اثرات تجمعی و باقی‌مانده لجن فاضلاب شهری بر شکل‌های معدنی فسفر و ارتباط آنها با قابلیت دسترسی فسفر در یک خاک آهکی

مجید حجازی مهریزی[۱*]، حسین شریعتمداری[۲] و مجید افیونی[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۶/۲۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۲/۲۴)

چکیده

استفاده از لجن فاضلاب به عنوان کود آلی در خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک ایران مورد توجه قرار گرفته است. هدف از این تحقیق بررسی آثار تجمعی و باقی‌مانده لجن فاضلاب شهری بر شکل‌های معدنی فسفر در خاک و ارتباط آنها با قابلیت دسترسی فسفر و عملکرد گندم در مقایسه با تیمار شاهد بود. بدین منظور سطوح ۵۰ و ۱۰۰ مگاگرم بر هکتار لجن فاضلاب (به عنوان سطوح کوددهی) و تعداد یک، ۳ و ۵ مرتبه کوددهی (به عنوان دفعات کوددهی) در یک خاک آهکی به همراه تیمار شاهد در نظر گرفته شد. آزمایش در قالب طرح کرت‌های خرد شده با طرح پایه بلوک کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. نمونه‌های مرکب خاک در پایان سال پنجمین کوددهی از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری برداشت شد. نتایج نشان داد که با افزایش سطح و دفعات کوددهی مقدار دی‌کلسیم فسفات(Ca_2-P)، اکتاکلسیم فسفات (Ca_8-P)، آپاتایت (Ca_{10}-P)، فسفات آلومینیوم (Al-P)، فسفات آهن (Fe-P) و فسفر قابل جذب خاک افزایش ولی مقدار فسفر محبوس شده(OC-P) کاهش یافت. آثار باقی‌مانده لجن در یک بار کوددهی سبب افزایش مقدار شکل‌های مختلف فسفر در مقایسه با تیمار شاهد گردید. به غیر ازOC-P، بین شکل‌های معدنی فسفر و فسفرعصاره‌گیری شده به روش اولسن، عملکرد گندم و جذب فسفر هم‌بستگی مثبت و معنی‌داری دیده شد. نتایج این تحقیق نشان داد کاربرد لجن فاضلاب در خاک سبب افزایش شکل‌های فسفر معدنی و قابلیت دسترسی فسفر شده است.

واژه‌های کلیدی: مناطق خشک و نیمه خشک، لجن فاضلاب، جزء بندی فسفر، گندم

۱. گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

۲. گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mhejazi@uk.ac.ir

مقدمه

با افزایش جمعیت و تولید انبوه لجن فاضلاب استفاده مطلوب و آگاهانه از این کودها در اراضی کشاورزی مورد توجه قرار گرفته است (۲). استفاده از لجن فاضلاب به عنوان یکی از راه‌های مؤثر در افزایش باروری خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک شناخته شده است(۲ و ۳). در این مناطق به دلیل کمبود ماده آلی و کشاورزی فشرده، استفاده از لجن فاضلاب می‌تواند اثرات مفیدی بر خصوصیات فیزیکی خاک و تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه داشته باشد (۱ و۳).

فسفر یکی از عناصر ضروری گیاه بوده و بعد از نیتروژن به عنوان عنصری کلیدی در تولید محصول به شمار می‌رود (۹). لجن فاضلاب حاوی مقدار زیادی فسفر بوده و کاربرد خاکی آن می‌تواند سبب بهبود وضعیت تغذیه فسفر در گیاه شود. قابلیت دسترسی فسفر لجن فاضلاب نه تنها به مقدار کل فسفر موجود در لجن بلکه به واکنش‌های آن با اجزای مختلف خاک و تغییر شکل‌های فسفر خاک دارد (۱۳) و به همین دلیل آگاهی از واکنش‌های فسفر آزاد شده از لجن فاضلاب با اجزای مختلف خاک حایز اهمیت خواهد بود. در خاک‌های آهکی واکنش فسفر با کربنات کلسیم سبب تشکیل شکل‌های مخلتف فسفات کلسیم و کاهش قابلیت دسترسی این عنصر خواهد شد(۴). با توجه به حلالیت متفاوت شکل‌های مختلف فسفات کلسیم در خاک، تعیین فراوانی و توزیع آنها اطلاعات مفیدی در زمینه جذب فسفر توسط گیاه از خاک را ارایه خواهد کرد (۴و ۱۴).

ارتباط بین جذب فسفر توسط گیاه با فسفر خاک با شناسایی شکل‌های این عنصر در خاک به خوبی مشخص می‌شود (۴ و۸). برای جداسازی شکل‌های فسفر در خاک روش‌های متعددی ارائه شده است که از مهم‌ترین آنها می‌توان به عصاره‌گیری متوالی توسط محلول‌های شیمیایی اشاره کرد (۴). مطالعات انجام شده در زمینه انتخاب نوع عصاره‌گیر برای استخراج شکل‌های فسفر نشان داد که روش جیانگ و گو (۱۶) به دلیل جداسازی شکل‌های مختلف فسفات کلسیم نسبت به سایر روش‌ها در خاک‌های آهکی برتری دارد (۱۲، ۱۵و ۱۶).

وضعیت فسفر قابل دسترس خاک ناشی از مصرف کودهای آلی توسط برخی از محققین مورد بررسی قرار گرفته است. دیل و همکاران (۱۳) نشان دادند که کاربرد کود مرغی در سطح ۲۰۰ مگاگرم بر هکتار سبب افزایش فسفر محلول و فسفر قابل استخراج با بی کربنات در یک خاک نسبتاً اسیدی گردید. نتایج واثقی و همکاران (۱۰) نشان داد که با افزایش سطوح لجن فاضلاب فسفر قابل استخراج توسط بیکربنات در یک خاک آهکی و اسیدی به طور خطی افزایش یافت. از آنجا که اطلاعات کمی در زمینه تأثیر لجن فاضلاب بر مقدار و توزیع شکل‌های فسفر و ارتباط آنها با فسفر قابل جذب خاک و شاخص‌های گیاه وجود دارد لذا این تحقیق با هدف بررسی اثرات تجمعی و باقی‌مانده لجن فاضلاب بر شکل‌های فسفر و قابلیت دسترسی آن در یک خاک آهکی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

روش اجرای طرح

سطوح مختلف لجن فاضلاب شهری شامل سطوح ۵۰ و ۱۰۰ مگاگرم بر هکتار (به عنوان سطح کوددهی) در سه سطح ۱، ۳ و ۵ سال کوددهی (به عنوان دفعات کوددهی) به همراه تیمار شاهد در قالب طرح کرت‌های خرد شده با طرح پایه بلوک کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی اصفهان (لورک نجف آباد) در سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۲ انجام گرفت. در سال اول ۶ کرت با ابعاد ۳×۱۵ متر جهت تیمارهای لجن فاضلاب و سه کرت شاهد (بدون کوددهی) آماده و تمام کرت‌ها به جز کرت‌های شاهد با سطوح مختلف لجن کوددهی شدند. در سال دوم، کرت‌ها به دو قسمت نامساوی ۳×۳ و ۳×۱۲ متری تقسیم و قسمت بزرگ‌تر برای بار دوم و معادل با مقدار سال اول لجن دریافت کرد اما به قسمت کوچک‌تر لجن اضافه نشد. در سال سوم کرت‌ها به دو قسمت نامساوی ۳×۶ و ۳×۹ متری تقسیم که به قسمت ۳×۹ لجن فاضلاب اضافه شد. در سال چهارم کرت ۳×۹ متری به دو بخش نامساوی ۳×۳ و

۳×۶ متری تقسیم و به کرت بزرگ‌تر لجن فاضلاب اضافه شد. در پنجمین سال اجرای این طرح کرت ۳×۶ متری به دو بخش مساوی ۳×۳ متر تقسیم و به آخرین کرت ایجاد شده لجن فاضلاب اضافه شد. مقدار لجن مورد نیاز (۵۰ و ۱۰۰ تن در هکتار) به خاک اضافه و تا عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک مخلوط گردید. خاک منطقه آهکی و در رده اریدی سول‌ها قرار دارد (Fine loamy, mixed, thermic, Typic Haplargids). در هر ۵ سال گندم رقم مهدوی به صورت پاییزه کشت شد.

نمونه‌برداری و تجزیه‌های شیمیایی

در پایان سال پنجم و بعد از رسیدگی فیزیولوژیک گندم، نمونه‌های مرکب خاک (عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری) از کرت‌های با سابقه ۱، ۳ و ۵ دفعه کوددهی برداشت شد. نمونه‌های خاک به آزمایشگاه انتقال و بعد از هوا خشک شدن نمونه‌ها به طور جداگانه کوبیده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند.

اندازه‌گیری هدایت الکتریکی نمونه‌های خاک توسط دستگاه هدایت سنج متراهم در عصاره اشباع و pH توسط دستگاه pH متر در گل اشباع صورت گرفت (۱۸). درصد کربن آلی خاک به روش اکسیداسیون تر تعیین شد(۲۸). برای جداسازی و تعیین شکل‌های مختلف فسفر از روش جیانگ و گو (۱۶) استفاده شد. در این روش شکل‌های مختلف فسفر شامل دی‌کلسیم فسفات، اکتا کلسیم فسفات، فسفات‌های آهن و آلومینیوم، فسفر محبوس شده و آپاتایت براساس حلالیتشان در محلول‌های مختلف تعیین شدند. برای اندازه‌گیری فسفر قابل جذب از روش اولسن میزان فسفر خاک به روش مورفی و رایلی (۱۹) و فسفر کاه و دانه گندم به روش رنگ سنجی (رنگ زرد وانادات مولیبدات) و با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر اندازه‌گیری شد.

تحلیل‌های آماری

آنالیزهای آماری برای مقایسه اثر تیمارهای کودی مورد استفاده بر شکل‌های مختلف فسفر و غلظت فسفر کاه و دانه گندم توسط نرم افزار آماریSAS انجام پذیرفت. مقایسه میانگین‌ها به کمک آزمونLSD در سطح پنج درصد انجام پذیرفت و ارتباط بین شکل‌های فسفر با برخی از خصوصیات شیمیایی خاک‌ها در سطح ۱ درصد با استفاده از نرم‌افزار SPSS بررسی شد. برای رسم نمودارها نیز نرم افزار اکسل استفاده شد.

نتایج و بحث

در این بخش آثار تجمعی و باقی‌مانده لجن فاضلاب بر خصوصیات اندازه‌گیری شده مورد بررسی قرار می‌گیرد.

خصوصیات شیمیایی خاک

به دلیل ظرفیت بالای بافری خاک آهکی مورد مطالعه(۳)، کاربرد تأثیری بر pH خاک نداشت ولی هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک افزایش یافت به طوری‌که کاربرد ۵ سال متوالی لجن در سطح ۱۰۰ مگاگرم بر هکتار سبب افزایش ۲ برابری هدایت الکتریکی در مقایسه با تیمار شاهد شد (جدول ۱). دلیل این افزایش را می‌توان ناشی از املاح فراوان موجود در لجن فاضلاب دانست ($EC=9.4\ dS\ m^{-1}$). تنها اثرات باقی‌مانده لجن در سطح ۱۰۰ مگاگرم بر هکتار سبب معنی‌دار شدن اختلاف بین تیمار ۱ سال کوددهی و شاهد از لحاظ قابلیت هدایت الکتریکی شد. افزایش شوری خاک در اثر کاربرد کود آلی توسط سایر محققین نیز گزارش شده است (۲ و ۷).

کمترین مقدار ماده آلی در تیمار شاهد اندازه‌گیری شد. در کلیه تیمارهای دریافت کننده کود، مستقل از سطح و دفعات کوددهی، مقدار ماده آلی نسبت به تیمار شاهد افزایش معنی‌داری نشان داد (جدول ۱). در تیمارهایی که ۵ بار متوالی ۵۰ و ۱۰۰ مگاگرم بر هکتار لجن دریافت کرده بودند مقدار ماده آلی به ترتیب به ۵۱/۵ و ۴۰/۵ گرم بر کیلوگرم افزایش یافت که تقریباً ۷ برابر تیمار شاهد بود. مگویر و همکاران (۱۷) نیز نشان دادند که کاربرد لجن فاضلاب سبب افزایش معنی‌دار ماده آلی خاک شده است.

جدول ۱. تأثیر تیمارهای مختلف لجن فاضلاب بر خصوصیات شیمیایی خاک

تیمار	pH	EC_e ($dS\ m^{-1}$)	OM ($g\ kg^{-1}$)
۵۰	۸/۰^{a}	۲/۹^{c}	۱۷/۲^{e}
۵۰+۵۰+۵۰	۷/۳^{a}	۳/۵^{b}	۲۲/۹^{d}
۵۰+۵۰+۵۰+۵۰+۵۰	۷/۰^{a}	۴/۱^{a}	۴۰/۵^{b}
۱۰۰	۷/۹^{a}	۳/۳^{b}	۱۱/۲^{f}
۱۰۰+۱۰۰+۱۰۰	۷/۶^{a}	۳/۸^{b}	۲۹/۳^{c}
۱۰۰+۱۰۰+۱۰۰+۱۰۰+۱۰۰	۷/۲^{a}	۴/۷^{a}	۵۱/۵^{a}
شاهد	۸/۱^{a}	۲/۱^{c}	۷/۱^{g}

در هر ستون، اختلاف میانگین‌های دارای حروف متفاوت در سطح ۵ درصد آزمون دانکن معنی‌دار می‌باشد.

دی کلسیم فسفات (Ca_2-P)

بررسی آثار تجمعی نشان داد که با افزایش سطح لجن و دفعات کوددهی مقدار Ca_2-P به طور معنی‌داری افزایش یافت به‌طوری‌که بیشترین مقادیر در تیمارهای ۱۰۰ مگاگرم بر هکتار اندازه‌گیری شد. اختلاف معنی‌دار از لحاظ مقدارCa_2-P بین دفعات کاربرد لجن با سطح ۱۰۰ مگاگرم بر هکتار مشاهد نشد (جدول ۲). فسفر محلولی که از طریق کود آلی به خاک اضافه می‌شود در ابتدا به دی کلسیم فسفات و با گذشت زمان به سایر شکل‌های پایدارتر فسفر تبدیل می‌شود (۲۹و۳۰). به همین دلیل با افزایش سطح و دفعات کوددهی مقدار Ca_2-P به طور خطی افزایش یافته است. بررسی آثار باقی‌مانده نشان داد که در خاک‌هایی که تنها برای یک بار به میزان ۵۰ و ۱۰۰ مگاگرم بر هکتار لجن دریافت کرده بودند مقدار Ca_2-P بیشتری از تیمار شاهد داشتند. با توجه به حلالیت نسبتاً بالای Ca_2-P نتایج حکایت از توانایی لجن در تأمین نیاز فسفر گیاه در طول چهار سال عدم استفاده از لجن دارد.

کتا کلسیم فسفات (Ca_8-P)

کاربرد لجن فاضلاب سبب افزایش معنی‌دار Ca_8-P در مقایسه با تیمار شاهد شد (جدول۲). بررسی آثار تجمعی لجن فاضلاب نشان داد که افزایش سطح و دفعات کوددهی سبب افزایش اکتاکلسیم فسفات خاک در مقایسه با تیمار شاهد شد. بیشترین مقدارCa_8-P در تیماری که ۵ سال پیاپی به میزان ۱۰۰ مگاگرم بر هکتار لجن دریافت کرده بود، مشاهده گردید. این افزایش می‌تواند ناشی از ماهیت آهکی خاک مورد مطالعه و بالا بودن مقدار کلسیم و فسفر موجود در لجن فاضلاب باشد. صدیق و رابینسون (۲۴) نیز افزایش اکتاکلسیم فسفات را در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب ذکر کرده‌اند. اثرات باقی‌مانده لجن در دو سطح ۵۰ و ۱۰۰ مگاگرم بر هکتار سبب افزایش معنی‌دار Ca_8-P در مقایسه با تیمار شاهد شد.

آپاتایت (Ca_{10}-P)

در بین فسفات‌های کلسیم، Ca_{10}-P بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده است (جدول ۲). این امر ناشی از تبدیل Ca_2-P و Ca_8-P به شکل پایدارتر (Ca_{10}-P) با گذشت زمان می‌باشد (۴). تنها کاربرد ۵ سال متوالی لجن در دو سطح ۵۰ و ۱۰۰ مگاگرم بر هکتار سبب افزایش معنی‌دار Ca_{10}-P در مقایسه با تیمار شاهد شد. شوارتز و دائو (۲۲) پیشنهاد کردند که کلسیم موجود در کودهای آلی سبب کاهش حلالیت فسفر گردیده و سبب می‌شود که فسفات‌های کلسیم در خاک تجمع یابند. در سایر تیمارها احتمالاً با گذشت زمان و کاهش مقدار فسفر قابل جذب خاک، بخشی از آپاتایت برای حفظ تعادل شیمیایی فسفر به سایر ترکیبات محلول‌تر تبدیل شده است (۲۶) و این امر

جدول ۲. تأثیر تیمارهای مختلف لجن فاضلاب بر شکل‌های مختلف فسفات کلسیم (میلی‌گرم در کیلوگرم)

تیمار	Ca_2-P	Ca_8-P	Ca_{10}-P
۵۰	۷۷/۰^{d}	۷۱/۵^{f}	۱۹۴/۳^{bc}
۵۰+۵۰+۵۰	۱۴۲/۸^{c}	۱۲۲/۷^{d}	۱۸۰/۶^{c}
۵۰+۵۰+۵۰+۵۰+۵۰	۱۶۴/۷^{b}	۱۴۱/۷^{c}	۲۲۳/۷^{a}
۱۰۰	۱۷۷/۰^{a}	۹۰/۸^{e}	۱۸۲/۶^{bc}
۱۰۰+۱۰۰+۱۰۰	۱۸۲/۵^{a}	۱۶۱/۰^{b}	۱۹۹/۴^{b}
۱۰۰+۱۰۰+۱۰۰+۱۰۰+۱۰۰	۱۹۱/۳^{a}	۱۹۱/۸^{a}	۲۳۱/۶^{a}
شاهد	۵۱/۳^{e}	۶۵/۷^{f}	۱۸۷/۲^{bc}

در هر ستون، اختلاف میانگین‌های دارای حروف متفاوت در سطح ۵ درصد آزمون دانکن معنی‌دار می‌باشد.

سبب شده که اختلاف معنی‌داری بین این تیمارها و شاهد ایجاد نشود.

فسفر محبوس شده (OC-P)

این بخش از فسفر که در ساختار اکسیدهای آهن وجود دارد (۴) کمترین مقدار (۴ تا ۶ درصد کل فسفر معدنی خاک) را در بین سایر شکل‌های فسفر به خود اختصاص داد (جدول ۳). از آنجا که خاک مورد مطالعه در مراحل اولیه تکامل می‌باشد هنوز فسفر زیادی در ساختار اکسیدهای آهن محبوس نشده است. با افزایش سطح و دفعات کوددهی مقدار OC-P کاهش یافت به گونه‌ای که کمترین مقدار در تیماری که ۵ سال پیاپی به میزان ۱۰۰ مگاگرم بر هکتار لجن دریافت کرده بود، اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که در سطح ۵۰ مگاگرم بر هکتار تنها کاربرد ۵ ساله لجن توانست مقدار OC-P را کاهش دهد در حالی‌که در سطح ۱۰۰ مگاگرم بر هکتار، کاربرد ۳ و ۵ سال لجن سبب کاهش مقدار OC-P گردید. حجتی و همکاران (۳) نشان دادند در تیمارهایی که دفعات بیشتری لجن دریافت و زمان کمتری از آخرین کوددهی گذشته بود جمعیت میکروبی افزایش شدیدی داشته است. این افزایش شدید فعالیت میکروبی می‌تواند سبب ایجاد شرایط غیرهوازی موقت در خاک و افزایش حلالیت اکسیدهای آهن و در نهایت خروج فسفر از ساختار این کانی‌ها گردد (۱۱). آثار باقی‌مانده دو سطح ۵۰ و ۱۰۰ مگاگرم بر هکتار لجن در تیمار یک سال کوددهی تأثیری بر مقدار OC-P در مقایسه با تیمار شاهد نداشت.

فسفات آلومینیوم (Al-P)

کمترین مقدار فسفات آلومینیوم در تیمار شاهد اندازه‌گیری شد (جدول ۳). با افزایش سطح و دفعات کوددهی مقدار Al-P به‌طور معنی‌داری در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافت. نتایج سالک و همکاران (۲۰) نیز نشان داد که استفاده از کودهای آلی در مزارع برنج سبب افزایش فسفات آلومینیوم خاک شده است. مگوییر و همکاران (۱۷) دلیل افزایش Al-P در خاک در اثر استفاده از لجن را ناشی از به کارگیری آلومینیوم در مراحل تولید لجن و بالطبع افزایش Al-P در این کود می‌دانند. اختر و همکاران (۱۱) ایجاد شرایط بی‌هوازی موقت در اثر استفاده از لجن فاضلاب و تشکیلاکسی هیدروکسی‌های آمورف آلومینیوم در خاک را عامل افزایش Al-P در خاک ذکر کردند. شکل‌های آمورف آلومینیوم در مقایسه با شکل‌های بلوری قادر به تثبیت فسفر بیشتری می‌باشند. اثر باقی‌مانده لجن فاضلاب در تیمار یک سال کوددهی سبب معنی‌دار شدن اختلاف با تیمار شاهد از لحاظ Al-P شد.

جدول ۳. تأثیر تیمارهای مختلف لجن فاضلاب بر شکل‌های مختلف فسفات آهن و آلومینیوم (میلی‌گرم در کیلوگرم)

تیمار	OC-P	Al-P	Fe-P
۵۰	۴۷/۹ [a]	۵۲/۷ [f]	۹۱/۳ [e]
۵۰+۵۰+۵۰	۴۳/۲ [bc]	۷۱/۵ [d]	۱۲۸/۸ [d]
۵۰+۵۰+۵۰+۵۰+۵۰	۴۱/۴ [cd]	۱۲۵/۳ [c]	۱۶۲/۲ [c]
۱۰۰	۴۷/۳ [a]	۶۷/۲ [e]	۱۶۴/۸ [c]
۱۰۰+۱۰۰+۱۰۰	۳۹/۰ [de]	۱۵۹/۵ [b]	۲۰۲/۳ [b]
۱۰۰+۱۰۰+۱۰۰+۱۰۰+۱۰۰	۳۶/۳ [e]	۱۹۰/۸ [a]	۳۲۷/۸ [a]
شاهد	۴۶/۱ [ab]	۱۹/۰ [g]	۳۳/۳ [f]

در هر ستون،اختلاف میانگین‌های دارای حروف متفاوت در سطح ۵ درصد آزمون دانکن معنی‌دار می‌باشد.

فسفات آهن (Fe-P)

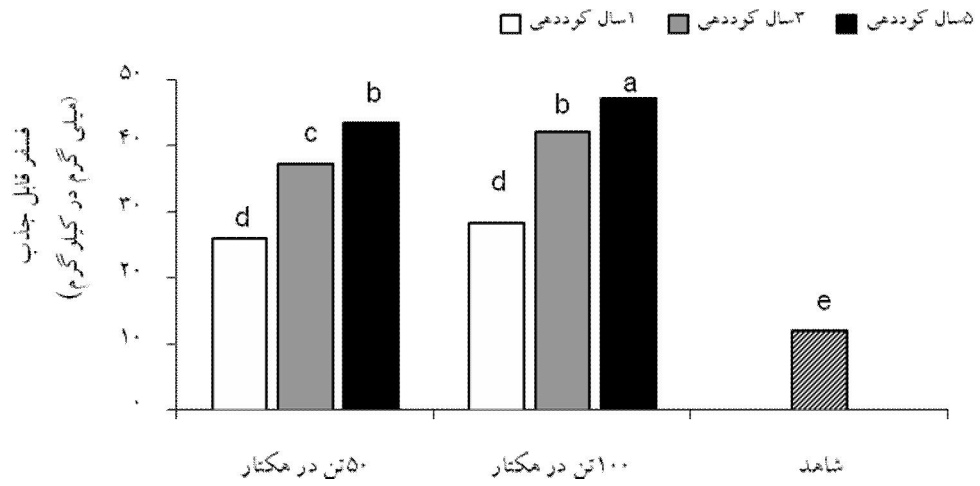
بررسی آثار تجمعی نشان داد که با افزایش سطح و دفعات کوددهی مقدار Fe-P نسبت به تیمار شاهد افزایش معنی‌دار یافت (جدول ۳). این افزایش Fe-P را می‌توان ناشی از استفاده از آهن جهت رسوب ذرات در مراحل تصفیه فاضلاب بالا و افزایش مقدار Fe-P در این کود دانست (۱۷). هم‌چنین تشکیل اکسی هیدروکسی‌های آمورف آهن و تثبیت بیشتر فسفر توسط این کانی‌ها در مقایسه با کانی‌های بلوری‌شان می‌تواند یکی دیگر از دلایل افزایش Fe-P در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب باشد (۱۱). بررسی آثار باقی‌مانده لجن نشان داد که در تیمارهای ۱ سال کوددهی شده با دو سطح ۵۰ و ۱۰۰ مگاگرم بر هکتار با گذشت چهار سال مقدار Fe-P به ترتیب ۳ و ۵ برابر بیشتر از تیمار شاهد است.

فسفر قابل جذب خاک

فسفر قابل جذب خاک تحت تأثیر سطح و دفعات کوددهی به طور معنی‌داری افزایش یافت(شکل ۱). کمترین مقدار فسفر قابل جذب خاک در تیمار شاهد (۱۱/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم) و بیشترین مقدار (۴۷/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم) در تیمار ۱۰۰ مگاگرم بر هکتار لجن با سابقه ۵ سال کوددهی اندازه‌گیری شد. دلیل این افزایش را می‌توان به بالا بودن مقدار فسفر در لجن و کاهش ابقای فسفر توسط خاک در اثر استفاده از لجن نسبت داد (۲۷). شرودر و همکاران (۲۳) نیز نشان دادند که کابرد سالیانه لجن فاضلاب سبب افزایش فسفر قابل جذب خاک در مزارع گندم شده است. آثار باقی‌مانده لجن در سطوح ۵۰ و ۱۰۰ مگاگرم بر هکتار نشان داد که بعد از گذشت چهار سال از کاربرد لجن، فسفر قابل جذب خاک ۲ برابر بیشتر از تیمار شاهد است. این نتایج نشان می‌دهد که کاربرد لجن به مدت ۱ سال نیز قادر به تأمین فسفر مورد نیاز گیاه در طول دوره رشد بوده است. نتایج رسولی و مفتون (۵) نیز نشان داد که آثار باقی‌مانده کود دامی و کمپوست سبب افزایش فسفر قابل جذب خاک تحت کشت گندم شده است.

ارتباط شکل‌های فسفر با فسفر قابل جذب و شاخص‌های گیاهی

به غیر از فسفر محبوس شده، سایر شکل‌های معدنی فسفر هم‌بستگی مثبت و معنی‌داری را با فسفر قابل جذب خاک نشان دادند (جدول ۴). این نتایج حکایت از آن داد که به احتمال خیلی زیاد فسفر قابل جذب خاک از تمامی این اجزاء آزاد و در اختیار گیاه قرار می‌گیرد، هر چند سرعت آزاد شدن فسفر از این بخش‌ها یکسان نیست. نتایج سمواتی و حسین‌پور (۶) در تعدادی از خاک‌های استان همدان نیز نشان داد که فسفر عصاره‌گیری شده به روش اولسن هم‌بستگی مثبت و معنی‌دار با فسفات‌های کلسیم و فسفات آلومینیوم دارد. صمدی (۲۱) نیز



شکل۱. مقایسه میانگین فسفر قابل جذب خاک در تیمارهای مختلف لجن فاضلاب (میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند)

جدول۴. ضرایب هم‌بستگی بین شکل‌های فسفر با فسفر قابل جذب خاک و شاخص‌های گیاه گندم

شکل فسفر	فسفرقابل جذب	محصول دانه	محصول کاه	جذب فسفردر دانه	جذب فسفر درکاه
Ca_2-P	۰/۸۲**	۰/۸۰**	۰/۷۲**	۰/۷۵**	۰/۷۰**
Ca_8-P	۰/۸۷**	۰/۹۲**	۰/۹۳**	۰/۸۹**	۰/۸۸**
Ca_{10}-P	۰/۶۳**	۰/۶۰**	۰/۷۷**	۰/۶۰**	۰/۸۳**
Al-P	۰/۸۴**	۰/۸۶**	۰/۹۵**	۰/۸۱**	۰/۸۹**
Fe-P	۰/۸۲**	۰/۸۵**	۰/۸۷**	۰/۸۲**	۰/۸۲**
OC-P	−۰/۷۱**	−۰/۸۲**	−۰/۸۶**	−۰/۷۹**	−۰/۸۰**
فسفر قابل جذب	-	۰/۸۹**	۰/۸۲**	۰/۹۰**	۰/۸۳**

**: معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد

هم‌بستگی معنی‌داری بین فسفر اولسن و شکل‌های Ca_2-P، Al-P، Fe-P و Ca_{10}-P را در خاک‌های غرب استرالیا گزارش کرد. کمترین ضریب هم‌بستگی بینCa_{10}-P و فسفر قابل جذب خاک دیده شد. این امر می‌تواند ناشی از پایداری بالای Ca_{10}-P در مقایسه با سایر شکل‌ها و بالا بودن مقدار فسفر قابل جذب در تیمارها باشد (۲۶) که سبب کاهش آزاد شدن فسفر از این کانی شده است. فسفر محبوس شده هم‌بستگی منفی با فسفر قابل جذب خاک نشان داد. از آنجا که این بخش از فسفر در ساختار اکسیدهای آهن محبوس شده است به راحتی در خاک به صورت فسفر قابل جذب در نمی‌آید(۴).

کلیه شکل‌های فسفر به جز فسفر محبوس شده ارتباط مثبت و معنی‌داری با شاخص‌های گیاه گندم داشتند (جدول ۴). هم‌بستگی منفی بین OC-P و شاخص‌های گیاهی نشان می‌دهد که افزایش مقدار OC-P سبب کاهش رشد گندم شده است. این بخش از فسفر به دلیل قرارگیری در ساختار اکسیدهای آهن به راحتی در اختیار گیاه قرار نمی‌گیرد. پایین‌تر بودن ضرایب

هم‌بستگی Ca_{10}-P با شاخص‌های گیاهی در مقایسه با سایر شکل‌های فسفر را می‌توان به پایداری بالای این کانی در خاک نسبت داد. نتایج تحقیق حاضر با نتایج ورما و همکاران (۲۵) که به ارتباط معنی‌دار فسفات‌های کلسیم، فسفات آهن و فسفات آلومینیوم با شاخص‌های گیاه ذرت اشاره کرده‌اند، همخوانی دارد. اما نتایج سمواتی و حسین‌پور (۶) نشان داد که تنها Ca_2-P و Ca_8-P با عملکرد نسبی سیر در خاک‌های آهکی همدان هم‌بستگی معنی‌داری داشتند.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که مجموع فسفات‌های کلسیم (Ca_2-P+Ca_8-P+Ca_{10}-P) بیش از ۵۰ درصد از کل فسفر معدنی خاک را تشکیل می‌دهد که ناشی از ماهیت آهکی خاک مورد مطالعه می‌باشد. به استثنای فسفر محبوس شده، با افزایش سطح و دفعات کوددهی کلیه شکل‌های معدنی افزایش معنی‌داری را نشان دادند. این افزایش به حدی بود که با گذشت چهار سال از مصرف لجن هنوز شکل‌های فسفر از تیمار شاهد بیشتر است. نتایج این تحقیق نشان داد که بعد از گذشت چهار سال از کاربرد لجن مقدار فسفر قابل جذب خاک تا حدی است که قادر به تأمین نیاز گندم می‌باشد. نتایج آزمون هم‌بستگی نشان داد که تقریباً تمام شکل‌های فسفر به استثنای OC-P در تأمین فسفر قابل جذب خاک دخیل هستند. نتایج این تحقیق نشان داد که لجن فاضلاب دارای پتانسیل کودی مناسبی جهت تأمین فسفر مورد نیاز گیاه را دارد. لجن فاضلاب با توجه به مراحل تولید ممکن است دارای خطرات آلودگی‌های بیولوژیک و فلزات سنگین و عناصر سمی باشد، بنابراین استفاده از این کود در مقادیر بالا بایستی که با احتیاط کامل و به صورت آگاهانه صورت پذیرد.

منابع مورد استفاده

۱. بهره‌مند، م.ر.، م. افیونی، م.ع. حاج عباسی و ی. رضایی نژاد. ۱۳۸۱. اثر لجن فاضلاب بر ویژگی‌های فیزیکی خاک. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۶: ۸-۱.

۲. خدیوی، ا.، ف. نوربخش، م. افیونی و ح. شریعتمداری.۱۳۸۶. شکل‌های مختلف سرب، نیکل و کادمیوم در یک خاک آهکی تیمار شده با لجن فاضلاب. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۱: ۵۳-۴۱.

۳. حجتی، س.، ف. نوربخش و ک. خاوازی. ۱۳۸۵. تأثیر لجن فاضلاب بر شاخص بیومس میکروبی خاک، فعالیت آنزیمی و عملکرد گیاه ذرت. مجله علوم خاک و آب ۲۰: ۹۳-۸۴.

۴. دهقان، ر.، ح. شریعتمداری و ح. خادمی. ۱۳۸۶. شکل‌های فسفر در چهار ردیف ارضی از مناطق اصفهان و شهرکرد. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۴۲: ۴۷۲-۴۶۳.

۵. رسولی، ف. و م. مفتون. ۱۳۸۹. اثر باقی‌مانده دو ماده آلی با و یا بدون نیتروژن بر رشد و ترکیب شیمیایی گندم و برخی خصوصیات شیمیایی خاک. نشریه خاک و آب ۲۴: ۲۷۳-۲۶۲.

۶. سمواتی، م. و ع. حسین‌پور. ۱۳۹۰. اجزای مختلف فسفر معدنی و قابلیت فراهمی آن در تعدادی از خاک‌های استان همدان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۵۵: ۱۳۷-۱۲۷.

۷. فلاح، س.ا.، ا. قلاوند، د. قنبریان و ع. یدوی. ۱۳۸۸. اثر مقدار و نحوه اختلاط کود مرغی با خاک بر برخی خصوصیات خاک و عملکرد گیاه ذرت. نشریه خاک و آب ۲۳: ۸۷-۷۸.

۸. مستشاری، م.، م. معز اردلان، ن. کریمیان، ح. رضایی و ح. میرحسینی. ۱۳۸۸. توزیع شکل‌های معدنی فسفر و ارتباط آن با ویژگی‌های خاک در برخی از خاک‌های آهکی استان قزوین. مجله علوم خاک و آب ۲۳:۲۲-۱۱.

۹. موسوی شلمانی، م.ا.، ن. ثاقب و ع. خراسانی. ۱۳۸۲. استفاده از رادیوایزوتوپ فسفر-۳۲ در بررسی توزیع کود فسفری در خاک و اندام‌های مختلف گوجه فرنگی تحت سیستم کود آبیاری قطره‌ای. مجله علوم کشاورزی ایران ۳۴:۹۴۷-۹۳۵.

۱۰.واثقی، س.، م. افیونی، ح. شریعتمداری و م. مبلی. ۱۳۸۴. اثر لجن فاضلاب بر غلظت تعدادی از عناصر غذایی و ویژگی‌های شیمیایی خاک . مجله آب و فاضلاب ۱۶: ۲۲-۱۵.

11. Akhtar, M., D. L. Mccallister and K. M. Eskridge. 2002. Availability and fractionation of phosphorus in sewage sludge amended soils. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 33: 2057-2068.
12. Chang, S. C. and M. L. Jackson. 1957. Fractionation of soil phosphorus. Soil Sci. 84: 133-144.
13. Dail, H. W., Z. He, S. M. Erich and W. C. Honeycutt. 2009. Soil phosphorus dynamic in response to poultry manure amendment. Soil Sci. 174: 195-201.
14. Griffin, T. S., C. W. Honeycutt and Z. He. 2003. Changes in soil phosphorus from manure application. Soil Sci. Soc. Am. J. 67: 645-653.
15. Hedley, M. J., J. W. B. Stewart and B. S. Chauhan. 1982. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. Soil Sci. Soc. Am. J. 46: 970-976.
16. Jiang, B. and Y. Gu. 1989. A suggested fractionation scheme for inorganic phosphorus in calcareous soil. Fertil. Res. 20: 150-165.
17. Maguire, R. O., J. T. Sims and F. J. Coale. 2000. Phosphorus solubility in biosolid amended farm soils in the Mid-Atlantic region of the USA. J. Environ. Qual. 29: 1225-1233.
18. Mclean, E.O. 1982. Soil pH and lime requirement. PP.192-224. *In*:A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part 2, Chemical and Biological properties. 2nd ed., Soil Sci. Soc. Am. Inc. Pub., USA.
19. Murphy, J. and J. P. Riley. 1952. A modified single solution method for determination of phosphate uptake by rye grass. Soil Sci. Soc. Am. J. 48: 31-36
20. Saleque, M. A., U. A. Naher, A. Islam, A. M. B. U. Pathan, A. T. M. S. Hossain and C. A. Meisner. 2004. Inorganic and organic phosphorus fertilizer effects on the phosphorus fractionation in wetland rice soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 68:1635-1644.
21. Samadi, A. 2003. A study on distribution of forms of phosphorus in calcareous soil of Western Australia. J. Agric. Sci. Technol. 5: 39-49.
22. Schwartz, R. C. and T. H. Dao. 2005. Phosphorus extractability of soils amended with stockpiled and composted cattle manure. J. Environ. Qual. 34: 970-978.
23. Schroder, J. L., H. Zhang, D. Zhou, N. Basta, W. R. Raun, M. E. Payton and A. Zazulak. 2008. The effect of long-term annual application of biosolids on soil properties, phosphorus and metals. Soil Sci. Soc. Am. J. 72:73-82.
24. Siddque, M. T. and J. S. Robinson. 2004. Differences in phosphorus retention and release in soils amended with animal manure and sewage sludge. Soil Sci. Soc. Am. J. 68: 1421-1428.
25. Verma, S., S. K. Subehia and S. P. Sharma. 2005. Phosphorus fractions in an acid soil continuously fertilized with mineral and organinc fertilizers. Biol. and Fertil. Soils 41: 295-300.
26. Vu, D. T., C. Tang, C and R. D. Armstrong. 2008. Changes and availability of P fractions following 65 years of P application to a calcareous soil in Mediterranean climate. Plant and Soil 304: 21-33.
27. Whalen, J. and C. Chang. 2002. Phosphorus sorption capacities of calcareous soils receiving cattle manure applications for 25 years. Commun. Soil Sci. Plant 33: 1011-1026.
28. Walkley, A. and C.A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff-method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37: 29-38.
29. Yaobing, S. M., L. Thampson and C. Shang. 1999. Fractionation of phosphorus in a mollisol amended with biosolids. Soil Sci. Soc. Am. J. 63: 1174-1180.
30. Zhang, F., S. Kang, J. Zhang, R. Zhang and F. Li. 2004. Nitrogen fertilization on uptake of soil inorganic phosphorus fractions in the wheat root zone. Soil Sci. Soc. Am. J. 68: 1890-1895.

Cumulative and Residual Effect of Sewage Sludge on Inorganic P Fractions and P Availability in a Calcareous Soil

M. Hejazi Mehrizi[1]*, H. Shariatmadari[2] and M. Afyuni[2]

(Received : Sep. 11-2011 ; Accepted : May 13-2012)

Abstract

Application of sewage sludge has been considered as an organic fertilizer in arid and semi-arid regions of Iran. This study was conducted to investigate cumulative and residual effects of sewage sludge on soil inorganic fractions and their relation to phosphorus (P) availability. Two levels of application (50 and 100 Mg ha^{-1}) and three consecutive times of sewage sludge application (1, 3 and 5 years) with a control treatment were studied in a randomized complete block split plot design with three replications. Composite soil samples were collected from 0-30 depth at the end of 5^{th} year of application. Increasing the rate and application year of sewage sludge enhanced dicalcium phosphate (Ca_2-P), octacalcium phosphate (Ca_8-P), apatite (Ca_{10}-P), aluminum phosphate (Al-P), iron phosphate (Fe-P) and available P but decreased occluded P (OC-P). Residual effect of sewage sludge application resulted in increased inorganic fractions in blocks treated for 1 year compared to control. Positive correlations were observed between inorganic P fractions and Olsen P, wheat yield and P uptake (except OC-P). We concluded that inorganic P fractions and P availability increased in sewage sludge amended soil.

Keywords: Arid and semi-arid regions, Sewage sludge, Phosphorus fractionation, Wheat.

1. Dept. of Soil Sci., College of Agric., Shahid Bahonar Univ. of Kerman, Kerman, Iran.
2. Dept. of Soil Sci., College of Agric., Isf. Univ. Technol., Isfahan, Iran.
*: Corresponding Author, Email: mhejazi@uk.ac.ir