

اثر باکتری‌های محرک رشد گیاه بر صفات زراعی و فیزیولوژیک دو رقم گندم تحت شرایط دیم

محمدحسین انصاری^{۱*}، داوود هاشم‌آبادی^۲ و مهرباب یادگاری^۳

۱- *نویسنده مسئول: استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران (ansary330@yahoo.com)

۲- دانشیار، گروه باغبانی، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران

۳- استادیار، گروه زراعت و گیاهان دارویی، واحد شهرکرد، دانشگاه آزاد اسلامی، شهرکرد، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۳/۱۵

چکیده

به منظور ارزیابی اثر باکتری‌های محرک رشد گیاه بر خصوصیات اکوفیزیولوژیک دو رقم گندم تحت شرایط دیم آزمایشی در قالب بلوک‌های کامل تصادفی به صورت فاکتوریل با سه تکرار در شهرستان گرمی مغان به اجرا درآمد. فاکتورهای آزمایش شامل دو رقم گندم (آتیلا و زاگرس) و شش سطح باکتری محرک رشد (سودوموناس پوتیدا سویه R168، سودوموناس پوتیدا سویه R159، سودوموناس پوتیدا سویه R112، آزو اسپریلوم لیپوفروم سویه A21 و ازتوباکتر کروکوکوم سویه E25 و یک تیمار شاهد بدون تلقیح با باکتری) بودند. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار کلروفیل کل و قند برگ در رقم زاگرس به ترتیب از باکتری سودوموناس سویه R159 و ازتوباکتر به دست آمد، اما در رقم آتیلا باکتری سودوموناس سویه R112 بیشترین مقدار کلروفیل و قند برگ را نشان داد. بیشترین پایداری غشاء نیز از باکتری سودوموناس سویه R112 و بیشترین مقدار پروتئین کربونیل از تیمار عدم تلقیح به دست آمد. باکتری سودوموناس سویه R112 در رقم زاگرس نسبت به سایر باکتری‌ها با تولید دانه ۳۱۳۰ کیلوگرم در هکتار از برتری برخوردار بود و بیشترین وزن هزار دانه را نیز نشان داد ولی در رقم آتیلا اگرچه تیمارهای باکتریایی نسبت به تیمار عدم تلقیح عملکرد دانه بیشتری داشتند اما بین باکتری آزو اسپریلوم با سویه های R112 و R159 اختلاف معنی دار وجود نداشت. در مجموع رقم زاگرس نسبت به رقم آتیلا واکنش بهتری به تلقیح باکتریایی نشان داد و برای منطقه دیم گرمی کشت رقم زاگرس همراه با تلقیح با باکتری سودوموناس سویه R112 برای حصول حداکثر عملکرد دانه قابل توصیه است.

کلید واژه‌ها: پروتئین کربونیل، کلروفیل، عملکرد دانه، قند، منطقه مغان.

مقدمه

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که همراه با فقر عناصر غذایی خاک در بسیاری از مناطق نیمه خشک جهان باعث محدودیت تولید گیاهان زراعی از جمله گندم می‌شود، در این مناطق بیشتر گندم‌ها در شرایط دیم رشد می‌کنند که در هر زمان از دوره رشد ممکن است با خشکی مواجه شوند (Foulkes et al., 2007). یکی از راهبردهای مقابله با خشکی، پیش تیمار بذر با انواع مختلفی از باکتری‌های

مفید خاکزی است (Arshad et al., 2008). استفاده از باکتری‌ها، به خصوص در کشت‌های فشرده و خاک‌های فقیر از لحاظ عناصر غذایی، ضرورتی اجتناب‌ناپذیر برای حفظ ارزش کیفی خاک می‌باشد. در حالی که مصرف غیراصولی و بلندمدت کودهای شیمیایی نتیجه‌ای جز تخریب تدریجی کیفیت خاک، کاهش ارزش کیفی محصول، بهم‌زدن تعادل طبیعی اکوسیستم و گسترش آلودگی‌های زیست‌محیطی، در پی نخواهد داشت (Ali et al., 2005). از مهم‌ترین ریزموجودات مفید خاکزی، می‌توان به

گزارش‌هایی مبنی بر توانایی زنده ماندن و بقای باکتری آزوسپریلوم و ازتوباکتر تحت شرایط تنش به دلیل تولید آگروپلی ساکاریدها (EPS) وجود دارد که میکروارگانیسم‌ها را از تنش هیدریک و نوسانات بالقوه آب به وسیله افزایش احتباس آب و تنظیم انتشار منابع کربنی در محیط میکروبی محافظت می‌کند (Sandhya et al., 2010). آگروپلی ساکاریدها دارای ترکیبات ویژه نگهداری آب و خواص چسبندگی می‌باشند، بنابراین نقش حیاتی در تشکیل و پایداری خاک دانه‌ها و تنظیم جریان آب و مواد غذایی در ریشه گیاه از طریق تشکیل بیوفیلم بازی می‌کنند (Kumar et al., 2015)، ضمن آن‌که فعالیت رشدی گیاه را تعدیل می‌کنند (Chang et al., 2009). در یک بررسی گزارش شد که تلقیح ذرت با باکتری‌های سودوموناس فلورسنت موجب افزایش تولید هورمون‌های رشد گیاه و عملکرد دانه تحت تنش خشکی شدند (Ansari et al., 2015).

دشت مغان اردبیل یکی از مناطق موفق تولید غلات دیم کشور می‌باشد. سطح زیر کشت گندم در آن ۱۸۰ هزار هکتار است که از این میزان ۶۰ هزار هکتار آبی و بقیه کشت دیم می‌باشد. میانگین عملکرد گندم آبی و دیم به ترتیب ۳۸۶۰ و ۱۹۳۴ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. به همین منظور آزمایش حاضر به منظور ارزیابی اثر میکروارگانیسم‌های محرک رشد گیاه بر خصوصیات اکوفیزیولوژیک ارقام جو تحت شرایط دیم در منطقه گرمی مغان اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

به منظور ارزیابی اثر میکروارگانیسم‌های محرک رشد گیاه بر خصوصیات اکوفیزیولوژیک ارقام جو تحت تلقیح در منطقه گرمی مغان عملیات مزرعه‌ای در اراضی پیرامون شهرستان گرمی با ارتفاع ۱۴۶۰ متر از سطح دریا، طول جغرافیایی ۵۰° ۳۸ و عرض جغرافیایی ۲۵° ۴۷ انجام شد. محل آزمایش از نظر آب و هوا و طبقه‌بندی اقلیمی جزو مناطق نیمه مرطوب سرد محسوب می‌شود. متوسط بارش سالانه منطقه در دوره آماری ۳۹۰ میلی‌متر می‌باشد (جدول ۱).

قارچ‌های میکوریز آربسکولار^۱ و باکتری‌های محرک رشد گیاه^۲ اشاره کرد. باکتری‌های آزادزی ریزوسفر را که به طور مستقیم و غیرمستقیم باعث بهبود رشد و سلامت گیاه می‌شوند، باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه می‌نامند (Asghar et al., 2002). در روش غیرمستقیم باکتری‌های محرک رشد با استفاده از مکانیسم‌های خاصی اثرات مضر بیمارگرهای گیاهی را تعدیل نموده و به این طریق موجب افزایش رشد گیاه می‌شوند. اما در روش مستقیم این باکتری‌ها با تثبیت آزادزی نیتروژن، تولید متابولیت‌های مؤثر در رشد گیاه، مانند هورمون‌های گیاهی (اکسین، سیتوکینین، جیبرلین)، افزایش حلالیت ترکیبات نامحلول مثل فسفر و پتاسیم از طریق تولید اسیدهای معدنی و آلی، تولید سیدروفورها و افزایش فراهمی عناصر کم مصرف به ویژه آهن و کاهش اثرات سوء اتیلن تنشی، تولید آنزیم ACC دی‌آمیناز^۳ به رشد بهتر گیاه کمک می‌کنند (Arshad et al., 2008). تعداد زیادی از باکتری‌های محرک رشد گیاه با تولید آنزیم ACC دی‌آمیناز، پیش ماده تولید اتیلن در گیاه یعنی ACC را به آمونیم و آلفاکتوبوتیرات هیدرولیز کرده و مانع تولید بیش از حد اتیلن تنشی در گیاه و کاهش رشد ریشه می‌شوند (Glick, 2014). سودومونادس‌های فلورسنت خاکزی به طور ویژه‌ای به دلیل تطبیق پذیری کاتابولیکی، قابلیت کلونیزاسیون عالی در سطح ریشه و قابلیت تولید دامنه وسیعی از آنزیم‌ها و متابولیت‌ها که در شرایط مختلف تنش‌های زنده و غیرزنده می‌توانند مفید باشند، مورد توجه قرار گرفته‌اند (Mayak et al., 2004). باکتری‌های ازتوباکتر و آزوسپریلوم در افزایش طویل شدن ریشه کلزا، کاهو و گوجه‌فرنگی و افزایش عملکرد گوجه‌فرنگی، کرفس، برنج، سیب‌زمینی، کاهو، مرکبات، ذرت، لویزا، گیاهان زینتی و گندم و جو فوق‌العاده مؤثر می‌باشند (Sable et al., 2016).

1- Arbuscular mycorrhizal fungi (AM)

2- Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR)

3- Aminocyclopropane-1-carboxylate (ACC)

جدول ۱- اطلاعات هواشناسی ایستگاه هواشناسی کشاورزی اردبیل در سال‌های زراعی ۹۴-۱۳۹۳

خرداد	اردیبهشت	فروردین	اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر	ماه
June	May	April	March	February	January	December	November	October	Month
5.5	44.0	81.3	24.1	44.4	43.3	41.7	69.4	13.14	میانگین بارندگی (میلی‌متر) Average Rainfall (mm)
16.91	12.7	6.0	4.4	0.8	-1.2	1.3	5.9	14.8	میانگین دما (سانتی‌گراد) Average Temperatur (C)

گرفته، انجام شد. مبارزه با علف‌های هرز به روش مکانیکی (وجین) انجام گرفت. نمونه برداری از خطوط اصلی هر کرت با رعایت حاشیه انجام گرفت. جهت بررسی تغییرات مقدار محتوای کلروفیل در تیمارهای مختلف از هر کرت تعداد ۳ عدد برگ پرچم انتخاب و سپس به آزمایشگاه منتقل شد تا مقدار محتوای کلروفیل نمونه‌ها اندازه‌گیری شود و استخراج کلروفیل برگ پرچم با استفاده از استون و اندازه‌گیری آن با استفاده از روش تغییر یافته Arnon (1949) انجام شد و فقط کلروفیل کل در این مقاله گزارش گردید. عملکرد دانه از سه ردیف وسطی دست‌نخورده هر کرت آزمایشی به مساحت یک متر مربع برآورد گردید و تعداد سنبله در یک متر مربع نیز شمارش گردید. برای تعیین تعداد دانه در سنبله و تعداد پنجه بارور، برداشت ۳۰ بوته انتخاب و میانگین بوته‌های برداشتی به‌عنوان ارزش آن صفت در جدول تجزیه واریانس (جدول‌های ۳ و ۵) در نظر گرفته شد. برای صفات فیزیولوژیک ۲۰ روز بعد از ظهور سنبله برگ پرچم ۵ بوته از یک متر مربع وسط کرت برداشت شد. برای سنجش پروتئین کرنیله از روش Reznick and Paker (1994) استفاده شد. برای محاسبه پایداری غشای سیتوپلاسمی^۴ از رابطه زیر استفاده گردید:

$$I = 1 - (1 - T_1/T_2) / (1 - C_1/C_2) \times 1$$

که در آن T_1 و T_2 به ترتیب EC نمونه قبل و بعد از اتوکلاو و C_1 و C_2 به ترتیب EC نمونه شاهد قبل

نتایج حاصل از تجزیه خاک مزرعه آزمایشی به شرح جدول (۲) می‌باشد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام گردید. تیمارهای آزمایشی عبارت بودند از دو رقم گندم زاگراس و آتیلا و تلقیح باکتریایی شامل پنج سویه باکتری به همراه شاهد (بدون تلقیح): باکتری آزوسپریلیوم لیپوفروروم^۱ سویه A21، سه سویه باکتری سودوموناس پوتیدا^۲ (سویه R168، R159 و R112)، و باکتری ازتوباکتر کروکوکوم^۳ سویه E5.

هر واحد آزمایشی شامل ۵ خط کاشت به طول ۶ متر و فاصله ردیف‌های کشت ۳۰ سانتی‌متر بود. در پاییز قبل از کاشت، عملیات شخم و دیسک انجام و بعد از تسطیح زمین، در اواخر آبان ماه با تراکم ۴۰۰ بذر در متر اقدام به کاشت گردید. جهت تهیه تیمارها، بذرها به وسیله صمغ عربی، آغشته و باکتری‌های مورد نظر (میزان مصرف بر اساس دستورالعمل بخش تحقیقات بیولوژی خاک موسسه تحقیقات خاک و آب کرج ۷ گرم مایه تلقیح برای هر کیلوگرم بذر بود که در هر گرم آن ۱۰^۷ عدد باکتری زنده و فعال وجود دارد) به توده بذر اضافه گردید. این باکتری‌ها، بومی خاک‌های کشور بوده و توسط بخش تحقیقات بیولوژی خاک موسسه تحقیقات خاک و آب کرج جدا و خالص‌سازی شده و مایه تلقیح آن‌ها تهیه گردیده است. پس از تلقیح بذر و خشک کردن در سایه، عملیات کاشت با توصیه‌های صورت

1- *Azospirillum lipoferum*2- *Pseudomonas putida*3- *Azotobacter chroococcum*

4- Cell membrane stability

رقم × باکتری بر قندهای محلول معنی‌دار بود (جدول ۳). افزایش غلظت قندهای محلول در سلول می‌تواند در ارتباط با تجزیه نشاسته باشد (Tilak et al., 2004). قندهای محلول در سلول می‌توانند منجر به جذب آب شوند بدون آن که بر کارکرد اجزای سلول تأثیر بگذارند، بنابراین تجمع قندها در سلول می‌تواند در شرایط تنش به تنظیم اسمزی کمک نموده و گیاه را در تحمل تنش یاری نماید (Shoresh et al., 2008; Tilak et al., 2004). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تلقیح با باکتری سودوموناس بر قندهای محلول در هر دو رقم نسبت به شاهد از برتری برخوردار بودند، هرچند باکتری‌های ازتوباکتر و آزوسپریلوم نیز نسبت به شاهد قند محلول بیشتری نشان دادند اما نسبت به سویه‌های باکتری سودوموناس در مرتبه پایین‌تری قرار گرفتند (جدول ۴). نتایج یک تحقیق نشان داد که میزان قندهای محلول در ارقام متحمل به خشکی جو، دو برابر بیشتر از ارقام حساس بود (Aktas et al., 2012). هم‌چنین همبستگی مثبت بین ظرفیت گلاسیسین بتائین و میزان قندهای محلول و تحمل به خشکی وجود دارد (Allahverdiyev et al., 2015).

Sandhya et al. (2010) گیاهان تلقیح شده با باکتری سودوموناس پوتیدا سویه GAP-P45 سطوح بالایی از قندهای محلول، پرولین، اسید آمینه‌های آزاد را تحت تنش خشکی مشاهده کردند. این نتایج ممکن است در ارتباط با قابلیت سویه‌ها برای تولید آنزیم ACC دی‌آمیناز که تولید اتیلین را کاهش می‌دهند باشد. بر اساس نتایج به‌دست آمده و گزارش‌های موجود استفاده از فلوررستنت سودوموناس^۱ ممکن است ابزاری در تسهیم اثرات تنش خشکی^۲ در گندم باشد. گزارش شده است که علاوه بر القای متابولیسم کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌های مربوط به فتوسنتز توسط باکتری‌های فلوررستنت سودوموناس، میزان قندهای محلول برگ‌های ذرت تلقیح شده تحت تنش خشکی نسبت به گیاهان غیرتلقیحی بیشتر است (Shoresh et al., 2008).

و بعد از اتوکلاو است (Saneoka et al., 2004). تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ انجام گردید و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

کلروفیل برگ

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل باکتری × رقم بر کلروفیل کل در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین نشان داد که در رقم آتیلا بین سویه R112 باکتری سودوموناس با شاهد اختلاف معنی‌دار وجود ندارد (جدول ۴). عاملی که بر غلظت کلروفیل در واحد سطح برگ یا در واحد وزن آن مؤثر است، سطح برگ می‌باشد که تابع شرایط محیطی، رطوبت و تغذیه است. با افزایش تنش خشکی سطح برگ کاهش می‌یابد. بنابراین تخریب کلروفیل به دلیل تنش خشکی در شرایط دیم موجب کاهش غلظت کلروفیل در واحد سطح برگ می‌گردد (Sandhya et al., 2010). ولی در تنش شدیدتر کم‌آبی که سطح برگ به شدت کاهش یافته و علی‌رغم تخریب مولکول‌های کلروفیل، غلظت مولکول‌های باقیمانده در واحد سطح برگ افزایش می‌یابد (Asch et al., 2000). اما در رقم زاگرس باکتری‌های به کار برده شده به استثنای آزوسپریلوم نسبت به شاهد مقدار کلروفیل بیشتری نشان دادند و سویه R159 باکتری سودوموناس بیشترین محتوای کلروفیل برگ را نشان داد (جدول ۴). Ali et al. (2009) گزارش کردند که سودوموناس سویه AMK.P6 وضعیت محتوای کلروفیل، آمینو اسید و قند را در گیاهچه‌های سورگرم اصلاح می‌کند. Khan et al. (2007) در مطالعات خود همبستگی بین کلروفیل برگ و عملکرد را بالا گزارش کردند، بنابراین ژنوتیپ‌هایی که دارای محتوای کلروفیل بالایی باشند، تحمل به خشکی بیشتر و عملکرد بیشتری دارند.

قندهای محلول

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل

1- Fluorescent pseudomonads
2- Alleviating drought stress effects

جدول ۲- خواص فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

Table 2. Physical and chemical of soil in experiment site

هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر) EC (dS.m ⁻¹)	اسیدیته pH	درصد اشباع SP	آهک (درصد) Lime (%)	بافت Texture	کربن آلی (درصد) Organic Carbon (%)	نیتروژن (درصد) Nitrogen (%)	فسفر (میلی گرم بر کیلوگرم) P (mg kg ⁻¹)	پتاسیم (میلی گرم بر کیلوگرم) K (mg kg ⁻¹)
0.94	7.40	38	14	رسی-لومی (Loamy-Clay)	0.61	0.07	16.3	220

جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر باکتری‌های محرک رشد بر کلروفیل کل، قند محلول، وزن هزار دانه، وزن خشک بوته و عملکرد دانه دو رقم گندم تحت شرایط دیم

Table 3. Analysis of variance for PGPRs on total chlorophyll, soluble sugars, 1000-grain weight, shoot dry weight and gain yield of the two wheat cultivar under rainfed condition

میانگین مربعات Square Mean					درجه آزادی df	منابع تغییرات Source of variation
عملکرد دانه Gain yield	وزن خشک بوته Shoot dry weight	وزن هزار دانه 1000-grain weight	قند محلول Soluble sugars	کلروفیل کل Total Chlorophyll		
23263 ^{ns}	0.011 ^{ns}	0.031 ^{ns}	0.393*	3.231 ^{ns}	2	تکرار Rep
781017**	1.196**	57.49**	0.983**	21.97**	1	رقم Cultivar
612473**	0.881*	73.47**	0.373*	18.21**	5	باکتری Bacteria
94656*	0.154*	21.43*	0.374*	15.33**	5	رقم × باکتری Cultivar×Bacteria
30199	0.019	4.97	0.102	2.45	22	خطا Error
5.89	13.94	5.77	22.26	19.71	-	ضریب تغییرات (درصد) C.V. (%)

ns, * و ** به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی دار، معنی دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد را نشان می‌دهد.

ns, * and ** show no significant differences, significant at the 5 and 1 % respectively.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل باکتری و رقم بر برخی صفات گندم تحت شرایط دیم

Table 4. Means comparison of wheat cultivars and PGPRs interaction effect on some of traits

عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Gain yield (Kg ha ⁻¹)	وزن خشک بوته (گرم) Shoot dry weight (g)	وزن هزار دانه (گرم) 1000-grain weight (g)	قند محلول (میلی‌گرم بر گرم) Soluble sugars (mg g ⁻¹)	کلروفیل کل (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) Total Chlorophyll (mg g ⁻¹ FW)	باکتری Bacteria	رقم Cultivar
2953 ^b	3.141 ^{abc}	36.73 ^d	1.782 ^a	11.08 ^a	Pseudomonas R112	Atila
3020 ^b	3.187 ^{abc}	37.90 ^{bcd}	1.190 ^{de}	5.74 ^{cd}	Pseudomonas R159	
2809 ^c	3.030 ^{bc}	38.03 ^{bcd}	1.183 ^a	6.89 ^{bc}	Pseudomonas R168	
2837 ^c	3.103 ^{abc}	37.56 ^d	1.448 ^c	9.76 ^{ab}	Azotobacter	
2956 ^b	3.300 ^{bc}	38.13 ^{bcd}	1.238 ^{cd}	8.58 ^{abc}	Azosprillium	
2682 ^d	2.987 ^{bc}	37.86 ^{cd}	0.936 ^e	10.38 ^a	Control	
3130 ^a	3.527 ^a	40.03 ^{ab}	1.473 ^c	5.58 ^{cd}	Pseudomonas R112	Zagros
3048 ^{ab}	3.200 ^{abc}	38.00 ^{bcd}	1.616 ^b	11.16 ^a	Pseudomonas R159	
3043 ^{ab}	3.161 ^{abc}	40.23 ^a	1.836 ^a	10.04 ^{ab}	Pseudomonas R168	
3055 ^{ab}	3.236 ^{ab}	39.69 ^{abc}	1.886 ^a	7.72 ^{bc}	Azotobacter	
3029 ^{ab}	3.214 ^{abc}	39.70 ^{abc}	1.273 ^{cd}	2.54 ^d	Azosprillium	
2834 ^c	2.882 ^c	39.80 ^{ab}	1.143 ^d	7.34 ^c	Control	

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

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

جدول ۵- تجزیه واریانس تأثیر باکتری‌های محرک رشد بر خصوصیات زراعی دو رقم گندم تحت شرایط دیم
 Table 5. Analysis of variance for PGPRs on agronomic traits of the two wheat cultivar under rainfed condition

میانگین مربعات Square Mean				درجه آزادی df	منابع تغییرات Source of variation
درصد پایداری غشا Cell Membrane Stability	پروتئین کربونیل Protein carbonil	تعداد دانه در سنبله Grains number per spike	تعداد پنجه بارور در بوته Tillers in shoot		
7647.8**	126.1**	430.33**	0.0325 ^{ns}	2	تکرار Rep
112.8 ^{ns}	31.49 ^{ns}	343.68**	0.2209**	1	رقم Cultivar
2208.4*	124.4**	194.94**	0.1603**	5	باکتری Bacteria
95.00 ^{ns}	39.46 ^{ns}	45.891 ^{ns}	0.0441 ^{ns}	5	رقم × باکتری Cultivar × Bacteria
130.84	15.14	89.34	0.0224	22	خطا Error
15.87	8.48	24.67	10.71	-	ضریب تغییرات (درصد) C.V. (%)

ns, * و ** به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی دار، معنی دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد را نشان می‌دهد.

ns, * and ** show no significant differences, significant at the 5 and 1 % respectively.

وزن هزار دانه

داشتند که در گندم مانند سایر گیاهان زراعی بین اجزای عملکرد رابطه معکوس مشاهده شده است، به طوری که با تغییرات اجزای عملکرد نمی‌توان میزان محصول را از یک حد نهایی بالاتر برد. در این آزمایش نیز در هر دو رقم، سویه‌های باکتری سودوموناس بیشترین وزن هزار دانه را تولید کردند. به نظر می‌رسد که افزایش تأمین آب کافی از ابتدای رشد گیاه منجر به افزایش پنجه‌زنی و تعداد برگ می‌شود که در نتیجه جذب CO₂ و میزان فتوسنتز افزایش می‌یابد. در حالت کلی موجب افزایش اجزای عملکرد و به طبع آن عملکرد دانه شد. افزایش جذب آب منجر به افزایش فتوسنتز جاری و افزایش طول دوره پر شدن دانه می‌شود و در نهایت بر افزایش وزن هزار دانه و عملکرد نهایی تأثیر می‌گذارد. کم بودن وزن هزار دانه در شرایط دیم به دلیل رقابت دانه‌ها در بدست آوردن مواد غذایی و کاهش کربوهیدرات ذخیره‌ای گیاه می‌باشد که تعداد سلول‌های مولد کاهش یافته و وزن هزار دانه کاهش می‌یابد (Roesti et al., 2006).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل رقم × باکتری بر وزن هزار دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین نشان داد در رقم آتیلا باکتری از توبا کتر و سویه R112 سودوموناس وزن هزار دانه کمتری نسبت به تیمار عدم تلقیح نشان دادند اما باکتری آروسپریلوم و سویه‌های R159 و R168 سودوموناس برتری معنی دار نسبت به عدم تلقیح داشتند و در رقم زاگرس نیز به جز سویه R112 و R168 سایر باکتری‌ها نسبت به عدم تلقیح وزن هزار دانه کمتری داشتند. در مجموع بیشترین وزن هزار دانه در رقم زاگرس همراه با تلقیح با باکتری سودوموناس سویه R168 مشاهده شد (جدول ۴). Attarbashi et al. (2002) گزارش کردند که اگرچه رقم آتیلا دارای وزن هزار دانه کمتری نسبت به رقم زاگرس می‌باشد ولی دارای تعداد دانه در سنبله بیشتری نسبت به رقم زاگرس می‌باشد. آن‌ها ادعان

وزن خشک بوته

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل باکتری \times رقم بر وزن خشک بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل باکتری \times رقم نشان داد که در هر دو رقم باکتری‌های محرک رشد گیاه وزن خشک بوته را به طور معنی‌دار نسبت به تیمار عدم تلقیح افزایش دادند. در رقم آتیلا بیشترین وزن خشک بوته از باکتری سودوموناس سویه R159 مشاهده شد که اختلاف معنی‌دار با سویه R112 و باکتری آزوسپریلوم نداشت و در رقم زاگرس نیز سویه R112 نسبت به سایر تیمارهای تلقیحی از برتری معنی‌دار برخوردار بود (جدول ۴). نکته مورد توجه این است که وزن خشک بوته رقم زاگرس نسبت به رقم آتیلا بیشتر تحت تأثیر تلقیح قرار گرفته است، زیرا در تیمارهای عدم تلقیح (شاهد) رقم آتیلا دارای وزن خشک بیشتری نسبت به رقم زاگرس است. هرچند کشت رقم مناسب می‌تواند منجر به افزایش تولید آسمیلات‌ها و بازدهی فتوسنتز در طول دوره رشد گیاه شود ولی تلقیح با باکتری مناسب نیز افزایش بازدهی جذب آب و عناصر غذایی شده و در مناطق خشک می‌تواند باعث افزایش تولید ماده خشک گیاهان شود (Aktas et al., 2012؛ Ansari et al., 2015). Diaz and Fernandez (2008) افزایش وزن خشک بوته تحت تنش خشکی توسط سودوموناس پوتیدا سویه IUM12 نسبت به سایر باکتری‌ها را به تولید سیدروفورها، ترکیبات شبه هورمونی و افزایش اسمولیت‌ها در ناحیه ریشه توسط باکتری سودوموناس پوتیدا نسبت دادند. در حالی که Arkipova et al. (2007) علت را افزایش فراهمی آب توسط باکتری سودوموناس سویه MIB1 به واسطه افزایش رشد ریشه گزارش کردند. در این آزمایش نیز باکتری‌ها تفاوت معنی‌دار از نظر وزن خشک بوته نشان دادند که بالاترین آن مربوط به باکتری سودوموناس سویه R159 بود که نسبت به سایر باکتری‌ها برتری نشان داد. Reyhanitabar (2002) نیز طی یک آزمایش گلدانی نشان داد که پاسخ گندم به

تلقیح با سویه‌های باکتری سودوموناس در بیشتر شاخص‌های رشد مثبت بود.

عملکرد دانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل باکتری \times رقم در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل رقم \times باکتری نشان داد که بیشترین عملکرد دانه در رقم زاگرس در باکتری سودوموناس R112 و در رقم آتیلا نیز بیشترین عملکرد دانه در باکتری سودوموناس سویه R159 مشاهده شد، البته در رقم آتیلا بین سویه R159 با سویه R112 و باکتری آزوسپریلوم به لحاظ آماری اختلاف معنی‌دار وجود نداشت (جدول ۴). در این آزمایش سویه‌های باکتری سودوموناس نسبت به باکتری ازتوباکتر و آزوسپریلوم عملکرد دانه را بیشتر افزایش دادند. با توجه به نتایج به دست آمده شاید بتوان علت برتری سویه‌های باکتری سودوموناس را به تولید ایندول استیک اسید و سیدروفور بیشتر نسبت به سایر باکتری‌ها دانست، هرچند قابلیت تولید آنزیم ACC دی‌آمیناز در هر سه سویه باکتری سودوموناس به کار رفته در این آزمایش وجود داشت اما روابطی که بین تولید سیدروفور، هورمون و آنزیم ACC دی‌آمیناز در سویه‌ها وجود دارد تعیین‌کننده کارایی سویه باکتری در افزایش متابولیت‌های رشدی است، که نباید نادیده گرفت (Sandhya et al., 2010؛ Glick, 2014). Aktas et al. (2012) نشان داد که باکتری‌های محرک رشد گیاه به‌طور معنی‌دار عملکرد گندم را افزایش می‌دهند و این افزایش مستقل از شاخص محیطی می‌باشد، به‌علاوه بدون در نظر گرفتن سطح حاصلخیزی در مکان مورد کشت و کار، افزایش این چینی را می‌توان پیش‌بینی کرد. شرایط محیطی از نظر شیب، ارتفاع و خاک به‌طور گسترده‌ای کارایی باکتری بر گیاه را متأثر می‌سازد (Defreitas and Germida, 2008). عملکرد دانه در هر دو رقم در تیمارهای باکتری‌های تلقیحی مشاهده شد که بیشترین مقدار قند محلول، کلروفیل و پایداری غشای سیتوپلاسمی را نشان دادند. بنابراین عواملی که

دارد و افزایش میزان آن در نتیجه انطباق باکتری و ژنوتیپ مناسب می تواند در افزایش پایداری غشای سیتوپلاسمی دخالت داشته باشد. Attarbashi *et al.* (2002) در یافتند که ارقام دارای برگ های ضخیم تر پایداری غشای سیتوپلاسمی بیشتری دارند. در مورد پایداری غشای سیتوپلاسمی Aktas *et al.* (2012) گزارش کردند که باکتری های ازتوباکتر کروکوکوم و سودوموناس پوتیدا تأثیر مثبتی بر پایداری غشای سیتوپلاسمی داشتند.

پروتئین کربونیل

بین تیمارهای تلقیحی از نظر پروتئین کربونیل تفاوت معنی دار در سطح احتمال یک درصد وجود داشت (جدول ۵). در بین باکتری ها کمترین میزان پروتئین کربونیل مربوط به باکتری سودوموناس R159 و بالاترین آن مربوط به تیمار شاهد بود و هم چنین به لحاظ آماری تفاوت معنی دار بین ازتوباکتر و سودوموناس R168 وجود نداشت (جدول ۶). در تیمارهای تلقیحی میزان تجمع پروتئین کربونیل نسبت به تیمار شاهد کمتر بود که می توان چنین نتیجه گرفت که به دلیل افزایش ظرفیت آنتی اکسیدانی در تیمارهای حاوی باکتری، گیاه از طریق کاهش پروتئین کربونیل با تنش خشکی مقابله نموده است.

بتوانند ویژگی های فیزیولوژیکی گیاه را تحت شرایط دیم و تنش خشکی بهبود ببخشند، افزایش عملکرد دانه را به همراه دارند. با این وجود افزایش جذب فسفر و آهن نیز می تواند نقش مؤثری در تولید افزایش عملکرد دانه داشته باشد (Sandhya *et al.*, 2010). بنابراین مجموع موارد گفته شده می تواند منجر به برتری سویه های باکتری سودوموناس نسبت به باکتری ازتوباکتر و آزوسپرلیوم باشد که مبین نتایج Defreitas and Germida (2008) و Hamidi *et al.* (2009) است. این در حالی است که Milani and Anthofer (2008) گزارش کردند که ازتوباکتر و آزوسپرلیوم به طور معنی دار عملکرد دانه گندم و جو را در شرایط دیم نسبت به باکتری سودوموناس افزایش دادند.

پایداری غشای سیتوپلاسمی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر باکتری ها بر پایداری غشای سیتوپلاسمی در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود (جدول ۵). مقایسه میانگین باکتری ها بر پایداری غشای سیتوپلاسمی نشان داد که بیشترین پایداری غشای مربوط به باکتری سودوموناس سویه R112 و کمترین آن مربوط به تیمار شاهد بود و تیمارهای تلقیحی نسبت به شاهد از برتری معنی دار برخوردار بودند (جدول ۶). Arkipova *et al.* (2007) گزارش کردند که ژنوتیپ نقش عمده ای در حفظ پایداری غشای سلولی

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر باکتری بر پروتئین کربونیل، پایداری غشا، تعداد دانه در سنبله و تعداد پنجه بارور تحت شرایط دیم
Table 6. Means comparison of PGPRs effect on Protein carbonil, Cell Mambrane Stability, Grain number per spike and Tillers of shoot under rainfed condition

تعداد دانه در سنبله Grain number per spike	تعداد پنجه بارور Tillers of shoot	پایداری غشا (درصد) Cell Mambrane Stability (%)	پروتئین کربونیل Protein carbonil (mg g ⁻¹ protein ⁻¹)	باکتری Bacteria
39.26 ^{ab}	1.51 ^{ab}	74.36 ^a	45.22 ^b	Pseudomonas R112
41.74 ^a	1.62 ^a	73.33 ^a	38.67 ^c	Pseudomonas R159
36.03 ^c	1.33 ^{bc}	71.18 ^{ab}	45.63 ^b	Pseudomonas R168
38.86 ^{bc}	1.15 ^c	72.83 ^a	46.78 ^b	Azotobacter
39.15 ^{ab}	1.50 ^{ab}	72.29 ^{ab}	40.18 ^{bc}	Azosprillium
35.38 ^c	1.08 ^c	68.15 ^b	58.49 ^a	Control

میانگین هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک می باشند فاقد اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد به روش آزمون LSD می باشند.

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

فرآیند کربونیل‌سیون پروتئین یک فرآیند اکسیداتیو اختلالی است که منتهی به از بین رفتن پروتئین می‌گردد که یک شاخص حساس تری در برگ‌ها نسبت به اکسیداتیو لیبیدی می‌باشد زیرا کاتابولیزه شدن پروتئین‌های کربونیل شده سریع‌تر است (Berlett and Stadtman, 1997؛ Palma et al., 2002؛ Roy-Macauley et al., 2015). گزارش کردند که کاهش پروتئین در شرایط کمبود آب ناشی از کاهش سنتز و یا افزایش هیدرولیز پروتئین می‌باشد. در این آزمایش نیز تیمار شاهد به دلیل توانایی جذب آب کمتر و عدم تحمل مناسب خشکی پروتئین بیشتری را کربونیل نمود.

تعداد پنجه بارور

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین باکتری‌ها و ارقام از نظر تعداد پنجه بارور در سطح احتمال یک درصد وجود داشت، ولی اثر متقابل رقم \times باکتری معنی‌دار نبود (جدول ۵). مقایسه میانگین باکتری‌ها نیز نشان داد که بیشترین پنجه بارور مربوط به باکتری سودوموناس سویه R159 و کمترین آن مربوط به تیمار شاهد بود که البته به لحاظ آماری تفاوتی با باکتری ازتوباکتر نداشت (جدول ۶). در این راستا، Ali et al. (2005) در پژوهش‌های انجام شده بر روی باکتری‌های محرک رشد گیاه، تأثیر معنی‌دار سویه‌های سودوموناس فلورسنت را بر ارتفاع و تعداد پنجه بارور گندم ارائه کرده‌اند. Bacilio et al. (2004) اعلام نمودند که استفاده از آزوسپریلوم لیپوفروم سویه gfp-tagged می‌تواند

اثرات منفی تنش کمبود آب در گندم را کاهش دهد و وزن خشک ریشه، برگ و تعداد پنجه بارور در گندم را افزایش دهد. آن‌ها یکی از دلایل افزایش عملکرد این گیاهان را به افزایش جذب آب در گیاه نسبت دادند. Wagar et al. (2004) ضمن بررسی اثر تلقیح باکتری‌های حاوی آنزیم ACC دی آمینار بر رشد و عملکرد گندم دریافتند که باکتری‌های دارای حاوی آنزیم عملکرد دانه، وزن ریشه تعداد پنجه و جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم در کاه و دانه را نسبت به شاهد در همه ارقام به‌طور معنی‌داری افزایش می‌دهند و اعلام نمودند که فعالیت آنزیم در سویه‌های مختلف متفاوت می‌باشد. نتایج این آزمایش با یافته‌های Nadeem et al. (2007) مبنی بر افزایش تعداد پنجه بارور در شرایط دیم توسط باکتری‌های محرک رشد مطابقت دارد. Aktas et al. (2012) نیز گزارش کردند که ارقامی که دارای پنجه بیشتری باشند، واکنش بهتری نسبت به تلقیح باکتریایی می‌دهند. مقایسه میانگین ارقام نیز نشان داد که رقم زاگرس دارای پنجه بارور بیشتری نسبت به رقم آتیلا بود (جدول ۷). Allahverdiyev et al. (2015) گزارش کردند در حالتی که رطوبت خاک کافی باشد، تعداد پنجه بیشترین اثر را در تولید محصول دارد و در شرایط تنش خشکی، تعداد دانه در سنبله و گاهی متوسط وزن دانه سهمی مساوی تعداد سنبله‌ها در عملکرد کل دارد. در این آزمایش نیز رقم زاگرس تعداد پنجه و تعداد دانه در سنبله بیشتری نسبت به رقم آتیلا تولید کرد.

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر رقم بر تعداد دانه در سنبله و تعداد پنجه بارور در بوته تحت شرایط دیم

Table 7. Means comparison of cultivar effect on Grain number per spike and Tillers of shoot under rainfed condition

ارقام گندم Wheat cultivars	تعداد دانه در سنبله Grain number per spike	تعداد پنجه بارور در بوته Tillers of shoot
زاگرس Zagros	41.21 ^a	1.57 ^a
آتیلا Atila	35.30 ^b	1.21 ^b

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

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

تعداد دانه در سنبله

نتایج نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین ارقام و باکتری‌ها از لحاظ تعداد دانه در سنبله وجود داشت (جدول ۵). در میان باکتری‌ها باکتری سودوموناس سویه R159 بیشترین و شاهد کمترین تعداد دانه در سنبله را نشان داد البته بین تیمار شاهد و تیمار تلقیحی سودوموناس سویه R168 تفاوت معنی‌داری به لحاظ آماری وجود نداشت (جدول ۶). نکته مورد توجه این است که در باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن، باکتری آزوسپریلوم نسبت به باکتری ازتوباکتر تعداد دانه بیشتری تولید کرد. مقایسه میانگین ارقام نیز نشان داد که رقم زاگرس دارای تعداد دانه در سنبله بیشتری در مقایسه با رقم آتیلا می‌باشد (جدول ۷). Bhattarai and Hess (1993) با آزمایش واکنش ارقام گندم به تلقیح آزوسپریلوم گزارش کردند که همه ارقام نسبت به تیمار کنترل (شاهد) از نظر تعداد دانه در سنبله، ارتفاع بوته، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک برتری معنی‌دار داشتند. آن‌ها دلیل این افزایش را افزایش جذب مواد معدنی، تولید نیتريت و افزایش سریع در تشکیل ریشه‌های انتهایی گزارش کردند. Belimov *et al.* (2005) نیز حداکثر تأثیر مثبت را از تلقیح مخلوط باکتری آزوسپریلوم لیپوفروم و اگروباکتریوم رادیو باکتر^۱ مشاهده کردند و به علاوه در آزمایشات مزرعه‌ای با سه رقم جو تأیید کردند که تلقیح با مخلوطی از باکتری‌ها نسبت به تلقیح تک‌گانه برتر می‌باشد. در تحقیقی تلقیح انفرادی یا دوگانه گیاهچه‌های گندم با ازتوباکتر کروکوکوم، آزوسپریلوم برازیلنس و استرپتومایسز موتابیلیس^۲ در خاک استریلیزه شده رشد گیاه را تحریک نموده و به طور معنی‌داری غلظت ایندول استیک اسید، N، Mg، P و کل قندهای محلول در اندام‌های هوایی و دانه گندم علاوه بر وزن هزار دانه افزایش داد ولی تأثیری بر تعداد پنجه نداشت (Elshanshoury, 1995). Khan *et al.* (2007) نیز گزارش کردند از ارقام گندم مورد آزمایش فقط یک

رقم به تلقیح با باکتری سودوموناس فلورسنت تحت شرایط دیم واکنش نشان داد و علت افزایش تعداد پنجه و تعداد دانه را ناشی از تغییرات مورفولوژیک ریشه گیاهان تلقیحی و ترشح ترکیبات حل‌کننده مواد غذایی مانند اسید استیک گزارش کردند.

نتیجه‌گیری

در سیستم کشاورزی پایدار به کارگیری کودهای زیستی باکتریایی در زراعت گندم به عنوان رهیافتی بوم‌شناختی است که می‌تواند به راهبردی برای دوران گذار از نظام کشاورزی متداول به نظام کشاورزی پایدار باشد. مشخص شد که تأثیر باکتری‌های به کار گرفته شده در این آزمایش بر ارقام گندم قابل ملاحظه است. نتایج نشان داد که در شرایط دیم، که گیاهان به طور معمول با تنش خشکی مواجه هستند، باکتری‌های محرک رشد از طریق ساز و کارهایی که ذکر گردید منجر به افزایش مقدار قندهای محلول، پایداری غشای سیتوپلاسمی و کاهش مقدار کربونیل پروتئین شدند و ماده خشک و اجزای عملکرد دانه مانند تعداد پنجه بارور و تعداد دانه در سنبله را نسبت به تیمار شاهد افزایش دادند. بنابراین این امر نشان می‌دهد که ظاهراً در ارقام و در شرایط مورد بررسی قندهای محلول، پایداری غشای سیتوپلاسمی و کربونیل پروتئین به عنوان یک ساز و کار متحمل به تنش خشکی عمل کرده و ظاهراً گیاه از این ابزارها برای تحمل خشکی استفاده کرده است. طبیعی است که پاسخ ارقام جو به تلقیح باکتریایی یکسان نبوده و عواملی مانند نوع رقم گیاه، بافت و حاصلخیزی خاک مورد آزمایش و سایر عوامل مانند کاربرد کود یا مواد اصلاحی دیگر در کارایی پاسخ گیاه به تلقیح میکروبی می‌تواند مؤثر باشد. در حالت کلی با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان اعلام کرد که تحت شرایط دیم رقم زاگرس نسبت به رقم آتیلا عملکرد دانه بیشتری تولید کرد. در رقم آتیلا بیشترین عملکرد دانه توسط باکتری سودوموناس R159 و در رقم زاگراس نیز توسط باکتری سودوموناس سویه R112 تولید شد. لذا با توجه شرایط منطقه و در نظرگیری مسائل اقتصادی

1- *Agrobacterium radiobacter*
2- *Streptomyces mutabilis*

ترکیب رقم زاگرس با باکتری سودوموناس سویه R159 برای زراعت دیم گندم در منطقه گرمی توصیه می‌شود.

References

- Aktas, H., Abak, K., Oztark, L., and Cakmak, I. (2012). The effect of PGPRs on growth and shoot concentrations of phosphor and potassium in wheat and barley cultivars under drought stress. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 30: 407-41.
- Ali, S., Hamza, M., Amin, G., Fayez, M., El-Tahan, M., Monib, M., and Hegazi, N. (2005). Production of biofertilizers using baker's yeast effluent and their application to wheat and barley grown in north Sinai deserts. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 51(6): 589-604.
- Ali, S.K.Z, Sandhya, V., Grover, M., Kishore, N., Rao, L.V., and Venkateswarlu, B. (2009). *Pseudomonas* sp. strain AKM-P6 enhances tolerance of sorghum seedlings to elevated temperatures. *Biology and Fertility of Soils*, 46: 45-55.
- Allahverdiyev, I.T., Javanshir, M.T., Huseynova, I.M., and Aliyev, A.J. (2015). Effect of drought stress on some physiological parameters, yield, yield components of durum (*Triticum durum* desf.) and bread (*Triticum aestivum* L.) wheat genotypes. *Journal of Crop Breeding and Genetics*, 1: 50-62.
- Ansari, M.H., Ardakani, M.R., Asadi-rahmani, H., Habibi, D., and Paknejad, F. (2015). Effect of *Pseudomonas fluorescent* on soluble sugar, proline and hormonal status of maize (*Zea mays* L.) under drought stress. *Journal of Plant Ecophysiology*, 39(10): 42-54. [In Farsi]
- Arkipova, T.N., Prinsen, E., Veselov, S.U., Martinenko, E.V., Melentiev, A.I., and Kudoyarova, G.R. (2007). Cytokinin producing bacteria enhance plant growth in drying soil. *Planta and Soil*, 292: 305-315.
- Arnon, D.T. (1949). Copper enzymes in isolation chloroplast phenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24: 1-15.
- Arshad, M., Shaharoon, B., and Mahmood, T. (2008). Inoculation with *Pseudomonas* spp. containing ACC-Deaminase partially eliminates the effects of drought stress on growth, yield, and ripening of pea (*Pisum sativum* L.). *Pedosphere*, 18: 611-620.
- Asch, F., Dingkuhn, M., and Droffling, K. (2000). Salinity increases CO₂ assimilation but reduces growth in field growth irrigated rice. *Plant Soil*, 218: 1-10.
- Asghar, H.N., Zahir, Z.A., Arshad, M., and Khaliq, A. (2002). Relationship between in vitro production of auxins by rhizobacteria and their growth-promoting activities in *Brassica juncea* L. *Biology and Fertility of Soils*, 35: 231-237.
- Attarbashi, M, Ghaleshi, S., and Zynalzadeh, A. (2002). Relationship of phenological and physiological traits with grain yield of wheat under rain- fed conditions. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 33: 21-28. [In Farsi]
- Bacilio, M., Rodriguez, H., Moreno, M., Hernandez, J.P., and Bashan, Y. (2004). Mitigation of salt stress in wheat seedling by agfp-tagged *Azospirillum lipoferum*. *Biology and*

- Fertility of Soils, 40: 188-193.
- Belimov, A.A., Kojemiakov, P.A., and Chuvarliyeva, C.V. (2005). Interaction between barley and mixed cultures of nitrogen fixing and phosphatesolubilizing bacteria. *Plant and Soil*, 17: 29-37.
- Berlett, B.S. and Stadtman, E.R. (1997). Protein oxidation in aging, disease and oxidative stress. *Journal of Biology and Chemistry*, 272: 20313-20316
- Bhattarai, T. and Hess, D. (1993). Yield responses of Nepalese spring wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars to inoculation with *Azospirillum* spp of Nepalese origin. *Plant Soil*, 151: 67-76.
- Chang, W.S., Van de Mortel, M., Nielsen, L., de Guzman, G.N., Li, X., and Halverson, L.J. (2009). Alginate production by *Pseudomonas putida* creates a hydrated microenvironment and contributes to biofilm architecture and stress tolerance under water-limiting conditions. *Bacteriological Reviews*, 189: 8290-8299
- Defreitas, J.R. and Germida, J.J. (2008). Growth promotion of winter wheat by Fluorescent Pseudomonads and nitrogen fixation bacteria under field condition. *Soil Biology and Biochemistry*, 24: 1137-1146.
- Diaz, Z.M. and Fernandez, C.M.V. (2008). Field performance of a liquid formulation of Pseudomonas strains on dryland wheat productivity. *European Journal of Soil Biology*, 3: 1-9
- Elshanshoury, A.R. (1995). Interactions of *Azotobacter chroococcum*, *Azospirillum brasilense* and *Streptomyces mutabilis*, in relation to their effect on wheat development. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 175: 119-127.
- Foulkes, M. J., Snape, J.W., Shearman, V.J., Reynolds, M.P., Gaju, O., and Sylverstar-Bradley, R. (2007). Genetic progress in yield potential in wheat: recent advances and future prospects. *Journal of Agricultural Science*, 145; 17-29.
- Glick, B.R. (2014). Bacteria with ACC deaminase can promote plant growth and help to feed the world. *Microbiological research*, 169(1): 30-39.
- Hamidi, I., Choukan, R., Asghar Zadeh, A., Dehghan shoar, M., and Ghalavand, A. (2009). Effect of application of Plant Growth Promoting Rhizobacteria on seedling emergence and establishment and grain yield of late maturity maize (*Zea mays* L.) Hybrids in Field Conditions. *Seed and Plant Production Journal*, 4: 1-20. [In Farsi]
- Khan, A., Arshad, M., and Zahir, Z.A. (2007). Growth and yield response of wheat cultivars to inoculation with auxin producing plant growth promoting rhizobacteria. *Pakistan Journal of Botany*, 35:483-49.
- Kumar, M., Kaur, A., Pachouri, C.U., and Singh, J. (2015). Growth promoting characteristics of rhizobacteria and AM Fungi for biomass amelioration of *Zea mays*. *Archives of Biological Sciences*, 67(3): 877-887.
- Mayak, S., Tirosh, T., and Glick, B.R. (2004). Plant growth promoting bacteria that confer resistance to water stress in tomato and pepper. *Plant Science*, 166: 525-530.

- Milani, P.M. and Anthofer, J. (2008). Effect of *Azotobacter* and *Azospirillum* on the yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.) in Kermanshah and Lorestan, Iran. *Europe Journal of Soil Science*, 59(1): 67-71.
- Nadeem, S., Zahir, Z.A., Naveed, M., and Arshad, M. (2007). Wheat lines in the presence of the plant growth promoting rhizobacterium *pseudomonas putida* GR 12-2 and *Azospirillum lipoferum* DeK113. *Canadian journal of microbiology*, 53(10): 1141-1149.
- Palma, J.M., Sandalio, L.M., Corpas, F.J., Romero-Puertas, M.C., McCarthy, I., and Delrio, L.A. (2002). Plant proteases, protein degradation and oxidative stress: role of peroxisomes. *Plant Physiology and Biochemistry*, 40: 521-530
- Reyhanitabar, R. (2002). Effects of Application of *Pseudomonas Fluorescens* Inoculants on Yield and Yield Components of Spring Wheat under Greenhouse conditions. *Iranian Journal of Soil and water Science*, 16 (1):23-35. [In Farsi]
- Reznick, A.Z. and Packer, L. (1994). Carbonyl assays for determination of oxidatively modified proteins. *Methods Enzymol*, 233: 263-357.
- Roesti, D., Gaur, R., Johri, B.N., Imfeld, G., Sharma, S., Kawaljeet, K., and Aragno, M. (2006). Plant growth stage, fertiliser management and bio-inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promoting rhizobacteria affect the rhizobacterial community structure in rain-fed wheat fields. *Soil Biology and Biochemistry*, 38(5): 1111-1120.
- Roy-Macauley, R., Zuily-Fodii, Y., Kidric, M., Pham Thi, A.T., and Vieira da Silva, J. (2015). Effect of drought stress on proteolytic activities in phaseolus and vigna leaves from sensitive and resistant plants. *Physiology of Plant*, 232: 90-96.
- Sable, P.B., Maldhure, N.V., and Thakur, K.G. (2016). Effect of Biofertilizers (*Azotobacter* and *Azospirillum*) Alone and in Combination with Reduced Levels of Nitrogen on Cost and Returns of Cauliflower. *International Journal of Research in Economics and Social Sciences*, 6(3): 235-239.
- Sandhya, V., Ali, S.Z., Grover, M., Kishore, N., and Venkateswarlu, B. (2010). *Pseudomonas* sp strain P45 protects sunflowers seedlings from drought stress through improved soil structure. *Indian Journal of Oilseed Research*, 26: 600-601.
- Saneoka, H., Moghaieb, R.E.A., Premachandra, G.S., and Fujita, K. (2004). Nitrogen nutrition and water stress effects on cell membrane stability and leaf water relations in *Agrostis palustris* Huds. *Environmental and Experimental Botany*, 52: 131-138.
- Shoresh, M. and Harman, G.E. (2008). The molecular basis of shoot responses of maize seedlings to *Pseudomonas* sp T22 inoculation of the root: A proteomics approach. *Plant Physiology*, 147: 2147-63.
- Tilak, K.V.B., Singh, C.S., Roy, V.K., and Rao, N.S.S. (2004). *Azospirillum brasilense* and *Azotobacter chroococcum* inoculum: effect on yield of maize and sorghum under drought stress. *Soil Biology and Biochemistry*, 14: 417-418.
- Wagar, A., Shahroona, B., Zahir, Z. A., and Arshad, M. (2004). Inoculation with ACC deaminase containing rhizobacteria for improving growth and yield of wheat cultivars. *Pakistan Journal of Agriculture*, 41: 119-124.

Effect of PGPRs on Agronomic and Physiological Characteristics of Two Wheat Cultivars Under Rainfed Condition

M.H. Ansari^{1*}, D. Hashemabadi² and M. Yadegari³

- 1- ***Corresponding Author:** Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran (ansary330@yahoo.com)
- 2- Associate Professor, Department of Horticulture, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran
- 3- Assistant Professor, Department of Agronomy and Medicinal Plants, Shahrekord Branch, Islamic Azad University, Shahrekord, Iran

Received: 4 June, 2016

Accepted: 4 January, 2017

Abstract

Background and Objectives

Wheat (*Triticum aestivum* L.) may be exposed to different stress conditions that influence its productivity. One way to confer tolerance to the drought's effects and stimulate plant productivity is the action of a group of bacteria capable of making association with plants, known as Plant Growth Promoter Rhizobacteria (PGPR). It was demonstrated that the PGPR can benefit the plants in several ways: synthesizing some phytohormones, siderophores, biological nitrogen fixation, inducing systemic resistance etc. The objective of this work was to evaluate the physiological responses of two wheat cultivars to PGPR under rain fed conditions.

Material and Methods

To evaluate the effect of PGPRs on physiological characteristics of two wheat cultivars a factorial experiment in a randomized complete block design with three replications was carried out under rainfed conditions in Germe region. Experimental factors included two wheat cultivars (Attila and Zagros) and five bacteria (*Pseudomonas putida* strain R168, R159, R112, *Azospirillum lipoferum* strain A21 and *Azotobacter chroococcum* strain E5) as well as a control treatment. The parameters measured included: Carbonil Protein, chlorophyll, Soluble Sugar, Cell Membrane Stability, tillers in shoot, 1000-grain weight, grains number per spike, Shoot dry weight and grain yield.

Results

Results showed that the highest amount of chlorophyll and soluble sugar in leaf in Zagros cultivar was obtained from bacteria *Pseudomonas* strains R159 and *Azotobacter*, respectively, but in Attila cultivar *Pseudomonas* strains R112 showed the highest chlorophyll and leaf sugar. Most of the membrane stability and the highest amount of protein carbonil was obtained from *Pseudomonas* strains R112 and control, respectively. In the Zagros cultivar, the *Pseudomonas* bacteria, with 3130 kg/ha seed yield than other bacteria were superior and also showed the highest 1000 seed weight but in Attila cultivar although bacterial treatments had a higher seed yield than control, but no significant difference was observed between *Azospirillum* with R112 and R159 strains.

Discussions

The amounts of Cell Membrane Stability, grain number per spike, tillers in shoot, 1000-grain weight and shoot dry weight increased in the presence of PGPRs for both cultivars, probably by action of ACC deaminase activity. The chlorophyll and soluble sugar increased in the presence of PGPRs comparing controls for both cultivars. The protein carbonil was fewer only when bacteria were present compared to controls. It is possible to conclude that the association of *Pseudomonas putida* strains R112 is more effective and indicates the reduction of ethylene. These data corroborate with the literature where plant vs. bacteria interaction is genotype and strain dependent. Finally, Zagros cultivar showed better response to bacterial inoculation and for rainfed condition of Germe area cultivation of Zagros cultivar as well as bacteria *Pseudomonas* strains R112 inoculation is recommended for maximum seed yield.

Keywords: Chlorophyll, Moqan region, Protein carbonil, Seed yield, Soluble sugar.