نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۰، شماره ۴ ، زمستان ۱۳۹۱، ص. ۶۸۹-۶۸۱

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 10, No. 4, Winter 2013, p. 681-689

ارزیابی کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR) و حل‌کننده فسفات (PSM) بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم (رقم N_{80}) در سطوح مختلف نیتروژن و فسفر در شرایط گلخانه

سیده حدیثه بهاری ساروی[۱*]- همت اله پیردشتی[۲]

تاریخ دریافت: ۸۹/۱۲/۱
تاریخ پذیرش: ۹۱/۶/۶

چکیده

به منظور ارزیابی کاربرد باکتری‌های محرک رشد (PGPR) و حل‌کننده فسفات (PSM) بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم، آزمایشی در گلخانه‌ی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در سال ۱۳۸۸ به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل کود بیولوژیک (شامل عدم کاربرد کود بیولوژیک، فسفات بارور ۲ (*Pseudomonas fluorescens* or Psu+*Bacillus subtilis* or BAC)، نیتروکسین (*Azotobacter brasilense* or Azt+*Azospirillum lipoferum* or Azp) و سوپرنیتروپلاس (Azp + Psu + BAC))، کود نیتروژن در سه سطح (۰، ۷۵ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) و کود فسفره در سه سطح (۰، ۶۰ و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار) بود. نتایج نشان داد که کود بیولوژیک، کود نیتروژن و کود فسفر بر صفات تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد کاه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت گندم تأثیر معنی‌دار داشتند. برهمکنش معنی‌داری نیز بین کود بیولوژیک و کود شیمیایی نیتروژن از نظر عملکرد دانه گندم مشاهده شد. بر همین اساس بالاترین عملکرد دانه گندم در تیمار کاربرد همزمان ۷۵ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن و استفاده از نیتروکسین به دست آمد. بر اساس جدول مقایسه میانگین بالاترین عملکرد کاه با مصرف ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن به دست آمد. همچنین بالاترین عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت در تیمار کاربرد نیتروکسین حاصل شد. با توجه به ضرایب همبستگی بین صفات، عملکرد دانه بیشترین همبستگی را با عملکرد بیولوژیک ($r=۰/۸۵^{**}$) داشت. همچنین عملکرد دانه با تعداد دانه در سنبله ($r=۰/۷۳^{**}$)، وزن هزار دانه ($r=۰/۶۸^{**}$)، عملکرد کاه ($r=۰/۵۶^{**}$) و شاخص برداشت ($r=۰/۶۹^{**}$) همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد. بر اساس نتایج این پژوهش کاربرد کودهای بیولوژیک توانست مصرف کودهای شیمیایی نیتروژن و فسفر را کاهش داده و عملکرد گیاه را افزایش دهد.

واژه‌های کلیدی: اجزای عملکرد، کود بیولوژیک، گندم، عملکرد دانه

مقدمه

کودهای شیمیایی به عنوان ابزاری برای رسیدن به حداکثر تولید در واحد سطح استفاده می‌شوند و کشاورزان به طور مداوم تلاش می‌کنند تا با رفع کمبود عناصر غذایی خاک و مدیریت صحیح، تولید محصول را به حد بالقوه ژنتیکی نزدیک کنند (۲۸). با این وجود مشکلات اقتصادی ناشی از افزایش رو به رشد هزینه کودهای شیمیایی از یک سو و مسائل زیست‌محیطی مرتبط با مصرف غیراصولی این کودها از سوی دیگر، تفکر استفاده از شیوه‌های زیستی برای تقویت رشد محصولات را قوت بخشیده است، به طوری که چیزی است که در اکثر محافل علمی صحبت از توسعه سیستم‌های پایدار کشاورزی به میان آمده است (۲۰).

نیتروژن از مهمترین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه بوده که نقش عمده‌ای در فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه به عهده داشته و عامل کلیدی دستیابی به عملکرد مطلوب در محصولات زراعی می‌باشد به طوری که کمبود آن بیش از سایر عناصر غذایی، عملکرد کمی و کیفی را محدود می‌کند (۳). تلفات کودهای نیتروژنی به روش‌های مختلفی مانند تصعید، نیترات‌زایی و آبشویی باعث آلودگی آب‌های زیرزمینی و تحمیل زیان اقتصادی به کشاورزان می‌شود (۱۹). فسفر نیز به عنوان یکی از عناصر ضروری و پرمصرف، محدودکننده‌ترین

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
(*- نویسنده مسئول: Email: hadisbahari@yahoo.com)
۲- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، پژوهشکده ژنتیک و زیست فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

عنصر بعد از نیتروژن برای گیاه به شمار می‌رود. فسفر چندین نقش کلیدی در گیاه ایفا می‌کند که شامل شرکت در واکنش‌های انتقال انرژی، فتوسنتز، تبدیل قند به نشاسته و انتقال خصوصیات ژنتیکی در گیاه می‌باشد (۳۲). برای رفع کمبود فسفر مورد نیاز گیاهان، این عنصر به صورت کودهای شیمیایی فسفردار به خاک اضافه می‌شود که مقادیر زیادی از فسفر موجود در این کودها بعد از ورود به خاک نامحلول شده و در خاک‌های آهکی به ترکیبات نامحلول کلسیم و منیزیم و در خاک‌های اسیدی به فسفات آهن و آلومینیوم تبدیل شده و از دسترس گیاه خارج می‌شود (۲۱و۲۴).

در این راستا بکارگیری کودهای بیولوژیک، به عنوان گزینه‌ای جایگزین برای کودهای شیمیایی، به منظور افزایش حاصلخیزی خاک در تولید محصولات کشاورزی پایدار مطرح شده‌اند (۱۵). استفاده از کودهای بیولوژیک در خاک‌های فقیر از لحاظ عناصر غذایی، ضرورتی اجتناب‌ناپذیر برای حفظ ارزش کیفی خاک عنوان شده است (۲۳). این کودها در مقایسه با مواد شیمیایی مزایای قابل توجهی دارند. از جمله این که در چرخه‌ی غذایی مواد سمی و میکروبی تولید نکرده، قابلیت تکثیر خودبخودی داشته و باعث اصلاح خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک می‌شوند. کودهای بیولوژیک در حقیقت شامل انواع ریزموجودات آزادزی بوده که طی فرآیندهایی توانایی تبدیل عناصر اصلی را از شکل غیرقابل دسترس به شکل قابل دسترس دارند (۱۴و۳۱). از مهمترین اثرات این ریزوباکترها افزایش فراهمی عناصر معدنی با تثبیت نیتروژن و محلول کردن فسفر، مهار زیستی عوامل بیماریزا با تولید پادزی‌های زیستی و تولید مواد تنظیم‌کننده رشد گیاه به ویژه اکسین و جیبرلین می‌باشد (۱۹و۲۷). در این میان باکتری‌های محرک رشد گیاه[1](PGPR) طیف وسیعی از باکتری‌ها مانند *سودوموناس‌ها*، *ازتوباکتر*، *آزوسپیریلوم* و *باسیلوس* را در بر می‌گیرد، که به طور مستقیم و با ترشح هورمون‌های رشد و به طور غیرمستقیم با کاهش یا پیشگیری از اثرات زیان‌آور بیماری‌زایی میکروارگانیسم‌های دیگر، سبب افزایش رشد گیاهان می‌شود (۳۱). همچنین میکروارگانیسم‌های حل‌کننده‌ی فسفات[2](PSM) به عنوان اجزای مکمل چرخه‌ی فسفر قادرند از طریق مکانیسم‌های مختلف، فسفر را از منابع نامحلول آزاد کنند (۳۳). در ایران رسولی و همکاران (۵) گزارش کردند که *سودوموناس* و بالاخص *Pseudomonas fluorescens* از مهمترین ارگانیسم‌های ریزوسفری به شمار رفته و اثرات مثبت ناشی از تلقیح آن‌ها بر رشد گیاهان به اثبات رسیده است. بسیاری از این باکتری‌ها با تولید فسفاتاز، آزاد شدن فسفر را از ترکیبات فسفردار موجب می‌شوند. همچنین در پژوهش‌های دیگری اثرات مثبت این باکتری‌ها در گیاهان زراعی به اثبات رسیده است.

1-Plant growth promoting rhizobactria (PGPR)
2-Phosphate solubilizing microorganism (PSM)

آزمایشاتی در خصوص بررسی کودهای بیولوژیک بر گندم انجام شد و نتایج بررسی‌ها نشان داد که پاسخ گندم بوسیله تلقیح با این باکتری‌ها در مورد بیشتر شاخص‌های رشدی (عملکرد، وزن هزار دانه و...) مثبت گزارش شد (۲،۴و۲۹). همچنین رضوان بیدختی و همکاران (۶) دریافتند که کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفات بر عملکرد و اجزای عملکرد در گندم تأثیر مثبت داشت.

از آنجایی که به کارگیری اصول و روش‌های کشاورزی پایدار از اهداف اصلی متخصصان کشاورزی به شمار می‌رود، لذا برای نیل به این هدف و اقتصادی کردن امر تولید، استفاده از کودهای بیولوژیک، مصرف بهینه و صحیح کودها افزایش مواد آلی خاک و حفاظت از محیط زیست لازم به نظر می‌رسد (۹). لذا با توجه به مصرف نادرست کودهای شیمیایی و با نظر به اهمیت گندم به عنوان مهمترین غله و یک محصول راهبردی در تأمین غذای مردم جهان و ایران، این مطالعه با هدف بررسی کاهش مصرف کودهای شیمیایی نیتروژنه و فسفره و جایگزینی بخشی از آن‌ها با کاربرد باکتری‌های محرک رشد و حل‌کننده‌ی فسفات تولید شده در کشور اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در گلخانه‌ی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۹ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۴ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۴ متر از سطح دریا در سال ۱۳۸۸ اجرا شد. قبل از شروع آزمایش به منظور تعیین خصوصیات خاک، نمونه‌برداری از خاک انجام گرفت که خصوصیات فیزیکوشیمیایی آن در جدول ۱ نشان داده شده است.

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای آزمایشی شامل کودهای زیستی در چهار سطح (عدم کاربرد کود زیستی، فسفات بارور۲، نیتروکسین و سوپرنیتروپلاس)، کود نیتروژن در سه سطح (بدون مصرف نیتروژن، ۷۵ و ۱۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار) و کود فسفره در سه سطح (بدون مصرف فسفر، ۶۰ و ۱۲۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار) بود. رقم مورد استفاده در این تحقیق گندم N_{80} بود. این رقم در برابر خشکی نیمه متحمل و در برابر آب‌گرفتگی حساس بوده و مناسب‌ترین منطقه برای کاشت آن مناطق دشت می‌باشد. تلقیح بذور گندم بوسیله کود حاوی *ازتوباکتر* و *آزوسپیریلوم*، کود حاوی *آزوسپیریلوم*، *سودوموناس* و *باسیلوس* و کود حاوی *سودوموناس* و *باسیلوس*، صورت گرفت و سپس بذور را ضمن رعایت دستورالعمل شرکت تولیدکننده در سایه و به دور از تابش مستقیم آفتاب قرار داده شد تا خشک گردد. برخی از مشخصات کودهای بیولوژیک در جدول ۲ آمده است.

جدول۱- نتایج تجزیه نمونه خاک اولیه قبل از اجرای آزمایش

هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس‌برمتر)	اسیدیته	کربن آلی (درصد)	نیتروژن (درصد)	فسفر قابل جذب(میلی‌گرم بر کیلوگرم)	پتاسیم قابل جذب(میلی‌گرم بر کیلوگرم)	شن (درصد)	رس (درصد)	سیلت (درصد)	بافت خاک
۳/۳۶	۷/۰۸	۴	۰/۴۱	۱۶/۸۸	۳۸۰	۱۷	۲۸/۸۱	۵۴/۲	رسی – سیلتی

جدول ۲- برخی مشخصات کودهای بیولوژیک مورد استفاده

کود بیولوژیک	ماده مؤثره	واحد تشکیل‌دهنده کلونی در هر میلی‌لیتر(CFU/ml)
نیتروکسین	*Azotobacter brasilense*, *Azospirillum lipoferum*	10^8 در هر میلی لیتر
فسفات بارور ۲	*Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus subtili*	10^8 در هر میلی لیتر
سوپرنیتروپلاس	*Azospirillum*, *Pseudomona, Bacillus*	10^8 در هر میلی لیتر

پس از معین شدن تیمارها کاشت بذور به تعداد ۱۰ بذر در گلدان‌هایی به ابعاد ۲۸×۳۰ سانتی‌متر و به حجم ۰/۰۱۸ متر مکعب (معادل ۱۰ کیلوگرم) انجام شد. زمان کاشت گندم اوایل اسفند و طول دوره‌ی رشد آن در گلخانه ۱۲۰ روز بود. زمان آبیاری گلدان‌ها بر اساس ۶۰ درصد تخلیه مجاز رطوبت از حد ظرفیت زراعی صورت گرفت. بوته‌های گندم پس از رسیدگی فیزیولوژیکی، برای اندازه‌گیری عملکرد و اجزای عملکرد (شامل عملکرد دانه، عملکرد کاه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه) به تعداد پنج بوته به طور تصادفی از هر گلدان برداشت شد. پس از خشک نمودن دانه‌ها در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت، وزن هزار دانه محاسبه شد. تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از رویه ANOVA و نرم‌افزار آماری SAS9.1 (SAS Institute, 1997) و مقایسه میانگین با آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD)[1] در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

عملکرد دانه

نتایج نشان داد که سطوح مختلف فسفر تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه ($P\leq$۰/۰۵) داشتند (جدول ۳). بیشترین عملکرد دانه با مصرف ۶۰ کیلوگرم (۳/۲۴ گرم در بوته) بدست آمده که با مصرف ۱۲۰ کیلوگرم کود از نظر آماری تفاوت معنی‌دار نداشت. کمترین عملکرد دانه (۲/۷۶ گرم در بوته) در تیمار شاهد مشاهده شد (شکل ۱). برهمکنش کود بیولوژیک و سطوح کود نیتروژن بر عملکرد دانه ($P\leq$۰/۰۵) معنی‌دار بود (جدول ۳). بر همین اساس حداکثر عملکرد دانه (۴/۰۰ گرم در بوته) مربوط به کود بیولوژیک حاوی *ازتوباکتر* و *آزوسپیریلوم* و مصرف ۷۵ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن بود که با مصرف باکتری *سودوموناس* و *باسیلوس* به همراه ۷۵ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن و کود حاوی *ازتوباکتر* و *آزوسپیریلوم* و فقط تیمار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن از نظر آماری اختلاف معنی‌داری نشان نداد (شکل ۲). کمترین عملکرد دانه در تیمار عدم تلقیح و بدون مصرف کود شیمیایی بود. افزایش آزادسازی فسفر از منابع نامحلول آن بوسیله‌ی باکتری‌های حل‌کننده فسفات و تولید هورمون‌های گیاهی نظیر اکسین، سیتوکنین و سنتز و تولید سیدروفورهای کلات‌کننده‌ی آهن توسط باکتری‌های محرک رشد سبب بهبود استقرار گیاه، گسترش سیستم ریشه‌ای، توسعه‌ی اندام‌های گیاهی، افزایش پنجه و شکل‌گیری دانه و در نهایت باعث افزایش عملکرد دانه می‌شود (۱۲). همچنین پاتیدار (۲۶) و ظهیر و همکاران (۳۴) گزارش کردند که تلقیح با کلیه‌ی سویه‌های محرک رشد گیاه باعث افزایش عملکرد دانه گندم شد. افزایش عملکرد دانه‌ی گندم با استفاده از باکتری‌های محرک رشد و تسهیل‌کننده فسفر گزارش شده است (۳۲).

عملکرد کاه

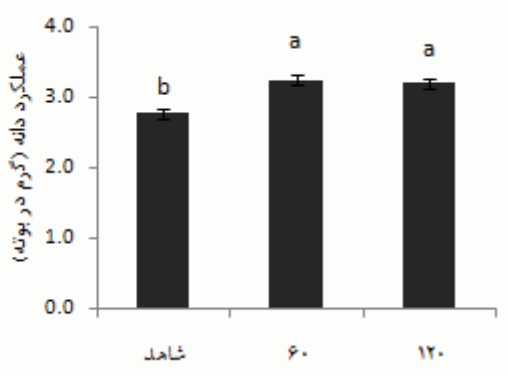
در بررسی اثر نیتروژن بر عملکرد کاه مشاهده شد که بین سطوح مختلف نیتروژن از لحاظ این صفت اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد وجود داشت (جدول ۳).

1- Least significant difference

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد و اجزای عملکرد گندم تحت تأثیر مصرف منابع مختلف کودی

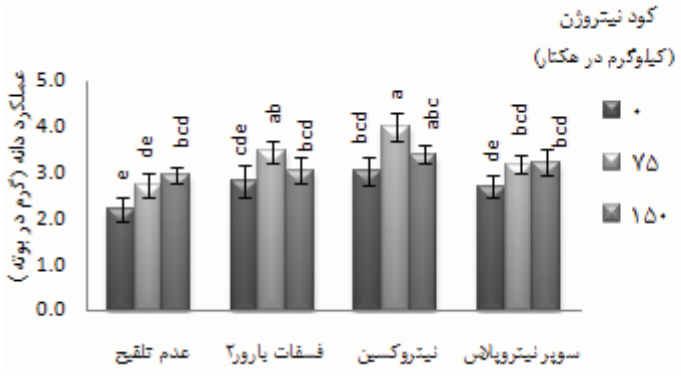
منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد دانه	عملکرد کاه	عملکرد بیولوژیک	شاخص برداشت	تعداد دانه در سنبله	وزن هزار دانه
کود بیولوژیک(A)	۳	۳/۲۱**	۳/۸۲**	۱۳/۴**	۴۲/۵*	۲۰/۸*	۹۸/۶*
کود نیتروژن (B)	۲	۴/۱۰**	۱۳/۶**	۳۰/۶**	۴۹/۹*	۵۰/۳**	۶۳/۴**
کود فسفره(C)	۲	۲/۵۸**	۱/۹۳**	۸/۷۳**	۴۸/۷*	۲۹/۴*	۴۶/۵*
A×B	۶	۰/۳۵*	۰/۰۶	۰/۵	۱۶/۹	۳/۰۶	۱۱/۸
A×C	۶	۰/۱۹	۰/۰۴	۰/۳	۸/۴	۲/۰۴	۱۱/۶
B×C	۴	۰/۲۲	۰/۴	۰/۷۷	۲۱/۴	۳/۱۱	۱۵/۸
A×B×C	۱۲	۰/۱۹	۰/۰۴	۰/۲	۱۲/۹	۲/۰۹	۴/۲۶
خطای آزمایش	۷۲	۰/۱۵	۰/۳	۰/۵۴	۱۲/۶	۶/۶۵	۹/۹۰
ضریب تغییرات (درصد)		۱۲/۹	۱۰/۳	۸/۷۱	۹/۸۴	۱۴/۰۱	۱۱/۴

** و * به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد



شکل ۱- اثر کود فسفر بر عملکرد دانه گندم (LSD.۰/۰۵=۰/۱۸)

(میانگین‌های دارای حروف مشترک براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.)



شکل ۲- اثر متقابل کود بیولوژیک و کود نیتروژن بر عملکرد دانه گندم (LSD.۰/۰۵=۰/۳۷)

(میانگین‌های دارای دامنه همپوشان یکسان براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.)

دامنه‌ی تغییرات این صفت از ۴/۶۹ (گرم در بوته) در تیمار شاهد (بدون مصرف کود) تا مقدار ۵/۷۰ (گرم در بوته) در تیمار مصرف ۱۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن بود (جدول ۴). سطوح مختلف کود فسفره نیز بر عملکرد کاه اثر کاملاً معنی‌داری را نشان داد (جدول ۴). بیشترین عملکرد کاه با مصرف ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد حدود ۸/۶ درصد برتری داشت. اثر کود بیولوژیک نیز بر عملکرد کاه کاملاً معنی‌دار بود به طوری که استفاده از کود حاوی *ازتوباکتر* و *آزوسپیریلوم* ۱۷/۳ درصد، کاربرد *آزوسپیریلوم*، *سودوموناس* و *باسیلوس* ۱۵/۲ درصد و کاربرد *سودوموناس* و *باسیلوس* ۱۱/۹ درصد نسبت به شاهد برتری معنی‌دار داشتند (جدول ۴). در تحقیق هادی و همکاران (۱۰) افزایش وزن خشک گیاه سویا در تلقیح با باکتری‌های *ازتوباکتر* و *سودوموناس* فلورسنت به دلیل تولید هورمون-های محرک رشدی مانند اکسین و جیبرلین توسط باکتری‌های محرک رشد گیاه بیان شد. همچنین پاملا و استیون (۲۵) در سورگوم و عباس‌منش و همکاران (۷) در گندم اثر باکتری‌های محرک رشد و حل‌کننده فسفات در افزایش عملکرد کاه آن‌ها را به دلیل کارایی جذب بهتر نیتروژن و فسفر گزارش کردند.

جدول ٤-جدول مقایسه میانگین اثرات ساده کود بیولوژیک، کود نیتروژن و کود فسفر بر عملکرد کاه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت گندم

تیمار	عملکرد کاه (گرم در بوته)	عملکرد بیولوژیک (گرم در بوته)	شاخص برداشت
کود بیولوژیک			
عدم تلقیح	۴/۸۴b*	۷/۴۸c	۳۵/۱b
فسفات بارور ۲	۵/۴۲a	۸/۵۳b	۳۶/۳ab
نیتروکسین	۵/۶۸a	۹/۱۶a	۳۷/۸a
سوپرپریوپلاس	۵/۵۸a	۸/۶۳b	۳۵/۳b
LSD (۵ درصد)	۰/۳**	۰/۴	۱/۹
کود شیمیایی نیتروژن			
شاهد	۴/۶۹c	۷/۳۹b	۳۶/۲ab
۷۵	۵/۵۷b	۸/۹۳a	۳۷/۳a
۱۵۰	۵/۷a	۹/۰۴a	۳۴/۹b
LSD (۵ درصد)	۰/۲۶	۰/۳۵	۱/۶
کود شیمیایی فسفره			
شاهد	۵/۱۲b	۷/۸۸b	۳۴/۹b
۶۰	۵/۴۶a	۸/۷۱a	۳۷/۲a
۱۲۰	۵/۵۶a	۸/۷۶a	۳۶/۴ab
LSD (۵ درصد)	۰/۲۶	۰/۳۵	۱/۶

* در هر ستون و برای هر تیمار میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی داری با یکدیگر ندارند.
** میانگین‌هایی که تفاوت آن‌ها کمتر از میزان LSD باشد، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

عملکرد بیولوژیک

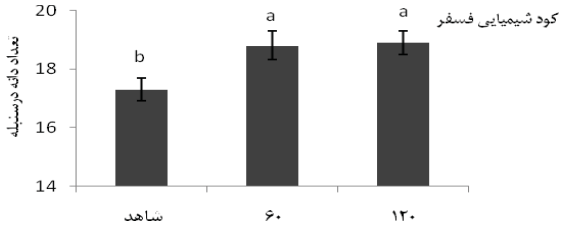
نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان دهنده‌ی معنی‌داری اثرات ساده‌ی کود بیولوژیک و سطوح کود نیتروژن و فسفر در سطح احتمال یک درصد بود. با بررسی مقایسه میانگین اثرات ساده‌ی کود بیولوژیک (جدول ۴) بهترین تیمار کود بیولوژیک از لحاظ عملکرد بیولوژیک، کاربرد باکتری‌های *ازتوباکتر* و *آزوسپیریلوم* بود که با کاربرد باکتری‌های *آزوسپیریلوم*، *سودوموناس* و *باسیلوس* و حل‌کننده فسفات و همچنین شاهد تفاوت معنی‌داری را نشان داد. استفاده از باکتری‌های *ازتوباکتر* و *آزوسپیریلوم* باعث افزایش ۲۲/۵ درصدی عملکرد بیولوژیک نسبت به شاهد گردید. می‌توان نتیجه گرفت که *ازتوباکتر* و *آزوسپیریلوم* به عنوان ریزوباکترهای محرک رشد با تأثیر در جذب عناصر غذایی و ترشح هورمون‌های محرک رشد موجب افزایش رشد و نمو می‌شوند (۳۱). این باکتری‌ها به عنوان باکتری‌های تثبیت‌کننده‌ی نیتروژن احتمالاً با تأثیر بر میزان دسترسی به نیتروژن موجب بهبود عملکرد بیولوژیک شدند، زیرا مقدار نیتروژن قابل دسترس بر توزیع مواد فتوسنتزی بین اندام‌های رویشی مؤثر است و در اثر کمبود نیتروژن به علت کاهش سطح برگ و کاهش دوام سطح برگ، فتوسنتز گیاه زراعی و همچنین عملکرد بیولوژیک گیاه کاهش می‌یابد (۱۸). گزارش‌هایی مبنی بر افزایش کل ماده‌ی خشک و عملکرد بیولوژیک در اثر مصرف باکتری‌های محرک رشد وجود دارد (۸و۱۳). افزایش عملکرد دانه، تعداد دانه در سنبله و عملکرد بیولوژیک در گندم با کاربرد توأم *ازتوباکتر* و مایکوریزا نیز گزارش شده است (۲۲). با بررسی اثرات ساده‌ی کود نیتروژن (شکل ۳) بهترین تیمار کود نیتروژن سطح کودی ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار بود. مقایسه میانگین اثرات ساده‌ی کود فسفره نیز نشان داد بهترین تیمار کودی سطح کودی ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار بود که نسبت به شاهد تفاوت معنی‌داری را نشان داد.

شاخص برداشت

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) حاکی از اختلاف معنی‌دار در اثرات ساده کود نیتروژن، کود فسفر و کود بیولوژیک در سطح احتمال پنج درصد بود. با توجه به جدول مقایسه میانگین (جدول ۴) کاربرد توأم *ازتوباکتر* و *آزوسپیریلوم* بهترین تیمار کود بیولوژیک بود که با کود بیولوژیک حل‌کننده فسفات در یک گروه آماری قرار گرفت ولی با کاربرد توأم *آزوسپیریلوم*، *سودوموناس* و *باسیلوس* و شاهد اختلاف معنی‌داری را نشان داد و باعث افزایش هشت درصدی شاخص برداشت نسبت به شاهد گردید. در بررسی اثرات ساده‌ی کود نیتروژن مشاهده گردید که بالاترین شاخص برداشت مربوط به سطح کودی ۷۵ کیلوگرم در هکتار بود. بالاترین شاخص برداشت در اثر ساده‌ی کود فسفره نیز در سطح کودی ۶۰ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد.

تعداد دانه در سنبله

در بررسی اثر نیتروژن بر تعداد دانه مشاهده شد که بین سطوح مختلف نیتروژن از لحاظ این صفت اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت (جدول ۳). بیشترین تعداد دانه در سنبله با مصرف ۷۵ کیلوگرم در هکتار و کمترین مقدار آن در تیمار شاهد بدست آمد (شکل ۴). کود فسفره نیز اثر معنی‌داری در سطح ۵ درصد بر تعداد دانه در سنبله نشان داد. بیشترین تعداد دانه در سنبله در سطح کودی ۶۰ و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار دیده شده که از لحاظ آماری در یک گروه قرار دارند و با شاهد اختلاف معنی‌داری را نشان داد. اثر باکتری‌های محرک رشد و حل‌کننده فسفات نیز بر تعداد دانه در سنبله معنی‌دار بود. بیشترین تعداد دانه در سنبله (۱۹/۶) با مصرف کود بیولوژیک حاوی *ازتوباکتر* و *آزوسپیریلوم* بدست آمد که از نظر آماری با کاربرد *سودوموناس* و *باسیلوس* و کاربرد *آزوسپیریلوم*، *سودوموناس* و *باسیلوس* اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۵). کمترین تعداد دانه در سنبله (۱۷/۵) نیز در تیمار شاهد مشاهده شد. مصرف باکتری حل‌کننده فسفات با توجه به نقشی که فسفر در تحریک رشد زایشی و تشکیل دانه در گیاه ایفا می‌کنند، در این نتایج مشهود بود. همچنین اردکانی و همکاران (۱) گزارش کردند که استفاده از باکتری‌های محرک رشد گیاه و حل‌کننده فسفر باعث افزایش تعداد دانه در سنبله گندم شد. در مطالعه‌ای دیگر افزایش تعداد دانه در سنبله گندم به وجود باکتری‌های تسهیل‌کننده‌ی جذب فسفر نسبت داده شده است (۱۷).

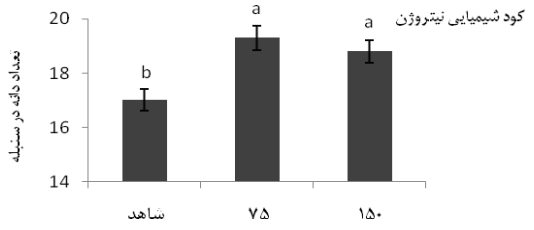


شکل ۳- اثر ساده کود فسفر بر تعداد دانه در سنبله گندم (LSD ۰/۰۵ =۱/۲)

(میانگین‌های داری حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.)

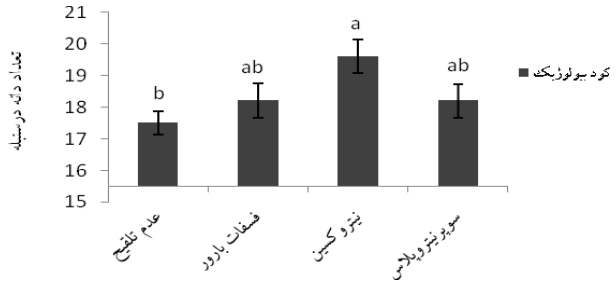
وزن هزار دانه

با توجه به جدول ۱ می‌توان مشاهده کرد که اثر سطوح مختلف کود نیتروژن ($P \leq ۰/۰۱$) و فسفر ($P \leq ۰/۰۵$) بر وزن هزار دانه گندم معنی‌دار بود. در سطوح مختلف کود نیتروژن بالاترین وزن هزار دانه مربوط به سطح کودی ۷۵ کیلوگرم در هکتار بود که از لحاظ آماری با سطح کودی ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار در یک گروه آماری قرار گرفت. کمترین وزن هزار دانه نیز در تیمار شاهد مشاهده گردید (شکل ۶). در تیمار کود فسفره (شکل ۷) بیشترین وزن هزار دانه مربوط به مصرف ۶۰ کیلوگرم در هکتار بوده که با مصرف ۱۲۰ کیلوگرم تفاوت معنی‌داری نداشت اما با شاهد اختلاف معنی‌داری داشت.



شکل ٤- اثر ساده کود نیتروژن بر تعداد دانه در سنبله گندم(LSD ۰/۰۵ =۱/۲)

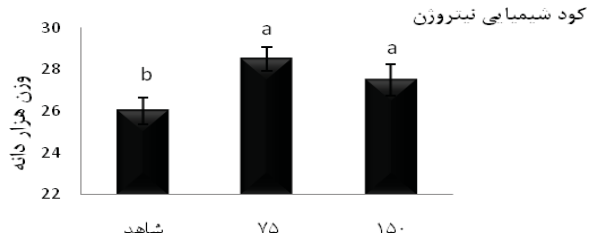
(میانگین‌های داری حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.)



شکل ۵- اثر ساده کود بیولوژیک بر تعداد دانه در سنبله گندم(LSD.۰/۰۵=۱/۳)

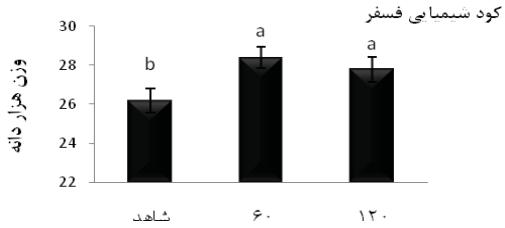
(میانگین‌های داری حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.)

اثر کود بیولوژیک نیز بر وزن هزار دانه معنی‌دار بود، بطوریکه کلیه‌ی کودهای زیستی مورد استفاده باعث افزایش وزن هزار دانه شدند (شکل ۸). بیشترین وزن هزار دانه در کودهای زیستی نیتروکسین، فسفات بارور ۲ و سوپرنیتروپلاس و کمترین مقدار آن در تیمار شاهد (عدم تلقیح) مشاهده شد. افزایش وزن هزار دانه در گیاه را می‌توان به واسطه نقش مثبت این میکروارگانیسم‌ها در افزایش احتمالی سطح و تراکم ریشه جهت جذب آب و عناصر غذایی و به ویژه نیتروژن و فسفر و انتقال آن‌ها به سلول‌های گیاه دانست که سبب بهبود رشد و افزایش فتوسنتز گیاه شده است و با انتقال شیره‌ی پرورده به دانه‌ها و پر شدن آن‌ها، دانه‌های درشت‌تر با وزن بیشتر تولید شد و در نتیجه باعث افزایش وزن هزار دانه گردید (۴).



شکل ٦- اثر ساده کود نیتروژن بر وزن هزار دانه گندم (LSD.۰/۰۵=۱/٤)

(میانگین‌های داری حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.)

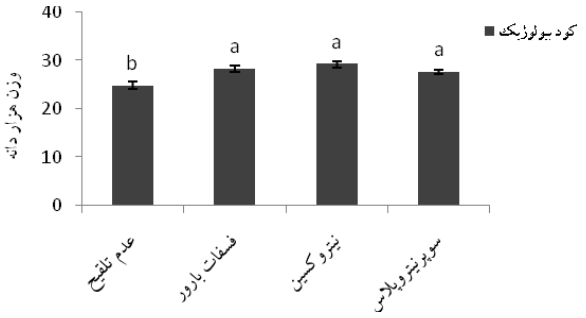


شکل ۷- اثر ساده کود فسفر بر وزن هزار دانه گندم (LSD.۰/۰۵=۱/٤)

(میانگین‌های داری حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.)

همبستگی صفات عملکرد و اجزای عملکرد

بررسی جدول ضرایب همبستگی (جدول ۵) نشان داد که صفات تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد کاه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه داشتند. عملکرد بیولوژیک با ($r=۰/۸۵^{**}$) بیشترین و عملکرد کاه با ($r=۰/۵۶^{**}$) کمترین همبستگی را با عملکرد دانه داشت.



شکل ۸- اثر ساده کودبیولوژیک بر وزن هزار دانه گندم (LSD ۰/۰۵=۱/۷)

(میانگین‌های داری حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.)

نتیجه‌گیری

به طور کلی، نتایج این تحقیق نشان داد که تلقیح باکتری‌های محرک رشد و حل‌کننده فسفر، کارایی مصرف کودهای شیمیایی را به طور معنی‌داری نسبت به شاهد (عدم تلقیح) افزایش داد، می‌توان گفت که گرچه برای تأمین نیازهای غذایی گیاهان همواره استفاده بیش از حد کوددهی شیمیایی متداول است اما با استفاده از کودهای زیستی به صورت مکمل با میزان مناسب از کودهای شیمیایی می‌توان علاوه بر صرفه‌جویی در مصرف کودهای شیمیایی و کاهش آلودگی خاک و کمک به محیط زیست، در تولید محصول بهتر و مطلوب‌تر گام برداشت.

جدول ۵- ضریب همبستگی عملکرد و اجزای عملکرد (n=۱۰۸)

	تعداد دانه در سنبله	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	عملکرد کاه	عملکرد بیولوژیک	شاخص برداشت
تعداد دانه در سنبله	۱					
وزن هزار دانه	۰/۰۱	۱				
عملکرد دانه	$۰/۷۳^{**}$	$۰/۶۸^{**}$	۱			
عملکرد کاه	$۰/۵۶^{**}$	$۰/۲۵^{**}$	$۰/۵۶^{**}$	۱		
عملکرد بیولوژیک	$۰/۷۲^{**}$	$۰/۵^{**}$	$۰/۸۵^{**}$	$۰/۹۱^{**}$	۱	
شاخص برداشت	$۰/۳۷^{**}$	$۰/۶۱^{**}$	$۰/۶۹^{**}$	−۰/۱۷	$۰/۲۳^{*}$	۱

** و * به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد

منابع

۱- اردکانی، م. د.، مظاهری، م. مجد و ق، نورمحمدی. ۱۳۸۰. بررسی کارایی *آزوسپیریلوم*، میکوریزا و استرپتومایس بـه همـراه مـصرف کودهـای دامی در گندم با استفاده از فسفر-۳۲. مجله علوم زراعی ایران. ۳(۱): ۵۶-۵۹.

۲- بحرانی، ع. م.، حسینی، س. معمار، و ز. طهماسبی سروستانی. ۱۳۸۶. بررسی تأثیر بـاکتری‌هـای *آزوسـپیریلوم* و *ازتوبـاکتر* همـراه بـا مـصرف ریزمغذی‌ها به صورت محلول‌پاشی و کاربرد در خاک بر خصوصیات کمی و کیفی ۵ رقم گندم بعد از کشت ذرت در استان فارس. مجله علوم کشاورزی ایران. ۳۸(۲): ۳۷۶-۳۶۷.

۳- جهان، م. ع.، کوچکی، و م. نصیری محلاتی. ۱۳۸۶. رشد، فتوسنتز و عملکرد ذرت در پاسخ به تلقیح با قارچ میکـوریزا و بـاکتری‌هـای آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن در نظام‌های زراعی رایج إکولوژیک. مجله پژوهش‌های زراعی ایران. ۵(۱): ۵۳-۶۹.

۴- ذبیحی، ح. ر.، غ، ر. ثواقبی، ک. خاوازی، و ع. گنجعلی. ۱۳۸۸. رشد و عملکرد گندم در پاسخ به تلقیح به بـاکتری‌هـای محـرک رشـد گیـاه در سطوح مختلف فسفر. مجله پژوهش‌های زراعی ایران. ۷(۱): ۴۱-۵۱.

۵- رسولی، م. ح.، ک. خاوازی، ح. رحیمیان، م، ج. ملکوتی، و ح. رحمانی. ۱۳۸۵. ارزیابی پتانسیل ذاتی *سودوموناس فلورسنت* در محـیط ریزوسـفر گندم. مجله علمی آب و خاک. (۲۰): ۱۳۴-۱۴۳.

۶- رضوان بیدختی. ش. ع.، ر. دشتبان.، م، کافی، و س. سنجانی. ۱۳۸۸. ارزیابی اثر کاربرد سویه‌هایی از باکتری *سودوموناس* بر عملکرد و اجـزای عملکرد گندم در سطوح مختلف فسفر. مجله بوم شناسی کشاورزی. ۱(۱): ۳۳-۴۰.

۷- عباس‌منش. گ. ن.، و ع. موحدی نایینی. ۱۳۸۸. اثر پتانسیل‌های محرک رشد *ازتوباکتر* روی رشد و عملکـرد و جـذب عناصـر غـذایی گنـدم. یازدهمین کنگره علوم خاک ایران. ۲۴-۲۱ تیر. گرگان. ص ۳۵۹-۳۶۱.

۸- فرجی، ه.، ح. ر. انجام، و ح. ر. اولیایی. ۱۳۸۸. تأثیر کود بیولوژیک نیتروکسین بر عملکرد و اجزای عملکـرد دو رقـم بـرنج در منطقـه یاسـوج. یازدهمین کنگره علوم خاک ایران.۲۴-۲۱ تیر. گرگان. ص ۷۵-۷۶.

۹- معلم، ا. ح.، و ح. ر. عشقی‌زاده. ۱۳۸۶. کاربرد استفاده از کودهای زیستی و محدودیت آن. دومین همایش ملی بوم‌شـناختی کـشاورزی، ایـران. ۲۶-۲۵ مهر. گرگان. صفحه ۴۷.

ح.، ا. اصغرزاده.، ج، دانشیان، و آ. حمیدی. ۱۳۸۹. تأثیر مایه تلقیح سویا و *ازتوباکتر* بر گیاهان حاصل از بذرهای سویا تولید شده در شرایط تنش خشکی. مجله پژوهش‌های خاک. ۲۴(۲): ۱۷۶-۱۶۵.

۱۰- م. ه، ا.، پیردشتی. م، ع، اسماعیلی، و م. ع. بهمنیار. ۱۳۸۹. اثر تلقیح باکتری‌های حل‌کننده فسفر و محرک رشد بر کـارایی مـصرف کودهـای ازته و فسفره در کشت ذرت سینگل کراس ۶۰۴. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی. ۳(۲): ۶۵-۸۰.

11- Alamri, S. A. and Y. S., Mostafa. 2009. Effect of nitrogen supply and *Azospirillum brasilense* SP-248 on the response of wheat to seawater irrigation. Saudi Journal of Biological Sciences. 16: 101-107.

12- Behl, R. K., H.Sharma, V. Kumar, and K. P**.** Singh. 2003. Effect of duel inoculation of V A micorrhyza and *Azotobacter chroococcum* on above flag leaf characters in wheat. Agronomy and Soil Science. 49(1): 25-31.

13- Chen, Y.P., P. D., Rekha, A. B. Arun, F. T., Shen, W. A Lai, and C. Young. 2005. Phosphate solubilizing bacteria from subtropical soil and their tricalcium phosphate solubilizing abilities. Department of Soil and Environmental Sciences, National Chung Hsing University. Applied Soil Ecology. 34(1): 33-41.

14- Cherr, C. M., J. M. S. Scholberg, and R. Mcsorlery. 2006. Green manure approaches to crop production. Agronomy Journal. 98: 302-319.

15- Diaz, M., M.Virginia, and F. Canigia. 2009. Field performance of a liquid formulation of *Azospirillum brasilensilense* on dryland wheat productivity. European Journal of Soil Biology. 45(1): 3-11.

16- Freitas, J.R.de., M.R., Banerjee, and J.J. Germide, 1997. Phosphate-solubilizing rhizobacteria enhance the growth and yield but not phosphorus uptake of canola (*Brassica napus* L.). Biological Fertilizer Soils. 24: 358-364.

17- Gilick, B. R., D. Penrose, and M. Wenbo. 2001. Bacteria promotion of plant growth. Biotechnology Advances. 19: 135-138.

18- Jha, B., M. C., Thakur, I., Gontia, V. Albrecht, M. Stoffels, and H. Hartman. 2009. Isolation, partial dentification and application of diazotrophic rhizobacteria from traditional Indian rice cultivars. European Journal of Soil Biology. 45: 62-72.

19- Kapulnik, Y., Y. Okon and Y. Henis. 2007. Changes in root morphology of wheat caused by *Azospirillum* inoculation. Microbiology. 31: 881-887.
20- Kumuta, K., Sempaualan, J. and Krishnan, P.S. 2004. Effect of insoluble phosphate and dual inoculation on soybean. In: Kannaryan, S., Kumar, K., Gouidarajan, K. (eds), Biofertilizers. pp: 354-358.
21- Naiman, A. D., A. Latronico, and G. Salamon. 2009. Inoculation of wheat *Azospirillum brasilense* and *Peseudomonas fluorescens*: Impact on the production and culturable rhizosphere microflora. 2009. European Journal of Soil Biology. 45: 44-51
22- Nikolay, S., A. Strigul, and V. Kravchenco. 2006. Mathematical modeling of PGPR inoculation into the rhizosphere. Enviromental Modeling and Software. 21: 1158-1171.
23- Oliveira, C. A., Alves, M. C. Marriel, I. E. Gomes, E. A. Scotti, M. R. Carneiro, N. P. Guimaraes, C.T. Schaffert R. E and Sa, N. M. 2008. Phosphate solubilizing microorganisms isolated from rhizosphere of maize cultivated in an oxisol of the Brazilian Cerrado Biome. Soil Biology and Biochemistry. 3: 1-6.
24- Pamella, A.C., Steven, S.H., 1982. Inorganic phosphate solubilization by rhizospher in a zostera marine community. Canadian Journal of Microbiology. 28: 605-610.
25- Patidar, M. 2001. Integrated nutrient management in sorghum (*Sorghum bicolor*) and its resideul effect on wheat (*Triticum aestivum*). Indian Journal of Agricultural Sciences. 71(9): 587-590.
26- Piromyou, P., Buranabanyat, B., Tantasawat, P., Tillabutr P, and Teaumroong., N. 2011. Effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) inoculation on microbial community structure in rhizosphere of forage corn cultivated in Thailand. European Journal of Soil Biology. 47: 44-54.
27- Roberts, T. L. 2008. Improving nutrient use efficiency. Turkish Journal Agriculture and Forestry Sciences. 32: 177-182.
28- Roesi, D., Gaur, R., Johri, B. N., Imfeld, G., Sharma, S., Kawaljeet K, and Aragno, M. 2006. Plant growth stage, fertilizer management and bio-inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promoting rhizobacteria affect the rhizobacteria community structure in rainfed wheat fields. Soil. Biological Biochemistry. 38: 1111-1120.
29- SAS Institute. 1997. SAS/STAT User's Guide, Version 6.12. SAS Institute, Inc., NC.
30- Turan, M., Ataoglu, N and Sahin, F. 2006. Evaluation of the capacity of phosphate solubilizing bacteria and fungi on different forms of phosphorus in liquid culture. Sustainable Agricultural. 28: 99-108.
31- Wagar, A., B. Shahrna, Z. A. Zahir and M. Arshad. 2004. Icolation with Acc deaminase containing rhizobacteria for improving growth and yield of wheat. Pakistan Journal of Agricultural Research. 41: 119-124.
32- Wu, B., S. C. Caob, Z. H. Lib, Z. G Cheunga, and K. C. Wonga. 2005. Effects of bioferilizer containing N-fixr, P and K solubilizer and AM fungi on maize growth. Geoderma. 125: 155-162.
33- Zahir, Z. A, U. Chani, M. Naveed, S.M. Nadeem, H. N., Asghar. 2009. Comparative effectiveness of Psedomonas and Serratia Sp. Containing ACC-deaminase for improving growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salt-stressed conditions. Archives of Microbiology Journal. 191: 415-424.