



به زراعی کشاورزی

دوره ۱۸ ■ شماره ۴ ■ زمستان ۱۳۹۵
صفحه‌های ۹۰۵-۸۹۳

اثر سیستم‌های خاک‌ورزی و سطوح بقایای گندم بر شاخص‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک

الناز ابراهیمیان^۱، علیرضا کوچکی^{۲*}، مهدی نصیری محلاتی^۳، سرور خرم‌دل^۴، علیرضا بهشتی^۴

۱. دانشجوی دکتری اگروکولوژی، دانشکده کشاورزی، پردیس بین‌الملل دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد - ایران
۲. استاد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد - ایران
۳. استادیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد - ایران
۴. دانشیار، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، مشهد - ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۱۰/۱۹

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۴/۰۹/۰۴

چکیده

به منظور بررسی تأثیر سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی و سطوح بقایای گندم بر شاخص‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک، آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد، در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ به صورت اسپلیت بلوک بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار انجام شد. نوع مدیریت خاک‌ورزی در ۴ سطح (دیسک، گاوآهن برگردان‌دار + دیسک، گاوآهن پنجه‌غازی + دیسک و گاوآهن قلمی + دیسک) به عنوان فاکتور عمودی و مدیریت بقایای گندم در ۵ سطح (صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد عملکرد کاه گندم) به عنوان فاکتور افقی آزمایش در نظر گرفته شدند. به دلیل ۳ بار نمونه‌برداری از خاک (اردیبهشت ۱۳۹۲، آبان ۱۳۹۲ و خرداد ۱۳۹۳)، داده‌های آزمایش به صورت اسپلیت بلوک در زمان آنالیز شدند. طبق نتایج آزمایش، کمترین میزان نیتروژن کل (۰/۰۹۴ درصد)، فسفر قابل جذب (۱۲/۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم) و کربن آلی خاک (۰/۵۲ درصد) در نتیجه استفاده از شخم برگردان‌دار و بیشترین میزان این شاخص‌ها در شرایط کاربرد گاوآهن قلمی + دیسک مشاهده شد. با افزایش سطوح بقایای گندم در هر سه زمان، نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل جذب و کربن آلی خاک به‌طور معنی‌داری رو به افزایش گذاشت. همچنین، کاربرد بقایای گیاهی نقش معنی‌داری در کاهش اسیدیته (تا ۰/۴۵ واحد) و نیز افزایش زیست توده و تنفس میکروبی خاک (تا ۲۰/۶ درصد) داشت.

کلیدواژه‌ها: تنفس خاک، زیست توده میکروبی، کربن آلی، گاوآهن برگردان‌دار، گاوآهن قلمی

۱. مقدمه

امروزه عقیده بر این است که کشاورزی نباید تنها بر افزایش عملکرد تکیه کند، بلکه باید پایداری تولید و کیفیت محصولات را نیز مدنظر قرار دهد باشد [۵]. با این وجود، خاک‌ورزی بیش از حد و حذف بقایای گیاهی که عموماً جهت افزایش تولید صورت می‌گیرد، فرسایش خاک را تسریع نموده و سبب افزایش آلودگی محیط زیست می‌شود که در نهایت عملکرد اکوسیستم زراعی را به شکلی منفی تحت تأثیر قرار می‌دهد [۲۴ و ۲۸]. بنابراین، سازگار نمودن عملیات زراعی با محیط زیست مانند حفظ و بازگرداندن بقایای گیاهی به خاک [۱ و ۶] و کاربرد اصولی شخم حفاظتی می‌تواند در کاهش این مشکلات مفید باشد [۱۸ و ۲۶].

از جمله مزایای خاک‌ورزی حفاظتی می‌توان به کاهش فرسایش، کنترل رواناب و سله سطحی، افزایش ثبات خاکدانه‌ها، نفوذپذیری و بهبود محتوی رطوبتی خاک اشاره نمود [۱۶ و ۲۶]. مزایای سیستم بدون شخم اساساً تحت تأثیر نگهداری بقایا در سطح خاک می‌باشد [۱۷]. خاک‌ورزی حداقل منجر به افزایش میزان رطوبت و حفظ و افزایش هرچه بیشتر فعالیت‌های زیستی در خاک می‌گردد [۲۵]. همچنین، استفاده از گاواهن برگردان‌دار منجر به افزایش تلفات رطوبتی خاک شد [۱۹].

شخم کاهش یافته توسط ادواتی نظیر گاواهن قلمی و یا پنجه غازی می‌تواند علاوه بر حفظ هرچه بیشتر بقایای گیاهی و ذخیره رطوبتی در خاک، ساختمان خاک و فعالیت‌های زیستی میکروارگانیسم‌های ناحیه ریزوسفر را در مقایسه با گاواهن برگردان‌دار کمتر تحت تأثیر قرار دهد [۳ و ۷]. همچنین، بیشترین درصد تخلخل در لایه صفر تا ۱۵ سانتی‌متری خاک و در شرایط اجرای خاک‌ورزی با گاواهن قلمی مشاهده شده است [۲۳].

در کنار کاهش عملیات خاک‌ورزی، وجود ماده آلی در

خاک نیز عاملی کلیدی در ایجاد و بهبود ساختار خاکدانه‌ها، تحریک فعالیت‌های زیستی، کاهش رواناب سطحی و نیز فرسایش خاک می‌باشد [۹]. به‌طورکلی، بقایای گیاهی تازه از طریق افزایش فعالیت میکروبی، هسته‌ای مرکزی برای تشکیل خاک‌دانه‌های جدید به شمار می‌روند [۱۵ و ۲۲]. نقش بقایای گیاهی به عنوان مالچ برای کاهش تبخیر از خاک، کاهش روزانه دمای خاک و افزایش هدایت هیدرولیکی خاک به خوبی شناخته شده است [۱۴].

کاربرد اصولی بقایا در زراعت گندم در کنار مدیریت شخم کاهش یافته از مهمترین عوامل در بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک می‌باشد. هدف از انجام پژوهش حاضر، بررسی تأثیر سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی و سطوح بقایای گندم بر شاخص‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک در طی دوره کشت گندم می‌باشد.

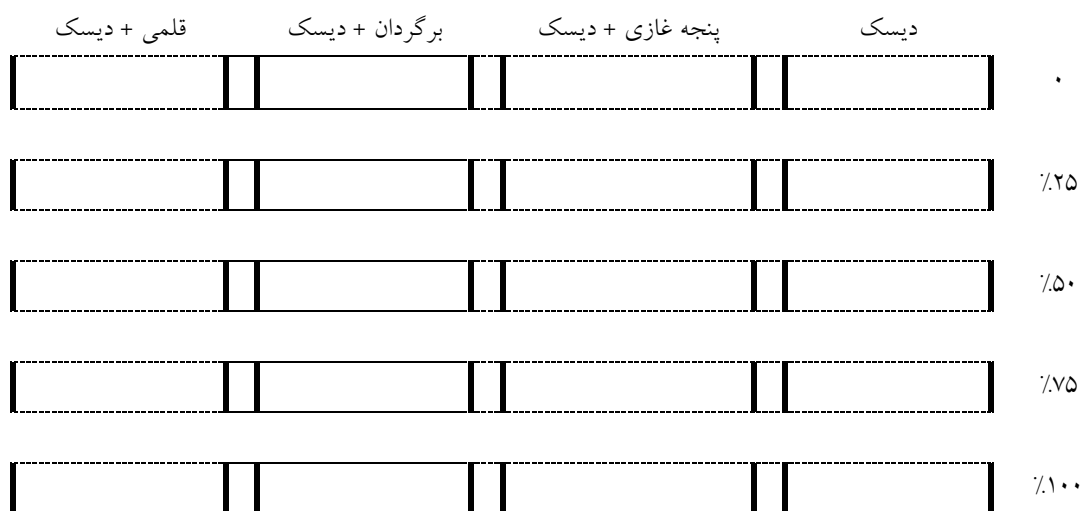
مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت اسپلینت بلوک بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد (واقع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد با طول و عرض جغرافیایی به ترتیب برابر با ۲۸°۵۹' شرقی، ۱۵°۳۶' شمالی و ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا)، در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ انجام شد. در این آزمایش، نوع مدیریت خاک‌ورزی در ۴ سطح (۱ - خاک - ورزی رایج بر پایه ۲ نوبت شخم با استفاده از گاواهن برگردان‌دار + دیسک، ۲ - خاک‌ورزی با گاواهن پنجه غازی + دیسک، ۳ - خاک‌ورزی با گاواهن قلمی + دیسک و ۴ - دیسک به تنهایی) به عنوان فاکتور عمودی و مدیریت بقایای گندم در ۵ سطح (صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد عملکرد کاه گندم) به عنوان فاکتور افقی در نظر

به‌زراعی کشاورزی

اثر سیستم‌های خاک‌ورزی و سطوح بقایای گندم بر شاخص‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک

گرفته شدند (شکل ۱). همچنین، به دلیل ۳ بار نمونه‌برداری از خاک (شروع آزمایش در اردیبهشت ماه ۱۳۹۲، پیش از کشت گندم در آبان ماه ۱۳۹۲ و در زمان برداشت گندم در خرداد ماه ۱۳۹۳)، داده‌های آزمایش به صورت اسپلایت بلوک در زمان و قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی آنالیز شدند.



شکل ۱. شمایی از نقشه تیمارهای مورد مطالعه براساس طرح اسپلایت بلوک در آزمایش

(در این آزمایش، شخم با استفاده از گاوآهن برگردان‌دار + دیسک معادل خاک‌ورزی رایج، شخم با گاوآهن پنجه‌غازی + دیسک و نیز شخم با گاوآهن قلمی + دیسک معادل نظام خاک‌ورزی متوسط و دیسک به تنهایی معادل نظام خاک‌ورزی حفاظتی (عدم خاک‌ورزی) در نظر گرفته شدند.)

پیش از اجرای آزمایش جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک نمونه‌برداری از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر خاک محل اجرای آزمایش انجام گرفت که نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده است:

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

| بافت | نیترژن کل (%) | فسفر قابل جذب (mg/kg) | پتاسیم قابل جذب (mg/kg) | کربن آلی (%) | اسیدیته | هدایت الکتریکی (dS/m) |
|--------------|---------------|-----------------------|-------------------------|--------------|---------|-----------------------|
| لومی - سیلتی | ۰/۰۸ | ۸/۴۳ | ۱۴۲/۳۱ | ۰/۴۳ | ۸/۲۴ | ۱/۰۹ |

در سال اول آزمایش، میزان بقایای گندم (درصد نیترژن، فسفر، پتاسیم و کربن آلی به ترتیب ۰/۲۷، ۰/۴۷، ۰/۶۲ و ۳۵/۰۳) براساس تولید کاه و کلش منطقه (۵۲۵۰ کیلوگرم در هکتار) تعیین و سپس مقادیر موردنظر بقایای گیاهی براساس تیمارها در ۳۱ اردیبهشت ماه به خاک افزوده شد. ابعاد هر یک از کرت‌های آزمایش ۳ × ۳ متر انتخاب شد. به منظور جلوگیری از اختلاط اثر تیمارها، یک ردیف

تحت تأثیر خاک‌ورزی، سطوح کاربرد بقایای گندم و نیز زمان نمونه‌برداری از خاک قرار نگرفت (جدول ۲). عدم تأثیر خاک‌ورزی و افزایش میزان بقایای گندم بر وزن مخصوص ظاهری خاک ممکن است در ارتباط با دوره نسبتاً کوتاه اعمال این تیمارها در خاک (از اردیبهشت ۱۳۹۲ تا خرداد ۱۳۹۳) باشد. افزایش میزان ماده آلی در خاک در درازمدت می‌تواند منجر به کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک شود [۴].

محتوی عناصر غذایی و کربن آلی خاک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که خاک‌ورزی تأثیر معنی‌داری بر میزان نیتروژن کل، فسفر قابل جذب و کربن آلی خاک داشت. با این وجود، پتاسیم قابل جذب خاک تحت تأثیر روشهای خاک‌ورزی قرار نگرفت (جدول ۲).

از سوی دیگر، سطوح کاربرد بقایای گندم، زمان نمونه‌برداری و اثر متقابل زمان نمونه‌برداری و سطوح بقایای گندم تأثیر معنی‌داری بر شاخص‌های ذکر شده داشتند (جدول ۲). طبق نتایج به‌دست آمده، کمترین میزان نیتروژن کل، فسفر قابل جذب و کربن آلی خاک در نتیجه استفاده از شخم برگردان‌دار و بیشترین میزان شاخص‌ها در شرایط کاربرد گاواهن قلمی + دیسک مشاهده شد (جدول ۳).

به‌طورکلی، نقش مؤثر اجرای خاک‌ورزی کاهش یافته و حفاظتی در مقایسه با خاک ورزی رایج از نظر افزایش میزان نیتروژن، فسفر قابل جذب و کربن آلی خاک ممکن است ناشی از برهم زدن و تخریب کمتر ساختار فیزیکی و شیمیایی خاک باشد. اجرای خاک ورزی کاهش یافته یا حفاظتی در مقایسه با خاک ورزی رایج سبب افزایش پایداری خاک‌دانه‌ها، افزایش نفوذپذیری، بهبود محتوی رطوبتی خاک، فراهمی مواد آلی و عناصر غذایی می‌شود [۱۶، ۲۰ و ۲۹].

نکاشت بین کرت‌های فرعی، یک متر فاصله بین کرت‌های اصلی و یک متر فاصله بین تکرارها به عنوان راهرو در نظر گرفته شد. پیش از اجرای عملیات کاشت گندم، نمونه‌گیری از خاک توسط اوگر و به تعداد ۴ نمونه از هر کرت انجام و براساس شاخص‌های مورد مطالعه خاک مجدداً اندازه‌گیری شد.

عملیات کاشت گندم پاییزه (رقم گاسکوژن) در ۲۵ آبان ماه روی ۶ ردیف ۳ متری با فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر و تراکم ثابت ۴۰۰ بوته در مترمربع انجام شد [۶]. در طول اجرای مراحل آزمایش نیز از هیچ‌گونه کود شیمیایی، علف‌کش و یا آفت‌کش شیمیایی استفاده نشد.

جهت تعیین محتوی کربن آلی خاک از روش اکسایش با دی‌کرومات استفاده شد. همچنین، میزان نیتروژن با استفاده از روش کج‌دال، زیست‌توده میکروبی براساس روش تدخین-انکوباسیون، تنفس میکروبی خاک با استفاده از روش تیتراسیون با اسید کلریدریک ۰/۰۵ نرمال، وزن مخصوص ظاهری خاک با استفاده از روش کلوخه و پارافین، میزان فسفر و پتاسیم نمونه خاک به ترتیب با استفاده از روش اولسن و وارلی، اسیدیته در گل اشباع و تعیین هدایت الکتریکی خاک در عصاره گل اشباع با استفاده از روش مک لین اندازه‌گیری شد. همزمان با زرد شدن سنبله‌ها و عملیات برداشت گندم در ۳۰ خرداد ماه، شاخص‌های خاک مشابه مرحله قبل اندازه‌گیری شد.

تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۳) انجام گرفت. میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) و در سطح ۵ درصد مورد مقایسه قرار گرفتند.

نتایج و بحث

وزن مخصوص ظاهری

طبق نتایج تجزیه واریانس، وزن مخصوص ظاهری خاک

اثر سیستم‌های خاک‌ورزی و سطوح بقایای گندم بر شاخص‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک

جدول ۲. تجزیه واریانس شاخص‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک تحت تأثیر تیمارهای مورد مطالعه در آزمایش

| منابع تغییرات | شاخص فیزیکی | | | | شاخص‌های شیمیایی | | | | درجه آزادی |
|--|-------------|----------|--------|-----------|------------------|----------------------|--------|--------------|------------|
| | تکرار | خاک‌ورزی | خطای ۱ | سطح بقایا | خطای ۲ | خاک‌ورزی × سطح بقایا | خطای ۳ | نمونه‌برداری | |
| تکرار | ۲ | NS | ** | ** | ** | ** | ** | ۲ | |
| خاک‌ورزی | ۳ | NS | * | * | NS | NS | ** | ۳ | |
| خطای ۱ | ۶ | - | - | - | - | - | - | ۶ | |
| سطح بقایا | ۴ | NS | ** | ** | ** | ** | ** | ۴ | |
| خطای ۲ | ۸ | - | - | - | - | - | - | ۸ | |
| خاک‌ورزی × سطح بقایا | ۱۲ | NS | NS | NS | NS | NS | NS | ۱۲ | |
| خطای ۳ | ۲۴ | - | - | - | - | - | - | ۲۴ | |
| نمونه‌برداری | ۲ | NS | ** | ** | ** | ** | ** | ۲ | |
| زمان نمونه‌برداری × خاک‌ورزی | ۶ | NS | NS | NS | NS | NS | NS | ۶ | |
| زمان نمونه‌برداری × سطح بقایا | ۸ | NS | ** | ** | ** | ** | ** | ۸ | |
| زمان نمونه‌برداری × خاک‌ورزی × سطح بقایا | ۲۴ | NS | NS | NS | NS | NS | NS | ۲۴ | |
| خطای ۴ | ۸۰ | - | - | - | - | - | - | ۸۰ | |

NS، *، ** و *** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ۱ درصد و عدم اختلاف معنی‌دار

جدول ۳. اثر خاک‌ورزی، سطوح کاربرد بقایای گندم و زمان نمونه‌برداری بر شاخص‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک

| شاخص‌های بیولوژیک | | | شاخص‌های شیمیایی | | | | شاخص فیزیکی | | تیمارهای مورد مطالعه |
|--|-------------------------------------|--------------------------|------------------|--------------|----------------------------|--------------------------|---------------|--|---------------------------|
| تشنس میکروبی (mg CO ₂ /g soil) | زیست توده میکروبی (mg/100g soil) | هدایت الکتریکی (dS/m) | اسیدینه | کربن آلی (%) | پتاسیم قابل جذب (mg/kg) | فسفر قابل جذب (mg/kg) | نیترژن کل (%) | وزن مخصوص (g/cm ³) ظاهری | |
| ۰/۰۳۷ | ۳۴/۵۶ | ۱/۱۷ | ۸/۰۴ | ۰/۵۸ | ۱۵۵/۷۳ | ۱۲/۶۲ | ۰/۰۹۶ | ۱/۳۴ | خاک‌ورزی |
| ۰/۰۳۹ | ۴۱/۳۰ | ۱/۱۵ | ۷/۹۵ | ۰/۶۰ | ۱۵۴/۰۳ | ۱۳/۷۲ | ۰/۰۹۹ | ۱/۳۴ | دیسک |
| ۰/۰۳۶ | ۳۰/۹۹ | ۱/۱۵ | ۸/۰۵ | ۰/۵۲ | ۱۵۵/۹۹ | ۱۲/۵۰ | ۰/۰۹۴ | ۱/۳۴ | پنجه غازی + دیسک |
| ۰/۰۴۰ | ۴۲/۵۲ | ۱/۱۶ | ۷/۹۴ | ۰/۵۷ | ۱۶۰/۵۸ | ۱۴/۱۶ | ۰/۱۰۱ | ۱/۳۳ | برگردان‌دار + دیسک |
| ۰/۰۰۲ | ۳/۳۰ | ۰/۰۲۳ | ۰/۰۷۰ | ۰/۰۴۸ | ۹/۷۲۱ | ۱/۱۲۶ | ۰/۰۰۴ | ۰/۰۲۵ | قلبی + دیسک LSD (0.05) |
| ۰/۰۳۴ | ۱۷/۷۷ | ۱/۱۱ | ۸/۲۲ | ۰/۴۴ | ۱۴۱/۰۲ | ۹/۶۴ | ۰/۰۸۷ | ۱/۳۴ | سطوح بقایای گندم (%) |
| ۰/۰۳۷ | ۲۳/۹۶ | ۱/۱۲ | ۸/۰۹ | ۰/۵۲ | ۱۴۷/۷۹ | ۱۱/۱۶ | ۰/۰۹۳ | ۱/۳۴ | ۰ |
| ۰/۰۳۹ | ۳۴/۹۶ | ۱/۱۶ | ۸/۰۱ | ۰/۵۴ | ۱۵۹/۰۲ | ۱۲/۳۷ | ۰/۰۹۹ | ۱/۳۴ | ۲۵ |
| ۰/۰۴۰ | ۵۰/۹۹ | ۱/۲۰ | ۷/۸۷ | ۰/۶۴ | ۱۶۴/۴۹ | ۱۵/۵۱ | ۰/۱۰۲ | ۱/۳۴ | ۵۰ |
| ۰/۰۴۱ | ۵۹/۰۲ | ۱/۲۰ | ۷/۷۷ | ۰/۷۰ | ۱۷۰/۵۹ | ۱۷/۵۷ | ۰/۱۰۴ | ۱/۳۴ | ۷۵ |
| ۰/۰۰۲ | ۳/۶۱۱ | ۰/۰۲۶ | ۰/۰۸۸ | ۰/۰۵۴ | ۱۰/۸۶۸ | ۱/۲۵۹ | ۰/۰۰۵ | ۰/۰۲۸ | ۱۰۰ LSD (0.05) |
| ۰/۰۳۱ | ۱۳/۸۶ | ۱/۰۹ | ۸/۲۴ | ۰/۴۳ | ۱۴۲/۳۱ | ۸/۴۳ | ۰/۰۸۰ | ۱/۳۳ | زمان نمونه‌برداری |
| ۰/۰۴۱ | ۴۶/۳۹ | ۱/۲۱ | ۷/۹۴ | ۰/۶۸ | ۱۸۲/۹۵ | ۱۶/۳۰ | ۰/۱۱۰ | ۱/۳۵ | ۱۳۹۲ |
| ۰/۰۴۳ | ۵۱/۸۸ | ۱/۱۷ | ۷/۸۰ | ۰/۵۹ | ۱۴۴/۴۸ | ۱۵/۰۲ | ۰/۱۰۲ | ۱/۳۴ | آبان ۱۳۹۲ |
| ۰/۰۰۱ | ۲۷/۹۷ | ۰/۰۲۰ | ۰/۰۶۱ | ۰/۰۴۲ | ۸/۴۱۹ | ۰/۹۷۵ | ۰/۰۰۴ | ۰/۰۲۲ | خرداد ۱۳۹۳ LSD (0.05) |

اثر سیستم‌های خاک‌ورزی و سطوح بقایای گندم بر شاخص‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک

جدول ۴. اثر متقابل زمان نمونه‌برداری و سطوح کاربرد بقایای گندم بر شاخص‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک

| شاخص‌های بیولوژیک | | | شاخص‌های شیمیایی | | | | | شاخص فیزیکی | | | زمان نمونه‌برداری | |
|-------------------|-------------------|------------------------------|-----------------------|---------|--------------|-------------------------|-----------------------|---------------|--------------------------------------|-----------------------------|-------------------|--|
| تفصیل میکروبی | زیست توده میکروبی | (mg CO ₂ /g soil) | هدایت الکتریکی (dS/m) | اسیدیته | کربن آلی (%) | پتاسیم قابل جذب (mg/kg) | فسفر قابل جذب (mg/kg) | نیترژن کل (%) | وزن مخصوص ظاهری (g/cm ³) | سطوح کاربرد بقایای گندم (%) | | |
| ۰/۰۳۱ | ۱۳/۸۶ | ۱/۰۹ | ۸/۲۴ | ۰/۴۳ | ۱۴۲/۳۱ | ۸/۴۳ | ۰/۰۸۰ | ۱/۳۳ | ۰ | | | |
| ۰/۰۳۱ | ۱۳/۸۶ | ۱/۰۹ | ۸/۲۴ | ۰/۴۳ | ۱۴۲/۳۱ | ۸/۴۳ | ۰/۰۸۰ | ۱/۳۳ | ۲۵ | | | |
| ۰/۰۳۱ | ۱۳/۸۶ | ۱/۰۹ | ۸/۲۴ | ۰/۴۳ | ۱۴۲/۳۱ | ۸/۴۳ | ۰/۰۸۰ | ۱/۳۳ | ۵۰ | | آبان ۱۳۹۲ | |
| ۰/۰۳۱ | ۱۳/۸۶ | ۱/۰۹ | ۸/۲۴ | ۰/۴۳ | ۱۴۲/۳۱ | ۸/۴۳ | ۰/۰۸۰ | ۱/۳۳ | ۷۵ | | | |
| ۰/۰۳۱ | ۱۳/۸۶ | ۱/۰۹ | ۸/۲۴ | ۰/۴۳ | ۱۴۲/۳۱ | ۸/۴۳ | ۰/۰۸۰ | ۱/۳۳ | ۱۰۰ | | | |
| ۰/۰۳۴ | ۱۷/۵۷ | ۱/۱۶ | ۸/۲۷ | ۰/۴۹ | ۱۵۵/۷۵ | ۱۰/۲۲ | ۰/۰۹۴ | ۱/۳۵ | ۰ | | | |
| ۰/۰۳۹ | ۲۵/۸۹ | ۱/۱۴ | ۸/۱۰ | ۰/۵۹ | ۱۷۴/۹۱ | ۱۲/۸۸ | ۰/۱۰۳ | ۱/۳۵ | ۲۵ | | | |
| ۰/۰۴۱ | ۴۲/۵۹ | ۱/۲۰ | ۷/۹۸ | ۰/۶۲ | ۱۸۶/۰۵ | ۱۴/۹۶ | ۰/۱۱۲ | ۱/۳۶ | ۵۰ | | | |
| ۰/۰۴۴ | ۶۶/۸۰ | ۱/۲۷ | ۷/۷۸ | ۰/۸۱ | ۱۹۳/۲۸ | ۲۰/۰۰ | ۰/۱۱۸ | ۱/۳۶ | ۷۵ | | | |
| ۰/۰۴۶ | ۷۹/۱۱ | ۱/۲۸ | ۷/۵۷ | ۰/۹۲ | ۲۰۴/۷۸ | ۲۳/۴۷ | ۰/۱۲۲ | ۱/۳۶ | ۱۰۰ | | | |
| ۰/۰۳۶ | ۲۱/۸۹ | ۱/۰۹ | ۸/۱۷ | ۰/۴۰ | ۱۲۵/۰۱ | ۱۰/۲۸ | ۰/۰۸۷ | ۱/۳۵ | ۰ | | | |
| ۰/۰۴۱ | ۳۲/۱۴ | ۱/۱۲ | ۷/۹۳ | ۰/۵۵ | ۱۲۶/۱۶ | ۱۲/۱۷ | ۰/۰۹۷ | ۱/۳۶ | ۲۵ | | | |
| ۰/۰۴۳ | ۴۸/۴۴ | ۱/۱۸ | ۷/۸۱ | ۰/۵۶ | ۱۴۸/۶۹ | ۱۳/۷۲ | ۰/۱۰۵ | ۱/۳۵ | ۵۰ | | خرداد ۱۳۹۳ | |
| ۰/۰۴۶ | ۷۲/۳۱ | ۱/۲۴ | ۷/۶۰ | ۰/۶۷ | ۱۵۷/۸۷ | ۱۸/۰۹ | ۰/۱۰۸ | ۱/۳۶ | ۷۵ | | | |
| ۰/۰۴۷ | ۸۴/۱۰ | ۱/۲۳ | ۷/۴۹ | ۰/۷۶ | ۱۶۴/۶۷ | ۲۰/۸۲ | ۰/۱۰۸ | ۱/۳۵ | ۱۰۰ | | | |
| ۰/۰۰۱ | ۲/۸۱۴ | ۰/۰۱۹ | ۰/۰۵۷ | ۰/۰۴۱ | ۸/۱۲۰ | ۰/۹۷۰ | ۰/۰۰۳ | ۰/۰۲۱ | | LSD (0.05) | | |

در بین ۳ زمان نمونه‌برداری، بیشترین میزان نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل جذب و کربن آلی خاک در آبان ماه ۱۳۹۲ (نمونه‌برداری دوم) و کمترین میزان این شاخص‌ها در اردیبهشت ماه ۱۳۹۲ (زمان پیش از اعمال بقایا) مشاهده شد. همچنین، در زمان نمونه‌برداری سوم، میزان نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل جذب و کربن آلی خاک، در مقایسه با نمونه‌برداری دوم به طور معنی‌داری کمتر بود. از آنجایی که نمونه‌برداری سوم در انتهای فصل رشد گندم صورت گرفت، کاهش معنی‌دار شاخص‌های ذکر شده در زمان نمونه‌گیری سوم در مقایسه با زمان نمونه‌برداری دوم می‌تواند به دلیل جذب عناصر توسط گیاه گندم در طی فصل رشد و نیز آبشویی احتمالی (به‌ویژه نیتروژن) باشد.

اسیدیته و هدایت الکتریکی

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس، خاک‌ورزی، سطوح بقایا و زمان نمونه‌برداری تأثیر معنی‌داری بر اسیدیته خاک داشتند. همچنین اثر متقابل زمان نمونه‌برداری و سطوح بقایا بر شاخص ذکر شده معنی‌دار بود (جدول ۲). در بین روش‌های خاک‌ورزی، کمترین میزان اسیدیته خاک در نتیجه استفاده از گاواهن قلمی + دیسک مشاهده شد. همچنین، با افزایش سطح کاربرد بقایای گیاهی در خاک، میزان اسیدیته خاک به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۳). به عنوان مثال، در زمان نمونه‌برداری دوم، کاربرد سطح ۱۰۰ درصد بقایای گندم در مقایسه با شاهد (عدم کاربرد بقایا) منجر به کاهش اسیدیته خاک تا ۰/۷ واحد شد. به‌طور کلی، تولید دی‌اکسید کربن در طی فرآیند تجزیه مواد آلی [۴]، تجزیه ترکیبات آلی و تولید اسیدهای آلی مانند اسید سیتریک و اسید آگزالیک در طی فرآیند تجزیه بقایای گیاهی [۱۲] از جمله عواملی است که ممکن است منجر به کاهش موضعی اسیدیته خاک می‌شود. از سوی دیگر،

در سیستم خاک‌ورزی حفاظتی منافذی که به صورت طبیعی توسط موجودات زنده و ریشه‌های گیاهان در لایه‌های مختلف خاک ایجاد شده‌اند، به صورت دست نخورده باقی می‌ماند. در این حالت، آب و عناصر غذایی محلول به صورت آهسته و تدریجی در خاک منتشر می‌شوند [۱۷]. اعمال خاک‌ورزی شدید، با خرد کردن بیش از حد خاکدانه‌ها باعث می‌شود که خاک با اولین آبیاری یا بارندگی، شسته شده و رواناب و سله ایجاد شود که می‌تواند در نهایت سبب کاهش فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه گردد [۴]. گاواهن قلمی برخلاف گاواهن برگردان‌دار، خاک را زیر و رو نمی‌کند. این امر ضمن آنکه منجر به تغییر اندک ساختمان خاک می‌شود، سبب کاهش تلفات رطوبت و نیز عناصر غذایی می‌گردد [۳ و ۸]. همچنین برتری گاواهن قلمی نسبت به گاواهن برگردان‌دار به دلیل کاهش فرسایش خاک، نیاز به نیروی کشت کمتر، تخریب کمتر خاک دانه‌ها و کاهش فشردگی خاک عنوان شده است [۷].

طبق نتایج به‌دست آمده، با افزایش سطوح کاربرد بقایای گندم در نمونه‌گیری دوم و سوم، نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل جذب و کربن آلی خاک به طور معنی‌داری رو به افزایش گذاشت. به عنوان مثال، در زمان نمونه‌گیری دوم، کاربرد ۱۰۰ درصد بقایای گندم در مقایسه با شاهد (عدم کاربرد بقایا)، میزان فسفر قابل جذب و کربن آلی خاک را تا حدود دو برابر افزایش داد (جدول ۴).

همان‌طور که ذکر گردید، بقایای گندم مورد استفاده در این آزمایش دارای میزان متعادلی از عناصر غذایی است. کاربرد این بقایا در خاک و آزاد شدن تدریجی عناصر غذایی می‌تواند نقش مؤثری در افزایش میزان حلالیت هر یک از این عناصر در خاک داشته باشد. مشابه این نتایج، دیگر محققین نیز فراهمی ماده آلی و آزاد شدن تدریجی عناصر غذایی در خاک را از مهم‌ترین فواید استفاده از بقایای گندم در سطح خاک دانستند [۱].

محلول خاک بیشتر باشد، هدایت الکتریکی آن نیز بیشتر خواهد بود [۴]. به دلیل وجود عناصر غذایی در بقایای گندم، اعمال این عناصر ممکن است منجر به افزایش نسبی هدایت الکتریکی در خاک شود (جدول ۱). از سوی دیگر، به نظر می‌رسد کاهش میزان هدایت الکتریکی خاک در زمان نمونه‌برداری سوم در مقایسه با زمان دوم ممکن است به دلیل آبشویی و جذب برخی عناصر از خاک توسط ریشه گیاه باشد.

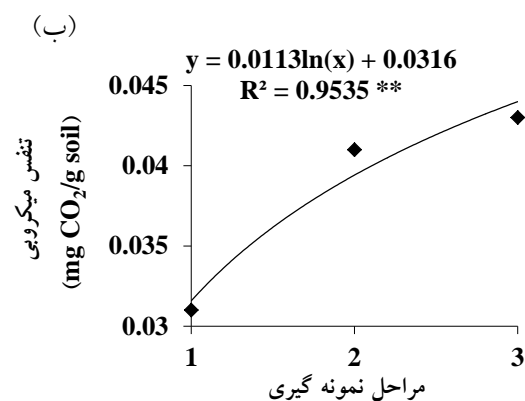
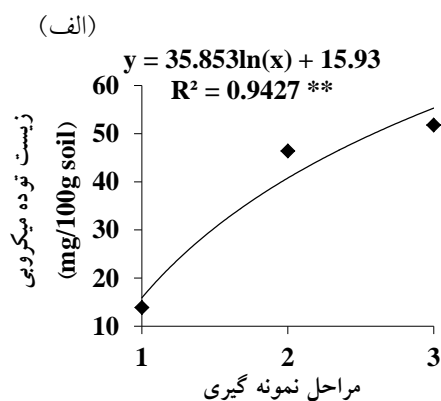
زیست‌توده و تنفس میکروبی

طبق نتایج حاصل از تجزیه واریانس، خاک‌ورزی، سطوح بقایا و زمان نمونه‌برداری تأثیر معنی‌داری بر زیست‌توده و تنفس میکروبی در خاک داشتند (جدول ۲).

کاهش معنی‌دار اسیدیته خاک، در زمان نمونه‌گیری سوم (خرداد ماه ۱۳۹۳) در مقایسه با نمونه‌برداری دوم (آبان ماه ۱۳۹۲)، می‌تواند ناشی از تنفس ریشه گیاه و نیز تجزیه هرچه بیشتر بقایای گیاهی در خاک باشد.

با وجود عدم تأثیر روش‌های خاک‌ورزی بر هدایت الکتریکی خاک، اثر سطوح بقایای گندم، زمان نمونه‌برداری و اثر متقابل زمان نمونه‌برداری و سطوح بقایای گندم بر هدایت الکتریکی خاک معنی‌دار بود (جدول ۲). طبق نتایج آزمایش بیشترین میزان هدایت الکتریکی خاک، در زمان نمونه‌برداری دوم و در نتیجه کاربرد سطوح ۷۵ و ۱۰۰ درصد بقایای گندم به دست آمد (جدول ۴).

هدایت الکتریکی در خاک در واقع بیانگر مقدار املاح معدنی محلول بوده و متناسب با غلظت یون‌ها در محلول خاک می‌باشد، به نحوی که هرچه غلظت یون‌ها در یک



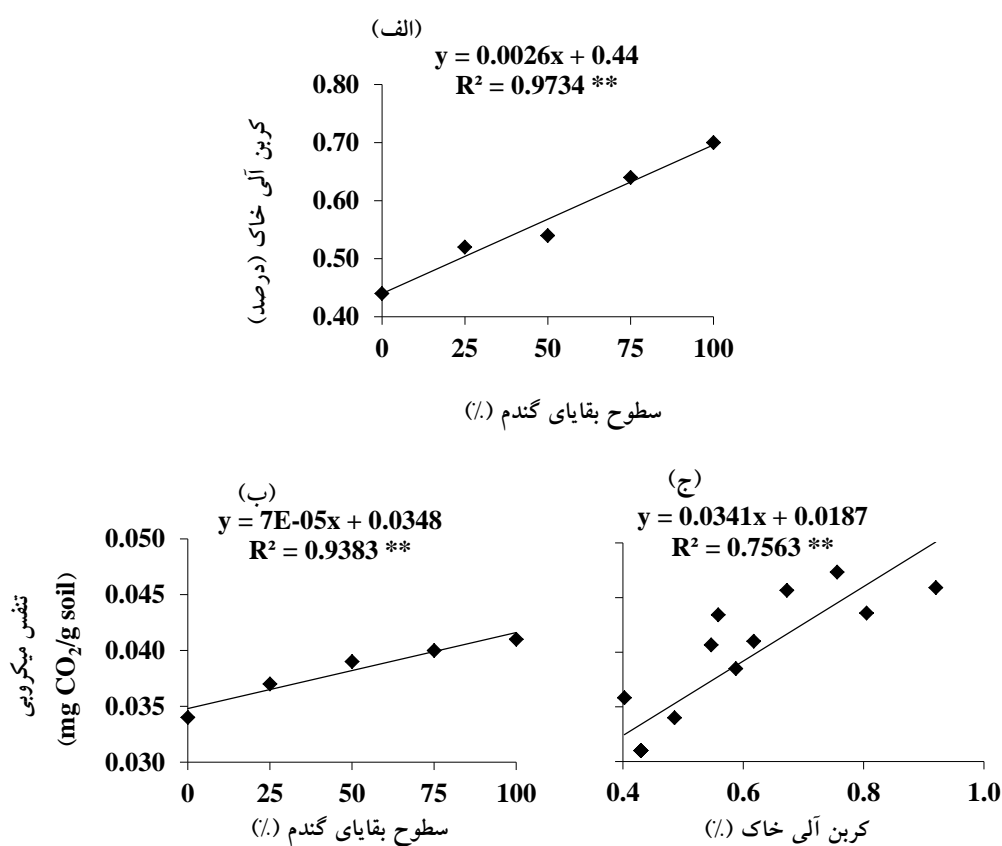
شکل ۲. تغییرات زیست‌توده میکروبی (الف) و تنفس میکروبی خاک (ب) در طی مراحل نمونه‌گیری نمونه‌گیری در مراحل ۱، ۲ و ۳ به ترتیب در اردیبهشت ۱۳۹۲، آبان ۱۳۹۲ و خرداد ۱۳۹۳ انجام شد.

سوم، میزان زیست‌توده میکروبی خاک در سطح ۱۰۰ درصد کاربرد بقایا تا ۴ برابر بیش از شاهد (عدم کاربرد بقایا) بود. همان‌طور که پیشتر به آن اشاره شد، این امر می‌تواند به دلیل نقش مؤثر فراهمی بقایای گندم بر فعالیت جامعه میکروبی از طریق بهبود میزان کربن آلی خاک باشد.

طبق نتایج آزمایش، کمترین زیست‌توده و تنفس میکروبی در خاک در نتیجه استفاده از گاوآهن برگردان‌دار به دست آمد. به عنوان مثال، میزان زیست‌توده میکروبی خاک در نتیجه استفاده از گاوآهن برگردان‌دار تا ۲۷ درصد کمتر از گاوآهن قلمی بود. برای مثال، در زمان نمونه‌گیری

مهمترین عوامل در تحریک فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید در خاک می‌باشد [۲، ۹ و ۲۷]. ارتباط مثبت و معنی‌دار بین سطوح بقایای گندم با کربن آلی خاک (شکل ۲ - الف)، بین سطوح بقایای گندم با تنفس میکروبی خاک (شکل ۲ - ب) و نیز بین کربن آلی با تنفس میکروبی خاک (شکل ۲ - ج) می‌تواند توجیهی در این ارتباط باشد.

به بیانی دیگر، با افزایش سطح کاربرد بقایای گندم، میزان کربن آلی خاک افزایش یافته که این امر منجر به ایجاد بستری مناسب‌تر برای تسریع سرعت رشد و فعالیت میکروارگانیسم‌های سودمند خاک می‌شود. همچنین، بیشترین میزان زیست توده و تنفس میکروبی و خاک در زمان نمونه‌گیری سوم مشاهده شد (شکل ۱ - الف، ب). به‌طورکلی، افزایش میزان ماده آلی در خاک، از



شکل ۳. ارتباط بین سطوح بقایای گندم با کربن آلی خاک (الف)، سطوح بقایای گندم با تنفس میکروبی خاک (ب) و کربن آلی با تنفس میکروبی خاک (ج)

با مصرف بقایای گندم می‌تواند اساساً وابسته به فراهمی مواد آلی باشد. به بیان دیگر، هر گونه عاملی که منجر به افزایش میزان کربن آلی در خاک شود، می‌تواند در نهایت فعالیت‌های زیستی در خاک را تحت تأثیر قرار دهد [۱۱].

از سوی دیگر، زیست توده میکروبی خاک به عنوان شاخصی مفید و حساس برای پایش کیفیت خاک پیشنهاد شده است [۴]. از این رو، افزایش زیست توده و تنفس میکروبی خاک در نتیجه اجرای خاک‌ورزی حفاظتی همراه

روشهای مختلف شخم بر وزن مخصوص ظاهری، تخلخل، رطوبت خاک و عملکرد گندم در شرایط دیم. علوم زراعی ایران. ۴: ۲۲۴-۲۰۹.

۴. فروغی فرح و پورکاسمانی م ا (۱۳۸۱) علوم و مدیریت خاک. جلد اول، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد. ۳۳۶ ص.

۵. کوچکی ع و برومند رضازاده ز (۱۳۸۸) خاک‌ورزی در بوم نظام‌های زراعی. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد. ۴۳۷ ص.

۶. کوچکی ع، فلاح‌پور ف، خرم‌دل س و جعفری ل (۱۳۹۲) بررسی کشت مخلوط گندم و کلزا بر عملکرد و اجزای عملکرد و تنوع و تراکم علف‌های هرز. بوم‌شناسی کشاورزی. ۶: ۲۰-۱۱.

۷. محمدی خ، نبی‌اللهی ک، آقاعلیخانی م و خرمالی ف (۱۳۸۸) بررسی تأثیر روشهای مختلف خاک‌ورزی بر خصوصیات فیزیکی خاک و عملکرد و اجزای عملکرد گندم دیم. پژوهش‌های تولید گیاهی. ۱۶: ۹۱-۷۷.

۸. مظاهری د و مجنون حسینی ن (۱۳۸۶) اصول زراعت عمومی. انتشارات دانشگاه تهران، تهران. ۳۲۰ ص.

۹. نصیری محلاتی م، کوچکی ع، رضوانی مقدم پ و بهشتی ع (۱۳۸۶) اگرواکولوژی. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد. ۴۵۹ ص.

10. Aoyama M, Angers DA and N'Dayegamiye A (1999) Particulate and mineral-associated organic matter in water-stable aggregates as affected by mineral fertilizer and manure application. Canadian Journal of Soil Sciences. 79: 295-302.

مشابه نتایج تحقیق حاضر، طبق دیگر گزارشات نیز حفظ بقایای گیاهی در مزرعه را به عنوان عامل مهمی در تحریک زیست‌توده و فعالیت میکروبی خاک در نظر گرفته شد [۲۱].

نتیجه‌گیری

طبق نتایج آزمایش، اجرای خاک‌ورزی کاهش یافته به‌ویژه بر پایه گاواهن قلمی در مقایسه با گاواهن برگردان نقش مؤثری در افزایش میزان عناصر غذایی قابل جذب از خاک و همچنین افزایش فعالیت جامعه میکروبی خاک از نظر شدت تنفس داشت. همچنین نتایج نشان داد که استفاده از بقایای گندم، ضمن کاهش اسیدیته خاک و نیز افزایش فراهمی عناصر غذایی موردنیاز گیاه، می‌تواند منجر به تحریک فعالیت‌های زیستی خاک در طی دوره رشد گندم شود. از این‌رو، می‌توان در نواحی خشک و نیمه خشک کشور، حفظ و یا اعمال بقایای گیاهی گندم همراه با استفاده از گاواهن قلمی را در راستای زراعت این گیاه توصیه نمود.

منابع

۱. آزادشهرکی ف، نقوی ه و نجفی‌نژاد ح (۱۳۸۹) تأثیر روش خاک‌ورزی و مدیریت بقایای گندم بر برخی خصوصیات خاک و عملکرد ذرت دانه‌ای در کرمان. دانش نوین کشاورزی. ۶: ۹-۱.

۲. رضوانی مقدم پ، کوچکی ع، ملافیلابی ع و سیدی س م (۱۳۹۲) اثرات تاریخ و مقادیر کاربرد کاه و کلش گندم بر خصوصیات بنه‌های دختره و گل‌انگیزی زعفران (*Crocus sativus* L.) در سال دوم. زراعت و فناوری زعفران. ۱: ۷۰-۵۵.

۳. عظیم‌زاده م، کوچکی ع و بالا م (۱۳۸۱) بررسی اثر

11. Bastian F, Bouziri L, Nicolardot B and Ranjard L (2009) Impact of wheat straw decomposition on successional patterns of soil microbial community structure. *Soil Biology and Biochemistry*. 41: 262-275.
12. Biswas DR and Narayanasamy G (2006) Rock phosphate enriched compost: An approach to improve low-grade Indian rock phosphate. *Bioresource Technology*. 97: 2243-2251.
13. Blair N, Faulkner RD, Till AR and Poulton PR (2006) Long-term management impacts on soil C, N and physical fertility. Part I: broadbalk experiment. *Soil and Tillage Research*. 91: 30-38.
14. Dahiya R, Ingwersen J and Streck T (2007) The effect of mulching and tillage on the water and temperature regimes of a loess soil: Experimental findings and modelling. *Soil and Tillage Research*. 96: 52-63.
15. De Gryze S, Six J, Brits C and Merckx R (2005) A quantification of short-term macro aggregate dynamics: influences of wheat residue input and texture. *Soil Biology and Biochemistry*. 37: 55-66.
16. Farooq M, Flower KC, Jabran K, Wahid A and Siddique KHM (2011) Crop yield and weed management in rainfed conservation agriculture. *Soil and Tillage Research*. 117: 172-183.
17. Franzluebbers AJ and Hons FM (1996) Soil-profile distribution of primary and secondary plant available nutrients under conventional and no tillage. *Soil and Tillage Research*. 39: 229-239.
18. Gale WJ and Cambardella CA (2000) Carbon dynamics of surface residue- and root derived organic matter under simulated no-till. *Soil Science Society of American Journal*. 64: 190-195.
19. Halvorson AD, Black AL, Krupinsky JM, Merrill SD, Wienhold BG and Tanaka DL (2000) Spring wheat response to tillage and nitrogen fertilization in rotation with sunflower and winter wheat. *Agronomy Journal*. 92: 136-144.
20. Hobbs PR, Sayre K and Gupta R (2008) The role of conservation agriculture in sustainable agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. 363: 543-555.
21. Limon-Ortega A, Govaerts B and Sayre KD (2008) Straw management, crop rotation, and nitrogen source effect on wheat grain yield and nitrogen use efficiency. *European Journal of Agronomy*. 29: 21-28.
22. Liu X, Herbert SJ, Hashemi AM, Zhang X and Ding G (2006) Effects of agricultural management on soil organic matter and carbon transformation – a review. *Plant Soil Environment*. 52: 531-543.
23. Mahboubi AA, Lal R and Favsey NR (1993) Twenty-eight years of tillage effect on two soils in Ohio. *Soil Science*. 57: 506-512.
24. Mohamed A, Hardtle W, Jirjahn B, Niemeyer T and Von Oheimb G (2007) Effects of prescribed burning on plant available nutrients in dry heathland ecosystems. *Plant Ecology*. 189: 279-289.
25. Singh BR and Haile M (2007) Impact of tillage and nitrogen fertilization on yield, nitrogen use efficiency of tef (*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter) and soil properties. *Soil and Tillage Research*. 94: 55-63.
26. Six J, Elliott ET and Paustian K (2000) Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agricultural. *Soil Biology and Biochemistry*. 32: 2099-2103.
27. Six J, Elliott ET, Paustian K and Doran JW (1998) Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. *Soil Science Society of American Journal*. 62: 1367-1377.

28. Srinivasan V, Maheswarappa HP and Lal R (2012) Long term effects of topsoil depth and amendments on particulate and non-particulate carbon fractions in a Miamian soil of Central Ohio. Soil and Tillage Research. 121: 10-17.
29. Thierfelder C and Wall PC (2010) Rotation in conservation agriculture systems of Zambia: effects on soil quality and water relations. Experimental Agriculture. 46: 309-325.