



اثر کودهای زیستی و شیمیایی فسفر بر کارایی مصرف نور، غلظت فسفر و عملکرد دانه گندم رقم پیشگام

سمیه وجدانی آرام^۱، گودرز احمدوند^{۲*}، و سمیه حاجی نیا^۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۶/۷

تاریخ بازنگری: ۱۳۹۶/۱۰/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۲/۱۲

چکیده

این آزمایش در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل کود شیمیایی فسفاتی در سه سطح صفر (P_1)، ۲۲/۵ (P_2) و ۴۵ (P_3) کیلوگرم بر هکتار دی‌آمونیم فسفات بر اساس آزمون خاک و فاکتور دوم مصرف کود زیستی فسفر بارور-۲ در پنج سطح شامل: عدم مصرف کود زیستی (B_1)، مصرف کود زیستی به میزان ۱۰۰ گرم در هکتار در زمان کاشت (B_2)، مصرف کود زیستی به میزان ۱۰۰ گرم در هکتار در زمان کاشت و ۱۰۰ گرم در هکتار در مرحله ساقه رفتن (B_3)، مصرف کود زیستی به میزان ۲۰۰ گرم در هکتار در زمان کاشت (B_4)، مصرف کود زیستی به میزان ۲۰۰ گرم در هکتار در زمان کاشت و ۲۰۰ گرم در هکتار در مرحله ساقه رفتن (B_5) بودند. نتایج نشان داد که بیشترین شاخص سطح برگ با کاربرد ۴۵ کیلوگرم بر هکتار دی‌آمونیم فسفات در سطوح کود زیستی B_4 و B_3 به ترتیب به میزان ۵/۸ و ۵/۷ به دست آمدند. ماده خشک کل با کاربرد ۴۵ کیلوگرم بر هکتار دی‌آمونیم فسفات و سطوح کود زیستی B_2 ، B_5 ، B_4 و B_3 نسبت به تیمار شاهد، به ترتیب ۲۹/۷، ۲۵/۹، ۴/۰ و ۲/۵ درصد افزایش یافتند. بیشترین کارایی مصرف نور (۲/۴۵ گرم بر مگاژول) با مصرف ۴۵ کیلوگرم بر هکتار دی‌آمونیم فسفات و کود زیستی B_4 به دست آمد که ۲۳ درصد در مقایسه با تیمار شاهد بیشتر بود. سطوح B_3 و B_2 کود زیستی، باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه به ترتیب به میزان ۹/۸ و ۹/۳ درصد در مقایسه با تیمار شاهد شدند. در مجموع نتایج نشان داد که کود زیستی فسفر بارور-۲، نتیجه مطلوبی در افزایش عملکرد دانه گندم داشت.

واژگان کلیدی: جذب نور، سطح برگ، فسفر، کود زیستی، گندم.

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

۲- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

۳- دانش آموخته دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

مقدمه

روش‌های کشاورزی متداول در جهان امروز، موفقیت قابل قبولی را در استفاده از مدیریت منابع نداشته و اتکای بیش از حد به نهاده‌های مصنوعی و کاربرد انرژی‌های کمکی مانند کودها و سموم شیمیایی، باعث ایجاد بوم نظام‌های زراعی ناپایدار شده است (Roberts, 2008). مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی، قارچ‌کش‌ها و آفت‌کش‌ها در کشاورزی صنعتی در چند دهه اخیر مشکلات زیست محیطی زیادی را ایجاد کرده و آلودگی منابع آب و خاک، کاهش کیفیت محصولات غذایی و برهم خوردن تعادل زیستی در محیط خاک را در پی داشته است (Kapoor et al., 2002).

راه‌حل اساسی حرکت به سوی کشاورزی پایدار بر پایه استفاده هر چه بهتر از نهاده‌های درون مزرعه‌ای از جمله کودهای زیستی می‌باشد (Kapoor et al., 2004). یکی از اصول مهم کشاورزی پایدار، استفاده کارآمد از کودهای شیمیایی و به‌ویژه کودهای فسفاتی است. این کودها دارای تحرک کمی در خاک بوده و مقدار زیادی از آنها بعد از ورود به خاک نامحلول شده، به طوری که در خاک‌های آهکی به ترکیبات نامحلول کلسیم و منیزیم و در خاک‌های اسیدی به فسفات آهن و آلومینیوم تبدیل شده و از دسترس گیاهان خارج شده و کارایی مصرف آنها کاهش می‌یابد (Mahidi et al., 2011). بنابراین، باید ضمن تجدید نظر در مدیریت استفاده از کودهای فسفاتی، به پیشرفت‌های نوین مانند استفاده از نهاده‌های زیستی توجه بیشتری معطوف گردد. امروزه ریزجانداران حل‌کننده فسفات در سطوح وسیع به‌عنوان کود زیستی برای افزایش تولید و حفظ سلامت خاک استفاده

می‌شوند (Zhu et al., 2012). کود زیستی فسفر بارور-۲ حاوی دو نوع باکتری حل‌کننده فسفات از گونه باسیلوس لنتوس (*Bacillus lentus*) سویه P5 و سودوموناس پوتیدا (*Pseudomonas putida*) سویه P13 می‌باشد که به ترتیب با استفاده از دو سازوکار ترشح اسیدهای آلی و اسید فسفاتاز باعث تجزیه ترکیبات فسفر نامحلول و در نتیجه قابل جذب شدن آن برای گیاه می‌گردند (El-Komy, 2005). باکتری‌های حل‌کننده فسفات شکل‌های غیرمحلول فسفر خاک را از طریق تولید اسیدهای آلی مانند اسید سیتریک و اسید گلوکونیک و واکنش‌های تبادل، به شکل‌های قابل حل برای گیاهان تبدیل می‌کنند (Liu et al., 2014; Sharma and Sharma, 2013).

تلقیح بذر با باکتری‌های حل‌کننده فسفات اثر مثبتی بر جذب عناصر غذایی و عملکرد گیاه دارد (Sahay and Patra, 2014; Liu et al., 2014). نتایج کائور و ردی (Kaur and Reddy, 2014) نشان داد که تلقیح گندم (*Triticum aestivum* L.) و ذرت (*Zea mays* L.) با باکتری‌های حل‌کننده فسفات عملکرد دانه، جذب فسفر، کربن آلی خاک، فراهمی فسفر، فعالیت آنزیمی و جمعیت باکتری‌های حل‌کننده فسفات در خاک را نسبت به تیمار شاهد افزایش داد. در بررسی اثر باکتری‌های حل‌کننده فسفر روی گندم، مشخص گردید که این ریزجانداران بر صفاتی مانند ارتفاع گیاه، شاخص سطح برگ، عملکرد بیولوژیکی و شاخص برداشت اثر معنی‌داری داشته و درصد فسفر و عملکرد دانه نسبت به تیمار شاهد، افزایش معنی‌داری یافت، به طوری که مصرف کود شیمیایی همراه با تلقیح با باکتری‌های حل‌کننده فسفر، ۵۰ درصد کاهش یافت (Mirzaei et al., 2007).

کارآمد گیاهان زراعی از منابع به‌ویژه آب، عناصر غذایی و تابش خورشیدی از مهم‌ترین راهکارها جهت نیل به هدف فوق می‌باشد (Kamkar *et al.*, 2003).

نور از منابع ضروری جهت رشد گیاه است. کمیت و چگونگی تثبیت انرژی نورانی در گیاهان، از مهم‌ترین شاخص‌های فیزیولوژیکی تعیین‌کننده رشد و عملکرد گیاهان می‌باشد که در اکوسیستم‌های زراعی تحت تأثیر نوع و چگونگی مدیریت اعمال شده، قرار می‌گیرد (Zhang *et al.*, 2008). کارایی جذب نور توسط یک گیاه تا حد زیادی تابع شاخص سطح برگ، دوام سطح برگ و انطباق حداکثر شاخص سطح برگ با حداکثر تابش محیط، ضریب استهلاک نور و در نهایت کارایی مصرف نور می‌باشد (Holt, 2005). کارایی استفاده از نور بیانگر مقدار ماده خشک تولید شده به ازای هر واحد نور جذب شده است با واحد گرم ماده خشک تولیدی بر مگاژول تشعشع جذب شده می‌باشد. در شرایط بدون تنش، تولید ماده خشک در گیاه یک ارتباط خطی با میزان تشعشع جذب شده توسط گیاه دارد که شیب این ارتباط بیانگر کارایی مصرف نور می‌باشد (Zhang *et al.*, 2008). اگرچه قبلاً اعتقاد بر این بود که کارایی مصرف نور ثابت و بیشتر از طریق ژنتیکی کنترل می‌شود (Monteith, 1977)، اما عوامل محیطی و عملیات مدیریتی نظیر تاریخ کاشت، تراکم و فواصل بوته‌ها، رقم، تغییرات آب و هوایی و حاصلخیزی خاک به‌ویژه نیتروژن قابل دسترس به‌واسطه نقش ویژه‌ای که در فتوسنتز دارد، این عامل را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Akmal and Janssens, 2004).

گوش (Ghosh, 2000) ضمن بررسی اثر کودهای زیستی و هورمون‌های رشد بر تولید

میرزایی حیدری و همکاران (Mirzaei Heydari *et al.*, 2009) ضمن بررسی میزان تأثیرگذاری باکتری‌های حل‌کننده فسفر و کود شیمیایی فسفر بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم، دریافتند که استفاده از باکتری‌های حل‌کننده فسفر به‌صورت جداگانه و یا ترکیبی در خاک می‌تواند سبب افزایش جذب فسفر در گیاهان شود و در نتیجه میزان بازده محصول نیز افزایش می‌یابد. نتایج تحقیقات پناپام و همکاران (Pena-Yam *et al.*, 2016) و بابانا و همکاران (Babana *et al.*, 2016) نیز حاکی از آن است که ریزجانداران حل‌کننده فسفات، با حل کردن فسفر تثبیت شده در خاک، موجب بهبود رشد و افزایش عملکرد گیاه گندم می‌شوند. آزمایش‌های متعددی نشان داده‌اند که استفاده تلفیقی از کودهای آلی و شیمیایی می‌تواند به‌مراتب بهتر از کاربرد هر یک از آنها به‌تنهایی عمل کند و استفاده تلفیقی از این کودها می‌تواند ضمن کاهش اثرات مخرب ناشی از مصرف کودهای شیمیایی، پایداری در تولید محصولات زراعی را نیز تضمین نماید، البته برخی پژوهش‌گران در خاک‌های مایه‌زنی شده با ریزجانداران حل‌کننده فسفات، پیامد چشم‌گیری را در رشد و عملکرد گیاهان گزارش نکرده و ناکارآمدی کودهای زیستی دارای ریزجانداران حل‌کننده فسفات را در حل کردن فسفات گزارش کردند (Yu *et al.*, 2011). ساریخانی و همکاران (Sarikhani *et al.*, 2013) گزارش دادند باکتری‌های حل‌کننده فسفر تأثیر مثبتی بر ماده خشک گندم نداشت.

شناخت چگونگی و مدیریت تأثیر عوامل اکولوژیکی بر تولید گیاهان از مهم‌ترین عوامل دستیابی به پایداری در سیستم‌های تولید کشاورزی به‌شمار می‌رود. از سوی دیگر، استفاده

خشک بود. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل کود شیمیایی فسفاتی در سه سطح صفر (P_1)، ۲۲/۵ (P_2) و ۴۵ (P_3) کیلوگرم در هکتار دی‌آمونیم فسفات و فاکتور دوم مقدار و زمان مصرف کود زیستی فسفر (بارور-۲)، در پنج سطح شامل: عدم مصرف (B_1)، مصرف کود زیستی به میزان ۱۰۰ گرم در هکتار در زمان کاشت (B_2)، مصرف کود زیستی در دو مرحله به میزان ۱۰۰ گرم در هکتار در زمان کاشت و ۱۰۰ گرم در هکتار در مرحله ساقه رفتن (B_3)، مصرف کود زیستی به میزان ۲۰۰ گرم در هکتار در زمان کاشت (B_4)، مصرف کود زیستی در دو مرحله به میزان ۲۰۰ گرم در هکتار در زمان کاشت و ۲۰۰ گرم در هکتار در مرحله ساقه رفتن (B_5) بود.

بذر گندم (*Triticum aestivum* L.) رقم پیشگام از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان تهیه شد و بذور قبل از کاشت با قارچ‌کش مانکوزب (با دز ۱ در هزار)، ضدعفونی شدند. کاشت بذور به صورت دستی در دوم آبان‌ماه در کرت‌هایی شش ردیفه با طول پنج متر و فاصله بین ردیف ۲۰ سانتی‌متر با تراکم ثابت ۴۵۰ بوته در متر مربع انجام شد. با توجه به نتایج آزمون خاک، کود شیمیایی نیتروژن از منبع اوره به میزان ۱۹۰ کیلوگرم در هکتار در دو مرحله یک سوم قبل از کاشت و بقیه در زمان ساقه رفتن به صورت پخش سطحی مورد استفاده قرار گرفت. برای تأمین پتاسیم نیز، کود سولفات پتاسیم به میزان ۲۰ کیلوگرم در هکتار برای تمامی تیمارها، به صورت نواری و قبل از کشت استفاده

کنجد (*Sesamum indicum*)، گزارش کرد که کارایی جذب انرژی تابشی به میزان سطح برگ و توزیع برگ‌ها در داخل سایه‌انداز، بستگی داشت. حسینی و همکاران (Hosseini et al., 2014) گزارش کردند کودهای شیمیایی نیتروژن تأثیر مثبتی بر کارایی مصرف نور گندم گذاشتند. بهاری‌ساروری و پیردشتی (Bahari Saruei and Pirdashti, 2013) گزارش نمودند که تلقیح گندم با باکتری‌های محرک رشد و میکروارگانسیم‌های حل‌کننده فسفات، مصرف کودهای شیمیایی فسفر و نیتروژن را کاهش داد و بر عملکرد دانه تأثیر مثبتی داشت.

با توجه به این‌که گندم یکی از محصولات زراعی راهبردی کشور می‌باشد و تأمین فسفر برای رشد مطلوب آن یکی از نیازهای اساسی این گیاه راهبردی است. این مطالعه با اهداف ارزیابی اثر کودهای زیستی فسفوری بر کارایی مصرف نور، غلظت فسفر دانه، عملکرد گندم و امکان کاهش مصرف کودهای شیمیایی فسفوری، اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

آزمایش مزرعه‌ای در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ در ایستگاه تحقیقاتی اکباتان واقع در پنج کیلومتری شهر همدان با مختصات عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۵۲ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۲ دقیقه شرقی، با ارتفاع ۱۷۵۷ متر از سطح دریا، اجرا گردید. بافت خاک محل آزمایش لومرسی‌شنی و سال قبل از اجرای آزمایش به صورت آیش بود. برای محاسبه فراوانی باکتری‌های حل‌کننده فسفات موجود در خاک، از روش شمارش کلنی (Colony count) استفاده شد (Safari Sinegan et al., 2010). جمعیت باکتری‌های حل‌کننده فسفات موجود در خاک قبل از کشت، ۲۴۳۹۱۷ سلول در هر گرم خاک

شد. در تیمار P₁، کود شیمیایی فسفر استفاده نشد ولی در تیمارهای P₂ و P₃ کود شیمیایی فسفر بر اساس نتایج آزمون خاک به ترتیب به میزان ۲۲/۵ و ۴۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر از منبع دی‌آمونوم فسفات، قبل از کشت و به صورت نواری با ایجاد شیاری به عمق ۷ سانتی‌متر در محل ردیف‌ها، استفاده شد.

کود زیستی فسفر (بارور-۲) حاوی دو نوع باکتری حل‌کننده فسفر از گونه‌های باسیلوس لنتوس (*Bacillus lentus*) سویه P5 و سودوموناس پوتیدا (*Pseudomonas putida*) سویه P13 می‌باشد، که از شرکت زیست فناوری مهر تهیه شد. فراوانی باکتری‌های حل‌کننده فسفات موجود در هر گرم کود زیستی فسفر (بارور-۲)، ۲۴۳۳۰۰۰ سلول در هر گرم کود زیستی با استفاده از روش شمارش کلنی بود (Safari Sinegan et al., 2010). در تیمارهای B₂ و B₄ اعمال کود زیستی فسفات (بارور-۲) به روش اختلاط با بذر و قبل از کاشت استفاده گردید. در تیمارهای B₃ و B₅ کود زیستی در دو مرحله به صورت تلقیح با بذرها قبل از کاشت و در مرحله ساقه‌رفتن گندم همراه با آب آبیاری اعمال گردید. در تیمار B₁، از کود زیستی دو بار اتوکلاو شده استفاده گردید.

برای اندازه‌گیری‌های آخر فصل نگه داشته شد. برای تعیین وزن خشک کل و سطح برگ پس از شروع رشد مجدد گیاه در فصل بهار، نمونه‌برداری‌های تخریبی هر ۱۵ روز یک بار تا انتهای دوره رشد، با برداشت ۱۰ بوته پس از حذف دو ردیف کناری و حذف ۲۰ سانتی‌متر از ابتدای هر کرت انجام شد و نمونه‌ها بلافاصله به آزمایشگاه منتقل گردیدند. پس از اندازه‌گیری سطح برگ، نمونه‌ها در آن با دمای ۷۵ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت خشک، و در نهایت با ترازوی یک دهم توزین شدند. برای بیان تغییرات شاخص سطح برگ گندم نسبت به روزهای کاشت از معادله درجه دوم زیر استفاده گردید (Sarmadnia and Koochaky, 1989).

$$\text{معادله (۱)} \quad \text{LAI} = 2.718 \times ((a_1 + b_1) \times (t + c_1) \times t^2)$$

مقادیر ماده خشک روزانه از طریق برازش معادله درجه دوم زیر برآورد شد (Sarmadnia and Koochaky, 1989).

$$\text{معادله (۲)} \quad \text{TDM} = 2.718 \times ((a + b) \times (t + c) \times t^2)$$

در این معادله‌ها t روز بعد از کاشت، a، b و c ضرایب رگرسیون مربوط به ماده خشک کل و a₁، b₁ و c₁ نیز ضرایب رگرسیون مربوط به شاخص سطح برگ می‌باشد.

برای محاسبه میزان جذب و کارایی مصرف تابش، ابتدا میزان تشعشع روزانه خورشیدی برای عرض جغرافیایی همدان به روش ارائه شده توسط خودریان و فن‌لار (Goudriaan and van Laar, 1994) محاسبه گردید. سپس این مقادیر بر اساس تعداد ساعات آفتابی گرفته شده از ایستگاه هواشناسی مرکز همدان (سایت هواشناسی استان همدان، ۱۳۹۱) اصلاح و نور جذب شده روزانه

با توجه به وقوع بارندگی در سوم آبان ماه، پس از کاشت، آبیاری انجام نشد و پس از آن نیز در طول پاییز و زمستان، به علت وقوع بارش‌ها و مرطوب بودن زمین، هیچ آبیاری انجام نشد. در فصل بهار با شروع رشد مجدد گیاه و با توجه به نیاز گیاه، تقریباً هر ۱۰ روز یک‌بار، آبیاری به شیوه سیفونی و به‌طور یکسان انجام شد. نیمی از هر کرت به نمونه‌برداری تخریبی در طی دوره رشد اختصاص یافت و نیمه دوم به صورت دست‌نخورده

درصد انجام شد. برای برازش منحنی‌ها و رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ

نتایج این آزمایش نشان دهنده‌ی روند مشابه تغییرات شاخص سطح برگ گندم در طول فصل رشد، برای تمامی تیمارها بود (شکل ۱)؛ به طوری که در ابتدای دوره رشد با گذشت زمان، شاخص سطح برگ گندم به کندی افزایش و در ادامه فصل رشد افزایش شاخص سطح برگ روند خطی پیدا کرد و در حدود ۲۰۰ تا ۲۱۰ روز پس از کاشت، به حداکثر مقدار خود رسید. پس از آن به دلیل پیری، زرد شدن و ریزش برگ‌های پایین کانوپی، شاخص سطح برگ روند نزولی پیدا کرد (شکل ۱ و جدول ۳).

در شرایط عدم مصرف کود شیمیایی فسفاتی (P_1) بیشترین شاخص سطح برگ ($5/24$) مربوط به مصرف کود زیستی فسفات بارور-۲ به مقدار ۱۰۰ گرم در هکتار در زمان کشت (سطح B_2) بود؛ که نسبت به شاهد عدم مایه‌زنی (سطح B_1) $16/18$ درصد افزایش یافت (شکل ۱ الف). در شرایطی که کود شیمیایی فسفاتی $22/5$ کیلوگرم بر هکتار دی‌آمونیم فسفات مصرف گردید مصرف کود زیستی فسفات بارور-۲ سطوح B_3 ، B_5 ، B_4 و B_2 نسبت به تیمار شاهد (سطح B_1) شاخص سطح برگ را به ترتیب به میزان $54/81$ ، $46/06$ ، $36/44$ و $25/36$ درصد افزایش دادند (شکل ۱ ب). با کاربرد 45 کیلوگرم بر هکتار دی‌آمونیم فسفات، بیشترین مقدار شاخص سطح برگ به ترتیب به میزان $5/80$ و $5/76$ مربوط به تیمار B_4 و B_3 بود. شاخص سطح برگ در تیمارهای B_4 و B_3 نسبت به حالت عدم مایه‌زنی (سطح B_1) به ترتیب به میزان $15/08$ و $14/28$ درصد افزایش نشان داد

توسط گندم بر اساس معادله ۳ محاسبه شد (Tsubo *et al.*, 2005).

$$I_{abs} = I_0 (1 - (1 - \exp(-k \times LAI))) \quad (3) \text{ معادله}$$

در این معادله I_{abs} مقدار تشعشع جذب شده توسط کانوپی گندم (مگاژول بر متر مربع)، I_0 مقدار تشعشع رسیده به بالای کانوپی (مگاژول بر متر مربع)، k ضریب انعکاس گندم که $0/05$ منظور شد، ضریب خاموشی نور کانوپی گندم که $0/5$ در نظر گرفته شد (Olesen *et al.*, 2002) و LAI شاخص سطح برگ گندم است. سپس تشعشع جذب شده از حاصل ضرب نور ورودی شبیه‌سازی شده در درصد نور جذب شده به دست آمد. مقدار کل تشعشع جذب شده به صورت تجمعی از طریق حاصل ضرب نور ورودی شبیه‌سازی شده در انتگرال کسر تشعشع فعال فتوسنتزی جذب شده نسبت به زمان، محاسبه گردید. کارایی مصرف نور بر حسب گرم بر مگاژول، از طریق محاسبه شیب خط رگرسیون بین ماده خشک (گرم در مترمربع) و میزان تشعشع تجمعی (مگاژول بر مترمربع) محاسبه گردید (Tsubo and Walker, 2002). برای اندازه‌گیری عملکرد دانه گندم در ۱۵ تیر ماه ۱۳۹۱، دو خط کناری هر کرت به‌عنوان حاشیه در نظر گرفته شده و از خطوط میانی، سطحی معادل دو مترمربع برداشت شد. همچنین، غلظت فسفر دانه با روش رنگ‌سنجی (رنگ زرد مولیبدات وانادات) با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد (Olsen and Sommers, 1982).

تجزیه آماری داده‌های آزمایش با نرم‌افزار SAS 9.2 و مقایسه میانگین‌ها با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج

که تا ورود ۵۰ درصد بوته‌ها به مرحله ساقه‌رفتن تجمع ماده خشک کند بود و پس از آن تا اواسط مرحله پر شدن دانه تجمع ماده خشک سریع بود و بعد از آن به دلیل ریزش برگ‌ها و شروع فرآیندهای رسیدگی گیاه، کاهش اندکی نشان داد (شکل ۲ و جدول ۴).

کود زیستی در شرایط عدم مصرف کود شیمیایی فسفاتی، تأثیر مثبتی بر ماده خشک گندم نداشت (شکل ۲ الف). بنابراین در این سطح از کود شیمیایی فسفاتی، هیچ کدام از سطوح مصرف کود زیستی فسفر بارور-۲، نتوانستند باعث افزایش ماده خشک تولیدی، نسبت به شاهد عدم مایه‌زنی (سطح B₁) گردند (شکل ۲ الف). در شرایطی که ۲۲/۵ کیلوگرم بر هکتار دی‌آمونیم فسفات مصرف شد، سطوح کود زیستی B₄ و B₅، ماده خشک تولیدی را نسبت به سطح B₁ به ترتیب ۱۹/۸۰ و ۴/۴۱ درصد افزایش دادند (شکل ۲ ب). در شرایطی که ۴۵ کیلوگرم بر هکتار دی‌آمونیم فسفات مصرف شد، بیشترین مقدار ماده خشک تولیدی به ترتیب مربوط به سطوح B₂، B₅، B₄ و B₃ بود که نسبت به شاهد عدم مایه‌زنی (سطح B₁) در این سطح از کود شیمیایی فسفاتی، به ترتیب ۲۹/۷، ۲۵/۹، ۴/۰۱ و ۲/۵ درصد افزایش نشان دادند (شکل ۲ ج).

افزایش ماده خشک در گیاه گندم در تیمارهای کود زیستی، احتمالاً به دلیل کاهش pH خاک و افزایش حلالیت فسفر و عناصر ریزمغذی می‌باشد. بهبود وزن خشک تولیدی در اثر مایه‌زنی با ریزجانداران حل کننده فسفات در گندم، توسط پنیام و همکاران (Pena-Yam et al., 2016) و بابانا و همکاران (Babana et al., 2016) نیز گزارش شده است. با توجه به اثرات مثبت کود زیستی بر سطح برگ و جذب نور، بدیهی است که

(شکل ۱ ج). شاخص سطح برگ با کاربرد کود زیستی فسفر افزایش یافت و این امر منجر به استفاده بهینه از نور دریافتی کانوپی و افزایش عملکرد شد. به نظر می‌رسد کود زیستی با دارا بودن باکترهای جنس باسیلوس و سودوموناس، باعث بهبود تقسیم سلولی و در نتیجه افزایش سطح برگ گیاه شده است. کود زیستی فسفات بارور-۲، باعث افزایش جذب آب و عناصر غذایی به ویژه فسفر برای گیاهان شده و با دسترسی بیشتر این عناصر، شاخص سطح برگ گندم افزایش یافت. افزایش شاخص سطح برگ تنها به دلیل افزایش تولید برگ نبوده بلکه با افزایش دوام سطح برگ، تأخیر در پیری و زرد شدن برگ، ارتباط دارد (Hakan, 2002). در اغلب آزمایش‌های صورت گرفته در رابطه با کودهای زیستی و ریزجانداران حل کننده فسفات، عنوان شده که مصرف این کودها و ریزجانداران، باعث بهبود شاخص سطح برگ شده است (Kaur and Reddy, 2014). در حقیقت، کودهای زیستی علاوه بر فراهم کردن عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، از طریق تولید هورمون‌های محرک رشد، می‌توانند اثرات مثبتی را در گیاه ایجاد نمایند (Mittal et al., 2008). شاخص سطح برگ عامل اصلی تعیین کننده نفوذ نهایی نور در گیاه می‌باشد که بر فتوسنتز، تعرق و تجمع ماده خشک، اثر دارد. اگر یک گیاه بخواهد از انرژی نور خورشید استفاده کارآمد کند، باید بتواند حداکثر تشعشع خورشیدی را توسط بافت‌های سبز، جذب نماید. با افزایش سطح برگ میزان دریافت تشعشع هم بیشتر می‌شود (Shariatmadari et al., 2011).

ماده خشک کل

در طی فصل رشد، روند تجمع ماده خشک گندم در تمامی تیمارها تقریباً مشابه بود. به طوری

ماده خشک در گیاهان تلقیح شده نسبت به گیاهان تلقیح نشده افزایش یابد.

جذب تشعشع

میزان تشعشع بالای کانوپی و همچنین میزان تشعشع جذب شده توسط کانوپی گندم در شکل ۳ نشان داده شده است. الگوی تغییرات زمانی جذب تشعشع در همه تیمارها از الگوی رشد سطح برگ تبعیت کرد. بدین ترتیب که متناسب با افزایش شاخص سطح برگ گیاه، میزان تشعشع جذب شده توسط کانوپی گیاه در تمامی تیمارها نیز به تدریج افزایش یافت و سپس به علت کاهش شاخص سطح برگ در انتهای دوره رشد، روند نزولی در پیش گرفت (شکل ۳). این موضوع با نتایج سایر محققان مبنی بر تطابق روند افزایش شاخص سطح برگ با روند جذب تشعشع مطابقت دارد (Yousef Nia et al., 2015). نتایج نشان داد که درصد جذب نور تحت تأثیر کاربرد کود زیستی قرار گرفت (شکل ۳). در شرایط عدم مصرف کود شیمیایی، جذب نور توسط کانوپی گندم در سطح کود زیستی B₂ به مراتب بالاتر از سایر سطوح کود زیستی بود (شکل ۳الف). با کاربرد ۲۲/۵ کیلوگرم بر هکتار دی‌آمونیم فسفات، جذب نور توسط کانوپی گندم در تیمارهای کود زیستی، بیشتر از تیمار شاهد (عدم مصرف کود زیستی) بود (شکل ۳ب). همچنین، با افزایش مصرف کود شیمیایی به ۴۵ کیلوگرم بر هکتار دی‌آمونیم فسفات، تیمار B₃ بیشترین جذب تشعشع را دارا بود (شکل ۳ج). احتمالاً علت جذب بیشتر تشعشع گندم با کاربرد کود زیستی در مقایسه با شاهد، شاخص سطح برگ بیشتر این گیاه است. گوش (Ghosh, 2000) ضمن بررسی اثر کودهای زیستی و هورمون‌های رشد بر تولید کنجد، گزارش کرد که کارایی جذب انرژی تابشی

به میزان سطح برگ و توزیع برگ‌ها در داخل سایه‌انداز، بستگی داشت.

کارایی مصرف نور

تجمع ماده خشک گندم ارتباط خطی با تشعشع فعال فتوسنتزی تجمعی داشت و ضریب همبستگی آن در بین تیمارهای مختلف بین ۰/۴۷ تا ۰/۸۰ متغیر بود (شکل ۴). شیب این ارتباط بیانگر کارایی مصرف نور می‌باشد که میانگین آن در طول فصل رشد از ۱/۱۶ گرم بر مگاژول در تیمار بدون کود شیمیایی و B₄ تا ۲/۴۵ گرم بر مگاژول در تیمار با کود، B₄ متغیر بود و کارایی مصرف نور سایر تیمارها حد واسط این دو تیمار بود (شکل ۴). در شرایط عدم مصرف کود شیمیایی فسفر، بیشترین مقدار کارایی مصرف نور ۲/۰۲ گرم بر مگاژول با کاربرد کود زیستی B₂ به‌دست آمد که ۲۰/۱۱ درصد بیشتر از تیمار شاهد بدون کود زیستی بود (شکل ۴الف). با کاربرد ۲۲/۵ کیلوگرم بر هکتار دی‌آمونیم فسفات، بیشترین میزان کارایی مصرف نور به‌ترتیب ۱/۹۸ و ۱/۵۲ گرم بر مگاژول، از سطوح B₃ و B₂ کود زیستی مشاهده گردید که نسبت به تیمار شاهد به‌ترتیب ۳۸/۴۶ و ۶/۹۹ درصد بیشتر بود (شکل ۴ب). با مصرف ۴۵ کیلوگرم بر هکتار دی‌آمونیم فسفات، بیشترین کارایی مصرف نور از تیمار B₄ به‌دست آمد که ۲۳ درصد در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافته بود. به نظر می‌رسد کودهای زیستی با افزایش دسترسی به عناصر غذایی به خصوص فسفر، باعث افزایش رشد رویشی و در نتیجه افزایش سطح برگ و توسعه بیشتر کانوپی آنها شده که موجب افزایش کارایی محصول در استفاده از انرژی نورانی و سنتز بیشتر مواد فتوسنتزی می‌شود. مقادیر گزارش شده برای کارایی مصرف نور گندم در مطالعات مختلف بسته

گرم در هکتار در زمان کاشت + ۱۰۰ گرم در هکتار در مرحله ساقه‌رفتن) و سطح B₂ (مصرف کود زیستی به میزان ۱۰۰ گرم در هکتار در زمان کاشت) به دست آمد که اگرچه با شاهد عدم مایه‌زنی با باکتری‌های حل‌کننده فسفات (سطح B₁) تفاوت معنی‌داری نداشتند، اما باعث افزایش عملکرد دانه به ترتیب به میزان ۹/۸ و ۹/۳ درصد نسبت به شاهد عدم مایه‌زنی با باکتری‌های حل‌کننده فسفات شدند (شکل ۵).

پشت‌مساری و همکاران (Poshtmassari *et al.*, 2008) در آزمایشی بر روی باقلا عنوان کردند مصرف کود زیستی بارور ۲ نسبت به تیمار عدم مصرف آن، عملکرد دانه را به طور معنی‌داری بهبود بخشید. این در حالی بود که عملکرد دانه تحت تأثیر مصرف کود شیمیایی فسفاتی (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بر اساس آزمون خاک) قرار نگرفت. افزایش عملکرد دانه گندم تحت تأثیر کودهای زیستی حل‌کننده فسفر نیز توسط بهاری‌ساروری و پیردشتی (Bahari Saruei and Pirdashti, 2013) گزارش شده است. نتایج این پژوهش‌ها نشان داده است که مکانیسم‌های زیادی مسئول افزایش رشد و عملکرد در گیاهان می‌باشند. علاوه بر افزایش جذب عناصر غذایی، تولید هورمون‌های گیاهی به وسیله ریزجانداران در ریزوسفر گیاه، توان تولید ACC دی‌آمیناز، کنترل بیماری‌های گیاهی، قدرت حل‌کنندگی فسفات و تولید سیدروفور از جمله مکانیسم‌های افزایش رشد و عملکرد در گیاهان می‌باشد (Han *et al.*, 2006). طبیعی است که پاسخ گیاهان مختلف به تلقیح میکروبی یکسان نبوده و علاوه بر آن شرایط آزمایش مانند نوع گیاه، رقم گیاه، نوع آزمایش گلدانی یا مزرعه‌ای، حاصلخیزی خاک مورد آزمایش و سایر عوامل مانند کاربرد یا مواد اصلاحی دیگر در

به شرایط آزمایش متفاوت می‌باشد. برای مثال اولسون و همکاران (Olesen *et al.*, 2002) و اوکونل و همکاران (O'Connell *et al.*, 2004) کارآیی مصرف نور گندم را در آزمایش‌های مختلف بین ۱/۸ تا ۴/۲ و با میانگین ۲/۷ گرم بر مگاژول به دست آوردند. آروین و وفابخش (Arvin and Vafabakhsh, 2016) گزارش کردند باکتری‌های سودوموناس فلورسنس سویه ۱۶۹ (P. *fluorescens*) و سودوموناس پوتیدا سویه ۱۰۸ از طریق ایجاد کلونی در اطراف ریشه و نگهداری و جذب رطوبت، باعث افزایش کارآیی مصرف نور در ژنوتیپ‌های مختلف کلزا نسبت به تیمار شاهد شده است که این می‌تواند در تولید عملکرد نهایی، نقش داشته باشد.

عملکرد دانه و غلظت فسفر دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر کود زیستی فسفر بارور-۲ در سطح احتمال پنج درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۲). اما اثر ساده کود شیمیایی فسفاتی و نیز اثر متقابل کود شیمیایی فسفاتی و کود زیستی بارور-۲، بر این صفت معنی‌دار نشد (جدول ۲). همچنین غلظت فسفر دانه گندم تحت تأثیر کودهای شیمیایی و زیستی فسفر قرار نگرفت (جدول ۲). هم‌سو با نتیجه به دست آمده، پونگوزالی و همکاران (Poonguzhali *et al.*, 2005) نیز عنوان کردند اثر تلقیح با سویه‌های باکتری سودوموناس با توان حل‌کنندگی فسفات، بر مقدار فسفر موجود در دانه، معنی‌دار نمی‌باشد. آنها در بیان علت این یافته عنوان کردند که تحریک رشدی گیاه در اثر عوامل دیگری به جز حل‌کنندگی فسفر رخ داده است. بیشترین مقدار عملکرد دانه ۹۰۰۷ و ۸۹۶۰/۲ کیلوگرم در هکتار به ترتیب از سطح B₃ (مصرف کود زیستی در دو مرحله به میزان ۱۰۰

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این آزمایش نشان داد که کود زیستی بارور ۲، صرف نظر از مقدار مصرف کود شیمیایی فسفره، شاخص سطح برگ گندم را از ۱۴ تا ۵۴ درصد افزایش داد. این اثر مثبت بر شاخص سطح برگ همراه با تاخیر در پیری برگها، افزایش جذب نور و بهبود ۲/۶ تا ۱۱۱ درصدی کارایی مصرف نور کانوپی گندم را به دنبال داشت. این اثرات در تیمارهای B₂ و B₃ از سایر تیمارهای کود زیستی مشهودتر بود. افزایش شاخص سطح برگ و بهبود جذب و کارایی مصرف نور، منجر به ارتقاء عملکرد بیولوژیکی و اقتصادی گندم شد به نحوی که ماده خشک کل با کاربرد ۴۵ کیلوگرم بر هکتار دی‌آمونیم فسفات و سطوح کود زیستی B₂، B₅، B₄ و B₃ نسبت به تیمار شاهد، به ترتیب ۲۹/۷، ۲۵/۹، ۴/۰ و ۲/۵ درصد افزایش یافت و عملکرد دانه نیز بطور متوسط در سطوح مختلف کاربرد کود زیستی به میزان حدود ۱۰ درصد در مقایسه با تیمار شاهد افزایش نشان داد. در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که کود زیستی فسفر بارور-۲، احتمالاً از طریق افزایش حلالیت فسفر، حتی در تیمارهای مصرف کود شیمیایی فسفره، مخصوصاً تیمار ۲۲/۵ کیلوگرم دی‌آمونیم فسفات در هکتار، نتیجه مطلوبی در افزایش عملکرد دانه گندم دارد.

کارایی پاسخ گیاه به تلقیح میکروبی می‌تواند مؤثر باشد.

نتایج تحقیقات ملکوتی (Malakooti, 2000) نشان می‌دهد در طول ۴۰ سال گذشته بر اثر مصرف نامتعادل کودهای شیمیایی، خصوصاً کاربرد نامتوازن کودهای فسفاتی، اختلالات عمده‌ای در خاک‌های زراعی کشور به وجود آمده است. نتایج تحقیقات مذکور نشان می‌دهد که طی ۴۰ سال گذشته، هیچ گونه رابطه معنی‌دار آماری بین مصرف کودهای فسفوری و تولیدات کشاورزی وجود نداشته است. مصرف بیشتر کود شیمیایی فسفوری نسبت به مصرف کمتر و عدم مصرف آن، نتوانست باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه گردد این نتیجه می‌تواند دو علت داشته باشد: الف- یا مقدار فسفر فراهم موجود در خاک برای گیاه کافی بوده و نیازی به افزودن کود شیمیایی فسفوری نبوده است. ب- و یا با توجه به بالا بودن عملکرد دانه گندم پیشگام، مقدار کود شیمیایی فسفوری توصیه شده، بسیار پایین‌تر از نیاز گیاه بوده است. زیرا در حال حاضر توصیه آزمایشگاه‌های خاک‌شناسی برای مصرف کودهای شیمیایی در گندم پاییزه، بر اساس عملکرد دانه ۴-۶ تن در هکتار است.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش (عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک)

Table 1- Physical and chemical characteristics of soil of experimental field (soil depth 0-30 cm)

بافت خاک Soil Texture	pH	ماده آلی OC (%)	فسفر قابل جذب P (mg/kg)	پتاسیم قابل جذب K (mg/kg)	نیتروژن کل Total N (%)
لوم رسی شنی (Sandy clay loam)	7.78	0.80	12.7	312	0.08

*

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرات کود شیمیایی و زیستی فسفر بر عملکرد و غلظت فسفر دانه گندم

Table 2- Analysis of variance (mean squares) of phosphorus fertilizer and biofertilizer effects on grain yield and phosphorus concentration

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	عملکرد دانه Grain yield	غلظت فسفر Phosphorus concentration
تکرار Replication	2	1301809 ^{ns}	598802 ^{ns}
کود شیمیایی فسفر Phosphorus fertilizer	2	1489180 ^{ns}	22248 ^{ns}
کود زیستی فسفر phosphorus biofertilizer	4	1686311*	224312 ^{ns}
کود شیمیایی × کود زیستی Phosphorus Fertilizer × Biofertilizer	8	944001 ^{ns}	157772 ^{ns}
خطای آزمایشی Error	28	740212	268527
ضریب تغییرات CV (%)		10.05	15.62

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد، ns: غیرمعنی‌دار

* and **: Significant at 5 and 1% probability levels, respectively. ns: non significant

جدول ۳- پارامترهای مدل غیرخطی برازش داده شده تیمارهای کود شیمیایی و زیستی فسفر بر روند شاخص سطح برگ گندم رقم پیشگام

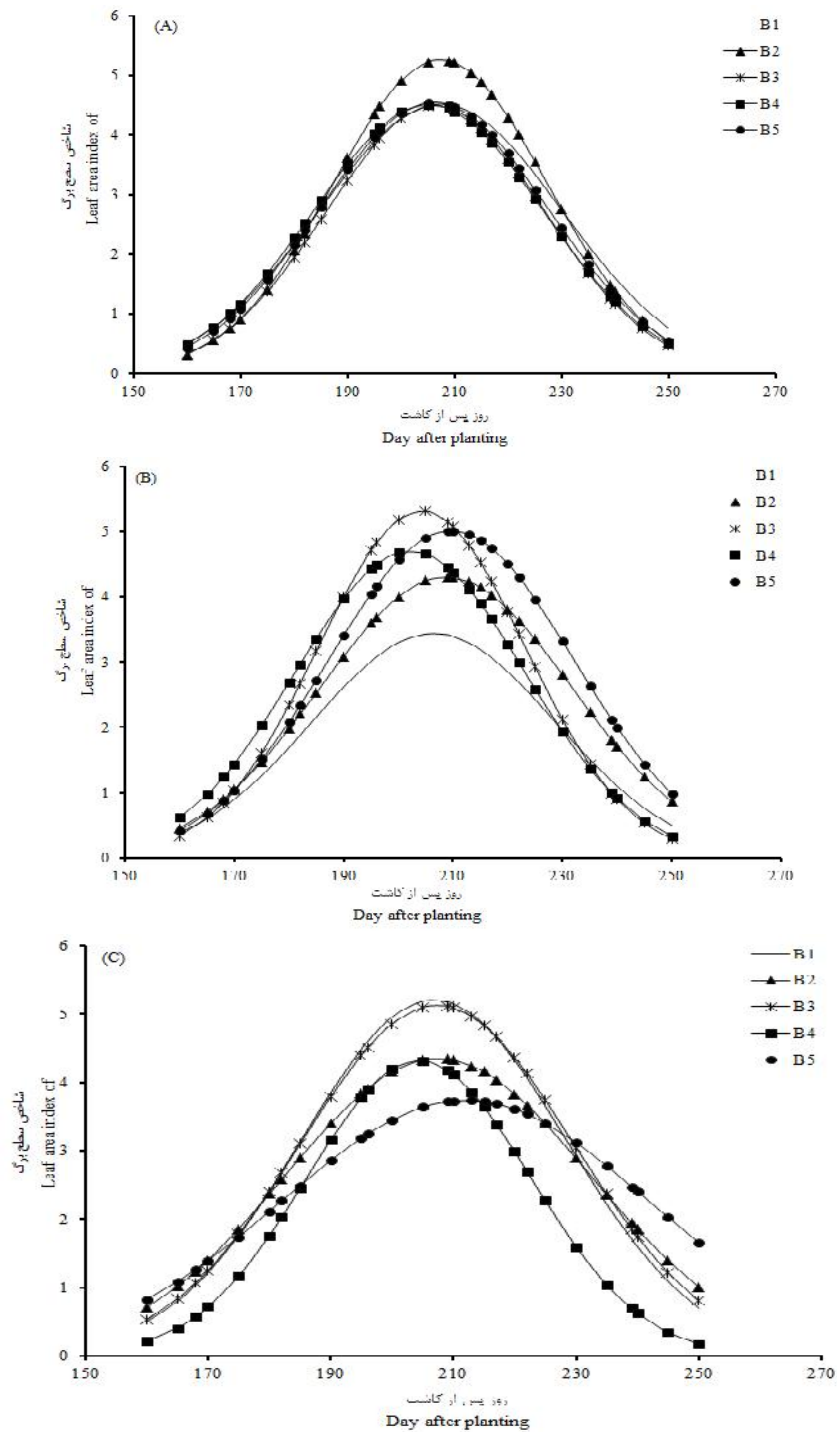
Table 3- Non-linear model parameters fitted to phosphorus fertilizer and biofertilizer on leaf area index of wheat cv. Pishgam

کود شیمیایی فسفر Phosphorus fertilizer	کود زیستی فسفر Phosphorus biofertilizer	a ₁	b ₁	c ₁	R ²
P ₁	B ₁	-0.0009759	0.4047518	-40.4594661	0.911
	B ₂	-0.0012498	0.5182763	-52.0626266	0.981
	B ₃	-0.0011998	0.4954811	-49.6434955	0.952
	B ₄	-0.0010932	0.4471290	-44.3470270	0.871
	B ₅	-0.0010888	0.4493556	-44.7973554	0.919
P ₂	B ₁	-0.0010063	0.4170084	-41.8074502	0.874
	B ₂	-0.0009406	0.3926333	-39.5119189	0.934
	B ₃	-0.0013880	0.5678909	-56.3313840	0.981
	B ₄	-0.0011374	0.4609122	-45.0376707	0.856
	B ₅	-0.0009980	0.4184606	-42.2523105	0.921
P ₃	B ₁	-0.0010717	0.4425594	-44.1097383	0.966
	B ₂	-0.0008048	0.3339125	-33.1642188	0.983
	B ₃	-0.0010091	0.4188148	-41.7799891	0.987
	B ₄	-0.0015074	0.6172024	-61.6044384	0.908
	B ₅	-0.0005580	0.2365111	-23.7414558	0.751

جدول ۴- پارامترهای مدل غیرخطی برازش داده شده تیمارهای کود شیمیایی و زیستی فسفر بر روند ماده خشک کل گندم رقم پیشگام

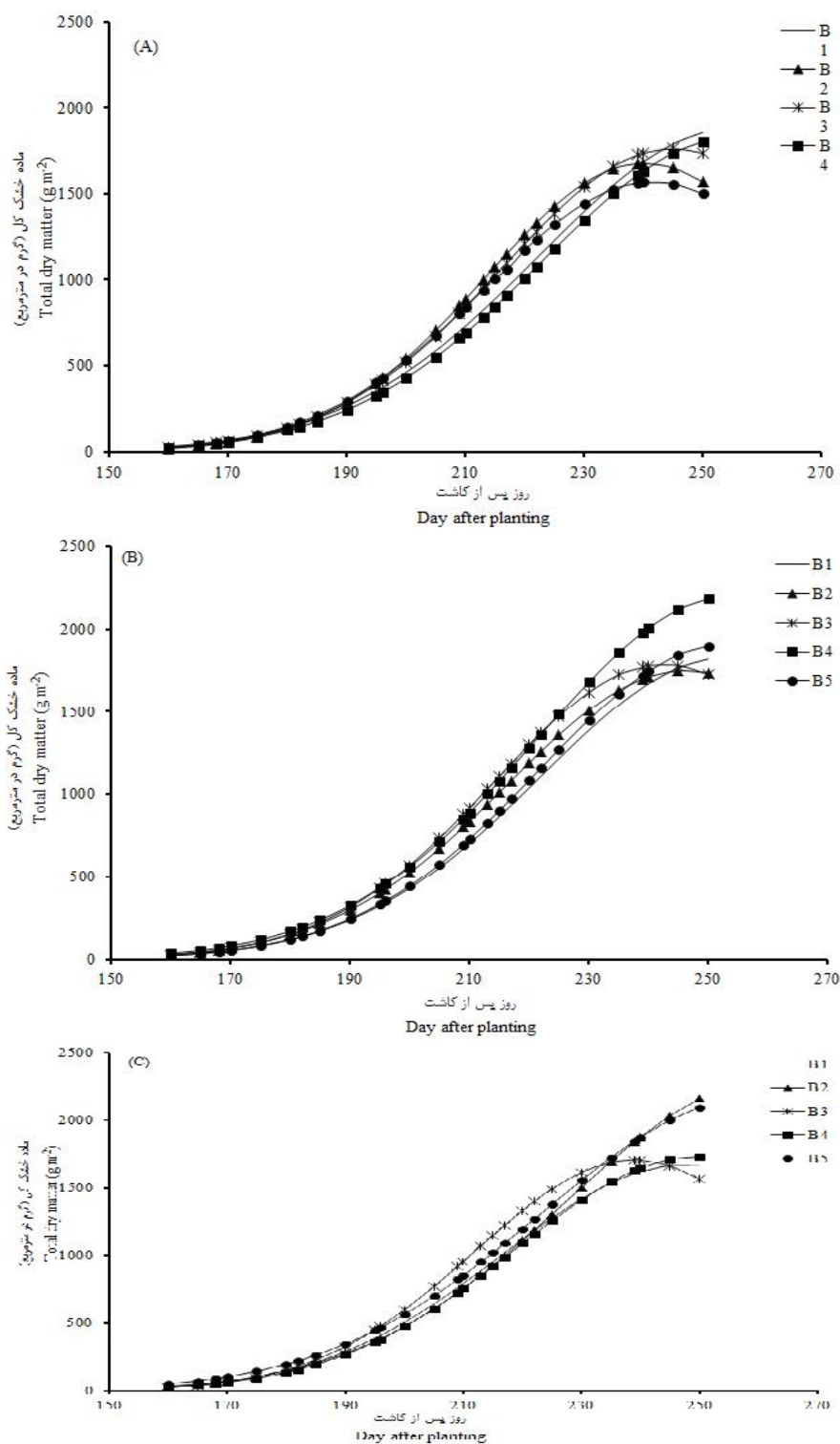
Table 4- Non-linear model parameters fitted to phosphorus fertilizer and biofertilizer on total dry matter of wheat cv. Pishgam

کود شیمیایی فسفر Phosphorus fertilizer	کود زیستی فسفر Phosphorus biofertilizer	a	b	c	R ²
P ₁	B ₁	-0.0004534	0.2319077	-22.1146472	0.996
	B ₂	-0.0006999	0.3362877	-32.9633771	0.998
	B ₃	-0.0006022	0.2951139	-28.6887442	0.992
	B ₄	-0.0004706	0.2405723	-23.2394601	0.990
	B ₅	-0.0006263	0.3026129	-29.1936956	0.996
P ₂	B ₁	-0.0005066	0.2568699	-25.0454486	0.993
	B ₂	-0.0005609	0.2762884	-26.5573670	0.998
	B ₃	-0.0006285	0.3049709	-29.5035379	0.993
	B ₄	-0.0004673	0.2374204	-22.4598105	0.995
	B ₅	-0.0005177	0.2620571	-25.6070839	0.990
P ₃	B ₁	-0.0005315	0.2630091	-25.1202244	0.996
	B ₂	-0.0004071	0.2135349	-20.2597194	0.987
	B ₃	-0.0006936	0.3313557	-32.1334327	0.999
	B ₄	-0.00052552	0.26243787	-25.30931449	0.991
	B ₅	-0.0003796	0.1970762	-17.8988144	0.994



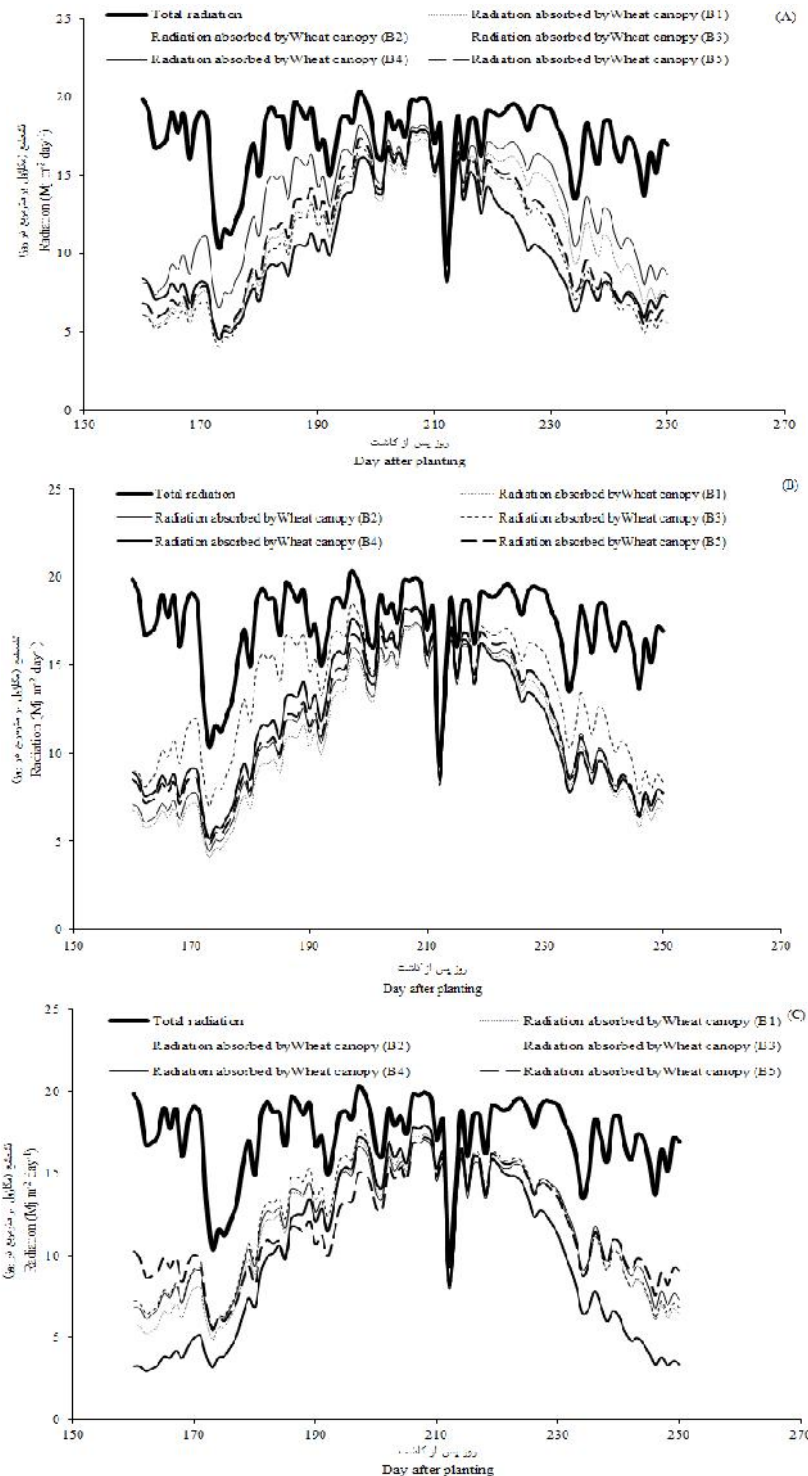
شکل ۱- اثر سطوح کود زیستی بارور ۲ بر روند تغییرات شاخص سطح برگ گندم رقم پیشگام در سطوح صفر (A)، ۲۲/۵ (B) و ۴۵ (C) کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر از منبع دی‌آمونیم فسفات

Figure 1- The effects of biofertilizer barvar-2 on trend of wheat cv. Pishgam leaf area index in phosphate fertilizer levels of $0 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (A), $22.5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (B) and $45 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (C) diammonium phosphate



شکل ۲- اثر سطوح کود زیستی بارور ۲ بر روند تغییرات ماده خشک گندم رقم پیشگام در سطوح صفر (A)، ۲۲/۵ (B) و ۴۵ (C) کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر از منبع دی‌آمونیم فسفات.

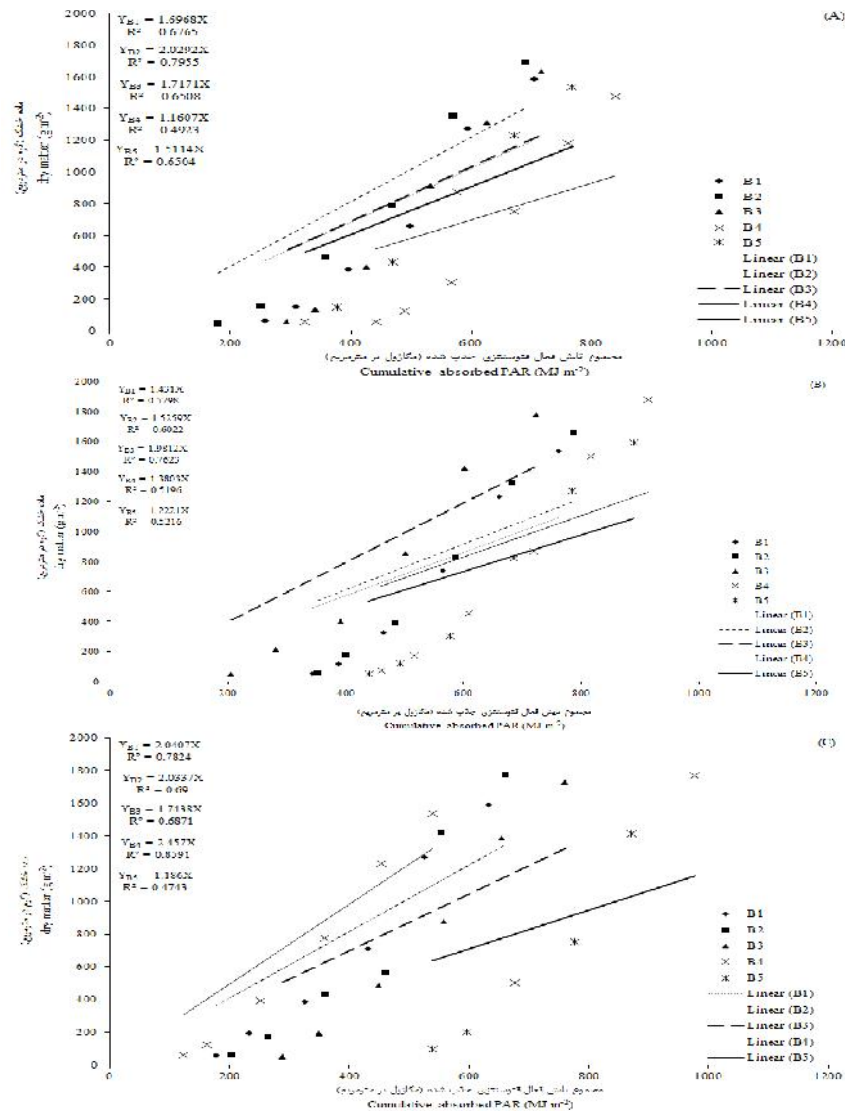
Figure 2- The effect of biofertilizer barvar-2 on trend in dry matter of wheat cultivar Pishgam in phosphate fertilizer levels of 0 kg.ha⁻¹ (A), 22.5 kg.ha⁻¹ (B) and 45 kg.ha⁻¹ (C) diammonium phosphate



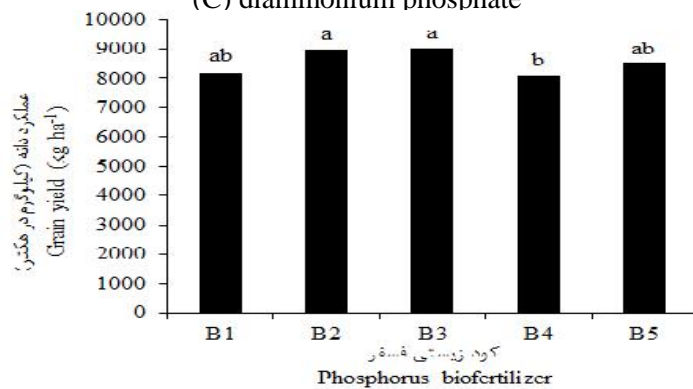
شکل ۳- اثر سطوح کود زیستی بارور ۲ بر تشعشع جذب شده توسط گندم رقم پیشگام در سطوح صفر

(A)، (B) ۲۲/۵ و (C) ۴۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر از منبع دی آمونیوم فسفات

Figure 3- The effect of biofertilizer barvar-2 on absorbed radiation by wheat cv. Pishgam in phosphate fertilizer levels of 0 kg.ha⁻¹ (A), 22.5 kg.ha⁻¹ (B) and 45 kg.ha⁻¹ (C) diammonium phosphate



شکل ۴- اثر سطوح کود زیستی بارور ۲ بر کارایی مصرف نور گندم رقم پیشگام در سطوح ۰ (A) و ۲۲/۵ (B) و ۴۵ (C) کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر از منبع دی‌آمونیم فسفات
Figure 4- The effects of biofertilizer Barvar-2 on radiation use efficiency of wheat cv. Pishgam in phosphate fertilizer levels of 0 kg ha⁻¹ (A), 22.5 kg ha⁻¹ (B) and 45 kg ha⁻¹ (C) diammonium phosphate



شکل ۵- اثرات کودهای زیستی فسفر بر عملکرد دانه گندم
Figure 5- The effects of phosphorus biofertilizer on grain yield of wheat

References

منابع مورد استفاده

- Akmal, M., and M.J.J. Janssens. 2004. Productivity and light use efficiency of perennial ryegrass with contrasting water nitrogen supply. *Field Crop Research*. 88: 143-155.
- Arvin, P., and J. Vafabakhsh. 2016. Study of drought and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on radiation use efficiency and dry matter partitioning into pod in different cultivars of oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Iranian Journal of Journal of Agroecology*. 8 (1): 134-152. (In Persian).
- Babana, A.H., A. Kassoguea, A.H. Dickoa, K. Maigaa, F. Samake, D. Traorea, R. Fane, and F.A. Faradji. 2016. Development of a biological phosphate fertilizer to improve wheat (*Triticum aestivum* L.) production in Mali. *Procedia Engineering*. 138: 319-324.
- Bahari Saruei, H., and H. Pirdashti. 2013. Evaluation of application of plant growth stimulating bacteria (PGPR) and phosphate solubilizing microorganism (PSM) on wheat yield and yield components (N80 variety) at different levels of nitrogen and phosphorus in greenhouse conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 10 (4): 681-689. (In Persian).
- El-Komy, H.M.A. 2005. Coimmobilization of *Azospirillum lipoferum* and *Bacillus megaterium* for successful phosphorus and nitrogen nutrition of wheat plants. *Food Technology and Biotechnology*. 43(1): 19-27.
- Ghosh, D.C. 2000. Growth and productivity of summer sesame (*Sesamum indicum*) as influenced by biofertilizer and growth-regulator. *Indian Journal of Agronomy*. 45(2): 389-394.
- Goudriaan, J., and H.H. van Laar. 1994. Modelling potential crop growth processes. Kluwer Academic Press. 293pp.
- Hakan, O. 2002. Sowing date and nitrogen rate effects on growth, yield and yield components of two summer rapeseed cultivars. *Agronomy Journal*. 19: 453-463.
- Han, H., S. Supanjani, and K.D. lee. 2006. Effect of co-inoculation with phosphate and potassium soluble bacteria on mineral uptake and growth of popper and cucumber. *Plant Soil and Environment*. 52(3): 6-13.
- Holt, S.J. 2005. Plant response to light: A potential tool for weed management. *Weed Science*. 43: 474-482.
- Hosseini, R., S. Galeshi, A. Soltani, M. Kalateh, and M. Zahed. 2014. The effect of nitrogen rate on extinction coefficient and radiation use efficiency in wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 12(1): 44-52. (In Persian).
- Kamkar, B., A. Koocheki, M. Nasiri Mahallati, and P. Rezvani Moghaddam. 2003. Evaluation of radiation use efficiency and its relationship with dry matter accumulation in three millet species. *Journal of Agronomy Research*. 2(2): 198-211. (In Persian).
- Kapoor, R., B. Giri, and K.G. Mukerji. 2002. *Glomus macrocarpum*: a potential bioinoculant to improve essential oil quality and concentration in Dill (*Anethum graveolens* L.) and Carum (*Trachyspermum ammi* Sprague). *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 18: 459-463.

- Kapoor, R., B. Giri, and K.G. Mukerji. 2004. Improved growth and essential oil yield and quality in *foeniculum vulgare* Mill. on mycorrhizal inoculation supplemented with P-fertilizer. *Bioresource Technology*. 93: 307-311.
- Kaur, G., and M.S. Reddy. 2014. Influence of P-solubilizing bacteria on crop yield and soil fertility at multilocational sites. *European Journal of Soil Biology*. 61: 35-40.
- Liu, F.P., H.Q. Liu, H.L. Zhou, Z.G. Dong, X.H. Bai, P. Bai, and J.J. Qiao. 2014. Isolation and characterization of phosphate-solubilizing bacteria from betel nut (*Areca catechu*) and their effects on plant growth and phosphorus mobilization in tropical soils. *Biology Fertilizer Soils*. 50: 927-937.
- Mahidi, S., S. Hassan, G.I. Hussain, and A. Faisal-ur-Rasool. 2011. Phosphorus availability issue-its fixation and role of phosphate solubilizing bacteria in phosphate solubilization-case study. *Agricultural Science Research Journal*. 2: 174-179.
- Malakooti, M.J. 2000. Permanent farming and increase yield with betterment use fertilizer in Iran. Agricultural Education Publication, Karaj, Iran. 192pp. (In Persian).
- Mirzaei Heydari, M., A. Maleki, R. Brook, and D. Jones. 2009. Efficiency of phosphorus solubilising bacteria and phosphorus chemical fertilizer on yield and yield components of wheat cultivar (Chamran). *Aspects of Applied Biology*. 98: 189-192.
- Mirzaei, M.A., A. Maleki, and R. Karami. 2007. Evaluating the effect of phosphate biofertilizer and different phosphate fertilizer on yield and yield components of wheat. Proceedings of 10th Soil Science Conference. 26-28, Aug. Karaj, Iran. (In Persian).
- Mittal, V., O. Sigh, H. Nayyar, G. Kaur, and R. Tewari. 2008. Stimulatory effect of phosphate solubilizing fungal strains (*Aspergillus awarvori* and *Pencillum citrinum*) on the yield of chickpea (*Cicer arietinum* L. cv. GPF2.). *Soil Biology and Biochemistry*. 40: 718-727.
- Monteith, J.L. 1977. Climate and the efficiency of crop production in Britain. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. 281: 277-294.
- O'Connell, M.G., G.J. O'Leary, D.M. Whitfield, and D.J. Connor. 2004. Interception of photosynthetically active radiation and radiation use efficiency of wheat, field pea and mustard in a semi-arid environment. *Field Crops Research*. 85: 111-124.
- Olesen, J.E., J. Berntsen, E.M. Hansen, B.M. Petersen, and J. Petersen. 2002. Crop nitrogen demand and canopy area expansion in winter wheat during vegetative growth. *European Journal of Agronomy*. 16: 279-294.
- Olsen, S.R. and L.E. Sommers. 1982. Phosphorus. In: Methods of soil analysis. Chemical and microbiological properties. Page, A.L., R.H. Miller, and D.R. Keeny. (eds.). pp: 403-430. American Society of Agronomy, U.S.A.
- Pena-Yam, L.P., E. Ruiz-Sanchez, J.E. Barboza-Corona, and A. Reyes-Ramirez. 2016. Isolation of Mexican bacillus species and their effects in promoting growth of chili pepper (*Capsicum annum* L. cv. jalapeno). *Indian Journal of Microbiology*. 56 (3): 375-378.
- Poonguzhali, S., M. Madhaiyan, M. Thangaraju, J. Ryu, K. Chung, and T. SA. 2005. Effect of co-cultures, containing N fixer and P-solubilizer, on the growth and yield

- of pearl millet (*pennisetum glaucum* L. R. BR.) and black gram (*vigna mungo* L.). *Journal of Microbiology Biotechnology*. 15: 903-908.
- Roberts, T.L. 2008. Improving nutrient use efficiency. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 32: 177-182.
 - Safari Sinegan, A.E., Z. Sarifi, and M. Safari Sinegan. 2010. Laboratory methods in microbiology. Bu-Ali Sina University Publication, Hamedan, Iran. 525 pp. (In Persian).
 - Sahay, R., and D.D. Patra. 2014. Identification and performance of sodicity tolerant phosphate solubilizing bacterial isolates on *Ocimum basilicum* in sodic soil. *Ecological Engineering*. 71: 639-643.
 - Sarikhani, M.R., N. Aliasgharzad, and M.A. Malboobi. 2013. Improvement of wheat phosphorus nutrition using phosphate solubilizing bacteria. *Journal of Soil Management and Sustainable*. 3(1): 39-57.
 - Sarmadnia, G.H., and A. Koochaky. 1989. Crop plant physiology. Mashhad University Publication, Iran. 327pp (In Persian).
 - Shariatmadari, M.H., G.R. Zemani, and M.H. Sayari. 2011. Effect of salinity and foliar spraying with Fe on leaf area index, absorption radiation and relation with grain yield of sunflower. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 9(2): 285-293. (In Persian).
 - Sharma, A., and H. Sharma. 2013. Role of vesicular arbuscular mycorrhiza in the mycoremediation of heavy toxic metals from soil. *International Journal of Life Sciences Biotechnology and Pharma Research*. 2: 418-431.
 - Tsubo, M., and S. Walker. 2002. A model of radiation interception and use by a maize/bean intercrop canopy. *Agricultural and Forest Meteorology*. 110: 203-215.
 - Tsubo, M., S. Walker, and H.O. Ogindo. 2005. A simulation model of cereal legume intercropping systems for semi-arid regions I. Model development. *Field Crops Research*. 93: 10-22.
 - Yousef Nia, M., M. Banayan Aval, and S. Khorramdel. 2015. Evaluation of radiation use and interception of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) and dill (*Anethum graveolens* L.) intercropping canopy. *Journal of Agroecology*. 7(3): 412-424. (In Persian).
 - Yu, X., X. Liu, T.H. Zhu, G.H. Liu, and C. Mao. 2011. Isolation and characterization of phosphate-solubilizing bacteria from walnut and their effect on growth and phosphorus mobilization. *Biology Fertilizer Soils*. 47: 437-446.
 - Zhang, L., W. Vander Werf, L. Bastiaans, S. Zhang, B. Li, and J.H. Spiertz. 2008. Light interception and utilization in relay intercrops of wheat and cotton. *Field Crops Research*. 107: 29-42.
 - Zhu, H.J., L.F. Sun, Y.F. Zhang, X.L. Zhang, and J.J. Qiao. 2012. Conversion of spent mushroom substrate to biofertilizer using a stress-tolerant phosphate solubilizing *Pichia farinose* FL7. *Bioresource Technology*. 11: 410-416.

The Effect of Biological and Chemical Phosphorus Fertilizers on Radiation Use Efficiency, P Concentration and Yield of Wheat Cultivar (Pishgam)

Somayeh Vejdani Aram¹, Goudarz Ahmadvand^{2*}, and Somayeh Hajinia³

Received: May 2017, Revised: 7 January 2018, Accepted: 29 August 2018

Abstract

To evaluate the effect of biological and chemical phosphorous fertilizers on radiation use efficiency, P concentration and yield of wheat cultivar (Pishgam) A field study was carried out as a factorial experiment based on a randomized complete block design with three replications, in 2011-2012 at the Agricultural and Natural Research Station of Hamedan province. The factors were three levels of phosphorus fertilizer (P_1) 0, (P_2) 22.5 and (P_3) 45 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ diammonium phosphate of based on soil test and five levels of biofertilizer applications: non-biofertilizer application (B_1), biofertilizer application at the rate of 100 $\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$ at planting (B_2), biofertilizer application in two stages, at the rate of 100 $\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$ at planting and 100 $\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$ in the spring (B_3), biofertilizer application at the rate of 200 $\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$ at planting (B_4), biofertilizer application in two stages, at the rate of 200 $\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$ at planting and 200 $\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$ in the spring (B_5). The results showed the highest leaf area index (5.8 and 5.7, respectively) was produced in biofertilizer of B_4 and B_3 levels with application of 45 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ diammonium phosphate. Application of 45 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ diammonium phosphate with biofertilizers of B_2 , B_5 , B_4 and B_3 levels, caused an increase in total dry matter about 29.7, 25.9, 4.0 and 2.5 percent, respectively, as compared to that of control. The highest radiation use efficiency of 2.45 $\text{g}\cdot\text{m}^2\cdot\text{m}^{-1}$ belonged to 45 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ diammonium phosphate with biofertilizers of B_4 which was 23 percent more than that of control. Bio-fertilizer of B_3 and B_2 levels increased grain yield of wheat by 9.8 and 9.3 percent, respectively, as compared to that of control. Finally it can be stated that biofertilizer Barvar-2, resulted in the increase of grain yield.

Key words: Absorption of radiation, Biofertilizer, Leaf area, Phosphorus, Wheat.

1- M.Sc. Graduated of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Bu Ali Sina, Hamedan, Iran.

2- Associate Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

3- Ph.D. Graduated of Crop Physiology, Faculty of Agriculture, University of Bu Ali Sina, Hamedan, Iran.

* Corresponding Author: gahmadvand@basu.ac.ir