بررسی اثر باکتری‌های حل‌کننده فسفات بر عملکرد و محتوای فسفر برگ و دانه ارقام کلزا

مجید صفری عربی[۱و۲]، شهرام لک*[۲]، عادل مدحج[۳]، محمودرضا رمضان‌پور[۴] و حمیدرضا مبصر[۵]

۱) گروه زراعت، پردیس علوم و تحقیقات خوزستان، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.
۲) گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.
۳) گروه زراعت، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران.
۴) عضو هیات علمی بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران.
۵) گروه زراعت، واحد قائم‌شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائم‌شهر، ایران.

این مقاله برگرفته از رساله دکتری می‌باشد.

***نویسنده مسئول: sh.lak@iauahvaz.ac.ir**

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۰۱ **تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۲/۰۵**

چکیده

فسفر نقش مهمی در رشد و نمو گیاه کلزا ایفا می‌کند. با این وجود در یک دوره زمانی کوتاه، دو سوم کودهای شیمایی فسفاته مصرفی به شکل غیر قابل دسترس در خاک تثبیت می‌شود. لذا تنها راه استفاده از فسفر تجمع یافته در اراضی، به‌کارگیری کودهای بیولوژیک فسفاته است. این آزمایش به روش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ اجرا شد. تیمارها شامل پنج باکتری سودوموناس (سودوموناس‌فلورسنس ۱ (PSf1)، سودوموناس‌فلورسنس ۲ (PSf2)، سودوموناس-پوتیدا ۱ (PSp1)، سودوموناس پوتیدا ۲ (PSp2) و عدم مصرف باکتری (PS0)) و چهار سطح کود فسفره سوپرفسفات‌تریپل (بدون کود، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) و دو رقم کلزای هایولای ۴۰۱ و ساری گل بود. نتایج نشان داد اثر سطوح مختلف تیمارهای باکتری حل‌کننده فسفات بر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، وزن هزار دانه، محتوای فسفر برگ و دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثر سطوح مختلف کود فسفره برعملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، وزن هزار دانه، محتوای فسفر برگ و دانه در سطح آماری یک درصد و بر تعداد خورجین در بوته در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. برهم‌کنش مصرف کود فسفره و باکتری‌های حل‌کننده فسفات بر عملکرد دانه، محتوای فسفر برگ و دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با مصرف باکتری‌های حل‌کننده فسفات، به ویژه باکتری سودوموناس پوتیدا ۲ (PSp2) می‌توان از مصرف کود شمیایی فسفره به میزان ۲۵ درصد کاست تا موجب کاهش هزینه تولید و مخاطرات زیست محیطی شد.

واژه‌های کلیدی: کود زیستی، تلقیح و حلالیت فسفر.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-08-21]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.38.8.0]

مقدمه

با توجه به تثبیت فسفر در خاک، افزایش قیمت کودهای شیمیایی و آلودگی محیط زیست، ارائه راه‌کارهایی به منظور آزاد سازی فسفر تثبیت شده در خاک همراه با افزایش محصول و کاهش مصرف کودهای شیمیایی فسفاته دارای اهمیت زیادی می‌باشد. استفاده از کودهای بیولوژیک به ویژه انواع باکتری‌های حل کننده فسفات، مهم‌ترین راه حل این مشکل است (Lee and Song, 2007). حداکثر حلالیت فسفر، در اسیدیته شش و شش و نیم خاک است. در خاک‌های با چنین اسیدیته‌ای نیز، بخشی از فسفر تثبیت شده و به تدریج آزاد و در اختیار گیاه قرار می‌گیرد. تثبیت سریع فسفر و محدودیت حرکت آن موجب شد تا بیش از ۹۰ درصد کودهای فسفره مصرفی، در محدوده اختلاط باقی مانده و حداکثر تا چند سانتی‌متر در خاک حرکت کنند. تثبیت سریع و عدم تحرک فسفر در خاک، باعث شده تا مقدار کود فسفره مصرفی، یک و نیم تا دو برابر مقدار مورد نیاز گیاه باشد (خواجه‌پور،۱۳۸۳). کمبود غلظت فسفات‌های قابل جذب خاک‌های زراعی، باعث شده تا از سال‌ها پیش تاکنون، برای رفع کمبود فسفر مورد نیاز گیاهان، این عنصر را به‌صورت کودهای شیمیایی فسفردار به خاک اضافه شود (Pant and Reddy, 2003). تثبیت فسفر در خاک موجب می‌شود تا فقط ۲۰ الی ۲۵ درصد از کودهای فسفره داده به خاک مورد استفاده گیاه قرار گیرد (Hedley *et a*l., 2009). Afzal و همکاران (۲۰۰۵) بیان کردند که در یک دوره زمانی کوتاه، بیش از ۶۵ درصدکودهای شیمایی فسفاته مصرفی، به شکل غیرقابل دسترسی در خاک، تثبیت می‌شوند. ملکوتی (۱۳۸۹)، کاهش عملکرد ناشی از مصرف کود فسفاته در محصولات را به‌دلیل نسبت بالای فسفر به روی و یا فسفر به آهن، تجمع بور، مولیبدن و کادمیوم در بافت گیاهی بیان نمود. Khan و همکاران (۲۰۰۹) اظهار نمودند از جمله مهم‌ترین تکنیک‌های توسعه پایدار کشاورزی، استفاده از کودهای بیولوژیکی به منظور افزایش تولید، کاهش آلودگی‌های زیست محیطی و بهبود تنوع زیستی ریزجانداران در خاک بوده و سودوموناس‌ها از برترین باکتری‌های حل‌کننده‌ی فسفات هستند. آزادسازی فسفر توسط این باکتری‌ها، با میزان فسفر قابل دسترس در خاک و مقدار انتقال آن به گیاه در ارتباط است. ریزجانداران، با معدنی کردن فسفر آلی خاک از طریق محلول شدن فسفات‌های رسوب شده، دسترسی گیاهان به فسفر را افزایش داد (Pradhan and Sukla, 2005 ؛Kang *et al*., 2002 ؛Chen *et al*., 2006). استفاده از ریزجانداران حل کننده فسفات، می‌تواند عملکرد محصول را تا ۷۰ درصد افزایش دهد (Verma, 1993). نتایج تحقیق کاربرد همزمان باکتری‌های حل‌کننده فسفات و سایر باکتری‌های محرک رشد، نشان داد که می‌توان با کاربرد این باکتری‌ها، بدون کاهش معنی‌داری در عملکرد محصولات، مصرف کودهای فسفاته را تا ۵۰ درصد کاهش داد (Jilani *et al*., 2007 ؛Richardson, 2001). تثبیت یا معدنی شدن کودهای شیمیایی فسفاته غیر آلی و محلول در خاک، از عوامل مهم عدم دسترسی گیاه به فسفر می‌باشد. لذا توجه به این موضوع، چشم‌انداز خوبی را برای تولید پایدار

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-08-21]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.38.8.0]

محصولات کشاورزی فراهم می‌سازد (Dey, 2008). ریزجانداران با آزادسازی فسفات‌های تثبیت شده، نقشی کلیدی را در تامین فسفر و بهبود رشد گیاهان بر عهده دارند (Richardson, 2001؛Chuang *et al*., 2006 ؛Kucey *et al*., 1989). ریزجانداران با توان حل‌کنندگی فسفات، با افزایش فراهمی فسفر محلول بر سایر فرآیندهای مهم میکروبی خام مانند تثبیت بیولوژیک نیتروژن نیز اثر مثبتی دارند (Ponmurugan and Gopi, 2006). در میان جمعیت انواع باکتری‌های ریزوسفری، سودوموناس‌ها، باسیلوس‌ها، ریزوبیوم‌ها و آنتوباکترها همراه با قارچ‌های پنیسیلیوم و آسپرژیلوس به عنوان مفیدترین حل‌کننده‌های فسفات گزارش شده‌اند (Whitelaw, 2000). باکتری‌های جنس سودوموناس به‌دلیل توزیع گسترده آن‌ها در خاک، توانایی کلونیزاسیون ریزوسفر بسیاری از گیاهان و تولید طیف متنوعی از متابولیت‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. از مهم‌ترین صفات محرک رشد گیاه، توان حل‌کنندگی فسفات آن‌ها است (Ramezanpour, 2010؛ Rashid *et al*., 2004). اثر باکتری‌های مذکور در افزایش عملکرد گیاهان مختلف مثل برنج و کلزا گزارش شده است (Cakmakc *et al*., 2006؛ Patwardhan, 2007 ؛Ramezanpour, 2009 ؛Ramezanpour, 2010). نتایج تحقیقات نشان داد که کاربرد سویه‌هایی از سودوموناس فلورسنس و سودوموناس پوتیدا، طول ریشه و اندام هوایی کلزا و گوجه‌فرنگی و هم‌چنین عملکرد گندم، برنج و چغندر قندرا افزایش داد (Egamberdiyevaa *et al*., 2003؛ Dobbelaere *et al*., 2002؛ Rodriguez and fraga, 1999). Yasari و همکاران (۲۰۰۸) بیان نمودند که تلقیح کلزا با ازتوباکتر و آزسپریلیوم، موجب افزایش درصد روغن دانه کلزا شد. فسفر مورد نیاز کلزا بستگی به مقدار آن در خاک و میزان معدنی شدن آن در خاک دارد. مقدار فسفر مورد نیاز کلزا بسته به پتانسیل عملکرد منطقه، ۱۰۰ تا ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار گزارش شد (Astaraie and Koochaki, 1996). نتایج بررسی مدنی و همکاران (۱۳۸۹) در کاربرد باکتری‌های حل-کننده فسفر و رابطه آن با میزان مصرف کود شیمیایی فسفات آمونیوم در زراعت کلزای پاییزه نشان داد که مقادیر مختلف فسفات آمونیوم، تعداد خورجین در بوته و وزن هزار دانه را به‌طور معنی‌داری تغییر داد. هم‌چنین مصرف کود بیولوژیک فسفر، عملکرد روغن را نیز افزایش داد. سطوح مختلف کود شیمیایی فسفات آمونیوم (صفر، ۱۲۵ و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار)، اثر معنی‌داری بر تعداد خورجین در بوته کلزا داشت (بوربوری و همکاران، ۱۳۹۰). فسفر موجب افزایش تعداد شاخه‌های گل‌دهنده، طول دوره گلدهی، وزن خشک کل و تعداد و وزن خشک خورجین شد (Karper and Andri, 1991). مصرف ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفره، موجب افزایش معنی‌دار عملکرد و پروتئین دانه کلزا شد (Nuttall *et al*., 1987). رشد اولیه گیاهچه کلزای تلقیح شده با گونه اولیه و جهش یافته باکتری سودوموناس پوتیدا در شرایط تنش سرما و شوری نشان داد که گونه‌های اولیه و جهش یافته باکتری باعث افزایش رشد کلزا شدند (Khan *et al*., 2007). در نتایج بررسی Yazdani و همکاران (۲۰۰۹) گزارش شد که تلقیح ذرت با باکتری‌های محرک رشد و ریزجانداران حل‌کننده

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-08-21]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.38.8.0]

فسفات، مصرف کود فسفاته را ۵۰ درصد کاهش و بر عملکرد اثر مثبتی داشت. Warade و همکاران (۱۹۹۶) در بررسی جایگزینی کودهای فسفره بیولوژیک با کودهای معدنی، افزایش عملکرد هفت الی ۴۷ درصدی در پیاز را به‌واسطه کاربرد کودهای بیولوژیک، گزارش کردند. با وجود اهمیت کلزا در دنیا به‌عنوان یک منبع غنی از روغن و پروتئین، عملکرد این محصول در استان مازندران به‌دلیل کاهش حلالیت فسفر، محدود شد. لذا پژوهش حاضر با هدف مطالعه توان حل‌کنندگی فسفات در گونه‌های مختلف باکتری و امکان کاهش مصرف کودهای شیمیایی فسفره و جایگزینی آن با کود فسفره بیولوژیک در زراعت کلزا جهت نیل به توسعه پایدار در بخش تولید دانه‌های روغنی پاییزه در کشور، افزایش درآمد کشاورزان و کاهش آلودگی محیط زیست، طراحی و اجرا شد.

موادو روش‌ها

این آزمایش به‌روش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه‌ای در شهرتان بابلسر استان مازندران با طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۳۹ دقیقه و۳۰ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۳ دقیقه شمالی و ارتفاع ۲۱ متر پایین‌تر از سطح آزاد دریا در سال‌های زراعی ۱۳۹۰ - ۱۳۸۹ و ۱۳۹۱- ۱۳۹۰ اجرا شد. تیمارها شامل پنج باکتری سودوموناس (سودوموناس‌فلورسنس ۱ (PSF1)، سودوموناس‌فلورسنس ۲ (PSF2)، سودوموناس‌پوتیدا ۱ (PSP1)، سودوموناس‌پوتیدا ۲ (PSp2) و عدم مصرف باکتری (PS0) و چهار سطح کود فسفره (بدون کود، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) و دو رقم کلزای هایولای ۴۰۱ و ساری گل بود. باکتری‌های سودوموناس مورد استفاده، از بین سویه‌های برتر حل‌کننده فسفر انتخاب و تهیه شدند (Ramezanpour, 2009). نتایج تجزیه‌های شیمیایی و فیزیکی آزمایشگاه خاک، مزارع انتخاب شده در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱ : خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

سال زراعی	EC	pH	ماده‌آلی (درصد)	نیتروژن (درصد)	فسفر قابل تبادل (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	پتاسیم قابل تبادل (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	بافت خاک
۹۰- ۱۳۸۹	۱/۲۰	۷/۴	۱/۴۶	۰/۱۲	۶/۵	۱۹۰	لومی رسی
۹۱- ۱۳۹۰	۱/۲۵	۷/۳۴	۱/۶	۰/۱۲۶	۶	۲۰۱	لومی رسی

قبل از اجرای آزمایش، نمونه خاک مرکبی از چندین مزرعه به‌طور مجزا گرفته و مزرعه‌ای با فسفر خاک در حد بحرانی انتخاب شد. باکتری‌های مورد نظر را ابتدا در محیط کشت های مناسب رشد داده و پس از تولید کلنی مخصوص، در ارلن-های حاوی محیط کشت نوترینت بروث رشد داده و پس از تعیین غلظت، بسته بندی و به یخچال منتقل شدند. بذرها به مدت یک شبانه روز در دمای ۲۴ درجه سانتی‌گراد با باکتری‌های مذکور در غلظت $10^8 CFU$ به ازای هر گرم بذر، تلقیح شدند. تیمار عدم تلقیح با باکتری در آب مقطر استریل جوانه‌دار و سپس در کرت‌های آزمایشی مخصوص به هر تیمار

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-08-21]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.38.8.0]

کشت شدند. هر کرت شامل نه خط کاشت با فواصل کاشت ۳۰ سانتی‌متر و طول پنج متر در سطح ۱۳/۵ مترمربع بود. بوته‌ها در دو مرحله رشدی تنک و به تراکم ۸۰ بوته در مترمربع رسیدند. برای کنترل تداخل باکتری‌ها، بین تکرارها جوی ایجاد شد. محتوای فسفر برگ و دانه به روش اولسن تعیین شد (امامی، ۱۳۷۵). در طول آزمایش جهت کنترل علف‌های هرز از وجین دستی استفاده شد. صفات مورد بررسی شامل عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، وزن هزار دانه، تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین و محتوای فسفر برگ و دانه بود. نتایج حاصل از این آزمایش با استفاده از نرم‌افزار MSTATC تجزیه آماری و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس جدول ۲ نشان داد که اثر ساده و هم‌چنین برهم‌کنش سوپرفسفات‌تریپل و باکتری‌های حل‌کننده فسفات بر عملکرد دانه کلزا در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول۲). علی‌رغم معنی‌دار نشدن برهم‌کنش باکتری و کود فسفره در سطح احتمال پنج درصد بر صفات تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه و عملکرد بیولوژیک، ولیکن برآیند بهبود صفات مذکور منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد شد. اثر کود فسفر بر صفات عملکرد بیولوژیک، وزن هزار دانه، محتوای فسفر برگ و دانه در سطح احتمال یک درصد و بر تعداد خورجین در بوته، در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. مصرف ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی سوپرفسفات‌تریپل با عملکرد دانه ۳۷۱۱ کیلوگرم در هکتار، ۳۰/۱ درصد عملکرد دانه را در مقایسه با شاهد افزایش داد، اما با افزایش مصرف کود فسفره به ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار، عملکرد دانه کاهش یافته و به میانگین ۳۵۷۰ کیلوگرم در هکتار رسید که با نتایج ملکوتی (۱۳۸۹) که بیان می‌دارد افزایش مصرف کودهای فسفره در برخی موارد نه تنها عملکرد کلزا را چندان افزایش نمی‌دهد، بلکه موجب برهم زدن تعادل عناصر غذایی و کاهش عملکر دانه کلزا شد همخوانی دارد.

جدول ۲: خلاصه نتایج تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در واکنش به کاربرد سوپرفسفات تریپل و باکتری‌های حل کننده فسفات

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	تعداد خورجین در بوته	تعداد دانه در خورجین	وزن هزار دانه
تکرار	۲	۹۸۲۴۶۱/۷۹۹ ns	۷۲۴۷۸۴۴/۷۱۲ ns	۱۰۱۷۵۴/۲۷۳ ns	۱/۲۶ ns	۰/۰۰۷ ns
باکتری	۴	۲۱۲۹۶۳۱/۲۹۸ **	۱۹۵۷۳۴۴۲/۲۲ **	۴۳۱۷/۵۵ ns	۴۳/۷۴۰ ns	۰/۴۴۶ **
فسفر	۳	۸۸۱۸۹۲۳/۸۳۷ **	۸۶۰۰۸۸۶۴/۸۶ **	۱۷۹۰۶/۰۶ *	۲۳/۷۸۰ ns	۱/۳۲۲ **
باکتری × فسفر	۱۲	۲۹۰۱۸۹/۸۶۲ **	۳۲۶۸۷۱۳/۸ ns	۴۴۳۳/۲۱ ns	۴۶/۳۷۱ ns	۰/۱۳۲ ns
خطای آزمایش	۱۸۷	۸۷۱۸۷/۵۴۱	۴۷۴۸۴۲۹/۰۰	۵۴۱۹/۴۸	۱۱۹۸/۸۱۰	۰/۱۲۹
ضریب تغییرات (٪)		۸/۸۴	۱۵/۹۵	۴۰/۱۹	۱۳/۱۱	۱۰/۰۳

ns: فاقد تفاوت معنی دار *و **: به ترتیب تفاوت معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-08-21]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.38.8.0]

کاربرد کود فسفره، عملکرد بیولوژیک را افزایش داد و بیش‌ترین عملکرد بیولوزیک در تیمار مصرف ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی سوپرفسفات‌تریپل با ۲۱/۵ درصد برتری نسبت به تیمار شاهد به‌دست آمد (جدول ۳). مصرف کود فسفره موجب افزایش وزن هزار دانه کلزا شد و بیش‌ترین وزن هزار دانه در تیمار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات‌تریپل حاصل شد. مصرف ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفره، با تعداد ۲۰۷/۲ خورجین در بوته، ۲۴/۲ درصد برتر از تیمار عدم مصرف کود فسفر بود که با نتایج بوربوری و همکاران (۱۳۹۰) مبنی بر افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه و تعداد خورجین در بوته کلزا به واسطه افزایش مصرف کود شیمیایی فسفات آمونیوم و نتایج مدنی و همکاران (۱۳۸۹)، مطابقت داشت، به‌طوری که کود فسفره، تعداد خورجین دربوته، وزن هزار دانه و عملکرد دانه را افزایش داد. کاربرد کود فسفره موجب تغییرات معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر محتوای فسفر برگ و دانه داشت. مصرف کود شیمیایی سوپرفسفات تریپل به مقادیر ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار، میزان فسفر تجمعی در برگ و دانه در مقایسه با عدم مصرف کود فسفره افزایش یافت. مصرف ۱۵۰ کیلوگرم در هکتارکود فسفره، بالاترین محتوای فسفر برگ و دانه را به ترتیب با میانگین ۰/۲۸۹۷ درصد و ۰/۵۳۷۰ درصد، ۲۱ و ۱۹ درصد برتر از تیمار عدم مصرف کود فسفره بود (جدول ۳). بررسی‌های warade و همکاران (۱۹۹۶) که به مطالعه اثر جایگزینی کودهای بیولوژیکی فسفر در پیاز اختصاص داشت و نیز تحقیق نورقلی‌پور و همکاران (۱۳۸۲) روی ذرت نیز نتایج این تحقیق را مورد تایید قرار داد، به‌طوری‌که در این بررسی‌ها، با کاربرد کود فسفره بیولوژیک، عملکرد پیاز هفت تا ۴۷ درصد و عملکرد ذرت ۱۴ تا ۳۳ درصد افزایش یافت که حاکی از کارایی بیش‌تر مصرف کودهای فسفره بیولوژیکی در مقایسه با کودهای معدنی بود.

جدول ۳: مقایسه میانگین اثر ساده مصرف کود فسفره سوپرفسفات تریپل بر صفات مورد بررسی

سوپرفسفات تریپل (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار)	وزن هزار دانه (گرم)	تعداد خورجین در بوته	تعداد دانه در خورجین	غلظت فسفر اندام هوایی (درصد)	غلظت فسفر دانه (درصد)
P۲۰۰	۳۵۷۰b	۱۴۴۸۰a	۳/۷۲۴a	۱۷۶/۵b	۱۹/۷۳a	۰/۲۸۳۷b	۰/۵۰۷۰a
P۱۵۰	۳۷۱۱a	۱۴۷۲۰a	۳/۶۷۲a	۲۰۷/۲a	۱۹/۵۰a	۰/۲۸۹۷a	۰/۵۳۷۰a
P۱۰۰	۳۲۲۹c	۱۳۳۳۰b	۳/۵۲۴b	۱۸۲/۳ab	۱۹/۰۲a	۰/۲۶۳۵c	۰/۵۰۱۸b
P۰	۲۸۵۲d	۱۲۱۱۰c	۳/۳۹۷b	۱۶۶/۷b	۱۸/۹۹a	۰/۲۳۸۲d	۰/۴۵۱۲c

در هر ستون میانگین هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

اثر باکتری‌های حل‌کننده فسفات بر عملکرد دانه و وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد و بر عملکرد بیولوژیک در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. بیش‌ترین عملکرد دانه با میانگین ۳۵۸۷ کیلوگرم در هکتار مربوط به باکتری

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-08-21]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.38.8.0]

سودوموناس پوتیدا۲ (PSp2) بودکه عملکرد دانه را نسبت به تیمار عدم مصرف باکتری، ۱۷/۴درصد افزایش داد (جدول۴). باکتری‌های سودوموناس پوتیدا ۱و ۲ (PSp2, PSp1) بیش‌ترین وزن هزار دانه را داشتند و سودوموناس فلورسنس۲ (PSf2) تفاوت معنی‌داری در وزن هزار دانه با سه باکتری دیگر نشان داد. باکتری‌های سودوموناس فلورسنس ۱ (PSf1) و سودوموناس پوتیدا ۱ (PSp1) با میانگین عملکرد بیولوژیک ۱۳۸۵۰ کیلوگرم در هکتار، ۹/۲ درصد برتر از تیمار شاهد بودند. کاربرد باکتری‌ها بر صفات تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، معنی داری نبود. کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفات نیز محتوای فسفر برگ و دانه را افزایش‌داد و سویه پوتیدا ۲ با ۰/۳۸ درصد و ۰/۵۶ درصد به ترتیب بیش‌ترین محتوای فسفر برگ و دانه را داشت (جدول ۴).

نتایج مدنی و همکاران (۱۳۸۹) که به مطالعه اثر باکتری‌های تحریک‌کننده رشد در کلزا و نیز بررسی‌های Warade و همکاران (۱۹۹۶) و Sharma و همکاران (۱۹۹۷)، نتایج این تحقیق را مورد تایید قرار می‌دهد. برهم‌کنش کود شیمیایی فسفره سوپر فسفات تریپل و باکتری‌های حل‌کننده فسفر بر عملکرد دانه نشان داد که عدم مصرف کودشیمیایی و یا جایگزینی بخشی از آن با کود فسفره بیولوژیک هم‌چنان موجب افزایش عملکرد دانه شد. افزایش مصرف کود شیمیایی فسفره به مقدار ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار با کاربرد باکتری‌های سودوموناس نیز از این چنین روندی پیروی نمود.

جدول ۴: مقایسه میانگین اثر ساده کاربرد باکتری‌های‌حل‌کننده‌ی فسفات بر صفات مورد بررسی

باکتری	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار)	وزن هزار دانه (گرم)	تعداد خورجین در بوته	تعداد دانه در خورجین	محتوای فسفر برگ (درصد)	محتوای فسفر دانه (درصد)
PS f1	۳۳۶۲b	۱۳۸۵۰a	۳/۶۴۶a	۱۷۹/۹a	۱۹/۰۳a	۰/۲۴۴۰c	۰/۴۹۶۹b
PSp1	۳۴۸۱ab	۱۳۸۵۰a	۳/۶۵۴a	۱۷۶/۴a	۱۹/۷۷a	۰/۳۱۸۱b	۰/۴۹۸۸b
PSf2	۳۲۱۸c	۱۳۵۰۰ab	۳/۴۸۴b	۱۷۷/۸a	۱۸/۷۸a	۰/۲۰۳۵d	۰/۵۰۶۳b
PSp2	۳۵۸۷a	۱۴۴۱۰a	۳/۶۴۹a	۱۸۲/۱a	۱۹/۱۰a	۰/۳۸۳۵a	۰/۵۶۰۰a
PS0	۳۰۵۵d	۱۲۶۸۰b	۳/۴۶۴b	۱۹۹/۷a	۱۹/۸۶a	۰/۱۹۴۶e	۰/۴۳۴۴c

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

در صورت کاربرد باکتری‌ها، با افزایش کود فسفره به ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار، عملکرد دانه کاهش یافت (جدول ۵). این نتایج می‌تواند ناشی از برهم‌خوردن تعادل عناصر غذایی باشد که با نتایج بررسی ملکوتی (۱۳۸۹) که بیان می‌دارد افزایش مصرف کودهای فسفره در برخی موارد نه تنها عملکرد کلزا را چندان افزایش نمی‌دهد، بلکه با برهم زدن تعادل عناصر غذایی، موجب کاهش عملکرد دانه کلزا شد، همخوانی دارد.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-08-21]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.38.8.0]

جدول ۵ : نتایج مقایسه میانگین صفات مورد بررسی در برهم‌کنش مصرف سوپرفسفات تریپل و باکتری‌های حل‌کننده فسفات

باکتری	سوپرفسفات تریپل (کیلوگرم در هکتار)	غلظت فسفر دانه (درصد)	غلظت فسفربرگ (درصد)	عملکرددانه (کیلوگرم در هکتار)
Psf1	P۲۰۰	۰/ ۴۹۸۳ ghi	۰/ ۲۵۳۳ i	۳۴۹۵ defg
Psp1	P۲۰۰	۰/۴۸۵۸ hij	۰/۳۳۱۷ f	۳۶۴۰ cde
Psf2	P۲۰۰	۰/۵۲۱۷ defg	۰/۲۲۱۱۱ j	۳۵۹۸ cdef
Psp2	P۲۰۰	۰/ ۵۵۶۷bc	۰/۳۹۰۰ b	۳۷۲۶ cd
Ps0	P۲۰۰	۰/۴۷۲۵ ijk	۰/۲۲۱۷ J	۳۳۸۹ efghi
Psf1	P۱۵۰	۰/۵۳۵۰ cde	۰/۲۷۳۳ h	۷ ۳۸۰ bc
Psp1	P۱۵۰	۰/۵۴۱۷ cd	۰/ ۳۴۹۲ e	۳۹۹۵ ab
Psf2	P۱۵۰	۰/ ۵۳۲۵ cdef	۰/۲۰۵۰ k	۳۳۳۳ fghi
Psp2	P۱۵۰	۰/ ۶۲۰۸ a	۰/۴۱۴۲ a	۴۲۰۲ a
Ps0	P۱۵۰	۰/۴۵۵۰ kl	۰/۲۰۶۷ k	۳۲۲۱ hi
PSf1	P۱۰۰	۰/۵۰۵۰ fgh	۰/۲۰۶۷ k	۳۲۳۹ ghi
PSp1	P۱۰۰	۰/۵۰۷۵ efgh	۰/۳۱۱۷ g	۳۳۶۸ fghi
PSf2	P۱۰۰	۰/۴۹۸۳ ghi	۰/۱۸۸۳ l	۳۱۲۰ ij
PSp2	P۱۰۰	۰/۵۷۰۰ b	۰/۳۷۱۷ c	۳۴۵۷ efgh
PS0	P۱۰۰	۰/۴۲۸۳ l	۰/۲۰۰۰ k	۲۹۶۲ jk
PSf1	P۰	۰/۴۴۹۲ kl	۰/ ۲۰۳۳ k	۲۹۰۸ jk
PSp1	P۰	۰/۴۶۰۰ jk	۰/ ۲۸۰۰ h	۲۹۲۰ jk
PSf2	P۰	۰/۴۷۲۵ ijk	۰/۱۸۵۸ l	۲۸۲۳ kl
PSp2	P۰	۰/۴۹۲۵ hl	۰/۳۵۸۳ d	۲۹۶۲ jk
PS0	P۰	۰/۳۸۱۷ m	۰/۱۶۳۳ m	۲۶۴۸ l
LSD (%)		۰/۰۲۵۴۷	۰/۰۰۸۰۵۴	۲۳۷/۸

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-08-21]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.38.8.0]

در تیمار عدم مصرف کود فسفره، هر چهار باکتری عملکرد دانه را در سطح احتمال یک درصد افزایش و باکتری سودوموناس پوتیدا ۲، عملکرد دانه را ۱۱/۸درصد افزایش دادند که از اثر باکتری‌ها بر حلالیت فسفر تثبیت شده درخاک حکایت داشت. عملکرد دانه با مصرف ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفره همزمان با باکتری‌ها، نیز از چنین روندی پیروی نمود، به‌طوری که کاربرد باکتری سودوموناس پوتیدا ۲ (PSp2) به همراه ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفره با عملکرد دانه ۴۲۰۲ کیلوگرم در هکتار نسبت به تیمار عدم مصرف باکتری و کود فسفره، عملکرد دانه را ۵۸/۷ درصد افزایش داد. هم‌چنین با مصرف باکتری‌های حل‌کننده فسفات، میزان عملکرد دانه در هرحال بیش‌تر از شرایطی است که از کودهای شیمیایی به تنهایی استفاده شود (جدول ۵). بنابراین درصورت استفاده از کود بیولوژیکی فسفره در زراعت کلزا، می‌توان بدون کاهش عملکرد دانه، میزان مصرف کودهای شیمیایی فسفره را به میزان ۲۵درصد کاهش داد که با نتایج Rodriguez و Fraga (۱۹۹۹) و yazdani و همکاران (۲۰۰۹) مطابقت داشت.

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان‌داد کاربرد مقادیر مختلف فسفر و باکتری‌های حل‌کننده‌ی فسفات، عملکرد دانه و محتوای فسفر برگ و دانه را افزایش داد. کود فسفره سوپرفسفات‌تریپل به واسطه تغییرات معنی‌دار در صفات وزن هزار دانه و تعداد خورجین در بوته، افزایش عملکرد دانه را موجب شد. هم‌چنین با کاربرد همزمان باکتری‌های حل‌کننده‌ی فسفات و کود فسفره می‌توان از مصرف کود فسفره به میزان ۲۵ درصد کاست و از این نظر باکتری سودوموناس پوتیدا ۲ برتر از سایر باکتری‌های‌حل-کننده‌ی فسفات بود.

سپاسگزاری

از همکاری مسئول آزمایشگاه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی مازندران و همکاران ایشان در جهت انجام تحقیق کمال تشکر را دارم.

منابع

امامی، ع. ۱۳۷۵. روش های تجزیه گیاه. جلد اول، نشریه فنی شماره ۹۸۲، موسسه تحقیقات خاک و آب.

آستارایی، ع. ر. و کوچکی. ع. ۱۳۷۵. کاربرد کودهای بیولوژیک در کشاورزی پایدار (ترجمه). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۱۶۸ صفحه.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-08-21]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.38.8.0]

بوربوری، م.، همتی. م. و ارادتمند. د. ۱۳۹۰. زراعت حفاظتی کلزا به کمک باکتری های محلول کننده فسفر. اولین همایش ملی راهبردهای دستیابی به کشاورزی پایدار.

خواجه پور، م. ر .۱۳۸۳ . گیاهان صنعتی. انتشارات جهاد دانشگاهی صنعتی اصفهان. ۳۵۴ صفحه.

ملکوتی، م. ج. ۱۳۸۹. رابطه‌ی مصرف بهینه‌ی کود و تولید محصولات کشاورزی سالم. مجله علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی و علف‌های هرز، سال چهارم، شماره ۱۶ صفحه ۱۵۰- ۱۳۳.

مدنی، ح.، نادری، غ. و پازوکی، ع. ۱۳۸۹. اثر کاربرد باکتری‌های محلول کننده فسفر و کود شیمیایی فسفات آمونیوم در زراعت کلزای پاییزه. مجله علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی و علف‌های هرز، سال چهارم، شماره ۱۶ صفحه ۹۵- ۱۰۸.

نورقلی پور، ف.، خاوازی، ک. و خوش‌کام، ت.گ، ۱۳۸۲. تأثیر کاربرد خاک فسفاته به همراه تیوباسیلوس و میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات بر عملکرد کمی و کیفی ذرت، سومین همایش ملی توسعه کاربرد مواد بیولوژیک و استفاده بهینه از کود و سم درکشاورزی. صفحه۲۸۰-۲۹۴.

Afzal, A., Ashraf, M., Asad, S. A.and Farooq, M. 2005. Effect of phosphate solubilizing microorganisms on phosphorus uptake, yield and yield traits of wheat (*Triticum aestivum* L.) in rainfed area. Int. J. Agric. Biol. 7: 207–209.

Chen, Y. P., Rekha, P. D., Arunshen, AB., Lai, W. A. and Young, C. C. 2006. Phosphate solubilizing bacteria from subtropical soil and their tricalcium phosphate solubilizing abilities. Appl. Soil Ecol. 34:33-41.

Chuang, C. Y., Kuo, B. and Chao, W. 2006. Solubilisation of inorganic phosphates and plant growth promotion by *Aspergillus niger*. BiologiFertili Soils. 43 (5): 579 -584.

Dey, K. B. 1988. Phosphate solubilizing organisms in improving fertility status Biofertilizers, potentialities and problems. P. 237- 248.In. Sen et al. (ed). Plant physiology Forum. Calcutta.

Dobbelaere, S., Croonenborghs, A., Thys, A., Ptacek, D., Okon, M. and Vanderleyden, J. 2002. Effect of inoculation with wild type Azospirillum brasilense and A. irakense strains on development and nitrogen uptake of spring wheat and grain maize. Biol. Fertil. Soils. 36: 284–297.

Egamberdiyevaa, D., Juraeva, D., Poberejskaya, S., Myachina, O., Teryuhova, P., Seydalieva, L. and Aliev, A. 2003. Improvement of wheat and cotton growth and nutrient uptake by phosphate solubilising bacteria. 26th Southern Conservation Tillage Conference.

Hedley, M. J., Mortvedt, J. J., Bolan, N. S. and Syers, J. K. 2009. Fertility management in agroecosystems. *In*: "P in the Global Environment, Transfers, Cyclesand Management",(Ed.): Tiessen,H.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-08-21]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.38.8.0]

pp. 59-92.

Jilani, G., Akram, A., Ali, R. M., Hafeez, F. Y., Shamsi, I. H., Chaudhry, A. N. and Chaudhry, A.G. 2007. Enhancing crop growth, nutrients availability, economics and beneficial rhizosphere microflora through organic and biofertilizers. Ann. Microbiol. 57:177-183.

Cakmakc, R. I., Donmez, F., Aydin, A. and Sahin, F. 2006. Growthpromotion of plants by plant growth promoting rhizobacteria under greenhouse and two different field soil conditions. Soil. Biol. Biochem. 38: 1482–1487.

Kang, S. C., Hat, C. G., LeE, T. G. and Maheshwari, D. K. 2002. Solubilization of insoluble inorganic phosphates by a soil-inhabiting fungus Fomitopsis sp. PS 102. Curr. Sci. 82:439- 442.

Karper, G. D. and Andri, P. H. 1991. The effect of phosphorus fertilization on Brassica campestries. Field crops research. 63:93-103.

Khan, K. S. and Joergensen, R. J. 2009. Changes in microbial biomass and P fractions in biogenic household waste compost amended with inorganic P fertilizers. Bioresour, Technol. 100:303-309.

Kucey, R. M. N., Janzen, H. H. and Leggett, M. E. 1989. Microbially mediated increases in plant available phosphorus. Advanced. Agron., 42: 199–228.

Lee, J. and Song, S. H. 2007. Evaluation of Groundwater Quality in Coastal Areas: Implications for Sustainable Agriculture. Environ. Geol. 52: 1231-1242.

Nuttall, W. F., Ukrulentz, H., Stewart, J. W. and Spurr, D. T. 1987. the effect of phosphor, sulfur and born on yield and quality of rapeseed. Can. J. Soil Science. 67:545-559.

Ponmurugan, P. and Gopi, C. 2006. Distribution pattern and screening of phosphate solubilizing bacteria isolated from different food and forage crops. J. Agron. 5:600-604.

Pradhan, N. and Sukla, L. B. 2005. Solubilization of inorganic phosphate by fungi isolated from agriculture soil. African J. Biotechnol. 5:850-854.

Ramezanpour, M. 2009. Identification of phosphate solubilizing *Pseudomonas* sp. of rice rhizosphere based on 16S rDNA genotyping. Middele – East J. Sci. Res., 4 (4): 348-353.

Ramezanpour, M., Popov, Y., Khavazi, K. and AsadiRahmani, H. 2010. Genetic diversity and efficiency of indole acetic acid production by the isolates of *fluorescent Pseudomonads* from rhizosphere of Rice (*Oryza sativa* L.). American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci. 7 (1): 103-109.

Rashid, M., Khalil, S., Ayub, N., Alam, S. and Latif, F. 2004. Organic acids production and phosphate solubilization by phosphate solubilizing microorganisms (PSM) under in vitro conditions. Pak J Biol Sci. 7:187–196.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-08-21]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.38.8.0]

Richardson, A. E. 2001. Prospect for using soil microorganisms to improve the acquisition of phosphorus by plants. Aust J Plant Physiolgy. 28: 897-906.

Rodriguez, H. and Fraga, R. 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. Biotech. Adv. 17: 319–339.

Sharma, S. K., Rao, R. M. and Singh, D. P. 1997. Effect of crop geometry and nitrogen on quality and oil yield of Brassica species. Ind. J. Agronomy., 42: 357-360.

Verma, L. N. 1993. Biofertiliser in agriculture. p. 152-183.In: P.K. Thampan (ed.). Organics in soil health and crop production. Peekay Tree Crops Development Foundation, Cochin, India.

Warade, S. D., Desale, S. B. and Shinde, K. G. 1996. Effects of inorganic and bio-fertilizers on yield of onion bulbs cv.B-780. Journal of Maharashtra Agricultural Universities, Publish. 1996, 0(3): 467-468.

Whitelaw, M. A. 2000. Growth promotion of plants inoculated with phosphate solubilizing fungi Adv. Agron. 69:99-151.

Yazdani, M., Bahmanyar, M. A., Pirdashti, H. and Esmaili, M. A. 2009. Effect of Phosphate solubilization microorganisms (PSM) and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield and yield components of Corn (*Zea mays* L.). Proc. World Acad. Science, Eng. Technol. 37: 90-92.

Yasari, E., Esmaeli, A., Pirdashti, A. M. and Mozafari, S. 2008. *Azotobacter*and *Azospirillum* inoculants as bio-fertilizers in canola (*Brassica napus* L.) cultivation. *Asian J. Plant Sci*. 7(5): 490-494.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-08-21]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.38.8.0]