تحقیقات غلات
دوره هفتم/ شماره اول/ بهار ۱۳۹۶ (۲۷۳-۲۵۷)

تأثیر مایه‌زنی با باکتری *استرپتومایسس* و مقدار فسفر کودی بر عملکرد زیست‌توده، عملکرد دانه و اجزای عملکرد در گندم و جو

تکتم خسرویان[۱]، ابراهیم زینلی[۲*]، آسیه سیاهمرگویی[۳]، رضا قربانی نصرآبادی[۴] و سید مجید عالیمقام[۵]

تاریخ دریافت: ۹۵/۴/۵ تاریخ پذیرش: ۹۵/۸/۱۰

چکیده

به‌طور معمول، فسفر بعد از نیتروژن مهم‌ترین عنصر معدنی محدودکننده رشد و عملکرد گیاهان زراعی محسوب می‌شود. رایزوباکتری‌های حل‌کننده‌های فسفات می‌توانند شکل‌های غیرقابل جذب فسفر در خاک را به شکل قابل جذب تغییر دهند. به‌منظور بررسی تأثیر مایه‌زنی با باکتری *استرپتومایسس* (*Streptomyces* sp.) و مقدار فسفر کودی (صفر، ۸/۴، ۱۶/۸، ۲۵/۲ و ۳۳/۶ میلی‌گرم فسفر خالص در کیلوگرم خاک خشک معادل صفر، ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ کیلوگرم فسفر در هکتار) بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه در دو گیاه گندم (رقم مروارید) و جو (رقم صحرا)، آزمایشی در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ به‌صورت گلدانی در قالب فاکتوریل با طرح پایه کاملاً تصادفی با چهار تکرار در پردیس جدید دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان اجرا شد. یافته‌های تحقیق نشان‌دهنده افزایش خطی معنی‌دار عملکرد دانه گندم و جو با افزایش مقدار فسفر کودی بود. عملکرد دانه گندم و جو در هنگام عدم استفاده از کود فسفر ۹/۸ گرم در گلدان (معادل حدود ۲۳۵۲ کیلوگرم در هکتار) بود که به ازای مصرف هر کیلوگرم فسفر کودی، عملکرد دانه به مقدار ۰/۱۳ گرم در گلدان (معادل ۲۶ کیلوگرم در هکتار) افزایش یافت. عملکرد دانه در مقدار مصرف ۸۰ کیلوگرم در هکتار فسفر به ۲۰/۲ گرم در گلدان (معادل ۴۸۴۸ کیلوگرم در هکتار) رسید که نسبت به تیمار شاهد ۱۰۶ درصد افزایش نشان داد. نتایج نشان داد که افزایش عملکرد دانه در جو به‌طور عمده از طریق افزایش تعداد سنبله در بوته و تعداد سنبلچه در سنبله و در گندم به‌طور عمده از طریق افزایش تعداد سنبلچه در سنبله و تعداد دانه در سنبلچه اتفاق افتاده است و تغییر وزن دانه نقش قابل توجهی در تغییر عملکرد دانه نداشت. همچنین یافته‌های مطالعهٔ حاضر حاکی از افزایش خطی عملکرد زیست‌توده تحت تأثیر مصرف کود فسفر، مایه‌زنی با باکتری و برهمکنش آن‌ها بود. نتایج به‌وضوح نشان داد که تأثیر مایه‌زنی بر رشد گیاه در مقادیر کمتر مصرف کود فسفر بیشتر از زمانی بود که مقدار بیشتری کود فسفر مصرف شده باشد.

واژه‌های کلیدی: باکتری حل‌کننده فسفات، تعداد دانه، تعداد سنبله، شاخص برداشت، وزن دانه

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۲- دانشیار، گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۳- استادیار، گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۴- استادیار، گروه علوم خاک، دانشکده مهندسی آب و خاک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۵- دانشجوی دکتری، گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
* نویسنده مسئول: e.zeinali@yahoo.com

مقدمه

پتانسیل زیاد ژنوتیپ‌های جدید گیاهان زراعی برای تولید مادهٔ خشک از یک سو و کاهش مقدار مادهٔ آلی خاک‌ها و در نتیجه توان خاک‌ها در تأمین عناصر غذایی مورد نیاز این ژنوتیپ‌ها از سوی دیگر، کاربرد روزافزون کودهای شیمیایی به‌ویژه کودهای حاوی سه عنصر پرمصرف اولیه در نظام‌های تولید گیاهان زراعی را اجتناب ناپذیر ساخته و موجب شده است که در بیشترزمین‌های زراعی، رشد و عملکرد گیاهان زراعی به مصرف کودهای شیمیایی واکنش نشان دهد. از این‌رو، امروزه ملاحظات اقتصادی و افزون بر آن ملاحظات محیط زیستی، توجه پژوهشگران در سراسر جهان را به کاهش نیاز به کودهای شیمیایی در تولید گیاهان زراعی از طریق بهبود کارآیی مصرف این کودها و نیز استفاده از کودهای زیستی معطوف کرده است (Bahari Saravi and Pirdashti, 2013; Ghorbani-Nasrabadi *et al.*, 2014; Babana *et al.*, 2016).

فسفر یکی از سه عنصر پرمصرف اولیه مورد نیاز گیاهان و ریزجانداران است (Rastin, 2005). این عنصر نقش مهمی در بسیاری از فعالیت‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه ایفا می‌کند. شاید بتوان نقش فسفر در ذخیره و انتقال انرژی را کلیدی‌ترین نقش آن در فعالیت‌های بیوشیمیایی گیاه قلمداد کرد (Mehrvarz *et al.*, 2008). هر چند در بیشتر خاک‌های کشاورزی مقدار زیادی فسفر آلی و معدنی وجود دارد، ولی به‌دلیل تشکیل پیوندهای قوی فسفر با کلسیم و منیزیم در خاک‌های قلیایی و با آهن و آلومینیوم در خاک‌های اسیدی، این عنصر به‌سرعت به شکل غیر قابل جذب در آمده و از دسترس گیاه خارج می‌شود (Mehrvarz *et al.*, 2008; Zabihi *et al.*, 2011; Kaur and Reddy, 2015). به همین دلیل، کارآیی بازیافت فسفر کودی بسیار کم و در حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد برآورد شده است (Fageria, 2009). با این‌حال، مصرف زیاد کودهای شیمیایی فسفره نه‌تنها موجب افزایش هزینه‌های تولید می‌شود، بلکه می‌تواند بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و بیولوژیک خاک تأثیر منفی گذاشته و آثار زیست‌محیطی نامطلوبی در پی داشته باشد (Tunney *et al.*, 1997; Sanchez, 2002; Kaur and Reddy, 2015).

بعضی از ریزجانداران خاک می‌توانند از طریق معدنی کردن فسفر آلی یا انحلال فسفر معدنی به افزایش قابلیت استفاده فسفر خاک و در نتیجه کاهش نیاز به مصرف کودهای فسفره کمک کنند. از جمله این ریزجانداران می‌توان به باکتری‌های موسوم به باکتری‌های حل‌کننده فسفات (Phosphate Solubilizing Bacteria) اشاره کرد که خود گروهی از رایزوباکتری‌های محرک رشد گیاه (Plant Growth Promotining Rhizobacteria) به‌شمار می‌روند. یافته‌های تحقیقات مختلف نشان داده است که این باکتری‌ها از طریق مجموعه‌ای از سازوکارها بر رشد، عملکرد و جذب عناصر غذایی توسط گیاه تأثیر می‌گذارند. این باکتری‌ها با افزایش قابلیت استفاده عناصر غذایی در خاک، تولید هورمون‌های گیاهی محرک رشد به‌ویژه انواع اکسین، جیبرلین و سیتوکنین، ویتامین‌ها، بعضی از آنزیم‌ها مانند فسفاتاز و کنترل بیمارگرها و تنش‌ها موجب افزایش تولید ماده خشک گیاهی می‌شوند (Hamidi *et al.*, 2010; Zabihi *et al.*, 2011; Lavakush *et al.*, 2014). همچنین، از طریق ترشح متابولیت‌هایی مانند اسیدهای آلی، ترکیبات نامحلول فسفره را به‌صورت محلول و قابل استفاده در می‌آورند (Lavakush *et al.*, 2014). در واقع، تولید متابولیت‌های میکروبی از جمله اسیدهای آلی، ممکن است موجب کاهش pH خاک شوند و در حل شدن برخی عناصر غذایی حساس به pH خاک از جمله فسفر، نقش مؤثری داشته باشند (Arpana *et al.*, 2002).

باکتری‌های *استرپتومایسس* به‌طور گسترده در خاک حضور دارند و از گروه‌های غالب میکروبی در خاک به‌شمار می‌روند. گفته شده است که باکتری‌های *استرپتومایس* در بسیاری از خاک‌ها، حدود ۱ تا ۲۰ درصد کل جمعیت میکروبی را تشکیل می‌دهند (Korn-Wendisch and Kutzner, 1992). *استرپتومایسس*‌ها می‌توانند به‌صورت میسیلیومی در خاک رشد کنند، به‌همین دلیل، می‌توانند از طریق تولید یا تشکیل اسپورها خود را به بسیاری از تغییرات محیطی شامل شرایط بی‌هوازی، تنش رطوبتی و اسیدیته سازگار کنند (Mayfield *et al.*, 1972).

این باکتری‌ها نقش مهمی در چرخه مواد آلی ایفا می‌کنند. علاوه بر این‌ها، ژنوم این باکتری‌ها تعداد زیادی از پروتئین‌های ترشحی را کد می‌کند (Halder *et al.*, 1991; Elliott and Lynch, 1995: Ventura *et al.*, 2007; Sreevidya *et al.*, 2016). *استرپتومایسس‌ها* مواد مقاوم گیاهی و حیوانی شامل پلی‌ساکاریدها (از جمله سلولز، کیتین، نشاسته)، پروتئین‌ها، ترکیبات آروماتیک و لیگنوسلولز را تجزیه کنند (Ramachandra *et al.*, 1988; Petrosyan *et al.*, 2003; Ding *et al.*, 2004). همچنین، تخریب مواد آلی، بهبود رشد گیاه و کنترل

بیمارگرهای گیاهی توسط *استرپتومایسس*ها نیز گزارش شده است (Nassar *et al.*, 2003).

اکتینومایست‌ها به‌عنوان ریزجانداران حل‌کننده فسفات شناخته شده‌اند (Jog *et al.*, 2014). میزان حل‌کنندگی فسفات در *استرپتومایسس‌ها* بسته به گونه، محل جداسازی جدایه‌ها و شرایط سنجش حل‌کنندگی فسفات در شرایط آزمایشگاهی بسیار متغیر است. در برخی از آزمایش‌ها مقدار حل‌کنندگی فسفات از میزان ۱۹۱۶- ۲۱۲ میلی‌گرم در لیتر گزارش شده‌است. به‌طور کلی، توانایی حل‌کنندگی فسفات گزارش شده برای *استرپتومایسس*ها در دامنه مقادیر گزارش شده برای سایر میکروارگانیسم‌ها از جمله *سودوموناس*ها و *باسیلوس*ها می‌باشد (Jog *et al.*, 2014; Ghorbani Nasrabadi *et al.*, 2014).

احتشامی و همکاران (Ehteshami *et al.*, 2013) اثر تلقیح بذر با باکتری حل‌کننده فسفات *Pseudomonas fluorescens* و مقادیر مختلف کود فسفر نسبت به مقدار توصیه شده را بر دو رقم جو بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که استفاده هم‌زمان باکتری حل‌کننده فسفات و کود شیمیایی فسفره سبب افزایش عملکرد جو و غلظت فسفر می‌شود. لاواکوش و همکاران (Lavakush *et al.*, 2014). گزارش کردند که بین نوع باکتری محرک رشد و مقدار کود فسفر برهمکنش معنی‌داری از نظر رشد، عملکرد و جذب عناصر غذایی مختلف در برنج وجود دارد. یافته‌های آن‌ها نشان داد که استفاده از باکتری‌های محرک رشد موجب کاهش مقدار فسفر کودی مورد نیاز برای تولید مقدار معینی از محصول می‌شود. قورچیانی و همکاران (Ghurchiani *et al.*, 2012) تأثیر معنی‌دار مایه‌زنی با باکتری حل‌کننده فسفات و کود فسفر را بر اجزای عملکرد، عملکرد دانه و زیست‌توده ذرت گزارش کردند. در آزمایش آن‌ها، برهمکنش معنی‌داری بین کود فسفر و باکتری برای بیشتر اجزای عملکرد به‌استثنای وزن دانه و تعداد ردیف دانه در بلال مشاهده نشد. بیگ‌زاده و همکاران (Beigzadeh *et al.*, 2013) نیز اثر معنی‌دار باکتری حل‌کننده فسفات و مقدار کود فسفر را بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه ذرت گزارش کردند. کائور و ردی (Kaur and Reddy, 2015) با بررسی تأثیر کود فسفر، سنگ آهک و دو باکتری حل‌کننده فسفات (*Pantoea cypripedii* و *Pseudomonas plecoglossicida*) دریافتند که وقتی همراه با سنگ فسفات از باکتری حل‌کننده فسفات استفاده شد، تجمع ماده خشک بخش هوایی، ماده خشک ریشه و عملکرد دانه در هر دو گیاه ذرت و گندم افزایش پیدا کرد. استفاده ترکیبی از باکتری حل‌کننده فسفات و سنگ فسفات به‌لحاظ اقتصادی نیز مقرون به صرفه‌تر است و می‌تواند جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی فسفره در نظام‌های کشاورزی پایدار باشد.

نتایج آزمایش ساریخانی و همکاران (Sarikhani *et al.*, 2013) در شرایط گلخانه با استفاده از سه گونه باکتری حل‌کننده فسفات نشان داد که استفاده از باکتری‌ها تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک بخش هوایی گیاه نداشت. در مقابل، نتایج مطالعهٔ توحیدی‌نیا و همکاران (Tohidinia *et al.*, 2014) نشان داد که کاربرد کود زیستی، کود شیمیایی و برهمکنش آن‌ها به‌طور معنی‌داری بر عملکرد ماده خشک دانه ذرت تأثیر می‌گذارد. یافته‌های پژوهش آن‌ها حاکی از آن بود که استفاده از کودهای زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات از طریق افزایش جذب فسفر خاک موجب افزایش عملکرد دانه ذرت می‌شود. در مطالعه دیگری، برهمکنش معنی‌داری بین نوع باکتری محرک رشد و نوع دورگ ذرت در رابطه با وزن خشک اندام‌های مختلف مشاهده شد (Hamidi *et al.*, 2010). دورداس (Dordas, 2009) افزایش عملکرد زیست‌توده گندم دوروم را تحت تأثیر مصرف کود شیمیایی فسفر و نیتروژن گزارش کرد. میرزاشاهی (Mirzashahi, 2012) نیز تأثیر مقادیر، روش‌های مصرف و نوع کود فسفاته را بر عملکرد دانه گندم بررسی و تأثیر معنی‌دار سطوح مختلف کود فسفره بر عملکرد ماده خشک، اجزای عملکرد و عملکرد دانه گندم را گزارش کرد.

با توجه به اهمیت راهبردی دو گیاه گندم و جو در ایران و نقش تعیین کننده و اهمیت اقتصادی مصرف کود فسفر در تولید این دو گیاه زراعی مهم، و نیز نبود اطلاعات کافی در مورد این باکتری به‌ویژه در ایران، تحقیق حاضر اجرا شد که هدف از آن، بررسی تأثیر مایه‌زنی با باکتری *استرپتومایسس* و مقدار فسفر کودی و برهمکنش آن‌ها بر عملکرد دو گیاه گندم و جو بود.

مواد و روش‌ها

در این آزمایش، تأثیر مقادیر مختلف فسفر کودی (صفر، ۸/۴، ۱۶/۸، ۲۵/۲ و ۳۳/۶ میلی‌گرم فسفر خالص در کیلوگرم خاک خشک معادل صفر، ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ کیلوگرم فسفر خالص در هکتار) و مایه‌زنی با باکتری حل‌کننده فسفات *استرپتومایسس* (شامل مایه‌زنی و بدون

مایه‌زنی با باکتری) بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه گندم (رقم مروارید) و جو (رقم شش ردیفه صحرا) بررسی شد. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی به‌صورت فاکتوریل با چهار تکرار در محوطه پردیس جدید دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ تحت شرایط آبیاری کامل اجرا شد. برای تأمین مقادیر مختلف فسفر از کود سوپرفسفات تریپل (حاوی ۴۶ درصد P_2O_5) استفاده شد. بذرهای گندم و جو در گلدان‌هایی به قطر ۲۵ و ارتفاع ۱۸ سانتی‌متر کشت شدند. تراکم نهایی بوته در هر گلدان ۱۵ بوته (بر اساس تراکم مطلوب بوته در شرایط مزرعه یعنی ۳۶۰ بوته در متر مربع) تنظیم شد. با توجه به تیمارها و اهداف آزمایش، از خاکی با محتوای فسفر قابل جذب کم (۵/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم) استفاده شد. خاک مورد استفاده دارای هدایت الکتریکی ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر، اسیدیته ۷/۴۲ و مقدار کربن آلی ۲/۰۸ درصد بود. مقدار شن، سیلت و رس خاک مورد استفاده نیز به‌ترتیب ۳۰، ۴۲ و ۲۸ درصد و بافت خاک لوم رسی (خاک معمول منطقه) بود.

به‌منظور رشد بوته‌ها در شرایط محیطی عادی (شرایط نزدیک به مزرعه) و از طرف دیگر جلوگیری از تلفات نیتروژن در هنگام بارندگی، آزمایش در شرایط محیطی عادی اما در محل یک گلخانه با اسکلت فلزی و فاقد پوشش پلاستیکی انجام شد. در هنگام بارندگی با کشیدن پلاستیک روی سقف اسکلتی گلخانه از ریزش باران روی گلدان‌ها جلوگیری شد. بر اساس نتایج آزمون خاک، پتاسیم کودی به میزان۵۰/۴ میلی‌گرم پتاسیم خالص دردرکیلوگرم خاک خشک به‌صورت سولفات پتاسیم و نیتروژن کودی به میزان۵۶/۲۵ میلی‌گرم نیتروژن خالص در کیلوگرم خاک خشک به‌صورت کود اوره به کار برده شد. تمام کود پتاسیم و یک سوم از کود نیتروژن پیش از کاشت با خاک گلدان‌ها به‌طور یکنواخت مخلوط شد و باقی‌مانده کود نیتروژنه به دو قسمت مساوی تقسیم و در مراحل پنجه‌زنی و ساقه‌رفتن به‌صورت سرک مصرف شد. همچنین، تمام کود فسفر پیش از کاشت متناسب با تیمار کودی مورد نظر و وزن خاک گلدان (۸ کیلوگرم خاک خشک به‌طور مساوی برای تمام تیمارها) مخلوط شد. مراقبت‌های لازم در طول فصل رشد مانند کنترل آفات و بیمارگرها، آبیاری و کنترل گیاهان هرز انجام شد.

مایه‌زنی با جدایه *Streptomyces sp.* به شماره دسترسی KJ152149، که توانایی حل‌کنندگی فسفات آن قبلاً اثبات و در پایگاه اطلاعات داده‌های GenBank ثبت شده بود (Ghorbani Nasrabadi *et al.*, 2014)، بلافاصله قبل از کاشت انجام شد. بدین منظور ۲۵ میلی‌لیتر از مایه تلقیح جدایه *استرپتومایسس* رشد داده شده در محیط کشت ISP2 (۱۰ گرم عصاره مالت، ۴ گرم گلوکز و ۴ گرم عصاره مخمر) با جمعیت 10^7 CFU.ml^{-1} در فلاسک ۱۰۰ میلی‌لیتری حاوی ۱۰۰ میلی‌گرم کربوکسی متیل سلولاز (CMC)، به‌عنوان ماده چسباننده ریخته شد. ۱۰ گرم بذر به‌مدت ۱۲ ساعت در سوسپانسیون باکتریایی روی شیکر با دوران ۱۵۰ دور در دقیقه خوابانیده شد. سپس، سوسپانسیون باکتریایی اضافی از فلاسک خارج و بذرها تحت شرایط استریل در زیر لامینا خشک شدند. بذرهای غوطه‌ور در محیط استریل ISP2 به‌همراه CMC به تیمارهای شاهد اضافه شدند (Kumar *et al.*, 2013).

در زمان رسیدگی (بر مبنای روش زیدوکس (Zadoks *et al.*, 1974) بوته‌های هر گلدان از محل طوقه قطع و پس از انتقال به آزمایشگاه، ارتفاع بوته و ساقه، اجزای عملکرد (شامل تعداد پنجه بارور در بوته، تعداد کل و تعداد سنبلچه بارور و نابارور در سنبله، تعداد دانه در سنبلچه، عملکرد دانه و زیست توده (مجموع وزن خشک بخش هوایی بوته) در گلدان اندازه‌گیری شد. پیش از توزین، نمونه‌ها در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس به‌مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. شاخص برداشت دانه (نسبت عملکرد دانه به عملکرد زیست‌توده)، تعداد دانه در گلدان، تعداد دانه در سنبله و تعداد سنبله در گلدان و عملکرد دانه در بوته با استفاده از اندازه‌گیری‌های یاد شده محاسبه شد. تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (Soltani, 2006)، مقایسه میانگین‌ها به روش LSD در سطح احتمال آماری ۵ درصد و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج

اجزای عملکرد دانه

تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) حاکی از تأثیر معنی‌دار ($P<0.01$) مقدار فسفر کودی بر تعداد سنبله در بوته، تعداد سنبلچه بارور و غیربارور در سنبله و تعداد دانه در سنبلچه و در نتیجه تعداد سنبله و دانه در گلدان و تأثیر غیرمعنی‌دار مقدار فسفر کودی بر وزن دانه بود. در مقابل، تأثیر مایه‌زنی بذرها با باکتری *استرپتومایسس* و برهمکنش مایه‌زنی با مقدار فسفر کودی بر هیچ‌یک از اجزای عملکرد دانه (در مورد برهمکنش به غیر از تعداد دانه در سنبلچه)

به لحاظ آماری معنی‌دار نبود. همچنین، با وجود تفاوت معنی‌دار اجزای مرتبط با تعداد دانه در واحد سطح در دو گیاه گندم و جو (یعنی تعداد سنبله در بوته، تعداد سنبلچه در سنبله و تعداد دانه در سنبلچه)، برآیند آن‌ها یعنی تعداد دانه در واحد سطح در دو گیاه تفاوتی نداشت. ضمن این‌که در مورد وزن دانه نیز تفاوتی بین گندم و جو مشاهده نشد.

نتایج همچنین حاکی از واکنش متفاوت تمام اجزای تعیین کننده تعداد دانه در واحد سطح و برآیند آن‌ها در دو گیاه گندم و جو به غیر از تعداد سنبلچه و دانه در سنبله به مقدار فسفر کودی بود، در حالی‌که واکنش صفات یاد شده در دو گیاه به مایه‌زنی به‌جز در مورد تعداد سنبلچه در سنبله تفاوتی نداشت. در نهایت، بین سه فاکتور آزمایش از نظر تعداد دانه در واحد سطح و وزن دانه (اجزای نهایی تعیین کننده عملکرد دانه در واحد سطح) برهمکنش معنی‌داری مشاهده نشد، هر چند که برهمکنش بین آن‌ها بر تعداد سنبلچه در سنبله معنی‌دار بود.

به‌طور خلاصه، تعداد دانه در واحد سطح (یکی از دو جزء اصلی عملکرد دانه در واحد سطح) فقط تحت تأثیر مقدار فسفر کودی قرار گرفت و وزن دانه (دومین جزء اصلی تعیین کننده عملکرد دانه در واحد سطح) از دیدگاه آماری تحت تأثیر هیچ‌یک از فاکتورهای آزمایش یا برهمکنش آن‌ها قرار نگرفت. این در حالی بود که فاکتورهای آزمایش و برهمکنش آن‌ها به‌طور معنی‌دار بر بعضی از اجزای عملکرد مرتبط با تعداد دانه در واحد سطح تأثیر گذاشتند (جدول ۱).

با توجه به معنی‌دار بودن برهمکنش مقدار فسفر و نوع گیاه بر تعداد سنبله در بوته و گلدان، برای توصیف تغییرات دو صفت یاد شده در گندم و جو در مقابل مقدار فسفر دو تابع خطی جداگانه (یکی برای گندم و دیگری برای جو) برای داده‌ها برازش داده شد. بر اساس این توابع، در دو گیاه گندم و جو تعداد سنبله در بوته (شکل ۱-a) در شرایط عدم مصرف کود فسفر (ضریب a) به‌ترتیب ۱/۱۳ و ۱/۱۸ عدد و شیب خط برازش داده شده (ضریب b) به‌ترتیب صفر و ۰/۰۲ بود. این نشان می‌دهد که افزایش مقدار مصرف فسفر کودی بر تعداد سنبله در بوته‌های گندم تأثیری نداشت، ولی تعداد سنبله در بوته‌های جو را به میزان ۰/۰۲ به ازای هر کیلوگرم فسفر اضافه شده (۱/۶۰ سنبله به ازای ۸۰ کیلوگرم فسفر) افزایش داده است. در گندم و جو، ضریب a برای تعداد سنبله در گلدان به‌ترتیب ۱۶/۸۰ و ۱۸/۸۳ و شیب خط به‌ترتیب ۰/۰۲ و ۰/۲۵ بود که بر اساس آن، با مصرف فسفر کودی به‌میزان ۸۰ کیلوگرم در هکتار تعداد سنبله در گلدان در گندم از ۱۶/۸۰ (در شاهد) به ۱۸/۴۰ و در جو از ۱۸/۸۳ به ۳۸/۸۳ رسید (شکل ۱-b).

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، در مورد تعداد کل سنبلچه در سنبله، تعداد سنبلچه نابارور در سنبله، تعداد سنبلچه بارور در سنبله و تعداد دانه در سنبلچه معادلات خطی جداگانه‌ای در شرایط مایه‌زنی با باکتری و عدم مایه‌زنی برای هر یک از دو گیاه گندم و جو برازش داده و تجزیه رگرسیون انجام شد (جدول ۲). خطوط برازش یافته نشان‌دهنده افزایش نسبی تعداد کل سنبلچه و تعداد سنبلچه بارور در سنبله (شکل‌های ۲-a و ۲-b) و کاهش تعداد سنبلچه نابارور در سنبله (شکل ۲-c) با افزایش مقدار مصرف کود فسفر در دو گیاه مورد مطالعه در هر دو شرایط مایه‌زنی و عدم مایه‌زنی بود. تعداد دانه در سنبلچه‌های بارور در جو صفتی کیفی است و محیط بر آن تأثیر نمی‌گذارد. از این‌رو، افزایش مقدار مصرف کود فسفر موجب تغییر این صفت در جو نشد، اما در گندم با افزایش مقدار فسفر کودی، میانگین تعداد دانه در سنبلچه افزایش یافت، به‌طوری‌که در شرایط عدم مایه‌زنی از ۱/۴۵ (در شاهد) به ۱/۷۰ (با مصرف ۸۰ کیلوگرم در هکتار فسفر) و در شرایط مایه‌زنی از ۱/۷۰ به ۲/۱۸ رسید (شکل ۲-d).

از آنجایی که تعداد دانه در سنبله و در گلدان فقط تحت تأثیر مقدار فسفر کودی قرار گرفت و تأثیر سایر فاکتورها و برهمکنش آن‌ها بر این صفات معنی‌دار نبود، بنابراین یک معادله برای میانگین داده‌های دو گیاه تحت دو شرایط مایه‌زنی و عدم مایه‌زنی برازش داده شد.

بر اساس توابع خطی به‌دست آمده، تعداد دانه در سنبله و تعداد دانه در گلدان تحت شرایط عدم مصرف کود فسفر به‌ترتیب ۱۵/۸ و ۲۵۰/۶ بود که با افزایش مقدار فسفر به‌صورت خطی به‌ترتیب با شیب ۰/۱۸ و ۲/۵ افزایش پیدا کرد و در مقدار ۸۰ کیلوگرم فسفر در هکتار به‌ترتیب به ۳۰/۴۵ و ۴۵۰ عدد رسید (شکل‌های ۳-a و ۳-b).

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر مقدار فسفر کودی، مایه‌زنی با باکتری *استرپتومایسس*، نوع گیاه زراعی و برهمکنش آن‌ها بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه گندم و جو

Table 1. Analysis of variance for the effect of fertilizer phosphorus rate, inoculation with Streptomyces bacteria, crop type and their interactions on the grain yield and yield components in wheat and barley

منابع تغییرات Source of variation	تعداد سنبله در بوته No. of spike per plant	تعداد کل سنبلچه در سنبله No. of total spikelet per spike	تعداد سنبلچه نابارور در سنبله No. of unproductive spikelet per spike	تعداد سنبلچه بارور No. of productive spikelet per spike	تعداد دانه در سنبلچه No. of grain per spikelet	تعداد دانه در سنبله No. of grain per spike	وزن دانه Grain weight ($gr.seed^{-1}$)	تعداد سنبله در گلدان No. of spike per pot	تعداد دانه در گلدان No. of grain per pot	عملکرد زیست‌توده Biological yield ($gr.pot^{-1}$)	عملکرد دانه Grain yield ($gr.pot^{-1}$)	شاخص برداشت Harvest index
مقدار فسفر Phosphorus (P)	1.33^{**}	66.64^{**}	10.33^{**}	124.64^{**}	0.644^{**}	541.64^{**}	0.0004^{ns}	308.34^{**}	99262.04^{**}	370.96^{**}	291.10^{**}	0.002^{ns}
مایه‌زنی باکتری Inoculation (I)	0.45^{ns}	1.51^{ns}	8.45^{*}	2.81^{ns}	0.00^{ns}	0.05^{ns}	0.0001^{ns}	49.61^{ns}	127.51^{ns}	3976.34^{**}	0.07^{ns}	0.021^{**}
گیاه زراعی Crop (C)	9.80^{**}	1930.61^{**}	266.45^{**}	762.61^{**}	18.05^{**}	897.80^{**}	0.0001^{ns}	2132.11^{**}	19939.61^{ns}	37.58^{ns}	23.13^{ns}	0.002^{ns}
فسفر × مایه‌زنی P × I	0.11^{ns}	3.23^{ns}	3.95^{*}	3.53^{ns}	0.22^{**}	14.14^{ns}	0.0002^{ns}	12.77^{ns}	7146.79^{ns}	164.87^{**}	8.61^{ns}	0.003^{ns}
فسفر × گیاه P × C	1.09^{**}	2.77^{ns}	10.33^{**}	19.39^{**}	0.64^{**}	91.89^{ns}	0.0005^{ns}	197.83^{**}	10774.64^{ns}	5.13^{ns}	12.56^{ns}	0.001^{ns}
مایه‌زنی × گیاه I × C	0.20^{ns}	7.81^{*}	8.45^{*}	0.01^{ns}	0.00^{ns}	2.45^{ns}	0.0008^{ns}	2.81^{ns}	9266.51^{ns}	43.06^{ns}	2.46^{ns}	0.0001^{ns}
فسفر × مایه‌زنی × گیاه P × I × C	0.11^{ns}	13.66^{**}	3.95^{*}	8.11^{**}	0.22^{**}	4.04^{ns}	0.0001^{ns}	27.03^{ns}	139.04^{ns}	28.61^{ns}	1.41^{ns}	0.007^{*}
خطای آزمایش Error	0.15	1.95	1.27	1.74	0.05	6.35	0.0002	17.74	6566.76	12.68	5.82	0.002
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	26.26	7.52	61.67	7.89	15.16	10.89	31.76	18.36	23.14	8.58	16.00	12.64

^{ns}، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ ٪ و ۱ ٪.

^{ns}, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول۲- تجزیه رگرسیون برهمکنش بین مقدار فسفر کودی، مایه‌زنی با باکتری *استرپتومایسس* و نوع گیاه زراعی بر تعداد کل سنبلچه در سنبله، تعداد سنبلچه نابارور و بارور در سنبله، تعداد دانه در سنبلچه و شاخص برداشت

Table 2. Regression analysis of the interactions between fertilizer phosphorus rate, inoculation with *Streptomyces* bacteria and crop plant type on total spikelet number per spike, unproductive and productive spikelet number per spike, grain number per spikelet and harvest index

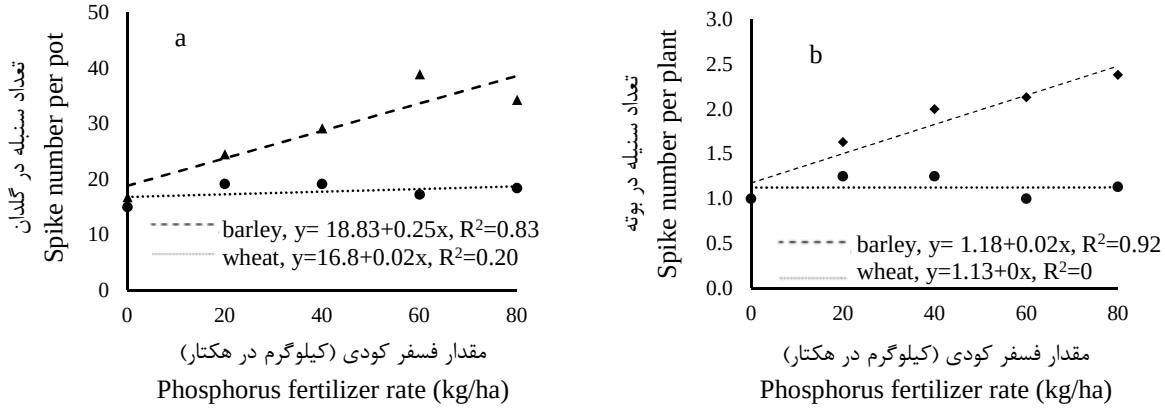
گیاه زراعی Crop	مایه‌زنی با باکتری Inoculation	پارامتر Parameter	تعداد سنبلچه در سنبله Spikelet number per spike	تعداد سنبلچه نابارور در سنبله Unproductive spikelet number per spike	تعداد سنبلچه بارور در سنبله Productive spikelet number per spike	تعداد دانه در سنبلچه Grain number per spikelet	شاخص برداشت Harvest index
گندم Wheat	عدم مایه‌زنی Un-inoculation	a	12.200±0.545	0	12.200±0.545	1.45±0.193	0.354±0.021
		b	0.040±0.011	0	0.040±0.011	0.013±0.004	-0.0001±0.0004
		Y(max)	15.40	0	15.4	2.49	0.346
		R^2	0.42**	0	0.42**	0.36**	0.01ns
	مایه‌زنی Inoculation	a	11.100±0.561	0	11.100±0.561	1.70±0.139	0.382±0.019
		b	0.059±0.011	0	0.059±0.011	0.006±0.003	-0.0001±0.019
		Y(max)	15.82	0	15.82	2.18	0.374
		R^2	0.59**	0	0.59**	0.21*	0.001ns
جو Barley	عدم مایه‌زنی Un-inoculation	a	19.000±0.516	4.850±0.53	14.15±0.576	1.00±0	0.321±0.018
		b	0.10±0.011	-0.046±0.01	0.146±0.012	0±0	0.0004±0.0004
		Y(max)	27	-1.17	25.83	1	0.353
		R^2	0.83**	0.51**	0.90**	0	0.07ns
	مایه‌زنی Inoculation	a	22.250±0.859	6.250±0.83	16.00±0.714	1.00±0	0.369±0.017
		b	0.041±0.018	-0.049±0.01	0.090±0.015	0±0	0.0001±0.003
		Y(max)	25.53	2.33	23.2	1	0.377
		R^2	0.24*	0.31*	0.68**	0	0.002ns

a عرض از مبدا تابع خطی، b شیب خط، R^2 ضریب تشخیص، $Y(P_{max})$ مقدار برآورد شده صفت در بیشترین مقدار مصرف فسفر کودی.

ns، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ ٪ و ۱ ٪.

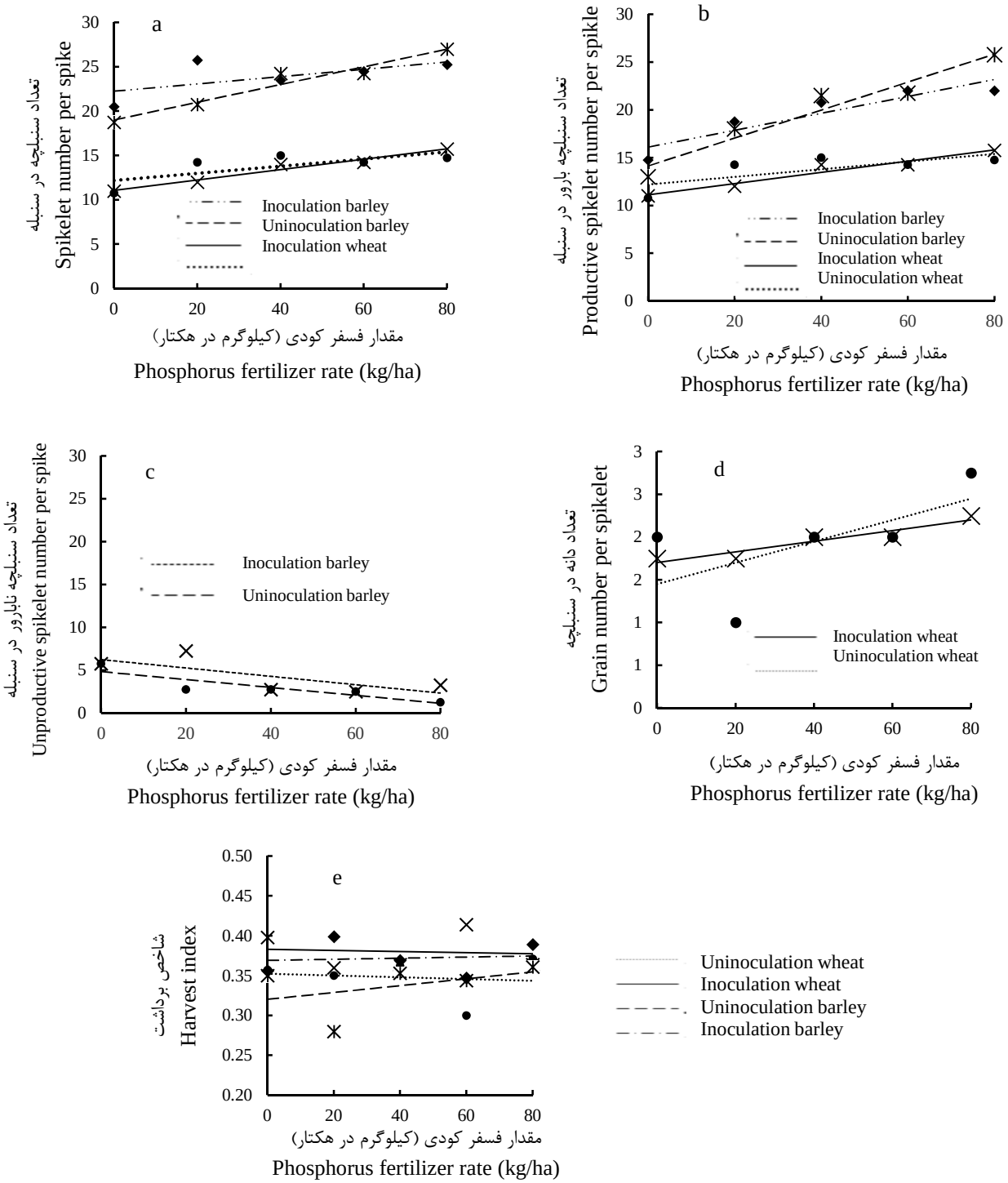
a, interception of linear function; b, linear slope; R^2, coefficient of determination; Y(max), estimated amount of trait in maximum fertilizer phosphorus rate.

ns, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.



شکل ۱- برهمکنش مقدار فسفر کودی و نوع گیاه زراعی. a) تعداد سنبله در گلدان، b) تعداد سنبله در بوته.

Figure 1. The interaction between phosphorus fertilizer rate and crop plant type. a) Spike number per pot, b) Spike number per plant.

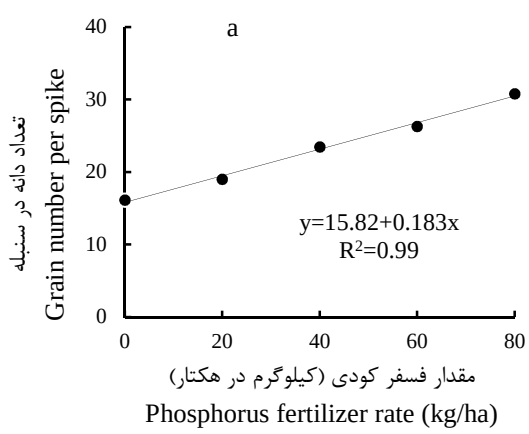


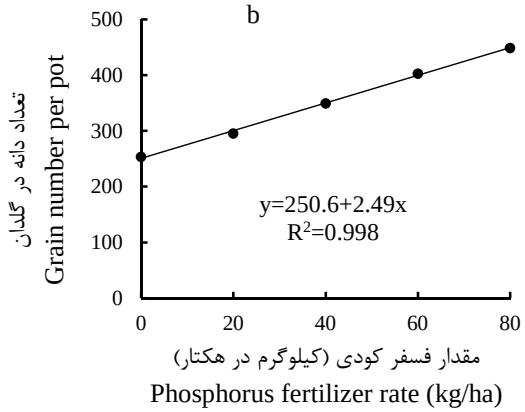
شکل ۲- برهمکنش بین مقدار فسفر کودی، مایه‌زنی با باکتری و نوع گیاه زراعی. a) تعداد سنبلچه در سنبله، b)، تعداد سنبلچه بارور در سنبله، c) تعداد سنبلچه نابارور در سنبله، d) تعداد دانه در سنبلچه، e) شاخص برداشت.

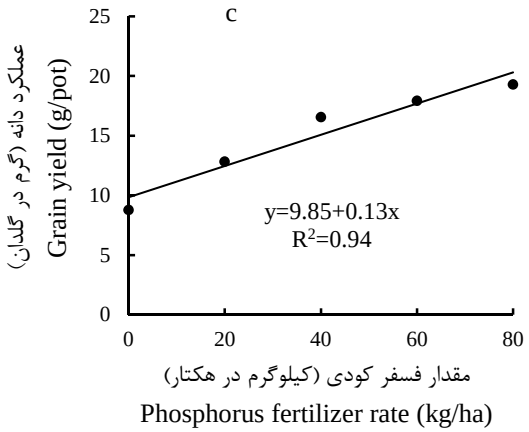
Figure 2. The interaction between phosphorus fertilizer rate, inoculation with *Streptomyces* bacterium and crop plant type. a) Spikelet number per spike, b) Productive spikelet number per spike, c) Unproductive spikelet number per spike, d) Grain number per spikelet, e) Harvest index.

عملکرد دانه و شاخص برداشت

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، عملکرد دانه در بوته و عملکرد دانه در گلدان فقط تحت تأثیر مقدار فسفر کودی قرار گرفت (جدول ۱). بنابراین، رگرسیون بین میانگین داده‌های عملکرد دانه در مقابل مقادیر فسفر کودی برازش داده شد. معادله خط حاصل نشان داد که به ازای افزایش هر کیلوگرم فسفر کودی، عملکرد دانه به مقدار ۰/۱۳ کیلوگرم افزایش یافت، به‌طوری که با افزایش مقدار فسفر از صفر به ۸۰ کیلوگرم در هکتار، عملکرد دانه از ۹/۸ به ۲۰/۲ گرم در گلدان رسید که به معنای ۱۰۶ درصد افزایش در عملکرد دانه نسبت به شاهد بود (شکل ۳-c).

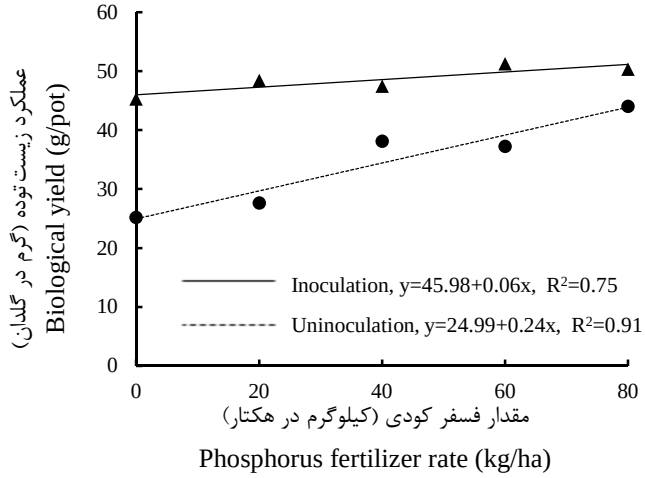






شکل ۳- اثر مقدار فسفر کودی بر صفات دانه. a) تعداد دانه در سنبله، a) تعداد دانه در گلدان، b) عملکرد دانه در گلدان.

Figure 3. The effect of phosphorus fertilizer rate on grain characteristics. a) Grain number per spike, b) Grain number per pot, c) Grain yield per pot.



شکل ۴- برهمکنش بین مقدار فسفر کودی و مایه‌زنی با باکتری *استرپتومایسس* بر عملکرد زیست‌توده

Figure 4. The interaction between phosphorus rate and inoculation with *Streptomyces* bacterium on biological yield

عملکرد زیست‌توده

نتیجه تجزیه واریانس نشان داد که آثار ساده مقدار فسفر و مایه‌زنی با باکتری *استرپتومایسس* و برهمکنش این دو فاکتور بر عملکرد زیست‌توده معنی‌دار بود (جدول ۱). با توجه به نتیجه یاد شده، برای نشان‌دادن روند تغییرات عملکرد زیست‌توده در مقابل مقدار فسفر کودی در دو شرایط مایه‌زنی و عدم مایه‌زنی، معادلات خطی جداگانه‌ای برازش داده شد. معادلات حاصل نشان دادند که عملکرد زیست‌توده در شرایط مایه‌زنی در تمام سطوح فسفر کودی بیشتر از شرایط عدم مایه‌زنی بود. همچنین، در هر دو شرایط، افزایش مقدار کود فسفره باعث افزایش خطی عملکرد زیست‌توده شد، اما در مقایسه دو شرایط، شیب خط رگرسیون در شرایط عدم مایه‌زنی بیشتر از شرایط مایه‌زنی بود و میزان افزایش عملکرد زیست‌توده به ازای هر واحد افزایش در مصرف کود فسفر در شرایط عدم مایه‌زنی بیشتر بود (شکل ۴). عملکرد زیست‌توده در تیمار شاهد کودی (عدم مصرف کود فسفر) تحت شرایط عدم مایه‌زنی، ۲۵ گرم و تحت شرایط مایه‌زنی ۴۶ گرم در گلدان بود که با افزایش مقدار فسفر کودی در شرایط عدم مایه‌زنی با شیب ۰/۲۴ و در شرایط مایه‌زنی با شیب ۰/۰۶ گرم در گلدان به‌ازای اضافه‌شدن هر کیلوگرم فسفر افزایش یافت و در مقدار مصرف ۸۰ کیلوگرم فسفر در هکتار به‌ترتیب به ۴۴/۲ و ۵۰/۸۰ گرم زیست‌توده در گلدان رسید (شکل ۴)، که معادل افزایشی برابر با ۷۷ درصد در شرایط عدم مایه‌زنی و فقط ۱۰ درصد در شرایط مایه‌زنی بود. در مجموع، خطوط رگرسیون نشان‌دهنده کاهش فاصله بین عملکرد زیست‌توده در دو شرایط عدم مایه‌زنی و مایه‌زنی با افزایش مقدار فسفر کودی است.

بحث

عملکرد دانه در گندم و جو به‌وسیله تعداد دانه در واحد سطح و میانگین وزن دانه تعیین می‌شود. تعداد دانه در واحد سطح خود تابعی از تعداد بوته در واحد سطح، تعداد سنبله در بوته و تعداد دانه در سنبله می‌باشد. در گندم جزء آخر حاصل‌ضرب تعداد سنبلچه در سنبله و تعداد دانه در سنبلچه است (Egli, 1998; Satorre and Slafer, 1999). در حالی‌که در جو به‌دلیل اینکه هر سنبلچه بارور دارای یک گلچه و در نتیجه یک دانه می‌باشد، تعداد سنبلچه در سنبله با تعداد دانه در سنبله برابر است. در واقع، بین هر یک از اجزای عملکرد یاد شده و عملکرد دانه رابطه مستقیمی وجود دارد، به‌طوری‌که متناسب با افزایش آن‌ها عملکرد دانه نیز افزایش می‌یابد. با این‌حال، به‌طور معمول بین اجزای عملکرد دانه رابطه معکوس وجود دارد و با افزایش یکی از آن‌ها یک یا تعداد بیشتری از سایر اجزا کاهش می‌یابند که نمونه آن کاهش تعداد سنبلچه در سنبله با افزایش تعداد سنبله در بوته است (Emam and Niknejad, 1994; Egli, 1998; Satorre and Slafer, 1999). در این مطالعه، تراکم بوته در تمام تیمارها مساوی بود و از این‌رو، در تغییرات تعداد دانه در واحد سطح و عملکرد دانه، نقشی نداشت و تغییرات عملکرد دانه ناشی از تغییر در سایر اجزای عملکرد بود.

نگاهی به داده‌ها نشان می‌دهد که در هر دو گیاه گندم و جو مصرف کود فسفر به‌میزان ۲۰ کیلوگرم در هکتار موجب بزرگ‌تر شدن اندازه دانه و افزایش وزن هزار دانه نسبت به شاهد عدم مصرف کود شد، اما پس از آن بین افزایش مصرف کود فسفر و وزن دانه رابطه افزایشی مشخصی مشاهده نشد. همین‌طور، مایه‌زنی با باکتری سبب افزایش نسبی میانگین وزن دانه نسبت به تیمار عدم مایه‌زنی شد، با این‌حال، نتایج تجزیه واریانس حاکی از عدم تأثیر معنی‌دار فاکتورهای آزمایش شامل مقدار فسفر کودی، مایه‌زنی با باکتری و نوع گیاه زراعی و برهمکنش آن‌ها بر وزن دانه بود (جدول ۱) و همبستگی قابل اعتنایی بین وزن دانه و عملکرد دانه وجود نداشت (شکل ۵-e). بنابراین، بخش عمده تغییرات عملکرد دانه، حاصل تغییرات اجزای مرتبط با تعداد دانه در واحد سطح و در بوته (شکل ۵-b، c و f) و نه وزن دانه (شکل ۵-e) بود.

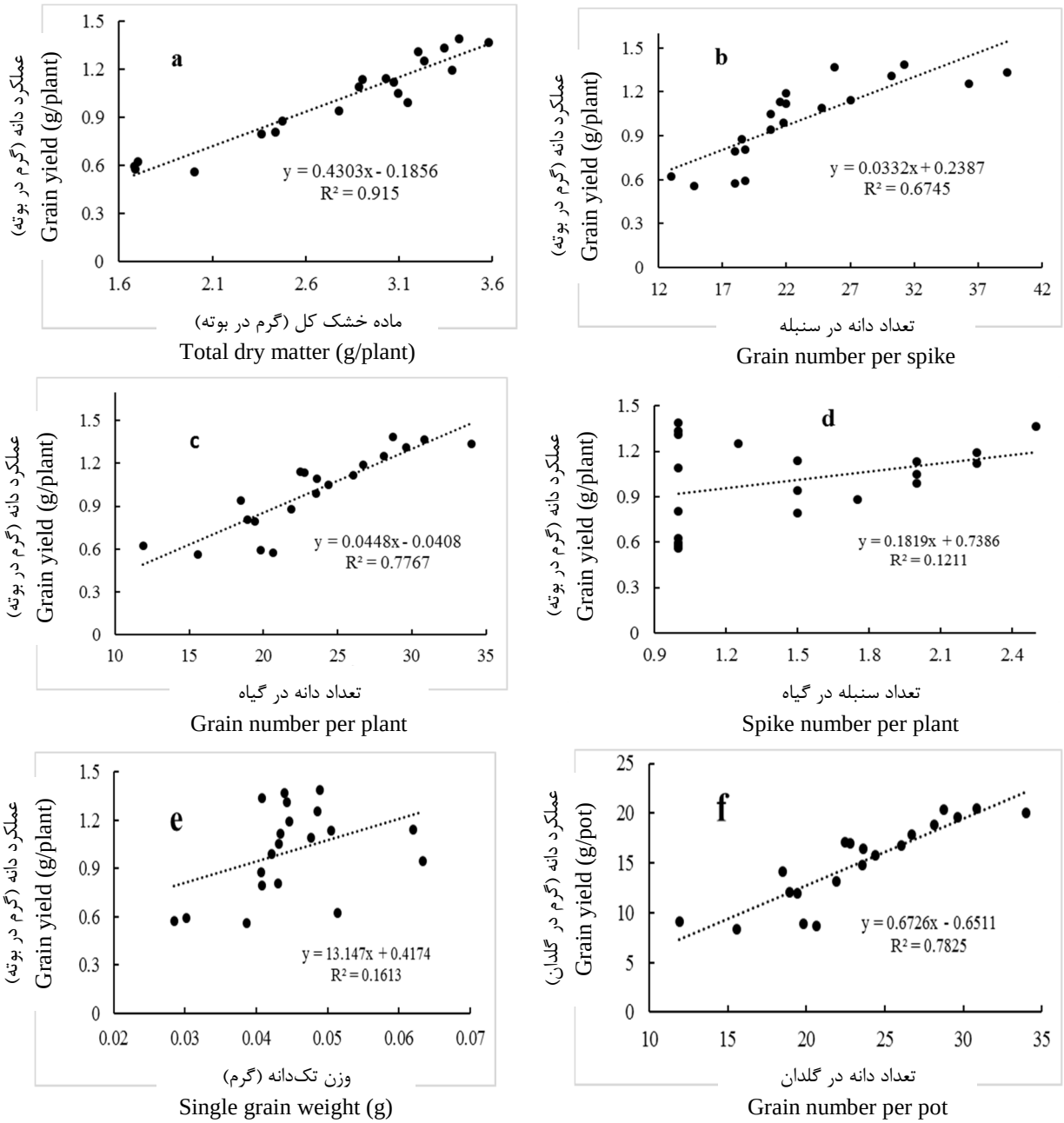
نتایج بسیاری از مطالعات دیگر نیز حاکی از ثبات بیشتر وزن دانه در مقایسه با سایر اجزای عملکرد در واکنش به تیمارهای مختلف می‌باشد. با این حال، نتایج متناقض و گاه متضادی در رابطه با تأثیر مقدار کود فسفر و مایه‌زنی بر وزن دانه گزارش شده است. اختر و همکاران (Akhtar *et al.*, 2013) و همین‌طور بابانا و همکاران (Babana *et al.*, 2016) تأثیر غیرمعنی‌دار مایه‌زنی با باکتری‌های محرک رشد را بر وزن هزار دانه گندم گزارش کردند. در مطالعه افضل و همکاران (Afzal *et al.*, 2005) مصرف کود فسفر، مایه‌زنی با باکتری و استفاده از کودهای آلی تأثیری بر وزن هزار دانه گندم نداشت. در مطالعه مهرورز و همکاران

(Mehrvarz *et al.*, 2008) نیز مایه‌زنی با باکتری تأثیری بر وزن هزار دانه نداشت، اما مصرف فسفر کودی به میزان ۶۰ کیلوگرم در هکتار موجب افزایش وزن هزار دانه گندم نسبت به شاهد شد. در مطالعه ذبیحی و همکاران (Zabihi *et al.*, 2009) و میرزاشاهی (Mirzashahi, 2012) نیز افزایش مقدار مصرف کود فسفر موجب افزایش وزن هزار دانه گندم شد. ساریخانی و همکاران (Sarikhani *et al.*, 2013) اثر دو باکتری حل‌کننده فسفات را بر اجزای عملکرد دانه گندم مطالعه کردند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که مایه‌زنی با هر کدام از دو باکتری به‌تنهایی تأثیر معنی‌داری بر وزن دانه ندارد، اما وقتی از دو باکتری همراه با هم برای مایه‌زنی استفاده شود، وزن دانه به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا می‌کند. هم‌چنان که پیش‌تر اشاره شد، عملکرد دانه به لحاظ آماری فقط تحت تأثیر مقدار فسفر کودی قرار گرفت. با توجه به تأثیر غیرمعنی‌دار فاکتورهای آزمایش بر وزن دانه، تغییرات عملکرد دانه تحت تأثیر مقدار فسفر کودی را می‌توان به اجزای عملکرد مرتبط با تعداد دانه نسبت داد.

یافته‌های این تحقیق نشان داد که تعداد سنبله در بوته و در گلدان در جو به‌طور قابل‌توجهی با افزایش مقدار فسفر کودی افزایش یافت و از ۱/۱۸ سنبله در بوته و ۱۸/۸۳ سنبله در گلدان در شاهد عدم مصرف کود، به‌ترتیب به ۲/۷۸ و ۳۸/۸۳ سنبله در مقدار مصرف ۸۰ کیلوگرم فسفر رسید (شکل‌های ۱-a و b) که این به‌ترتیب معادل ۱۳۵ و ۱۰۶ درصد افزایش در تعداد سنبله در بوته و گلدان بود. این افزایش قابل‌توجه شاید مهم‌ترین دلیل افزایش عملکرد دانه در جو با افزایش مقدار مصرف فسفر باشد، اما واکنش تعداد سنبله گندم به افزایش مقدار فسفر کودی با جو متفاوت بود، به‌طوری که با افزایش مقدار فسفر از صفر به ۸۰ کیلوگرم در هکتار، فقط ۹ درصد افزایش در تعداد سنبله مشاهده شد. در نتیجه، بدون تردید تغییر تعداد سنبله در بوته و گلدان سهم درخور توجهی در تغییرات عملکرد دانه در گندم نداشتند و تغییرات سایر اجزای عملکرد دلیل اصلی تغییرات عملکرد دانه در گندم بوده است.

نتایج این تحقیق نشان داد که جزء مهم بعدی تعیین کننده عملکرد (تعداد سنبلچه بارور در سنبله) نیز در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر مقدار فسفر کودی قرار گرفت و در هر دو گیاه با افزایش مقدار مصرف کود افزایش یافته است. در گندم، تعداد سنبلچه بارور در سنبله در تیمار شاهد ۱۱/۷ و در تیمار مصرف ۸۰ کیلوگرم فسفر ۱۵/۶ و در جو این مقادیر به‌ترتیب ۱۵/۱ و ۲۴/۵ بود که این نشان‌دهنده افزایشی معادل ۳۳/۹ درصد در گندم و ۶۲/۶ درصد در جو بوده است. این اعداد حاکی از سهم قابل اعتنای افزایش تعداد سنبلچه در سنبله در افزایش عملکرد هر دو گیاه می‌باشد. اگرچه درصدهای افزایش ذکر شده به‌ظاهر نشان‌دهنده سهم بیشتر افزایش تعداد سنبلچه در افزایش عملکرد دانه جو می‌باشد، ولی نکته مهم این است که در جو در هر سنبلچه، در صورت بارور بودن، فقط یک دانه تشکیل می‌شود و مقدار فسفر بر آن تأثیری ندارد. در گندم تعداد دانه در سنبلچه در تیمار شاهد ۱/۶ بود که با مصرف ۸۰ کیلو فسفر به ۲/۳۴ (معادل ۴۸/۱ افزایش) رسید (شکل ۲-d). این افزایش چشمگیر تعداد دانه در سنبلچه در گندم موجب جبران افزایش کمتر تعداد سنبلچه در سنبله گندم در مقایسه با جو شد و در نهایت موجب عدم اختلاف معنی‌دار تعداد دانه و در نتیجه عملکرد دانه در واحد سطح در دو گیاه شد. لازم است اضافه شود که با افزایش مقدار فسفر کودی، عملکرد زیست‌توده به‌طور چشمگیری افزایش یافت و از ۳۵/۵ گرم در شرایط عدم مصرف کود فسفر به ۴۷/۵ گرم در گلدان در مقدار فسفر ۸۰ کیلوگرم در هکتار رسید. رابطه رگرسیونی بین عملکرد زیست‌توده و عملکرد دانه نشان‌دهندهٔ همبستگی قوی بین این دو صفت می‌باشد (شکل ۵-a). در واقع، افزایش فسفر کودی منجر به توسعه سطح برگ و افزایش سرعت رشد گیاه شد و پتانسیل عملکرد دانه را افزایش داد. داده‌های توزیع ماده خشک نیز نشان می‌دهد که با افزایش مقدار فسفر کودی، ماده خشک بخش رویشی گیاه و ماده خشک تجمع یافته در دانه به‌طور متناسب افزایش یافتند و در نتیجه شاخص برداشت دانه تحت تأثیر مقدار فسفر کودی قرار نگرفت.

مطابق با یافته‌های این تحقیق، نتایج تعداد زیادی از بررسی‌ها حاکی از تأثیر مثبت مصرف کودهای فسفر بر اجزای عملکرد، عملکرد دانه و زیست‌توده در گندم، جو و تعداد دیگری از گیاهان زراعی می‌باشد که از جمله آن‌ها می‌توان به مطالعات توحیدی‌نیا و همکاران (Tohidinia *et al.*, 2014) و بیگ‌زاده و همکاران (Beigzadeh *et al.*, 2013) در مورد ذرت سینگل‌کراس، بهاری ساروی و پیردشتی (Bahari Saravi and Pirdashti, 2013)، بابانا و همکاران (Babana *et al.*, 2016)، ذبیحی و همکاران (Zabihi *et al.*, 2009) و اختر و همکاران (Akhtar *et al.*, 2013) در مورد گندم و احتشامی و همکاران (Ehteshami *et al.*, 2013) در مورد گیاه جو اشاره کرد.



شکل ۵- رابطه بین عملکرد دانه با اجزای عملکرد. a) عملکرد دانه در بوته با ماده خشک کل در بوته، b) عملکرد دانه در بوته با تعداد دانه در سنبله، c) عملکرد دانه در بوته با تعداد دانه در گیاه، d) عملکرد دانه در بوته با تعداد سنبله در گیاه، e) عملکرد دانه در بوته با وزن تک‌دانه، f) عملکرد دانه در گلدان با تعداد دانه در گلدان.

Figure 5. The relationship between grain yield and yield components. a) Grain yield per plant and total dry matter per plant, b) Grain yield per plant and grain number per spike, c) Grain yield per plant and grain number per plant, d) Grain yield per plant and spike number per plant, e) Grain yield per plant and single grain weight, f) Grain yield per pot and grain number per pot.

قورچیانی و همکاران (Ghurchiani *et al.*, 2012) تأثیر معنی‌دار مایه‌زنی با باکتری حل‌کنندهٔ فسفات و کود فسفر را بر اجزای عملکرد، عملکرد دانه و زیست‌توده ذرت گزارش کردند. همانند این مطالعه، در مطالعه قورچیانی و همکاران (Ghurchiani *et al.*, 2012) نیز برهمکنش معنی‌داری بین کود فسفر و باکتری برای بیشتر اجزای عملکرد مشاهده نشد. اختر و همکاران (Akhtar *et al.*, 2013) افزایش عملکرد دانه را از طریق افزایش تعداد دانه

در سنبله در اثر مایه‌زنی با باکتری‌های *رایزوبیوم* و *باسیلوس* گزارش کردند، در حالی‌که در مطالعه حاضر مایه‌زنی با باکتری *استرپتومایسس* تأثیر معنی‌داری بر اجزای عملکرد و عملکرد دانه نداشت و فقط بر عملکرد زیست‌توده تأثیر گذاشت. بیگ‌زاده و همکاران (Beigzadeh *et al.*, 2013) اثر کاربرد ترکیبی کود فسفر و باکتری‌های حل‌کننده فسفات را بررسی و متفاوت با نتایج این مطالعه، گزارش کردند که مایه‌زنی با باکتری‌ها اثر کود فسفر را بر تعداد دانه در بلال و وزن دانه تشدید کرد و موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه ذرت شد. احتشامی و همکاران (Ehteshami *et al.*, 2013) اثر تلقیح بذر با باکتری حل‌کننده فسفات *Pseudomonas fluorescens* و مقادیر مختلف کود فسفر نسبت به مقدار توصیه شده را بر دو رقم جو بررسی کردند و نشان دادند که استفاده هم‌زمان باکتری حل‌کننده فسفات و کود فسفر سبب افزایش عملکرد جو می‌شود.

لاواکوش و همکاران (Lavakush *et al.*, 2014) برهمکنش معنی‌داری بین نوع باکتری‌های محرک رشد و مقدار کود فسفر از نظر رشد، عملکرد و جذب عناصر غذایی مختلف در برنج مشاهده کردند. یافته‌های آن‌ها نشان داد که استفاده از باکتری‌های محرک رشد، مقدار فسفر کودی مورد نیاز برای تولید محصول را کاهش می‌دهد. یافته‌های کائور و ردی (Kaur and Reddy, 2015) حاکی از آن بود که وقتی همراه با سنگ فسفات از باکتری حل‌کننده فسفات استفاده شد، تجمع ماده خشک بخش هوایی، ماده خشک ریشه و عملکرد دانه در هر دو گیاه ذرت و گندم افزایش پیدا کرد. بر خلاف یافته‌های مطالعات یاد شده و مطالعه حاضر، نتایج آزمایش ساریخانی و همکاران (Sarikhani *et al.*, 2013) در شرایط گلخانه با استفاده از سه گونه باکتری حل‌کننده فسفات نشان داد که استفاده از باکتری‌ها تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک بخش هوایی گیاه نداشته است. بابانا و همکاران (Babana *et al.*, 2016) علت افزایش عملکرد دانه و عملکرد زیست‌توده را افزایش تعداد سنبله در بوته و تعداد دانه در سنبله گزارش کردند. آن‌ها اظهار داشتند که بیشترین عملکرد دانه و زیست‌توده از تیمارهای مصرف کود فسفر توأم با مایه‌زنی با باکتری به‌دست آمد.

از نتایج این پژوهش چنین استنباط می‌شود که مایه‌زنی احتمالاً از طریق افزایش مقدار فسفر قابل استفاده یا سایر مکانیسم‌ها مانند تولید مواد محرک رشد و یا تولید هورمون‌های اکسین و جیبرلین و همچنین ویتامین‌ها، تولید ماده خشک بوته‌ها را افزایش داده است (Hasanzadeh *et al.*, 2007). نکته قابل تأمل دیگر، این‌که تأثیر مایه‌زنی با کاهش مقدار مصرف کود فسفره افزایش پیدا کرده است و در سطوح بالای مصرف فسفر اختلاف مقدار ماده خشک تولید شده در شرایط مایه‌زنی با شرایط عدم مایه‌زنی کاهش یافته است. به‌طور کلی، در رابطه با اثر مایه‌زنی با رایزوباکتری‌های محرک رشد گیاه و یا حل‌کننده فسفات بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه نتایجی متناقضی گزارش شده است. این تناقض‌ها را می‌توان به تفاوت گونه و حتی جدایه‌های باکتری‌های مورد استفاده، تفاوت گونه یا رقم گیاه زراعی مورد مطالعه، اختلاف در روش مایه‌زنی، استفاده ترکیبی یا انفرادی باکتری‌ها و بالاخره تفاوت در ویژگی‌های اقلیمی و فیزیکی محل انجام آزمایش به‌ویژه تفاوت ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و زیستی خاک مانند اسیدیته، میزان کربن آلی و ترکیب گونه‌ای و جمعیتی ریزجانداران خاک نسبت داد.

نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی، یافته‌های این تحقیق نشان‌دهنده افزایش خطی عملکرد دانه گندم و جو با افزایش مقدار فسفر کودی بود. عملکرد دانه در هنگام عدم استفاده از کود فسفر ۹/۸ گرم در گلدان (معادل حدود ۲۳۵۲ کیلوگرم در هکتار) بود. بر اساس شیب خط رگرسیون بین مقدار فسفر کودی و عملکرد دانه، به ازای هر کیلوگرم افزایش در مقدار فسفر کودی ۰/۱۳ گرم در گلدان (معادل ۲۶ کیلوگرم در هکتار) بر عملکرد دانه افزوده شد و در مقدار مصرف فسفر ۸۰ کیلوگرم در هکتار به ۲۰/۲ گرم در گلدان (معادل ۴۸۴۸ کیلوگرم در هکتار) رسید که نشان دهنده ۱۰۶ درصد افزایش در عملکرد دانه است. از طرف دیگر، این نتیجه نشان می‌دهد که خاک مورد استفاده توانسته است فسفر لازم برای تولید حدود دو تن دانه را برای گیاهان مورد آزمایش تأمین کند. همچنین، بر اساس نتایج تجزیه واریانس، افزایش عملکرد دانه تحت تأثیر افزایش مصرف فسفر در جو به‌طور عمده از طریق افزایش تعداد سنبله در بوته و تعداد سنبلچه در سنبله و در گندم به‌طور عمده از طریق افزایش تعداد سنبلچه در سنبله و تعداد دانه در سنبلچه اتفاق افتاده است و تغییر وزن دانه نقش قابل اعتنایی در تغییر عملکرد دانه نداشته است. یافته‌های این مطالعه حاکی از افزایش خطی عملکرد زیست‌توده تحت تأثیر مصرف کود فسفر،

مایه‌زنی با باکتری *استرپتومایسس* و برهمکنش آن‌ها بود. نتایج مطالعه حاضر به‌وضوح نشان داد که اگرچه بیشترین عملکرد زیست‌توده وقتی تولید شد که حداقل ۶۰ کیلوگرم فسفر کودی همراه با مایه‌زنی مصرف شد، ولی کاهش فاصله خطوط رگرسیون برازش داده شده بر عملکرد زیست‌توده در مقابل مقدار فسفر کودی تحت دو شرایط مایه‌زنی و عدم مایه‌زنی بیانگر آن بود که تأثیر مایه‌زنی بر رشد در مقادیر کمتر فسفر کودی بیشتر بود و این تأثیر با افزایش مصرف فسفر کودی کاهش یافت. مایه‌زنی بذرها با باکتری *استرپتومایسس* اگرچه با افزایش تعداد پنجه و ارتفاع بوته (شاید از طریق تولید مواد محرک رشد در ریشه‌گاه)، بر عملکرد زیست‌توده تأثیر مثبت و معنی‌داری گذاشت، ولی اثر این تأثیر به افزایش عملکرد دانه منتهی نشد که می‌تواند ناشی از برهمکنش باکتری مورد استفاده، *استرپتومایسس*، با گیاهان مورد مطالعه و روش مایه‌زنی باشد. از این‌رو، بررسی تأثیر رایزوباکتری‌های دیگر مانند *سودوموناس* و *باسیلوس* و سایر روش‌های مایه‌زنی بر رشد و عملکرد دانه در گندم و جو ضروری به‌نظر می‌رسد.

References

Afzal, A., Ashraf, M., Asad, S. A. and Farooq, M. 2005. Effect of phosphate solubilizing microorganisms on phosphorus uptake, yield and yield traits of wheat (*Triticum aestivum* L.) in rainfed area. **International Journal of Agriculture and Biology** 7: 207-209.

Akhtar, N., Arshad, I., Shakir, M. A., Qureshi, M. A., Sehrish, J. and Ali, L. 2013. Co-inoculation with *Rhizobium* and *Bacillus* sp. to improve the phosphorus availability and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). **Journal of Animal and Plant Sciences** 23: 190-197.

Arpana, N., Kumar, S. D. and Prasad, T. N. 2002. Effect of seed inoculation, fertility and irrigation on uptake of major nutrients and soil fertility status after harvest of late sown lentil. **Journal of Applied Biology** 12: 23-26.

Babana, A. H., Kassogué, A., Dicko, A. H., Maîga, K., Samaké, F., Traoré, D., Fanéa, R. and Faradji, F. A. 2016. Development of a biological phosphate fertilizer to improve wheat (*Triticum aestivum* L.) production in Mali. **Procedia Engineering** 138: 319-324.

Bahari Saravi, S. H. and Pirdashti, H. A. 2013. Plant growth promoting (PGPR) and phosphate solubilizing (PSM) bacteria impact on wheat yield and yield components (cultivar N80) at different levels of nitrogen and phosphorus fertilizers in greenhouse condition. **Iranian Journal of Field Crops Research** 10: 681-689. (In Persian with English Abstract).

Beigzadeh, M., Maleki, A., Siaddat, S. A. and Malek-Mohammadi, M. 2013. Effect of combined application of phosphate fertilizers and phosphate solubilizing bacteria on yield and yield components of maize single cross 704. **International Journal of Agriculture and Crop Sciences** 6: 1179-1185.

Devi, K. N., Singh, M. S., Singh, N. G. and Athokpam, H. S. 2011. Effect of integrated nutrient management on growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). **Journal of Crop and Weed** 7: 23-27.

Ding, C. H., Jiang, Z. Q., Li, X. T., Li, L. T. and Kusakabe, I. 2004. High activity xylanase production by *Streptomyces olivaceoviridis* E-86. **World Journal of Microbiology and Biotechnology** 20: 7-10.

Dordas, C. 2009. Dry matter, nitrogen and phosphorus accumulation, partitioning and remobilization as affected by N and P fertilization and source-sink relations. **European Journal of Agronomy** 30: 129-139.

Egli, D. 1998. Seed biology and the yield of grain crops. CABI Publication. 184 p.

Ehteshami, S. M. R., Pour-Ebrahimi, M. and Khavazi, K. 2013. Effect of *Pseudomonas fluorescens* strain 103 integrated with phosphorus fertilizer on nutrients concentration and biological yield of two barley cultivars in greenhouse conditions. **Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture** 16: 15-26. (In Persian with English Abstract).

Elliott, L. F. and Lynch, J. M. 1995. The international workshop on establishment of microbial inocula in soils: Cooperative research project on biological resource management of the organization for economic cooperation and development (OECD). **American Journal of Alternative Agriculture** 10: 50-73.

Emam, Y. and Niknezhad, M. 1994. An introduction to physiology of crop yield. Shiraz University Press. 571 p.

Fageria, N. K. 2009. The use of nutrients in crop plants. CRP Press. 430 p.

Ghorbani-Nasrabadi, R., Aghaz Nashtifani, P. and Zebarjadi, M. 2014. Evaluation of soil *Streptomyces* sp. on plant growth promotion traits and potential application in enhancing early maize growth and P uptake. **Journal of Soil Management and Sustainable Production** 4: 195-213. (In Persian with English Abstract).

Ghurchiani, M., Alikhani, H. A., Akbari, Gh. H., Zareei, M. and Dadi, A. A. 2012. The effects of phosphate solubilizing bacteria, arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorus fertilizer on yield and yield components of maize in drought and irrigation in Karaj. **Iranian Journal of Field Crops Research** 10: 214-224. (In Persian with English Abstract).

Hamidi, A., Asgharzadeh, A., Choukan, R., Dehghan-Shoar, M., Ghalavand, A. and Malakuti, M. J. 2010. The effect of plant growth promoting bacteria (PGPR) on dry matter partitioning and growth characteristics of corn in a greenhouse. **Iranian Journal of Soil Research** 24: 55-67. (In Persian with English Abstract).

Hasanzadeh, E., Mazaheri, D., Chaichi, M. R. and Kharazi, K. 2007. Efficiency of phosphorus solubilizing bacteria and phosphorus chemical fertilizer on yield and yield components of barley. **Pajouhesh-Va-Sazandegi** 77: 111-118. (In Persian with English Abstract).

Halder, A. K., Mishra, A. K. and Chakrabarty, P. K. 1991. Solubilization of inorganic phosphates by Bradyrhizobium. **Indian Journal of Experimental Biology** 29: 28-31.

Jog, R., Pandya, M., Nareshkumar, G. and Rajkumar, S. 2014. Mechanism of phosphate solubilization and antifungal activity of *Streptomyces* spp. isolated from wheat roots and rhizosphere and their application in improving plant growth. **Microbiology** 160: 778-788.

Kaur, G. and Reddy, M. S. 2015. Effects of phosphate-solubilizing bacteria, rock phosphate and chemical fertilizers on maize-wheat cropping cycle and economics. **Pedosphere** 25: 428-437.

Korn-Wendisch, F. and Kutzner, H. J. 1992. The family Streptomycetaceae. In: Balows, A., Trüper, H. G., Dworkin, M., Harder, W. and Schleifer, K. H. (Eds.), The prokaryotes: A handbook on the biology of bacteria: Ecophysiology, isolation, identification, application. Vol. 1. (2nd Ed.). Springer, New York. pp: 921-995.

Kumar, V., Singh, P., Jorquera, M. A., Sangwan, P., Kumar, P., Verma, A. K. and Agrawal, S. 2013. Isolation of phytase-producing bacteria from Himalayan soils and their effect on growth and phosphorus uptake of Indian mustard (*Brassica juncea*). **World Journal of Microbiology and Biotechnology** 29: 1361-1369.

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: 123-128.

Mayfield, C. I., Williams, S. T., Ruddick, S. M. and Hatfield, H. L. 1972. Studies on the ecology of *actinomycetes* in soil. IV: Observations on the form and growth of *streptomycetes* in soil. **Soil Biology and Biochemistry** 4: 79-91.

Mehrvarz, S., Chaichi, M. R. and Alikhani, H. A. 2008. Effects of phosphate solubilizing microorganisms and phosphorus chemical fertilizer on yield and yield components of barely (*Hordeum vulgare* L.). **American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences** 3: 822-828.

Mirzashahi, K. 2012. The effect of phosphorus fertilizer consumption management on grain yield and P absorption in the north of Khuzestan. **Crop Physiology Journal** 4: 99-114. (In Persian with English Abstract).

Nassar, A. H., El-Tarabily, K. A. and Sivasithamparam, K. 2003. Growth promotion of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) by a polyamine-producing isolate of *Streptomyces griseoluteus*. **Plant Growth Regulation** 40: 97-106.

Petrosyan, P., García-Varela, M., Luz-Madrigal, A., Huitrón, C. and Flores, M. E. 2003. *Streptomyces mexicanus* sp. nov., a xylanolytic micro-organism isolated from soil. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology** 53: 269-273.

Ramachandra, M., Crawford, D. L. and Hertel, G. 1988. Characterization of an extracellular lignin peroxidase of the lignocellulolytic actinomycete *Streptomyces viridosporus*. **Applied and Environmental Microbiology** 54: 3057-3063.

Rastin, S. 2005. Biofertilizers, management and soil health. In: Khavazi, K., Asadi-Rahmani, H. and Malakouti, M. J. (Eds.), The need for industrial production of biofertilizers in the country. Sana Publications. pp: 12-14. (In Persian).

Sanchez, P. A. 2002. Ecology, soil fertility and hunger in Africa. **Science** 295: 2019-2020.

Sarikhani, M. R., Aliasgharzad, N. and Malboobi, M. A. 2013. Improvement of wheat phosphorus nutrition using phosphate solubilizing bacteria. **Journal of Soil Management and Sustainable Production** 3: 39-57. (In Persian with English Abstract).

Satorre, E. H. and Slafer, G. A. 1999. Wheat: Ecology and physiology of yield determination. CRC Press. 503 p.

Soltani, A. 2006. Application of SAS in statistical analysis. Jihad-e-University of Mashhad. 182 p.

Sreevidya, M., Gopalakrishnan, S., Kudapa, H. and Varshney, R. K. 2016. Exploring plant growth-promotion actinomycetes from vermicompost and rhizosphere soil for yield enhancement in chickpea. **Brazilian Journal of Microbiology** 47: 85-95.

Tohidinia, M. A., Mazaheri, D., Bagher-Hosseini, S. M. and Madani, H. 2014. Effect of biofertilizer Barvar-2 and chemical phosphorus fertilizer application on kernel yield and yield components of maize (*Zea mays* cv. SC704). **Iranian Journal of Crop Sciences** 15: 295-307. (In Persian with English Abstract).

Tunney, H., Breeuwsma, A., Withers, P. J. A. and Ehlert, P. A. I. 1997. Phosphorus fertilizer strategies: Present and future. In: Tunney, H., Carton, O. T., Brookes, P. C. and Johnston, A. E. (Eds.), Phosphorus loss from soil to water. CAB International. pp: 177-203.

Ventura, M., Canchaya, C., Tauch, A., Chandra, G., Fitzgerald, G. F., Chater, K. F. and van Sinderen, D. 2007. Genomics of actinobacteria: Tracing the evolutionary history of an ancient phylum. **Microbiology and Molecular Biology Reviews** 71: 495-548.

Zabihi, H. R., Savaghebi, G. R., Khavazi, K., Ganjali, A. and Miransari, M. 2009. Response of wheat growth and yield to application of plant growth promoting rhizobacteria at various levels of phosphorus fertilization. **Iranian Journal of Field Crops Research** 7: 41-51. (In Persian with English Abstract).

Zabihi, H. R., Savaghebi, G. R., Khavazi, K., Ganjali, A. and Miransari, M. 2011. *Pseudomonas* bacteria and phosphorous fertilization, affecting wheat (*Triticum aestivum* L.) yield and P uptake under greenhouse and field conditions. **Acta Physiologiae Plantarum** 33: 145-152.

Zadoks, J. C., Chang, T. T. and Konzak, C. F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. **Weed Research** 14: 415-421.

University of Guilan
Faculty of Agricultural Sciences

Cereal Research
Vol. 7, No. 1, Spring 2017 (257-273)

The effect of inoculation with *Streptomyces* and phosphorus fertilizer rate on biologic yield, grain yield and yield components in wheat and barley

Toktam Khosravian[1], Ebrahim Zeinali[2*], Asiyeh Siahmarguee[3], Reza Ghorbani Nasrabadi[4] and Seyyed Majid Alimagham[5]

Received: June 25, 2016 Accepted: October 31, 2016

Abstract

Usually, phosphorus after nitrogen is the most important mineral nutrient limiting growth and yield of crops. Phosphate solubilizing rhizobacteria can change non-absorbable forms of phosphorus to absorbable forms. To evaluate the effect of inoculation with *Streptomyces* sp. bacterium and phosphorus (P) fertilizer rate (0, 20, 40, 60 and 80 kg P per ha) on yield and yield components in wheat (variety Morvarid) and barley (variety Sahra), a pot experiment was conducted as factorial arrangement in a completely randomized design with four replications in new site of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, during 2014-2015 growing season. Results of this study revealed a significant linear increase in grain yield of wheat and barley by increase in the fertilizer phosphorus rate. The results showed that grain yield in control treatment (without P fertilizer) was 9.8 gr per pot (2352 kg.ha^{-1}), but with increasing one kg P fertilizer, grain yield increased to 0.13 gr per pot (26 kg.ha^{-1}). With the use of 80 kg.ha^{-1} P fertilizer, grain yield increased to 20.2 gr per pot (4848 kg.ha^{-1}), that represents a 106% increase in grain yield than the control treatment. The results showed that increasing grain yield in barley was mainly due to increase in the number of spike per plant and the number of spikelet per spike, but in wheat mainlt due to increase in the number of spikelet per plant and number of grain per spikelet, and the role of grain weight in the changes of grain yield was negligible. Also, the findings of this study showed a linear increase in plant biologic yield due to the use of P fertilizer rate, bacteria inoculation and their interactions. The results clearly showed that the effect of inoculation on the plant growth in the lower amounts of phosphorus fertilizer was more than the higher amounts of phosphorus fertilizer.

Keywords: Grain number, Grain weight, Harvest index, Phosphate solubilizing bacteria, Spike number

1. Ph. D. Student, Dept. of Agronomy, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
2. Assoc. Prof., Dept. of Agronomy, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
3. Assist. Prof., Dept. of Agronomy, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
4. Assist. Prof., Dept. of Soil Science, Faculty of Water and Soil Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
5. Ph. D. Student, Dept. of Agronomy, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
* Corresponding author: e.zeinali@yahoo.com