

محور مقاله: شیمی خاک

بررسی تأثیر اسیدسولفوریک و سولفات آلومینیوم بر ویژگی‌های جذب فسفر در خاک آهکی

شهریار پاشاپور^۱، ابراهیم سپهر^۲ و ندا مرادی^{۳*}^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه^۲ دانشیار گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه^۳ استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

چکیده

به منظور بررسی تأثیر سولفات آلومینیوم و اسیدسولفوریک بر رفتار جذبی فسفر در خاک آهکی، آزمایش انکوباسیون با سه تیمار (شاهد، اسیدسولفوریک و سولفات آلومینیوم) اجرا گردید. برای اجرای آزمایش نمونه خاک با مقدار ۲ درصد اصلاح‌کننده‌ها مخلوط و در دمای ثابت 25 ± 1 درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۲ روز قرار داده شدند. در پایان انکوباسیون مقادیر جذب تعیین شدند و داده‌های حاصل از آزمایش جذب با معادلات لانگمویر، فروندلیچ و تمکین برازش داده شدند و معادله فروندلیچ بهتر برازش یافت. نتایج نشان داد که کاربرد اصلاح‌کننده‌ها سبب کاهش جذب فسفر گردیدند. اسیدسولفوریک و سولفات آلومینیوم حداکثر جذب تک‌لایه‌ای (q_{max}) را در مقایسه با نمونه شاهد ۳۳ و ۲۰ درصد کاهش دادند. حداکثر ظرفیت بافری (MBC) و ظرفیت بافری تعادلی (EBC) نیز بعد از افزودن اسیدسولفوریک و سولفات آلومینیوم به ترتیب ۶۹ و ۳۲ درصد و ۸۵ و ۳۷ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. به‌طور کلی نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که استفاده سولفات آلومینیوم مانند اسید سولفوریک سبب کاهش جذب فسفر در خاک می‌شود که در نتیجه می‌تواند موجب افزایش فراهمی فسفر برای گیاهان شود.

کلمات کلیدی: اصلاح‌کننده، فروندلیچ، فسفر، همدماهای جذب

مقدمه

فسفر یکی از مهم‌ترین عناصر غذایی محدودکننده رشد گیاهان است که کمبود آن در خاک در نتیجه غلظت پائین ارتوفسفات در محلول خاک است که این مهم تا حدودی به دلیل جذب فسفر در خاک اتفاق می‌افتد. پدیده جذب تجمع گونه‌های شیمیایی در حد فاصل بین فاز جامد و محلول است که فراهمی فسفر بومی خاک و فسفر کودی را تعیین می‌نماید (Hadgu و همکاران ۲۰۱۴). حداکثر ظرفیت خاک برای جذب فسفر عمدتاً توسط فاکتورهایی نظیر pH خاک، توزیع اندازه ذرات (بافت خاک)، نوع کانی‌های رسی، نوع و مقدار اکسیدهای آهن و آلومینیوم، مقدار مواد آلی و مقدار کربنات کلسیم تنظیم می‌شود (Hadgu و همکاران ۲۰۱۴) و در واقع ظرفیت جذب فسفر توسط خاک، غلظت آن را در محلول کنترل می‌نماید که به سبب ظرفیت بالای خاک‌های آهکی در جذب فسفر، تحرک این عنصر در خاک در مقایسه با سایر عناصر غذایی پایین بوده و تمام کود فسفر در زمان مصرف مورد استفاده گیاه قرار نمی‌گیرد (میر و همکاران ۱۳۹۴). طی افزودن کودهای فسفره به خاک‌های آهکی یک سری از واکنش‌های تثبیت منجر به کاهش انحلال و دسترسی آن برای گیاه می‌شود (Leytem and Mikkelsen, 2005). فرایندهای جذب سطحی فسفر در غلظت‌های پایین (Tnesi و همکاران ۱۹۹۹) و رسوب آن در غلظت‌های بالاتر توسط کانی‌های کربنات کلسیم، به عنوان سازوکارهای اصلی کاهش فراهمی فسفر در خاک‌های آهکی شناخته شده‌اند (Delgado and Torrent, 2000). در خاک‌های آهکی، اگرچه استفاده از منابع فسفر در ظاهر سریع‌ترین و مطمئن‌ترین راه برای تأمین نیاز فسفر گیاه محسوب می‌شود ولی با توجه به عواملی نظیر کارایی اندک، افزایش قیمت جهانی و وارداتی بودن بخش عمده کودهای شیمیایی و همچنین آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از مصرف این کودها (تجمع کادمیوم در خاک) (Delgado and Torrent., 2000) استفاده از مواد اسیدی‌کننده مانند گوگرد عنصری از راه‌های اقتصادی به منظور بهبود دسترسی مواد غذایی و رشد گیاه در خاک‌های آهکی بشمار می‌رود (Kalbasi و همکاران، ۱۹۸۸).

مشخصه‌های جذب به منظور شناخت جذب و نگهداری فسفر در خاک توسط محققین به طور گسترده مطالعه شده است. کاربرد همدماهای جذب به منظور توصیف رفتار جذبی فسفر در خاک توسط محققین دیگر گزارش شده است. خورشید و همکاران (۱۳۸۷) در مطالعه لجن فاضلاب در خاک‌های

* ایمیل نویسنده مسئول: n.moradi@scu.ac.ir

آهکی استان همدان نشان دادند که استفاده از این تیمار باعث افزایش ۳۷/۶ درصدی فسفر قابل استفاده بوده به طوری که معادله فروندلیچ به خوبی داده‌های جذب را توصیف می‌کرد ولی معادله لانگمویر قادر به توصیف داده‌های جذب فسفر در خاک‌های تیمار شده نبود. Hadgu و همکاران (۲۰۱۴) به منظور مطالعه جذب فسفر از معادلات فروندلیچ و لانگمویر استفاده نمودند و ضریب تبیین ۰/۹۵ تا ۰/۹۹ درصد را برای همه خاک‌ها به دست آوردند. با توجه به اینکه pH بالا عامل کلیدی در ظرفیت بالای خاک‌های آهکی در جذب و تثبیت فسفر محسوب می‌گردد و از سوی دیگر لزوم استفاده از تجهیزات به جهت به حداقل رساندن تأثیرات سوء ناشی از اسیدسولفوریک، این پژوهش به منظور بررسی تأثیر سایر ترکیبات اسیدزا و مقایسه آن با اسیدسولفوریک بر رفتار جذبی فسفر در خاک آهکی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در شرایط انکوباسیون، در سال ۱۳۹۷، در گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه انجام شد. برای انجام این مطالعه یک نمونه خاک آهکی غیر زراعی با مقدار پایین فسفر قابل جذب از سطح خاک (۳۰-۰ سانتیمتر) جمع‌آوری شد. نمونه خاک بعد از هوا خشک کردن از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. سپس برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی با روش‌های معمول و استاندارد اندازه‌گیری شدند. برای اجرای آزمایش جهت بررسی اسیدسولفوریک و سولفات آلومینیم بر رفتار جذبی فسفر، به ۵۰۰ گرم از نمونه خاک هواخشک شده، مقدار ۲ درصد وزنی از ترکیبات گوگردی شامل اسید سولفوریک و سولفات آلومینیوم اضافه گردید و پس از مخلوط شدن، نمونه‌ها در ظروف پلاستیکی منفذدار (جهت تبادل تهویه‌ای) نگهداری شدند. رطوبت نمونه‌ها با افزودن آب مقطر به روش اسپری، در حد ۷۰ درصد ظرفیت مزرعه (مکش ۰/۲۳ بار) تنظیم شد و تا پایان آزمایش به صورت وزنی کنترل گردید. نمونه‌ها به مدت ۲ هفته در شرایط انکوباسیون و در دمای ثابت (۲±۲۵ درجه سلسیوس) نگهداری شدند. پس از پایان انکوباسیون نمونه‌ها هوا خشک شده و آزمایش‌های جذب به روش بیج اندازه‌گیری شدند. به طوری که مقدار ۲/۵ گرم از تیمارها را در لوله‌های آزمایش ریخته و ۲۵ میلی‌لیتر محلول کلرید کلسیم ۰/۰۵ مولار حاوی غلظت‌های فسفر ۰، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر (از منبع KH_2PO_4) بر روی نمونه‌ها ریخته و سوسپانسیون‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد شیک شدند تا به تعادل برسد. غلظت فسفر در محلول با استفاده از روش رنگ سنتزی مولیبدات آمونیوم (Murphy and Riley, 1962) و با دستگاه اسپکتروفتومتری در طول موج ۸۸۰ نانومتر اندازه‌گیری شد و از تفاوت غلظت اولیه و نهایی، مقدار جذب فسفر تعیین گردید. سپس نتایج بر روی معادلات لانگمویر، فروندلیچ و تمکین برازش داده شد. معادلات لانگمویر، فروندلیچ و تمکین گسترده‌ترین مدل‌های مورد استفاده برای توضیح ارتباط بین جذب فلز تعادلی (q_e) و غلظت نهایی (C_e) است. داده‌های آزمایشی با روش بهینه‌سازی حداقل مربعات بر مدل‌های لانگمویر، فروندلیچ و تمکین برازش غیر خطی داده شدند.

جدول ۱. معادلات همدماهای جذب مورد مطالعه

شماره	مدل	معادله
رابطه ۱	معادله لانگمویر:	$q_e = q_{max} \frac{K_L C_e}{(1 + K_L C_e)}$
رابطه ۲	معادله فروندلیچ:	$q_e = K_F C_e^n$
رابطه ۳	معادله تمکین:	$q_e = B \ln K_T + B \ln C_e$

که q_e : مقدار ماده جذب شده بر روی جاذب در حالت تعادل ($mg\ g^{-1}$)، q_{max} : حداکثر ظرفیت جذب توسط جاذب ($mg\ g^{-1}$)، C_e : غلظت تعادلی محلول ($mg\ L^{-1}$)، K_L : ثابت تعادل معادله لانگمویر ($L\ mg^{-1}$)، K_F : ثابت معادله فروندلیچ ($mg^{-1/n}\ L^{1/n}\ g$)، n : پارامتر شدت جذب معادله فروندلیچ، B و K_T ضرایب تمکین معادله تمکین مربوط به ظرفیت و شدت جذب می‌باشند. همچنین با استفاده از همدماهای جذب، شماری از شاخص‌های جذب سطحی و بافری فسفر خاک شامل: ظرفیت بافری حداکثر (MBC)، که از حاصلضرب شدت و حداکثر مقدار جذب محاسبه شد عبارت است از شیب حداکثر معادله لانگمویر؛ ظرفیت بافری استاندارد (SBC)، شیب همدماهای جذب در غلظت ۰/۳ میلی‌گرم فسفر در لیتر (Holford, 1997). ظرفیت بافری تعادلی (EBC)، شیب معادله فروندلیچ در غلظت تعادلی فسفر خاک می‌باشد؛ غلظت تعادلی فسفر (EPC)، محل تلاقی منحنی جذب فسفر با محور X ها به عنوان غلظت تعادلی فسفر نامیده می‌شود که در این غلظت میزان جذب و واجذب برابر است (Pierzynski و همکاران ۲۰۰۵) و

نیاز استاندارد فسفر، مقدار فسفر جذب شده به وسیله خاک در غلظت ۰/۴ میلی گرم فسفر در لیتر محلول خاک از همدماهای جذب لانگمویر و فروندلیچ و تمکین استخراج شد. برای برازش بهتر بین نتایج حاصل از آزمایش و نتایج تخمینی توسط مدل، از اشتباه استاندارد (SE) (رابطه ۴) استفاده شد:

$$SE = \left(\frac{(q_{exp} - q_{mod})^2}{n-2} \right)^{0.5} \quad (4)$$

q_{mod} و q_{exp} به ترتیب مقدار عنصر جذب شده (میلی گرم بر گرم) بر اساس داده‌های حاصل از آزمایش و داده‌های تخمینی حاصل از مدل و n تعداد سری غلظتی می‌باشد. رسم نمودارها و برازش همدماها با نرم افزار Excel نسخه ۲۰۱۳ انجام شد.

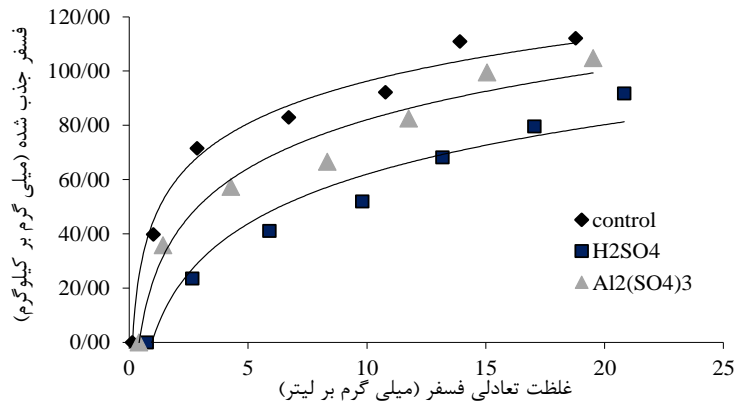
نتایج و بحث

نتایج مربوط به برخی از ویژگی‌های خاک مورد مطالعه در جدول (۲) ارائه شده است. خاک مورد مطالعه دارای بافت لوم رسی، آهکی، pH بالا، دارای مقدار ماده آلی و فسفر قابل استفاده کم بود (جدول ۲).

جدول ۲. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	بافت خاک	pH	EC (dS m ⁻¹)	کربنات کلسیم معادل (%)	کربن آلی (%)	فسفر قابل استفاده (mg kg ⁻¹)
۳۰/۹	۳۳/۹	۳۵/۲	لوم رسی	۸/۰۹	۲/۵۴	۱۶	۱/۱۴	۹/۸۱

مقدار فسفر جذب شده در خاک مورد مطالعه با افزایش غلظت فسفر در محلول تعادلی افزایش یافت، اما کاربرد اسید سولفوریک و سولفات آلومینیوم در خاک سبب کاهش میزان فسفر جذب سطحی شده در مقایسه با خاک شاهد شد (شکل ۱). در این میان تأثیر کاربرد اسید سولفوریک در کاهش جذب فسفر از تیمار سولفات آلومینیوم بیشتر بود. واژه جذب فسفر در اینجا به همه فرآیندهایی اطلاق می‌شود که باعث حذف فسفر از محلول خاک شود (Castro and Torrent, 1998).



شکل ۱. تأثیر اسید سولفوریک و سولفات آلومینیوم بر مقدار جذب فسفر

پارامترهای معادلات همدماهای جذب لانگمویر، فروندلیچ و تمکین برای خاک شاهد و اصلاح شده با اسید سولفوریک و سولفات آلومینیوم در جدول ۳ گزارش شده است. نتایج حاصل از بررسی ضریب تبیین (R^2) معادلات نشان داد که مدل فروندلیچ در تمام تیمارها ($R^2=۰/۹۰-۰/۹۴$) برازش بهتری از مدل لانگمویر ($R^2=۰/۷۶-۰/۹۷$) و تمکین ($R^2=۰/۵۷-۰/۹۴$) بر داده‌های جذب دارد (جدول ۳). علت کارایی کمتر مدل لانگمویر و تمکین در توصیف



جذب فسفر در برخی از خاک‌های تیمار شده مشخص نیست و در این رابطه نیاز به تحقیقات بیشتری است. محققان دیگری نیز نشان دادند که جذب فسفر توسط خاک‌ها با معادله فروندلیچ بهتر توصیف می‌شود (Said and Dakermanji, 1993).

معادله فروندلیچ قدیمی‌ترین معادله مورد استفاده در بررسی جذب فسفر در خاک است که براساس آن، با افزایش پوشش سطح انرژی پیوند به صورت نمایی کاهش می‌یابد (Sibbesen, 1981). ظرفیت جذب فروندلیچ (K_F) که میزان جذب فسفر در غلظت تعادلی یک میلی‌گرم فسفر بر لیتر است با کاربرد اصلاح‌کننده‌های اسیدسولفوریک و سولفات آلومینیوم کاهش یافت که بیانگر افزایش تحرک فسفر و کاهش تعداد مکانهای جذب فسفر در حضور این اصلاح‌کننده‌ها است. ضریب توزیع کوچکتر نشان‌دهنده آن است که بخش بیشتری از فسفر در محلول خاک وجود دارد، اما مقادیر بزرگ k_F نشان‌دهنده تحرک کمتر و جذب بیشتر فسفر در خاک است (Sparks, 2003). همچنین اسید سولفوریک در مقایسه با سولفات آلومینیوم به طور مؤثری مقدار k_F را کاهش داد. پارامتر n نشان‌دهنده شدت جذب است که در اثر افزودن اسید سولفوریک و سولفات آلومینیوم پارامتر n کاهش یافت. پارامتر $1/n$ در در خاک‌های اصلاح شده با اسیدسولفوریک و سولفات آلومینیوم به ترتیب ۱۰۸ و ۳۹ درصد بیشتر از شاهد بود. یکی از موارد کاربرد همدماهای جذب برآورد نیاز کودی خاک‌ها است (صمدی و سپهر، ۱۳۹۲). نیاز استاندارد فسفر محاسبه شده با فروندلیچ (SPR_F) با کاربرد اسید سولفوریک و سولفات آلومینیوم کاهش یافت. پارامترهای برآورد شده معادله لانگمویر در خاک مورد مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است. با استفاده از معادله لانگمویر می‌توان حداکثر جذب فسفر و ثابت انرژی پیوند فسفر جذب شده را برآورد نمود (Sibbesen, 1981). حداکثر جذب فسفر (q_{max}) در اصلاح‌کننده اسید سولفوریک و سولفات آلومینیوم در مقایسه با خاک شاهد به ترتیب ۳۲/۷۲ و ۱۹/۹۱ درصد کاهش یافت. پارامتر وابسته به انرژی پیوند (K_L) نشان‌دهنده قدرت نگهداری فسفر به وسیله ذرات خاک است و هر عاملی که بر جذب فسفر توسط خاک تأثیر گذارد، این پارامتر را نیز تغییر خواهد داد. در اثر کاربرد اسید سولفوریک و سولفات آلومینیوم این پارامتر نیز کاهش نشان داد، که مقدار کاهش این پارامتر در تیمار اسید سولفوریک بیشتر از سولفات آلومینیوم بود و بیانگر کاهش قدرت جذب فسفر توسط خاک است. نیاز استاندارد فسفر در معادله لانگمویر نیز در اثر کاربرد اصلاح‌کننده‌ها کاهش یافت به طوری که در اسید سولفوریک مقدار آن منفی به دست آمد. در معادله تمکین، که جذب سطحی فسفر در خاک به عنوان تابعی از لگاریتم غلظت تعادلی آن در محلول در نظر گرفته می‌شود، انرژی پیوند با افزایش مقدار جذب به طور خطی کاهش می‌یابد (Polyzopoulos و همکاران ۱۹۸۵). پارامتر پیوند تعادلی (K_T) با اضافه کردن اصلاح‌کننده‌ها نسبت به خاک شاهد روند کاهشی پیدا کرد. مقدار پارامتر B (عرض از مبدا) نیز با افزودن اسیدسولفوریک و سولفات آلومینیوم کاهش پیدا کرد که میزان این کاهش در خاک تیمار شده با اسید سولفوریک و سولفات آلومینیوم نسبت به خاک شاهد به ترتیب ۴۹ و ۲۶/۷۸ درصد بود. با کاربرد اسید سولفوریک و سولفات آلومینیوم مقدار فسفری که باید بوسیله خاک مورد مطالعه جذب شود تا غلظت ۰/۴ میلی‌گرم فسفر در لیتر محلول خود ایجاد کند به ترتیب ۶۹/۹۳ و ۲۸/۹۹ درصد کاهش یافت. به طور کلی شیب کاهشی نیاز استاندارد فسفر محاسبه شده در تیمار اسیدسولفوریک از طریق معادله لانگمویر و فروندلیچ بیشتر بوده بطوری که نیاز به محاسبه کودی وجود نداشت.

جدول ۳. تاثیر سولفات آلومینیم و اسیدسولفوریک بر روی پارامترهای جذب لانگمویر، فروندلیچ و تمکین

سولفات آلومینیم	اسیدسولفوریک	شاهد	ضرایب ثابت مدل	مدل ایزوترمی
۱۰/۱۶	۹۱/۷۹	۱۲۱/۸۳	$q_{max} (mg\ kg^{-1})$	لانگمویر
۰/۳۵	۰/۱۸	۰/۴۳	$K_L (L\ mg^{-1})$	
۱۱/۰۱	-۳/۱۸	۲۶/۴۳	SPR _L	
۰/۸۵	۰/۷۶	۰/۹۷	R ²	
۱۲	۱۲	۶/۹۵	SE	
۲۴/۲۳	۸/۷۴	۴۰/۹۴	$K_F (mg^{1-1/n}\ L^{1/n}\ g^{-1})$	فروندلیچ
۰/۵۰	۰/۷۵	۰/۳۶	1/n	
۵/۲۷	-۱۷/۰۴	۳۲/۱۶	SPR _F	
۰/۹۱	۰/۹۰	۰/۹۴	R ²	
۸/۷۴	۷/۷۳	۱۰/۸۷	SE	
۲۶/۳۶	۱۸/۳۶	۳۶	B	تمکین
۱۸/۶۴	۱۵/۷۴	۲۵/۰۲	$K_T (L\ mg^{-1})$	
۹/۲۸	۳/۹۳	۱۳/۰۷	SPR _T	
۰/۷۶	۰/۵۷	۰/۹۶	R ²	
۱۵/۸۹	۱۶/۳۴	۹/۷۶	SE	

از مهمترین کاربردهای همدماهای جذب فسفر تعیین شاخص‌های ظرفیت بافری خاک‌هاست که بیان‌کننده مقاومت خاک در برابر هرگونه از تغییرات است، به خصوص افزایش یا کاهش فسفر در محلول خاک که جذب فسفر توسط گیاه را هم تحت تأثیر قرار می‌دهد. مقدار حداکثر ظرفیت بافری (MBC) که حاصل ضرب ثابت متناسب با انرژی پیوند (K_L) و حداکثر جذب فسفر (q_{max}) در معادله لانگمویر می‌باشد از مقدار ۵۲/۱۷ در خاک شاهد به ۱۶/۳۳ و ۳۵/۳۴ لیتر بر کیلوگرم به ترتیب در خاک تیمار شده با اسید سولفوریک و سولفات آلومینیم کاهش یافت (جدول ۴). با کاهش مقدار MBC فسفر بیشتری در فاز محلول خاک وجود خواهد داشت که پس از خارج شدن فسفر از فاز محلول، جایگزینی فسفر خارج شده در خاک‌های با MBC کمتر با سهولت انجام می‌شود (خورشید و همکاران، ۱۳۸۸). مقدار EBC که شیب معادله فروندلیچ در غلظت فسفر عصاره‌گیری شده با کلسیم کلرید ۰/۰۱ مولار است و سنجشی از توانایی خاک در حفظ شدت فسفر در محلول خاک را نشان می‌دهد (Samadi, 2006)، از ۱۳۵/۳۲ لیتر بر کیلوگرم در خاک شاهد به ۸۵/۸۶ و ۲۰/۳۷ لیتر بر کیلوگرم به ترتیب در خاک تیمار شده با سولفات آلومینیم و اسیدسولفوریک کاهش یافت. از دیگر شاخص‌های پرکاربرد، شاخص ظرفیت بافری استاندارد (SBC) بوده که عبارت است از شیب همدماهای جذب در غلظت ۰/۳ میلی‌گرم فسفر در لیتر (Wang و همکاران ۲۰۱۵). مقدار این پارامتر بعد اضافه کردن تیمارها (اسیدسولفوریک و سولفات آلومینیم) در تمامی معادلات جذب روند کاهشی را نشان داد که نتایج در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۴. تاثیر اسیدسولفوریک و سولفات آلومینیم بر روی شاخص‌های بافری

EBC	SBC _T	SBC _F	SBC _L	MBC	تیمارها
(L kg ⁻¹)					
۱۳۵/۳۲	۸۳/۴۱	۷۸/۴۶	۷۱/۸۴	۵۲/۱۷	خاک شاهد
۲۰/۳۷	۵۲/۴۶	۶۴/۵۳	۶۳/۵۴	۱۶/۳۳	خاک+ اسیدسولفوریک
۸۵/۸۶	۶۲/۱۳	۷۴/۰۱	۶۸/۴۰	۳۵/۳۴	خاک+ سولفات آلومینیم



نتیجه گیری

بطور کلی کاربرد اسیدسولفوریک و سولفات آلومینیوم باعث تغییر در ویژگی های جذب فسفر شد. همچنین این اصلاح کننده ها سبب کاهش در مقادیر نیاز استاندارد فسفر، حداکثر ظرفیت بافری خاک و ظرفیت بافری تعادلی گردیدند. نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد اسیدسولفوریک و سولفات آلومینیوم سبب کاهش چشم گیر جذب فسفر در خاک شدند. بنابراین کاربرد اصلاح کننده های خاک شامل اسیدسولفوریک و سولفات آلومینیوم از طریق رقابت بر سر مکان های جذب و در نتیجه کاهش تثبیت فسفر در خاک، می تواند گامی مهم در کاهش مصرف کودهای فسفاته و در نتیجه کاهش اثرات زیست محیطی شوند.

منابع

- خورشید، م.، حسین پور، ع. و اوستان، ش. ۱۳۸۷. تأثیر لجن فاضلاب بر جذب فسفر و فسفر قابل استفاده در برخی از خاک های آهکی. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۱۲(۴۶)، ۸۰۱-۷۹۱.
- صمدی، ع. و سپهر، ا. ۱۳۹۲. استفاده از هم دماهای جذب فسفر در تعیین نیاز کودی غلات. مجله علوم آب و خاک، ۱۷ (۶۵)، ۱۸۴-۱۷۳.
- Castro, B. and J. Torrent. 1998. Phosphate sorption by calcareous Vertisols and Inceptons as evaluated from extended P-sorption curves. *European Journal of Soil Science*, 49, 661-66.
- Delgado, A. and Torrent, J. 2000. Phosphorus forms and desorption patterns in heavily fertilized calcareous and limed soils. *Soil Science Society of America Journal*, 64, 2031-2037.
- Hadgu, F., Gebrekidan, H., Kibret, K. and Yitafaru, B. 2014. Study of phosphorus adsorption and its relationship with soil properties, analyzed with Langmuir and Freundlich models. *Agriculture, Forestry and Fisheries*, 3(1), 40-51.
- Holford, I. C. R. 1997. Soil phosphorus: its measurement, and its uptake by plants. *Soil Research*, 35(2), 227-240.
- Kalbasi, M., Fisoof, F. and Reai-Nejad, Y. 1988. Effect of sulfur treatment on yield and uptake of Fe, Zn and Mn by corn, sorghum and soybean. *Journal of Plant Nutrition*, 11, 1353-1360.
- Leytem, A. B. and Mikkelsen, R. L. 2005. The Nature of Phosphorus in Calcareous Soils. *Better Crops*, 89 (2), 11-13.
- Murphy, J. A. M. E. S., and John P. Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica chimica acta*, 27, 31-36.
- Pierzynski, Gary M., and Richard, W. McDowell. 2005. Chemistry, cycling, and potential movement of inorganic phosphorus in soils. *Phosphorus: agriculture and the environment phosphorus agric*, pp. 53-86.
- Polyzopoulos, N.A., Keramidias, V.Z. and Kiosse, H. 1985. Phosphate sorption by some Alfisols of Greece as described by commonly used isotherms. *Journal of Soil Science Society of American*, 49(1), 81-84.
- Said, M. B. and Dakermanji, A. 1993. Phosphate adsorption and desorption by calcareous soils of Syria. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 24, 197-210.
- Samadi, A. 2006. Phosphorus Sorption Characteristics in Relation to Soil Properties in Calcareous Soils of Western Azarbaijan Province, Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 8, 251-264.
- Sibbesen, E. 1981. Some new equations to describe phosphate sorption by soils. *Journal of Soil Science*, 32, 67-74.
- Sparks, D. L. 2003. *Environmental soil chemistry*. Academic Press, San Diego.
- Tunesi, S, Poggi, V. and Gessa, C. 1999. Phosphate adsorption and precipitation in calcareous soils: the role of calcium ions in solution and carbonate minerals. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 53, 219-227.
- Wang, Y., Lin, Y., Chiu, P. C., Imhoff, P. T. and Guo, M. 2015. Phosphorus release behaviors of poultry litter biochar as a soil amendment. *Science of the total Environment*, 512, 454-463.



Topic for submission: Soil Chemistry

Effect of Sulphuric Acid and Aluminum Sulfate on adsorption behavior of phosphorus in calcareous soil

Pashapour¹, Sh., Sepehr², E., Moradi^{*3}, N.

¹ MSc Student, Department of Soil Science, Urmia University, Urmia, Iran

² Associate Prof., Department of Soil Science, Urmia University, Urmia, Iran

³ Assistant Prof., Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

Abstract

In order to investigate the effect of aluminum sulfate ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) and sulfuric acid (H_2SO_4) on P adsorption behavior, an incubation experiment carried out with three treatments (control, H_2SO_4 and $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$). Then soil sample mixed with 2% of amendments and were incubated at 25 ± 1 °C for a period of 12 days. At the end of incubation, adsorption data were fitted to Langmuir, Freundlich and Temkin equations, and Freundlich was better fitted than others ($R^2=0.90$ to 0.94). Results indicated that amendments application reduced phosphorus absorption. H_2SO_4 and $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ compared to control decreased Langmuir maximum mono layer adsorption (q_{max}) 33 , 20%, respectively. Also, maximum buffering capacity (MBC), equilibrium buffering capacity (EBC) in H_2SO_4 and $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ compared to control decreased 69 and 32% and 85 and 37%, respectively. Finally, it was concluded that $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ such as H_2SO_4 reduced P sorption due to competition on sorption sites and resulted in increasing P availability to plants.

Keywords: Amendment, Freundlich, Phosphorus, Adsorption isotherm

* Corresponding author, Email: n.moradi@scu.ac.ir