نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار
جلد چهارم، شماره اول، ۱۳۹۳
http://ejsms.gau.ac.ir

تأثیر سودوموناس‌های فلورسنت محرک رشد گیاه بر رشد و نمو کلزا

*پیمان عباس‌زاده دهجی[۱]، هادی اسدی رحمانی[۲]، کاظم خاوازی[۲]، علی‌اشرف سلطانی طولارود[۳]، عبدالرضا اخگر[۱] و مهتاب امیدواری[۴]

[۱]استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان، [۲]دانشیار پژوهش مؤسسه تحقیقات خاک و آب، [۳]استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، [٤]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد بیماری‌شناسی گیاهی، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۱/٤ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۳/۱۳

چکیده

سودموناس‌های فلورسنت از مهمترین باکتری‌های محرک رشد گیاه در ریزوسفر گیاهان مختلف زراعی می‌باشند. در این پژوهش به‌منظور بررسی تأثیر باکتری‌های محرک رشد گیاه بر رشد گیاه کلزا در شرایط استریل و تأثیر سویه‌های برتر بر رشد و جذب عناصر غذایی توسط این گیاه در شرایط گلخانه‌ای، ٤٠ سویه متفاوت از گونه‌های سودوموناس فلورسنس و پوتیدا که طی آزمایش‌های قبلی از ریزوسفر گندم و کلزا جداسازی، شناسائی و خصوصیات محرک رشدی آن‌ها اندازه‌گیری شده بود، مورد استفاده قرار گرفتند. کاربرد سویه‌های مورد مطالعه در تیوب‌های دارای شن استریل در مقایسه با تیمار شاهد باعث افزایش وزن خشک اندام هوایی (۵۳/۷ درصد)، وزن خشک ریشه (٤٧/٨ درصد)، طول ریشه (۲۱/٦ درصد)، طول اندام هوایی (۱۷/۷ درصد)، وزن تر اندام هوایی (۵۲/۵ درصد)، وزن تر ریشه (٥٦/٥ درصد)، نسبت اندام هوایی به ریشه در حالت خشک (۲۰/۳ درصد) و نسبت اندام هوایی به ریشه در حالت‌تر (۲۰/۳ درصد) شدند. همچنین کاربرد ١٤ سویه برتر در شرایط گلخانه‌ای، در مقایسه با شاهد تلقیح نشده، باعث افزایش وزن تر اندام هوایی (۳۰/۲ درصد)، وزن خشک اندام هوایی (۲۷/۵ درصد) و همچنین جذب عناصر غذایی شامل نیتروژن (۲٦/۵ درصد)، فسفر (۲۸/۲ درصد)، پتاسیم (۲۵/۸ درصد)، آهن (۱۰۰/۲ درصد)، روی (٦٤/۷ درصد)، منگنز (۷۰/۸ درصد) و مس (۷۰/۳ درصد) شدند. یافته‌های این پژوهش نشان داد که تلقیح سودوموناس‌های فلورسنت نقش مهمی در افزایش رشد کلزا و جذب عناصر غذایی توسط این گیاه داشت.

واژه‌های کلیدی: اکسین، آهن، روی، فسفر و مس

*مسئول مکاتبه: p.abbaszadeh@vru.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

ریزوسفر محدوده‌ای از خاک پیرامون ریشه است که تحت تأثیر فعالیّت‌های ریشه قرار دارد. در این منطقه روابط متقابل پیچیده‌ای بین ریشه و میکروارگانیسم‌های ریزوسفری پدید می‌آید (کلوپر، ٢٠٠٣). باکتری‌های محرک رشد گیاه[1] به گروه نامتجانسی از باکتری‌های ریزوسفری مفید اطلاق می‌شود که قادرند با استفاده از یک یا چند مکانیسم خاص رشد گیاه را افزایش دهند (کلوپر و همکاران، ١٩٨٩). این باکتری‌ها می‌توانند به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم موجب افزایش یا تحریک رشد گیاه شوند (گلیک، ١٩٩٥).

در حالت مستقیم انواع PGPR با استفاده از مکانیسم‌های مختلفی، مستقیماً در افزایش رشد و عملکرد گیاه ایفای نقش می‌کنند. افزایش انحلال عناصرغذایی کم محلول مانند فسفر، تولید ACC[2] د- آمیناز، تولید هورمون‌های رشد گیاهی مانند اکسین، تثبیت نیتروژن و افزایش فراهمی آهن از طریق تولید سیدروفور از اهم مکانیسم‌های مورد استفاده در این روش می‌باشند. در حالت غیرمستقیم، PGPR با استفاده از مکانیسم‌های مختلف اثرات مضر بیمارگرهای گیاهی را خنثی یا تعدیل نموده و به‌این طریق موجب افزایش رشد گیاه می‌شوند (پینک و بولند، ٢٠٠٤). این باکتری‌ها شامل انواع مختلفی از باکتری‌های خاکزی مانند *Pseudomonas*، *Bacillus*، *Azospirillum*، *Acetobacter*، *Azotobacter* و *Burkholderia* می‌باشند (المریچ، ١٩٨٤؛ کلوپر و همکاران، ١٩٨٨؛ کلوپر و همکاران، ١٩٨٩؛ باشان و لوانینی، ١٩٩٠؛ تانگ، ١٩٩٤؛ زئیدی و همکاران، ٢٠٠٦؛ سالم و همکاران، ٢٠٠٧).

هورمون‌های گیاهی نقش مهمی درکنترل رشد و توسعه گیاه دارند (ایگامبردیوا، ٢٠٠٨) و اکسین که از مهمترین تنظیم کننده‌های رشد گیاهان است اوّلین هورمونی بود که توسط داروین شناخته شد (ساروار و فرانکبرگر، ١٩٩٤). اکسین‌ها از جمله تنظیم کننده‌های رشد گیاه هستند که IAA از مهمترین انواع آن‌ها محسوب می‌شود و تولید آن توسط باکتری‌های ریزوسفری به کرات گزارش شده است (لامبرچ و همکاران، ٢٠٠٠؛ روبیو و همکاران، ٢٠٠٠؛ بنت و همکاران، ٢٠٠١؛ اصغر و همکاران، ٢٠٠٤؛ احمد و همکاران، ٢٠٠٥).

تعداد زیادی از انواع PGPR دارای آنزیمی به‌نام ACC- دآمیناز هستند که به‌وسیله جدا کردن گروه آمین ACC (پیش ماده سنتز اتیلن در گیاه) و تبدیل آن به آمونیوم و آلفاکتوبوتیریک اسید مانع از تولید بیش از حد اتیلن در گیاه می‌شوند (گلیک و همکاران، ١٩٩٨؛ پنروز و گلیک، ٢٠٠٣). گلیک و همکاران

1- Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR)
2- 1-Aminocyclopropane-1-Carboxylic Acid (ACC)

Archive of SID

www.SID.ir

(۱۹۹۸) نشان دادند که تیمار گوجه‌فرنگی، کاهو و گندم با باکتری *P.putida* سویه GR12-2 دارای آنزیم ACC دآمیناز باعث افزایش رشد ریشه گردید.

باکتری‌های حل کننده فسفات که در ریزوسفر به وفور یافت می‌شوند با ترشح اسیدهای آلی و فسفاتازها قادرند ترکیبات فسفاتی غیرمحلول را به فرم قابل استفاده برای گیاه در آورند. تلقیح گیاهان با میکروارگانیسم‌های حل کننده فسفات باعث افزایش جذب فسفر شده و به تبع آن رشد گیاهان افزایش می‌یابد (ساندرا و همکاران، ۲۰۰۲).

تعدادی از باکتری‌ها مواد کلات‌کننده‌ای با وزن ملکولی کم (٤۰۰ تا ۱۰۰۰ دالتون) به‌نام سیدروفور[1] ترشح می‌کنند که تمایل زیاد به جذب آهن دارند ($K_d=10^{-50}$-10^{-20}). باکتری‌هایی که سیدروفور تولید می‌کنند کمپلکس سیدروفور با آهن را توسط گیرنده‌های خاصی که در غشا خود دارند جذب می‌کنند. سیدروفورهای میکروبی ممکن است رشد گیاه را به‌طور مستقیم با افزایش فراهمی آهن در خاک اطراف ریشه‌های گیاهی افزایش دهند (کلوپر و همکاران، ۱۹۸۰).

یکی از متابولیت‌های مهم سیانید هیدروژن (HCN) است (اسکیپر و همکاران، ۱۹۹۰). باگناسکو و همکاران (۱۹۹۸) نیز ثابت نمودند که تولید HCN توسط ریزوباکتری‌ها نقش مهمی در کنترل بیولوژیک عوامل بیمارگر گیاهی دارد. طبق گزارش این پژوهش‌گران HCN تولید شده، سیستم تنفسی قارچ‌های بیماری‌زا را مختل نموده و از این طریق موجب توقف رشد آن‌ها می‌گردد. به عقیده آن‌ها سویه‌های مولد HCN می‌توانند به‌طور مطمئن در کنترل عوامل بیمارگر خاک‌زاد مورد استفاده قرار گیرند.

در شرایط آزمایشگاهی[2] مشاهده شد که جدایه‌هایی از باکتری‌های محرک رشد که دارای توانایی تولید اکسین بیشتری بودند تعداد خوشه و عملکرد کاه و کلش گندم را به‌ترتیب ۳۷ درصد و ۳٤/۷ درصد افزایش دادند. آن‌ها همچنین همبستگی مثبت و معنی‌داری (r=۰/۹۹) را بین میزان اکسین تولیدی و شاخص‌های رشد مشاهده کردند (خالید و همکاران، ۲۰۰٤).

لیفشیتز و همکاران (۱۹۸۷) گزارش کردند که تلقیح بذرهای کلزا (*Brassica napus*) با *P.Putida* GR12-2 در شرایط کشت سترون، طول ریشه را افزایش داد. برترند و همکاران (۲۰۰۱) گزارش کردند که هشت جدایه از سیزده جدایه ایزوله شده از ریزوسفر و اندوریزوسفر کلزا وزن خشک ریشه را از ۱۱ تا ۵۲ درصد افزایش دادند. تلقیح کلزا، گوجه‌فرنگی و برخی دیگر از گیاهان

1- Siderophore
2- in vitro

Archive of SID

www.SID.ir

مهم زراعی با *P.Putida* GR12-2 سبب تحریک رشد و توسعه ریشه گردید. این سویه دارای ویژگی‌های مختلف محرک رشد گیاه شامل توانایی تولید سیدروفورها، ACC- دآمیناز و ترشح IAA بود (پتن و گلیک، ٢٠٠٢). تلقیح بذرهای *Brassica Junica* با باکتری‌های مختلف ریزوسفری باعث افزایش ارتفاع گیاه قطر ساقه، تعداد شاخه، وزن هزاردانه، عملکرد دانه و میزان روغن نسبت به بذرهای تلقیح نشده شد (اصغر و همکاران، ٢٠٠٢). اصغر و همکاران (٢٠٠٤) همبستگی معنی‌داری بین میزان تولید اکسین در شرایط آزمایشگاهی توسط باکتری‌های ریزوسفری با تعداد شاخه (P=٠/٠٥ و *r=٠/٧٠) و میزان روغن کلزا (P=٠/٠٥ و *r=٠/٦٣) در شرایط گلخانه‌ای مشاهده نمودند.

هدف از این پژوهش بررسی نقش تعداد ٤٠ سویه سودوموناس فلورسنت محرک رشد گیاه بر رشد گیاه کلزا در شرایط استریل و انتخاب سویه‌های برتر و در نهایت تلقیح گیاه کلزا با سویه‌های برتر و بررسی تأثیر این سویه‌ها بر رشد و جذب عناصرغذایی در شرایط غیراستریل (خاک) می‌باشد.

مواد و روش‌ها

آزمون کشت گیاه در شرایط استریل: این آزمون در لوله‌هایی با قطر ٣ سانتی‌متر و ارتفاع ١٢ سانتی‌متر که در انتهای هر لوله کاغذ صافی قرار داده شد بود، انجام گردید. داخل هر لوله حدود ١٢٠ گرم شن شسته شده با اسید ریخته شد. ابتدا و انتهای لوله‌ها به‌وسیله کاغذ آلومینیومی بسته شد و لوله‌ها در اتوکلاو استریل گردید. سپس بذرهای کلزا استریل سطحی شدند. برای این منظور بذرها به‌مدّت ١٠ دقیقه در هیپوکلریت سدیم ١/٥ درصد قرارداده شدند و به‌دنبال آن با مقادیر زیادی آب مقطر استریل حدود ١٠ بار شستشو گردیدند. سپس در شرایط استریل بذرها به تعداد ٤ عدد در هر لوله کاشته شدند و در هنگام کاشت، هر بذر با مقدار ٥٠٠ میکرولیتر باکتری موردنظر (با جمعیّت ١٠٧×٥ سلول در هر میلی‌لیتر سوسپانسیون باکتری) تلقیح گردید. برای هر سویه ٥ تکرار لوله کشت در نظر گرفته شد که در مجموع ٢٠٠ لوله با ٤٠ سویه باکتری تلقیح گردید. ٥ لوله نیز به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شد. برای نمونه شاهد، ٥٠٠ میکرولیتر از محیط کشت باکتری (بدون باکتری) به هر بذر اضافه شد. لوله‌های کشت شده به‌مدّت ٣٠ روز در اتاقک رشد نگه‌داری و به مقدار نیاز آبیاری شدند. به تمام گیاهچه‌ها در روز پانزدهم ٥ میلی‌لیتر محلول غذایی داده شد. ترکیب محلول غذایی مورد استفاده عبارت بود از: ٠/٢٥ میلی‌مولار KH_2PO_4، ٢ میلی‌مولار $Ca(NO_3)_2$، ١ میلی‌مولار $MgSO_4.7H_2O$، ٠/٨٨ میلی‌مولار K_2SO_4، ٠/١ میلی‌مولار KCl، ٠/٥ میکرومولار $MnSO_4$، ١ میکرومولار H_3BO_3، ٠/٢ میکرومولار

Archive of SID

www.SID.ir

CuSO4، ۰/۲ میکرومولار (NH4)6Mo7O24، ۱ میکرومولار ZnSO4، ۱۰۰ میکرو مولار Fe-EDTA با PH ٦/٨ (تولای و همکاران، ۲۰۰۱).

در انتهای روز سی‌ام گیاهچه‌ها برداشت شدند و شاخص‌های وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، طول اندام هوایی و طول ریشه اندازه‌گیری گردید.

آزمون گلخانه‌ای[1]

آماده کردن گلدان‌ها: براساس نتایج به‌دست آمده مربوط به اندازه‌گیری صفات محرک رشدی و آزمایش کشت درون لوله، تعداد ١٤ سویه سودوموناس‌های فلورسنت به‌عنوان سویه‌های برتر PGPR برای انجام کشت گلخانه‌ای انتخاب شدند. خاک انتخاب شده برای گلدان‌ها دارای غلظت کم فسفر و آهن جهت انجام این آزمایش بود. خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک موردنظر در جدول ۱ ذکر شده است.

در این آزمون گلخانه‌ای ١٤ سویه از باکتری سودوموناس فلورسنت (P۱۰، P۱۲، P۱۷، P۱۹، P۲۱، P۲۳، R۱، R۳۰، R۹۳، R۱۱۲، R۱٤۳، R۱۵۰، R۱۵۹ و R۱۸۷) به‌همراه یک شاهد مثبت و یک شاهد منفی مورد بررسی قرار گرفتند. گلدان‌های شاهد مثبت و منفی مایه تلقیح دریافت نکردند. در عوض تنها به شاهد مثبت ١٧٤ $mg.kg^{-1}$ کود سوپر فسفات تریپل (دارای ٤٦ درصد فسفر)، ١٦٧ $mg.kg^{-1}$ کود سکوسترن آهن (دارای ٦ درصد آهن) و ١٩٦ $mg.kg^{-1}$ کود اوره (دارای ٤٦ درصد نیتروژن) (در سه نوبت) اضافه گردید. در هر گلدان تعداد ۸ بذر کاشته و پس از ۱۰ روز تعداد ۳ گیاه در هر گلدان نگه داشته شد. گلدان‌ها در قالب یک طرح کاملاً تصادفی با ٤ تکرار درون اتاق رشد قرار داده شدند. طول مدت روشنایی و تاریکی ۱۲ ساعت بوده و گلدان‌ها در دمای ٢٦ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ظرفیت مزرعه (FC) به‌مدت ۷۰ روز نگه‌داری گردید.

پس از برداشت گیاهان، وزن تر و خشک اندام هوایی، میزان نیتروژن، فسفر، آهن، منگز، مس و روی بخش هوایی اندازه‌گیری شدند. تمامی نتیجه‌های این مرحله و کشت در شرایط استریل با استفاده از نرم‌افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت و میانگین‌ها به روش دانکن گروه‌بندی شدند.

1- Pot experiment

Archive of SID

www.SID.ir

نتایج و بحث

باکتری‌های مورد استفاده در این آزمایش طی پژوهش‌های قبلی (عباس‌زاده و همکاران، ۲۰۱۰) جداسازی، شناسایی و صفات محرک رشدی آن‌ها مورد سنجش واقع شده بود (جدول ۲). نتایج حاصل از کاربرد ٤٠ سویه مذکور در شرایط استریل نشان داد که این سویه‌ها باعث افزایش وزن خشک اندام هوایی (تا ۵۳/۷ درصد)، وزن خشک ریشه (تا ٤٧/٨ درصد)، طول ریشه (تا ٢١/٦ درصد)، طول اندام هوایی (تا ١٧/٧)، وزن تر اندام هوایی (تا ۵۲/۵ درصد)، وزن تر ریشه (تا ٥٦/٥ درصد)، نسبت اندام هوایی به ریشه در حالت خشک (تا ۲۰/۳ درصد) و نسبت اندام هوایی به ریشه در حالت‌تر (تا ۲۰/۳ درصد) شدند. نتایج به‌دست آمده از پژوهش‌های اصغر و همکاران (٢٠٠٤) نیز نشان دادند که تلقیح باکتری‌های ریزوسفری به کلزا در شرایط استریل، باعث افزایش طول ریشه، طول اندام هوایی و وزن اندام هوایی این گیاه گردید. روخزادی و همکاران (۲۰۰۸) مشاهده کردند که مجموع باکتری‌های *Mesorhizobium ciceri* SWR17, *Azotobacter chroococum*5, *Azospirillum* Spp و *Pseudomonas fluorescens* P21 توانستند تغییرات قابل توجهی در وزن خشک ریشه‌ها و اندام هوایی، جوانه‌زنی محصول، افزایش زیست‌توده و میزان پروتیین در گیاه *Cicer arientinum* ایجاد کنند. مینورسکی (۲۰۰۸) مشاهده کرد که جدایه *Pseudomonas fluorescens* B16 که از ریشه گیاهان علفی جدا شده بود توانست ارتفاع گیاه، تعداد میوه‌ها و وزن میوه را در گیاه گوجه‌فرنگی افزایش دهد. در این پژوهش سویه‌های R١١٢، P٢١، R١١٢، P٢١، P٧، P١٦، R١٥٩ و P٢ به‌ترتیب بیشترین تأثیر را در افزایش وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، وزن تر اندام هوایی، وزن تر ریشه، طول اندام هوایی و طول ریشه داشتند. همچنین سویه‌ها تأثیر معنی‌داری (در سطح ۱ درصد) بر تمامی شاخص‌های ذکر شده در بالا داشتند (جدول ۳). با توجه به کشت گیاه در شرایط استریل و استفاده از محلول کامل عناصر غذایی در طول دوره رشد گیاه، می‌توان افزایش شاخص‌های رشد گیاه توسط سویه‌ها را به تولید اکسین توسط این سویه‌ها نسبت داد.

نتایج تعیین ضریب همبستگی نشان داد که هیچ همبستگی معنی‌داری بین تولید اکسین در سطوح مختلف تریپتوفان در هر دو محیط گزارش شده در پژوهش‌های قبلی (عباس‌زاده و همکاران، ۲۰۱۰) و شاخص‌های طول اندام هوایی و طول ریشه وجود نداشت. وزن خشک اندام هوایی بالاترین میزان همبستگی را با تولید اکسین در سطوح مختلف تریپتوفان داشت. بالاترین میزان همبستگی مربوط به شاخص وزن خشک اندام هوایی و میزان اکسین تولید شده در غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر تریپتوفان بود (جدول ٤). مقایسه میزان همبستگی بین میزان تولید اکسین در سطوح مختلف تریپتوفان و

Archive of SID

www.SID.ir

شاخص‌های وزن خشک و تر اندام هوایی، وزن خشک و تر ریشه نشان داد که وزن خشک در هر دو مورد ریشه و اندام هوایی نسبت به وزن تر همبستگی بالاتری داشت (جدول ٤). پیوندی و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که طول ریشه و تعداد ریشه‌های جانبی در مجاورت جدایه‌های P19 و P21 *Pseudomonas fluorescent* افزایش بیشتری نسبت به ایندول بوتیریک‌اسید (IBA) داشته است و این به‌علت دریافت مداوم اکسین توسط گیاه است.

اکسین تنظیم کننده بسیاری از مراحل در طول رشد گیاه است. باکتری‌های تولید کننده اکسین توانایی تأثیر در هر کدام از این مراحل را با وارد کردن اکسین به ذخیره گیاه دارند و بسیاری از باکتری‌های محرک رشد مانند *Azotobacter paspali* (سورتی و همکاران، ۲۰۰۳)، *Azospirillum brasilance* (دوبلره و همکاران، ۱۹۹۹) و *Pseudomonas putida* (پتن و گلیک، ۲۰۰۲) با تولید حداقل میزان ایندول استیک‌اسید (IAA) توانایی تحریک رشد ریشه را دارا می‌باشند. در مطالعه‌ای انتخاب سویه‌های برتر محرک رشد گیاه از نظر توانایی بیوسنتز اکسین و فعالیت تحریک‌کنندگی رشد گیاه انجام گرفت، مشخص گردید تولید اکسین توسط جدایه‌های محرک رشد گیاه سبب افزایش سیستم ریشه‌ای و در نتیجه تولید بیشتر زیست توده می‌شود (خالید و همکاران، ۲۰۰٤). قابل توجه این‌که ایزوله‌های موجود در ریزوسفر نسبت به ایزوله‌های غیر ریزوسفری اکسین بیشتری تولید می‌کنند (ساروار و کریمر، ۱۹۹۲).

١٤ سویه برتر انتخاب شده برای انجام این آزمون، تأثیر معنی‌داری (در سطح ۱ درصد) بر وزن تر و خشک اندام هوایی و جذب عناصرغذایی توسط گیاه داشتند (جدول‌های ٥ و ٦). کاربرد ١٤ سویه برتر در شرایط گلخانه‌ای، در مقایسه با شاهد تلقیح نشده، باعث افزایش وزن تر اندام هوایی (تا ۳۰/۲ درصد)، وزن خشک اندام هوایی (تا ۲۷/٥ درصد) و همچنین جذب عناصر غذایی شامل نیتروژن (تا ٢٦/٥ درصد)، فسفر (تا ۲۸/۲ درصد)، پتاسیم (تا ۲٥/۸ درصد)، آهن (تا ۱۰۰/۲ درصد)، روی (تا ٦٤/۷ درصد)، منگنز (تا ۷۰/۸ درصد) و مس (تا ۷۰/۳ درصد) شدند. این افزایش در شاخص‌های رشد گیاه و جذب عناصر غذایی را می‌توان به تأثیر این سویه‌ها به‌عنوان باکتری‌های محرک رشد گیاه نسبت داد. پژوهش‌گران مختلفی تأثیر باکتری‌های محرک رشد را بر رشد و جذب عناصر غذایی در گیاهان مختلف گزارش کرده‌اند (کلوپر و همکاران، ۱۹۸۰؛ بیسواس و همکاران، ۲۰۰۰؛ اصغر و همکاران، ۲۰۰۲ و ۲۰۰٤). باکتری‌های PGPR به‌صورت مستقیم در افزایش جذب نیتروژن، ساختن فیتو هورمون‌ها، حل کردن عناصر معدنی مانند فسفرو تولید سیدروفورهایی که آهن را کلاته می‌کنند و آن را به‌صورت قابل جذب در می‌آورند مؤثر هستند (بوون و روویرا، ۱۹۹۹؛ وسی، ۲۰۰۳). روبرت

Archive of SID

www.SID.ir

(٢٠٠٧) در پژوهشی که انجام داد نشان داد باکتری‌های محرک رشد با افزایش میزان جذب مواد غذایی سبب بهبود رشد گیاه می‌شوند.

وزن تر اندام هوایی گیاهان تلقیح شده با سویه‌های P٢١، P٢٣، R٩٣، R١١٢ و R١٨٧ از نظر آماری تفاوت معنی‌داری در سطح ١ درصد با شاهد مثبت نداشتند و سویه R١٨٧ مؤثرترین سویه در افزایش وزن تر اندام هوایی بود. وزن خشک اندام هوایی گیاهان تلقیح شده با سویه‌های P٢١، P٢٣، R٩٣، R١١٢ و R١٨٧ در حدی بود که از نظر آماری تفاوتی با شاهد مثبت نداشتند و گیاه تلقیح شده با سویه R١١٢ بیشترین وزن خشک اندام هوایی را داشت (جدول ٥).

بیشتر سویه‌های مورد آزمایش نتوانستند به‌طور مؤثر بر جذب فسفر توسط گیاه تأثیر بگذارند و جذب این عنصر را در حد فسفر گیاهان شاهد افزایش دهند. تنها سه سویه P١٢، P٢٣ و R١٨٧ از این لحاظ مؤثر بودند و جذب فسفر توسط گیاهان تلقیح شده با این سویه‌ها از نظر آماری با شاهد منفی تفاوت معنی‌داری داشت در صورتی‌که در مورد گیاهان دیگر این تفاوت معنی‌دار نبود. مهمترین اثر حلالیت فسفر در رشد گیاه، افزایش زیست‌توده و فسفر موجود در خاک است (باشان و دی‌باشان، ٢٠٠٤). رودرش و همکاران (٢٠٠٥) نشان دادند که مایه‌زنی نخود با *Mesorhizobium cicer* و ریزوباکترهای حل کننده فسفات رشد گیاه را افزایش داده و باعث جذب مواد غذایی توسط این گیاه در مزرعه شده است. جذب پتاسیم توسط گیاهان تلقیح شده با سویه‌های R١١٢ و R١٨٧ تفاوت معنی‌داری با شاهد مثبت نداشت. جذب نیتروژن توسط گیاهان تلقیح شده با سویه‌های مورد آزمایش از نظر آماری به‌طور معنی‌دار کمتر از شاهد مثبت بود. تلقیح گیاه با سویه R١١٢ به‌عنوان مؤثرترین سویه در جذب نیتروژن، مقدار جذب این عنصر را در گیاه به‌میزان ٢٦/٥٤ درصد افزایش داد (جدول ٥).

جذب آهن توسط گیاهان تلقیح شده با سویه‌های یاد شده در حد جذب در شاهد مثبت نبود و از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با شاهد مثبت داشت. تلقیح گیاه با سویه R١٨٧ به‌عنوان مؤثرترین سویه در جذب آهن، جذب آهن را به‌میزان ١٠٠/٢ درصد نسبت به شاهد منفی تلقیح نشده، افزایش داد (جدول ٦). سویه‌های یاد شده به‌طور واضح در جذب روی توسط گیاه اثر داشتند. گیاهان تلقیح شده با سویه‌های P١٢، P٢١، R١١٢، R١٤٣، R١٥٩ و R١٨٧ از نظر جذب روی تفاوت معنی‌داری با شاهد مثبت داشتند و مقدار روی جذب شده توسط این گیاهان بیشتر از شاهد مثبت بود. سویه R١٨٧ به‌عنوان مؤثرترین سویه، جذب روی توسط گیاه را به‌میزان ٦٤/٦٦ درصد نسبت به شاهد منفی افزایش داد (جدول ٦). جذب منگنز در بیشتر گیاهان تلقیح شده به‌طور معنی‌دار بیشتر از شاهد مثبت بود و مقدار منگنز تنها در گیاهان تلقیح شده با سویه‌های P١٠، P١٧ و R١ با شاهد مثبت تفاوت معنی‌داری

Archive of SID

www.SID.ir

نداشت. جذب مس در بیشتر گیاهان تلقیح شده به‌طور معنی‌دار کمتر از شاهد مثبت بود و تنها در گیاهان تلقیح شده با سویه‌های P۲۱، R۹۳ و R۱۸۷ از نظر آماری با شاهد مثبت تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ٦).

میزان جذب عناصر نیتروژن، پتاسیم، روی، مس و منگنز در بیشتر گیاهان تلقیح شده در مقایسه با شاهد منفی تلقیح نشده به‌طور معنی‌داری (در سطح ۱ درصد) افزایش یافت. این افزایش مقدار جذب را می‌توان به تولید اکسین توسط این سویه‌ها و نقش این هورمون در توسعه سیستم ریشه‌ای و به تبع آن افزایش جذب عناصر نسبت داد. تلقیح پنبه (*Gossypium hirsutum* L) و کلزا (*Brassica napus* L) با سویه آزاد کننده پتاسیم باکتری *Bacillus edaphicus* نشان داد که نیتروژن و فسفر در این گیاهان نسبت به گیاه شاهد افزایش پیدا کرده است. این اتفاق مرهون تنظیم‌کننده‌های رشدی چون اکسین است که سبب گسترش ریشه شده و در نهایت جذب آب و مواد غذایی را بالا می‌برد (شنگ، ۲۰۰۵). افزایش رشد ریشه یکی از مهمترین معیارها برای سنجش اثرات مفید باکتری‌های محرک رشد گیاه است. توسعه سریع ریشه‌ها چه از طریق افزایش طول ریشه‌های ابتدایی و چه با ازدیاد ریشه‌های جانبی و نابجا، راه مناسبی برای گیاهچه‌های جوان است که توانایی خود را برای استقرار در خاک و جذب عناصر غذایی افزایش دهند (پتن و گلیک، ۲۰۰۲). تولید IAA توسط باکتری‌های PGPR باعث طویل شدن و تکثیر سلول‌های ریشه می‌شود (پتن و گلیک، ۲۰۰۲؛ کلوپر، ۲۰۰۳). نتایج جذب آهن توسط گیاهان نشان داد که بیشتر سویه‌های مورد آزمایش به‌طور مؤثری جذب آهن توسط گیاه را افزایش دادند. این افزایش جذب آهن را می‌توان به‌علّت تأثیر سویه‌های یاد شده در فراهمی آهن در خاک دانست. کلوپر و همکاران (۱۹۸۰) گزارش کردند که سیدروفورهای میکروبی می‌توانند با افزایش فراهمی آهن در خاک اطراف ریشه‌های گیاهان رشد گیاه و جذب آهن توسط گیاه را افزایش دهند.

در مجموع سویه R۱۸۷ چه از نظر افزایش شاخص‌های رشد گیاهی و چه از نظر افزایش جذب عناصر توسط گیاهان مؤثرترین و کارآمدترین سویه بود.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مورد مطالعه.

بافت	pH	EC	S.P	O.C	ازت کل	پتاسیم	فسفر	آهن	مس	روی	منگنز
		$dS.m^{-1}$		%		$mg.Kg^{-1}$					
لومی	۷/۷	۰/۷۱	٤٥/٦	۰/٤۳	۰/۰٤	۲۹٤	٥/۲	۳/٦۲	۱/٥٤	۰/۷٤	۹/۸٤

SP: درصد رطوبت اشباع، O.C: کربن آلی و E.C: قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع.
مس، آهن، روی، منگنز و سرب با استفاده از روش DTPA عصاره‌گیری شد.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ٢- صفات محرک رشدی ٤٠ سویه موردنظر.

شماره سویه	گونه باکتری	تولید اکسین (µg/mL)	متوسط حل کنندگی فسفات (قطرهاله به کلنی)	حل کنندگی فسفات (µg/mL)	سیدروفور به روش CAS (قطر هاله به کلنی)	سیانید هیدروژن
P_{1}	*putida*	٢/٩٦	١/٧٩	٢٨٩/٠٥	١/٧٣	١
P_{2}	*putida*	٣/٠٩	٢/٥٧	٣٥٥/٦٢	١/٥٦	١
P_{3}	*putida*	١/٥١	١/٧٢	٣١٨/٠٩	١/٧٩	١
P_{4}	*putida*	٢/٩٢	١/٢٧	٢٧٩/٥٩	٢/٠٥	١
P_{5}	*fluorescens*	١/٠٦	٢/٥٨	٤١٢/٨٨	٢/١٧	٤
P_{6}	*fluorescens*	١/٨٠	٣/٠٤	٣٨٤/٦٧	١/٨٧	٥
P_{7}	*putida*	٢/٠٧	١/٦٧	٣٦٢/٧١	١/٢٨	١
P_{8}	*fluo/put*	٤/٢٧	٢/٥٤	٣٤٥/٧٨	١/٨٥	١
P_{9}	*fluo/put*	١/٨٤	١/٦٢	٣٠٤/١٣	١/٨٩	١
P_{10}	*fluo/put*	١/٧١	١/٢٥	٢٩٥/٠٠	٢/٠١	١
P_{11}	*fluo/put*	٢/٨٣	٢/١٤	٣٦١/٣٤	١/٣٣	١
P_{12}	*fluorescens*	٢/٣٧	٢/٠٨	٤١٩/١٣	١/٧٧	٤
P_{13}	*putida*	١/٤٧	١/٧٩	٢٨٢/٤٨	١/٥٩	١
P_{14}	*putida*	٣/٠٠	١/٧٥	٢٦١/٧٩	١/٨٦	١
P_{15}	*putida*	١/٥٣	١/٩١	٢٨٧/٧٧	١/٧٦	١
P_{16}	*fluorescens*	٢/٢٢	٢/٧٢	٤١٩/١٣	١/٥٦	٤
P_{17}	*putida*	١/٥١	١/٥٩	٢٨٤/٠٢	٢/٣٣	١
P_{18}	*putida*	٢/٥٩	١/٩٢	٣٧٠/٩٤	١/٤٣	١
P_{19}	*putida*	١/٦٢	١/٦٥	٣١٤/٧٢	١/٦٨	١
P_{20}	*fluorescens*	١/٣٣	٢/٤٤	٤١٨/٦٥	١/٢٨	٤
P_{21}	*fluorescens*	٢/٢٨	٢/٥٦	٤٢٢/٩٨	١/٦٥	٤
P_{22}	*fluorescens*	١/٣٦	١/٧٩	٢٠٧/٦١	١/٣٤	١
P_{23}	*fluorescens*	٢١/٤١	١/٥٢	٣٣٨/٣٠	٢/٧٣	٢
R_{1}	*putida*	٠/٨٩	١/٩٥	٤٢٣/٩٤	١/٤٦	٥
R_{26}	*fluorescens*	١/٢٠	٣/٠٦	٣٤٩/٣٦	٢/١٧	١
R_{30}	*putida*	٨/٩٤	١/٥٥	٢٣٥/٩٨	١/٣٠	١
R_{36}	*fluorescens*	١/٥٨	٣/٤٤	٣١٦/٩٦	٢/٥٣	١
R_{41}	*putida*	٦/٨٤	١/٢٨	٢٢٨/٢٠	١/٩٨	١
R_{49}	*putida*	١/٤٩	٢/٢٠	١٥٨/٣٤	١/٨٨	١
R_{93}	*fluorescens*	١/٤٣	٣/٥٨	٣٣٥/٢٦	٢/٤٣	١
R_{99}	*fluorescens*	٦/٨٨	٢/١٣	٤٠٧/٠٩	١/٦٧	٥
R_{112}	*putida*	٦/١٠	١/٢٨	٢٤٦/٣٩	١/٩٢	١
R_{143}	*putida*	١/٢١	١/٩٢	٢٩٠/١٨	٢/١٨	١
R_{150}	*putida*	١/٧٠	٢/٠٧	٣٧٤/٢٧	١/٦٢	١
R_{159}	*putida*	٩/٢٥	٣/١١	٣٧٤/٨٦	٢/٢١	٣
R_{168}	*putida*	٧/٦٨	٣/١٣	٤٠٤/٣٤	٢/٢٥	٤
R_{173}	*fluorescens*	٢/١٥	١/٩٢	٤٢٠/٠٩	١/٦١	٥
R_{187}	*fluorescens*	١/٨٧	٣/٤٢	٤٣٨/٣٨	١/٥٥	١
GRP_3	*aeroginosa*	١/٤٤	٢/٢٤	٣٣٠/١٢	٠/٧١	٥
MPFM	*aeroginosa*	٢/٣٤	١/٨٩	٢٥٠/٧٣	٠/٣٧	١

باکتری‌های مورد استفاده در این آزمایش طی پژوهش‌های قبلی جداسازی، شناسایی و صفات محرک رشدی آن‌ها مورد سنجش واقع شده بود.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر سویه‌های مختلف بر شاخص‌های رشد کلزا در شرایط استریل*.

سویه	طول ریشه	طول اندام هوایی	وزن تر ریشه	وزن تر اندام هوایی	وزن خشک ریشه	وزن خشک اندام هوایی
	سانتی‌متر در تیوب		گرم در تیوب			
P1	۸/۴۸ DEFG	۲۱/۵ CDEF	۰/۱۹۰ DEFG	۰/۵۹۳ HIJK	۰/۰۱۸ FGHI	۰/۰۷۰ IJKL
P2	۸/۹۶ BCDE	۲۲/۶ ABCD	۰/۲۰۵ DEF	۰/۷۳۷ AB	۰/۰۲۱ CD	۰/۰۸۸ ABC
P3	۸/۳۸ DEFG	۲۱/۵ CDEF	۰/۱۸۹ EFGH	۰/۶۲۶ FGH	۰/۰۱۸ FGHI	۰/۰۷۴ FGHI
P4	۷/۶۴ LM	۲۰/۷ EFGH	۰/۱۵۸ JK	۰/۴۹۵ PQ	۰/۰۱۶ NO	۰/۰۵۸ R
P5	۸/۷۶ CDEF	۲۲/۷ ABCD	۰/۱۸۹ FGHI	۰/۵۷۵ HIJK	۰/۰۱۸ GHIJ	۰/۰۶۸ JKLM
P6	۷/۶۰ LM	۲۳/۷ AB	۰/۱۷۳ HIJ	۰/۵۱۱ MNOP	۰/۰۱۷ JKLM	۰/۰۶۰ PQR
P7	۹/۰۰ BCD	۲۳/۹ A	۰/۱۶۷ JK	۰/۵۵۲ JKLM	۰/۰۱۶ LMNO	۰/۰۶۵ LMNO
P8	۷/۲۰ M	۲۰/۱ HIJ	۰/۲۰۷ DEF	۰/۶۹۷ BCDE	۰/۰۲۰ DEF	۰/۰۸۳ CDE
P9	۷/۶۰ LM	۲۲/۱ BCDE	۰/۱۹۰ DEFG	۰/۶۴۷ EFG	۰/۰۱۸ FGHI	۰/۰۷۶ EFGH
P10	۹/۳۲ ABC	۲۲/۸ ABCD	۰/۲۰۵ DEF	۰/۶۷۴ CDEF	۰/۰۱۹ DEFG	۰/۰۸۰ DEF
P11	۸/۵۸ DEFG	۲۲/۱ BCDE	۰/۱۹۵ DEFG	۰/۶۰۶ GHIJ	۰/۰۱۸ EFGH	۰/۰۷۱ HIJK
P12	۸/۲۰ FGHI	۲۲/۹ ABCD	۰/۱۷۲ IJ	۰/۵۶۵ IJKL	۰/۰۱۶ JKLM	۰/۰۶۷ KLMN
P13	۸/۱۰ HIJK	۲۳/۱ ABC	۰/۱۷۱ IJ	۰/۵۵۳ JKLM	۰/۰۱۶ KLMN	۰/۰۶۵ LMNO
P14	۸/۲۸ EFGH	۲۱/۴ CDEF	۰/۱۶۸ J	۰/۵۶۳ IJKL	۰/۰۱۶ MNO	۰/۰۶۶ KLMN
P15	۸/۱۰ HIJK	۲۲/۳ ABCD	۰/۱۸۸ FGHI	۰/۶۱۷ GHI	۰/۰۱۸ GHIJ	۰/۰۷۳ GHIJ
P16	۹/۸۰ A	۲۱/۶ CDEF	۰/۲۲۶ BC	۰/۶۷۴ CDEF	۰/۰۲۱ BC	۰/۰۸۰ DEF
P17	۸/۴۴ DEFG	۲۳/۰ ABC	۰/۱۹۶ DEFG	۰/۶۰۴ GHIJ	۰/۰۱۸ EFGH	۰/۰۷۱ HIJK
P18	۹/۵۰ AB	۲۲/۹ ABCD	۰/۲۴۰ B	۰/۷۴۲ AB	۰/۰۲۳ B	۰/۰۸۸ ABC
P19	۸/۷۲ CDEF	۲۰/۸ EFGH	۰/۱۹۲ DEFG	۰/۶۵۷ DEFG	۰/۰۱۸ EFGH	۰/۰۷۸ DEFG
P20	۹/۷۰ A	۲۱/۸ CDEF	۰/۲۳۴ B	۰/۷۰۹ ABCD	۰/۰۲۲ BC	۰/۰۸۴ BCD
P21	۸/۹۰ BCDE	۲۲/۲ BCDE	۰/۲۵۹ A	۰/۷۱۰ ABCD	۰/۰۲۵ A	۰/۰۸۴ BCD
P22	۸/۸۰ CDEF	۲۲/۵ ABCD	۰/۲۰۹ CDE	۰/۶۷۲ CDEF	۰/۰۲۰ DE	۰/۰۷۹ DEF
P23	۸/۷۰ CDEF	۲۲/۳ ABCD	۰/۲۰۰ DEF	۰/۶۷۰ CDEF	۰/۰۱۹ EFGH	۰/۰۷۹ DEFG
R1	۸/۰۸ HIJK	۲۰/۵ FGHI	۰/۱۶۱ JK	۰/۴۸۷ Q	۰/۰۱۶ KLMN	۰/۰۵۹ QR
R26	۸/۱۸ FGHI	۲۱/۳ DEFG	۰/۱۵۹ JK	۰/۵۲۰ LMNO	۰/۰۱۶ MNO	۰/۰۶۳ NOPQ
R30	۸/۸۴ BCDE	۲۲/۰ CDEF	۰/۲۳۱ B	۰/۷۳۲ AB	۰/۰۲۳ B	۰/۰۹۰ AB
R36	۸/۱۰ HIJK	۲۰/۲ GHIJ	۰/۱۶۳ JK	۰/۵۲۶ LMNO	۰/۰۱۶ JKLM	۰/۰۶۴ MNOP
R41	۸/۹۲ BCDE	۲۲/۵ ABCD	۰/۲۲۶ BC	۰/۷۱۳ ABC	۰/۰۲۲ BC	۰/۰۸۷ ABC
R69	۸/۰۶ IJKL	۱۹/۶ J	۰/۱۷۷ GHIJ	۰/۵۷۵ HIJK	۰/۰۱۸ HIJK	۰/۰۷۰ IJKL
R93	۷/۹۸ JKL	۲۰/۰ HIJ	۰/۱۶۳ JK	۰/۵۵۹ JKLM	۰/۰۱۶ JKLM	۰/۰۶۸ JKLM
R99	۸/۱۶ FGHI	۲۰/۵ FGHI	۰/۱۴۷ K	۰/۴۷۷ Q	۰/۰۱۵ O	۰/۰۵۸ R
R112	۹/۰۶ BCD	۲۲/۹ ABCD	۰/۲۳۱ B	۰/۷۵۵ A	۰/۰۲۳ B	۰/۰۹۳ A
R143	۸/۱۴ GHIJ	۲۰/۰ HIJ	۰/۱۶۰ JK	۰/۵۰۶ NOPQ	۰/۰۱۶ LMN	۰/۰۶۱ OPQR
R150	۸/۰۷ HIJK	۲۰/۱ HIJ	۰/۱۶۷ JK	۰/۵۴۷ KLMN	۰/۰۱۷ IJKL	۰/۰۶۷ KLMN
R159	۸/۹۲ BCDE	۲۲/۴ ABCD	۰/۲۱۰ CD	۰/۷۴۱ AB	۰/۰۲۱ CD	۰/۰۹۱ A
R168	۹/۰۴ BCD	۲۲/۴ ABCD	۰/۲۳۲ B	۰/۷۴۷ AB	۰/۰۲۳ B	۰/۰۹۲ A
R173	۷/۷۴ KLM	۲۰/۳ GHIJ	۰/۱۶۵ JK	۰/۵۲۲ LMNO	۰/۰۱۶ IJKL	۰/۰۶۴ MNOP
R187	۷/۹۶ JKL	۱۹/۹ IJ	۰/۱۶۳ JK	۰/۵۱۶ MNOP	۰/۰۱۶ JKLM	۰/۰۶۳ OPQR
MPFM	۸/۰۳ IJKL	۱۹/۹ IJ	۰/۱۶۳ JK	۰/۴۹۹ OPQ	۰/۰۱۶ JKLM	۰/۰۶۱ PQR
GRP3	۰/۰۰ N	۰/۰۰ K	۰/۰۰ L	۰/۰۰ R	۰/۰۰ P	۰/۰۰ S
BLANK	۸/۰۶ IJKL	۲۰/۳ GHIJ	۰/۱۶۵ JK	۰/۴۹۵ PQ	۰/۰۱۶ IJKL	۰/۰۶۰ PQR

*در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک هستند فاقد اختلاف معنی‌دار به روش دانکن در سطح ۱ درصد می‌باشند.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ٤- ضرایب همبستگی (r) بین شاخص‌های رشد گیاه و اکسین تولید شده.

٢٠٠	١٠٠	٥٠	٠	شاخص‌های رشدی
مقدار ال تریپتوفان ($mg.L^{-1}$)				
٠/٢٧٤^{ns}	٠/٤١٢**	٠/٤٤٤**	٠/٣٧٩*	وزن تر اندام هوایی
٠/٢١٢^{ns}	٠/٣٣٨*	٠/٣٨٧*	٠/٣٥١*	وزن تر ریشه
٠/٢٩١^{ns}	٠/٤٣٧**	٠/٤٧٠**	٠/٤١٧**	وزن خشک اندام هوایی
٠/٢٢١^{ns}	٠/٣٥٧*	٠/٤٠٩**	٠/٣٦٩*	وزن خشک ریشه
٠/١١١^{ns}	٠/٢٢٦^{ns}	٠/٢٠٧^{ns}	٠/١٢٨^{ns}	طول اندام هوایی
٠/١٢٣^{ns}	٠/٢٢٥^{ns}	٠/٢٠٩^{ns}	٠/١٣٥^{ns}	طول ریشه

**معنی‌دار بودن در سطح ١ درصد، *معنی‌دار بودن در سطح ٥ درصد، ns عدم معنی‌دار بودن.

جدول ٥- مقایسه میانگین اثر سویه‌ها بر میزان جذب عناصر غذایی (نیتروژن، فسفر و پتاسیم)، وزن خشک و وزن تر اندام هوایی*.

سویه	وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	فسفر	پتاسیم	نیتروژن
	g/Pot		mg/Pot		
P10	٨١/١ CDEF	٨/٩١ CDEF	١٠/٠٧ E	٤٦٥/٧ EFGH	٣٣٦/٠ GH
P12	٨٨/٣ BCDE	٩/٧٠ BCDE	١٢/٥٣ BC	٤٩٠/٠ CDE	٣٨٤/١ BC
P17	٧٢/٩ F	٨/٠٠ EF	١١/٠٨ BCDE	٣٨٧/١ J	٢٩٦/٤ J
P19	٨٥/٥ CDEF	٩/٣٩ BCDEF	١٠/٣٥ CDE	٤٨٨/٢ CDEF	٣٤٩/٨ EFG
P21	٩٢/٧ ABC	١٠/١٩ ABC	١٢/٤٠ BCD	٤٨٤/٠ DEFG	٣٨٩/٨ BC
P23	٩١/٨ ABCD	١٠/٠٨ ABC	١٢/٩٧ B	٥٠٥/٣ CD	٣٧٦/٦ CD
R1	٧٧/٠ EF	٨/٤٦ EF	٩/٩٣ E	٤٢١/٨ I	٣١١/٥ IJ
R30	٨٠/٨ CDEF	٨/٨٧ CDEF	١١/٥٤ BCDE	٤٥١/٠ GHI	٣٢٧/٩ HI
R93	٩١/٦ ABCD	١٠/٠٧ ABCD	١١/٩٧ BCDE	٥٢٣/١ BC	٣٧٧/٠ CD
R112	٩٢/١ ABC	١٠/٨٦ AB	١٢/٠٢ BCDE	٥٦٢/٨ A	٣٩٧/١ B
R143	٨٤/٠ CDEF	٩/٢٢ CDEF	١٠/٨٠ BCDE	٤٥٣/٦ FGHI	٣٦٠/٢ DEF
R150	٨٤/٩ CDEF	٩/٣٢ BCDEF	١١/٢٥ BCDE	٤٨٩/٢ CDE	٣٤٣/٧ FGH
R159	٨٧/٦ BCDE	٩/٦٢ BCDE	١٢/٠٨ BCDE	٤٧٠/١ DEFGH	٣٦٤/٢ DE
R187	١٠١/٠ AB	١٠/٤١ ABC	١٢/٥٨ BC	٥٥٣/٢ AB	٣٩١/٣ BC
Blank-	٧٧/٥ DEF	٨/٥٢ DEF	١٠/١١ DE	٤٣٩/٧ HI	٣١٣/٨ IJ
Blank+	١٠٤/٧ A	١١/٥٠ A	٢٧/٣١ A	٥٨٤/١ A	٤٥٣/٢ A

* در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار به روش دانکن در سطح ١ درصد می‌باشند.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ٦- مقایسه میانگین اثر سویه‌ها بر میزان جذب آهن، منگنز، مس و روی توسط گیاه*.

سویه	میزان جذب آهن	میزان جذب روی	میزان جذب منگنز	میزان جذب مس
	mg/Pot			
P10	۹/۹۹ CD	۰/۲٦٥ CDE	۰/٥۳۸ D	۰/۰۹۰ IJ
P12	٦/۸۸ E	۰/۳۰۳ AB	۰/٦۷٦ ABC	۰/۰۹۰ IJ
P17	۸۰/٦۰ D	۰/۲٤۰ EF	۰/٥٦۲ CD	۰/۱۱۱ GH
P19	۹/۷۸ CD	۰/۲۷۳ BCDE	۰/٦۹۲ AB	۰/۰۷۳ JK
P21	٦/۸٤ E	۰/۳۱۱ A	۰/۷٤۲ AB	۰/۱۸۳ A
P23	۱۰/۸۱ C	۰/۲٦۲ CDE	۰/٦۷٤ ABC	۰/۰۹۱ I
R1	٦/۳۱ E	۰/۲۲٥ F	۰/٥۲۲ D	۰/۰٦۲ K
R30	٦/۲٥ E	۰/۲۸۷ ABCD	۰/٦٥٤ BC	۰/۱۲۰ FG
R93	۱۲/۹٤ B	۰/۲۸۷ ABCD	۰/۷٦۷ AB	۰/۱٦۰ BC
R112	۱۲/٦٤ B	۰/۲۹۰ ABC	۰/۷۸۰ A	۰/۱۳۰ EF
R143	۱۲/٤٦ B	۰/۲۹٥ ABC	۰/۷۱۳ AB	۰/۱۲۷ EFG
R150	۹/۷٦ CD	۰/۲۷۰ BCDE	۰/٦۷۲ ABC	۰/۱٤٤ CDE
R159	۱۲/٤۲ B	۰/۲۹۱ ABC	۰/٦۸٦ AB	۰/۱٤۱ DE
R187	۱۳/۱۷ B	۰/۳۱۲ A	۰/۷۷۰ AB	۰/۱٤۸ BCD
BLANK-	٦/٥۷ E	۰/۱۸۹ G	۰/٤٥۷ D	۰/۰۹۳ HI
BLANK+	۱۷/۷٤ A	۰/۲٥۳ DEF	۰/٥۱٥ D	۰/۱٦٦ AB

*در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار به روش دانکن در سطح ۱ درصد می‌باشند.

منابع

1.Abbas-Zadeh, P., Saleh-Rastin, N.H., Asadi-Rahmani, K., Khavazi, A., Soltani, R., Shoary-Nejati, and M., Miransari. 2010. Plant growth-promoting activities of fluorescent pseudomonads, isolated from the Iranian soils. Acta. Physiol. Plant 32: 281–288.

2.Ahmad, F., Ahmad, I., and Sahir khan, M. 2005. Indoleacetic acid production by indigenous isolates of azotobacter and fluorescent pseudomonas in the presence and absence of tryptophan. Turk. J. Biol. 29: 29-34

3.Asghar, H.N., Zaeir, Z.A., and Arshad, M. 2004. Screening rhizobacteria for improving the growth, yield and oil cotent of canola (*Brassica napus* L.). Aust. J. Agric. Res. 55: 187-194

Archive of SID

www.SID.ir

4.Asghar, H.N., Zahir, Z.A., Arshad, M., and Khaliq, A. 2002. Relationship between in vitro production of auxins by rhizobacteria and their groth-promoting activities in *Brassica juncea* L. Biol. Fertil. Soils. 35: 231-237
5.Bagnasco, P., Delafuente, L., Gualtieri, G., Noya, F., Anas, A. 1998. Fluorescent *Pseudomonas* spp. as biocontrol agent against forage legume root pathogenic fungi. Soil. Biol. Biochem. 30: 1317-1322.
6.Bashan, Y., and De-Bashan, L.E. 2004. Plant growth promoting bacteria. In Encyclopaedia of Soils in the Environment, vol. 1 (Ed. D. Hillel), Pp: 103–115. Oxford, UK: Elsevier.
7.Bashan, Y., and Levanony, H. 1990. Current status of Azospirillum inoculation technology: Azospirillium as a challenge for agriculture. Can. J. Microbiol. 36: 591-608.
8.Bent, E., Tuzan, S., Chanway, C.P., and Enebak, S. 2001. Alteration in plant growth and in root hormone levels of lodgepole pines inoculated with rhizobacteria. Can. J. Microbiol. 47: 793-800
9.Berterand, H., Nalin, R., Bally, R., and Cleyet-Marel, J.C. 2001. Isolation and identification of the most efficient plant growth-promoting bacteria associated with canola (*Brassica napus*). Biol. Fertil. Soils. 33: 152-156
10.Biswas, J.C., Ladha, J.K., and Dazzo, F.B. 2000. Rhizobial inoculation improves nutrient uptake and growth of low land rice. S.S.S.A.J. 64: 1644-1650
11.Bowen, G.D., and Rovira, A.D. 1999. The rhizosphere and its management to improve plant growth. Adv. Agron. 66: 1-102.
12.Egamberdieva, D. 2008. Plant Growth Promoting Properties of Rhizobacteria Isolated from Wheat and Pea Grown in Loamy Sand Soil. Turk. J. Biol. 32: 9-15
13.Elmerich, C. 1984. Molecular biology and ecology of diazotrophs associated with non-leguminous plants. Bio. Technology. 2: 967-978.
14.Glick, B.R. 1995. The enhancement of plant growth by free-living bacteria. Can. J. Microbiol. 41: 109-117.
15.Glick, B.R., Penrose, D.M., and Jiping, LI. 1998. A model for the lowering of plant ethylene concentration by plant growth-promoting bacteria. J. Theor. Biol. 190: 63-68
16.Khalid, A., Arshad. M., and Zahir, Z.A. 2004. Screening plant growth promoting rhizobacteria for improving growth and yield of wheat. J. Appl. Microbiol. 96: 473-480
17.Kloepper, J.W., Lifshitz, R., and Zablotwicz, R.M. 1989. Free-living bacterial inocula for enhancing crop productivity. Trends Biotechnol. 7: 39-43
18.Kloepper, J.M. 2003. A review of mechanisms for plant growth promoting by pgpr. Aurburn University, Auburn, Alabama 36849, USA
19.Kloepper, J.W., Leong, J., Teuntze, M., and Schroth, M.N. 1980. Enhanced plant growth by siderophore produced by plant growth–promoting rhizobacteria. Nature. 286: 885-886

Archive of SID

www.SID.ir

20.Kloepper, J.W., Lifshitz, R., and Schroth, M.N. 1988.Pseudomonas inoculants to benefit plant production. ISI. Atlas. Aci. Anim. Plant Sci. 60-64.
21.Lambrecht, M., Okon, Y., Broek, A.V., and Vanderleyden, J. 2000. Indole-3-acetic acid: a reciprocal signaling molecule in bacteria-plant interaction. Tren. Microbial. 8: no.7.
22.Lifshitz, R., Kloepper, J.W., Kozlowski, M., Simonson, C., Carlson, J., Tipping, E.M., and Zaleska, I. 1987. Growth promoting of canola (rapeseed) seedlings by a strain of *pseudomona putida* under gnotobiotic conditions. Can. J. Microbiol. 33: 390-395
23.Minorsky, P.V. 2008. On the inside. Plant Physiol. 146: 323-324.
24.Patten, C.L., and Glick, B.R. 2002. Role of *pseudomonas putida* indoleacetic acid in development of host plant root system. Appl. Environ. Microbiol. Pp: 3795-3801
25.Penrose, D.M., and Glick, B.R. 2003. Methods for isolating and characterizing ACC deaminase-containing plant growth-promoting rhizobacteria. Physiol. Plant. 18: 10-15
26.Peyvandi, M., Farahani, F., Hosseini-Mazinani, M., Noormohamadi, Z., Ataii, S., and Asgharzadeh, A. 2010. *Pseudomonas fluorescent* and its ability to promote root formation of olive microshoots. Int. J. Plant. Prod. 4(1): 63-66
27.Ping, L., and Boland, W. 2004. Signals from the underground: bacterial volatiles promote growth in *Arabidopsis*.Trends. plant. Sci. 9(6): 263-266
28.Robert, L.P. 2007. Effects of Experimental Seed Corn Inoculants on Plant Growth, Health and Grain Yield. Master of science project. Iowa State University.
29.Rokhzadi, A., Asgharzadeh, A., Darvish, F., Nour-Mohammadi, G., and Majidi, E. 2008. Influence of plant growth-promoting rhizobacteria on dry matter accumulation and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.). American-Eurasian J. Agric. and Environ. Sci. 3(2): 253-257
30.Rubio, T.M.G., Valencia-Plata, S.A., Bernal-Castillo, J., Martinez-Nieto, P. 2000. Isolation of Enterobacteria, *Azotobacter* sp. and *Pseudomonas* sp. producers of indole-3-acetic acid and siderophores, from colombian rice rhizosphere. Revista latinoamericana de microbiologia. 42: 171-176
31.Rudresh, D.L., Shivaprakash, M.K., and Prasad, R.D. 2005. Effect of combined application of rhizobium, phosphate solubilizing bacterium and *Trichoderma* spp. On growth, nutrient uptake and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.). Appl. Soil Ecol. 28: 134-140.
32.Saleem, M., Arshad, M., Hussain, S., and Bhatti, A.S. 2007. Perspective of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) containing ACC deaminase in stress agriculture. J. Ind. Microbiol. Biotechnol. 34: 635–648
33.Sarwar, M., and Kremer, R.J. 1992. Determination of bacterially derived auxins using a microplate method. Lett. Appl. Microbiol. 20: 282-285.

Archive of SID

www.SID.ir

34.Sarwar, M., and Frankenberger, W.T. 1994. Influence of L-trypyophan and auxins applied to the rhizosphere on the vegetative growth of *Zea mays* L. Plant Soil. 160: 97-104
35.Schippers, B., Bakker, A.W., Bakker, P.A.H.M., and Vanpeer, R. 1990. Beneficial and deleterious effects of HCN-production pseudomonads on rhizosphere interaction. Plant Soil. 129: 75-83
36.Sheng, X.F. 2005. Growth promotion and increased potassium uptake of cotton and rape by a potassium releasing strain of *Bacillus edaphicus*. Soil Biol. Biochem. 37: 1918–1922.
37.Sundara, B., Natarajan, and, V., and Hari, K. 2002. Influence of phosphorus solubilizing bacteria on the changes in soil available phosphorus and sugarcane and sugar yields. Field Crop. Res. 77: 43-49
38.Surette, M.A., Sturz, A.V., Lada, R.R., and Nowak, J. 2003. Bacterial endophytes in processing carrots (*Daucus carota* L. var. sativus): their localization, population density, biodiversity and their effects on plant growth. Plant Soil, 253: 381-390.
39.Tang, W.H. 1994. Yield-increasing bacteria and biocontrol of sheath blight of rice. Organisation, Adelaide, Australia. 267-278.
40.Tolay, I., Erenoglu, B., and Cakmak, I. 2001. Phytosiderophore release in Aegilopsis and Triticum species under zinc and iron deficiencies. J. Exper. Bot. 52: 1093-1099
41.Vessey, J.K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. Plant Soil. 255: 571–586.
42.Zaidi, S., Usmani, S., Singh, B.R., and Musarrat, J. 2006. Significance of *Bacillus subtilis* strain SJ-101 as a bioinoculant for concurrent plant growth promotion and nickel accumulation in *Brassica juncea*. Chemosphere, 64: 991–997.

Archive of SID

www.SID.ir

J. of Soil Management and Sustainable Production, Vol. 4(1), 2014
http://ejsms.gau.ac.ir

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Plant growth promoting Fluorescent Pseudomonads effects on growth and development of Canola

***P. Abbaszadeh Dahaji[1], H. Asadi Rahmani[2], K. Khavazi[2], A.A. Soltani Tolarod[3], A.R. Akhgar[1] and M. Omidvari[4]**

[1]Assistant Prof., Dept. of Soil Science, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, [2]Associate Prof., of Soil and Water Institute of Iran, [3]Assistant Prof., Dept. of Soil Science, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, [4]Graduated M.Sc. Student, Dept. of Plant Pathology University of Tehran

Received: 01/23/2013 ; Accepted: 06/03/2013

Abstract

Fluorescent pseudomonads are one of the most important plant growth stimulating bacteria in different plant rhizosphere. In this research, 40 *pseudomonas fluorescence* and *pseudomonas putida* isolates, isolated from wheat and canola root were, identified and their growth promoting qualities were evaluated. Application of studied isolates in tubes containing sterile sand, in comparison with control treatment led to increase in shoot dry weight (53.7%), root dry weight (47.8%), root length (21.6%), shoot length (17.7%), shoot wet weight (52.5%), root wet weight (56.5%), the ratio between dry shoot and dry root (20.3%) and ratio between wet shoot and dry root (up to 20.3%). The application of 14 superior isolates in greenhouse condition compared to control treatment resulted in increscent shoot wet weight (30.2%) and shoot dry weight (27.5%) and also nutrition uptake including nitrogen (30.2%), phosphorus (28.2%), potassium (25.8%), iron (100.2%), manganese (70.8%) and copper (70.3%). The results indicated that Fluorescent pseudomonads inoculation plays a vital role in increasing growth indices and nutrition uptake in canola.

Keywords: Auxin, Iron, Zinc, Phosphorus and Copper

* Corresponding Authors; Email: p.abbaszadeh@vru.ac.ir

Archive of SID

www.SID.ir