

不同改土物料对白浆土磷吸附解吸的影响<sup>①</sup>匡恩俊<sup>1</sup>, 刘峰<sup>1</sup>, 朱迟<sup>2</sup>

(1 黑龙江省农业科学院土壤肥料与环境资源研究所, 黑龙江省土壤环境与植物营养重点实验室, 哈尔滨 150086;

2 黑龙江省农业科学院农村能源研究所, 哈尔滨 150086)

**摘要:** 向白浆土各层次土壤施入不同改土物料, 比较不同处理土壤对 P 的吸附解吸情况。结果表明: 各土层土壤对 P 的吸附量均随着平衡液浓度的增加而增加; 不同土层间土壤吸附 P 量大小顺序为淀积层>混拌层>白浆层>黑土层; 随着平衡液浓度的增大, P 吸附的增加率递减; 施 Ca 加大了土壤对 P 的吸附, 其中黑土层增加 220.16%, 白浆层增加 54.50%, 淀积层增加 52.36%; 而施有机肥减弱了土壤对 P 的吸附, 其中黑土层降低 70.16%, 白浆层降低 45.50%, 淀积层降低 55.27%。Ca 有降低土壤 P 解吸率的趋势, 有机肥能大幅度地提高其解吸率。

**关键词:** 白浆土; 改土物料; 磷吸附解吸**中图分类号:** 156.99

白浆土是我国北方重要耕地土壤资源之一, 属于低产土壤。刘峰等<sup>[1]</sup>研究认为, 心土混层技术能够改善白浆土不良的物理性质, 改土后效持久。心土培肥可在改良白浆土不良物理性质的同时改良其不良的化学性质, 增产效果显著<sup>[2-5]</sup>。本文试图通过研究不同改土物料对白浆土不同土层P吸附和解吸特性的影响, 为深入探索白浆土心土培肥技术奠定理论基础。

## 1 材料与方法

## 1.1 供试土壤及土壤前处理

供试土壤取自哈尔滨市阿城区人工林落叶松下的岗地白浆土, 黑土层为 0~18 cm, 白浆层为 18~36 cm, 淀积层为 36 cm 以下。土壤基本理化性质如表 1 所示。

将白浆土的 3 个土层土壤 (A, Aw 和 B 层) 和混

拌层 (Aw+B, 将白浆土的白浆层和淀积层按 1:1 比例混拌) 土壤风干保存。试验分为 3 个处理: ①对照: 上述 4 个层次土壤不做处理; ②施Ca处理: 分别在 4 层次土壤中施入CaCO<sub>3</sub> 32.0 g/kg土; ③施有机肥处理: 分别在 4 层次土壤中施入有机肥 (鸡粪, 风干后粉碎) 17.0 g/kg土。

## 1.2 方法

1.2.1 P吸附解吸试验方法<sup>[6]</sup> (1) 等温吸附试验。称取每种风干土样 2.5 g 各 10 份, 置于离心管中, 加入浓度为 0、5、10、20、30、40、50、60 mg/L的P溶液 50 ml (内含 0.01 mol/L KCl), 并加入 3 滴甲苯防止微生物繁殖, 在 25℃ 恒温下振荡 1 h后, 置于同样温度的恒温箱中培养 3 天, 此间每天振荡 2 次 (间隔 12 h), 每次 1 h; 然后 3000 r/min离心 10 min, 测定上清液中 P含量, 计算土壤的吸附P量。同时作对照试验。

表 1 供试土壤理化性质

Table 1 Physical-chemical properties of the test soil

土层	全量养分 (g/kg)			有机质 (g/kg)	速效养分(mg/kg)			pH		CEC (cmol/kg)
	全 N	全 P	全 K		碱解 N	有效 P	速效 K	H <sub>2</sub> O	HCl	
A	1.31	0.71	45.60	24.00	74.20	4.37	183.82	6.94	5.66	19.78
Aw	0.50	0.60	38.20	6.90	22.26	4.05	229.80	5.50	3.80	15.42
B	0.48	0.74	36.40	11.20	37.10	7.64	188.69	5.20	3.68	26.28

注: 有效 P 以 P 计算; A 为黑土层; Aw 为白浆层; B 为淀积层。

①基金项目: 黑龙江省博士后基金项目资助。

作者简介: 匡恩俊 (1982—), 女, 黑龙江海林人, 硕士, 研究实习员, 主要从事土壤改良研究。E-mail: kuangenjun2002@163.com

(2) 等温解吸试验。等温吸附试验后的残渣土样，用饱和 NaCl 溶液洗 2 次，再加入 0.01 mol/L KCl 溶液 50 mL 和 3 滴甲苯；在 25℃ 恒温下振荡 1 h 后，置于同样温度的恒温箱中培养 3d，此间每天振荡 2 次（间隔 12 h），每次 1 h；然后 3000 r/min 离心 10 min，测定上清液中的 P 含量，计算解吸 P 量。每处理各 2 次重复。

1.2.2 石灰需要量测定方法 参照日本《土壤与作物营养诊断基准分析法》<sup>[7]</sup>测定。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同土层磷吸附曲线的影响

将白浆土 4 个土层土壤 P 的吸附量作为纵坐标、平衡液浓度为横坐标做等温吸附曲线，结果如图 1 所示。不同土层间吸 P 量大小顺序为淀积层 > 混拌层 > 白浆层 > 黑土层；土壤对 P 的吸附量均随着平衡液浓度的增加而增加。在平衡浓度约 (P) < 10 mg/L 的低浓度区，吸附等温曲线的斜率较大，曲线特征为急剧上升型，表明土壤对 P 的吸附强度很大，此时为土壤中无定形 Fe、Al 对 P 的化学吸附及黏粒上盐基离子对 P 的共价吸附，是土壤对 P 的快速吸附阶段；而在高浓度区曲线变化平缓，吸附量增加较慢，表明土壤对 P 的物理化学吸附和物理吸附，是土壤的慢速吸附<sup>[8-9]</sup>。在 4 个土层中，淀积层土壤对 P 的吸附能力最强，这是由于淀积层黏粒

含量高，而黏粒又是土壤吸持 P 的主要基质<sup>[10]</sup>；白浆层的吸附能力高于黑土层，主要原因表现在有机质和团粒结构的差异上；混拌层对 P 的吸附量介于淀积层和白浆层之间。

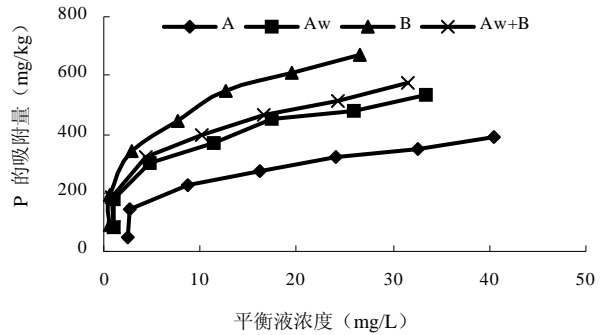


图 1 白浆土各层次土壤 P 的吸附量

Fig. 1 P adsorptions of different layers in albic luvisol

2.1.1 Ca 及有机肥对白浆土 P 吸附的影响 黑土层和白浆层、淀积层相比较，白浆土各土层施入 Ca 和有机肥后，总体看施 Ca 增加了土壤对 P 的吸附，施有机肥降低土壤对 P 的吸附；各层次土壤 P 的吸附特性表现不同，黑土层施入 Ca 和有机肥后吸附量变化不明显，而其他土层施入有机肥后，P 的吸附量比原来大幅度降低，施 Ca 后则比原来明显提高（图 2）。

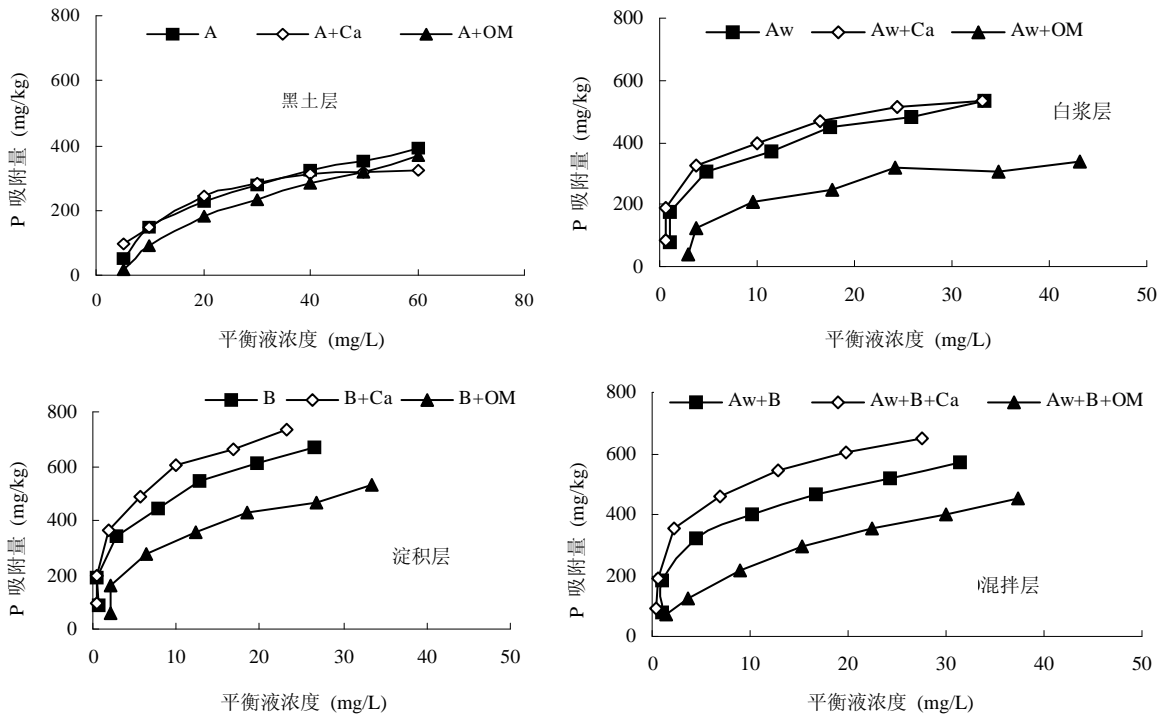


图 2 不同改土物料处理对白浆土各土层 P 吸附的影响

Fig. 2 Effects of P adsorption under different treatments of layers of albic luvisol

图 3 展示了白浆土不同土层施入石灰量与土壤 pH 变化关系。白浆土施入石灰后, 土壤 pH 在低施入量区域迅速增加; 当土壤 pH 升到 8 以后, 增加变得缓慢, 趋于平稳。总体看, 石灰对于提高土壤 pH 效果十分明显。刘淑欣等<sup>[11]</sup>研究结果表明, 酸性土壤施用石灰使土壤 pH 从 4.7 上升至 6.1 时, P 肥回收率从 4.07% 增至 8.58%, 当土壤 pH 增至 7.5 时, P 肥回收率下降。从本试验看出, 施用石灰后, 一方面导致土壤 pH 升高, 是造成土壤吸附 P 量增加的重要原因之一; 另一方面, 施用石灰后增加了 Ca 离子与磷酸根离子结合形成难溶的 Ca-P 的机会, 也是造成土壤对 P 吸附的一个重要原因。

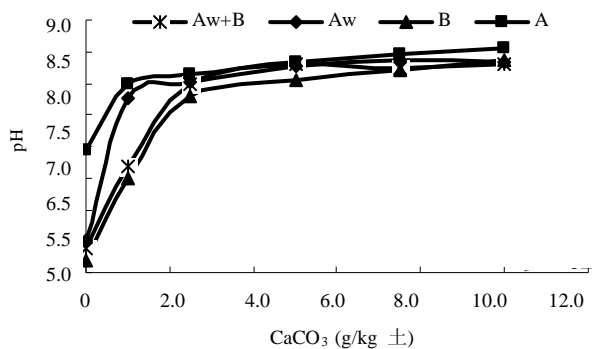


图 3 施用石灰对土壤 pH 的影响

Fig 3 Effects of applying lime on soil pH

施入有机肥后均有降低各层土壤 P 吸附量的趋势, 白浆层土壤 P 的吸附量平均比对照降低了 117.51 mg/kg, 淀积层和混拌层 P 的吸附量比对照分别减少了

21.34% 和 24.34%。可见, 有机肥料的施用对于提高土壤有效 P 含量, 活化土壤中 P 的有效性具有重要作用, 如果能与无机肥料配施, 效果更好。有机肥料除了用腐熟的粪便之外, 还可以扩展作物秸秆之类的物料, 同样有培肥土壤的效果<sup>[12-14]</sup>。

2.1.2 白浆土不同处理 P 吸附方程 比较相关系数  $r$  的大小, 在 Langmuir、Freundlich 和 Temkin 3 个方程中以 Langmuir 等温吸附方程与白浆土不同土层各处理 P 整体的相关性较好。可见, 在本试验的条件下, Langmuir 等温吸附方程对土壤 P 的吸附曲线拟合性最好。

从表 2 看出, 表中的吸附常数  $K$  均为正值, 说明反应在常温下能自发进行<sup>[15]</sup>, 淀积层  $K$  值最大, 表明反应的自发程度强, 生成物稳定, 吸附牢固, 而供 P 能力较弱。凡是施 Ca 的处理  $K$  值均比原来增加, 说明施 Ca 加大了土壤对 P 的吸附, 其中黑土层 (A) 增加 220.16%, 白浆层 (Aw) 增加 54.50%, 淀积层 (B) 增加 52.36%; 而施有机肥后各层次土壤  $K$  值均有所降低, 减弱了土壤对 P 的吸附, 其中黑土层 (A) 降低 70.16%, 白浆层 (Aw) 降低 45.50%, 淀积层 (B) 降低 55.27%。表明施 Ca 后土壤吸附 P 的能力增强, P 的有效性下降, 而有机质则提高 P 的有效性。比较不同土层吸 P 容量 ( $X_m$ ), 淀积层最大, 依次为混拌层、白浆层和黑土层; Ca 增加土壤的 P 吸附容量; 有机肥降低了 P 吸附容量, 其有机酸根离子可以与磷酸根离子竞争土壤吸附位<sup>[16]</sup>, 改变了土壤对 P 的吸附结合能, 导致了土壤对 P 吸附量的减少。表中  $MBC$  是  $X_m$

表 2 白浆土对 P 吸附的 Langmuir 方程及其参数

Table 2 Parameters of P Langmuir equation in albic luvisol

处理	Langmuir 方程	相关系数 $r$	最大吸附量 $X_m$ (mg/kg)	平衡常数 $K$	最大缓冲容量 $MBC(L/kg)$
A	$C/X = 0.0022C + 0.0178$	0.9915	454.55	0.124	56.18
A+Ca	$C/X = 0.0029C + 0.0073$	0.9982	344.83	0.397	136.99
A+OM	$C/X = 0.0017C + 0.046$	0.9926	588.24	0.037	21.74
Aw	$C/X = 0.0017C + 0.0085$	0.9927	588.24	0.200	117.65
Aw+Ca	$C/X = 0.0017C + 0.0055$	0.9963	588.24	0.309	181.82
Aw+ OM	$C/X = 0.0025C + 0.0229$	0.9919	400.00	0.109	43.67
B	$C/X = 0.0014C + 0.0051$	0.9926	714.29	0.275	196.08
B+Ca	$C/X = 0.0013C + 0.0031$	0.9950	769.23	0.419	322.58
B+ OM	$C/X = 0.0016C + 0.013$	0.9918	625.00	0.123	76.92
Aw+B	$C/X = 0.0016C + 0.0076$	0.9898	625.00	0.211	131.58
Aw+B+Ca	$C/X = 0.0014C + 0.0036$	0.9970	714.29	0.389	277.78
Aw+B+ OM	$C/X = 0.0017C + 0.0232$	0.9892	588.24	0.073	43.10

与  $K$  的乘积，称为土壤对  $P$  的吸附特征值，是判断土壤供  $P$  特性的一项综合指标。土壤对  $P$  的吸持性值  $MBC$  也表现为相同的趋势。

### 2.2 钙及有机肥对白浆土磷解吸的影响

土壤  $P$  的解吸是  $P$  吸附的逆过程，它可能是一个比吸附更为重要的过程，因为它涉及到被吸附  $P$  的再利用，提高土壤中  $P$  的有效性等问题<sup>[17]</sup>。解吸特征可用解吸量和解吸率来描述。解吸率是指解吸量占吸附量的百分数，因此解吸率更能反映出  $P$  的解吸特征。

不同改土物料对白浆土  $P$  解吸率的影响如图 4 所

示。从图 4 看出，有机肥能大幅度的提高  $P$  解吸率；而  $Ca$  在不同土层中的作用不同，就表层土而言， $Ca$  有明显降低土壤  $P$  解吸的效果，但在白浆层和淀积层等心土层， $Ca$  有提高  $P$  解吸的一定效果。因此进行白浆土心土培肥时，应考虑有机物料、 $Ca$  等与  $P$  并用，以提高培肥效果。此外，在低浓度（5~10 mg/L）区域， $P$  解吸率呈明显下降，之后呈缓慢上升趋势；黑土层土壤  $P$  的解吸率明显高于其他土层，白浆层土壤  $P$  的解吸率高于淀积层，混拌层土壤介于二者之间。

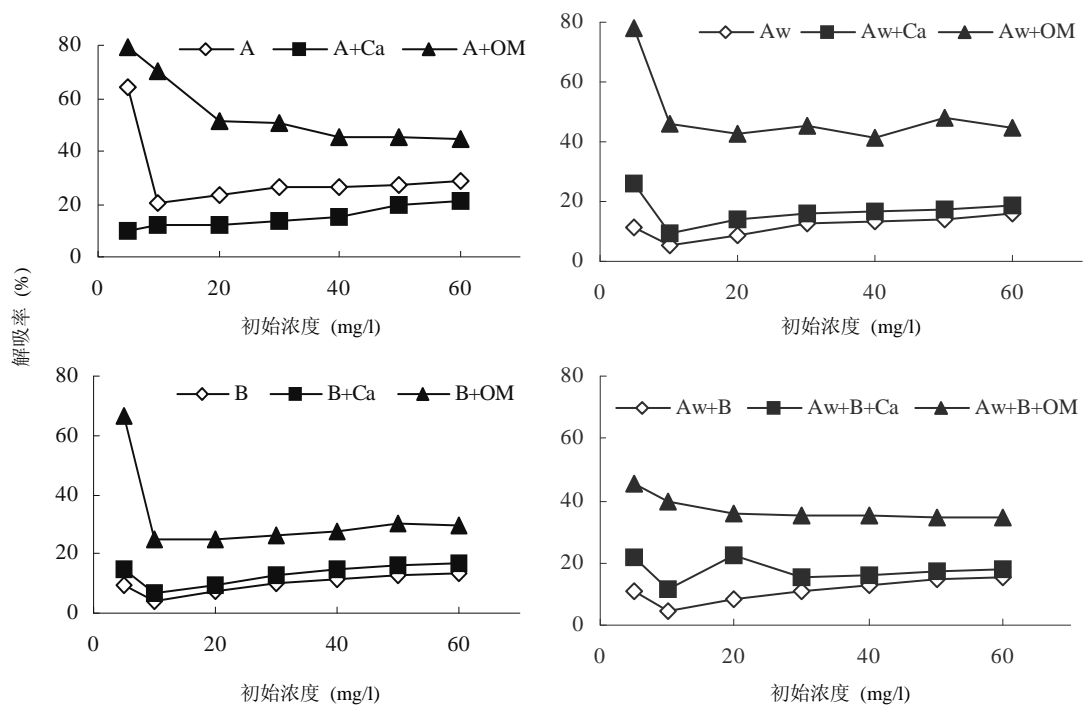


图 4 白浆土各处理不同土层  $P$  的解吸率

Fig. 4 Desorption rates of  $P$  of different horizons under different treatments in albic luvisol

### 3 结论

(1) 白浆土 4 个层次土壤相比较，土壤对  $P$  的吸附量均随着平衡液浓度的增加而增加；不同土层土壤吸附  $P$  量大小顺序为淀积层 > 混拌层 > 白浆层 > 黑土层；在低浓度区，平衡浓度约  $(P) < 10 \text{ mg/L}$  的范围内，其曲线特征为急剧上升型，土壤对  $P$  的吸附强度大；随着平衡液浓度的增大，增加率递减。

(2) 施  $Ca$  处理  $K$  值均比原来的增加，说明施  $Ca$  加大了土壤对  $P$  的吸附。其中黑土层增加 220.16%，白浆层增加 54.50%，淀积层增加 52.36%；而施有机肥后各层次土壤  $K$  值均有所降低，减弱了土壤对  $P$  的吸

附。其中黑土层降低 70.16%，白浆层降低 45.50%，淀积层降低 55.27%。供试白浆土  $P$  的吸附曲线与 Langmuir 等温吸附方程整体的相关性较好。

(3) 不同改土物料对白浆土  $P$  解吸率的影响不同，在低浓度（5~10 mg/L）区域， $P$  解吸率明显下降，之后呈缓慢上升趋势；黑土层土壤  $P$  的解吸率高于其他土层，白浆层土壤  $P$  的解吸率高于淀积层，混拌层土壤介于白浆层和淀积层之间。就黑土层而言， $Ca$  有降低土壤  $P$  解吸率的趋势，而有机肥能大幅度地提高  $P$  解吸率； $Ca$  对白浆层、淀积层和混拌层土壤  $P$  的解吸率有一定提高效果，有机肥影响较大。

**致谢：**感谢黑龙江省农科院佳木斯分院贾会彬老师对本文的修改！

**参考文献：**

- [1] 刘峰. 白浆土混层改良的研究 (博士学位论文). 沈阳: 沈阳农业大学, 2003
- [2] 刘峰, 贾会彬, 赵德林, 张春峰, 张洪全. 白浆土心土培肥效果的研究. 黑龙江农业科学, 1997 (3): 1-4
- [3] 匡恩俊, 刘峰, 郭文义. 心土培肥改良白浆土后效调查. 黑龙江农业科学, 2008 (3): 56-59
- [4] 匡恩俊, 刘峰, 贾会彬, 张玉龙. 心土培肥改良白浆土的研究 I. 白浆土心土培肥的效果. 土壤通报, 2008, 39 (5): 1106-1109
- [5] 匡恩俊. 心土培肥改良白浆土效果及机理的研究 (硕士学位论文). 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2008
- [6] 王旭东, 杨雪芹. 聚丙烯酰胺对磷素在土壤中吸附-解析与迁移的影响. 环境科学学报, 2006, 26 (2): 300-305
- [7] 北海道中央農業試験場. 土壤および作物栄養診断の基準. 日本: 北海道中央農業試験場, 1992: 93-95
- [8] 熊毅主编. 土壤胶体(第二册): 土壤胶体研究法. 北京: 科学出版社, 1985: 245-260
- [9] Brennan RF, Bolland MDA, Jeffery RC, Allen DG. Phosphorus adsorption by arrange of Western Australian soils related to soil properties. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 1994, 25: (15/16): 2785-2795
- [10] 李祖荫. 关于石灰性土壤固磷强度与固磷基质问题. 土壤通报, 1992, 23 (4): 190-192
- [11] 刘淑欣, 熊德中. 土壤吸磷与供磷特性的研究. 土壤通报, 1989, 20 (4): 147-149
- [12] 耿玉辉, 吴景贵, 李万辉, 姜岩. 作物残体培肥土壤的研究进展. 吉林农业大学学报, 2000, 22 (2): 76-79
- [13] 蔡晓布, 钱成, 张元, 普琼. 西藏中部地区退化土壤秸秆还田的微生物变化特征及其影响. 应用生态学报, 2004, 15 (3): 463-468
- [14] 陈尚洪, 朱钟麟, 吴婕, 刘定辉, 王昌全. 紫色土丘陵区秸秆还田的腐解特征及对土壤肥力的影响. 水土保持学报, 2006, 20 (6): 141-144
- [15] 夏瑶, 姜运生, 杨超光, 梁永超. 几种水稻土对磷的吸附与解吸特性研究. 中国农业科学, 2002, 35 (11): 1369-1374
- [16] Fox TR, Comerford NB, McFee WW. Phosphorus and aluminium release from a spodic horizon mediated by organic acids. Soil Sci. Soc. Am. J., 1990, 54: 1763-1767
- [17] 郭晓东, 张雪琴, 杨玲. 甘肃省主要农业区土壤对磷的吸附与解吸特性. 西北农业学报, 1997, 6 (2): 7-12

## Effects of P Adsorption-Desorption in Albic Luvisol with Different Additives

KUANG En-jun<sup>1</sup>, LIU Feng<sup>1</sup>, ZHU Chi<sup>2</sup>

(1 Institute of Soil Fertilizer and Environment Resource, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, The Key Laboratory of Soil Environment and Plant Nutrition of Heilongjiang Province, Harbin 150086, China;

2 Rural Energy Sources Institute of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China)

**Abstract:** P adsorption and desorption of the different horizons in the albic luvisol with the different additives was studied and compared in this paper. The results showed that the amount of P adsorption by the soil increased as the concentration of the balance solution increased. P adsorption amount of different horizons was in the order of B horizon > the mixing horizon of Aw + B > Aw horizon > A horizon. The increasing rate of P adsorption amount decreased with the increase of the concentration of the balance solution. Applying Ca increased P adsorption amount, the increasing rates of A horizon, Aw horizon and B horizon were 220.16%, 54.50% and 52.36%, respectively. However, applying organic manure decreased P adsorption amount, the reducing rates of A horizon, Aw horizon and B horizon were 70.16%, 45.50% and 55.27%, respectively. P desorption rate will reduce when Ca as the additive but will increase significantly when organic manure as the additive.

**Key words:** Albic luvisol, Additives, P adsorption-desorption