

اثر باقی مانده و تجمعی کودهای آلی بر غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم در خاک و گندم

نوید براهیمی، مجید افیونی، مهین کرمی و یحیی رضایی نژاد^{*۱}

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۶/۵/۱۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۷/۸/۸)

چکیده

با تولید روزافزون مواد آلی، به ویژه لجن فاضلاب و کمپوست زباله شهری، به کارگیری آنها در عرصه کشاورزی به عنوان کود آلی، نقش به سزایی بر مقدار عناصر در خاک و قابلیت دسترسی آنها برای گیاه و در نهایت افزایش عملکرد محصولات کشاورزی دارد. این تحقیق به منظور بررسی اثر باقی مانده و تجمعی کودهای آلی بر غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم در خاک و گیاه گندم و مقایسه عملکرد آن با کود شیمیایی اجرا شد. این آزمایش به صورت طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار و چهار تیمار کودی شامل کود گاوی، لجن فاضلاب، کمپوست زباله شهری و کود شیمیایی انجام گرفت. کودهای آلی به مقدار ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ تن در هکتار و کود شیمیایی به مقدار ۲۵۰ کیلوگرم آمونیوم فسفات روی شخم و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره به صورت سرک به کرت‌ها افزوده شد. در سال اول اجرای طرح تمام کرت و در سال دوم، چهار پنجم هر کرت (برای بار دوم) کوددهی گردید. اثر باقی مانده (یک بار کاربرد کود) کودهای آلی بر غلظت نیتروژن کل در خاک و مقدار آن در کاه و کلش معنی دار نبود، اما غلظت فسفر و پتاسیم قابل دسترس خاک و غلظت آنها در گیاه نسبت به شاهد تفاوت معنی داری نشان داد. اثر تجمعی (دو بار کاربرد کود) کودها بر نیتروژن کل خاک در تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ تن کود گاوی و ۱۰۰ تن کمپوست، فسفر در همه تیمارهای کود آلی و پتاسیم در تیمارهای کمپوست و کود گاوی منجر به افزایش معنی دار نسبت به شاهد گردید. اثر تجمعی کودها بر غلظت عناصر در کاه و کلش معنی دار بود. نیتروژن کل کاه و کلش در تیمار ۱۰۰ تن لجن فاضلاب، فسفر در ۱۰۰ تن کمپوست و پتاسیم در همه تیمارهای کود آلی به جز ۲۵ تن در هکتار کمپوست نسبت به شاهد تفاوت معنی دار داشت.

واژه‌های کلیدی: لجن فاضلاب، کمپوست، کود گاوی، نیتروژن، فسفر، پتاسیم

مقدمه

افزودن مواد آلی به خاک، بسته به ویژگی‌های انواع این مواد که آنها را بسیار متفاوت از هم می‌کند، اثرهای متفاوتی بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آن می‌گذارد که در بیشتر موارد با بهینه کردن این شرایط، امکان لازم جهت تولید محصولات با عملکرد بالا از نظر کیفی و کمی را فراهم می‌آورد (۱۱). به طور کلی کاربرد پسماندهای آلی باعث افزایش غلظت بسیاری از عناصر در خاک می‌گردد. از سوی دیگر، همراه با تجزیه مواد آلی، فرایندهایی مانند اکسیداسیون گوگرد،

خاک‌های منطقه خشک و نیمه خشک ایران معمولاً دارای کمبود ماده آلی می‌باشند که این امر باعث کاهش حاصل خیزی و خصوصیات مطلوب شیمیایی و فیزیکی این خاک‌ها می‌شود. این مسأله محققان را بر آن داشته تا در زمینه استفاده از کودهای آلی حاصل از فعالیت بشر مانند لجن فاضلاب و کمپوست زباله شهری برای افزایش تولیدات کشاورزی و معضلات ناشی از آن تحقیقات گسترده‌ای را انجام دهند. بررسی‌ها نشان داده که

۱. به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، استاد، دانشجوی دکتری و دانشیار خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: rezainejad@cc.iut.ac.ir

کوپربند و همکاران نیز گزارش کردند که کود کمپوست ضایعات مرغی، نیتروژن (نیتراتی) را به میزان ۳-۴ برابر کمتر از کود شیمیایی آزاد می‌کند (۱۲). لوئک و همکاران پیشنهاد کردند که به منظور بهبود قابلیت جذب نیتروژن برای گیاه، کمپوست زباله شهری، حداقل ۳ ماه قبل از کشت به خاک اضافه گردد (۱۶). تستر و همکاران نیز مشاهده کردند پس از افزودن تیمار لجن فاضلاب پوسیده و تراشه‌های چوب به خاک در مراحل اولیه، نیتروژن و فسفر غیر متحرک می‌شوند. آنها شرح دادند که در طی تجزیه بیولوژیک، نیتروژن و فسفر موجود در لجن در پرو توپلاسم میکروبی به فرم ترکیب آلی ذخیره شده و پس از مرگ آنها به خاک افزوده می‌گردد (۲۱). با وجود اثرات مثبت کاربرد این مواد در خاک، مطالعات زیادی وجود دارد که نشان می‌دهد کاربرد پسماندهایی مانند کمپوست زباله شهری و لجن فاضلاب به افزایش غلظت آلاینده‌هایی نظیر فلزات سنگین در خاک منجر می‌شود (۱، ۳، ۱۷) لذا در کاربرد این گونه مواد در زمین‌های کشاورزی همواره بایستی جانب احتیاط رعایت شود. تحقیقات صورت گرفته حاکی از آن است که علاوه بر نوع کود آلی مورد استفاده و ویژگی‌های آن، مدت زمان سپری شده پس از کاربرد کود و نیز تکرار کوددهی در سال‌های بعد از عواملی هستند که بر وضعیت غلظت عناصر در خاک و گیاه کشت شده تأثیر دارند. سیکورا و اشمیت پس از تیمار کردن گیاه سورگوم با لجن فاضلاب شهری، کود حیوانی و کود شیمیایی، اظهار داشتند افزودن لجن فاضلاب در اولین سال، عملکرد محصول را در تیمار ۱۰ تن در هکتار افزایش داد، اما در مقادیر بالاتر سبب کاهش عملکرد شد. هم‌چنین اگرچه استفاده از لجن فاضلاب در سال اول تأثیری در مقدار نیتروژن، فسفر و پتاسیم دانه سورگوم نداشت، اما در دوره بعد موجب افزایش غلظت آن گردید (۲۰). تحقیقات انجام گرفته در امریکا نشان داد که آزادسازی نیتروژن از کود کمپوست به سرعت آزادسازی کودهای شیمیایی نمی‌باشد. به طوری که در بیشتر حالات در حدود ۲۵٪ از نیتروژن در سال اول و در سال‌های بعد، هر سال ۱۰٪ آن آزاد می‌گردد و این بدان خاطر است که

به اسیدی شدن خاک (گرچه به صورت موضعی) کمک نموده که باعث انحلال و تحرک عناصر غذایی به ویژه عناصر کم مصرف غیر محلول خاک، به فرم قابل دسترس توسط گیاه می‌گردد (۱۷). خان و اشنیتزر گزارش کردند که هومیک غلیظ حاصل از بقایای آلی با عناصر غذایی کم مصرف خاک، کمپلکس تشکیل داده و قابلیت دسترسی آنها را برای گیاه افزایش می‌دهد (۱۳). مکابلا و وارمن گزارش کردند که کاربرد کمپوست زباله شهری در یک مزرعه سیب زمینی به افزایش معنی دار فسفر کل خاک منجر گردید. آنها در نهایت اعلام کردند که کمپوست زباله شهری می‌تواند به اندازه کودهای شیمیایی در افزایش فسفر قابل جذب خاک مؤثر باشد. دلیل احتمالی این امر افزایش فعالیت‌های میکروبی پس از کاربرد کمپوست و در نتیجه آزادسازی فسفر در طول معدنی شدن مواد آلی ذکر گردید (۱۸). نتایج مطالعه رضایی نژاد و افیونی نشان داد که از بین سه تیمار لجن فاضلاب، کود گاوی و کمپوست زباله شهری، کمپوست با داشتن نسبت C/N بیشتر در مقابل کود گاوی و لجن فاضلاب، تأثیر کمتری در عملکرد ذرت داشت (۳). نتایج مطالعات مکابلا و وارمن نشان داد که وزن ماده خشک و عملکرد دو محصول سیب زمینی و ذرت در تیمار کود شیمیایی (NPK) و تیمار مخلوط (۵۰٪ کود شیمیایی و ۵۰٪ کمپوست زباله شهری) به طور معنی داری بیش از تیمار کمپوست زباله شهری بود. بررسی غلظت نیتروژن در بافت‌های گیاه نشان داد که این پارامتر در تیمار کمپوست کمتر از کود شیمیایی و تیمار مخلوط بوده، ولی غلظت فسفر بافت گیاه در تیمارهای مختلف، اختلاف معنی داری با هم نداشتند. در این مطالعه کم بودن عملکرد و وزن خشک گیاه در تیمار کمپوست زباله شهری نسبت به کود شیمیایی به کم بودن نیتروژن قابل دسترس برای گیاه در کمپوست ربط داده شد. این محققان در نهایت پیشنهاد کردند که کود کمپوست زباله شهری منبع فسفر خوبی برای هر دو گیاه است، اما قابلیت دسترسی کم نیتروژن موجود در کمپوست، ضرورت استفاده از یک کود شیمیایی به عنوان منبع نیتروژن همراه با کمپوست را ایجاد می‌کند (۱۸).

پتاسیم در خاک و گیاه، تیمارها طی دو سال اعمال شد، به این ترتیب که در سال اول تمام هرکرت و در سال دوم قسمتی از آن (چهار پنجم) برای بار دوم و مطابق برنامه سال قبل کوددهی شد. به قسمتی از کرت که تنها سال اول کود دریافت نموده (یک پنجم) اثر باقی مانده و به قسمتی که دو سال متوالی کوددهی شده اثر تجمعی گفته می شود. کودها پس از کاربرد (که پیش از کاشت پاییزه می باشد) تا عمق ۳۰ سانتی متری با خاک مخلوط شدند. تیمار کود شیمیایی نیز به همین ترتیب اجرا گردید. کود فسفات آمونیوم روی شخم و کود اوره به صورت سرک مصرف شد. کشت گیاه گندم به صورت ردیفی و آبیاری به صورت کرتی با آب چاه مزرعه انجام گرفت. هدایت الکتریکی و pH آب آبیاری به ترتیب ۱/۱ دسی زیمنس بر متر و ۷/۵ بود.

نمونه برداری از کاه و کلش و دانه گندم نیمه اول تیرماه بعد از رسیدگی کامل گیاه و نمونه برداری از خاک بلافاصله بعد از برداشت گندم و از عمق ۰-۳۰ سانتی متری انجام شد. نمونه های گیاهی پس از برداشت در دمای ۶۵°C به مدت ۴۸ ساعت در آون خشک و سپس توزین و وزن هزار دانه بوسیله سینی دانه شمار و وزن ۱۰۰۰ سی سی بعد از جدا کردن آن حجم به وسیله ظرف مخصوص، اندازه گیری شد.

غلظت نیتروژن کل، فسفر قابل جذب و پتاسیم قابل جذب (محلول + تبادل) در خاک به ترتیب به روش کلدال، السن و فلیم فتومتر (پس از عصاره گیری با استات آمونیوم ۱ نرمال) تعیین گردید. برای اندازه گیری نیتروژن کل دانه و کاه از روش کلدال استفاده شد. برای اندازه گیری فسفر و پتاسیم ابتدا گیاه را از طریق اکسیداسیون تر هضم کرده و سپس از روش السن و فلیم فتومتری مقدار آنها سنجیده گردید (۱۹). پردازش آماری داده ها با نرم افزار SAS انجام شد (۶) و مقایسه میانگین ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵% صورت گرفت.

نتایج و بحث

جدول ۱ برخی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد

بر خلاف کودهای شیمیایی، نیتروژن موجود در کودهای کمپوست، در جریان تجزیه به صورت پیوند با دیگر عناصر به خصوص با کربن ظاهر می گردد همان گونه که در فرم های آلی دیگر نیز دیده می شود (۲۰).

ویر و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند که کاربرد کمپوست زباله شهری علاوه بر بهبود بخشیدن خواص فیزیکی خاک، که مربوط به افزایش کربن آلی خاک بود، سبب افزایش قابل توجه مقادیر قابل جذب فسفر، پتاسیم و منیزیم در طول دوره تحقیق (۳ سال) شد. حتی در سال سوم بعد از کاربرد کمپوست، مقدار پتاسیم قابل جذب گیاه، بیش از ۳ برابر تیمار شاهد بود. در سومین سال پس از کاربرد کمپوست، هم چنین نسبت C/N به طور چشمگیری افزایش یافت که این امر به کاهش ذخیره نیتروژن ارتباط داده شد. در این تحقیق هم چنین تغییرات سودمندی در ترکیب مواد هومیکی خاک رخ داد که با افزایش نسبت اسید هومیک به اسید فلوویک همراه بود (۲۲).

نظر به این که تحقیقات در مورد اثرات باقی مانده و تجمعی کودهای آلی بر قابلیت جذب عناصر پرمصرف در ایران بسیار محدود است، این تحقیق با هدف بررسی اثر باقی مانده و تجمعی لجن فاضلاب، کمپوست زباله شهری و کود گاوی بر غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم در خاک و گیاه گندم انجام شد.

مواد و روش ها

این پژوهش در طرح آماری بلوک های کامل تصادفی با ۱۱ تیمار و در ۳ تکرار در کرت هایی به ابعاد ۱۵*۳ متر در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی اصفهان اجرا شد. تیمارها شامل کودهای آلی (کود گاوی، کمپوست زباله شهری و لجن فاضلاب) هر یک در ۳ مقدار (۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ تن در هکتار)، کود شیمیایی (شامل ۲۵۰ کیلوگرم فسفات آمونیوم + ۲۵۰ کیلوگرم اوره) و تیمار شاهد (بدون کود) بودند.

خاک منطقه تپیک هاپل آرجید، فاین، لومی، میکسد، ترمیک می باشد. برای بررسی اثر باقی مانده و اثر تجمعی کودهای آلی بر افزایش عملکرد و غلظت نیتروژن، فسفر و

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه تا عمق ۲۰ سانتی‌متری

مقدار	واحد	پارامتر اندازه‌گیری شده
لوم رسی	-	بافت
۷/۸۱	-	pH
۱/۰۲	%	O. M
۱۴	cmol _c kg ⁻¹	CEC
۱/۸	dS m ⁻¹	ECe
۳۹۵/۳	g kg ⁻¹	کربنات کلسیم معادل
۱۱۰/۴	mg kg ⁻¹	کلر

بود (جدول ۲). در نتیجه به نظر می‌رسد در لجن فاضلاب با توجه به زیاد بودن مقدار نیتروژن کل و کم بودن نسبت C/N، دسترسی نیتروژن برای گیاه بیش از دو ماده آلی دیگر باشد. با توجه به آنالیز کودها، مقدار عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم افزوده شده به خاک در هر نوبت کوددهی به ازای مقادیر ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ تن در هکتار سه نوع کود آلی مورد استفاده مطابق جدول ۳ مشخص گردید.

غلظت عناصر NPK در خاک

باقی‌مانده کودها اثر معنی‌داری بر نیتروژن کل خاک نداشت (جدول ۴). آبشویی، تصعید، مصرف توسط گیاه و محبوس شدن در سلول‌های میکروبی و یا در ساختار پیوندی کانی‌های رسی (تبدیل به فرم‌های غیر قابل دسترس) می‌تواند بر کاهش غلظت نیتروژن در خاک تأثیر داشته باشد (۱۰). میزان فسفر قابل دسترس در تیمارهای باقی‌مانده ۵۰ و ۱۰۰ تن در هکتار هر سه کود آلی نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری داشت. هم‌چنین غلظت پتاسیم قابل جذب تحت تیمارهای باقی‌مانده کود آلی نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار داشت به طوری که بالاترین مقادیر مربوط به تیمارهای کود گاوی و کمپوست بود. غلظت کل نیتروژن در خاک با تکرار کوددهی (اثر تجمعی) افزایش یافت. با افزایش سطح کاربرد کود، نیتروژن کل در تیمارهای کود گاوی و کمپوست به طور معنی‌دار نسبت به شاهد افزایش یافت که بیشترین درصد نیتروژن خاک مربوط به

مطالعه را نشان می‌دهد. اثر باقی‌مانده کودهای آلی تفاوت معنی‌داری در EC خاک، مواد آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک نسبت به شاهد ایجاد نکرد. اما اثر تجمعی آنها به شکل معنی‌داری این پارامترها را افزایش داد. pH خاک در هیچ یک از تیمارهای باقی‌مانده یا تجمعی تفاوت معنی‌دار با شاهد نشان نداد (داده‌ها ارائه نشده‌اند).

جدول ۲، برخی ویژگی‌های شیمیایی کودهای آلی مورد استفاده را نشان می‌دهد. لجن فاضلاب نسبت به کود گاوی و کمپوست pH نسبتاً اسیدی‌تری دارد زیرا وجود برخی اسیدهای آلی در لجن باعث کاهش pH می‌گردد (۱۴). هر سه نوع کود آلی هدایت الکتریکی بالایی دارند که نشان‌دهنده میزان املاح بالا در آنهاست. املاح موجود در هر ترکیب کودی می‌تواند معلول دلایل خاص خود از جمله رژیم غذایی دام در کودهای گاوی و آلاینده‌ها و املاح موجود در کمپوست و لجن فاضلاب باشد. گرچه هدایت الکتریکی در لجن فاضلاب کمتر از دو کود دیگر است، ولی همین مقدار در صورت استفاده مقادیر بالا و مکرر این کود می‌تواند موجب افزایش شوری خاک شود. مقدار ماده آلی نسبتاً زیاد این کودها می‌تواند اثر مطلوبی بر خواص فیزیکی و شیمیایی خاک بگذارد که برای خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک نظیر ایران بسیار با اهمیت است (۱).

نسبت C/N کودها یکی از پارامترهای مهم در تجزیه آنها و جذب عناصر توسط گیاه می‌باشد. این نسبت برای کود گاوی برابر ۲۰/۸۳، کمپوست برابر ۱۲/۰۶ و لجن فاضلاب برابر ۹/۴۸

جدول ۲. ویژگی‌های شیمیایی کودهای آلی مورد استفاده

ویژگی	واحد	کود گاوی	کمپوست زباله	لجن فاضلاب
pH	-	۸/۶	۷/۸	۶/۴
هدایت الکتریکی	dS/m	۱۷	۱۴/۷	۹/۴
ماده آلی	%	۴۳	۲۷	۳۱
نسبت C/N	-	۲۰/۸۳	۱۲/۰۶	۹/۴۸
نیتروژن کل	mg/kg	۱۲۰۰۰	۱۳۰۰۰	۱۹۰۰۰
فسفر	mg/kg	۷۵۰۰	۳۰۰۰	۱۴۴۰۰
پتاسیم قابل جذب	mg/kg	۳۰۰۰	۷۰۰۰	۳۰۰۰

جدول ۳. مقدار NPK اضافه شده به خاک (Kg/ha) به ازای هر سطح کود آلی در هر نوبت کوددهی

مقدار کود آلی	عنصر	کود گاوی	کمپوست زباله	لجن فاضلاب
۲۵ تن در هکتار	N	۳۰۰	۳۲۵	۴۷۵
	P	۱۸۷/۵	۷۵	۳۶۰
	K	۷۵	۱۷۵	۷۵
۵۰ تن در هکتار	N	۶۰۰	۶۵۰	۹۵۰
	P	۳۷۵	۱۵۰	۷۲۰
	K	۱۵۰	۳۵۰	۱۵۰
۱۰۰ تن در هکتار	N	۱۲۰۰	۱۳۰۰	۱۹۰۰
	P	۷۵۰	۳۰۰	۱۴۴۰
	K	۳۰۰	۷۰۰	۳۰۰

تیمار ۱۰۰ تن کمپوست زباله و کود گاوی می‌باشد (جدول ۴). یکی از نکات قابل توجه جدول ۴ آن است که درصد کل نیتروژن خاک در تیمارهای لجن فاضلاب تفاوت معنی‌داری با تیمارهای سایر کودها ندارد، در صورتی‌که درصد نیتروژن لجن فاضلاب بیشتر از دو کود دیگر بود. این امر احتمالاً به دلیل بالا بودن سهولت دسترسی نیتروژن برای گیاه در تیمارهای لجن فاضلاب و در نتیجه مصرف بیشتر نیتروژن توسط گیاه می‌باشد. همان‌طور که پیشتر گفته شد نسبت C/N در لجن فاضلاب کمتر از دو کود دیگر بود.

اثر تجمعی کودها بر غلظت فسفر و پتاسیم قابل استفاده نیز معنی‌دار بود (جدول ۴). فسفر قابل جذب خاک در تیمار ۱۰۰ تن کود گاوی، بالاترین و در شاهد کمترین غلظت را داشت.

برخی محققین نیز گزارش کردند که مواد آلی، فسفر قابل دسترس گیاهان را افزایش می‌دهد و به‌طور غیر مستقیم از رسوب فسفات در pH های ۶ تا ۹ که به شکل غیر قابل جذب برای گیاه است، جلوگیری می‌کند (۹ و ۱۳). تیمارهای کود گاوی بیشتر از تیمارهای دیگر بر غلظت فسفر قابل دسترس اثر گذاشت، اگرچه مقدار این عنصر در لجن فاضلاب بیشتر بود. این امر می‌تواند ناشی از وجود درصد بالای مواد آلی در کود گاوی (۴۳٪) نسبت به لجن فاضلاب (۳۱٪) باشد. همان‌طور که اشاره گردید بسیاری از تحقیقات دلالت بر افزایش قابلیت جذب فسفر در حضور مواد آلی دارد. تولید اسید کربنیک از گاز کربنیک تولید شده طی تجزیه مواد آلی در خاک و آب موجود، تشکیل ترکیبات فسفر هومیک که با سهولت

جدول ۴. اثر باقی مانده و تجمعی کودهای آلی بر غلظت N, P, K در خاک

نوع کود	مقدار (ton/ha)	نیتروزن (%)		فسفر (mg/kg)		پتاسیم (mg/kg)	
		باقی مانده	تجمعی	باقی مانده	تجمعی	باقی مانده	تجمعی
گاوی	۲۵	۰/۱۶ ^a	۱/۷ ^{ab}	۲۵ ^{cd}	۸۳ ^c	۵۴۱ ^c	۸۳۱ ^c
	۵۰	۰/۱۸ ^a	۱/۹ ^a	۵۲ ^b	۱۶۶ ^b	۶۶۲/۳ ^{ab}	۱۳۰۵ ^b
	۱۰۰	۰/۱۹ ^a	۱/۹ ^a	۹۵ ^a	۲۵۶ ^a	۷۰۱ ^a	۱۵۷۲ ^a
کمپوست	۲۵	۰/۱۵ ^a	۱/۵ ^{ab}	۲۴ ^{cd}	۴۷ ^d	۴۸۴ ^{cd}	۵۹۳ ^{def}
	۵۰	۰/۱۶ ^a	۱/۷ ^{ab}	۴۴ ^b	۵۰/۷ ^{cd}	۶۱۲ ^b	۶۲۵ ^{de}
	۱۰۰	۰/۱۸ ^a	۲ ^a	۴۴ ^b	۶۳/۳ ^c	۶۸۷ ^{ab}	۶۹۷ ^{cd}
لجن	۲۵	۰/۱۳ ^a	۱/۶۵ ^{ab}	۲۴ ^{cd}	۵۶ ^{cd}	۴۷۰ ^{cd}	۴۷۱ ^{ef}
	۵۰	۰/۱۳ ^a	۱/۶ ^{ab}	۳۳/۶ ^c	۵۷ ^{cd}	۴۷۱ ^{cd}	۴۷۸ ^{ef}
	۱۰۰	۰/۱۷ ^a	۱/۷ ^{ab}	۴۹ ^b	۶۰ ^{cd}	۴۷۳ ^{cd}	۵۰۳ ^{ef}
شاهد	۰	۰/۱ ^a	۰/۱ ^b	۱۸ ^d	۱۸ ^e	۴۰۷ ^d	۴۲۶ ^f
	-	۰/۱۵ ^a	۱/۶ ^{ab}	۲۴/۴ ^{cd}	۲۰ ^e	۴۱۲ ^d	۴۵۲ ^f

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حرف مشترک هستند در سطح ۵٪ براساس آزمون دانکن فاقد اختلاف معنی‌دار هستند.

زمان دارد و احتمالاً با گذشت زمان بیشتر، اثر باقی مانده سبب مشاهده فسفر قابل جذب بیشتر در خاک می‌گردد. باربر در یک تحقیق ۲۵ ساله نشان داد که ۸ سال پس از آخرین کاربرد کود شیمیایی در مزرعه‌ای که چندین سال کود فسفره دریافت کرده بود، مقدار فسفر قابل جذب بیش از حد انتظار بود. وی با اندازه‌گیری فسفر جذب شده توسط گیاه و نیز فسفر قابل تبادل با رزین (که فسفر محلول ناپایدار گفته می‌شود) دریافت که تنها یک ششم از کل فسفر جذب شده توسط گیاه از فسفر قابل تبادل با رزین تأمین شده و بقیه (پنج ششم از فسفر جذب شده توسط گیاه در مزرعه) از بخش غیر قابل دسترس فسفر خاک فراهم می‌آمد. وی نتیجه‌گیری کرد که با گذشت زمان بخش زیادی از فسفر غیر قابل دسترس وارد محلول خاک می‌شود (۷). بالاتر بودن فسفر در تیمارهای کود آلی نسبت به کود شیمیایی که در جدول ۴ مشهود است، در تحقیقات زیادی گزارش شده است. لبسکی و لمب (۱۴) دلیل این تفاوت را اسیدهای آلی آزاد شده از مواد آلی می‌دانند که از جذب فسفر

بیشتر جذب گیاه می‌شوند، جایگزینی یون هومات به جای فسفات‌های جذب سطحی شده و آزادسازی یون فسفات، رقابت ترکیبات آلی با یون فسفات برای مکان‌های جذبی بر سطح ذرات کربنات کلسیم و پوشیده شدن سطوح رس‌ها و ذرات اکسیدهای آهن و آلومینیوم توسط مواد آلی که ظرفیت جذب فسفات را کاهش می‌دهد، برخی از دلایل احتمالی این امر ذکر شده‌اند (۵). جدول ۴ نشان می‌دهد که کاربرد کود شیمیایی موجب افزایش معنی‌دار فسفر قابل جذب نسبت به شاهد نشد. روشن است که در هر دو تیمار باقی مانده و تجمعی، مقدار کم فسفر قابل جذب به دلایلی از قبیل بالا بودن pH خاک و رسوب به صورت فسفات‌های کلسیم (۱۵)، ریز بافت بودن خاک (۸) و برداشت فسفر توسط گیاه در طی فصل رشد مورد انتظار است. اما نکته جالب آن است که در همین حال مقدار این ویژگی در تیمار باقی مانده بیش از تیمار تجمعی است. این امر نشان می‌دهد که فسفر موجود در خاک ناشی از کاربرد کود شیمیایی، برای نشان دادن اثر خود نیاز به گذشت

توسط خاک جلوگیری می کنند.

پتاسیم قابل جذب نیز با افزایش مقدار کود در تیمارهای کود گاوی و کمپوست نسبت به شاهد افزایش معنی داری پیدا کرد و بیشترین غلظت پتاسیم مربوط به تیمار ۱۰۰ تن کود گاوی می باشد. در مورد پتاسیم هم مانند فسفر سطوح مختلف کود گاوی بیشتر از سایر کودها، غلظت این عنصر را در خاک افزایش داد.

غلظت عناصر N,P,K در کاه و کلش گندم

باقی مانده کودهای آلی در تیمارهای اعمال شده اثر معنی داری بر غلظت نیتروژن کاه و کلش نداشت (جدول ۵). غلظت فسفر در تیمارهای باقی مانده ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ تن لجن فاضلاب، ۵۰ و ۱۰۰ تن کود گاوی و کمپوست نسبت به شاهد تفاوت معنی داری نشان داد و بیشترین مقدار آن مربوط به تیمار ۱۰۰ تن کمپوست زباله بود. غلظت پتاسیم جذب شده در تیمارهای باقی مانده ۱۰۰ تن کود کمپوست و لجن فاضلاب و تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ تن کود گاوی نسبت به شاهد، معنی دار بود. با تکرار تیمارهای کود آلی درصد نیتروژن در کاه گندم افزایش یافت. بررسی اثر تجمعی بر نیتروژن کاه و کلش حاکی از آن است که تنها تیمار ۱۰۰ تن لجن فاضلاب دارای اختلاف معنی دار با شاهد می باشد. غلظت فسفر جذب شده در کاه گندم نیز با تکرار کوددهی در تیمارهای مختلف افزایش داشت. بررسی اثر تجمعی بر فسفر نیز نشان داد که تنها تیمار ۱۰۰ تن در هکتار کمپوست افزایش معنی دار نسبت به شاهد دارد. غلظت پتاسیم کاه گندم در تیمارهای تجمعی مختلف کود آلی نسبت به شاهد افزایش معنی دار نشان داد، به طوری که بیشترین غلظت پتاسیم مربوط به تیمار ۱۰۰ تن در هکتار لجن فاضلاب است. بین تیمارهای ۲۵ و ۱۰۰ تن در هکتار کود گاوی و کود کمپوست زباله و همچنین بین سطوح مختلف کاربرد لجن فاضلاب نیز تفاوت معنی دار وجود دارد (جدول ۵).

مقایسه مقادیر نیتروژن کاه و کلش گندم با حد کمبود معرفی شده در منابع (%۱/۷۴ - ۱/۲۵) (۲) نشان داد که گندم

رشد یافته در اکثر تیمارها دچار کمبود نیتروژن می باشد (جدول ۵). در منابع ذکر گردیده است که کمبود فسفر در دامنه غلظت ۲۰۰۰-۱۱۰۰ میلی گرم در کیلوگرم اندام هوایی گندم اتفاق می افتد (۲). همان طور که جدول ۵ نشان می دهد گندم در همه تیمارهای آزمایش به کمبود فسفر مبتلا می باشد. محققین معتقدند اضافه کردن مواد آلی به خاک ممکن است با کاهش قابلیت جذب نیتروژن برای گیاه همراه باشد. بنابراین در هنگام استفاده از پسماندهای آلی برای جلوگیری از کمبود نیتروژن باید از کودهای شیمیایی نیتروژن دار استفاده کرد (۱۸). یکی از دلایل کمبود نیتروژن در شرایط مذکور محبوس شدن نیتروژن می باشد (۱۰). از طرفی مناسب بودن شرایط انتقال و نگهداری کودهای آلی یکی از عوامل مؤثر در غنی بودن آنها از عناصری مانند نیتروژن است، لذا این عنصر به راحتی می تواند به صورت گاز آمونیاک خارج شود. در ارتباط با فسفر نیز به جز عامل کمیت، عوامل مختلفی از جمله کند بودن سرعت آزاد سازی این عنصر به خصوص در مراحل اولیه کوددهی و اثرات متقابل یونی در کاهش جذب این عنصر توسط گیاه اثر دارد. علت این که غلظت پتاسیم جذب شده در سطوح پایین کاربرد کودها و حتی در تیمار شاهد نیز زیاد می باشد، احتمالاً زیاد بودن غلظت قابل جذب این عنصر در خاک به دلیل برخورداری این خاک از کانی های پتاسیم دار چون ایلیت بوده است. شریفی نیز طی مطالعات خود دریافت که خاک های مورد آزمایش به دلیل داشتن درصد بالای ایلیت و قدرت بافری می توانند نیاز پتاسیم گیاه را در طول فصل رشد تأمین نمایند (۴).

عملکرد گندم

اندازه گیری عملکرد کل گیاه گندم نشان داد که اگرچه اثر باقی مانده کودها افزایش محصول نسبت به شاهد را در پی داشته است، ولی این تفاوت معنی دار نیست (جدول ۶). تفاوت معنی داری در وزن هزار دانه و وزن هزار سی سی دانه گندم بین تیمارهای باقی مانده و شاهد مشاهده نشد (جدول ۶). فراهم نبودن عناصر غذایی در حد نیاز و یا عوامل متعدد دیگری که

جدول ۵. اثر باقی مانده و تجمعی کودهای آلی بر غلظت NPK درگاه و کلش گندم

نوع کود	مقدار (ton/ha)	نیترژن (%)		فسفر (mg/kg)		پتاسیم (mg/kg)	
		تجمعی	باقی مانده	تجمعی	باقی مانده	تجمعی	باقی مانده
گاو	۲۵	۰/۶ ^a	۱/۱ ^{ab}	۵۲۵ ^{def}	۶۵۸ ^{ab}	۲۲۶۹ ^{bc}	۳۸۱۷ ^{cd}
	۵۰	۰/۷ ^a	۱/۲۰ ^{ab}	۵۵۰ ^{cde}	۷۷۵ ^{ab}	۳۱۵۱ ^{ab}	۳۳۲۸ ^{cd}
	۱۰۰	۰/۷ ^a	۱/۴۰ ^{ab}	۶۷۵ ^b	۶۹۲ ^{ab}	۳۵۷۲ ^{ab}	۶۹۵۷ ^{ab}
کمپوست	۲۵	۰/۵ ^a	۰/۸۵ ^{ab}	۴۷۵ ^f	۶۴۲ ^{ab}	۲۳۳۳ ^{bc}	۱۷۲۳ ^{ef}
	۵۰	۰/۵ ^a	۱/۰۰ ^{ab}	۵۴۲ ^{cde}	۷۴۲ ^{ab}	۲۶۲۵ ^{bc}	۲۹۹۵ ^{de}
	۱۰۰	۰/۶ ^a	۱/۴۰ ^{ab}	۷۹۲ ^a	۱۰۹۱ ^a	۳۶۳۵ ^a	۶۵۹۸ ^{ab}
لجن فاضلاب	۲۵	۰/۶ ^a	۱/۱۰ ^{ab}	۵۵۸ ^{cd}	۵۵۸ ^b	۲۹۳۱ ^{bc}	۳۰۷۳ ^{cd}
	۵۰	۰/۶ ^a	۱/۲۵ ^{ab}	۶۰۸ ^{bc}	۶۹۲ ^{ab}	۲۹۸۸ ^{bc}	۴۰۷۳ ^{bcd}
	۱۰۰	۰/۷ ^a	۱/۷۰ ^a	۶۵۸ ^{bc}	۷۷۵ ^{ab}	۳۴۳۸ ^{ab}	۷۳۶۰ ^a
شاهد	۰	۰/۵ ^a	۰/۵۰ ^b	۴۹۲ ^f	۶۴۱ ^b	۲۱۲۱ ^c	۱۵۴۸ ^f
کود شیمیایی	-	۰/۶ ^a	۱/۵۰ ^{ab}	۵۰۰ ^{ef}	۶۶۶ ^{ab}	۲۷۲۵ ^{bc}	۱۷۵۳ ^{ef}

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حرف مشترک هستند، در سطح ۵٪ بر اساس آزمون دانکن فاقد اختلاف معنی دارند.

جدول ۶. اثر باقی مانده و تجمعی کودهای آلی بر عملکرد کل، عملکرد ۱۰۰۰ دانه و وزن ۱۰۰۰ سی سی دانه گندم

نوع کود	مقدار (ton/ha)	عملکرد کل (kg/ha)		عملکرد ۱۰۰۰ دانه (gr)		وزن ۱۰۰۰ سی سی دانه (gr)	
		تجمعی	باقی مانده	تجمعی	باقی مانده	تجمعی	باقی مانده
گاو	۲۵	۳۸۱۴ ^a	۳۹۸۳ ^{ab}	۳۷ ^a	۳۱ ^{bc}	۶۷۰ ^a	۶۹۰ ^{ab}
	۵۰	۴۶۹۰ ^a	۴۸۶۰ ^{ab}	۳۳ ^a	۲۷/۵ ^c	۵۸۰ ^a	۶۱۶ ^{ab}
	۱۰۰	۵۲۸۴ ^a	۵۱۹۹ ^{ab}	۳۴ ^a	۳۰ ^d	۵۵۴ ^a	۶۲۷ ^{ab}
کمپوست	۲۵	۳۵۰۳ ^a	۴۰۶۸ ^{ab}	۳۲/۵ ^a	۳۸/۵ ^{ab}	۶۴۲ ^a	۷۱۸ ^{ab}
	۵۰	۳۹۲۷ ^a	۴۲۹۴ ^{ab}	۴۰ ^a	۳۹/۹ ^a	۵۸۵ ^a	۷۴۴ ^a
	۱۰۰	۴۰۹۶ ^a	۴۵۲۰ ^{ab}	۳۹ ^a	۲۷ ^e	۶۸۵ ^a	۶۷۳ ^{ab}
لجن فاضلاب	۲۵	۳۵۸۸ ^a	۳۵۹۰ ^{ab}	۳۱ ^a	۲۷/۵ ^e	۶۸۵ ^a	۶۷۵ ^{ab}
	۵۰	۴۶۶۲ ^a	۴۷۰۰ ^{ab}	۲۹ ^a	۲۶/۵ ^e	۵۵۳ ^a	۶۸۳ ^{ab}
	۱۰۰	۳۸۴۲ ^a	۵۱۱۴ ^{ab}	۲۸/۸ ^a	۳۲/۵ ^b	۶۴۴ ^a	۶۸۰ ^{ab}
شاهد	۰	۲۵۴۲ ^a	۲۴۰۰ ^b	۲۶ ^a	۲۲ ^e	۵۲۷ ^a	۵۲۵ ^b
کود شیمیایی	-	۲۷۶۸ ^a	۶۱۰۳ ^a	۳۲ ^a	۳۰/۵ ^{cd}	۶۶۴ ^a	۶۵۴ ^{ab}

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حرف مشترک هستند، در سطح ۵٪ بر اساس آزمون دانکن فاقد اختلاف معنی دارند.

جدول ۶ نشان می‌دهد که تیمارهای باقی مانده در بیشتر موارد وزن ۱۰۰۰ دانه بیشتری نسبت به تیمارهای تجمعی دارند. بوشام معتقد است به دلایل متعدد اضافه کردن مواد آلی به خاک ممکن است موجب کاهش عملکرد محصول شود که یکی از علل آن محبوس بودن نیتروژن در ساختار مولکول‌های آلی است (۱۰).

نتیجه گیری

کاربرد کودهای آلی به صورت باقی مانده و تجمعی منجر به افزایش غلظت عناصر پرمصرف در خاک و گیاه گردید. این افزایش جز در مورد اثر باقی مانده کودهای آلی بر غلظت نیتروژن کل در خاک و مقدار آن در کاه و کلش، در سایر موارد معنی دار بود. اثر باقی مانده کودها به خصوص بر فسفر و پتاسیم قابل جذب خاک و گیاه نکته مثبت و قابل توجهی تلقی می‌شود. با توجه به کم بودن غلظت نیتروژن و فسفر در بافت‌های گیاه نسبت به سطوح بحرانی این عناصر، بایستی گفت که کودهای آلی به تنهایی نمی‌توانند نیاز گیاه را به عناصر پرنیاز فراهم کنند، لذا استفاده از کودهای شیمیایی مخصوصا نیتروژن به عنوان مکمل ضروری می‌باشد.

نیاز به بررسی بیشتری دارد، می‌تواند موجب بروز کمبود و در نهایت عدم تأثیر بر عملکرد نسبت به شاهد شود. بررسی اثر تجمعی نیز نشان داد، بیشترین مقدار عملکرد کل گیاه گندم مربوط به تیمار کود شیمیایی بود (جدول ۶) و هیچ یک از تیمارهای کود آلی اثر معنی داری بر عملکرد نداشتند که با توجه به نتایج آنالیز کاه و کلش و کمبود نیتروژن و فسفر در گیاه، این نتیجه دور از انتظار نیست. مکابلا و وارمن گزارش کردند که کاربرد کود شیمیایی و کمپوست با هم، عملکرد سیب‌زمینی و ذرت را بیش از کود کمپوست به تنهایی افزایش داد. در تحقیق آنها بیشترین عملکرد مربوط به تیمار کود شیمیایی بود (۱۸).

اثر تجمعی کودها بر وزن هزار دانه گندم معنی دار بود. در این رابطه بسیاری از تیمارها افزایش معنی دار نسبت به شاهد نشان دادند و تیمار ۵۰ تن کود کمپوست بیشترین افزایش را دارا بود. اثر تجمعی کودها بر وزن ۱۰۰۰ سی سی دانه گندم جز در تیمار ۵۰ تن در هکتار کود کمپوست معنی دار نبود. عدم همبستگی بین مقدار کودهای آلی افزوده شده به خاک و عملکرد دانه و کاه گندم، احتمالا به دلیل کمبود نیتروژن و فسفر گیاه است که در بخش قبل به آن اشاره شد. هر چند ممکن است عوامل دیگری مانند اضافه شدن مواد متنوع از جمله فلزات سنگین همراه کودهای آلی به خاک و اثرات متقابل بین طیف وسیعی از یون‌های اضافه شده بر عملکرد نقش داشته‌اند.

منابع مورد استفاده

۱. بهره‌مند، م. ر.، م. افیونی، م. ع.، حاج عباسی و ی. رضایی نژاد. ۱۳۸۱. اثر لجن فاضلاب بر برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۴: ۱-۸.
۲. خوشگفتارمنش، ا. ح. ۱۳۸۶. ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای گیاه و مدیریت بهینه کودی، انتشارات مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان.
۳. رضائی نژاد، ی. و م. افیونی. ۱۳۷۹. اثر مواد آلی بر خواص شیمیایی خاک، جذب عناصر به وسیله ذرت و عملکرد آن. نشریه علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۴: ۱۹-۲۸.
۴. شریفی، م. ۱۳۷۷. انتخاب عصاره گیر مناسب جهت استخراج پتاسیم قابل جذب برای گیاه ذرت در خاک‌های منطقه مرکزی استان اصفهان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۵. ملکوتی، م. ج. ۱۳۷۳. حاصل خیزی خاک‌های مناطق خشک (مشکلات و راه‌حل‌ها). انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
۶. میرزایی، ع. ۱۳۸۵. آشنایی با نرم افزار SAS. جلد اول، انتشارات ثامن الائمه، تهران.

7. Barber, S. A. 1984. Soil Nutrient Bioavailability. John Wiley & Sons Pub., New York.
8. Barrow, N. J. 1990. The Role of Phosphorus in Agriculture. Chapter 11, Madison WI. 53711. USA
9. Baure, A. and A. L. Black. 1992. Organic carbon effects on available water. Soil Sci. Am. J. 56: 248-254.
10. Beauchamp, E. G. 1987. Corn response to residual N from urea and manure applied in previous year. Can. J. Soil Sci. 67: 931-942.
11. Cecil, F. and C. F. Tester. 1990. Organic amendment effects on physical and chemical properties of a sandy soil. J. Soil Sci. Soc. Am. 54: 827-831.
12. Cooperband, L., G. Bollero, F. Coale. 2002. Effect of poultry litter and compost on soil nitrogen and phosphorus availability and corn production. Nutr. Cycl. Agroecosys. 62: 185-194.
13. Khan, S. V. and M. Schnitzer. 1972. Permanganate oxidation of humic acids, fulvic acids, and humins, Extracted Ah horizons of black chernozem and black solonchok and black solonchok soil. Can. J. Soil Sci. 52(1): 43-57.
14. Laboski, C. A. M. and J. A. Lamb. 2003. Changes in soil test phosphorus concentration after application of manure or fertilizer. Soil Sci. Soc. Am. J. 67: 544-554.
15. Lindsay, W. L. 1979. Chemical Equilibria in Soils. John Wiley & Sons Pub., New York.
16. Loecke, T. D., M. Liebman, C. A. Cambardella, T. L. Richard. 2004. Corn response to composting and time of application of solid swine manure. Agron. J. 96: 214-223.
17. McBride, M. B. 1995. Toxic metal accumulation from agricultural use of sludge: are USEPA regulations protective? J. Environ. Qual. 24: 5-18.
18. Mkhabela, M. S. and P. R. Warman. 2005. The influence of municipal solid waste compost on yield, soil phosphorus availability and uptake by two vegetable crops grown in a Pugwash sandy loam soil in Nova Scotia. Agriculture, Ecosys. and Environ. 106: 57-67.
19. Page, A. L., R. H. Miller and D. R. Keeney. 1982. Methods of Soil Analysis, Part: 2: Chemical and biological properties 2nd ed., Soil. Sci. Soc. Am. Inc. Pub., USA.
20. Sikora, L. and R. A. K. Szmids. 2001. Nitrogen Sources, Mineralization Rates and Plant Nutrient Benefits from compost. In: Stoffella et al. (Ed.), Compost utilization in horticultural cropping systems. CRC Press Pub., USA.
21. Tester, C. F., L. J. Sikora, J. M. Taylor and J. F. Paw. 1973. Decomposition of sewage sludge compost in soil: Carbon, nitrogen, phosphorus, transformation in different size fractions. J. Environ. Qual. 8 (1): 79-82.
22. Weber, J., A. Karczewska, J. Drozd, M. Licznar, S. Licznar, E. Jamroz and A. Kocowicz. 2007. Agricultural and ecological aspects of a sandy soil as affected by the application of municipal solid waste composts. Soil Biol. and Biochem. 39: 1294-1302.