

اثر کمپوست آزولا بر جذب عناصر غذایی و عملکرد دانه برنج مایه زنی شده با باکتری‌های محرک رشد گیاه

جلال ملاجعفری^۱، محمدحسین انصاری^{۲*}، هادی اسدی رحمانی^۳

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۲/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۹/۰۳)

چکیده

طرفداران کشاورزی ارگانیک در سراسر جهان در حال افزایش است و اساس آن اجتناب از مصرف ترکیبات شیمیایی می‌باشد. تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان زراعی با استفاده از کودهای بیولوژیک و آلی می‌تواند نقش کلیدی در نگهداری حاصلخیزی خاک و توسعه کشاورزی ارگانیک ایفا نماید. به همین منظور آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در در استان گیلان انجام شد. فاکتورهای آزمایشی شامل سه سطح کمپوست آزولا (صفر، ۵ و ۱۰ تن در هکتار) و باکتری‌های محرک رشد گیاه در سه سطح (عدم مایه‌زنی، هریاسپریلوم، آزوسپریلوم) بودند. نتایج نشان داد که اثر باکتری بر فسفاتاز اسیدی و قلیایی معنی‌دار بود به طوری که آزوسپریلوم برتری معنی‌دار نسبت به تیمار عدم مایه‌زنی و هریاسپریلوم داشت. کاربرد ۱۰ تن در هکتار کمپوست آزولا افزایش معنی‌دار در فعالیت فسفاتاز اسیدی نسبت به عدم کاربرد کمپوست نشان داد. برهمکنش کمپوست آزولا و باکتری بر تعداد پنجه، تعداد پنجه، طول بوته، تعداد دانه پر در خوشه، عملکرد بیولوژیک و عملکرد شلتوک معنی‌دار بود. حداکثر عملکرد شلتوک از تیمار ۱۰ تن در هکتار کمپوست آزولا + آزوسپریلوم با میانگین ۷۹۴۶ کیلوگرم در هکتار به دست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۳۱/۲۸ درصد و تیمار ۱۰ تن در هکتار کمپوست آزولا، ۲۷/۴۷ درصد افزایش عملکرد نشان داد. همچنین مایه‌زنی باکتریایی، فسفر دانه را نسبت به تیمار عدم مایه‌زنی به طور معنی‌دار افزایش داد. ضمن آن که بیشترین مقدار فسفر و پتاسیم دانه به ترتیب از سطح ۱۰ و ۵ تن در هکتار کمپوست آزولا مشاهده شد. بنابراین با توجه به نتایج به دست آمده برای حصول حداکثر عملکرد برنج کاربرد ۱۰ تن در هکتار کمپوست آزولا به همراه مایه‌زنی با آزوسپریلوم پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آزوسپریلوم، پتاسیم، فسفاتاز اسیدی و قلیایی، فسفر، هریاسپریلوم

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد زراعت، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران.

۲- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران (مکاتبه کننده).

۳- دانشیار موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

* پست الکترونیک: Ansary330@yahoo.com

مقدمه

یکی از مشکلات امروزه در تولید برنج (*Oryza sativa* L.) استفاده بیش از حد کودهای شیمیایی است. تداوم استفاده از این کودها علاوه بر ایجاد بسیاری از آلودگی‌های زیست محیطی، هزینه تولید را نیز افزایش می‌دهد. امروزه استفاده از کمپوست به‌عنوان یک ضرورت در کشاورزی پایدار شناخته شده است زیرا که می‌تواند کمبود بسیاری از عناصر ضروری و مورد نیاز گیاه مثل روی، نیتروژن، فسفر، پتاسیم را در خاک تا حد زیادی برطرف کند (Ramesh et al., 2009). کمپوست مخلوطی از مواد آلی پوسیده شده به‌وسیله میکرو ارگانیسم‌ها است که در یک محیط گرم، مرطوب و تحت شرایط هوایی، مواد و عناصر غذایی موجود در خود را به‌صورت قابل استفاده در اختیار گیاه قرار می‌دهد (Das et al., 2010). همچنین کمپوست می‌تواند به‌عنوان یک منبع ذخیره‌کننده عناصر غذایی و نگهداری آب در خاک عمل نموده و بنابراین راندمان استفاده از آب را افزایش دهد. تهویه خاک را بهبود بخشیده و کمبود هوموس یا مواد آلی خاک را نیز تأمین کند. بعضی از ویتامین‌ها، هورمون‌ها و آنزیم‌هایی را که توسط کود شیمیایی به خاک نمی‌تواند اضافه شود، را نیز فراهم می‌کند (Sanati et al., 2011). به‌عنوان یک بافر در تنظیم pH خاک عمل می‌کند و حتی می‌تواند بعضی از موجودات بیماری‌زا، علف‌های هرز و دیگر بذور مضر و غیر مفید موجود در خود را در حین مرحله کمپوست‌سازی با بالا رفتن درجه حرارت به بیش از ۶۰ درجه سانتی‌گراد از بین ببرد (Razavipour, 2004). یکی از بهترین انواع کمپوست‌ها، کمپوست آزولاست که یک سرخس آبی بوده که معمولاً در آب شالیزارها و نه‌رها یافت می‌شود (Jumadi et al., 2014). بررسی آزولا از نظر مواد غذایی نشان داده است که میزان عناصر غذایی در دوره‌های زمانی مختلف متغیر بوده و به‌طور میانگین ۵/۳٪ نیتروژن، ۸/۳٪ پتاسیم و ۰/۶٪ منیزیم داشته و فاقد سرب، جیوه یا آرسنیک می‌باشد (Sreenivasa, 2012). استفاده از کمپوست آزولا که مخلوطی از بقایای کاه برنج و سرخس آزولا می‌باشد، با دارا بودن مواد مفید به‌عنوان یک کود بیولوژیک هنگامی که به‌صورت کمپوست تبدیل شود، در شالیزارهای در بسیاری از کشورها مورد تحقیق و بررسی

قرار گرفته و اثرات مثبتی را که در افزایش محصول داشته، به‌خوبی ثابت شده است (Cheng et al., 2010). بعضی از کمپوست‌ها با مقدار بالای نسب بالای کربن به نیتروژن ممکن است معدنی شدن نیتروژن در خاک را تحریک نموده و گیاه را در طول دوره رشد با کمبود نیتروژن مواجه کنند (Norton & Schimel, 2011; Zhu et al., 2013). برای اینکه گیاه در این شرایط با کمبود نیتروژن مواجه نشود، استفاده از باکتری‌هایی که قابلیت تثبیت بیولوژیک نیتروژن را دارند مانند *آزوسپریلوم*، *هریاسپریلوم* و *ازتوباکتر*، راهکار موثری است (Sanati et al., 2011). این گروه از باکتری‌ها علاوه بر قابلیت تثبیت نیتروژن به روش همزیستی و همیاری، قابلیت افزایش جذب عناصری چون فسفر، پتاسیم و آهن، بهبود وضعیت آب گیاه و تولید فیتوهورمون‌ها نیز دارند (Fallah et al., 2014). به این ریزجانداران به دلیل اثرات مثبتی که در تحریک رشد گیاه دارند ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاه^۱ (PGPR) اطلاق می‌شود (Wu et al., 2005). امروزه به‌دلیل استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی، مواد آلی زمین‌های کشاورزی در ایران کاهش یافته و ترکیب خاک به بافت سخت و نامطلوبی تبدیل شده است (Rahimi et al., 2012). کودهای دامی، کمپوست‌ها و زباله‌های شهری بهترین جایگزین برای کودهای شیمیایی بوده و می‌توانند اثرات معنی‌دار در بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک داشته باشند و فعالیت‌های آن را افزایش دهند. شرایط مناسب استان گیلان موجب شده است تا آزولا در سطح تالاب‌ها و آبگیرهای منطقه از رشد خوبی برخوردار باشد و با توجه به غنی بودن آن از نظر برخی عناصر غذایی توانسته به‌عنوان کود آلی مورد استفاده گیرد. به همین منظور این آزمایش با هدف ارزیابی اثر کمپوست آزولا و باکتری‌های محرک رشد گیاه بر پارامترهای کمی و کیفی برنج در استان گیلان اجرا شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر کمپوست آزولا و باکتری‌های محرک رشد بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج رقم هاشمی، آزمایشی مزرعه‌ای در یکی از اراضی پیرامون شهرستان رضوانشهر با طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۱۳ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۴۰ دقیقه با ارتفاع ۱۵ متری از سطح دریا با

آماده‌سازی خزانه به روش ایستگاهی (جوی و پشته‌ای) صورت پذیرفت و در طول مرحله رشد در خزانه مراقبت‌های لازم انجام گرفت و تا مرحله ۳ تا ۴ برگی در خزانه نگهداری شدند. کمپوست آزولا در تیمارهای مربوطه بعد از تهیه کرت ها قبل از کاشت نشاء بعد از توزیع به طور با خاک مخلوط گردید.

قبل از مایه‌زنی سوسپانسیون حاوی ۱۷/۵ گرم زاد مایه و یک لیتر آب (براساس توصیه محققان بخش بیولوژی خاک موسسه تحقیقات خاک و آب کرج) آماده شد. جهت مایه‌زنی باکتریایی ریشه نشاها به مدت ۳۰ دقیقه در محلول سوسپانسیون تهیه شده با حجم مساوی از زاد مایه قرار داده شدند.

میانگین بارش سالانه ۱۳۷۰ میلی‌متر و حرارت متوسط سالانه ۱۵/۶۶ سانتی‌گراد، به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد. قبل از کاشت یک نمونه مرکب از خاک تهیه شد و نتایج آنالیز خاک در جدول ۱ ارائه شده است. فاکتورهای آزمایش شامل کمپوست آزولا در ۳ سطح (عدم استفاده از کمپوست آزولا، ۵ و ۱۰ تن در هکتار) و باکتری‌های محرک رشد در ۳ سطح (عدم مایه‌زنی، باکتری هریاسپریلوم (باکتری آزوسپریلوم) بود. کمپوست آزولا در مرکز تحقیقات برنج کشور، رشت، تولید شده و به فروش می‌رسد که در بسته‌های ۱۰ کیلوگی از آنجا تهیه شد. باکتری‌های از بانک میکروبی مؤسسه تحقیقات آب و خاک تهیه شد. جمعیت باکتری‌ها در هر گرم مایه تلقیح $10^7 \times 9/8$ برآورد شد (براساس روش شمارش کلنی و با استفاده از محیط‌های کشت مناسب).

جدول ۱- خواص فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش

Table 1: Selected physical and chemical characteristics of the studied soils

منگنز Mn	روی Zn	آهن Fe	پتاسیم K	فسفر P	نیتروژن کل Total N	کربن آلی OC	اسیدیته pH	بافت خاک Soil texture	EC (dS.m ⁻¹)	عمق (cm) Depth
3.88	1.04	4.9	93	12.6	0.21	2.28	6.87	سیلتی-رسی	1.23	0-30

جدول ۲- ویژگی‌های باکتری‌های هریاسپریلوم و آزوسپریلوم

Table 2: Characteristics of *Herbaspirillum* and *Azospirillum* bacteria

Bacteria	ACC-deaminase production	Phosphorus solubilizing activity	IAA production (mgL ⁻¹)	Siderophore production (halo diameter/colony diameter)
<i>H.seropedica</i>	+	-	7.1	0.74
<i>A. brasilense</i>	+	+	9.8	0.61

جدول ۳- نتایج تجزیه کمپوست آزولا

Table 3: Result of Azolla compost analysis

CEC (eq/100g)	Total K (%)	Total P (%)	Total N (%)	OC (%)	pH	EC (dS.m ⁻¹)
55	0.93	0.22	2.82	33.5	6.02	10.8

با دست صورت گرفت و مراقبت‌های لازم شامل مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت وجین دستی طی سه مرحله و همچنین جهت مبارزه با آفت کرم ساقه‌خوار برنج صرفاً مبارزه بیولوژیک (زنبور تریکوگراما) انجام شد. نظر به اهمیت فعالیت فسفاتاز اسیدی و فسفاتاز قلیایی در انحلال اشکال فسفر آلی خاک در این بررسی، فعالیت این آنزیم‌ها

ابعاد هر کرت ۵×۳ متر در نظر گرفته شد و در اول خرداد ماه گیاهچه‌های سالم و یکنواخت برنج در مرحله ۵ برگی پس از مایه‌زنی به زمین اصلی منتقل و به فاصله ۲۰×۲۰ سانتی‌متر به تعداد ۳ گیاهچه در هر کپه، نشاء‌کاری شدند. شایان ذکر است هیچ گونه کود شیمیایی استفاده نشد. همچنین عملیات نشاء‌کاری به‌صورت سنتی و

بالتری داشت (شکل ۱)، ولی کمپوست آزولا اثر معنی‌دار بر فعالیت فسفاتاز قلیایی نداشت. مقایسه میانگین اثر باکتری بر فسفاتاز اسیدی نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین آزوسپریلوم با تیمار عدم مایه‌زنی وجود داشت، اما هر باسپریلوم برتری معنی‌دار نسبت به شاهد نشان نداد (شکل ۲). فسفاتاز اسیدی نقش مهمی در حل کردن فسفات نامحلول خاک، جدای از دیگر مکانیسم‌های حل فسفات بازی می‌کند (Relwani *et al.*, 2008). اثر باکتری‌های محرک رشد بر فسفاتاز قلیایی نشان داد که هر دو باکتری نسبت به شاهد از برتری معنی‌داری برخوردار بودند اما بین سویه‌ها اختلاف معنی‌دار وجود نداشت (شکل ۳). طبق گزارش رحیمی و همکاران (Rahimi *et al.*, 2012)، کودهای آلی مانند کود دامی، کمپوست و ورمی‌کمپوست فعالیت فسفاتاز را از طریق افزایش جمعیت‌های میکروبی و نیز فعالیت‌های آنزیمی افزایش می‌دهد. از طرفی با توجه به اینکه فسفاتاز قلیایی توسط باکتری تولید و ترشح می‌شود، لذا توزیع مطلوبی از این آنزیم در خاک کرت‌ها وجود داشته است. یکی دیگر از نظریه‌ها برای تفسیر تجمع فسفات به فرم $H_2PO_4^-$ در گیاه به دنبال تلقیح گیاهان با باکتری‌ها، فعالیت فسفاتاز اسیدی و قلیایی باکتریایی است. این تئوری تا حدودی افزایش تجمع فسفر در دانه و ساقه را بر مبنای ازدیاد سرعت تحول و حل کردن فسفر به کمک باکتری توجیه می‌نماید (Sharma *et al.*, 2015).

مکانیسم موثر برای این امر به توسعه سیستم ریشه‌ای در اثر تولید هورمون، ترشح اسیدهای آلی، تولید پروتون، تولید سیدروفور و فسفاتازهای اسیدی و قلیایی توسط این باکتری‌ها نسبت داده شده است که منجر به افزایش سطح جذب ترکیبات فسفره و نیتروژنه می‌شود (Lavakush *et al.*, 2014). شایان ذکر است مقدار فسفاتاز اسیدی و قلیایی فقط در خاک اطراف ریشه گیاه اندازه‌گیری شد.

در خاک اطراف ریشه در سه نوبت (۲۰، ۴۰ و ۶۰ روز پس از کشت) اندازه‌گیری شد. در این آزمایش روش عیوضی و طباطبایی (Eivazi & Tabatabai, 1977) مورد استفاده قرار گرفت. برای اندازه‌گیری صفات گیاهی برنج از دستورالعمل اندازه‌گیری صفات (SES) استفاده شد (Sharma & Singh, 1999). در زمان رسیدگی در هر کرت، تعداد ۲۵ کپه انتخاب و تعداد پنجه‌های کل، تعداد پنجه‌های بارور و غیر بارور شمارش شده و پس از تعیین میانگین تعداد پنجه در واحد سطح برای هر کرت محاسبه شد. درصد باروری خوشه از نسبت دانه‌های پر به کل دانه‌ها (پر + پوک) در هر خوشه محاسبه شد. همچنین وزن هزار دانه، در خوشه‌های نمونه برداری شده تعیین شدند. برای تعیین عملکرد دانه، بوته‌های موجود در مساحت ۶ متر مربع هر کرت کف بر و پس از خرمکوبی، عملکرد در واحد سطح بر اساس رطوبت ۱۴ درصد دانه محاسبه شد. برای تعیین مقدار نیتروژن دانه از روش کج‌دال و برای سنجش مقدار فسفر دانه از روش وانادات-مولبیدات و پتاسیم دانه از روش فلیم‌فتمتری استفاده شد (Emami, 1996). تجزیه آماری داده‌ها به‌وسیله نرم‌افزار SAS^{9.1} و مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

فسفاتاز اسیدی و قلیایی: نتایج نشان داد که اثر سطوح مختلف کمپوست آزولا بر فعالیت فسفاتاز اسیدی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. اثر باکتری نیز بر فعالیت فسفاتاز اسیدی و قلیایی در احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین کمپوست آزولا برای فعالیت فسفاتاز اسیدی نشان داد که با افزایش کاربرد کمپوست آزولا، میزان فعالیت فسفاتاز اسیدی نیز افزایش یافت اما این افزایش از سطح صفر به سطح ۵ تن در هکتار معنی‌دار نبود و سطح ۱۰ تن در هکتار از دو سطح دیگر میانگین

جدول ۴: تجزیه واریانس اثر کمپوست آزولا و باکتری محرک رشد گیاه بر فسفاتاز اسیدی و قلیایی در خاک اطراف ریشه در زمان‌های مختلف

Table 4: Analysis of variance for Azolla compost and PGPRs on alkaline and acid phosphatase of Rhizosphere in different times

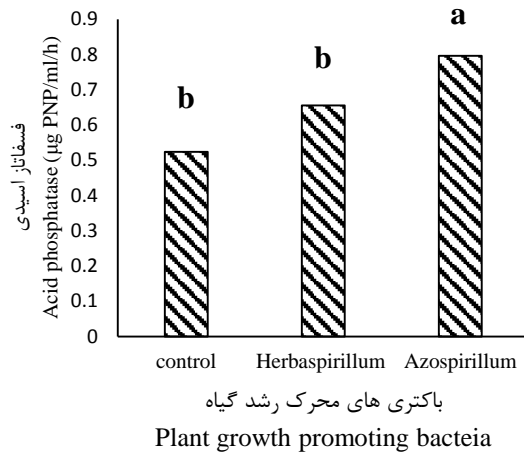
میانگین مربعات (Mean Square)		درجه آزادی Degree of freedom	منابع تغییرات Source of variation
فسفاتاز قلیایی Alkaline Phosphatase	فسفاتاز اسیدی Acid Phosphatase		
0.098*	0.0001 ^{ns}	2	زمان (Time)
0.006 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	6	تکرار (زمان) (Rep (Time))
0.011 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	4	باکتری × زمان (Time×Bacteria)
0.015 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	12	تکرار × باکتری (زمان) (Time) rep×bacteria)
0.032 ^{ns}	0.006*	2	آزولا (Azolla)
0.136**	0.011**	2	باکتری (Bacteria)
0.008 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	4	آزولا × باکتری (Azolla×Bacteria)
0/009 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	4	آزولا × زمان (Azolla×Time)
0.005 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	8	آزولا × باکتری × زمان (Azolla× Bacteria ×Time)
0.018	0.0001	42	خطا (Error)
20.97	15.58		ضریب تغییرات (CV)

ns، * و ** به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار، وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

* and **: Significant at $\alpha = 5\%$ and 1% , respectively, ns: not significant

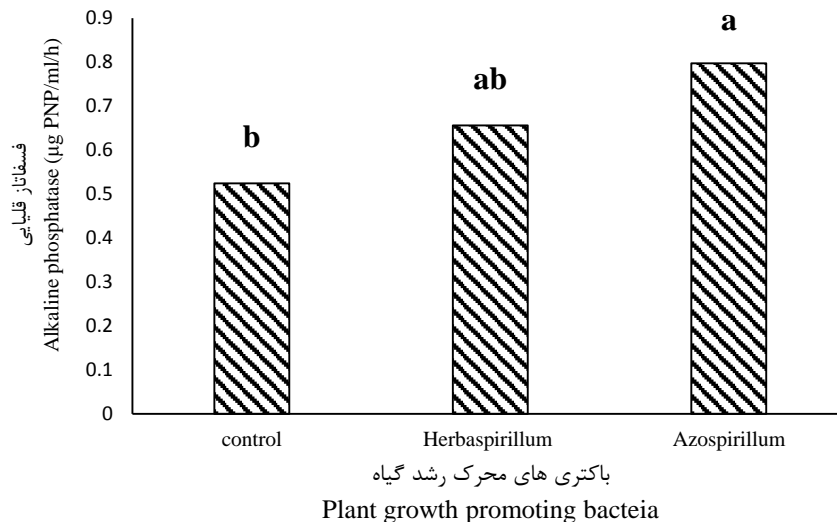
بیان نمودند مصرف کمپوست باعث افزایش رشد گندم و برنج می‌گردد که قابلیت بکارگیری بهتر نیتروژن و پاسخ فیزیولوژیکی محصول به حضور کود آلی را نشان می‌دهد. رامش و همکاران (Ramesh *et al.*, 2009) گزارش کردند که تعداد پنجه با کاربرد توأم کودهای آلی و باکتریایی به‌طور معنی‌دار افزایش پیدا کرد، که مبین نتایج به دست آمده می‌باشد. سیاوشی و همکاران (Siyavoshi *et al.*, 2011) نیز بر این باورند که افزایش تعداد پنجه و پنجه بارور در گیاه در برابر کاربرد کودهای آلی و کمپوست به دلیل افزایش مواد غذایی قابل دسترس گیاه می‌باشد. هر چند در سطوحی از کمپوست آزولا که با مایه‌زنی همراه بود نسبت به سطوحی که فاقد مایه‌زنی بودند، تعداد پنجه افزایش یافت، ولی آزوسپریلوم نسبت به هرپاسپریلوم تعداد پنجه بیشتری تولید کرد، که این برتری در تولید پنجه را می‌توان به افزایش فراهمی عناصری مانند نیتروژن، فسفر و آهن تعمیم داد (Lavakush *et al.*, 2014).

تعداد پنجه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل کمپوست آزولا و باکتری‌های محرک رشد گیاه بر تعداد پنجه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). مقایسه میانگین اثر متقابل کمپوست آزولا و باکتری‌های محرک رشد گیاه بر تعداد پنجه نشان داد که در همه سطوح کمپوست آزولا تیمارهای مایه‌زنی نسبت به تیمار عدم مایه‌زنی تعداد پنجه بیشتری تولید کردند و در سطح صفر و ۵ تن در هکتار کمپوست آزولا آزوسپریلوم برتری معنی‌دار نسبت به هرپاسپریلوم داشت ولی در سطح ۱۰ تن در هکتار کمپوست آزولا بین دو باکتری اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. در مجموع بیشترین تعداد پنجه از سطح ۵ تن در هکتار کمپوست آزولا و توسط آزوسپریلوم تولید شد، هر چند اختلاف معنی‌دار با تیمارهای مایه‌زنی در سطح ۱۰ تن در هکتار کمپوست آزولا نداشت (جدول ۷). در این راستا احمد و همکاران (Ahmad *et al.*, 2002)



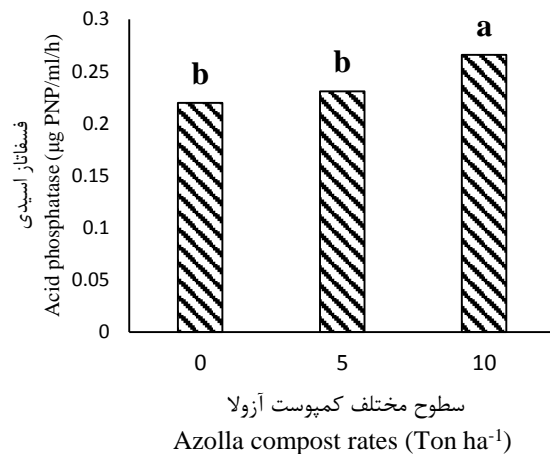
شکل ۲- مقایسه میانگین اثر باکتری‌های محرک رشد گیاه بر فعالیت فسفاتاز اسیدی

Figure 2- mean comparison of plant growth promoting bacteria effect on acid phosphatase activity



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر باکتری‌های محرک رشد گیاه بر فعالیت فسفاتاز قلیایی

Figure 3- mean comparison of plant growth promoting bacteria effect on alkaline phosphatase activity



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف کمپوست آزولا بر فعالیت فسفاتاز اسیدی

Figure 1- mean comparison of Azolla compost rates effect on acid phosphatase activity

انتقال مجدد مواد فتوسنتزی به دانه‌ها در زمان پر شدن دانه، زمانی که فتوسنتز جاری تکافوی مواد فتوسنتزی مورد نیاز دانه‌ها را نمی‌کند، بازی می‌کند (Sharma *et al.*, 2014)، هر چند نباید تاثیر افزایش بیش از حد ارتفاع بوته بر خطر ورس برنج را از نظر دور داشت. فلاح و همکاران (Fallah *et al.*, 2014) نیز گزارش کردند که کاربرد آزوسپریلوم بر روی گندم موجب افزایش طول سنبله و مطابق آن افزایش تعداد دانه می‌شود که نتایج این تحقیق با نتایج مذکور هم‌خوانی دارد.

طول بوته: نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل کمپوست آزولا و باکتری بر طول بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). مقایسه میانگین اثر متقابل کمپوست آزولا و باکتری بر طول بوته نشان داد که چه در تیمار عدم مایه‌زنی و چه در تیمارهای باکتریایی با مصرف کمپوست آزولا تا ۵ تن ارتفاع بوته افزایش یافت اما در سطح ۱۰ تن کمپوست آزولا ارتفاع بوته در تیمار عدم مایه‌زنی و هریاسپریلوم کاهش یافت و در تیمار آزوسپریلومی نیز تغییر معنی‌دار مشاهده نشد (جدول ۷). افزایش طول بوته می‌تواند نقش مهمی در

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر کمپوست آزولا بر برخی از صفات برنج تحت مایه‌زنی با باکتری‌های محرک رشد گیاه

Table 5: Analysis of variance for Azolla compost on agronomic traits of rice under PGPRs inoculation

میانگین مربعات (Mean Square)						
وزن هزار دانه	تعداد دانه پوک	تعداد دانه پر در خوشه	طول بوته	تعداد پنجه در متر مربع	درجه آزادی	منابع تغییرات
1000-grain weight	number of unfilled grain	Filled Grain.panicle	Shoot length	Tillers.m ⁻²	Df	Source of variation
0.47 ^{ns}	150.92 ^{ns}	3.59 ^{ns}	5.28 ^{ns}	9.03 ^{ns}	2	تکرار (Rep)
1.38 ^{ns}	25.92 ^{ns}	289.3 ^{**}	52.56 ^{**}	173.0 ^{**}	2	کمپوست آزولا (Azolla)
2.3 ^{ns}	28.7 ^{ns}	259.1 ^{**}	57.17 ^{**}	615.2 ^{**}	2	باکتری (Bacteria)
0.85 ^{ns}	50.92 ^{ns}	34.7 [*]	36.25 ^{**}	414.5 ^{**}	4	کمپوست آزولا × باکتری (bacteria×Azolla)
0.92	87.38	5.17	8.48	22.87	16	خطا (Error)
3.64	34.57	1.94	1.95	3.29	-	ضریب تغییرات (CV)

ns, * و ** به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار، وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

* and **: Significant at $\alpha = 5\%$ and 1% , respectively, ns: not significant

رحمتی و همکاران (۱۳۸۸) نیز بیشترین تعداد دانه در خوشه گندم مربوط به تیمار آزوسپریلوم لیوفروم گزارش کردند که نسبت به تیمار شاهد ۲۴ درصد افزایش داشته است که نتایج به‌دست آمده با نتایج ذکر شده همخوانی دارد. علی‌دوست و همکاران (Alidoust et al., 2012) با آزمایشی بر روی گیاه دراسینا گزارش کردند که کمپوست‌ها از نیتروژن مانند پتاسیم، آهن، فسفر و کلسیم غنی نبوده، اما کاربرد باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن مانند آزوسپریلوم از توباکتر می‌تواند این کمبود را جبران کنند.

عملکرد بیولوژیک: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل کمپوست آزولا و باکتری بر عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). مقایسه میانگین اثر متقابل کمپوست آزولا و باکتری بر عملکرد بیولوژیک نشان داد در همه سطوح کمپوست آزولا تیمارهای مایه‌زنی نسبت به تیمار عدم مایه‌زنی برتری معنی‌دار داشتند (جدول ۷). کودهای آلی با ایجاد تغییرات مثبت بر خواص فیزیکی و شیمیایی خاک، و تأمین به موقع عناصر مورد نیاز گیاه در طی فصل رشد، می‌توانند شرایط بهینه‌ای را برای افزایش وزن گیاه فراهم آورند (Zhu et al., 2013). کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاه که قابلیت تثبیت نیتروژن نیز دارند همراه با کودهای آلی می‌تواند عناصر مورد نیاز گیاه را تأمین نموده و منجر به افزایش رشد گیاه شود (Meena et al., 2010). در این آزمایش نیز حداکثر عملکرد بیولوژیک از سطح ۱۰ تن کمپوست آزولا

تعداد دانه پر در خوشه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل کمپوست آزولا و باکتری بر تعداد دانه پر در خوشه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). در سطح عدم مصرف کمپوست آزولا، بیشترین تعداد دانه پر در خوشه مربوط به آزوسپریلوم بود ولی در سطح ۵ تن در هکتار کمپوست آزولا، آزوسپریلوم با تیمار عدم مایه‌زنی اختلاف معنی‌دار نداشت، در حالی که در هر باسپریلوم برتری معنی‌دار نسبت به تیمار عدم مایه‌زنی مشاهده شد. در سطح ۱۰ تن در هکتار کمپوست نیز بین تیمارهای باکتریایی اختلاف معنی‌دار وجود نداشت هر چند این اختلاف با تیمار عدم مایه‌زنی معنی‌دار بود (جدول ۷). آنچه که مورد توجه است واکنش‌هایی است که باکتری‌ها به تغییر سطوح مختلف کمپوست آزولا نشان می‌دهند به طوری که آزوسپریلوم با افزایش مصرف کمپوست آزولا تعداد دانه در خوشه را افزایش داد در حالی که هر باسپریلوم در شرایط عدم مصرف کمپوست برتری معنی‌داری نسبت به تیمار آزوسپریلوم و عدم مایه‌زنی داشت اما در سطح ۵ تن در هکتار کمپوست با تیمار عدم مایه‌زنی اختلاف معنی‌دار نشان نداد. با این وجود در سطح ۱۰ تن کمپوست آزولا نسبت به تیمار عدم مایه‌زنی برتری معنی‌دار نشان داد. چنین می‌توان استنباط کرد که در شرایط عدم کاربرد کمپوست هر باسپریلوم نسبت به آزوسپریلوم کارایی بیشتری دارد، هر چند می‌توان این رفتار گیاه را به تغییراتی که باکتری‌ها در تعداد پنجه بوجود آورده‌اند نسبت داد (Ali Abbasi et al., 2006).

آزوسپریلوم به دست آمد (جدول ۷)، می‌تواند مبین این گزارش باشد. در این آزمایش بیشترین عملکرد دانه از تیمار ۱۰ تن کود کمپوست آزولا و آزوسپریلوم با میانگین ۸۰۴۶ کیلوگرم در هکتار به دست آمد که نسبت به شاهد ۳۱/۲۸ درصد و تیمار عدم مایه‌زنی + ۱۰ تن در هکتار کمپوست آزولا، ۲۷/۴۷ درصد افزایش داد. با افزایش تعداد پنجه و تعداد دانه در خوشه، عملکرد دانه نیز افزایش می‌یابد زیرا عملکرد دانه تابع این اجزا می‌باشد. در حالی که افزایش عملکرد بیولوژیک زمانی منجر به افزایش عملکرد دانه خواهد شد که مواد ذخیره شده در اندام‌های رویشی به نحو مطلوبی به سمت دانه‌ها حرکت کنند. علت بالا بودن عملکرد شلتوک در هریاسپریلوم نسبت به آزوسپریلوم در سطح ۵ تن در هکتار کمپوست آزولا را علاوه بر عدم توانایی انتقال مواد ذخیره شده در اندام‌های رویشی به دانه، نیز می‌توان ناشی از تعداد پنجه بیشتر تولید شده در واحد سطح توسط هریاسپریلوم نسبت به آزوسپریلوم دانست (Sharma et al., 2014). تاثیر باکتری بر گیاه بستگی به عوامل زیادی دارد از جمله ماده آلی خاک، میزان عناصر موجود در خاک، بافت خاک، رطوبت خاک، نوع سویه و نوع رقم گیاه (Vessey, 2003). شارما و همکاران (Sharma et al., 2015) ضمن به دست آوردن نتایج مشابه گزارش کردند که کاربرد کمپوست آلی به همراه مایه‌زنی با افزایش مقادیر قابل جذب عناصر غذایی اصلی و کم نیاز در خاک و ارتقاء سطح باروری خاک موجب افزایش عملکرد کاه و دانه برنج شد. افزایش عملکرد دانه توسط کمپوست آزولا و باکتری‌های محرک رشد گیاه در آزمایش داس و همکاران (Das et al., 2010) و ساندی و همکاران (Sandi et al., 2011) نیز گزارش شده است. آنها علت افزایش عملکرد را ناشی از تاثیر کمپوست آزولا بر بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی خاک و تقویت نقش باکتری‌ها در تولید سیدروفورها، هورمون‌های رشد و جذب عناصر گزارش کردند.

و آزوسپریلوم با میانگین ۱۷۱۷۹ کیلوگرم در هکتار به دست آمد، هر چند به لحاظ آماری اختلاف معنی دار با تیمار هریاسپریلومی در سطح ۵ تن در هکتار کمپوست آزولا (با میانگین ۱۶۵۶۳ کیلوگرم در هکتار) نداشت. اینکه باکتری هریاسپریلوم در سطح ۵ تن در هکتار و آزوسپریلوم در سطح ۱۰ تن در هکتار حداکثر عملکرد بیولوژیک را نشان دادند می‌تواند ناشی از کاهش کارایی در جذب عناصر و تثبیت بیولوژیک نیتروژن توسط هریاسپریلوم با افزایش کاربرد کمپوست آزولا تا ۱۰ تن در هکتار دانست، به طوری که با افزایش عناصر خاک توانایی برای جذب برخی عناصر و تثبیت بیولوژیک نیتروژن توسط باکتری کاهش می‌یابد (Sreenivasa, 2012)، که با نتایج جنی و مالیگا (Jenny & Malliga, 2006) نیز هماهنگ می‌باشد. هر چند که باکتری آزوسپریلوم به نحو مطلوب‌تری از افزایش کمپوست آزولا استفاده نموده و عملکرد بیولوژیک را افزایش داد ولی این افزایش عملکرد بیولوژیک معنی دار نبود.

عملکرد شلتوک: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل کمپوست آزولا و باکتری‌های محرک رشد گیاه بر عملکرد شلتوک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). در سطح عدم مصرف و ۵ تن در هکتار کمپوست آزولا، بین دو باکتری هریاسپریلوم و آزوسپریلوم اختلاف معنی‌دار وجود نداشت اما نسبت به تیمار عدم مایه‌زنی برتری معنی‌دار داشتند. در سطح ۱۰ تن در هکتار کمپوست آزولا نیز بیشترین عملکرد مربوط به آزوسپریلوم بود (جدول ۷). به نظر می‌رسد افزایش میزان جذب فسفر توسط باکتری‌ها، از طریق تولید بسیاری از ترکیبات مهم سلول‌های گیاهی، از جمله اسیدهای نوکلئیک، فسفولیپیدهای غشاء و نوکلئوتیدهایی دارد که در متابولیسم انرژی گیاه شرکت دارند (Lavakush et al., 2014)، منجر به افزایش تجمع ماده خشک در گیاه و در نهایت منجر به افزایش عملکرد دانه می‌شود (Khan et al., 2007)، بنابراین بیشترین فسفر دانه نیز که از تیمار

جدول ۶- تجزیه واریانس اثر کمپوست آزولا بر برخی از صفات برنج تحت مایه‌زنی با باکتری‌های محرک رشد گیاه

Table 6: Analysis of variance of Azolla compost effect on some of the characteristics of the rice inoculated with plant growth promoting bacteria

میانگین مربعات (Mean Square)						
نیترژن دانه Seed nitrogen	پتاسیم دانه Seed potassium	فسفر دانه Seed phosphorus	عملکرد شلتوک Unpolished rice yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	درجه آزادی Df	منابع تغییرات
0.513 ^{ns}	0.8.38**	0.0029 ^{ns}	147772 ^{ns}	2251901 ^{ns}	2	تکرار (Rep)
0.042 ^{ns}	0.634**	0.437**	895190 ^{ns}	2903930 ^{ns}	2	کمپوست آزولا (Azolla)
0.729 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	0.209**	985451 ^{ns}	8745013 ^{ns}	2	باکتری (Bacteria)
0.206 ^{ns}	0.0023 ^{ns}	0.0012 ^{ns}	2326638**	10517520*	4	کمپوست آزولا × باکتری (Azolla × bacteria)
0.398	0.0025	0.0045	387923	2737544	16	خطا (Error)
28.74	13.12	12.90	9.49	10.99	-	ضریب تغییرات (CV)

ns, * و ** به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار، وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

* and **: Significant at $\alpha = 5\%$ and 1% , respectively, ns: not significant

جدول ۷- مقایسه میانگین برخی از صفات برنج متاثر از برهمکنش کمپوست آزولا و باکتری محرک رشد گیاه

Table 7. Means comparison of Azolla compost and PGPR interaction effect on some of the rice characteristics

عملکرد بیولوژیک Biological yield (Kg ha ⁻¹)	عملکرد شلتوک Unpolished rice yield (Kg ha ⁻¹)	تعداد دانه پر در خوشه Filled Grain. panicle	طول بلندترین ساقه Length of longest stem (cm)	تعداد پنجه در متر مربع Tillers.m ⁻²	باکتری bacteria	کمپوست آزولا Azolla compost (Ton ha ⁻¹)
12451 d	5529 c	103.3 e	147.3 bcd	130.0 d	non-inoculated	
15587 abc	6799 b	121.3 bc	150.8 ab	140.0 bc	<i>Herbaspirillum</i>	0
15140 abcd	6729 b	113.0 d	148.6 abc	136.0 bcd	<i>Azospirillum</i>	
13047 cd	5992 bc	111.0 d	148.5 abc	134.0 cd	non-inoculated	
16563 a	6752 b	110.3 d	152.5 a	163.3 a	<i>Herbaspirillum</i>	5
16403 ab	6471 bc	123.3 ab	153.0 a	144.0 b	<i>Azospirillum</i>	
13654 bcd	5835 bc	118.0 c	144.0 cd	144.0 b	non-inoculated	
15400 abc	6887 b	126.3 a	142.3 d	157.3 a	<i>Herbaspirillum</i>	10
17179 a	7946 a	125.6 a	153.1 a	156.6 a	<i>Azospirillum</i>	

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک می‌باشند فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد به روش آزمون LSD می‌باشند.

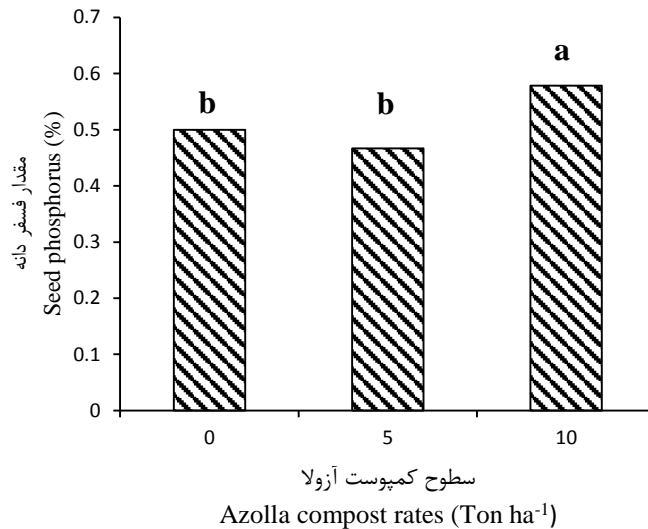
In each column, means with similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level according to LSD tests.

2011). این امر می‌تواند به علت افزایش تأثیر کمپوست‌ها با گذشت زمان در جهت بهبود وضعیت شیمیایی خاک و عرضه بهتر عناصر غذایی باشد (Zhu et al., 2013). همچنین کود کمپوست آزولا نیز می‌تواند میزان فسفر قابل جذب و منیزیم را نیز افزایش دهد (Jumadi et al., 2014). همچنین بین تیمارهای مایه‌زنی و تیمار عدم مایه‌زنی اختلاف معنی‌دار مشاهده شد، به طوری که بیشترین فسفر دانه از آزوسپیریوم به دست آمد و هر باسپیریوم در مرتبه بعدی قرار داشت (شکل ۵). یاهاوم و اوکان (Yahalom & Okon, 2004) گزارش کردند که مایه‌زنی با آزوسپیریوم از

فسفر دانه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطوح مختلف کمپوست آزولا و باکتری بر فسفر دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف کمپوست آزولا بر فسفر دانه نشان داد که بین سطح صفر و ۵ تن در هکتار کمپوست آزولا اختلاف معنی‌دار وجود نداشت ولی سطح ۱۰ تن در هکتار نسبت به سطح صفر برتری معنی‌دار داشت (شکل ۴). اکثر تحقیقات نشان داده که کمپوست از لحاظ عناصر غذایی خصوصاً فسفر غنی است و از این رو باعث افزایش فراهمی فسفر در خاک و جذب توسط گیاه می‌شود (Sanati et al.,

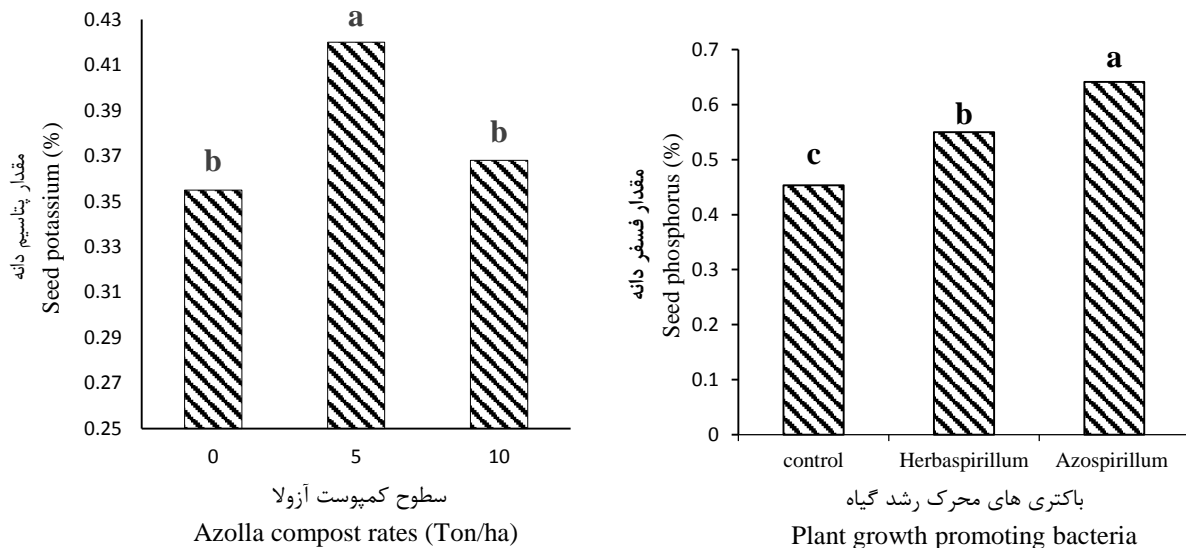
باشان و هولگوین (Bashan & Holguin, 1997) نیز نشان دادند که باکتری‌های محرک رشد گیاه برای حلالیت مواد مغذی نامحلول از قبیل فسفر، آهن و منگنز و روی با یک-سری مکانیسم‌ها آن‌ها را به شکل محلول و به صورت قابل جذب گیاهی در می‌آورند، و از این طریق امکان جذب آن‌ها را برای گیاه فراهم می‌نمایند.

طریق افزایش حجم سیستم ریشه، باعث افزایش جذب N ، P و K توسط ریشه گیاه جو و سورگوم شده است، علاوه بر این، زمان لازم برای گلدهی و خوشه‌دهی گیاه (*Setaria italica*) را کاهش داد. مایه‌زنی گیاه برنج با باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد به طور معنی داری جذب فسفر را به میزان ۱۰ تا ۲۸ درصد نسبت به شاهد افزایش داده است (Biswas, 2000).



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف کمپوست آزولا بر مقدار فسفر دانه

Figure 4- mean comparison of Azolla compost rates effect on seed phosphorus



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف کمپوست آزولا بر مقدار پتاسیم دانه

Figure 6- mean comparison of Azolla compost rates effect on seed potassium

شکل ۵- مقایسه میانگین اثر باکتری‌های محرک رشد گیاه بر مقدار فسفر دانه

Figure 5- mean comparison of plant growth promoting bacteria effect on seed phosphorus

کمپوست آزولا + باکتری *آزوسپریلوم* با میانگین ۷۹۴۶ کیلوگرم در هکتار به دست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۳۱/۲۸ درصد و تیمار ۱۰ تن در هکتار کمپوست آزولا، ۲۷/۴۷ درصد افزایش عملکرد نشان داد. اگرچه اثر متقابل باکتری × کمپوست آزولا بر فعالیت فسفاتاز اسیدی و قلیایی معنی‌دار نبود ولی اثر ساده آنها نشان داد که سطح ۱۰ تن در هکتار کمپوست آزولا فعالیت فسفاتاز اسیدی را نسبت به عدم مصرف آن و باکتری *آزوسپریلوم*، فعالیت فسفاتاز اسیدی و قلیایی را نسبت به تیمار عدم مایه‌زنی، به طور معنی‌دار افزایش دادند. نتایج نشان داد که باکتری *آزوسپریلوم* با بهبود خصوصیات رشدی گیاه از جمله تعداد پنجه، تعداد خوشه در متر مربع و تعداد دانه در خوشه باعث افزایش عملکرد محصول گردید. مصرف مقادیر مختلف کمپوست آزولا نشان دهنده اثرات مثبت آن‌ها بر افزایش عملکرد و اجزاء عملکرد بود. همچنین کاربرد توأم باکتری و کمپوست آزولا، به ویژه باکتری *آزوسپریلوم* باعث افزایش عملکرد دانه شد. از این رو توصیه می‌شود که با مصرف متعادل کمپوست آزولا و مایه‌زنی با باکتری‌های مناسب ضمن بالا بردن عملکرد دانه، از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی جلوگیری کرده و با کاهش آلودگی‌های نیتراتی گامی در جهت حفظ محیط زیست برداریم.

پتاسیم دانه: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده کمپوست آزولا بر مقدار پتاسیم دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که تیمار مصرف ۵ تن کمپوست آزولا در هکتار با میانگین ۳۱۳/۳ نسبت به دو تیمار عدم مصرف و ۱۰ تن در هکتار کمپوست آزولا برتری معنی‌دار داشت (شکل ۶). زالر و همکاران (Zaller et al., 2007) افزایش فعالیت‌های میکروبی، وجود تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی و افزایش جذب عناصر غذایی نظیر K در تیمار حاوی ورمی‌کمپوست را به‌عنوان دلایل عمده افزایش غلظت K در مقایسه با تیمار شاهد بیان کردند. گزارش محققین نشان می‌دهد که غلظت فسفر و پتاسیم در شاخساره گیاه در خاک تیمار شده با کمپوست آزولا بیشتر از شاهد است (Rehana et al., 2003).

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج به‌دست آمده در این تحقیق می‌توان ابراز داشت که زمانی که عناصر غذایی کافی در خاک وجود داشته باشند حضور باکتری‌ها باعث افزایش جذب عناصر برای گیاه برنج شده، در نتیجه استفاده از باکتری‌های فزاینده رشد می‌تواند عملکرد شلتوک را افزایش دهد به طوری که حداکثر عملکرد شلتوک از تیمار ۱۰ تن در هکتار

Reference

- Ahmad H. 2002. Productivity and economics of rice (*Oryza sativa* L.)-wheat (*Triticum aestivum* L.) cropping system under integrated nutrient supply systems. *Indian Journal of Agronomy*, 47(1): 20-25.
- Ali-Abbasi H.R., Esfahani M., Rabiei B., and Kavousi M. 2006. Effect of nitrogen management on rice yield (*Oryza sativa* L. cv. Khazar.) and its components in a paddy soil in Gilan. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 4: 293-308. (In Persian).
- Alidoust M., Mohammadi Torkashvand A., and Mahboub Khomami A. 2012. The effect of growth medium of peanut shelles compost and nutrient solution on the growth of *Dracaena*. *Annals of Biological Research*, 3(2): 789-794.
- Bashan Y., Singh M., and Levanony H. 1989. Contribution of *Azospirillum brasilense* Cd to growth of tomato seedlings is not through nitrogen fixation. *Canadian Journal of Botany*, 67: 2429-2434.
- Bashan Y., and Holguin G. 1997. Azospirillum-plant relationships: environmental and physiological advances (1990-1996). *Canadian Journal of Microbiology*, 43: 103-121.
- Biswas L.C., Ladha L.k., and Dazzo F.B. 2000. Rhizobial inoculation improves, nutrient uptake and growth of low land rice. *Soil Science Society of America Journal*, 64: 1644-1650.
- Cheng W., Sakai H., Matsushima M., Yagi K., and Hasegawa T. 2010. Response of the floating aquatic fern *Azolla filiculoides* to elevated CO₂, temperature, and phosphorus levels. *Hydrobiologia*, 656: 5-14.
- Das A., Patel D.P., Munda G.C., and Ghosh P.K. 2010. Effect of organic and inorganic sources of nutrients on yield, nutrient uptake and soil fertility of maize (*Zea mays*)-mustard (*Brassica campestris*) cropping system. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 80(1): 85-8.
- Eivazi, F., and Tabatabai M. 1977. Phosphates in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 9: 167-172.
- Emami, A. 1996. Plant analysis methods. Iranian Plant and Water Research Institute. No. 928. (In Persian).
- Fallah A., Momeni S., and Shariati S. 2014. Effect of PGPR biofertilizers on the qualitative and quantitative yield parameters of wheat (*Triticum aestivum*). *Applied Soil Research*, 2(1): 103-114.
- Jenny S., and Malliga P. 2006. Influence of organic manure on morphological and yield attributes of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants. *International Journal of Innovative Research in Science and Engineering*, 2(3): 1-6.
- Jumadi O., Hiola S.F., Hala Y., Norton J., and Inubushi K. 2014. Influence of *Azolla* (*Azolla microphylla* Kaulf.) compost on biogenic gas production, inorganic nitrogen and growth of upland kangkong (*Ipomoea aquatica* Forsk.) in a silt loam soil. *Soil Science and Plant Nutrition*, 60(5): 722-30.
- Khan A., Arshad M., and Zahir Z.A. 2007. Growth and yield response of wheat cultivars to inoculation with auxin producing plant growth promoting rhizobacteria. *Pakistan Journal of Botany*, 35: 483-49.
- 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*). *Ecological Engineering*, 62: 123-8.
- Meena R.K., Singh Y.V., Lata A., Kumar A., and Bana R.S. 2010. Effect of plant-growth-promoting rhizobacteria inoculation on plant growth, productivity and economics of Basmati rice. *Egyptian Journal of Biology*, 16(1): 45-50.
- Norton J.M., and Stark J.M. 2011. Regulation and measurement of nitrification in terrestrial systems. *Methods Enzymol*, 486: 343-368.
- Rahimi L., Aliasgharzad N., and Oustan S.H. 2012. Effect of native *Azotobacter chroococcum* strains on growth and uptake of nitrogen and phosphorus by wheat plant in greenhouse conditions. *Isfahan University of Technology*, 15(58): 159-171. (In Persian).
- Ramesh P., Panwar N.R., Singh A.B., Ramana S., and Rao A.S. 2009. Impact of organic manure combinations on the productivity and soil quality in different cropping systems in Ramesh. *Central Indian Journal of Plant Nutrition*, 172(4): 577-585.
- Razavipour T. 2004. Beneficial use of *Azolla* as fertilizer. Rice Research Institute of Iran. 121p. (In Persian).

- Rehana B., Mian M.H., Tahirruddin M., and Hasan M.A. 2003. Effect of Azolla-Urea application on yield and NPK uptake by BRRI Dhan 29 in Boro season. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 6(11): 968- 971.
- Relwani L., Krishna P., and Reddy M.S. 2008. Effect of carbon and nitrogen sources on phosphate solubilization by a wild-type strain and UV-induced mutants of *Aspergillus tubingensis*. *Current Microbiology*, 57: 401- 406.
- Sanati B.E., Daneshiyan J., Amiri E., and Azarpour E. 2011. Study of organic fertilizers displacement in rice sustainable agriculture. *International Journal of Academic Research*, 3(2): 134-142.
- Sharma S., Thind H.S., Singh Y., Singh V., and Singh B. 2015. Soil enzyme activities with biomass ashes and phosphorus fertilization to rice–wheat cropping system in the Indo-Genetic plains of India. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 101(3): 391-400.
- Sharma A., Shankhdhar D., and Shankhdhar S.C. 2014. Growth promotion of the rice genotypes by PGPR isolated from rice rhizosphere. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 14(2): 505-17.
- Sharma A.R., and Singh D.P. 1999. Rice. In: Smith, D.L. and Mamel, C. (Eds.) *Crop Yield, Physiology and Processes*. Springer, Berlin, pp. 109-168.
- Siavoshi M., Nasiri A., and Laware S.L. 2011. Effect of organic fertilizer on growth and yield components in rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Agricultural Science*, 18(2): 217-228.
- Sreenivasa M.N. 2012. Organic farming: for sustainable production and environmental protection. *In microorganisms in sustainable agriculture and biotechnology*, 23(1): 55-76.
- Vessey J.K. 2003. Plant growth-promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*, 255: 571– 586.
- Wu S.C., Caob Z.H., Lib Z.G., Cheunga K.C., and Wong M.H. 2005. Effects of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. *Geoderma*, 125: 155-166.
- Yahalom E.K., and Okon Y. 2004. Response of *seraria italic* to inoculation with *Azospirillum brasilense* as compared to *Azotobacter chroocoum*. *Plant and Soil*, 82: 77-85.
- Zaller J.G. 2007. Vermicompost as a substitute for peat in potting media: Effects on germination, biomass allocation, yields and fruit quality of three tomato varieties. *Scientia Horticulturae*, 112: 191-199.
- Zhu X., Silva C.R.S., Doane T.A., Wu N., and Horwath R.H. 2013. Quantifying the effects of green waste compost application, water content and nitrogen fertilization on nitrous oxide emissions in 10 agricultural soils. *Journal of Environmental Quality*, 42: 912–918.

Effect of Azolla compost on nutrient uptake and grain yield of rice under PGPRs inoculated

Jalal Molajafari¹, Mohammad Hossein Ansari^{2*}, Hadi Asadi Rahmani³

(Received: May 2016 Accepted: December 2016)

Abstract

Organic farming is gaining popularity all over the world as it avoids the use of synthetic chemicals. Providing nutrients required by crops using biological fertilizers can play a key role in maintaining soil fertility and organic agriculture. For this purpose a factorial experiment in a randomized complete block design with three replications was conducted in Guilan province. Experimental Factors consisted of Azolla compost (0, 5 and 10 Ton ha⁻¹) and plant growth promoting bacteria (non-inoculated, *Herbaspirillum*, *Azospirillum*). The results showed that the bacterial effect on acidic and alkaline phosphatase was significant so that the *Azospirillum* was superiority compared to non-inoculated treatment and *Herbaspirillum*. The use of 10 Ton ha⁻¹ of Azolla compost significantly increased in activity of acid phosphatase. Interaction of Azolla compost and PGPRs on tiller numbers, plant height, grains number, panicle⁻¹, biomass and grain yield were significant. The maximum grain yield was obtained from 10 Ton ha⁻¹ of Azolla compost + *Azospirillum* with 7946 kg ha⁻¹ that compared to the control and 10 Ton ha⁻¹ of Azolla compost had increased 31.28 and 27.47 percent, respectively. The bacterial inoculation, increased significantly phosphorous compared with non-inoculated treatment. While the maximum amount of phosphorus and potassium was observed. 10 and 5 Ton ha⁻¹ of Azolla compost, respectively. Thus, according to the results obtained for the maximum seed yield 10 Ton ha⁻¹ of Azolla compost as well as *Azospirillum* inoculation is recommended.

Keywords: Acid and alkaline Phosphatases, *Azospirillum*, *Herbaspirillum*, Phosphorus, Potassium.

1-Graduated in Agronomy, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran.

2-assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran

3- Associate Professor, Soil and Water Research Institute, Agricultural research, education and extension organization, Karaj, Iran.

* Corresponding author Email: Ansary330@yahoo.com