

نقش تلقیح قارچ تریکودرما و باکتری اینتروباکتر بر بهبود عملکرد گندم (*Triticum aestivum*) (L.) در سطوح مختلف کود فسفر

فائزه محمدی کشکا¹، همت‌اله پردشتی^{2*}، یاسر یعقوبیان³ و اسماعیل بخشنده³

تاریخ دریافت: 1395/02/28

تاریخ پذیرش: 1395/12/23

محمدی کشکا، ف.، پردشتی، ه.، یعقوبیان، ی. و بخشنده، ا. 1397. نقش تلقیح قارچ تریکودرما و باکتری اینتروباکتر بر بهبود عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.) در سطوح مختلف کود فسفر. بوم‌شناسی کشاورزی، 10(2): 430-443.

چکیده

به‌منظور بررسی اثر تلقیح قارچ تریکودرما (*Trichoderma hamatum*) و باکتری حل‌کننده فسفات اینتروباکتر (*Enterobacter* sp.) بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.) (رقم میلان)، آزمایشی مزرعه‌ای در شهرستان ساری (روستای سوته) به‌صورت کرت‌های خردشده فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی 94-1393 انجام شد. عامل اصلی کود فسفر (سوپرفسفات تریپل) در سه سطح صفر، 50 و 100 کیلوگرم در هکتار و عامل فرعی شامل تیمار قارچی در دو سطح عدم تلقیح (شاهد) و تلقیح با تریکودرما هامتوم و تیمار باکتریایی در دو سطح بدون باکتری (شاهد) و کاربرد اینتروباکتر بودند. نتایج آزمایش حاکی از تأثیر مثبت و معنی‌دار تریکودرما و اینتروباکتر بر بیشتر صفات مرتبط با عملکرد گندم بود. برای نمونه، در شرایط کود فسفر صفر، 50 و 100 کیلوگرم در هکتار، تلقیح جداگانه تریکودرما باعث افزایش معنی‌دار به ترتیب از 2/66 به 3/45 (29/69 درصد)، از 3/19 به 3/79 (18/80 درصد) و از 3/34 به 4/39 تن در هکتار (31/43 درصد) عملکرد دانه شد. همچنین، حضور اینتروباکتر به همراه تیمار صفر، 50 و 100 کیلوگرم در هکتار کود فسفر به ترتیب باعث افزایش معنی‌دار عملکرد از 2/66 به 3/37 (21/06 درصد)، از 3/19 به 3/46 (8/46 درصد) و از 3/34 به 5/10 تن در هکتار (52/69 درصد) گردید. به‌کارگیری هم‌زمان این ریزجانداران نیز افزایش معنی‌دار عملکرد دانه را از 2/66 به 3/78 (42/10 درصد)، از 3/19 به 3/85 (20/68 درصد) و از 3/34 به 4/48 تن در هکتار (34/13 درصد) به ترتیب در شرایط صفر، 50 و 100 کیلوگرم در هکتار کود فسفر به‌دنبال داشت. به‌طور کلی، نتایج این آزمایش نشان داد که کاربرد هم‌زمان ریزجانداران و کود شیمیایی فسفر اثر افزایشی بیشتری نسبت به کاربرد جداگانه کود شیمیایی فسفر به همراه داشت.

واژه‌های کلیدی: حل‌کننده فسفات، ریزجانداران، عملکرد بیولوژیک

مقدمه

جهت تغذیه گیاهان زراعی یکی از راه‌حل‌های مناسب در مسیر دستیابی به بخشی از اهداف کشاورزی پایدار به‌شمار می‌رود. کودهای زیستی به‌عنوان نهاده‌های بوم‌سازگار می‌توانند سبب کاهش استفاده از کودهای شیمیایی (Arzaneh & Faraji, 2015) و حفظ و پایداری بلندمدت حاصلخیزی خاک با توانایی فراهمی عناصر غذایی کم‌مصرف، پرمصرف و تبدیل فسفر نامحلول به فرم قابل دسترس برای گیاهان گردند (Mahdi et al., 2010). فسفر به‌عنوان یک عنصر غذایی ضروری اغلب به‌دلیل تثبیت شدن در خاک غیرقابل دسترس برای گیاهان می‌باشد (Zhu et al., 2011; Lavakush et al., 2014). بنابراین می‌توان از توانمندی باکتری‌های افزایشنده رشد

باتوجه به هزینه‌های بالا و آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف کودهای شیمیایی، گزینه قابل‌پذیرش از سوی کشاورزان جهت افزایش بهره‌وری در واحد سطح، مصرف کودهای زیستی می‌باشد (Mahdi et al., 2010). استفاده از فرآورده‌های زیستی در

1. 2 و 3- به ترتیب دانشجوی دکتری زراعت دانشگاه تربیت مدرس، دانشیار، دکتری زراعت، گروه زراعت، پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
(*) نویسنده مسئول:
(Email: h.pirdashti@sanru.ac.ir
DOI: 10.22067/jag.v10i2.55488

(Tripathi et al., 2015) و افزایش محتوای فسفر ریشه و ساقه آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) (Yadav et al., 2015) تلقیح شده با گونه‌های تریکودرما را گزارش نمودند.

گندم مهم‌ترین محصول زراعی است که بیش از 40 درصد غذای اصلی جمعیت جهان را تأمین می‌کند (Ahangar et al., 2015). این محصول راهبردی، به‌عنوان یکی از منابع مهم تأمین‌کننده غذای انسان نیاز زیادی به کودهای شیمیایی دارد، ولی آلودگی‌های ناشی از مصرف بیش از حد نهاده‌های شیمیایی باعث ایجاد مشکلات زیست‌محیطی زیادی شده است و علی‌رغم این که بخش اعظمی از زمین‌های زراعی از نظر برخی عناصر غذایی و به‌ویژه عنصر فسفر برای زراعت مناسب بوده و نیاز به استفاده از کودهای شیمیایی نمی‌باشد، اما به دلایلی از جمله عدم آگاهی و فرهنگ‌سازی کافی و همچنین عدم شناخت کشاورزان نسبت به روش‌ها و فنون مورد استفاده در کشاورزی پایدار، سالانه حجم زیادی کودهای شیمیایی به خاک افزوده می‌شود که در نتیجه سبب آلودگی خاک و آب‌های زیرزمینی و افزایش هزینه‌های تولیدی می‌گردد، به طوری که تخمین زده شده که 33 میلیون تن فسفر در سال 1990 به دریا وارد شده است که باعث مرگ آبیان از جمله ماهی‌ها گردیده است (Moghadassi, 2009). مصرف بیش از حد این عنصر در گیاه، ترکیب پیچیده‌ای به نام اسید فیتیک تولید می‌کند و باعث می‌شود مواد معدنی مهمی چون آهن، کلسیم و روی در بدن جذب نشود. نگاهی به دهه 60 حکایت از رشد مصرف کود ازته و فسفات در کشور در هر سال به میزان 10 درصد دارد و کشور ما در 10 سال گذشته مصرف‌کننده هشت درصد تولید جهانی فسفات آمونیوم بوده است (Moghadassi, 2009). بنابراین، در راستای کاهش مشکلات اقتصادی و زیست‌محیطی در تولید این محصول، پژوهش حاضر در مزارع کشاورزی شهرستان ساری استان مازندران انجام شد تا توانایی اثر قارچ تریکودرما *هاماتوم* به‌همراه باکتری حل‌کننده فسفات *اینتروباکتر* بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم (رقم میلان) در مقادیر مختلف کود فسفر در شرایط واقعی منطقه بررسی شود.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در منطقه رودپی شمالی (روستای سوتِه) از توابع شهرستان ساری استان مازندران، در سال زراعی 94-1393 با عرض جغرافیایی 36 درجه و 38 دقیقه شمالی و طول جغرافیایی 53 درجه و

گیاه¹ (PGPR) در محیط ریشه (ریزوسفری)، همچون باکتری‌های حل‌کننده فسفات² (PSB) به‌عنوان یک راهکار جهت فراهمی فسفر مصرفی برای گیاهان بهره‌جست (Zaidi et al., 2003; Lavakush et al., 2014). این ریزجانداران با استقرار در ریشه گیاهان و تولید اسیدهای آمینه و آلی، ویتامین‌ها و مواد افزایش‌دهنده رشد سبب افزایش رشد و عملکرد محصولات زراعی می‌شوند (Lavakush et al., 2014). در همین راستا، سویه‌های باکتری *سودوموناس* (*Pseudomonas* spp.) سبب بهبود تعداد دانه در خوشه، عملکرد کاه و کلش، عملکرد و کیفیت دانه برنج (*Oryza sativa* L.) (Lavakush et al., 2014)، بهبود رشد اولیه گیاهچه ذرت (*Zea mays* L.) از نظر طول ساقه، برگ و ضخامت برگ (Sengupta et al., 2015) و افزایش تعداد پنجه، وزن هزار دانه (Shaharoon et al., 2008)، عملکرد دانه و کاه و کلش (Hossain & Sattar, 2014) و محتوای فسفر دانه (Hassan & Bano, 2015) گندم (*Triticum aestivum* L.) شدند. همچنین نتایج برخی مطالعات نشان داده است که تلقیح با باکتری‌های *ازتوباکتر* (*Azotobacter*) و *آزوسپریلیوم* (*Azospirillum*) سبب بهبود عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و عملکرد دانه جو (*Hordeum vulgare* L.) (Mirshekari et al., 2012) و باکتری‌های *سودوموناس آئروژینوزا* (*P. aeruginosa*) و *مزوریزوبیوم* (*Mesorhizobium* sp.) نیز سبب افزایش وزن خشک ریشه، ساقه و عملکرد دانه نخود (*Cicer arietinum* L.) (Verma et al., 2013) گردیدند.

گونه‌های قارچی تریکودرما (*Trichoderma* spp.) نیز از طریق برقراری ارتباط با ریشه گیاهان و تحریک رشد ریشه، کنترل عوامل بیماری‌زای گیاهی از طریق تولید آنتی‌بیوتیک‌ها، القاء مقاومت سیستمیک و بهبود سلامت گیاهان (Harman et al., 2004) از دیگر ریزجانداران افزایش‌دهنده رشد گیاهی می‌باشند. توانایی حل‌کنندگی فسفات غیرقابل محلول خاک و در نتیجه بهبود حاصلخیزی خاک و رشد گیاه توسط گونه‌های تریکودرما نیز گزارش شده است (Kapri & Tewari, 2010). پژوهشگران مختلف، بهبود رشد و افزایش تعداد پنجه، ریشه‌های فرعی، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه گندم (Sharma et al., 2012)، بهبود عملکرد و کیفیت دانه نخود

1- Plant growth promoting rhizobacteria

2- Phosphate solubilizing bacteria

عملیات کاشت در تاریخ 12 دی‌ماه و به‌صورت دستی انجام شد. مساحت هر کرت شش مترمربع (2×3 متر) و تراکم 400 بوته در مترمربع در نظر گرفته شده بود. پس از رسیدگی فیزیولوژیکی گیاه (160 روز پس از کاشت)، مساحت یک مترمربع از هر کرت کف‌بر و صفات مربوط به عملکرد و اجزای عملکرد شامل تعداد سنبله در مترمربع، عملکرد کاه و کلش، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه (تن در هکتار)، شاخص برداشت³ (معادله 1) و وزن هزار دانه (گرم) اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری صفات تعداد دانه و وزن دانه در سنبله نیز، تعداد ده بوته به‌صورت تصادفی انتخاب و صفات موردنظر اندازه‌گیری شدند.

$$\text{معادله (1)} \quad \text{شاخص برداشت (HI)} = \left[\frac{\text{عملکرد دانه}}{\text{عملکرد بیولوژیک}} \right] \times 100$$

آزمون نرمال بودن داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخه 19) با روش کولموگروف-اسمیرنوف مورد بررسی قرار گرفت. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (نسخه 9/1) و مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

با توجه به نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایش بر صفات مورد بررسی در گیاه گندم (جدول 1)، اثر ساده کود فسفر بر صفات تعداد سنبله در مترمربع، تعداد دانه در سنبله، وزن دانه در سنبله، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت و اثر ساده قارچ نیز، بر صفات تعداد سنبله در مترمربع، عملکرد کاه و کلش، عملکرد دانه، شاخص برداشت و عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بود. باکتری نیز بر صفات تعداد سنبله در مترمربع، تعداد دانه در سنبله، وزن دانه در سنبله، عملکرد کاه و کلش، عملکرد دانه و شاخص برداشت اثر معنی‌داری داشت. صفات تعداد دانه در سنبله و وزن دانه در سنبله به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر برهم‌کنش کود فسفر و قارچ قرار گرفتند. برهم‌کنش کود فسفر و باکتری نیز بر صفات تعداد دانه در سنبله، وزن دانه در سنبله و عملکرد دانه اثر معنی‌داری داشت. نتایج برهم‌کنش قارچ و باکتری نیز حاکی از معنی‌داری صفات تعداد دانه در سنبله، وزن دانه در سنبله، عملکرد کاه و کلش، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه بودند. همچنین، برهم‌کنش کود فسفر، قارچ

32 دقیقه شرقی با ارتفاع 13/5 متر از سطح آب‌های آزاد به‌صورت کرت‌های خردشده فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی کود فسفر در سه سطح صفر، 50 و 100 کیلوگرم در هکتار از منبع سوپرفسفات تریپل و عامل‌های فرعی شامل تلقیح قارچی در دو سطح عدم تلقیح و تلقیح با قارچ *Trichoderma hamatum* و تیمار باکتریایی در دو سطح کاربرد و عدم کاربرد باکتری *Enterobacter* sp. بودند. بر اساس نتایج آزمون خاک، مقادیر پتاسیم و فسفر قابل جذب و نیتروژن کل خاک (عمق 0-30 سانتی‌متر) به ترتیب 358/47، 17/11 (میلی‌گرم بر کیلوگرم) و 0/12 (درصد) بودند. منطقه مورد آزمایش دارای خاکی با بافت سبیلی‌رسی، اسیدیته 7/3 و هدایت الکتریکی 0/42 دسی‌زیمنس بر متر بود. کودهای شیمیایی پایه شامل اوره (150 کیلوگرم در هکتار و در سه مرحله کاشت، پنجه‌زنی و ساقه‌رفتن) و پتاسیم (100 کیلوگرم از منبع سولفات پتاسیم) و سه سطح متفاوت فسفر قبل از کاشت مصرف شدند.

گونه قارچ *تری‌کودرما هاماتوم* و جدایه باکتری *اینتروباکتری* از پژوهشکده ژنتیک و زیست فناوری کشاورزی طبرستان تهیه شدند. قارچ *تری‌کودرما* در محیط کشت PDB¹ و روی شیکر با 120 دور در دقیقه در دمای 28 درجه سانتی‌گراد به مدت دو هفته کشت شد. در آخر سوسپانسیون با غلظت حدود 10⁹ واحد کلونی‌ساز در میلی‌لیتر تهیه و از این سوسپانسیون در مراحل بعدی آزمایش استفاده شد. به‌طور مشابه، جدایه باکتری در محیط نیتروژن برات (NB)² روی شیکر با سرعت 100 دور در دقیقه در دمای 30 درجه سانتی‌گراد به مدت سه روز کشت گردید (Bakshshandeh et al., 2014). در انتها از سوسپانسیون با جمعیت باکتری 10⁷ سلول زنده در میلی‌لیتر جهت پیش‌تیمار استفاده شد. یک‌صد میلی‌لیتر سوسپانسیون قارچ و باکتری به‌طور جداگانه برای پیش‌تیمار کردن بذر گندم به ازای هر کیلوگرم استفاده شد. کاشت بذرها در زمین اصلی چهار ساعت بعد از استفاده از پیش‌تیمارها صورت گرفت. علاوه بر این، جهت تلقیح هم‌زمان قارچ و باکتری از نسبت‌های مساوی سوسپانسیون‌های قارچ و باکتری (50 میلی‌لیتر باکتری + 50 میلی‌لیتر قارچ) و با غلظت دوبرابر آن‌ها برای هر کیلوگرم بذر گندم استفاده شد.

1- Potato dextrose broth

2- Nutrient broth

3- Harvest index

و باکتری نیز بر صفات تعداد سنبله در مترمربع، تعداد دانه در سنبله، وزن دانه در سنبله، عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال یک درصد و بر عملکرد کاه و کلش و عملکرد دانه در سطح احتمال پنج درصد اثر معنی داری داشتند (جدول 1).

جدول 1- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تیمارهای کود فسفر، قارچ و باکتری بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم
Table 1- Variance analysis (mean of squares) of the effect of phosphorus fertilizer, fungi and bacteria treatments on yield and yield components of wheat

منبع تغییرات	درجه آزادی	تعداد سنبله در مترمربع	تعداد دانه در سنبله	وزن دانه در سنبله	وزن هزار دانه	عملکرد کاه و کلش	عملکرد بیولوژیک	عملکرد دانه	شاخص برداشت
S.O.V.	df	Spikes number/m ²	Grain number /spike	Grain weight /spike	1000-seed weight	Straw yield	Biological yield	Grain yield	Harvest index
تکرار Replication (P)	2	176.80	10.92	0.01	16.46	3.46	2.30	0.12	79.21
فسفر (P)	2	57109.56**	444.28**	0.99**	15.72	0.70	5.60*	3.31**	140.50*
خطای اصلی Error a (F)	4	409.74	14.11	0.01	20.76	0.58	0.34	0.04	17.31
قارچ (F)	1	4113.29**	42.38	0.003	22.62	15.11**	6.67*	1.70**	642.79**
باکتری (B)	1	5413.28**	444.78**	0.44**	70.78	8.17**	1.56	2.59**	499.22**
P×F	2	104.86	187.81**	0.307**	37.37	1.97	3.00	0.11	29.57
P×B	2	198.19	83.89**	0.08**	9.32	0.74	0.25	0.43*	56.10
F×B	1	3.91	1081.09**	1.07**	1.13	11.77**	20.70**	1.26**	48.76
P×F×B	2	2507.19**	502.33**	0.27**	20.86	2.97*	5.82**	0.47*	13.89
خطای فرعی Error	18	407.72	13.04	0.01	19.18	0.82	0.87	0.09	16.72
ضریب تغییرات (درصد) C.V (%)		7.58	7.15	6.38	12.36	13.91	9.12	8.14	11.05

* و ** به ترتیب معنی داری در سطح احتمال پنج و یک درصد.
* and ** are significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

شاخه دهی (41 درصد)، تعداد غلاف در بوته (85 درصد)، عملکرد تر غلاف (219 درصد) و کاهش 58 درصدی بیماری فوزاریوم (*Fusarium solani*) گیاه لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) را پس از تلقیح با قارچ تریکودرما هاماتوم گزارش نمودند (Abd-El-Khair et al., 2010). کاندلا و همکاران (Kandula et al., 2015) نیز افزایش 25 درصدی عملکرد دانه حاصل از تلقیح گیاه کتان کش (*Camelina sativa* (L.) crantz) با قارچ تریکودرما را نسبت به گیاهان تلقیح نشده بیان داشتند.

به کارگیری اینتروباکتر نیز سبب بهبود صفات عملکرد دانه و شاخص برداشت به ترتیب به مقدار 15/27 و 22/39 درصد نسبت به شرایط عدم کاربرد باکتری گردید (جدول 2). نتایج پژوهش های دیگر نیز نشان دهنده نقش مثبت این ریزجانداران در بهبود رشد و عملکرد گیاه می باشد. برای نمونه، باکتری های افزایش دهنده رشد سبب بهبود

مقایسه میانگین اثر ساده کود فسفر نشان داد، مصرف کود فسفر سبب افزایش بیشتر صفات نسبت به شاهد (فسفر صفر) شد. به نحوی که در زمان مصرف 50 و 100 کیلوگرم در هکتار کود فسفر، به ترتیب عملکرد دانه از 3/31 به 3/57 (7/85 درصد) و 4/32 (30/51 درصد) تن در هکتار رسید. صابر و همکاران (Saber et al., 2012) نیز افزایش 14/38 و 15/82 درصدی عملکرد دانه گندم را به ترتیب در مصرف 25 و 50 کیلوگرم در هکتار فسفر نسبت به شرایط عدم مصرف آن بیان نمودند. در مقایسه میانگین قارچ مشخص شد که تلقیح قارچ تریکودرما هاماتوم سبب افزایش تمامی صفات به جزء عملکرد کاه و کلش و عملکرد بیولوژیک نسبت به شرایط عدم تلقیح گردید به طوری که به ترتیب افزایش 12/21 و 25/78 درصدی صفات عملکرد دانه و شاخص برداشت را به دنبال داشت. مطابق یافته های پژوهش حاضر، پژوهشگران دیگر بهبود ارتفاع بوته (34 درصد)،

هورمون‌های گیاهی، ویتامین‌ها، سیدروفور، مواد افزایش‌دهنده رشد و توانایی انحلال مواد معدنی فسفات‌ها و دیگر مواد مغذی موجب بهبود عملکرد گیاه میزبان خواهند شد (Verma et al., 2013).

جوانه‌زنی بذر (Seyed Sharifi & Khavazi, 2012)، زیست‌توده و عملکرد دانه ذرت (Noumavo et al., 2013)، وزن خشک ریشه، عملکرد کاه و کلش و عملکرد دانه نخود گردیدند (Verma et al., 2013). به‌طور کلی، این ریزجانداران با استقرار در ریشه گیاه و تولید

جدول 2- مقایسه میانگین اثرات ساده کودفسفر، تلقیح قارچ و کاربرد باکتری بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم

Table 2- Mean comparison of effect of phosphorus fertilizer, fungi and bacteria on yield and yield components of wheat

کود فسفر (کیلوگرم در هکتار) کود فسفر (کیلوگرم در هکتار) Phosphorus fertilizer (kg.ha ⁻¹)	تعداد سنبله در مترمربع	تعداد دانه در سنبله	وزن دانه در سنبله (گرم)	عملکرد کاه و کلش	عملکرد بیولوژیک (تن در هکتار)	عملکرد دانه	شاخص برداشت (درصد)
				Straw yield	Biological yield (t.ha ⁻¹)	Grain yield	
	Spikes number/m ²	Grain number /spike	Grain weight /spike (g)				Harvest index (%)
0	188.26	47.30	1.61	6.23	9.55	3.31	35.02
50	291.90	46.65	1.72	6.69	10.27	3.57	35.03
100	318.95	57.50	2.15	6.59	10.92	4.32	40.95
LSD (0.05)	22.94	4.25	0.12	0.86	0.66	0.22	4.71
قارچ							
Fungi							
-Th*	255.68	51.57	1.84	7.15	10.68	3.52	32.77
+Th**	277.06	49.40	1.82	5.86	9.81	3.95	41.22
LSD (0.05)	14.14	2.52	0.08	0.63	0.65	0.21	2.86
باکتری							
Bacteria							
-E*	254.11	46.97	1.72	6.98	10.45	3.47	33.27
+E**	278.63	54.00	1.94	6.03	10.04	4.00	40.72
LSD (0.05)	14.14	2.52	0.08	0.63	0.65	0.21	2.86

* بدون تلقیح تریکودرما هاماتوم و ** تلقیح تریکودرما هاماتوم - * بدون اینتروباکتر و ** کاربرد اینتروباکتر
*non *Trichoderma hamatum* and ***Trichoderma hamatum* - *non *Enterobacter* sp. and ***Enterobacter* sp.

جدول 3- مقایسه میانگین اثر متقابل کود فسفر و قارچ بر اجزای عملکرد گندم

Table 3- Interaction between the phosphorus fertilizer and fungi on yield components of wheat

تیمار تیمار فسفر (کیلوگرم در هکتار) Phosphorus (kg.ha ⁻¹)	قارچ Fungi	تعداد دانه در سنبله	وزن دانه در سنبله (گرم)
		Grain number/spike	Grain weight /spike (g)
0	-Th	45.91	1.51
	+Th	48.70	1.72
50	-Th	45.65	1.66
	+Th	47.65	1.78
100	-Th	63.15	2.35
	+Th	51.85	1.96
LSD (0.05)		4.38	0.14

† درصد افزایش (+) یا کاهش (-) نسبت به شاهد در هر سطح فسفر می‌باشد.
†% increase (+) or decrease (-) compared to control at each level of phosphorus.

فسفر به ترتیب سبب افزایش عملکرد دانه از 3/49 تا 3/65 (4/58 درصد) و از 3/86 تا 4/79 تن در هکتار (24/09 درصد) گردید. تعداد دانه در سنبله نیز در شرایط مصرف 50 و 100 کیلوگرم در هکتار کود فسفر به ترتیب از 43/85 به 49/45 (12/77 درصد) و از 56/20 به 58/80 (4/62 درصد) دانه رسید (جدول 4). به طور مشابه پژوهشگران بهبود تعداد دانه در سنبله و شاخص برداشت گندم را در حضور باکتری‌های حل‌کننده فسفات *Bacillus lentus* و *Pseudomonas putida* در سطوح صفر، 25 و 50 کیلوگرم در هکتار کود فسفر گزارش نمودند. همچنین، در پژوهش دیگری صابر و همکاران (Saber et al., 2012) بهبود عملکرد دانه از 534/33 به 566/33 (5/98 درصد)، از 678/66 به 778/33 (14/68 درصد) و از 684/77 به 776/77 (13/43 درصد) گرم در مترمربع به ترتیب در سطوح کود فسفر صفر، 25 و 50 کیلوگرم در هکتار و در حضور باکتری حل‌کننده فسفات گزارش شد. محققین دیگر نیز بهبود عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک جو در زمان حضور باکتری‌های *ازتوباکتر* و *آزوسپریلیوم* در سطوح فسفر 30 و 60 کیلوگرم در هکتار نسبت به شرایط شاهد (عدم کاربرد باکتری و کود فسفر) را گزارش نموده‌اند که بیشترین عملکرد دانه در زمان کاربرد هم‌زمان این ریزجانداران و در بالاترین سطوح فسفر مصرفی (60 کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد (Mirshakari et al., 2012). بهبود عملکرد دانه گندم در زمان به‌کارگیری هم‌زمان باکتری *سودوموناس* و مصرف 100 کیلوگرم در هکتار کود فسفر نسبت به شرایط عدم کاربرد باکتری و کود فسفر نیز گزارش شده است (Malik et al., 2012). ابراهیمی چمانی و همکاران (Ebrahimi-Chamani et al., 2014) نیز بهبود عملکرد دانه (11/70 درصد) و تعداد دانه در خوشه (28 درصد) برنج تلقیح‌شده با باکتری حل‌کننده فسفات *سودوموناس* را نسبت به شاهد گزارش کردند. در آزمایشی مزرعه‌ای در دو مکان مختلف کشور بنگلادش، علاوه بر افزایش عملکرد دانه و کاه، محتوای فسفر دانه و کاه گندم تلقیح‌یافته با باکتری *سودوموناس* به همراه مصرف 15 کیلوگرم در هکتار کود فسفر، همبستگی مثبت و معنی‌دار عملکرد دانه با صفات مرتبط با عملکرد از قبیل طول سنبله، ارتفاع بوته و تعداد پنجه نیز گزارش شد. این محققین بهبود صفات اجزای عملکرد را دلیل افزایش عملکرد دانه دانستند (Hossain & Sattar, 2014).

بر اساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌ها، قارچ تریکودرما *هاماتوم* در شرایط عدم مصرف کود فسفر، سبب افزایش تعداد دانه در سنبله، وزن دانه در سنبله به ترتیب به مقدار 6/07 و 13/90 درصد نسبت به شرایط شاهد (عدم تلقیح قارچ) گردید (جدول 3). بهبود عملکرد دانه، شاخه‌دهی و جذب فسفر ساقه، ریشه و دانه در گیاه نخود و در زمان تلقیح با قارچ تریکودرما *هارزیانوم*¹ نیز گزارش گردید که محققین علت آن را توانایی حل‌کنندگی فسفات نامحلول توسط این ریزجانداران و فراهمی آن برای گیاه نسبت دادند (Rudresh et al., 2005). زمانی که کود فسفر به مقدار 50 کیلوگرم در هکتار مصرف شد، این قارچ سبب افزایش 4/38 و 7/22 درصدی به ترتیب در صفات تعداد دانه در سنبله و وزن دانه در سنبله نسبت به شاهد شد (جدول 3). نتایج پژوهش‌های دیگر نیز نشان‌دهنده اثر تحریک‌کنندگی این گونه کودهای زیستی می‌باشد به طوری که به‌کارگیری گونه‌های *ویریدی*² و *هارزیانوم* در دو سال زراعی، سبب بهبود صفات عملکرد دانه و تعداد دانه در سنبله گندم نسبت به شرایط شاهد گردید (Moubarak & Abdel-Monaim., 2011). همچنین برخی از گونه‌های تریکودرما قادرند به‌طور مستقیم در منطقه ریزوسفر با ریشه گیاهان همزیست‌شده و به‌عنوان افزایش‌دهنده رشد گیاه، سبب بهبود تعداد پنجه، ریشه‌های فرعی، تعداد دانه در سنبله و عملکرد دانه گندم شوند (Sharma et al., 2012). سینگ و همکاران (Singh et al., 2010) نیز افزایش عملکرد رویش مجدد نیشکر (*Saccharum officinarum* L.) تلقیح‌شده با گونه‌های قارچی تریکودرما *هارزیانوم* را به بهبود جذب عناصر غذایی از قبیل پتاسیم، فسفر، نیتروژن و حل‌کنندگی فسفات و عناصر کم‌مصرف به‌وسیله این گونه قارچی نسبت دادند.

به‌کارگیری *اینتروباکتر* در تمامی سطوح کود فسفر مصرفی سبب افزایش قابل‌توجه تمامی صفات نسبت به شرایط شاهد (عدم کاربرد باکتری) گردید (جدول 4). در شرایطی که از کود فسفر استفاده نشد کاربرد این باکتری صفات تعداد دانه در سنبله، وزن دانه در سنبله و عملکرد دانه را به ترتیب 31/54، 27/46 و 17/04 درصد افزایش داد. حضور *اینتروباکتر* در زمان مصرف 50 و 100 کیلوگرم در هکتار کود

1- *Trichoderma harzianum*2- *Trichoderma viride*

جدول 4- مقایسه میانگین اثر متقابل کود فسفر و باکتری بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم

Table 4- Mean comparisons for interaction between the phosphorus fertilizer and bacteria on yield and yield components of wheat

تیمار Treatment		تعداد دانه در سنبله	وزن دانه در سنبله (گرم)	عملکرد دانه (تن در هکتار)
فسفر (کیلوگرم در هکتار) Phosphorus (kg.ha ⁻¹)	باکتری Bacteria	Grain number /spike	Grain weight /spike (g)	Grain yield (t.ha ⁻¹)
0	-E	40.86	1.42	3.05
	+E	53.75 (+31.54)	1.81 (+27.46)	3.57 (+17.04)
50	-E	43.85	1.61	3.49
	+E	49.45 (+12.77)	1.82 (+13.04)	3.65 (+4.58)
100	-E	56.20	2.12	3.86
	+E	58.80 (+4.62)	2.19 (+3.30)	4.79 (+24.09)
LSD (0.05)		4.38	0.14	0.36

ریزمغذی شامل آهن، منگنز و منیزیم نامحلول شوند که نتیجه آن افزایش حاصلخیزی خاک و افزایش تولید محصول می‌باشد (Mohammadi et al., 2011a). محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2011a) نیز دلیل افزایش تعداد غلاف بارور و عملکرد دانه کلزا (*Brassica napus* L.) تلقیح‌شده با قارچ تریکودرما و باکتری‌های حل‌کننده فسفات را به توانایی فراهمی عناصر غذایی و کاهش عوامل بیماری‌زا و تنش‌زا در حضور این ریزجانداران نسبت دادند. همچنین، بهبود قابل توجه محتوای فسفر برگ، دانه، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و غلاف بارور در بوته نخود را در شرایط به‌کارگیری هم‌زمان باکتری‌های حل‌کننده فسفات و قارچ تریکودرما گزارش نموده و دلیل آن را به فراهمی عناصر غذایی از قبیل فسفر در زمان حضور باکتری‌های حل‌کننده فسفات و سرکوب پاتوژن‌های گیاهی توسط قارچ تریکودرما نسبت دادند (Mohammadi et al., 2011b).

نتایج اثرات متقابل سه گانه کود فسفر، قارچ و باکتری نشان داد که به‌کارگیری قارچ تریکودرما هاماتوم در تمامی سطوح کود فسفر، سبب افزایش قابل توجه تمامی صفات به جز عملکرد کاه و کلش نسبت به شاهد (عدم کاربرد باکتری و عدم تلقیح قارچی) گردید (جدول 6). به‌نحوی که تلقیح جداگانه تریکودرما هاماتوم سبب افزایش 0/93، 17/80، 42/73 و 8/39 درصدی به‌ترتیب صفات تعداد سنبله در مترمربع، تعداد دانه در سنبله، وزن دانه در سنبله و عملکرد بیولوژیک در شرایط عدم مصرف کود فسفر نسبت به شاهد شد.

نتایج برهم‌کنش قارچ و باکتری نشان داد که قارچ تریکودرما هاماتوم در شرایط کاربرد و عدم کاربرد باکتری/ایتروباکتر سبب افزایش قابل توجه صفات تعداد دانه در سنبله، وزن دانه در سنبله و عملکرد دانه نسبت به شاهد (عدم به‌کارگیری قارچ و باکتری) گردید (جدول 5). با این حال کاربرد جداگانه این ریزجانداران سبب افزایش تمامی صفات به جز صفت عملکرد کاه و کلش نسبت به شاهد شد (جدول 5). تیمارهای کاربرد جداگانه باکتری، قارچ و به‌کارگیری توأم این ریزجانداران سبب بهبود عملکرد دانه گندم به‌ترتیب به مقدار 29/73، 26/47 و 31/69 درصد نسبت به تیمار شاهد شدند (جدول 5). به‌طور مشابه، بهبود 33/98، 42/38 و 95/33 درصدی عملکرد دانه نخود به‌ترتیب در زمان حضور باکتری‌های حل‌کننده فسفات (*Bacillus lentus*+*Pseudomonas putida*)، تلقیح قارچ تریکودرما هارزیانوم و به‌کارگیری توأم این ریزجانداران گزارش گردید (Mohammadi et al., 2011b). مطابق یافته‌های پژوهش حاضر، کاربرد جداگانه ایتروباکتر در تمامی صفات اثر افزایشی بیشتری نسبت به تریکودرما نشان داد، به‌عبارتی به‌کارگیری جداگانه ایتروباکتر افزایش 17/91، 12/76، 4/17 و 2/58 درصدی به‌ترتیب صفات تعداد دانه در سنبله، وزن دانه در سنبله، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه را نسبت به تریکودرما هاماتوم به‌همراه داشت. به‌نظر می‌رسد بیشتر سویه‌های تریکودرما قادرند از طریق ترشح اسیدهای آلی مانند اسید گلوکونیک، فوماریک و اسید سیتریک، محیط اطراف ریشه را اسیدی نموده و موجب حل کردن فسفات و کاتیون‌های

افزایش صفات تعداد سنبله در مترمربع و عملکرد دانه نسبت به شاهد شدند (جدول 6).

به طور مشابه، *اینتروباکتر* نیز در تمامی سطوح کود فسفر، سبب بهبود تمامی صفات به جز عملکرد کاه و کلش نسبت به شاهد گردید. در تمامی سطوح کود فسفر، به کارگیری همزمان قارچ و باکتری نیز سبب

جدول 5- مقایسه میانگین اثر متقابل قارچ و باکتری بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم

Table 5- Mean comparisons for interaction between the phosphorus fertilizer and fungi on yield and yield components of wheat

تیمار Treatment		تعداد دانه در سنبله	وزن دانه در سنبله (گرم)	عملکرد کاه و کلش Straw yield	عملکرد بیولوژیک (تن در هکتار) Biological yield	عملکرد دانه Grain yield
Fungi	Bacteria	Grain number /spike	Grain weight /spike (g)	(t.ha ⁻¹)		
-Th	-E	42.57	1.55	7.06	10.13	3.06
	E+	60.56 (+42.25)	2.12 (+36.77)	7.25 (+2.69)	11.23 (+10.85)	3.97 (+29.73)
+Th	E-	51.36 (+20.64)	1.88 (+21.29)	6.90 (-2.26)	10.78 (+6.41)	3.87 (+26.47)
	E+	47.43 (+11.41)	1.76 (+13.54)	4.81 (-31.86)	8.85 (-12.93)	4.03 (+31.69)
LSD (0.05)		3.57	0.11	0.89	0.92	0.30

عملکرد دانه برنج (Bakhshandeh et al., 2015) تلقیح شده با باکتری *اینتروباکتر* را نسبت به شاهد (عدم کاربرد باکتری) بیان داشتند. این ریزجانداران به طور مستقیم از طریق حل کنندگی فسفر، فراهمی مواد ضروری، تولید هورمون‌های گیاهی مانند IAA و به طور غیرمستقیم از طریق کاهش اثرات عوامل بیماری‌زای مختلف گیاهی باعث بهبود رشد و عملکرد گیاه می‌گردند (Bakhshandeh et al., 2015). گونه‌های قارچ *تریکودرما* (*Trichoderma* spp.) نیز با تشکیل کلونی و اسپورزایی فراوان در محیط خاک و به ویژه اطراف ریشه (ریزوسفر) اغلب گیاهان زراعی و غیرزراعی باعث افزایش پتانسیل رشد و جذب مواد غذایی، بازده مصرف کودها و تحریک گیاه برای مقابله با آسیب‌های زنده و غیرزنده می‌شوند (Shoresh et al., 2010). حالت آنتاگونیستی قارچ *تریکودرما* با اغلب عوامل بیماری‌زا در آزمایش‌هایی نیز گزارش شده است (Verma et al., 2007; Vinale et al., 2008). همچنین، قارچ *تریکودرما* نیز با افزایش حلالیت و جذب ریزمغذی‌های مهم مانند آهن، منگنز، منیزیم، کاتیون‌های معدنی و فسفات‌ها باعث بهبود رشد گیاهان می‌شود (Vinale et al., 2008). بنابراین، مطابق یافته‌های پژوهش حاضر، می‌توان بهبود عملکرد دانه گندم را به توانایی وصف شده این ریزجانداران در بهبود رشد گیاهان نسبت داد.

در شرایطی که فسفر به میزان 50 کیلوگرم در هکتار مصرف شده بود، کاربرد *اینتروباکتر*، تلقیح *تریکودرما هامتوم* و به کارگیری توأم این ریزجانداران به ترتیب سبب افزایش 0/72، 5/19 و 15/60 درصدی تعداد سنبله در مترمربع شدند. همچنین، این ترکیب تیماری به ترتیب افزایش 23/32، 17/99 و 16/95 درصدی تعداد سنبله در مترمربع در زمان مصرف فسفر 100 کیلوگرم در هکتار را به همراه داشتند (جدول 6). در نتیجه مطابق یافته‌های پژوهش حاضر، تلقیح جداگانه قارچ *تریکودرما هامتوم* در شرایط صفر، 50 و 100 کیلوگرم در هکتار کود فسفر، به ترتیب عملکرد دانه را از 2/66 به 3/45 (29/69 درصد)، از 3/19 به 3/79 (18/80 درصد) و از 3/34 به 4/39 تن در هکتار (31/43 درصد) افزایش داد. حضور *اینتروباکتر* به همراه تیمار صفر، 50 و 100 کیلوگرم در هکتار کود فسفر به ترتیب باعث افزایش عملکرد از 2/66 به 3/37 (21/06 درصد)، از 3/19 به 3/46 (8/46 درصد) و از 3/34 به 5/10 تن در هکتار (52/69 درصد) شدند. به کارگیری توأم این ریزجانداران نیز باعث افزایش 42/10، 20/68 و 34/13 درصدی عملکرد دانه به ترتیب در شرایط صفر، 50 و 100 کیلوگرم در هکتار کود فسفر گردید (جدول 6). در این راستا، پژوهشگران نقش مثبت حل کنندگی فسفات باکتری *اینتروباکتر* را گزارش نمودند. برای نمونه، بهبود رشد و محتوای فسفر گیاه آفتابگردان (Shahid et al., 2012) و بهبود حدود نه درصدی

جدول 6- مقایسه میانگین اثر متقابل کود فسفر، قارچ و باکتری بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم
Table 6- Man comparisons for interaction effect of phosphorus fertilizer, fungi and bacteria on yield and yield components of wheat

تیمار Treatment			تعداد سنبله در مترمربع	تعداد دانه در سنبله	وزن دانه در سنبله (گرم)	عملکرد کاه	عملکرد	عملکرد دانه
فسفر (کیلوگرم در هکتار)	قارچ	باکتری				وکلش	بیولوژیک (تن در هکتار)	Grain yield
			P (kg.ha ⁻¹)	Fungi	Bacteria	Spikes number /m ²	Grain number /spike	Grain weight /spike (g)
0	-Th	-E	173.87	37.52	1.17	6.86	9.53	2.66
		+E	182.50	54.30	1.86	6.45	9.83	3.37
			(+4.96)	(+44.72)	(+58.97)	(-5.97)	(+3.14)	(+21.06)
	+Th	-E	175.50	44.20	1.67	6.88	10.33	3.45
		+E	221.16	53.20	1.77	4.74	8.53	3.78
			(+27.19)	(+41.79)	(+51.28)	(-30.90)	(-10.49)	(+42.10)
50	-Th	-E	277.00	41.30	1.52	7.13	10.33	3.19
		+E	279.00	50.00	1.80	7.07	10.53	3.46
			(+0.72)	(+21.06)	(+18.42)	(-0.84)	(+1.93)	(+8.46)
	+Th	-E	291.40	46.40	1.71	6.64	10.43	3.79
		+E	320.22	48.90	1.85	5.94	9.79	3.85
			(+15.60)	(+18.40)	(+21.71)	(-16.69)	(-5.22)	(+20.68)
100	-Th	-E	278.40	48.90	1.98	7.19	10.53	3.34
		+E	343.33	77.40	2.72	8.23	13.33	5.10
			(+23.32)	(+58.28)	(+37.37)	(+14.46)	(+26.59)	(+52.69)
	+Th	-E	328.49	63.50	2.27	7.20	11.59	4.39
		+E	325.60	40.21	1.66	3.74	8.23	4.48
			(+16.95)	(-17.77)	(-16.16)	(-47.98)	(-21.84)	(+34.13)
LSD (0.05)			34.63	6.19	0.20	1.55	1.60	0.52

نتیجه گیری

مطلوبی را بر رشد و عملکرد گندم به همراه داشته باشد. در پایان، جهت شناخت بهتر و بیشتر سازوکارهای این ریزجانداران در میزان فسفر مناسب مصرفی، مطالعات تکمیلی در شرایط آب و هوایی و مکان‌های مختلف و نیز روی ارقام مختلف گندم پیشنهاد می‌گردد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان جهت همکاری در فراهمی ایزوله قارچ و از جناب آقای فرزین گوران جهت در اختیار قرار دادن مزرعه و مساعدت در انجام پژوهش حاضر سپاسگزاری می‌گردد.

در مجموع، نتایج به دست آمده از این پژوهش بیانگر نقش مثبت قارچ *تریکودرما هامتوم* و باکتری *اینتروباکتر* بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم بود. تلفیق جداگانه قارچ و کاربرد باکتری در تمامی سطوح کود فسفر مصرفی سبب افزایش قابل توجه بیشتر صفات از جمله عملکرد دانه نسبت به مصرف تنهای کود شیمیایی فسفر شد. به کارگیری توأم این ریزجانداران نیز در سطوح پایین فسفر نتایج بهتری نسبت به شاهد به همراه داشت. با توجه به نتایج مطالعه حاضر، به نظر می‌رسد تلفیق این ریزجانداران با کودهای شیمیایی می‌تواند در راستای کاهش مصرف کودهای شیمیایی و کاهش هزینه‌های تولید جایگزین بخشی از کودهای شیمیایی مورد نیاز گندم گردد و اثرات

منابع

- Abd-El-Khair, H., Khalifa, R.K.M., and Haggag, K.H.E. 2010. Effect of *Trichoderma* species on damping off diseases incidence, some plant enzymes activity and nutritional status of bean plants. *Journal of American Science* 6: 486-497.
- Ahangar, L., Babaezad, V., Ranjbar, G.A., Najafi Zarrini, H., and Biabani, A. 2015. Expression profile of defense-related genes in susceptible and resistant wheat cultivars in response to powdery mildew infection. *Modern Genetics Journal* 10: 33-46. (In Persian with English Summary)
- Arzanesh, M.H., and Faraji, A. 2015. Effect of plant growth promoting bacteria (*Azospirillum* sp.) on physiology and yield of two oilseed rapes. *Journal of Management System* 2: 159-171. (In Persian with English Summary)
- Bakhshandeh, E., Rahimian, H., Pirdashti, H., and 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.
- Bakhshandeh, E., Rahimian, H., Pirdashti, H., and Nematzadeh, G.A. 2015. Evaluation of phosphate-solubilizing bacteria on the growth and grain yield of rice (*Oryza sativa* L.) cropped in northern Iran. *Journal of Applied Microbiology* 119: 1371-1382.
- Ebrahimi-Chamani, H., Yasari, E., and Pirdashti, H.A. 2014. Effects of phosphate solubilizing bacteria and phosphorous levels on rice (*Oryza sativa* L.). *Agricultural Advances* 3: 56-66.
- Harman, G.E., Howell, C.R., Viterbo, A., Chet, I., and Lorito, M. 2004. *Trichoderma* species-opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nature Reviews Microbiology* 2: 43-56.
- Hassan, T.U., and Bano, A. 2015. Role of carrier-based biofertilizer in reclamation of saline soil and wheat growth. *Archives of Agronomy and Soil Science* 61: 1719-1731.
- Hossain, M.B., and Sattar, M.A. 2014. Effect of inorganic phosphorus fertilizer and inoculants on yield and phosphorus use efficiency of wheat. *Journal of Environmental Science and Natural Resources* 7: 75-79.
- Kandula, D.R.W., Alizadeh, H., Teixiera, C.S.P., Gale, D., Stewart, A., and Hampton, J.G. 2015. *Trichoderma* bio-inoculant improves seedling emergence, plant growth and seed yield of *Camelina sativa* (L.) Crantz. *New Zealand Plant Protection* 68: 160-165.
- Kapri, A., and Tewari, L. 2010. Phosphate solubilization potential and phosphatase activity of rhizospheric *Trichoderma* spp. *Brazilian Journal of Microbiology* 41: 787-795.
- Lavakush, Y.J., Verma, J.P., Jaiswal, D.K., 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.
- Mahdi, S.S., Hassan, G.I., Samoon, S.A., Rather, H.A., Dar, S.A., and Zehra, B. 2010. Bio-fertilizers in organic agriculture. *Journal of Phytology* 2: 42-54.
- Malik, A.U., Malghani, A.L., and Hussain, F. 2012. Growth and yield response of wheat (*Triticum aestivum* L.) to phosphobacterial inoculation. *Russian Agricultural Sciences* 38: 11-13.
- Mirshekari, B., Hokmalipour, S., Sharifi, R.S., Faravash, F., and Ebadi-Khazine-Gadim, A. 2012. Effect of seed biopriming with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield and dry matter accumulation of spring barley (*Hordeum vulgare* L.) at various levels of nitrogen and phosphorus fertilizers. *Journal of Food Agriculture and Environment* 10: 314-320.
- Moghadassi, R. 2009. An strategy to meet food security (based on determined goals in agricultural section). *Islamic*

Parliament Research Center, Tehran. (In Persian)

Mohammadi, K., Ghalavand, A., Aghaalikhani, M., and Rokhzadi, A. 2011a. Effect of different methods of soil fertility increasing via application of organic, chemical and biological fertilizers on grain yield and quality of canola (*Brassica napus* L.). *Journal of Agroecology* 3: 298-308. (In Persian with English Summary).

Mohammadi, K., Ghalavand, A., Aghaalikhani, M., Heidari, G., and Sohrabi, Y. 2011b. Introducing a sustainable soil fertility system for chickpea (*Cicer arietinum* L.). *African Journal of Biotechnology* 10: 6011-6020.

Moubarak, M.Y., and Abdel-Monaim, M.F. 2011. Effect of bio-control agents on yield, yield components and root rot control in two wheat cultivars at New Valley region, Egypt. *Journal of Cereals and Oilseeds* 2: 77-87.

Noumavo, P.A., Kochoni, E., Didagbé, Y.O., Adjanooun, A., Allagbé, M., Sikirou, R., Gachomo, E.W., Kotchoni, S.O., and Baba-Moussa, L. 2013. Effect of different plant growth promoting Rhizobacteria on maize seed germination and seedling development. *American Journal of Plant Sciences* 4: 1013-1021.

Rudresh, D.L., Shivaprakash, M.K., and Prasad, R.D. 2005. Tricalcium phosphate solubilizing abilities of *Trichoderma* spp. in relation to P uptake and growth and yield parameters of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Canadian Journal of Microbiology* 51: 217-222.

Saber, Z., Pirdashti, H., Esmaeili, M., Abbasian, A., and Heidarzadeh, A. 2012. Response of wheat growth parameters to co-inoculation of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and different levels of inorganic nitrogen and phosphorus. *World Applied Sciences Journal* 16: 213-219.

Sengupta, C., Bhosale, A., and Malusare, S. 2015. Effect of plant growth promoting rhizobacteria on seed germination and seedling development of *Zea mays*. *International Journal of Research in Advent Technology Special Issue, National Conference on Advances and Challenges in Green Technology, Pune, India, 13-14 February* p. 32-40.

Seyed Sharifi, R., and Khavazi, K., 2012. Effect of seed inoculation with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on germination components and seedling growth of corn (*Zea mays* L.). *Journal of Agroecology* 3: 506-513. (In Persian with English Summary)

Shaharouna, B., Naveed, M., Arshad, M., and Zahir, Z.A. 2008. Fertilizer-dependent efficiency of *Pseudomonads* for improving growth, yield, and nutrient use efficiency of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Applied Journal of Microbiology and Biotechnology* 79: 147-155.

Shahid, M., Hameed, S., Imran, A., Ali, S., and Van Elsas, J.D. 2012. Root colonization and growth promotion of sunflower (*Helianthus annuus* L.) by phosphate solubilizing *Enterobacter* sp. Fs-11. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 28: 2749-2758.

Sharma, P., Patel, A.N., Saini, M.K., and Deep, S. 2012. Field demonstration of *Trichoderma harzianum* as a plant growth promoter in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Agricultural Science* 4: 65-73.

Shoresh, M., Harman, G.E., and Mastouri, F., 2010. Induced systemic resistance and plant responses to fungal biocontrol agents. *Annual Review of Phytopathology* 48: 21-43.

Singh, V., Singh, P.N., Yadav, R.L., Awasthi, S.K., Joshi, B.B., Singh, R.K., Lal, R.J., and Duttamajumder, S.K. 2010. Increasing the efficacy of *Trichoderma harzianum* for nutrient uptake and control of red rot in sugarcane. *Journal of Horticulture and Forestry* 2: 66-71.

Tripathi, P., Singh, P.C., Mishra, A., Tripathi, R.D., and Nautiyal, C.S. 2015. *Trichoderma* inoculation augments grain amino acids and mineral nutrients by modulating arsenic speciation and accumulation in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Ecotoxicology and Environmental Safety* 117: 72-80.

Verma, J.P., Yadav, J., Tiwari, K.N., and Kumar, A., 2013. Effect of indigenous *Mesorhizobium* spp. and plant growth promoting rhizobacteria on yields and nutrients uptake of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under sustainable agriculture. *Ecological Engineering* 51: 282-286.

Verma, M., Brar, S.K., Tyagi, R.D., Surampalli, R.Y., and Valèro, J.R. 2007. Antagonistic fungi, *Trichoderma* spp.: Panoply of biological control. *Biochemical Engineering Journal* 37: 1-20.

Vinale, F., Sivasithamparam, K., Ghisalberti, E.L., Marra, R., Woo, S.L., and Lorito, M. 2008. *Trichoderma*-plant-pathogen interactions. *Soil Biology and Biochemistry* 40: 1-10.

Yadav, A., Yadav, K., and Aggarwal, A. 2015. Impact of arbuscular mycorrhizal fungi with *Trichoderma viride* and *Pseudomonas fluorescens* on growth, yield and oil content in *Helianthus annuus* (L.). *Journal of Essential Oil Bearing Plants* 18: 444-454.

Zaidi, A., Saghir Khan, M.D., and Amil, M.D. 2003. Interactive effect of rhizotrophic microorganisms on yield and nutrient uptake of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *European Journal of Agronomy* 19: 15-21.

Zhu, F., Qu, L., Hong, X., and Sun, X. 2011. Isolation and characterization of a phosphate-solubilizing halophilic bacterium *Kushneria* sp. YCWA18 from Daqiao Saltern on the coast of Yellow Sea of China. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine* 2011: 1-6.



The Role of *Trichoderma* and *Enterobacter* Inoculation on Improving Wheat Yield in Different Levels of Phosphorus Fertilizer

F. Mohammadi Kashka¹, H. Pirdashti^{2*}, Y. Yaghoobian³, E. Bakhshandeh³

Submitted: 17-05-2016

Accepted: 13-03-2017

Mohammadi Kashka, F., Pirdashti, H., Yaghoobian, Y., and Bakhshandeh, E. 2018. The role of *Trichoderma* and *Enterobacter* inoculation on improving wheat yield in different levels of phosphorus fertilizer. Journal of Agroecology. 10(2): 430-443.

Introduction

Regarding to the high cost and environmental pollution due to the overuse of chemical fertilizers, an adoptable option for farmers are biofertilizers to increase crop productivity per unit area. Bio-fertilizers are essential components of organic farming that play a vital role in maintaining long-term fertility and sustainability of the soil by their ability to provide micro- and macro-nutrients and also to convert insoluble phosphorus (P) into available forms to plants. Phosphorus as an essential nutrient is often fixed by most soils and is unavailable to the plants. Therefore, application of the plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) such as phosphate solubilizing bacteria (PSB) can be proposed as an efficient solution to provide P for plants. These microorganisms by staying on the plant roots surface through production of organic acids, vitamins and other growth promoting materials could increase grain yield (GY) in many crops. In addition, *Trichoderma* spp. fungus species symbiosis with plant roots and root growth stimulation could control plant pathogens by production of antibiotics, induced systemic resistance and improve plant health that are known as other plant growth promoting microorganisms. It has been reported that *Trichoderma* species have an ability to solubilizing soil insoluble phosphate which resulted in improving the soil fertility and plant growth as well. Wheat (*Triticum aestivum*L.) is an important source of human foods which its production is highly depending on the application of chemical fertilizers. Therefore, to reduce the economic and environmental problems, this study aimed to investigate the effect of *Trichoderma hamatum* fungi along with *Enterobacter* sp. as a PSB on yield and yield components of wheat (cv. 'Milan') in different levels of phosphorus fertilizer (TSP).

Materials and Methods

A field experiment was conducted in Mazandaran province (Sari city, located at 36°38' N, 53°32' E and 13.5 m asl) in 2014-15. The experiment was carried out in a factorial split plot arrangement based on a randomized complete blocks design with three replications. Three levels of triple super phosphate (TSP; zero, 50 and 100 kg ha⁻¹) were used as the main plot and both fungal (inoculation with *Trichoderma hamatum* and uninoculated control) and phosphate solubilizing bacteria (PSB) inoculations (inoculation with *Enterobacter* sp. and uninoculated control), were served as the sub-plots. In this experiment, the traits related to yield and yield components including number of spikes per square meter, grain number and grain weight per spike, straw yield and biological yield, grain yield (t.ha⁻¹), harvest index and 1000-grain weight (g) were measured. Finally, data analysis was performed using SAS 9.1 and means were compared by the least significant difference (LSD) test at a 5% level of probability.

Results and Discussion

The results indicated that the effect of both *Trichoderma hamatum* and *Enterobacter* sp. were statistically significant on yield and yield components of wheat. GY increased from 2.66 to 3.45 (29.69%), 3.19 to 3.79 (18.80%) and 3.34 to 4.39 t.ha⁻¹ (31.43%) for 0, 50 and 100 kg.ha⁻¹ of TSP, respectively, when *Trichoderma hamatum* was used separately. In contrast, single PSB inoculation increased GY from 2.66 to 3.37 (21.06%), 3.19 to 3.46 (8.46%) and 3.34 to 5.10 t.ha⁻¹ (52.69%) when applied 0, 50 and 100 kg.ha⁻¹ of TSP, respectively. Simultaneous application of these microorganisms significantly increased GY from 2.66 to 3.78

1, 2 and 3- Ph.D. Student of Agronomy, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran, Associate Professor and Ph.D of Agronomy, Department of Plant Molecular Physiology, Genetics and Agricultural Biotechnology Institute of Tabarestan and Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran, respectively.

(*- Corresponding author Email: h.pirdashti@sanru.ac.ir)

DOI: 10.22067/jag.v10i2.55488

(42.10%), from 3.19 to 3.85 (20.68%) and from 3.34 to 4.48 t.ha⁻¹ (34.13%) for 0, 50 and 100 kg.ha⁻¹ of TSP, respectively.

Conclusion

The result of this study clearly indicate that presence of both *Trichoderma hamatum* and *Enterobacter* sp. along with different levels of TSP can increase yield and yield components of wheat as compared to the application of TSP alone (without *Trichoderma hamatum* and *Enterobacter* sp.).

Acknowledgements

This study was supported by a grant from the Genetics and Agricultural Biotechnology Institute of Tabarestan and Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran. The authors thank Mr. Farzin Goran for his assistance in the field experiment.

Keywords: Biological yield, Microorganism, Phosphate solubilizing