

文章编号: 100F 1498(2002) 05 0588 05

杉林红壤的供 P 缓冲性与 P 肥需要量研究

陈金林¹, 吴春林¹, 黄全能²

(1. 南京林业大学资源与环境学院, 江苏 南京 210037; 2. 福建省厦门市园林局, 福建 厦门 361000)

摘要: 采用等温吸附试验方法对福建杉木林下红壤的供 P 缓冲性与 P 肥需要量进行研究。结果表明: 杉林红壤对 P 的吸附作用强、吸附量大, 当土壤加 P 量为 $600 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, P 的吸附量为 $451.2 \sim 550.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 吸附率高达 75.2% ~ 91.8%。土壤 P 的吸附反应自由能 (ΔG) 和最大缓冲容量 (M_b) 是评价土壤供磷缓冲性状的重要参数, 它们与土壤理化性质关系较为密切, 一般与 pH、吸湿水及粘粒含量呈正相关, 而与有机质、有效 P 及全 P 含量呈负相关。根据土壤 P 的吸附和供 P 缓冲性预测土壤需 P 量, 对合理施用 P 肥更具意义。

关键词: 杉木; 红壤; P 肥; 土壤吸附; 供 P 缓冲性

中图分类号: S753 S791.27

文献标识码: A

杉木 (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.) 是我国南方最主要的造林树种之一, 已有研究表明, 土壤 P 的供应状况对杉木生长影响很大^[1, 2]。P 作为植物重要的营养元素, 有其独特的生物地球化学特性。P 是土壤中迁移速度慢、移动距离短的一种元素, 一般情况下, 它不同 K 那样较易淋失, 也不象 N 那样会以气态形式不断损失, 土壤中的全 P 量虽然和 N 相近, 但绝大部分以难溶性或固定性形态存在。通常条件下, 可溶性 P 肥进入土壤后, 易被土壤吸附固定而呈无效状态, 而且随着土壤理化性质的变化, 不同土壤对 P 的吸附与供 P 缓冲性能也有较大差异^[3, 4], 因此, 多年来, 国内外学者对土壤 P 的吸附及供应特性的研究较为重视^[5-10]。迄今为止, 有关这一方面的研究大多侧重于农业土壤^[11-13], 而对丘陵山区森林土壤的研究则相对较少, 为此, 在杉木中心产区选择不同肥力状况的红壤, 进行 P 的吸附特性研究, 了解土壤供 P 缓冲性, 探索应用 P 的吸附状况来预测土壤需 P 量, 为定量指导施用 P 肥进一步提供依据。

1 土样采集及研究方法

调查区选在福建省南部华安县境内, 该县位于 $117^{\circ}16' \sim 117^{\circ}45' \text{ E}$, $24^{\circ}38' \sim 25^{\circ}13' \text{ N}$ 之间。在调查区选择不同生长状况的人工杉木林样地(见表 1)进行土壤调查, 样地海拔 200 ~ 350 m, 土壤均为石英岩风化母质上发育的红壤, 属重壤及轻粘土, 有效土层 60 ~ 90 cm, 土壤密度小于 $1.35 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。在每块样地的上、中、下坡挖掘土壤剖面, 将颜色较深的 0 ~ 20 cm 样品作为上层土样, 20 ~ 60 cm 则为下层土样。土样风干处理后, 吸湿水含量用烘干法测定, 粘粒含量用甲种比重计法, pH 值用电位法, 有机质用 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 氧化-外加加热法, 全 P 用钼锑抗比色法, 有效 P 用 $0.03 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{NH}_4\text{F} - 0.025 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{HCl}$ 浸提后钼锑抗比色法^[14]。各样地土壤

收稿日期: 2001-11-19

基金项目: 2000 ~ 2002 年国家自然科学基金资助项目“南方森林土壤磷的吸附与生化激活机制”(39970605)

作者简介: 陈金林(1962), 男, 江苏昆山人, 副教授, 博士后。

基本性质(上、中、下3个剖面的平均值)见表1。

表1 各样地土壤基本理化性质

土样 代号	杉木年 龄/a	平均树 高/m	平均胸 径/cm	土样深 度/cm	吸湿 水/%	有机质/ (g·kg ⁻¹)	有效P/ (mg·kg ⁻¹)	全P/ (g·kg ⁻¹)	粘粒/ %	pH	
										H ₂ O	KCl
1-1	38	21.0	26.0	0 20	3.41	52.40	1.23	0.21	13.5	4.43	3.90
1-2				20 60	4.55	32.11	0.62	0.17	18.8	4.50	4.00
2-1	14	12.0	16.0	0 20	3.52	43.13	1.02	0.16	14.7	4.78	4.21
2-2				20 60	4.66	21.35	0.50	0.12	19.3	4.98	4.46
3-1	34	11.5	14.5	0 20	3.91	23.04	0.59	0.11	16.2	4.84	4.23
3-2				20 60	4.93	12.37	0.28	0.13	21.0	5.04	4.60

P的吸附测定:称取过2mm筛的风干土样5.00g5份,置于5个100mL塑料离心管中,分别加入用KH₂PO₄配制的P质量浓度为10、20、30、40、60mg·kg⁻¹的0.02mol·L⁻¹KCl溶液50mL(pH=7.0),使土样加P量分别为100、200、300、400、600mg·kg⁻¹,重复2次,各加两滴氯仿以抑制微生物活动,加盖,在25℃恒温条件下间歇振荡,吸附平衡后,测定离心液中P的浓度,以加入P量与滤液中的P量之差计算土壤P的吸附量(mg·kg⁻¹)。

2 结果与分析

2.1 杉木林红壤P的吸附性状

水溶性P化合物在酸性土壤中的吸附固定作用极为普遍,从而使P肥有效性降低。由杉木林下红壤P的吸附状况(见表2)可以看出,土壤对P的吸附量大,P吸附率高达75.2%~98.0%。随着P加入量的增加,土壤对P的吸附量也不断增加,而吸附率则有所下降。这是由于加P量较小时,土壤吸附表面的饱和度低,与P的结合力大,吸附率高;而加P量增加后,使土壤吸附表面的饱和度提高,吸P力减弱,导致吸附率下降。因此,当施P量较少时,P大多被

表2 不同红壤P的吸附状况

土层/ cm	加P量/ (mg·kg ⁻¹)	1号土样		2号土样		3号土样	
		吸附量/ (mg·kg ⁻¹)	吸附率/ %	吸附量/ (mg·kg ⁻¹)	吸附率/ %	吸附量/ (mg·kg ⁻¹)	吸附率/ %
0 20	100	94.3	94.3	94.0	94.0	95.0	95.0
	200	182.2	91.1	184.0	92.0	185.8	92.9
	300	262.5	87.5	266.1	88.7	273.0	91.0
	400	331.2	82.8	333.2	83.3	356.4	89.1
	600	451.2	75.2	456.0	76.0	507.0	84.5
20 60	100	96.0	96.0	96.5	96.5	98.0	98.0
	200	188.6	94.3	190.6	95.3	193.2	96.6
	300	279.3	93.1	280.5	93.5	286.8	95.6
	400	361.2	90.3	366.0	91.5	373.2	93.3
	600	521.4	86.9	523.8	87.3	550.8	91.8

土壤吸附, P 肥效果较差, 随着施 P 量的增加, 土壤溶液中 P 的浓度提高, 有利于林木生长。此外, 不同深度土壤对 P 的吸附状况也有差异, 下层土壤的 P 吸附量及吸附率均高于表层土壤, 说明下层土壤的 P 吸附作用强于表层, 这可能与其土壤有机质和粘粒含量等性质的差异有关。

2.2 杉林红壤的供磷缓冲性能及其与土壤性质的关系

由于 Langmuir 方程能较好地描述土壤中 P 的等温吸附状况^[15], 该方程的直线形式为: $C/X = 1/KX_m + 1/X_m \cdot C$, 其中 C 为平衡溶液中 P 浓度, X 为单位质量土壤对 P 的吸附量, X_m 是土壤对 P 的最大吸附量, K 为土壤对 P 的吸附能。 C/X 和 C 呈直线关系, 其斜率的倒数即为最大吸附量 X_m , 从截距可算得吸附能 K , 再由 X_m/K 求得最大缓冲容量 $Mb = X_m \cdot K$ 和 P 吸附反应自由能 $\Delta G = RT \ln K$ (式中 R 为气体常数, T 为绝对温度)^[16]。一般情况下, Mb 值越大则土壤 P 的缓冲性能越强, ΔG 值越负, 则吸附能力越差, 即缓冲能力越差。由 Mb 、 ΔG (表 3) 可以看出, 杉木林红壤的最大缓冲容量 Mb 变化在 152.92—406.11 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间, 平均为 234.97 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; ΔG 分布在 -1.353—-3.307 $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$; 下层土壤的缓冲能力较表层强。 Mb 和 ΔG 间呈高度正相关, $r = 0.975^{**}$, 这表明 Mb 和 ΔG 在预测杉木林土壤供磷缓冲能力方面具有良好的一致性。与土壤性质间的直线回归分析说明(表 4), 最大缓冲容量 Mb 与土壤吸湿水和粘粒含量呈显著正相关(r 分别为 0.870 和 0.911), 与有机质、有效 P 呈显著负相关(r 分别为 -0.816 和 -0.839); ΔG 与 Mb 相似, 与吸湿水、粘粒含量呈显著正相关, 与有机质、有效 P、全 P 呈负相关, 与 pH 呈中等正相关。可见, Mb 和 ΔG 都受土壤特性的影响, 目前, 它们对于杉木林土壤是否具有更重要的生产指导意义, 尚待进一步验证。

表 3 不同红壤的 P 吸附自由能和最大缓冲量

土样号	1-1	1-2	2-1	2-2	3-1	3-2	平均
最大缓冲容量 $Mb / (\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$	152.92	232.83	161.61	272.52	183.84	406.11	234.97
自由能 $\Delta G / (\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1})$	-3.144	-2.723	-3.032	-2.263	-3.307	-1.353	-2.637
Mb 和 ΔG 的相关关系	$Mb = 571.112 + 127.471 \Delta G$					$r = 0.975^{**}$	

注: ** : $r_{0.01}(4) = 0.917$

表 4 土壤性质与 P 吸附特性间的关系

吸附参数	土壤理化性质						
	吸湿水	有机质	有效 P	全 P	pH(H ₂ O)	pH(KCl)	粘粒
最大缓冲容量 $Mb / (\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$	0.870*	-0.816*	-0.839*	-0.460	0.659	0.799	0.911*
自由能 $\Delta G / (\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1})$	0.836*	-0.699	-0.725	-0.339	0.628	0.782	0.854*

注: * : $r_{0.05}(4) = 0.811$

2.3 杉林红壤的 P 肥需要量预测

作物吸 P 状况与土壤 P 的供应特性密切相关, 土壤供应 P 水平的高低, 不仅取决于土壤中的有效 P 含量, 同时也取决于与 P 相互关联的土壤性质。利用 P 的吸附状况来预测土壤需 P 量是鉴于不同土壤对 P 不同能力吸附的动力学角度出发, 通过施肥调节吸附与解吸的动力平衡过程, 使土壤达到植物吸收的最佳 P 储备水平和最适宜的土壤平衡溶液 P 浓度, 求出达到这一浓度时的 P 的加入量, 对确定 P 肥施用量具有更重要的意义。当土壤溶液中 P 的质量浓度维持在 0.2 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, 对大多数植物将提供合适的 P 素水平^[17], 根据这一浓度, 对杉木林土壤 P 的需要量进行预测。回归分析(表 5)表明, P 加入量(Y)与平衡溶液中 P 浓度(C)间存在

显著的直线相关,相关系数达0.97以上。要使平衡溶液P的质量浓度 $C=0.2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,则土壤需要加P量 $132.36\sim 147.35\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,平均为 $141.12\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,若每公顷按 $2.25\times 10^6\text{ kg}$ 土计算,则相当于每公顷施P $297.81\sim 331.54\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,平均施P $317.52\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,折合含P $50\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的普通过磷酸钙 $6350\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,若用含P $40\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的钙镁磷肥,则需 $7938\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。值得注意的是实验条件和实际存在一定差异,同样达到平衡溶液浓度 $0.2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时,实验条件下的水土比为10:1,而实际条件下的土壤含水量一般为 $250\sim 350\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,相差至少达30倍,把以上P量缩小30倍左右,那么,杉木林土壤约需过磷酸钙 $212\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,或钙镁磷肥 $265\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,由此作为定量施用P肥的重要依据,应能较好地满足杉木生长需求。因此,森林土壤P素供应状况分析,不能只考虑土壤有效P水平,也不要简单套用农业土壤有关P的指标,而应充分注重具体土壤P的吸附特性,以便正确了解土壤P的供应能力,客观预测土壤需P量。

表5 P加入量与平衡溶液P浓度间的回归分析

土样	回归方程	相关系数	P浓度= $0.2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时的	
			Y值/ $(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})$	施P量/ $(\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2})$
1号	$Y=137.08+32.83C$	0.977^*	143.65	323.21
2号	$Y=140.62+33.63C$	0.974^*	147.35	331.54
3号	$Y=121.49+54.35C$	0.980^*	132.36	297.81
平均			141.12	317.52

3 结论和建议

(1) 南方杉木林下红壤对P的吸附作用强,P吸附量大,吸附率高。但随着土壤加P量提高,P吸附量增多,土壤吸附表面饱和度提高,P吸附力减弱,吸附率下降。因此在杉木生长较差且P吸附作用较强的红壤上施用P肥时,应适当加大用量,并集中施用(磷矿粉除外),以提高土壤溶液中的有效P浓度,促进林木生长。

(2) 土壤P的吸附反应自由能 ΔG 和最大缓冲容量 M_b 是评价土壤供P缓冲性状的重要参数。下层土壤较表层吸P作用强、缓冲能力大,不同土壤的供P缓冲性状与土壤理化性质关系较为密切,一般与土壤pH、吸湿水及粘粒含量成正相关,而与土壤有机质、有效P及全P含量成负相关。

(3) 根据土壤P的吸附和供应缓冲性,了解土壤P的供应能力,预测土壤P肥需要量,对定量指导合理施用P肥具有一定意义。目前,这一方法对于杉林土壤是否具有更重要的生产指导意义,尚待进一步验证。

参考文献:

- [1] 陈金林,俞元春,王光萍,等.杉木幼林施肥肥效分析[J].林业科学研究,1996,9(4):426-430
- [2] 周天相.杉木林施肥试验效果分析[J].亚林科技,1987,15(2):130-135
- [3] 刘淑欣,熊德中.福建省主要土类固磷强度的研究[J].福建农学院学报,1983,(1):21-33
- [4] 傅明华,戴朱恒,承友松,等.上海土壤磷的吸附特性及缓冲性能的研究[J].土壤学报,1986,23(2):113-123
- [5] 何念祖.热带土壤的磷吸附作用[J].土壤学进展,1981,(5):33-39
- [6] 赵晓齐,鲁如坤.有机肥对土壤磷素吸附的影响[J].土壤学报,1991,28(1):7-13

- [7] 曹志洪, 李庆逵. 黄土性土壤对磷的吸附与解吸[J]. 土壤学报, 1988, 25(3): 218-226
- [8] 柯振安, 刘伯衡. 绿肥解磷作用机理的探讨[J]. 石河子农学院学报, 1986, (2): 57-62
- [9] Parfitt R L. Phosphate adsorption on a oxisol[J]. Soil Sci Soc Am Proc, 1977, 41: 1064-1067
- [10] Robarge W P. Adsorption of phosphate by hydroxy aluminumspecies on a cation exchange resin[J]. Soil Sci Soc Am Proc, 1979, 43: 481-487
- [11] 王光火, 朱祖祥. 红壤及红壤性水稻土对磷的吸附-解吸特性比较[J]. 浙江农业大学学报, 1987, 13(2): 129-136
- [12] 鲁克海. 湖南省主要水稻土的磷素状况及其吸附特性的初步研究[J]. 土壤通报, 1985, 16(2): 75-80
- [13] 周祖英. 提高酸性水稻土中磷和施肥磷的有效度[J]. 福建农业科技, 1982, (4): 28-31
- [14] 中华人民共和国林业部科技司编. 林业标准汇编(三). 北京: 中国林业出版社, 1991
- [15] Olsen S R, Watanabe F S. A method to determine a phosphate adsorption maximum of soils as measured by the Langmuir isotherm[J]. Soil Sci Am Proc, 1957, 21: 144-149
- [16] 李世清, 谢恩波, 刘玉明. 灌漠土的磷素吸附特性与供磷缓冲能力的初步研究[J]. 甘肃农业大学学报, 1990, 25(2): 184-190
- [17] Fox R L. Phosphate isotherms for evaluating the phosphate requirement of soils[J]. Soil Sci Soc Amer proc, 1970, 34: 902-907

Study on the Phosphate Buffering Capacity and Fertiphos Requirement of Red Soils under Chinese Fir Stand

CHEN Jin-lin¹, WU Chun-lin¹, HUANG Quar-neng²

(1. College of Forest Resources and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China;

2. Xiamen Gardens Bureau of Fujian Province, Xiamen 361000, Fujian, China)

Abstract: The phosphate buffering capacity and fertiphos requirement of red soils under Chinese fir (*Cunninghamia Lanceolata*) stand in Fujian province are studied. The results obtained by the experiments of isothermal phosphate adsorption show that the red soil can adsorb large amount of phosphorus. Phosphorus could be adsorbed firmly by the soil, so it will decrease the availability. When the amount of phosphorus added in the soils is $600 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, the amount of phosphorus adsorbed by soils is $451.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, its rate of phosphorus adsorbed is 75.2%–91.8%. The maximum buffering capacity and the free energy of phosphate adsorption are regarded as important indexes to evaluate the phosphate buffering capacity of soils. Regression analysis revealed that the maximum buffering capacity and free energy of phosphate adsorption has close relation to chemical and physical properties of soils. They generally have positive relation to the pH value, the amount of clay and hygroscopic water of the soil. But they have negative relation to the contents of organic matter, available phosphate and total phosphate of the soil. Results also show that the fertiphos requirement of soil can be forecasted according to the phosphate adsorption and buffering capacity. It is significant for rational application of fertiphos.

Key words: *Cunninghamia lanceolata*; red soil; fertiphos; soil adsorption; phosphate buffering capacity