

## تأثیر کاربرد باکتری های افزایش دهنده رشد گیاه (PGPR) بر تسهیم ماده خشک و برخی ویژگی های رشد ذرت در شرایط گلخانه

آیدین حمیدی،\* احمد اصغرزاده، رجب چوکان، مجید دهقان شعار، امیر قلاوند

و محمد جعفر ملکوتی

عضو هیأت علمی مؤسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال، کرج؛ hamidi\_aidin@yahoo.com

عضو هیأت علمی مؤسسه تحقیقات خاک و آب، کرج؛ a\_asgharzadeh\_2000@yahoo.com

عضو هیأت علمی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، کرج؛ r\_choukan@yahoo.com

عضو هیأت علمی بازنشسته مؤسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال؛ dehghan12@yahoo.com

عضو هیأت علمی گروه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، تهران؛ ghalavand\_a@yahoo.com

عضو هیأت علمی گروه خاک شناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، تهران؛ mjmalakouti@hotmail.com

### چکیده

باکتری های افزایش دهنده رشد گیاه به عنوان کودهای بیولوژیک نقش مهمی در مدیریت پایدار بوم نظام های زراعی و افزایش حاصلخیزی و تولید آن ها دارند. به منظور بررسی تأثیر چند گونه بومی از این باکتری ها شامل: *ازتوباکتر کروکوکوم*، *آزوسپیریوم لیپوفروم*، *آزوسپیریوم برازیلیس* و *سودوموناس فلورسنس* بر ویژگی های ظاهری مرتبط با رشد رویشی بوته، تسهیم ماده خشک و برخی ویژگی های ریشه دورگ های ساده دیررس ذرت ۷۰۴، ۷۰۰ و یک دورگ امیدبخش (B73×K18) آزمایشی در شرایط گلخانه اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل تلقیح بذرهای این دورگ ها با تک تک باکتری ها؛ به صورت دوتایی، سه تایی و عدم تلقیح باکتریایی به عنوان تیمار شاهد بودند. ویژگی های مورد بررسی عبارت بودند از: ارتفاع بوته و بلال، قطر ساقه، تعداد برگ های بوته و بالای بلال، وزن خشک برگ ها، ساقه، گل تاجی و بوته، سطح، حجم طول و وزن خشک ریشه و نسبت وزن خشک بخش هوایی بوته به وزن خشک ریشه. نتایج بدست آمده مشخص نمود که بجز تعداد برگ های بوته و بالای بلال سایر ویژگی های مورد بررسی تحت تأثیر تیمارهای آزمایش و اثر متقابل آن ها قرار گرفتند. همچنین مشخص گردید که به ترتیب دورگ های B73×K18، ۷۰۴ و ۷۰۰ از لحاظ ویژگی های بررسی شده بیشتر تحت تأثیر تلقیح با باکتری های افزایش دهنده رشد قرار گرفتند و تلقیح با مایه تلقیح تلفیق باکتری های سه جنس بیشترین تأثیر افزایش دهنده رشد را بر هر سه دورگ نشان داد. کاربرد مایه تلقیح تلفیق باکتری های *ازتوباکتر کروکوکوم* و *سودوموناس فلورسنس* و تیمار تلقیح بذر با هر یک از این دو باکتری، از لحاظ تحریک رشد در مرتبه های بعدی قرار داشتند.

واژه های کلیدی: ذرت (*Zea mays* L.)، ویژگی های بوته و ریشه، *ازتوباکتر کروکوکوم*، *آزوسپیریوم لیپوفروم*،

*آزوسپیریوم برازیلیس* و *سودوموناس فلورسنس*

### مقدمه

ذرت با تولید ۷۰۵ میلیون تن دانه در سال ۲۰۰۴ یکی از مهمترین گیاهان زراعی می باشد که محصول آن

۱- نویسنده مسئول، آدرس: کرج، بلوار نبوت، نبش خیابان کلکسیون، صندوق پستی ۱۵۱۶-۳۱۵۳۵

\* دریافت: ۸۶/۶/۱۱ و پذیرش: ۸۸/۷/۲۱

کریوکسیلیک (ACC) به وسیله آنزیم ACC دامیناز<sup>۷</sup> و تولید مواد هورمونی و شبه هورمونی نظیر ایندول بوتیریک اسید، اسید جیبرلیک و غیره در اثر واکنش نیتريت حاصل از تنفس نیتراتی با اسید اسکوریک مهمترین سازوکارهای این باکتری ها محسوب می شوند (زهیر و همکاران، ۲۰۰۴).

تأثیر کاربرد PGPR بر تجمع ماده خشک در اندام های متفاوت گیاهان مختلف توسط پژوهشگران مختلف مورد بررسی قرار گرفته و مشخص گردیده که این باکتری ها از طریق ساز و کارهای فعالیت خویش الگوی تخصیص<sup>۹</sup> ماده خشک به اندام های مختلف و در نتیجه رشد و نمو بخش هوایی و ریشه را تحت تأثیر قرار می دهند (باشان و دوبرفسکی، ۱۹۹۶). به طوری که رویتاشا و-سینگ و همکاران (۱۹۹۳) افزایش وزن خشک برگ های ذرت با تلقیح بذر با باکتری *ازتوباکتر* و کاپولنیک و همکاران (۱۹۸۲) در نتیجه تلقیح بذر با باکتری *آزوسپیریوم* این اثر تأثیر را مشاهده کردند. همچنین و باشان و دوبروفسکی (۱۹۹۶) افزایش ماده خشک ساقه ذرت را در اثر تلقیح بذر با باکتری *آزوسپیریوم* گزارش کردند.

ریشه گیاه به عنوان اندام جذب آب و عناصر غذایی از خاک و اندام تولید کننده ترکیبات مختلف از جمله هورمون های رشد، برای رشد و نمو گیاه از اهمیت ویژه ای برخوردار است. بررسی های مختلف اثرات مثبت کاربرد PGPR بر شاخص های رشد ریشه از جمله افزایش سطح کل ریشه، وزن خشک ریشه، طول ریشه، تعداد ریشه های فرعی، تعداد و تراکم تارهای کننده همچنین افزایش تقسیم سلول های مریستم ریشه و تحریک تراوشات از ریشه گیاهان مختلف را نشان داده اند (پان و همکاران، ۱۹۹۹). زهیر و همکاران (۲۰۰۰) افزایش طول و وزن خشک ریشه ذرت را در اثر کاربرد PGPR تولید کننده اکسین، گزارش کردند. فالیک و همکاران (۱۹۸۹) افزایش سطح ریشه ذرت در اثر ترشح اکسین به وسیله باکتری *آزوسپیریوم برازیلنس* و گونزالس-لوپز و همکاران (۱۹۹۱) افزایش رشد ریشه ذرت در اثر اکسین تولید شده به وسیله باکتری *ازتوباکتر کروکوکوم* را مشاهده کردند. همچنین بهبود رشد ریشه ذرت و سایر گیاهان زراعی به ترتیب در اثر ترشح هورمون های اسید جیبرلیک و سیتوکینین به وسیله باکتری *آزوسپیریوم لیپوفروم* و *سودوموناس پوتیلا* مشخص گردیده است (هال و همکاران ۱۹۹۳ و فالچیری و همکاران، ۱۹۹۳).

به عنوان غذا، علوفه و تولیدات صنعتی مورد استفاده قرار می گیرد (فاتو، ۲۰۰۵). در ایران نیز در سال زراعی ۸۶-۱۳۸۵ از سطح زیر کشت آن ۳۰۷۰۱۵ هکتار با میزان تولید دانه ۲۳۶۱۲۹۸ تن و عملکرد ۷۶۹۷/۸۶ کیلوگرم در هکتار بوده است (بی نام، ۱۳۸۸). بنابراین تحقیق در مورد بهبود روش های تغذیه ذرت ضرورت دارد. در نظام های کشاورزی پایدار کاربرد کودهای زیستی از اهمیت ویژه ای در افزایش تولید و حفظ حاصلخیزی پایدار خاک برخوردار است (شارما، ۲۰۰۳). اصطلاح کودهای زیستی<sup>۱</sup> به مواد آلی حاصل از کودهای دامی، بقایای گیاهی، کود سبز و غیره همچنین ریز جانداران باکتریایی و قارچی مفید و مواد حاصل از فعالیت آن ها اطلاق شده و باکتری های افزایش دهنده رشد گیاه یا اصطلاحاً (PGPR)<sup>۲</sup> از مهمترین کودهای زیستی می باشند (منافی و کلپر، ۱۹۹۴). این گروه از باکتری ها علاوه بر افزایش فراهمی زیستی عناصر معدنی خاک از طریق تثبیت زیستی نیتروژن، محلول کردن فسفر و پتاسیم و مهار عوامل بیماریزا، با تولید مواد و هورمون های تنظیم کننده رشد گیاه عملکرد گیاهان زراعی را تحت تأثیر قرار می دهند (استورز و کریستی، ۲۰۰۳). همچنین با توجه به تأثیر افزایش دهنده بر رشد و نمو گیاهان زراعی، این باکتری ها اصطلاحاً باکتری های افزایش دهنده عملکرد نیز نامیده می شوند (وسی، ۲۰۰۳). کاربرد کودهای زیستی به ویژه PGPR مهمترین راهبرد در مدیریت تلفیقی تغذیه گیاهی برای سیستم کشاورزی پایدار با نهاده کافی (AISA)<sup>۳</sup> به صورت تلفیق مصرف کودهای شیمیایی با کاربرد باکتری های مذکور می باشد (شارما، ۲۰۰۳). برخی از گونه های جنس *ازتوباکتر*<sup>۴</sup>، *آزوسپیریوم*<sup>۵</sup> و *سودوموناس*<sup>۶</sup> از مهمترین انواع PGPR فعال در محیط ریشه (رایزوسفر) محسوب می شوند که علاوه بر تثبیت زیستی نیتروژن و محلول کردن فسفر خاک با تولید مقادیر ابل ملاحظه مواد و هورمون های تحریک کننده رشد بویژه انواع اکسین، جیبرلین ها و سیتوکینین ها رشد و نمو و عملکرد گیاهان زراعی را تحت تأثیر قرار می دهند (زهیر و همکاران، ۲۰۰۴).

پژوهش های اخیر مشخص ساخته اند که تولید ایندول استیک اسید و سیتوکینین با استفاده از اسید آمینه تریپتوفان و باز آلی آدنین ترشح شده از ریشه، هیدرولیز پیش ماده اتیلن، ۱- آمینو سیکلو پروپان-۱-

- 1- Biofertilizers
- 2- Plant Growth Promoting Rhizobacteria
- 3- Adequate Input Sustainable Agriculture
- 4- *Azotobacter* spp.
- 5- *Azospirillum* spp.
- 6- *Pseudomonas* spp.

- 7- 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid
- 8- ACC deaminase
- 9- Partitioning

ساعت بوده و توان تولید اکسین کیفی و نیمه کمی آن به ترتیب ++۲۱ میلی گرم در لیتر بودند. همچنین فعالیت آنزیم نیتروژناز سویه OF باکتری آزوسپیریوم لیپوفرورم و سویه ۲۱ آزوسپیریوم برازیلنس ۱۲/۳۶ نانومول در ۲۴ ساعت بوده و مقدار اکسین تولید شده در محیط کشت مایع سویه OF باکتری آزوسپیریوم لیپوفرورم، ۵۴/۲۶ گرم در لیتر بود. همچنین توان حل کنندگی فسفر سویه ۲۱ آزوسپیریوم برازیلنس مثبت (Phosphorus solubilization positive) سویه P۲۱ سودوموناس فلورسنت نیز دارای توان حل کنندگی فسفر آن در محیط Sperber مثبت و قطر هاله و نسبت قطر هاله به قطر کلونی آن در روز سوم و هفتم پس از کشت به ترتیب ۴ و ۱/۴ و ۲ و ۴/۴ سانتی متر بودند. توان تولید اکسین کیفی آن +++ و توان تولید اکسین نیمه کمی آن ۳۲ میلی گرم در لیتر بود. همچنین سیدروفور مثبت و دارای قطر هاله در ۴۸ ساعت ۳ سانتی متر و قطر هاله در ۷۶ ساعت ۳/۹ سانتی متر بوده و نیز از لحاظ تولید اکسین مثبت و میزان اکسین های آن: IAA، ILA و IBA به ترتیب ۷۶، ۷۰ و ۴۳ میلی گرم در لیتر و مقدار کل اکسین تولیدی آن ۱۸۹ میلی گرم در لیتر بود. محیط کشت مورد استفاده برای کشت هر سه جنس باکتری (Nutrient Broth (Himedia Code MV002) بود (اطلس، ۲۰۰۵).

برای تلقیح بذرها، به ازای ۱۰ بذر، میزان هفت میلی لیتر مایه تلقیح (۲۸۰ میلی لیتر برای تلقیح ۴۰۰ بذر مورد استفاده در آزمایش) هر باکتری که هر میلی لیتر آن دارای  $10^7$  عدد باکتری زنده و فعال بود مورد استفاده قرار گرفت (فالچیری و فریونی، ۱۹۹۴). بذرهاى مورد استفاده درون ظرف های پتری قرار داده شده و مایه تلقیح به آن ها اضافه شده و بذرها به خوبی با مایه تلقیح آغشته شده و سپس به منظور تلقیح کامل به مدت ۳۰ دقیقه درون مایه تلقیح نگهداری شدند. چهار بذر تلقیح شده درون درون هر گلدان با ظرفیت ۱۰ کیلوگرم که حاوی بستر کشت مخلوط ماسه استریل و پرلیت بودند کشت شدند. تیمارهای آزمایش شامل سه دو رگ ساده و تلقیح بذر با تک باکتری ها، تلقیح بذر با سه ترکیب باکتریایی دوتایی، تلقیح بذر با ترکیب باکتریایی سه تایی و عدم تلقیح باکتریایی بذر، به عنوان شاهد (جمعاً هشت تیمار) به شرح زیر بودند: ۱. Az، ۲. As، ۳. Ps، ۴. Az+As، ۵. Az+Ps، ۶. As+Ps، ۷. Az+As+Ps و ۸. عدم تلقیح (شاهد).

گلدان های کشت شده در گلخانه با آرایش یک آزمایش دو فاکتوره با ۲۴ تیمار (۳ دورگ ساده  $8 \times 8$  نوع تلقیح بذر) بر پایه طرح آزمایشی بلوک های کامل تصادفی با چهار تکرار قرار داده شدند. با فرا رسیدن مرحله

هدف از اجرای این پژوهش بررسی تأثیر کاربرد کودهای زیستی PGPR شامل سویه های خالص باکتری های ازتوباکتر کروکوکوم، آزوسپیریوم لیپوفرورم، آزوسپیریوم برازیلنس و سودوموناس فلورسنتس از طریق تلقیح بذر بر تسهیم ماده خشک و برخی ویژگی های ظاهری بوته و شاخص های ریشه دورگ های دپرس ذرت در شرایط گلخانه بود.

## مواد و روشها

این پژوهش در سال ۱۳۸۴ در محل آزمایشگاه مرکزی تجزیه بذر مؤسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال و گلخانه بخش تحقیقات ژنتیک و ذخایر توارثی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج به اجرا درآمد. به منظور بررسی تیمارهای آزمایش در شرایط کنترل شده و عاری از ریزجانداران، بستر کشت به شرح زیر تهیه گردید. ابتدا ماسه دریا جهت کاهش هدایت الکتریکی آن آبشویی گردید و برای کاهش pH با استفاده از محلول ۱۰ درصد اسید کلریدیک رقیق (۲۵ درصد) اسیدشویی شد. سپس درون آن با دمای ۱۷۰ درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت استریل شده و به نسبت ۵۰ درصد: ۵۰ درصد حجمی با پرلیت اسفنجی مخلوط شد.

سپس بذرهاى ضد عفونی نشده سه دورگ ساده دپرس ذرت شامل سینگل کراس ۷۰۴ (B73×Mo17)، سینگل کراس ۷۰۰ (K74/1×K18) و یک دورگ ساده امیدبخش (B73×K18) از بخش تحقیقات ذرت و گیاهان علوفه ای مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر تهیه گردیده و بلافاصله قبل از کاشت به وسیله مایه تلقیح مایع خالص سویه ۵ باکتری ازتوباکتر کروکوکوم<sup>۱</sup> (Az)، سویه های OF آزوسپیریوم لیپوفرورم<sup>۲</sup> و ۲۱ آزوسپیریوم برازیلنس<sup>۳</sup> (As) و سویه P۲۱ سودوموناس فلورسنتس<sup>۴</sup> (Ps) به صورت ساده (با یک باکتری) و تلفیقی از دو باکتری و سه باکتری تلقیح شدند. همگی این باکتری ها طبیعی (دست ورزی ژنتیکی نشده) و بومی خاک های کشور بوده و توسط بخش تحقیقات بیولوژی خاک مؤسسه تحقیقات خاک و آب جدا و خالص سازی شده و مایه تلقیح آن ها تهیه شده بود. میزان اتیلن تولید شده بر اساس روش کروماتوگرافی گازی سویه ۵ باکتری ازتوباکتر کروکوکوم که نشانگر فعالیت آنزیم نیتروژناز و تثبیت زیستی نیتروژن می باشد، ۹/۵ نانومول در ۲۴

- 1- Gnotobiotic
- 2- *Azotobacter chroococcum*
- 3- *Azospirillum lipoferum*
- 4- *Azospirillum brasilens*
- 5- *Pseudomonas fluorescens*

برگ های بالای بلال سایر ویژگی های مورد بررسی تحت تأثیر تیمارهای آزمایش و اثر متقابل آنها قرار گرفتند (جدول ۲ و ۱).

### ویژگی های ظاهری بوته

بررسی میانگین های ارتفاع بوته و بلال مشخص ساخت که در هر سه دورگ در اثر تلقیح بذر با باکتری های مورد بررسی ارتفاع بوته و بلال نسبت به شاهد افزایش یافت و بیشترین ارتفاع بوته و بلال برای دو رگ ساده ۷۰۴ و در مرتبه های بعدی به ترتیب دورگ های B73×K18 و ۷۰۰ تحت تیمار تلقیح بذر با مجموع باکتری ها مشاهده گردید و بر اثر تلقیح بذر با باکتری های سه جنس ارتفاع بوته و بلال دو رگ ۷۰۴ به ترتیب ۲۰/۶۷ و ۳۶/۶۷ درصد نسبت به شاهد (عدم تلقیح) افزایش یافتند (جدول ۳). کاپولنیک و همکاران (۱۹۸۲) افزایش ارتفاع بوته ذرت با تلقیح بذر به وسیله باکتری *آزوسپیریوم وزهیر* و همکاران (۱۹۹۸) افزایش ۸/۵ درصدی ارتفاع بوته ذرت که بذرهایی آن با باکتری های *ازتوباکتر* و *سودوموناس* تلقیح شده بودند را گزارش کردند. نیتو و فرانکنبرگر (۱۹۹۱) نیز مشاهده کردند که ارتفاع بوته و طول میانگره های ساقه ذرت به ترتیب به میزان ۲/۰۷ و ۲/۸۲ برابر با کاربرد باکتری *ازتوباکتر کروکوکوم* افزایش یافت. همچنین روستا و همکاران (۱۳۷۷) افزایش ارتفاع بوته ذرت دورگ ۷۰۴ که بذرهایی آن با باکتری های جنس *آزوسپیریوم* تلقیح شده بود را مشاهده کردند. ارتفاع بوته شاخصی از رشد رویشی محسوب می شود و با توجه به افزایش قابل ملاحظه این ویژگی بر اثر تلقیح بذر با PGPR مشخص می گردد که رشد رویشی دو رگ های مورد بررسی تحت تأثیر کاربرد این باکتری ها قرار گرفته اند.

همچنین قطر ساقه نیز در هر سه دورگ در اثر تلقیح بذر با باکتری های مورد بررسی نسبت به شاهد (عدم تلقیح) افزایش نشان داد و بیشترین قطر ساقه برای دو رگ ۷۰۴ و در مرتبه های بعدی برای دو رگ B73 × K18 و ۷۰۰ مشاهده شد و قطر ساقه دو رگ ۷۰۴ با تلقیح بذر با باکتری های سه جنس در مقایسه با شاهد ۷/۴۱ درصد افزایش یافت (جدول ۳). نیتو و فرانکنبرگر (۱۹۹۱) افزایش ۱/۴۶ برابری قطر ساقه ذرت در اثر کاربرد باکتری *ازتوباکتر کروکوکوم* را مشاهده کردند. قطر ساقه نیز معیاری از رشد رویشی است و قطر بیشتر ساقه در استحکام و مقاومت بوته نسبت به خوابیدگی و آفات ساقه خوار ذرت نقش مهمی داشته است. با توجه به

چهاربرگی شدن گیاهچه ها، سه گیاهچه حذف و در هر گلدان تنها یکی از آن ها باقی گذاشته شد. در طول دوره اجرای آزمایش به مدت ۹۰ روز (تا مرحله کاکل دهی) دمای گلخانه ۳۰-۲۵ درجه سانتی گراد و طول روز ۱۴-۱۳ ساعت بوده و نور لازم به وسیله لامپ ای ۴۰۰ وات بخار سدیم در حد ۹۰۰۰ لوکس تأمین گردید. همچنین در این مدت نیاز به عناصر غذایی و آب به وسیله تغذیه گلدان ها با محلول مغذی هوگلدن اصلاح شده برای تغذیه ذرت (تولنار و میگوس، ۱۹۸۴)، هر هفته دو بار، تأمین شد. با آغاز مرحله کاکل دهی، تعداد برگ های بوته و برگ های بالای بلال شمارش گردیده و ارتفاع بوته و بلال با استفاده از خط کش مدرج با دقت یک میلی متر تعیین شدند. همچنین قطر ساقه به وسیله کولیس با دقت ۰/۰۵ میلی متر اندازه گیری گردید. سپس بوته ها کف بر شده و برگ ها و گل تاجی از ساقه جدا گردیدند. برگ ها، گل تاجی و ساقه با استفاده از آون با دمای ۷۵ درجه سانتی گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک گردیده و با ترازوی دقیق با دقت ۰/۰۱ گرم توزین گردیدند. به منظور بررسی ویژگی های ریشه ابتدا گلدان ها تخلیه شده و ریشه از بستر کشت به دقت جدا شده و شستشو گردیدند. به منظور تعیین حجم ریشه از استوانه مدرج دارای حجم مشخص آب استفاده شد. وزن خشک ریشه ها و بخش هوایی بوته به وسیله آون با دمای ۷۵ درجه سانتی گراد به مدت ۴۸ ساعت و توزین با ترازوی دقیق با دقت ۰/۰۰۱ گرم تعیین شدند و سپس نسبت وزن خشک بخش هوایی بوته به ریشه مشخص گردید. طول ریشه ها با رابطه زیر برآورد گردید (نیومن، ۱۹۶۶):

$$\text{رابطه ۱: } [ \text{وزن ریشه ها (میلی گرم)} ] = \text{طول ریشه ها (سانتی متر)}$$

همچنین برای اندازه گیری سطح ریشه ها از رابطه اتکینسون<sup>۱</sup> به شرح زیر استفاده گردید (بهن، ۱۹۷۹):

$$\text{رابطه ۲: } \left\{ \text{طول ریشه ها، سانتی متر} \right\}^{1.5} \times \pi \times [ \text{حجم ریشه ها، سانتی متر مکعب} ] = \text{سطح ریشه ها}$$

داده های بدست آمده تجزیه و تحلیل واریانس شده و مقایسه میانگین ها به روش دانکن و ضرایب همبستگی ساده بین ویژگی های مورد بررسی تعیین شد. کلیه محاسبات آماری با استفاده از نرم افزار MSTAT\_C (Ver. 2.1) انجام شد.

### نتایج و بحث

تجزیه و تحلیل واریانس داده های ویژگی های مورد بررسی مشخص ساخت که بجز تعداد برگ های بوته و

شاهد افزایش قابل ملاحظه وزن خشک گل تاجی را نشان داد و بیشترین افزایش به میزان ۴۰/۶۳ درصد در تیمار تلقیح بذر دو رگ ۷۰۴ با باکتری های سه جنس در مقایسه با شاهد مشاهده شد (جدول ۳). گل تاجی ذرت اندام مهم زایشی است و رشد بیشتر آن می تواند معیاری از گرده افشانی موفقیت آمیز و تلقیح بهتر بلال باشد که از طریق افزایش تعداد دانه در بلال به افزایش عملکرد دانه منجر می شود. بدین لحاظ تأثیر PGPR بر افزایش وزن خشک گل تاجی در این آزمایش بیانگر احتمال افزایش عملکرد دانه است.

همچنین با تلقیح باکتریایی بذر هر سه دو رگ افزایش وزن خشک بوته (بیوماس) نسبت به شاهد (عدم تلقیح بذر) مشاهده گردید و از لحاظ ترتیب بالاترین وزن خشک بوته به ترتیب تیمارهای کاربرد توأم همه باکتری ها، دو باکتری *ازتوباکتر* و *سودوموناس*، قرار داشتند به طوری که افزایش ۲۹/۶ درصدی وزن خشک بوته در دو رگ ۷۰۴ که بذرهایی آن با باکتری های سه جنس تلقیح شده بود به عنوان بیشترین میزان افزایش مشاهده شد (جدول ۳). نیتو و فرانکنبرگر (۱۹۹۱) پنج برابر شدن وزن خشک بخش هوایی بوته ذرت بوته با کاربرد باکتری *ازتوباکتر کروکوکوم* را مشاهده کردند. وزن خشک بوته معیاری از رشد رویشی بوده و با افزایش وزن خشک بوته بر اثر کاربرد PGPR، رشد رویشی دو رگهای ذرت مورد بررسی افزایش قابل ملاحظه ای را نشان داد.

#### ویژگی های ریشه

سطح ریشه در هر سه دو رگ در تیمار تلقیح بذر با باکتری های سه جنس از بیشترین میزان برخوردار بوده و دو رگ ۷۰۴ نسبت به سایر دو رگ ها سطح ریشه بیشتری داشت، به طوری که نسبت به شاهد ۲۶ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴). فالیک و همکاران (۱۹۸۹) افزایش تعداد و تراکم تارهای موئین ریشه و در نتیجه سطح کل ریشه ذرت با تلقیح این بذر با باکتری *آزوسپیریوم* مشاهده کردند. همچنین روستا و همکاران (۱۳۷۷) افزایش انبوهی تارهای موئین ریشه ذرت دو رگ ۷۰۴ در اثر تلقیح بذر با باکتری *آزوسپیریوم* را گزارش کردند. سطح افزون تر ریشه مهمترین عامل در افزایش توانایی گیاه برای جذب آب و تحمل نسبت به تنش خشکی است و با توجه به تأثیر افزاینده کاربرد PGPR بر افزایش سطح ریشه دو رگهای ذرت مورد بررسی در این آزمایش به نظر می رسد که کاربرد این باکتری ها اثر قابل توجهی در توان جذب

افزایش قطر ساقه بر اثر کاربرد PGPR، تأثیر کاربرد باکتری ها در بهبود رشد رویشی مشخص می شود.

#### تسهیم ماده خشک

بررسی میانگین وزن خشک برگ ها نشان داد که کاربرد مایه تلقیح تلفیقی از باکتری ها بیشترین میزان وزن خشک برگ را به ترتیب در دو رگ ۷۰۴، B73 × K18 و ۷۰۰ تولید نموده و تأثیر کاربرد توأم دو باکتری *ازتوباکتر* و *سودوموناس* از لحاظ افزایش وزن خشک برگ در هر سه دو رگ در مرتبه بعدی قرار داشته است و وزن خشک برگ ها در تیمار تلقیح بذر دو رگ ۷۰۴ نسبت به شاهد نیز ۲۱/۳۱ درصد افزایش نشان داد (جدول ۳). روهیتاشاوا-سینگ و همکاران (۱۹۹۳) و کاپولنیک و همکاران (۱۹۸۲) نیز افزایش وزن خشک برگ های ذرت در اثر کاربرد باکتری *ازتوباکتر* و *آزوسپیریوم* را گزارش نمودند. وزن خشک برگ شاخصی از افزایش رشد رویشی گیاه و نیز معیاری از اندازه و توانایی دستگاه فتوسنتزی است و توسعه آن در افزایش تولید و عملکرد نقش بسزایی دارد. بنابراین، با توجه به افزایش وزن خشک برگ ها با کاربرد PGPR در این آزمایش، افزایش رشد و نمو دورگ های ذرت بررسی شده بر اثر استفاده از این باکتری ها قابل انتظار می باشد.

تغییرات میانگین های وزن خشک ساقه نیز از روندی مشابه وزن خشک برگ ها برخوردار بوده به طوری که بالاترین وزن خشک ساقه در هر سه دو رگ مربوط به تیمار تلقیح بذر با باکتری های سه جنس و کمترین میزان این میانگین مربوط به شاهد (عدم تلقیح بذر) بود و بیشترین افزایش وزن خشک ساقه در مقایسه با شاهد در تیمار تلقیح بذرهایی دو رگ ۷۰۴ با باکتری های سه جنس به میزان ۴۰ درصد مشاهده شد (جدول ۳). بررسی باشان و دوپروفسکی (۱۹۹۶) مشخص ساخت که با کاربرد باکتری *آزوسپیریوم* تسهیم ماده خشک به ساقه ذرت افزایش می یابد. افزایش وزن خشک ساقه بیانگر افزایش رشد رویشی است و میزان وزن خشک بالاتر ساقه از نظر تولید علوفه قابل مصرف بیشتر برای دام، استحکام ساقه و ذخیره مواد قابل انتقال برای پر شدن دانه اهمیت دارد. بنابراین افزایش وزن خشک ساقه دو رگ ها بر اثر کاربرد PGPR، علاوه بر افزایش رشد رویشی می تواند بهبود رشد زایشی و عملکرد دانه را نیز به دنبال داشته باشد.

بررسی میانگین وزن خشک گل تاجی نیز مشابه بوده و به طور کلی تیمارهای باکتریایی نسبت به

آب و در نتیجه تحمل نسبت به تنش خشکی و نیز کارایی بیشتر در مصرف آب دارد.

افزایش میزان حجم ریشه در تیمارهای باکتریایی هر سه دو رگ نسبت به شاهد قابل ملاحظه بوده و از روندی مشابه سطح ریشه برخوردار بود به گونه ای که بر اثر تلقیح بذر دو رگ ۷۰۴ با باکتری های سه جنس در مقایسه با شاهد حجم ریشه ۵۲/۶۳ درصد افزایش یافت (جدول ۴). روستا و همکاران (۱۳۷۷) افزایش انشعابات ریشه ذرت دو رگ ۷۰۴ در اثر تلقیح بذر با باکتری *آزوسپیریوم* را گزارش نمودند. افزایش حجم ریشه بیانگر توسعه بیشتر ریشه است که افزایش توان جذب آب و عناصر غذایی بیشتر از حجم وسیع تری از خاک را امکان پذیر می سازد. بدین ترتیب به نظر می رسد که با کاربرد PGPR در این آزمایش و افزایش حجم ریشه دو رگ های مورد بررسی توان و کارایی جذب و مصرف آب و عناصر غذایی آنها بهتر شده و در نتیجه رشد و نمو بهبود یافته است.

طول ریشه نیز در اثر تلقیح باکتریایی بذر هر سه دو رگ افزایش یافته به طوری که بیشترین طول ریشه مربوط به تیمار تلقیح با همه باکتری ها بود و بیشترین طول ریشه به میزان ۴۴۱۲/۱۷۵ سانتی متر مربوط به تیمار تلقیح بذرهای دو رگ ۷۰۴ با باکتری های سه جنس بود که افزایش طول ریشه به میزان ۴۸ درصد در مقایسه با شاهد را سبب شد (جدول ۴). فالیک و همکاران (۱۹۸۹) افزایش طول ریشه ذرت با تلقیح بذر با باکتری *آزوسپیریوم* را مشاهده کردند. همچنین زهیر و همکاران (۲۰۰۰) افزایش طول ریشه ذرت در اثر ترشح اکسین به وسیله PGPR را گزارش کردند. افزایش طول ریشه شاخصی از افزایش رشد ریشه است و با افزایش طول ریشه توانایی نفوذ ریشه به عمق بیشتر خاک و نیز نفوذ بیشتر ریشه در حجم بیشتری از خاک فراهم می شود و بدین ترتیب جذب بیشتر آب امکان پذیر می گردد. به نظر می رسد که افزایش طول ریشه های دو رگ های مورد مطالعه در این پژوهش در اثر کاربرد PGPR در افزایش قابلیت جذب و مصرف بهتر آب و عناصر غذایی مؤثر بوده که به نوبه خود در بهبود رشد و نمو اثر مثبت دارد.

وزن خشک ریشه نیز با تلقیح بذر با PGPR در هر سه دو رگ نسبت به شاهد افزایش نشان داده و تیمار تلقیح بذر با هر سه باکتری دارای بیشترین تأثیر در افزایش وزن خشک ریشه بوده و بالاترین وزن خشک ریشه مربوط به دو رگ ۷۰۴ بود که

نسبت به شاهد ۱۲ درصد افزایش داشت (جدول ۴). نیتو و فرانکنبرگر (۱۹۹۱) افزایش ۵/۶ برابری وزن خشک ریشه ذرت در اثر کاربرد باکتری *ازتوباکتر کروکوکوم* را مشاهده نمودند. بررسی های ریباودو و همکاران (۱۹۹۸) و جاکاد و همکاران (۱۹۹۹) نیز افزایش وزن خشک ریشه ذرت با تلقیح بذر با باکتری *آزوسپیریوم* را نشان دادند. همچنین جاوید و همکاران (۱۹۹۸) افزایش ۶۸/۴ درصدی وزن خشک ریشه ذرت در اثر تلقیح بذر با PGPR را نشان دادند. گونزالس-لوپز و همکاران (۱۹۹۱) تولید سیتوکینین و ایندول استیک اسید به وسیله باکتری *ازتوباکتر کروکوکوم* و فالچیری و همکاران (۱۹۹۳) تولید اسیدجیبرلیک توسط باکتری *آزوسپیریوم لیوفروم* را عامل افزایش رشد ریشه ذرت دانستند. گلپیک و همکاران (۱۹۹۴) نیز کاهش فعالیت آنزیم ACC دی آمیناز در اثر فعالیت باکتری *سودوموناس پوتیدا* را عامل افزایش رشد و نمو و توسعه ریشه ذرت معرفی کردند. افزایش وزن خشک ریشه نشان دهنده افزایش رشد ریشه بوده و افزایش رشد ریشه تأثیر بسزایی در جذب و تغذیه بهتر گیاه دارد. از این رو، به نظر می رسد که با به کارگیری PGPR رشد ریشه دو رگ های مورد بررسی افزایش داشته است که به تبع آن جذب آب و عناصر غذایی نیز بهتر شده است.

نسبت وزن خشک بخش هوایی بوته به وزن خشک ریشه نیز تحت تأثیر کاربرد PGPR قرار گرفته و در این مورد نیز تلفیق همه باکتری ها در هر سه دو رگ بیشترین تأثیر را بر این نسبت داشته و دو رگ ۷۰۴ دارای بالاترین نسبت بود که در مقایسه با شاهد ۲۸/۱۶ درصد کاهش داشت (جدول ۴). باشان و دوپروفسکی (۱۹۹۶) تغییر نسبت وزن خشک بخش هوایی بوته به ریشه به نفع افزایش رشد ریشه ذرت با تلقیح بذر با باکتری *آزوسپیریوم* را گزارش کردند. همچنین جاوید و همکاران (۱۹۹۸) افزایش ۴۲/۶ درصدی وزن خشک بخش هوایی بوته ذرت و افزایش ۶۸/۴ درصدی وزن خشک ریشه با تلقیح بذر با PGPR را گزارش کردند. تولید مواد تنظیم کننده رشد گیاه مهمترین ساز و کار تأثیر گذاری PGPR بر رشد و ریخت شناسی ریشه محسوب می شود که به صورت افزایش سطح ریشه گیاه میزبان بروز می کند (بانرجی و همکاران، ۲۰۰۶) و میزان سطح ریشه به عنوان عامل اصلی مؤثر بر قابلیت جذب عناصر غذایی را مطرح شده است (باربر و کوشمن، ۱۹۸۱) و در نتیجه افزایش جذب عناصر غذایی و آب از خاک

رشد گیاه بر رشد ریشه، شواهدی دال بر این که این باکتری‌ها به طور مستقیم تنفس ریشه و در نتیجه افزایش رشد ریشه را سبب می‌گردند وجود دارند. به طوری که افزایش میزان تنفس ریشه برخی گونه‌های گیاهی در اثر تلقیح با باکتری *آزوسپیریلوم* گزارش گردیده است (ساریگ و همکاران، ۱۹۹۲ و ودرویز و همکاران، ۱۹۹۹). فیلیپ و همکاران (۱۹۹۹) کشف کردند که آزاد شدن لومی کروم<sup>۶</sup>، ترکیب حاصل از تجزیه ریوفلاوین، از باکتری *سینورایزوبیوم ملیلوتی*<sup>۷</sup> سبب افزایش سرعت تنفس ریشه یونجه شده که این افزایش تنفس ریشه موجب افزایش جبرانی جذب و تحلیل کربن در بخش هوایی بوته و در نتیجه افزایش ۸ درصدی رشد گیاه می‌گردد.

بنابراین و با توجه به این نتایج مشخص می‌گردد که با کاربرد PGPR بکار برده شده در این پژوهش تسهیم ماده خشک بوته و ویژگی‌های ظاهری بوته مرتبط با رشد رویشی، همچنین ویژگی‌های رشد ریشه در هر سه دو رگ را تحت تأثیر قرار داده و به ترتیب دو رگ‌های ۷۰۴، B73×K18 و ۷۰۰ بیشتر تحت تأثیر تحریک کننده رشد آن‌ها قرار گرفتند و دو رگ ۷۰۴ دارای پایین‌ترین نسبت وزن خشک بخش هوایی بوته به ریشه بود که در مقایسه با شاهد ۲۸ درصد کاهش داشت. همچنین به ترتیب تلفیق باکتری‌های *ازتوباکتر کروکوکوم* + *آزوسپیریلیوم لیوفوروم* + *آزوسپیریلیوم برازیلینس* + *سودوموناس فلورسنس* و *ازتوباکتر کروکوکوم* + *سودوموناس فلورسنس* و نیز باکتری‌های *ازتوباکتر کروکوکوم* و *سودوموناس فلورسنس* به تنهایی بیشترین تأثیر تحریک‌کنندگی رشد را بر ویژگی‌های مورد بررسی در این پژوهش بر هر سه دو رگ داشته‌اند. بر این مبنای PGPR مورد استفاده در این پژوهش با افزایش نسبت ریشه به بخش هوایی دو رگ‌های مورد مطالعه، که بیانگر تسهیم بیشتر ماده خشک به ریشه است موجب افزایش رشد به نفع ریشه گردیده‌اند که در بهبود جذب آب و عناصر غذایی و به تبع آن افزایش تولید و عملکرد اثر قابل ملاحظه‌ای دارند.

بررسی ضرایب همبستگی ساده بین ویژگی‌های ظاهری بوته، تسهیم ماده خشک و ویژگی‌های ریشه مشخص ساخت که بین وزن خشک بوته با سطح، حجم، طول، وزن خشک و نسبت وزن خشک بخش هوایی بوته به وزن خشک ریشه، همچنین بین سطح ریشه با وزن خشک برگ، ساقه و نیز بین

و رشد بیشتر گیاه ناشی از آن می‌باشد (وسی، ۲۰۰۳). هابل و همکاران (۱۹۷۹) تولید اسید ۳-ایندول استیک، جیبرلین‌ها و سیتوکینین توسط *آزوسپیریلیوم* را با روش کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (HPLC)<sup>۱</sup> مشخص و اثر تحریک کننده ریشه زایی در ارزیابی مرواریدی و سورگوم این مواد و اثر مشابه ایجاد شده با کاربرد مواد تنظیم کننده رشد مصنوعی را گزارش نمودند. تأثیر مواد تنظیم کننده رشد تولید شده به وسیله PGPR بر رشد ریشه از طریق پارامترهایی بروز می‌کند که مهمترین آن‌ها افزایش وزن ریشه، افزایش انشعابات ریشه، کاهش ضخامت ریشه و افزایش تارهای موئین سطح ریشه می‌باشند که از میان آن‌ها افزایش وزن ریشه در اثر کاربرد PGPR عمومی تر می‌باشد (وسی و باس، ۲۰۰۲). البته چنان که وزن ریشه افزایش نیابد یا افزایش آن قابل ملاحظه نباشد، افزایش طول ویژه ریشه<sup>۲</sup> (طول ریشه به ازای هر واحد وزن ریشه) که معیاری از سطح ریشه بیشتر و در نتیجه حجم بیشتری از خاک که به وسیله ریشه برای جذب عناصر غذایی جستجو می‌شود می‌باشد، افزایش می‌یابد. برای مثال مولا و همکاران (۲۰۰۱) نشان دادند که سویه Sp7 *آزوسپیریلیوم برازیلینس* موجب افزایش ۶۳ درصدی وزن خشک ریشه سویا گردید و این در حالی بود که وزن ویژه ریشه را بیش از شش برابر و طول ریشه را بیش از ۱۰ برابر افزایش داد. اسید ۳-ایندول استیک مؤثرترین ترکیب تأثیر گذار بر آغازش<sup>۳</sup> ریشه، تقسیم و رشد سلول است (ویوانکو و فلورس، ۲۰۰۰) که اثر آن عمدتاً به صورت افزایش طول ریشه بروز می‌کند (پاتن و گلیک، ۲۰۰۲). شواهد قانع کننده برای ترشح آنزیم ACC دی آمیناز توسط PGPR که با تحریک رشد از طریق اثر بازدارندگی بر تولید اتیلن گیاهان میزبان سبب افزایش طول ریشه آن‌ها می‌شوند توسط Burd و همکاران (۱۹۹۸)، گلیکو همکاران (۱۹۹۸) و گلیک و گریچکو (۲۰۰۱) ارائه شده‌اند. مطالعه و بررسی در رابطه با تولید سیتوکینین و اسید جیبرلیک و سایر مواد تنظیم کننده رشد گیاه که به تازگی کشف شده‌اند مانند براسینواستروئیدها<sup>۴</sup> و تریانکونتانول<sup>۵</sup> توسط PGPR زمینه نوین پژوهشی است و منابع در دسترس اندکی در مورد بررسی تأثیر تولید این مواد به وسیله PGPR بر رشد گیاهان وجود دارند (بانرجی و همکاران، ۲۰۰۶). علاوه بر تأثیر غیر مستقیم PGPR از طریق تولید مواد تنظیم کننده

- 1- High Performance Liquid Chromatography
- 2- Specific root length
- 3- Initiation
- 4- Brassinostroids
- 5- Triacontanol

6- Lumichrome

7- *Sinorhizobium meliloti*

کننده رشد گیاه چنین به نظر می رسد که عمدتاً از طریق تأثیر این مواد بر تغییر الگوی تسهیم ماده خشک به نحوی که الگوی رشد گیاه به سمت ایجاد ریشه های بزرگتر، پراشعاب تر و در نتیجه ریشه های دارای سطح بیشتر تغییر می کند سبب تحریک رشد گیاه میزبان می گردند (باشان و دوپروفسکی، ۱۹۹۶).

با توجه به نتایج بدست آمده از پژوهش و بحث و تفسیر آن ها مشخص گردید که در اثر ساز و کارهای احتمالی، رابطه متقابل هم افزایی<sup>۳</sup> بین PGPR و دو رگ های ذرت بوجود آمده و روابط مثبت بین گیاه ذرت و این باکتری ها تقویت گردیده که منجر به افزایش رشد رویشی بوته و بهبود رشد ریشه شده است.

حجم ریشه با طول ریشه و وزن خشک ساقه و سطح ریشه همبستگی مثبت و بین نسبت وزن خشک بوته به وزن خشک ریشه با طول و وزن خشک ریشه همبستگی منفی وجود داشت (جدول ۵).

به طور کلی با توجه به همبستگی ویژگی های ریشه با ویژگی های ظاهری بوته و ماده خشک بوته و تسهیم آن می توان چنین نتیجه گیری نمود که PGPR مورد بررسی در این پژوهش احتمالاً با ساز و کار تولید هورمون های گیاهی تحریک کننده رشد سبب افزایش رشد و نمو و تجمع ماده خشک بخش هوایی بوته شده و با افزایش رشد و نمو و توسعه ریشه در اثر ترشح مواد تحریک کننده رشد به وسیله این باکتری ها، جذب آب و عناصر غذایی افزایش یافته و در نتیجه موجب افزایش رشد بوته دو رگ های مورد مطالعه گردیده اند.

همچنین نتایج به دست آمده از این پژوهش وجود تفاوت بین دو رگ های مورد بررسی از لحاظ پاسخ به کاربرد PGPR را مشخص ساخت. برای توجیه این موضوع می توان چنین بیان داشت که احتمالاً دو رگ های مورد بررسی از لحاظ میزان و نوع ترکیبات موجود در مواد مترشحه از ریشه که نقش مهمی در برقراری و پایداری رابطه متقابل بین گیاه و PGPR بر عهده دارند با یکدیگر متفاوت اند. در این رابطه می توان به مشاهدات نیتو و فرانکنبرگر (۱۹۹۱) اشاره کرد که گزارش نمودند کاربرد ترکیبی از سویه تولید کننده سیتوکینین باکتری *ازتوباکتر کروکوکوم*، آدنین (ADE)<sup>۱</sup> و ایزوپنتیل الکل (IA)<sup>۲</sup> نسبت به کاربرد تک تک این ترکیبات و باکتری به تنهایی بر افزایش وزن خشک بخش هوایی بوته و ریشه و نیز ارتفاع ساقه، فاصله میانگره های ساقه در طی رشد رویشی ذرت در شرایط گلخانه مؤثرتر بوده است.

بنابراین احتمالاً تفاوت میان دو رگ های مورد بررسی از لحاظ وجود چنین ترکیبات یا ترکیبات مشابه در ترشحات ریشه که سبب تفاوت تأثیر PGPR بر رشد و نمو کل بوته از جمله سیستم ریشه گردیده را علت تفاوت پاسخ دو رگ های مورد بررسی نسبت به کاربرد PGPR به کار رفته در این پژوهش دانست.

بدین ترتیب و با توجه به برخورداری PGPR مورد بررسی در این آزمایش از قابلیت تولید مواد تحریک



جدول ۱- خلاصه تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تسهیم ماده خشک و برخی ویژگی های ظاهری بوته در شرایط گلخانه

میانگین مربعات									درجات آزادی d.f.	منابع تغییرات
وزن خشک بوته	وزن خشک گل تاجی	وزن خشک ساقه	وزن خشک برگ ها	تعداد برگهای بالای بلال	تعداد برگهای بوته	قطر ساقه	ارتفاع بلال	ارتفاع بوته		
۰/۹۵۶ <sup>ns</sup>	۰/۱۱۸ <sup>ns</sup>	۶/۹۳۵*	۱/۸۴۶ <sup>ns</sup>	۰/۰۶۹ <sup>ns</sup>	۰/۶۲۳ <sup>ns</sup>	۰/۹۷۷ <sup>ns</sup>	۲۳۵/۶۴۹*	۱۷۶/۴۷۳ <sup>ns</sup>	۳	تکرار
۶۹/۷۰۱ <sup>**</sup>	۲/۱۳۴ <sup>**</sup>	۳۲/۶۱۲ <sup>**</sup>	۷/۸۲۱*	۰/۰۳۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۹۴ <sup>ns</sup>	۴/۷۲۰*	۵۰۴/۸۷۵ <sup>**</sup>	۲۸۲/۲۶۰ <sup>**</sup>	۲	دورگ ها
۷۹/۲۷۲ <sup>**</sup>	۲/۰۷۷ <sup>**</sup>	۳۱/۷۶۲ <sup>**</sup>	۴/۲۳۳*	۱/۱۱۳ <sup>ns</sup>	۰/۷۸۳ <sup>ns</sup>	۶/۹۰۷*	۵۶۸/۷۱۳ <sup>**</sup>	۵۵۰/۲۶۱ <sup>**</sup>	۷	PGPR
۷۶/۳۸۳ <sup>**</sup>	۲/۱۷۳ <sup>**</sup>	۵۶/۵۷۶ <sup>**</sup>	۶/۵۰۴*	۱/۸۰۵ <sup>ns</sup>	۰/۷۱۳ <sup>ns</sup>	۷/۱۳۶*	۴۳۶/۲۰۸ <sup>**</sup>	۲۳۱/۲۸۳ <sup>**</sup>	۱۴	دورگها × PGPR
۶۲/۳۹۳	۰/۱۳۸	۱۰/۴۲۵	۰/۵۵۱	۰/۵۱۱	۰/۶۶۵	۱/۹۰۳	۱۳۸/۴۴۶	۴۶۰/۲۸۴	۶۹	اشتباه آزمایشی
									۹۵	کل
										ضریب تغییرات (درصد)
۳/۱۲	۵/۶۶	۸/۴۲	۸/۳۲	۲/۰۵	۵/۰۱	۷/۳۴	۵/۷۵	۶/۲۵		

ns غیر معنی دار ، \* و \*\* به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد و ادرصد.

جدول ۲- خلاصه تجزیه واریانس (میانگین مربعات) ویژگی های ریشه و نسبت وزن خشک بوته به ریشه

میانگین مربعات					درجات آزادی d.f.	منابع تغییرات
نسبت وزن خشک بوته به ریشه	وزن خشک ریشه	طول ریشه	حجم ریشه	سطح ریشه		
۱/۲۸۹ <sup>ns</sup>	۱/۰۴۱ <sup>ns</sup>	۳۱۹۷۰۸۷/۱۱۱*	۲۹۶/۹۰۳*	۱۷۵۴۹/۸۶۸ <sup>ns</sup>	۳	تکرار
۲/۰۱۴*	۲/۲۴۹*	۳۲۳۵۲۲۲/۱۸۰*	۵۷۰/۵۹۴ <sup>**</sup>	۱۵۶۵۲۰/۷۵۱*	۲	دورگ ها
۴/۲۱۶*	۳/۲۰۵*	۳۱۵۰۴۱۲/۱۰۵*	۴۱۰/۸۰۴ <sup>**</sup>	۴۱۵۵۰۲/۲۰۶ <sup>**</sup>	۷	PGPR
۷/۱۹۱ <sup>**</sup>	۴/۴۰۴ <sup>**</sup>	۳۴۹۲۹۸۷/۸۸۲*	۵۶۲/۹۸۷ <sup>**</sup>	۵۳۵۲۵۷/۲۴۰ <sup>**</sup>	۱۴	دورگ ها × PGPR
۰/۹۳۹	۰/۸۱۸	۱۴۵۱۵۹۱/۹۰۸	۱۷۲/۱۳۵	۱۴۶۲۷۹/۴۷۶	۶۹	اشتباه آزمایشی
					۹۵	کل
						ضریب تغییرات(درصد)
۸/۲۰	۶/۱۴	۴/۳۰	۳/۱۹	۴/۹۰		

ns غیر معنی دار ، \* و \*\* به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد و ادرصد.

جدول ۳- مقایسه میانگین های اثر متقابل دورگ ها و PGPR بر ویژگی های ظاهری بوته و تسهیم ماده خشک بوته در شرایط گلخانه

ویژگی ها							تیمار
وزن خشک بوته (گرم)	وزن خشک گل تاجی (گرم)	وزن خشک ساقه (گرم)	وزن خشک برگ ها (گرم)	قطر ساقه (میلی متر)	ارتفاع بلال (سانتی متر)	ارتفاع بوته (سانتی متر)	
۳۶/۷۰۴u	۱/۴۰۳q	۱۸/۱۲۸r	۱۶/۴۹q	۱۶/۶۵o	۶۱/۷۵u	۱۶۹/۰۰u	شاهد (عدم تلقیح)
۴۵/۸۰۸g	۱/۸۳۲f	۲۴/۷۳۳f	۱۸/۲۷۸f	۱۸/۱۲۵f	۷۹/۷۵f	۱۸۵/۷۵g	Az
۳۸/۲۵r	۱/۵۱۵o	۱۹/۴۱۸p	۱۷/۰۱n	۱۷/۳۷۵m	۶۹/۵۰r	۱۷۱/۵۰s	As
۴۱/۷۶۶j	۱/۷۱۵h	۲۱/۹۹۸h	۱۷/۹۴i	۱۷/۸۰h	۷۸/۰۰i	۱۸۰/۷۵j	Ps
۴۰/۴۴۱m	۱/۶۷۲i	۲۱/۱۴j	۱۷/۴۵k	۱۷/۶۷۵j	۷۴/۵۰l	۱۷۸/۵۰m	Az+As
۴۸/۰۰۷d	۲/۰۷۰d	۲۸/۹۷c	۱۹/۳۰c	۱۸/۸۰c	۸۵/۲۵d	۱۹۰/۲۵d	Az+Ps
۳۹/۶۶۵o	۱/۶۰۲l	۲۰/۱۸۸m	۱۷/۲۴l	۱۷/۵۲۵k	۶۶/۲۵o	۱۷۵/۰۰p	As+Ps

۵۲/۱۴۷a	۲/۳۶۳a	۳۰/۲۲۵a	۲۰/۹۵۵a	۱۹/۵۷۵a	۹۷/۵۰a	۲۰۰/۰۰a	Az+As+Ps	
							شاهد	
							(عدم تلقیح)	
۳۵/۴۲۱w	۱/۳۴۵s	۱۷/۶۶۸t	۱۵/۹۴۷r	۱۶/۲۵q	۵۳/۵۰w	۱۵۵/۲۵w	Az	
۴۴/۵۴۳i	۱/۷۶۰g	۲۴/۴۵۵g	۱۸/۰۵h	۱۷/۸۲۵h	۷۸/۲۵h	۱۷۴/۰۰i	As	
۳۶/۸۶۳s	۱/۴۳۲p	۱۸/۲۵۷q	۱۶/۷۹۷p	۱۷/۰۰n	۶۶/۰۰t	۱۵۹/۰۰u	Ps	دورگ ۷۰۰
۴۰/۵۱۲l	۱/۷۰۳i	۲۱/۱۰۰j	۱۷/۴۸k	۱۷/۷۲۵i	۷۵/۲۵k	۱۶۹/۵۰l	Az+As	
۴۰/۰۷n	۱/۶۳۳j	۲۰/۴۷۵l	۱۷/۲۹۷l	۱۷/۵۵k	۷۲/۷۵n	۱۶۸/۲۵o	Az+Ps	
۴۷/۰۰f	۲/۰۵۳e	۲۶/۹۰۷e	۱۸/۳۳۸e	۱۸/۲۵e	۸۱/۲۵e	۱۷۶/۲۵f	As+Ps	
۳۸/۷۱۲q	۱/۵۲۰n	۱۹/۴۹۰o	۱۷/۱۱۲m	۱۷/۴۰l	۷۲/۷۵q	۱۶۲/۰۰r	Az+As+Ps	
۴۹/۳۴۳c	۲/۱۰۵c	۲۹/۲۵۷b	۱۹/۳۲۵c	۱۸/۸۲۵b	۹۱/۲۵c	۱۸۴/۰۰c	شاهد	
							(عدم تلقیح)	
۳۶/۳۷۶v	۱/۳۹۷r	۱۷/۹۶۳s	۱۶/۴۵q	۱۶/۵۰p	۵۷/۷۵v	۱۶۸/۲۵v	Az	
۴۵/۱۰۴h	۱/۷۹۵g	۲۴/۵۷۷f	۱۸/۱۳۵g	۱۷/۹۲۵g	۹۷/۲۵g	۱۸۴/۲۵h	As	دورگ
۳۷/۴۷t	۱/۴۷۰p	۱۹/۳۷۰p	۱۶/۸۴o	۱۷/۰۰n	۶۶/۲۵s	۱۶۹/۷۵t	Ps	B73×K18
۴۱/۲۴۱k	۱/۷۱۰h	۲۱/۳۶۲i	۱۷/۷۳j	۱۷/۷۵i	۷۶/۲۵j	۱۷۹/۵k	Az+As	
۴۰/۲۸m	۱/۶۳۸k	۲۰/۸۱۵k	۱۷/۴۱۵k	۱۷/۶۵j	۷۴/۲۵m	۱۷۸/۲۵n	Az+Ps	
۴۷/۹۵۸e	۲/۰۵۸e	۲۸/۱۸۵d	۱۸/۷۳۲d	۱۸/۳۵d	۸۲/۵e	۱۸۶/۲۵e	As+Ps	
۳۹/۰۴۲p	۱/۵۵۷m	۲۰/۰۹۳m	۱۷/۱۷۸m	۱۷/۴۲۵l	۶۹/۵p	۱۷۲/۰۰q	Az+As+Ps	
۵۰/۲۷b	۲/۲۲۲b	۲۹/۴۱۰b	۱۹/۷۱b	۱۸/۸۵b	۹۳/۲۵b	۱۹۴/۰۰b		

در هر ستون میانگین هایی که حداقل در یک حرف یکسان باشند بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح ۵ درصد اختلاف معنی دار ندارند.

جدول ۴- مقایسه میانگین های اثر متقابل دو رگ ها و PGPR بر ویژگی های ریشه در شرایط گلخانه

ویژگی ها		تیمار			
نسبت وزن خشک بوته به ریشه	وزن خشک ریشه (گرم)	طول ریشه (میلی متر)	حجم ریشه (سانتی متر مکعب)		
سطح ریشه (سانتی متر مربع)	ساختار ریشه (سانتی متر مربع)	تیمار	تیمار		
۵/۹۳۲r	۲۲/۳۳۰p	۲۲۷۸/۴۰۰v	۳۵/۷۵۰r	۱۴۰۱/۵۳۷	شاهد(عدم تلقیح)
۶/۸۹۵f	۲۳/۲۶۰f	۳۰۸۸/۳۰۰g	۵۴/۷۵۰f	۱۷۵۹/۶۸۸g	Az
۶/۱۵۵o	۲۲/۶۴۳m	۲۳۳۶/۲۵۰s	۴۳/۷۵۰o	۱۴۲۷/۱۶۳s	As
۶/۷۹h	۲۳/۱۷۰g	۲۸۲۱/۲۰۰j	۵۲/۵۰۰h	۱۶۴۶/۹۲۵j	Ps
۶/۶۴۵k	۲۳/۰۱۲i	۲۶۰۷/۷۰۰m	۴۹/۷۵۰j	۱۳۶۸/۸۷۹m	Az+As
۷/۶۵۰c	۲۴/۱۱۷d	۳۶۶۴/۵۷۵d	۵۹/۷۵۰d	۱۸۳۸/۳۶۸d	Az+Ps
۶/۳۸۵m	۲۲/۸۶۵k	۲۴۹۸/۶۷۵p	۴۷/۵۰۰l	۱۵۳۲/۵۷۹p	As+Ps
۸/۲۵۸a	۲۵/۴۹۸a	۴۴۱۲/۱۷۵a	۷۹/۲۵a	۱۸۸۷/۴۸۵a	Az+As+Ps
۵/۱۵۵u	۲۲/۱۳۳r	۱۸۸۲/۳۵۰w	۲۹/۰۰۰t	۱۱۴۵/۸۸۵x	شاهد(عدم تلقیح)
۶/۸۵۰g	۲۳/۱۹۰g	۲۸۴۱/۳۲۵i	۵۲/۷۵۰h	۱۵۹۰/۷۱i	Az
۵/۹۵۰q	۲۲/۴۶۸o	۲۰۳۷/۷۰۰u	۳۶/۷۵۰q	۱۱۶۱/۵۳۵u	As
۶/۶۷۵j	۲۳/۱۰۵h	۲۷۲۱/۱۷۵l	۵۱/۰۰۰i	۱۴۷۰/۴۲۶l	Ps
۶/۳۹۵l	۲۲/۹۱۰j	۲۵۴۹/۸۵۰o	۴۸/۷۵۰k	۱۵۴۵/۸۳o	Az+As
۷/۰۵۳e	۲۳/۶۹۲e	۳۲۸۶/۳۲۵f	۵۸/۰۰۰e	۱۶۳۰/۹۱۳f	Az+Ps
۶/۲۴۰o	۲۲/۷۱۸m	۲۴۱۸/۵۷۵r	۴۴/۲۵۰n	۱۳۴۸/۲۹r	As+Ps
۷/۷۹۸b	۲۴/۷۸۵c	۳۷۶۹/۱۵۰c	۶۴/۰۰۰c	۱۷۵۹/۶۶۳c	Az+As+Ps
۵/۹۱۸t	۲۲/۲۰۸q	۲۰۷۳/۷۰۰u	۳۲/۷۵۰s	۱۱۶۰/۲۷۵w	شاهد(عدم تلقیح)
۶/۸۶۰g	۲۳/۲۱۵f	۲۹۰۱/۴۰۰h	۵۳/۵۰۰g	۱۶۹۱/۳۴۰h	Az
۶/۰۸۰p	۲۲/۵۶۰n	۲۲۷۸/۴۰۰t	۳۹/۵۰۰p	۱۲۷۹/۸۱۸t	As
۶/۷۴۳i	۲۳/۱۱۵h	۲۷۶۳/۴۵۰k	۵۱/۵۰۰i	۱۶۱۹/۳۹۱k	Ps
۶/۴۱۰l	۲۲/۹۲۰j	۲۵۸۹/۹۰۰n	۴۹/۵۰۰j	۱۴۶۰/۵۶۸n	Az+As
۷/۲۲۸d	۲۴/۰۷۵d	۳۶۳۱/۲۰۰e	۵۸/۵۰۰e	۱۷۱۲/۰۰۵e	Az+Ps
۶/۳۵۲n	۲۲/۸۰۸l	۲۴۴۷/۵۰۰q	۴۶/۷۵۰m	۱۴۳۹/۷۰۵q	As+Ps
۸/۲۵۷a	۲۴/۹۵۸b	۳۸۱۳/۶۵b	۶۸/۰۰۰b	۱۸۷۷/۷۴۸b	Az+As+Ps

\* در هر ستون میانگین هایی که حداقل در یک حرف یکسان باشند بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح ۵ درصد اختلاف معنی دار ندارند.

جدول ۵- ضرایب همبستگی ساده بین تسهیم ماده خشک و برخی ویژگی های ریشه و بوته در شرایط گلخانه

ویژگی ها	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
۱. ارتفاع بوته												
۲. ارتفاع بلال	۰/۴۶۰***											
۳. قطر ساقه	۰/۲۲۰*	۰/۰۹۵ns										
۴. وزن خشک برگ	۰/۳۲۶***	۰/۱۱۸ns	۱									
۵. وزن خشک ساقه	۰/۳۹۱***	۰/۹۷ns	۰/۲۸۵***	۱								
۶. وزن خشک گل	۰/۴۱۵***	۰/۱۲۴ns	۰/۰۲۵ns	۰/۳۸۰***	۱							
تاجی												
۷. وزن خشک بوته	۰/۴۱۰***	۰/۰۹۲ns	۰/۲۷۰***	۰/۵۷۷***	۰/۷۶۷***	۱						
۸. سطح ریشه	۰/۱۳۵ns	۰/۰۵۸ns	۰/۰۵۳ns	۰/۳۴۶***	۰/۴۴۶***	۰/۱۵۹ns	۱					
۹. حجم ریشه	۰/۱۵۱ns	۰/۰۸۸ns	۰/۰۸۶ns	۰/۱۴۷ns	۰/۴۳۸***	۰/۲۰۹*	۰/۴۰۷***	۱				
۱۰. طول ریشه	۰/۴۱۴***	۰/۱۵۴ns	۰/۴۱۲***	۰/۵۴۷***	۰/۷۲۷***	۰/۴۸۳***	۰/۵۷۰***	۰/۴۲۳***	۱			
۱۱. وزن خشک ریشه	۰/۳۷۸***	۰/۱۳۷ns	۰/۳۲۶***	۰/۴۴۶***	۰/۷۴۳***	۰/۵۱۴***	۰/۴۰۳***	۰/۳۷۳***	۰/۹۰۹***	۱		
۱۲. نسبت وزن خشک بوته به ریشه	۰/۰۴۳ns	۰/۰۶۵ns	۰/۱۵۳ns	۰/۰۵۶ns	۰/۱۲۵ns	۰/۱۴۵ns	۰/۲۰۶*	۰/۱۲۰ns	۰/۰۰۹ns	۰/۳۶۳***	۰/۲۹۴***	۱

ns غیر معنی دار، \* و \*\* به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد.

## فهرست منابع:

۱. بی نام، ۱۳۸۸. آمار نامه کشاورزی، جلد اول: محصولات زراعی و باغی (۸۶-۱۳۸۵). نشریه شماره ۸۸/۰۹ دفتر آمار و فن آوری اطلاعات معاونت برنامه ریزی و اقتصاد وزارت جهاد کشاورزی، تهران.
۲. روستا، م.ج، صالح راستین، ن. و مظاهری اسدی، م. ۱۳۷۷. بررسی و فعالیت آزوسپیریلیوم در برخی از خاک های ایران. مجله علوم کشاورزی ایران. ۲۹: ۲۸۵-۲۹۸.
3. Atlas, R.M. 2005. Media for environmental microbiology. 2nd. Ed. Published by Taylor and Francis. USA.
4. Anonymus, 2008. Agriculture statistics, first volume-horticultural and field crops, 2005-6 crop year. Ministry of Jihad-e-Agriculture, Programing and economics deputy, Statistics and information technology office, no. 85/09.
5. Banerjee, M.R., L. Yesmin, and J.K. Vessey. 2006. Plant-growth-promoting rhizobacteria as biofertilizers and biopesticides, pp.137-181. in: Handbook of microbial biofertilizers. Ed., Rai, M.K., Food Production Press, U.S.A.
6. Barber, S.A., and J.H. Cushman. 1981. Nitrogen uptake model for agronomic crops., pp. 382-409. in: Modeling waste water renovation-land treatment. Ed., Iskander, I.K., Wiley-Interscience, New York.
7. Bashan, Y., and J.G. Dubrovsky. 1996. *Azospirillum* spp. Participation dry matter partitioning in grasses at the whole plant level. Biology and Fertility of Soils, 23: 435-440.
8. Bohn, W. 1979. Methods of studying root systems. Ecological Studies, 33:188. Springer-Verlag, Berlin.
9. Burd, G.I., D.G., Dixon, and B.R. Glick. 1998. A plant growth-promoting bacterium that decreases nickel toxicity in seedlings. Applied and Environmental Microbiology, 64:3663-3668.
10. Fallik, E., Y. Okon, E., Epstein, A., Goldman, and M. Fischer. 1989. Identification and quantification of IAA and IBA in *Azospirillum brasilens* inoculated maize roots. Soil Biol. Bioch. 21: 147-153.

11. FAO, 2005. 20 selected indicators of food and agriculture development in asia-pacific region (1994-2004). FAO, Rome, Italy.
12. Fulchieri, M. and L.Frioni. 1994. *Azospirillum* inoculation on maize (*Zea mays* L.):effect on yield in a field experiment in central Argentina.Soil Biol. Bioch. 26:921-923.
13. Glick, B.R., C.B., Jacobsen, M.M.K. Schwartze, and Pasternak, J.J. 1994. 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid deaminase mutants of plant growth promoting rhizobacterium *Pseudomonas putida* GR12-2 do not stimulate canola root elongation.Canadian J. Microbiol. 40:911-915.
14. Gonzalez-Lopez,J., M.V., Martinez-Toledo, S. Riena, and V. Salmeron, 1991. Root exudates of maize and production of auxin, gibberellins, cytokinin, amino acids and vitamins by *Azotobacter chroococcum* in chemically-defiend mediated dialyzed-soil media. Technol. Environ. Chem. 33: 69-78.
15. Grichko, V.P., and B.R. Glick. 2001. Amelioration of flooding stress by ACC deaminase-containing plant growth-promoting bacteria. Plant Physiol. Bioch. 39:11-17.
16. Hall, J.A., D., Pierson, S. Ghosh, and B.R. Glick, 1996. Root elongation in various agronomic crops by the plant growth promoting rhizobacterium *Pseudomonas putida* GR12-2. Isr. J. Plant Sci. 44: 37-42.
17. Hubbel, D.H., T.M., Tien, M.H., Gaskins, and J., Lee. 1979. Physiological intractions in the *Azospirillum*-grass root association, pp.1-6. in:Associative N2 – fixation. Eds., Vose, P.B. and Ruschel, A.P. CRC Press, Boca Raton. FL.
18. Jacoud,C., D., Faure, P. Wadoux, and R. Bally. 1999. Initiation of root groth simulation by *Azospirillum lipoferum* CRT1 during maize seed germination.Can. J. Microbiol. 45:339-342.
19. Javed, M., M., Arshad, and K., Ali. 1998. Evaluation of rhizobacteria for their growth promoting activity in maize. Pak. J. Soil Sci. 14: 36-42.
20. Manaffee, W.F. and J.W., Kloepper. 1994. Applications of plant growth promoting rhizobacteria in sustainable agriculture. In: Soil biota management in sustainable farming systems, C.E., Pankburst, B.M., Doube, V.V.S.R., Gupta, and P.R., Grace, eds. Pp:23-31 CSLRO, pub. East Melbourne, Australia.
21. Kapulnik, Y., S. Sarig, A. Nur, Y. Okon, and Y., Henis. 1982. The effect of *Azospirillum* inoculation on growth and yield of corn. Isr. J. Bot. 31:247-255.
22. Molla, A.H., Z.H., Shamsuddin, M.S., Halimi, M., Morziah, and A.B., Puteh. 2001. Potential for enhancement of root growth and nodulation of soybean co-inoculated with *Azospirillum* and *Bradyrhizobium* in laboratory system. Ann. Microbiol. 33:457-463.
23. Newman, E.I.1966. A method of estimating the total length of root in asampel.Journal of Appl. Ecol. 3:139-145.
24. Nieto, K.F. and W.T.(Jr.), Frankenberger. 1991. Influence of adenine, isopentyl alcohol and *Azotobacter chroococcum* on the vegetative growth of *Zea mays*. Plant Soil. 135:213- 221.
25. Pan,B., Y.M., Bai, S. Leibovitch, and D.L. Smith. 1999.Plant growth promoting rhizobacteria and kinetin as ways to promot corn growth and and yield in a short growing season area.Eropean Journal of Agronomy, 11:179-186.
26. Patten, C.L. and B.R. Glick. 2002. Role of *Pseudomonas putida* indolacetic acid in development of the host plant root system. Appl. Environ. Microbiol. 38: 3795-3801.
27. Phillip, D.A., C.M., Joseph, G.P., Yang, E., Martinez-Romero, J.R. Sanborn, and H. Volpin. 1999. Identification of lumichrome as a *Sinorrhizobioum* enhancer of alfalfa root respiration and shoot growth. Proc. Nat. Acad. Sci. USA, 96: 12275-12280.

28. Ribaud, C.M., A.N., Paccusse, D.P., Rondanini, J.A., Curu, and A.A. Frascina. 1998. *Azospirillum*-maize association: effects on dry matter yield and nitrifier activity. *Agricultura Tropica et Subtropica*, 31: 61-70.
29. Rohitashv-Singh, Sood, B.K., V.K. Sharma, and R. Singh, 1993. Response of forage maize (*Zea mays* L.) to *Azotobacter* inoculation and nitrogen. *Ind. J. Agron.* 38: 555-558.
30. Sarig, S., Y., Okon, and A. Blum. 1992. Effect of *Azospirillum brasilense* inoculation on growth dynamics and hydraulic conductivity of *Sorghum bicolor* roots. *J. Plant Nut.* 15:805-819.
31. Sharma, A.K. 2003. Biofertilizers for sustainable agriculture. Agrobios, India.
32. Sturz, A.V. and B.R. Christie. 2003. Beneficial microbial allelopathies in the root zone: the management of soil quality and plant disease with rhizobacteria. *Soil Tillage Res.* 72: 107-123.
33. Tollenaar, M and W. Migus. 1984. Dry matter accumulation of maize growth hydroponically under controlled-environment and field conditions. *Can. J. Plant Sci.* 64: 475-485.
34. Vedderweiss, D., E., Jukervitch, S., Burdman, D. Weiss, and Y. Okon. 1999. Root growth respiration and beta-glucosidase activity in maize (*Zea mays* L.) and common bean (*Phaseolus vulgaris*) inoculated with *Azospirillum brasilense*. *Symbiosis*, 26:367-377.
35. Vessey, J.K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizer. *Plant Soil.* 255: 271- 586.
36. Vessey, J.K. and T.J. Buss. 2002. *Bacillus cereus* UW85 inoculation effects on growth, nodulation, and N accumulation in grain legumes. Controlled-environment studies. *Can. J. Plant Sci.* 82:282-290.
37. Vivanco, J.M. and H.E. Flores. 2000. Control of root formation by plant growth regulators, pp.1-25. in: *Plant growth regulators in agriculture and horticulture*. Ed., Basra, A.S., Food Products Press, New York.
38. Zahir, A.Z., M., Arshad, and A. Khalid. 1998a. Improving maize yield by inoculation with plant growth promoting rhizobacteria. *Pak. J. Soil Sci.* 15: 7-11.
39. Zahir, A.Z., S.A., Abbas, A. Khalid, and M. Arshad. 2000. Substrate dependnd microbially derived plant hormones for improving growth of maize seedlings. *Pak. J. Biol. Sci.* 3:289-291.
40. Zahir, A.Z., M. Arshad, and W.F. Frankenberger (Jr.). 2004. Plant growth promoting rhizobacteria: applications and perspectives in agriculture. *Adv. Agron.* 81:97-168.