عبارت دیگر تلقیح ترکیبی باکتری های *R. aquatilis* و *B. cepacia* موجب افزایش ارتفاع بوته (۱۱/۳ درصد)، طول خوشه (۱۱/۶ درصد)، تعداد پنجه در بوته (۲۹/۱ درصد)، تعداد دانه پر در خوشه (۲۷ درصد)، وزن هزار دانه (۷/۹ درصد)، عملکرد دانه (۲۵/۲ درصد)، عملکرد بیولوژیک (۲۰/۶ درصد)، مقدار پتاسیم در دانه و اندام هوایی (به ترتیب ۴۶/۷ و ۴۵/۶ درصد) و مقدار روی در دانه و اندام هوایی (به ترتیب ۱۰۶/۲۵ و ۷۰/۵۸ درصد) نسبت به تیمار شاهد (عدم تلقیح) شد.

نتیجه‌گیری: در مجموع می‌توان با مصرف کمتر کودهای شیمیایی و جایگزینی آن با کودهای زیستی، بدون تفاوت معنی‌دار در عملکرد و اجزای عملکرد برنج در جهت نیل به اهداف کشاورزی پایدار گام برداشت. کاربرد باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد به صورت ترکیبی (به‌عنوان بهترین تیمار) موجب افزایش بیشتر صفات مورد مطالعه شد. به‌طوری که این صفات اختلاف آماری معنی‌داری در مقایسه با تیمار عدم کاربرد باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد داشتند که نشان‌دهنده دستیابی به عملکرد مطلوب به همراه بهبود سلامت محیط زیست می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: باکتری حل‌کننده پتاسیم و روی، جذب عناصر، عملکرد و اجزای عملکرد

مقدمه

برنج با نام علمی *Oryza sativa* L. یکی از محصولات عمده غلات در سطح جهان است که تقریباً نیمی از جمعیت جهان از آن استفاده می‌کنند (شاهین و همکاران ۲۰۲۲). بیش از سه و نیم میلیارد نفر روزانه حدود ۲۰ درصد کالری مورد نیاز خود را از این گیاه استراتژیک تأمین می‌کنند (حسن‌ناززمان و همکاران ۲۰۱۹). از مهم‌ترین مناطق کشت برنج در ایران، استان‌های مازندران و گیلان هستند که به‌ترتیب ۸۲ و ۸۰ درصد از تولید برنج کشور را به خود اختصاص دادند (جلالی و همکاران ۲۰۲۱). با توجه به اهمیت گیاه برنج در تأمین امنیت غذایی در سطح ملی و جهانی، یافتن مسیرهای افزایش تولید این گیاه استراتژیک امری ضروری است.

عناصر کم‌مصرف با وجود اینکه در مقادیر کم مورد استفاده قرار می‌گیرند ولی تأثیرات معنی‌داری بر رشد گیاه دارند. در این میان عنصر روی در بسیاری از فرآیندهای متابولیک گیاه، مانند فعالیت آنزیم‌ها، فتوسنتز، سنتز کلروفیل و سایر عملکردهای بیوشیمیایی نقش مهمی ایفاء می‌کند (گرونگریف و همکاران ۲۰۲۰). کربنیک آنیدراز، آنزیمی که تبدیل دی‌اکسیدکربن به گونه‌های بی‌کربنات فعال را برای تثبیت به کربوهیدرات‌ها در گیاهان تنظیم می‌کند، توسط روی اصلاح و یا تنظیم می‌شود (کندیل و همکاران ۲۰۲۲). کمبود روی یکی از مشکلات جهانی در تولید غلات و پس از کمبود نیتروژن و فسفر، یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد در گیاه برنج تلقی می‌گردد (یعقوبی خاقانی و همکاران ۲۰۱۸). علاوه‌بر این، عنصر روی روابط آبی گیاه و همچنین هدایت روزنه‌ای را تحت تأثیر قرار می‌دهد و نقش مهمی در محافظت از سلول در برابر اثرات مخرب گونه‌های فعال اکسیژن ایفاء می‌کند (قاضی و همکاران

۲۰۲۲). در نتیجه کاربرد این عنصر می‌تواند تأثیر به‌سزایی در کمیت و کیفیت تولید محصولات داشته باشد. پتاسیم نیز یکی از مهم‌ترین عناصر پرمصرف برای تولید محصولات زراعی است که در برخی از فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه، تحریک رشد گیاه، تقویت دفاع، تنظیم روزنه‌ها و انتقال سیگنال نقش دارد؛ بنابراین، برای تولید برنج با عملکرد و کیفیت بالا بسیار حیاتی است (زورب و همکاران ۲۰۱۴). علاوه‌بر نقش این عنصر در متابولیسم گیاه، پتاسیم از طریق تأثیرگذاری بر فرآیند پر شدن دانه، وزن دانه، افزایش مقاومت به بیماری‌ها و تنش‌های محیطی باعث بهبود کیفیت محصول می‌گردد (پارمار و سیندهو ۲۰۱۳). پتاسیم با فعال کردن تعداد زیادی آنزیم و ایجاد اثر مثبت بر پایداری آب در گیاه، نقش مهمی در واکنش‌های متابولیکی در گیاهان بازی می‌کند و کمبود آن باعث کاهش تجمع قند و کاهش اسیدهای آلی می‌شود (ماتویس ۲۰۰۹).

امروزه منابع اولیه و ترکیبات شیمیایی مختلف در مزارع کشاورزی جهت دستیابی به عملکردهای بالا، بیش از حد معمول مورد استفاده قرار می‌گیرند و موجب افت کیفیت محصولات کشاورزی، کاهش تنوع زیستی، ایجاد مشکلات متعدد زیست محیطی مانند: کاهش میزان باروری خاک، آلوده شدن منابع آب و محیط زیست و انتقال آن‌ها به منابع غذایی انسان می‌گردند (امیدی و همکاران ۲۰۰۹). پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهند که جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ به بیش از نه میلیارد نفر خواهد رسید. بنابراین، برای دستیابی به عملکردهای بالا و حفظ محیط زیست و منابع اولیه برای نسل‌های آینده می‌توان از روش‌های کشاورزی پایدار استفاده نمود (تیلمن و همکاران ۲۰۰۲). توسعه کشاورزی پایدار به‌عنوان یک موضوع مهم و جدید به‌شدت مورد علاقه بسیاری از

موجب بهبود و رشد بهتر گیاه میزبان گردد. زادبهنونی و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که کاربرد ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص به همراه مصرف توأم *Mycorrhizal* با *Azotobacter* و *Azospirillum* می تواند نقش مؤثری داشته باشد. در پژوهشی دیگر محققین اظهار داشتند که تلفیق *Azotobacter nigricans* و NPK به دلیل اثر هم افزایی می تواند به عنوان یک کود دو منظوره برای افزایش عملکرد ذرت (*Zea mays* L.) عمل کند (ساغر ۲۰۲۲).

افزایش تولید با کمترین آلاینده گی زیست محیطی و تولید محصول سالم در جامعه کنونی یکی از مهم ترین دغدغه های محققین به شمار می آید. با توجه به استفاده از باکتری های افزاینده رشد به عنوان راه حل مناسب و تقویت کننده برای رسیدن به عملکردهای بالا همراه با حفظ محیط زیست، هدف از اجرای این پژوهش ارزیابی تاثیر باکتری های افزاینده رشد بر عملکرد و اجزای عملکرد رقم امیر برنج در مقادیر کاهش یافته کودهای شیمیایی می باشد.

مواد و روش ها

آزمایش حاضر در یکی از مزارع شهرستان ساری با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۳ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۳ درجه شرقی و ارتفاع ۲۵ متر از سطح آب های آزاد به صورت کرت های خرد شده و در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل دو سطح کودی (۱۰۰ و ۷۵ درصد مصرف کود بر اساس نتایج آزمون خاک به ترتیب به عنوان سطح کودی مطلوب و کاهش یافته) و چهار تیمار تلقیح با باکتری (تلقیح جداگانه ی هر یک از باکتری ها *Rahnella aquatilis*، *Burkholderia cepacia*، ترکیبی *R. aquatilis*+*B. cepacia*) و شاهد (عدم تلقیح باکتری) به ترتیب به عنوان کرت های اصلی و فرعی بودند. قبل از آماده سازی زمین، به منظور بررسی خواص فیزیکوشیمیایی خاک محل آزمایش، نمونه هایی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی متر تهیه و به آزمایشگاه خاکشناسی جهت تعیین خصوصیات خاک ارسال شد که نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده است.

محققین قرار گرفته است. برای این منظور، استفاده از ریزجانداران افزاینده رشد (به طور جداگانه یا در ترکیب با مقادیر کاهش یافته کودهای شیمیایی) در سیستم های کشت برنج، به عنوان یک راه بالقوه برای بهبود کارایی کود و کاهش مشکلات زیست محیطی مورد توجه می باشد (مینا و همکاران ۲۰۱۷).

کودهای زیستی به مجموعه ریزجاندارانی (باکتریایی و یا قارچی) اطلاق می گردد که علاوه بر تثبیت زیستی نیتروژن و محلول کردن ترکیبات نامحلول مانند فسفر و پتاسیم خاک، با تولید مقادیر قابل ملاحظه ای هورمون های افزاینده رشد (مانند اکسین، جیبرلین و سیتوکینین)، ترشح آنزیم های مختلف، از قبیل آنزیم فسفاتاز و اسیدهای آلی بر رشد، نمو و عملکرد گیاهان زراعی و همچنین ویژگی های خاک تأثیر مثبت می گذارند (بخشنده و همکاران ۲۰۱۴ و شارما و همکاران ۲۰۱۴). این ریزجانداران علاوه بر تأمین مواد غذایی مورد نیاز گیاه، با تأثیر بر مکانیسم عمل ریشه و اثر روی صفات فیزیولوژیکی گیاهان باعث تسریع در رشد و افزایش عملکرد می شوند و همچنین با القاء مقاومت سیستمیک و کنترل پاتوژن های گیاهی به رشد بهتر گیاه کمک می کنند (باهوگونا و همکاران ۲۰۲۰).

ریزجانداران افزاینده رشد نقش مهمی در تغییر و تبدیل مواد از شکل غیر قابل دسترس به شکل قابل دسترس برای گیاهان ایفاء می کنند، به طوری که به واسطه فعالیت آن ها مقدار مواد در دسترس و مغذی در خاک افزایش یافته و در نهایت سبب افزایش تولید و بهبود کیفیت محصولات می شود (کشاورز و همکاران ۲۰۱۳). در این میان می توان از باکتری های *Rahnella aquatilis* (باکتری حل کننده عنصر پتاسیم) و *Burkholderia cepacia* (باکتری حل کننده عنصر روی) جهت تبدیل فرم غیر قابل استفاده عناصر پتاسیم و روی به فرم قابل دسترس استفاده نمود. در این زمینه بخشنده و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که کاربرد باکتری *B. cepacia* در گیاه گشنیز موجب افزایش درصد و سرعت سبز شدن، کلروفیل کل، مقدار فنل و فلانوئید نسبت به تیمار عدم تلقیح گردید. کاربرد همزمان ریزجانداران افزاینده رشد با قابلیت های متفاوت ممکن است با ایجاد هم افزایی

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

بافت خاک	سیلت	رس	شن	کربن آلی	نیتروژن کل	پتاسیم	فسفر	روی	pH	هدایت الکتریکی (dS.m ⁻¹)
لومی‌رسی	۳۳	۳۲	۳۵	۱/۲۵	۰/۱	۱۶۷	۱۷/۷	۰/۲۴	۷/۶۵	۱/۵۰
	(٪)			(mg.kg ⁻¹)						

باکتری‌های *R. aquatilis* و *B. cepacia* مورد استفاده در محیط کشت نوترینت‌براث روی شیکر با سرعت ۱۰۰ دور در دقیقه در دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد به مدت سه روز کشت داده شدند (بخشنده و همکاران ۲۰۱۴). این باکتری‌ها از پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری تهیه شدند. باکتری‌های مورد مطالعه از اراضی کشاورزی استان مازندران جداسازی شد که هر کدام به‌ترتیب دارای قابلیت حل‌کنندگی ۷۰ و ۷۶ میکروگرم در میلی‌لیتر پتاسیم و روی می‌باشند. در نهایت از سوسپانسیون باکتری با جمعیت حدود ۱۰^۷ سلول زنده در میلی‌لیتر جهت تلقیح ریشه گیاهچه برنج در هنگام نشاکاری استفاده شد.

رقم مورد استفاده در پژوهش حاضر امیر بود. مهم‌ترین ویژگی‌های این رقم، متحمل به آفات و بیماری‌های کلیدی برنج از جمله آفت ساقه‌خوار و بیماری بلاست، رقم پاکوتاه، مقاوم به ورس (خوابیدگی) با کودپذیری بالا، دانه بلند و با کیفیت مطلوب هم‌ردیف با برنج‌های کیفی مثل طارم هاشمی، عطر و طعم متوسط و همچنین تحمل نسبی به تنش‌های محیطی (تنش‌های خشکی و سرما) می‌باشد.

در اوایل فروردین ماه ۱۴۰۱ عملیات آماده‌سازی زمین توسط تراکتور انجام شد و بعد از مال‌کشی و تسطیح زمین، سه روز قبل از انتقال نشاها به زمین اصلی کرت‌بندی (هر کرت به طول پنج متر و عرض دو متر) بر اساس نقشه طرح اجرا شد. بعد از اتمام کرت‌بندی، براساس نتایج آزمون خاک (جدول ۱)، تیمارهای کودی اعمال شد. برای رقم امیر کود پایه سوپرفسفات‌تریپل (۶۸ کیلوگرم در هکتار)، کود سولفات پتاسیم (۱۳۵ کیلوگرم در هکتار)، کود سولفات روی (۱۴ کیلوگرم در هکتار) قبل از کاشت و کود اوره در سه مرحله (۲۰۳ کیلوگرم در هکتار؛ ۲۵، ۴۵ و ۲۵ درصد به‌ترتیب قبل از کاشت، ۲۵

روز پس از نشاءکاری و ۷ روز قبل از گلدهی) به صورت دست‌پاش به زمین اضافه شدند. برای تلقیح ریشه در زمان نشاءکاری نیز بعد از کندن نشاءها، ریشه گیاهچه‌های برنج (حاوی ۴-۵ برگ) به مدت ۱۲ ساعت در سوسپانسیون‌های مربوط به هر تیمار باکتری با جمعیت ۱۰^۷ سلول زنده در میلی‌لیتر غوطه‌ور شدند (گیلانی و همکاران ۲۰۱۸). برای جلوگیری از ایجاد خطا در شرایط شاهد، ریشه گیاهچه‌های برنج تنها با محیط کشت بدون باکتری تیمار گردید. پس از اعمال تیمارها، در اواخر اردیبهشت ماه نشاءها به صورت دستی شامل چهار گیاهچه در هر کپه با فاصله ردیف ۲۵ سانتی‌متر و روی ردیف ۲۵ سانتی‌متر کشت شدند. آزمایش در زمین اصلی در شرایط مطلوب مدیریتی اجرا گردید. بنابراین، تمامی عملیات زراعی از قبیل آبیاری (غرقابی)، کنترل علف‌های هرز، آفات و بیماری‌ها برای همه کرت‌ها در زمان ضروری و به‌صورت یکنواخت و بر اساس دستورالعمل فنی موسسه تحقیقات برنج کشور انجام شد.

در مرحله رسیدگی (اواخر مرداد ماه) برداشت از هر کرت هفت کپه نماینده انتخاب شد و صفات شامل ارتفاع بوته (با استفاده از خط‌کش)، تعداد کل پنجه، طول خوشه (با استفاده از خط‌کش)، تعداد کل دانه در خوشه، دانه پر در خوشه، دانه پوک در خوشه، وزن هزار دانه (محاسبه شده از سه تکرار ۱۰۰ تایی) اندازه‌گیری شد. همچنین، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار، بر حسب رطوبت ۱۴ درصد) برای هر کرت پس از حذف اثر حاشیه‌ای از مساحت یک مترمربع به روش تخریبی کف‌بر اندازه‌گیری شد. میزان عنصر پتاسیم و روی در گیاه برنج به روش پیشنهاد شده توسط استفان و همکاران (۲۰۱۳) و به‌ترتیب به کمک دستگاه فلیم‌فتومتر (مدل Jenway Pfp7 flam photometer) و جذب اتمی (مدل SP-AA 5000) اندازه‌گیری شد. برای تجزیه و

تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۴ استفاده گردید. مقایسه میانگین‌ها نیز به روش حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تلقیح با باکتری افزایش‌دهنده رشد اثر معنی‌داری بر ارتفاع بوته داشت؛ در حالی که استفاده از تیمار سطوح کودی و اثر متقابل تیمارهای آزمایش نتواست تاثیر معنی‌داری بر

صفت مذکور داشته باشد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثرات ساده (جدول ۳) نشان داد بیشترین میزان افزایش ارتفاع بوته متعلق به تیمار تلقیح ترکیبی باکتری (*R. aquatilis*+*B. cepacia*) با میانگین ۱۱۴/۶۶ سانتی‌متر بود و سبب افزایش ۱۱/۳ درصدی ارتفاع بوته نسبت به شرایط شاهد شد (جدول ۳). لازم به ذکر است که بین تیمارهای تلقیح ترکیبی و جداگانه باکتری (*R. aquatilis*+*B. cepacia*) اختلاف آماری مشاهده نشد و همگی در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۳).

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورد مطالعه در برنج تحت تأثیر سطوح مختلف کودی و تلقیح با باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد

منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع بوته	طول خوشه	تعداد پنجه در بوته	تعداد دانه پر در خوشه	تعداد دانه پوک در خوشه	تعداد دانه کل در خوشه	وزن هزار دانه
بلوک	۲	۲/۰۴ ^{ns}	۰/۷۲ ^{ns}	۳/۴۸ ^{ns}	۱۳۳/۰۱ ^{ns}	۱۱۳/۹۰ ^{ns}	۴۹/۱۴ ^{ns}	۱/۶۸ ^{ns}
سطوح کود شیمیایی	۱	۱۸/۳۷ ^{ns}	۱/۰۴ ^{ns}	۴/۰۰۱ ^{ns}	۹۵۸/۰۰۲ ^{ns}	۳۵۱/۱۳ ^{ns}	۱۸۶۵/۶۱ ^{ns}	۳/۰۸ ^{ns}
تلقیح باکتری	۳	۱۷۵/۵۹ ^{**}	۹/۴۲ ^{**}	۲۲/۲۵ ^{**}	۱۷۹۴/۹۸ ^{**}	۲۲۸/۹۴ [*]	۷۵۸/۰۲ ^{**}	۴/۸۲ [*]
تلقیح باکتری*سطوح کودی	۳	۱۵/۷۰ ^{ns}	۳/۸۲ ^{ns}	۵/۶۹ ^{ns}	۴۵/۵۴ ^{ns}	۵۹/۶۰ ^{ns}	۶۱/۹۳ ^{ns}	۰/۳۳ ^{ns}
خطا	۱۲	۱۸/۹۰	۰/۱۲	۲/۵۷	۸۷/۱۳	۶۱/۰۲	۸۸/۷۱	۰/۸۱
ضریب تغییرات (%)	-	۳/۹۱	۴/۴۶	۸/۸۱	۵/۳۶	۱۸/۶۰	۴/۶۷	۳/۲۶

^{ns}، * و **: به ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد می‌باشد.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر ساده تلقیح باکتری بر صفات مورد مطالعه در برنج

تیمارهای آزمایش	ارتفاع بوته (cm)	طول خوشه (cm)	تعداد پنجه در بوته	تعداد دانه پر در خوشه	تعداد دانه پوک در خوشه	تعداد دانه کل در خوشه	وزن هزار دانه (g)
تلقیح باکتری							
شاهد	۱۰۳ ^b	۲۴/۴۳ ^b	۱۶ ^c	۱۵۲/۰۶ ^c	۳۴/۴ ^a	۱۸۶/۴۶ ^c	۲۶/۵۱ ^b
<i>R. aquatilis</i>	۱۱۲/۱۶ ^a	۲۶/۷۳ ^a	۱۷/۷۶ ^{bc}	۱۷۰/۸۶ ^b	۲۹/۹ ^{ab}	۲۰۰/۷۶ ^b	۲۷/۴۸ ^{ab}
<i>B. cepacia</i>	۱۱۴ ^a	۲۶/۶۳ ^a	۱۸/۳۳ ^b	۱۸۰/۲۶ ^b	۲۴/۷۶ ^{ab}	۲۰۵/۰۳ ^{ab}	۲۸/۱ ^a
<i>R + B</i>	۱۱۴/۶۶ ^a	۲۷/۲۶ ^a	۲۰/۶۶ ^a	۱۹۳/۱۶ ^a	۲۰/۱۶ ^b	۲۱۳/۳۳ ^a	۲۸/۶ ^a

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

علت افزایش ارتفاع را می‌توان به تأثیر باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد بر افزایش فتوسنتز و انتقال مواد فتوسنتزی بیشتر به نقاط مختلف گیاه از جمله ساقه دانست که نتیجه آن افزایش ارتفاع ساقه می‌باشد (ممتاز و همکاران ۲۰۱۷). در تحقیقی دیگر علت افزایش ارتفاع

بوته در زمان حضور باکتری افزایش‌دهنده رشد (*R. aquatilis* و *Enterobacter sp.*) نیز به تولید هورمون ایندول استیک اسید توسط این باکتری‌ها نسبت داده شد (بخشنده و همکاران ۲۰۱۴). محققین دیگر نیز افزایش ارتفاع گیاه برنج (رقم طارم‌هاشمی) را با تلقیح

هاشمی (۲۷/۰ سانتی‌متر)، در زمان کاربرد باکتری *Azospirillum* و کمترین میزان این صفت در تیمار شاهد (عدم تلقیح) (۲۳/۰ سانتی‌متر) مشاهده گردید.

تعداد پنجه در بوته

تعداد پنجه در بوته متأثر از تیمار تلقیح با باکتری افزایش یافته رشد قرار گرفت؛ اما تیمار سطوح کودی و اثر متقابل تیمارها روی صفت نامبرده اثر معنی‌داری نداشتند (جدول ۲). بر اساس نتایج به‌دست آمده بیشترین تعداد پنجه در بوته معادل ۲۰/۶۶ پنجه ثبت شد که متعلق به تیمار تلفیق باکتری‌های *R. aquatilis* و *B. cepacia* بود و موجب افزایش تعداد پنجه کل در بوته معادل ۲۹/۱ درصد نسبت به تیمار شاهد (عدم تلقیح) شد (جدول ۳). عدم تلقیح باکتری (تیمار شاهد) با ۲۲/۶ درصد کاهش تعداد پنجه در بوته نسبت به تلقیح ترکیبی باکتری‌های *R. aquatilis* و *B. cepacia* کمترین میزان تعداد پنجه در بوته را در بین تیمارهای تلقیح باکتری داشت (جدول ۳).

علت افزایش تعداد پنجه در زمان کاربرد ریزجانداران افزایش یافته رشد را می‌توان به افزایش حجم ریشه (قاسمی لمراسکی و همکاران ۲۰۱۴) و بهبود جذب آب و عناصر غذایی از قبیل نیتروژن، فسفر و پتاسیم توسط گیاه میزبان نسبت داد (وسی ۲۰۰۳). در همین راستا آزمایشی توسط اصغری و همکاران (۲۰۱۴) روی برنج رقم طارم هاشمی انجام شد. یافته‌های آن‌ها حاکی از این بود که تعداد پنجه‌های بارور تحت تأثیر تلقیح با باکتری *Psuedomonas sp.* قرار گرفت؛ به‌طوری‌که تعداد پنجه بارور در بوته به تعداد ۳/۲۱ عدد بیشتر از تیمار شاهد بود. در مطالعه دیگر، افزایش ۴۸ درصدی تعداد پنجه کل در بوته در تلقیح ریشه گیاهچه برنج (جایا) با باکتری *P. fluorescens* گزارش شد (شارما و همکاران ۲۰۱۴). بخشنده و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند بکارگیری باکتری‌های حل‌کننده فسفات موجب افزایش ۱۵ تا ۳۴ درصدی تعداد پنجه در بوته برنج نسبت به شاهد شد.

باکتری‌های *Enterobacter sp.*، *P. ananatis* و *R. aquatilis* در آزمایش گلدانی به‌ترتیب ۸/۱۰، ۷/۷۱ و ۴/۰۹ درصد و در آزمایش مزرعه‌ای به‌ترتیب ۱/۱۴، ۱۵/۱ و ۱۰/۸ درصد بیشتر از تیمار شاهد (عدم تلقیح باکتری) گزارش نمودند (بخشنده و همکاران ۲۰۱۷). حسین و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که ارتفاع بوته گندم در زمان تلقیح همزمان باکتری‌های *Paenibacillus polymyxa* ZM27 و *B. aryabhatai* S10، ۱۹ درصد بیشتر از تیمار شاهد (بدون باکتری) بود.

طول خوشه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس تیمار سطوح کودی و همچنین اثر متقابل تیمارهای آزمایش تأثیر معنی‌داری بر صفت طول خوشه نداشت؛ اما صفت مذکور تحت تأثیر تیمارهای مختلف تلقیح باکتری افزایش یافته رشد قرار گرفت (جدول ۲). نتایج به‌دست آمده گویای این مطلب بود که میزان طول خوشه در زمان حضور باکتری (*R. aquatilis*، *B. cepacia* و تلقیح ترکیبی) نسبت به تیمار شاهد به طور معنی‌داری بیشتر بود. به عبارت دیگر، حداقل مقدار طول خوشه در تیمار شاهد (عدم تلقیح باکتری) (۲۴/۴۳ سانتی‌متر) و حداکثر مقدار این صفت در تیمار تلقیح ترکیبی (۲۷/۲۶ سانتی‌متر) و پس از آن کاربرد باکتری *R. aquatilis* (۲۶/۷۳ سانتی‌متر) و *B. cepacia* (۲۶/۶۳ سانتی‌متر) مشاهده شد که به‌ترتیب نشان‌دهنده ۱۱/۶، ۹/۴ و ۹/۰ درصد افزایش طول خوشه نسبت به تیمار شاهد (عدم تلقیح باکتری) نیز می‌باشد (جدول ۳).

علت افزایش این صفت را می‌توان به نقش مثبت باکتری‌های افزایش یافته رشد در جذب آب و مواد غذایی به واسطه توسعه بیشتر ریشه‌ها (شاران و ال-اسمی ۱۹۹۹) سنتز هورمون ایندول استیک اسید و انحلال عناصر نامحلول توسط این باکتری‌ها (لاواکوش و همکاران ۲۰۱۴) و همچنین تولید هورمون جیبرلین، اکسین و فیتوهورمون‌ها به‌واسطه باکتری‌های افزایش یافته رشد و به دنبال آن افزایش انشعابات و طول خوشه نسبت داد (اصغری و همکاران ۲۰۱۴). مصلحی و همکاران (۲۰۱۶) اظهار داشتند بیشترین میزان طول خوشه برنج رقم طارم

تعداد دانه پر، دانه پوک و دانه کل در خوشه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس سطح کودی و اثر متقابل تیمارهای آزمایش نتوانستند روی صفت تعداد دانه پر، دانه پوک و دانه کل در خوشه اثر معنی‌داری داشته باشند؛ اما صفات مذکور تحت تاثیر تیمار تلقیح با باکتری افزاینده رشد قرار گرفتند (جدول ۲). با توجه به نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر اصلی تیمارها، بیشترین تعداد دانه پر در خوشه (۱۹۳/۱۶ دانه) در تیمار تلقیح ترکیبی باکتری افزاینده رشد (*R. aquatilis*+*B. cepacia*) ثبت شد. به طوری که، میزان افزایش دانه پر در خوشه در زمان کاربرد ترکیبی باکتری‌های افزاینده رشد *R. aquatilis* و *B. cepacia* معادل ۲۷/۰ درصد نسبت به تیمار شاهد بدست آمد (جدول ۳). همچنین نتایج نشان داد که بیشترین تعداد دانه پوک در خوشه (۳۴/۴ دانه) در تیمار شاهد (عدم تلقیح با باکتری) مشاهده گردید و کاربرد ترکیبی باکتری افزاینده رشد *R. aquatilis* و *B. cepacia* سبب کاهش ۴۱/۴ درصدی تعداد دانه پوک در خوشه نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ۳).

بیشینه (۲۱۳/۳۳ دانه) و کمینه (۱۸۶/۴۶ دانه) تعداد دانه کل در خوشه، به ترتیب در تیمار کاربرد ترکیبی باکتری‌های افزاینده رشد (*R. aquatilis*+*B. cepacia*) و تیمار شاهد رویت گردید. کاربرد ترکیبی باکتری‌های افزاینده رشد (*R. aquatilis*+*B. cepacia*) بدون داشتن تفاوت آماری معنی‌دار با کاربرد جداگانه *B. cepacia* و با میانگین ۱۴/۴ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد، تعداد دانه کل برتر از سایر تیمارها بود (جدول ۳). در پژوهشی دیگر، محمدی و همکاران (۲۰۱۱) دلیل افزایش تعداد دانه در غلاف نخود (*Cicer arietinum* L.) را فراهمی عناصر غذایی و سرکوب کردن بیمارگرهای گیاهی توسط ریزجانداران افزاینده رشد (*Trichoderma* و *Enterobacter*) گزارش کردند. در آزمایش ویاد و همکاران (۲۰۱۴) حداکثر تعداد دانه در هر خوشه به طور میانگین در ارقام برنج PD16 و NDR359 در زمان تلقیح با باکتری *Burkholderia* sp. مشاهده شد که ۱۲/۸ درصد بیشتر از تیمار شاهد (بدون باکتری و کود روی) و ۷/۴ درصد بیشتر از تیمار کاربرد روی بدون تلقیح باکتری بود. عبد ال-مجید و همکاران (۲۰۱۷) تعداد دانه

پر و پوک در هر خوشه برنج رقم طارم هاشمی را در تیمار باکتری *Rhizobia* به همراه سه چهارم مصرف کود نیتروژنه در آزمایش سال اول، به ترتیب ۱۵۰/۲ و ۷/۸۶ دانه و در سال دوم، به ترتیب ۱۴۱/۴ و ۱۰/۱ دانه گزارش کردند که به طور معنی‌داری از تیمار شاهد (در سال اول به ترتیب ۱۰۳/۹ و ۶/۶ دانه و در سال دوم به ترتیب ۹۵/۲ و ۵/۹۰ دانه در خوشه) بیشتر بود.

وزن هزار دانه

نتایج تجزیه واریانس حاکی از آن بود که وزن هزار دانه در سطح آماری پنج درصد تحت تاثیر تلقیح با باکتری‌های افزاینده رشد قرار گرفت. ولی این صفت متأثر از تیمار سطوح کودی و اثر متقابل تیمارهای آزمایش قرار نگرفت (جدول ۲). بر اساس نتایج مقایسات میانگین، بالاترین وزن هزار دانه (۲۸/۶ گرم)، در تیمار کاربرد ترکیبی باکتری‌های افزاینده رشد *B. cepacia* + *R. aquatilis* حاصل شد. کاربرد جداگانه باکتری *B. cepacia* و *R. aquatilis* نیز به ترتیب با ۲۸/۱ و ۲۷/۴۸ گرم وزن هزار دانه در رتبه بعدی پس از تیمار کاربرد ترکیبی باکتری‌های افزاینده رشد قرار گرفته و تفاوت آماری چندانی با تیمار نامبرده نداشتند (جدول ۳). عدم کاربرد باکتری (تیمار شاهد) موجب کاهش ۷/۳ درصدی وزن هزار دانه نسبت به کاربرد ترکیبی باکتری (*R. aquatilis*+*B. cepacia*) گردید و با کاربرد جداگانه باکتری *R. aquatilis* در یک گروه آماری قرار گرفت (جدول ۳).

افزایش مقدار وزن هزار دانه در زمان کاربرد ریزجانداران افزاینده رشد را می‌توان به دلیل نقش مثبت آن‌ها در جذب آب و عناصر غذایی غیرقابل جذب یا دور از دسترس گیاه و انتقال آن‌ها به گیاه میزبان دانست که منجر به افزایش تولید آسیمیلات‌ها و انتقال کافی شیره پرورده به دانه و در نهایت افزایش وزن هزار دانه می‌شوند (نیایش‌پور و همکاران ۲۰۱۷). حسین و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که کاربرد باکتری‌های افزاینده رشد (*B. subtilis* ZM63، *P. polymyxa* ZM27 و *B. aryabhattai* S10) به صورت ترکیبی و جداگانه وزن هزار دانه گندم را به طور معنی‌داری افزایش دادند. طی پژوهشی دیگر گزارش شد که وزن هزار دانه برنج

(رقم سخا ۱۰۷) در تیمار تلقیح همزمان گیاهچه با باکترهای *B. subtilis* و *B. megaterium* ۲۳ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش نشان داد (کوبا و همکاران ۲۰۲۱). عبدال-مجید و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند وزن هزار دانه برنج (رقم سخا ۱۰۷) در تیمار تلقیح همزمان گیاهچه با باکترهای *B. subtilis* و *B. megaterium* ۲۳ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش نشان داد.

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد هر چند که سطوح کودی و اثر متقابل تیمارهای آزمایش روی عملکرد دانه برنج اثر معنی‌داری نداشتند؛ اما این صفت تحت تاثیر تلقیح باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد قرار گرفت (جدول ۴). نتایج مقایسات میانگین حاکی از آن بود که بیشینه عملکرد دانه برنج (۷۶۲۱/۸ کیلوگرم در هکتار) در تیمار کاربرد ترکیبی باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد *R. aquatilis*+*B. cepacia* رویت شد و تفاوت آماری چندانی با کاربرد جداگانه باکتری *B. cepacia* و *R. aquatilis* نداشت (شکل ۱). عدم کاربرد باکتری (تیمار شاهد) سبب کاهش ۲۰/۱ درصدی عملکرد دانه نسبت به تیمار کاربرد ترکیبی باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد گردید و کمترین میزان این صفت (۶۰۸۸/۲ کیلوگرم در هکتار) را به خود اختصاص داد (شکل ۱).

علت افزایش عملکرد را می‌توان به افزایش جذب عناصر غذایی تحت تأثیر ریزجانداران افزایش‌دهنده رشد در ناحیه ریشه نسبت داد. کاظمی و میرهاشمی (۲۰۱۷) گزارش کردند که باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد می‌توانند از طریق افزایش فراهمی مواد غذایی، تسهیل جذب آب و عناصر غذایی، جلوگیری از عوامل بیماری‌زا و القاء مقاومت سیستماتیک موجب افزایش عملکرد گیاه میزبان شوند. همچنین توانایی ساخت اکسین و هورمون‌های محرک، انواع ویتامین‌ها شامل ویتامین‌های گروه B، انواع اسیدهای آمینه و سنتز مواد برای مقابله با بیماری‌های قارچی از امتیازات این باکتری‌ها به حساب می‌آیند (میگهد و همکاران ۲۰۱۱). محققین دیگر، علت افزایش عملکرد برنج تلقیح شده با باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد را تولید هورمون اکسین و انحلال مواد معدنی نامحلول توسط این باکتری‌ها عنوان کردند (احمد و کبیرت ۲۰۱۴). ابراهیمی چمنی و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند که تلقیح گیاهچه برنج شیرودی با باکتری *Pseudomonas sp.* عملکرد شلتوک را ۱۱/۷ درصد افزایش داد. راجاپاکشا و همکاران (۲۰۱۱) نیز اظهار داشتند که تلقیح همزمان باکتری‌های *Bacillus sp.* و *Enterobacter gergovie* به ترتیب موجب افزایش ۲۵ تا ۳۲ درصدی عملکرد دانه برنج رقم‌های BG300 و BG353 در شرایط آزمایش گلدانی و افزایش ۲۲ تا ۲۷ درصدی این ارقام در شرایط آزمایش مزرعه‌ای شد.

جدول ۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و میزان پتاسیم و روی در دانه و اندام هوایی برنج تحت تأثیر سطوح مختلف کودی و تلقیح با باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد

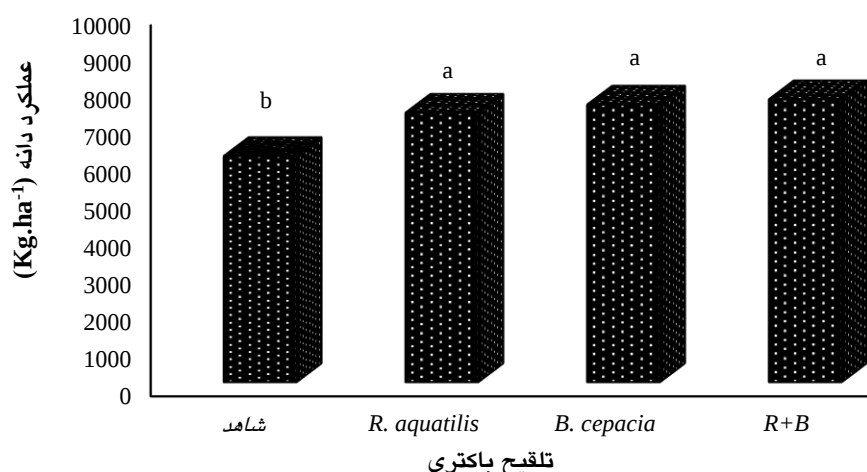
منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	پتاسیم		روی	
				دانه	اندام هوایی	دانه	اندام هوایی
بلوک	۲	۴۷۷۲۴۹۴/۰۴ ^{ns}	۱۰۷۵۱۱۵۱/۳۲ ^{ns}	۲۵/۴۵ ^{ns}	۲۶۹/۳۱ ^{ns}	۰/۰۱۶ ^{ns}	۰/۰۰۳ ^{ns}
سطوح کود شیمیایی	۱	۲۷۳۳۷۵۰ ^{ns}	۲۰۶۶۰۶۲۱/۵۴ ^{ns}	۲۴/۸۹ ^{ns}	۳۲۵۴/۷۳ ^{ns}	۰/۰۶۳ ^{ns}	۰/۰۱۱ ^{ns}
تلقیح باکتری	۳	۲۹۲۵۶۰۳/۸۳ *	۷۸۶۵۸۳۴/۲ *	۳۰/۸۴ *	۱۳۳۲/۷۷ *	۰/۰۳۷ *	۰/۰۱۶ *
تلقیح باکتری × سطوح کودی	۳	۶۰۷۸۸/۱ ^{ns}	۱۰۲۱۶۳/۹ ^{ns}	۴/۷۵ ^{ns}	۵۰۶/۵۷ ^{ns}	۰/۰۲۸ ^{ns}	۰/۰۱۲ ^{ns}
خطا	۱۲	۶۸۴۴۳۹/۱۴	۳۸۱۰۰۲۲/۴	۸/۶۸	۵۳۹/۵۱	۰/۰۱۱	۰/۰۰۶
ضریب تغییرات (%)	-	۱۱/۶۳	۱۳/۰۳	۲۱/۳۶	۲۳/۶۰	۲۷/۰۴	۲۶/۸۷

^{ns} و *؛ به ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح پنج می‌باشد.

عملکرد بیولوژیک

نتایج تجزیه واریانس حاکی از آن بود که عملکرد بیولوژیک برنج متأثر از تلقیح باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد قرار گرفت ولی سطوح کودی و اثر متقابل تیمارهای آزمایش نتوانستند اثر معنی‌داری روی عملکرد بیولوژیک برنج داشته باشند (جدول ۴). اثر تلقیح باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد بر عملکرد بیولوژیک نشان داد که بیشترین مقدار این صفت با ۱۶۱۹۰ کیلوگرم در هکتار در تیمار کاربرد ترکیبی باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد *R. aquatilis+B. cepacia* مشاهده شد و افزایش ۲۰/۶ درصدی عملکرد بیولوژیک را نسبت به تیمار شاهد موجب شد (شکل ۲). شایان ذکر است که از نظر آماری

اختلاف معنی‌داری بین کاربرد ترکیبی و جداگانه باکتری‌های *B. cepacia* و *R. aquatilis* وجود نداشت (شکل ۲). کم‌ترین میزان عملکرد بیولوژیک نیز با ۱۳۴۲۵ کیلوگرم در هکتار در تیمار شاهد (عدم تلقیح با باکتری) مشاهده شد؛ که با تیمارهای کاربرد جداگانه باکتری‌های *B. cepacia* و *R. aquatilis* در یک گروه آماری قرار گرفت (شکل ۲). اسمیت و همکاران (۲۰۰۸) بیان کردند که همزیستی میکوریزی سبب افزایش جذب عناصر کم‌تحرک شده و آن‌ها را به صورت قابل جذب برای گیاه در می‌آورد که بر رشد و عملکرد گیاه میزبان تأثیرگذار می‌باشد.



شکل ۱- تأثیر تلقیح با ریز جانداران افزایش‌دهنده رشد بر عملکرد دانه برنج

حروف مشترک در هر تیمار تلقیح باکتری نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار از لحاظ آماری در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

میزان پتاسیم در دانه و اندام‌های هوایی

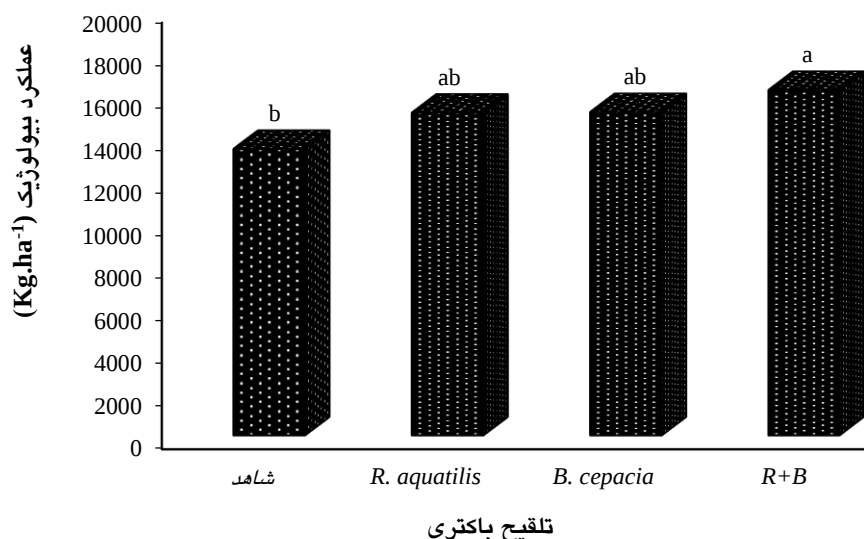
تلقیح باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد تأثیر معنی‌داری بر میزان پتاسیم دانه و اندام هوایی برنج داشت، درحالی‌که بین سطوح کودی کاهش‌یافته و مطلوب و همچنین اثر متقابل تیمارهای آزمایش از نظر این صفات اختلاف آماری معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۴). طبق نتایج، پایین‌ترین مقدار پتاسیم در دانه (۱۰/۴۸ کیلوگرم در هکتار) و اندام هوایی (۷۹/۱۹ کیلوگرم در هکتار) در شرایط عدم تلقیح باکتری مشاهده شد (جدول ۵). حضور باکتری به‌صورت تلقیح جداگانه *R. aquatilis*، *B. cepacia* و ترکیبی (*R. aquatilis+B. cepacia*) به‌ترتیب

موجب افزایش پتاسیم دانه به‌میزان ۳۴/۷، ۴۴/۶ و ۴۶/۷ درصد و پتاسیم اندام هوایی به‌میزان ۲۳/۲، ۲۸/۲ و ۴۵/۶ درصد نسبت به تیمار شاهد (عدم تلقیح باکتری) شد (جدول ۵). لازم به ذکر است از نظر میزان پتاسیم در دانه و اندام هوایی برنج، بین تیمارهای کاربرد جداگانه و نیز ترکیبی باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد تفاوت آماری چندانی مشاهده نگردید و همگی در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۵).

در مطالعه دیگر گیلانی و همکاران (۲۰۱۸) اظهار داشتند که تلقیح همزمان باکتری (*P. ananatis*) و قارچ (*P. indica*) در گیاه برنج رقم طارم محلی (به‌عنوان

بهترین تیمار) موجب افزایش معنی‌دار ۲۲/۱ درصدی جذب پتاسیم دانه نسبت به تیمار شاهد شد و علت این افزایش را توسعه بیشتر ریشه‌ها در زمان حضور ریزجانداران و در نهایت جذب بیشتر عناصر غذایی گزارش کردند. رامش و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که باکتری *E. cloacae* از طریق کاهش pH و تولید ایندول استیک اسید در ریزوسفر منجر به افزایش جذب بیشتر عناصر روی و پتاسیم در اندام‌های هوایی گندم و سویا (*Glycine max* L.) (به ترتیب ۵۰/۰ و ۲۴/۱ درصد

برای روی و ۷/۶۹ و ۸/۷۹ درصد برای پتاسیم) و دانه (به ترتیب ۳۶/۵ و ۳۲/۷ درصد برای روی و ۱۳/۳ و ۴/۲۱ درصد برای پتاسیم) نسبت به تیمار شاهد گردید. طی پژوهشی محققین بیان کردند که کاربرد همزمان باکتری‌های *P. agglomerans* و *R. aquatilis* ۲/۵ برابر جذب پتاسیم توسط دانه را در گیاه برنج (رقم پژوهش) نسبت به تیمار عدم تلقیح باکتری افزایش دادند (یعقوبی خانقاهی و همکاران ۲۰۱۸).



شکل ۲- تأثیر تلقیح با ریز جانداران افزاینده رشد بر عملکرد بیولوژیک برنج

حروف مشترک در هر تیمار تلقیح باکتری نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار از لحاظ آماری در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر ساده تلقیح باکتری بر میزان پتاسیم و روی در دانه و اندام هوایی برنج

روى		پتاسیم		تیمارهای آزمایش
اندام هوایی (Kg.ha ⁻¹)	دانه (Kg.ha ⁻¹)	اندام هوایی (Kg.ha ⁻¹)	دانه (Kg.ha ⁻¹)	
تلقیح باکتری				
۰/۱۷ ^b	۰/۱۶ ^b	۷۹/۱۹ ^b	۱۰/۴۸ ^b	شاهد
۰/۱۸ ^b	۰/۲۴ ^{ab}	۹۷/۵۶ ^{ab}	۱۴/۱۲ ^{ab}	<i>R. aquatilis</i>
۰/۲۰ ^{ab}	۰/۳۲ ^a	۱۰۱/۵۵ ^{ab}	۱۵/۱۶ ^a	<i>B. cepacia</i>
۰/۲۹ ^a	۰/۳۳ ^a	۱۱۵/۳۳ ^a	۱۵/۳۷ ^a	<i>R + B</i>

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

متقابل تیمارهای آزمایش تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد. در حالی‌که تلقیح باکتری‌های افزاینده رشد بر صفات مذکور تأثیر معنی‌داری داشت (جدول ۴). نتایج

میزان روی در دانه و اندام‌های هوایی
از نظر میزان روی در دانه و اندام‌های هوایی بین تیمارهای کودی کاهش‌یافته و مطلوب و همچنین اثر

مقایسه میانگین نشان داد که میزان روی در دانه و اندام‌های هوایی به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر تلقیح جداگانه و ترکیبی باکتری‌های *R. aquatilis* و *B. cepacia* قرار گرفت. به عبارت دیگر، کمترین مقدار روی در دانه و اندام‌های هوایی در تیمار شاهد (به‌ترتیب ۰/۱۶ و ۰/۱۷ کیلوگرم در هکتار) و بیشترین میزان این صفات در زمان کاربرد ترکیبی باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد مشاهده شد که از نظر آماری با تیمار کاربرد جداگانه باکتری‌های *R. aquatilis* و *B. cepacia* در صفت میزان روی در دانه و همچنین با تیمار کاربرد جداگانه باکتری *B. cepacia* برای صفت میزان روی در اندام هوایی در یک گروه قرار گرفتند؛ اما افزایش چشمگیری نسبت به شاهد نشان داد؛ به‌گونه‌ای که مقدار این افزایش برای دانه ۱۰۶/۲۵ درصد و اندام‌های هوایی ۷۰/۵۸ درصد بود (جدول ۵). علت افزایش میزان روی با کاربرد ترکیبی باکتری‌ها را می‌توان به نقش باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد در تبدیل عناصر غذایی از شکل غیرقابل دسترس به شکل قابل دسترس برای گیاه میزبان نسبت داد (کشاورز و همکاران، ۲۰۱۳). در آزمایش ناهر و همکاران (۲۰۱۶) کاربرد کودهای شیمیایی (NPK) به‌همراه کود زیستی (باکتری‌های *Burkholderia* sp. و *Bacillus* sp.) در برنج رقم MR219 موجب افزایش مقدار پتاسیم و روی در دانه به‌ترتیب ۰/۳۲ و ۱/۵۵ درصد نسبت به تیمار بدون کود زیستی و شیمیایی شد.

نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی، نتایج نشان داد که از نظر صفات مورد مطالعه، بین سطوح کودی کاهش‌یافته و مطلوب اختلاف معنی‌دار وجود نداشت. درحالی‌که، استفاده از

منابع مورد استفاده

- Abdel-Megeed TM, El-Habet HB and Elsadany AY. 2017. Response of some rice cultivars to rhizobacteria (PGPR), different rates of nitrogen fertilizer and its combinations under flooding condition. Journal of Plant Production, 8(3): 381-389. <https://doi.org/10.21608/jpp.2017.39974>
- Ahemad M and Kibret M. 2014. Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: current perspective. Journal of King Saud University Science, 26(1): 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2013.05.001>
- Asghari J, Ehteshami SMR, Rajabi Darvishan Z and Khavazi K. 2014. Study of root inoculation with plant growth promoting bacteria (PGPB) and spraying with their metabolites on chlorophyll content, nutrients

باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد سبب بهبود صفات مورد مطالعه برنج نسبت به تیمار شاهد (عدم تلقیح) شد. به عبارت دیگر، تلقیح ترکیبی باکتری‌های *R. aquatilis* و *B. cepacia* موجب افزایش ارتفاع بوته (۱۱/۳ درصد)، طول خوشه (۱۱/۶ درصد)، تعداد پنجه در بوته (۲۹/۱ درصد)، تعداد دانه پر (۲۷ درصد)، وزن هزار دانه (۷/۹ درصد)، عملکرد دانه (۲۵/۲ درصد) و عملکرد بیولوژیک (۲۰/۶ درصد) نسبت به تیمار شاهد (عدم تلقیح) شد. بیشترین مقدار پتاسیم در دانه و اندام هوایی (به‌ترتیب ۱۵/۲۷ و ۱۱۵/۳۳ کیلوگرم در هکتار) و مقدار روی در دانه و اندام هوایی (به‌ترتیب ۰/۲۹ و ۰/۳۳ کیلوگرم در هکتار) در تلقیح ترکیبی باکتری‌های مورد مطالعه رویت شد که نسبت به تیمار شاهد (عدم تلقیح باکتری) به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. بنابراین در بین تیمارهای مورد مطالعه می‌توان، تلقیح ترکیبی باکتری‌های *R. aquatilis* و *B. cepacia* را به‌عنوان تیمار برتر برای این منطقه پیشنهاد نمود. در مجموع می‌توان با مصرف کمتر کود شیمیایی و جایگزینی آن با کودهای زیستی، بدون تفاوت معنی‌دار در عملکرد و اجزای عملکرد برنج رقم امیر در جهت نیل به اهداف کشاورزی پایدار گام برداشت.

سپاسگزاری

به‌این وسیله از همکاری معاونت محترم پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری به‌خاطر حمایت‌های مالی پژوهش حاضر کمال تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

- uptake and yield in rice (Hashemi cultivar). Journal of Soil Biology, 2(1): 21-31. (In Persian) <https://doi.org/10.22092/sbj.2014.100088>
- Bahuguna A, Sharma S, Yadav J and Yadav N. 2020. Effect of biochar, carpet waste, FYM and PGPR on growth and yield of rice under organic farming system. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 9(3): 1450-1456. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.903.169>
- Bakhshandeh E, Davatgar F and Moradi H. 2022. Improvement of quantitative and qualitative characteristics of coriander using native zinc solubilizing bacteria and zinc sulfate under greenhouse condition. Journal of Horticultural Plants Nutrition, 5(1): 1-16. (In Persian) <https://doi.org/10.22070/HPN.2021.13506.1116>
- Bakhshandeh E, Rahimian H, Pirdashti HA 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(5): 1371-82. <https://doi.org/10.1111/jam.12938>
- Bakhshandeh E, Rahimian H, Pirdashti HA 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. <https://doi.org/10.1007/s11274-014-1669-1>
- Ebrahimi-Chamani H, Yasari E and Pirdashti HA. 2014. Effect of phosphate solubilizing bacteria and phosphorous level on rice (*Oryza sativa* L.). Agricultural Advances, 3: 56-66. <https://doi.org/10.14196/aa.v3i2.1096>
- 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), 244.
- Ghasemi Lemraski M, Normohamadi Gh, Madani H, Heidari Sharifabad H and Mobasser HR. 2014. Effect of silicon and potassium foliar application and nitrogen rates on yield and yield components of Iranian rice cultivars, Tarom Hashemi and Tarom Mahalli. New Finding in Agriculture, 9(1): 47-67. (In Persian)
- Ghazi S, Diab AM, Khalafalla MM and Mohamed RA. 2022. Synergistic effects of selenium and zinc oxide nanoparticles on growth performance, hemato- biochemical profile, immune and oxidative stress responses, and intestinal morphometry of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Biological Trace Element Research, 200: 364-374. <https://doi.org/10.1007/s12011-021-02631-3>
- Gilani Z, Pirdashti H and Bakhshandeh B. 2018. Effect of potassium fertilizer with *Piriformospora indica* and *Pantoea ananatis* on yield, yield components and potassium uptake of rice (cv. 'Tarom Mahalli'). Agricultural Science and Sustainable Production, 28(3): 43-54. (In Persian)
- Grüngreiff K, Gottstein T and Reinhold D. 2020. Zinc deficiency- An independent risk factor in the pathogenesis of haemorrhagic stroke? Nutrients, 12(11): 3548. <https://doi.org/10.3390/nu12113548>
- Hasanuzzaman M, Fujita M, Nahar K and Biswas JK. 2019. Advances in rice research for abiotic stress tolerance. United Kingdom: Woodhead Publishing.
- Hussain A, Ahmad M, Nafees M, Iqbal Z, Luqman M, Jamil M, Maqsood A, Mora-Poblete F, Ahmar S, Chen JT and Alyemeni MN. 2020. Plant-growth-promoting *Bacillus* and *Paenibacillus* species improve the nutritional status of *Triticum aestivum* L.. PLoS One, 15(12): e0241130. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0241130>
- Javadi M and Aminpanah H. 2016. Effect of *Azospirillum lipoferum* inoculation, previous crop, and usage nitrogen on rice (*Oryza sativa* L.) growth and yield. Journal of Ecophysiology, 10(2): 311-326. (In Persian)
- Kandil EE, El-Banna AA, Tabl DM, Mackled MI, Ghareeb RY, Al-Huqail AA, Ali HM, Jebril J and Abdelsalam NR. 2022. Zinc nutrition responses to agronomic and yield traits, kernel quality, and pollen viability in rice (*Oryza sativa* L.). Frontiers in Plant Science, 13: 791066. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.791066>
- Kazemi M and Mirhashmi M. 2017. Agroecology. Agricultural Education Research Publications, Mashhad, Iran. (In Persian)

- Keshavarz J, Aliasghar zad N, Oustan S, Emadi M and Ahmadi A. 2013. Isolation and characterization of potassium solubilizing bacteria in some Iranian soil. Archives of Agronomy and Soil Science, 59(12): 1713-1723. <https://doi.org/10.1080/03650340.2012.756977>
- Kobua CK, Jou YT and Wang YM. 2021. Advantages of amending chemical fertilizer with plant-growth-promoting rhizobacteria under alternate wetting drying rice cultivation. Agriculture, 11(7): 605. <https://doi.org/10.3390/agriculture11070605>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.10.013>
- Maathuis FJ. 2009. Physiological functions of mineral macronutrients. Current Opinion in Plant Biology, 12(3): 250-258. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2009.04.003>
- Meena VS, Meena SK, Verma JP, Kumar A, Aeron A, Mishra PK, Bisht JK, Pattanayak A, Naveed M and Dotaniya ML. 2016. Plant beneficial rhizospheric microorganism (PBRM) strategies to improve nutrients use efficiency: A review. Ecological Engineering, 107: 8-32. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.06.058>
- Migahed HA, Ahmed AE and Abd El-Ghany BF. 2004. Effect of different bacterial strains as biofertilizer agents on growth, production and oil of *Apium graveolens* under calcareous soil. Arab Universities Journal of Agricultural Science, 12(2): 511-525.
- Mohammadi K, Ghalavand A, Aghaalikhani M, Heidari G and Sohrabi Y. 2011. Introducing a sustainable soil fertility system for chickpea (*Cicer arietinum* L.). African Journal of Biotechnology, 10: 6011-6020.
- Moslehi N, Niknejad Y, Fallah Amoli H and Kheyri N. 2016. Effect of integrated application of chemical, organic and biological fertilizers on some of the morphophysiological traits of rice (*Oryza sativa* L.) Tarom Hashemi cultivar. Crop Physiology Journal, 8(3): 87-103. (In Persian)
- Mumtaz MZ, Ahmad M, Moazzam J and Tanveer H. 2017. Zinc solubilizing *Bacillus spp.* potential candidates for biofortification in maize. Microbiological Research, 202: 51-60. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2017.06.001>
- Naher UA, Panhwar QA, Othman R, Ismail MR and Berahim Z. 2016. Biofertilizer as a supplement of chemical fertilizer for yield maximization of rice. Journal of Agriculture Food and Development, 2(0): 16-22.
- Neiayeshpoor L, Marashi SK and Gilani A. 2017. Effect of *Pseudomonas* and chemical fertilizer of potassium sulfate on quantitative and qualitative characteristics of corn (*Zea mays* L.). Journal of Plant Production Science, 7(2): 103-113. (In Persian)
- Omidi H, Naghdi Badi H, Golzad A and Torabi HM.. 2009. The effect of chemical and biofertilizer source of nitrogen on qualitative and quantitative yield of Saffron (*Crocus sativus* L.). Journal of Medicinal Plants, 8(30): 98-109 (In Persian)
- Parmar P and Sindhu SS. 2013. Potassium solubilization by rhizosphere bacteria: influence of nutritional and environmental conditions. Journal of Microbiology Research, 3(1): 25-31. [doi:10.5923/j.microbiology.20130301.04](https://doi.org/10.5923/j.microbiology.20130301.04)
- Pirdashti HA and Shahsavarpour Lendeh Kh. 2017. Phosphate and potassium-solubilizing bacteria effect on the growth of rice. Ecological Engineering, 103: 164-169. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.03.008>
- Rajapaksha RMCP, Herath D, Senanayake AP and Senevirathne, M. GTL. 2011. Mobilization of rock phosphate phosphorus through bacterial inoculants to enhance growth and yield of wetland rice. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 42(3): 301-314. <https://doi.org/10.1080/00103624.2011.539084>
- Ramesh A, Sushil KS, Mahaveer PS, Namrata Y and Joshi Om P. 2014. Plant growth-promoting traits in *Enterobacter cloacae* subsp. *dissolvens* MDSR9 isolated from soybean rhizosphere and its impact on

- growth and nutrition of soybean and wheat upon inoculation. *Agricultural Research*, 1: 53-66. <https://doi.org/10.1007/s40003-014-0100-3>
- Sagar A. 2022. Synergistic effect of *Azotobacter nigricans* and nitrogen, phosphorus and potassium fertilizer on agronomic and yield traits of maize (*Zea mays* L.). *Frontiers in Plant Science*, 13: 952212. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.952212>
- Shaheen SM, Antoniadis V, Shahid M, Yang Y, Abdelrahman H, Zhang T, Hassan EE., Bibi I, Niazi NK, Younis SA, Almazroui M, Tsang YF, Sarmah AK, Kim KH and Rinklebe J. 2022. Sustainable applications of rice feedstock in agro-environmental and construction sectors: a global perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 153: 111791. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111791>
- Sharaan AN and El-Smie FSA. 1999. Response of wheat varieties to some environmental influences. (1999). Effect of seeding rates and N fertilization levels on growth and yield of two wheat varieties (*Triticum aestivum* L.). *Agriculture Science*, 44: 589-601. [10.22124/cjes.2022.5764](https://doi.org/10.22124/cjes.2022.5764)
- Sharaan AN and El-Smie FSA. 1999. Response of wheat varieties to some environmental influences. (1999). Effect of seeding rates and N fertilization levels on growth and yield of two wheat varieties (*Triticum aestivum* L.). *Agriculture Science*, 44: 589-601.
- Sharma A, Shankhdhar D and Shankhdhar SC. 2014. Growth promotion of the rice genotypes by PGPRs isolated from rice rhizosphere. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 14(2): 505-517. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162014005000040>.
- Smith SE and Read DJ. 2008. *Mycorrhizal Symbiosis*, third ed. Academic Press, London, UK. 47.
- Tilman D, Cassman KG, Matson PA, Naylor R and Polasky S. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418: 671-677. <https://doi.org/10.1038/nature01014>
- Vaid SK, Kumar B, Sharma A, Shukla AK and Srivastava PC. 2014. Effect of Zn solubilizing bacteria on growth promotion and Zn nutrition of rice. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 14(4): 889-910.
- Vessey JK. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*, 255(2): 571-586.
- Yaghoubi Khanghahi M, Ricciuti P, Allegretta I, Terzano R and Crecchio C. 2018. Solubilization of insoluble zinc compounds by zinc solubilizing bacteria (ZSB) and optimization of their growth conditions. *Environmental Science and Pollution Research*, 25: 25862-25868. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2638-2>
- Zad Behtouei M, Seyed Sharifi R and Khalilzadeh R. 2019. Effect of nitrogen and biofertilizers on yield, nitrogen use efficiency and some morpho physiological traits of rice (*Oryza sativa* L.). *Cereal Research*, 8(4): 409-421. (In Persian) [10.22124/c.2019.10772.1407](https://doi.org/10.22124/c.2019.10772.1407)
- Zorb C, Senbayram M and Peiter E. 2014. Potassium in agriculture-status and perspectives. *Journal of Plant Physiology*, 171: 656-669. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2013.08.008>