University of Tehran Press

Journal of Crops Improvement

Online ISSN: 2345-6957

Homepage: https://jci.ut.ac.ir/

Improving the Growth, Yield and Uptake of Potassium and Zinc Elements in Rice (*Oryza sativa* L.) Affected by the Plant Growth Promoting Rhizobacteria under Optimal and Reduced Levels of Chemical Fertilizers

Esmaeil Bakhshandeh[1]✉ | Hemmatollah Pirdashti[2] | Fezzeh Gholitabar Faramarzi[3] | Tayebeh Zholideh Rodposhti[4] | Faezeh Zaefarian[5]

1. Corresponding author, Genetics and Agricultural Biotechnology Institute of Tabarestan (GABIT), Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (SANRU), Sari, Iran. E-mail: e.bakhshandeh@sanru.ac.ir
2. Department of Agronomy, Genetics and Agricultural Biotechnology Institute of Tabarestan (GABIT), Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (SANRU), Sari, Iran. E-mail: h.pirdashti@sanru.ac.ir
3. Department of Agronomy, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. E-mail: f.gholitabar@sanru.ac.ir
4. Department of Agronomy, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. E-mail: t.zholideh@sanru.ac.ir
5. Department of Agronomy, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. E-mail: f.zaefarian@sanru.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 17 August 2023
Received in revised form
26 April 2024
Accepted 12 May 2024
Published online 12 June 2024

Keywords:
Potassium and zinc solubilizing bacteria
Rice
Sustainable agriculture
Yield components

ABSTRACT

Objective: This study was performed to evaluate the effect of *Rahnella aquatilis* and *Burkholderia cepacia* bacteria on yield, yield components, and uptake of potassium and zinc elements in rice (*Oryza sativa* L.).

Methods: The experiment was conducted as a split-plot in a randomized complete block design with three replications in 2022. Treatments included two levels of chemical fertilizer (100 and 75% of chemical fertilizer consumption based on the soil test results as optimal and reduced fertilizer levels, respectively) and four inoculation treatments (separate inoculation of *R. aquatilis*, *B. cepacia*, a co-inoculation (*R.aquatilis+B.cepacia*) and control (non-inoculation)).

Results: The results indicated that there was no significant difference between the optimal and reduced fertilizer levels in all the studied traits. The separate inoculation of *R. aquatilis*, *B.cepacia* and their co-inoculation increased the panicle length (from 5.88 to 11.3%), the number of total tillers in hill^{-1} (from 19.4 to 29.1%), the total number of grains in panicle^{-1} (from 22.8 to 46.5%), paddy yield (from 22.8 to 44.3%), biological yield (from 20.3 to 33.6%), 1000-seed weight (from 2.4 to 8.8%), potassium uptake in grain (from 6.0 to 41.4%) and in above-ground biomass (from 38.4 to 65.4%), zinc uptake in grain (from 6.29 to 40.9%) and in above-ground biomass (29.4 to 54.6%) as compared with the control (non-inoculation).

Conclusion: The application of plant growth-promoting rhizobacteria in combination (as the best inoculation treatment) reduced chemical fertilizers consumption without a significant reduction in the paddy yield, indicating the importance of these rhizobacteria for achieving sustainable agriculture goals.

Cite this article: Bakhshandeh, E., Pirdashti, H., Gholitabar Faramarzi, F., Zholideh Rodposhti, t., & Zaefarian, F. (2024). Improving the Growth, Yield and Uptake of Potassium and Zinc Elements in Rice (*Oryza sativa* L.) Affected by the Plant Growth Promoting Rhizobacteria under Optimal and Reduced Levels of Chemical Fertilizers. *Journal of Crops Improvement*, 26 (2), 275-291. DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2024.363304.2839

© The Authors.
Publisher: The University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2024.363304.2839

انتشارات دانشگاه تهران

به زراعی کشاورزی

شاپا الکترونیکی: ۶۹۵۷-۲۳۴۵

Homepage: https://jci.ut.ac.ir/

بهبود رشد، عملکرد و جذب عناصر پتاسیم و روی در برنج (*Oryza sativa* L.) تحت تأثیر باکتری‌های افزاینده رشد در سطوح مطلوب و کاهش‌یافته کودهای شیمیایی

اسماعیل بخشنده[۱] | همت‌اله پیردشتی[۲] | فضه قلی‌تبار فرامرزی[۳] | طیبه ژولیده رودپشتی[۴] | فائزه زعفریان[۵]

۱. نویسنده مسئول، پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: e.bakhshandeh@sanru.ac.ir

۲. گروه زراعت، پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: h.pirdashti@sanru.ac.ir

۳. گروه زراعت، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران. رایانامه: f.gholitabar@sanru.ac.ir

۴. گروه زراعت، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: t.zholideh@sanru.ac.ir

۵. گروه زراعت، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: f.zaefarian@sanru.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۲۶
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۲/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۲۳
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۳/۲۳

کلیدواژه‌ها:
اجزای عملکرد
باکتری حل‌کننده پتاسیم و روی
برنج
کشاورزی پایدار

چکیده

هدف: این مطالعه به‌منظور ارزیابی تأثیر باکتری‌های *Rahnella aquatilis* و *Burkholderia cepacia* بر عملکرد، اجزای عملکرد و جذب عناصر پتاسیم و روی در برنج انجام شد.

روش پژوهش: آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۴۰۱ انجام شد. تیمارها شامل دو سطح کودی (۱۰۰ و ۷۵ درصد مصرف کود براساس نتایج آزمون خاک به‌ترتیب سطح کودی مطلوب و کاهش‌یافته) و چهار تیمار تلقیح با باکتری (تلقیح جداگانه هر یک از باکتری‌ها *R. aquatilis*، *B. cepacia* و ترکیبی (*R.aquatilis+B.cepacia*) و شاهد (عدم تلقیح)) بودند.

یافته‌ها: طبق نتایج بین سطوح کودی مطلوب و کاهش‌یافته اختلاف آماری معنی‌دار بین صفات وجود نداشت. تلقیح جداگانه هر یک از باکتری‌ها *R. aquatilis*، *B. cepacia* و ترکیبی موجب افزایش صفات طول خوشه (از ۵/۸۸ تا ۱۱/۳ درصد)، تعداد پنجه کل در کپه (از ۱۹/۴ تا ۲۹/۱ درصد)، تعداد دانه پر در خوشه (از ۲۲/۸ تا ۴۶/۵ درصد)، عملکرد شلتوک (از ۲۲/۸ تا ۴۴/۳ درصد)، عملکرد بیولوژیکی (از ۲۰/۳ تا ۳۳/۶ درصد)، وزن هزاردانه (از ۲/۴ تا ۸/۸ درصد)، مقدار پتاسیم در دانه (از ۶/۰ تا ۴۱/۴ درصد)، مقدار پتاسیم در اندام‌های هوایی (از ۳۸/۴ تا ۶۵/۴ درصد)، مقدار روی در دانه (از ۶/۲ تا ۴۰/۹ درصد) و مقدار روی در اندام‌های هوایی (از ۲۹/۴ تا ۵۴/۶ درصد) نسبت به تیمار شاهد شد.

نتیجه‌گیری: کاربرد باکتری‌های افزاینده رشد به‌صورت ترکیبی (بهترین تیمار تلقیح) بدون کاهش معنی‌دار عملکرد موجب کاهش مصرف کودهای شیمیایی شد که نشان‌دهندهٔ اهمیت استفاده از این باکتری‌ها جهت رسیدن به اهداف کشاورزی پایدار است.

استناد: بخشنده، اسماعیل؛ پیردشتی، همت‌اله؛ قلی‌تبار فرامرزی، فضه؛ ژولیده رودپشتی، طیبه و زعفریان، فائزه (۱۴۰۳). بهبود رشد، عملکرد و جذب عناصر پتاسیم و روی در برنج (*Oryza sativa* L.) تحت تأثیر باکتری‌های افزاینده رشد در سطوح مطلوب و کاهش‌یافته کودهای شیمیایی. *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۶ (۲)، ۲۹۱-۲۷۵. DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2024.363304.2839

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

۱. مقدمه

برنج[1] از جمله گیاهان زراعی مهم دنیا هست که سالانه حدود ۳۵ تا ۷۰ درصد از کالری موردنیاز را برای حدود سه میلیارد نفر تأمین می‌نماید (فائو[2]، ۲۰۲۱). در دنیا سطح زیر کشت این محصول برابر ۱۶۴ میلیون هکتار می‌باشد که سهم ایران معادل ۶۵۰ هزار هکتار با تولید متوسط ۴۶۶۰ کیلوگرم در هکتار است (آمارنامه جهاد کشاورزی، ۱۴۰۰). در مجموع، حدود ۷۶ درصد از زمین‌های کشاورزی در استان‌های مازندران، گیلان و گلستان به کشت این محصول اختصاص دارد که استان مازندران به تنهایی حدود ۴۲ درصد از کل تولید شلتوک کشور را تولید می‌نماید (آمارنامه جهاد کشاورزی، ۱۴۰۰).

بعد از نیتروژن و فسفر، پتاسیم به‌عنوان سومین عنصر پرمصرف برای گیاهان محسوب می‌شود. این عنصر نقش مهمی در رشد و توسعه گیاه ایفا می‌کند. در مزارع برنج پتاسیم برابر با نیتروژن و بسیار فراتر از فسفر اهمیت دارد (بخشنده[3] و همکاران، ۲۰۲۰). این عنصر هم‌چنین در متابولیسم گیاه اثرگذار بوده و با تأثیرگذاری مثبت بر فرایندهای رشدی گیاه، افزایش مقاومت به بیماری‌ها و تنش‌های زنده و غیرزنده موجب بهبود رشد گیاه می‌گردد (مصطفی[4] و همکاران، ۲۰۲۲). عنصر روی به‌عنوان یکی از عناصر مهم در فرایند اکسیداسیون سلول‌های گیاهی، در انتقال کربوهیدرات‌ها و تولید کلروفیل و تشکیل اکسین نقش مهمی دارد (قاسمی و همکاران، ۱۳۹۳). کمبود این عنصر در جهان پس از کمبود نیتروژن و فسفر، به‌عنوان عامل مهم محدودکننده رشد برنج یاد شده است (یعقوبی خانقاهی[5] و همکاران، ۲۰۱۸). بنابراین، برای استفاده بهتر گیاهان از عناصر موردنیاز جهت تولید عملکرد بهینه، کاربرد کودهای شیمیایی اجتناب‌ناپذیر شده است. اما افزایش قیمت، اتمام منابع اولیه و آلودگی‌های زیست‌محیطی به‌دلیل کاربرد بیش از اندازه کودهای شیمیایی پژوهش‌گران را بر آن داشت تا از روش‌های جایگزین برای کاهش مصرف کودهای شیمیایی استفاده نمایند (شهسوارپورلنده و همکاران، ۱۳۹۷؛ امیریوسفی و همکاران، ۱۴۰۱).

بسیاری از پژوهش‌گران استفاده از کودهای زیستی شامل ریزجانداران افزاینده رشد (به‌طور جداگانه یا در ترکیب با مقادیر کاهش‌یافته کودهای شیمیایی) را به‌عنوان یک راه‌حل مناسب برای رسیدن به عملکردهای بالا همراه با حفظ محیط زیست گزارش نمودند (مناع[6] و همکاران، ۲۰۱۷؛ کاو[7] و همکاران، ۲۰۲۳). استفاده از مجموعه ریزجاندارانی (باکتریایی و یا قارچی) به‌صورت کود زیستی علاوه‌بر تثبیت نیتروژن و انحلال ترکیبات نامحلول، با تولید هورمون‌های افزاینده، ترشح آنزیم‌های مختلف و اسیدهای آلی بر رشد، نمو و عملکرد گیاهان و هم‌چنین خصوصیات خاک تأثیر مثبت می‌گذارند (گیوپتا[8] و همکاران، ۲۰۲۲؛ حیدر[9] و همکاران، ۲۰۲۳). این باکتری‌ها به‌عنوان مکمل و جایگزین نهاده‌های شیمیایی شناخته شده‌اند. این‌گونه ریزجانداران با تشکیل جمعیت در اطراف ریشه توانایی برقراری ارتباط با گیاهان برای افزایش رشد، عملکرد اقتصادی، القای مقاومت سیستمیک و کنترل پاتوژن‌های گیاهی را دارند (ال–سدونی[10] و همکاران، ۲۰۲۲؛ باهیگیونا[11] و همکاران، ۲۰۲۰). از جمله ریزجانداران افزاینده رشد شامل باکتری‌های متعلق به جنس‌های باسیلوس[12]، سودوموناس[13]، ازتوباکتر[14]، اینتروباکتر[15]،

1. *Oryza sativa* L.
2. FAO
3. Bakhshandeh
4. Mostofa
5. Yaghoubi Khanghahi
6. Meena
7. Cao
8. Gupta
9. Hyder
10. El-Saadony
11. Bahuguna
12. *Bacillus*
13. *Pseudomonas*
14. *Azotobacter*
15. *Enterobacter*

آزوسپریلیوم[۱] و ریزوبیوم[۲] می‌باشند. در مجموع، تولید عملکردهای بالاتر با آلایندگی کم‌تر محیط زیست و به‌عبارتی تولید محصول سالم در جامعه امروزی یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های دانشمندان به‌شمار می‌آید. بنابراین، هدف از اجرای این پژوهش استفاده از باکتری‌های افزاینده رشد به‌عنوان راه‌حل مناسب و تقویت‌کننده برای رسیدن به عملکردهای بالای برنج همراه با حفظ محیط زیست می‌باشد.

۲. پیشینه پژوهش

براساس گزارش‌های منتشرشده مصرف کود زیستی به‌همراه نهاده‌های شیمیایی، مصرف این‌گونه ترکیبات را به میزان ۳۳ درصد کاهش داد و بیش‌ترین عملکرد دانه، تعداد دانه در سنبله و وزن هزاردانه گندم در تیمار تلفیقی کود زیستی به‌همراه کود شیمیایی مشاهده گردید (حجتی‌پور و همکاران، ۱۳۹۲). طی پژوهشی دیگر گزارش شده که باکتری‌های محرک رشد گیاهی سبب تولید فیتوهورمون‌هایی مانند اکسین می‌شوند که در ازدیاد طول کولئوپتیل نقش دارند (نقی[۳] و همکاران، ۲۰۲۱). هم‌چنین این ریزجانداران می‌توانند از طریق رقابت برای فضا و مواد مغذی، آنتی‌بیوز، مهار سموم و القای مکانیسم‌های دفاعی گیاه، مانع رشد و فعالیت ریزجانداران بیماری‌زا شوند (ویانس[۴] و همکاران، ۲۰۰۹).

در آزمایش مزرعه‌ای، تلقیح جداگانه و ترکیبی سودوموناس فلوروسنس[۵] و سودوموناس پوتیدا[۶] باعث افزایش صفات تعداد پنجه، تعداد دانه در خوشه و عملکرد دانه برنج (رقم شیرودی) گردید (ابراهیمی[۷] و همکاران، ۲۰۱۴). در پژوهشی دیگر، پژوهش‌گران بهبود رشد و افزایش کارایی فتوسنتزی برنج در شرایط آزمایشگاهی را پس از استفاده از ریزجانداران افزاینده رشد باسیلوس[۸]، سودوموناس[۹] و ازتوباکتر[۱۰] گزارش نمودند (شکیل[۱۱] و همکاران، ۲۰۱۵). به‌طور مشابه، پژوهش‌گران اظهار داشتند که تلقیح ترکیبی باکتری آزوسپریلیوم[۱۲] و سودوموناس[۱۳] موجب بهبود خصوصیات رشدی و عملکرد دانه برنج شد (دیو[۱۴] و همکاران، ۲۰۱۶). هم‌چنین، بهبود عملکرد برنج از طریق بهبود تعداد خوشه در زمان کاربرد تلقیح باکتری آزوسپریلیوم[۱۵] گزارش شد (هاهن[۱۶] و همکاران، ۲۰۱۶). در مطالعه دیگر نیز مشاهده شد که تلقیح با باکتری‌های باسیلوس[۱۷]، اینتروباکتر[۱۸] و آسپرژیلوس[۱۹] موجب افزایش عملکرد برنج گردید (ماواشاشا[۲۰] و همکاران، ۲۰۱۶). هم‌چنین حداکثر تعداد دانه در هر خوشه در ارقام برنج PD16 و NDR359 در زمان تلقیح با باکتری بورخولدریا[۲۱] 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 (وایدا[۲۲] و همکاران، ۲۰۱۴). هم‌چنین،

1. *Azospirillum*
2. *Rhizobium*
3. Nghi
4. Weyens
5. *Pseudomonas fluorescens*
6. *Pseudomonas putida*
7. Ebrahimi
8. *Bacillus*
9. *Pseudomonas*
10. *Azotobacter*
11. Shakeel
12. *Azospirillum*
13. *Pseudomonas*
14. Duy
15. *Azospirillum*
16. Hahn
17. *Bacillus*
18. *Enterobacter*
19. *Aspergillus*
20. Mwashasha
21. *Burkholderia*
22. Vaid

کاربرد همزمان باکتری‌های پانتوا اگلومرانس[1] و رهنلا آکواتیلیس[2]، ۲/۵ برابر جذب پتاسیم توسط دانه را در برنج (رقم پژوهش) نسبت به تیمار عدم تلقیح باکتری افزایش دادند (یعقوبی خانقاهی[3] و همکاران، ۲۰۱۸). پژوهش‌گران بهبود رشد در حضور ریزجانداران افزاینده رشد را به تولید هورمون از قبیل ایندول‌استیک‌اسید افزایش گسترش ریشه به‌همراه افزایش جذب آب و عناصر غذایی و حلالیت عناصر نامحلول از قبیل فسفر، پتاسیم و روی توسط این‌گونه ریزجانداران نسبت دادند (داس[4] و همکاران، ۲۰۲۲ و حیدر[5] و همکاران، ۲۰۲۳).

۳. روش‌شناسی پژوهش

به‌منظور ارزیابی کارایی باکتری‌های رهنلا آکواتیلیس[6] و بورخولدریا سپاسیا[7] بر عملکرد، اجزای عملکرد و جذب عناصر پتاسیم و روی گیاه برنج (رقم روشن؛ به‌دلیل رقم جدیدبودن، معطر، زودرس و عملکرد بالا (نعمت‌زاده و همکاران، ۱۳۹۸)) در سطوح مطلوب (۱۰۰ درصد مصرف کود براساس نتایج آزمون خاک) و کاهش‌یافته (۷۵ درصد مصرف کود براساس نتایج آزمون خاک) کودهای شیمیایی، آزمایشی در شهر ساری با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۳ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۳ درجه شرقی با ارتفاع ۲۵ متر از سطح آب‌های آزاد در سال ۱۴۰۱ انجام شد. آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل دو سطح کودی (مطلوب و کاهش‌یافته) و چهار تیمار تلقیح با باکتری (تلقیح جداگانه‌ی هر یک از باکتری‌ها رهنلا آکواتیلیس[8]، بورخولدریا سپاسیا[9] و ترکیبی (رهنلا آکواتیلیس[+] بورخولدریا سپاسیا) و شاهد (عدم تلقیح باکتری)) بود. به‌منظور بررسی خواص فیزیکوشیمیایی خاک محل آزمایش، نمونه مرکب خاک تهیه (۱۰ نمونه خاک به‌صورت زیکزاگی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر) و به آزمایشگاه خاک‌شناسی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری جهت تعیین خصوصیات خاک ارسال شد که نتایج آن در جدول (۱) ارائه شده است.

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

بافت خاک	سیلت	رس	شن	کربن آلی	ازت کل	پتاسیم	فسفر	روی	pH	هدایت الکتریکی
	(درصد)					(میلی‌گرم در کیلوگرم)				(دسی‌زیمنس بر متر)
لومی‌رسی	۳۳	۳۲	۳۵	۱/۲۵	۰/۱	۱۶۷	۱۷/۷	۰/۲۴	۷/۶۵	۱/۵۰

محل اندازه‌گیری: آزمایشگاه خاکشناسی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

باکتری‌های موردمطالعه از پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری تهیه شدند. این باکتری‌ها از اراضی کشاورزی استان مازندران جداسازی شدند به‌ترتیب دارای قابلیت حل‌کنندگی ۷۶ و ۷۸ میکروگرم در میلی‌لیتر پتاسیم و روی می‌باشند. در نهایت از سوسپانسیون باکتری با جمعیت حدود 10^7 سلول زنده در میلی‌لیتر جهت تلقیح ریشه گیاهچه برنج در هنگام نشاکاری استفاده شد (بخشنده[10] و همکاران، ۲۰۱۷؛ یعقوبی خانقاهی[11] و همکاران، ۲۰۱۸).

1. *Pantoea agglomerans*
2. *Rahnella aquatilis*
3. Yaghoubi Khanghahi
4. Das
5. Hyder
6. *Rahnella aquatilis*
7. *Burkholderia cepacia*
8. *Rahnella aquatilis*
9. *Burkholderia cepacia*
10. Bakhshandeh
11. Yaghoubi Khanghahi

در اوایل فروردین‌ماه ۱۴۰۱ عملیات آماده‌سازی زمین انجام شد. بعد از اتمام کرت‌بندی (هر کرت به طول پنج متر و عرض دو متر)، براساس نتایج آزمون خاک (جدول ۱) تیمارهای کودی اعمال شد. برای تیمار کودی مطلوب، کود پایه سوپرفسفات‌تریپل (۶۸ کیلوگرم در هکتار)، کود سولفات‌پتاسیم (۱۳۵ کیلوگرم در هکتار)، کود سولفات‌روی (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 نشاکاری و هفت روز قبل از گلدهی) به‌صورت دست‌پاش به زمین اضافه شدند. برای تیمار کودی کاهش‌یافته تنها ۷۵ درصد از مقادیر ذکر شده به کرت‌های مورد نظر اضافه گردید. تیمار باکتریایی به‌صورت تلقیح ریشه گیاهچه‌های برنج با سوسپانسیونی حاوی جمعیت 10^7 سلول زنده در میلی‌لیتر به‌مدت ۱۲ ساعت انجام شد (گیلانی و همکاران، ۱۳۹۷). پس از اعمال تیمارهای باکتریایی، چهار گیاهچه به‌صورت دستی در هر کپه (۲۵×۲۵ سانتی‌متر) نشا شدند. در طول دوره آزمایش، تمامی عملیات زراعی از قبیل آبیاری، کنترل علف‌های هرز، آفات و بیماری‌ها در زمان ضروری و براساس دستورالعمل زراعی رقم جدید برنج «رقم روشن» انجام شد (نعمت‌زاده و همکاران، ۱۳۹۸).

در مرحله رسیدگی برداشت از هر کرت هفت کپه انتخاب شد و صفات شامل وزن خشک اندام‌های هوایی (ساقه+ برگ زرد+ برگ سبز+ بقایای خوشه) و دانه/شلتوک (با استفاده از ترازو با دقت ۰/۰۱ گرم)، ارتفاع بوته (با استفاده از خط‌کش)، تعداد کل پنجه، تعداد پنجه بارور، طول خوشه (با استفاده از خط‌کش)، تعداد دانه پر در خوشه، دانه پوک در خوشه، وزن هزاردانه (محاسبه‌شده از سه تکرار ۱۰۰ تایی) اندازه‌گیری شد. هم‌چنین، برای اندازه‌گیری عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه واقعی (کیلوگرم در هکتار) در هر کرت پس از حذف اثر حاشیه‌ای از مساحت یک مترمربع به‌روش تخریبی کف‌بر و پس از ۴۸ ساعت هوا خشک‌شدن (رطوبت حدود ۱۴ درصد) توزین شد (بخشنده[1] و همکاران، ۲۰۱۸). مقدار عناصر روی و پتاسیم جذب‌شده در اندام‌های هوایی و دانه اندازه‌گیری شد (استفان[2] و همکاران، ۲۰۱۳). شاخص برداشت نیز به‌کمک معادله زیر (رابطه ۱) تعیین گردید (ناتانوس[3] و کوتروباس[4]، ۲۰۰۲):

رابطه ۱) شاخص برداشت = [(عملکرد دانه)/ (عملکرد کاه + عملکرد دانه)]×۱۰۰

در آخر، تجزیه و تحلیل داده‌ها به‌کمک نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۴) و ترسیم شکل‌ها به‌کمک نرم‌افزار اکسل (نسخه ۲۰۱۶) انجام شد. میانگین‌ها نیز به‌روش حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD)[5] در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

۴. یافته‌های پژوهش

۴. ۱. ارتفاع بوته

تلقیح با ریزجانداران افزاینده رشد، سطوح کودی و اثر متقابل تیمارهای آزمایش (تلقیح باکتری× سطوح کودی) نتوانست تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته داشته باشد (جدول ۲). دامنه تغییرات ارتفاع بوته از ۱۰۱ تا ۱۰۶ سانتی‌متر ثبت شد (جدول ۳). بین سطوح کودی کاهش‌یافته و مطلوب از نظر میانگین ارتفاع بوته اختلاف آماری معنی‌داری وجود نداشت و ارتفاع بوته برنج در این سطوح کودی به‌ترتیب ۱۰۲ و ۱۰۴ سانتی‌متر بود. هم‌چنین، بیش‌ترین میزان افزایش ارتفاع بوته متعلق به تیمار تلقیح ترکیبی باکتری با میانگین ۱۰۶ سانتی‌متر بود که ۳/۴۱ درصد نسبت به شرایط شاهد ارتفاع بوته بیش‌تر بود (جدول ۳).

1. Bakhshandeh
2. Estefan
3. Ntanos
4. Koutroubas
5. Least Significant Difference

۴. ۲. طول خوشه

طبق نتایج بین تیمارهای کودی کاهش‌یافته و مطلوب از نظر میانگین طول خوشه تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (به‌ترتیب میانگین طول خوشه ۳۰/۷ و ۳۰/۹ سانتی‌متر) (جدول ۳). اما در زمان حضور باکتری (به‌طور جداگانه و یا به‌صورت و تلقیح ترکیبی) میزان طول خوشه نسبت به تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. به‌عبارت دیگر، حداقل مقدار طول خوشه در تیمار شاهد (عدم تلقیح باکتری) (۲۵/۱ سانتی‌متر) و حداکثر مقدار این صفت متعلق به تیمار تلقیح ترکیبی (۲۷/۹ سانتی‌متر) بود که نشان‌دهنده ۱۱/۳ درصد افزایش طول خوشه نسبت به تیمار شاهد (عدم تلقیح باکتری) نیز می‌باشد. طول خوشه در زمان کاربرد جداگانه باکتری‌های رهنلا آکواتیلیس[1]، بورخولدریا سپاسیا[2] در حدواسط تیمار شاهد و تلقیح ترکیبی قرار داشتند (جدول ۳).

۴. ۳. تعداد پنجه کل و بارور در کپه

براساس نتایج به‌دست‌آمده بین سطوح کودی از نظر تعداد پنجه کل و بارور در کپه اختلاف آماری معنی‌دار مشاهده نشد. تعداد پنجه کل و بارور در کپه در سطح کودی کاهش‌یافته به‌ترتیب ۲۴/۷ و ۲۳/۷ پنجه و در سطح کودی مطلوب به‌ترتیب ۲۵/۸ و ۲۴/۶ پنجه بود (جدول ۳). بیش‌ترین تعداد پنجه کل و بارور در کپه به‌ترتیب برابر ۲۹/۱ و ۲۸/۱ پنجه ثبت شد که متعلق به تیمار ترکیبی باکتری‌های بود (جدول ۳). به‌عبارت دیگر، تلقیح ترکیبی باکتری‌های افزاینده رشد موجب افزایش تعداد پنجه کل و بارور در کپه به‌ترتیب ۳۴/۸ و ۳۴/۶ درصد نسبت به تیمار شاهد (عدم تلقیح) شد (جدول ۳).

جدول ۲. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات موردمطالعه در برنج (رقم روشن) تحت تأثیر سطوح مختلف کودی و تلقیح با باکتری‌های افزاینده رشد

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات									
		ارتفاع بوته	طول خوشه	تعداد پنجه کل در کپه	تعداد پنجه بارور در کپه	تعداد دانه پر در خوشه	تعداد دانه پوک در خوشه	وزن هزاردانه	عملکرد شلتوک	عملکرد بیولوژیکی	شاخص برداشت
بلوک	۲	۴۲/۵	۲/۰۸	۳۳/۸	۲۶/۲	۳۱/۵	۲۶	۳/۰۹	۵۱۸۲۵۹۷	۷۱۲۹۸۷۸	۴۰/۳
سطوح کودی	۱	۲۶/۰^{ns}	۰/۱۹^{ns}	۸/۰۲^{ns}	۴/۲^{ns}	۳۷/۰^{ns}	۲۴/۴^{ns}	۱/۵^{ns}	۵۸۸۷۵۳^{ns}	۷۶۷۹۱۸۵^{ns}	۱۳/۱^{ns}
تلقیح باکتری	۳	۱۴/۷^{ns}	۹/۷۵**	۵۷/۷*	۵۳/۰*	۱۳۷۳/۰**	۲۳۸/۲**	۳/۶۹**	۷۴۰۵۱۵۳**	۲۰۴۵۹۹۹۸*	۱۶/۰*
تلقیح باکتری×سطوح کودی	۳	۹/۸۱^{ns}	۰/۱۵^{ns}	۱۷/۸^{ns}	۱۱/۹^{ns}	۱۲۳/۸^{ns}	۷۷/۷^{ns}	۱/۰۰^{ns}	۱۲۷۴۶۹۳^{ns}	۶۹۰۱۹۳۹^{ns}	۲۸/۴^{ns}
خطا	۱۲	۸/۲۹	۰/۷۹	۱۱/۸	۶/۳۸	۳۳/۶	۲۷/۰	۰/۲۵	۱۶۴۶۳۹	۷۸۰۳۸۲	۲/۹۱
ضریب تغییرات (درصد)	–	۳/۲۴	۳/۳۱	۱۳/۷	۱۳/۸	۶/۱۷	۱۸/۹	۳/۴۵	۱۲/۴	۱۶/۳	۸/۹۷

ns، * و **: به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد می‌باشد.

۴. ۴. تعداد دانه پر و پوک در خوشه

اختلاف بین سطح کودی کاهش‌یافته و مطلوب معنی‌دار نبود (جدول ۳). درحالی‌که بیش‌ترین تعداد دانه پر (۱۰۹/۴ دانه)

1. *Rahnella aquatilis*
2. *Burkholderia cepacia*

و دانه پوک (۱۵/۴ دانه) در خوشه در سطح کودی مطلوب مشاهده شد. براساس نتایج مقایسه میانگین، کاربرد هر سه تیمار باکتری افزاینده رشد (به‌طور جداگانه رهنلا آکواتیلیس[1]، بورخولدریا سپاسیا[2] و یا ترکیبی به‌ترتیب سبب کاهش ۴۱/۱، ۴۹/۴ و ۶۲/۵ درصدی تعداد دانه پوک در خوشه نسبت به تیمار شاهد گردید (جدول ۳). علاوه بر این، بیش‌ترین تعداد دانه پر در خوشه (۱۱۶/۵ دانه) در تیمار تلقیح ترکیبی باکتری‌ها ثبت شد که نشان‌دهنده افزایش ۴۶/۵ درصد نسبت به تیمار شاهد می‌باشد (جدول ۳).

جدول ۳. مقایسه میانگین تیمارهای مختلف سطوح کودی و تلقیح با باکتری‌های افزاینده رشد بر اجزای عملکرد برنج (رقم روشن)

تیمارهای آزمایش	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	طول خوشه (سانتی‌متر)	تعداد پنجه کل در کپه	تعداد پنجه بارور در کپه	تعداد دانه پر در خوشه	تعداد دانه پوک در خوشه	وزن هزاردانه (گرم)	شاخص برداشت (درصد)
سطوح کود شیمیایی								
مقدار مطلوب	۱۰۴^{a}	۳۰/۹^{a}	۲۵/۸^{a}	۲۴/۶^{a}	۱۰۹/۴^{a}	۱۵/۴^{a}	۲۲/۵^{a}	۴۹/۱^{a}
مقدار کاهش‌یافته	۱۰۲^{a}	۳۰/۷^{a}	۲۴/۷^{a}	۲۳/۷^{a}	۱۰۶/۹^{a}	۱۳/۳^{a}	۲۲/۰^{a}	۴۷/۷^{a}
تلقیح باکتری								
شاهد	۱۰۲^{a}	۲۵/۱^{c}	۲۱/۵^{b}	۲۰/۸^{b}	۷۹/۵^{c}	۲۳/۳^{a}	۲۱/۲^{b}	۴۷/۱^{b}
R. aquatilis	۱۰۳^{a}	۲۶/۶^{b}	۲۵/۷^{ab}	۲۳/۷^{b}	۹۸/۹^{b}	۱۳/۷^{b}	۲۲/۳^{b}	۴۷/۸^{b}
B. cepacia	۱۰۳^{a}	۲۷/۶^{ab}	۲۴/۶^{b}	۲۴/۱^{ab}	۹۷/۷^{b}	۱۱/۸^{b}	۲۲/۵^{b}	۴۷/۹^{b}
B + R	۱۰۶^{a}	۲۷/۹^{a}	۲۹/۰^{a}	۲۸/۱^{a}	۱۱۶/۵^{a}	۸/۷۳^{b}	۲۳/۱^{a}	۵۰/۸^{a}

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

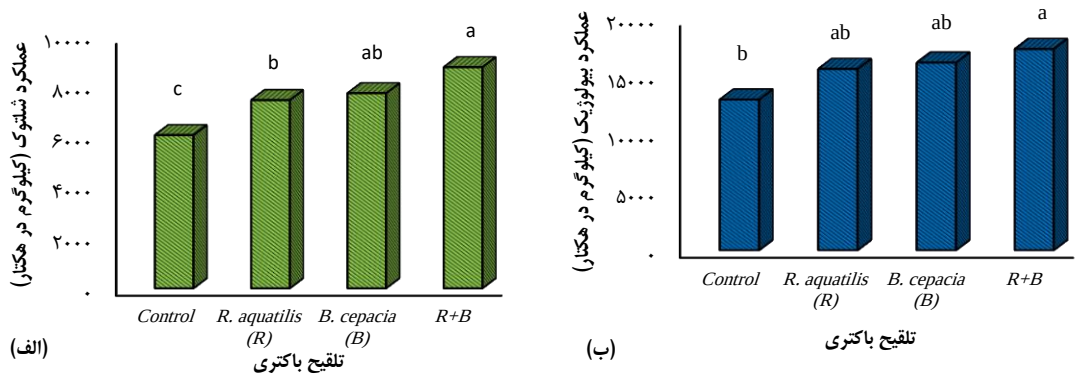
۴. ۵. وزن هزاردانه

محدوده تغییرات وزن هزاردانه از ۲۱/۲ تا ۲۳/۱ گرم متغیر بود. در بین تیمارهای کودی نیز اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳). کاربرد هر سه تیمار باکتری افزاینده رشد باعث افزایش معنی‌دار وزن هزاردانه (۳/۴۴، ۲/۳۹ و ۸/۸۰ درصد به‌ترتیب برای تیمارهای جداگانه رهنلا آکواتیلیس[3]، بورخولدریا سپاسیا[4] و ترکیبی نسبت به تیمار عدم تلقیح باکتری) شد (جدول ۳).

۴. ۶. عملکرد شلتوک و بیولوژیکی

براساس نتایج به‌دست‌آمده بین سطوح کودی مطلوب و کاهش‌یافته از نظر میانگین عملکرد شلتوک و بیولوژیکی اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نشد. هم‌چنین نتایج مقایسه میانگین نشان داد که تلقیح جداگانه هر یک از باکتری‌های رهنلا آکواتیلیس[5]، بورخولدریا سپاسیا[6] و تلقیح ترکیبی باعث افزایش عملکرد شلتوک به‌ترتیب ۲۲/۸، ۲۷/۳ و ۴۴/۳ درصد و عملکرد بیولوژیکی به‌ترتیب ۲۰/۳، ۲۴/۵ و ۳۳/۵ درصد نسبت به شاهد (تیمار عدم تلقیح) شد (شکل ۱).

1. *Rahnella aquatilis*
2. *Burkholderia cepacia*
3. *Rahnella aquatilis*
4. *Burkholderia cepacia*
5. *Rahnella aquatilis*
6. *Burkholderia cepacia*



شکل ۱. تأثیر تلقیح با ریزجانداران افزاینده رشد بر عملکرد شلتوک (الف) و عملکرد بیولوژیک (ب) برنج.

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

۴. ۷. شاخص برداشت

مقدار شاخص برداشت برای سطوح کودی کاهش‌یافته و مطلوب به‌ترتیب برابر ۴۹/۱ و ۴۷/۷ درصد بود که از نظر آماری بین این سطوح اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۳). بین تیمارهای باکتری نیز بیش‌ترین شاخص برداشت (۵۰/۸ درصد) مربوط به تیمار تلقیح ترکیبی بود که افزایش ۷/۸۳ درصدی نسبت به تیمار شاهد (عدم تلقیح باکتری) را نشان داد (جدول ۳).

جدول ٤. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) میزان پتاسیم و روی در دانه و اندام هوایی برنج تحت تأثیر سطوح مختلف کودی و تلقیح با باکتری‌های افزاینده رشد

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		پتاسیم		روی	
		دانه	اندام هوایی	دانه	اندام هوایی
بلوک	۲	۱۱۳/۳	۱۳۴۲/۸	۰/۰۱	۰/۰۰۰۵
سطوح کودی	۱	۲۴/۸^{ns}	۹۹۳/۳^{ns}	۰/۰۰۷^{ns}	۰/۰۲^{ns}
تلقیح باکتری	۳	۹۴/۴**	۳۶۴۴/۴*	۰/۰۰۵*	۰/۰۱*
تلقیح باکتری× سطوح کودی	۳	۳۹/۸^{ns}	۱۰۰۴/۳^{ns}	۰/۰۰۷^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}
خطا	۱۲	۱/۷۷	۵۱۶/۶	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵
ضریب تغییرات (درصد)	–	۱۳/۱	۱۱/۱	۱۶/۱	۱۲/۱۶

ns، * و **: به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

۴. ۸. میزان پتاسیم در دانه و اندام‌های هوایی

تلقیح باکتری تأثیر معنی‌داری بر میزان پتاسیم در دانه و اندام هوایی برنج روشن 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 (۲۰/۶ کیلوگرم در هکتار) و اندام هوایی (۸۵/۲ کیلوگرم در هکتار) در شرایط عدم تلقیح باکتری مشاهده شد (جدول ۵). حضور باکتری به‌صورت تلقیح جداگانه رهنلا آکواتیلیس[1]،

1. *Rahnella aquatilis*

بورخولدریا سپاسیا[1] و ترکیبی به‌ترتیب موجب افزایش پتاسیم دانه به‌میزان ۶/۰۴، ۲۷/۶ و ۴۱/۴ درصد و پتاسیم اندام هوایی به‌میزان ۳۸/۴، ۵۵/۹ و ۶۵/۴ درصد نسبت به تیمار شاهد (عدم تلقیح باکتری) شد (جدول ۵).

جدول ۵. مقایسه میانگین تیمارهای مختلف سطوح کودی و تلقیح با باکتری‌های افزاینده رشد بر میزان پتاسیم و روی در دانه و اندام هوایی برنج (رقم روشن)

تیمارهای آزمایش	پتاسیم		روی	
	دانه (کیلوگرم در هکتار)	اندام هوایی (کیلوگرم در هکتار)	دانه (کیلوگرم در هکتار)	اندام هوایی (کیلوگرم در هکتار)
سطوح کود شیمیایی				
مقدار مطلوب	۲۵/۵^{a}	۱۲۵/۷^{a}	۰/۲۱^{a}	۰/۲۶^{a}
مقدار کاهش یافته	۲۳/۵^{a}	۱۱۲/۹^{a}	۰/۱۷^{a}	۰/۱۹^{a}
تلقیح باکتری				
شاهد	۲۰/۶۵^{b}	۸۵/۲^{b}	۰/۱۶^{b}	۰/۱۷^{b}
R. aquatilis	۲۱/۹^{b}	۱۱۸/۰^{ab}	۰/۲۰^{a}	۰/۲۴^{ab}
B. cepacia	۲۶/۳^{a}	۱۳۲/۹^{a}	۰/۱۷^{a}	۰/۲۲^{ab}
B + R	۲۹/۲^{a}	۱۴۱/۱^{a}	۰/۲۳^{a}	۰/۲۷^{a}

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

۴. ۹. میزان روی در دانه و اندام‌های هوایی

به‌طور مشابه، از نظر میزان روی در دانه و اندام‌های هوایی بین تیمارهای کودی کاهش‌یافته و مطلوب تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که میزان روی در دانه و اندام‌های هوایی به‌طور قابل‌توجهی تحت تأثیر تلقیح جداگانه و ترکیبی باکتری‌های رهنلا آکواتیلیس[2]، بورخولدریا سپاسیا[3] قرار گرفت (جدول ۵). به‌عبارت دیگر، میزان کم‌ترین مقدار روی در دانه و اندام‌های هوایی در تیمار شاهد (عدم تلقیح باکتری) و بیش‌ترین میزان این صفات در زمان کاربرد تلقیح ترکیبی باکتری‌ها مشاهده شد، مقدار این افزایش برای دانه ۴۰/۸ درصد و اندام‌های هوایی ۵۴/۵ درصد بود. اگرچه، بین تیمار ترکیبی و تیمارهای جداگانه باکتری‌های از نظر آماری تفاوت معنی‌دار وجود نداشت (جدول ۵).

۵. بحث

طبق نتایج مطالعه حاضر، کاربرد ترکیبی باکتری‌ها سبب افزایش اندکی در ارتفاع بوته برنج شد که علت آن را می‌توان به تولید هورمون ایندول‌استیک‌اسید توسط این‌گونه باکتری‌ها نسبت داده شد (بخشنده[4] و همکاران، ۲۰۱۴). تلقیح باکتری تأثیر معنی‌داری بر طول خوشه برنج داشت (جدول ۲). علت افزایش این صفت را می‌توان به نقش مثبت باکتری‌های افزاینده رشد در جذب آب و مواد غذایی به‌واسطه توسعه بیش‌تر ریشه‌ها (شاران[5] و ال–اسمی[6]، ۱۹۹۹)، سنتز هورمون ایندول‌استیک‌اسید و انحلال عناصر نامحلول توسط این باکتری‌ها (داس[7] و همکاران، ۲۰۲۲) و هم‌چنین تولید هورمون

1. *Burkholderia cepacia*
2. *Rahnella aquatilis*
3. *Burkholderia cepacia*
4. Bakhshandeh
5. Sharaan
6. El-Smie
7. Das

جیبرلین، اکسین و فیتوهورمون‌ها به‌واسطه باکتری‌های افزاینده رشد و به‌دنبال آن افزایش انشعابات و طول خوشه نسبت داد (اصغری و همکاران، ۱۳۹۳). مصلحی و همکاران (۱۳۹۵) اظهار داشتند بیش‌ترین میزان طول خوشه برنج رقم طارم‌هاشمی (۲۷/۰ سانتی‌متر)، در زمان کاربرد باکتری آزوسپریلیوم[۱] و کم‌ترین میزان این صفت در تیمار شاهد (عدم تلقیح) (۲۳/۰ سانتی‌متر) مشاهده گردید. در آزمایشی دیگر، طول خوشه برنج (رقم MR263) در تیمار تلقیح جداگانه باکتری‌های باسیلوس[۲] برابر ۲۳/۷ سانتی‌متر بود که با تیمار عدم تلقیح باکتری (۲۲/۴ سانتی‌متر) اختلاف معنی‌دار داشت. افزایش حجم ریشه (قاسمی‌لمراسکی و همکاران، ۱۳۹۳) و بهبود جذب آب و عناصرغذایی از قبیل نیتروژن، فسفر و پتاسیم را می‌توان علت افزایش تعداد پنجه در زمان استفاده از ریزجانداران افزاینده رشد نسبت داد (ویسی[۳] و همکاران، ۲۰۰۳). در همین راستا آزمایشی توسط اصغری و همکاران (۱۳۹۳) روی برنج رقم طارم‌هاشمی انجام شد. یافته‌ها آن‌ها حاکی از این بود که تعداد پنجه‌های بارور تحت تأثیر تلقیح با باکتری سودوموناس[۴] قرار گرفت به‌طوری که تعداد پنجه بارور در کپه به تعداد ۳/۲۱ عدد بیش‌تر از تیمار شاهد بود. در مطالعه دیگر، افزایش ۴۸ درصدی تعداد پنجه کل در کپه در تلقیح ریشه گیاهچه برنج (جایا) با باکتری سودوموناس[۵] گزارش شد (شارما[۶] و همکاران، ۲۰۱۴).

طبق نتایج بیش‌ترین تعداد دانه پر در خوشه (۱۱۶/۵ دانه) در تیمار تلقیح ترکیبی باکتری‌ها شد. به‌طور مشابه، در آزمایش دیگر حداکثر تعداد دانه در هر خوشه به‌طور میانگین در ارقام برنج PD16 و NDR359 در زمان تلقیح با باکتری بورخولدریا[۷] 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 (وايد[۸] و همکاران، ۲۰۱۴). پژوهش‌گران دلیل افزایش تعداد دانه در غلاف نخود را فراهمی عناصر غذایی و سرکوب‌کردن بیمارگرهای گیاهی توسط ریزجانداران افزاینده رشد (تریکودرما[۹] و اینتروباکتر[۱۰]) گزارش کردند (محمدی[۱۱] و همکاران، ۲۰۱۱).

افزایش مقدار وزن هزاردانه در زمان کاربرد ریزجانداران افزاینده رشد را می‌توان به‌دلیل 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 هزاردانه می‌شوند (بخشنده[۱۲] و همکاران، ۲۰۱۸). پژوهش‌گران گزارش کردند که کاربرد باکتری‌های افزاینده رشد به‌صورت ترکیبی و جداگانه وزن هزاردانه گندم را به‌طور معنی‌داری افزایش دادند (حسین[۱۳] و همکاران، ۲۰۲۰). در میان این تیمارها، حداکثر افزایش وزن هزاردانه گندم (بیش از ۱۱ درصد) در زمان کاربرد تلقیح ترکیبی باکتری‌ها در مقایسه با تیمار عدم تلقیح باکتری مشاهده شد. وزن هزاردانه برنج (رقم سخا ۱۰۷) در تیمار تلقیح همزمان گیاهچه با باکترهای باسیلوس[۱۴]، ۲۳ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش نشان داد (کوبیا[۱۵] و همکاران، ۲۰۲۱). در

1. *Azospirillum*
2. *Bacillus*
3. Vessey
4. *Pseudomonas*
5. *Pseudomonas*
6. Sharma
7. *Burkholderia*
8. Vaid
9. *Trichoderma*
10. *Enterobacter*
11. Mohammadi
12. Bakhshandeh
13. Hussain
14. *Bacillus*
15. Kobua

پژوهشی دیگر، گزارش شد که حداکثر شاخص برداشت برنج رقم طارم محلی پس از تلقیح پیریفورموسپورا ایندیکا[1] و پانتوا آناناتیس[2] (به‌ترتیب ۲/۹ و ۵/۱ درصد) در زمان مصرف ۶۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات‌پتاسیم مشاهده شد (بخشنده[3] و همکاران، ۲۰۱۸). علت آن ممکن است به‌خاطر انتقال مجدد بهتر مواد مغذی به دانه و در نتیجه افزایش عملکرد دانه باشد (اصغری و همکاران، ۱۳۹۳). گیلانی و همکاران (۱۳۹۷) نیز بیان کردند که کاربرد ریزجانداران افزاینده رشد پیریفورموسپورا ایندیکا[4] و پانتوا آناناتیس[5] به‌همراه مقادیر مختلف کود سولفات‌پتاسیم در برنج رقم طارم محلی موجب افزایش ۲ تا ۱۱ درصدی شاخص برداشت نسبت به شاهد (عدم تلقیح یا عدم مصرف کود پتاسیم) شد. شهسوارپورلنده و همکاران (۱۳۹۷) نشان دادند که دامنه تغییرات شاخص برداشت برنج (رقم طارم‌هاشمی) از ۳۰/۱ تا ۴۳/۴ درصد بود که با حضور باکتری اینتروباکتر[6]، این صفت ۵/۸ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت.

افزایش جذب عناصر غذایی تحت تأثیر ریزجانداران افزاینده رشد در ناحیه ریشه را می‌توان علت افزایش عملکرد شلتوک و بیولوژیکی در زمان کاربرد ترکیبی باکتری‌ها نسبت داد (زیدی[7] و خان[8]، ۲۰۰۵). کاظمی و میرهاشمی (۱۳۹۶) گزارش کردند که باکتری‌های افزاینده رشد می‌توانند از طریق افزایش فراهمی مواد غذایی، تسهیل جذب آب و عناصر غذایی، جلوگیری از عوامل بیماری‌زا و القای مقاومت سیستماتیک موجب افزایش عملکرد گیاه میزبان شوند. هم‌چنین توانایی ساخت اکسین و هورمون‌های محرک، انواع ویتامین‌ها شامل ویتامین‌های گروه B، انواع اسیدهای‌آمینه و سنتز مواد برای مقابله با بیماری‌های قارچی از امتیازات این باکتری‌ها به‌حساب می‌آیند (میگاهد[9] و همکاران، ۲۰۰۴). هم‌چنین پژوهش‌گران دیگر، تولید هورمون اکسین و انحلال مواد معدنی نامحلول توسط این باکتری‌ها را می‌توان علت افزایش عملکرد برنج تلقیح‌شده با باکتری‌های افزاینده رشد عنوان کردند (احمد[10] و کبرات[11]، ۲۰۱۴؛ داس[12] و همکاران، ۲۰۲۲). پژوهش‌گران نشان دادند که تلقیح گیاهچه برنج شیرودی با باکتری سودوموناس[13] عملکرد شلتوک را ۱۱/۷ درصد افزایش داد (ابراهیمی‌چمانی[14] و همکاران، ۲۰۱۵).

تا به امروز مطالعات متعددی اثر مثبت باکتری‌های افزاینده رشد را بر جذب مواد مغذی در گیاهان گزارش کردند. به‌عنوان مثال، کاربرد همزمان باکتری‌های پانتوا اگلومرانس[15] و رهنلا آکواتیلیس[16]، ۲/۵ برابر جذب پتاسیم توسط دانه را در گیاه برنج (رقم پژوهش) نسبت به تیمار عدم تلقیح باکتری افزایش دادند (یعقوبی‌خانقاهی[17] و همکاران، ۲۰۱۸). در مطالعه دیگر نیز گیلانی و همکاران (۱۳۹۷) اظهار داشتند که تلقیح همزمان پیریفورموسپورا ایندیکا[18] و پانتوا آناناتیس[19] 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

1. *Piriformospora indica*
2. *Pantoea ananatis*
3. Bakhshandeh
4. *Piriformospora indica*
5. *Pantoea ananatis*
6. *Enterobacter*
7. Zaidi
8. Khan
9. Migahed
10. Ahemad
11. Kibret
12. Das
13. *Pseudomonas*
14. Ebrahimi Chamani
15. *Pantoea agglomerans*
16. *Rahnella aquatilis*
17. Yaghoubi Khanghahi
18. *Piriformospora indica*
19. *Pantoea ananatis*

افزایش را توسعه بیش‌تر ریشه‌ها در زمان حضور ریزجانداران و در نهایت جذب بیش‌تر عناصر غذایی گزارش کردند. علاوه بر این، تلقیح برنج (رقم طارم محلی) با ریزجانداران افزاینده رشد (پیریفورموسپورا ایندیکا[1] و پانتوا آناناتیس[2] و ترکیب آن‌ها) و کود سولفات‌پتاسیم میزان جذب پتاسیم توسط دانه و کاه را از ۱/۸۱ تا ۲۷/۴ درصد (بسته به نوع تیمار) نسبت به شاهد افزایش داد (بخشنده[3] و همکاران، ۲۰۱۸). در آزمایش ناهر[4] و همکاران (۲۰۱۶) کاربرد کودهای شیمیایی (NPK) به‌همراه کود زیستی (باکتری‌های باسیلوس[5] و بورخولدریا[6]) 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. به‌طورکلی، علت افزایش میزان روی با کاربرد ترکیبی باکتری‌ها را می‌توان به نقش باکتری‌های افزاینده رشد در تبدیل عناصر غذایی از شکل غیرقابل دسترس به شکل قابل دسترس برای گیاه میزبان نسبت داد (کشاورز[7] و همکاران، ۲۰۱۳). رامش[8] و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که باکتری اینتروباکتر کلواکه[9] از طریق کاهش pH و تولید ایندول‌استیک‌اسید در ریزوسفر منجر به افزایش جذب بیش‌تر عناصر روی و پتاسیم در اندام‌های هوایی گندم و سویا (به‌ترتیب ۵۰/۰ و ۲۴/۱ درصد برای روی و ۷/۶۹ و ۸/۷۹ درصد برای پتاسیم) و دانه (به‌ترتیب ۳۶/۵ و ۳۲/۷ درصد برای روی و ۱۳/۳ و ۴/۲۱ درصد برای پتاسیم) نسبت به تیمار شاهد گردید.

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با توجه به نتایج مشخص شد:

۱. به‌کارگیری جداگانه باکتری‌های رهنلا آکواتیلیس[10]، بورخولدریا سپاسیا[11] و ترکیبی بر صفات موردبررسی برنج رقم روشن تأثیر مثبتی داشت.

۲. بهبود عملکرد دانه برنج را می‌توان به توانایی این باکتری‌های در بهبود صفات اجزای عملکرد نسبت داد.

۳. حضور این ریزجانداران به‌همراه سطح کاهش‌یافته کودهای شیمیایی (۲۵ درصد کم‌تر از مقدار مطلوب توصیه‌شده) موجب افزایش صفات موردمطالعه شد. به‌طوری‌که این صفات اختلاف آماری معنی‌داری در مقایسه با کاربرد سطح کودی مطلوب نداشتند که نشان‌دهنده دستیابی به عملکردهای مشابه با کاهش مصرف کودهای شیمیایی و هزینه مصرفی به‌همراه بهبود سلامت محیط زیست می‌باشد. بنابراین، از این روش‌ها به‌خوبی می‌توان جهت دستیابی به عملکردهای قابل‌قبول در راستای اهداف کشاورزی پایدار و کاهش هزینه‌های تولید برنج استفاده نمود.

۴. مقدار عنصر پتاسیم و روی در دانه و اندام‌های هوایی تلقیح‌شده با باکتری‌های موردمطالعه نسبت به تیمار شاهد (عدم تلقیح باکتری) به‌طور معنی‌داری افزایش یافت.

۵. بین تیمارها می‌توان تلقیح ترکیبی باکتری‌های موردمطالعه به‌همراه سطح کودی کاهش‌یافته را به‌عنوان تیمار برتر پیشنهاد نمود.

---

1. *Piriformospora indica*
2. *Pantoea ananatis*
3. Bakhshandeh
4. Naher
5. *Bacillus*
6. *Burkholderia*
7. Keshavarz
8. Ramesh
9. *Enterobacter cloacae*
10. *Rahnella aquatilis*
11. *Burkholderia cepacia*

هم‌چنین پیشنهاد می‌گردد:
۱. به‌منظور دستیابی به نتایج مطمئن‌تر این آزمایش در چند سال و چند مکان دیگر تکرار گردد.
۲. تأثیر ریزجانداران افزاینده رشد دیگر بر روی ارقام مختلف برنج در سطوح کودی مختلف موردبررسی قرار گیرد.
۳. ارزیابی تأثیر این باکتری‌ها بر خصوصیات کیفی برنج موردبررسی قرار گیرد.
۴. تأثیر ریزجانداران افزاینده رشد در مرحله رتون‌گیری برنج نیز موردبررسی قرار گیرد.

۷. تشکر و قدردانی

این پژوهش با حمایت مالی پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی منابع طبیعی ساری تحت قرارداد شماره GABIT-00/D/PI280 انجام شده است. بدین‌وسیله از این مراکز بابت حمایت‌های مالی از این پژوهش، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد.

۹. منابع

اصغری، جعفر؛ احتشامی، سید محمدرضا؛ رجبی درویشان، زهرا و خاوازی، کاظم (۱۳۹۳). اثر محلول‌پاشی و تلقیح ریشه با باکتری‌های محرک رشد و متابولیت‌های آن‌ها بر میزان کلروفیل، جذب عناصر معدنی و عملکرد برنج رقم هاشمی. *نشریه زیست‌شناسی خاک*. ۲(۱)، ۳۱-۲۱.

امیریوسفی، مهدی، تدین، محمودرضا و حسینی فرد، مرجان سادات (۱۴۰۱). تأثیر کودهای زیستی نیتروژنه و فسفره بر برخی صفات جوانه‌زنی بذر دو رقم کینوا تحت تنش شوری. *مهندسی اکوسیستم بیابان*. ۸(۲۴)، ۷۹-۹۴. doi: 10.22052/deej.2018.7.24.49

آمارنامهٔ وزارت جهاد کشاورزی (۱۴۰۰). *محصولات زراعی*. تهران: دفتر آمار و فناوری اطلاعات.

حجتی‌پور، اسحاق؛ جعفری‌حقیقی، برمک و درستکار، مسلم (۱۳۹۲). تأثیر تلفیق کودهای زیستی و شیمیایی بر عملکرد دانه، اجزای عملکرد و شاخص‌های رشدی گندم. *مجله اکوفیزیولوژی گیاهی*. ۵(۱۵)، ۳۶-۴۸.

شهسوارپورلنده، خدیجه؛ پیردشتی، همت‌اله و بخشنده، اسماعیل (۱۳۹۷). اثر روش‌های تلقیح باکتری بومی افزاینده رشد بر صفات رویشی و عملکرد برنج (رقم طارم‌هاشمی) تحت تأثیر سطوح مختلف کود پتاسیم. *به‌زراعی کشاورزی*. ۲۰(۱)، ۲۴۷-۲۳۵.

قاسمی، معظم؛ مبصر، حمیدرضا؛ اسدی‌منش، حسن و قلی‌زاده، عبدالطیف (۱۳۹۳). بررسی اثرات پتاسیم، روی و سیلیسیم بر عملکرد و اجزای عملکرد و جذب آن‌ها در دانه برنج (*Oryza sativa* L.). *مدیریت خاک و تولید پایدار*. ۴(۲)، ۲۴-۱.

قاسمی‌لمراسکی، مهرداد؛ نورمحمدی، قربان؛ مدنی، حمید؛ حیدری شریف‌آباد، حسین و مبصر، حمیدرضا (۱۳۹۳). تأثیر محلول‌پاشی سیلیس و پتاسیم و کاربرد نیتروژن بر عملکرد و اجزاء عملکرد ارقام برنج ایرانی طارم‌هاشمی و طارم محلی (*Oryza sativa* L.). *یافته‌های نوین کشاورزی*. ۹(۱)، ۶۶-۴۷.

کاظمی، محمد و میرهاشمی، ملیحه (۱۳۹۶). *آگرواکولوژی*. مشهد: انتشارات تحقیقات آموزش کشاورزی.

گیلانی، زهرا؛ پیردشتی، همت‌اله و بخشنده، اسماعیل (۱۳۹۷). اثر کود پتاسیم به‌همراه قارچ *Piriformospora indica* و باکتری *Pantoea ananatis* بر عملکرد، اجزای عملکرد و جذب پتاسیم در برنج رقم طارم محلی. *دانش کشاورزی وتولید پایدار*. ۲۸(۳)، ۴۳-۵۴.

مصلحی، نرگس؛ نیک‌نژاد، یوسف؛ فلاح آملی، هرمز و خیری، نوراله (۱۳۹۵). اثر کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی، آلی و زیستی بر برخی صفات مرفوفیزیولوژیکی برنج (*Oryza sativa* L.) رقم طارم هاشمی. *مجله علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی*. ۸(۳۰)، ۸۷-۱۰۳.

نعمت‌زاده، قربانعلی؛ اولادی، مرتضی؛ افخمی، عمار؛ قلی‌زاده، عمار؛ باقری، اصغر؛ آقاجانی، مجتبی؛ امامی، مریم؛ بابایی، علیرضا؛ ضیایی، امیر؛ رحیمی، مسعود و مظفری، کامران (۱۳۹۸). دستورالعمل زراعی رقم جدید برنج رقم روشن. *نشریه فنی و ترویجی*. پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان. https://gabit.sanru.ac.ir/wp-content/uploads/2019/12/roshan.pdf

References

Ahemad, M., & Kibret, M. (2014). Mechanisms and application of plant growth promoting rhiobacteria: current perspective. *Journal of King Saud University- Science, 26(1)*, 1-20.

Amiryousefi, M., Tadayon, M. R., & Hoseinifard, M. S. (2022). Effect of Nitrogen and Phosphorus Bio Fertilizers on Some Seed Germination Traits of Two Cultivars of Quinoa under Salinity Stress. *Desert Ecosystem Engineering*, *8*(24), 79-94. doi: 10.22052/deej.2018.7.24.49. (In Persian).

Asghari, J., Ehteshami, S. M. R., Rajabi, D. Z., & Khavazi, K. (2014). Study of root inoculation with plant growth promoting bacteria (PGPB) and spraying with their metabolites on chlorophyll content, nutrients uptake and yield in rice (*Hashemi cultivar*). *Journal of Soil Biology, 2*, 21-31. (In Persian).

Bahuguna, A., Sharma, S., Yadav, J., & 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.

Bakhshandeh, E., Pirdashti, H. A., & Shahsavarpour Lendeh, Kh. (2017). Phosphate and potassium-solubilizing bacteria effect on the growth of rice. *Ecological Engineering, 103*, 164-169.

Bakhshandeh, E., Pirdashti, H., & Gilani, Z. (2018). Application of mathematical models to describe rice growth and nutrients uptake in the presence of plant growth promoting microorganisms. *Applied soil ecology, 124*, 171-184.

Bakhshandeh, E., Pirdashti, H., Shahsavarpour Lendeh, Kh., Gilani, Z., Yaghoubi Khanghahi, M., & Crecchio, C. (2020). Effects of plant growth promoting microorganisms inoculums on mineral nutrition, growth and productivity of rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Plant Nutrition, 43(11)*, 1643-1660.

Bakhshandeh, E., Rahimian, H., Pirdashti, H. A., & Nematzadeh, G. A. (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.

Cao, M., Narayanan, M., Shi, X., Chen, X., Li, Z., & Ma, Y. (2023). Optimistic contributions of plant growth-promoting bacteria for sustainable agriculture and climate stress alleviation. *Environmental Research, 217*, 114924.

Das, P. P., Singh, K. R., Nagpure, G., Mansoori, A., Singh, R. P., Ghazi, I. A., Kumar, A., & Singh, J. (2022). Plant-soil-microbes: A tripartite interaction for nutrient acquisition and better plant growth for sustainable agricultural practices. *Environmental Research, 214*, 113821

Duy, M. V., Hoi, N. T., Ve, N. B., Thuc, L. V., & Trang, N. Q. (2016, May). *Influence of cellulomonas flavigena, Azospirillum Sp. and Pseudomonas Sp. on rice growth and yield grown in submerged soil amended with rice straw.* 4th Asian PGPR Conference for Sustainable Agriculture, Hanoi, Vietnam.

Ebrahimi-Chamani, H., Yasari, E., & Pirdashti, H. A. (2015). The response of yield and yield components of rice (*Oryza sativa* L. cv. Shiroodi) to different phosphate solubilizing microorganisms and mineral phosphorus. *International Journal of Biosciences, 6*, 70-75.

El-Saadony, M. T., Saad, A. M., Soliman, S. M., Salem, H. M., Ahmed, A. I., Mahmood, M., El-Tahan, A. M., Ebrahim, A. A., El-Mageed, A., Taia, A., & Negm, S. H. (2022). Plant growth-promoting microorganisms as biocontrol agents of plant diseases: Mechanisms, challenges and future perspectives. *Frontiers in Plant Science, 13*, 923880.

Estefan, G., Sommer, R., & Ryan, J. (2013). *Methods of soil, plant, and water analysis. A manual for the West Asia and North Africa region*. Beirut: International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA).

FAO. (2021). FAOSTAT/ Productionstat/ Crops [Online]. Available at http://Faostat.Fao.Org/Site/567/Default.aspx. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Ghasemi Lemraski, M., Normohamadi, Gh., Madani, H., Heidari Sharifabad, H., & Mobasser, H. R. (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),* 47-66. (In Persian).

Ghasemi, M., Mobsser, H. R., Asadimanesh, H., & Gholizadeh, A. L. (2014). Investigating the effect of potassium, zinc and silicon on grain yield, yield components and their absorption in grain rice (*Oryza sativa* L.). *Soil Management and Sustainable Production, 4(2),* 1-24. (In Persian).

Gilani, Z., Pirdashti, H., & Bakhshandeh, E. (2017). Evaluation of *Piriformospora indica* and *Pantoea ananatis* on yield, yield components and potassium uptake of rice plant. *Journal Sustainable Agriculture and Production Science, 28(3),* 43-54. (In Persian).

Gupta, A., Mishra, R., Rai, S., Bano, A., Pathak, N., Fujita, M., Kumar, M., & Hasanuzzaman, M. (2022). Mechanistic insights of plant growth promoting bacteria mediated drought and salt stress tolerance in plants for sustainable agriculture. *International Journal of Molecular Sciences, 23(7),* 3741.

Hahn, L., Sá, E. L. S. D., Osório, B. D., Machado, R. G., Damasceno, R. G., & Giongo, A. (2016). Rhizobial inoculation, alone or coinoculated with Azospirillum brasilense, promotes growth of wetland rice. *Revista Brasileira de Ciência do Solo, 40,* e0160006.

Hojattipor, S., Jafari Haghighi, B., & Drostkar, M. (2014). The effect of integration of biological and chemical fertilizers on yield, yield components and growth indexes of wheat. *Plant Ecophysiology, 5(15),* 36-48. (In Persian).

Hussain, A., Ahmad, M., Nafees, M., Iqbal, Z., Luqman, M., Jamil, M., Maqsood, A., Mora-Poblete, F., Ahmar, S., Chen, J. T., & Alyemeni, M. N. (2020). Plant-growth-promoting Bacillus and Paenibacillus species improve the nutritional status of *Triticum aestivum* L. *PLoS One, 15(12),* e0241130.

Hyder, S., Rizvi, Z. F., los Santos-Villalobos, S. D., Santoyo, G., Gondal, A., Khalid, N., Fatima, S.N., Nadeem, M., Rafique, K., & Rani, A. (2023). Applications of plant growth-promoting rhizobacteria for increasing crop production and resilience. *Journal of Plant Nutrition, 46(10),* 2551-2580.

Kazemi, V., & Mirhashmi, M. (2016). *Agroecology*. Mashhad: Agricultural Education Research Publications. (In Persian).

Keshavarz, J., Aliasgharzad, N., Oustan, S., Emadi, M., & Ahmadi, A. (2013). Isolation and characterization of potassium solubilizing bacteria in some Iranian soil. *Archives of Agronomy and Soil Science, 59(12),* 1713-1723.

Kobua, C. K., Jou, Y. T., & Wang, Y. M. (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.

Meena, V. S., Meena, S. K., Verma, J. P., Kumar, A., Aeron, A., Mishra, P. K., Bisht, J. K., Pattanayak, A., Naveed, M., & Dotaniya, M. L. (2017). Plant beneficial rhizospheric microorganism (PBRM) strategies to improve nutrients use efficiency: a review. *Ecological Engineering, 107,* 8-32.

Migahed, H. A., Ahmed, A. E., & Abd El-Ghany, B. F. (2004). Effect of different bacterial strains as biofertilizeragents 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., & Sohrabi, Y. (2011). Introducing a sustainable soil fertility system for chickpea (*Cicer arietinum* L.). *African Journal of Biotechnology, 10,* 6011-6020.

Moslehi, N., Niknejhad, Y., Fallah, H., & Kheiri, N. A. (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(30),* 87-103. (In Persian).

Mostofa, M. G., Rahman, M. M., Ghosh, T. K., Kabir, A. H., Abdelrahman, M., Khan, M. A. R., Mochida, K. & Tran, L.S.P. (2022). Potassium in plant physiological adaptation to abiotic stresses. *Plant Physiology and Biochemistry, 186(1),* 279-289.

Mwashasha, R., Hunja, M., & Kahangi, E. M. (2016). The effect of inoculahing plant growth promoting microorganisms on rice production. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research, 9(3),* 34-44.

Naher, U. A., Panhwar, Q. A., Othman, R., Ismail, M. R., & Berahim, Z. (2016). Biofertilizer as a supplement of chemical fertilizer for yield maximization of rice. *Journal of Agriculture Food and Development, 2,* 16-22.

Nematzadeh, Gh. A., Oladi, M., Afkhami, A., Qolizadeh, A., Bagheri, A., Aghajani, M., Emami, M., Babaei, A., Ziyai, A., Rahimi, M., & Mozafari, K. (2018). Cultivation instructions for a new variety of Roshan rice. Technical and Promotional Magazine. Genetics and Agricultural Biotechnology Institute of Tabaristan. (In Persian) https://gabit.sanru.ac.ir/wp-content/uploads/2019/12/roshan.pdf

Nghi, K. N., Tagliani, A., Mariotti, L., Weits, D. A., Perata, P., & Pucciariello, C. (2021). Auxin is required for the long coleoptile trait in japonica rice under submergence. *New Phytologist, 229*, 85-93.

Ntanos, D. A., & Koutroubas, S. D. (2002). Dry matter and N accumulation and translocation for Indica and Japonica rice under Mediterranean conditions. *Field Crops Research, 74(1)*, 93-101.

Ramesh, A., Sushil, K. S., Mahaveer, P. S., Namrata, Y., & 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.

Shahsavarpour Lendeh, Kh., Pirdashti, H., & Bakhshandeh, B. (2019). Effect of plant growth promoting bacteria along with potassium fertilizer on yield and yield components of rice (cv. 'Tarom Hashemi'). *Journal of Agroecology, 11(2)*, 561-577. (In Persian)

Shakeel, M., Rais, A., Hassan, M. N., & Hafeez, F. Y. (2015). Root associated *Bacillus* sp. improves growth, yield and zinc translocation for basmati rice (*Oryza sativa*) varieties. *Frontiers in Microbiology, 6*, 1286.

Sharaan, A. N., & El-Smie, F. S. A. (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., & Shankhdhar, S. C. (2014). Growth promotion of the rice genotypes by PGPRs isolated from rice rhizosphere. *Journal of soil science and plant nutrition, 14(2)*, 505-517.

Agricultural Jihad Statistics. (2021). *Crop Products*. Tehran: Office of Statistics and Information Technology. (In Persian).

Vaid, S.K., Kumar, B., Sharma, A., Shukla, A. K., & Srivastava, P. C. (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.

Weyens, N., van der Lelie, D., Taghavi, S., Newman, L., & Vangronsveld, J. (2009). Exploiting plant-microbe partnerships to improve biomass production and remediation. *Trends Biotechnology, 27*, 591-598.

Yaghoubi Khanghahi, M., Pirdashti, H., Rahimian, H., Nematzadeh, G., & Ghajar Sepanlou, M. (2019). The role of potassium solubilizing bacteria (KSB) inoculations on grain yield, dry matter remobilization and translocation in rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Plant Nutrition, 42(10)*, 1165-1179.

Zaidi, A., & Khan, S. (2005). Interactive effect of rhizotrophic microorganisms on growth, yield, and nutrient uptake of wheat. *Journal of Plant Nutrition, 28(12)*, 2079-2092.