



اثر باکتری‌های حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریزا بر ویژگی‌های فنولوژیک و فیزیولوژیک گندم در شرایط دیم

رحیم ناصری^{۱*}، مهرشاد براری^۱، محمدجواد زارع^۱، کاظم خاوازی^۲، زهرا طهماسبی^۱ و آنینا یاقوتی‌پور^۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۶/۷

تاریخ بازنگری: ۱۳۹۵/۲/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۲/۱۴

چکیده

این آزمایش مزرعه‌ای به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی سرابله (ایلام) در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل دو رقم گندم (کراس سبلان و ساجی) و منابع کودی در هشت سطح شامل: ۱- عدم مصرف کود شیمیایی فسفر، ۲- ۱۰۰٪ کود شیمیایی فسفر، ۳- باکتری سودوموناس پوتیدا (*Pseudomonas putida*)، ۴- قارچ فانیلی فورمیس موسه (*Funeliformis mosseae*)، ۵- باکتری سودوموناس پوتیدا + قارچ فانیلی فورمیس موسه، ۶- باکتری سودوموناس پوتیدا + قارچ فانیلی فورمیس موسه + ۵۰٪ کود شیمیایی فسفر، ۷- باکتری سودوموناس پوتیدا + ۵۰٪ کود شیمیایی فسفر و ۸- قارچ فانیلی فورمیس موسه + ۵۰٪ کود شیمیایی فسفر بودند. در این پژوهش تعداد روز تا سبز شدن، ساقه‌دهی، گلدهی، گرده افشانی، رسیدگی وزنی و رسیدگی فیزیولوژیکی تحت تاثیر رقم و مخلوط کود شیمیایی و زیستی مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج حاصل از آزمایش نشان داد که استفاده از کود زیستی در شرایط دیم موجب کاهش اثرات تنش خشکی از طریق بهبود ویژگی‌های فنولوژیک گردید. بیشترین شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، تجمع ماده خشک، سرعت رشد نسبی و سرعت جذب خالص در رقم ساجی و قارچ میکوریزا + ۵۰٪ کود شیمیایی فسفر حاصل گردید. در اواخر فصل رشد، شاخص سرعت رشد محصول، سرعت جذب خالص و سرعت رشد نسبی به دلیل سایه‌اندازی و ریزش برگ‌ها منفی شدند. رقم ساجی با کاربرد قارچ فانیلی فورمیس موسه به دلیل دارا بودن شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول و تجمع ماده خشک بالا از عملکرد دانه بیشتری در شرایط دیم برخوردار بود. با توجه به نتایج به دست آمده، ترکیب تیماری رقم ساجی × قارچ فانیلی فورمیس موسه می‌تواند سبب بهبود شاخص‌های رشد و در نهایت افزایش عملکرد دانه گندم در شرایط کشت دیم گردد.

واژگان کلیدی: شاخص‌های رشد، عملکرد دانه، کود شیمیایی فسفر، کود زیستی.

مقدمه

کودهای زیستی به‌عنوان مایه تلقیح میکروبی که توانایی متحرک‌سازی عناصر غذایی خاک را برای گیاه زراعی از حالت غیرقابل دسترس به دسترس از طریق فرآیندهای بیولوژیکی‌شان دارند، اطلاق می‌شوند. باکتری‌های جنس ازتوباکتر (*Azotobacter*)، آزوسپیریوم (*Azospirillum*) و سودوموناس (*Pseudomonas*) از مهم‌ترین باکتری‌های محرک رشد گیاهی می‌باشند که با تولید مقادیر قابل ملاحظه‌ای از هورمون‌های تحریک‌کننده رشد به‌ویژه انواع اکسین، جیبرلین و سیتوکینین، رشد و نمو و عملکرد گیاهان را تحت تاثیر قرار می‌دهند (Azadi et al., 2013). تجمع ماده خشک (TDM)، شاخص سطح برگ (LAI)، سرعت رشد محصول (CGR)، سرعت رشد نسبی (RGR) و میزان جذب خالص (NAR) شاخص‌هایی هستند که معمولاً برای ارزیابی توان گیاه و بهره‌وری از عوامل محیطی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Soleymanifard et al., 2012). افزایش فسفر، روی، مس و نیتروژن گیاه در اثر استفاده از قارچ‌های میکوریزا اتفاق می‌افتد (Subramanian et al., 1997; Ghazi and John, 2003) و عاملی مانند نیتروژن، شاخص سطح برگ را در گیاه افزایش داده و موجب بالا رفتن میزان تولید ماده خشک در گیاه می‌شود (Shahhosseini et al., 2012). در شرایط تنش گرمایی به علت کاهش سطح برگ، کاهش فتوسنتز و پیری زودرس، سرعت رشد محصول کاهش می‌یابد (Alinaghizadeh et al., 2011). نتایج پژوهش‌های چودهاری و همکاران (Choudhary et al., 2017) بر گندم نشان داد که باکتری‌های حل‌کننده فسفات به دلیل شرایط مناسب محیطی و در اختیار قرار دادن آب و

عناصر غذایی برای گیاه موجب زیاد شدن شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، سرعت جذب خالص و سرعت رشد نسبی می‌شود. وو و همکاران (Wu et al., 2008) علت افزایش سرعت رشد محصول (CGR) در اثر همزیستی با قارچ میکوریزا را به بهبود جذب مواد غذایی توسط گیاه نسبت دادند. یساری و پاتواردن (Yasari and Patwardhan, 2007) گزارش کردند که سرعت رشد محصول در کلزا تحت تاثیر تلقیح گیاه با باکتری‌های فزاینده رشد نسبت به عدم تلقیح ۱۰ تا ۱۲٪ افزایش نشان داده و اظهار داشتند که باکتری‌های فزاینده رشد نسبت به تیمار شاهد، دارای سرعت رشد محصول بیشتری بودند. در پژوهش‌های سایر محققین نشان داده شد که تلقیح گندم با باکتری‌های فزاینده رشد و قارچ میکوریزا از طریق دسترسی گیاه به آب و مواد غذایی موجب افزایش RGR گردید (Shahhosseini et al., 2012). عبدالجلیل و همکاران (Abdul-Jaleel et al., 2007) اظهار داشتند که باکتری‌های محرک رشد از طریق کمک به جذب نیتروژن و سنتز آنزیم‌هایی که مقدار اتیلن در گیاه را تنظیم می‌کنند در کنار کود نیتروژنه به توسعه بهتر ریشه، تحریک رشد گیاه و افزایش انباشت ماده خشک کمک می‌کنند. سپهری و شهبازی (Sepehri and Shahbazi, 2017) افزایش سطح برگ گیاه به دلیل کاربرد باکتری سودوموناس پوتیدا را همیاری ریشه گیاهان، افزایش سطح جذب رطوبت از طریق شبکه گسترده ریشه‌ای در گیاه و افزایش جذب آب و عناصر غذایی، بیان نمودند.

امیری و همکاران (Amiri et al., 2013) نیز در گزارش‌های خود نشان داده‌اند که باکتری سودوموناس باعث افزایش رشد گیاه و در نتیجه

ابعاد هر کرت هشت مترمربع، شامل هشت ردیف به طول چهار متر با فاصله ردیف‌های کاشت ۲۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شدند. فاصله تکرارها نیز یک متر در نظر گرفته شد. باکتری‌های حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریزا از موسسه خاک و آب کرچ تهیه گردید (جدول ۱). آمار هواشناسی محل مورد آزمایش نیز در جدول ۲ ارائه شده است. قبل از کاشت گندم، به میزان هفت گرم مایه تلقیح که هر گرم آن دارای 10^7 سلول زنده باکتری سودوموناس زنده و فعال، با صمغ عربی مرطوب و قارچ میکوریزا که هر گرم آن دارای ۱۵۰ اسپور زنده بود، با بذرها تلقیح و آغشته شد (Naseri, 2017) و پس از تهیه کردن بستر کاشت، بذور تلقیح شده در شیارهای ایجاد شده کشت گردید. مقدار بذر مصرفی برای هر هکتار ۱۲۰ کیلوگرم بود. کودهای نیتروژن و فسفر بر اساس آزمون خاک (جدول ۳) مورد استفاده قرار گرفتند. کود اوره به میزان ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار در دو مرحله (در هنگام کاشت و شروع ساقه‌دهی) به مزرعه داده شد. در مورد کود فسفره ۵۰ کیلوگرم در هکتار از منبع سوپر فسفات تریپل ۱۰۰٪ در زمان کاشت مصرف گردید. به‌منظور اندازه‌گیری عملکرد دانه بوته‌های موجود در هر کرت پس از حذف اثرات حاشیه‌ای در ۲/۲۵ مترمربع به‌صورت جداگانه کف بر و محاسبه گردید. در این پژوهش صفات فنولوژیک شامل ۵۰٪ سبز شدن (۱۰)، ساقه‌دهی (۳۲)، گلدهی (۵۵)، گرده‌افشانی (۶۹)، رسیدگی‌وزنی (۸۵) و رسیدگی فیزیولوژیکی (۹۲) بر اساس شاخص زادوکس تعیین شدند. از مرحله شروع ساقه‌دهی هر دو هفته یک بار اقدام به نمونه‌گیری از سطح ۳۰ سانتی‌متر مربع و بعد از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح

افزایش سطح برگ گیاه شده است. تاکیر و پنوار (Thakur and Panwar, 1997) بیان داشتند که قارچ میکوریزا در مقایسه با تیمار عدم مصرف این قارچ باعث افزایش معنی‌داری در شاخص سطح برگ شد. از آنجا که تحقیقاتی در مورد نقش باکتری‌های حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریزا بر گندم دیم در کشور و در ایلام انجام نشده است، آزمایش حاضر با هدف بررسی اثر باکتری‌های حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریزا بر صفات فنولوژیک و فیزیولوژیک گندم دیم در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی سرابله (ایلام) انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی ویژگی‌های فنولوژیک و شاخص‌های فیزیولوژیک رشد و نمو در گندم دیم، آزمایشی مزرعه‌ای به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی سرابله (ایلام) در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ با عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۴۵ دقیقه و با طول جغرافیایی ۳۴ درجه و ۴۶ دقیقه و ارتفاع ۹۷۵ متر از سطح دریا اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل دو رقم گندم کراس‌سبلان و ساجی و تیمارهای کودی در هشت سطح: عدم مصرف کود شیمیایی فسفر، ۱۰۰٪ کود شیمیایی فسفر، باکتری سودوموناس پوتیدا، قارچ فانیلی فورمیس موسه، باکتری سودوموناس پوتیدا + قارچ فانیلی فورمیس موسه، باکتری سودوموناس پوتیدا + قارچ فانیلی فورمیس موسه + ۵۰٪ کود شیمیایی فسفر، باکتری سودوموناس پوتیدا + ۵۰٪ کود شیمیایی فسفر، قارچ فانیلی فورمیس موسه + ۵۰٪ کود شیمیایی فسفر بودند.

تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 و مقایسه میانگین داده‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد و ترسیم شکل‌ها توسط اکسل انجام گرفت.

نتایج و بحث

در این بررسی درصد سبز شدن بذور تحت تاثیر کود زیستی معنی‌دار گردید (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر ساده تیمارهای کودی نشان داد که کاربرد کود زیستی موجب سبز شدن سریع دانه‌های کشت شده در شرایط دیم می‌گردد، به طوری که تیمار شاهد (عدم مصرف کود شیمیایی و کود زیستی) با ۱۱/۱ روز دارای بیشترین و تیمار باکتری سودوموناس پوتیدا + قارچ فانیلی فورمیس موزه + ۵۰٪ کود شیمیایی فسفر با میانگین ۷/۵ روز دارای کمترین دوره درصد سبز شدن بود (جدول ۵). باکتری‌ها با تولید مواد تنظیم‌کننده رشد گیاه و نیز سایر سازوکارها می‌توانند صفات فنولوژیک گیاه را تحت تاثیر قرار دهند (Hamidi *et al.*, 2009). برخی بررسی‌ها نشان داده است که باکتری‌های سودوموناس بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه ذرت دارای تأثیر مثبت و معنی‌داری بود (Shaukat *et al.*, 2006). حافظ و همکاران (Hafeez *et al.*, 2004) نیز ظهور سریع‌تر گیاهچه‌های ارقام پنبه در اثر تلقیح بذر با ازتوباکتر را گزارش کرده‌اند. ظهور سریع‌تر گیاهچه امکان رهایی از خطر بیماری‌ها و بهره‌برداری بیشتر از فصل رشد را فراهم می‌سازد. نتایج مشابهی نیز توسط غلامی و همکاران (Gholami *et al.*, 2009) مبنی بر بهبود جوانه‌زنی و رشد گیاهچه به‌واسطه تلقیح با باکتری‌های محرک رشد گزارش شده است. در گزارش‌های سایر محققین نیز نشان داده شد که باکتری‌های فزاینده رشد بر درصد جوانه‌زنی دارای تأثیر مثبتی بودند

برگ (CI-203-2.10-05049-CID, Inc. Area Meter-made in USA) به اندازه‌گیری سطح برگ نمونه‌ها شد.

برای تعیین شاخص‌های رشد پس از حذف دو خط کناری و حذف نیم متر از ابتدا و انتهای هر کرت (از هشت ردیف، دو ردیف وسطی جهت عملکرد دانه در نظر گرفته شد)، بوته‌ها انتخاب و به آزمایشگاه منتقل شدند. در طول فصل رشد جمعاً هفت مرحله نمونه‌برداری انجام شد. پس از قرار دادن نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در داخل دستگاه آون الکتریکی ۷۰ درجه سلسیوس، وزن خشک آنها پس از اطمینان از خشک شدن با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم و مؤلفه‌های آنالیز رشد با استفاده از روابط زیر تعیین شدند.

$$LAI = a + bt + ct^2 \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$DM = a + bt + ct^2 \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$RGR = \frac{LnW_2 - LnW_1}{t_2 - t_1} \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$CGR = \frac{w_2 - w_1}{t_2 - t_1} \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$NAR = \frac{CGR}{LAI} \quad \text{رابطه (۵)}$$

در روابط فوق LAI: شاخص سطح برگ، DM: وزن خشک گیاه، CGR: سرعت رشد گیاه، RGR= سرعت رشد نسبی، NAR: سرعت جذب خالص، a، b و c ضرایب عددی، t: زمان، W₁: وزن خشک گیاه در نمونه‌گیری اول (روز) و W₂: وزن خشک گیاه در نمونه‌گیری دوم (روز)، t₁: زمان نمونه‌گیری اول (روز)، t₂: زمان نمونه‌گیری دوم (روز) می‌باشند (Soleymanifard *et al.*, 2012). برای ارزیابی روند شاخص‌ها، پس از پیدا کردن نقاط با استفاده از معادلات درجه ۲ نقاط برآزش داده و منحنی‌های رشد مشخص شدند.

۴). در این پژوهش مشاهده گردید که تعداد روز تا ۵۰٪ گلدهی در رقم کراس سبلان نسبت به رقم ساجی بیشتر است (جدول ۵). تیمارهای کود زیستی نیز دارای تاثیر معنی دار بر صفت تعداد روز تا ۵۰٪ گلدهی بودند. استفاده از کود شیمیایی فسفر + کاربرد باکتری‌های فزاینده رشد و قارچ میکوریزا موجب بیشتر شدن طول دوره گلدهی گردید به طوری که طولانی‌ترین دوره ۵۰٪ گلدهی در تیمار ۵۰٪ کود شیمیایی و مخلوط باکتری‌های فزاینده رشد و قارچ میکوریزا با ۱۶۳/۶ روز و کوتاه‌ترین آن در تیمار شاهد با ۱۵۶ روز (عدم مصرف کود شیمیایی و کود زیستی) مشاهده گردید (جدول ۵). در گزارش‌های خندان میرکوهی و همکاران (Khandan Mirkohi et al., 2015) نشان داده شد که قارچ فانیلی فورمیس موسه به طور قابل توجه و معنی داری تعداد روز تا گلدهی را افزایش داد.

تعداد روز تا پنجاه درصد گرده افشانی تحت تاثیر برهمکنش رقم × کود زیستی معنی دار گردید (جدول ۴). همان‌گونه که جدول برهمکنش رقم × کود زیستی نشان می‌دهد در هر دو رقم مورد استفاده، کاربرد کود زیستی موجب بیشتر شدن تعداد روز تا گرده افشانی می‌گردد، به طوری که رقم کراس سبلان و تیمار کاربرد کود زیستی با ۱۷۴ روز دارای بیشترین و رقم ساجی و تیمار شاهد با ۱۶۱/۶ روز (عدم مصرف کود شیمیایی و کود زیستی) دارای کمترین تعداد روز تا گرده افشانی بود (جدول ۶). آنچه مشخص است تلقیح بذر با باکتری‌های فزاینده رشد و قارچ میکوریزا در شرایط دیم موجب افزایش سرعت رشد و نمو شده و در تیمار شاهد (عدم مصرف کود شیمیایی و کود زیستی) بوته زودتر به گل‌دهی رفته و مراحل نمو خود را سریع تر طی می‌کند. طول دوره

(Sharma and Bhutani, 1998). مزایای تلقیح گیاه با باکتری‌های فزاینده رشد شامل افزایش شاخص‌های متعددی مانند سرعت جوانه‌زنی نیز نشان داده شده است (Lucy et al., 2004).

تعداد روز تا پنجاه درصد ساقه‌دهی تحت تاثیر اصلی رقم و کود زیستی معنی دار گردید (جدول ۴). در این پژوهش مشاهده گردید که تعداد روز تا ۵۰٪ ساقه‌دهی در رقم کراس سبلان نسبت به رقم ساجی بیشتر بود (جدول ۵). مقایسه میانگین اثر تیمارهای کود زیستی نیز نشان داد که استفاده از کود فسفر + کاربرد باکتری‌های فزاینده رشد و قارچ میکوریزا موجب کوتاه‌تر شدن طول دوره ساقه‌دهی گردید. طولانی‌ترین دوره تا ۵۰٪ ساقه‌دهی در تیمار شاهد (عدم مصرف کود شیمیایی و کود زیستی) مشاهده گردید. به طوری که تیمار شاهد (عدم مصرف کود شیمیایی و کود زیستی) با ۱۳۲/۵ روز دارای بیشترین و تیمار باکتری سودوموناس پوتیدا + قارچ فانیلی فورمیس موسه + ۵۰٪ کود شیمیایی فسفر با میانگین ۱۲۳/۶ روز دارای کمترین تعداد روز تا ۵۰٪ ساقه‌دهی بود (جدول ۵). کوتاه‌تر بودن دوره رشد رویشی می‌تواند به نفع رشد زایشی باشد (Hamidi et al., 2009)، ممکن است که باکتری‌های فزاینده رشد با تولید ایندول استیک اسید و سیتوکینین و هیدرولیز پیش ماده اتیلن به وسیله آنزیم ACC دی آمیناز موجب کاهش دوره رشد رویشی گیاهان مورد بررسی شوند (Hamidi et al., 2009). تلقیح گیاه با این باکتری‌های فزاینده رشد می‌تواند باعث افزایش سرعت جوانه‌زنی و تغییر در طول مراحل رشد گیاه گردد (Amiri et al., 2013).

تعداد روز تا پنجاه درصد گلدهی تحت تاثیر اصلی رقم و کود زیستی معنی دار گردید (جدول

خشک شدن دیرتر کاکل در ذرت شده‌اند (Hamidi *et al.*, 2009). طبق گزارش‌ها، سیستم تغذیه آلی از طریق غلظت مواد معدنی کمتر در مراحل اولیه رشد و وجود عناصر غذایی بیشتر (جدول ۹) در مراحل پایانی رشد، سبب بهبود کیفیت تغذیه گیاه و خشک شدن دیرتر دانه‌ها در طبق و طولانی شدن زمان رسیدگی آفتابگردان شده است (Akbari *et al.*, 2010).

شاخص‌های رشد

تجمع ماده خشک (TDM): باکتری‌های فزاینده رشد و قارچ میکوریزا در طول مراحل مختلف رشدی در هر دو رقم گندم کراس‌سبلان و ساجی میزان TDM را در طول فصل رشد افزایش دادند (شکل‌های ۱ و ۲). میزان TDM تحت تاثیر اصلی رقم و کود زیستی در مرحله گله‌ی معنی‌دار گردید (جدول ۷). رقم ساجی با ۸۸/۸ گرم در متر مربع نسبت به رقم کراس‌سبلان از میزان تجمع TDM بالاتری برخوردار بود (جدول ۸). گندم دیم رقم ساجی نسبت به رقم کراس‌سبلان به دلیل جذب بیشتر عناصر غذایی پتاسیم و فسفر برگ، و همچنین میزان کلروفیل a و b بالاتری را دارا بود، بالا بودن میزان کلروفیل سبب افزایش میزان فتوسنتز و به تبع آن افزایش تجمع ماده خشک در رقم ساجی گردید (جدول ۹). افزایش تجمع ماده خشک دو رقم در اوایل دوره رشد تقریباً مشابه بود. با گذشت زمان، برگ‌های بیشتری در معرض نور خورشید قرار می‌گیرند و میزان تجمع ماده خشک روند افزایشی نشان داد. روند تجمع ماده خشک گندم در طول فصل رشد و در پاسخ به تلقیح با باکتری‌های فزاینده رشد و قارچ میکوریزا در مقایسه با تیمار شاهد (عدم کود مصرف کود شیمیایی و تلقیح) افزایش نشان داد (شکل‌های ۱ و ۲). بیشترین

گرده‌افشانی در رابطه با تلقیح و تکمیل اجزای عملکرد دانه دارای اهمیت ویژه‌ای است. طولانی‌تر بودن این دوره نیز در تلقیح کافی بسیار مهم است (Berzy *et al.*, 1996). حمیدی و همکاران (Hamidi *et al.*, 2009) نیز در آزمایش‌های خود در ذرت نشان دادند که طول دوره کاکل‌دهی توان بالقوه تلقیح را که در ارتباط با عملکرد دانه ذرت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، تعیین می‌کند و طولانی‌تر بودن این دوره امکان افزایش عملکرد دانه را فراهم می‌سازد.

پنجاه درصد رسیدگی وزنی تحت تاثیر برهمکنش رقم و کود زیستی معنی‌دار گردید (جدول ۴). همان‌گونه که جدول برهمکنش رقم \times کود زیستی نشان می‌دهد در هر دو رقم مورد استفاده، کاربرد کود زیستی موجب بیشتر شدن تعداد روز تا رسیدگی وزنی گردید، به‌طوری‌که رقم کراس‌سبلان و تیمار کاربرد کود زیستی با ۲۰۷ روز دارای بیشترین و رقم ساجی و تیمار شاهد با ۱۹۱/۴ روز (عدم مصرف کود شیمیایی و کود زیستی) دارای کمترین تعداد تعداد روز تا ۵۰ درصد رسیدگی وزنی بود (جدول ۶).

پنجاه درصد رسیدگی فیزیولوژیک تحت تاثیر برهمکنش رقم \times کود زیستی معنی‌دار گردید (جدول ۴). در هر دو رقم مورد استفاده، کاربرد کود زیستی موجب بیشتر شدن تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک می‌گردد، به‌طوری‌که رقم کراس‌سبلان و تیمار کاربرد کود زیستی با ۲۱۸ روز دارای بیشترین و رقم ساجی و تیمار شاهد با ۲۰۳/۳ روز (عدم مصرف کود شیمیایی و کود زیستی) دارای کمترین تعداد تعداد روز تا ۵۰٪ رسیدگی فیزیولوژیک بود (جدول ۶). باکتری‌های فزاینده رشد به احتمال زیاد با تولید ترکیبات محرک رشد و بهبود کیفیت تغذیه گیاه موجب

تلقیح بذور نخود با میکوریزا وزن خشک کل را به میزان ۴۳٪ نسبت به شاهد افزایش داد. با افزایش رشد ریشه در اثر تلقیح میکوریزا، تجمع ماده خشک بهبود می‌یابد. نشان داده شده است که باکتری سودوموناس، با فعالیت و تثبیت بیشتر نیتروژن، باعث بهبود و افزایش تجمع ماده خشک می‌گردد (Rahimi et al., 2013; Eidi Zadeh et al., 2010).

شاخص سطح برگ (LAI): LAI نشان دهنده ظرفیت فتوسنتزی گیاه است که به تعداد و اندازه برگ‌ها بستگی دارد، میزان LAI در مراحل ابتدای رشد گیاه به دلیل کم و کوچک بودن برگ‌ها و کامل نبودن پوشش گیاهی پایین است (شکل‌ها ۳ و ۴) ولی به تدریج با رشد برگ‌های گیاه در مراحل بعدی رشد، LAI افزایش یافته و در مرحله گلدهی به حداکثر خود می‌رسد (Soleymanifard et al., 2012). از این زمان (بعد از مرحله گلدهی)، شاخص مورد بررسی به دلیل رخ داد پیری برگ‌ها دوباره تا پایان فصل رشد روند کاهشی نشان می‌دهد (شکل‌های ۳ و ۴). میزان LAI تحت تاثیر اصلی رقم و کود زیستی در مرحله گلدهی معنی‌دار گردید (جدول ۷). رقم ساجی با ۲/۰۴ نسبت به رقم کراس‌سبلان دارای بیشترین میزان LAI بود (جدول ۸). گندم دیم رقم ساجی نسبت به رقم کراس‌سبلان به دلیل داشتن جذب عناصر غذایی بیشتر از نظر LAI در وضعیت بهتری بود که دلیل این موضوع را می‌توان به بالا بودن میزان نیتروژن برگ و افزایش دوام سطح سبز در این رقم نسبت داد. بیشترین میزان کلروفیل a و b نیز در رقم ساجی به دست آمد، بالا بودن میزان کلروفیل، سبب افزایش دوام سطح برگ و به دنبال آن میزان فتوسنتز و در نهایت سبب افزایش عملکرد دانه در رقم ساجی

میزان تجمع TDM در تیمار قارچ میکوریزا به علاوه ۵۰٪ کود شیمیایی فسفر و کمترین میزان تجمع TDM در تیمار تیمار شاهد (عدم کود مصرف کود شیمیایی و تلقیح) بدست آمد، به طوری که نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) موجب افزایش ۴۹/۹ درصدی در میزان تجمع TDM شد (جدول ۸). ریشه‌های قارچ‌های میکوریزا به دو دسته تقسیم می‌شوند، تعدادی وارد سیستم گیاه شده و سبب کاهش غلظت آبسزیک اسید و افزایش میزان سیتوکینین می‌شوند. این عمل موجب افزایش جذب آب و گسترش سیستم ریشه‌ای گیاه می‌شود. دسته دوم، ریشه‌ها خارج از سیستم ریشه است که اسیدهای آلی محلول‌کننده فسفر مانند اسید مالیک را ترشح نموده و موجب افزایش جذب فسفر توسط گیاه و افزایش تجمع ماده خشک می‌شود (Khalvati et al., 2005). در گزارش‌های محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2013) تیمار قارچ میکوریزا و باکتری‌های فزاینده رشد دارای ماده خشک بیشتری نسبت به تیمار شاهد بود. در اوایل رشد به دلیل کامل نبودن پوشش گیاهی و درصد کم جذب نور توسط گیاه ماده خشک پایین بود و با نمو گیاه و توسعه سطح برگ و جذب بیشتر نور ماده خشک افزایش یافت. این امر به دلیل افزایش سطح جذب ریشه گیاه به وسیله تلقیح میکوریزا می‌تواند باشد، هیف‌های خارجی میکوریزا می‌توانند عناصر غذایی بیشتری (جدول ۹) برای گیاه جذب کنند، از طرفی، قارچ میکوریزا به وسیله هیف‌های خارجی با تولید اسیدهای آلی و آنزیم فسفاتاز سبب افزایش حلالیت فسفر خاک شده و این عنصر را در اختیار گیاه قرار می‌دهد (Shenoy and Kalagudi, 2005). فرزانه و همکاران (Farzaneh et al., 2009) گزارش کردند

بیشتر در تیمار قارچ میکوریزا بیانگر این مطلب است که همزیستی قارچ فانیلی فورمیس موسه با افزایش شاخص سطح برگ، سطح فتوسنتز کننده گیاه را افزایش می‌دهد و در نتیجه گیاهانی با شاخص سطح برگ بالاتر توان تولیدی بیشتر داشته و عملکرد دانه بیشتری نیز تولید می‌کنند (Shahhosini *et al.*, 2013).

سرعت رشد محصول (CGR): سرعت رشد محصول شاخصی است که میزان تجمع ماده خشک را در واحد زمان و سطح زمین نشان می‌دهد. سرعت رشد محصول در مراحل اولیه رشد به دلیل کامل نبودن پوشش گیاهی و جذب درصد کمی از نور خورشید، پایین و با گذشت زمان و نمو گیاه و توسعه سطح برگ و نفوذ کمتر نور به سطح خاک افزایش می‌یابد (Eidi Zadeh *et al.*, 2010). تأثیر باکتری‌های فزاینده رشد و قارچ میکوریزا در هر دو رقم گندم کراس‌سبلان و ساجی در طول مراحل مختلف رشدی بر میزان سرعت رشد محصول در طول فصل رشد گندم دیم افزایش قبل توجهی از خود نشان داد (شکل‌های ۵ و ۶). میزان CGR تحت تأثیر اصلی رقم و کود زیستی در مرحله گلدهی معنی‌دار گردید (جدول ۷). رقم ساجی با ۲/۰۲ گرم مترمربع در روز نسبت به رقم کراس‌سبلان دارای میزان CGR بیشتری بود (جدول ۸). جذب عناصر غذایی بیشتر از جمله نیتروژن و فسفر برگ موجب افزایش CGR در رقم ساجی گردید (جدول ۹). بیشترین میزان CGR در تیمار قارچ میکوریزا به علاوه ۵۰٪ کود شیمیایی فسفر و کمترین میزان آن در تیمار تیمار شاهد (عدم کود مصرف کود شیمیایی و تلقیح) بدست آمد، به طوری که نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) موجب افزایش ۵۵/۷ درصدی در میزان CGR شد

گردید (جدول ۹). شاخص سطح برگ تحت تأثیر عوامل محیطی مانند حاصل‌خیزی خاک و شرایط رطوبتی قرار می‌گیرد، به نحوی که تنش خشکی موجب این شاخص می‌گردد (Cakir, 2004). بیشترین میزان LAI در تیمار قارچ میکوریزا به علاوه ۵۰٪ کود شیمیایی فسفر و کمترین میزان آن در تیمار تیمار شاهد (عدم کود مصرف کود شیمیایی و تلقیح) به دست آمد، به طوری که نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) موجب افزایش ۴۵/۵ درصدی در میزان LAI گردید (جدول ۸). قارچ میکوریزا شاخص سطح برگ را از طریق دوام سطح برگ تحت تأثیر قرار می‌دهد (Shahhosseini *et al.*, 2012). تحقیقات زیادی مبنی بر افزایش نیتروژن گیاه در نتیجه استفاده از قارچ‌های میکوریزا وجود دارد (Subramanian *et al.*, 1997) و نیتروژن برگ موجب افزایش شاخص سطح برگ در گیاه (جدول ۹) و موجب بالا رفتن میزان تولید ماده خشک می‌شود (Shahhosseini *et al.*, 2012). معمولاً قسمت اعظم رشد گونه‌های پربازده در ابتدای فصل رویش در جهت توسعه سطح برگ‌ها صورت می‌گیرد. در نتیجه آن تشعشع خورشیدی نیز با کارایی بیشتری مورد استفاده قرار می‌گیرد. معمولاً این ویژگی باعث افزایش توان فتوسنتزی گیاه و در نتیجه باعث افزایش عملکرد اقتصادی (جدول ۹) می‌گردد (Alinaghizadeh *et al.*, 2011). سپهری و شهبازی (Shahbazi, 2017) در آزمایش‌های خود اظهار داشتند که باکتری سودوموناس پوتیدا از طریق همیاری با ریشه گیاهان، موجب افزایش سطح جذب رطوبت شده و با شبکه گسترده ریشه‌ای در گیاه از طریق جذب آب و املاح، سبب افزایش سطح برگ گیاه می‌گردد. شاخص سطح برگ

باکتری‌های فزاینده رشد و قارچ میکوریزا، نور بیشتری توسط گیاه دریافت می‌شود و به علت فتوسنتز بیشتر، سرعت رشد محصول نیز افزایش می‌یابد (Choudhary *et al.*, 2017). در تحقیقات محمدی و همکاران (Mohammadi *et al.*, 2013) در نخود نشان داده شد که قارچ میکوریزا موجب افزایش سرعت رشد محصول گردید. در شرایط تنش گرمایی به علت کاهش سطح برگ و فتوسنتز، پیری زودرس اتفاق افتاده و سرعت رشد محصول کاهش می‌یابد (Alinaghizadeh *et al.*, 2011). زید و همکاران (Zaied *et al.*, 2003) افزایش سرعت رشد محصول را به دلیل تلقیح گیاه با باکتری‌های فزاینده رشد، به توانایی باکتری‌ها در افزایش دسترسی به عناصر غذایی توسط گیاه نسبت دادند. یساری و پاتواردن (Yasari and Patwardhan, 2007) گزارش کردند که سرعت رشد محصول در کلزا تحت تأثیر تلقیح گیاه با باکتری‌های فزاینده رشد نسبت به عدم تلقیح ۱۰ تا ۱۲٪ افزایش نشان داد و اظهار داشتند که گیاهان تیمار شده با باکتری‌های فزاینده رشد نسبت به تیمار شاهد، دارای سرعت رشد محصول بیشتری بودند.

سرعت رشد نسبی (RGR): بیان کننده وزن خشک اضافه شده نسبت به وزن اولیه در یک فاصله زمانی است. میزان سرعت رشد نسبی پس از جوانه‌زنی به کندی آغاز شده و متعاقب آن به سرعت افزایش می‌یابد و با گذشت زمان و رشد بیشتر گیاه مقدار سرعت رشد نسبی کاهش پیدا می‌کند (شکل‌های ۷ و ۸). سرعت رشد نسبی در طی فصل رشد، یک روند کلی کاهش نشان می‌دهد (Mohammadi *et al.*, 2013). میزان RGR تحت تاثیر اصلی رقم و کود زیستی در مرحله گلدهی معنی‌دار گردید (جدول ۷). رقم

(جدول ۸). افزایش سرعت رشد محصول دو رقم در اوایل دوره رشد تقریباً مشابه بود. در این پژوهش، رقم ساجی در ادامه فصل رشد نسبت به رقم کراس سیلان به دلیل داشتن پوشش گیاهی بیشتر موجب گردید که حداکثر نور خورشید توسط این رقم جذب و با افزایش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی، سرعت رشد محصول در آن افزایش یافت (جدول ۹). به نظر می‌رسد از ابتدای رشد تا نزدیکی‌های مرحله گرده افشانی به دلیل افزایش شاخص سطح برگ، CGR افزایش می‌یابد و در اواخر فصل رشد، به دلیل کاهش سطح برگ روند تغییرات این شاخص نیز سیر نزولی می‌شود (Seyed Sharifi and Haydari, 2015). در مراحل اولیه رشد به دلیل کم بودن مریستم‌های رویشی، کامل نبودن پوشش گیاهی و درصد کم جذب نور توسط گیاه مقدار آن اندک است، ولی پس از آن با کامل شدن پوشش گیاهی و استفاده کارآمدتر از نور خورشید و همچنین افزایش سطح برگ، مقدار آن افزایش می‌یابد تا به حد نهایی برسد. سپس، به دلیل رقابت بیشتر بین بوته‌ها، کاهش نفوذ نور به داخل سایه‌انداز گیاهی و همچنین پیر شدن اندام‌های فتوسنتز کننده و انتقال مواد غذایی به دانه‌ها، میزان آن کاهش می‌یابد و حتی در برخی موارد ممکن است سطح برگ به حدی رسیده باشد که برگ‌های پایینی گیاه، نور کافی برای تبادل دی اکسید کربن مورد نیاز دریافت نکنند و موجب منفی‌تر شدن سرعت رشد محصول گردد (Seyed Sharifi and Haydari, 2015). در گندم دیم به دلیل برخورد دوران گلدهی و پیر شدن دانه به ترتیب با هوای نسبتاً خنک و گرم، سرعت رشد محصول بیشتر کاهش یافت. به نظر می‌رسد با افزایش شاخص سطح برگ در حضور

آمده می‌توان چنین نتیجه گرفت که کاربرد باکتری‌های فزاینده رشد و قارچ میکوریزا در هر دو رقم موجب افزایش سرعت رشد نسبی به ازای هر گرم در روز نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف کود شیمیایی و عدم تلقیح) می‌شود. تلقیح گندم با باکتری‌های فزاینده رشد و قارچ میکوریزا به دلیل دسترسی بهتر به آب و مواد غذایی موجب افزایش RGR گیاه می‌شود (Shahhosseini *et al.*, 2012).

سرعت جذب خالص (NAR): باکتری‌های فزاینده رشد و قارچ میکوریزا در رقم گندم کراس سبلان و ساجی سبب افزایش میزان سرعت جذب خالص در طول فصل رشد گندم دیم گردید (شکل‌های ۹ و ۱۰). میزان NAR تحت تاثیر اصلی رقم و کود زیستی در مرحله گلدهی معنی‌دار گردید (جدول ۷). رقم ساجی با ۰/۵۱ گرم در مترمربع در روز نسبت به رقم کراس سبلان دارای میزان RGR بیشتری بود (جدول ۸). افزایش سرعت جذب خالص در اوایل دوره رشد در دو رقم تقریباً مشابه بود. سرعت جذب خالص با زمان، ثابت نیست و با افزایش سن گیاه روند نزولی در آن مشاهده می‌شود (شکل‌های ۹ و ۱۰). بیشترین میزان NAR در تیمار قارچ میکوریزا به‌علاوه ۵۰٪ کود شیمیایی فسفر و کمترین میزان آن در تیمار تیمار شاهد (عدم کود مصرف کود شیمیایی و تلقیح) بدست آمد، به طوری که نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) موجب افزایش ۸۳/۶ درصدی در میزان NAR شد (جدول ۸). در هر دو رقم مورد پژوهش، کاهش NAR در شرایط تلقیح با باکتری‌های فزاینده رشد و قارچ میکوریزا به دلیل کاهش اثرات تنش خشکی و گرما دما در اواخر فصل رشد، با سرعت کمتری اتفاق افتاد در صورتی

ساجی با ۰/۳۵ گرم در گرم در روز نسبت به رقم کراس سبلان از میزان RGR بیشتری برخوردار بود (جدول ۸). در اولین نمونه برداری (۱۲۲ روز پس از کاشت) مقدار RGR به علت نفوذ نور بیشتر، سایه اندازی کمتر برگ‌ها و فتوسنتز خالص در بالاترین حد خود قرار داشت و با گذشت زمان کاهش پیدا نمود. چنانچه ملاحظه می‌شود، با گذشت زمان سرعت رشد نسبی گیاه کاهش یافته است (شکل‌های ۷ و ۸)، علت کاهش RGR این است که هر چند مقدار وزن خشک گیاه با گذشت زمان افزایش پیدا می‌کند، اما سرعت افزایش به دلیل افزایش نسبت بافت‌های بالغ به بافت‌های مریستمی کاهش می‌یابد. از طرفی، بخشی از این کاهش می‌تواند مربوط به در سایه قرار گرفتن و یا افزایش سن برگ‌های پایین گیاه باشد که موجب کاهش RGR می‌شود (Mohammadi *et al.*, 2013; Keating *et al.*, 2000). بیشترین میزان RGR در تیمار قارچ میکوریزا به‌علاوه ۵۰٪ کود شیمیایی فسفر و کمترین میزان آن در تیمار تیمار شاهد (عدم کود مصرف کود شیمیایی و تلقیح) بدست آمد، به طوری که نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) موجب افزایش ۸۳/۶ درصدی در میزان RGR شد (جدول ۸). بررسی روند تغییر سرعت رشد نسبی در هر دو رقم کراس سبلان و ساجی در تلقیح با باکتری‌های فزاینده رشد و قارچ میکوریزا نشان داد که این مؤلفه با افزایش طول دوره رشدی گیاه به‌طور مداوم کاهش می‌یابد، به طوری که در انتهای فصل به کمترین میزان خود می‌رسد اما این میزان کاهش در رقم گندم دیم ساجی و در تیمارهای تلقیح شده با کود زیستی نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف کود شیمیایی و عدم تلقیح) کمتر بود. با توجه به نتایج به‌دست

با کاهش رشد و عملکرد دانه در گندم همراه می‌باشد (Wang *et al.*, 2011; Talukder *et al.*, 2014). دلیل کاهش فتوسنتز از طریق تخریب در عملکرد و ساختار کلروپلاست و کاهش در میزان کلروفیل (Xu *et al.*, 1995)، پیری زودرس برگ (Talukder *et al.*, 2014) و کاهش میزان سطح سبز برگ که در فاز زایشی گیاه زراعی رخ می‌دهد که دارای اثر منفی بر رشد گیاه خواهد گذاشت (Wang *et al.*, 2011). در گزارش‌های سقفی و همکاران (Saghafi *et al.*, 2013) بر گندم نشان داده شد که باکتری سودوموناس در مقایسه با تیمار شاهد (عدم تلقیح) موجب افزایش صفات فیزیولوژیکی گردید، به طوری که بیشترین میزان شاخص کلروفیل، میزان کلروفیل در تلقیح با باکتری سودوموناس مشاهده گردید. حیدری و گلپایگانی (Heidari and Golpayegani, 2011) عنوان کردند که تلقیح بذور با باکتری سودوموناس باعث افزایش میزان کلروفیل برگ می‌شود. در گزارش‌های زهید و همکاران (Zahid *et al.*, 2013) نشان داده شد که باکتری حل کننده صفات موجب افزایش میزان کلروفیل در ذرت می‌گردد.

عناصر غذایی: عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم برگ پرچم با توجه به نتایج تجزیه واریانس تحت تاثیر برهمکنش رقم×کود زیستی معنی‌دار گردید (جدول ۷). در هر دو رقم گندم دیم مورد استفاده در این پژوهش نشان داده شد که باکتری سودوموناس پوتیدا و قارچ فانیلی فورمیس موسه دارای تاثیر معنی‌داری بر میزان عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم برگ پرچم بودند. بیشترین میزان عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم برگ پرچم در هر دو رقم گندم دیم مورد استفاده در تیمار باکتری سودوموناس

که در هر دو رقم مورد پژوهش، در تیمار شاهد (عدم مصرف کود شیمیایی و عدم تلقیح) این کاهش، با سرعت بیشتری، به دلیل افزایش دما و افزایش ریزش برگ و در نتیجه کاهش فتوسنتز کل مشاهده گردید (Alinaghizadeh *et al.*, 2011). در گزارش‌های زرابی و همکاران (Zarabi *et al.*, 2011) نشان داده شد که باکتری سودوموناس و قارچ فانیلی فورمیس موسه موجب افزایش رشد گیاه و شاخص‌های رشدی همانند سرعت جذب خالص شد. در گزارش‌های چودهاری و همکاران (Choudhary *et al.*, 2017) در گندم نیز نشان داده شد که باکتری‌های حل کننده فسفات به دلیل شرایط مناسب محیطی و در اختیار قرار دادن آب و عناصر غذایی برای گیاه موجب زیاد شدن شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، سرعت جذب خالص و سرعت رشد نسبی شود. دلیل اصلی کاهش NAR، کاهش در LAI و زرد شدن برگ‌ها عنوان شده است (Eidi *et al.*, 2010).

رنگیزه‌های فتوسنتزی: بر اساس نتایج

واریانس داده‌های حاصل از این پژوهش، اثر برهمکنش رقم×کود زیستی بر میزان کلروفیل a و b معنی‌دار گردید (جدول ۷). بیشترین میزان کلروفیل a و b از رقم ساجی و تحت کاربرد باکتری سودوموناس پوتیدا + قارچ فانیلی فورمیس موسه+۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر و کمترین آن از رقم کراس سبلان و در تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) حاصل شد، که نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) موجب افزایش ۶۱/۳ و ۶۰/۳ درصدی در میزان کلروفیل a و b گردید (جدول ۹). فتوسنتز یکی از فرایندهای فیزیولوژیک حساس می‌باشد (Wahid *et al.*, 2007) و کاهش فتوسنتز ناشی

حل‌کننده فسفات به‌علاوه ۵۰٪ کود شیمیایی فسفر با میانگن ۳۲۳۳/۴ و ۳۲۱۰/۸ کیلوگرم در هکتار دارای بیشترین عملکرد دانه می‌باشند و کمترین عملکرد دانه در رقم کراس‌سیلان × تیمار شاهد با میانگن ۱۰۱۰ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. در این پژوهش مشاهده گردید که استفاده از باکتری‌های حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریزا در دو رقم گندم نان و دوروم موجب افزایش عملکرد دانه گردید، به طوری که میزان افزایش عملکرد دانه در رقم ساجی با کاربرد کود زیستی نسبت به تیمار شاهد (عدم استفاده از کود شیمیایی فسفر و مخلوط قارچ میکوریزا و باکتری حل‌کننده فسفات) ۶۲٪ بود (جدول ۹). به نظر می‌رسد که تلقیح بذر با سودوموناس و احتمالاً ایجاد شرایط مناسب جهت جوانه‌زنی باعث استقرار سریع‌تر گیاهچه و بهره‌مندی بیشتر از منابع محیطی توسط گیاه می‌شود. چنین وضعیتی باعث می‌شود که تا گیاه شرایط مناسب‌تری را جهت پر کردن دانه‌ها داشته باشد که این وضعیت همراه با افزایش عملکرد دانه نمود بیشتری می‌یابد. حمیدی و همکاران (Hamidi et al., 2009) نشان دادند که در اثر تلقیح بذر ذرت علوفه‌ای با کود زیستی، تعداد برگ‌های بالایی بلال و تعداد برگ در هر بوته افزایش یافته است. آنها دلیل این امر را وجود روابط مثبت بین گیاه و باکتری دانسته و اعلام داشتند که این موضوع در نهایت منجر به افزایش عملکرد علوفه سیلویی شده است. آنها همچنین اظهار داشتند که احتمالاً باکتری‌های محرک رشد از طریق تولید هورمون‌های محرک رشد، عملکرد و ویژگی‌های مرتبط با آن را در ذرت علوفه‌ای تحت تاثیر قرار داده است. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که با روش تلقیح کودی نه تنها می‌توان عملکرد

پوتیدا و قارچ فانیلی فورمیس موسه + ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر مشاهده گردید. بیشترین میزان عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم برگ پرچم از رقم ساجی و تحت کاربرد قارچ فانیلی فورمیس موسه + ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر و کمترین آن از رقم کراس‌سیلان و در تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) حاصل شد، که نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) بترتیب موجب افزایش ۴۸/۴، ۵۲ و ۸۹/۷ درصدی در عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم برگ پرچم گردید (جدول ۹). در گزارش‌های اسرار و الهیند (Asrar and Elhindi, 2011) نشان داده شده است که در قارچ میکوریزا از طریق ایجاد شبکه گسترده هیف خود در داخل خاک و در محیط ریزوسفر سبب جذب عناصر فسفر، نیتروژن، روی، مس و انتقال این عناصر به گیاه میزبان خواهد شد. حضور کودهای زیستی می‌تواند باعث بهبود خصوصیات خاک نظیر محتوای ماده آلی و افزایش دسترسی عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم و همچنین عناصر ریز مغذی می‌شود، این اثرات در حضور کودهای شیمیایی تشدید می‌شود (Eidi Zadeh et al., 2010). در تیمارهای تلقیح شده با کود زیستی افزایش وزن خشک گیاه می‌تواند به علت افزایش جذب عناصر غذایی نظیر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در نتیجه گسترش ریشه باشد (Rouzbeh et al., 2009).

عملکرد دانه: عملکرد دانه تحت تاثیر رقم، مخلوط کودهای شیمیایی و کود زیستی و همچنین برهمکنش آنها معنی‌دار بود (جدول ۷). اثر برهمکنش رقم × کود زیستی نشان می‌دهد که رقم ساجی × قارچ میکوریزا به‌علاوه ۵۰٪ کود شیمیایی فسفر و مخلوط قارچ میکوریزا و باکتری

تلقیح شده دارد. به نظر می‌رسد که با توجه به محل طبیعی حضور این قارچ، که در مناطق بیابانی و خشک است، لذا این قارچ نسبت به شرایط خشک و نامساعد تکامل پیدا کرده است و در شرایطی که گیاه با تنش روبرو شود این قارچ بهتر می‌تواند تأثیرات خود را بر روی رشد گیاه اعمال نماید (Sepahri *et al.*, 2009).

نتیجه‌گیری کلی

به نظر می‌رسد که در شرایط محدودیت آبی و شرایط دیم ایلام به دلیل کاهش طول دوره رشد و به دنبال آن صفات فنولوژیک، تسریع پیری و ریزش برگ‌ها، عملکرد دانه به واسطه کاهش سطح برگ کاهش می‌یابد. بیشترین شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، تجمع ماده خشک، سرعت رشد نسبی و سرعت جذب خالص در رقم ساجی با کاربرد قارچ فانیلی فورمیس موسه + ۵۰٪ کود شیمیایی فسفر حاصل گردید. با توجه به نتایج و با توجه به شرایط منطقه ایلام که گندم در تمامی مراحل رشدی خود بخصوص مراحل زایشی با تنش خشکی و گرما مواجه می‌باشد، جهت کم کردن اثرات تنش‌های محیطی و بهبود رشد گندم تحت شرایط دیم، در مقایسه دو رقم مورد بررسی، رقم ساجی با کاربرد قارچ فانیلی فورمیس موسه + ۵۰٪ کود شیمیایی فسفر عملکرد بالاتری را تولید نموده و برای کشت مناسب‌تر خواهد بود.

دانه در واحد سطح را افزایش داد بلکه به‌طور قابل توجهی می‌توان مصرف کود شیمیایی فسفر را پایین آورد. افزایش قابلیت دسترسی گیاه به عناصر غذایی (جدول ۹)، با کاربرد توأم کودهای شیمیایی و جذب بیشتر آنها توسط گیاه، در نتیجه افزایش رشد و فتوسنتز با افزایش سطح برگ گیاه از عوامل افزایش عملکرد دانه در تیمارهای تلفیقی می‌باشد (Moradi *et al.*, 2011). وینارسو و همکاران (Winarso *et al.*, 2011) در تحقیقات خود نشان دادند که استفاده از باکتری سودوموناس پوتیدا موجب افزایش اسیدپته خاک و در نتیجه افزایش قابلیت دسترسی به فسفر می‌گردد. آن‌ها اظهار داشتند که استفاده از باکتری سودوموناس پوتیدا باعث افزایش عملکرد دانه سویا شده‌است. شاه‌حسینی و همکاران (Shahhosini *et al.*, 2013) اظهار داشتند که تیمار کاربرد قارچ فانیلی فورمیس موسه موجب افزایش سطح فتوسنتز کننده گیاه گردید که این شاخص سطح برگ بالاتر، عملکرد دانه بیشتر را موجب گردید. با توجه به نتایج محققان دیگر به نظر می‌رسد که قارچ در فراهمی و متابولیسم عناصر مورد نیاز گیاه تأثیر مهمی داشته و سبب می‌گردد تا میزان این عناصر در گیاهان تلقیح شده افزایش یابد. این امر خصوصاً در شرایط تنش برای گیاهان دارای اهمیت زیادی است. به‌طوری‌که مقایسه نتایج نشان می‌دهد که با کاهش رطوبت خاک، قارچ تأثیر بهتری بر گیاهان

جدول ۱- ویژگی‌های سویه باکتری حل‌کننده فسفات در این آزمایش

Table 1 –The characteristics of phosphate solubilizing bacteria strains in this experimentation

جنس، گونه و سویه Genus, species and strain	تولید سیدروفور Siderophore production	تولید هورمون اکسین (mg/L) IAA production	قابلیت حل‌کنندگی فسفات Phosphate solubilizing ability	تولید ACC دامیناز ACC deaminase
<i>Pseudomonas putida</i> strains 168	0.70	9.8	+	+

جدول ۲- مقادیر متوسط ماهانه دما، بارش و رطوبت در ایستگاه مرکز تحقیقات کشاورزی سرابله در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲

Table 2- Monthly mean value of precipitation and relative humidity in Agricultura Reserch Field Staion of Sarableh during 2013-2014 cropping seasons

Month	ماه	حداقل دما Min temp (°C)	حداکثر دما Max temp (°C)	میزان بارش Precipitation (mm)	حداقل رطوبت Min. RH (%)	حداکثر رطوبت Max. RH (%)
Oct.	مهرماه	12.3	30.6	0	15	38
Nov.	آبان	8	19.6	156.4	45	78
Dec.	آذر	3.5	13.1	100.5	54	86
Jan.	دی	-0.5	10.6	85.4	52	86
Feb.	بهمن	0.9	12	95.2	53	88
Mar.	اسفند	5	17.3	75.9	46	85
Apr.	فروردین	6.5	21.5	31.8	33	78
May	اردیبهشت	12.7	28.8	24.8	24	65
Jun.	خرداد	13	40.4	4	16	41

جدول ۳- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 3- Soil physical and chemical properties of experimental site

بافت خاک Soil texture	فسفر قابل جذب Available P	پتاسیم قابل جذب Available K	نیتروژن کل Total N	کربن آلی Organic Carbon	هدایت الکتریکی E.C	اسیدیته خاک pH
	(mg kg ⁻¹)			(%)	(dS/m)	
لومی رسی Clay loam	6.2	310	0.12	1.28	0.97	7.2

جدول ۴- تجزیه واریانس رقم و کود زیستی بر صفات فنولوژیک

Table 4- Analysis of variance for wheat cultivar and Bio-fertilizer on phenological traits

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	MS میانگین مربعات					
		۵۰٪ سبز شدن Planting to emergence	۵۰٪ ساقه- دهی Planting to steming	۵۰٪ گلدهی Planting to flowering	۵۰٪ گرده افشانی Planting to anthesis	۵۰٪ رسیدگی وزنی Planting to weight maturity	۵۰٪ رسیدگی فیزیولوژیک Planting to physiological maturity
تکرار Replication	2	28**	13.1**	20.3**	13.1**	36.02**	139.7**
رقم Cultivar	1	0.18 ^{ns}	99.1**	192**	111.02**	252.8**	256.6**
کود زیستی Bio-fertilizer	7	9.9**	48.6**	47.1**	49.7**	91.6**	98.1**
رقم × کود زیستی Cultivar × Bio- fertilizer	7	0.37 ^{ns}	0.044 ^{ns}	0000.1 ^{ns}	0.49**	5.3**	1.9*
خطا Error	30	0.17	0.054	0.15	0.054	0.02	0.75
ضریب تغییرات (% C.V.)		4.9	0.18	0.24	0.13	0.7	0.40

*، ** و ^{ns}: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم معنی‌داری می‌باشد.*، ** and ^{ns}: significant at the 5%, 1% levels and non-significant, respectively.

جدول ۵- اثر اصلی رقم و کود زیستی بر صفات فنولوژیک

Table 5- Mean comparison of cultivar and Bio-fertilizer on phenological traits

رقم	Cultivar	تعداد رو تا ۵۰٪ سبز شدن Planting to 50 % emergence	تعداد رو تا ۵۰٪ ساقه‌دهی Planting to 50 %steming day	تعداد رو تا ۵۰٪ گلدهی Planting to 50 % flowering
کراس سبلان	Keras Sabalan	8.6a	128.7a	163.08a
ساجی	Saji	8.5a	125.8b	159.08b
کود زیستی	Bio-fertilizer			
شاهد	Control	11.1a	132.5a	156f
۱۰۰٪ کود شیمیایی فسفر	100% P chemical fertilizer	9.6b	129.5b	158e
باکتری سودوموناس پوتیدا	PSB	8.6c	128.5c	160d
قارچ فانیلی فورمیس موسه	GM	8.3c	127.5d	162c
باکتری سودوموناس پوتیدا + قارچ فانیلی فورمیس موسه	PSB + GM	8.1c	126.5e	163b
باکتری سودوموناس پوتیدا + قارچ فانیلی فورمیس موسه + ۵۰٪ کود شیمیایی فسفر	PSB + GM + 50% P	7.5d	125.6f	163.6a
باکتری سودوموناس پوتیدا + ۵۰٪ کود شیمیایی فسفر	PSB + 50% P	7.5d	124.6g	163b
قارچ فانیلی فورمیس موسه + ۵۰٪ کود شیمیایی فسفر	GM + 50% P	7.5d	123.6h	163b

میانگین‌هایی که در هر ستون، دارای حرف مشترک می‌باشند، براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند. Means in each column, followed by similar letters are not significant different at the 5% probability level using Duncans Multiple range test.

تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) (Control)، ۱۰۰٪ کود شیمیایی فسفر (50 kg/ha P)، باکتری سودوموناس پوتیدا (PSB)، قارچ فانیلی فورمیس موسه (GM)، باکتری سودوموناس پوتیدا + قارچ فانیلی فورمیس موسه (PSB + GM)، باکتری سودوموناس پوتیدا + قارچ فانیلی-فورمیس موسه + ۵۰٪ کود شیمیایی فسفر (PSB + GM + 50% P)، باکتری سودوموناس پوتیدا + ۵۰٪ کود شیمیایی فسفر (PSB + 50% P) و قارچ فانیلی فورمیس موسه + ۵۰٪ کود شیمیایی فسفر (GM + 50% P).

جدول ۶- اثرات برهمکنش رقم و کود زیستی بر صفات فنولوژیک

Table 6- Interaction effect of cultivar and Bio-fertilizer on phenological traits

		تعداد روز تا ۵۰٪ گرده افشانی	تعداد روز تا ۵۰٪ رسیدگی وزن	تعداد روز تا ۵۰٪ رسیدگی فیزیولوژیک
		Planting to 50 % anthesis	Planting to 50 % weight maturity	Planting to 50 % physiological maturity
Day				
Keras Sabalan کراس سبلان	Control	165i	197.6j	205.3j
	100% P chemical fertilizer	167g	202.6g	212.6fg
	PSB	169e	204.3e	214.3c
	GM	167.6f	203.6f	213.3efg
	PSB + GM	170d	205.6c	214.6cd
	PSB + GM + 50% P	174a	207.6a	218a
	PSB + 50% P	172b	106.6b	216.3b
	GM + 50% P	171b	206.6b	215.3c
Saji ساجی	Control	161.6k	191.6l	200.3k
	100% P chemical fertilizer	164j	196.6k	207.3i
	PSB	166h	198.6i	209h
	GM	165i	197.6j	207.3i
	PSB + GM	167g	199.6h	209.6h
	PSB + GM + 50% P	170.6c	205.6c	214ed
	PSB + 50% P	168f	203.6f	212.3g
	GM + 50% P	169e	204.6d	213efg

میانگین‌هایی که در هر ستون، دارای حرف مشترک می‌باشند، براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند. Means in each column, followed by similar letters are not significant different at the 5% probability level using Duncans Multiple range test.

تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) (Control)، ۱۰۰٪ کود شیمیایی فسفر (50 kg/ha P)، باکتری سودوموناس پوتیدا (PSB)، قارچ فانیلی فورمیس موسه (GM)، باکتری سودوموناس پوتیدا + قارچ فانیلی فورمیس موسه (PSB + GM)، باکتری سودوموناس پوتیدا + قارچ فانیلی فورمیس موسه + ۵۰٪ کود شیمیایی فسفر (PSB + GM + 50% P)، باکتری سودوموناس پوتیدا + ۵۰٪ کود شیمیایی فسفر (PSB+50% P) و قارچ فانیلی فورمیس موسه + ۵۰٪ کود شیمیایی فسفر (GM + 50% P)

جدول ۷- تجزیه واریانس رقم و کود زیستی بر صفات فیزیولوژیک در گندم در مرحله گلدهی

Table 7- Analysis of variance for cultivar and Bio-fertilizer on phenological traits at flowering stage

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات						
		شاخص سطح برگ LAI	وزن خشک بوته TDM	سرعت رشد محصول CGR	سرعت شد نسبی RGR	سرعت جذب خالص NAR	عملکرد دانه Grain yield	
Replication	تکرار	2	0.041	2.41	0.036	0.002	0.0027	1800801.1
Cultivar	رقم	1	0.12*	435.4**	0.86**	0.0025**	0.0037*	2060231.07**
Bio-fertilizer	کود زیستی	7	0.29**	497.8**	1.25**	0.0035**	0.0057**	1926480.7**
Cultivar × Bio-fertilizer	رقم × کود زیستی	7	0.036ns	37.6ns	0.047ns	0.00045ns	0.0047ns	307785.5**
Error	خطا	30	0.029	2.56	0.034	0.00055	0.00047	72600
C.V. (%)			8.9	6.6	10	7.7	10.9	12.3

* و **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

* and **: significant at the 5% and 1% levels, respectively

ادامه جدول ۷- تجزیه واریانس رقم و کود زیستی بر صفات فیزیولوژیک در گندم در مرحله گلدهی
Table 7- Analysis of variance for cultivar and Bio-fertilizer on phenological traits at flowering stage

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	MS میانگین مربعات				
		کلروفیل a Chl a	کلروفیل b Chl b	پتاسیم برگ پرچم K	فسفر برگ پرچم P	نیترژن برگ پرچم N
تکرار Replication	2	74.9	104.2	0.16	0.002	3.7
رقم Cultivar	1	30.8**	176.06**	0.5**	0.03**	6.3**
کود زیستی Bio-fertilizer	7	728.6**	320..18	0.81**	0.09**	13.2**
رقم × کود زیستی Cultivar × Bio-fertilizer	7	16.5**	16.1**	0.22**	0.006**	0.7**
خطا Error	30	2.07	2.7	0.06	0.0021	0.20
ضریب تغییرات C.V (%)	-	4.7	7.02	9.3	5.8	5.4

* و **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

* and **: significant at the 5% and 1% levels, respectively

جدول ۸- مقایسه میانگین صفات فیزیولوژیک در رقم و کود زیستی در گندم در مرحله گلدهی
Table 8- Analysis of variance for cultivar and Bio-fertilizer on phenological traits at flowering stage

	شاخص سطح برگ LAI	وزن خشک بوته TDM (g/m ²)	سرعت رشد محصول CGR (g/m ² /day)	سرعت جذب خالص NAR (g/m ² /day)	سرعت شد نسبی RGR (g/g/day)
Cultivar					
Keras Sabalan	1.79b	85.5b	1.8b	0.46b	0.031b
Saji	2.046a	88.8a	2.02a	0.51a	0.035a
Bio-fertilizer					
Control	1.16e	66.4g	1.15f	0.377e	0.01f
100% P chemical fertilizer	1.28d	77.3f	1.35e	0.488d	0.014e
PSB	1.32cd	83.5e	1.6d	0.48d	0.029d
GM	1.39c	100.6c	1.99c	0.586c	0.034c
PSB + GM	1.35c	89.2d	1.83c	0.55c	0.03c
PSB + GM + 50% P	1.91ab	128.6a	2.44a	0.664b	0.055b
PSB + 50% P	1.75b	118.7b	2.11b	0.631b	0.05b
GM + 50% P	2.13a	132.7a	2.6a	0.737a	0.061a

میانگین‌هایی که در هر ستون، دارای حرف مشترک می‌باشند، براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.
 Means in each column, followed by similar letters are not significant different at the 5% probability level using Duncans Multiple range test.

تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) (Control)، ۱۰۰٪ کود شیمیایی فسفر (50 kg/ha P)، باکتری سودوموناس پوتیدا (PSB)، قارچ فانیلی فورمیس موزه (GM)، باکتری سودوموناس پوتیدا + قارچ فانیلی فورمیس موزه (PSB + GM)، باکتری سودوموناس پوتیدا + قارچ فانیلی فورمیس موزه + ۵۰٪ کود شیمیایی فسفر (PSB + GM + 50% P)، باکتری سودوموناس پوتیدا + ۵۰٪ کود شیمیایی فسفر (PSB + 50% P) و قارچ فانیلی فورمیس موزه + ۵۰٪ کود شیمیایی فسفر (GM + 50% P).

جدول ۹- مقایسه میانگین اثر برهمکنش رقم × منابع کودی بر نیتروژن، فسفر، پتاسیم برگ پرچم و عملکرد دانه

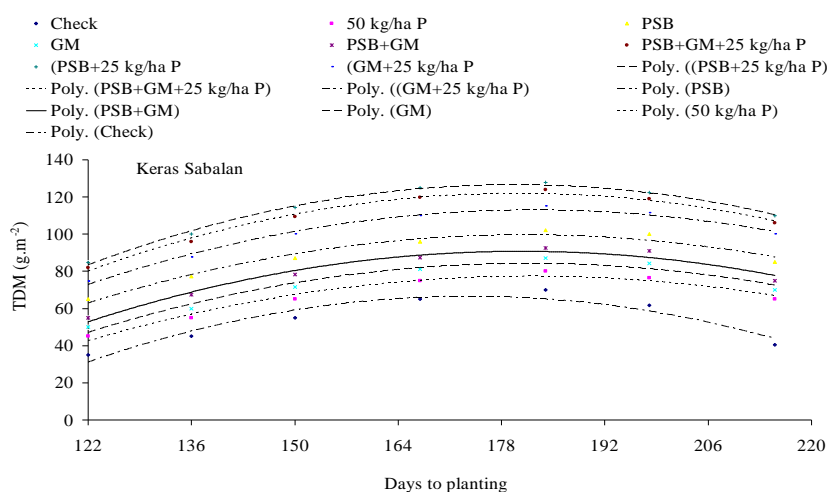
Table 9- Interaction effect of cultivar × bio-fertilizer on N, P, K and grain yield

رقم Cultivar	منابع کودی Fertilizer sources	نیتروژن برگ پرچم N of flag (%) leaf	فسفر برگ پرچم P of flag leaf	کلروفیل a Chl a (mg/g)	کلروفیل b Chl b (mg/g)	پتاسیم برگ پرچم K of flag (%) leaf	عملکرد دانه Grain yield (kg/h)
Keras Sabalan کراس- سبلان	Control	5.7e	0.45f	18.5e	15i	0.40g	1010i
	100% P chemical fertilizer	7.04d	0.73d	22.1d	17.1ghi	2.3f	1754.9fg
	PSB	7.4cd	0.78cd	22.7d	17.7fghi	2.6def	2034.3defg
	GM	7.1cd	0.72d	21.7d	16.6hi	2.3f	1649.3gh
	PSB + GM	7.4cd	0.79cd	22.7d	18.1fgh	2.6def	1801.2efg
	PSB + GM + 50% P	9.3b	0.788bc	47.5a	33b	3.3b	2382.6bcd
	PSB + 50% P GM + 50% P	9.4b 8.9b	0.90bc 0.79cd	43.1b 38.7c	30.7bc 25.9d	3.4ab 3.04bcd	2860.9ab 2283cde
Saji ساجی	Control	6.2e	0.56e	22.06d	18.2fgh	0.53g	1214.1hi
	100% P chemical fertilizer	7.4cd	0.77cd	24.2d	21.5e	2.4ef	2042.2defg
	PSB	7.6cd	0.77cd	23.4d	19.8efg	2.4ef	2119.5cdefg
	GM	7.9c	0.83bc	24.3d	20.7ef	0.2.8cde	2557.08bc
	PSB + GM	7.9c	0.83bc	24.4d	20.5ef	2.8cde	2189.5cdef
	PSB + GM +50% P	10.8a	0.94a	47.9a	37.8a	3.8a	3210.8a
	PSB + 50% P GM + 50% P	9.3b 11.06a	0.85bc 0.94a	38.1c 45.5a	29.7c 36.5a	3.1bc 3.9a	2524.1bcd 3233.4a

میانگین‌هایی که در هر ستون، دارای حرف مشترک می‌باشند، براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

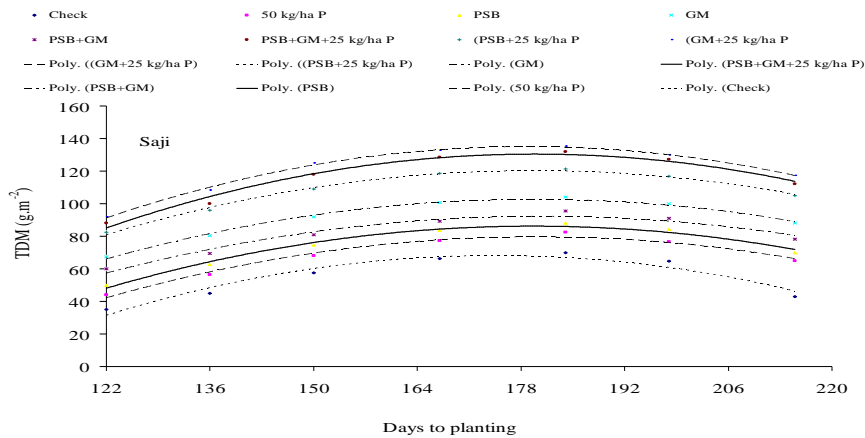
Means in each column, followed by similar letters are not significant different at the %5 probability level using Duncans Multiple range test.

تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) (Control)، ۱۰۰٪ کود شیمیایی فسفر (50 kg/ha P)، باکتری سودوموناس پوتیدا (PSB)، قارچ فانیلی فورمیس موسه (GM)، باکتری سودوموناس پوتیدا + قارچ فانیلی فورمیس موسه (PSB + GM)، باکتری سودوموناس پوتیدا + قارچ فانیلی فورمیس موسه + ۵۰٪ کود شیمیایی فسفر (PSB + GM + 50% P)، باکتری سودوموناس پوتیدا + ۵۰٪ کود شیمیایی فسفر (GM + 50% P) و قارچ فانیلی فورمیس موسه + ۵۰٪ کود شیمیایی فسفر (GM + 50% P)



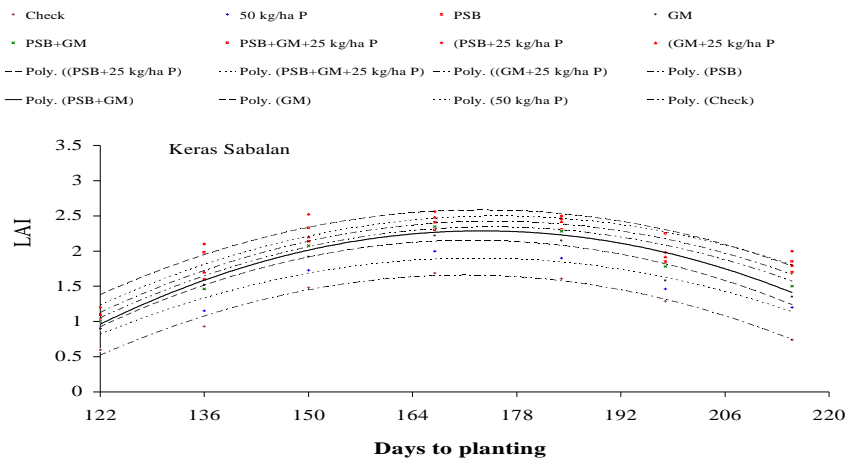
شکل ۱- کاربرد باکتری‌های فزاینده رشد و قارچ میکوریزا بر تجمع ماده خشک

Figure 1- Application of PSB and GM on TDM



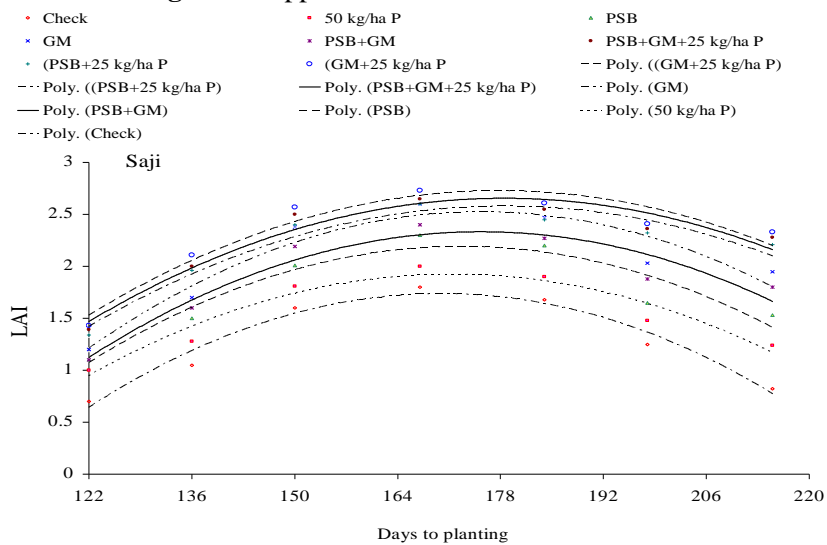
شکل ۲- کاربرد باکتری‌های فزاینده رشد و قارچ میکوریزا بر تجمع ماده خشک

Figure 2- Application of PSB and GM on TDM



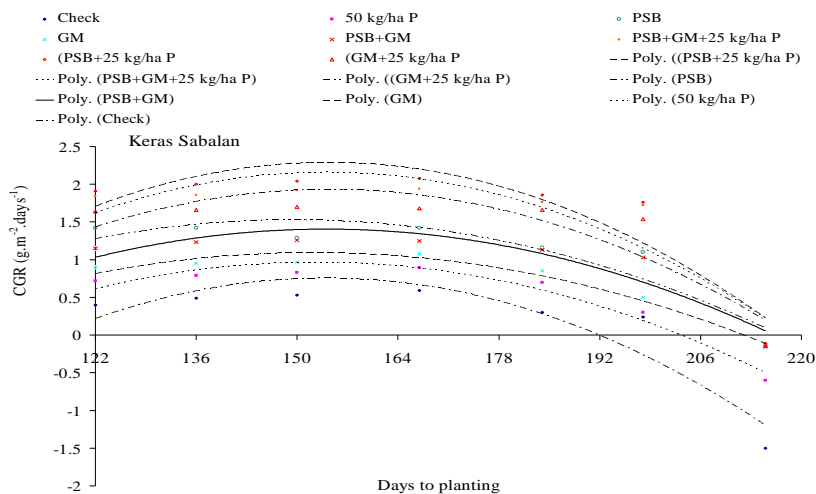
شکل ۳- کاربرد باکتری‌های فزاینده رشد و قارچ میکوریزا بر شاخص سطح برگ

Figure 3- Application of PSB and GM on LAI



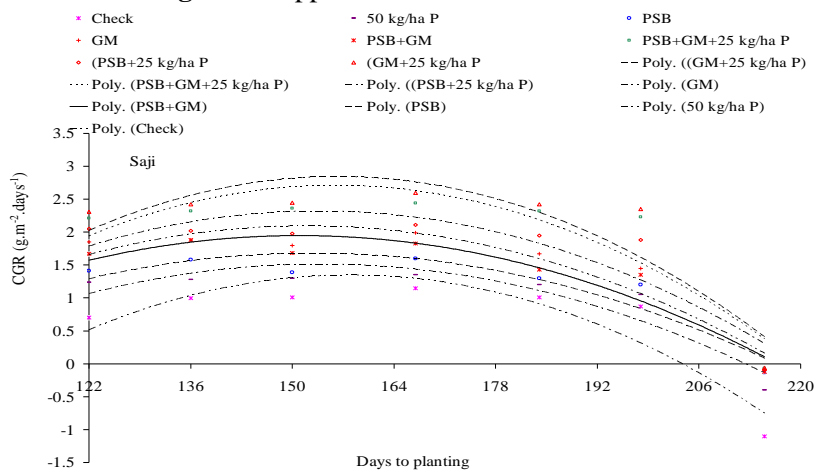
شکل ۴- کاربرد باکتری‌های فزاینده رشد و قارچ میکوریزا بر شاخص سطح برگ

Figure 4- Application of PSB and GM on LAI



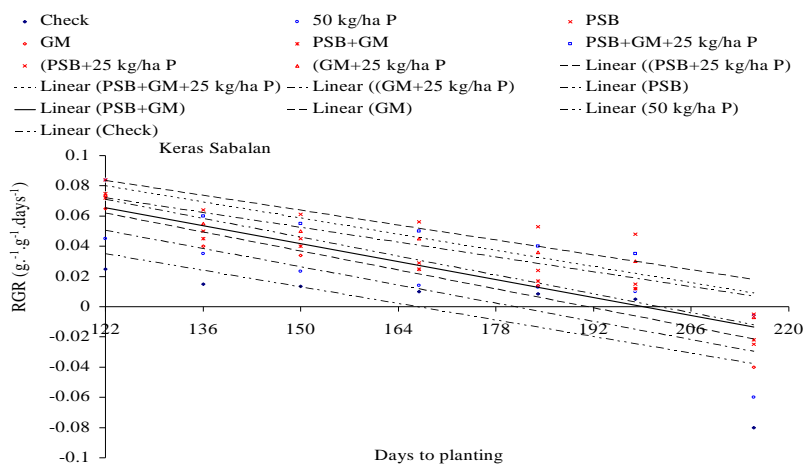
شکل ۵- کاربرد باکتری‌های فزاینده رشد و قارچ میکوریزا بر سرعت رشد محصول

Figure 5- Application of PSB and GM on CGR



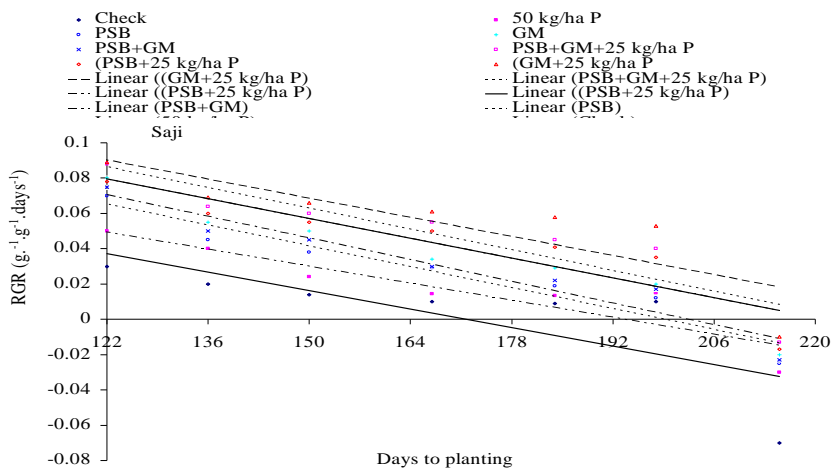
شکل ۶- کاربرد باکتری‌های فزاینده رشد و قارچ میکوریزا بر سرعت رشد محصول

Figure 6- Application of PSB and GM on CGR



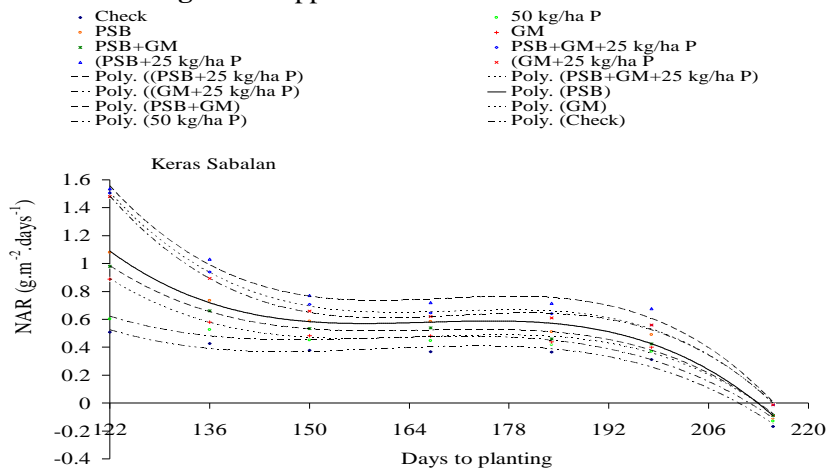
شکل ۷- کاربرد باکتری‌های فزاینده رشد و قارچ میکوریزا بر سرعت رشد نسبی

Figure 7- Application of PSB and GM on RGR



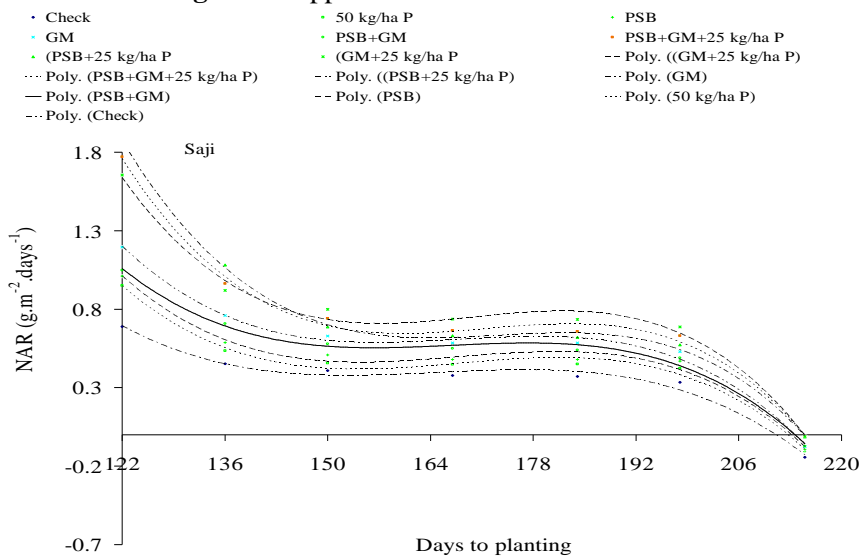
شکل ۸- کاربرد باکتری‌های فزاینده رشد و قارچ میکوریزا بر سرعت رشد نسبی

Figure 8- Application of PSB and GM on RGR



شکل ۹- کاربرد باکتری‌های فزاینده رشد و قارچ میکوریزا بر سرعت جذب خالص

Figure 9- Application of PSB and GM on NAR



شکل ۱۰- کاربرد باکتری‌های فزاینده رشد و قارچ میکوریزا بر سرعت جذب خالص

Figure 10- Application of PSB and GM on NAR

References

منابع مورد استفاده

- Abdul-Jaleel, C., P. Manivannan, B. Sankar, A. Kishorekumar, R. Gopi, R. Somasundaram, and R. Panneerselvam. 2007. *Pseudomonas fluorescens* enhances biomass yield and ajmalicine production in *Catharanthus roseus* under water deficit stress. *Plant and Soil*. 60: 7–11.
- Akbari, P., A. Ghalavand, and S.A.M. Modarres Sanavy. 2010. Effects of different nutrition systems and biofertilizer (PGPR) on phenology period yield and yield components of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Electronic Journal of Crop Production*. 2 (3): 119-134. (In Persian).
- Alinaghizadeh, M., M. Movahhedi Dehnavi, H. Faraji, and M. Azimi Gandomani. 2011. Study of the yield and growth indices of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) as double cropping in Yasouj region. *Electronic Journal of Crop Production*. 3(2): 15-32. (In Persian).
- Amiri, M.B., P. Rezvani Moghaddam, R. Ghorbani, J. Fallahi, R. Deyhim fard, and F. Fallahpour. 2013. Effects of seed inoculation by biofertilizers on growth characteristics and cultivars in the green in greenhouse. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 11(1): 64-72. (In Persian).
- Asrar, A.W.A., and K.M. Elhindi. 2011. Alleviation of drought stress of marigold (*Tagetes erecta*) plants by using arbuscular mycorrhizal fungi. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 18: 93–98.
- Azadi S., A. Siadat, R. Naseri, A. Soleymanifard, and A. Mirzaei. 2013. Effect of integrated application of *Azotobacter chroococcum* and *Azospirillum brasilense* and nitrogen chemical fertilizers on qualitative and quantitative of durum wheat. *Journal of Crop Ecophysiology*. 5(26): 129-146. (In Persian).
- Berzy, T., T. Szundy, J. Pinter, and C. Feher. 1996. Effect of tassel damage at the beginning of female flowering on the yield and quality of maize (*Zea mays* L.) seed. *Seed Science and Technology*. 25: 35-44.
- Cakir, R. 2004. Effect of water Stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. *Field Crops Research*. 89: 1-16.
- Choudhary, R.R., H.L. Yadav, S.L. Choudhary, A.L. Prajapat., and Ritu Choudhary. 2017. Effect of integrated nutrient management on growth of wheat (*Triticum aestivum*) cultivars. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 6(8): 2369-2374.
- Eidi Zadeh, Kh., A.M. Mahdavi Damghani, H. Sabahi, and S. Soofizadeh. 2010. EffectS of biofertilizers in combination with chemical fertilizer on corn growth in Shushtar (*Zea mays* L.). *Journal of Agroecology*. 2(2): 292-301. (In Persian).
- Farzaneh, M., S. Wichmann, H. Vierheilig, and H.P. Kaul. 2009. The effects of arbuscular mycorrhiza and nitrogen nutrition on growth of chickpea and barley. *Pflanzenbauwissenschaft-en*. 13(1): 15-22.
- Ghazi, A.K., and B.M. John Zak. 2003. Field response of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress. *Mycorrhiza*. 14: 263-269.
- Gholami, A., S. Shahsavani, and S. Nezarat. 2009. The Effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on germination, seedling growth and yield of

- maize. Proceedings of World Academy of Science. *Engineering and Technology*. 37: 2070-3740.
- Hafeez, F.Y., M.E. Safdar, A.U. Chaudry, and K.A. Malik. 2004. Rhizobial inoculation improves seedling emergence, nutrient uptake and growth of cotton. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 44: 617-622.
 - Hamidi, A.1., R. Chaokan, A. Asgharzadeh, M. Dehghanshoar, A. Ghalavand, and M.J. Malakouti. 2009. Effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on phenology of late maturity maize (*Zea mays* L.) hybrids. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 11(3): 249-270. (In Persian).
 - Heidari, M., and A. Golpayegani. 2011. Effects of water stress and inoculation with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on antioxidant status and photosynthetic pigments in basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 23: 1-5.
 - Keating, J.D.H., I.E. Summerfield-Kusmenoglu, and M.H. Hall. 2000. Autumn sowing of lentil in the Mediterranean highlands: lesson for chickpea. In R. Knight (eds.) *Linking Research and Marketing Opportunities for Pulses in the 21 Century*. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands. 279-288.
 - Khalvati. M.A., A. Mozafar, and V. Schmidhalter. 2005. Quantification of water uptake by arbuscular mycorrhizal hyphae and its significance for leaf growth water relations and gas exchange of barley subjected to drought stress. *Plant Biology Stuttgart*. 7(6): 706-712.
 - Khandan Mirkohi, A., M. Sheikh Asadi, M.R. Taheri, and M. Babalar. 2015. The effects of arbuscular mycorrhizal fungi and different phosphorus levels on some growth aspects of *Lisianthus*. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*. 6 (2): 57-68. (In Persian).
 - Lucy, M., E. Reed, and B.R. Glick. 2004. Applications of free living plant growth-promoting rhizobacteria. *Antonie van Leewenhoek*. 86: 1-25.
 - Mohammadi, E., H.R. Asghari, and A. Ghulami. 2013. Effects of Inoculation with mycorrhizal fungi and phosphorus fertilizer on plant growth indices Hashem. *Agroecology*. 5(3): 263-271. (In Persian).
 - Moradi, M., S.A. Siadat, K. Khavazi, R. Naseri, A. Maleki, and A. Mirzae. 2011. Effect of application of biofertilizers and phosphorus fertilizers on qualitative and quantitative traits of spring wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Crop Ecophysiology*. 5(3): 51-66. (In Persian).
 - Naseri, R. 2017. Effect of phosphate solubilizing bacteria and mycorrhizal fungi on morpho-physiological traits and yield of two wheat cultivars under dryland farming. Ph.D. Thesis. Ilam University, Faculty of Agriculture. 336 Pp. (In Persian).
 - Rahimi, A., M. Jamialahmadi, K. Khavazi, M. Sayyari-Zahan, and R. Yazdani. 2013. Effects of different pseudomonas fluorescence bacterium strains on yield, yield components and some traits of safflower. *Plant Ecophysiology*. 5(14): 1-16. (In Persian).

- Rouzbeh, R., J. Daneshian, and H.A. Farahani. 2009. Super nitro plus influence on yield and yield components of two wheat cultivars under NPK fertilizer application. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*. 1: 293-297.
- Saghafi, K., J. Ahmadi, A. Asgharzadeh, and S. Bakhtiari. 2013. The effect of microbial inoculants on physiological responses of two wheat cultivars under salt stress. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*. 1(4): 421-431.
- Sepahri, M., N. Saleh Rastin, G. Hossieni Salkedeh, and M. Khayam Nekouie. 2009. Effect of endophytic fungus, *Piriformospora indica*, on growth and resistance of *Hordeum vulgare* L. to salinity stress. *Rangeland*. 3(3): 508 -518. (In Persian).
- Sepehri, A., and H. Shahbazi. 2017. Effect of planting date and biological and chemical fertilizers on phenology and physiological indices of peanuts. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 15(1): 216-230. (In Persian).
- Seyed Sharifi, R., and M.S. Haydari Siahkhalaki. 2015. Effects of biofertilizers on growth indices and contribution of dry matter remobilization in wheat grain yield. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*. 2(28): 326-342. (In Persian).
- Shahhosini, Z., A. Gholami, and H.R. Asghari. 2013. The Effects of mycorrhizal symbiosis on yield and some growth characteristics of maize under water deficit condition. *Iranian Journal of Field Crop Science*. 44(2): 249-260. (In Persian).
- Shahhosseini, Z., A. Gholami, and H. Asghari. 2012. Effect of arbuscular mycorrhizae and humic acid on water use efficiency and physiological growth indices of maize under water deficit condition. *Arid Biome Scientific and Research Journal*. 2(1): 39-57. (In Persian).
- Sharma, S.D., and V.P. Bhutani. 1998. Response of apple seedlings to VAM, Azotobacter and inorganic fertilizers. *Horticulture Journal*. 11 (1): 1-8.
- Shaukat, K., S. Affrasayab, and S. Hasnain. 2006. Growth responses of *Helianthus annuus* to plant growth promoting rhizobacteria used as a biofertilizer. *Journal of Agriculture Research*. 1 (6): 573-581
- Shenoy, V.V., and G.M. Kalagudi. 2005. Enhancing plant phosphorus use efficiency for sustainable cropping. *Biotechnology Advances*. 23: 501-513.
- Soleymanifard, A., S.S. Pourdard, R. Naseri, and A. Mirzaei. 2012. Effect of planting pattern on phenological characteristics and growth indices of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) in rainfed conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 13(2): 282-298. (In Persian).
- Subramanian, K.S., C. Charest, L. Dwyer, and R.L. Hamilton. 1997. Effects of arbuscular mycorrhizae on leaf water potential sugar content and phosphorus content during drought and recovery of maize. *Canadian Journal of Botany*. 75: 1582-1591
- Talukder, A.S.M.H.M., G.K. McDonald, and G.S. Gill. 2014. Effect of short-term heat stress prior to flowering and early grain set on the grain yield of wheat. *Field Crops Research*. 160: 54-63.

- Thakur, A.K., and D.S. Panwar. 1997. Response of rhizobium vesicular arbuscular mycorrhizal symbionts on photosynthesis, nitrogen metabolism and sucrose translocation in green gram (*Phaseolus radiatus*). *Indian Journal Agriculture Sciences*. 67(6): 245-248.
- Wahid, A., S. Gelani, M. Ashraf, and M.R. Foolad. 2007. Heat tolerance in plants: an overview. *Environmental and Experimental Botany*. 61: 199-223.
- Wang, X., J. Cai, D. Jiang, F. Liu, T. Dai, and W. Cao. 2011. Pre-anthesis high-temperature acclimation alleviates damage to the flag leaf caused by post-anthesis heat stress in wheat. *Journal of Plant Physiology*. 168: 585-593.
- Winarso, S., D. Sulistyanto, and E. Handayanto. 2011. Effects of humic compounds and phosphate solubilizing bacteria on phosphorus availability in an acid soil. *Journal of Ecology and the Natural Environment*. 3 (7): 232-240.
- Wu, S.C., H. Cao, and K.C. Cheung. 2008. Effect of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a green house trial. *Geoderma*. 125: 155-166.
- Xu, Q.A., A.Q. Paulsen, J.A. Guikema, and G.M. Paulsen. 1995. Functional and ultrastructural injury to photosynthesis in wheat by high-temperature during maturation. *Environmental and Experimental Botany*. 35: 43-54.
- Yasari, E., and A.M. Patwardhan. 2007. Effects of Azotobacter and Azospirillum inoculation and chemical fertilizers on growth and productivity of canola. *Asian Journal of Plant Science*. 6:77-82.
- Zahid, A., A.A. Muhammad, A. Shaukat, A. Zaheer, W. Abdul, A. Bahadur, H. Tahir, I. Arshad, W. Izhar, A. Muhammad Zulfiqar, and S. Tariq. 2013. Integrated effect of plant growth promoting rhizobacteria, phosphate solubilizing bacteria and chemical fertilizers on growth of maize. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*. 6 (13): 913-921.
- Zaied, K., A.H. Abd-El-Hady, A.H. Afify, and M.A. Nassef. 2003. Yield and nitrogen assimilation of winter wheat inoculated with new recombinant inoculant of rhizobacteria. *Pakistan Journal of Biological Science*. 6: 344-358.

Effect of Phosphate Solubilizing Bacteria and Mycorrhizal Fungi on Phenological and Physiological Characteristics of Wheat under Dryland Conditions

Rahim Naseri^{1*}, Mehrshad Barary¹, Mohammad Javad Zarea¹, Kazem Khavazi², Zahra Tahmasebi¹ and Anita Yaghotipoor³

Received: March 2016, Revised: 12 May 2017, Accepted: 29 August 2018

Abstract

To study the effect of phosphate solubilizing bacteria (PSB) and mycorrhizal fungi on phenological and physiological traits of wheat, an experiment was carried out in factorial arrangement using randomized complete block design with three replications at the Agriculture and Natural Resources Research Center, Sarableh (Ilam), Iran, during 2013-2014 cropping season. Experiment factors consisted of two dry land wheat cultivars (Cross Sablan and Saji) and fertilizer levels were 1- without application of phosphorous (P), 2- 100% phosphorous application, 3- *Pseudomonas putida*, 4- *Funeliformis mosseae*, 5- *P. putida* + *F. mosseae*, 6- *P. putida* + *F. mosseae* + 50% of phosphorous fertilizer, 7- *P. putida* + 50% of phosphorous fertilizer and 8- *F. mosseae* + 50% of phosphorous fertilizer. Results indicated that using chemical and biofertilizer affected 50% days to emergence, stem elongation, flowering, pollination, maturity weight and maturity significantly. Results also showed that using of bio-fertilizer reduced drought stress effects by improving phenological traits of wheat under dry land conditions. The highest LAI, CGR, TDM, RGR and NAR were obtained by Saji cultivar and application of 50% of phosphorous fertilizer + Mycorrhiza fungi, but its effect at late season on CGR, RGR and NAR due to increased shading of plants and leaf falling were negative. The Saji cultivar and 50% of phosphorous fertilizer + *F. mosseae* because of maximum LAI, CGR and TDM produced higher grain yield under dry land conditions. It can be concluded that Saji cultivar along with *F. mosseae* may have higher growth indices and seed yield under dryland conditions.

Key words: Bio-fertilizer, Grain yield, Growth indices, Phosphorous chemical fertilizer.

1- Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

2- Professor, Water and Soil Research Institute, Karaj, Iran.

3- Ph.D. Department of Agronomy and Plant Breeding, campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran

* Corresponding Author: rahim.naseri@gmail.com