

تعیین شکل‌های فسفر آلی در یک خاک آهکی متأثر از کشت گندم و کاربرد کودهای آلی

مریم معینی^۱، * مجید حجازی‌مهریزی^۲ و اعظم جعفری^۲

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه شهید باهنر کرمان،

^۲ استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه شهید باهنر کرمان

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۱/۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۳/۲۵

چکیده

سابقه و هدف: کمبود فسفر به‌طور گسترده در بسیاری از مناطق دنیا به‌ویژه اراضی خشک و نیمه‌خشک به‌دلیل مقادیر بالای کربنات کلسیم گزارش شده است. در خاک‌های آهکی به‌دلیل تبدیل سریع فسفر محلول به شکل فسفات‌های کلسیم نامحلول از قابلیت جذب فسفر کاسته می‌شود. فسفر آلی، که می‌تواند تا ۸۰ درصد از کل فسفر خاک را شامل شود، نقش مهمی در تغذیه گیاهان به‌ویژه در خاک‌های آهکی با توان تثبیت بالای فسفر ایفا می‌کند. فسفر آلی خاک از مواد آلی نامتجانسی تشکیل شده و شکل‌های مختلف فسفر آلی تأثیرات متفاوتی بر حاصل‌خیزی و کیفیت خاک دارند. کودهای آلی نظیر لجن فاضلاب و کودهای حیوانی به‌عنوان منبع غنی از مواد آلی و فسفر به خاک بازگردانده می‌شوند که این امر می‌تواند سبب تغییر پویایی فسفر در خاک شود. بنابراین، این مطالعه با هدف بررسی تأثیرات کوتاه‌مدت برخی از کودهای آلی بر شکل‌های فسفر آلی و قابلیت جذب آن توسط گندم در یک خاک آهکی انجام شد.

مواد و روش‌ها: یک نمونه خاک آهکی از استان کرمان در تابستان ۱۳۹۲ جمع‌آوری و پس از خشک شدن در هوا، کوبیده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. نمونه خاک به گلدان‌های حاوی دو سطح ۲ و ۴ درصد از لجن فاضلاب، کود گاوی و کود مرغی به همراه تیمار شاهد (بدون مصرف کود آلی) در ۴ تکرار افزوده شد. تعداد ۴ بذر گندم در هر یک از گلدان‌ها کاشت و به‌مدت ۱۰۰ روز در گلخانه با شرایط کنترل شده نگه‌داری شدند. در زمان برداشت وزن خشک شاخسار و غلظت فسفر شاخسار اندازه‌گیری شد. همچنین شکل‌های مختلف فسفر آلی خاک شامل فسفر آلی لبایل، نسبتاً لبایل، نسبتاً غیرلبایل و غیرلبایل اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: کاربرد کودهای آلی در خاک سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک شاخسار و غلظت فسفر شاخسار شد. بیش‌ترین وزن خشک شاخسار و غلظت فسفر شاخسار در خاک تیمار شده با سطح ۴ درصد لجن فاضلاب اندازه‌گیری شد. کودهای آلی به‌طور معنی‌داری سبب افزایش تمامی شکل‌های فسفر آلی در مقایسه با تیمار شاهد شدند. کودهای آلی بیش‌ترین تأثیر را بر فسفر آلی نسبتاً لبایل و کم‌ترین تأثیر را بر فسفر آلی لبایل نشان دادند. صرف‌نظر از سطوح کاربردی، روند تأثیر کودهای آلی بر تمامی شکل‌های فسفر آلی به صورت لجن فاضلاب < کود گاوی < کود مرغی بود. همبستگی معنی‌داری بین فسفر آلی لبایل با فسفر قابل‌جذب خاک ($r=0.92^{**}$) و فسفر

* مسئول مکاتبه: mhejazi@uk.ac.ir

جذب شده توسط گندم ($r=0.92^{**}$) مشاهده شد. همچنین وزن خشک شاخسار با فسفر آلی نسبتاً لبایل همبستگی بالایی ($r=0.96^{**}$) را نشان داد. این نتایج نشان می‌دهد که فسفر آلی لبایل و نسبتاً لبایل نقش مؤثرتری در افزایش فسفر قابل جذب گیاه در مقایسه با سایر شکل‌های فسفر آلی دارند.

نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش نشان داد که کودهای آلی قابلیت جذب فسفر توسط گندم و رشد آن را از طریق افزایش شکل‌های مختلف فسفر آلی به‌ویژه فسفر آلی لبایل و نسبتاً لبایل افزایش داده است.

واژه‌های کلیدی: عصاره‌گیری متوالی، قابلیت دسترسی فسفر آلی، کشاورزی پایدار، کودهای آلی

مقدمه

فسفر به‌عنوان یکی از عناصر پرمصرف نقش مهمی در تولید محصول در خاک‌های آهکی مناطق خشک و نیمه‌خشک دارد (۱۱). غلظت فسفر در گیاه بین ۰/۱ تا ۰/۵ درصد متغیر بوده و وظایف مهمی نظیر ذخیره و انتقال انرژی، ساخت پروتئین، ساخت DNA و RNA را بر عهده دارد (۲۰). در خاک‌های آهکی قابلیت جذب فسفر به‌طور عمده توسط کربنات کلسیم، pH بالا و کمبود مواد آلی محدود می‌شود (۳۰). در این خاک‌ها، اگرچه استفاده از کودهای فسفوری در ظاهر سریع‌ترین و مطمئن‌ترین راه برای تأمین نیاز فسفر گیاه محسوب می‌شود، ولی با توجه به کارایی اندک، افزایش قیمت جهانی و وارداتی بودن بخش عمده کودهای شیمیایی و همچنین آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف این کودها (تجمع کادمیم در خاک)، استفاده از کودهای آلی نظیر کودهای دامی و لجن فاضلاب جهت تأمین فسفر مورد نیاز گیاه و افزایش ماده آلی خاک توصیه شده است (۸). رهاسازی فسفر از بقایای آلی، تبادل فسفر جذب شده با اسیدهای آلی آنیونی، کمپلکس شدن کلسیم و افزایش حلالیت فسفات‌های کلسیم، دینامیک فسفر در خاک‌های آهکی تیمار شده با کودهای آلی را تحت‌تأثیر قرار داده و از این طریق سبب افزایش قابلیت دسترسی فسفر در خاک می‌شوند (۱۳ و ۴۰). همچنین کودهای آلی با افزایش فعالیت زیستی در

خاک به چرخش بهتر مواد غذایی کمک می‌کند. تجزیه میکروبی مواد آلی در خاک تأثیر بسیار مهمی روی چرخه فسفر در خاک و توزیع شکل‌های مختلف آن دارد (۱۴).

فسفر آلی ۱۵ تا ۸۰ درصد از فسفر کل خاک را شامل می‌شود. استرها (اینوزیتول‌ها، فسفولیپیدها و اسیدهای نوکلئیک)، فیتات‌ها و بیومس میکروبی از مهم‌ترین شکل‌های شناخته شده فسفر آلی در خاک می‌باشد (۷ و ۳۵). فسفر آلی نقش مهمی در چرخه فسفر در خاک داشته و یک منبع بالقوه فسفر برای گیاهان به‌ویژه در خاک‌های آهکی با ظرفیت بالای تثبیت، به‌شمار می‌رود (۹ و ۳۸). بعد از افزودن کودهای آلی تازه به خاک، فسفر آلی به‌تدریج در اثر فعالیت میکروبی به شکل معدنی و قابل جذب برای گیاه در می‌آید (۱۴). اوپرسون و همکاران (۲۰۰۱) بیان کردند که میکروارگانیسم‌ها از طریق ترشح آنزیم فسفاتاز سبب معدنی شدن فسفر در خاک می‌شود (۲۵). کونته و همکاران (۲۰۰۲) گزارش کردند که میکروارگانیسم‌ها از طریق ایموبیلیزاسیون فسفر از تثبیت فسفر معدنی توسط اجزای معدنی خاک جلوگیری و از این طریق سبب افزایش قابلیت دسترسی فسفر در خاک می‌شود (۴).

تعیین شکل‌های فسفر آلی و کمی‌سازی سهم هر یک از این شکل‌ها در تغذیه فسفر گیاه می‌تواند به ارزیابی حاصلخیزی خاک و انتخاب مدیریت مناسب

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری و تعیین ویژگی‌های خاک و کودهای آلی مورد استفاده: برای انجام این مطالعه یک نمونه خاک آهکی با سطح پایین فسفر قابل جذب از مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان (طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۹ دقیقه و ۵۰ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۱۳ دقیقه و ۱۹ ثانیه شمالی) جمع‌آوری شد. برای تهیه نمونه مرکب، به‌طور تصادفی سه نقطه در مزرعه انتخاب و در هر نقطه ۵ نمونه از سطح خاک (۳۰-۰ سانتی‌متر) برداشت و به‌طور کامل با یکدیگر مخلوط شدند. نمونه خاک در معرض هوا، خشک و سپس از الک دو میلی‌متری عبور داده شد. تعیین pH و EC خاک در عصاره اشباع انجام شد. ماده آلی خاک به روش اکسایش تر (۴۲)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش استات سدیم - استات آمونیوم (۲۸)، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون برگشتی (۱) و فسفر قابل جذب خاک به روش اولسن تعیین شد (جدول ۱). کودهای آلی مورد استفاده در این پژوهش شامل لجن فاضلاب و کودهای گاوی و مرغی به‌ترتیب از تصفیه‌خانه فاضلاب شهر کرمان و یک مزرعه محلی جمع‌آوری شدند. قابلیت هدایت الکتریکی و pH لجن فاضلاب در عصاره ۱:۵ لجن فاضلاب و آب تعیین شد (جدول ۲). اندازه‌گیری ماده آلی لجن فاضلاب به روش اکسایش تر انجام شد (۴۲). به‌منظور تعیین غلظت کل عناصر فسفر، مس، روی و آهن از مخلوط اسید پرکلریک ۷۰ درصد و اسید نیتریک غلیظ به نسبت دو به یک استفاده شد (۵).

زرعی جهت افزایش قابلیت استفاده فسفر کمک کند. تاکنون روش‌های مختلفی برای جداسازی شکل‌های فسفر آلی و تعیین قابلیت دسترسی آن‌ها برای گیاه ارائه شده است (۳ و ۱۷). در این روش‌ها، شکل‌های مختلف فسفر آلی بر اساس تفاوت پایداری‌شان در اسید و باز به چهار شکل لبایل، نسبتاً لبایل، نسبتاً غیرلبایل (فسفر آلی موجود در اسید فولویک) و غیرلبایل (فسفر موجود در اسید هومیک) تقسیم‌بندی و تعیین می‌شوند. مطالعات کمی در ارتباط با تعیین شکل‌های فسفر آلی و کمی‌سازی آن‌ها در خاک‌های ایران انجام شده است. حیدری و همکاران (۲۰۱۳) شکل‌های فسفر آلی را در تعدادی از خاک‌های آذربایجان شرقی تعیین و نشان دادند که فسفر آلی غیرلبایل بیش‌ترین مقدار را در بین سایر شکل‌های فسفر آلی به خود اختصاص داده است (۱۶). شریعتمداری و همکاران (۲۰۰۷) با تفکیک شکل‌های فسفر آلی در تعدادی از خاک‌های اصفهان و شهرکرد نشان دادند که عملکرد ماده خشک گندم و جذب فسفر تحت‌تأثیر فسفر آلی لبایل و نسبتاً لبایل قرار می‌گیرد (۳۳).

تعیین شکل‌های فسفر آلی در خاک‌های آهکی و تأثیر کودهای آلی بر این شکل‌ها به فهم چرخه فسفر در اراضی کشاورزی کمک می‌کند. بنابراین مطالعه حاضر با هدف مقایسه و توزیع شکل‌های فسفر آلی در یک خاک آهکی متأثر از سطوح مختلف کودهای آلی و کشت گندم و کمی‌سازی سهم هر یک از این شکل‌ها در افزایش قابلیت جذب فسفر توسط گندم انجام شد.

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مورد مطالعه.

Table 1. Selected physicochemical properties of studied soil.

ظرفیت تبادل کاتیونی CEC (Cmolc Kg ⁻¹)	فسفر قابل جذب Available P (mg Kg ⁻¹)	ماده آلی OM(%)	کربنات کلسیم معادل CCE(%)	رس Clay(%)	شن Sand(%)	هدایت الکتریکی EC (ds m ⁻¹)	pH
12.4	8.2	0.44	34.3	13.1	58.3	1.4	7.6

جدول ۲- برخی از خصوصیات شیمیایی کودهای مورد استفاده.

Table 2. Selected chemical properties of organic amendments.

کود مرغی Poultry manure	لجن فاضلاب Sewage sludge	کود گاوی Cow manure	ویژگی‌ها properties
14.7	9.4	17.0	هدایت الکتریکی EC (dS m ⁻¹)
15.7	18.0	24.9	کربن آلی Organic C (%)
7.8	6.4	8.6	pH
1.3	1.9	1.2	نیترژن کل Total N (%)
0.31	0.73	0.30	پتاسیم Total K (%)
0.30	2.1	0.75	فسفر کل Total P (%)
1.62	1.42	0.78	آهن کل Total Fe (%)
130.0	195.5	39.5	مس کل Total Cu(mg kg ⁻¹)
710.0	217.0	82.5	روی کل Total Zn(mg kg ⁻¹)

کشت (PM) و کود گاوی (CM) با سه کیلوگرم خاک مخلوط و به گلدان‌های پلاستیکی انتقال یافت. یک تیمار به‌عنوان شاهد هیچ‌گونه کودی دریافت نکرد. در هر گلدان تعداد ۸ عدد بذر گندم رقم ماهوتی کشت و بعد از جوانه‌زنی به ۴ عدد در هر گلدان کاهش یافت. گلدان‌ها به روش وزنی در ۸۵ درصد ظرفیت مزرعه به‌مدت ۱۰۰ روز نگهداری شدند. در پایان دوره آزمایش شاخسار گندم از محل طوقه (نزدیک سطح

کشت گلخانه‌ای: به‌منظور تعیین شکل‌های فسفر آلی در خاک تیمار شده با کودهای آلی و ارتباط آن‌ها با جذب فسفر توسط گندم رقم ماهوتی^۱، مطالعه در گلخانه کنترل شده از لحاظ دمایی (میانگین درجه حرارت روز و شب به‌ترتیب ۲۵ و ۱۸ درجه سلسیوس) و با شرایط نور طبیعی انجام شد. دو سطح ۲ و ۴ درصد از لجن فاضلاب (SS)، کود مرغی

1- *Triticum aestivum* cv. Mahouti

فسفر آلی و معدنی محلول در عصاره (Pt) می‌باشد، اندازه‌گیری شد. هضم عصاره با پرسولفات پتاسیم سبب می‌شود تا تمام فسفر آلی محلول در عصاره به فسفر معدنی تبدیل شود. مقدار فسفر آلی محلول در هر عصاره از تفاضل Pt و Pi محاسبه گردید ($P_0 = P_t - P_i$).

طرح آماری: این مطالعه در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۷ تیمار و ۴ تکرار انجام شد. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS و مقایسه میانگین داده‌ها به کمک آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. آزمون همبستگی پیرسون برای بررسی ارتباط شکل‌های فسفر آلی با فسفر اولسن و پاسخ‌های گیاهی با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد.

نتایج و بحث

خصوصیات خاک: تأثیر تیمارهای کودی بر خصوصیات شیمیایی خاک در جدول ۳ نشان داده شده است. کاربرد کودهای آلی در خاک سبب افزایش معنی‌دار ($P < 0/05$) ماده آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک در مقایسه با تیمار شاهد شد. بیش‌ترین ظرفیت تبادل کاتیونی ($13/6$ سانتی‌مول بر کیلوگرم) در تیمار ۴ درصد لجن فاضلاب اندازه‌گیری شد. افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک در اثر کاربرد کودهای آلی را می‌توان به دی‌پروتونه شدن گروه‌های عامل کربوکسیل، فنول، کربونیل و آمین نسبت داد. بیش‌ترین ماده آلی ($1/05$ درصد) در تیمار ۴ درصد کود گاوی اندازه‌گیری شد. کود آلی حاوی مقادیر زیادی ماده آلی است که استفاده از آن در خاک سبب افزایش ماده آلی خاک می‌شود. بالاتر بودن مقدار ماده آلی در خاک‌های تیمار شده با کود گاوی ناشی از وجود ماده آلی بیش‌تر در این ترکیب در مقایسه با سایر کودهای مورد استفاده می‌باشد. نتایج نشان داد که pH خاک مورد مطالعه خشتی تا قلیایی بوده و

خاک) قطع و پس از شستشو با آب مقطر، جهت تعیین وزن خشک در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند. نمونه‌ها پس از پودر شدن توسط آسیاب با استفاده از کوره و اسید کلریدریک، هضم و غلظت فسفر موجود در عصاره به روش رنگ سنجی وانادات-مولیبدات (۲۱) تعیین شد. میزان جذب فسفر توسط شاخسار گندم از حاصل‌ضرب عملکرد در غلظت فسفر شاخسار محاسبه گردید.

تعیین شکل‌های فسفر آلی خاک: در پایان دوره آزمایش، نمونه خاک از گلدان خارج و پس از هوا خشک شدن، از الک دو میلی‌متری عبور داده شد. شکل‌های فسفر آلی در خاک طبق روش ایوانوف و همکاران (۱۹۹۸) به چهار شکل فسفر لبایل، فسفر نسبتاً لبایل، فسفر نسبتاً غیرلبایل و فسفر غیرلبایل تقسیم‌بندی و مقدار آن‌ها در خاک اندازه‌گیری شد (۱۷). یک گرم از نمونه خاک به ظرف پلی‌اتیلنی منتقل و به‌طور پیوسته توسط بیکربنات سدیم $0/5$ مولار ($pH=8/2$) به مدت ۱۶ ساعت (کل فسفر لبایل)، اسید سولفوریک ۱ مولار به مدت ۳ ساعت (کل فسفر نسبتاً لبایل) و هیدروکسید سدیم $0/5$ مولار به مدت ۱۶ ساعت (کل فسفر نسبتاً غیرلبایل و فسفر غیرلبایل) شیک شدند. در پایان مرحله سوم، به عصاره قلیایی اسید کلریدریک ۶ مولار اضافه شد تا pH محلول به $1-1/5$ رسید. کاهش pH محلول سبب رسوب اسید هیومیک می‌شود. بعد از رسوب اسید هیومیک، فسفر موجود در عصاره به‌عنوان فسفر نسبتاً غیرلبایل تعیین شد. برای تعیین شکل‌های فسفر آلی، عصاره‌های به‌دست آمده از چهار مرحله به دو قسمت مساوی تقسیم شد. در یک قسمت میزان فسفر که نشان‌دهنده فسفر معدنی محلول در عصاره (Pi) می‌باشد، به روش رنگ‌سنجی تعیین شد. قسمت دیگر توسط پرسولفات پتاسیم و اسید سولفوریک $5/5$ مولار هضم و میزان فسفر آن که نشان‌دهنده مجموع

گیاه و همچنین بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک سبب بهبود رشد ذرت گردد (۲۴). رشد بهتر گندم در تیمار لجن فاضلاب می‌تواند به دلیل وجود مقادیر بیش‌تر نیتروژن، فسفر و عناصر کم‌مصرف در مقایسه با کود گاوی و کود مرغی باشد (جدول ۲). نیلسون و همکاران (۱۹۹۸) نیز بیان نمودند که افزایش رشد و عملکرد به افزایش قابلیت دسترسی عناصر به‌ویژه نیتروژن و فسفر موجود در لجن فاضلاب برای گیاهان مربوط می‌باشد (۲۳). کودهای آلی قادر هستند تا از طریق کاهش تشکیل کانی‌های پایدار فسفر، تحرک فسفر را در خاک افزایش و از این طریق به رشد گیاه کمک کنند (۳۶). همچنین وجود مواد آلی موجود در لجن از طریق بهبود شرایط فیزیکی و بیولوژیکی خاک سبب رشد بهتر گیاهان می‌شود (۱۰).

به دلیل ظرفیت بافری خاک تحت‌تأثیر تیمارهای کودی قرار نگرفت.

عملکرد شاخسار گندم و جذب فسفر: در مقایسه با تیمار شاهد، کاربرد کودهای آلی در هر دو سطح ۲ و ۴ درصد سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک شاخسار گندم شد (شکل ۱-الف). در هر دو سطح کاربردی، لجن فاضلاب بیش‌ترین تأثیر را در افزایش عملکرد داشت. وزن خشک شاخسار از ۱/۱۲ گرم در گلدان در تیمار شاهد به ۷/۸۰ گرم در گلدان در سطح ۲ درصد لجن فاضلاب و ۱۴/۹۰ گرم در گلدان در سطح ۴ درصد لجن افزایش یافت. کود مرغی اگر چه سبب افزایش وزن خشک شاخسار در مقایسه با تیمار شاهد شد ولی اختلاف معنی‌داری از این لحاظ بین سطح ۲ و ۴ درصد آن مشاهده نشد. نتایج نوک و همکاران (۲۰۰۴) نیز نشان دادند که کاربرد کودهای آلی می‌تواند از طریق افزودن عناصر غذایی مورد نیاز

جدول ۳- تعدادی از خصوصیات شیمیایی خاک تیمار شده با سطوح مختلف کودهای آلی.

Table 3. Selected chemical properties of soil amended with different levels of organic fertilizers.

کربنات کلسیم	ماده آلی	ظرفیت تبادل کاتیونی	هدایت الکتریکی	pH	سطح کاربردی (درصد)	
معادل (درصد)	(درصد)	(سانتی مول بار بر کیلوگرم)	(دسی‌زیمنس بر متر)		Application rate (%)	
CCE (%)	OM (%)	CEC (Cmolc Kg ⁻¹)	EC (dS m ⁻¹)			
34.7 ^a	0.76 ^{ab}	12.5 ^b	2.8 ^a	7.4 ^a	2	لجن فاضلاب
34.2 ^a	1.0 ^a	13.6 ^a	2.9 ^a	7.3 ^a	4	Sewage sludge
37.3 ^a	0.64 ^b	13.2 ^a	3.1 ^a	7.5 ^a	2	کود گاوی
36.4 ^a	1.05 ^a	13.2 ^a	3.1 ^a	7.3 ^a	4	Cow manure
35.8 ^a	0.52 ^{cd}	12.0 ^b	2.8 ^a	7.3 ^a	2	کود مرغی
35.5 ^a	0.8 ^{ab}	12.0 ^b	2.6 ^{ab}	7.4 ^a	4	Poultry manure
37.7 ^a	0.46 ^d	9.8 ^c	1.7 ^b	7.7 ^a	-	شاهد control

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف متفاوت از لحاظ آماری در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن معنی‌دار نیستند.

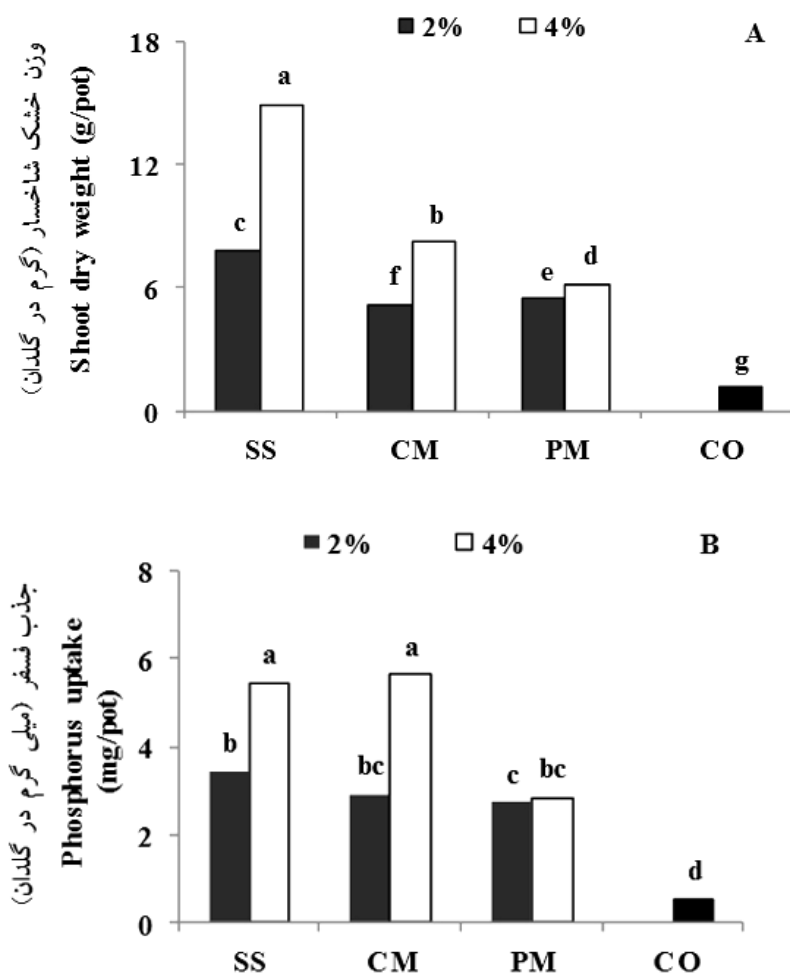
At each column, the means with the different letter are insignificant at $P < 0.05$ Duncan multiple range test.

شاهد افزایش یافت (شکل ۱-ب). سطح ۴ درصد لجن فاضلاب و کود مرغی بیش‌ترین تأثیر را در

جذب فسفر توسط شاخسار گندم به‌طور معنی‌داری ($P < 0.05$) در تیمارهای آلی نسبت به تیمار

سبب افزایش چشمگیرتر فسفر در ذرت شد (۱۰). کودهای آلی از طریق آزادسازی اسیدهای آلی سبب کاهش pH و افزایش حلالیت فسفات‌های کلسیم در خاک‌های آهکی شده و از این طریق منجر به افزایش جذب فسفر توسط گیاهان می‌شوند (۲۷). همچنین کودهای آلی حاوی شکل‌های مختلفی از فسفر آلی بوده که در طول دوره رشد تحت فرایند معدنی شدن به شکل قابل جذب برای گیاه تبدیل می‌شوند (۴۳).

افزایش جذب فسفر داشتند به طوری که کاربرد این دو کود در سطح ۴ درصد سبب افزایش تقریباً ۹ برابری در جذب فسفر توسط شاخسار گندم در مقایسه با تیمار شاهد گردید. اگرچه کود مرغی سبب افزایش ۵ برابری جذب فسفر توسط شاخسار در مقایسه با تیمار شاهد شد ولی تفاوت معنی‌داری بین سطوح کاربردی این کود وجود نداشت. گاوالدا و همکاران (۲۰۰۵) در بررسی تعدادی از کودهای آلی نشان دادند که لجن فاضلاب در مقایسه با کود گاوی و شیمیایی



شکل ۱- تأثیر لجن فاضلاب (SS)، کود گاوی (CM) و کود مرغی (PM) در دو سطح ۲ و ۴ درصد بر وزن خشک شاخسار (A) و جذب فسفر توسط گندم (B) (میانگین‌های دارای حروف یکسان روی هر ستون بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد).

Figure 1. The effects of sewage sludge (SS), cow manure (CM) and Poultry manure (PM) at two levels 2, 4% on shoot dry weight (A) and phosphorus uptake (B).

شکل‌های فسفر آلی

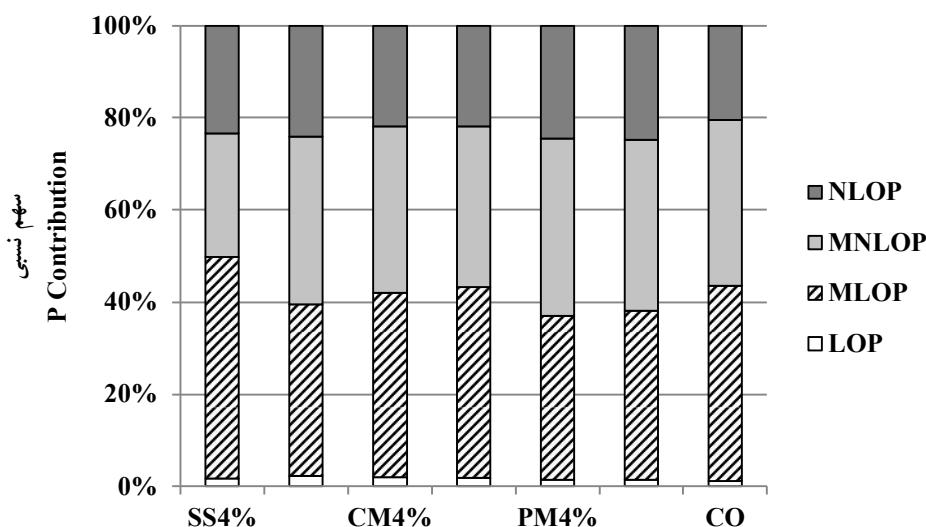
فسفر آلی لبایل^۱ (LOP): فسفر استخراج‌شده توسط بیکربنات سدیم (NaHCO₃-Po) به‌عنوان فسفر آلی لبایل در خاک شناخته شده است (۳). این بخش از فسفر آلی که جذب سطحی کانی‌ها یا ماده آلی شده است (۲)، می‌تواند به راحتی تحت‌تأثیر فرایند معدنی‌شدن قرار گرفته و توسط گیاه جذب شود (۴۱). فسفر آلی لبایل که مقدار آن در تیمارهای مختلف از ۱/۶ تا ۵/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر بود، کم‌ترین سهم از کل فسفر آلی خاک را در مقایسه با سایر شکل‌های آلی به خود اختصاص داد (شکل ۲). اگرچه فسفر آلی لبایل کم‌ترین سهم را در بین شکل‌های فسفر داشت ولی این بخش از فسفر در خاک بسیار پویا بوده و نقش کلیدی در چرخه فسفر و تغییر شکل آن ایفا می‌کند و به همین دلیل افزایش جزئی این بخش از فسفر آلی می‌تواند نقش قابل‌توجهی در افزایش جذب فسفر توسط گیاه داشته باشد. در مقایسه با تیمار شاهد، استفاده از کودهای آلی سبب افزایش فسفر آلی لبایل شد و صرف‌نظر از سطح کاربرد، تأثیر تیمارها به‌صورت لجن فاضلاب < کود گاوی < کود مرغی بود (شکل ۳-A). مطالعات مختلفی نشان داده است که کاربرد کودهای آلی می‌تواند سبب افزایش فسفر آلی لبایل در خاک گردد. لوپز پینریو و همکاران (۲۰۰۹) در یک خاک آهکی در پرتغال نیز نشان داد که کاربرد ۵ ساله تفاله‌های کارخانجات روغن‌کشی زیتون سبب افزایش فسفر آلی لبایل در خاک شد (۱۹). در مطالعه‌ای که توسط سالک و همکاران (۲۰۰۴) انجام شد کاربرد کودهای شیمیایی و آلی فسفری سبب افزایش فسفر آلی لبایل خاک شد. آن‌ها دلیل افزایش فسفر آلی لبایل در خاک

را به وجود این شکل از فسفر در کودهای آلی نسبت دادند (۲۹). همچنین ورما و همکاران (۲۰۰۵) نشان دادند که کاربرد کودهای شیمیایی سبب افزایش فسفر آلی لبایل و نسبتاً لبایل در خاک شد (۳۹). آن‌ها دلیل این امر را افزوده شدن بقایای گیاهی و ترشحات ریزوسفری به خاک ذکر کردند. در این مطالعه تیمار لجن فاضلاب در مقایسه با سایر تیمارها بیش‌ترین تأثیر را بر فسفر آلی لبایل خاک نشان داد. به‌نظر می‌رسد که لجن فاضلاب علاوه بر این‌که فسفر آلی لبایل بیش‌تری را به خاک اضافه می‌کند، به‌دلیل رشد بیش‌تر گندم در این تیمار و افزایش ترشحات ریزوسفری سبب افزایش این شکل فسفر آلی در خاک شده است.

فسفر آلی نسبتاً لبایل^۲ (MLOP): مطالعات نشان داده است که بخش عمده‌ای از فسفر موجود در این بخش می‌تواند تحت‌تأثیر فرایند معدنی‌شدن قرار بگیرد و به همین دلیل تأثیر قابل‌توجهی بر قابلیت دسترسی فسفر برای گیاه دارد (۴۵). توزیع شکل‌های فسفر آلی نشان داد که این بخش بیش‌ترین سهم را در بین سایر شکل‌ها به خود اختصاص و بیش از سایر شکل‌ها تحت‌تأثیر تیمار کودی و کشت گندم قرار گرفته است (شکل ۲). شارپلی (۱۹۸۵) نیز نشان دادند که کاربرد کودهای دامی فسفر آلی نسبتاً لبایل را بیش از سایر شکل‌های فسفر آلی افزایش داد (۳۲). نتایج این پژوهش نشان داد که تنها کاربرد ۴ درصدی از کودهای آلی توانست سبب افزایش معنی‌دار ($P < 0/05$) فسفر آلی نسبتاً لبایل نسبت به تیمار شاهد شود (شکل ۳-B). همچنین تنها در تیمار لجن فاضلاب بین سطوح کاربردی اختلاف معنی‌دار مشاهده شد. کاربرد لجن فاضلاب، کود گاوی و کود

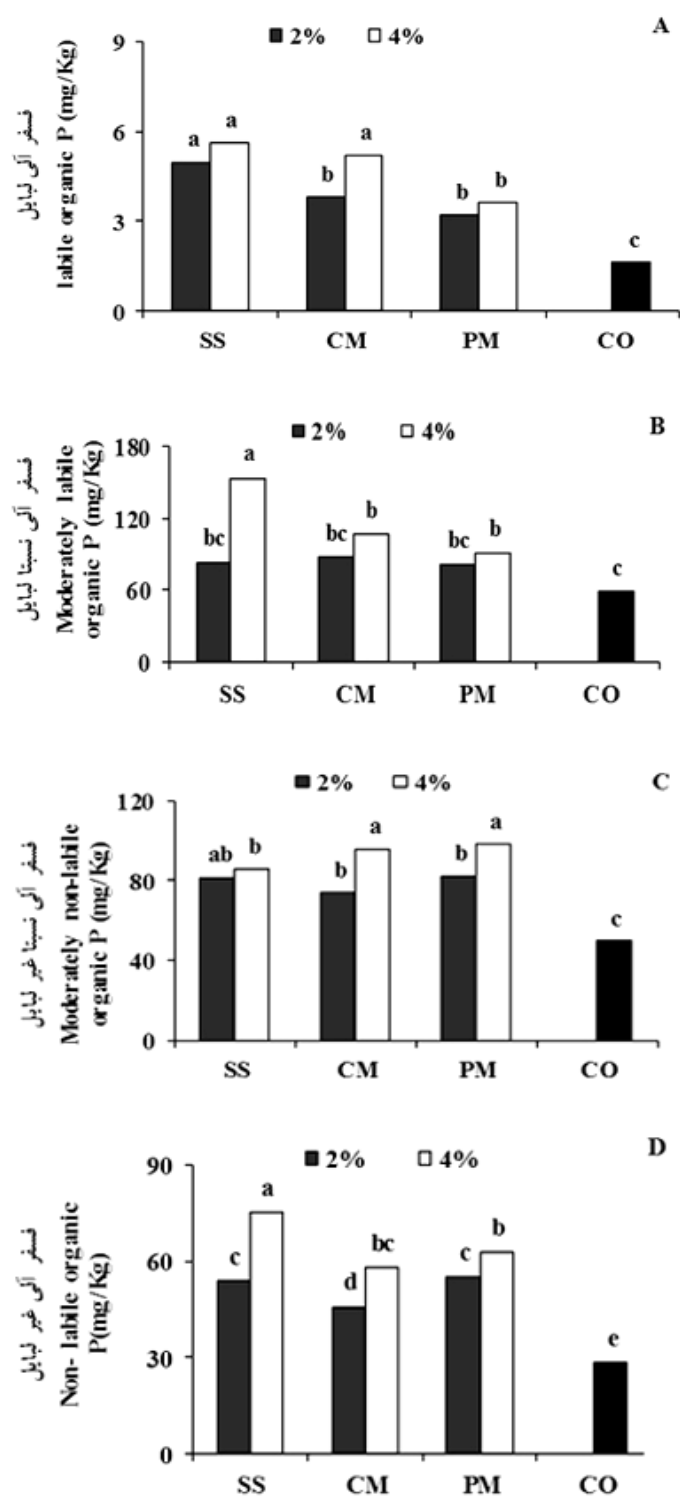
افزایش فسفر آلی نسبتاً لبایل در خاک شوند (۲۹). به همین دلیل بخشی از افزایش فسفر آلی نسبتاً لبایل در سطح ۴ درصد تیمارهای مورد استفاده در این مطالعه را می‌توان به رشد بیش‌تر گندم در این تیمارها نسبت داد. از آن‌جا که این شکل از فسفر توسط آنزیم‌های مختلف به راحتی به شکل معدنی و قابل جذب در می‌آید، بخشی از افزایش رشد و جذب فسفر در خاک‌های تیمار شده با کودهای آلی را می‌توان ناشی از افزایش فسفر آلی نسبتاً لبایل دانست.

مرغی در سطح ۴ درصد به ترتیب سبب افزایش ۶۲، ۴۵ و ۳۶ درصدی فسفر آلی نسبتاً لبایل شد. سینگ و امبرگر (۲۰۰۱) گزارش کردند که کاربرد کودهای آلی به همراه سنگ فسفات سبب شد تا ۷۰ درصد از فسفر حل شده به فسفر آلی نسبتاً لبایل تبدیل شود (۳۴). در مطالعه ردی و همکاران (۲۰۰۵) نیز افزایش فسفر آلی نسبتاً لبایل بعد از کاربرد تعدادی از بقایای گیاهی مشاهده شد (۲۷). همچنین مطالعات نشان داده است که کاربرد کودهای آلی می‌تواند از طریق افزایش رشد و افزایش ترشحات ریزوسفری سبب



شکل ۲- سهم نسبی شکل‌های فسفر آلی در تیمارهای لجن فاضلاب (SS)، کود گاوی (CM) و کود مرغی (PM) در دو سطح ۲ و ۴ درصد در مقایسه با تیمار شاهد (LOP، MLOP، MNLOP و NLOP به ترتیب بیانگر فسفر آلی لبایل، نسبتاً لبایل، نسبتاً غیرلبایل و غیرلبایل می‌باشد).

Figure 2. Contribution of organic P fractions in sewage sludge (SS), cow manure (CM) and poultry manure (PM) treatments in comparison to control. (LOP: labile organic P, MLOP: moderately labile organic P, MNLOP: moderately non-labile organic P and NLOP: non-labile organic P).



شکل ۳- تأثیر لجن فاضلاب (SS)، کود گاوی (CM) و کود مرغی (PM) در دو سطح ۲ و ۴ درصد بر فسفر آلی لبایل (A)، فسفر آلی نسبتاً لبایل (B)، فسفر آلی نسبتاً غیرلبایل (C) و فسفر غیرلبایل (D) (حروف متفاوت روی هر ستون بیانگر تفاوت معنی دار از لحاظ آماری در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن می باشد).

Figure 3. The effects of sewage sludge (SS), cow manure (CM) and poultry manure (PM) at two levels 2, 4% on labile organic P (A), moderately labile organic P (B), moderately non labile organic P (C) and non- labile organic P (D).

توجیه نماید. این بخش از فسفر قابلیت دسترسی کمی برای گیاهان دارد (۳) و به نظر می‌رسد که سهم چندانی در افزایش رشد گندم و جذب فسفر توسط گیاه را نداشته باشد.

فسفر آلی غیرلبایل^۲ (NLOP): فسفر آلی غیرلبایل از مواد آلی بسیار مقاوم به تجزیه میکروبی نظیر لیگنین و کمپلکس‌های ارگانومتالیک^۳ تشکیل شده است (۱۷). در واقع فسفر آلی غیرلبایل را می‌توان فسفر موجود در اسیدهای هومیک دانست که به راحتی تحت‌تأثیر فرایند معدنی شدن قرار نگرفته و به همین دلیل نمی‌تواند نقش قابل‌توجهی در تغذیه فسفر گیاهان داشته باشد (۳۲). کاربرد هر دو سطح کودهای آلی به همراه کشت گندم سبب افزایش فسفر آلی غیرلبایل نسبت به تیمار شاهد شد (شکل ۳-D). بیش‌ترین مقدار از این شکل فسفر آلی (۷۵/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) در سطح ۴ درصد لجن فاضلاب اندازه‌گیری شد که تفاوت معنی‌داری را نسبت به سایر تیمارها داشت. گیاهان سویا، لوبیا و گندم به همراه کود نیتروژن سبب افزایش فسفر آلی غیرلبایل شد (۲۶). به نظر می‌رسد ایموبیلیزاسیون شکل‌های قابل دسترس‌تر فسفر آلی و جذب شدید فسفر توسط اسیدهای هومیک به همراه بازگشت بقایای گیاهی بیش‌تر به خاک از دلایل افزایش فسفر آلی غیرلبایل در خاک‌های تیمار شده با کودهای آلی باشد. ین و لیانگ (۲۰۱۳) نیز نشان دادند که کاربرد کود آلی سبب افزایش فسفر آلی غیرلبایل در خاک شد (۴۴). آن‌ها پیشنهاد کردند که تجزیه مواد آلی در طول دوره انکوباسیون و سنتز مواد هومیکی سبب افزایش فسفر آلی غیرلبایل در خاک شده است.

فسفر آلی نسبتاً غیرلبایل^۱ (MNLOP): این بخش از فسفر شامل فسفری که با اسید فولویک در ارتباط می‌باشد و نقش زیادی در تغذیه فسفر گیاه ایفا نمی‌کند (۲۷). بعد از فسفر آلی نسبتاً لبایل، این بخش از فسفر بیش‌ترین سهم از کل فسفر آلی خاک را به خود اختصاص داد (شکل ۲). در مقایسه با تیمار شاهد، کاربرد کودهای آلی سبب افزایش معنی‌دار فسفر آلی نسبتاً غیرلبایل شد. تأثیر لجن فاضلاب در افزایش فسفر آلی نسبتاً غیرلبایل نسبت به سایر کودهای آلی کم‌تر بود. برای مثال کاربرد لجن فاضلاب، کود گاوی و کود مرغی در سطح ۴ درصد به ترتیب سبب افزایش ۷۳ درصدی، ۹۳ درصدی و ۹۷ درصدی این شکل از فسفر در خاک شد (شکل ۳-C). اگرچه تفاوت معنی‌داری از لحاظ فسفر آلی نسبتاً غیرلبایل بین تیمارهای آلی در سطح ۲ درصد مشاهده نشد، اما در سطح ۴ درصد، کود مرغی و کود گاوی تفاوت معنی‌داری را از لحاظ فسفر آلی نسبتاً غیرلبایل با لجن فاضلاب نشان دادند. یانگ و همکاران (۲۰۰۶) نیز نشان دادند که در خاک‌های شالیزاری استفاده از کودهای آلی سبب افزایش قابل توجه فسفر آلی نسبتاً غیرلبایل (فسفر موجود در اسید فولویک) شد (۴۳). همچنین نتایج ردی و همکاران (۲۰۰۵) نشان داد که کاربرد کود دامی به همراه کود شیمیایی سبب افزایش فسفر آلی نسبتاً غیرلبایل در یک خاک ورتی‌سول شد (۲۷). فسفر متصل به اسید فولویک که در بیش‌تر خاک‌ها، بخش قابل‌توجهی از فسفر آلی را به خود اختصاص می‌دهد (۱۸)، ممکن است که از طریق بقایای گیاهی به خاک افزوده شوند (۱۲). در این مطالعه نیز رشد بیش‌تر گندم در تیمارهای آلی و بازگشت بقایای ریشه به خاک می‌تواند بخشی از افزایش فسفر آلی نسبتاً غیرلبایل را

2- Non-Labile Organic Phosphorus

3- Organo-metallic complex

1- Moderately Non-Labile Organic Phosphorus

نتایج همخوانی دارد. مطالعه شریعتمداری و همکاران (۲۰۰۷) نشان داد که عملکرد خشک گیاه گندم به طور معنی داری تحت تأثیر فسفر آلی لبایل و نسبتاً لبایل قرار دارد (۳۳). همچنین نتایج ورما و همکاران (۲۰۰۵) نشان داد که در خاک تیمار شده با کودهای آلی، تمام شکل‌های آلی و معدنی فسفر با فسفر قابل جذب گیاه و جذب فسفر توسط ذرت همبستگی نسبتاً خوبی دارند (۳۹). مطالعه حیدری و همکاران (۲۰۱۳) در تعدادی از خاک‌های آذربایجان شرقی نشان داد که تنها فسفر آلی غیرلبایل همبستگی معنی داری با فسفر قابل جذب، وزن خشک و مقدار جذب فسفر توسط ذرت داشت (۱۶). به نظر می‌رسد در خاک‌های مورد مطالعه توسط این پژوهشگران، بخش عمده‌ای از مواد آلی خاک تجزیه و شکل‌های قابل دسترس‌تر فسفر آلی به شکل غیرلبایل تبدیل شده است. از این رو فسفر آلی لبایل و نسبتاً لبایل سهمی در افزایش فسفر قابل جذب گیاه نداشته است. در این مطالعه به دلیل اضافه شدن کودهای آلی تازه به خاک، شکل‌های قابل دسترس‌تر فسفر آلی در خاک افزایش و به همین دلیل سهم آن‌ها در افزایش فسفر قابل جذب گیاه و جذب فسفر توسط گندم افزایش یافته است.

بررسی ارتباط بین شکل‌های فسفر آلی با فسفر اولسن و میزان جذب فسفر توسط گندم: هر یک از شکل‌های فسفر آلی در خاک می‌توانند به عنوان مقصد یا منبع فسفر قابل جذب گیاه عمل کنند (۳۱)، ضمن آن‌که به دلیل تفاوت در سرعت تجزیه، هر یک از این شکل‌ها سهم متفاوتی در افزایش فسفر قابل جذب گیاه دارند. به منظور تعیین سهم هر یک از شکل‌های فسفر آلی در افزایش فسفر قابل جذب گیاه، آزمون همبستگی ساده پیرسون مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۴). نتایج نشان داد که تمامی شکل‌های فسفر آلی با فسفر قابل جذب خاک، فسفر جذب شده توسط گندم و وزن خشک شاخسار همبستگی معنی داری در سطح احتمال یک درصد دارند. از بین شکل‌های فسفر آلی، فسفر آلی لبایل بیش‌ترین ضریب همبستگی را فسفر قابل جذب گیاه ($r=0/92^{**}$) و فسفر جذب شده ($r=0/92^{**}$) نشان داد که بیانگر اهمیت بالای این بخش از فسفر آلی در تأمین فسفر مورد نیاز گیاه و جذب آن توسط گندم دارد. در ارتباط با وزن خشک شاخسار نیز فسفر آلی نسبتاً لبایل بالاترین ضریب همبستگی ($r=0/96^{**}$) را با این شاخص رشدی گندم نشان داد. نتایج به دست آمده با سایر

جدول ۴- ضریب همبستگی شکل‌های فسفر آلی با فسفر قابل جذب خاک، فسفر جذب شده توسط شاخسار و وزن خشک شاخسار.

Table 4. Correlation coefficient of organic P fractions with available P, shoot P uptake and shoot dry weight.

فسفر آلی لبایل	فسفر آلی نسبتاً لبایل	فسفر آلی غیرلبایل	فسفر	فسفر جذب شده
Labile organic P	Moderately non-labile organic P	Non-labile organic P	قابل جذب خاک Available P	توسط شاخسار Shoot P uptake
0.92**	0.76**	0.79**	-	-
0.92**	0.83**	0.81**	0.84**	-
0.87**	0.96**	0.91**	0.64**	0.87**

** معنی دار در سطح احتمال یک درصد.

** Significant at $P < 0.01$.

مهمی در افزایش قابلیت جذب فسفر برای گیاهان در اکوسیستم‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک دارند (۶). سان و ژانگ (۱۹۹۲) نیز بیان کردند که تأثیر تغذیه‌ای فسفر موجود در RNA و حتی اینوزیتول فسفات بر گیاه برنج به مراتب بیش‌تر از فسفر معدنی می‌باشد (۳۷). وزن خشک شاخسار به‌طور قابل‌توجهی تحت‌تأثیر فسفر آلی نسبتاً لبایل قرار گرفت به‌طوری‌که ۹۳ درصد از تغییرات وزن خشک شاخسار توسط این شکل از فسفر آلی توجیه شد. فسفر آلی لبایل و فسفر آلی نسبتاً لبایل، که شاخص مناسبی از قابلیت جذب فسفر توسط گیاه ارائه می‌کنند، به راحتی تحت‌تأثیر فرایند تجزیه میکروبی به شکل‌های معدنی قابل‌جذب $H_2PO_4^-$ و HPO_4^{2-} درآمده و توسط گیاه جذب می‌شوند (۴۵). همچنین برخی از مطالعات نشان داده که فسفر آلی لبایل به‌طور مستقیم توسط گیاه قابل استفاده بوده و افزایش آن در خاک سبب افزایش جذب فسفر توسط گیاه می‌شود (۳۷).

به‌منظور تعیین مؤثرترین شکل فسفر آلی در افزایش فسفر قابل‌جذب خاک، وزن خشک شاخسار و جذب فسفر از آزمون رگرسیون گام به گام استفاده شد (جدول ۵). در این روابط شکل‌های مختلف فسفر آلی به‌ترتیب اهمیت خود در تأمین فسفر مورد نیاز گیاه در مدل وارد شده‌اند. فسفر آلی لبایل بیش‌ترین تأثیر را در افزایش فسفر قابل‌جذب گیاه و جذب فسفر توسط گندم داشت به‌طوری‌که ۸۴ درصد از تغییرات فسفر قابل‌جذب خاک و جذب فسفر را توجیه کرد. این نتایج بیانگر اهمیت فسفر آلی لبایل در افزایش حاصل‌خیزی خاک مورد مطالعه می‌باشد. هی و لی (۱۹۸۷) نشان دادند که فسفر آلی لبایل به‌طور معنی‌داری با RNA، لستین و گلیسروفسفات خاک همبستگی دارد و به‌طور کامل توسط بی‌کربنات سدیم قابل‌عصاره‌گیری هستند (۱۵). کراس و اشلسینگر (۲۰۰۱) با مطالعه نقش فسفر آلی در چرخه فسفر نشان دادند که شکل‌های مختلف فسفر آلی نقش

جدول ۵- رگرسیون گام به گام شکل‌های فسفر آلی با فسفر قابل‌جذب، وزن خشک شاخسار گندم و جذب فسفر.

Table 5. Stepwise regression of organic P fractions with available P, shoot dry weight and P uptake.

ΔR^2	R^2	متغیرهای مستقل Independent variables	متغیر وابسته Dependent Variables
-	0.833**	1.696(LOP)-3.185	فسفر قابل‌جذب
0.12	0.958**	2.512(LOP)-0.104 (NLOP)+4.095	Available P
0.017	0.975**	2.460(LOP)-0.132 (NLOP)+0.038 (MNLOP)	
-	0.929**	0.046 (MLOP)-6.790	وزن خشک شاخسار
0.045	0.974**	0.035 (MLOP)+0.336 (LOP)-7.328	Shoot dry weight
0.010	0.984**	0.030 (MLOP)+0.264 (LOP)+ 0.021(NLOP)-8.241	
0.014	0.998**	0.017(MLOP)+ 0.371(LOP)+ 0.059(NLOP)- 0.029(MNLOP)-5.121	
-	0.837**	0.392(LOP)- 1.410	جذب فسفر
0.044	0.881**	0.288(LOP)+ 0.007(MLOP)-2.042	P uptake
0.028	0.909**	0.212 (LOP)+ 0.007(MLOP)+ 0.009(MNLOP)- 3.574	
0.047	0.956**	0.183(LOP)+ 0.018 (MLOP)+ 0.027(MNLOP)-0.064(NLOP)-5.026	

(LOP: labile organic P, MLOP: moderately labile organic P, MNLOP: moderately non-labile organic P and NLOP: non-labile organic P).

** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

** Significant at $P < 0.01$.

نتیجه گیری

امروزه با توسعه کشاورزی پایدار، فسفر آلی، که تا ۸۵ درصد از فسفر کل خاک را شامل می‌شود، به‌عنوان یک منبع تأمین‌کننده نیاز فسفر گیاه مورد توجه قرار گرفته است. نتایج نشان داد که کودهای آلی به‌طور قابل‌توجهی شکل‌های فسفر آلی در خاک و سایر خصوصیات شیمیایی نظیر مقدار ماده آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک را تحت‌تأثیر قرار دادند. کاربرد کودهای آلی در هر دو سطح ۲ و ۴ درصد سبب افزایش فسفر آلی لبایل، نسبتاً لبایل، نسبتاً غیرلبایل و غیرلبایل شد. صرف‌نظر از سطح کاربرد، تأثیر کودهای

آلی بر شکل‌های مختلف فسفر آلی به‌صورت لجن فاضلاب < کود گاوی > کود مرغی بود. همچنین نتایج نشان داد که از بین شکل‌های فسفر آلی، دو شکل فسفر آلی لبایل و نسبتاً لبایل بیش‌ترین سهم را در افزایش فسفر قابل‌جذب گیاه، فسفر جذب‌شده توسط گندم داشته است. بر همین اساس می‌توان بخشی از افزایش رشد گندم بعد از کاربرد کودهای آلی را به افزایش این دو بخش از فسفر آلی در خاک نسبت داد.

منابع

- Allison, L.E., and Modie, C.D. 1965. Carbonates, P 1379-1396. In: C.A. Black (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 3, Chemical Methods. ASA: Madison, WI.
- Bolan, N.S. 1991. A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. Plant soil. 134: 189-207.
- Bowman, R.A., and Cole, C.V. 1978. An exploratory method for fractionation of organic phosphorus from grassland soils. Soil Sci. 125: 95-101.
- Conte, E., Anghinoni, I., and Rheinheimer, D.S. 2002. Phosphorus in the microbial biomass and acid phosphatase activity by phosphate application in soil under no-tillage system. Brazil. J. Soil Sci. 26: 925-930.
- Clup, P.L., and Clup, G.L. 1978. Advance Wastewater Treatment. 2nd ed., Van – Nostr and Rienhold Pub., New York.
- Cross, A.F., and Schlesinger, W.H. 2001. Biological and geochemical controls on phosphorus fractions in semiarid soils. Biogeochemistry. 52: 155-172.
- Dalal, R.C. 1997. Soil organic phosphorus. Adv. Agron. 29: 83-117.
- Delgado, A., and Torrent, J. 2000. Phosphorus forms and desorption patterns in heavily fertilized calcareous and limed acid soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 64: 2031-2037.
- Gatiboni, L.C., Kaminski, J., and Rheinheimer, D.S. 2005. Alterations in soil phosphorus forms after successive extractions with Mehlich-1, Mehlich-3 and anion exchange resin methods. Brazil. J. Soil Sci. 29: 363-371.
- Gavalda, D., Scheiner, J.D., Revel, J.C., Merlina, G., Kaemmerer, M., Pinelli, E., and Guiresse, M. 2005. Agronomic and environmental impacts of a single application of heat dried sludge on an Alfisol. Sci. Total. Environ. 343: 97-109.
- Goldstein, A.H., Baertlein, D.A., and McDaniel, R.G. 1988. Phosphate starvation inducible metabolism in *Lycopersicon esculentum*. Plant Physiol. 87: 711-715.
- Grindel, N.M., and Zyrin, N.G. 1965. Method of determination and dynamics of organic P compounds in the plow horizon of slightly cultivated Spodic soils. Soviet Soil Sci. 17: 1391-1410.
- Grossl, P.R., and Inskip, W.P. 1991. Precipitation of dicalcium phosphate dihydrate in the presence of organic acids. Soil Sci. Soc. Am. J. 55: 670-675.
- Harisson, A.F. 1982. Labile organic phosphorus mineralization in relationship to soil properties. Soil Biol. Biochem. 14: 343-351.

15. He, T., and Li, S.J. 1987. On the fractionation of organic phosphorus in soil by Bowman-Cole's method. *Acta. Pedol. Sinica*. 24: 152-159.
16. Heydari, N., Reyhanitabar, A., Najafi, N., and Ostan, Sh. 2013. Relationships between inorganic and organic phosphorus fractions with corn growth and phosphorus uptake in some soils of East Azerbaijan Province. *J. Soil Manage. Sust. Prod.* 3: 2. 237-250. (In Persian)
17. Ivanoff, D.B., Reddy, K.R., and Robinson, S. 1998. Chemical fractionation of organic phosphorus in selected histosols. *Soil Sci.* 163: 36-45.
18. Krivonosova, G.M., and Basevich, T.V. 1980. Content and forms of organic phosphates in the soils of the steppe zone of the Ukraine. *Soviet Soil. Sci.* 12: 290-294.
19. Lopez-Pineiro, A., Cabrera, D., and Pena, D. 2009. Phosphorus adsorption and fractionation in a two-phase olive mill waste amended soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 73: 1539-1544.
20. Marschner, H. 1986. Mineral nutrition of higher plants. Academic press Inc. New York, 674p.
21. Murphy, J., and Riley, J.P. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta.* 27: 31-143.
22. Nazari, M.A., Shariatmadari, H., Afyuni, M., Mobli, M., and Rahili, Sh. 2006. Effect of industrial sewage-sludge and effluents application on concentration of some elements and dry matter yield of wheat, barley and corn. *J. Sci. Tech. Agric. Natur. Res. Water and Soil.* 10: 3. 97-111. (In Persian)
23. Nielson, G.H., Hogue, E.J., Nielson, D., and Zebarth, B.J. 1998. Evaluation of organic wastes as soil amendments for cultivation of carrot and chard on irrigated sandy soils. *Can. J. Soil Sci.* 78: 217-225.
24. Nwoke, O.C., Vanlauwe, B., Diels, J., Sanginga, N., and Osonubi, O. 2004. Impact of residue characteristics on phosphorus availability in West African savanna soils. *Biol. Fertl. Soils.* 39: 422-428.
25. Oberson, A., Friesen, D.K., Rao, I.M., Buhler, S., and Frossard, E. 2001. Phosphorus transformations in an Oxisol under contrasting land-use systems: the role of the soil microbial biomass. *Plant Soil.* 237: 197-210.
26. Qiao, Y., and Miao, S. 2013. Distribution of inorganic and organic phosphorus fractions in two phosphorus-deficient soils as affected by crop species and nitrogen applications. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 43: 631-644.
27. Reddy, D.D., Rao, A.S., and Rupa, T.R. 2005. Effects of continuous use of cattle manure and fertilizer phosphorus on crop yields and soil organic phosphorus in a Vertisol. *Bioresource Technol.* 75: 113-118.
28. Rhoads, J.W. 1986. Cation exchange capacity, P 149-158. In: C.A. Black (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods.* ASA: Madison, WI.
29. Saleque, M.A., Naher, U.A., Islam, A., Pathan, A.B.M.B.U., Hossain, A.T.M.S., and Meisner, C.A. 2004. Inorganic and organic phosphorus fertilizer effects on the phosphorus fractionation in wetland rice soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 1635-1644.
30. Sayin, M., Mermut, A.R., and Tiessen, H. 1990. Phosphate sorption/desorption characteristics by magnetically separated soil fraction. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 1298-1304.
31. Schmidt, J.P., Buol, S.W., and Kamparth, E.J. 1996. Soil phosphorus dynamics during seventeen years of continuous cultivation: fractionation analyses. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60: 1168-1172.
32. Sharpley, A.N. 1985. Phosphorus cycling in unfertilized and fertilized agricultural soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49: 905-911.
33. Shariatmadari, H., Shirvani, M., Dehghan, R. 2007. Availability of organic and inorganic phosphorus fractions to wheat in toposequence of calcareous soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 38: 2601-2617.
34. Singh, C.P., and Amberger, A. 2001. Solubilization and availability of phosphorus during decomposition of rock phosphate enriched straw and urine. *Biol. Agric. Hort.* 7: 261-269.

35. Stevenson, F.G. 1994. Humus chemistry, Genesis, Composition and Reactions. Wiley, New York, 512p.
36. Sui, Y.B., and Thompson, M.L. 2000. Phosphorus sorption/desorption and buffering capacity in a biosolids amended Mollisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 164-169.
37. Sun, X., and Zhang, Y.S. 1992. Study on inositol phosphate in organic manure and paddy soils and its effect on rice growth. *Acta. Pedol. Sinica.* 29: 365-369.
38. Takahashi, S., and Anwar, M.R. 2007. Wheat grain yield, phosphorus uptake and soil phosphorus fraction after 23 years of annual fertilizer application to an Andosol. *Field Crops Research.* 101: 160-171.
39. Verma, S., Subehia, S.K., and Sharma, S.P. 2005. Phosphorus fractions in an acid soil continuously fertilized with mineral and organic fertilizers. *Biol. Fertil. Soils.* 41: 295-300.
40. Violante, A., and Pigna, M. 2002. Competitive sorption of arsenate and phosphate on different clay minerals and soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66: 1788-1796.
41. Vu, D.T., Tang, C., and Armstrong, R.D. 2008. Changes and availability of P fractions following 65 years of P application to a calcareous soil in a Mediterranean climate. *Plant Soil.* 304: 21-33.
42. Walkley, A., and Black, I.A. 1934. An examination of digestion method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration. *Soil Sci.* 37: 29-38.
43. Yang, C., Yang, L., and Jianhua, L. 2006. Organic phosphorus fractions in organically amended soils in continuously and intermittently flooded conditions. *J. Environ. Qual.* 35: 1142-1150.
44. Yin, Y., and Liang, C.H. 2013. Transformation of phosphorus fractions in paddy soil amended with pig manure. *J. Soil Sci. Plant. Nutr.* 13: 809-818.
45. Zhang, Y.S., Werner, W., Scherer, H.W., and Sun, X. 1994. Effect of organic manure on organic phosphorus fractions in two paddy soils. *Biol. Fertil. Soils.* 26: 64-68.



Determination of organic P fractions in a calcareous soil as affected by wheat cultivation and organic amendments

M. Moeini¹, *M. Hejazi Mehrizi² and A. Jafari²

¹M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science and Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman,

²Assistant Prof., Dept. of Soil Science and Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman

Received: 01/24/2015; Accepted: 06/15/2015

Abstract

Background and Objectives: Phosphorus (P) deficiency is frequently reported in many regions of the world, certainly in calcareous soils of arid and semi-arid regions. In calcareous soils, the soluble P is rapidly converted to insoluble precipitates of Ca-phosphates due to high content of CaCO₃. Soil organic phosphorus (SOP), which can comprise up to 80% of the soil P, plays a significant role in P nutrition of crops specially in high P fixing calcareous soils. Soil organic P is a heterogeneous mixture of organic substances and the different fractions of SOP might have different effects on soil fertility and quality. Organic amendments such as sewage sludge and animal manures can be recycled to agricultural lands as a source of organic matter and phosphorus. Organic amendments may influence P dynamics in soils. This study was conducted to investigate the short-term (100 days) effects of some organic amendments on the soil organic P (SOP) fractions and their availability to wheat in a calcareous soil.

Materials and Methods: A calcareous soil, which suffer from P deficiency, was collected in summer 2013 from Kerman province, air-dried, crushed and transferred to pots including two levels of sewage sludge (SS), cow manure (CM), poultry manure (PM) and no organic amendment (CO) in four replicates. Four wheat seeds were sown in each pot and kept for 100 days in a controlled greenhouse. At harvest, shoot dry weight and shoot P concentration were measured. Soil organic P fractions including labile organic P (LOP), moderately labile organic P (MLOP), moderately non-labile organic P (MNLOP) and non-labile organic P (NLOP) was also measured.

Results: Soil application of organic amendments significantly increased shoot dry weight and shoot P uptake of plants. The highest values were found in soil amended with 4% level of sewage sludge. Organic amendments markedly ($P < 0.05$) increased all organic P fractions compared with the control. Moderately labile organic P was affected by organic amendments more than the other fractions. Regardless of applied levels, the magnitude effect of organic amendments on different OP fractions was ranked in the following order: SS > CM > PM. A significant correlation was observed between labile organic P with soil available P ($r = 0.92^{**}$), P uptake by wheat ($r = 0.92^{**}$) as well as between MLOP and shoot dry weight ($r = 0.96^{**}$), showing that labile and moderately labile organic P fractions have more contributors to available P than the others.

Conclusion: These results suggest that adding of organic amendments can increase P availability and plant growth due to increase in soil OP fractions especially labile and moderately labile organic P fractions.

Keywords: Organic amendments, Organic P lability, Sequential extraction, Sustainable agriculture

* Corresponding Authors; Email: mhejazi@uk.ac.ir

