

استفاده از زادمایه‌های باکتری سودوموناس فلورسنس محرک رشد گیاه در افزایش رشد و جذب عناصر غذایی گیاه گندم

شایان شریعتی^{۱*}، حسینعلی علیخانی^۲، شهاب شریعتی^۳

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۲/۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۵)

چکیده

هزینه بالای تولید کودهای شیمیایی و ایجاد آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از مصرف این کودها، استفاده از منابع دیگر به ویژه کودهای زیستی را ضروری می‌سازد. هدف از این پژوهش بررسی تاثیر کود زیستی باکتری حل کننده فسفات و محرک رشد گیاه سودوموناس فلورسنس بر پایه حامل‌های مختلف آلی و معدنی شامل ورمی کمپوست، پرلیت و خاک فسفات و چهار فرمولاسیون از این مواد، بر روی شاخص‌های رشد گیاه گندم بوده است. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی و با چهار تکرار، ۷ تیمار زادمایه، ۲ تیمار کودی سوپرفسفات ساده و تریپل و شاهد صورت گرفت. نتایج نشان داد اگرچه در مورد صفات سبزینگی، ارتفاع، فسفر اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی و ریشه، تیمار سوپرفسفات تریپل و ساده بهتر بوده، ولی تفاوت معنی‌داری با زادمایه‌های حاوی ورمی کمپوست نداشتند ($P > 0.05$). در مورد صفات روی و آهن اندام هوایی، زادمایه ورمی کمپوست بیشترین مقدار را دارا بوده و در مورد صفت روی اندام هوایی، تفاوت معنی‌داری با تیمارهای کودی و شاهد داشت ($P < 0.05$). زادمایه پرلیت + ورمی کمپوست توانست به ترتیب ۱۰/۶ و ۱۴/۵ درصد سبزینگی و ارتفاع گیاه را نسبت به شاهد افزایش دهد. زادمایه‌های خاک فسفات + ورمی - کمپوست و ورمی کمپوست، وزن خشک ریشه را به ترتیب ۲۸ و ۲۴/۵ درصد افزایش دادند ($P < 0.05$). در مورد صفات وزن خشک اندام هوایی، فسفر، روی و آهن اندام هوایی، زادمایه ورمی کمپوست نیز توانست این شاخص‌ها را به ترتیب ۶/۵۸، ۲۷، ۲۶/۳ و ۲۴/۸۳ درصد نسبت به گیاه شاهد افزایش دهد ($P < 0.05$).

واژه‌های کلیدی: حامل، سوپرفسفات تریپل، کود زیستی، ورمی کمپوست

شریعتی ش.، علیخانی ح.، ش شریعتی ش. ۱۳۹۸. شکل‌های مختلف پتاسیم و همبستگی آن با خصوصیات کمی و کیفی توتون در خاک‌های توتون کاری شمال ایران. تحقیقات کاربردی خاک، جلد ۷ شماره ۱. ص: ۱۶۵-۱۷۶.

۱- باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران (مکاتبه کننده)

۲- استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۳- دانشیار گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد رشت، رشت، ایران

*پست الکترونیک: shayan_shariati@ut.ac.ir

مقدمه

بسیاری از خاک‌ها ذخایر فسفر بالایی دارند، اما مقدار کمی (۵-۱ درصد) از این فسفر کل به دلیل تثبیت توسط کلسیم در خاک‌های قلیایی و اکسیدهای آهن و آلومینیوم در خاک‌های اسیدی، به شکل محلول در دسترس است که می‌تواند به‌وسیله گیاهان جذب شود (Takahashi & Anwar, 2007). استفاده از ریزموجودات حل‌کننده فسفات (PSM)^۱، یکی از راهکارهای افزایش حلالیت و کارایی فسفات‌های نامحلول است. ریزجانداران به ترتیب از طریق تولید آنزیم فسفاتاز و اسیدهای آلی، موجب انحلال فسفات‌های نامحلول آلی و معدنی شده در نتیجه فسفر قابل دسترس برای گیاهان را افزایش می‌دهند (Ghevariya & Desai, 2013). محققین در مطالعاتی افزایش فسفر خاک در نتیجه استفاده از باکتری‌های حل‌کننده فسفر را گزارش کردند (Jain *et al.*, 2012). نتایج پژوهش اسچوبیتز و همکاران (Schoebitz *et al.*, 2013) نشان داد تلقیح باکتری سودوموناس فلورسنس به همراه خاک فسفات و ۳/۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم فسفر محلول، مقدار فسفر گیاه گندم را بعد از ۶۰ روز به میزان ۶۴ درصد افزایش داد. نتایج پژوهش مرادی و همکاران (Moradi *et al.*, 2011) نشان داد استفاده از ریزجانداران حل‌کننده فسفر، موجب افزایش معنی‌دار ارتفاع و عملکرد زیست‌توده گندم گردید. مگنوکا و پیتر (Magnucka & Pietr, 2015) بیان کردند دو سویه از باکتری‌های گروه سودوموناس فلورسنس توانستند وزن خشک ساقه گیاه گندم را ۱۸/۷۷ و ۱۶/۳۲ درصد افزایش دهند. اگر مدیریت و نگهداری باکتری‌های محرک رشد گیاه بر طبق روش مناسب و اصولی نباشد، فعالیت زیستی این باکتری‌ها می‌تواند به سرعت کاهش یابد. نقش اصلی ماده حامل در زادمایه این است که ریزوسفر مناسب‌تری برای بقای طولانی مدت باکتری‌ها در خاک ایجاد می‌کند (Ardakani *et al.*, 2010). گندی و سیواکومار (Gandi & Sivakumar, 2010) تاثیر مثبت ورمی‌کمپوست به عنوان حامل باکتری سودوموناس فلورسنس در افزایش عملکرد گیاه برنج را گزارش کردند. پاکیا لاکشمی و ریسوانا (Packialakshmi & Riswana, 2014) بیان کردند حامل ورمی‌کاست توانست جمعیت باکتری‌های حل‌کننده فسفر *Bacillus megaterium*

را در حد 1.07×10^7 باکتری به ازای هر گرم ماده حامل نگهداری نماید. با توجه به اهمیت گیاه گندم در جهان و سطح زیر کشت و تولید به ترتیب ۲۱۹ و ۷ میلیون هکتار و ۷۱۵ و ۱۴ میلیون تنی این گیاه در جهان و ایران (Fao, 2013)، در این پژوهش توانایی پرلیت، ورمی‌کمپوست و خاک فسفات به عنوان حامل باکتری سودوموناس فلورسنس در تولید کود زیستی افزایش دهنده جذب عناصر غذایی و بهبود عملکرد گیاه گندم و کاهش مصرف کودهای شیمیایی بررسی و مطالعه شد.

مواد و روش‌ها

باکتری حل‌کننده فسفات‌های نامحلول آلی و معدنی سودوموناس فلورسنس سویه ۵۹ از بانک ریزجانداران مفید خاکزی گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه تهران برداشت گردید و میزان توان انحلال فسفات‌های نامحلول معدنی و آلی این سویه اندازه‌گیری شد (Jeon *et al.*, 2003). همچنین سایر خصوصیات محرک رشدی باکتری نظیر توان تولید سیدروفور (Alexander & Zuberer, 1999)، ایندول استیک اسید (Patten & Glick, 2002) و توانایی تولید آنزیم ACC-دآمیناز (Amico *et al.*, 2005) نیز اندازه‌گیری گردید. در مرحله بعد برای افزایش ماندگاری باکتری در خاک، از حامل‌های مختلف پرلیت، ورمی‌کمپوست، خاک فسفات و ترکیب این مواد شامل: پرلیت+ ورمی‌کمپوست، پرلیت+ خاک فسفات، خاک فسفات+ ورمی‌کمپوست و پرلیت+ ورمی‌کمپوست+ خاک فسفات استفاده شد. ورمی‌کمپوست از مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران و خاک فسفات و پرلیت نیز از موسسه تحقیقات خاک و آب کشور تهیه شدند. مواد مذکور ابتدا از الک ۶۰ مش عبور داده شده و خشک شدند. سپس خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آنها شامل pH، هدایت الکتریکی، پتاسیم، فسفر قابل جذب به روش اولسن، ماده آلی به روش والکی و بلک (Carter & Gregorich, 2008)، عناصر آهن و روی توسط دستگاه جذب اتمی Shimadzu AA670 اندازه‌گیری شدند (جدول ۱) (Lindsay & Norvell, 1978).

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مواد حامل

Table 1. Physical and chemical properties of carrier material

arrier	pH	EC	OC	N	P	K	Fe	Zn
		dS m ⁻¹	%			mg kg ⁻¹		
Perlite	6.28	0.55	0	0	0	2.08	8.27	9.65
Rock phosphate	7.64	0.15	0	0	0	1.03	18.02	3.38
Vermicompost	7.34	1.72	17.7	7.4	1375	378.83	112.86	53.1

بود که با توجه به نتایج مطالعات قبلی، خاک مورد نظر از عمق ۰-۳۰ سانتی متری خاک شهرستان کردان کرج تهیه گردید. برای آزمون گلخانه‌ای، خاک هواخشک و کوبیده شده و از الک ۴ میلی متری عبور داده شد و خصوصیات pH، قابلیت هدایت الکتریکی، بافت، فسفر، کربن آلی، نیتروژن، فسفر، پتاسیم، روی، آهن و جمعیت میکروبی خاک اندازه‌گیری شد (جدول ۲) (Carter & Gregorich, 2008).

به منظور آماده‌سازی زادمایه‌های زیستی برای آزمون گلخانه‌ای، ابتدا حامل‌ها استریل شده و سوسپانسیون باکتری سودوموناس فلورسنس با جمعیت ۱۰^۹ باکتری در هر میلی لیتر تهیه و با توجه به رطوبت FC هر حامل، به آن‌ها اضافه گردید. سپس حامل‌ها به مدت ۴ ماه نگهداری شده و در پایان ۴ ماه، جمعیت باکتری زادمایه‌ها به روش CFU g⁻¹ اندازه‌گیری گردید (Albareda et al., 2008). برای انجام آزمون گلخانه‌ای، خاکی با بافت لومی و فسفر قابل جذب پائین مدنظر

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده برای کشت گندم

Table 2. Physical and chemical properties of soil used for wheat cultivation

texture	pH	EC	OC	N	P	K	Zn	Fe	(CFU/g)
		dS m ⁻¹	%			mg.kg ⁻¹			
Loamy	8.20	0.70	0.09	0.053	4.10	190	4.58	3.67	9.2x10 ⁶

در هکتار به عنوان تیمار کود شیمیایی فسفره و سولفات پتاسیم ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار برای تامین کمبود پتاسیم خاک به گلدان‌ها اضافه شد. گلدان‌ها در حد ۸۰ درصد ظرفیت مزرعه آبیاری گردیدند و وقتی رطوبت مناسب جهت کشت فراهم شد، در هر گلدان ۱۰ بذر در عمق حدوداً ۴ سانتی متری کاشته شد و سپس گلدان‌ها به گلخانه منتقل و بر اساس الگوی طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی و با چهار تکرار، آرایش یافتند. برای تامین عناصر کم مصرف نیز محلول هوکلند طی دو نوبت به خاک گلدان اضافه گردید. بعد از سبز شدن بذرها و استقرار گیاهان، تعداد بوته‌ها به پنج عدد در هر گلدان کاهش یافت. طول دوره رشد ۶۰ روز، شدت روشنایی ۱۵۰۰۰ لوکس و طول دوره روشنایی در ابتدا و انتهای دوره رشد به ترتیب ۱۲ و ۱۴ ساعت بود. متوسط دمای گلخانه ۲۶ درجه سلسیوس و دامنه دمایی در گرمترین ساعات شبانه روز به ۳۲ و در خنک‌ترین آن به ۲۵ درجه سلسیوس می‌رسید. آبیاری به صورت روزانه و تا حدود ۸۰٪ ظرفیت زراعی به صورت وزنی انجام پذیرفت. بعد از ۶۰ روز دوره نگهداری و قبل از ورود

گلدان‌های مورد استفاده با ۳ کیلوگرم از خاک عبور داده شده از الک ۴ میلی متری پر شدند. بذر گندم از بانک ژن موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر تهیه گردید. برای عمل تلقیح زادمایه‌ها به بذر، ابتدا بذرها توسط الکل ۹۶ درصد و هیپوکلریت سدیم ۱ درصد ضدعفونی سطحی شده و توسط آب مقطر استریل ۱۰ بار شستشو شدند. سپس ۱۰ گرم از بذرها را داخل کیسه پلاستیکی ریخته و یک قطره از محلول صمغ عربی ۴۰ درصد به آن اضافه و به طور کامل مخلوط شد. آن‌گاه مقدار ۲ گرم از تیمارهای زادمایه به بذرهای چسبناک اضافه و محتویات کیسه به خوبی تکان داده شد به طوری که پوشش یکنواختی از زادمایه بر روی بذرها قرار گیرد. سپس بذرها روی فویل آلومینیومی ریخته شدند تا قدری رطوبت خود را از دست بدهند (Bashan, 1998). قبل از کشت گیاه، کوددهی بر اساس آزمون خاک با کود اوره به اندازه ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار به صورت تقسیط و در دو نوبت (زمان کاشت و یک ماه پس از کاشت)، کودهای سوپر فسفات تریپل و سوپر فسفات ساده به ترتیب به مقدار ۱۸۰ و ۴۲۰ کیلوگرم

تولید سیدروفور توسط گونه سودوموناس فلورسنس توسط سایر محققین نیز به اثبات رسیده است (Lujan et al., 2015). بعد از نگهداری زادمایه‌ها به مدت ۴ ماه، هنگام تلقیح به بذر گیاه گندم، جمعیت آنها به روش $CFU g^{-1}$ اندازه‌گیری شد. حامل‌های شماره ۶ (پرلیت + ورمی کمپوست)، ۷ (پرلیت + ورمی کمپوست + خاک فسفات)، ۳ (ورمی کمپوست) و ۵ (ورمی کمپوست + خاک فسفات)، به ترتیب با لگاریتم جمعیت $7/156$ ، $7/72$ ، $7/730$ ، $7/861$ - بیشترین جمعیت و حامل‌های شماره ۴ (پرلیت + خاک فسفات)، ۱ (پرلیت) و ۲ (خاک فسفات)، به ترتیب با لگاریتم جمعیت $6/69$ ، $6/589$ و $5/037$ کمترین جمعیت را دارا بودند ($P < 0.01$). این نتایج با سایر مطالعات نیز مطابقت دارد. پرلیت به دلیل ظرفیت بافری و ماده آلی پایین، به تنهایی حامل مناسبی محسوب نمی‌شود (Besharati et al., 2004). خاک فسفات نیز به دلیل فقدان مواد آلی، عناصر غذایی و ظرفیت نگهداری رطوبت بسیار پایین، نتوانست حامل مناسبی باشد و ضعیف‌ترین حامل بود. وجود ورمی کمپوست با ماده آلی و رطوبت مناسب در تیمارهای ۲، ۵، ۶ و ۷ باعث نگهداری جمعیت بالایی از باکتری‌ها شده است. محققین بسیاری برتری تیمارهای ترکیبی را گزارش کرده‌اند (Arora et al., 2008; Gandhi & Sivakumar, 2010). هم‌چنین بررسی گندی و سیواکومار (Gandhi & Sivakumar, 2010) نشان داد که ورمی کمپوست نسبت به لیگنیت توانایی بیشتری در نگهداری باکتری دارد و افزایش نسبت ورمی کمپوست به لیگنیت باعث افزایش جمعیت باکتری می‌شود. نتایج تجزیه واریانس اثر زادمایه‌ها بر تلقیح به بذر گیاه گندم نشان داد (جدول ۳) اثر تیمارها بر روی ارتفاع، وزن خشک ریشه، فسفر، آهن و روی اندام هوایی در سطح ۱ درصد، سبزی‌نگی و وزن خشک اندام هوایی ۵ درصد معنی‌دار بوده ولی در مورد صفت وزن تر اندام هوایی این تفاوت معنی‌دار نبود. مقایسه میانگین تیمارها بر روی صفت کلروفیل برگ گیاه گندم در سطح ۵ درصد نشان داد. تفاوت معنی‌داری بین زادمایه‌های حاوی ورمی کمپوست با تیمارهای کودی سوپرفسفات ساده و تریپل که بیشترین مقدار را داشتند، مشاهده نشد (جدول ۴).

گیاه به مرحله زایشی و گلدهی، طول اندام هوایی توسط متر سه متری استنلی (با دقت ۰/۱ سانتی‌متر) و سبزی‌نگی گیاه به روش SCMR بوسیله دستگاه کلروفیل‌متر KonicaMinolta مدل SPAD-502 اندازه‌گیری شد. سپس بوته‌ها از روی سطح خاک بریده شده و برگ‌ها و ساقه از یکدیگر جدا شدند. ریشه‌ها و بخش هوایی به وسیله آون در دمای ۷۵ درجه سلسیوس به مدت ۷۲ ساعت خشک شده و وزن خشک نمونه‌ها بوسیله توزین با ترازو (دقت ۰/۰۱ گرم) اندازه‌گیری شد (Hamidi et al., 2010). سپس نمونه‌ها آسیاب و عصاره‌گیری شده و میزان فسفر، روی و آهن اندام هوایی اندازه‌گیری شد (Lindsay & Norvell, 1978; Ryan et al., 2001). آزمایش در قالب طرح بلوکهای کاملاً تصادفی، با چهار تکرار، ۷ تیمار زادمایه و دو تیمار کودی سوپرفسفات تریپل و ساده و شاهد (عدم دریافت کود فسفره) انجام گردید. داده‌های موجود با استفاده از نرم افزار SAS 9.2 مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند. مقایسه میانگین داده‌های آزمایشی نیز با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتیجه آزمایش نیمه کمی انحلال فسفات‌های آلی و معدنی باکتری سودوموناس فلورسنس سویه ۵۹ نشان داد این باکتری در آزمون نیمه کمی انحلال فسفات‌های آلی و معدنی به ترتیب قطر هاله به کلونی ۴/۹۵ و ۲/۵۳ داشت. در آزمون کمی توان انحلال فسفات‌های نامحلول معدنی نیز سودوموناس فلورسنس سویه توانست فسفر نامحلول معدنی را به میزان $mg l^{-1}$ $204/667$ طی ۳ روز انکوباسیون در محیط مایع حل کند. نتایج آزمون توانایی تولید فیتوهومون ایندول استیک اسید (IAA) نیز نشان داد این باکتری توانایی تولید ۲/۹۳ میلی‌گرم بر لیتر ایندول استیک اسید را دارد. سایر محققین نیز تولید ایندول استیک اسید را توسط گونه‌های سودوموناس فلورسنس گزارش کرده‌اند (Reetha et al., 2014). نتایج آزمون ACC- دامیناز نیز نشان داد که این باکتری از لحاظ تولید این ماده در حد متوسط بود. گلیک و همکاران (Glick et al., 2014) تولید ACC- دامیناز توسط سویه‌های گونه سودوموناس فلورسنس را گزارش کردند. در آزمون نیمه کمی توان تولید سیدروفور نیز، قطر هاله به کلونی ۲/۰۲ بدست آمد.

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر تیمارها بر روی شاخص های رشد و جذب عناصر غذایی گندم

Table 3. Variance analysis of the treatment effects on growth indices and nutrients uptake in the wheat

Source of variance	Degree of freedom	Chlorophyll	Plant height	Root dry weight	Shoot dry weight	Shoot fresh weight	Fe	P	Zn
Treatment	3	19.59*	2.00**	0.025**	1.07*	12.87 ^{ns}	381.59**	0.0047**	61.22**
Block	9	23.91*	1.91*	0.011 ^{ns}	0.20 ^{ns}	6.52 ^{ns}	143.49 ^{ns}	0.0006 ^{ns}	12.81 ^{ns}
Error	27	7.40	0.49	0.005	0.4	7.16	85.11	0.0006	9.34
(%) CV	-	6.20	6.11	10.71	4.75	17.68	9.17	8.17	6.08

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر تیمارها بر روی شاخص های رشد و جذب عناصر غذایی گیاه گندم

Table 4. Mean comparison of the treatment effects on growth indices and nutrients uptake in the wheat

Treatment	Plant height Cm	Chlorophyll	Root dry weight g	Shoot dry weight g	Fe mg kg ⁻¹	Zn mg kg ⁻¹
Perlite	10.95 ^{cd}	42.00 ^{bc}	0.59 ^d	13.25 ^{bc}	95.52 ^c	46.52 ^c
Rock phosphate	11.01 ^{bd}	41.68 ^{bc}	0.58 ^d	12.72 ^c	95.40 ^c	46.75 ^c
Vermicompost	11.65 ^{ac}	45.61 ^{ab}	0.71 ^{ac}	13.76 ^{ac}	120.40 ^a	59.10 ^a
Perlite+ Rock phosphate	11.21 ^{bd}	40.98 ^c	0.59 ^{cd}	12.96 ^c	97.1 ^c	47.55 ^c
Perlite+ Vermicompost	12.08 ^{ac}	45.70 ^{ab}	0.68 ^{bd}	13.54 ^{ac}	114.15 ^{ab}	52.62 ^b
Vermicompost + Rock phosphate	11.39 ^{bd}	44.46 ^{ac}	0.73 ^{ab}	13.54 ^{ac}	113.80 ^{ab}	49.37 ^{bc}
Perlite+ Rock phosphate+ Vermicompost	11.22 ^{bd}	43.32 ^{ac}	0.68 ^{bd}	13.28 ^{bc}	104.67 ^{bc}	52.72 ^b
Simple superphosphate	12.71 ^a	46.50 ^a	0.71 ^{ac}	14.40 ^a	114.67 ^{ab}	51.25 ^{bc}
Triple superphosphate	12.15 ^{ab}	46.52 ^a	0.81 ^a	14.05 ^{ab}	113.56 ^{ab}	49.60 ^{bc}
Control	10.55 ^d	41.32 ^{bc}	0.57 ^d	12.91 ^c	96.45 ^c	46.77 ^c

میانگین های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن اختلاف معنی داری ($P \leq 0.05$) ندارند.

اعداد مقابل داده ها، انحراف معیار داده ها را در سه تکرار نشان می دهند.

Means with common letters have no significant difference according to Duncan's multiple range test ($p < 0.05$). The numbers after data show Standard Deviation of data in three replications

می داند. نتایج مقایسه میانگین تاثیر تیمارها در سطح ۵ درصد بر روی صفت ارتفاع گیاه گندم نشان داد به ترتیب تیمارهای کودی سوپرفسفات ساده و تریپل بیشترین مقدار را داشته، ولی تفاوت معنی داری با زادمایه های ورمی کمپوست و پرلیت+ ورمی کمپوست مشاهده نشد. نتایج پژوهش مرادی و همکاران (Moradi *et al.*, 2011) نشان داد استفاده از ریزجانداران حل کننده فسفر موجب افزایش معنی دار ارتفاع و عملکرد زیست-توده گندم گردید. محققین بیان کردند که باکتری های ریزوسفری محرک رشد گیاه با روش هایی مثل تولید هورمون-های گیاهی (جیبرلین و اکسین) (Glick *et al.*, 2001)، افزایش فسفر قابل دسترس و از طریق روش های مختلفی همچون ACC-دآمیناز (Larsen *et al.*, 2009) نیز در تحریک رشد و افزایش ارتفاع بوته گیاهان مختلف نقش ایفا می کنند.

باشان و همکاران (Bashan *et al.*, 2006) نیز گزارش کردند که مقدار رنگدانه های فتوسنتزی گیاه گندم در اثر تلقیح PGPR بطور معنی داری افزایش یافت. نتایج پژوهش طهماسبی و همکاران (Tahmasbi *et al.*, 2014) نشان داد کاربرد سویه سودوموناس فلورسنس برتر تولید کننده سیدروفور در مقایسه با شاهد باعث افزایش میزان کلروفیل تا ۲۰۲/۶۱ درصد شد. از آنجایی که در اکثر تیمارهای موثر ورمی کمپوست بکار رفته است، دلیل دیگر افزایش در مقدار کلروفیل را می توان به وجود ورمی کمپوست در این زادمایه ها بیان نمود. تیونیس و همکاران (Theunissen *et al.*, 2010) دلیل افزایش میزان کلروفیل را جذب عناصر غذایی نظیر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، مس، و منگنز که در صورت استفاده از ورمی کمپوست به آسانی در دسترس گیاه می باشند،

سویه از باکتری‌های گروه سودوموناس فلورسنس که توانایی تولید اکسین و ACC-دآمیناز داشتند، توانستند وزن خشک ساقه گیاه گندم را ۱۸/۷۷ و ۱۶/۳۲ درصد افزایش دهند. زادمایه ورمی‌کمپوست از یک طرف از طریق بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک سبب بهبود رشد گیاه می‌شود و از طرف دیگر به علت غنی بودن از عناصر غذایی، سبب افزایش عملکرد و جذب عناصر غذایی پر مصرف و کم مصرف گیاه می‌شود (Nada et al., 2011). نتایج پژوهش شیخی و همکاران (Sheikhi et al., 2015) نشان داد استفاده از ۱ درصد وزنی ورمی‌کمپوست موجب افزایش عملکرد گندم نسبت به شاهد شد.

بیشترین مقدار وزن خشک ریشه را کود سوپر فسفات تریپل دارا بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین تیمارها در سطح ۵ درصد نشان داد که بعد از تیمار سوپرفسفات تریپل، زادمایه ورمی‌کمپوست+ خاک فسفات، تیمار سوپرفسفات ساده و زادمایه ورمی‌کمپوست بیشترین مقدار وزن خشک را نشان دادند و تفاوت معنی‌داری بین این تیمارها و سوپر فسفات تریپل مشاهده نشد. در مورد برتری تیمار ورمی‌کمپوست نیز جاشی و همکاران (Joshi et al., 2013) افزایش عملکرد (ماده خشک اندام هوایی و ریشه) گیاه گندم را در اثر استفاده از ورمی‌کمپوست گزارش کردند. آذر می و همکاران (Azarmi et al., 2015) نیز افزایش معنی‌دار (۵ درصد) وزن خشک ریشه گیاه پسته را در اثر تلقیح سویه‌های برتر باکتری سودوموناس فلورسنس تولید کننده سیدروفور، اکسین و سیانید هیدروژن بیان کردند.

نتایج پژوهش اسچوبیتز و همکاران (Schoebitz et al., 2013) نشان داد تلقیح باکتری سودوموناس فلورسنس و سراتیا به همراه ۳/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم فسفر محلول به ترتیب ۲۳ و ۱۸ درصد طول ساقه گیاه گندم را افزایش دادند. همان‌طور که در جدول ۴ و شکل ۱ مشاهده می‌شود، بهترین تیمارها بعد از کودهای سوپرفسفات ساده و تریپل، زادمایه ورمی-کمپوست و ورمی‌کمپوست+ پرلیت بودند. دلیل این امر را علاوه بر موارد بالا می‌توان به وجود ورمی‌کمپوست در ترکیب نسبت داد (Gandi & Sivakumar, 2010). سینه‌ها و همکاران (Sinha et al., 2010) رشد قابل توجه گندم و ذرت را در شرایط گلخانه‌ای در اثر استفاده از ورمی‌کمپوست گزارش کردند. نتایج پژوهش شیخی و همکاران (Sheikhi et al., 2015) نشان داد استفاده از ۱ درصد وزنی ورمی‌کمپوست موجب افزایش ارتفاع گیاه گندم نسبت به شاهد شد.

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که اثر تیمارها بر روی وزن خشک اندام هوایی گندم در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). در مورد صفت وزن خشک اندام هوایی، بیشترین مقدار وزن خشک نیز در دو تیمار کودی سوپرفسفات ساده و تریپل مشاهده شد، ولی تفاوت معنی‌داری با زادمایه‌های حاوی ورمی‌کمپوست نداشت. نتایج مقایسه میانگین در سطح ۵ درصد بین تیمارها نشان داد که به ترتیب زادمایه‌های ورمی‌کمپوست، پرلیت+ ورمی‌کمپوست و خاک فسفات+ ورمی‌کمپوست بیشترین وزن خشک را داشته و تفاوت معنی‌داری با سوپرفسفات ساده و تریپل نشان ندادند (جدول ۴). مگنوکا و پیتر (Magnucka & Pietr, 2015) بیان کردند دو



شکل ۱- از سمت چپ ارتفاع تیمارهای سوپر فسفات ساده، شاهد و پرلیت + ورمی‌کمپوست

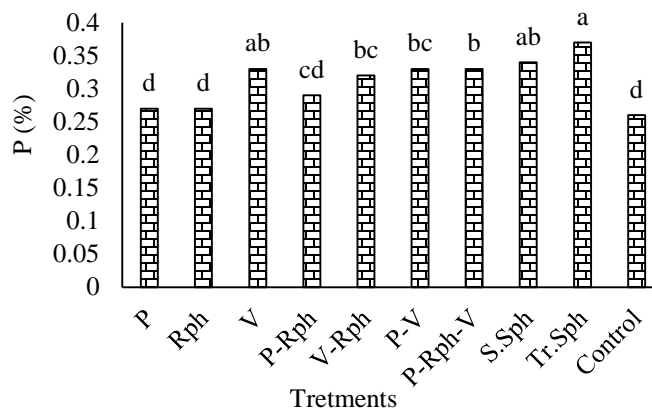
Figure 1. From the left the height of Simple superphosphate, Control and Vermicompost + Perlite

نمکهای ZnO و ZnCO₃ توسط سویه‌های سودوموناس فلورسنس جدا شده از ریزوسفر گیاهان مختلف به اثبات رسیده است (Azarmi *et al.*, 2014). از سوی دیگر اثر مطلوب تیمارهای حاوی ورمی کمپوست احتمالاً به دلیل مقادیر نسبتاً بالاتر عناصر غذایی و از این رو فراهمی غذایی ماکرو و میکرو می‌باشد. اسید هومیک و فولویک موجود در مواد آلی با کاتیون‌های عناصر ریزمغذی کمپلکس ایجاد کرده و موجب افزایش قابلیت استفاده آنها توسط گیاهان می‌شود. همچنین تجزیه مواد آلی موجب افزایش غلظت گاز کربنیک و بدنبال آن موجب کاهش pH (به دلیل تولید آمینواسید، گلیسین، سیستئین، اسید هیومیک در طی معدنی شدن) خاک شده و بدین ترتیب غلظت عناصر غذایی ریز مغذی در خاک افزایش می‌یابد (Fernandez-Luqueno *et al.*, 2010). نتایج پژوهش شیخی و همکاران (Sheikhi *et al.*, 2015) نشان داد استفاده از ۱ درصد وزنی ورمی کمپوست موجب افزایش جذب روی و منگنز گندم نسبت به شاهد شد. همچنین با توجه به مقدار روی اندازه‌گیری شده در ورمی کمپوست (۵۰/۹۵) می‌توان انتظار داشت که جذب روی به وسیله گیاه افزایش یابد. نتیجه مقایسه میانگین بین تیمارها بر روی فسفر اندام هوایی در سطح ۵ درصد نشان داد (شکل ۲) که بیشترین مقدار فسفر اندام هوایی مربوط به تیمار سوپرفسفات تریپل بوده و بعد از آن تیمار سوپر فسفات ساده، زدامایه ورمی کمپوست قرار داشتند که تفاوت معنی‌داری با تیمار سوپرفسفات تریپل نشان ندادند ($P < 0.05$) (جدول ۴). باکتری‌های حل کننده فسفر سودوموناس فلورسنس از طریق افزایش انشعابات ریشه و تارهای کشنده باعث افزایش جذب عناصر غذایی می‌شوند. همچنین با کاهش pH، فعالیت‌های تبادلی و تولید اسیدهای آلی مانند گلوکونیک و سیتریک اسید و تولید آنزیم‌های فسفاتاز باعث تبدیل فسفات نامحلول به فرم محلول گیاه می‌شوند (Young *et al.*, 2013). تلقیح با باکتری‌های حل کننده فسفات موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه گندم و ذرت، جذب فسفر، کربن آلی خاک، فراهمی فسفر، فعالیت آنزیم‌ها و جمعیت باکتری‌های حل کننده فسفات شد (Kaur & Reddy, 2015). همچنین در مورد تیمار ورمی-کمپوست و تیمارهای حاوی ورمی کمپوست که نتایج مثبتی داشتند، تحقیقات حاکی از آن است که با ازدیاد مواد آلی،

نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارها بر روی آهن اندام هوایی گندم در سطح ۵ درصد نشان داد بیشترین مقدار آهن مربوط به زدامایه ورمی کمپوست بود. بعد از این زدامایه، تیمار سوپرفسفات ساده، زدامایه پرلیت+ ورمی کمپوست، زدامایه ورمی کمپوست + خاک فسفات و تیمار سوپرفسفات تریپل بیشترین مقدار آهن در اندام هوایی را داشته و تفاوت معنی-داری با زدامایه ورمی کمپوست نداشتند (جدول ۴). توانایی بسیار بالای تولید سیدروفور توسط سویه‌های مختلفی از گونه سودوموناس فلورسنس گزارش شده است (Lujan *et al.*, 2015). گیاهان از سیدروفور تولیدی توسط باکتری‌ها به عنوان عاملی برای تامین آهن مورد نیاز خود بهره‌گیری می‌کنند (Ahmad *et al.*, 2006). مطالعه طهماسبی و همکاران (Tahmasbi *et al.*, 2014) بر روی تاثیر سودوموناس‌های فلورسنت تولید کننده سیدروفور بر گیاه ذرت در شرایط هیدروپونیک نشان داد که کاربرد سویه برتر تولید کننده سیدروفور در مقایسه با شاهد باعث افزایش میزان جذب آهن تا ۱۷۹ درصد شد. با توجه به این‌که در تیمار مایه‌زنی به بذر ورمی کمپوست بالاترین مقدار آهن در گیاه مشاهده شد، وجود مقادیر بالای آهن محلول (۱۱۲/۸۶) در ورمی کمپوست نیز می‌تواند دلیلی مبنی بر افزایش جذب آهن توسط گیاه باشد. فرناندز لوکینو و همکاران (Fernandez-Luqueno *et al.*, 2010) بیان کردند مصرف ورمی کمپوست باعث افزایش مقدار آهن و منگنز در دانه گندم می‌گردد که می‌تواند به دلیل توسعه بهتر سیستم ریشه‌ها و دسترسی بیشتر به عناصر غذایی موجود در مواد آلی باشد (Javanmard *et al.*, 2015). نتایج پژوهش شیخی و همکاران (Sheikhi *et al.*, 2015) نشان داد استفاده از ۱ درصد وزنی ورمی کمپوست موجب افزایش جذب آهن گندم نسبت به شاهد شد. بر اساس نتایج مقایسه میانگین، بیشترین مقدار روی در زدامایه ورمی کمپوست مشاهده شد و تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها داشت. آدیسیمویه و کلوپر (Adesemoye & Klopper, 2009) بیان کردند که تلقیح گیاهان با باکتری‌های محرک رشد گیاه از جمله سودوموناس و/اسیتنوباکتر جذب روی در گیاهان را افزایش داد. محققین مهمترین عامل در انحلال روی توسط باکتری‌ها را تولید اسید و کاهش pH می‌دانند (Sara thambalm *et al.*, 2010). توانایی انحلال

مشاهده می‌شود، ورمی‌کمپوست دارای فسفر محلول بالایی می‌باشد که این امر خود موجب افزایش جذب فسفر توسط گیاه می‌شود. همچنین با افزودن کود آلی در یک سیستم کشت، هموس موجود در خاک باعث پوشاندن سطح ذرات رس شده و مانع تثبیت فسفر می‌گردد (Hellal *et al.*, 2014).

ضمن بهبود قابلیت جذب فسفر، کارایی مصرف آن نیز افزایش می‌یابد (Wilhem *et al.*, 2007). نتایج بدست آمده بیانگر این است که با کاربرد ورمی‌کمپوست، فراهمی عناصر غذایی و به ویژه حلالیت‌پذیری فسفر در منطقه ریزوسفر ریشه بیشتر خواهد شد و در نتیجه سبب جذب عناصر غذایی توسط ریشه و در نهایت افزایش فسفر گیاه می‌گردد. همانطور که در جدول ۱ (خصوصیات مواد حامل) این پژوهش



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر تیمارها بر فسفر اندام هوایی گیاه گندم

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک، به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Figure 2. Mean comparison of the effect of treatments on shoot phosphorus in the wheat

Means followed by the same superscript letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test at $P > 0.05$

P: Perlite, Rph: Rock phosphate, V: Vermicomposte, S.Sph: Simple Superphosphate, Tr.Sph: Triple Superphosphate

و حامل ورمی‌کمپوست به عنوان کود زیستی در آزمایشات مزرعه‌ای گندم در خاک‌های مختلف صورت گرفته و بررسی‌های زیست محیطی و اثرات استفاده از این کود بر محیط زیست و سلامت انسان مورد مطالعه قرار گیرد. بعد از دریافت نتایج مثبت و قابل قبول و عدم بیماری‌زایی سویه مورد مطالعه به عنوان کود زیستی، در جهت کاهش میزان مصرف کود شیمیایی و به تبع آن کاهش آلودگی‌های محیط زیست، در زراعت گندم و یا سایر محصولات زراعی استفاده گردد.

تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی به شماره ۹۳۴۰۳ انجام شده تحت حمایت باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان دانشگاه آزاد اسلامی رشت بوده و بدین وسیله از خانم دکتر دلیری و آقای دکتر اللهیاری جهت حمایت و همکاری، تشکر مینماییم.

نتیجه گیری کلی

با توجه به نتایج می‌توان دریافت که استفاده از کود زیستی باکتری سودوموناس فلورسنس محرک رشد گیاه با توانایی حل‌کنندگی فسفات‌های نامحلول در همه صفات، عملکرد بهتری از گیاه شاهد داشت ($P < 0.05$). در مورد صفات سبزیگی، ارتفاع، وزن خشک اندام هوایی وزن خشک ریشه، فسفر اندام هوایی اگرچه دو کود سوپرفسفات تریپل و ساده بیشترین مقدار را داشتند، ولی این برتری نسبت به زادمایه‌های ورمی‌کمپوست و ورمی‌کمپوست + پرلیت معنی‌دار نبود ($P > 0.05$). در مورد میزان روی اندام هوایی و آهن بیشترین مقدار مربوط به تیمار ورمی‌کمپوست بود و در مورد میزان روی اندام هوایی این برتری هم نسبت به تیمار شاهد و هم تیمارهای کود فسفوری معنی‌دار بود ($P < 0.05$). با توجه به نتایج بدست آمده از این پژوهش، توصیه می‌شود از این باکتری

References

- Adesemoye A. O., and Kloepper J. W. 2009. Plant-microbes interactions in enhanced fertilizer-use efficiency. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85:1-12.
- Ahmad F., Ahmad I., and Khan M.S. 2006. Screening of free living rhizosphere bacteria for their multiple plant growth promoting activities. *Microbiological Research*, 163: 173-181.
- Albareda M., Rodriguez-Navarro D. N., Camacho M., and Temprano, F. J. 2008. Alternatives to peat as a carrier for rhizobia inoculants: solid and liquid formulations. *Soil Biology and Biochemistry*, 2008: 40: 2771-2779.
- Alexander D.B., and Zuberer D.A. 1991. Use of chrome azurol S reagents to evaluate siderophore production by rhizosphere bacteria. *Biology and Fertility of Soils*, 12: 39-45.
- Amico E.D., Cavalca L., and Andreoni V. 2005. Analysis of rhizobacterial communities in perennial Gramineae from polluted water meadow soil, and screening of metal-resistant, potentially plant growth-promoting bacteria. *FEMS Microbiol Ecology*, 52: 153-162.
- Ardakani S.S., Hedari A., Tayebi L., and Mohammadi M. 2010. Promotion of cotton seedlings growth characteristics by development and use of new Bioformulations. *International Journal of Botany*, 6: 95-100.
- Arora N. K., Tiwari S., and Singh R. 2014. Comparative study of different carriers inoculated with nodule forming and free living plant growth promoting bacteria suitable for sustainable agriculture. *Journal of Plant Pathology and Microbiology*, 5(2):1-3.
- Azarmi F., Mozafari V., Abbaszadeh P., and Hamidpour M. 2014. Isolation and evaluation of plant growth promoting indices of *Pseudomonas fluorescens* isolated from Pistachio rhizosphere. *Journal of Soil Biology*, 2(2):173-186. (In Persian)
- Bashan Y. 1998. Inoculants of plant growth-promoting bacteria for use in agriculture. *Biotechnology Advances*, 16 (4): 729-770.
- Bashan Y., Bustillos J.J., Leyva L.A., Hernandez J.P., and Bacilio M. 2006. Increase in auxiliary photoprotective photosynthetic pigments in wheat seedlings induced by *azospirillum brasilense*. *Biology and Fertility of Soil*, 42: 279-285.
- Besharati H., Saleh rastin N., Malakouti M., and Alizade A. 2004. The investigation on viability potential of *Thiobacillus* on several kinds of carriers. *Journal of soil and water sciences*, 18(2):170-181. (In Persian)
- Carter M.R., and Gregorich E.G. 2008. Soil Sampling and Methods of Analysis (2nd Ed.), CRC Press. Boca Raton, Florida, 1204p.
- FAO, 2013. <http://faostat.fao.org>.
- Fernandez-Luqueno F., Reyes-Varela V., Martinez-Suarez C., Salomon-Hernandez G., Yanez-Meneses J., Ceballos-Ramerez J.M., and Dendooven L. 2010. Effect of different nitrogen sources on plant characteristics and yield of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Bioresource Technology*, 101: 396-403.
- Gandi A., and Sivakumar K. 2010. Impact of vermicompost carrier based bioinoculants on growth, yield and quality of rice (*oryza sativa*). *An International Quarterly Journal of Environmental Science* 4(1): 83-88.
- Ghevariya K.K., and Desai P.B. 2014. Rhizobacteria of sugarcane: *In vitro* screening for their plant growth promoting potentials. *Research Journal of Recent Sciences*, 3: 52-58.
- Glick B. R., Penrose D., and Wendo M. 2001. Bacterial promotion of plant growth. *Biotechnology Advanced*, 19:135-138.
- Glick B.R. 2014. Bacteria with ACC deaminase can promote plant growth and help to feed the world. *Microbiol Research*, 169:30-9.
- Hamidi A., Asgharzadeh A., Choukan R., Dehghan Shoar M., Ghalavand A., and Malakouti M.J. 2010. Effects of ppgr application on dry matter partitioning and some growth characteristics of maize (*zea mays* L.) hybrids under greenhouse conditions. *Iranian Journal of Soil Research*, 24 (1):55-67. (In Persian)

- Hellal F.A., Zewainy R.M., Khalil A.A., and Ragab A.A.M. 2014. Effect of organic and bio-fertilizer management practices on nutrient availability and uptake by faba bean- maize sequence. *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*, 8 (5): 35-42.
- Jain R., Saxena J., and Sharma V. 2012. Effect of phosphate solubilizing fungi *Aspergillus awamori* S29 on mungbean (*Vigna radiata* cv. RMG 492) growth. *Folia Microbiologica*, 57 (6): 533-541.
- Javanmard A., Nazari B., Jalilian A., and Dashti S. 2015. Response of wheat to vermicompost and chemical fertilizers residual in soil. *Sustainable Agriculture and Production Science*, 25(4):87-103. (In Persian)
- Jeon J. S., Lee S.S., Kim H.Y., Ahn T. S. and Song H. G. 2003. Plant growth promoting in soil by some inoculated microorganism. *Journal of Microbiogyl*, 271-276.
- Joshi R., Vig A.P., and Singh, J. 2013. Vermicompost as soil supplement to enhance growth, yield and quality of *Triticum aestivum* L.: a field study. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 2(16):1-7.
- Kaur G., and Reddy M.S. 2015. Effects of phosphate solublizing bacteria, rock phosphate and chemical fertilizer on maize-wheate cropping cycle and economics. *Pedosphere*, 25(3):428-437.
- Larsen J., Cornejo P., and Miguel Barea J. 2009. International between the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* and the plant growth promoting rhizobacteria *Paenibacillus polymyxa* and *P. macerans* in the mycorrhizosphere of cucumsi sativas. *Soil Biology and Biochemistry*, 41: 286-292.
- Lindsay W. L., and Norvell W. A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society of American Journal*, 42: 421-428.
- Lujan A.M., Gomez P., and Buckling A. 2015. Siderophore cooperation of the bacterium *Pseudomonas fluorescens* in soil. *Biology Letters*, 11: 20140934.
- Magnucka E.G., and Pietr S. J. 2015. Various effects of fluorescent bacteria of the genus *Pseudomonas* containing ACC deaminase on wheat seedling growth. *Microbiological Research*, 181: 112–119.
- Moradi M., Siadat S.A., Khavazi K., Naseri R., Maleki A., and Mirzae A. 2011. Effect of application of biofertilizers and phosphorus fertilizers on qualitative and quantitative traits of spring wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Crop and Weed Ecophysiology*, 5(18): 51-66.
- Nada W.M., Rensburg L.V., Claassens S., and Blumenstein O. 2011. Effect of vermicompost on soil and plant properties of coal spoil in the lusatian region (eastern Germany). *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 42:1945–1957.
- Packialakshmi N., and Aliya Riswana T. 2014. Screening and production of phosphate solubilising bacterial inoculants using different carrier. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, (2): 1762.
- Patten C.L., and Glick B. R. 2002. Role of *Pseudomonas putida* indoleacetic acid in development of the host plant root system. *Applied and Enviromental Microbiology*, 68:3795-3801.
- Reetha S., Bhuvanewari G., Thamizhiniyan P., and Ravi Mycin T. 2014. Isolation of indole acetic acid (IAA) producing rhizobacteria of *Pseudomonas fluorescens* and *Bacillus subtilis* and enhance growth of Onion (*Allim cepa*.L). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 3(2): 568-574.
- Ryan J., Estefan G., and Rashid R. 2001. Soil and Plant Analysis Laboratory Manual. 2nd (Ed.). Available from ICARDA, Aleppo, Syria, 172 p.
- Sara thambalm C., Thangaraju M., Paulraj C., and Gomathy, M. 2010. Assessing the zinc solubilization ability of *Gluconocetobacter diazotrophicus* in maize rhizosphere using labeled Zn compounds. *Indian Journal of Microbiology*, 50(1): 103-109.
- Schoebitz M., Ceballos C., and Ciampi L. 2013. Effect of immobilized phosphate solubilizing bacteria on wheat growth and phosphate uptake. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 13 (1):1-10.
- Sheikhi J., Ronaghi A., Karimian N., Zarei M., and Yasrebi J. 2015. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi and vermicompost on biological yield, concentration and uptake of micronutrients in wheat cultivars 'Bahar and Shiraz'. *Journal of Soil Biology*, 3(1):45-57. (In Persian)
- Sinha R.K., Dalsukh V., Krunal C., and Sunita A. 2010. Embarking on a second green revolution for sustainable agriculture by vermiculture biotechnology using earthworms: Reviving the dreams of Sir Charles Darwin. *Journal of Agricultural Biotechnology and Sustainable*, 2 (7): 113-128.

- Tahmasbi F., Lakzian A., Khavazi K., and Pakdin Parizi, A. 2014. Isolation, identification and evaluation of siderophore production in *Pseudomonas* bacteria and its effect on hydroponically grown corn. *Journal of Soil Biology*, 3 (1):75-87. (In Persian)
- Takahashi S., and Anwar M. R. 2007. Wheat grain yield phosphorus uptake and soil phosphorus fraction after 23 y of annual fertilizer application to an Andosol. *Field Crops Research*, 101: 160-171.
- Theunissen J., Ndakidemi P. A., and Laubscher C. P. 2010. Potential of vermicompost produced from plant waste on the growth and nutrient status in vegetable production. *International Journal of Physical Science*, 5(13):1964-1973.
- Wilhem J. M., Johnson F., Karlen L., and David T. 2007. Corn stover sustain soil organic carbon further constrains biomass supply. *Agronomy Journal*, 99:1665-1667.
- Young L.S., Hameed A., Peng S.Y., Shan Y.H., and Wu S.P. 2013. Endophytic establishment of the soil isolate *Burkholderia* sp. CC-A174 enhances growth and P-utilization rate in maize (*Zea mays* L.). *Applied Soil Ecology*, 66: 40-47.

Using Plant Growth Promoting Bacteria Inoculants- *Pseudomonas fluorescens*- to Increase Growth and Nutrient Uptake of Wheat

Shayan Shariati^{1*}, Hossein Ali Alikhani², Shahab Shariati³

(Accepted: December 2017 Recived: April 2017)

Abstract

High costs of fertilizers production and environmental pollution due to their application make it necessary to use other sources especially biofertilizers. The purpose of this study was to determine capability of bacteria *Pseudomonas fluorescens* survival as one of phosphate solubilizing and plant growth promoting bacteria on different organic and inorganic carriers including vermicompost, perlite, rock phosphate, and four formulations of them, as well as, to investigate their effects on growth indices of wheat. The experiment was performed through complete randomized block design with four replicates, seven inoculants and two fertilizers (simple and triple superphosphate) treatments. Results showed that although triple super phosphate treatment was the best regarding to its positive effects on plant chlorophyll, plant height, phosphorus content in the shoot, and shoot and root dry weight attributes, it had no significant difference with inoculants containing vermicompost ($P>0.05$). Regarding to the iron (Fe) and zinc (Zn) in the shoot, vermicompost inoculant was superior to the other treatments, and regarding the shoot Zn this difference was significant compared to the fertilizer and control ($P<0.05$). Perlite+ vermicompost inoculants implied, respectively, a 10.6 and 14.5% increase in chlorophyll content and plant height, in comparison with the control. Vermicompost+ rock phosphate and vermicompost inoculants increased root dry weight by 28% and 24.5%, respectively ($P<0.05$). Vermicompost inoculants increased the shoot dry weight, phosphorus in shoot, Zn in shoot and Fe in shoot by 6.58%, 27%, 26.3% and 24.83% in comparison with the control, respectively ($P<0.05$).

Keywords: Biofertilizer, Carrier, Superphosphate triple, Vermicompost.

Shariati Sh., Alikhani H.A., Shariati Sh. 2019. Using plant growth promoting bacteria inoculants- *Pseudomonas fluorescens*- to increase growth and nutrient uptake of wheat. *Applied Soil Research*, 7(1): 165-176.

1- Young Researchers and Elite Club, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran.

2 - Department of Soil Science, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran.

3 - Department of Chemistry, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran.

* Corresponding Author Email: shayan_shariati@ut.ac.ir