نشریه علمی ـ پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد دوازدهم، شماره ۴(۴۸)، زمستان ۱۳۹۷، صفحه ۶۳۰-۶۱۵

اثر کاربرد توام باکتری‌های محرک رشد و سطوح ورمی‌کمپوست بر عملکرد کمّی و کیفی کلزای پاییزه (*Brassica napus* L.)

رضا منعم[1*]، علیرضا پازکی[2] و علی عبدزادگوهری[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۱۰ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۵/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۷/۱۱

چکیده

مدیریت تلفیقی تغذیه گیاه، راهکاری مناسب برای افزایش بهره‌وری گیاهان زراعی و بهبود محیط زیست به‌شمار می‌رود. به‌منظور بررسی اثر کاربرد باکتری‌های محرک رشد همراه با سطوح مختلف ورمی‌کمپوست بر عملکرد کمّی و کیفی کلزا، آزمایشی در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ به صورت مزرعه‌ای به اجرا درآمد. تیمارهای آزمایش شامل تلقیح و عدم تلقیح (شاهد) بذرهای کلزا با باکتری‌های محرک رشد و کاربرد سطوح مختلف ورمی‌کمپوست به مقدار صفر (شاهد)، ۴، ۸ و ۱۲ تن در هکتار بودند. نتایج نشان داد که اثرات ساده و برهم‌کنش کاربرد ورمی‌کمپوست و باکتری‌های محرک رشد بر صفات کمّی و کیفی کلزا معنی‌دار بودند. به‌طوری‌که با افزایش مقدار کاربرد ورمی‌کمپوست از ۴ تا ۱۲ تن در هکتار، افزایش معنی‌داری در صفات مورد بررسی نسبت به شاهد مشاهده شد. هم‌چنین، تلقیح بذرها با باکتری‌های محرک رشد نیز باعث افزایش مقدار صفات اندازه‌گیری شده نسبت به شاهد گردید. کاربرد ۱۲ تن ورمی‌کمپوست در هکتار به همراه باکتری‌های محرک رشد، باعث افزایش تعداد خورجین در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، شاخص برداشت و عملکرد روغن به‌ترتیب به میزان ۲۸/۶۳ عدد، ۴/۶۸ گرم، ۲/۱۰۷۸۵ کیلوگرم، ۳۴۸۴/۲ کیلوگرم، ۳۸/۰۲٪ و ۱۷۹۵/۹۳ کیلوگرم در هکتار نسبت به شاهد شد. کاربرد ۱۲ تن ورمی‌کمپوست در هکتار به همراه باکتری‌های محرک رشد در سه صفت عملکرد دانه، شاخص برداشت و عملکرد روغن منجر به افزایش به‌ترتیب ۸۳، ۴۵ و ۴۳ درصد نسبت به شاهد گردید. بنابراین، در خاک‌هایی با کمبود مواد آلی، کاربرد هم‌زمان ورمی‌کمپوست و باکتری‌های محرک رشد می‌تواند سبب افزایش معنی‌داری در عملکرد کمی و کیفی کلزا شود.

واژگان کلیدی: اجزای عملکرد، باکتری‌های محرک رشد، تنظیم کننده‌های رشد گیاهی، درصد روغن.

۱- استادیار گروه زراعت، واحد یادگار امام خمینی (ره) شهرری، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
* نگارنده‌ی مسئول rezamonaem@yahoo.com
۲- دانشیار گروه زراعت، واحد یادگار امام خمینی (ره) شهرری، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
۳- باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد اسلامشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اسلامشهر، ایران.

مقدمه

دانه کلزا با ۴۰٪ روغن و اسیدهای چرب اشباع شده پایین، یک انتخاب خوب برای رژیم غذایی سالم است (Downey and Stefansson, 2004). روغن کلزا تنها روغن خوراکی است که حاوی اسیدهای چرب گوگرددار است. قسمت عمده ترکیب اسیدهای چرب روغن کلزا را اسیدهای چرب غیراشباع تشکیل داده و میزان و نوع کودهای مورد استفاده در تغذیه کلزا از عوامل مؤثر بر کیفیت روغن می‌باشد (Ohara *et al*., 2009). از نیازهای مهم در برنامه‌ریزی مدیریت زراعی به‌منظور به‌دست آوردن عملکرد مناسب و کیفیت بهینه، توجه به تغذیه گیاه است. تغذیه صحیح گیاه یکی از عوامل مهم در بهبود کمی و کیفی محصولات کشاورزی به شمار می‌روند (Silspur and Baniafi, 2000). کاربرد کودهای شیمیایی معدنی سریع‌ترین راه برای تامین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه می‌باشد، ولی ایجاد آلودگی محیط زیست به حد نگران کننده‌ای رسیده و این در حالی است که توسعه کاربرد منابع گیاهی و دامی قابل تجدید و منابع زیستی به جای نهاده‌های شیمیایی می‌تواند نقش مهمی در باروری، حفظ فعالیت‌های زیستی، مواد آلی خاک، سلامت بوم نظام‌های زراعی و افزایش کیفیت محصولات زراعی داشته باشد (Zaidi *et al*., 2003). ورمی‌کمپوست کودی است که از طریق فرآوری ضایعات آلی نظیر کود دامی، بقایای گیاهی و غیره توسط کرم‌های خاکی حاصل می‌شود. این ماده دارای تخلخل زیاد، قدرت جذب و نگهداری بالای عناصر معدنی، تهویه و زهکشی مناسب و ظرفیت زیاد نگهداری آب بوده و امروزه استفاده از آن در کشاورزی پایدار، به‌منظور بهبود کمیت و کیفیت گیاهان زراعی مورد توجه قرار گرفته است (Arancon *et al*., 2004). کاربرد ورمی‌کمپوست به‌طور معنی‌داری عملکرد و ویژگی‌های کیفی لوبیا را بهبود بخشیده و باعث تسهیل جذب عناصر و تحریک رشد ریشه می‌شود (Padmavathiamma *et al*., 2008). فسفر از جمله عناصر پرمصرف بوده که به‌دلیل رسوب در خاک کمترین تحرک و فراهمی را داشته و مهم‌ترین عامل محدودکننده رشد گیاهان به شمار می‌رود. بنابراین فرآیندهای جذب، انحلال و رسوب، کنترل‌کننده نهایی غلظت فسفر در محلول خاک هستند، از طرف‌دیگر در اثر برهم‌کنش یون‌های فسفات با کاتیون‌های کلسیم، آهن و آلومینیم، فسفر از فاز محلول خارج و برای گیاه غیرقابل دسترس می‌شود (Hinsinger, 2001). از آن‌جا که در خاک‌های زراعی ایران به‌دلیل pH بالا و فراوانی یون کلسیم، میزان حلالیت و قابل جذب بودن فسفر کمتر از مقدار لازم برای رشد بهینه گیاه است، یکی از راه‌کارهای مؤثر بر افزایش فراهمی و استفاده از فسفر انباشته شده در خاک کاربرد ریزجانداران مفید است (Saharan and Nehra, 2011). باکتری‌ها از مهم‌ترین و فراوان‌ترین میکرو ارگانیسم‌های خاک بوده که با سازوکارهای مستقیم و غیرمستقیم باعث بهبود رشد گیاهان می‌شوند (Farina *et al*., 2012). استفاده از این باکتری‌ها (PGPR[1]) راهی مناسب برای جایگزینی کودهای شیمیایی در زراعت‌های فشرده می‌باشد (Fallah, 2012). تلقیح بذرهای برنج، گندم، جو و یولاف با باکتری *Azospirillum brasilense* سبب افزایش عملکرد دانه آنها به‌ترتیب ۱۶/۷، ۲۱/۸، ۲۶/۶ و ۴۳/۸ درصد شد (Sani *et al*., 2007).

۱- Plant Growth Promoting Rhizobacteria

تلقیح بذرهای نخود با *Pseudomonas fluorescens* منجر به افزایش ارتفاع ساقه، طول ریشه و وزن خشک گیاه نسبت به شاهد شد (Dileep Kumar *et al*., 2001). گزارش شده است که تلقیح بذور ذرت با گونه‌های باکتریایی از جنس باسیلوس، منجر به افزایش حدود ۵۰ درصدی عملکرد نسبت به شاهد شد (Fatma *et al*., 2008). کاربرد باکتری‌های محرک رشد علاوه بر فراهمی بیولوژیک نیتروژن، محلول‌سازی فسفر، پتاسیم و ترشح هورمون‌های محرک رشد، به جهت افزایش عملکرد گیاهان زراعی استراتژیک نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند.

هدف از اجرای این تحقیق بررسی مدیریت تلفیقی تغذیه گیاه با رویکرد افزایش طبیعی حاصل‌خیزی خاک از طریق بهینه‌سازی منابع غذایی در دسترس به‌منظور افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاه روغنی کلزا بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقات کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد یادگار امام (ره) شهرری انجام شد. عامل اول سطوح مختلف ورمی‌کمپوست در چهار سطح عدم کاربرد (شاهد)، چهار، هشت و ۱۲ تن در هکتار و عامل دوم شامل کاربرد باکتری‌های محرک رشد (عدم تلقیح، سودوموناس فلوروسنس، ازتوباکتر کروکوکوم و مخلوط سودوموناس فلوروسنس و ازتوباکتر کروکوکوم) بود. جهت تعیین ویژگی‌های خاک قبل از اجرای آزمایش اقدام به نمونه‌برداری و آزمایش کیفی خاک مزرعه و ورمی‌کمپوست شد، که نتایج آن در جداول ۱ و ۲ آمده است. عملیات تهیه زمین شامل شخم با گاوآهن برگردان‌دار و دیسک در پاییز و پیش از کاشت، انجام شد. کرت‌هایی آزمایشی ایجاد شدند و مقادیر تعیین شده ورمی‌کمپوست قبل از کاشت با خاک مخلوط شدند. هر کرت شامل ۴ ردیف کاشت به طول ۴ متر و عرض ۳۰ سانتی‌متر و فاصله بین کرت‌ها یک متر بود. باکتری‌های محرک رشد شامل رایج‌ترین سویه‌های ثبت شده ازتوباکتر کروکوکوم (*Azetobacter chroococcum*) و سودوموناس فلوروسنس (*Pseudomonas fluorescens*) با نام تجاری بارور یک و بارور دو از موسسه زیست فن‌آور سبز ایران تهیه گردید. تعداد سلول زنده در هر میلی‌گرم از این کودها برابر با 10^8 بود. جهت تلقیح بذرها، ابتدا میزان بذر مورد نیاز برای هر تیمار از کلزای رقم اُکاپی انتخاب و سپس بذرها درون کیسه‌های پلاستیکی جداگانه قرار داده شد. برای تسهیل تلقیح، سطح بذرها توسط یک ماده بی‌اثر و چسبنده خیس و بدین منظور از مقداری شکر حل شده در آب گرم (۱۰ گرم شکر در ۱۰۰ گرم آب) استفاده شد. پس از اطمینان از خیس شدن بذور توسط محلول تهیه شده، بذرها جهت خشک شدن به مدت دو ساعت در سایه قرار داده شد. سپس بذرهای تلقیح شده درون پاکت‌های جداگانه منتقل شده و در حین کاشت جهت جلوگیری از اختلاط اثر تیمارها با یکدیگر، از دستکش‌های یک‌بار مصرف جداگانه برای هر تیمار استفاده شد. جهت کاهش رقابت درون‌گونه‌ای تنک‌کردن بوته‌ها بعد از مرحله سه برگی، انجام شده و با تغییر فواصل بوته‌ها روی ردیف‌های کاشت، تراکم مورد نظر به‌دست آمد. هم‌چنین، کنترل علف‌های‌هرز به صورت دستی در سه نوبت در مراحل چهار و هشت برگی و قبل از گل‌دهی انجام گرفت. برای اندازه‌گیری ارتفاع ساقه و تعداد ساقه‌های فرعی، قبل از برداشت نهایی

اقدام به برداشت ۲۰ بوته از هر کرت شد. عملیات برداشت نهایی در مرحله رسیدگی کامل خورجین‌ها در سطحی معادل چهار مترمربع انجام شد. برای تعیین تعداد خورجین در بوته، مجموع خورجین‌ها در ۲۰ بوته شمارش و میانگین تعداد خورجین در هر بوته به‌دست آمد. تعداد دانه در خورجین از میانگین ۶۰ خورجین به‌دست آمد. وزن هزار دانه با شمارش تعداد هشت تکرار ۱۰۰ عددی تصادفی از بذرهای هر کرت و محاسبه میانگین وزن به‌دست آمد. محتوی روغن دانه با استفاده از روش استاندارد سوکسله و به کمک حلال متانول-کلروفرم تعیین گردید (Anonymous,1998) و از حاصل ضرب عملکرد دانه در درصد روغن، عملکرد روغن محاسبه شد. تعیین عملکرد بیولوژیک بر اساس توزین بوته‌ها در زمان برداشت از سطح چهار متر مربع حاصل گردید. شاخص برداشت محصول نیز از محاسبه خارج قسمت عملکرد دانه بر عملکرد بیولوژیک به دست آمد. در تجزیه واریانس داده‌ها و تعیین مقایسه میانگین‌ها (آزمون دانکن در سطح ۵٪) از نرم‌افزار MSTATC استفاده شد.

نتایج و بحث

تعداد خورجین در بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد برهم‌کنش تیمار ورمی‌کمپوست با باکتری‌های محرک رشد برای این صفت معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین بر هم‌کنش تاثیر باکتری‌های محرک رشد و ورمی‌کمپوست نشان داد بیشترین و کمترین تعداد خورجین در بوته به‌ترتیب با ۲۸/۶۳ و ۷/۳ به‌ترتیب متعلق به تیمار کاربرد تلفیقی ۱۲ تن ورمی‌کمپوست در هکتار با کاربرد باکتری‌های محرک رشد بود (جدول ۵). به نظر می‌رسد کاربرد کودهای آلی با بهبود وضعیت فیزیکی خاک و موجودی عناصر غذایی خاک باعث فعالیت بهینه باکتری‌های محرک رشد شده و دسترسی گیاه به عناصر غذایی افزایش می‌یابد (Erhart and Hartl, 2003). از طرفی، افزودن کودهای آلی علاوه بر تأمین عناصر غذایی با بهبود خواص فیزیکی خاک شرایط مناسبی را برای رشد و توسعه ریشه فراهم می‌نمایند (Mohammadi *et al.*, 2007). سایر بررسی‌ها نشان داده است که کاربرد کود نیتروژن‌دار و تلقیح بذر با باکتری‌های آزوسپریلوم و ازتوباکتر نسبت به تیمار شاهد باعث افزایش تعداد خورجین در کلزا می‌شود (Yasari *et al.*, 2009). هم‌چنین، نتایج برخی آزمایش‌ها نشان داده است که کاربرد کودهای بیولوژیک آزوسپریلوم و ازتوباکتر باعث افزایش تعداد غلاف در بوته کلزای بهاره می‌گردد (Hassanzadeh Quratpeh and Javadi, 2015).

تعداد دانه در خورجین

کاربرد مقادیر مختلف ورمی‌کمپوست و باکتری‌های محرک رشد، بر تعداد دانه در خورجین معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین تعداد دانه در خورجین با ۲۴/۶ عدد مربوط به کاربرد ۱۲ تن در هکتار ورمی‌کمپوست بود. بر اساس مقایسه میانگین اثرات ساده، کاربرد باکتری‌های محرک رشد با ۲۴/۳۱ دانه در خورجین بیشترین تعداد دانه در خورجین را تولید کرد که تفاوت معنی‌داری با هم نداشته ولی با کاربرد ازتوباکترکروکوکوم به تنهایی تفاوت معنی‌داری نشان دادند (جدول ۴). با توجه به این‌که کاهش یکی از اجزای عملکرد معمولاً منجر به افزایش سایر اجزای عملکرد شده و تحت تأثیر خاصیت جبرانی اجزای عملکرد می‌شود، و از آن‌جا که وزن هزار دانه معمولاً کمتر دست‌خوش تغییر می‌گردد، بنابراین بیشترین تغییر، در تعداد دانه در خورجین

مشاهده می‌شود. به‌طوری‌که نتایج برخی بررسی‌ها هم‌بستگی بسیار بالایی را بین عملکرد دانه و تعداد دانه در خورجین را نشان داد (Mehnaz and Lazarovits, 2006). بنابراین به نظر می‌رسد استفاده از ورمی‌کمپوست و باکتری‌های محرک رشد و تلفیق آنها، با فراهمی برخی عناصر مهم و ریزمغذی‌ها سبب بهبود این صفت شده‌اند. هم‌چنین باکتری‌های محرک رشد با افزایش رشد ریشه از طریق تولید هورمون‌های گیاهی همانند ایندول استیک اسید باعث اشغال حجم بیشتری از خاک شده و سطح جذب افزایش یافته و از این طریق تاثیر مثبتی در افزایش تعداد دانه در خورجین ایفا می‌کنند (Patten and Glick, 2002). سایر بررسی‌ها نشان داده است که کاربرد میکوریزا و بیوفسفات باعث افزایش تعداد دانه در گیاه رازیانه شد. هم‌چنین، کاربرد کودهای آلی سبب افزایش بذر بابونه و زیره سبز شد (Darzi *et al*., 2007).

وزن هزار دانه

برهمکنش ورمی‌کمپوست با کاربرد باکتری‌های محرک رشد با ۴/۶۸ گرم بیشترین وزن هزار دانه را داشت (جدول ۵). از آن‌جا که وزن هزار دانه از جمله مهم‌ترین عوامل تعیین کننده عملکرد دانه محسوب شده و تا حدودی تحت‌تأثیر عوامل ژنتیکی قرار دارد، لذا تغییرات آن تقریباً ثابت می‌باشد. استفاده از کودهای آلی، تاثیر معنی‌داری بر افزایش وزن هزار دانه زیره سبز نسبت به عدم استفاده از آنها نداشت (Jeyabal and Kuppuswamy, 2001). اجزای عملکرد کلزا در صورت تغییر در رژیم تغذیه‌ای گیاه از کودهای معدنی به کودهای بیولوژیک و کاهش مصرف کودهای شیمیایی بدون تأثیر معنی‌دار بر اجزای عملکرد محصول می‌باشد (Madani *et al*., 2010). استفاده از باکتری *Azospirillum* به همراه کاربرد ۵۰٪ کود کامل شیمیایی بر اساس آزمون خاک اثر مثبتی بر وزن هزار دانه کلزا دارد (Faraji and Arzanesh, 2013). نتایج سایر پژوهش‌ها نشان داد کاربرد ۱۰۰۰ کیلوگرم گوگرد به همراه ۲۰ کیلوگرم تیوباسیلوس در هکتار باعث افزایش وزن هزار دانه کلزا نسبت به شاهد شد (Salahi Farahi and Seyedi, 2015).

عملکرد دانه

کاربرد باکتری‌های محرک رشد و سطوح ورمی کمپوست و برهم‌کنش آنها بر عملکرد دانه اختلاف معنی‌دار داشت (جدول ۳ و ۵). بررسی نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثرات متقابل حاکی از این بود که بیشترین عملکرد دانه با استفاده تلفیقی ۱۲ تن در هکتار ورمی‌کمپوست به همراه باکتری‌های محرک رشد (۴۸۸۴/۲۳ کیلوگرم در هکتار) بود (جدول ۵). بررسی‌های زیادی نشان‌دهنده تأثیر مثبت استفاده از کودهای آلی و زیستی بر افزایش عملکرد دانه می‌باشند (Vesquez *et al*., 2000; Sahu and Jana, 2000; Eghball, 2002). مطالعه تأثیر کودهای آلی بر رشد گوجه‌فرنگی نیز نشان داد افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌ها و ظرفیت نگهداری عناصر غذایی، باعث افزایش تجمع نیتروژن توسط گیاه شده و با افزایش نیتروژن عملکرد گوجه‌فرنگی بهبود یافت (Faraji and Arzanesh, 2013). بررسی اثر کاربرد کمپوست بر عملکرد ذرت، نیز نشان داد که با افزایش سطوح کمپوست عملکرد دانه ذرت افزایش چشم‌گیری پیدا می‌کند. کمپوست با آزادسازی تدریجی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه که متناسب با رشد آن است، باعث بهبود عملکرد گیاه شد (Mehnaz and Lazarovits, 2006). بیشترین عملکرد دانه کلزا از تیمار

سوپرفسفات تریپل با باکتـری‌های محرک رشد به‌دست آمد. کاربرد هم‌زمان باکتری سودوموناس فلوروسنس همراه با کودهای سوپرفسفات ساده، سوپرفسفات تریپل، فسفات آمونیوم و خاک فسفات عملکرد دانه کلزا را به‌ترتیب ۳۶/۵۴، ۱۸/۹۶، ۳۹/۷۳ و ۶۹/۲۷٪ نسبت به کاربرد این کودها افزایش داد. بیشترین تأثیر باکتری سودوموناس فلوروسنس بر بهبود کارایی کودهای فسفاتی و مربوط به خاک فسفات بود، به‌طوری که تلقیح با باکتری‌های محرک رشد موجب افزایش ۶۹ درصدی عملکرد دانه نسبت به شاهد شد (Azaremy *et al*., 2015). کاربرد کودهای بیولوژیک با سطوح مختلف کود فسفات آمونیوم موجب بهبود عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و درصد فسفر در بافت‌های کلزا شد. کاربرد هم‌زمان باکتری‌های حل کننده فسفات، مواد آلی و خاک فسفات جذب فسفر، روی و منگنز را نسبت به تیمار شاهد بدون تلقیح در دانه کلزا افزایش داد (Salimpour *et al*., 2010). تلقیح گندم و ذرت با باکتری‌های حل‌کننده فسفات عملکرد دانه، جذب فسفر، کربن آلی خاک، فراهمی فسفر، فعالیت آنزیمی و جمعیت باکتری‌های حل کننده فسفات در خاک را نسبت به تیمار شاهد افزایش می‌دهد. کاربرد این باکتری‌ها با خاک، تأثیر بیشتری در افزایش حاصل‌خیزی خاک داشت (Kaur and Reddy, 2014).

عملکرد بیولوژیک

در این تحقیق بین کاربرد باکتری‌های محرک رشد و سطوح ورمی‌کمپوست و برهم‌کنش آنها از نظر عملکرد بیولوژیک اختلاف معنی‌داری وجود داشت (جدول ۳ و ۵). کاربرد ۱۲ تن در هکتار ورمی‌کمپوست از نظر عملکرد زیستی نسبت به سطوح دیگر کاربرد ورمی‌کمپوست، از برتری قابل توجه برخوردار بود (۱۰۱۱۸/۵ کیلوگرم بر هکتار)، و عدم کاربرد ورمی‌کمپوست کمترین عملکرد بیولوژیک را نشان داد. در بررسی اثر متقابل باکتری‌های محرک رشد و سطوح ورمی‌کمپوست، کاربرد هم‌زمان ۱۲ تن در هکتار ورمی‌کمپوست به همراه باکتری‌های محرک رشد، بیشترین عملکرد بیولوژیک را با ۱۰۷۸۵/۲ کیلوگرم بر هکتار نسبت به سایر تیمارها داشتند. سایر بررسی‌ها نشان داده استفاده از ورمی‌کمپوست منجر به افزایش فسفر، پتاسیم، منیزیم و کلسیم قابل دسترس گیاه می‌گردد (Erhart and Hartl, 2003). از طرفی ورمی‌کمپوست‌ها حاوی گوگرد نسبتاً بالایی بوده و گوگرد از عناصری است که کلزا و سایر گیاهان نسبت به آن عکس‌العمل مثبت نشان می‌دهند (Zhao *et al*., 1997). افزایش ماده آلی ناشی از کاربرد ورمی‌کمپوست، فعالیت باکتری‌های محرک رشد را افزایش داده و این فعالیت سبب بهبود عملکرد بیولوژیک نسبت به شاهد می‌شود (Mohammadi *et al*., 2007; Sabahi *et al*., 2008). باکتری‌های حل کننده فسفات با ترشح اسیدهای آلی و فسفاتاز باعث آزادسازی عناصر از کمپلکس‌های موجود در خاک شده و دسترسی گیاه به عناصر غذایی را افزایش می‌دهند (Ohara *et al*., 2009). اسیدهای آلی آزاد شده از ریزجاندارانی نظیر باسیلوس و سودوموناس نیز علاوه بر فسفر، منجر به آزادسازی منگنز، روی، آهن و منیزیم از کمپلکس‌های موجود در خاک شده به‌طوری‌که حلالیت فسفات در خاک در حضور اسیدهای آلی تا ۱۰۰۰ برابر افزایش می‌یابد (Jones and Darrah, 1996).

هم‌چنین، نتایج آزمایش (Soleymanifard and Naseri, 2014) نشان داد که اثر باکتری‌های

محرک رشد ازتوباکتر و آزوسپیریلوم بر عملکرد بیولوژیک ذرت معنی‌دار شد. بیشترین عملکرد بیولوژیک در اثر کاربرد آزوسپیریلوم با میانگین ۱۴۹۵۹ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد که با ازتوباکتر اختلاف معنی‌داری نداشت.

شاخص برداشت

بین باکتری‌های محرک رشد، سطوح ورمی‌کمپوست و اثرات متقابل باکتری‌های محرک رشد و ورمی‌کمپوست از نظر شاخص برداشت کلزا اختلاف معنی‌دار وجود داشت (جدول ۳ و ۵). کاربرد باکتری‌های محرک رشد باعث افزایش شاخص برداشت نسبت به شاهد شد. هم‌چنین، شاخص برداشت با کاربرد ۱۲ تن در هکتار ورمی‌کمپوست به ۳۴/۲۱ درصد رسید که تفاوت معنی‌داری با سایر میانگین‌ها داشت (جدول ۴). نتایج برهم‌کنش تیمارها نشان داد استفاده از باکتری‌های محرک رشد، به همراه ۱۲ تن در هکتار ورمی‌کمپوست با ۳۸/۲٪، دارای بیشترین شاخص برداشت نسبت به شاهد بودند. در بسیاری از بررسی‌های انجام گرفته نشان داده شد که استفاده هم‌زمان از باکتری‌های حل‌کننده فسفات و ازتوباکتر باعث افزایش بیشتر عملکرد نسبت به حالت کاربرد جداگانه آنها شد (Kumar *et al.*, 2001; Dileep Kumar *et al.*, 2001; Narula *et al.*, 2000). شاخص برداشت تحت تاثیر اثرات ساده و متقابل منابع فسفر شیمیایی و بیولوژیک قرار می‌گیرد. کاربرد کودهای بیولوژیک فسفره موجب افزایش معنی‌دار شاخص برداشت شد و مصرف یک مرحله‌ای و دو مرحله‌ای باکتری‌های محلول کننده‌ی فسفر در صورت مصرف ۱۲۵ کیلوگرم فسفر خالص در هکتار باعث به‌وجود آمدن بالاترین درصد نسبت برداشت محصول کلزا (متوسط ۴۶ تا ۴۸٪) گردید (Madani *et al.*, 2010). سایر نتایج نشان داد تیمارهای کود نیتروژن، تلقیح بذر با باکتری و نیز اثر متقابل آنها بر شاخص برداشت اثر معنی‌داری داشت و برهم‌کنش بین تیمارها نیز نشان داد کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن توأم با ازتوباکتر و آزسپریلیوم ۲۹/۶ درصد نسبت به شاهد افزایش شاخص برداشت داشت (Hassanzadeh Quratpeh and Javadi, 2015). شاخص برداشت کارایی توزیع و انتقال آسیمیلات‌های ساخته شده در میان اندام‌های مختلف به‌ویژه اندام‌های اقتصادی مورد نظر را نشان می‌دهد. مصرف توأم باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن با سطح بالایی از مصرف نیتروژن (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) باعث افزایش جذب عناصر غذایی و رطوبت از خاک شده و در نتیجه با افزایش مواد فتوسنتزی و انتقال آسیمیلات به دانه‌ها، شاخص برداشت افزایش می‌یابد. ایجاد موازنه در بین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه می‌تواند ضمن رشد رویشی بالا، در افزایش رشد زایشی نیز مؤثر باشد و با ایجاد مقصد فراوان (دانه)، اسیمیلات تولیدی حاصل از رشد رویشی به موقع به دانه‌ها انتقال و نهایتاً شاخص برداشت گیاه بالا رود. در تیمار با کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن به همراه تلقیح با ازتوباکتر و آزوسپریلوم نیز علاوه بر این‌که رشد رویشی در سطح بالا بوده (اندام‌های فتوسنتز کننده) به دلیل موازنه بین رشد رویشی و زایشی، تعداد کل دانه‌ها نیز افزایش یافته و نهایتاً شاخص برداشت نیز بیشتر از سایر تیمارها می‌باشد (Kennedy and Tchan, 1992).

درصد روغن

سطوح مختلف کاربرد ورمی کمپوست و باکتری‌های محرک رشد اثر معنی‌داری بر درصد روغن دانه کلزا داشت (جدول ۳). مقایسه میانگین

اثرات ساده نشان داد با افزایش میزان کاربرد ورمی‌کمپوست تا ۱۲ تن در هکتار درصد روغن دانه افزایش یافته است (۳۶/۱۵٪). کاربرد باکتری‌های محرک رشد باعث افزایش درصد روغن شد که با میانگین سایر صفات، تفاوت معنی‌داری نشان داد (جدول ۴). به نظر می‌رسد ورمی‌کمپوست از طریق بهبود جذب فسفر و نیتروژن که جهت تشکیل روغن الزامی، و موجب افزایش میزان درصد روغن کلزا شد (Daniel and Boem, 2001). با بررسی تأثیر ورمی‌کمپوست بر برخی گیاهان، گزارش شد که این تیمار میزان ماده موثره را افزایش داد. به‌طوری‌که افزودن ورمی‌کمپوست به خاک نه تنها فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه را افزایش داد، بلکه با بهبود شرایط فیزیکی و فرایندهای حیاتی خاک، ضمن ایجاد یک بستر مناسب برای رشد ریشه، موجبات افزایش دسترسی به عناصر معدنی و در نهایت بهبود میزان ماده مؤثره را فراهم آورده است (Anwar *et al.*, 2005).

درصد روغن دانه در شرایط استفاده از مقادیر منابع مختلف فسفر در محدوده‌ی ۴۸ تا ۴۹/۷٪ تغییر نشان داده و افزایش درصد روغن دانه با مصرف کودهای بیولوژیک فسفر تفاوت معنی‌داری داشت. علت اهمیت فراهمی فسفر مولکولی ناشی از آزادسازی تدریجی این عنصر به کمک واکنش‌های حیاتی باکتری‌های محرک رشد مورد استفاده و تاثیر آن بر بیوسنتز روغن و اسیدهای چرب مرتبط است. نتایج سنجش درصد روغن دانه‌ها نشان داد که اغلب و به‌طور نسبی تولید روغن بیشتر در ترکیبات تیماری که باکتری‌های محلول کننده فسفر مورد استفاده قرار گرفته، بیشتر بود (Madani *et al.*, 2010).

عملکرد روغن

سطوح مختلف کاربرد ورمی‌کمپوست، باکتری‌های محرک رشد و بر هم‌کنش آنها اثر معنی‌داری بر عملکرد روغن دانه داشتند (جدول ۳). افزایش میزان کاربرد ورمی‌کمپوست تا ۱۲ تن در هکتار عملکرد روغن را تا ۱۲۷۶/۲۵ کیلوگرم افزایش داد. هم‌چنین، کاربرد باکتری‌های محرک رشد عملکرد روغن را تا ۱۰۹۵/۶۶ کیلوگرم نسبت به شاهد افزایش دادند (جدول ۴). برهم‌کنش تیمارهای آزمایشی نیز نشان داد بیشترین عملکرد روغن با ۱۷۹۵/۹۳کیلوگرم از کاربرد تلفیقی این نهاده‌ها به‌دست می‌آید (جدول ۵). سایر بررسی‌ها نشان دادند عملکرد روغن در صورت کاربرد باکتری‌های محرک رشد به‌طور نسبی روند صعودی نشان می‌دهد. شاید فراهمی فسفر مولکولی ناشی از آزادسازی تدریجی این عنصر به کمک واکنش‌های حیاتی باکتری‌های محرک رشد مورد استفاده و تاثیر آن بر بیوسنتز روغن و اسیدهای چرب مرتبط بوده، به‌طوری‌که نتایج سنجش درصد روغن دانه‌های کلزا نشان داد، تولید روغن بیشتر در ترکیبات تیماری که باکتری‌های محلول کننده‌ی فسفر داشتند، بیشتر بود (Madani *et al.*, 2010). با توجه به دامنه نسبتاً پایین تغییرات درصد روغن دانه در اثر عوامل محیطی، چنین به نظر می‌رسد که اصولی‌ترین راه در حالت فعلی برای دست‌یابی به روغن استحصالی بالا در واحد سطح افزایش راندمان تولید دانه است که تا حدی عملی‌تر و راحت‌تر می‌باشد (Rabiee *et al.*, 2012). از آن‌جا که عملکرد روغن حاصل ضرب عملکرد دانه در درصد روغن می‌باشد (Abadian *et al.*, 2008) لذا هر عاملی که عملکرد دانه را تحت تاثیر قرار دهد،

می‌تواند بر عملکرد روغن نیز تاثیرگذار باشد (Esmaeil and Patwardhan, 2006).

نتیجه‌گیری کلی

در این تحقیق تاثیر کاربرد هم زمان باکتری‌های محرک رشد و ورمی‌کمپوست بیشتر از زمانی بود که هر یک از آنها به تنهایی استفاده شد. هورمون‌های ترشح شده مانند اکسین تحت تاثیر باکتری‌های محرک رشد نیز عامل مهم دیگری در افزایش عملکرد بودند. باکتری‌های محرک رشد با تاثیر بر اندازه و توسعه ریشه، سبب افزایش دسترسی گیاه به عناصر غذایی می‌گردند. هم‌چنین، سیدروفورهای تولید شده توسط آنها نیز باعث جذب عناصر کم مصرف کاتیونی مانند آهن، منگنز و روی می‌شود. بنابراین با توجه به روند کاربرد کودهای شیمیایی، آثار مخرب زیست محیطی ناشی از آن، کاهش روزافزون مواد آلی خاک‌ها و نیاز به افزایش واردات خام و یا فرآوری شده برخی محصولات کشاورزی مانند گیاهان روغنی، کاربرد ۱۲ تن در هکتار ورمی‌کمپوست به همراه باکتری‌های محرک رشد افزایش معنی‌داری در عملکرد کمّی و کیفی کلزا نشان داد.

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک

Table 1- Some physic-chemical properties of soil

رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	پتاسیم K (ppm)	فسفر P (ppm)	نیتروژن Nitrogen (%)	مواد آلی Organic Matter (%)	هدایت الکتریکی EC(dS/m)	اسیدیته pH	عمق نمونه‌برداری Depth of Sampling (cm)
40	41	19	267.8	5.31	0.05	0.29	1.6	7.3	0-30

جدول ۲- نتایج خصوصیات ورمی‌کمپوست

Table 2- Results of vermicompost specifications

روی Zn (ppm)	منگنز Mn (ppm)	آهن Fe (ppm)	منیزیم Mg (%)	مس Cu (ppm)	پتاسیم K (ppm)	فسفر P (ppm)	کربن به نیتروژن C/N	نیتروژن Nitrogen (%)	مواد آلی Organic Matter (%)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC(ds/m)
41.2	3.93	51.5	0.47	237.3	0.51	0.68	10	3.31	14.9	6.9	2.8

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد و اجزای عملکرد کلزا در اثر استفاده از انواع مختلف باکتری‌های محرک رشد و سطوح ورمی‌کمپوست

Table 3- Results of analysis of variance (mean square) of yield and yield components of canola by using different types of growth promoters and vermicompost levels

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	عملکرد روغن Oil yield	درصد روغن Oil	شاخص برداشت Harvest index	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد بیولوژیک Biologic yield	هزار دانه وزن 100-seed weight	تعداد دانه در خورجین No. Seed per Pod	تعداد خورجین در بوته No. Pod per Plant
بلوک Block	2	3019.14	0.16	0.41	20118.72	23088.7	0.05	0.859	144.62
ورمی‌کمپوست vermicompost	3	1034989.5**	6.91**	117.21**	7123235.2**	31369121.1**	1.66**	*7.19	3084.81**
باکتری‌های محرک رشد PGPR	3	605717.46**	4.81*	72.23**	4229970.4**	18488418.4**	0.52**	*6.90	8388.33**
ورمی‌کمپوست× باکتری vermicompost ×PGPR	9	133164.12**	0.77^{ns}	**13	997928.9**	4267831.6**	0.15*	1.45^{ns}	535.32*
خطای آزمایشی Eror	30	5562.56	0.53	0.216	39618.17	113718.7	0.04	1.42	158.66
ضریب تغییرات C.V. (%)		8.3	6.07	1.51	7.63	4.09	5.49	5.05	13.6

ns، * و ** به ترتیب عدم معنی‌داری، و معنی‌دار در سطوح ۵ و ۱٪.

ns, *, **: non-significant and significant at 5 and 1%, respectively.

جدول ۴- مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد کلزا تحت اثر کاربرد سطوح مختلف ورمی‌کمپوست و باکتری‌های محرک رشد

Table 4- Comparison of the mean of yield and yield components of canola under the influence of various levels of vermicompost and growth promoting bacteria.

ورمی‌کمپوست Vermicompost ($t.ha^{-1}$)	عملکرد روغن Oil Yield ($kg\ ha^{-1}$)	درصد روغن oil (%)	شاخص برداشت Harvest index (%)	عملکرد دانه Seed yield ($kg.\ ha^{-1}$)	عملکرد بیولوژیک biologic Yield ($kg.ha^{-1}$)	هزار دانه وزن Thousand seed weight (g)	تعداد دانه در خورجین No. Seed per Pod	تعداد خورجین در بوته No. Pod per Plant
0	570.79d	34.33c	26.68d	1660.67d	6227.11d	3.31c	22.72c	32.38c
4	856.36c	34.97b	30.31c	2445.84c	7942.2c	3.57b	23.41bc	49.33b
8	997.06b	35.35b	31.52b	2815.72b	8658.8b	3.67b	23.68b	64.58a
12	1276.25a	36.15a	34.21a	3210.18a	10118.5a	4.20a	24.6a	67.11a
باکتری bacteria								
Control	596.65d	34.63b	27.7c	1742.96d	6423.6d	3.38c	22.57c	15.0c
Azetobacter	961.09c	35.32a	31.22b	2713.2c	8487.1c	3.70b	23.53b	61.1b
Pseudomonas	1045.15b	35.60a	32.11a	2920.85b	8858.8ab	3.82a	24.0ab	61.66b
Azot+Pseu	1095.66a	35.61a	32.32a	3055.58a	9177.5a	3.84a	24.31a	75.65a

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد با همدیگر ندارند.

In each column, the means with common letters do not have a significant difference in the level of 5% with each other.

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات حاصل از برهم‌کنش کاربرد سطوح مختلف ورمی‌کمپوست و باکتری‌های محرک رشد بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزا

Table 5- Comparison of the average traits obtained from the interaction of application of different levels of vermicompost and growth-promoting bacteria on yield and yield components of canola.

ورمی کمپوست Vermicompost ($t.ha^{-1}$)	باکتری PGPR	عملکرد روغن Oil yield ($kg.ha^{-1}$)	شاخص برداشت Harvest index (%)	عملکرد دانه Seed yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد بیولوژیک Biologic yield ($kg.ha^{-1}$)	هزار دانه وزن Thousand seed weight (g)	تعداد خورجین در بوته No. Silique per plant
0	Control	534.42e	26.29g	1585.2f	6028.7g	3.20e	7.30f
	Azetobacter	553.26e	26.47g	1636.0f	6206.9g	3.22e	8.0f
	Pseudomonas	593.07e	26.97fg	1709.9f	6335.6g	3.24cde	9.15f
	Azot+Pseu	597.61e	27.01fg	1711.6f	6339.5g	3.41cde	9.30f
4	Control	597.85e	27.11fg	1716.3f	6348.1g	3.41cde	9.56f
	Azotobacter	624.65e	27.13fg	1785.1f	6489.4g	3.50cde	9.88f
	Pseudomonas	642.07e	27.58f	1834.5f	6650.2g	3.60b-e	11.0e
	Azot+Pseu	861.81d	30.51e	2427.7e	7954.7f	3.63bcd	14.30de
8	Control	979.02d	31.37de	2796.3de	8517.8ef	3.63bcd	15.08d
	Azotobacter	989.12d	31.46de	2800.1de	8853.2de	3.66bc	15.37d
	Pseudomonas	991.56d	32.14d	2822.1d	8948.1de	3.76bc	16.10c
	Azot+Pseu	1171.64c	33.44c	3105.1c	9351.2cd	3.77bc	19.80b
12	Control	1202.83c	34.14c	3254.3c	9807.8c	3.79bc	21.0b
	Azotobacter	1266.07bc	36.39c	3387.7bc	9941.6c	3.90b	21.96b
	Pseudomonas	1400.91b	36.69b	3434.2b	10230.8b	4.53a	21.96b
	Azot+Pseu	1795.93a	38.02a	3484.2a	10785.2a	4.68a	28.63a

در هر ستون، میانگین های دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ با همدیگر ندارند.

In each column, the means with common letters do not have a significant difference in the level of 5% with each other.

References منابع مورد استفاده

- Abadian, H., N. Latifi, B. Kamkar, and B. Bagheri. 2008. The effect of late sowing date and plant density on quantitative and qualitative characteristics of canola (RGS-003). *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*. 15(5): 78-87. (In Persian).
- Anonymous, 1998. AOAC In K. Helrich (Ed.), Official methods of analysis (15^{th} ed.). Methods 920.10. Arlington, VA/Washington, DC, USA: Association of Official Analytical Chemists.
- Anwar, M., D.D. Patra, S. Chand, K. Alpesh, A.A. Naqvi, and SPS. Khanuja. 2005. Effect of organic manures and inorganic fertilizer on growth, herb and oil yield, nutrient accumulation, and oil quality of French basil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 36: 1737-1746.
- Arancon, N., C.A. Edwards, P. Bierman, C. Welch, and J.D. Metzger. 2004. Influences of vermicomposts on field strawberries: Effects on growth and yields. *Bioresource Technology*. 93: 145-153.
- Azaremy, F., M. Malakoty, K. Khavazi, and K. Saghafi. 2015. The effect of simultaneous application of *Pseudomonas fluorescens* and phosphate fertilizers on the performance and recovery of phosphorus and low ratio in rapeseed. *Soil Biology Journal.* 3(1): 30-21. (In Persian).
- Daniel, C.G., and M.J. Boem. 2001. Temporal effects of compost and fertilizer applications on nitrogen fertility of golf course Turfgrass. *Agronomy Journal*. 93: 548–555.
- Darzi, M.T., A. Galavand, F. Rejali, and F. Sefid kon. 2007. Effect of biofertilizers application on yield and yield components in fennel (*Foeniculum vulgare*). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*. 22(4): 276-292. (In Persian).
- Dileep Kumar, S.B., I. Berggren, and A.M. Martensson. 2001. Potential for mproving pea production by coinoculation with fluorescent pseudomonas and rhizobium. *Plant and Soil.* 229: 25-34.
- Downey, K., and B. Stefansson. 2004. Canola: Canada oil, Canola council of Canada. Available at http://www.canola-council.org.
- Eghball, B. 2002. Soil properties as influenced by phosphorus- and nitrogen-based manure and compost applications. *Agronomy Journal*. 94: 128–135.
- Erhart, E., and W. Hartl. 2003. Mulching with compost improves growth of blue spruce in Christmas tree plantations. *European Journal of Soil Biology*. 39 (3): 149-156.
- Esmaeil, Y., and A.M. Patwardhan. 2006. Physiological analysis of the growth and development of canola (*Brassica napus* L.) under different chemical fertilizer application. *Asian Journal of Plant Science*. 5: 745-752.
- Fallah, A. 2012. Investigating the relationship between the total population of bacteria and fungi with some characteristics of soils in Guilan province. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*. 2(2): 68-49. (In Persian).

- Faraji, A., and H.M. Arzanesh. 2013. Reaction of two genotypes of rapeseed to growth promoting bacteria on yield and components of grain yield, dry matter and harvest index. *Journal of Seed and Plant, Seed and Planting*. 2(29): 29-17. (In Persian).
- Farina, R., A. Beneduzi, A. Ambrosini, S.B. Campos, B.B. Lisboa, V. Wendisch, L.K. Vargas, and L.M.P. Passaglia. 2012. Diversity of plant growth-promoting rhizobacteria communities associated with the stages of canola growth. *Applied Soil Ecology.* 55: 44-52.
- Fatma, A.G., A.M. Lobna, and N.M. Osman. 2008. Effect of compost and biofertilizers on growth, yield and essential oil of sweet marjoram (*Majorana hortensis*) plant. *International Journal of Agriculture and Biology*. 10(4): 381–387.
- Hassanzadeh Quratpeh, A., and H. Javadi. 2015. Effect of application of nitrogen fertilizer and inoculation with biological fertilizers of azospirilum and azotobacter on yield, yield components and spring rapeseed oil in West Azarbaijan. *Journal of Production and Processing of Agricultural and Horticultural Products.* 5 (18): 49-39. (In Persian).
- Hinsinger, P.H. 2001. Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review. *Plant and Soil*. 237: 173-195.
- Jeyabal, A., and G. Kuppuswamy. 2001. Recycling of organic wastes for the production of vermicompost and its response in rice legume cropping system and soil fertility. *European Journal of Soil Biology.* 177: 150-162.
- Jones, D.L., and P.R. Darrah.1996. Re-sorption of organic compounds by roots of (*Zea mays* L.) and its consequences in the rhizosphere. *Plant and Soil*. 178: 153-160.
- Kaur, G., and M.S. Reddy. 2014. Influence of P-solubilizing bacteria on crop yield and soil fertility at multilocational sites. *European Journal of Soil Biology*. 61: 35-40.
- Kennedy, I.R., and Y.T. Tchan. 1992. Biological nitrogen fixation in non leguminous field crops: Recent advances. *Plant and Soil*. 141: 93-118.
- Kumar, V., R.K. Behl, and N. Narula. 2001. Establishment of phosphate solubilizing strains of Azotobacter chroococcum in rhizosphere and their effect on wheat under green house conditions. *Microbiology Research*. 156: 87–93.
- Madani, H., Gh. Boroujerdi, and A. Pazoki. 2010. Effect of phosphorus soluble bacterial and chemical fertilizer of phosphate ammonium in autumn canola. *Journal of Crop Ecophysiology*. 4 (16): 108-95. (In Persian).
- Mehnaz, S., and G. Lazarovits. 2006. Inoculation effects of Pseudomonas putida, *Gluconacetobacter azotocaptans*, and *Azospirillum lipoferum* on corn plant growth under green house conditions. *Microbial Ecology*. 51: 326–335.
- Mohammadi, K., S. Kalamian, and F. Nouri. 2007. Use of agricultural wastage as compost and its effect on grain yield of wheat cultivars. National Conference for Food and Agribusiness. Tarbiat Modares University, Tehran. Pp: 219-224. (In Persian).
- Narula, N., V. Kumar, R.K. Behl, A. Deubel, A. Gransee, and W. Merbach. 2000. Effect of P-solubilizin *Azotobacter chroococcum* on N, P, K uptake in P responsive

wheat genotypes grown under greenhouse conditions. *Journal of Plant and Nutrient Soil Science.* 163: 393–398.

- Ohara, N., Y. Naito, K. Kasama, T. Shindo, H. Yoshida, T. Nagata, and H. Okuyama. 2009. Similar changes in clinical and path-ological parameters in Wistar Kyoto rats after a 13-week dietary intake of canola oil or a fatty acid composition-based interesteried canola oil mimic. *Food Chemistry and Toxicology Journal*. 47: 157-162.
- Padmavathiamma, P.K., L.Y. Li, and U.R. Kumari. 2008. An experimental study of vermin biowaste composting for agricultural soil improvement. *Bioresource Technology*. 99: 1672-1681.
- Patten, C.L., and B.R. Glick. 2002. Role of *Pseudomonas putida* indole acetic acid in development of the host plant root system. *Applied Environmental Microbiology*. 68: 3795–3801.
- Rabiee, M., M. Kavoosi, and P. Tousi Kehal. 2012. Effect of nitrogen fertilizer levels and their application time on yield and some agronomic traits of rapeseed (cv. Hyola 401) in winter cultivation in Guilan. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil*. 15(58): 199-212. (In Persian).
- Sabahi, H., A. Ghalavand, A.M. Modarres sanavy, and A. Asgharzadeh. 2008. Comparing the effects of integrated and conventional fertilization systems on canola (*Brassica napus*) yield and chemical properties of soil. *Water and Soil Journal*. 22 (2): 1-15.
- Saharan, B.S., and V. Nehra. 2011. Plant growth promoting rhizobacteria: A critical review. *Life Science and Medicine Research*. 21: 1-30.
- Sahu, S.N., and B.B. Jana. 2000. Enhancement of the fertilizer value of rock phosphate engineered through phosphate-solubilizing bacteria. *Ecological Engineering Journal*. 15: 27–39.
- Salahi Farahi, M., and F. Seyedi. 2015. Effect of sulfur fertilizer combination with thiobacillus and zinc on yield and yield components and rapeseed oil percentage of RGS003 in Gonbad region. *Olive Oil Production*. 2(2): 46-35. (In Persian).
- Salimpour, S., B. Khawazi, A. Nadiyan, and H. Besharati. 2010. Effect of soils and sulfur and microorganisms on the performance and chemical composition of rapeseed. *Soil Research (Soil and Water Sciences)*. 24(1): 19-9. (In Persian).
- Sani, B., F. Rajabzadeh, A. Liaqati, F. Ghoshchi, and M. Carver. 2007. The role of biological fertilizers on qualitative and quantitative and quantitative indices of maize in the ecosystem. Proceedings of the 2nd National Ecological Conference of Iran. 885-899. (In Persian).
- Silspur, M., and E. Baniafi. 2000. Feasibility of using microbial phosphate fertilizers in the cultivation of cotton with the aim of exploring the use of phosphate fertilizers. Sixth Iranian Congress of Agronomy and Plant Breeding, Babolsar, Iran. Pp: 469. (In Persian).
- Soleymanifard, A., and R. Naseri. 2014. The effects of urea fertilizer and Azotobacter and Azospirillum on physiological charactestis of maize (*Zea mays* L.) at Khash, Iran. *Journal of Crop Ecophysiology*. 3(31): 301-319. (In Persian).

- Vesquez, P., G. Holguin, M.E. Puente, A. Lopez Cortes, and Y. Bashan. 2000. Phosphate solubilizing microorganisms associated with the rhizosphere of mangroves in a semiarid coastal lagoon. *Biology and Fertility of Soils*. 30: 460-468.
- Yasari, E., M.A. Azadgoleh, S. Mozafari, and M. Alashti. 2009. Enhancement of growth and nutrient uptake of rapeseed (*Brassica napus* L.) by applying mineral nutrients and biofertilizers. *Pakistan Journal of Biological Science*. 15: 12(2): 27-33.
- Zaidi, A., M.S. Khan, and M. Amil. 2003. Interactive effect of rhizotrophic microorganisms on yield and nutrient uptake of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *European Journal of Agronomy*. 19: 15-21.
- Zhao, F.J., P.E. Bilsborrow, E.J. Evans, and S.P. Mc Grath. 1997. Nitrogen to sulfur ratio in rape-seed and in rapeseed protein and its use in diagnosing sulfur deficiency. *Journal of Plant Nutrition*. 20: 549-558.

The Effect of Combined Application of Plant Growth Promoting Rhizobacteria and Different Levels of Vermicompost on Quantitative and Qualitative Performance of Rapeseed (*Brassica napus* L.)

Reza Monem[1*], Alireza Pazoki[2], and Ali Abdzad Gohari[3]

Received: December 2017 , Revised: 04 August 2018, Accepted: 03 October 2018

Abstract

Integrated plant nutrition management is a good method to increase the productivity of crops and improve the environment. To evaluate the effects of using growth promoting bacteria and different levels of vermicompost on quantitative and qualitative yield of rapeseed (*Brassica napus* L.), a field experiment was conducted in 2014-2015. The treatments consisted of inoculation and non-inoculation of canola seeds with growth promoting bacteria and application of different levels of vermicompost (0, 4, 8 and 12 $t.ha^{-1}$). The results showed that simple effects and interaction of vermicompost and growth promoting bacteria on quantitative and qualitative traits of canola were significant. That is to say with increasing the application of vermicompost from 4 to 12 tons per hectare, a significant increase was observed in the traits under study as compared to the control. Inoculation of seeds with growth promoting bacteria also increased the amount of measured traits as compared to the control. The application of 12 tons of vermicompost per hectare, along with growth promoting bacteria, resulted in an increase in the number of pods per plant, 1000-seed weight, biological yield, grain yield, harvest index and oil yield, (28.63, 4.68 g, 10785.2 kg, 3484.2 kg, 38.02% and 1795.93 $kg.ha^{-1}$, respectively, as compared with control). Application of 12 $t.ha^{-1}$ of vermicompost per hectare along with growth promoting bacteria resulted in grain yield, harvest index and oil yield increase by 83%, 45% and 43%, respectively, as compared with control. Therefore, in soils with low organic matter content, simultaneous application of vermicompost and growth promoters bacteria can improve the quality and quantity of rapeseed yield.

Key words: Oil percentage, PGPR, Plant Growth Regulators, Yield components.

1-Assistant Professor of Agronomy Department, Yadegar-e-Imam Khomeini (RAH) Shahre-rey Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2-Associate Professor of Agronomy Department, Yadegar-e-Imam Khomeini (RAH) Shahre-rey Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
3- Young Researchers and Elite Club, Islamshahr Branch, Islamic Azad University, Islamshahr, Iran.
* *Corresponding Author: rezamonaem@yahoo.com*