Archive of SID

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 10، شماره 2، تابستان 1397، ص. 443-430

Journal of Agroecology
Vol. 10, No.2, Summer 2018, p. 430-443

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

فائزه محمدی کشکا[1]، همت‌اله پیردشتی*[2]، یاسر یعقوبیان[3] و اسماعیل بخشنده[3]

تاریخ دریافت: 1395/02/28
تاریخ پذیرش: 1395/12/23

محمدی کشکا، ف.، پیردشتی، 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): 443-430.

چکیده

به‌منظور بررسی اثر تلقیح قارچ *تریکودرما هاماتوم* (*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 هاماتوم* 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 به‌ترتیب 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* به‌همراه تیمار صفر، 50 و 100 کیلوگرم در هکتار کود فسفر به‌ترتیب 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) به‌ترتیب 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 به‌همراه داشت.

واژه‌های کلیدی: حل‌کننده فسفات، ریزجانداران، عملکرد بیولوژیک

مقدمه

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 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 (Arzanesh & 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 افزاینده رشد

1، 2 و 3- به‌ترتیب 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

www.SID.ir

Archive of SID

گیاه[1](PGPR) در محیط ریشه (ریزوسفری)، همچون باکتری‌های حل‌کننده فسفات[2](PSB) به‌عنوان یک راهکار جهت فراهمی فسفر مصرفی برای گیاهان بهره جست (Zaidi et al., 2003; Lavakush et al., 2014). این ریزجانداران با استقرار در ریشه گیاهان و تولید اسیدهای آمینه و آلی، ویتامین‌ها و مواد افزاینده 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 وکلش، 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 (Shaharoona et al., 2008)، عملکرد دانه و کاه وکلش (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 افزاینده رشد گیاهی می‌باشند. توانایی حل‌کنندگی فسفات غیرقابل‌محلول 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 (Tripathi et al., 2015) و افزایش محتوای فسفر ریشه و ساقه آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) (Yadav et al., 2015) تلقیح‌شده 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 این‌که 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 ازجمله 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، به‌طوری که تخمین زده شده که 33 میلیون تن فسفر در سال 1990 به دریا وارد شده است که باعث مرگ آبزیان 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 فسفاته 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 سوته) 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

1- Plant growth promoting rhizobacteria
2- Phosphate solubilizing bacteria

www.SID.ir

Archive of SID

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 30-0 سانتی‌متر) به‌ترتیب 358/47، 17/11 (میلی‌گرم بر کیلوگرم) و 0/12 (درصد) بودند. منطقه مورد آزمایش دارای خاکی با بافت سیلتی‌رسی، 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 *اینتروباکتر* از پژوهشکده ژنتیک و زیست فناوری کشاورزی طبرستان تهیه شدند. قارچ *تریکودرما* در محیط‌کشت PDB[1] و روی شیکر با 120 دور در دقیقه در دمای 28 درجه سانتی‌گراد به مدت دو هفته کشت شد. در آخر سوسپانسیونی با غلظت حدود 10^9 واحد کلونی‌ساز در میلی‌لیتر تهیه و از این سوسپانسیون در مراحل بعدی آزمایش استفاده شد. به‌طور مشابه، جدایه باکتری در محیط نیترینت براث (NB)[2] روی شیکر با سرعت 100 دور در دقیقه در دمای 30 درجه سانتی‌گراد به مدت سه روز کشت گردید (Bakhshandeh et al., 2014). در انتها از سوسپانسیون با جمعیت باکتری 10^7 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

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 وکلش، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه (تن در هکتار)، شاخص برداشت[3] (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.

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

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 وکلش، 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 وکلش، 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 وکلش، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه بودند. همچنین، برهم‌کنش کود فسفر، قارچ

3- Harvest index

www.SID.ir

Archive of SID

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 وکلش و عملکرد دانه در سطح احتمال پنج درصد اثر معنی‌داری 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 وکلش	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	2	176.80	10.92	0.01	16.46	3.46	2.30	0.12	79.21
فسفر (P) Phosphorus (P)	2	57109.56**	444.28**	0.99**	15.72	0.70	5.60*	3.31**	140.50*
خطای اصلی Error a	4	409.74	14.11	0.01	20.76	0.58	0.34	0.04	17.31
قارچ (F) Fungi (F)	1	4113.29**	42.38	0.003	22.62	15.11**	6.67*	1.70**	642.79**
باکتری (B) Bacteria (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 ** به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد.

* and ** are significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

مقایسه میانگین اثر ساده کود فسفر نشان داد، مصرف کود فسفر سبب افزایش بیشتر صفات نسبت به شاهد (فسفر صفر) شد. به‌نحوی که در زمان مصرف 50 و 100 کیلوگرم در هکتار کود فسفر، به‌ترتیب 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 به‌ترتیب 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 وکلش و عملکرد بیولوژیک نسبت به شرایط عدم تلقیح گردید به‌طوری‌که به‌ترتیب افزایش 12/21 و 25/78 درصدی صفات عملکرد دانه و شاخص برداشت را به‌دنبال داشت. مطابق یافته‌های پژوهش حاضر، پژوهشگران دیگر بهبود ارتفاع بوته (34 درصد)، شاخه‌دهی (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 کتان‌کش (*Camelina sativa* (L.) crantz) با قارچ *تریکودرما* را نسبت به گیاهان تلقیح نشده بیان داشتند.

به‌کارگیری *اینتروباکتر* نیز سبب بهبود صفات عملکرد دانه و شاخص برداشت به‌ترتیب به‌مقدار 15/27 و 22/39 درصد نسبت به شرایط عدم کاربرد باکتری گردید (جدول 2). نتایج پژوهش‌های دیگر نیز نشان‌دهنده نقش مثبت این ریزجانداران در بهبود رشد و عملکرد گیاه می‌باشد. برای نمونه، باکتری‌های افزاینده رشد سبب بهبود

www.SID.ir

Archive of SID

جوانه‌زنی بذر (Seyed Sharifi & Khavazi, 2012)، زیست‌توده و عملکرد دانه ذرت (Noumavo et al., 2013)، وزن خشک ریشه، عملکرد کاه وکلش و عملکرد دانه نخود گردیدند (Verma et al., 2013). به‌طور کلی، این ریزجانداران با استقرار در ریشه گیاه و تولید هورمون‌های گیاهی، ویتامین‌ها، سیدروفور، مواد افزاینده رشد و توانایی انحلال مواد معدنی فسفاته و دیگر مواد مغذی موجب بهبود عملکرد گیاه میزبان خواهند شد (Verma et al., 2013).

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

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

کود فسفر (کیلوگرم در هکتار) Phosphorus fertilizer ($kg.ha^{-1}$)	تعداد سنبله در مترمربع Spikes number/m^2	تعداد دانه در سنبله Grain number /spike	وزن دانه در سنبله (گرم) Grain weight /spike (g)	عملکرد کاه وکلش Straw yield	عملکرد بیولوژیک (تن در هکتار) Biological yield	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)
				($t.ha^{-1}$)			
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

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

تیمار Treatment		تعداد دانه در سنبله	وزن دانه در سنبله (گرم)
فسفر (کیلوگرم در هکتار) Phosphorus ($kg.ha^{-1}$)	قارچ Fungi	Grain number/spike	Grain weight /spike (g)
0	-Th	45.91	1.51
	+Th	48.70 (+6.07)†	1.72 (+13.90)
50	-Th	45.65	1.66
	+Th	47.65 (+4.38)	1.78 (+7.22)
100	-Th	63.15	2.35
	+Th	51.85 (-17.89)	1.96 (-16.59)
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.

www.SID.ir

Archive of SID

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 به‌ترتیب بـه مقـدار 6/07 و 13/90 درصـد نسبت به شرایط شاهد (عدم تلقیح قـارچ) گردیـد (جـدول 3). بهبـود عملکرد دانه، شاخه‌دهی و جذب فسفر سـاقه، ریشـه و دانـه در گیـاه نخود و در زمان تلقیح با قارچ *تریکودرما هارزیانوم*[1] نیزگزارش گردید که محققین علت آن را توانایی حل‌کنندگی فسفات نـامحلول توسـط این ریزجانداران و فراهمی آن برای گیاه نسبت دادند (Rudresh et al., 2005). زمانی که کود فسفر بـه مقـدار 50 کیلـوگرم در هکتـار مصرف شد، این قارچ سبب افزایش 4/38 و 7/22 درصدی به‌ترتیـب در صفات تعداد دانه در سنبله و وزن دانه در سنبله نسبت به شاهد شد (جـدول 3). نتـایج پـژوهش‌هـای دیگـر نیـز نشـان‌دهنـده اثـر تحریک‌کنندگی این گونه کودهای زیستی مـی‌باشـد بـه‌طـوری کـه به‌کارگیری گونه‌های *ویریدی*[2] و *هارزیانوم* در دو سال زراعی، سـبب بهبود صفات عملکرد دانه و تعداد دانه در سنبله گندم نسبت به شرایط شاهد گردید (Moubarak & Abdel-Monaim., 2011). همچنـین برخی از گونه‌های *تریکودرما* قادرند به‌طور مستقیم در منطقه ریزوسفر با ریشه گیاهان همزیست‌شده و به‌عنوان افزاینده رشـد گیـاه، سـبب 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 قبیـل پتاسـیم، فسـفر، نیتـروژن و حل‌کنندگی فسفات و عناصر کم‌مصرف به‌وسیله ایـن گونـه قـارچی نسبت دادند.

به‌کارگیری *اینتروباکتر* در تمامی سطوح کود فسفر مصرفی سبب افزایش قابل‌توجه تمامی صفات نسبت به شرایط شاهد (عدم کـاربرد باکتری) گردید (جدول 4). در شرایطی که از کود فسفر استفاده نشـد کاربرد این باکتری صفات تعداد دانه در سنبله، وزن دانه در سـنبله و عملکرد دانه را به‌ترتیب 31/54، 27/46 و 17/04 درصد افـزایش داد. حضور *اینتروباکتر* در زمان مصرف 50 و 100 کیلوگرم در هکتار کـود فسفر به‌ترتیب سبب افزایش عملکـرد دانـه از 3/49 تـا 3/65 (4/58 درصد) و از 3/86 تا 4/79 تن در هکتار (24/09 درصد) گردید. تعـداد دانه در سنبله نیز در شرایط مصرف 50 و 100 کیلوگرم در هکتار کود فسفر به‌ترتیب از 43/85 بـه 49/45 (12/77 درصـد) و از 56/20 بـه 58/80 (4/62 درصد) دانه رسید (جدول 4). به‌طور مشابه پژوهشگران بهبود تعداد دانـه در سـنبله و شـاخص برداشـت گنـدم را در حضـور باکتری‌های حل‌کننده فسفات *Bacillus lentus* و *Pseudomonas putida* در سطوح صـفر، 25 و 50 کیلـوگرم در هکتـار کـود فسـفر گزارش نمودنـد. همچنـین، در پـژوهش دیگـری صـابر و همکـاران (Saber et al., 2012) بهبود عملکرد دانـه از 534/33 بـه 566/33 (5/98 درصد)، از 678/66 به 778/33 (14/68 درصـد) و از 684/77 به 776/77 (13/43 درصد) گرم در مترمربع به‌ترتیب در سطوح کـود فسفر صفر، 25 و 50 کیلوگرم در هکتار و در حضور باکتری حل‌کننده فسفات گزارش شد. محققین دیگر نیز بهبود عملکرد دانه و عملکـرد 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 بـالاترین سـطوح فسفر مصرفی (60 کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد (Mirshekari et al., 2012). بهبود عملکرد دانه گندم در زمان به‌کارگیری هـم‌زمـان باکتری *سودوموناس* و مصرف 100 کیلـوگرم در هکتـار کـود فسـفر نسبت به شرایط عدم کاربرد باکتری و کود فسفر نیـز گـزارش شـده اسـت (Malik et al., 2012). ابراهیمـی چمـانی و همکـاران (Ebrahimi-Chamani et al., 2014) نیـز بهبـود عملکـرد دانـه (11/70 درصد) و تعداد دانه در خوشه (28 درصد) برنج تلقیح‌شده بـا باکتری حل‌کننده فسفات *سودوموناس* را نسـبت بـه شـاهد گـزارش کردند. در آزمایشی مزرعه‌ای در دو مکان مختلف کشـور بـنگلادش، علاوه بر افزایش عملکرد دانه و کاه، محتوای فسفر دانه و کاه گنـدم تلقیح‌یافته با باکتری *سودوموناس* به همراه مصـرف 15 کیلـوگرم در هکتار کود فسفر، همبستگی مثبت و معنی‌دار عملکرد دانه با صـفات مرتبط با عملکرد از قبیل طول سنبله، ارتفاع بوته و تعداد پنجـه نیـز گزارش شد. این محققین بهبود صفات اجزای عملکرد را دلیل افزایش عملکرد دانه دانستند (Hossain & Sattar, 2014).

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

www.SID.ir

Archive of SID

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

نتایج برهم‌کنش قارچ و باکتری نشان داد که قارچ *تریکودرما هاماتوم* در شرایط کاربرد و عدم کاربرد باکتری *اینتروباکتر* سبب افزایش قابل‌توجه 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 وکلش 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 *اینتروباکتر* در تمامی صفات اثر افزایشی بیشتری نسبت به *تریکودرما* نشان داد، به‌عبارتی به‌کارگیری جداگانه *اینتروباکتر* 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 حل‌کردن فسفات و کاتیون‌های 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 قابل‌توجه 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 قابل‌توجه تمامی صفات به جز عملکرد کاه وکلش 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.

www.SID.ir

Archive of SID

به‌طور مشابه، *اینتروباکتر* نیز در تمامی سطوح کود فسفر، سبب بهبود تمامی صفات به جز عملکرد کاه وکلش نسبت بـه شـاهد گردیـد. در تمامی سطوح کود فسفر، به‌کارگیری هم‌زمان قارچ و باکتری نیز سبب افزایش صفات تعداد سنبله در مترمربع و عملکرد دانه نسبت به شاهد شدند (جدول 6).

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

Tabel 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 وکلش	عملکرد بیولوژیک (تن در هکتار)	عملکرد دانه
قارچ Fungi	باکتری Bacteria	Grain number /spike	Grain weight /spike (g)	Straw yield	Biological yield	Grain yield
				($t.ha^{-1}$)		
-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

در شرایطی که فسفر به میزان 50 کیلوگرم در هکتار مصرف شده بود، کاربرد *اینتروباکتر*، تلقیح *تریکودرما هاماتوم* و به‌کـارگیری تـوأم ایـن ریزجانـداران بـه‌ترتیـب سـبب افـزایش 0/72، 5/19 و 15/60 درصدی تعداد سنبله در مترمربع شدند. همچنین، این ترکیب تیماری به‌ترتیب افزایش 23/32، 17/99 و 16/95 درصدی تعـداد سـنبله در مترمربع در زمان مصرف فسفر 100 کیلوگرم در هکتـار را بـه‌همـراه داشتند (جدول 6). در نتیجه مطابق یافته‌های پژوهش حاضر، تلقـیح جداگانه قارچ *تریکودرما هاماتوم* در شرایط صفر، 50 و 100 کیلـوگرم در هکتار کود فسـفر، بـه‌ترتیـب عملکـرد دانـه را از 2/66 بـه 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* به‌همـراه تیمار صفر، 50 و 100 کیلوگرم در هکتار کود فسفر به‌ترتیـب باعـث افزایش عملکرد از 2/66 به 3/37 (21/06 درصد)، از 3/19 بـه 3/46 (8/46 درصد) و از 3/34 به 5/10 تن در هکتار (52/69 درصد) شدند. به‌کارگیری توأم این ریزجانداران نیز باعث افزایش 42/10، 20/68 و 34/13 درصدی عملکرد دانه به‌ترتیـب در شـرایط صـفر، 50 و 100 کیلـوگرم در هکتـار کـود فسـفر گردیـد (جـدول 6). در ایـن راسـتا، پژوهشگران نقش مثبت حل‌کنندگی فسـفات بـاکتری *اینتروبـاکتر* را گزارش نمودند. بـرای نمونـه، بهبـود رشـد و محتـوای فسـفر گیـاه آفتـابگردان (Shahid et al., 2012) و بهبـود حـدود نـه درصـدی عملکرد دانـه بـرنج (Bakhshandeh et al., 2015) تلقـیح‌شـده بـا باکتری *اینتروباکتر* را نسبت به شـاهد (عـدم کـاربرد بـاکتری) بیـان داشتند. این ریزجانداران به‌طور مستقیم از طریق حل‌کننـدگی فسـفر، فراهمی مواد ضروری، تولید هورمون‌های گیاهی مانند IAA و به‌طور غیرمستقیم از طریق کاهش اثرات عوامل بیماری‌زای مختلف گیـاهی باعث بهبود رشد و عملکرد گیاه می‌گردنـد (Bakhshandeh et al., 2015). گونه‌های قـارچ *تریکودرمـا* (*Trichoderma* spp.) نیـز بـا تشکیل کلونی و اسپورزایی فراوان در محیط خاک و به‌ویـژه اطـراف ریشه (ریزوسفر) اغلب گیاهان زراعـی و غیـرزراعـی باعـث افـزایش 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 بیمـاری‌زا در آزمایش‌هایی نیـز گـزارش شـده اسـت (Verma et al., 2007; Vinale et al., 2008). همچنین، قارچ *تریکودرمـا* نیـز بـا افـزایش حلالیت و جذب ریزمغذی‌هـای مهـم ماننـد آهـن، منگنـز، منیـزیم، کاتیون‌های معدنی و فسفات‌ها باعث بهبود رشـد گیاهـان مـی‌شـود (Vinale et al., 2008). بنابراین، مطابق یافته‌های پژوهش حاضـر، می‌توان بهبود عملکرد دانـه گنـدم را بـه توانـایی وصـف شـده ایـن ریزجانداران در بهبود رشد گیاهان نسبت داد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول 6- مقایسه میانگین اثر متقابل کود فسفر، قارچ و باکتری بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم

Tabel 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 وکلش	عملکرد بیولوژیک (تن در هکتار)	عملکرد دانه
فسفر (کیلوگرم در هکتار)	قارچ	باکتری				Straw yield	Biological yield	Grain yield
P ($kg.ha^{-1}$)	Fungi	Bacteria	Spikes number /m^2	Grain number /spike	Grain weight /spike (g)	($t.ha^{-1}$)		
0	-Th	-E	173.87	37.52	1.17	6.86	9.53	2.66
		+E	182.50 (+4.96)	54.30 (+44.72)	1.86 (+58.97)	6.45 (-5.97)	9.83 (+3.14)	3.37 (+21.06)
	+Th	-E	175.50 (+0.93)	44.20 (+17.80)	1.67 (+42.73)	6.88 (+0.29)	10.33 (+8.39)	3.45 (+29.69)
		+E	221.16 (+27.19)	53.20 (+41.79)	1.77 (+51.28)	4.74 (-30.90)	8.53 (-10.49)	3.78 (+42.10)
50	-Th	-E	277.00	41.30	1.52	7.13	10.33	3.19
		+E	279.00 (+0.72)	50.00 (+21.06)	1.80 (+18.42)	7.07 (-0.84)	10.53 (+1.93)	3.46 (+8.46)
	+Th	-E	291.40 (+5.19)	46.40 (12.34)	1.71 (+12.50)	6.64 (-6.87)	10.43 (+0.96)	3.79 (+18.80)
		+E	320.22 (+15.60)	48.90 (+18.40)	1.85 (+21.71)	5.94 (-16.69)	9.79 (-5.22)	3.85 (+20.68)
100	-Th	-E	278.40	48.90	1.98	7.19	10.53	3.34
		+E	343.33 (+23.32)	77.40 (+58.28)	2.72 (+37.37)	8.23 (+14.46)	13.33 (+26.59)	5.10 (+52.69)
	+Th	-E	328.49 (+17.99)	63.50 (+29.85)	2.27 (+14.64)	7.20 (+0.13)	11.59 (+10.06)	4.39 (+31.43)
		+E	325.60 (+16.95)	40.21 (-17.77)	1.66 (-16.16)	3.74 (-47.98)	8.23 (-21.84)	4.48 (+34.13)
LSD (0.05)			34.63	6.19	0.20	1.55	1.60	0.52

نتیجه‌گیری

در مجموع، نتایج به‌دست آمده از این پژوهش بیانگر نقش مثبت قارچ *تریکودرما هاماتوم* و باکتری *اینتروباکتر* بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم بود. تلقیح جداگانه قارچ و کاربرد باکتری در تمامی سطوح کود فسفر مصرفی سبب افزایش قابل‌توجه بیشتر صفات از جمله عملکرد دانه نسبت به مصرف تنهای کود شیمیایی فسفر شد. به‌کارگیری توأم این ریزجانداران نیز در سطوح پایین فسفر نتایج بهتری نسبت به شاهد به‌همراه داشت. با توجه به نتایج مطالعه حاضر، به‌نظر 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 مطلوبی را بر رشد و عملکرد گندم به‌همراه 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

بدین‌وسیله 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.

www.SID.ir

Archive of SID

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., Farahvash, 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

www.SID.ir

Archive of SID

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., Adjanohoun, 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 Chalenges 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)

Shaharoona, 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.

www.SID.ir

Archive of SID

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.

www.SID.ir

Archive of SID

Journal of Agroecology
Vol. 10, No.2, Summer 2018, p. 430-443

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 10، شماره 2، تابستان 1397، ص. 443-430

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

F. Mohammadi Kashka[1], H. Pirdashti[2*], Y. Yaghoubian[3], E. Bakhshandeh[3]

Submitted: 17-05-2016
Accepted: 13-03-2017

Mohammadi Kashka, F., Pirdashti, H., Yaghoubian, 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 *Trichodermahamatum* 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 *Trichodermahamatum* 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 *Trichodermahamatum* 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 *Trichodermahamatum*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

www.SID.ir

Archive of SID

(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 *Trichodermahamatum* 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 *Trichodermahamatum* 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. FarzinGoran for his assistance in the field experiment.

Keywords: Biological yield, Microorganism, Phosphate solubilizing

www.SID.ir