به زراعی کشاورزی
دوره ۱۵ ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۳۹۲
صفحه‌های ۱۶۲-۱۴۹

تأثیر همیاری سویه‌های Azotobacter chroococcum بر عملکرد، اجزای عملکرد و صفات کیفی کلزا در رشت

مونا سروری[۱]، سیدمحمدرضا احتشامی*[۲]، محمد ربیعی[۳]، کاظم خاوازی[۴]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه گیلان
۲. استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان
۳. عضو هیأت علمی مؤسسهٔ تحقیقات برنج کشور
۴. عضو هیأت علمی مؤسسهٔ تحقیقات آب و خاک

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۱/۶/۱۲ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۲/۳۱

چکیده

برای بررسی اثر سویه‌های Azotobacter chroococcum بر عملکرد، اجزای عملکرد و صفات کیفی کلزای زمستانه (Brassica napus L.)، آزمایشی به‌صورت طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار طی فصل زراعی ۸۹-۱۳۸۸ در مؤسسهٔ تحقیقات برنج رشت انجام شد. تیمارهای استفاده‌شده، انواع سویه‌های ازتوباکتر شامل کودهای شیمیایی و بدون تلقیح بذر (تیمار شاهد)، تلقیح بذر با سویه‌های ٦، ٩، ١١، ١٢، ١٣، ١٤، ١٥، ١٦، ١٩، ٢١، ٢٣، ٢٥، ٢٨، ٣٥ و ٣٨ ازتوباکتر بودند. نتایج نشان داد که ازتوباکتر بر تمامی صفات مورد بررسی اثر معنی‌داری داشت. سویهٔ ١٤ ازتوباکتر بیشترین میزان فسفر، پتاسیم، منیزیم و عملکرد روغن را به خود اختصاص داد. سویهٔ ١٢ با میانگین ٣٥٣٢/٤٣ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد را سبب شد که از لحاظ آماری با سویه‌های ٩ و ١٤ در یک سطح قرار گرفت. ازتوباکتر سویهٔ ١٢ نیز بیشترین اجزای عملکرد دانه و میزان نیتروژن، کلسیم و درصد روغن را ایجاد کرد. تولید هورمون‌های محرک رشد، تثبیت نیتروژن، قابل حل‌کردن مواد معدنی از جمله فسفر، تولید سیدروفور و انواع آنتی‌بیوتیک از مکانیسم‌های اثر ازتوباکتر به شمار می‌روند که به نظر می‌رسد با استفاده از حداقل یکی از این مکانیسم‌ها، باعث افزایش عملکرد گیاه شده است. به‌طور کلی سویه‌های ٩، ١٢ و ١٤ ازتوباکتر نسبت به سایر سویه‌ها اثر مثبت بیشتری بر صفات مورد بررسی اعمال کردند. نتایج این آزمایش نشان داد که استفاده از ازتوباکتر کروکوکوم باعث افزایش عملکرد و صفات کیفی کلزا می‌شود و می‌توان از آن به‌عنوان مکمل کودهای شیمیایی استفاده کرد.

کلیدواژه‌ها: ازتوباکتر، درصد روغن، عملکرد، عناصر غذایی، کلزا.

* نویسنده مسئول
Email: Smrehteshami@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir

۱. مقدمه

کلزا پس از سویا و نخل روغنی، سومین منبع تولید روغن نباتی جهان به شمار می‌رود که با توجه به نیاز روزافزون کشور به روغن‌های خوراکی و واردات روغن و خروج سرمایه‌های ارزی فراوان از کشورمان، توجه به گیاهان روغنی و به‌خصوص کلزا به دلیل درصد بالای روغن، بیش از ۴۰ درصد، پتانسیل عملکرد بالا و سازگاری با شرایط آب و هوایی کشور ایران، افزایش یافته است و کاهش چشمگیری در میزان واردات روغن را می‌توان انتظار داشت [۹]. در چند دهۀ اخیر، تلاش برای افزایش تولید در واحد سطح و مصرف زیاد و نامتعادل کودهای شیمیایی، پیامدهای منفی زیست‌محیطی و افزایش هزینۀ تولید را به همراه داشته است و این امر ضرورت تجدیدنظر در شیوه‌های جدید افزایش تولید محصول را گوشزد می‌کند. فراهم‌کردن شرایط لازم برای استفادۀ بیشتر از فرآیندهای طبیعی مانند تثبیت بیولوژیکی نیتروژن یکی از راهکارهای تولید بهینۀ محصول و مهم‌تر از آن، حفظ سلامت محیط است که امروزه، در کشورهای مختلف به‌طور جدی دنبال می‌شود. یکی از شیوه‌های زیستی برای افزایش تولید در کشاورزی، استفادۀ بالقوه از ریزجانداران مفید خاک‌زی است که می‌توانند با روش‌های مختلف باعث افزایش رشد و عملکرد گیاه شوند. ریزجانداران محرک رشد گیاه[1] (PGPR)به گروهی از ریزجانداران اطلاق می‌شوند که با استفاده از یک یا چندین مکانیسم باعث بهبود رشد گیاه می‌شوند. ازتوباکتر[2] از باکتری‌های محرک رشد گیاه و یکی از کودهای زیستی رایج است. ازتوباکتر به خانوادۀ ازتوباکتراسه تعلق دارد که علاوه بر تثبیت نیتروژن مولکولی موجود در اتمسفر، از طریق افزایش تحرک و قابلیت جذب عناصر غذایی و به‌ویژه تولید فیتوهورمون‌های رشد گیاهی موجب بهبود شرایط تغذیه و رشد گیاه می‌شود [۳۴]. با توجه به نتایج تحقیقات محققان، تلقیح ازتوباکتر به‌طور متوسط باعث افزایشی معادل ۱۰ تا ۱۵ درصد در عملکرد گیاهان مختلف به‌ویژه گندم شده است [۴۱]. همچنین، تلقیح بامیه[3] با ازتوباکتر، سبب افزایش در جذب عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم شد و این‌گونه توجیه شد که مقدار نیتروژن قابل دسترس برای رشد بافت، با تثبیت نیتروژن ازتوباکتر زیاد می‌شود [۳۷]. در آزمونی دیگر، علاوه بر افزایش این عناصر، افزایش در آهن، روی و منگنز نیز مشاهده شد [۲۶]. بعضی از محققان، افزایش این عناصر را با وجود توانایی تولید اکسین، سیانید هیدروژن و تثبیت نیتروژن مولکولی ازتوباکتر توجیه کرده‌اند [۴]. در برخی آزمایش‌ها نیز درصد روغن گیاهان مختلف بر اثر تلقیح ازتوباکتر، بررسی شد که در اکثر آن‌ها افزایش محتوی روغن نسبت به شاهد (بدون تلقیح) مشاهده شد [۱۹]. اثر ازتوباکتر بر کیفیت و کمیت کلزا بررسی و آزمون شد و همچنین، همۀ کمیت‌ها به جز ارتفاع گیاه، به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار گرفتند و نیز مادۀ خشک، تعداد شاخۀ فرعی و غلظت گلوکوزینولات افزایش معنی‌داری نشان دادند [۱۶]. از تلقیح با ازتوباکتر، افزایش ۲۱/۱۷ درصدی در عملکرد دانه، ۱۶/۰۵ درصدی در تعداد خورجین در دانه، ۱۱/۷۸درصدی در تعداد شاخه‌ها، ۲/۹۲ درصدی در وزن هزاردانه، ۱/۷۳ درصدی در میزان روغن و افزایش ۳/۹۱ درصدی در پروتئین دانۀ کلزا مشاهده شد [۴۲]. همچنین، با بررسی اثر تلفیقی ازتوباکتر، آزوسپیریلوم و قارچ تریکودرما بر کلزا، افزایش معنی‌داری در صفاتی مانند ارتفاع گیاه، تعداد شاخۀ فرعی، تعداد خورجین در بوته، شاخص برداشت و

1. Plant Growth Promoting Bacteria
2. Azotobacter
3. Hibiscus esculentus L.

Archive of SID
www.SID.ir

عملکرد دانه مشاهده شد [۱۸]. بنابراین، در راستای پایداری تولیدات کشاورزی و حفظ منابع زیست‌محیطی، هدف از این تحقیق بررسی بهره‌گیری از کود زیستی به‌عنوان یک منبع مکمل کودی و تعیین نتایج مصرف کود زیستی بر صفت‌های کمی و کیفی کلزا بود.

۲. مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸ در مؤسسهٔ تحقیقات برنج کشور، با طول جغرافیایی ٤١ درجه و ٣٦ دقیقهٔ شرقی، عرض جغرافیایی ٣٧ درجه و ١٦ دقیقهٔ شمالی و با ارتفاع ۷ متر پایین‌تر از سطح دریاهای آزاد، با آب و هوای مدیترانه‌ای و در ۱۰ کیلومتری رشت اجرا شد. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای مورد بررسی در این تحقیق شامل تلقیح بذر کلزا با سویه‌های مختلف *Azotobacter chroococcum* بودند. رقم استفاده‌شده، هایولا ٤٠١ بود. تیمارهای باکتری در ١٦ سطح در نظر گرفته شدند که شامل استفاده از کودهای شیمیایی و بدون تلقیح بذر (تیمار شاهد)، تلقیح بذر با سویه‌های ٦، ۹، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ١٤، ۱۵، ١٦، ۱۹، ۲۱، ۲۳، ۲۵، ۲۸، ۳۵ و ۳۸ ازتوباکتر بودند. باکتری‌های محرک رشد مورد نظر ابتدا در آزمایشگاه بیولوژی مؤسسهٔ تحقیقات خاک و آب فرموله و تهیه شدند. جمعیت باکتری‌های بومی خاک، $۱/۳\times۱۰^{۷}$ و جمعیت باکتری‌ها در هر گرم مایهٔ تلقیح، $۹/۸\times۱۰^{۷}$ برآورد شد. مادهٔ حامل نیز پرلیت بود. برای کشت باکتری‌ها از محیط کشت LG استفاده شد. پس از کشت انفرادی باکتری‌ها، پس از ٤٨ ساعت جمعیت آن‌ها به روش Plate Count و روی محیط‌های اختصاصی شمارش شدند و سپس، حجم مساوی از آن‌ها با یکدیگر مخلوط و مجدد جمعیت در محیط کشت شمارش و مایهٔ تلقیح آماده شد [۱۱]. قبل از آزمایش، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک، نمونه‌برداری شد. نتایج حاصل از تجزیهٔ خاک در جدول ۱ گزارش شده است. همراه با دیسک، کودهای شیمیایی پایه، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفر از منبع فسفات آمونیوم و نیتروژن خالص از منبع اوره به میزان ٦٠ کیلوگرم در هکتار قبل از کشت به خاک افزوده شد. کاشت در نیمهٔ اول آبان‌ماه ۱۳۸۸ به عمق ۱ سانتی‌متر با دست انجام شد. فاصلهٔ ردیف‌های کاشت ۲۵ سانتی‌متر و فاصلهٔ بوته‌ها روی ردیف ٤ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. هر کرت، ٦ ردیف کاشت به طول ۵ متر را شامل شد. فاصلهٔ بین دو تیمار، دو خط نکاشت و فاصلهٔ بین دو تکرار، ۳ متر در نظر گرفته شد. در دو مرحله از رشد گیاه، کود اوره به‌صورت سرک به گیاه اضافه شد. کشت به‌صورت دیم انجام شد. میزان درجهٔ حرارت خاک در طول فصل رشد بین ٤ تا ۱۷ درجهٔ سانتی‌گراد متغیر بود. در طول فصل رشد، کنترل علف‌های هرز به‌صورت وجین دستی انجام شد و همهٔ عملیات داشت در همهٔ تیمارها به‌طور یکسان انجام گرفت. بعد از سبزشدن گیاهچه و رسیدن آن‌ها به مرحلهٔ سه تا چهار برگی عملیات تنک‌کردن بوته‌های اضافی اجرا شد.

جدول ۱. برخی خواص فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

بافت خاک	اسیدیته	نیتروژن(٪)	پتاسیم(ppm)	مواد آلی(٪)	فسفر(ppm)	هدایت الکتریکی(ds/m)
سیلتی ـ رسی	۷/۵۷	۰/۲۷	۱۷۸	۱/۷۵	۱۰	۱/۳۲

Archive of SID
www.SID.ir

برای اندازه‌گیری میزان عناصر معدنی موجود در اندام هوایی، در زمان گل‌دهی، از ردیف‌های دوم و پنجم هر کرت آزمایشی پس از حذف تأثیر حاشیه‌ای، چهار بوته انتخاب و به مدت ٤٨ ساعت در دمای ٧٥ درجهٔ سانتی‌گراد، خشک شدند. عصارهٔ گیاه با استفاده از روش هضم در بالن ژوژه با اسید سولفوریک، اسید سالیسیک و آب اکسیژنه استخراج شد، از عصارهٔ گیاهی حاصل از روش هضم با استفاده از دستگاه کجل تک، میزان نیتروژن گیاه اندازه‌گیری شد [٢٥]. اندازه‌گیری عناصر با روش کالری‌متری انجام شد. در این روش، ابتدا ٢ میلی‌متر از عصارهٔ گیاهی را به بالن ژوژه ٢٥ میلی‌متری منتقل شد، ٥ میلی‌لیتر از محلول آمونیوم مولیبدووانادات به آن افزوده و به حجم رسانده شد. پس از گذشت نیم ساعت، فسفر نمونه‌ها در طول موج ٦٤٠ نانومتر در دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد. در محاسبهٔ مقدار پتاسیم ابتدا عصارهٔ گیاه با شعلهٔ بوتان و هوای ابری‌شده به بخار تبدیل شد. ترکیبات پتاسیم بر اثر جذب حرارت به‌صورت اتم درآمده، برانگیخته شدند. تشعشعات نوری حاصل از اتم‌های برانگیخته براساس غلظت و طول موج ٧٦٦/٥ نانومتر برای پتاسیم قرائت شد [١٠]. با استفاده از محلول‌های حاصل از عصاره‌گیری، عناصر کلسیم و منیزیم با استفاده از کیت‌های موجود، در طول موج‌های خاص با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شدند. برای اندازه‌گیری کلسیم، پس از قرائت با دستگاه اسپکتروفتومتر در مقابل بلانک معرف و در طول موج ٥٧٠ نانومتر با استفاده از فرمول زیر میزان کلسیم محاسبه شد:

رابطهٔ (١): کلسیم (میلی‌گرم بر دسی‌لیتر)=(قرائت با اسپکتروفتومتر در مقابل بلانک معرف\قرائت استاندارد) *١٠

مقدار منیزیم نیز پس از قرائت با دستگاه اسپکتروفتومتر در مقابل بلانک معرف و در طول موج ٥٢٠ نانومتر با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد:

رابطهٔ (٢): منیزیم (میلی‌گرم بر دسی‌لیتر)=(قرائت با اسپکتروفتومتر در مقابل بلانک معرف\قرائت استاندارد) *٢/٥

برای اندازه‌گیری عملکرد دانه، در پایان فصل رشد، با در نظرگرفتن اثر حاشیه، عمل برداشت از فضای عملکرد به مساحت ٤ مترمربع انجام شد. بوته‌های موجود پس از برداشت به مدت ١ تا ٢ روز در هوای آزاد و در معرض آفتاب قرار گرفتند تا کاملا خشک شدند. زمانی که رطوبت دانه به ١٢ درصد رسید، محصول هر کرت به‌طور جداگانه، خرمن‌کوبی و دانه‌ها از خورجین جدا شدند و با ترازوی دقیق، توزین و به کیلوگرم در هکتار محاسبه شدند. برای تعیین درصد روغن دانه، مقداری از بذر هر کرت به‌طور تصادفی، آسیاب و به میزان ٢ گرم از آن انتخاب شد و سپس، از دستگاه سوکسله[1] استفاده شد. برای محاسبهٔ عملکرد روغن دانه، از حاصل‌ضرب عملکرد دانه در درصد روغن دانه استفاده شد که در نهایت، نتایج به‌دست‌آمده بر حسب کیلوگرم در هکتار محاسبه شد. تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از برنامهٔ آماری SAS و مقایسهٔ میانگین نیز با استفاده از LSD انجام شد.

٣. نتایج و بحث

تجزیهٔ واریانس داده‌ها نشان داد که تلقیح بذر اثر معنی‌داری بر مقدار نیتروژن اندام هوایی داشت (جدول ٢). مقایسهٔ میانگین داده‌ها مشخص کرد که تیمارهای تلقیح بذر با سویهٔ ١٢ و ١٤ با میانگین ٨/٧١ و ٨/٧ بالاترین درصد نیتروژن و تیمار تلقیح بذر با سویهٔ ١٥ با میانگین ٨/٤٨ درصد کمترین میانگین را دارا بودند (جدول٤). از آنجا که ازتوباکتر، تثبیت نیتروژن انجام می‌دهد، می‌توان

1. Soxhlet system HT, Tecator, Sweden

Archive of SID
www.SID.ir

افزایش نیتروژن را با آن توجیه کرد [۲۳]. گزارش شده است که این باکتری‌ها جذب نیتروژن را به‌طور مستقیم انجام می‌دهند [۱٤]. همچنین، اثر تلقیح ازتوباکتر کروکوکوم بر عملکرد بیولوژیک، درصد پروتئین دانه، وزن هزاردانه و جذب عناصر روی، نیتروژن، فسفر و آهن گندم، بررسی و آزمون شد و پیشنهاد شد که از این سویه‌ها می‌توان برای بهبود تغذیهٔ گندم از نظر عناصر غذایی کم‌مصرف مانند روی و آهن استفاده کرد [٤]. نیتروژن در سنتز کلروفیل، آمینواسید و پروتئین نیز نقش دارد. پس، ازتوباکتر با افزایش جذب نیتروژن به سنتز این مواد نیز کمک می‌کند [۳۱]. در آزمایشی مشخص شد که ازتوباکتر اثر مثبتی بر عملکرد و غلظت نیتروژن دانهٔ گندم دارد [۳۰]. افزایش جذب نیتروژن، به تثبیت نیتروژن و ترشح تنظیم‌کننده‌های رشد مثل اکسین، سیتوکینین و جیبرلین توسط ازتوباکتر نسبت داده شده است [۳۷]. کاربرد توأم قارچ میکوریزا و باکتری ازتوباکتر در توسعهٔ بهتر ریشه مؤثر بوده است، چرا که از این طریق باعث افزایش قابلیت دسترسی نیتروژن و فسفر گیاه می‌شود و در نتیجه به بهبود رشد مورفولوژیکی گیاه منجر می‌شود [۳۸].

تجزیهٔ واریانس داده‌ها نشان داد که تلقیح بذر اثر معنی‌داری بر مقدار فسفر اندام هوایی داشت (جدول ۲). مقایسهٔ میانگین بین سطوح باکتری نشان‌دهندهٔ این بود که تیمار تلقیح با سویهٔ ۱٤ با میانگین ۳/٤ درصد بالاترین میزان فسفر را داشت که از نظر آماری با سویهٔ ۱۲ با میانگین ۳/۳۹ درصد در یک سطح قرار گرفت. کمترین مقدار فسفر در تیمار تلقیح بذر با سویهٔ ۱۵ با میانگین ۳/۳٦ درصد مشاهده شده است (جدول ٤). افزایش سطح جذب ریشه و توانایی بیشتر ریشه‌ها برای جذب فسفر در گیاهان تلقیح‌یافته، افزایش جذب فسفر را در پی دارد [۱۵]. به نظر می‌رسد که این باکتری‌ها با تثبیت آزادزی نیتروژن، تولید متابولیت‌های مؤثر در رشد گیاه مانند هورمون‌های گیاهی (اکسین، سیتوکینین، جیبرلین)، افزایش حلالیت ترکیبات نامحلول مثل فسفر و پتاسیم، از طریق تولید اسیدهای معدنی و آلی، تولید سیدروفورها و افزایش فراهمی عناصر کم‌مصرف به‌ویژه آهن و تولید آنزیم ACC دآمیناز مؤثر در کاهش تأثیرات سوء اتیلن، به رشد بهتر گیاه کمک می‌کنند [۲۳]. گزارش شد که با تلقیح ازتوباکتر با بذر بامیه، مقدار جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم افزایش یافته است [۳۷]. تلقیح بذر گندم با ازتوباکتر نیز باعث افزایش جذب فسفر شده است [۲۰]. در آزمایشی دیگر، کاربرد ازتوباکتر و قارچ میکوریز باعث افزایش ٤۸/۸ درصدی فسفر در اندام هوایی ذرت علوفه‌ای شد [۱]. گونه‌های ازتوباکتر با تولید متابولیت‌هایی همانند تولید انواع اسیدهای آلی و ترشح آن‌ها در خاک، بر کانی‌های معدنی و ترکیبات آلی اثر می‌گذارند و موجب آزادکردن فسفر و حل‌شدن آن در محلول خاک می‌شوند و در نتیجه فسفر بیشتری در اختیار گیاه قرار می‌گیرد [۳]. فسفر به همراه نیتروژن نقش مهمی در عملکرد و درصد روغن دانه بازی می‌کند. بنابراین، ازتوباکتر با تأثیر بر مقدار جذب عناصر، می‌تواند بر بهبود کیفیت کلزا نقش مهمی داشته باشد [٤۲].

نتایج تجزیهٔ واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تلقیح کلزا با ازتوباکتر بر میزان پتاسیم، معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسهٔ میانگین‌ها نشان داد که تیمار تلقیح با سویهٔ ۱٤ با میانگین ۷/۹ میلی‌گرم بر دسی‌لیتر، بیشترین مقدار و تیمار تلقیح با سویهٔ ۱۵ با میانگین ۷/۸۲ میلی‌گرم بر دسی‌لیتر کمترین مقدار پتاسیم را داشت (جدول ٤). افزایش جذب این عنصر و نیتروژن و فسفر توسط ازتوباکتر در برخی آزمون‌ها تأیید شده است [۷]. این‌طور به نظر می‌رسد که باکتری‌های محرک رشد با تولید مواد تنظیم‌کنندهٔ رشد در سطح ریشه، سبب گسترش رشد ریشه و افزایش جذب آب و عناصر غذایی می‌شوند. با تلقیح ازتوباکتر کروکوکوم

Archive of SID
www.SID.ir

بر گندم افزایش معنی‌داری در مقدار جذب و انتقال پتاسیم مشاهده شد [۲]. افزایش پتاسیم در گیاهان تلقیح‌یافته به اثر احتمالی هورمونی مانند سیتوکینین نسبت داده شده است که ضمن تحریک رشد ریشه، پس از انتقال به اندام هوایی، عامل هدایت یون‌های ضروری به اندام هوایی می‌شود. از آنجا که زراعت کلزا به مقدار زیادی پتاسیم نیاز دارد، افزایش جذب پتاسیم توسط ازتوباکتر می‌تواند باعث صرفه‌جویی در به‌کارگیری کود پتاس شود و آلودگی محیط زیست را کاهش دهد.

نتایج تجزیهٔ واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تلقیح کلزا با ازتوباکتر بر میزان کلسیم، معنی‌دار بود (جدول ۲). کمترین مقدار کلسیم در تیمار تلقیح‌یافته با سویهٔ ۱۵ با میانگین ۳/۷٤ میلی‌گرم بر دسی‌لیتر و بیشترین مقدار در تیمار تلقیح‌یافته با سویهٔ ۱٤ با میانگین ۳/۸ میلی‌گرم بر دسی‌لیتر دیده شد (جدول ٤). گزارش شده است که باکتری‌های محرک رشد گیاه از جمله باسیلوس سبب افزایش روی، منیزیم، آهن، کلسیم، پتاسیم، فسفر و نیتروژن شده‌اند [۲۷].

جدول۲. تجزیهٔ واریانس صفت‌های کیفی کلزا در سویه‌های مختلف ازتوباکتر

منبع تغییرات	درجه آزادی	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	کلسیم	منیزیم
تکرار	۲	ns۰۰۰۲/۰	ns۰۰۰۰۷۵/۰	ns۰۰۰۰٦٤/۰	ns۰۰۰۱٦/۰	ns۰۰۰۰۲۷/۰
باکتری	۱۵	**۰۱٤/۰	**۰۰۰۳۷/۰	**۰۰۱۷/۰	**۰۰۰۹۱/۰	ns۰۰۰۰۷۹/۰
خطا	۳۰	۰/۰۰۰۱۸	۰/۰۰۰۰٤٦	۰/۰۰٤۲	۰/۰۰۰۱۲	۰/۰۰۰۰۳۸
ضریب تغییرات	–	۳/۱۵	۲/۷۱	۳/۰٤	۲/۹۵	۲/۸۹

s ، * و ** به ترتیب بیانگر غیر معنی‌داری، معنی‌دار در سطح ۵ درصد و معنی‌دار در سطح ۱ درصد.

جدول۳. تجزیهٔ واریانس درصد روغن، عملکرد دانه و عملکرد روغن کلزا در سویه‌های مختلف باکتری

منبع تغییرات	درجهٔ آزادی	عملکرد دانه	تعداد خورجین	تعداد دانه در خورجین	وزن هزاردانه	درصد روغن	عملکرد روغن
تکرار	۲	۷۹۸۵/۰۵ns	۱/٤٦ns	۱۵/۹٤ns	۰/۰۸۳ns	۰/۰۳۵ns	۱۲۹۵/۸٦ns
باکتری	۱۵	۳۰۳۹۳/۸۱**	۵۵٤۲/۷**	۸/۸۲*	۰/۰٦۱ns	۰/۱۷۳۷**	۸۵۲٤/۳٦**
خطا	۳۰	۳۲٦٤/۸٦	۸۵/۲	۵۹/۳	۰۳۹/۰	۰/۰۲۱۱	٦۸۸/۲۲
ضریب تغییرات	–	۷/۷۱	۷۷/۳	۰٤/۷	۵۵/۵	۵/۳۱	۳/۷

Ns، * و ** به ترتیب بیانگر غیر معنی‌داری، معنی‌دار در سطح ۵ درصد و معنی‌دار در سطح ۱ درصد.

Archive of SID
www.SID.ir

جدول٤. مقایسهٔ میانگین صفت‌های کیفی کلزا در سویه‌های مختلف ازتوباکتر

تیمار	نیتروژن (٪)	فسفر (٪)	پتاسیم میلی‌گرم بر دسی‌لیتر	کلسیم میلی‌گرم بر دسی‌لیتر
شاهد	^{h}٥١/٨	^{gh}٣٧/٣	^{efg}٨٧/٧	^{de}٧٦/٣
سویهٔ ٦	٨/٥٢^{gh}	٣/٣٧^{gh}	٧/٨٥^{gh}	٣/٧٥^{ef}
سویهٔ ٩	^{b}٦٦/٨	^{bcd}٣٩/٣	^{ab}٩/٧	^{ab}٧٩/٣
سویهٔ ١١	٨/٥٧^{ef}	٣/٣٨^{bcde}	٧/٨٩^{abcd}	٣/٧٨^{bcd}
سویهٔ ١٢	^{a}٧١/٨	^{ab}٣٩/٣	^{ab}٩/٧	^{a}٨/٣
سویهٔ ١٣	٨/٦٣^{c}	٣/٣٩^{bc}	٧/٩^{ab}	٣/٨^{a}
سویهٔ ١٤	^{a}٧/٨	^{a}٤/٣	^{a}٩/٧	^{a}٨/٣
سویهٔ ١٥	^{i}٤٨/٨	^{h}٣٦/٣	^{i}٨٢/٧	٣/٧٤^{f}
سویهٔ ١٦	^{hi}٥/٨	٣/٣٧^{gh}	٧/٨٣^{hi}	^{ef}٣/٧٥
سویهٔ ١٩	^{f}٥٧/٨	^{defg}٣٨/٣	^{bcde}٨٨/٧	^{bcd}٣/٧٧
سویهٔ ٢١	٨/٥٣^{g}	٣/٣٨^{defg}	٧/٨٧^{efg}	^{cd}٣/٧٧
سویهٔ ٢٣	^{gh}٥٢/٨	^{efg}٣٧/٣	^{efd}٨٧/٧	٣/٧٦^{de}
سویهٔ ٢٥	٨/٥٢^{gh}	٣/٣٨^{cdef}	٧/٨٦^{fg}	^{def}٣/٧٦
سویهٔ ٢٨	^{de}٥٩/٨	^{bcd}٣٩/٣	^{abc}٨٩/٧	٣/٧٧^{cd}
سویهٔ ٣٥	٨/٥٧^{f}	٣/٣٨^{defg}	٧/٨٨^{cdef}	^{bcd}٣/٧٧
سویهٔ ٣٨	^{d}٦/٨	^{bcd}٣٩/٣	^{abc}٨٩/٧	٣/٧٨^{abc}

اعداد داخل هر ستون که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، از نظر آماری اختلاف معنی‌داری ندارند.

نتایج تجزیهٔ واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تلقیح کلزا با ازتوباکتر بر میزان منیزیم، غیرمعنی‌دار بود (جدول٢). با این حال، برخی باکتری‌ها از جمله سویه‌های ١٤، ٣٨، ٢٣، ١١ و ٩ میانگین منیزیم بیشتری نسبت به شاهد داشتند، هرچند که این اختلاف، معنی‌دار گزارش نشد. گزارش شده است که کاربرد باکتری‌های محرک رشد از جمله سودوموناس و باسیلوس، مقدار عناصری مثل آهن، روی، منگنز، منیزیم و پتاسیم را افزایش می‌دهند که یکی از دلایل این ازدیاد را به افزایش هدایت الکتریکی تیمارهای تلقیح‌یافته نسبت داده‌اند [١٧].

تجزیهٔ واریانس داده‌ها نشان داد که تلقیح بذر بر عملکرد دانه، اثر معنی‌داری در سطح احتمال ١ درصد داشت (جدول ٣). مقایسهٔ میانگین بین تیمارها مشخص کرد که سویهٔ ١٢ با میانگین ٣٥٣٢/٤٣ کیلوگرم در هکتار، بیشترین عملکرد را داشت که از لحاظ آماری با سویه‌های ٩ و ١٤ در یک سطح قرار گرفتند (جدول ٥). ازتوباکتر با دو مکانیسم اثر، نقش خود را بر گیاه اعمال می‌کند. یکی از راه‌ها، روش مستقیم است که در آن ازتوباکتر از طریق

Archive of SID
www.SID.ir

تثبیت نیتروژن، قابل حل‌کردن مواد معدنی از جمله فسفر، تولید سیدروفور که آهن را قابل حل می‌کند و تولید هورمون‌های رشد و انواع ویتامین‌ها و آنزیم‌ها بر رشد و عملکرد گیاه اثر مثبت می‌گذارد. راه دوم، روش غیرمستقیم است که در آن ازتوباکتر با ایجاد مقاومت به بیماری‌ها از طریق تولید سیدروفور و آنتی‌بیوتیک به حفظ سلامت گیاه کمک می‌کند [٤٠]. ازتوباکتر با تثبیت نیتروژن، نیتروژن قابل جذب را برای گیاه افزایش می‌دهد، نیتروژن به بهبود رشد کمک می‌کند و سطح برگ را افزایش می‌دهد. بنابراین، گیاه نور بیشتری جذب می‌کند و فتوسنتز بیشتری انجام می‌دهد که باعث تجمع مادهٔ بیشتری می‌شود [١٢]. همچنین، تلقیح ازتوباکتر می‌تواند بر افزایش مقاومت گیاه در برابر عوامل نامساعد محیطی و بهبود کیفیت محصول تأثیر داشته باشد [٣٣]. آزمون‌های متعددی برای بررسی اثر ازتوباکتر بر عملکرد گیاهان مختلف از جمله گندم [٢٩]، ذرت [٢٢]، گلرنگ [٣٣]، آفتابگردان [٥] و کلزا [١٨] انجام شده است که همگی افزایش عملکرد را بر اثر تلقیح ازتوباکتر به یک یا چند مکانیسم تثبیت نیتروژن، قابل حل‌کردن فسفات، تولید سیدروفور، هورمون‌های محرک رشد و تولید مواد ضدقارچی نسبت دادند.

نتایج تجزیهٔ واریانس داده‌ها نشان داد که تلقیح بذر اثر معنی‌داری در سطح احتمال ١ درصد بر تعداد خورجین در بوته داشت (جدول ٣). مقایسهٔ میانگین داده‌ها نشان داد که سویهٔ ٩ با میانگین ٢٦٧/٣٣ بیشترین تعداد خورجین را داشت که با سویهٔ ١٢ در یک سطح قرار گرفت و سویه‌های ١٦، ١٩، ٢١، ٢٣ و ٢٥ به ترتیب با میانگین ١٥٧/٣٣، ٢٠٤، ١٥٧/٣٣، ١٦٨/١١ و ١٥٦/٤٧ دارای کمترین تعداد خورجین در بوته بودند (جدول ٥). با کاربرد ازتوباکتر در گندم، تعداد خوشه در مترمربع ٨/٥٧ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت [٨]. در آزمایش دیگری اثر ازتوباکتر بر کلزا بررسی و مشاهده شد که تعداد خورجین در بوته افزایش ١٦/٠٥ درصدی نسبت به شاهد داشته است [٤٢]. با توجه به اینکه تعداد خورجین با عملکرد دانه همبستگی مثبت دارد، می‌توان از افزایش تعداد خورجین در این آزمایش، عملکرد بالایی انتظار داشت [٦].

تعداد دانه در خورجین یکی از اجزای مهم عملکرد محسوب می‌شود. از آنجا که دانه‌ها محل ذخیرهٔ مواد تولیدشده هستند، به نظر می‌رسد که هرچه تعداد دانه‌ها در خورجین بیشتر باشد، مخزن بزرگ‌تری برای ذخیرهٔ مواد به وجود می‌آید [٣٢]. نتایج حاصل از تجزیهٔ واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تلقیح بذر بر تعداد دانه در خورجین معنی‌دار بود (جدول ٣).

مقایسهٔ میانگین داده‌ها نشان داد که سویه‌های ٩، ١٢ و ١٤ به ترتیب با میانگین ٢٩/٤٤، ٢٩/٤٩ و ٢٩/٦٢ بیشترین تعداد دانه در خورجین را دارا بودند که با سویه‌های ١١، ١٣، ١٥، ١٦، ٢١، ٢٨ و ٣٨ در یک سطح قرار گرفتند و سویه‌های ٦ و ٣٥ با میانگین ٢٤/١ و ٢٤/٨٨ کمترین تعداد دانه را داشتند (جدول ٥). هرچه تعداد دانه در خورجین بیشتر باشد، مخزن بزرگ‌تری برای مواد متابولیکی به وجود می‌آید و هر عاملی که باعث افزایش این معیار شود، باعث افزایش عملکرد خواهد شد. البته افزایش تعداد دانه در خورجین، محدود است و بیشتر به طول غلاف بستگی دارد [٢٤]. هرچند این صفت ژنتیکی است، نتایج پژوهش ما نشان می‌دهد که عوامل محیطی نیز بر این صفت تأثیرگذارند. به نظر می‌رسد با افزایش طول خورجین، افزایش تعداد دانه در خورجین پیش‌بینی‌شدنی باشد. با تلقیح ازتوباکتر در گندم، در تعداد دانه در خوشه ٢٣/٦ درصد افزایش نسبت به شاهد مشاهده شده است [٨]. این افزایش در کلزای تلقیح‌یافته با ازتوباکتر نیز مشاهده شد [٢١].

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۵. مقایسهٔ میانگین درصد و عملکرد روغن و عملکرد دانهٔ کلزا در سویه‌های مختلف ازتوباکتر

تیمار	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	تعداد خورجین در بوته	تعداد دانه در خورجین	درصد روغن	عملکرد روغن (کیلوگرم در هکتار)
شاهد	ef۵/۳۲۹۱	f٤٤/۲۰٦	bc۷۹/۲۵	٤۵/۸۸c	efg۱٤/۱۵۱۰
سویهٔ ٦	f۱/۳۲٤۱	fg٦٦/۲۰٤	c۱/۲٤	٤۵/۵۲d	g۳٦/۱٤۷۵
سویهٔ ۹	ab۵۷/۳۵۰۹	a۳۳/۲٦۷	a٤٤/۲۹	٤٦/۳۲a	ab٦۵/۱٦۲۵
سویهٔ ۱۱	ef٦۳/۳۳۰٦	d۳۳/۲٤۹	abc۹٦/۲٦	٤٦/۱۸ab	ef۱۵۲۷
سویهٔ ۱۲	a٤۳/۳۵۳۲	ab۹٦/۲٦۵	a٤۹/۲۹	٤٦/۳٤a	a۹۳/۱٦۳٦
سویهٔ ۱۳	bcd۵/۳٤۲۵	cd٤۳/۲۵۱	ab۰۹/۲۸	٤٦/۲۷ab	bcd۹۸/۱۵۸٤
سویهٔ ۱٤	abc٦۷/۳٤۹٦	c٤٤/۲۵۲	a٦۲/۲۹	٤٦/۳۲a	abc٦۵/۱٦۱۹
سویهٔ ۱۵	f۹۷/۳۲۵٤	b٤۳/۲٦٤	abc۵۱/۲٦	٤۵/۸٦c	fg۷۳/۱٤۹۲
سویهٔ ۱٦	f۹۷/۳۲۵۲	i۳۳/۱۵۷	abc۰۲/۲۷	٤۵/۸٦c	fg۸۱/۱٤۹۱
سویهٔ ۱۹	ef۰۹/۳۲٦۷	fg۲۰٤	bc۱۱/۲۵	٤۵/۸۹c	fg۲۷/۱٤۹۹
سویهٔ ۲۱	ef۷۳/۳۲۷۵	i۳۳/۱۵۷	abc۰۸/۲۷	٤٦/۰٤bc	efg۲٦/۱۵۰۸
سویهٔ ۲۳	ef۸/۳۲۷۵	h۱۱/۱٦۸	bc۱۷/۲۵	٤۵/۸٦c	fg۲۸/۱۵۰۲
سویهٔ ۲۵	ef۲۷/۳۲٦۵	i٤۷/۱۵٦	bc۹٦/۲۵	٤۵/۸۷c	fg۷۸/۱٤۹۷
سویهٔ ۲۸	de٤/۳۳۵۰	e۳۳/۲٤٦	abc۸۳/۲٦	٤٦/۲٦b	de۹/۱۵٤۹
سویهٔ ۳۵	ef۱/۳۲۹۷	g۲۰۳	c۸۸/۲٤	٤٦/۱۸ab	ef٦/۱۵۲۲
سویهٔ ۳۸	cd۰۳/۳٤۱۲	c٦٦/۲۵۳	ab۲۱/۲۸	٤٦/۲٦ab	cd٤۱/۱۵۷۸

اعداد داخل هر ستون که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، از نظر آماری اختلاف معنی‌داری ندارند.

وزن هزاردانه از پایدارترین اجزای عملکرد دانهٔ کلزاست که تحت تأثیر شرایط محیطی قرار نمی‌گیرد و صفت ژنتیکی است [۱۳]. نتایج تجزیهٔ واریانس داده‌ها نشان داد که تلقیح بذر بر وزن هزاردانه اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۳). در صورت تغذیهٔ مناسب به دلیل پوشش گیاهی و توسعهٔ سطح سبز گیاه، قابلیت انجام فتوسنتز و ذخیرهٔ مواد فتوسنتزی در دانه افزایش می‌یابد و دانه‌های سنگین‌تری تولید می‌شود. برخی از آزمایش‌ها مؤید افزایش وزن هزاردانه از طریق کاربرد توأم ازتوباکتر، سودوموناس و میکوریزا هستند. تلقیح باکتریایی، ذخیرهٔ مواد فتوسنتزی و میزان مواد قابل انتقال را در گیاهان تلقیح‌یافته افزایش می‌دهد [٤۳]. ظرفیت فتوسنتزی گیاهان تیمارشده به واسطهٔ تغذیهٔ بیشتر فسفر افزایش می‌یابد که به دلیل انتقال مواد فتوسنتزی بیشتر به محل دانه‌ها، وزن دانه‌ها نیز افزایش می‌یابد [٤]. با بررسی اثر ازتوباکتر بر کلزا، افزایش ۲/۹۲ درصدی وزن هزاردانه نسبت به شاهد مشاهده شده است [٤۱]، در صورتی که از این تلقیح در گندم افزایش ۱۱/۸۳ درصدی رؤیت شد [۸].

یکی از خصوصیات کیفی بسیار مهم کلزا، درصد روغن دانه است. درصد روغن کلزا علاوه بر خصوصیات

Archive of SID
www.SID.ir

ژنتیکی تابع عوامل محیطی نیز است. نتایج حاصل از تجزیهٔ واریانس داده‌ها نشان داد که تلقیح بذر اثر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد بر درصد روغن بذر داشت (جدول ۳). مقایسهٔ میانگین سویه‌های باکتری نشان داد که تیمار تلقیح بذر با سویه‌های ۱۲، ۹ و ۱٤ بالاترین درصد روغن را با میانگین ٤٦/۳٤، ٤٦/۳۲ و ٤٦/۳۲ داشتند که این تیمارها از لحاظ آماری با تیمارهای تلقیح با سویه‌های ۱۳، ۳۸، ۲۸، ۱۱ و ۳۵ در یک سطح قرار گرفتند. تیمار تلقیح با سویهٔ ٦ نیز با میانگین ٤٥/٥۲ درصد، کمترین میزان درصد روغن را داشت (جدول ٥). تلقیح بذر گلرنگ بهاره با باکتری آزادزی ازتوباکتر و یک قارچ همزیست مولد میکوریز علاوه بر افزایش عملکرد دانه، درصد روغن گیاه را نیز افزایش داد [۳۳]. کیفیت دانهٔ کلزا تا حدود زیادی به میزان روغن دانه بستگی دارد. در تحقیقی، ازتوباکتر به همراه آزوسپیریلوم باعث افزایش محتوی روغن دانهٔ گلرنگ شد [۳۹].

نتایج تجزیهٔ واریانس نشان داد که اثر ازتوباکتر بر عملکرد روغن در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسهٔ میانگین داده‌ها نشان داد که تیمار تلقیح با سویهٔ ۱۲ با میانگین ۱٦۳٦/۹۳ کیلوگرم در هکتار بالاترین عملکرد روغن را داشته است که با سویه‌های ۹ و ۱٤ با میانگین ۱٦۲٥/٦٥ و ۱٦۱۹/٦٥ کیلوگرم در هکتار از لحاظ آماری در یک سطح قرار گرفت (جدول ٥). تلقیح ازتوباکتر با سویهٔ ٦ با میانگین ۱٤۷٥/۳٦ نیز کمترین عملکرد روغن را داشت که با شاهد در یک سطح قرار گرفت. با بررسی تلفیقی از ازتوباکتر و آزوسپیریلوم بر کلزا، در عملکرد روغن افزایش معنی‌داری مشاهده شد [۱۸].

جدول ٦. جدول ضریب همبستگی بین صفت‌های بررسی‌شدهٔ کلزا در سویه‌های مختلف ازتوباکتر

صفات	عملکرد دانه	تعداد خورجین	تعداد دانه	درصد روغن	عملکرد روغن	وزن هزاردانه	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	کلسیم
تعداد خورجین	۰/٦۲**									
تعداد دانه	۰/۷۹**	۰/٥۹**								
درصد روغن	۰/٦۱**	۰/٥٤**	۰/۷**							
عملکرد روغن	۰/۹۹**	۰/٦٤**	۰/۸۱**	۰/۷**						
وزن هزاردانه	-۰/۲۱ns	-۰/۱۱ns	-۰/۰۱ns	۰/۰۷ns	-۰/۱۸ns					
نیتروژن	۰/۸۳**	۰/٦٤**	۰/۷۸**	۰/۷۳**	۰/۸٦**	-۰/۰۸ns				
فسفر	۰/٦٥**	۰/٤۲**	۰/٦۳**	۰/٦٤**	۰/٦۹**	-۰/۱٤ns	۰/۸۲**			
پتاسیم	۰/٦۱**	۰/٤۲**	۰/٤۸**	۰/٦۸**	۰/٦٥**	-۰/۰۸ns	۰/۷۹**	۰/۸**		
کلسیم	۰/٦۳**	۰/٤۷**	۰/٦٤**	۰/۷۱**	۰/٦۸**	-۰/۰٤ns	۰/۸**	۰/۷۸**	۰/۷۸**	
منیزیم	۰/۲٤ns	۰/۱۸ns	۰/۰۳*	۰/۲۲ns	۰/۲٥*	-۰/۰۳ns	۰/۲٤ns	۰/۳٤*	۰/۲٤ns	۰/۲۱s

ns، * و ** به ترتیب بیانگر غیر معنی‌داری، معنی‌دار در سطح ٥ درصد و معنی‌دار در سطح ۱ درصد.

Archive of SID
www.SID.ir

همان‌گونه که در جدول ٦ مشاهده می‌شود، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، درصد روغن، نیتروژن، فسفر، کلسیم و پتاسیم همبستگی بالایی با عملکرد دانه دارند. از این نتیجه می‌توان این‌گونه استنباط کرد که باکتری محرک رشد به دلیل افزایش جذب عناصر غذایی از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌ها و افزایش تولید هورمون‌های رشد و بالطبع افزایش رشد گیاه باعث عملکرد بالا در گیاه شده است. با افزایش جذب عناصر غذایی به کمک باکتری محرک رشد، مقدار کل عناصر جذب‌شده توسط گیاه افزایش می‌یابد، بنابراین، انتقال مواد به دانه زیادتر می‌شود که نشان‌دهندهٔ کارایی انتقال و استفادهٔ عناصر غذایی جذب‌شده برای تشکیل دانه و افزایش عملکرد است.

۱.۳. نتیجه‌گیری

نتایج این آزمون نشان داد که عملکرد دانهٔ کلزا تحت تأثیر ازتوباکتر افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد داشته است. تولید هورمون‌های محرک رشد، تثبیت نیتروژن، قابل حل‌کردن مواد معدنی از جمله فسفر (تا اندازه‌ای)، تولید سیدروفور و انواع آنتی‌بیوتیک از مکانیسم‌های اثر ازتوباکتر به شمار می‌روند که به نظر می‌رسد با استفاده از حداقل یکی از این مکانیسم‌ها، باعث افزایش عملکرد گیاه شده است. این‌طور به نظر می‌رسد که ازتوباکتر با تثبیت نیترژون، تولید هورمون‌های محرک رشد و توسعهٔ ریشه باعث افزایش جذب عناصر غذایی از جمله نیتروژن، فسفر، پتاسیم و کلسیم شده است. از بین سویه‌ها، سویه‌های ۱۲ و ١٤ بالاترین درصد نیتروژن، سویهٔ ١٤ بیشترین درصد فسفر، سویهٔ ١٤ بیشترین درصد پتاسیم و سویهٔ ۱۵ بیشترین درصد کلسیم را از آن خود کردند. سویهٔ ۱۲ نیز بیشترین عملکرد روغن را داشت که با توجه به توسعهٔ ریشه و افزایش جذب آب و عناصر غذایی، اثر ازتوباکتر توجیه‌شدنی است. بنابراین، نتایج این آزمون نشان داد که سویه‌های ۹، ۱۲ و ١٤ نسبت به دیگر سویه‌ها اثر بیشتری بر خصوصیات رویشی گیاه کلزا داشته‌اند و در شرایط مشابه این آزمون، می‌توانند مکمل خوبی برای کودهای شیمیایی باشند.

منابع

۱. امیرآبادی، م؛ رجالی، ف؛ اردکانی، م؛ برجی، م؛ (۱۳۸۸). «تأثیر کاربرد مایهٔ تلقیح ازتوباکتر و قارچ میکوریز بر جذب برخی عناصر معدنی توسط ذرت علوفه‌ای (رقم سینگل کراس ۷۰٤) در سطوح مختلف فسفر». *مجلهٔ پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)*. ۲۳، ۱، ص. ۱۱۵ـ۱۰۷.

۲. حاجی بلند، ر؛ علی‌اصغرزاده، ن؛ مهرفر، ز؛ (۱۳۸۳). *بررسی اکولوژیکی ازتوباکتر در دو منطقهٔ مرتعی آذربایجان و اثر تلقیح آن روی رشد و تغذیهٔ معدنی گیاه گندم*. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۸، ۲، ص. ۸۹ـ۷۵.

۳. خاوازی، ک؛ ملکوتی، م، ج؛ (۱۳۸۰). *ضرورت تولید صنعتی کودهای بیولوژیک در کشور (مجموعه مقالات)*. کرج، نشر آموزش کشاورزی وزارت جهاد کشاورزی، ص. ٦۰۰.

٤. رجائی، س؛ علیخانی، ح، ع؛ رئیسی، ف؛ (۱۳۸٦). «اثر پتانسیل‌های محرک رشد سویه‌های بومی ازتوباکتر کروکوکوم روی رشد، عملکرد و جذب عناصر غذایی در گندم». *مجلهٔ علوم و فنون کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان*. ٤۱، ص. ۲۹٦ـ۲۸۵.

۵. رشدی، م؛ رضادوست، س؛ خلیلی محله، ج؛ حاجی‌حسنی اصل، ن؛ (۱۳۸۸). «تأثیر کودهای

Archive of SID
www.SID.ir

بیولوژیک بـر عملکـرد و اجـزای عملکـرد سـه رقـم آفتـابگردان روغنـی». *مجلـهٔ علمـی پژوهـشی علـوم کشاورزی دانـشگاه آزاد اسـلامی واحـد تبریـز*. ۳، ۱۰، ص. ٢٤ـ١١.

٦. سماوات، س؛ (١٣٧٨). *مدیریت کود در تولید گیاهـان روغنی*. گزارش فنـی شـمارهٔ ٤٣، مؤسـسهٔ تحقیقـات خاک و آب، ص. ٢٢.

٧. سمر، م؛ خسروی، ه؛ (١٣٨٦). «بررسی اثـرات چهـار سویه ازتوباکتر بر رشد و جذب عناصر غذایی در نهال سیب». مجموعه مقالات، *دهمین کنگـرهٔ علـوم خـاک ایران*.

٨. سیرجانی، ع؛ فرح‌بخش، ح؛ راوری، ذ؛ پسندی‌پور، ن؛ کرمـی، ع؛ (١٣٩٠). «بررسـی اثـر مـصرف کـود بیولوژیک، سولفات روی و کود نیتروژن بـر عملکـرد کمی و کیفی گندم». *مجلهٔ پژوهش های خاک (علـوم خاک و آب)*. ٢٥، ٢، ص. ١٣٥ـ١٢٥.

٩. شیرانی‌راد، ا، ح؛ دهشیری، ع؛ (١٣٨٢). *راهنمای کلـزا (کاشت، داشت، برداشت)*. معاونت آمـوزش و تجهیـز نیروی انسانی وزارت جهاد کشاورزی، نـشر آمـوزش کشاورزی، ص. ٤٨.

١٠. ملکـوتی، م، ج؛ همـائی، م؛ (١٣٧٢). *حاصـلخیزی خاک‌های منـاطق خـشک «مـشکلات و راه حـل‌هـا»*. چـاپ اول، انتـشارات دانـشگاه تربیـت مـدرس، ص. ٤٩٤.

11. Alef K and Nannipieri P (1995) Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry. Academic Press.

12. Al-Noaim A and Hamad Siddig H (2004) Effect of Bio-fertilization Along with Different Levels of Nitrogen Fertilizer Application on the Growth and Grain Yield of Hassawi Rice (Oryza sativa L.). Scientific Journal of King Faisal University (Basic and Applied Sciences). 5 (2): 14-25.

13. Angadi SV, Cutforth HW, McConkey BG and Gan Y (2003) Yield adjustment by canola grown at differentplant population under semiarid conditions. Crop Science. 43: 1358-1366.

14. Ashrafuzzaman M, Akhtar H and Razi MI (2009) Efficiency of plant growth promoting bacteria for the enhancement of rice growth. African Journal of Biotechnology. 8(7): 1247-1252.

15. Bahrani A, Pourreza J and Hagh Joo M (2010) Response of winter wheat to co-inoculation with Azotobacter and Arbescular Mycorrhizal Fungi (AMF) under different sources of nitrogen fertilizer. American-Eurasian Journal of Agriculture and Environment Science. 8 (1): 95-103.

16. Ebrahimi S, IranNejad H, ShiriniRad AH and Akbari GA (2007) Effect of Azotobacter chroococcum Aplication on Quantity and Quality Forage of Rapeseed Cultivars. Pakistan Journal of Biological Science. 10 (18): 3126-3130.

17. Esitken A, Yildiz EH, Ercisli S, Donmez MF, Turan M and Gunes A (2010) Effects of plant growth promoting bacteria (PGPB) on yield, growth and nutrient contents of organically grown strawberry. Scientia Horticulture. 124: 62-66.

Archive of SID

www.SID.ir

18. Ekram A and Mahfouz A (2010) Response of Canola (Brassica napus L.) to Biofertilizers under Egyptian conditions in newly reclaimed soil. International Journal of Agriculture Sciences. 2(1): 12-17.

19. El-Ghadban EAE, Shalan MN and Abdel-Latif TAT (2006) Influence of biofertilizers on growth, volatile oil yield and constituents of fennel (Foeniculum vulgare Mill.). Egyptian Journal of Agricultural Research. 84(3):977-992.

20. El-Kramany MF, Ahmed MKA, Bahr AA and Kasber MO (2000) Utilization of bio-fertilization in field crop production. Egyptian Journal of Applied Sciences. 15: 137-149.

21. Gaur AC (2001) Effects of Azotobacterization in presence of fertilizer nitrogen in the yield of canola (Brassica napus L.): Field experiment. Indian Society of Soil Science. 41: 50-54.

22. Gholami A, Shahsavani S and Nezarat S (2009) The Effect of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) on Germination, Seedling Growth and Yield of Maize. World Academy of Science, Engineering and Technology.49.

23. Glick BR, Patten CL, Holguin G and Penrose DM (1999) Biochemical and genetic mechanisms used by plant growth promoting bacteria. London: Imperial College Press.

24. Habekotte B (1993) Quantitative analysis of pod formation, seed set and seed filling in winter oilseed rape (Brassica napus) under field crop condition. Field Crop Research. 35: 21-33.

25. Hanson WC (1950) The photometric determination of phosphorus in fertilizers using the phosphor vanadomolybdate complex. Journal of Science in Food and Agriculture. 1: 172-173.

26. Hegazi HS, El-sonboty MR, Eissa MA, Ahmad M and El-Sharony TF (2007) Effect of organic and bio-fertilization on vegetative growth on flowering of picual olive trees. World Journal of Agricultural Sciences.3(2): 210-217.

27. Karlıdag H, Esitken A, Turan M and Sahin F (2007) Effects of root inoculation of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield, growth and nutrient element contents of leaves of apple. Scientia Horticulturae. 114: 16-20.

28. Kennedy IR, Choudhury ATM and Keeskes ML (2004) Non-symbiotic bacterial diazotrophs in crop in crop-farming system: Can their potential for plant growth promoting be better exploited. Soil Biochemistry. 3:1229-1244.

29. Khan MS and Zaidi A (2007) Synergistic effects of the inoculation with Plant Growth-Promoting Rhizobacteria and an arbuscular mycorrhizal fungus on the performance of wheat. Turkish Journal of Agriculture. 31: 355-362.

30. Kizilkaya R (2008) Yield response and nitrogen concentrations of spring wheat (Triticum aestivum L.) inoculated with Azotobacter chroococcum strains. Ecological Engineering. 33: 150–156

31. Mahato P, Badoni A and Chauhan JS (2009) Effect of Azotobacter and nitrogen on seed germination and early seedlind growth in tomato. Researcher, 1(4). http: www. Sciencepub. Net.

Archive of SID
www.SID.ir

32. Mendham AJ, Shipway PA and Scott RK (1991) The effects of delayed sowing and wheather on growth, development and yield of winter oilseed rape (Brassica napus L). Journal of Agricultural Sciences. 96:389-416.

33. Mirzakhani M, Ardakani MR, Aeene Band A, Shirani Rad AH and Rejali F (2009) Effects of dual inoculation of Azotobacter and mycorrhiza with nitrogen and phosphorus fertilizer rates on grain yield and some of characteristics of spring safflower. International Journal of Environmental Science and Engineering. 1:1.

34. Mrkovacki N and Milic V (2001) Use of Azotobacter chroococcum as potential useful in agricultural application. Annual Microbiology. 51: 145-158.

35. Narula N, Kumar V, Behl RK, Deubel A, Gransee A and Merbach W (2000) Effect of P-solubilizing Azotobacter chroococcum on N, P and K uptake in P-responsive wheat genotypes grown under greenhouse conditions. Journal of Plant Nutrition. 163: 393-398.

36. Naseri R and Mirzaei A (2010) Response of yield and yield components of safflower (Carthamus tinctorius L.) to seed inoculation with Azotobacter and Azospirillum and differents nitrogen levels under dry land conditions. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences. 9(4):445-449.

37. Shaheen AM, Rizk FA, Omiama B, Sawan M and Ghoname AA (2007) The integrated use of bio-inoculants and chemical nitrogen fertilizer on growth,yield and nutritive value of two Okra (Abelmoschus esculentus L.) cultivars. Australian Journal of Basic and Applied Sciences. 1(3): 307-312.

38. Sharma SD, Kumar P, Raj H and Bhardwaj SK (2009) Isolation of arbuscular mycorrhizal fungi and Azotobacter chroococcum from local litchi orchards and evaluation of their activity in the air-layers system. Scientia Horticulturae. 123: 117–123.

39. Soleymanifard A and Siadat SA (2011) Effect of inoculation with biofertilizer in different nitrogen levels on yield and yields components of safflower under dry land conditions. American Urasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences. 11(4): 473-477.

40. Timmusk S (2003) Mechanism of Action of the Plant Growth Promoting Bacterium Paenibacillus polymixa. Acta universitatis Upsaliensis. Comprehensive Summaries of Upsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology 908. 40 pp. Uppsala.

41. Turan M Gulluce M Karadayi M Baris O and Sahin F (2011) Role of soil enzymes produced by PGPR strains in wheat growth and nutrient uptake parameters in the filed conditions. Abstracts/Current Opinion in Biotechnology. 22: 15–152.

42. Yasari E, Esmaeili MA, Mozafari S and Alashti M (2009) Enhancement of growth and nutrient uptake of rapeseed (Brassica napus L.) by applying mineral nutrients and biofertilizaers. Pakistan Journal of Biological Science. 12(2): 127-133.

43. Zaidi A and Khan MS (2006) Co-inoculation effects of phosphate solubilizing microorganisms and Glomus fasciculatumon green gram- Bradyrhizobium symbiosis. Turkish Journal of Agricultural Forest. 30: 223-230.

Archive of SID

www.SID.ir