

云南保山西庄河流域森林土壤磷吸附特性

李 明 锐, 沙 丽 清

(中国科学院西双版纳热带植物园昆明分部, 云南 昆明 650223)

摘 要: 本实验测定了云南省保山地区西庄河流域几种森林土壤对磷的等温吸附。实验结果表明, 供试土壤对磷的吸附很的拟合了 Langmuir 等温吸附曲线。土壤母质对磷的吸附影响很大, 磷吸附量依次是页岩> 石灰岩> 砂岩。土壤中铁、铝含量是影响磷吸附量最重要和最直接的因素, 其它土壤特性也通过影响铁、铝的含量或者铁铝氧化物的活性而间接影响土壤的磷吸附量。相关分析表明, 供试土壤磷饱和和吸附量与活性 Fe^{3+} 、 Al^{3+} 、全氧、有机质含量分别呈正相关, 其相关系数分别是 0.6215、0.6853、0.6855 和 0.6819; 而与土壤 pH、 Ca^{2+} 含量、交换性盐基离子含量和盐基离子饱和度呈负相关, 其相关系数分别是 -0.7366、-0.6802、-0.6383 和 -0.8730, 都达到了 1% 的显著水平。

关键词: 磷吸附; 森林土壤; 活性 Fe^{3+} 、 Al^{3+} ; pH; 有机质

中图分类号: S158.3 **文献标识码:** A

云南省地处热带、亚热带地区, 复杂的山地地形和气候条件, 发育了丰富的植被类型, 在不同的气候和植被下分布有不同的土壤类型, 这些土壤的酸性很强, 含有大量的铁、铝离子, 使得这些土壤中有效磷含量非常低, 成为影响植被生长的限制因子。根据沈善敏等^[1]确定的土壤中磷和铁的丰缺指标, 供试土壤的有效磷含量大部分 < $3\mu\text{g/g}$, 处于极度缺磷状态; 铁的含量大部分 > 10cmol/kg , 属于丰铁范围。

有效磷的缺乏将成为限制森林生产力的重要因素, 因此, 研究森林土壤的供磷特性及其主要影响因子, 将为寻求土壤中吸附态磷活化途径、合理施肥提供理论依据, 对提高森林生产力具有重要意义。

1 研究区域概况

西庄河流域位于云南省保山市西北方向 28km 处 ($99^{\circ}6'36''\text{E}$ ~ $12^{\circ}36'\text{E}$, $25^{\circ}12'32''\text{N}$ ~ $16^{\circ}34'\text{N}$), 横断山区南段, 属怒江水系, 受印度洋西南季风气候影响较大, 为亚热带高原山区气候。据保山气象站资料, 年均气温 15.5°C , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温 $4\,904.1^{\circ}\text{C}$, 活动积温 5671.1°C , 年均雨量 966.5mm , 干湿季明显, 雨季降水占全年降水量的 82.4%, 旱季降水占全年降水量的 17.6%, 年相对湿度 75% (2)。流域植被按照海

拔高程区分为两类, < 2 200m, 旱地作物植被和茶园植被类型, 其原生植被为北亚热带松栎混交林区; > 2 200m, 多为云南松、华山松、栎树林等次生林和人工林。流域内分布的主要成土母质为第四纪河流冲积物, 奥陶纪的砂岩、页岩、石英岩、砂质板岩, 寒武纪的石灰岩、砂岩及页岩。红壤、黄棕壤和棕壤是流域内分布的主要土壤类型。

2 实验材料与方法

2.1 供试土壤

供试土壤样品 15 个, 采自云南保山西庄河流域, 海拔高度 1 870m~ 2 800m, 分别代表了红壤、黄棕壤、棕壤三种不同的土壤类型。取表层 0cm~ 20cm 进行分析。供试土壤有关理化性质见表 1。

2.2 实验方法

2.2.1 等温吸附实验

称取过 1mm 筛的风干土 5.00g 于干净的塑料瓶中, 分别准确加入含磷 0、5、10、20、30、40、50、70、90、100、120mg/l 的 KH_2PO_4 溶液 100ml, 盖紧瓶塞后在振荡机上连续振荡 24h。振荡完毕, 往瓶中加入 2ml KCL (0.01mol/l), 摇动片刻, 过滤。吸取滤液用磷钼蓝比色法测滤液中磷的含量, 溶液中磷的含量之差即为土壤吸附的磷量。把初始溶液中磷浓度和单位

收稿日期: 2002- 02- 22。

基金项目: 国家自然科学基金 (40173039)、国际山地中心及云南省自然科学基金 (2001C0064M) 资助; 西双版纳热带植物园生物地球化学实验室及西双版纳热带生态站提供大力帮助, 特此致谢。

作者简介: 李明锐 (1978-), 女 (汉族), 河北人, 在读硕士生。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

表 1 供试土壤的基本性质
Table 1 Some physical and chemical properties of the soil sample

样号	母质	海拔 (m)	土壤 类型	pH	OM (%)	TN (%)	AP ($\mu\text{g/g}$)	Ca ²⁺ (cmol/kg)	Fe ³⁺ (cmol/kg)	Al ³⁺ (cmol/kg)	EB (cmol/kg)	BS (%)
10	页岩	2300	黄棕壤	4.04	15.563	0.610	2.31	0.202	16.839	8.931	0.995	9.26
17	砂岩	2770	棕壤	4.02	14.436	0.621	3.40	2.593	30.018	7.257	5.199	39.96
22	页岩	2800	棕壤	3.97	10.691	0.465	2.51	0.703	28.357	9.154	1.878	16.21
23	石灰岩	2770	棕壤	3.89	12.862	0.536	2.23	4.178	26.057	4.74	5.351	50.92
28	石灰岩	2430	黄棕壤	4.42	8.086	0.379	0.78	0.449	30.850	1.415	1.386	28.67
38	页岩	2120	黄棕壤	4.80	6.434	0.326	0.72	5.594	14.825	0.306	7.187	93.63
42	石灰岩	2020	黄棕壤	5.42	4.354	0.176	0.46	8.692	8.243	0.02	10.222	98.93
44	页岩	1870	红壤	4.69	3.818	0.199	2.53	3.841	11.888	0.143	5.222	93.9
46	砂岩	1870	红壤	5.37	2.184	0.096	0.62	4.150	4.757	0.156	4.862	95.9
50	砂岩	2050	黄棕壤	4.13	10.198	0.349	1.47	0.206	12.632	5.718	0.826	11.17
54	砂岩	2020	黄棕壤	4.17	4.017	0.209	0.56	0.389	10.546	0.372	1.398	24.09
58	砂岩	2010	黄棕壤	4.86	6.091	0.258	1.67	7.024	11.365	0.228	8.26	95.85
61	砂岩	1870	红壤	4.27	1.026	0.076	0.84	0.727	6.425	1.832	2.251	52.53
62	石灰岩	1930	黄棕壤	5.62	3.558	0.81	0.74	6.365	7.332	0.15	7.203	93
97	砂岩	2010	黄棕壤	4.24	5.848	0.263	0.92	0.897	11.470	0.293	1.972	32.83

土壤磷吸附量作图, 即得土壤磷吸附曲线。

2.2.2 土壤其它性质的测定

pH 用 1mol/l KCL 溶液浸提 (1: 2.5), 电极法测定; 有机质 (OM) 采用重铬酸钾容量法; 凯氏氮 (TN) 采用 H₂SO₄-HClO₄ 消解, 扩散法; 有效磷 (AP) 采用 0.03N NH₄F-0.025N NH₄Cl 浸提, 钼锑抗比色法; 交换性 Ca、Mg、K、Na 采用 1N 中性 CH₃COONH₄ 浸提, AAS 测定; 交换性 Ca、Mg、K、Na 之和即为交换性盐基离子 (EB); 盐基饱和度 (BS) 通过阳离子交换量 (离子加和法) 与交换酸 (滴定法) 计算而得; 活性 Fe³⁺、Al³⁺ 采用草酸-草酸铵提取, 原子吸收分光光度计测定。

3 结果与分析

3.1 供试土壤的磷吸附曲线以及与 Langmuir 方程的拟合状况

3.1.1 供试土壤的磷吸附曲线

图 1 是供试土壤对磷的等温吸附曲线, 很好地拟合了 Langmuir 吸附曲线。由图可知, 尽管不同类型土壤对磷的吸持能力不同, 但其曲线形状和变化规律都非常一致: 即随起始浓度增大, 供试土壤的吸磷量不断增加, 起始磷浓度较低时, 曲线很陡, 溶液中的磷大部分被吸附; 随着起始磷浓度增大, 曲线渐趋平缓, 吸磷量增加速度减慢; 至一定浓度后, 曲线变得很平坦, 基本达到饱和状态。这与 Syers 等^[3] 将等温吸附分为吸附能级不同的三个区域是吻合的。这就是所谓的第一区域, 是曲线很陡的部分, 主要是

以共价键吸附; 第二区域是曲线较缓部分, 其吸附键能也在共价键范围内, 但较第一区域的能量低; Syers 把一、二两个区域的吸附统称为化学吸附。而第三区域是曲线平缓部分, 其吸附能低于共价键, 统称为拟物理吸附。

图上显示, 17 号、50 号、54 号、38 号以及 44 号土样在磷标准浓度较高时, 磷吸附量有一下降, 这可能是因为测定时溶液中磷浓度过高, 稀释倍数过大引起的实验误差。

3.1.2 供试土壤磷吸附和 Langmuir 方程拟合状况

据有关研究^[4], Langmuir 方程是在磷的吸附研究中应用最广的等温吸附方程, 它能较好地反映土壤磷素吸附量与土壤溶液中磷素含量的关系, 从数量上描述土壤中的磷素吸附性。Langmuir 方程的直线形式为

$$C/X = 1/(K \cdot X_m) + C/X_m$$

式中 C 为平衡溶液中磷浓度, X 为单位质量土壤对磷的吸附量, X_m 为从 Langmuir 方程计算的土壤对磷素的最大吸附量, K 为常数, 它代表土壤对磷素吸附能的大小。 C/X 和 C 呈直线关系, 其斜率的倒数即为最大吸附量 X_m , 从截距可计算吸附能 K 。

供试土壤样品的磷素吸附状况, 极好的符合 langmuir 方程, 相关系数均达极显著水平, 见表 2。根据方程计算出的土壤磷素最大吸附量 X_m 最大可达 2.49mg/kg, 远远大于黄全能^[4] 研究的福建杉木林下红壤的吸附量 0.701mg/kg。通过计算 P_m/X_m (P_m 为实测得的土壤磷饱和吸附量), 可以看出, 按

公式计算的土壤磷素最大吸附量和实测值很接近。吸附能 K 介于 $0.335\text{kJ/mol}\sim 1.87\text{kJ/mol}$ 之间。标准磷素需要量是当土壤溶液中磷素含量达到满足植物的生长需要时, 向土壤中施入的磷的数量。很显

然, 土壤的吸附能 K 值越大, 吸附量 X_m 越大, 标准磷素需要量就越大, 要想满足植物生长的磷素需求, 需要施入的磷肥量也就越大。

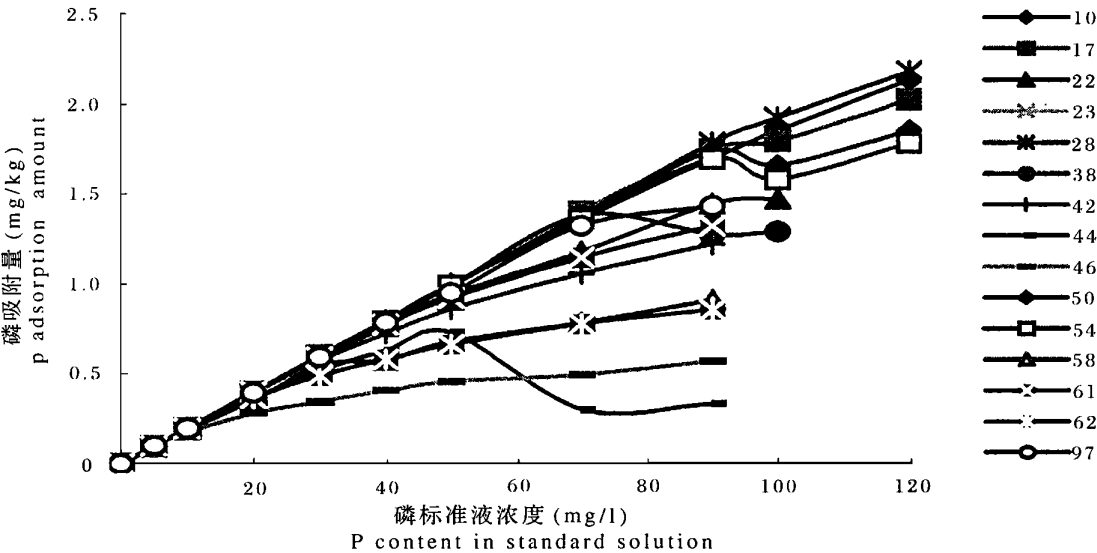


图 1 不同土壤的磷吸附曲线

Fig. 1 Padsorption curves of the different soils

表 2 供试土壤 Langmuir 吸附方程及其相关参数

Table 2 the Langmuir equation and the relative parameters of the soils

样品	Langmuir equation $C/X = 1/(K \cdot X_m) + C/X_m$	相关系数 r	吸附能 K (kJ/mol)	标准磷素 需要量 (mg/kg)	P_m (mg/kg)	X_m (mg/kg)	P_m/X_m
10	$C/X = 0.4376 + 0.4647C$	0.9939	1.063	2.142	2.12	2.15	0.986
17	$C/X = 0.3996 + 0.4893C$	0.9974	1.443	2.035	1.734	2.04	0.850
22	$C/X = 0.5952 + 0.4639C$	0.9919	0.778	2.142	1.734	2.16	0.803
23	$C/X = 1.1344 + 0.6571C$	0.9964	0.58	1.509	1.43	1.52	0.941
28	$C/X = 0.6551 + 0.403C$	0.9825	0.613	2.472	1.909	2.49	0.767
38	$C/X = 1.2602 + 0.8281C$	0.9938	0.657	1.198	1.26	1.21	1.04
42	$C/X = 1.2602 + 0.8248C$	0.9927	0.656	1.203	1.206	2.21	0.997
44	$C/X = 1.8282 + 1.3163C$	0.9914	0.72	0.754	6.721	1.76	0.949
46	$C/X = 9.7845 + 1.7605C$	0.9897	0.179	0.553	0.483	1.57	0.847
50	$C/X = 0.3173 + 0.5489C$	0.9984	1.732	1.817	1.72	0.82	0.945
54	$C/X = 0.3089 + 0.5775C$	0.9977	1.871	1.727	1.68	0.73	0.971
58	$C/X = 3.7787 + 1.1034C$	0.9898	0.292	0.891	0.571	1.91	0.627
61	$C/X = 0.6147 + 0.7666C$	0.9959	1.247	1.299	1.308	1.304	1.003
62	$C/X = 3.4707 + 1.1685C$	0.9925	0.335	0.843	0.84	0.86	0.977
97	$C/X = 0.5348 + 0.68C$	0.9978	1.272	1.465	1.31	1.47	0.891

3.2 土壤母质对磷吸附量的影响

为了探讨母质对磷吸附量的影响, 选取了页岩、石灰岩、砂岩三种质上发育的土壤进行的吸附实验。

研究表明, 土壤母质对磷吸附量也有较大影响。如图 2, 不同母质发育的土壤磷吸附量顺序是页岩>石灰岩>砂岩。从图上可以看出, 起始溶液中的 P

浓度很小时, 三种土壤对磷的吸附量几乎一样大, 当起始磷浓度增加时, 砂岩发育的土壤很快就在磷浓度为 30mg/l 时趋于饱和吸附量 (P_m), 石灰岩母质上发育的土壤大约在 90mg/l 时达到饱和吸附量, 它的 P_m 是砂岩母质上形成的土壤的 3 倍, 而页岩母质上发育的土壤在图中还看不出饱和的趋势。

溶液中磷有很大一部分被土壤中的粘粒所聚结吸附。母质正是通过对发育形成的土壤中粘粒含量的影响而影响磷吸附量。页岩和石灰岩母质上发育的土壤, 粘粒含量较高, 所以吸附量大。砂岩发衣形成的土壤, 砂粒含量高, 粘粒含量少, 所以磷吸附量较小。

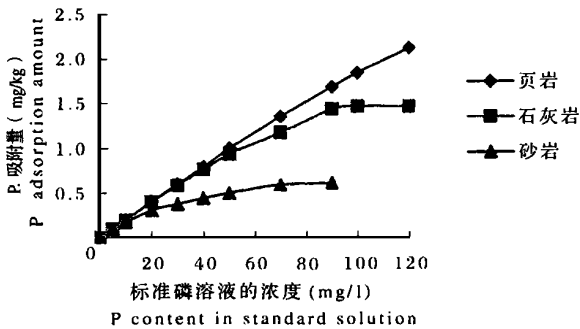


图 2 不同母质发育的森林土壤的磷吸附曲线

Fig.2 P adsorption curves in forest soils derived from different parent materials

3.3 森林植被下土壤对磷的吸附与土壤理化特性之间的关系

3.3.1 磷吸附与 pH 的关系

实验结果表明, 保山西庄河流域森林土壤对磷的吸附量与 pH 呈负相关, 相关系数为 -0.7366, 达到了 1% 的显著水平。

酸性土壤磷的吸附有三个去向: 一是被物理性粘粒吸附; 二是被土壤胶体表面的静电荷吸附; 三是被活性铁、铝所沉降。保山地区土壤磷吸附量与 pH 具有显著相关性, 这是因为随着 pH 降低, R_2O_3 等阳性胶体就增多, 土壤胶体上的阳电荷点也愈多, 对磷酸根的吸附也愈强。矿物表面的天上电荷增加, 产生了对磷酸根较强的吸持力^[6]。土壤溶液中的 OH⁻ 减少, 抑制了 OH⁻ 和 $H_2PO_4^-$ 一竞争吸附位点^[6], 增强了土壤溶液活性铁、铝的含量, 形成了极难溶的磷酸盐沉淀, 从而增强了磷的吸附^[7]。

从表 1 可以看出, 供试土壤的 pH 为 3.89~5.62, 呈强酸性, 所以对磷的吸附量很大, 使有效磷的含量很低, 一般在 0.5 μ g/g~1.0 μ g/g 之间, 最低到

0.46 μ g/g。

3.3.2 磷吸附与 OM 和 TN 的关系

实验结果表明, OM 和 TN 含量与森林土壤吸附量呈正相关, 相关系数分别是 0.6819 和 0.6855, 达到了 1% 的显著水平(表 3)。

土壤中的氮 95% 是以有机态存在, 以有机酸大分子形式存在于有机质中, 所以 OM 和 TN 对土壤磷吸附量的影响是一致的。热带和亚热带地区, 植物生长迅速, 生物量高, 以枯枝落叶等形式归还土壤的凋落物数量大。有机质分解过程中形成的有机酸释放出 H^+ , 可使矿物表面基团质子化而有利于磷的吸附^[8]。同时, 有机质可以和土壤粘粒形成良好的有机-无机胶体, 增加了对磷的吸附位点^[8]。也有研究表明^[9], 酸性土壤中, 无定型铁铝氧化物对磷的吸附高于晶型铁铝氧化物, 而有机质可以抑制无定型铁铝氧化物形成良好的结晶。相关分析表明, OM 含量与 Fe^{3+} 、 Al^{3+} 的相关系数分别为 0.7500 和 0.8516, 都达到了 1% 的显著水平, 说明了供试土壤有机质含量有助于提高其中的活性铁铝的含量, 从而增加了磷的吸附。还有报道表明^[10], 有机质在分解过程中可以活化土壤中结晶质铁铝氧化物, 使其表面活性增大, 吸磷能力增强。

也有研究^[1]表明, 有机质可以降低磷的吸附。有机阴离子可参与竞争土壤固相表面的专性吸附点, 从而降低对磷的吸附固定; 有机质中游离有机酸可与土壤中难溶性磷酸盐的金属离子产生络合反应从而释放其中的磷; 有机质可在铁铝氧化物表面形成包蔽, 可减少对磷的固定吸附, 以及有机质中的游离酸对土壤中难溶性磷酸盐的溶解作用等。至于有机质对土壤磷吸附是促进还是抑制, 取决于两种影响机制的强弱。显然, 本实验中有有机质对供试土壤磷吸附的影响是促进作用强于抑制作用。

3.3.3 磷吸附量与 Fe^{3+} 、 Al^{3+} 、 Ca^{2+} 的含量和 EB、BS 的关系(表 3)

实验结果表明, 土壤磷吸附量与 Fe^{3+} 、 Al^{3+} 含量呈显著正相关, 相关系数分别是 0.6215、0.6853, 而与 Ca^{2+} 的含量、EB 和 BS 则呈现负相关, 相关系数分别是 -0.6802、-0.6383 和 -0.8730。

Fe^{3+} 和 Al^{3+} 是酸性土壤中磷吸附量的最直接也是最重要的影响因子^[10]。研究表明, 酸性土壤中, 铁和铝以无定型水合氧化物的形式存在, 它们以表面的 OH 基团和酸根负离子交换, 把磷酸根吸附

表 3 供试土壤 P 饱和吸附量和土壤基本性质之间的相关系数(r)

Table 3 The correlation coefficients among pm and chemical properties of soils tested

	pH	Fe ³⁺ ($\mu\text{mol/kg}$)	Al ³⁺ ($\mu\text{mol/kg}$)	OM (%)	TN (%)	EB(%)	BS (%)	AP ($\mu\text{g/g}$)
P 饱和吸附量	- 0.7366 [*]	0.6215 [*]	- 0.6802 ^{**}	0.6819 [*]	0.6855 [*]	- 0.6383 [*]	- 0.8730 ^{**}	0.2645
pH	- 0.6112 [*]	- 0.6804 ^{**}	0.7674 ^{**}	- 0.6457 [*]	- 0.6556 [*]	0.7063 ^{**}	0.8391 ^{**}	- 0.5535 [*]
Fe ³⁺		0.6212 [*]	- 0.3311	0.7500 [*]	0.8189 ^{**}	- 0.2613	- 0.5035	0.6067 [*]
Al ³⁺			- 0.4994	0.8516 ^{**}	0.8186 ^{**}	- 0.4577	- 0.6973 ^{**}	0.7240 [*]
Ca ²⁺				- 0.3142	- 0.3079	0.9872 ^{**}	0.8908 ^{**}	- 0.1971
OM					0.9847 ^{**}	- 0.2715	- 0.5955 [*]	0.7215 [*]
TN						- 0.2516	- 0.5691 [*]	0.7348 [*]
EB							0.8763 ^{**}	- 0.1157
BS								- 0.2970

注: * * * 为 0.1% 显著水平, $r_{0.001(13)} = 0.7603$; * * 为 1% 显著水平, $r_{0.01(13)} = 0.641$; * 为 5% 显著水平, $r_{0.05(13)} = 0.514$ 。

在氧化物胶体表面^[10], 无定型氧化铁凝胶具有巨大的吸磷能力, 即使只有少量的游离氧化铁含量也能控制吸磷体系^[2]。在低 pH 时, 被吸附的磷进一步转化成极难溶的铁、铝化合物。据报道^[11], 在酸性土壤中, 草酸盐提取的磷(P_{ox}) 占土壤全磷的 93%, 而且 P_{ox} 被认为是被无定型铁铝氧化物吸附的磷量, 可见被铁铝吸附的磷占被吸附磷的绝大部分。供试土壤的活性铁铝含量很高(表 1), 活性铁在 4.757 $\mu\text{mol/kg}$ ~ 30.018 $\mu\text{mol/kg}$ 之间, 活性铝在 0.02 $\mu\text{mol/kg}$ ~ 9.154 $\mu\text{mol/kg}$ 之间。所以, 酸性土壤中大量铁铝氧化物的存在, 是其有效磷含量极低的直接原因。

在酸性条件下, Ca²⁺ 与 PO₄³⁻ 形成易溶解的磷酸盐化合物。所以酸性条件下, Ca²⁺ 不直接影响土壤溶液中磷的有效性, 而是通过影响 Fe³⁺、Al³⁺ 含量而影响磷吸附量。土壤中 Ca²⁺ 含量高时, 活性铁铝的含量就很低; 当 Ca²⁺ 含量低时, 活性铁铝的含量就高。如图 3, 10、17、22 号样品中的 Ca²⁺ 含量很低, 相应的 Fe³⁺ 和 Al³⁺ 含量之和就高; 而 38、42、44 号样品中的 Ca²⁺ 含量略有升高时, Fe³⁺ 和 Al³⁺ 含量之和就明显降低。

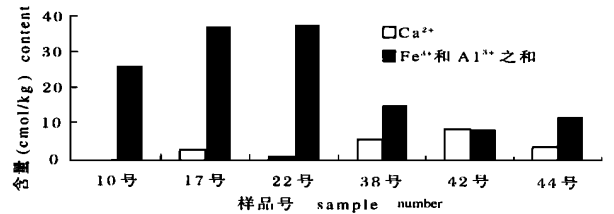


图 3 供试土壤中 Ca²⁺ 与 Fe³⁺、Al³⁺ 含量之和的比较
Fig. 3 The comparison between the content of Ca²⁺ and the sum of Fe³⁺ and Al³⁺ in the tested soils

土壤中 Ca²⁺ 含量高低, 首先与其母质有关, 石灰岩母质上发育的土壤钙含量高, 如 42 号土样; 其次与所采样品所处的水热条件有关, 水热条件良好, 矿物强烈破坏, 铁铝游离出来, 钙被淋洗掉; 而水热条件不好时, 淋溶过程弱, 钙离子大量聚集, 铁铝仍被矿物结合, 含量就很低。同时 Ca²⁺ 含量高, 土壤的酸度就弱, H⁺ 含量就少, pH 升高。相关分析表明, Ca²⁺ 和 pH 有显著相关性, 相关系数达 0.7649。Ca²⁺ 和 pH 有显著相关性, 相关系数达 0.7649。Ca²⁺ 和 EB、BS 的相关系数分别达 0.9872 和 0.8768, 从而 Ca²⁺ 和其它土壤特性一起影响了土壤对磷的吸附。

交换性盐基离子(EB)和盐基饱和度(BS)也间接影响土壤对磷的吸附。表 1 表明, EB 和 BS 越高, 溶液中盐基离子越丰富, 铁铝含量就越低, 从而降低了土壤对磷的吸附。

4 结论

通过研究得出以下主要结论:

1. 保山西庄河流域森林土壤对磷的吸附曲线很好的拟合了 Langmuir 方程;
2. 供试土壤对磷的吸附量较大, P_m 最大达 2.12mg/kg;
3. 母质对土壤磷吸附量有显著影响, 依次是页岩> 石灰岩> 砂岩;
4. 对土壤磷吸附量最直接的也是最重要的影响因素是活化铁、铝的含量, 活化被氧化铁铝化合物吸附的磷是提高森林植被下土壤中有效磷含量的重要途径;
5. 土壤其它理化特性如 pH、OM、TN、EB、BS、Ca²⁺ 的含量也与土壤磷吸附量有显著相关关系, 它

们都是通过影响土壤中活性铁铝的含量而影响土壤磷吸附量。

参考文献:

[1] 沈善敏, 等. 中国土壤肥力[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.
[2] 高富, 沙丽清, 许建初. 西庄河流域土地利用方工对土壤肥力影响的研究[J]. 土壤与环境, 2000, 9(3): 223~ 226.
[3] 曹志洪, 李庆逵. 黄士性土壤对磷的吸附与解吸[J]. 土壤学报, 1988, 25(3): 218~ 226.
[4] 张鼎华, 叶章发, 罗水发. 福建山地红壤磷酸离子($H_2PO_4^-$) 吸附与解吸的初步研究[J]. 山地学报, 2001, 19(1): 19~ 24.
[5] 黄全能. 福建杉木红壤的磷素吸附与解吸特性[J]. 南京林业大学学报, 1998, 22(2): 39~ 44.
[6] 赵小齐, 鲁如坤. 施用石灰对土壤吸附磷的影响[J]. 土壤, 1991,

23(2): 82~ 86.
[7] 王光火, 朱祖祥. pH 对土壤吸持磷酸根的影响及其原因[J]. 土壤学报, 1991, 28(1): 1~ 6.
[8] 夏汉平, 高子勤. 磷酸盐在白浆土中的吸附与解吸特性[J]. 土壤学报, 1993, 30(2): 146~ 157.
[9] BORGGAARD O. K., JORGENSEN S. S., & MQBERG J. P. Influence of organic matter on the phosphate adsorption by aluminium and iron oxides in sandy soils[J]. *Journal of Soil Science*, 1990, 41: 443~ 449.
[10] 张杨珠, 蒋有利, 黄运湘 等. 稻作制、有机肥和地下水位对红壤性水稻土壤的吸持作用的影响[J]. 土壤学报, 1998, (3): 328~ 337.
[11] FREESE D., VAN DERZEE S. E. A. T. M. & VANRIEMSDIJK W. H. Comparison of different models for phosphate sorption as a function of the iron and aluminium oxides of soils[J]. *Journal of Soil Science*, 1992, 43: 729~ 738.

A Primary Study on Phosphorus Adsorption of Forest Soils
in Xizhang Watershed, Baoshan Yunnan

LI Ming-ruì and SHA Li-qing

(Kunming Section, Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, CAS, Kunming, Yunnan 650223 PRC)

Abstract: Soils sampled from the forests in Xizhuang Watershed, Baoshan, Yunnan Province were studied for phosphorus adsorption in this paper. The experiment results showed that P adsorption of the soils could be simulated well by Langmuir equation. Soil parent materials had a significant effect on P adsorption. The P adsorption of the soils derived from limestone was higher than the soils derived from sandstone, but lower than the soils derived from shale. Fe^{3+} and Al^{3+} in the soils were the most important factors which influenced the P adsorption capability, and the other soil characteristics influenced P adsorption by influencing the content or the activity of Fe^{3+} and Al^{3+} . Highly significant positive correlation was found between P adsorption capability and the content of Fe^{3+} , Al^{3+} , total nitrogen, organic matter in the soils, and the correlation coefficients were 0.6215, 0.6853 and 0.6819, respectively; while negative correlation was found between P adsorption capability and the content of Ca^{2+} , pH, exchangeable base, base saturation, and the correlation coefficients were - 0.7366, - 0.6802, 0.6383 and - 0.8730, respectively, all at a significance level of 1%.

Key words: phosphorus adsorption; forest soil; active Fe^{3+} , Al^{3+} ; pH; organic matter