# تأثیر روش‌های تلفیقی کود دهی بر غلظت نیتروژن، فسفر و خواص زیستی خاک و صفات کلزا

خسرو محمدی[1] و یوسف سهرابی

استادیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج؛ khosromohammadi60@yahoo.com

استادیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان؛ y.sohrabi@uok.ac.ir

دریافت: 91/8/2 و پذیرش: 92/7/22

## چکیده

**به منظور بررسی تأثیر روش‌های مختلف کوددهی و تناوب زراعی بر خواص شیمیایی و بیولوژیکی خاک و عملکرد دانه رقم طلایه کلزا، آزمایشی طی سه سال زراعی 86 تا 89 در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گریزه سنندج انجام گردید. آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. سه تناوب زراعی مختلف شامل نخود، آفتابگردان، گندم، کلزا (R1)؛ کود سبز، نخود، کود سبز، گندم، کود سبز، کلزا (R2) و کلزا، گندم، کلزا (R3) به عنوان عامل اصلی در نظر گرفته شدند. شش روش تأمین کود پایه شامل کود دامی (N1)، کمپوست (N2)، کود شیمیایی شامل اوره، سوپر فسفات تریپل و فسفات آمونیوم (N3)، کمپوست + کود دامی (N4)، کمپوست + کود دامی + کود شیمیایی (N5) و تیمار شاهد (N6) به عنوان سطوح عامل فرعی تعیین شدند. نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که کاربرد همزمان کود دامی، کمپوست و کود شیمیایی، میزان عناصر معدنی خاک را افزایش می‌دهد. کاربرد کود سبز خانواده بقولات در تناوب R2 به طور معنی‌داری باعث افزایش نیتروژن، فسفر و پتاسیم خاک، تعداد باکتری و کربن بیوماس میکروبی و همچنین فعالیت دهیدروژناز و پروتئاز نسبت به دو تناوب دیگر گردید. بیشترین تعداد باکتری و بیوماس جامعه میکروبی در تیمار کاربرد کود دامی و کمپوست به دست آمد. بیشترین فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز، پروتئاز، اوره‌آز و دهیدروژناز در تیمار N4 حاصل شد. بیشترین فعالیت اوره‌آز (48/6 میکرو گرم اوره در گرم خاک خشک) در تیمار کاربرد کودهای آلی در تناوب حاوی کود سبز مشاهده گردید. بیشترین عملکرد دانه نیز در تیمارهای تناوب حاوی کود سبز و کاربرد تلفیقی کودها مشاهده گردید. در نهایت تیمار R2N4 به عنوان تیمار برتر آزمایش معرفی گردید.**

**واژه‌های کلیدی**: آنزیم، بیوماس میکروبی، حاصلخیزی، کمپوست، کود دامی

## مقدمه

ریزجانداران خاک به عنوان بخش زندهٔ آن کمتر از یک درصد حجم خاک را به خود اختصاص می‌دهند. یکی از مهمترین ارکان سلامت خاک در بوم نظام‌های کشاورزی وجود و فعالیت جامعهٔ میکروبی خاک می‌باشد (لیو و همکاران، 2007). فعالیت متابولیکی ریزجانداران خاک برای تداوم چرخه مواد آلی ضروری است. فعالیت‌های متابولیکی با توجه به ترکیب گونه‌های میکروبی تعیین می‌گردد. ولی با وجود این، میزان ماده آلی خاک روی فعالیت متابولیکی آن‌ها تأثیر چشمگیری دارد (لاپ وایی و همکاران، 2007).

در مطالعات اخیر سودمندی‌های فراوانی را به ریز جانداران خاک نسبت داده‌اند. تجزیهٔ ماده آلی و تغییر و تبدیل عناصر غذایی به فرم‌های قابل دسترس توسط ریزجانداران خاکی، کمک در ساختن زمین زراعی

[1]: نویسنده مسئول، آدرس: سنندج، دانشگاه آزاد اسلامی، دانشکده کشاورزی، گروه زراعت.

مرغوب و حاصلخیز، افزایش رشد محصول و کنترل عوامل بیماری‌زا و افزایش تولید محصولات کشاورزی از مهم‌ترین این موارد می‌باشد (محمدی، 2011). بنابراین تشخیص و تعیین راه‌کارهای بهبود شرایط جامعهٔ میکروبی خاک به بهبود کیفیت محصولات و سلامت اکوسیستم منجر می‌گردد. استفاده از منابع گیاهی و حیوانی قابل تجدید از مواردی است که نقش مهمی در باروری و حفظ فعالیت‌های بیولوژیک دارند. کاربرد نهاده‌هایی از قبیل کود دامی و کمپوست می‌تواند علاوه بر بهبود ساختار فیزیکی خاک، با افزایش سطح ماده آلی خاک به بهبود شرایط بیولوژیک خاک نیز منجر گردد (محمدی و همکاران، 2012). یافته‌های سامر و همکاران (2011) نیز نشان داد که کاربرد کمپوست باعث افزایش ماده آلی خاک و بیوماس میکروبی گردید. یکی از نشانه‌های فعالیت جامعهٔ میکروبی خاک ترشح آنزیم‌های ویژه‌ای است که چرخهٔ مواد آلی توسط آن‌ها تسریع و تسهیل می‌گردد. این آنزیم‌ها به صورت داخل یا خارج سلولی عمل می‌نمایند. تجادا و همکاران (2008) نشان دادند که استفاده از کودهای آلی باعث افزایش جامعهٔ میکروبی خاک و افزایش فعالیت آنزیم‌های اوره آز، بتا گلوکوزیداز، فسفاتاز و دهیدروژناز می‌گردد.

یکی از مهمترین ارکان حصول کشاورزی پایدار افزایش تنوع زیستی در اکوسیستم‌های زراعی می‌باشد. با افزایش تنوع زیستی به دلیل افزایش اثرات متقابل بین موجودات، روابط و برهمکنش‌های مثبت افزایش می‌یابد. تناوب زراعی یکی از مهمترین ارکان افزایش تنوع زیستی می‌باشد. یافته‌های لاپ وایی و همکاران (2010) نشان داد که کاربرد تناوب زراعی باعث افزایش تعداد و فعالیت جامعه میکروبی خاک می‌گردد. در تناوب زراعی برگرداندن بقایای گیاهان مختلف به خاک باعث افزایش کربن آلی خاک می‌گردد و شرایط برای فعالیت جامعه میکروبی خاک بهبود می‌یابد. همچنین گزارش‌های متعددی در مورد اثر کود سبز در تناوب بر تعداد و فعالیت جامعه میکروبی خاک وجود دارد (سیستچ و همکاران، 2001). نتایج این یافته‌ها نشان می‌دهد که کاربرد کود سبز باعث افزایش جمعیت و تنوع باکتری‌های خاک، کربن بیوماس میکروبی و فعالیت آنزیمی جامعه میکروبی خاک می‌گردد (بویر و درینک واتر، 1997؛ سسیتچ و همکاران، 2001).

یافته‌های هوکس و همکاران (2011) نشان داد که وجود گیاهان لگومینوز مانند سویا در تناوب زراعی باعث افزایش نیتروژن و فسفر خاک گردید. نتایج یافته‌های توبیاسوا (2011) نشان داد که تناوب زراعی بر خصوصیات مختلف خاک از قبیل نیتروژن، فسفر و پتایسم و اسیدیته خاک تأثیر گذار است. توسعهٔ کاربرد منابع گیاهی و دامی قابل تجدید و منابع بیولوژیک به جای منابع شیمیایی در تناوب زراعی می‌تواند نقش مهمی در باروری و حفظ فعالیت‌های بیولوژیک، مواد آلی خاک، سلامت بوم نظام زراعی و افزایش کیفیت محصولات زراعی داشته باشد (زایدی و همکاران، 2003). کودهای دامی و کمپوست علاوه بر نقش تغذیه‌ای، در بهبود کیفیت محصولات، خواص فیزیکی و افزایش فعالیت بیولوژیک خاک تأثیر معنی‌داری دارند.

هدف اصلی این آزمایش نیز یافتن ترکیب کودی و تناوب زراعی مناسب جهت دستیابی به کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی، افزایش فعالیت جامعهٔ میکروبی و بهبود وضعیت مادهٔ آلی خاک در زراعت این محصول استراتژیک می‌باشد. در سالیان اخیر کشت کلزا با استقبال زارعین استان کردستان مواجه شده است، همچنین نحوهٔ ترکیب همزمان نهاده‌های شیمیایی و آلی در تناوب‌های مختلف زراعی و اثر آن بر خواص شیمیایی و میکروبی خاک، در زراعت کلزا تاکنون ارزیابی نشده است. بنابراین لزوم تعیین ترکیبی از کودهای آلی در تغذیه کلزا، در کنار بررسی امکان کاربرد کود سبز در تناوب زراعی محسوس می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

تحقیق طی سه سال زراعی 86 تا 89 در مزرعه تحقیقاتی ایستگاه تحقیقات کشاورزی گریزه شهرستان سنندج واقع در 30 درجه و 47 دقیقهٔ طول شرقی و 11 درجه و 35 دقیقهٔ عرض شمالی با ارتفاع 1400 متری از سطح دریا انجام شد. این آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، با سه تکرار انجام گرفت. سه تناوب زراعی مختلف (شامل نخود، آفتابگردان، گندم، کلزا (R1)، کود سبز (ماشک گل خوشه‌ای و جو)، نخود، کود سبز، گندم، کود سبز، کلزا (R2) و کلزا، گندم، کلزا (R3)) به عنوان عامل اصلی و کود پایه نیز در شش سطح (شامل10 تن کود دامی در هکتار (N1)، 5 تن کمپوست زباله شهری در هکتار (N2)، کود شیمیایی شامل 100 کیلوگرم سوپر فسفات تریپل + 150 کیلوگرم اوره و 50 کیلو گرم سولفات پتاسیم در هکتار (N3)، 2/5 تن کمپوست زباله شهری + 5 تن کود دامی (N4) و 2/5 تن کمپوست زباله شهری + 5 تن کود دامی + 50 کیلو گرم سوپر فسفات تریپل + 75 کیلو گرم اوره + 25 کیلو گرم سولفات پتاسیم در هکتار (N5) و تیمار شاهد (N6)) به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته

شدند. میزان کودهای مصرفی بر اساس آزمون خاک تعیین گردید. ابعاد هر کرت اصلی 60×10 متر معادل 600 متر مربع و کرت‌های فرعی دارای ابعاد 10×8 متر بود. جهت اجرای تناوب زراعی زمین مورد نظر به سه قسمت مساوی (قطعه اصلی) تقسیم گردید. در قطعهٔ شماره یک در اوایل فروردین ماه 1387، رقم پیروز نخود (*Cicer arietinum*) کشت گردید. پس از برداشت نخود (در اوایل تیر ماه 1387)، رقم آذرگل آفتابگردان (*Helianthus annuus*) کشت گردید. پس از برداشت آفتابگردان در مهر ماه، رقم زرین گندم (*Triticum aestivum*) کشت گردید. در اواخر تیر ماه 1388، گندم برداشت گردید و رقم طلایه کلزا (*Brassica napus*) در شهریور ماه 1388 کشت گردید. در قطعهٔ شماره دو تناوب مشابه کرت شماره یک بود با این تفاوت که به جای آفتابگردان، کود سبز در تناوب قرار گرفت و در فاصله بین کشت‌های مختلف نیز کود سبز گنجانده شد. کود سبز شامل ترکیبی از ماشک گل خوشه‌ای (*Vicia panunica*) و جو (*Hordeum vulgare*) به نسبت مساوی و به صورت کشت ردیفی با فاصله ردیف 10 سانتیمتر بود و 15 روز قبل از کاشت گیاه اصلی به وسیله پنجه غازی به خاک برگردانده شد.

در قطعهٔ سوم در سال اول و سوم در اواخر شهریور ماه رقم طلایه کلزا و در مهر ماه سال دوم، گندم کشت گردید. در سال سوم آزمایش قبل از کاشت کلزا، به منظور آگاهی از وضعیت عناصر غذایی خاک و جهت تعیین میزان کودهای مصرفی، از هر کرت فرعی در واحدهای آزمایشی، نمونه‌برداری به عمل آمد و در آزمایشگاه تجزیهٔ خاک و آب استان کردستان تجزیه گردید (جدول 1). در این آزمایش نیتروژن کل با استفاده از روش کجلدال (برمنر و مولوانی، 1982)، فسفر قابل جذب به روش اولسن و همکاران (1954)، بافت خاک بر اساس روش هیدرومتر (جی و باودر، 1979)، EC و pH عصاره اشباع خاک بر اساس روش اسمیت و دوران (1996) و پتاسیم قابل جذب با استفاده از عصاره گیر استات آمونیوم و بر اساس روش کارتر (1993) اندازه‌گیری شدند. کود دامی و کمپوست مورد استفاده، قبل از مصرف بر اساس روش کارتنی و مولن (2008) تجزیه و درصد عناصر آن مشخص شد (جدول 2).

برای اندازه‌گیری صفات مربوط به فعالیت بیولوژیک خاک در مرحله گلدهی کلزا، 500 گرم خاک مجاور ریشه از هر کرت فرعی در هر تکرار برداشت گردید. پس از جدا نمودن ریشه‌ها، ابتدا نمونه‌ها از الک پنج میلی‌متری عبور داده شدند و پس از حذف بقایا از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند. برای تعیین تعداد جامعهٔ میکروبی از روش شمارش با استفاده از میکروسکوپ فلورسنس استفاده گردید (لی و همکاران، 2002). بدین منظور از سوسپانسیون نهایی مقدار 10 میکرولیتر برداشته و بر روی لام قرار داده شد و با نوک سوزن به طور یکنواخت پخش گردید. سپس پنج میلی‌لیتر محلول آکریدین نارنجی جهت رنگ آمیزی باکتری‌ها به لام اضافه شد. پس از خشک شدن لام‌ها، تعداد باکتری‌ها که در اثر رنگ آمیزی درخشان شده بودند با میکروسکوپ فلورسانس با بزرگنمایی 500 برابر شمارش شدند. در نهایت تعداد باکتری در هر گرم خاک خشک از رابطهٔ زیر به دست آمد (لی و همکاران، 2002).

$$\text{تعداد باکتری} = \frac{BF \times 10^4 \times DF}{AF}$$

در رابطهٔ فوق BF نشان دهنده تعداد باکتری شمارش شده در روی لام، DF فاکتور رقت (150)، AF نیز نشان دهندهٔ مساحت یک میدان میکروسکوپی روی لام بود. برای اندازه‌گیری کربن بیوماس میکروبی از روش تدخین - استخراج (اسپارلینگ و وست، 1988) استفاده گردید. در این روش نمونه‌های خاک با کلروفرم تدخین شدند و با محلول سولفات پتاسیم، عصاره‌گیری گردیدند. در نهایت کربن آلی عصاره در هر کرت فرعی اندازه‌گیری شد و از طریق رابطهٔ زیر، کربن بیوماس میکروبی تعیین گردید.

$$Carbon = \frac{S - C}{0.35}$$

در رابطهٔ فوق، S نشان دهندهٔ میلی‌گرم کربن آلی در صد گرم خاک خشک تدخین شده و C نشان دهندهٔ میلی‌گرم کربن آلی در صد گرم خاک خشک تدخین نشده (شاهد) بود. فعالیت آنزیم اوره‌آز (EC 3.5.1.5) به روش کاندلر و گربر (1988)، فعالیت فسفاتاز اسیدی (EC 3.1.3.2) و فسفاتاز قلیایی (EC 3.1.3.1) به روش طباطبایی و برمنر (1969)، فعالیت دهیدروژناز به روش گارسیا و همکاران (1993) فعالیت پروتئاز (EC 3.4.21-24) نیز بر اساس روش کاندلر (1996) تعیین گردید.

در پایان فصل (اول تیر ماه)، عملکرد دانه کلزا در تمام واحدهای آزمایشی در سطحی معادل 5×2 متر اندازه‌گیری شد. نیتروژن دانه با استفاده از روش کجلدال و گوگرد دانه با روش سدیم پراکسید و بر اساس استانداردهای AOAC (1998) اندازه‌گیری شد. به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها و انجام تجزیه واریانس از دستور-العمل PROC GLM در نرم افزار آماری SAS استفاده

شد. مقایسهٔ میانگین صفات نیز به روش LSD در سطح احتمال 5 درصد انجام گرفت. همبستگی بین صفات میکروبی خاک نیز با استفاده از نرم افزار آماری Minitab تعیین گردید.

## نتایج و بحث

### عناصر معدنی خاک

تجزیهٔ واریانس داده‌ها نشان داد که تناوب زراعی و کودهای پایه تأثیر معنی‌داری بر نیتروژن، فسفر و پتاسیم خاک داشتند (جدول 3). بر اساس نتایج مقایسهٔ میانگین‌ها (جدول 4) مشخص شد کاربرد همزمان کود دامی، کمپوست و کود شیمیایی باعث افزایش میزان عناصر معدنی خاک می‌شوند. کاربرد کمپوست باعث افزایش عناصر معدنی خاک نسبت به کود دامی گردید، هر چند این افزایش معنی‌دار نبود. گزارش شده است که کاربرد کود سبز خانواده بقولات در تناوب R2 باعث افزایش نیتروژن و فسفر خاک گردید. کاربرد کود سبز باعث افزایش فعالیت باکتری‌های تثبیت کنندهٔ نیتروژن و باکتری‌های حل کنندهٔ فسفات می‌گردد (الفستراند و همکاران، 2007). تناوب R1 نیز در مقایسه با تناوب R3 دارای میزان عناصر NPK بیشتری بود، هر چند این اختلاف از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول 4). در توجیه این امر می‌توان اظهار داشت که در تناوب زراعی قرارگیری ریشه گیاهان زراعی در عمق‌های مختلف باعث تخلیه نشدن مواد غذایی و باقی ماندن آن‌ها در عمق‌های مختلف گردیده و همچنین متفاوت بودن نیاز غذایی گیاهان تناوب باعث شد تا مشکلات تغذیه‌ای کلزا در تناوب کاهش یابد، یعنی به نوعی رقابت در زمان برای عناصر غذایی کاهش یابد. اما در تناوب R3 سه سال متوالی ریشه کلزا و گندم از یک عمق خاص فرم‌های خاصی از نیتروژن و سایر عناصر را جذب نموده و باعث تخلیهٔ عناصر غذایی گردید.

### تعداد باکتری و بیوماس جامعه میکروبی

نتایج تجزیهٔ واریانس داده‌ها نشان داد که تناوب و کودهای پایه تاثیر معنی‌داری بر تعداد باکتری‌ها و کربن بیوماس میکروبی خاک داشتند (جدول 3). اثر متقابل تناوب زراعی × کود دهی بر تعداد باکتری‌ها و کربن بیوماس میکروبی معنی‌دار نبود. در مقایسهٔ میانگین‌ها (جدول 5) مشخص شد که بیشترین تعداد باکتری و بیوماس جامعه میکروبی در تناوب R2 ایجاد گردید. اجرای تناوب زراعی باعث افزایش تنوع زیستی و مادهٔ آلی خاک می‌گردد. یافته‌های لاپ وایی و همکاران (2007) نشان داد که کاربرد تناوب زراعی باعث افزایش تعداد و فعالیت جامعه میکروبی خاک می‌گردد. در تناوب زراعی شامل کود سبز، برگرداندن کود سبز به خاک باعث افزایش کربن آلی خاک می‌گردد و شرایط برای فعالیت جامعه میکروبی خاک بهبود می‌یابد (مور و همکاران، 2000). بالوتا و همکاران (2004) نشان دادند که قرار گرفتن بقولات در تناوب باعث افزایش فعالیت میکروبی خاک و معدنی شدن نیتروژن در خاک گردید. همچنین گزارش‌های متعددی در مورد اثر کود سبز بر تعداد و فعالیت جامعه میکروبی خاک وجود دارد (الفستراند و همکاران، 2007 و محمدی و همکاران، 2011). نتایج این یافته‌ها نشان می‌دهد که کاربرد کود سبز باعث افزایش جمعیت و تنوع باکتری‌های خاک و کربن بیوماس میکروبی می‌گردد. در تحقیق حاضر نیز تناوبی که کود سبز به عنوان پیش کاشت کلزا تعیین شده بود، دارای بیشترین تعداد باکتری و کربن بیوماس میکروبی بود.

مقایسهٔ میانگین‌ها نشان داد که بیشترین تعداد باکتری و بیوماس جامعه میکروبی در تیمار N4 که کود دامی و کمپوست به صورت همزمان به‌کار رفته بود ایجاد گردید (جدول 5). به نظر می‌رسد افزایش ماده آلی ناشی از کاربرد کود دامی و کمپوست عامل اصلی افزایش جامعه میکروبی خاک باشد. یافته‌های باتاچریا و همکاران (2005) نیز نشان داد کاربرد کمپوست زباله شهری و کود گاوی باعث افزایش کربن بیوماس میکروبی خاک می‌گردد. آنان نیز بهبود شرایط فیزیکی خاک در اثر افزایش ماده آلی خاک را عامل اصلی این افزایش عنوان نمودند. در اثر کاربرد نهاده‌های آلی وزن مخصوص ظاهری خاک کاهش می‌یابد. کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک نیز باعث افزایش فعالیت و تعداد جوامع میکروبی خاک می‌گردد (لی و همکاران، 2002). کاربرد کود دامی و کمپوست باعث افزایش کربن محلول در آب و نیتروژن قابل معدنی شدن خاک می‌گردد. باتاچریا و همکاران (2005) همبستگی مثبت و معنی‌داری بین این دو عامل و فعالیت جامعه میکروبی خاک نشان دادند. در مقایسهٔ میانگین‌ها مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری بین تیمار N4 و N5 از نظر تعداد باکتری وجود نداشت. یعنی اضافه نمودن کود شیمیایی به منابع آلی تأثیر منفی در تعداد جامعه میکروبی ایجاد ننمود. لیتا و همکاران (1999) در آزمایشی نشان دادند که کاربرد توأم کودهای آلی و شیمیایی باعث تأمین نیاز کربن و نیتروژن جامعه میکروبی خاک می‌گردد. باتاچریا و همکاران (2005) نیز افزایش تعداد جامعه میکروبی را در اثر کاربرد همزمان کود آلی و شیمیایی گزارش نمودند. همچنین یافته‌های کاررا و همکاران (2007) نشان دادند کاربرد همزمان کود

سبز به عنوان گیاه پوششی، کمپوست و کود دامی باعث افزایش تنفس و کربن بیوماس میکروبی خاک می‌گردد.

**فعالیت آنزیمی خاک**

اگرچه تناوب زراعی تأثیر معنی‌داری بر فعالیت فسفاتاز قلیایی نداشت، با این وجود فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز اسیدی، پروتئاز، اوره‌آز و دهیدروژناز تحت تأثیر تناوب زراعی و کوددهی قرار گرفت (جدول 3). اثر متقابل تناوب زراعی × کود دهی نیز تنها بر فعالیت اوره‌آز معنی‌دار بود. در مقایسهٔ میانگین‌ها مشخص شد که بیشترین فعالیت آنزیمی در تیمار N4 که کود دامی و کمپوست به صورت همزمان بکار رفته بود ایجاد گردید. کود شیمیایی نیز به طور معنی‌داری فعالیت آنزیمی را کاهش داد. به نحوی که فعالیت همهٔ آنزیم‌های مورد مطالعه در تیمار N3 کمتر از تیمارهای دارای کود آلی بود. به نظر می‌رسد کاربرد کودهای آلی با بهبود ساختمان خاک و افزایش ماده آلی خاک باعث فراهم شدن شرایط برای فعالیت جامعهٔ میکروبی خاک گردیده و فعالیت آنزیمی آن‌ها افزایش می‌یابد. مارتینز و همکاران (2007) افزایش ثبات و استقرار جامعهٔ میکروبی در اثر افزایش میزان هوموس ناشی از کاربرد کودهای آلی را عامل افزایش فعالیت آنزیمی معرفی نمودند. همبستگی بالایی بین کربن بیوماس میکروبی با فعالیت اوره‌آز، فسفاتاز اسیدی و دهیدروژناز مشاهده گردید (جدول 6). بین فعالیت فسفاتاز قلیایی و کربن بیوماس میکروبی همبستگی معنی‌داری مشاهده نگردید. افزایش فعالیت آنزیمی خاک در اثر کاربرد کودهای آلی در مطالعات دیگری نیز گزارش شده است (مارتینز و همکاران، 2007؛ محمدی و همکاران، 2012).

یافته‌های گیوسکیانی و همکاران (1994) نیز نشان داد که با افزایش میزان مصرف کمپوست فعالیت آنزیمی خاک به صورت خطی افزایش می‌یابد. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین فعالیت فسفاتاز در تناوب R2 ایجاد گردید (جدول 5). این نتیجه با یافته‌های کیرچنر و همکاران (1993) مطابقت داشت. آن‌ها نیز افزایش فعالیت فسفاتاز را در اثر قرار گیری کود سبز در تناوب زراعی گزارش نمودند. فعالیت فسفاتاز باعث آزاد سازی فسفر از ترکیبات فسفر دار خاک می‌گردد (طرفدار و مارچنر، 1994). یافته‌های طرفدار و مارچنر (1994) نشان داد که در اثر فعالیت فسفاتاز دسترسی به فسفات آلی خاک توسط گیاه افزایش می‌یابد.

گزارش‌های متعددی وجود دارد که نشان می‌دهند فعالیت آنزیمی خاک در اثر کاربرد کود سبز افزایش می‌یابد (کاررا و همکاران، 2007؛ محمدی و همکاران، 2011). تناوب کلزا - گندم (R3) دارای کمترین فعالیت دهیدروژناز و پروتئاز بود و کاربرد کود سبز در تناوب زراعی فعالیت این آنزیم‌ها را به صورت معنی‌داری افزایش داد (جدول 5). در مقایسه کاربرد کود دامی و کمپوست از نظر فعالیت دهیدروژناز و پروتئاز تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. با این حال کاربرد همزمان کود دامی و کمپوست فعالیت این آنزیم‌ها را در مقایسه با مصرف کود شیمیایی افزایش داد. یافته‌های مارینا‌ری و همکاران (2000) نیز افزایش فعالیت دهیدروژناز را در اثر کاربرد نهاده‌های آلی نشان داد. افزایش میزان آهن خاک در اثر کاربرد کود دامی و کمپوست نیز یکی دیگر از عوامل افزایش فعالیت دهیدروژناز می‌باشد (ولدارزیک و همکاران، 2002). پتانسیل اکسیداسیون-احیا خاک و pH نیز می‌توانند روی فعالیت آنزیمی خاک تأثیر گذار باشند (نایاک و همکاران، 2007). کاربرد کود دامی و کمپوست باعث افزایش حالت احیا و کاهش pH خاک می‌گردد ولی این کاهش pH در مقایسه با کاهش ناشی از کود شیمیایی اوره کمتر است. نتایج مطالعه نایاک و همکاران (2007) نشان داد که در مقایسهٔ با کودهای آلی، کاربرد کودهای شیمیایی (N-P-K) باعث کاهش pH خاک از 6/98 به 5/20 شده و تأثیر منفی بر فعالیت آنزیمی جامعهٔ میکروبی دارند.

بیشترین فعالیت اوره‌آز (48/6 میکرو گرم اوره در گرم خاک خشک) در تیمار R2N4 مشاهده گردید (داده‌ها نشان داده نشده). کاربرد کود دامی، کمپوست و کود سبز در این تیمار وزن مخصوص ظاهری خاک را کاهش داد. نتایج لی و همکاران (2002) نشان داد که با کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک فعالیت اوره‌آز افزایش می‌یابد. کمترین فعالیت اوره‌آز (21/4 میکرو گرم اوره در گرم خاک خشک) در تیمار R3N3 ایجاد گردید. بنابراین به نظر می‌رسد در این تیمار کاربرد بیشتر اوره به عنوان کود شیمیایی باعث فراهمی $NH_4$ در ریزوسفر گردیده و این عامل باعث کاهش و توقف فعالیت اوره‌آز شده است. افزایش فعالیت آنزیمی خاک در اثر کاربرد نهاده‌های آلی لزوم جایگزینی آن‌ها به جای کودهای شیمیایی را نمایان می‌سازد، چرا که فعالیت‌های آنزیمی خاک کلید چرخهٔ مواد در اکوسیستم می‌باشند. به طور کلی می‌توان اظهار داشت که، فراهم نمودن شرایط برای فعالیت ریزجانداران خاکزی، افزایش پایداری بوم نظام‌های زراعی و استقرار سیستم‌های کم نهاده را در پی خواهد داشت.

**نیتروژن و گوگرد دانه**

تجزیهٔ واریانس داده‌ها نشان داد که تناوب زراعی تأثیر معنی‌داری بر نیتروژن (N)، گوگرد (S) دانه و نسبت نیتروژن به گوگرد (N/S) دانه داشت (جدول 3). نسبت نیتروژن به گوگرد نقش مهمی در متابولیسم اسیدهای چرب گوگرد دار دارد و نشان دهندهٔ تعادل جذب نیتروژن و گوگرد در گیاه است (ژاو و همکاران، 1997). مقایسهٔ میانگین‌ها (جدول 7) نشان داد که بیشترین میزان نیتروژن و گوگرد دانه و کمترین نسبت N/S در تناوب R2 حاصل گردید. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین میزان نیتروژن (0/486) و گوگرد دانه (0/391) با عملکرد دانه مشاهده گردید. نسبت نیتروژن به گوگرد یک پارامتر ژنتیکی محسوب می‌گردد، ولی عوامل محیطی و تغذیه‌ای نیز روی این نسبت تأثیر گذارند (ژاو و همکاران، 1997). افزایش این نسبت تا حدی برای گیاه مطلوب می‌باشد، اما در کلزا افزایش این نسبت باعث بروز علائم کمبود گوگرد در گیاه می‌گردد و عملکرد دانه را کاهش می‌دهد (بارکر و پیلیم، 2007). قرار گرفتن کود سبز قبل از کاشت کلزا باعث فراهمی نیتروژن و سایر عناصر غذایی گردید. نیتروژن تثبیت شده توسط ماشک گل خوشه‌ای که در ریزوسفر آزاد شده بود باعث افزایش جذب نیتروژن توسط کلزا گردید و محتوی نیتروژن دانه افزایش یافت.

نتایج نشان داد که کودهای پایه تأثیر معنی‌داری بر نیتروژن، گوگرد و نسبت N/S دانه دارند. بیشترین میزان نیتروژن دانه (38/9 میلی‌گرم در گرم) در تیمار N5 به دست آمد. از مهم‌ترین دلایل این امر می‌توان به فراهم نمودن بیشتر نیتروژن توسط کمپوست و کودهای دامی به همراه کودهای شیمیایی اشاره نمود. علاوه بر این کاربرد کودهای آلی باعث افزایش فعالیت آنزیمی و میکروبی خاک و افزایش فراهمی نیتروژن برای گیاه می‌گردد. همچنین کمپوست مورد استفاده حاوی درصد گوگرد قابل توجهی بود که باعث افزایش معنی‌دار فراهمی و جذب گوگرد دانه نسبت به تیمار کود دامی گردید. محمدی و رخزادی (2012) گزارش نمودند که کاربرد کمپوست درصد گوگرد و نیتروژن دانه کلزا را افزایش می‌دهد. با توجه به اینکه کمترین نسبت N/S در تیمار N5 مشاهده گردید، این تیمار دارای بیشترین عملکرد دانه بود.

**عملکرد دانه**

تجزیهٔ واریانس داده‌ها نشان داد که تناوب زراعی و منابع مختلف کودی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه دارد (جدول 3). نتایج حاصل از مقایسهٔ میانگین‌ها مشخص کرد تناوب R2 که دارای کود سبز بود افزایش عملکرد معنی‌داری را نسبت به سایر تیمارها نشان داده است (جدول 7). تناوب متداول کلزا (R3) نیز دارای کمترین عملکرد دانه بود. همان‌طور که ملاحظه می‌شود کمترین نسبت N/S در تناوب R2 ایجاد شد. بنابراین می‌توان یکی از دلایل افزایش عملکرد در تناوب R2 را به کاهش نسبت N/S مرتبط دانست. فاکتورهای متعدد دیگری را می‌توان به عنوان دلایل افزایش عملکرد دانه در تناوب R2 ارائه نمود. افزایش جذب عناصر غذایی از قبیل نیتروژن و گوگرد در اثر کاربرد کود سبز یکی از عوامل افزایش عملکرد دانه است که در این مطالعه نیز ثابت گردید (کریستین و سیلینگ، 1995؛ محمدی و رخزادی، 2012). یادوندیر سینگ و همکاران (2004) نیز افزایش حاصلخیزی خاک در اثر تناوب زراعی را دلیل افزایش عملکرد عنوان نمودند.

علاوه بر این سایر مطالعات توجیهات فراوانی برای افزایش عملکرد در تناوب زراعی ارائه نموده‌اند. افزایش فعالیت‌های زیستی خاک (محمدی و رخزادی، 2012)، بالا رفتن کارایی مصرف آب (کریستین و سیلینگ، 1995) از مهم‌ترین دلایل افزایش عملکرد دانه در تناوب زراعی می‌باشد. علاوه بر افزایش عملکرد تناوب زراعی با حفظ و افزایش ماده آلی خاک، افزایش تنوع زیستی و جامعه بیولوژیک خاک باعث نگهداری منابع برای نسل‌های آینده نیز می‌گردد. با توجه به اینکه برای اجرای تناوب زراعی و دستیابی به زراعت پایدار، کشاورز باید یک دوره گذر زمانی را پشت سر بگذارد و معمولاً افزایش عملکرد پس از سه تا پنج سال شروع خواهد شد. متاسفانه به علت وجود برخی عوامل اقتصادی اجرای تناوب زراعی در کشور محدود بوده و اغلب کشاورزان به دلیل فشارهای اقتصادی توان طی دوره گذر و دستیابی به اهداف بلند مدت را ندارند و با تک کشتی محصولات و کاربرد نهاده‌های شیمیایی تنها به اهداف کوتاه مدت توجه می‌نمایند. کاربرد تناوب زراعی می‌تواند به کاهش مصرف کودهای شیمیایی نیز منجر گردد. یافته‌های آرمسترانگ و همکاران (1994) نشان داد که قرار گرفتن بقولات در تناوب کلزا باعث کاهش مصرف کودهای نیتروژن‌دار به میزان 25 کیلوگرم در هکتار می‌گردد. با توجه به عوارض جدی مصرف نهاده‌های شیمیایی، تناوب زراعی می‌تواند نقش مهمی را در سلامت اگرواکوسیستم ایفا نماید.

در مقایسهٔ میانگین کودهای پایه مشخص شد که تیمار N5 نسبت به سایر تیمارها از نظر عملکرد دانه اختلاف آماری معنی‌داری دارد. در توجیه این مطلب می‌توان اظهار داشت که به موازات رفع نیاز فسفر و

نیتروژن گیاه توسط کود شیمیایی اضافه نمودن کود دامی و کمپوست باعث فراهمی عناصر کم مصرف برای گیاه گردید. ارهارت و هارتل (2003) نیز گزارش کردند که استفاده از کمپوست باعث افزایش فسفر، پتاسیم، منیزیم و کلسیم قابل دسترس گیاه می‌گردد. همچنین کمپوست مورد استفاده در این آزمایش حاوی درصد گوگرد نسبتاً بالایی بود. گوگرد از عناصری است که کلزا نسبت به آن عکس‌العمل مثبت نشان می‌دهد (ژاو و همکاران، 1997). اضافه نمودن کودهای آلی علاوه بر تأمین عناصر غذایی با بهبود خواص فیزیکی خاک شرایط مناسبی را برای رشد و توسعه ریشه فراهم می‌نمایند (ماریناری و همکاران، 2000).

## نتیجه‌گیری نهایی

با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، می‌توان اظهار داشت که بیشترین عملکرد دانه در تیمار R2N5 (کاربرد همزمان کودهای آلی و شیمیایی در تناوب دارای کود سبز) حاصل گردید. کاربرد کودهای آلی با بهبود ساختمان خاک و افزایش ماده آلی خاک باعث فراهم شدن شرایط مناسبی برای فعالیت جامعهٔ میکروبی خاک شده و فعالیت آنزیمی آن‌ها را افزایش می‌دهد. در بررسی خواص جامعهٔ میکروبی خاک، تیمار R2N4 که در آن کمپوست و کود دامی به طور همزمان در تناوب زراعی با کود سبز مورد استفاده قرار گرفته بود به عنوان تیمار برتر شناخته شد و کاربرد کودهای شیمیایی فعالیت جامعهٔ میکروبی را کاهش داد. با توجه به این که تیمار مذکور باعث تولید عملکرد دانه مطلوبی نیز شد، می‌توان آن را به عنوان تیمار برتر آزمایش معرفی نمود.

**جدول 1- نتایج تجزیهٔ فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه، قبل از کاشت**

| بافت خاک | EC (dS/m) | pH | شن | سیلت | رس | نیتروژن کل | فسفر قابل جذب | پتاسیم قابل جذب |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | (درصد) | | | | $mg\ kg^{-1}$ | |
| لوم رسی | 0/81 | 7/2 | 28 | 43 | 29 | 0/59 | 7/1 | 208 |

**جدول 2- تجزیهٔ عناصر موجود در کود دامی و کمپوست مورد استفاده در آزمایش**

| | pH | نیتروژن | فسفر | پتاسیم | کلسیم | منیزیم | روی | گوگرد | آهن |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | (درصد) | | | $mg\ kg^{-1}$ | | | | |
| کود دامی | 7/45 | 0/74 | 0/49 | 0/31 | 745 | 1100 | 2 | 659 | 15 |
| کمپوست | 7/2 | 0/70 | 1/15 | 0/51 | 1950 | 1890 | 12 | 2106 | 95 |

**جدول3- تجزیهٔ واریانس (میانگین مربعات) صفات شیمیایی-بیولوژیک خاک و صفات زراعی کلزا**

| منابع تغییرات | درجهٔ آزادی | میانگین مربعات | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | نیتروژن | فسفر | پتاسیم | کربن بیوماس میکروبی | پروتئاز | فسفاتاز اسیدی | فسفاتاز قلیایی | اوره آز | دهیدروژناز | عملکرد دانه | نیتروژن دانه | گوگرد دانه | نسبت N/S |
| بلوک | 2 | 1/2 ns | 33/2 ns | 66/2 ns | 852/4* | 88/1 | 15/2 ns | 5111 ns | 98/31** | 34/1** | 553 ns | 55/1** | 9/2 ns | 44/2 ns |
| تناوب | 2 | 11/7** | 105/73** | 185/73** | 1012/4** | 1529/1** | 215/73** | 23911ns | 115/1** | 907/1** | 295223** | 98/1** | 66/73** | 95/73** |
| خطای a | 4 | 4/8 | 9/8 | 19/8 | 145/8 | 98/7 | 15/8 | 15152 | 9/27 | 22/7 | 32453 | 8/7 | 8/8 | 9/8 |
| کوددهی | 5 | 77/9** | 108/2** | 210/9** | 1217/8** | 512/4** | 158/9** | 41925** | 100/04** | 36/74** | 154366** | 89/4** | 52/2** | 99/2** |
| تناوب×کوددهی | 10 | 7/7 ns | 9/7 ns | 15/7 ns | 35/8 ns | 88/81 ns | 15/7 ns | 7187 ns | 125/1** | 6/81 ns | 7282 ns | 14/1ns | 6/7 ns | 9/1 ns |
| خطا | 30 | 1/2 | 6/2 | 9/2 | 52/4 | 55/65 | 14/2 | 2200 | 9/5 | 4/65 | 4321 | 5/5 | 5/2 | 6/1 |

ns ، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال 5% و 1%

**جدول 4- مقایسهٔ میانگین میزان عناصر معدنی خاک، تحت تأثیر تناوب زراعی و سیستم‌های کوددهی**

| تیمار | نیتروژن کل (درصد) | فسفر قابل جذب ($mg\ kg^{-1}$) | پتاسیم قابل جذب ($mg\ kg^{-1}$) |
|---|---|---|---|
| تناوب | | | |
| R1 | 0/09 b | 8/8 b | 133 b |
| R2 | 0/14 a | 9/3 a | 186 a |
| R3 | 0/08 b | 8/4 b | 129 b |
| کود پایه | | | |
| کود دامی (N1) | 0/08 b | 8/3 c | 132 c |
| کمپوست (N2) | 0/09 b | 8/5 c | 139 c |
| کود شیمیایی (N3) | 0/14 a | 9/3 b | 184 a |
| دامی + کمپوست (N4) | 0/10 b | 9/7 b | 159 b |
| شیمیایی+دامی+کمپوست (N5) | 0/16 a | 10/9 a | 198 a |
| شاهد (N6) | 0/05 c | 6/3 d | 85 d |

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

($R_1$): نخود- آفتابگردان - گندم – کلزا، ($R_2$): کود سبز – نخود - کود سبز – گندم - کود سبز - کلزا ، ($R_3$): کلزا- گندم -کلزا.

**جدول 5- مقایسهٔ میانگین صفات تعداد باکتری، کربن بیوماس و فعالیت آنزیمی جامعه میکروبی خاک، تحت تأثیر تناوب زراعی و کوددهی**

| تیمار | تعداد باکتری ($\times10^6$) | کربن بیوماس میکروبی (میلی‌گرم در کیلوگرم) | پروتئاز (میکروگرم تیروزین بر گرم) | فسفاتاز اسیدی (میکروگرم پی نیتروفنول بر گرم) | فسفاتاز قلیایی (میکروگرم پی نیتروفنول بر گرم) | اوره‌آز (میکروگرم اوره بر گرم) | دهیدروژناز (میکروگرم تری فنول فرمازان بر گرم) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **تناوب** | | | | | | | |
| R1 | 117/1 b | 185/5b | 90/4 b | 173/1 b | 2822/9 a | 37/3 a | 45/7 b |
| R2 | 162/8a | 231/8a | 105/2 a | 190/8 a | 2872/8 a | 34/8 b | 48/7 a |
| R3 | 82/3 c | 113/6c | 80/7 c | 89/9 c | 2842/1 a | 29/3 c | 45/2 b |
| **کود پایه** | | | | | | | |
| کود دامی (N1) | 108/3 c | 223/2 b | 91/5 c | 161/4 b | 2887/8 b | 45/2 a | 61/6 b |
| کمپوست (N2) | 122/4 b | 209/2 b | 100/4bc | 163/5 b | 2898/4 b | 40/5 b | 62/5ab |
| کود شیمیایی (N3) | 59/0d | 89/8 c | 72/1 d | 154/4 c | 2643/4 c | 22/4 c | 21/7 d |
| دامی + کمپوست (N4) | 194/9 a | 289/8 a | 119/7 a | 221/1 a | 3221/4 a | 45/9 a | 63/8 a |
| شیمیایی+دامی+ کمپوست (N5) | 193/0a | 229/7 b | 102/2 b | 159/2 b | 2765/1bc | 24/1 c | 48/7c |
| شاهد (N6) | 46/7 e | 87/0c | 67/1 d | 48/1 d | 2659/6 c | 24/9 c | 20/8 d |

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

($R_1$): نخود- آفتابگردان - گندم – کلزا، ($R_2$): کود سبز – نخود - کود سبز – گندم - کود سبز - کلزا ، ($R_3$): کلزا- گندم -کلزا.

**جدول 6- همبستگی بین تعداد باکتری، فعالیت آنزیمی و کربن بیوماس جامعه میکروبی خاک، تحت تأثیر تناوب زراعی و کوددهی**

| | کربن بیوماس میکروبی | تعداد باکتری | اوره آز | فسفاتاز اسیدی | فسفاتاز قلیایی | پروتئاز | دهیدروژناز |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| کربن بیوماس میکروبی | 1 | | | | | | |
| تعداد باکتری | 0/942** | 1 | | | | | |
| اوره آز | 0/815** | 0/901** | 1 | | | | |
| فسفاتاز اسیدی | 0/783** | 0/833** | 0/503* | 1 | | | |
| فسفاتاز قلیایی | 0/389 ns | 0/846** | 0/242 ns | 0/679** | 1 | | |
| پروتئاز | 0/512* | 0/825** | 0/123 ns | 0/626** | 0/554* | 1 | |
| دهیدروژناز | 0/722** | 0/676** | 0/101 ns | 0/456* | 0/659** | 0/206 ns | 1 |

ns ، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال 5% و 1%

**جدول 7- مقایسهٔ میانگین صفات عملکرد دانه، عناصر نیتروژن و گوگرد دانه و نسبت نیتروژن به گوگرد در دانه کلزا، تحت تأثیر تناوب زراعی و کوددهی**

| تیمار | عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) | نیتروژن دانه (میلی‌گرم در گرم) | گوگرد دانه (میلی‌گرم در گرم) | نسبت N/S |
|---|---|---|---|---|
| تناوب | | | | |
| R1 | 2778/5 b | 34/6 b | 4/02 b | 9/07 a |
| R2 | 3076/7 a | 36/2 a | 4/43 a | 8/31 b |
| R3 | 1261/4 c | 28/8 c | 3/12 c | 9/23 a |
| کود پایه | | | | |
| کود دامی (N1) | 1942/7 e | 28/5 e | 3/18 e | 9/13 b |
| کمپوست (N2) | 2125/1 d | 30/5 d | 3/48 d | 8/75 c |
| کود شیمیایی (N3) | 2484/2 c | 37/6 b | 5/05 b | 7/39 d |
| دامی + کمپوست (N4) | 3067/3 b | 35/5 c | 4/75 c | 7/46 d |
| شیمیایی+دامی+کمپوست (N5) | 3503/2 a | 38/9 a | 5/47 a | 6/91 e |
| شاهد (N6) | 1112/1 f | 25/8 f | 2/59 f | 10/01 a |

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

($R_1$): نخود- آفتابگردان - گندم – کلزا، ($R_2$): کود سبز – نخود - کود سبز – گندم - کود سبز - کلزا ، ($R_3$): کلزا- گندم -کلزا.

**فهرست منابع:**


1. AOAC. 1998. In K. Helrich (Ed.), Official methods of analysis (15th ed.). Methods 920.10. Arlington, VA/Washington, DC, USA: Association of Official Analytical Chemists.
2. Armstrong, E.L., J.S. Pate., and M.J. Unkovich. 1994. Nitrogen balance of field pea crops in South Western Australia, studied using the 15N natural abundance technique. Aust. J. Plant Physiol. 21: 533-549.
3. Balota, E.L., A.C. Filho., D.S. Andrade., and R.P. Dick. 2004. Long-term tillage and crop rotation effects on microbial biomass and C and N mineralization in a Brazilian Oxisol. Soil Till Res. 77: 137-145.
4. Barker, A.V., and D.J. Pilbeam. 2007. Handbook of plant nutrition. CRC Press, Taylor & Francis Group.
5. Battacharyya, P., K. Chakrabarti., and A. Chakrabort. 2005. Microbial biomass and enzyme activities in submerged rice soil amended with municipal solid waste compost and decomposed cow manure. Chemosphere. 60: 310-318.
6. Bremner, J.M., and C.S. Mulvaney. 1982. Nitrogen - total. P. 595-624. In Page, A.L. (ed.) Methods of Soil Analysis, Part 2. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America.
7. Carrera, L.M., J.S. Buyer., B. Vinyard., A.A. Abdul-Baki., L.L. Sikora., and J.R. Teasdale. 2007. Effects of cover crops, compost, and manure amendments on soil microbial community structure in tomato production systems. Appl. Soil Ecol. 37: 247-255.
8. Carter, M.R. 1993. Soil sampling and methods of analysis. Canadian Society of Soil Science. Lewis Publisher.
9. Christen, O., and K. Sieling. 1995. Effect of different preceding crops and crop rotations on yield of winter oilseed rape (*Brassica napus* L). Crop Sci. 174(4): 265-271.
10. Courtney, R.G., and G.L. Mullen. 2008. Soil quality and barley growth as influenced by the land application of two compost types. Biores. Technol. 99: 2913-2918.
11. Elfstrand, S., K. Hedlund., and K. Martensson. 2007. Soil enzyme activities, microbial community composition and function after 47 years of continuous green manuring. Appl. Soil Ecol. 35: 610-621.
12. Erhart, E., and W. Hartl. 2003. Mulching with compost improves growth of blue spruce in Christmas tree plantations. Eur. J. Soil Biol. 39(3): 149-156.
13. Garcıa, C., T. Hernandez., F. Costa., P. Ceccanti., and G. Masciandro. 1993. The dehydrogenase activity of soils and ecological marker in processes of perturbed system regeneration. P. 89-100. In XI International Symposium Environmental Biogeochemistry, Salamanca, Spain.
14. Gee, G.W., and J.W. Bauder. 1979. Particle size analysis by hydrometer, a simplified method for routine textural analysis and a sensitivity test of measurement parameters. Soil Sci. Soc. Am. J. 43: 1004-1007.
15. Giusquiani, P.L., G. Gigliotti., and D. Businelli. 1994. Long-term effects of heavy metals from composted municipal waste on some enzyme activities in a cultivated soil. Biol. Fert. Soil. 17: 257-262.
16. Houx, J.H., W.J. Wiebold., and F.B. Fritschi. 2011. Long-term tillage and crop rotation determines the mineral nutrient distributions of some elements in a *Vertic Epiaqualf*. Soil Till. Res. 112: 27-35.
17. Kandeler, E., and H. Gerber. 1988. Short-term assay of soil urease activity using colorimetric determination of ammonium. Biol. Fert. Soil. 6: 68-72.
18. Kandeler, E. 1996. Protease activity. P. 165–168 In Schinner F., Ohlinger R., Kandeler E., Margesin R. (Eds Methods in Soil Biology, Springer, Berlin/Heidelberg/New York).

19. Kirchner, M.J., A.G. Wollum., and L.D. King. 1993. Soil microbial populations and activities in reduced chemical input agroecosystems. Soil Sci. Soc. Am. J. 57: 1289-1295.
20. Leita, L., M. De Nobilli., C. Mondini., G. Muhlbacova., L. Marchiol., G. Bragato., and M. Contin. 1999. Influence of inorganic and organic fertilization on soil microbial biomass, metabolic quotient and heavy metal bioavailability. Biol. Fert. Soil. 4: 371-376.
21. Li, C.H., B.L. Ma., and T.Q. Zhang. 2002. Soil bulk density effects on soil microbial populations and enzyme activities during the growth of maize (*Zea mays* L.) planted in large pots under field exposure. Can. J. Soil Sci. 82: 147-154.
22. Liu, B., M.L. Gumpertz., S. Hu., and J.B. Ristaino. 2007. Long-term effects of organic and synthetic soil fertility amendments on soil microbial communities and the development of southern blight. Soil Biol. Biochem. 39: 2302-2316.
23. Lupwayi, N.Z., K.G. Hanson., K.N. Harker., G.W. Clayton., R.E. Blackshaw., J.T. Donovan., and M.A. Monreal. 2007. Soil microbial biomass, functional diversity and enzyme activity in glyphosate-resistant wheat-canola rotations under low-disturbance direct seeding and conventional tillage. Soil Biol. Biochem. 39: 1418-1427.
24. Lupwayi, N.Z., Brandt, S.A., Harker, K.N., O'Donovan, J.T., Clayton, G.W., and Turkington, T.K. 2010. Contrasting soil microbial responses to fertilizers and herbicides in a canola-barley rotation. Soil Biol. Biochem. 42: 1997-2004.
25. Marinari, S., G. Masciandar., B. Ceccanti., and S. Grego. 2000. Influence of organic and mineral fertilizers on soil biological and physical properties. Biores. Technol. 72: 9-17.
26. Martınez, V., M.M. Mikha., and M.F. Vigil. 2007. Microbial communities and enzyme activities in soils under alternative crop rotations compared to wheat–fallow for the Central Great Plains. Appl. Soil Ecol. 37: 41-52.
27. Mohammadi, K. 2011. Soil, plant and microbe interaction. Lambert Academic Publication. Germany. 120 pp.
28. Mohammadi, K., A. Ghalavand., M. Aghaalikhani., G.R. Heidari., B. Shahmoradi., Y. Sohrabi. 2011. Effect of different methods of crop rotation and fertilization on canola traits and soil microbial activity. Aust. J. Crop Sci. 5(10): 1261-1268.
29. Mohammadi, K., A. Rokhzadi. 2012. An integrated fertilization system of canola (*Brassica napus* L.) production under different crop rotations. Ind. Crops Prod. 37: 264-269.
30. Mohammadi, K., G.R. Heidari., M.T. Karimi Nezhad., S. Ghamari., Y. Sohrabi. 2012. Contrasting soil microbial responses to fertilization and tillage systems in canola rhizosphere. Saudi J. Biol. Sci. 19(3): 377-383
31. Moore, J.M., S. Klose., and M.A. Tabatabai. 2000. Soil microbial biomass carbon and nitrogen as affected by cropping systems. Biol. Fert. Soil. 31: 200-210.
32. Nayak, D.R., Y.J. Babu., and T.K. Adhya. 2007. Long-term application of compost influences microbial biomass and enzyme activities in a tropical Aeric Endoaquept planted to rice under flooded condition. Soil Biol. Biochem. 39: 1897-1906.
33. Olsen, S.R., C.V. Cole., F.S. Watanabe., and L.A. Dean. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. US Dept. Agric. Washington DC, Circular 939.
34. Sessitsch, A., Weilharter, A., Gerzabek, M. H., Kirchmann, H., and Kandeler, E. 2001. Microbial population structures in soil particle size fractions of a long-term fertilizer field experiment. Appl. Environ. Microb. 67: 4215-4224.
35. Smith, J.L., and J.W. Doran. 1996. Measurement and use of pH and electrical conductivity for soil quality analysis. In Methods for Assessing Soil Quality, SSSA special publication, 49: 169-185.
36. Sommer, R., J. Ryan., S. Masri., M. Singh., and J. Diekmann. 2011. Effect of shallow tillage, moldboard plowing, straw management and compost addition on soil organic matter and nitrogen in a dryland barley/wheat-vetch rotation. Soil Till. Res. 115: 39-46.

37. Sparling, G.P., and A.W. West. 1988. A direct extraction method to estimate soil microbial C: Calibration in situ using microbial respiration. Soil Biol. Biochem. 20: 337-343.
38. Tabatabai, M.A., and M. Bremner. 1969. Use of p-nitrophenol phosphate in assay of soil phosphatase activity. Soil Biol. Biochem. 1: 301-307.
39. Tarafdar , J.C., and H. Marschner. 1994. Phosphatase activity in the rhizosphere and hyphosphere of VA mycorrhizal wheat supplied with inorganic and organic phosphorus. Soil Biol. Biochem. 26: 387-395.
40. Tejada, M., J.L. Gonzalez., A.M. Garcıa-Martınez., and J. Parrado. 2008. Application of a green manure and green manure composted with beet vinasse on soil restoration: Effects on soil properties. Biores. Technol. 9: 4949-4957.
41. Tobiasova, E. 2011. The effect of organic matter on the structure of soils of different land uses. Soil Till. Res. 114: 183-192.
42. Wlodarzyk, T., W. Stepniewski., and M. Brzezinska. 2002. Dehydrogenase activity, redox potential, and emissions of carbon dioxide and nitrous oxide from Cambisols under flooding conditions. Biol. Fert. Soil. 36: 200-206.
43. Yadvinder-Singh, B.S., L.K. Ladha., C.S. Khind., and E. Pasuquin. 2004. Long-term effects of organic inputs on yield and soil fertility in the rice–wheat rotation. Soil Sci. Soc. Am. J. 68: 845-853.
44. Zaidi, A., M. Saghir Khan., and M.D. Amil. 2003. Interactive effect of rhizotrophic microorganisms on yield and nutrient uptake of chickpea (*Cicer arietinum* L.). Eur. J. Agron. 19: 15-21.
45. Zhao, F.J., P.E. Bilsborrow., and S.P. McGrath. 1997. Nitrogen to sulfur ratio in rape-seed and in rapeseed protein and its use in diagnosing sulfur deficiency. J. Plant Nutr. 20: 549-558.