تأثیر ماده آلی بر بازیابی فسفر باقی‌مانده در یک خاک آهکی

مختار زلفی باوریانی* و مهرداد نوروزی[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۷/۱۱/۲۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۱۲/۱۲)

چکیده

قسمت اعظم فسفر مصرفی در خاک‌های آهکی تثبیت می‌شود. بخشی از فسفر باقی‌مانده توسط گیاهان کشت‌های بعدی قابل بازیافت است. ماده آلی یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در بازیابی فسفر باقی‌مانده گزارش شده است. این پژوهش نیز به منظور بررسی میزان تأثیر ماده آلی بر بازیابی فسفر باقی‌مانده در ایستگاه تحقیقات کشاورزی برازجان در خاکی با نام علمی Coarse Loamy, Carbonatic, Hyperthermic, Ustic Torriorthents و در کرت‌های ثابت به مرحله اجرا در آمد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و با سه تکرار به مدت چهار سال اجرا شد. فسفر در سه سطح: صفر، ۹۰ و ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار P_2O_5 از منبع سوپر فسفات تریپل و ماده آلی نیز در سه سطح: صفر، ۱۵ و ۳۰ تن در هکتار کود گوسفندی نیمه پوسیده به عنوان فاکتورهای آزمایش بودند. فسفر فقط در سال اول اما کود دامی در تمامی سال‌های اجرای طرح مصرف شد. در چهار سال اجرای طرح به ترتیب گیاهان پیاز، کلزا، باقلا و اسفناج کشت گردید. نتایج نشان داد که تیمارهای مصرف توأم کود دامی و فسفر(باقی‌مانده) در تمامی سال‌های اجرای طرح سبب حداکثر افزایش در قابلیت استفاده فسفر در خاک، غلظت فسفر در گیاه و عملکرد محصول نسبت به تیمار شاهد شد. این افزایش در سال اول اجرای طرح عمدتاً ناشی از اثر مستقیم فسفر مصرفی بود. اما از سال دوم به بعد فسفر بازیابی شده توسط کود دامی بیشترین تأثیر را داشت. به طوری که در سال چهارم اجرای طرح در تیمار فسفر باقی‌مانده از سطح ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار و ۳۰ تن در هکتار کود دامی، بیش از ۵۳ درصد از افزایش در فراهمی فسفر در خاک و ۲۱ درصد از افزایش در عملکرد محصول ناشی از فسفر بازیابی شده توسط کود دامی بود.

واژه‌های کلیدی: فسفر باقی‌مانده، بازیابی فسفر، ماده آلی، کود دامی

مقدمه

برای جبران کمبود فسفر به عنوان یکی از عناصر غذایی ضروری گیاه سالیانه مقادیر زیادی کودهای شیمیایی فسفاته به خاک اضافه می‌شود. مصرف بی‌رویه کودهای فسفاته و تجمع فسفر در خاک علاوه بر افزایش هزینه‌ها، تأثیر منفی بر برخی از عناصر غذایی کم مصرف داشته و سبب آلودگی محیط زیست نیز می‌شود. بخش اعظم فسفر مصرفی جذب ذرات جامد خاک شده و به عنوان فسفر باقی‌مانده در این فاز نگه‌داری می‌شود (۷). فسفر تجمع یافته در خاک به تدریج می‌تواند مورد استفاده گیاهان کشت‌های بعدی قرار گیرد. به طوری که در برخی از خاک‌ها پس از یک بار مصرف کودهای فسفره تا چندین سال نیازی به مصرف مجدد آن نمی‌باشد (۱۶ و ۱۷). در

۱. اعضای هیئت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان بوشهر

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mzolfi2001@yahoo.com

Archive of SID

www.SID.ir

رابطه با دوام و بقاء فسفر باقی‌مانده و بازیابی آن گزارشات متعددی وجود دارد ازجمله بازیابی ۴۰ درصد توسط شش گیاه (۱۹)، ۲۷/۷ درصد توسط پنج گیاه(۳۸) و ۷۴ درصد توسط شش گیاه گلخانه‌ای (۱۲) توسط محققان مختلف گزارش شده است.

عواملی مانند pH خاک (۲۹)، کربنات کلسیم (۳۷)، بافت خاک (۸ و ۳۲) و ماده آلی (۳۲) در بقای فسفر باقی‌مانده و میزان بازیابی آن مؤثر است. افزایش فراهمی فسفر در اثر کاربرد کودهای حیوانی به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع ماده آلی به همراه کودهای شیمیایی در خاک‌های مختلف گزارش شده است(۳۳ و ۳۹). کاربرد کودهای حیوانی در خاک‌های آهکی سبب تشکیل شکل‌های بلورین فسفات با پایداری کمتر یا جزئی بلورین می‌شود. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که مواد آلی موجب افزایش فراهمی فسفر در خاک‌های آهکی می‌شود(۵ و ۱۱). والن و چانگ (۴۱) گزارش کردند که استفاده دراز مدت از مواد آلی باعث نگه‌داری فسفر با پیوندهای کم انرژی‌تر شده و قابلیت فراهمی آن را در پروفیل خاک افزایش می‌دهد. شریف و همکاران (۳۶) نقش اصلی در افزایش حلالیت کودهای فسفره در خاک را مربوط به کود حیوانی می‌دانند. بر اساس این گزارش و گزارش‌های دیگر(۹ و ۱۸) مواد آلی می‌توانند به صورت پوششی محافظ در اطراف ذرات کود یا به عنوان پیوند دهنده فسفر در محل‌های تبادل آنیونی و یا از طریق واکنش با فسفر و تشکیل ترکیبات فسفات آلی عمل نماید که در تمامی این حالات قابلیت استفاده فسفر برای گیاه افزایش یافته و آزاد سازی تدریجی فسفر در محلول خاک وجود خواهد داشت. هم‌چنین مواد آلی و اسیدهای حاصل از تجزیه آن، سطوح کربنات کلسیم را اشغال کرده و از تشکیل رسوب هیدروکسی آپاتیت جلوگیری می‌کند(۲۰). مقادیر زیاد کربنات کلسیم و کم بودن مقدار ماده آلی به خصوص در خاک‌های نواحی جنوبی کشور سبب شده است که سالیانه مقادیر زیادی کودهای فسفره در این مناطق مصرف شود. با توجه به نقشی که ماده آلی در بازیابی فسفر باقی‌مانده دارد هدف از اجرای این پژوهش بررسی میزان تأثیر سطوح مختلف کود دامی بر بازیابی فسفر باقی‌مانده و نقش آن در افزایش فراهمی فسفر در خاک، تأمین فسفر مورد نیاز گیاه و نهایتاً کاهش مصرف کودهای فسفره بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش مزرعه ای در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی برازجان با مختصات جغرافیایی ´ ۳۱ °۵۱ طول شرقی و ´۱۶ °۲۹ درجه عرض شمالی و حدود ۱۰۰ متر ارتفاع از سطح دریا اجرا شد. نام فامیلی خاک محل اجرای طرح Coarse Loamy, Carbonatic, Hyperthermic, Ustic Torriorthents (۲) و برخی از خصوصیات آن در جدول ۱ آمده است.

آزمایش به صورت فاکتوریل، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و با سه تکرار به مدت چهار سال و در کرت‌های ثابت اجرا شد. فسفر (P) در سه سطح (صفر، ۹۰ و ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار P_2O_5 از منبع سوپر فسفات تریپل) و ماده آلی (M) نیز در سه سطح (صفر، ۱۵ و ۳۰ تن در هکتار کود گوسفندی نیمه پوسیده) به عنوان فاکتورهای آزمایش بودند. برخی خصوصیات کود دامی استفاده شده در جدول ۲ آمده است.

مساحت هر کرت حدود ۱۱ متر مربع (۲/۸ × ۴)، فاصله کرت‌ها از یکدیگر یک متر و فاصله بلوک‌ها از یکدیگر ۳ متر در نظر گرفته شد. در سال‌های اول تا چهارم اجرای طرح به ترتیب پیاز، کلزا، باقلا و اسفناج که از گیاهان متداول منطقه می‌باشند کشت گردید. فسفر بر اساس مقادیر ذکر شده در تیمارهای مربوطه فقط در سال اول اجرای طرح به کرت‌ها اضافه شد. اما کود دامی در تمامی سال‌های اجرای طرح قبل از کاشت محصول و زمان تهیه بستر کاشت اعمال شد.

برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک از جمله بافت به روش هیدرومتری(۱۳)، پ هاش گل اشباع(۲۴)، هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع(۳۴)، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی سازی با اسید(۳۵)، کربن آلی به روش والکلی و بلاک(۴۰)، پتاسیم قابل استفاده(۲۱)، آهن، روی، مس و منگنز قابل استخراج با DTPA (۲۵) قبل از اجرای طرح اندازه‌گیری

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۱. برخی از خصوصیات فیزیکو شیمیایی خاک محل آزمایش

عمق خاک(سانتی‌متر)	pH	EC	SP	CCE	O.C	P	K	Fe	Zn	Mn	Cu
		$dS\ m^{-1}$		%		$mg\ kg^{-1}$					
۰–۳۰	۸	۴/۹	۳۱	۵۹	۰/۳۵	۶/۶	۱۳۵	۲/۸	۰/۷۶	۷/۱	۰/۷۶

جدول ۲. برخی خصوصیات کود دامی مورد استفاده

$EC(dS\ m^{-1})$	pH	OC(%)	C/N	P(%)	درصد خاکستر
۲/۴۲	۷/۴	۲۸/۲	۲۰	۰/۳۹	۴۶

شد. مصرف عناصر غذایی مورد نیاز گیاه (به جز فسفر) بر اساس آزمون خاک و نیز کلیه عملیات داشت برای تمامی تیمارها به طور یکسان اعمال شد. پاسخ‌های مورد بررسی شامل فسفر قابل استخراج از خاک به روش اولسن(۳۱)، عملکرد محصول و غلظت فسفر در گیاه بودند که هر ساله به طور جداگانه بررسی شدند.

بازیابی فسفر باقی‌مانده توسط کود دامی تنها در تیمارهای مصرف توأم کود دامی و فسفر(باقی‌مانده) مفهوم دارد. در این تیمارها افزایش در قابلیت استفاده فسفر در خاک، عملکرد محصول و یا جذب فسفر توسط گیاه نسبت به تیمار شاهد از سه منبع ناشی می شود. فسفر(باقی‌مانده) به تنهایی، کود دامی به تنهایی و یا فسفر بازیابی شده توسط کود دامی منابع مؤثر در این راستا می باشند. در هرکدام از سال‌های اجرای طرح و برای هر کدام از تیمارهای مصرف توأم فسفر(باقی‌مانده) و کود دامی سهم نسبی فسفر(باقی‌مانده) به تنهایی، کود دامی به تنهایی و فسفر بازیابی شده توسط کود دامی بر پاسخ‌های مورد بررسی به ترتیب با استفاده از معادلات ۱، ۲ و ۳ محاسبه شد(۴).

$$P = [(P_p - P_o) / (P_{p+m} - P_o)]*100 \qquad [۱]$$

$$M = [(P_m - P_o) / (P_{p+m} - P_o)]*100 \qquad [۲]$$

$$PM = 100 - (P + M) \qquad [۳]$$

در این معادلات: P و M به ترتیب نشان‌دهنده سهم نسبی فسفر (باقی‌مانده) و ماده آلی به تنهایی و PM سهم نسبی فسفر بازیابی شده توسط ماده آلی در افزایش قابلیت استفاده فسفر در هر کدام از تیمارهای مصرف توأم کود دامی و فسفر (باقی‌مانده) نسبت به تیمار شاهد می‌باشد (برحسب درصد). هم‌چنین P_o ، P_p ، P_m و P_{p+m} به ترتیب نشان‌دهنده قابلیت استفاده فسفر در خاک در تیمار شاهد، تیمار مصرف کود فسفره به تنهایی، تیمار مصرف ماده آلی به تنهایی و تیمار مصرف توأم فسفر و ماده آلی می‌باشند (برحسب میلی‌گرم در کیلوگرم خاک). جهت تعیین میزان تأثیر فسفر بازیابی شده توسط ماده آلی بر عملکرد محصول و غلظت فسفر در گیاه نیز از معادلاتی مشابه معادلات فوق استفاده شد. برای پردازش داده‌ها و رسم نمودارها از نرم‌افزارهای Mstatc و Excell و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج تجزیه آزمایشگاهی، خاک محل اجرای طرح حاوی مقدار زیادی کربنات کلسیم معادل، کربن آلی کم و فسفر قابل استفاده در حد متوسط بود. برخی خصوصیات کود دامی مورد استفاده نیز در جدول ۲ آمده که نشان‌دهنده متعادل بودن نسبت کربن به ازت و وجود مقداری فسفر در ساختار آن می‌باشد.

در سال اول اجرای طرح، کاربرد ۹۰ کیلوگرم P_2O_5 در هکتار فقط در حضور کود دامی سبب افزایش قابلیت استفاده فسفر در خاک شد. ولی مصرف ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار آن نه تنها به همراه کود دامی بلکه به تنهایی نیز با افزایش قابلیت استفاده فسفر در خاک همراه بود (جدول۳). از سال دوم اجرای طرح به بعد و در شرایط عدم مصرف کود دامی، فسفر

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۳. فسفر قابل استفاده در خاک در تیمارها و در سال‌های مختلف اجرای طرح($mg\ kg^{-1}$)

سال	M_0P_0 (شاهد)	$M_{15}P_0$	$M_{30}P_0$	M_0P_{90}	M_0P_{180}	$M_{15}P_{90}$	$M_{15}P_{180}$	$M_{30}P_{90}$	$M_{30}P_{180}$
اول	۴/۰^{d}*	۵/۹^{cd}	۶/۷^{bcd}	۶/۴ ^{bcd}	۸/۸^{ab}	۸/۴^{abc}	۱۰/۵^{a}	۹/۲^{ab}	۱۰/۱^{a}
دوم	۲/۸^{c}	۲/۸^{c}	۳/۰^{c}	۳/۵^{bc}	۳/۷^{bc}	۴/۱^{bc}	۵/۴^{b}	۷/۶ ^{a}	۷/۸ ^{a}
سوم	۲/۹^{f}	۳/۹^{def}	۴/۵^{cd}	۳/۱^{ef}	۳/۵ ^{def}	۴/۴^{cde}	۵/۳^{c}	۶/۶^{b}	۸/۸ ^{a}
چهارم	۱/۶^{e}	۳/۶^{d}	۴/۸ ^{c}	۱/۶ ^{e}	۱/۸ ^{e}	۴/۱^{cd}	۴/۸^{c}	۶/۵ ^{b}	۹/۰ ^{a}

*: میانگین‌هایی که در هر ردیف دارای حروف مشترک می‌باشند، از نظر آزمون دانکن در سطح ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

باقی‌مانده از سال اول، تأثیر معنی‌داری بر افزایش قابلیت استفاده فسفر در خاک نداشت.

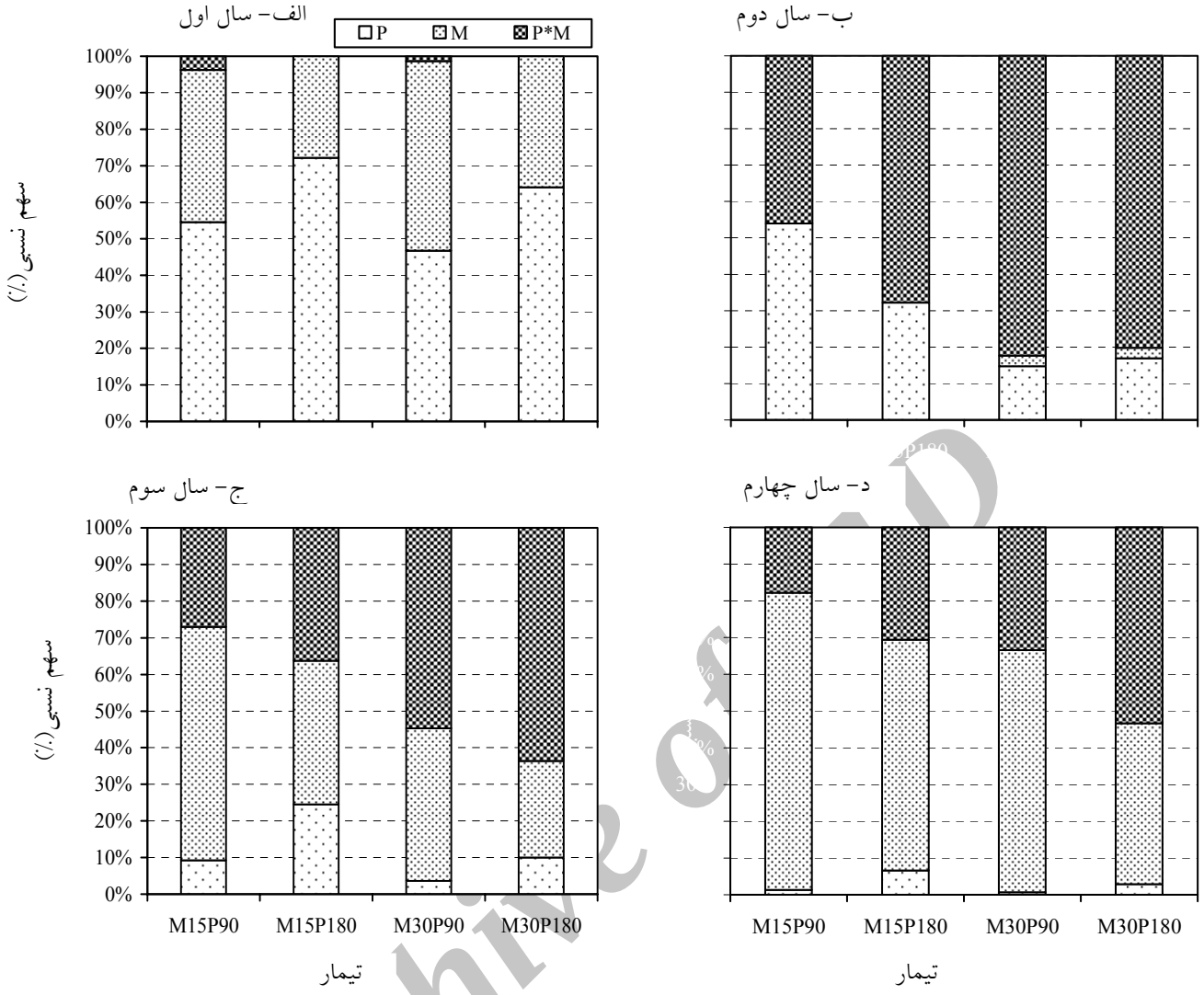
مصرف کود دامی به تنهایی هرچند در برخی سال‌ها تاحدی سبب افزایش قابلیت استفاده فسفر در خاک نسبت به تیمار شاهد شد. اما کاربرد این کود در حضور فسفر باقی‌مانده، در تمامی سال‌های اجرای طرح به طور قابل ملاحظه‌ای سبب افزایش قابلیت استفاده این عنصر غذایی در خاک نسبت به تیمار شاهد شد. در این راستا میزان تأثیر ۳۰ تن در هکتار کود دامی و به خصوص در حضور فسفر باقی‌مانده از سطح ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار شدیدتر بود (جدول۳).

بررسی سهم اجزای مختلف در افزایش قابلیت استفاده فسفر در خاک در تیمارهای مصرف توأم کود دامی و فسفر نسبت به تیمار شاهد نشان داد که در سال اول اجرای طرح حدود ۴۷ تا۷۲ درصد از این افزایش ناشی از تأثیر مستقیم فسفر مصرفی و مابقی ناشی از کود دامی به تنهایی بوده است (نمودار۱ – الف). لازم به توضیح است که سهم فسفر به تنهایی در افزایش قابلیت استفاده فسفر در خاک نشان‌دهنده و ناشی از فسفر آزاد شده از کود فسفره مصرفی می‌باشد. سهم کود دامی به تنهایی نیز نشان‌دهنده و ناشی از میزان فسفر موجود در ساختار کود دامی و یا فسفر بومی بازیابی شده توسط کود دامی است.

از سال دوم اجرای طرح به بعد تأثیر مستقیم فسفر مصرفی بر افزایش فراهمی فسفر در خاک به مرور زمان کاهش یافت. به طوری که در سال دوم اجرای طرح حدود ۱۵ تا ۵۴ درصد، در سال سوم ۴ تا ۲۵ درصد و در سال چهارم یک تا ۷ درصد از این افزایش ناشی از اثر مستقیم فسفر مصرفی اولیه بود (نمودار۱– ب، ج و د). کاهش شدید در فراهمی فسفر معدنی مصرفی با گذشت زمان در برخی مطالعات گزارش شده است (۱۴). عدم تأثیر مستقیم فسفر مصرفی بر فراهمی فسفر در خاک از سال دوم به بعد را می‌توان به آهکی بودن خاک محل اجرای طرح و تبدیل شکل‌های فسفر قابل استفاده به ترکیبات کم محلول آن مانند دی کلسیم فسفات (۱۵ و ۲۶)، اکتا کلسیم فسفات(۳۶)، تری کلسیم فسفات و نهایتاً آپاتیت (۲۳ و ۳۰) و نیز تبدیل فسفر از فرم $H_2PO_4^-$ به HPO_4^{2-} در شرایط pH بالا که قابلیت جذب آن ۱۰٪ کاهش می‌یابد (۳) نسبت داد. حلاج نیا و همکاران (۱) نشان دادند که بازیافت فسفر در ابتدای مصرف کود فسفره زیاد بوده و با گذشت زمان به شدت کاهش می‌یابد. تأثیر مستقیم فسفر مصرفی بر افزایش قابلیت استفاده فسفر در خاک در سال اول اجرای طرح را می‌توان به حلالیت زیاد فسفر معدنی نسبت داد (۱).

گرچه فسفر بازیابی شده توسط کود دامی در سال اول اجرای طرح نقش چندانی در افزایش فراهمی فسفر در خاک نداشت اما این بخش از فسفر سهم بسزایی در افزایش فراهمی فسفر در خاک در سال‌های بعدی داشت. به نظر می‌رسد فسفر حاصل از کود فسفره مصرفی به دلیل حلالیت زیاد این کود، نقش اساسی در فراهمی فسفر در خاک در سال اول اجرای طرح داشته و کود دامی مصرفی در این سال از اجرای طرح نسبت به سال‌های بعد تأثیر آنچنانی در افزایش

Archive of SID
www.SID.ir



نمودار۱. سهم نسبی فسفر(P)، کود دامی(M) و فسفر بازیابی شده توسط کود دامی(P*M) در افزایش قابلیت استفاده فسفر در خاک در تیمارهای مختلف مصرف توأم کود دامی و فسفر نسبت به تیمار شاهد- در سال های مختلف اجرای طرح.

بیش از پیش قابلیت استفاده فسفر در خاک و یا به عبارت دیگر بازیابی آن نداشته است. لازم به ذکر است کـه منظـور از فـسفر بازیابی شده توسط کود دامـی بخـشی از فـسفر مـصرفی اولیـه می‌باشد که توسط کود دامی به فرم قابل استفاده در آمده اسـت. کاهش موضعی pH خاک به دلیل تولید اسیدهای آلی و معـدنی (۲۹)، ایجـاد ترکیبـات فـسفات‌هـای آلـی (۳۶) و نیـز تولیـد آنیون‌های آلی و در نتیجه رقابت آن با یون‌های فـسفات جـذب شده روی سطوح ذرات خاک (۲۷) از مهم‌تـرین مکـانیزم‌هـای مؤثر مواد آلی در بازیابی فسفر باقی‌مانده گزارش شده است.

در تیمارهای مختلف مصرف توأم کـود دامـی و فـسفر، در سال دوم اجرای طرح حدود ۴۶ تا۸۲ درصد، در سال سـوم ۲۷ تا ۶۴ درصد و در سال چهارم ۱۸ تـا ۵۳ درصـد از افـزایش در قابلیت استفاده فسفر در خاک نسبت بـه تیمـار شـاهد ناشـی از تأثیر کود دامی بر بازیابی فسفر باقی‌مانده بود (نمودار۱- ب، ج و د). هرچند سهم فسفر بازیابی شده در سال دوم اجرای طـرح بیش از سال‌های بعد بود ولی این بخش از فسفر حتی در سـال چهارم نیز در افزایش فراهمی فسفر در خاک مؤثر بـوده اسـت. البته شدت این تأثیر به مقادیر فسفر مصرفی اولیه و سطوح کود

Archive of SID
www.SID.ir

دامی بستگی داشت(نمودار۱).

تأثیر بیشتر ماده آلی در بازیابی فسفر باقی‌مانده در سال دوم نسبت به سال‌های بعد را می‌توان به نوع ترکیبات فسفات‌های کلسیم ایجاد شده نسبت داد. به نحوی که با گذشت زمان ترکیبات نامحلول تر تشکیل و بازیابی آن مشکل‌تر می‌شود(۱۰، ۲۶ و ۳۶). کول و اولسن(۱۰) گزارش کردند که دی کلسیم فسفات اولین و سریع‌ترین محصول تشکیل شده در خاک‌های آهکی می‌باشد و حضور ماده آلی فعالیت آن را به شدت افزایش می‌دهد. بر اساس این گزارش شکل‌های نامحلول‌تر فسفات‌های کلسیم به مرور زمان تشکیل و میزان تأثیر ماده آلی کاهش می‌یابد. لارسون و ویدسون(۲۳) گزارش کردند که ماده آلی تشکیل آپاتیت را به میزان ۱۰ درصد کاهش داده و حتی قادر به جداسازی فسفر از بلورهای تازه تشکیل شده آپاتیت می‌باشد. لابوسکی و لمب(۲۲) نشان دادند که در صورت کاربرد کودهای حیوانی فراهمی فسفر طی ۹ ماه خوابانیدن تغییر چندانی نمی‌کند.

عملکرد محصول نیز تقریباً روندی مشابه قابلیت استفاده فسفر در خاک را طی نمود. در تمامی سال‌های اجرای طرح، عملکرد محصول در تیمارهای مصرف توأم فسفر و کود دامی بیشتر از هرکدام به تنهایی بود. در سال اول اجرای طرح هرچند تیمارهای کاربرد کودهای دامی و فسفر به تنهایی تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر افزایش نسبی عملکرد محصول نسبت به تیمار شاهد داشت اما با توجه به این که تأثیر مصرف توأم این دو کود با هم بسیار بیشتر بود، لذا از نظر آماری این تیمارها همراه با تیمار شاهد در یک گروه قرار گرفتند(جدول۴). از سال دوم اجرای طرح به بعد تأثیر تیمارهای فسفر باقی‌مانده به تنهایی و بخصوص سطح ۹۰ کیلوگرم در هکتار آن بر افزایش عملکرد محصول به مرور زمان کاهش یافت و در اکثر موارد تفاوت معنی داری با تیمار شاهد نداشت. کاربرد کود دامی به تنهایی و بخصوص سطح بالای آن گرچه در تمامی سال‌ها با افزایش معنی دار عملکرد محصول همراه بود اما میزان این تأثیر در حضور فسفر باقی‌مانده بسیار بیشتر بود (جدول۴).

در تیمارهای مصرف توأم کود دامی و فسفر، بررسی سهم اجزاء مختلف در افزایش عملکرد محصول نسبت به تیمار شاهد نشان داد که در سال اول اجرای طرح و در تیمارهای مصرف ۱۸۰ کیلوگرم فسفر در هکتار بخش اعظم افزایش نسبی عملکرد محصول ناشی از اثرات مستقیم فسفر مصرفی بوده است. اما در تیمارهای مصرف ۹۰ کیلوگرم در هکتار فسفر به طور متوسط حدود ۱۷ درصد از این افزایش ناشی از اثر مستقیم فسفر مصرفی بود. در این سطح فسفر و به همراه ۱۵ و یا ۳۰ تن در هکتار کود دامی به ترتیب حدود ۳۴ و ۴۴ درصد از افزایش نسبی عملکرد محصول ناشی از تأثیر کود دامی بر افزایش قابلیت استفاده فسفر مصرفی بود(نمودار۲- الف).

در سال دوم اجرای طرح و در تیمارهای فسفر باقی‌مانده از سطح ۹۰ کیلوگرم در هکتار، بخش اعظم افزایش نسبی عملکرد محصول ناشی از فسفر بازیابی شده توسط کود دامی بود. در این تیمارها فسفر باقی‌مانده به تنهایی نقش چندانی در افزایش نسبی عملکرد محصول نداشت. اما در تیمارهای فسفر باقی‌مانده از سطح ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار، فسفر باقی‌مانده به تنهایی نقش مؤثرتری نسبت به فسفر بازیابی شده توسط کود دامی داشت (نمودار ۲ – ب).

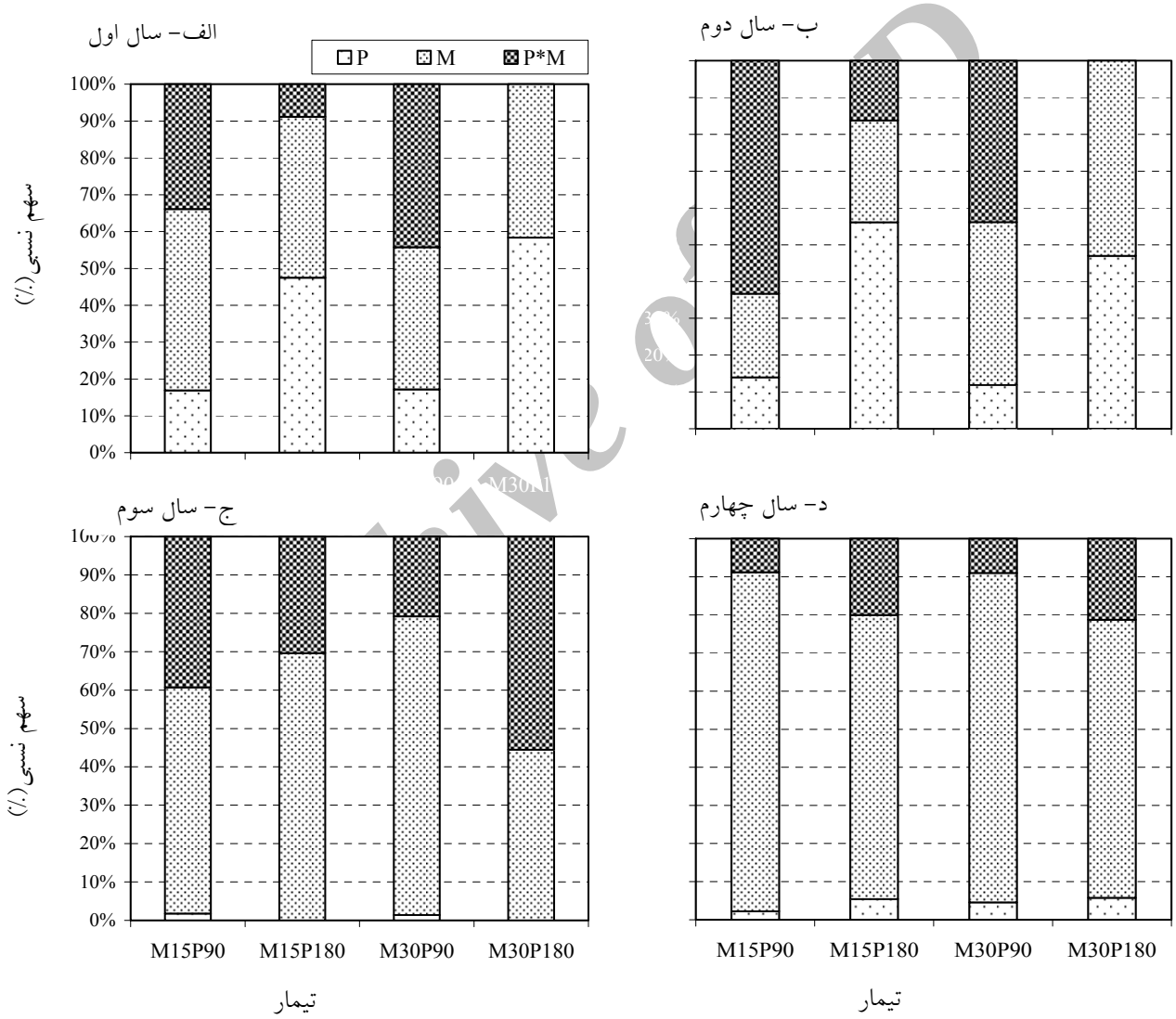
در سال‌های سوم و چهارم اجرای طرح سهم فسفر باقی‌مانده به تنهایی در افزایش عملکرد محصول بسیار ناچیز بود اما فسفر بازیابی شده توسط کود دامی تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر افزایش نسبی عملکرد محصول داشت. در سال سوم اجرای طرح، حدود ۲۱ تا ۵۶ درصد و در سال چهارم نیز حدود ۹ تا۲۱ درصد از افزایش عملکرد محصول ناشی از بازیابی فسفر باقی‌مانده توسط کود دامی بود. حداکثر تأثیر فسفر بازیابی شده توسط کود دامی در افزایش عملکرد محصول در اثر مصرف ۳۰ تن در هکتار کود دامی در شرایط مصرف اولیه ۱۸۰ کیلوگرم فسفر در هکتار دیده شد(نمودار ۲ – ج و د). نتایج حاصله از مطالعات بیلی و همکاران (۶) نیز نشان داد که در شرایط وجود مقدار زیاد ماده آلی در خاک، مصرف ۱۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار می‌تواند فسفر مورد نیاز گندم را در یک تناوب

www.SID.ir

جدول ۴. عملکرد محصول در تی‌مارها و در سال‌های مختلف اجرای طرح($kg\ ha^{-1}$)

سال	M_0P_0 (شاهد)	$M_{15}P_0$	$M_{30}P_0$	M_0P_{90}	M_0P_{180}	$M_{15}P_{90}$	$M_{15}P_{180}$	$M_{30}P_{90}$	$M_{30}P_{180}$
اول	۱۸۹۲۰ d*	۲۱۸۳۰ bcd	۲۱۱۷۰ cd	۱۹۹۲۰ d	۲۲۰۸۰ bcd	۲۴۸۳۰ ab	۲۵۵۸۰ a	۲۴۷۵۰ ab	۲۳۵۸۰ abc
دوم	۸۷۴ d	۹۸۱ cd	۱۱۲۰ bc	۹۴۰ cd	۱۰۹۲ bc	۱۳۴۷ a	۱۲۶۳ ab	۱۴۳۰ a	۱۲۵۶ ab
سوم	۵۹۷۲ cd	۷۱۱۸ bcd	۷۹۱۷ b	۶۰۰۷ d	۵۷۶۴ d	۷۹۱۷ b	۷۴۱۰ bc	۸۴۷۲ b	۱۰۱۳۹ a
چهارم	۶۵۳۳ e	۲۰۰۸۹ bc	۲۹۰۳۳ a	۱۱۹۹۴ de	۱۶۵۱۸ cd	۲۷۳۸۱ a	۲۵۷۵۹ ab	۲۵۶۱۰ ab	۲۸۹۵۸ a

*: میانگین‌هایی که در هر ردیف دارای حروف مشترک می‌باشند از نظر آزمون دانکن در سطح ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.



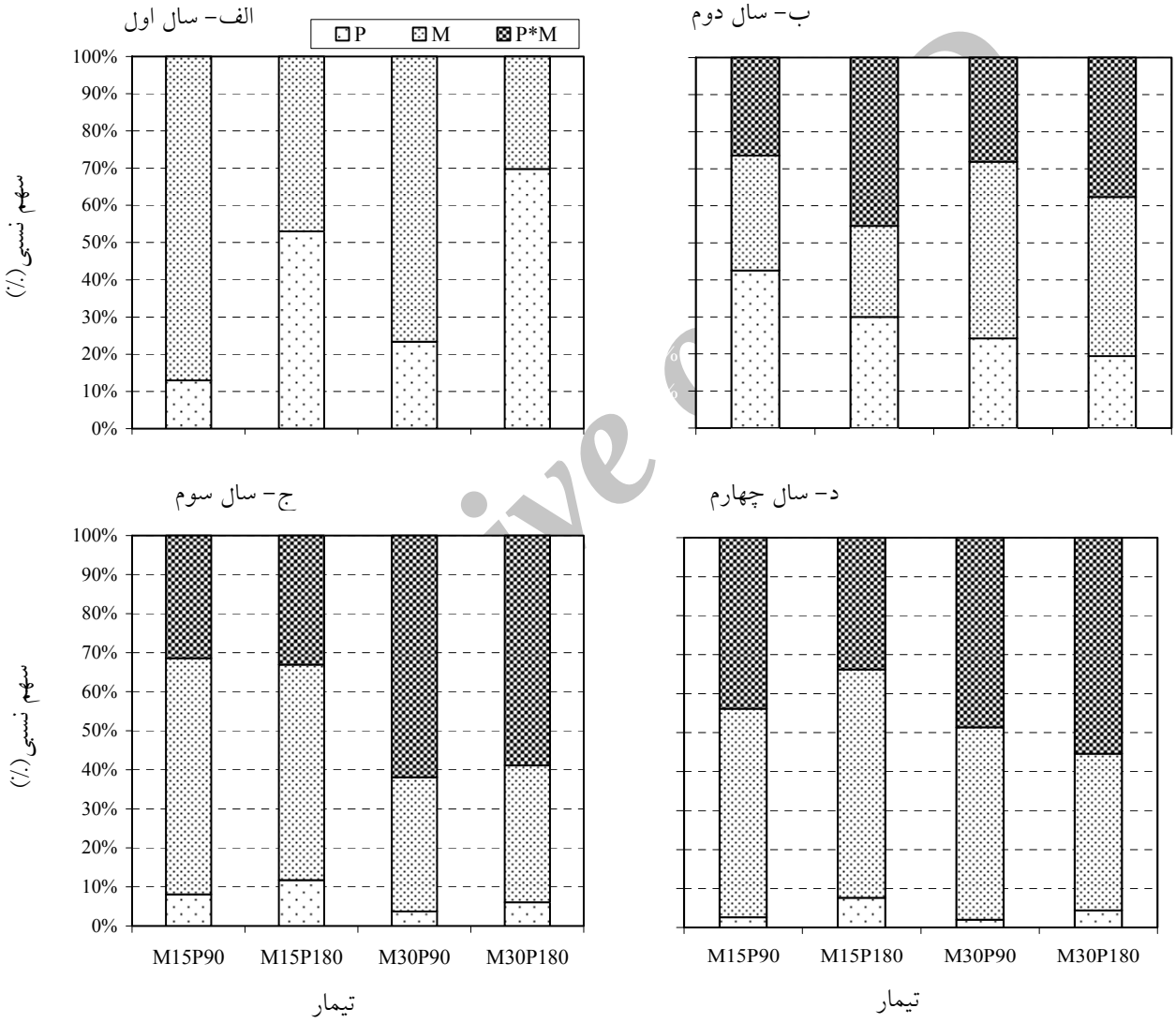
نمودار۲. سهم نسبی فسفر(P)، کود دامی(M) و فسفر بازیابی شده توسط کود دامی(P*M) در افزایش عملکرد محصول در تیمارهای مختلف مصرف توأم کود دامی و فسفر نسبت به تیمار شاهد- در سال‌های مختلف اجرای طرح

www.SID.ir

جدول ۵. غلظت فسفر در گیاه در تیمارها و در سال‌های مختلف اجرای طرح(درصد)

سال	M_0P_0 (شاهد)	$M_{15}P_0$	$M_{30}P_0$	M_0P_{90}	M_0P_{180}	$M_{15}P_{90}$	$M_{15}P_{180}$	$M_{30}P_{90}$	$M_{30}P_{180}$
اول	۰/۲۳[a]	۰/۲۸ [a]	۰/۲۵ [a]	۰/۲۴ [a]	۰/۲۸ [a]	۰/۲۶ [a]	۰/۲۸ [a]	۰/۲۵ [a]	۰/۲۷ [a]
دوم	۰/۲۸ [e]	۰/۳۱ [de]	۰/۳۵ [cd]	۰/۳۲ [de]	۰/۳۱ [de]	۰/۳۷ [cd]	۰/۳۹ [bc]	۰/۴۳ [ab]	۰/۴۵ [a]
سوم	۰/۲۰ [d]	۰/۳۳ [c]	۰/۳۶ [bc]	۰/۲۲ [d]	۰/۲۳ [d]	۰/۴۱ [bc]	۰/۴۳ [b]	۰/۶۶ [a]	۰/۶۵ [a]
چهارم	۰/۲۶ [f]	۰/۳۸ [e]	۰/۴۰ [de]	۰/۲۶ [f]	۰/۲۷ [f]	۰/۴۹ [bc]	۰/۴۷ [cd]	۰/۵۵ [ab]	۰/۶۲ [a]

*: میانگین‌هایی که در هر ردیف دارای حروف مشترک می‌باشند از نظر آزمون دانکن در سطح ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.



نمودار۳. سهم نسبی فسفر(P)، کود دامی(M) و فسفر بازیابی شده توسط کود دامی(P*M) در افزایش غلظت فسفر در گیاه در تیمارهای مختلف مصرف توأم کود دامی و فسفر نسبت به تیمار شاهد در سال‌های مختلف اجرای طرح

www.SID.ir

۸ ساله گندم – کتان تأمین نماید. تولید گازکربنیک و اسیدهای آلی و معدنی ناشی از تجزیه مواد آلی و در نتیجه کاهش موضعی پ هاش خاک و افزایش فراهمی فسفر در خاک و نهایتاً تأمین فسفر مورد نیاز گیاه از مهم‌ترین مکانیسم‌های مؤثر ماده آلی در بازیابی فسفر باقی‌مانده گزارش شده است(۲۹).

بررسی روند تغییر غلظت فسفر در برگ‌های گیاهان نشان داد که در سال اول اجرای طرح اعمال تیمارهای مختلف تأثیر معنی‌داری بر این پاسخ گیاهی نداشته است(جدول۵). با توجه به افزایش قابل ملاحظه عملکرد محصول در اثر اعمال تیمارهای مورد نظر، این موضوع را می‌توان به اثر رقت (Dilution effect) نسبت داد(۲۸). از سال دوم اجرای طرح به بعد فسفر باقی‌مانده به تنهایی تأثیر معنی‌داری بر افزایش غلظت فسفر در گیاه نسبت به تیمار شاهد نداشت. هم‌چنین گرچه در برخی موارد کاربرد کود دامی به تنهایی تاحدودی سبب افزایش معنی‌دار غلظت فسفر در گیاه شد اما همانند سایر پاسخ‌های مورد بررسی، حداکثر غلظت فسفر در گیاه نیز در تیمارهای مصرف توأم کود دامی و فسفر(باقی‌مانده) مشاهده شد (جدول۵).

بررسی سهم اجزاء مختلف در افزایش غلظت فسفر در گیاه در تیمارهای مصرف توأم کود دامی و فسفر نشان داد که هرچند در سال اول اجرای طرح اعمال این تیمارها تأثیر معنی داری بر افزایش غلظت فسفر در گیاه نداشته (جدول۵، اما همین افزایش بسیار جزئی نسبت به تیمار شاهد نیز تماماً تحت تأثیر فسفر مصرفی یا کود دامی به تنهایی بوده است (نمودار۳ – الف). همچنان که ملاحظه می‌شود نقش فسفر مصرفی به تنهایی در افزایش غلظت فسفر در گیاه در شرایط مصرف ۱۸۰ کیلوگرم فسفر در هکتار بیشتر از ۹۰ کیلوگرم در هکتار آن بوده است. این نتایج با توجه به نقش مستقیم فسفر مصرفی در افزایش فراهمی فسفر در خاک در سال اول اجرای طرح دور از انتظار نمی باشد.

در سال دوم اجرای طرح، حدود ۲۶ تا ۴۵ درصد از افزایش غلظت فسفر در گیاه ناشی از فسفر بازیابی شده توسط کود دامی بود. هم‌چنین فسفر باقی‌مانده به تنهایی نیز نقش مؤثری در این راستا داشت (نمودار۳ – ب). در سال‌های سوم و چهارم اجرای طرح فسفر باقی‌مانده به تنهایی نقش بسیار جزئی در افزایش غلظت فسفر در گیاه داشت و این افزایش عمدتاً ناشی از تأثیر کود دامی بر افزایش قابلیت استفاده فسفر باقی‌مانده از سال اول اجرای طرح بود. لازم به ذکر است که در این راستا میزان تأثیر سطوح بالای کود دامی و فسفر بیشتر از سطوح پایین آن بوده است(نمودار ۳ – ج و د). روند تأثیر سهم اجزای مختلف در افزایش غلظت فسفر در گیاه تقریباً مشابه تأثیر آنها بر فراهمی فسفر در خاک بوده است.

نتیجه‌گیری

به طور کلی نتایج حاصله گویای این واقعیت است که در صورت عدم مصرف ماده آلی در خاک‌های آهکی با مقدار کم ماده آلی کاربرد حتی مقادیر زیاد کود فسفره حداکثر به مدت یک یا دو سال در افزایش فراهمی فسفر در خاک و تأمین فسفر مورد نیاز گیاه مؤثر بوده و بنابراین مصرف مداوم و هر ساله این کودها را ضروری می‌نماید. اما مصرف مداوم مواد آلی در این خاک‌ها علاوه بر اثرات دیگر آن در بهبود خصوصیات فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی خاک، در بازیابی فسفر مصرفی سال‌های قبل نیز مؤثر بوده و حتی قادر به بازیابی فسفر باقی‌مانده از چهار سال قبل نیز می‌باشد. این امر عدم مصرف یا کاهش در مصرف سالیانه کودهای فسفره را در صورت مصرف مداوم کود دامی نشان می‌دهد. هرچند فسفر موجود در ساختار مواد آلی به عنوان یکی از منابع مهم در افزایش فراهمی فسفر در خاک می‌باشد اما بر اساس نتایج حاصل از اجرای این طرح تأثیر کود دامی بر بازیابی فسفر باقی‌مانده بیش از فسفر موجود در ساختار کود دامی در افزایش فراهمی فسفر در خاک و تأمین فسفر مورد نیاز گیاه مؤثر است. نکته قابل توجه دیگر این است که در هنگام توصیه کود فسفره بر اساس آزمون خاک بایستی میزان مصرف کودهای دامی را نیز در نظر گرفت.

Archive of SID

www.SID.ir

منابع مورد استفاده

۱. حلاج نیا، ا.، غ. حق نیا، ا. فتوت و ر. خراسانی. ۱۳۸۵. تأثیر ماده آلی بر فراهمی فسفر در خاک‌های آهکی. مجله علوم و فنون کشاورزی ۱۰(۴):۱۲۱ – ۱۳۲.

۲. رامشنی، خ. ۱۳۶۴. مطالعات تفضیلی خاک‌شناسی و طبقه‌بندی اراضی ایستگاه تحقیقات کشاورزی برازجان (بنداروز)، استان بوشهر. مؤسسه تحقیقات خاک و آب، خاک‌شناسی و حاصلخیزی خاک استان بوشهر. نشریه فنی شماره ۱.

۳. نوربخش، ف. و م. کریمیان اقبال (مترجمین). ۱۳۸۰. *حاصلخیزی خاک*. انتشارات غزل، اصفهان.

۴. ولی زاده، م. و م. مقدم. ۱۳۷۵. *طرح‌های آزمایشی در کشاورزی*. انتشارات پریور، تهران.

5. Afif, E., A. Matar and J. Torrent. 1993. Availability of phosphate applied to calcareous soils of West Asia and North Africa. Soil Sci. Soc. Am. J. 57:756-760.
6. Baily, L.D., E.D. Spratt, D.W.L. Read, F.G. Warder and W.S.Ferguson. 1977. Residual effects of phosphorus fertilizer. 2. For wheat and flux grown on chernosomic soil in monitoba . Can. J. Soil Sci. 57: 263- 270.
7. Barrow, N. J. 1985. Reaction of onions and cations with variable – charge soils. Adv. Agron. 38: 183 – 230.
8. Bar – Yosef, B. and B. Akiri. 1978. Sodium bicarbonate extractin to stimate nitrogen, phosphorus and potassium availability in soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 319 – 323.
9. Bruce, R. C. 1980. Availability of residual phosphorus fertilizer in two soils of coastal lowland, south east of Queensland. Trop. Grassl. 14: 6-13.
10. Cole, C. V., S. R. Olsen.1959. Phosphorus solubility in calcareous soils. 1- Dicalcium phosphate activities in equilibrium solutions. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 23: 116-118.
11. Delgado, A., A. Madrid, S. Kassem, L. Andreu and M. C. Campillo. 2002. Phosphorus fertilizer recovery from calcareous soils amended with humic and fulvic acids. Plant and Soil 245:277-286.
12. Fixen, P. E. and A. E. Ludwick. 1982. Residual available phosphorus in near – neutral and alkaline soils : Persistence and quantitative estimation. Soil Sci. Soc. Am. J. 46: 335- 338.
13. Gee, G. W. and J. W. Bauder. 1982. Hydrometer method. PP.383-411. *In*: A. Klute (Ed.), Methods of Soil Analysis: Physical Properties. Part 1, 2nd ed., Agron Monogr. No.9. ASA and SSSA, Madison, WI,
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. Hagin, J. and A. Hadas. 1962. solubility of calcium phosphate in calcreous soils. Nature 193: 1211-1215.
16. Hagin, J. and E. Shmueli. 1960. Determination of available nutrients and fertilizer requirements of winter tomatoes in the Jordan valley. Ktavim 10: 43- 52.
17. Hagin, J. and J. Berkovitch. 1961. Effeciency of phosphatic fertilizers varying in their water solubility. Can. J. Soil Sci. 41:68-81.
18. Harter, R. D. 1969. Phosphorus adsorption sites in soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 33: 6030 – 6032.
19. Hunter , A. S. , E. N. Hoffman and J. A. Yungen. 1995. Residual effects of phosphorus fertilizers on an eastern oregen soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 25: 218 – 221.
20. Inskeep, W. P. and J. C. Silvertooth. 1998. Inhibition of hydroxy apatite precipitation in the presence of fulvic, humic and tannic acids. Soil Sci. Soc. Am. J. 52:941-946.
21. Knudsen, D., G.A. Peterson and P.F. Pratt. 1982. Lithium, sodium and potassium. Methods of soil analysis: Chemical and microbiological properties. PP.225-246. Part 2, 2nd ed., Agron. Monogr. No.9. *In*: A. L. Page (Eds.), ASA and SSSA, Madison, WI.
22. 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.
23. Larsen, S. and A. E. Widdowon. 1970. Evidence of dicalcium phosphate precipitation in a calcareous soil. J. Soil Sci. 21(2) : 364 – 367.
24. Lean, E. O. 1982. Soil pH and lime requirement. Methods of soil analysis: Chemical and microbiological properties. PP.199-224. *In*: A. L. Page (Eds.), Part 2, 2nd ed., Agron. Monogr. No.9. ASA and SSSA, Madison, WI.
25. Lindsay, W.L. and W.A. Norvell. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 421-428.
26. Lindsy, W.L. and H.F. Stephenson. 1959. Nature of the reaction of monocalcium phosphate in soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 23: 440- 445.
27. Lopes – Hernandez, D., G. Siegert and J. V. Rodringen. 1986. Competitive adsorption of phosphate with malat and oxalate by tropical soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 50: 1460 – 1462.

Archive of SID
www.SID.ir

28. Marschner, H. 1989. Mineral Nutrition of Higher Plants. 3rd ed., Academic Press, Londan, England.
29. Mc George, W. T. 1945. Factors influencing the availability of native soil phosphate and phosphate fertilizers in Arizona soils. Ariz. Agr. Expt. Sta. Tech. Bull. 82: 295 – 331.
30. Murrmann, R.P. and M. Peech. 1968. Reaction of products of exchangable phosphate in limed soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 32:493-496.
31. Olsen, S. R. and L. E. Sommer. 1982. Phosphorus. Methods of soil analysis: Chemical and microbiological properties. PP.403-430. *In*: A. L. Page (Eds.), Part 2, 2nd ed., Agron. Monog. No.9. ASA and SSSA,Madison, WI,
32. Pothulari, J.V., D.A. Witney and D.E. Kissel. 1991. Residual value of fertilizer phosphorus in selected Kansas soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 55: 399- 404.
33. Reddy, D. D., A. Subba Rao, K. Sammi Reddy and P. N. Takkar. 1999. Yield sustainability and phosphorus utilization in soybean–wheat system on Vertisols in response to integrated use of manure and fertilizer phosphorus. Field Crops Res. 62:181-190.
34. Rhoades, J. D. 1982. Soluble salts. Methods of soil analysis: Chemical and microbiological properties. PP.167-179. *In*: A. L. Page(Eds.), Part 2, 2nd ed., Agron. Monogr. No.9. ASA and SSSA, Madison, WI.
35. Richards, L. A. 1969. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Agriculture Handbook No:60.
36. Sharif , M. F. M. Choudhary and A. G. Lortho. 1974. Supperssion of super phosphate – phosphorus fixation by farm yard manure. Soil Sci. Plant Nutr. 20(4): 395 – 401.
37. Soper, R. J. and I. H. M. El- Bagouri. 1964. The effect of soil carbonate level on the availability of added and native phosphorus in some calcareous Monitoba soils. Can. J. Soil Sci. 44:337- 344.
38. Thomas, J. R. 1964. Availability and residual phosphorus as measured by alfaalfa yields, phosphorus uptake and soil analysis. Soil Sci. 98: 78- 84.
39. Toor, G. S. and G. S. Bahl. 1997. Effect of solitary and integrated use of poultry manure and fertilizer phosphorus on the dynamics of P availability in different soils. Bioresour. Technol. 62:25-28
40. Walkley, A. and I. 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. 34:29-38.
41. Whalen, J. K. and C. Chang. 2002. Phosphorus sorption capacities of calcareous soils receiving cattle manure applications for 25 years. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 33:1011-1026.

Archive of SID

www.SID.ir