

不同母质发育的红壤性水稻土磷素吸附特性 及其影响因素的研究*

宋春丽^{1,2} 樊剑波¹ 何园球^{1†} 赵汝东^{1,2} 屠人凤^{1,2}

(1 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

(2 中国科学院研究生院, 北京 100049)

PHOSPHOROUS ADSORPTION CHARACTERISTICS OF RED PADDY SOILS DERIVED FROM DIFFERENT PARENT MATERIALS AND THEIR INFLUENCING FACTORS

Song Chunli^{1,2} Fan Jianbo¹ He Yuanqiu^{1†} Zhao Rudong^{1,2} Tu Renfeng^{1,2}

(1 Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

(2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

关键词 红壤性水稻土; 母质; 磷素吸附; 影响因素
中图分类号 S158.5 **文献标识码** A

磷是作物生长发育所必需的营养元素, 植物吸收利用的是土壤中的有效磷, 土壤有效磷的消长取决于土壤磷素的收支状况, 而其消长速度则与土壤性质有关^[1]。不同质地土壤固相表面的吸附能力不同, 因而影响了土壤溶渡中磷的浓度^[2]。为确保土壤满足作物吸收所必需的最低磷溶液浓度, 就需要对不同土壤固相的吸附性能进行研究。而水稻土常年以淹水和风干状态交替存在, 因此水稻土中的磷素动力学特性具有许多与旱地土壤不同的特征^[3]。20世纪80年代以来国内对不同类型土壤中的磷吸附与解吸特性及其影响因素开展了较多的研究^[4-6], 并且对水稻土中磷的化学行为及其有效性产生了新的认识^[7], 水稻低产的主要原因之一即土壤的供磷能力低以及磷肥的不合理施用^[8]。我国南方地区多为酸性或强酸性的红壤, 施入土壤中的磷肥大多被固定, 使得磷素成为制约该地区种植业发展的限制因素, 因此研究南方红壤磷素的吸附特性对提高红壤地区农田磷素管理水平、降低磷肥施用的环境风险具有重要意义。本研究以三种不同

母质发育的红壤性水稻土为研究对象, 探讨不同母质发育红壤对磷吸附特性的差异及其影响因素, 为合理施肥、提高磷肥利用率提供理论依据和实践指导。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

花岗岩母质的红壤采自江西省南昌市湾里区(北纬 28°40', 东经 115°55'), 红黏土和红砂岩母质的红壤采自江西省鹰潭市余江县(北纬 28°15', 东经 116°55')。该地区属亚热带季风气候区, 雨热同季, 光照充足, 无霜期长, 年日照时数 1 809 h, 年均温 17.6℃, ≥ 10℃ 积温 6 500℃, 年降雨量 1 766 mm。地形以丘陵为主, 土地利用方式以水田、旱地、林地为主, 主要耕作制度为双季稻作^[9]。

1.2 供试土壤

因该地区主要为丘陵区, 水稻多以梯田形式种植, 从高到低进行采样即可得到由低到高不同肥力水平的土样。每种母质发育的红壤分别选择 5 个不

* 国家自然科学基金项目(30971869)、国家自然种子基金重点项目(U1033004), 和国家科技支撑计划课题(2009BADC6B04)资助

† 通讯作者, E-mail: yqhe@issas.ac.cn

作者简介: 宋春丽(1985—), 女, 山东菏泽人, 硕士研究生, 主要研究方向为我国中亚热带地区红壤磷素问题。E-mail: soongchunli@gmail.com

收稿日期: 2011-04-20; 收到修改稿日期: 2011-07-14

同肥力水平的采样点,当土壤湿度适宜(即在土不黏锹,经接触而不易变形)时,利用五点法采集耕层(深度为 0~20 cm)土壤样本 15 个。将所采土壤样品带回室内风干,去除植物残体及其他侵入体后分别过 10 目和 100 目筛,用于土壤磷素吸附特性及基本理化性质的测定。

1.3 土壤基本理化性质

土壤基本理化性质均采用常规测定方法,土壤 pH:蒸馏水提取-电位法(水土质量比为 2.5:1);土壤有机质:重铬酸钾容量-外加热法;全磷:氟酸-高

氯酸消煮法;有效磷:Bray I 法提取、钼锑抗显色;活性铁、铝:草酸铵浸提,ICP。各项目测定方法及具体操作过程均参照文献[10]。

表 1 为供试土样的基本理化性质,供试土壤的酸性较强,pH 均低于 5.2,其中 12 个土样 pH 在 5.0 以下;有机质含量为 6.80~39.67 g kg⁻¹;全磷含量 0.16~0.77 g kg⁻¹;有效磷含量也具有明显的等级性(0.77~118.9 mg kg⁻¹),可以较好地代表不同的磷素水平;活性铁、铝含量差别也较大;小于 0.002 mm 的黏粒百分含量为 12.56%~42.50%。

表 1 供试水田土样的基本理化性质

成土母质	土壤编号	pH	有机质 (g kg ⁻¹)	全磷 (g kg ⁻¹)	有效磷 (mg kg ⁻¹)	活性铁 (mg kg ⁻¹)	活性铝 (mg kg ⁻¹)	黏粒 (<0.002 mm) (%)
花岗岩	1	4.78	39.67	0.71	118.9	730	1 260	14.82
	2	4.74	35.83	0.55	50.70	730	1 445	15.95
	3	4.66	35.35	0.50	43.42	745	1 125	12.56
	4	4.73	26.09	0.36	17.00	885	1 020	14.90
	5	4.82	22.04	0.41	5.40	1 750	1 245	23.91
红黏土	1	4.79	38.68	0.67	72.35	1 450	1 505	24.48
	2	4.72	32.84	0.58	21.81	2 585	1 335	32.92
	3	4.88	27.31	0.77	39.60	3 230	1 615	28.56
	4	4.65	21.83	0.55	2.93	3 555	1 715	42.50
	5	4.66	13.36	0.47	0.77	5 605	1 215	35.27
红砂岩	1	4.87	32.88	0.49	67.60	870	1 090	14.99
	2	5.00	20.81	0.21	21.66	795	805	13.13
	3	5.07	18.29	0.44	4.31	2 220	1 730	27.03
	4	4.77	13.63	0.37	26.88	1 510	715	15.31
	5	5.19	6.80	0.16	6.94	795	530	12.84

注:各供试土样肥力水平自 1 至 5 呈递减,下同

1.4 磷素等温吸附试验

称取 2.5 g 土壤样品(过 0.5 mm 筛)放入 100 ml 离心管中,共 8 份。分别向各离心管中准确加入含磷量为 0、3、6、10、15、25、35、50 mg L⁻¹的 0.1 mol L⁻¹CaCl₂工作溶液 50 ml,并加入 3 滴甲苯防止微生物生长,加盖密封后在 25℃ 恒温摇床中振荡 16 h,然后离心 5 min(4 000 r min⁻¹),过滤。吸取滤液适量转入 50 ml 容量瓶中,调节酸度后加显色剂,用钼锑抗比色法测定上清液中的磷含量,即得到平衡溶液磷浓度,然后用差减法计算不同浓度溶液中被吸附的磷量,以平衡液磷浓度为横坐标,吸磷量为纵坐标作不同土壤的磷素等温吸附曲线^[10]。

磷的吸附过程一般用等温吸附方程来描述,常用等温吸附曲线方程包括 Langmuir 和 Freundlich 等经验方程:

Langmuir 方程有几种表达方式,常用的是: $\frac{C}{X} =$

$$\frac{C}{X_m} + \frac{1}{K \times X_m}$$

式中, X 为磷吸附量 (mg kg⁻¹); C 为平衡液磷浓度 (mg kg⁻¹); X_m 为最大吸附量 (mg kg⁻¹); K 为与结合能有关的常数。

Freundlich 方程: $\log X = \log K + \frac{1}{n} \log C$

式中, X 为磷吸附量 (mg kg^{-1}); C 为平衡液磷浓度 (mg kg^{-1}); K 和 n 均为系数。

1.5 数据分析

采用 Excel 2003 和 SPSS 16.0 进行相关数据的统计分析, 用 Origin 8.0 作图。

2 结果与分析

2.1 不同母质发育的水田土壤磷素吸附特征的差异

2.1.1 磷素等温吸附曲线 不同母质发育水田土壤的磷素等温吸附曲线见图 1。所有土壤样品对磷的吸附均表现出相似的趋势: 当初始加入磷时, 土壤对磷的吸附量急剧增加; 当土壤吸附的磷达到一定量时, 随着外源磷的加入土壤对磷的吸附随之增加, 但增幅逐渐变缓。从图 1 中也可以看出虽然不同母质发育土壤对磷的吸附均存在上述两个阶段, 但是不同母质发育土壤及同一母质发育的不同肥力土壤对磷的吸附均存在差异。

2.1.2 磷素吸附参数 用 Langmuir 方程拟合土壤磷素吸附数值, 得出 Langmuir 方程的 R^2 为 0.977 1 ~ 0.995 1, 相关性系数均达到了极显著水平, 说明 Langmuir 方程可以用来描述该地区土壤对磷的吸附特征。由 Langmuir 方程可以得到几个具有重要意

义的土壤磷素吸附参数: 土壤磷吸附亲和力常数 (K), K 值越大, 说明土壤对磷的结合能力越强, 即土壤吸附的磷越难解吸。土壤磷最大吸附量 (X_m), X_m 越大, 表明土壤能够吸附的磷量越大。土壤磷素吸附缓冲容量 ($\text{MBC} = X_m \times K$), 当不同土壤磷吸附量相同时, MBC 值大的土壤吸附的磷较难被作物吸收利用^[11-13]。

由 Langmuir 方程得到的土壤磷素吸附参数见表 2, 不同母质发育土壤的 X_m 、 K 平均值以红黏土最大, 说明红黏土母质发育的土壤不仅吸磷能力最强, 而且其吸附的磷最难解吸。花岗岩母质和红砂岩母质发育土壤的 X_m 值相近, 说明两者吸磷能力相差不多; 但红砂岩土壤的 K 值明显大于花岗岩, 说明红砂岩母质的土壤所吸附的磷较难解吸。在不同地点采集的同一母质发育的不同肥力水平的土壤, 其 X_m 、 K 、 MBC 具有明显的差异, 这可能与当地的气候水文条件及耕作管理和施肥水平有关^[14], 同时土壤对磷的吸附能力不仅受土壤本身质地的影响, 还受土壤有机质、铁铝氧化物含量等其他因素的影响^[15-16]。

不同母质土壤的等温吸附曲线和磷素吸附参数均说明: 土壤对磷的吸附能力并非只受单一因素的影响, 需要进一步分析影响土壤吸磷能力的具体因子。

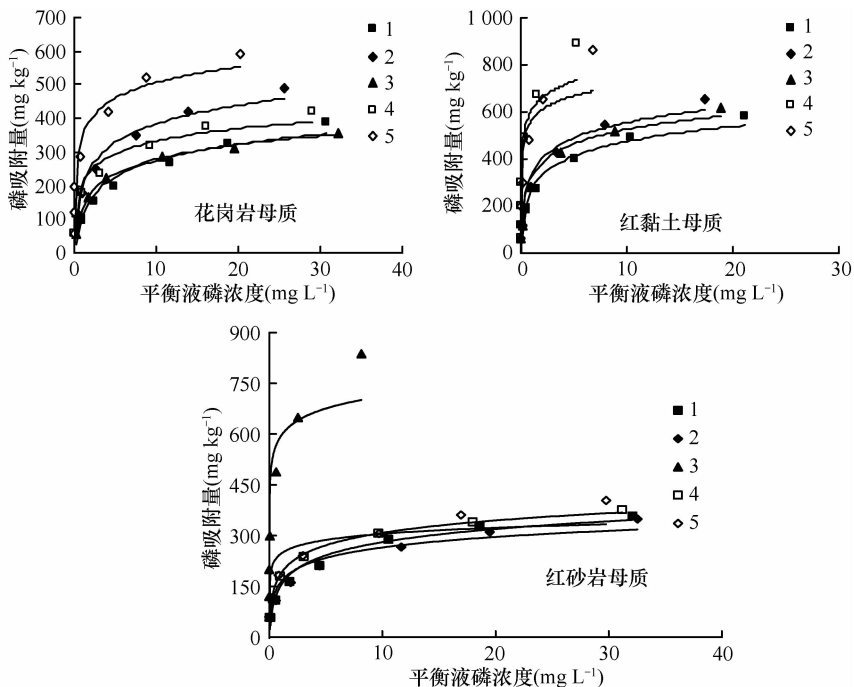


图 1 不同母质发育水田土壤的等温吸附曲线

表 2 由 Langmuir 方程得到的土壤磷素吸附参数

成土母质	X_m (mg kg ⁻¹)		K		MBC	
	范围	平均值	范围	平均值	范围	平均值
花岗岩	370.4 ~ 588.2	462.0	0.25 ~ 1.55	0.68	103.1 ~ 909.1	341.7
红黏土	588.2 ~ 909.1	739.6	0.71 ~ 5.50	2.10	416.7 ~ 5 000	1 750
红砂岩	370.4 ~ 833.3	469.1	0.47 ~ 4.00	1.31	169.5 ~ 3 333	861.4

表 3 磷素吸附参数与土壤理化性质的相关性

吸附参数	pH	有机质	全磷	有效磷	活性铁	活性铝	黏粒
X_m	-0.227	-0.225	0.300	-0.463	0.861 **	0.700 **	0.937 **
K	-0.060	-0.362	0.039	-0.533 *	0.588 *	0.565 *	0.763 **
MBC	-0.108	-0.323	0.078	-0.494	0.614 *	0.584 *	0.781 **

注: * 代表相关性达显著水平, ** 代表相关性达极显著水平

2.2 不同母质发育的水田土壤磷素吸附参数的影响因子分析

本研究对各供试土壤理化性质与相应磷素吸附参数 X_m 、K、MBC 进行相关性分析,结果表明各理化指标与磷素吸附参数的相关性差异明显(表 3)。

关于土壤有效磷含量与土壤磷素吸附参数的关系,前人研究不多,在本研究中,不同母质发育土壤的有效磷含量与吸附参数 K 呈现负相关,而与 X_m 未表现出相关性,表明有效磷含量对土壤的吸磷能力没有影响,但高含量的有效磷有利于土壤吸附磷的解吸。黏粒、活性铝、活性铁含量均与土壤磷吸附参数表现出正相关关系,且与最大吸磷量 X_m 的相关性均达到极显著水平,说明活性铁、铝和黏粒含量越高土壤的吸磷能力越强,并且吸附的磷较难解吸,这与孙权^[17]和李寿田^[18]等的研究结果相同。同时黏粒含量与所有吸附参数的相关性均达到了极显著的水平,且其相关系数在各因素中均为最大,说明黏粒含量对土壤磷素吸附参数的影响最大。表 3 中全磷含量、有机质和 pH 与土壤磷吸附参数未表现出相关性。根据以往的研究可知,有机质在土壤磷吸附中的作用是非常复杂的,一方面有机质分解可以产生有机酸,有机酸释放出的氢离子可使矿物表面基团的质子化而有利于磷的吸附^[19];另一方面有机质产生的有机阴离子又与磷竞争吸附点位,降低磷的吸附量^[16, 20]。所以不同学者得出不同的结论。有关 pH 对土壤吸磷能力的影响也有不同结论^[20-22],pH 对土壤磷吸附的影响与土壤本身的性质有密切关系,土壤本身含有的氢离子(严格来说应该是土壤交换性铝的含量),是一个非常重要的影响因子^[15]。

3 结 论

1) 不同母质发育土壤对磷的吸附特性,红黏土 > 红砂岩 > 花岗岩,土壤质地显著地影响土壤对磷的吸附能力。花岗岩母质发育土壤供磷容量虽小,但供磷强度大;红黏土母质发育土壤则相反,吸磷能力强,吸附的磷不容易解吸,供磷强度小。同一母质发育的不同肥力水平的土壤对磷的吸附能力也存在差异。

2) 影响土壤对磷的吸附能力的因素较多,在本研究中,活性铝、活性铁、黏粒含量与土壤磷素吸附参数成正相关,其中以黏粒含量与土壤磷素吸附参数的相关性最大,均达到极显著水平。有效磷含量与 K 成负相关;土壤的全磷含量、有机质和 pH 与土壤磷吸附参数未表现出相关性。

参 考 文 献

- [1] 李刚华,丁艳锋,杨文祥,等. 江苏省主要土壤的磷肥指数及适宜磷肥用量. 土壤通报, 2005, 36(6): 896—898
- [2] 吕珊兰,杨熙仁,康新茸. 土壤对磷的吸附与解吸及需磷量探讨. 植物营养与肥料学报, 1995, 1(3/4): 29—35
- [3] Ponnampetuma F. The chemistry of submerged soils. Advances in Agronomy, 1972, 24(1): 29—96
- [4] 章永松,林咸永,倪吾钟. 淹水和风干过程对水稻土磷吸附、解吸及有效磷的影响. 中国水稻科学, 1998, 12(1): 40—44
- [5] 娄运生,李忠佩,张桃林. 不同水分状况及施磷量对水稻土中速效磷含量的影响. 土壤, 2005, 37(6): 640—644
- [6] 章明奎,郑顺安,王丽平. 杭嘉湖平原水稻土磷的固定和释放特性研究. 上海农业学报, 2008, 24(2): 9—13
- [7] 张桃林,高超,吴蔚东. 氧化还原条件对土壤磷素固定与释放的影响. 土壤学报, 2002, 39(4): 542—549

- [8] 章永松,林咸永,罗安程,等. 有机肥(物)对土壤中磷的活化作用及机理研究——I. 有机肥(物)对土壤不同形态无机磷的活化作用. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(2): 145—150
- [9] 江西省土壤普查办公室. 江西土壤. 北京:中国农业科技出版社, 1991
- [10] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京:中国农业科技出版社, 1999
- [11] 朱荫渭, Pardini G, Sequi P. 土壤磷酸盐吸持作用的研究. 土壤学报, 1985, 22(2): 127—135
- [12] 张迪,魏自民,李淑芹,等. 生物有机肥对土壤中磷的吸附和解吸特性的影响. 东北农业大学学报, 2005, 36(5): 571—575
- [13] 傅明华,戴承顺. 上海土壤磷的吸附特性及缓冲性能的研究. 土壤学报, 1986, 23(2): 113—123
- [14] 刘淑欣,熊德中. 福建省红壤性水稻土磷素吸附特性与磷肥效应的研究. 土壤学报, 1991, 28(2): 223—227
- [15] 赵晓齐,鲁如坤. 有机肥对土壤磷素吸附的影响. 土壤学报, 1991, 28(1): 7—13
- [16] Sah R, Mikkelsen D. Effects of anaerobic decomposition of organic matter on sorption and transformations of phosphate in drained soils: 1. Effects on phosphate sorption. Soil Science, 1986, 142(5): 267—274
- [17] 孙权,韩秀云,郭晓宁. 宁夏主要土壤的磷酸吸附特征及影响因素. 土壤通报, 2003, 34(5): 418—421
- [18] 李寿田,周健民,王火焰,等. 不同土壤磷的固定特征及磷释放量和释放率的研究. 土壤学报, 2003, 40(6): 908—914
- [19] 夏汉平,高子勤. 磷酸盐在土壤中的竞争吸附与解吸机制. 应用生态学报, 1993, 4(1): 89—93
- [20] 杨芳,何园球,李成亮,等. 不同施肥条件下旱地红壤磷素固定及影响因素的研究. 土壤学报, 2006, 43(2): 267—272
- [21] 黄中子,吴晓芙,赵芳,等. 红壤对磷的吸附特性及其影响因素研究. 中国给水排水, 2009, 25(21): 91—94
- [22] Haynes R. Effects of liming on phosphate availability in acid soils. Plant and Soil, 1982, 68(3): 289—308