نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۳، شماره ۱ ، بهار ۱۳۹۴، ص. ۴۲-۳۴

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 13, No. 1, Spring. 2015, p. 34-42

اثر ریزوباکترهای محرک رشد گیاه بر عملکرد و اجزای عملکرد کنجد (*Sesamum indicum* L.)

پرویز رضوانی مقدم[1*]- محمدبهزاد امیری[2]- حمیدرضا احیایی[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۶/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۳/۲۸

چکیده

به منظور بررسی اثر کودهای زیستی مختلف بر عملکرد و اجزای عملکرد کنجد (*Sesamum indicum* L.) آزمایشی در سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل ۷ نوع کود زیستی مختلف شامل: ۱- نیتراژین (دارای باکتری‌های *Azotobacter* sp.، *Azospirillum* sp. و *Pseudomonas* sp.)، ۲- نیتروکسین (دارای باکتری‌های *Azotobacter* sp. و *Azospirillum* sp.)، ۳- سوپرنیتروپلاس (دارای باکتری‌های *Azospirillum* sp.، *Bacillus* sp. و *Pseudomonas* sp.)، ۴- باکتری‌های حل‌کنندهٔ فسفات (دارای باکتری‌های *Bacillus* sp. و *Pseudomonas* sp.)، ۵- بیوفسفر (دارای باکتری‌های *Bacillus* sp. و *Pseudomonas* sp.)، ۶- نیتروکسین به‌علاوهٔ باکتری‌های حل‌کنندهٔ فسفات و ۷- نیتروکسین به‌علاوهٔ بیوفسفر و تیمار شاهد بودند. نتایج نشان داد که عملکرد دانه تحت‌تأثیر کودهای زیستی مختلف قرار گرفت و از این نظر تلفیق کودهای نیتروکسین و باکتری‌های حل‌کنندهٔ فسفات نسبت به سایر تیمارها برتری داشت. برتری استفاده تلفیقی از کودهای نیتروکسین و باکتری‌های حل‌کنندهٔ فسفات در وزن دانه در بوته و شاخص برداشت نیز مشاهده شد. نتایج حاکی از آن بود که کودهای زیستی نیتراژین، نیتروکسین به‌علاوهٔ بیوفسفر، نیتروکسین به‌علاوهٔ باکتری‌های حل‌کنندهٔ فسفات، بیوفسفر، باکتری‌های حل‌کنندهٔ فسفات و نیتروکسین به ترتیب باعث افزایش ۶۲، ۵۳، ۵۱، ۳۶ و ۳۰ درصدی وزن خشک غلاف در بوته در مقایسه با تیمار شاهد شدند. گر چه اثر کودهای زیستی بر میزان روغن دانه معنی‌دار نبود، ولی استفاده از بیوفسفر و نیتراژین میزان روغن دانه را به طور جزئی (به‌ترتیب ۱/۵ و ۱ درصد) افزایش داد. به طور کلی نتایج این آزمایش نشان داد که استفاده از کودهای زیستی ضمن افزایش عملکرد و بهبود خصوصیات کیفی کنجد می‌تواند وابستگی به کودهای شیمیایی و مخاطرات زیستی آنها را کاهش داده و به عنوان راهکاری بوم‌سازگار جهت توسعه کشاورزی پایدار و حفظ سلامت بوم‌نظام‌ها مورد توجه قرار گیرد.

واژه های کلیدی: باکتری‌های حل‌کنندهٔ فسفات، بیوفسفر، دانه‌های روغنی، سوپرنیتروپلاس، نیتراژین، نیتروکسین

مقدمه

ظرف چند دهه اخیر تلاش برای افزایش تولید در واحد سطح و مصرف زیاد و نامتعادل کودهای شیمیایی، پیامدهای منفی زیست‌محیطی و افزایش هزینه‌های تولید را به همراه داشته است و این امر بر ضرورت تجدیدنظر و شیوه‌های جدید افزایش تولید محصول تأکید دارد (۴). یکی از شیوه‌های بیولوژیکی برای افزایش تولید در کشاورزی، استفاده بالقوه از میکروارگانیزم‌های مفید خاکزی است که می‌توانند از روش‌های مختلف باعث افزایش رشد و عملکرد گیاه شوند. از جمله این موجودات می‌توان به ریزوباکتری های محرک رشد گیاه[4] نظیر ازتوباکتر، آزوسپیریلوم و سودوموناس اشاره کرد (۳۶ و ۴۰). این گروه از باکتری‌ها در منطقه ریزوسفر از طریق مکانیسم‌های مختلفی نظیر تثبیت نیتروژن (۲۷ و ۳۵)، تبدیل فسفات معدنی به آلی (۸ و ۳۹)، افزایش جذب آب و مواد غذایی (۴۵)، مقابله با بیماری‌های خاکزاد (۱۳ و ۳۹)، آزاد کردن متابولیت‌ها و تولید هورمون‌های گیاهی نظیر اکسین (۱۴ و ۲۷)، سیتوکینین (۸)، جیبرلین (۱۶) و اتیلن (۲۶) باعث تحریک رشد گیاه می‌شوند. در سال‌های اخیر، استفاده از کودهای زیستی به منظور افزایش حاصلخیزی خاک، جایگزینی مناسب برای کودهای شیمیایی، به شمار رفته و به عنوان یکی از مهمترین راهبردهای تغذیه گیاه برای نیل به اهداف کشاورزی پایدار

۱، ۲ و ۳- به ترتیب استاد و دانشجویان دکتری گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: rezvani@um.ac.ir)

4- Plant Growth Promoting Rhizobacteria

مورد توجه دست‌اندرکاران امر تولید قرار گرفته‌اند (۴۴). کودهای زیستی در حقیقت ماده‌ای شامل انواع مختلف ریزموجودات آزادزی بوده (۱۱ و ۴۲) که توانایی تبدیل عناصرغذایی اصلی را از فرم غیرقابل‌دسترس به فرم قابل‌دسترس طی فرآیندهای بیولوژیکی داشته (۲۸ و ۴۲) و منجر به توسعه سیستم ریشه‌ای و جوانه‌زنی بهتر بذور می گردند (۱۱). جهان و همکاران (۲) در بررسی اثر گیاهان پوششی و ریزوباکترهای محرک رشد گیاه را بر خصوصیات کمی و کیفی کنجد گزارش کردند که کودهای زیستی نیتروکسین، بیوفسفر و بیوسولفور به‌ترتیب باعث افزایش ۲۶، ۲۲ و ۲۰ درصدی عملکرد دانه نسبت به شاهد شدند. نتایج تحقیق یوسف و همکاران (۴۶) حاکی از آن است که در گیاه دارویی مریم‌گلی (*Salvia officinalis*) استفاده از کود زیستی حاوی آزوسپیریلوم و ازتوباکتر، سبب افزایش ارتفاع بوته و وزن تر و خشک اندام‌های هوایی گیاه شد. کیزیلکایا (۲۱) گزارش کرد که اثر کودهای زیستی (حاوی ازتوباکتر) بر عملکرد دانه گندم بهاره معنی‌دار بود، به طوری‌که باعث افزایش ۸۴ درصدی آن نسبت به شاهد شد.

در طی بیست سال اخیر استفاده از محصولات روغنی و به‌ویژه روغن‌های گیاهی اهمیت به‌سزایی یافته است (۲۴ و ۲۵). کنجد (*Sesamum indicum* L.) یکی از مهمترین گیاهان روغنی در سطح ایران و جهان است که به خانواده پدالیاسه[1] تعلق دارد (۱۷ و ۴۱). روغن کنجد از روغن های نیمه خشک و با مرغوبیت زیاد است که به خاطر دارا بودن آنتی‌اکسیدانت‌های مؤثر در سلامتی نظیر سسامول[2]، سسامولین[3] و سسامینول[4] به ملکه دانه های روغنی معروف شده است (۱۲، ۲۹، ۳۰ و ۳۷). دانه، روغن و کنجاله کنجد دارای کاربردهای متعدد تغذیه‌ای و صنعتی می‌باشند که از آن جمله می‌توان به کاربرد در صنایع دارویی، آرایشی و بهداشتی، رنگرزی، شیرینی‌پزی و استفاده در ترکیب حشره‌کش‌ها اشاره کرد (۱۷، ۲۰، ۳۰، ۳۷ و ۴۱).

علیرغم تحقیقات گسترده ای که در مورد تأثیر کودهای زیستی بر روی گیاهان زراعی انجام شده است، اطلاعات موجود در مورد اثرات این نوع کودها بر روی گیاه کنجد اندک است، لذا با توجه به اهمیت کنجد به عنوان یکی از مهمترین گیاهان دانه روغنی کشور و نیز عدم‌وجود اطلاعاتی مستند و جامع در خصوص واکنش‌های رشدی این گیاه به کودهای زیستی، این مطالعه با هدف ارزیابی اثر کودهای زیستی مختلف بر عملکرد و اجزای عملکرد کنجد انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد با طول جغرافیایی ′۲۸ °۵۹ شرقی و عرض جغرافیایی ′۱۵ °۳۶ شمالی و ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل ۷ نوع کود زیستی مختلف شامل: ۱- نیتراژین (حاوی باکتری‌های *Azotobacter* spp. و *Azospirillum* spp.، با $CFU=10^8$ C/ml در زمان تولید کود)، ۲- نیتروکسین (حاوی باکتری‌های *Azotobacter* spp. و *Azospirillum* spp.، با $CFU=10^8$ C/ml در زمان تولید کود)، ۳- سوپرنیتروپلاس (دارای باکتری‌های *Azospirillum* sp.، *Bacillus* sp. و *Pseudomonas* sp. با 10^8 = CFU C/ml در زمان تولید کود)، ۴- باکتری‌های حل‌کنندهٔ فسفات (حاوی باکتری‌های *Bacillus* sp. و *Pseudomonas* sp.، با $CFU=10^7$ C/ml در زمان تولید کود، به صورت پودر)، ۵- بیوفسفر (حاوی باکتری‌های *Bacillus* sp. و *Pseudomonas* sp.، با $CFU=10^7$ C/ml در زمان تولید کود، به صورت مایع)، ۶- نیتروکسین به‌علاوهٔ باکتری‌های حل‌کنندهٔ فسفات و ۷- نیتروکسین به‌علاوهٔ بیوفسفر و عدم استفاده از کود به‌عنوان تیمار شاهد بودند.

قبل از شروع آزمایشات مزرعه‌ای، به منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری انجام گرفت. نتایج حاصل از تجزیه فیزیکوشیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل انجام آزمایش

بافت خاک	نیتروژن کل (ppm)	فسفر (ppm)	پتاسیم (ppm)	pH	EC ($dS\ m^{-1}$)
لومی – سیلت	۱۵	۱۳	۱۱۹	۷/۴	۱/۲

به منظور بهبود خواص فیزیکی خاک، کود گاوی کاملاً پوسیده بر مبنای ۳۰ تن در هکتار در اردیبهشت ماه ۱۳۸۸ در سطح کلیه کرت های آزمایشی پخش و به طور یکنواخت با خاک مخلوط شد. برای آماده سازی زمین، عملیات دیسک‌زنی و تسطیح انجام گرفت.

بذور کنجد با منشاء تودهٔ اسفراین از مرکز تحقیقات کشاورزی استان خراسان‌رضوی تهیه شد. برای اعمال تیمارهای آزمایش، در زمان کاشت، در کاربرد جداگانهٔ کودهای زیستی، هر یک از کودها به میزان توصیه شده ۲ لیتر در هکتار و در کاربرد ترکیبی کودهای زیستی هر یک از آنها به میزان توصیه شده ۱ لیتر در هکتار، به روش استاندارد (۱۹) و با رعایت توصیه‌های شرکت تولیدکننده به خوبی با

1- Pedaliaceae
2- Sesamol
3- Sesamolin
4- Seeaminol

بذور آغشته شده و پس از خشک شدن کامل بذور در سایه، عمل کشت در کرت‌هایی به ابعاد ۵×۴ متر، روی ردیف‌هایی به فاصلهٔ ۵۰ سانتی‌متر انجام شد. فاصلهٔ بذور روی ردیف، ۴ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت و آبیاری‌های بعدی به فاصله هر ۷ روز یکبار تا آخر فصل رشد به روش نشتی انجام شد. به منظور اجتناب از مخلوط شدن آب کرت‌ها با یکدیگر، برای هر تکرار و هر کرت لولهٔ آبیاری جداگانه در نظر گرفته شد. پس از سبز شدن (در مرحلهٔ چهاربرگی)، برای حصول فاصلهٔ ۴ سانتی‌متر روی ردیف، نسبت به تنک گیاهان سبزشده اقدام شد. کنترل علف‌های هرز، ۳۰ و ۴۵ روز پس از کاشت به روش دستی انجام گرفت. در زمان آماده‌سازی زمین و در طول دورهٔ رشد، از هیچ نوع علف‌کش، آفت‌کش و قارچ‌کش شیمیایی استفاده نشد.

در اواخر فصل رشد، با آغاز مرحلهٔ رسیدگی، زرد شدن بوته‌ها و خشک شدن غلاف‌ها، تعداد ۳ بوته از هر کرت به طور تصادفی انتخاب و صفاتی نظیر تعداد غلاف در بوته، وزن خشک غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته، وزن دانه در بوته و درصد روغن دانه آنها اندازه‌گیری شدند. برای تعیین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک، پس از حذف اثر حاشیه‌ای، سطح ۱ متر مربع از هر کرت انتخاب و عملیات برداشت انجام شد. به منظور تعیین وزن خشک غلاف و وزن دانه از ترازوی دیجیتالی با دقت یک‌هزارم گرم استفاده شد. شاخص برداشت از درصد نسبت عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک بدست آمد. برای تعیین محتوای روغن نمونه‌ها، از روش استخراج گرم (AOAC Afficial Method 972.28) استفاده شد (۱۸).

به منظور تجزیه و تحلیل آماری داده‌های آزمایش و رسم شکل‌ها، از نرم‌افزارهای SAS Ver. 9,1 و MS Excel Ver. 11 استفاده شد و داده‌ها با دستور ANOVA آنالیز شدند. کلیهٔ میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

تعداد و وزن خشک غلاف در بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر کودهای زیستی مختلف بر تعداد غلاف در بوته معنی‌دار است (جدول ۲).

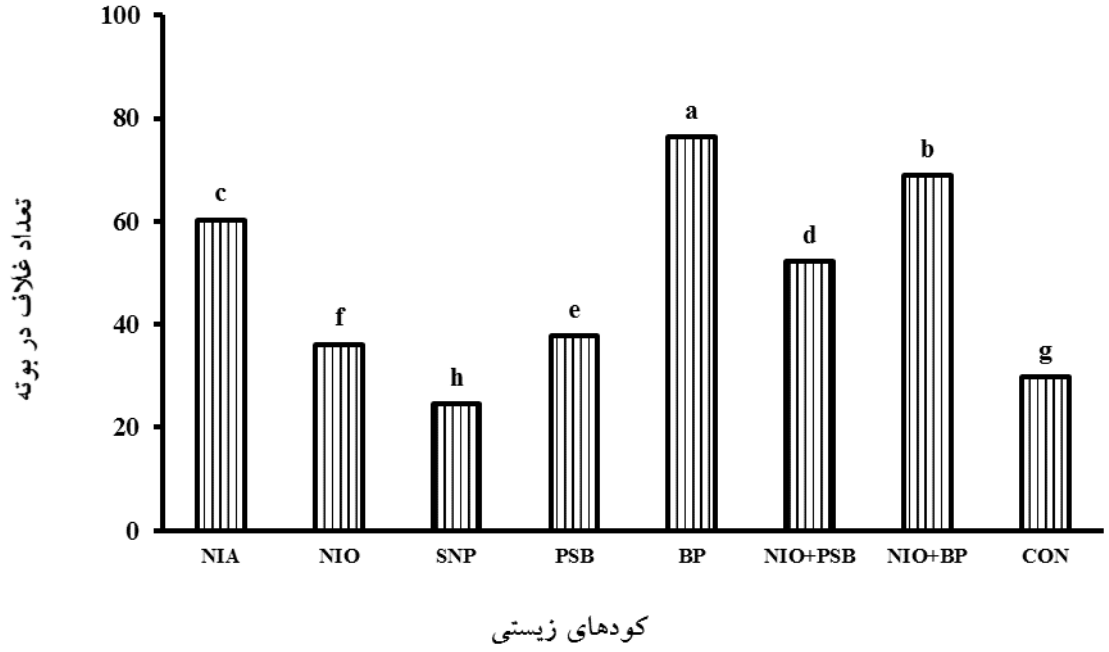
همانطور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود تمام کودهای زیستی مورد استفاده در آزمایش به جز سوپرنیتروپلاس باعث افزایش معنی‌دار تعداد غلاف در بوته نسبت به شاهد شدند که البته در این بین، بیوفسفر دارای بیشترین تأثیر بود، به‌طوری‌که باعث افزایش ۷۰ درصدی تعداد غلاف در بوته نسبت به شاهد شد. محققین بسیاری (۹ و ۱۹) به نقش مثبت ریزوباکترهای تحریک‌کننده رشد گیاه، بر رشد و نمو گیاهان اشاره کرده‌اند و آن را به ترشح هورمون‌های گیاهی، تولید و آزادسازی انواع اسیدهای آلی در خاک، تثبیت نیتروژن و در نهایت برهمکنش مثبت بین آنها و سایر ریزموجودات خاک نسبت داده‌اند. رخزادی و همکاران (۳۲) گزارش کردند که کودهای زیستی ازتوباکتر و سودوموناس باعث افزایش تعداد غلاف در بوته گیاه نخود (*Cicer arietinum* L.) نسبت به شاهد شدند.

اثر کودهای زیستی مختلف بر وزن خشک غلاف در بوته معنی‌دار بود (جدول ۲). همانطور که در شکل ۲ ملاحظه می‌شود، هر یک از کودهای زیستی نیتراژین، نیتروکسین به‌علاوهٔ بیوفسفر، نیتروکسین به‌علاوهٔ باکتری‌های حل‌کنندهٔ فسفات، بیوفسفر، باکتری‌های حل‌کنندهٔ فسفات و نیتروکسین به ترتیب باعث افزایش ۶۲، ۵۳، ۵۱، ۳۶ و ۳۰ درصدی وزن خشک غلاف در بوته در مقایسه با تیمار شاهد شدند.

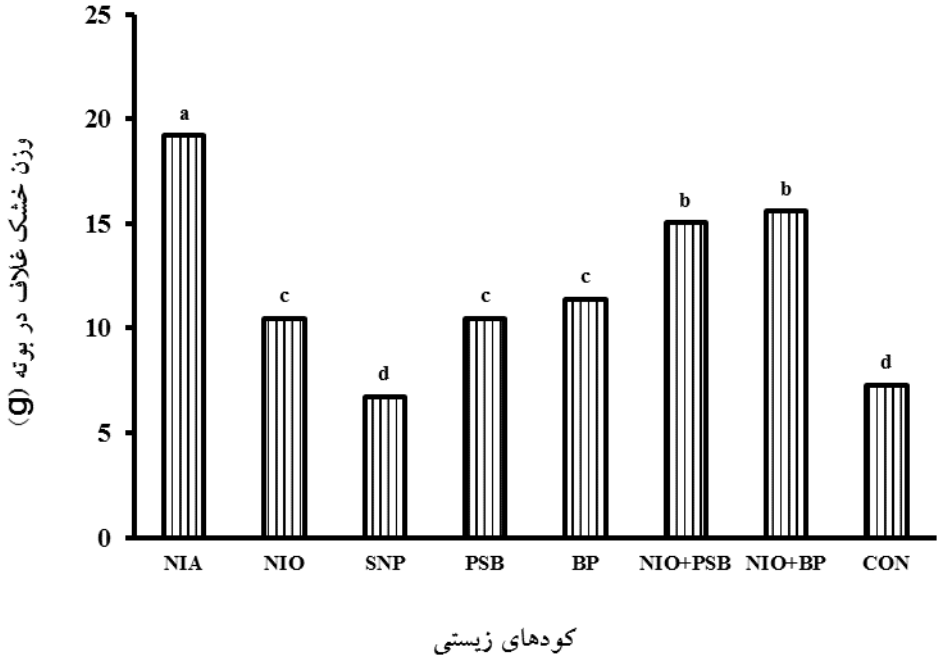
جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برخی صفات کمی و کیفی کنجد در شرایط استفاده از کودهای زیستی مختلف

منابع تغییر	درجه آزادی	تعداد غلاف در بوته	وزن خشک غلاف در بوته	تعداد دانه در بوته	وزن دانه در بوته	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	شاخص برداشت	روغن دانه
کودهای زیستی	۷	۱۰۸۹**	۵۵/۲۹**	۱۵۳۸۱۸۲۶**	۱/۲۵**	۳۱۳۲۸۵/۳۳**	۱۱۶۸۱۰۹۷*	۷/۰۰*	۳/۹۲^{ns}
بلوک	۲	۰/۰۳*	۰/۴۱^{ns}	۱۹۳۳۰۲۸^{ns}	۰/۰۰۷^{ns}	۱۹۹۲/۱۱^{ns}	۶۳۵۶۱۱۹^{ns}	۶/۲۰^{ns}	۰/۳۶^{ns}
خطا	۱۴	۰/۰۰۸۸	۰/۲۸	۲۱۱۶۹۵۸	۰/۰۲	۶۴۲۵/۳۸	۳۰۸۳۹۷۶	۲/۴۸	۱/۶۳
ضریب تغییرات	–	۰/۱۹	۴/۴۴	۸/۰۹	۳/۳۰	۳/۳۰	۱۰/۱۹	۱۱/۰۷	۲/۷۴

**، * و ns – به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و عدم‌معنی‌داری



شکل ۱- اثر کودهای زیستی مختلف بر تعداد غلاف در بوتهٔ کنجد (NIA: نیتراژین، NIO: نیتروکسین، SNP: سوپرنیتروپلاس، PSB: باکتری‌های حل‌کنندهٔ فسفات، BP: بیوفسفر و CON: شاهد)



شکل ۲- اثر کودهای زیستی مختلف بر وزن خشک غلاف در بوتهٔ کنجد (NIA: نیتراژین، NIO: نیتروکسین، SNP: سوپرنیتروپلاس، PSB: باکتری‌های حل‌کنندهٔ فسفات، BP: بیوفسفر و CON: شاهد)

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های برخی صفات کمی و کیفی کنجد در شرایط استفاده از کودهای زیستی مختلف (NIA: نیتراژین، NIO: نیتروکسین، SNP: سوپرنیتروپلاس، PSB: باکتری‌های حل‌کنندهٔ فسفات، BP: بیوفسفر و CON: شاهد)

کود زیستی	تعداد دانه در بوته	وزن دانه در بوته (g)	عملکرد بیولوژیک ($kg\ ha^{-1}$)	شاخص برداشت	روغن دانه (٪)
NIA	۱۶۱۷۶^{bc}	۴/۶۴^{d}	۱۵۶۰۰^{c}	۱۵/۰۳^{ab}	۴۷/۹۲^{a}
NIO	۱۷۰۸۳^{b}	۴/۱۸^{e}	۱۶۴۷۵^{bc}	۱۲/۷۷^{b}	۴۶/۹۳^{ab}
SNP	۱۷۶۷۹^{b}	۴/۶۲^{d}	۱۸۰۵۰^{ab}	۱۲/۸۵^{b}	۴۵/۵۲^{ab}
PSB	۱۴۳۶۱^{c}	۴/۲۵^{e}	۱۳۸۵۰^{c}	۱۵/۷۰^{ab}	۴۴/۸۲^{b}
BP	۲۱۱۵۳^{a}	۵/۴۵^{b}	۲۰۴۰۰^{a}	۱۳/۳۷^{b}	۴۷/۹۹^{a}
NIO+PSB	۲۰۷۹۰^{a}	۶/۰۶^{a}	۱۸۲۸۳^{ab}	۱۶/۹۵^{a}	۴۶/۱۳^{ab}
NIO+BP	۱۷۷۳۱^{b}	۴/۴۷^{de}	۱۷۱۰۰^{abc}	۱۳/۰۸^{b}	۴۵/۹۸^{ab}
CON	۱۸۷۶۸^{ab}	۵/۰۹^{c}	۱۸۱۰۰^{ab}	۱۴/۰۸^{ab}	۴۷/۲۷^{ab}

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، تفاوت معنی‌دار ندارند.

به نظر می‌رسد که کودهای زیستی از طریق افزایش دسترسی گیاه به عناصر غذایی نظیر نیتروژن و فسفر (۵، ۲۷ و ۳۵) باعث بهبود خصوصیات رشدی گیاه شدند. یادگاری و همکاران (۴۵) گزارش کردند که در لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) ریزوباکترهای محرک رشد گیاه (*Pseudomonas* sp. و *Azospirillum* sp.) باعث بهبود خصوصیات رشدی گیاه از جمله وزن خشک غلاف در بوته شدند.

تعداد و وزن دانه در بوته

بین کودهای زیستی مختلف از نظر تعداد دانه در بوته اختلاف معنی‌داری وجود داشت (جدول ۲)، به طوری که بیشترین تعداد دانه در بوته در گیاهان تحت تیمار بیوفسفر بدست آمد، که البته از این نظر با تیمارهای نیتروکسین به‌علاوهٔ باکتری‌های حل‌کنندهٔ فسفات و شاهد تفاوت معنی‌دار نداشت (جدول ۳). اثر کودهای زیستی مختلف بر وزن دانه در بوته معنی‌دار بود (جدول ۲). با توجه به جدول ۳، هر یک از کودهای زیستی نیتروکسین به‌علاوهٔ باکتری‌های حل‌کنندهٔ فسفات و بیوفسفر به‌ترتیب باعث افزایش ۱۶ و ۷ درصدی وزن دانه در بوته نسبت به تیمار شاهد شدند. باکتری‌های محرک رشد گیاه احتمالاً از طریق افزایش تولید هورمون‌های گیاهی و تشدید فعالیت آنزیم‌هایی نظیر گلوتامات دهیدروژناز و گلوتامین سینتتاز (۳۱) رشد گیاه را بهبود داده‌اند. این نتایج با نتایج پژوهش بیاری و همکاران (۱۰) و آزمایش مرادی و همکاران (۶) همخوانی داشت.

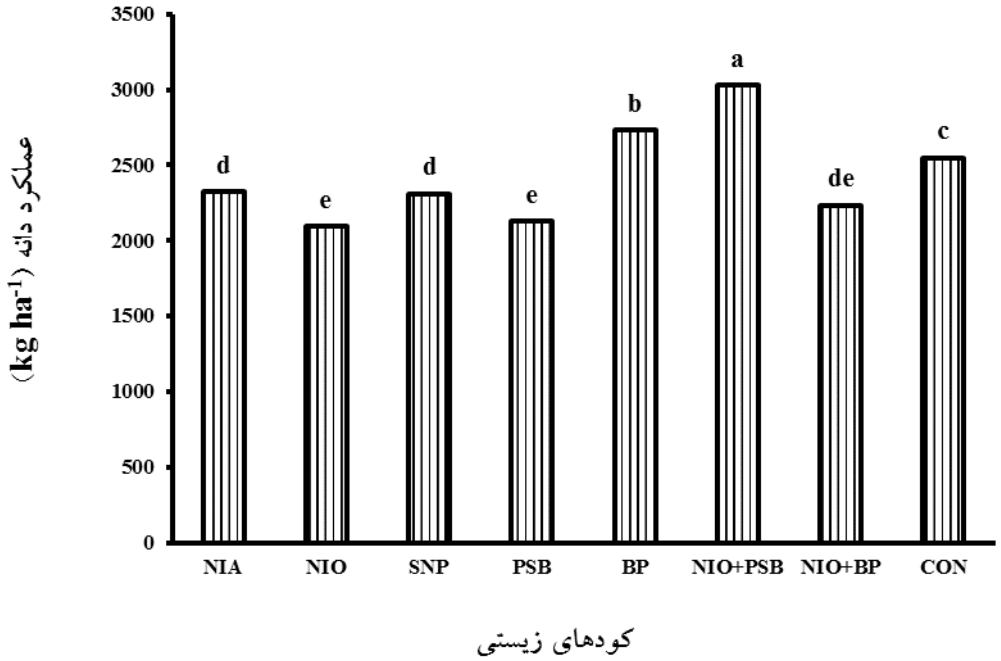
عملکرد دانه

اثر کودهای زیستی مختلف بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۲). تلفیق کودهای نیتروکسین و باکتری‌های حل‌کنندهٔ فسفات دارای بیشترین تأثیر بر عملکرد دانه بود، در حالی‌که اثر جداگانه هر یک از این کودها عملکرد دانه را نسبت به شاهد کاهش داد (شکل ۳). در مطالعات متعددی (۳۸ و ۴۳) به اثرات مثبت کاربرد تلفیقی ریزوباکترهای محرک رشد گیاه بر عملکرد محصولات زراعی مختلف اشاره شده است. به نظر می‌رسد که تلفیق کودهای زیستی مختلف باعث بروز اثرات هم‌افزایی[1] این کودها شده باشد، به طوری‌که عناصری نظیر نیتروژن و فسفر به مقدار کافی در اختیار گیاه قرار گرفته (۳۳ و ۴۷) و در نتیجه سبب افزایش عملکرد گیاه شد. جهان و همکاران (۲) گزارش کردند که در کدو پوست کاغذی (*Cucurbita pepo* L.)، کاربرد توأم کودهای زیستی نیتراژین و باکتری‌های حل‌کنندهٔ فسفات، باعث افزایش ۷ درصدی عملکرد دانه نسبت به شاهد شد.

عملکرد بیولوژیک

عملکرد بیولوژیک به طور معنی‌داری تحت‌تأثیر کودهای زیستی مختلف قرار گرفت (جدول ۲)، به این صورت که گیاهان تحت تیمارهای بیوفسفر و نیتروکسین به‌علاوهٔ باکتری‌های حل‌کنندهٔ فسفات به‌ترتیب دارای بیشترین عملکرد بیولوژیک بودند، که البته از این نظر با گیاهان تحت تیمارهای سوپرنیتروپلاس، نیتروکسین به‌علاوهٔ بیوفسفر و شاهد تفاوت معنی‌داری نداشتند (جدول ۳). برخی از محققین (۹، ۱۵ و ۱۹) به بروز اثرات متقابل مثبت بین جمعیت‌های میکروبی در خاک اشاره کرده‌اند، لذا برتری ۲۴ درصدی تیمار نیتروکسین به‌علاوهٔ باکتری‌های حل‌کنندهٔ فسفات نسبت به تیمار باکتری‌های حل‌کنندهٔ فسفات را می‌توان به بروز این اثرات متقابل نسبت داد. همسو با نتایج این پژوهش، کیزیلکایا (۲۱)، سابیدت و همکاران (۳۴) و لوکاس-گارسیا و همکاران (۲۳) نیز نتایج مشابهی را گزارش کردند.

1- Synergistic



شکل ۳- اثر کودهای زیستی مختلف بر عملکرد دانه کنجد (NIA: نیتراژین، NIO: نیتروکسین، SNP: سوپرنیتروپلاس، PSB: باکتری‌های حل‌کنندهٔ فسفات، BP: بیوفسفر و CON: شاهد)

شاخص برداشت

شاخص برداشت به طور معنی‌داری تحت‌تأثیر کودهای زیستی مختلف قرار گرفت (جدول ۲)، به طوری که تیمارهای باکتری‌های حل‌کنندهٔ فسفات و نیتراژین به‌ترتیب باعث افزایش ۱۰ و ۶ درصدی شاخص برداشت نسبت به شاهد شدند، که البته از این نظر اختلافشان با شاهد معنی‌دار نبود (جدول ۳). با مقایسه شکل ۳ و جدول ۳ مشاهده شد که استفاده همزمان نیتروکسین و باکتری‌های حل‌کنندهٔ فسفات، عملکرد دانه (۱۶ درصد) را بیش از عملکرد بیولوژیک (۱ درصد) افزایش داد، و از آنجایی که شاخص برداشت از نسبت عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک حاصل می‌شود، لذا افزایش شاخص برداشت در این تیمار منطقی به نظر می‌رسد. در تیمار ترکیبی نیتروکسین و باکتری‌های حل‌کننده‌ی فسفات احتمالاً گیاه از نظر نیاز به نیتروژن و فسفر با کمبود مواجه نشده و در نتیجه شاخص برداشت آن افزایش یافت. تهامی (۱) اثر کودهای زیستی را بر خصوصیات کمی و کیفی ریحان (*Ocimum basilicum*) بررسی و گزارش کرد که بیشترین شاخص‌برداشت گیاه در تیمار نیتروکسین به‌علاوهٔ باکتری‌های حل‌کنندهٔ فسفات بدست آمد.

روغن دانه

اگر چه اثر کودهای زیستی مختلف بر میزان روغن دانه معنی‌دار نبود (جدول ۲)، ولی استفاده از کودهای زیستی بیوفسفر و نیتراژین به‌ترتیب باعث افزایش ۱/۵ و ۱ درصدی میزان روغن دانه نسبت به شاهد شد (جدول ۳). به نظر می‌رسد که با استفاده از کودهای بیولوژیک، مواد غذایی جذب شده توسط گیاه به جای این که به مصرف ذخیره‌سازی و تقویت دانه‌ها برسد، به مصرف نقاط رویشی رسید و در نتیجه اثر این کودها بر درصد روغن دانه معنی‌دار نبود. آناندنام و همکاران (۷) در بادام‌زمینی (*Arachis hypogaea* L.) و کومار و همکاران (۲۲) در آوانا (*Artemisia pallens*) اثر کودهای زیستی را بر میزان روغن دانه مثبت گزارش کردند.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این آزمایش نشان داد که از نظر تمامی خصوصیات کمی مورد مطالعه، استفاده همزمان کودهای زیستی نیتروکسین و باکتری‌های حل‌کنندهٔ فسفات نسبت به کاربرد جداگانه هر یک از این کودها برتری داشت (شکل ۱، ۲ و ۳ و جدول ۳). با توجه به جدول ۳ و شکل ۳، استفاده همزمان کودهای نیتروکسین و باکتری‌های حل‌کنندهٔ فسفات در تمامی صفات مورد مطالعه به جز تعداد و وزن خشک غلاف در بوته نسبت به استفاده همزمان کودهای نیتروکسین و بیوفسفر برتری داشت. با مقایسهٔ دو تیمار نیتراژین و نیتروکسین در شکل‌های ۱، ۲، ۳ و جدول ۳ مشاهده شد که نیتراژین در تمامی صفات مورد مطالعه به جز تعداد دانه در بوته و عملکرد بیولوژیک

نسبت به نیتروکسین برتری داشت که احتمالاً این برتری به وجود باکتری اضافی سودوموناس در نیتراژین مربوط است. نتایج آزمایش حاکی از آن بود که بیوفسفر در صفاتی نظیر تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته، عملکرد بیولوژیک و میزان روغن دانه اثر بیشتری نسبت به سایر کودهای زیستی داشت (شکل ۱ و جدول ۳). به طور کلی نتایج آزمایش نشان داد که استفاده همزمان یا جداگانه کودهای زیستی سبب افزایش عملکرد و بهبود خصوصیات کیفی کنجد شد.

منابع

۱- تهامی، م. ک. ۱۳۸۹. ارزیابی تأثیر کودهای آلی، بیولوژیک و شیمیایی بر عملکرد و اجزای عملکرد، اجزای عملکرد و اسانس گیاه دارویی ریحان (*Ocimum bacilicum*) پایان‌نامه کارشناسی ارشد اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

۲- جهان، م.، م. نصیری‌محلاتی، م. د. سالاری، و ر. قربانی. ۱۳۹۰. اثرات زمان استفاده از کود دامی و کاربرد انواع کودهای زیستی بر ویژگی‌های کمی و کیفی کدو پوست‌کاغذی (*Cucurbita pepo* L.). پژوهش‌های زراعی ایران، ۸: ۷۳۷-۷۲۶.

۳- جهان، م.، م. ب. امیری، و ح. ر. احیایی. ۱۳۹۰. برهمکنش اثرات گیاهان پوششی (خلر و شبدر ایرانی) و کودهای زیستی بر برخی خصوصیات کمی و کیفی کنجد (*Sesamum indicum* L.) در نظام زراعی اکولوژیک با تأکید بر عملیات خاکورزی حداقل. نخستین همایش تخصصی راهبردهای دستیابی به کشاورزی پایدار، ۵ و ۶ خرداد ماه، دانشگاه پیام نور خوزستان.

۴- خسروی، ه. ۱۳۸۰. تثبیت ازت توسط میکروارگانیسم‌های آزادزی. ضرورت تولید صنعتی کودهای بیولوژیک در کشور مجموعه مقالات ضرورت تولید صنعتی کودهای بیولوژیک در کشور. نشر آموزش کشاورزی، کرج.

۵- محمدی‌آریا، م.، ا. لکزیان، و غ. حق‌نیا. ۱۳۸۹. تأثیر مایه تلقیحی حاوی باکتری تیوباسیلوس و قارچ آسپرژیلوس بر رشد گیاه ذرت. پژوهش‌های زراعی ایران، ۸: ۹۰-۸۲.

۶- مرادی، ر.، پ. رضوانی‌مقدم، م. نصیری‌محلاتی، و ا. لکزیان. ۱۳۸۸. بررسی تأثیر کودهای بیولوژیک و آلی بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه و میزان اسانس گیاه رازیانه (*Foeniculum vulgare*). پژوهش‌های زراعی ایران، ۷: ۶۳۷-۶۲۵.

7- Anandham, R., R. Sridar, P. Nalayini, S. Poonguzhali, M. Madhaiyan, and Sa. Tongmin. 2007. Potential for plant growth promotion in groundnut (*Arachis hypogaea* L.) cv. ALR-2 by co-inoculation of sulfur-oxidizing bacteria and Rhizobium. Microbiological Research, 162: 139-153.

8- Aslantas, R., R. Cakmakci, and F. Sahin. 2007. Effect of plant growth promoting rhizobacteria on young apple tree growth and fruit yield under orchard conditions. Scientia Horticulturae, 111: 371-377.

9- Barea, J. M., M. J. Pozo, R. Azcon, and C. Azcon-Aguilar. 2005. Microbial co-operation in the rhizosphere. Journal of Experimental Botany, 56: 1761-1778.

10- Biari, A., A. Gholami, and H. A. Rahmani. 2008. Growth promotion and enhanced nutrient uptake of maize (*Zea mays* L.) by application of plant growth promoting rhizobacteria in arid region of Iran. Journal of Biological Sciences, 8: 1015-1020.

11- Chen, J. 2006. The combined use of chemical and organic fertilizers and/or biofertilizer for crop growth and soil fertility. International Workshop on Sustained Management of the soil- Rhizosphere System for Efficient Crop Production and Fertilizer Use. October, 16- 20. Thailand. 11 pp.

12- Debnath, R. L., R. L. Moharana, and A. K. Basu. 2007. Evaluation of sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes for its seed production potential as influenced by bio-fertilizer. Journal of Crop and Weed, 3: 33-36.

13- Dey, R., K. K. Pal, D. M. Bhatt, and S. M. Chauhan. 2004. Growth promotion and yield enhancement of peanut (*Arachis hypogaea* L.) by application of plant growth-promoting rhizobacteria. Microbiological Research, 159: 371-394.

14- Egamberdiyeva, D. 2005. Plant-growth-promoting rhizobacteria isolated from a Calcisol in semi-arid region of Uzbekistan: Biochemical characterization and effectiveness. Journal of the Plant Nutrition and Soil Science, 168: 94-99.

15- Given, D. R., K. W. Dixon, R. L. Barrett, and K. Sivasithamparam. 2002. Plant conservation and biodiversity: The place of microorganisms. In: Microorganisms in Plant Conservation and Biodiversity: Sivasithamparam, K., Dixon, K. W., and R. L. Barrett. (Eds.). Kluwer Academic Press. ISBN: 1402007809, pp: 1-24.

16- Gutierrez-Manero, F. J., B. Ramos-Solano, A. Probanza, J. Mehouachi, F. R. Tadeo, and M. Talon. 2001. The plant-growth-promoting rhizobacteria *Bacillus pumilus* and *Bacillus licheniformis* produce high amounts of physiologically active gibberellins. Physiologia Plantarum, 111: 206-211.

17- Hahm, T. S., S. J. Park, and Y. Martin Lo. 2009. Effects of germination on chemical composition and functional properties of sesame (*Sesamum indicum* L.) seeds. Bioresource Technology, 100: 1643-1647.

18- Horwitz, W., and G. W. Latimer. 2005. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists

(AOAC), 18th Edition. Maryland, USA.
19- Kennedy, I. R., A. T. M. A. Choudhury, M. L. Kecskes, R. J. Roughley, and N. T. Hien. 2004. Non-symbiotic bacterial diazotrophs in crop-farming systems: can their potential for plant growth promotion be better exploited? Soil Biology and Biochemistry, 36: 1229-1244.
20- Khazaei, J., and N. Mohammadi. 2009. Effect of temperature on hydration kinetics of sesame seeds (*Sesamum indicum* L.). Journal of Food Engineering, 91: 542-552.
21- Kizilkaya, R. 2008. Yield response and nitrogen concentration of spring wheat (*Triticum aestivum*) inoculated with *Azotobacter chroococcum* strains. Ecological engineering, 33: 150-156.
22- Kumar, S., P. Pandey, and D. K. Maheshwari. 2009. Reduction in dose of chemical fertilizers and growth enhancement of sesame (*Sesamum indicum* L.) with application of rhizospheric competent *Pseudomonas aeruginosa* LES4. European Journal of Soil Biology, 45: 334-340.
23- Lucas-Garcia, J. A., A. Probanza, B. Ramos, M. Ruiz-Palomino, and F. J. Gutierrez Manero. 2004. Effect of inoculation of *Bacillus licheniformis* on tomato and pepper. Agronomie, 24: 169-176.
24- Makai, S. and J. Balatincz. 2000. Comparative examination of biologically active compounds of fatty oil of medicinal and alternative herbs. Pannon University of Agricultural Sciences, Mosonmagyarovar, Hungary. Available online (May 2007) at://www.movar.pate.hu
25- Onabanjo, O. O. and C. R. B. Oruntona. 2003. Iron, zinc, copper and phytate content of standardized Nigerain dishes. Journal of Food Composition and Analysis, 16: 669-676.
26- Pirlak, L., and M. Kose. 2009. Effects of plant growth promoting rhizobacteria on yield and some fruit properties of strawberry. Journal of Plant Nutrition, 32: 1173-1184.
27- Piromyou, P., B. Buranabanyat, P. Tantasawat, P. Tittabutr, N. Boonkerd, and N. Teaumroong. 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.
28- Rajendran, K., and P. Devaraj. 2004. Biomass and nutrient distribution and their return of *Casuarina equisetifolia* inoculated with biofertilizers in farm land. Biomass and Bioenergy, 26: 235-249.
29- Rajeswari, S., V. Thiruvengadam, and N. M. Ramaswamy. 2010. Production of interspecific hybrids between *Sesamum alatum* Thonn and *Sesamum indicum* L. through ovule culture and screening for phyllody disease resistance. South African Journal of Botany, 76: 252-258.
30- Rangkadilok, N., N. Pholphana, C. Mahidol, W. Wongyai, K. Saengsooksree, S. Nookabkaew, and J. Satayavivad. 2010. Variation of sesamin, sesamolin and tocopherols in sesame (*Sesamum indicum* L.) seeds and oil products in Thailand. Food Chemistry, 122: 724-730.
31- Ribaudo, C. M., D. P. Rondanini, J. A. Cura, and A. A. Fraschina. 2001. Response of *Zea mays* to the inoculation with Azospirillum on nitrogen metabolism under greenhouse conditions. Journal of Plant Biology, 44: 631-634.
32- Rokhzadi, A., A. Asgharzadeh, F. Darvish, G. Nour-Mohammadi, and E. Majidi. 2008. Influence of plant growth-promoting rhizobacteria on dry matter accumulation and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under field conditions. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental sciences, 3: 253-257.
33- Rudresh, D. L., M. K. Shivaprakash, and R. D. Prasad. 2005. Effect of combined application of Rhizobium, phosphate solubilizing bacterium and *Trichoderma* spp. on growth, nutrient uptake and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.). Applied Soil Ecology, 28: 139-146.
34- Saubidet, M. I., N. Fatta, and A. J. Barneix. 2002. The effect of inoculation with *Azospirillum brasilense* on growth and nitrogen utilization by wheat plants. Plant and Soil, 245: 215-222.
35- Sahin, F., R. Cakmakci, and F. Kantar. 2004. Sugar beet and barley yields in relation to inoculation with N_2-fixing and phosphate solubilizing bacteria. Plant and Soil, 265: 123-129.
36- Selosse, M. A., E. Baudoin, and P. Vandenkoornhyse. 2004. Symbiotic microorganisms, a key for ecological success and protection of plants. Comptes Rendus Biologies, 327: 639-648.
37- Shenoy, R. R., A. T. Sudheendra, P. G. Nayak, P. Paul, N. G. Kutty, and C. M. Rao. 2011. Normal and delayed wound healing is improved by sesamol, an active constituent of *Sesamum indicum* L. in albino rats. Journal of Ethnopharmacology, 133: 608-612.
38- Sindhu, S. S., S. K. Gupta, and K. R. Dadarwal. 1999. Antagonistic fungi and enhancement of growth of green gram (*Vigna radiate*). Biology and Fertility of Soils, 29: 62-68.
39- Singh, J. S., V. C. Pandey, and D. P. Singh. 2011. Efficient soil microorganisms: A new dimension for sustainable agriculture and environmental development. Agriculture, Ecosystems and Environment, 140: 339-353.
40- Tilak, K. V. B. R., N. Ranganayaki, K. K. Pal, R. De, A. K. Saxena, C. Shekhar Nautiyal, Sh. Mittal, A.K. Tripathi, and B.N. Johri. 2005. Diversity of plant growth and soil health supporting bacteria. Current Science, 89: 136-150.
41- Uzun, B., C. Arslan, and S. Furat, S. 2008. Variation in fatty acid compositions, oil content and oil yield in a germplasm collection of sesame (*Sesamum indicum* L.). Journal of the American Oil Chemists' Society, 85: 1135-1142.
42- Vessey, J. K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers, Plant soil. 255: 571- 586.

43- Wani, P. A., M. S. Khan, and A. Zaidi. 2007. Synergistic effects of the inoculation with nitrogen fixing and phosphate-solubilizing rhizobacteria on the performance of field-growth chickpea. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 170: 283-287.
44- Wu, S. C., Z. H. Caob, Z. G. Lib, K. C. Cheunga, and M. H. Wong. 2005. Effects of biofertilizers containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. Geoderma, 125: 155-166.
45- Yadegari, M., H. Asadirahmani, G. Noormohammadi, and A. Ayneband. 2010. Plant growth promoting rhizobacteria increase growth, yield and nitrogen fixation in *Phaseolus vulgaris*. Journal of Plant Nutrition, 33: 1733-1743.
46- Youssef, A. A., A. E. Edris, and A. M. Gomaa. 2004. A comparative study between some plant growth regulators and certain growth hormones producing microorganisms on growth and essential oil composition of *Salvia officinalis* L. Plant Annals of Agricultural Science, 49: 299-311.
47- Zaidi, A., M. S. Khan, and M. Amil. 2003. Interactive effect of rhizotrophic microorganisms on yield and nutrient uptake of chickpea (*Cicer arietinum* L.). European Journal of Agronomy, 19: 15-21.