

# 高山土壤的磷素非生物固定作用\*

鲍新奎 曹广民 赵宝莲\*\*

(中国科学院西北高原生物研究所)

物理性粘粒 (Physical clay) (%)	CaCO <sub>3</sub> (%)	有机质 (Organic matter) (%)	pH	土壤类型 (Soil type)
43.8	19.9	2.0	8.3	高山草甸土 Alpine scrubby meadow soil
27.2	8.10	0.19	7.9	高山草甸土 Alpine scrubby meadow soil
19.8	1.1	0.8	7.5	高山草甸土 Alpine scrubby meadow soil

## 摘 要

本文研究了水溶性磷进入高山土壤后的非生物固定作用。结果说明, 各类土壤都具有强烈的磷素非生物固定能力。在 5—40 μg/g 土的施磷条件下, 磷的非生物固定量与施用量呈极显著的线性正相关 ( $P < 0.01$ )。同时, 随施磷量的增加, 磷被固定的百分率降低, 二者呈指数变化。水溶性磷被各类土壤固定的速率遵循一级反应动力学原理, 可用方程  $P_t = P_0 e^{-kt}$  拟合。高山土壤磷素固定作用与土壤 pH、有机质、碳酸盐、物理性粘粒多因子共同作用有关。

**关键词:** 高山土壤; 非生物固定; 固定容量; 固定速率。

磷的非生物固定是土壤磷固定的重要类型之一, 它与生物固定并存, 其固定的数量、强度和速率与土壤性质, 成分及环境条件有关; 磷的固定作用影响土壤的供磷能力和植物的磷素营养状况, 为土壤学家所重视, 在青藏高原的高山土壤中, 特别是高寒地区的土壤, 有效磷含量较低, 是植物生长的限制因素 (左克成和乐炎舟, 1980; 乐炎舟等, 1980; 1982), 为此, 探讨有效磷的非生物固定作用具有明显的理论意义和生产价值。本文主要报道非生物磷素固定的特征和数量, 并分析土壤的供磷能力, 为草地的利用潜力及改良措施提供科学依据。

## 材料与 方法

供试土样采于海北高寒草甸生态系统定位站及其周围海拔 3 200—4 000m 地区。共 6 个表层样品, 即冻石质土和冻粗骨土, 分布于山地高处; 碳酸盐高山草甸土, 分布于低山滩地, 植被分别为矮嵩草 (*Kobresia humilis*) 草甸和小嵩草 (*K. pygmaea*) 草甸; 较为冷湿的阴坡金露梅 (*Potentilla fraticosa*) 植被的高山灌丛草甸土及分布于低洼地的高山泥炭土。各类土壤的理化性状见表 1。

采集的土样置室内风干, 搓碎, 去除草根, 过 1mm 筛混匀备用。每种土壤取混合样 6 批, 每批

\* 国家自然科学基金资助项目。  
\*\* 青海大学王书华、姜宁军同学参加实验工作。

按方格法称 5 份, 每份分 5g, 别置于 250ml 三角瓶中, 加氯仿数滴密封, 薰蒸灭菌 (Jekson, 1976) 1 天。每批的 5 份样品, 分别加入 3ml 不同浓度的标准  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  溶液。调节土样含水量均为 60%, 其加入的磷分别为每克土 0 (对照)、5、10、20、40  $\mu\text{g}$ , 为抑制微生物, 每瓶补加氯仿 2 滴, 密封、室温培养。在培养的 1、3、5、7、15 和 30 天时, 各取一批培养样品, 用 Olsen 法测定有效磷量, 按下述公式计算磷素的固定量和固定百分率:

固定磷量 ( $\mu\text{g/g}$  土) = 加入磷量 - (加磷样品培养后有效磷量 - 对照样品培养后有效磷量)。

固定百分率 (%) = 磷固定量  $\times$  100 / 磷加入量。

土壤理化性状的测定, pH 用电位法, 有机质用丘林法, 碳酸钙用中和滴定法, 物理性粘粒用比重计法。

表 1 供试土壤的一些基本性质  
Table 1 Some properties of soil samples.

土壤类型 Soil type	pH ( $\text{H}_2\text{O}$ )	有机质 Organic matter (%)	$\text{CaCO}_3$ (%)	物理性粘粒 Physical clay (%)
冻石质土 Frozen rocky soil	8.3	5.60	19.97	43.9
冻粗骨土 Frozen skeleton soil	8.2	5.88	19.30	44.34
碳酸盐高山草甸土 I* Carbonate alpine meadow soil I	8.0	6.84	6.42	52.4
碳酸盐高山草甸土 II** Carbonate alpine meadow soil II	7.9	6.19	8.70	57.0
高山灌丛草甸土 Alpine scrubby meadow soil	7.2	8.66	1.10	51.6
高山泥炭土 Alpine peat soil	7.9	26.7	19.58	42.0

\* I 小嵩草高寒草甸, *Kobresia pygmaea* meadow

\*\* II 矮嵩草高寒草甸, *K. humilis* meadow.

## 结果与讨论

### (一) 磷素非生物固定的数量和比率

在实验条件下, 固定作用属非生物固定, 其固定量与加入的水溶性磷量密切相关 (表 2)。水溶性磷加入土壤后, 被 0.5mol/L  $\text{NaHCO}_3$  提取的磷量均少于加入量, 说明都有固定作用发生。当水溶性磷与土壤作用的时间相同时, 每克土固定磷量随加入磷量的增加而增大。两者呈明显正线性相关关系, 且随时间的延长, 被固定的数量逐渐增多 (图 1)。

对上述关系进行可靠性检验, 并对实验结果进行统计分析 (表 3)。6 种土壤磷的加入量 ( $x$ ) 与磷固定量 ( $y$ ) 间的相关系数  $r$  在 0.998—0.999 之间 ( $P < 0.01$  或  $P < 0.001$ ), 说明二者有极显著的正相关, 亦即可按表 3 列出的各种方程对各类土壤磷素的固定量进行估算。

表 2 高山土壤磷素的固定量和固定百分率

Table 2 Quantily (P $\mu$ g/g soil) and percentage (%) of phosphorus fixation in defferent soils.

培养时间 (d) Incubation time (days)	加入磷量 (P $\mu$ g/g干土) Qt. of P added ( $\mu$ g/g. soil)	冻石质土 Frozen rock soil		冻粗骨土 Frozen skeleton soil		碳酸盐高山草甸土 I Carbonate alpine meadow soil I		碳酸盐高山草甸土 II Carbonate alpine meadow soil II		高山灌丛草甸土 Alpine scrubby meadow soil		高山泥炭土 Alpine peat soil	
		Qt.	%	Qt.	%	Qt.	%	Qt.	%	Qt.	%	Qt.	%
1	5	2.96	59.2	3.13	62.5	2.47	49.4	2.76	55.2	3.35	67.0	3.56	71.2
	10	6.04	60.4	5.71	57.1	4.68	46.8	5.83	58.3	5.88	58.9	5.46	54.6
	20	12.18	60.1	11.29	56.4	9.08	45.4	11.31	56.5	11.20	56.0	11.88	59.4
	40	22.33	55.8	22.33	55.8	17.70	44.3	21.86	54.7	22.28	55.7	22.30	55.2
3	5	3.07	61.5	3.41	68.2	3.28	65.6	3.41	68.2	3.63	72.6	3.68	73.6
	10	6.83	68.3	6.14	61.4	4.94	49.4	5.91	59.1	6.63	66.3	5.94	59.4
	20	12.30	61.5	12.11	60.5	11.72	58.6	10.91	54.6	12.69	63.4	12.09	61.7
	40	23.46	58.6	23.45	58.6	20.91	52.3	22.99	57.5	23.91	59.8	23.45	58.6
5	5	3.27	65.4	3.53	70.5	3.57	71.4	3.49	69.8	3.91	78.2	3.76	75.2
	10	7.05	70.5	6.44	64.4	5.39	53.9	6.21	62.1	7.59	75.9	6.11	61.1
	20	12.57	62.9	12.50	62.5	12.08	60.4	11.56	57.8	13.30	66.5	12.28	61.4
	40	24.05	60.1	24.05	60.1	21.88	54.7	24.38	61.0	24.55	61.4	23.55	58.9
7	5	3.56	71.2	3.80	76.0	3.97	79.4	3.70	74.0	4.13	82.6	4.53	90.6
	10	7.12	71.2	6.70	67.0	5.54	55.4	6.88	68.8	8.11	81.1	6.24	62.4
	20	12.84	64.2	12.75	63.7	12.31	61.5	12.35	61.7	13.67	68.4	12.42	62.1
	40	24.42	61.0	25.27	63.2	20.61	56.5	25.15	62.9	25.56	66.4	23.82	59.6
15	5	4.03	80.6	3.98	79.5	4.26	85.2	4.19	83.8	4.56	91.3	4.61	92.2
	10	7.66	76.6	7.27	72.7	6.13	61.3	7.51	75.1	8.50	85.0	6.84	68.4
	20	14.15	70.8	13.42	67.1	13.92	69.6	13.55	67.8	14.33	70.2	13.20	66.0
	40	26.59	66.5	26.59	66.5	23.40	58.5	27.25	68.1	27.09	67.7	25.68	64.2
30	5	4.29	85.8	4.21	84.2	4.48	89.6	4.42	88.4	4.72	94.5	4.80	96.0
	10	7.71	77.1	8.50	85.0	7.71	77.1	8.36	83.6	9.27	92.7	7.69	76.9
	20	14.70	73.5	13.99	70.0	14.32	71.6	14.73	73.7	15.00	75.0	14.39	72.0
	40	29.45	73.6	27.87	69.7	25.05	62.6	28.47	71.2	28.62	71.6	27.60	68.9

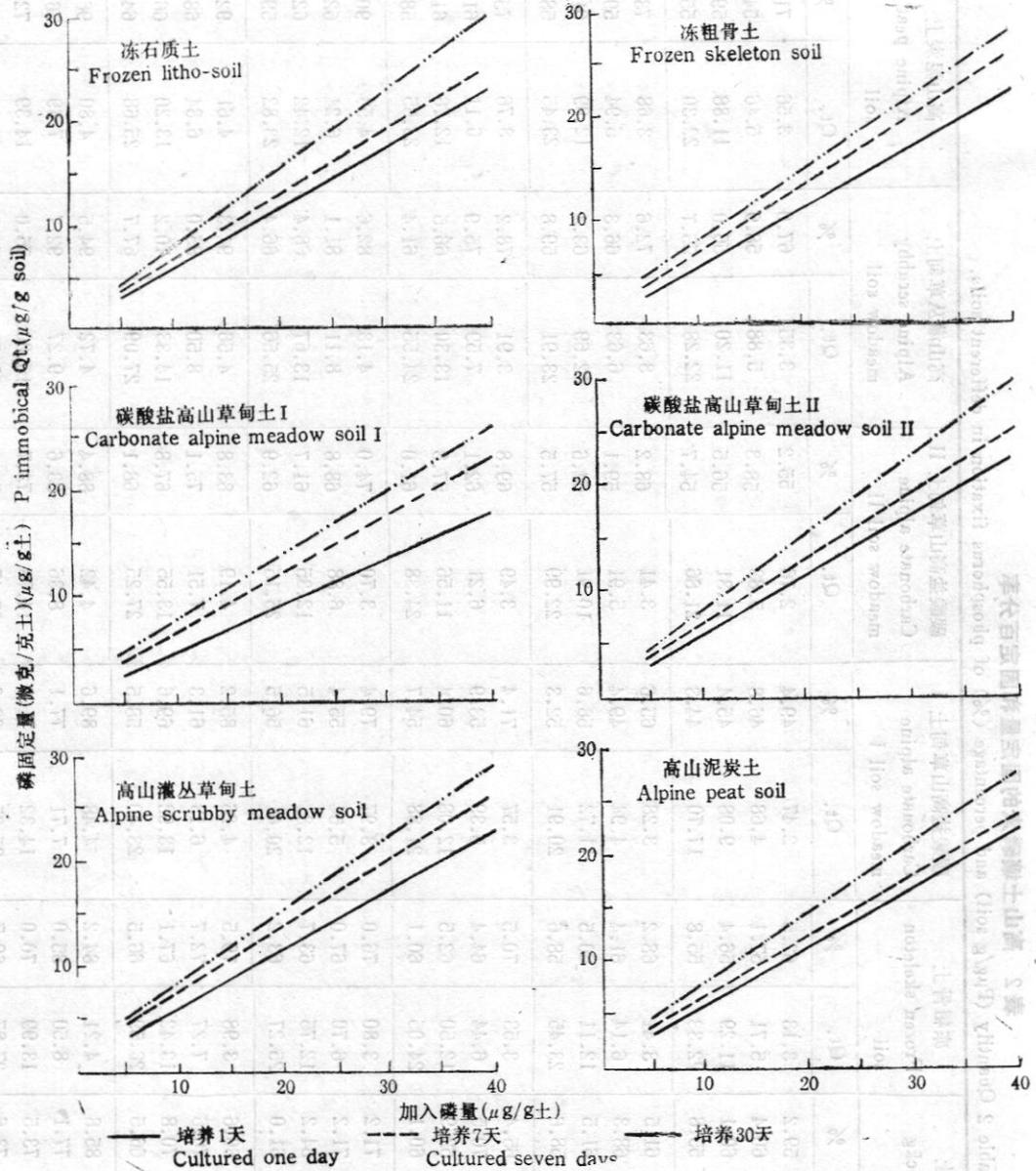


图1 高山土壤磷素加入量与固定量的关系  
 Fig. 1 Relationship between phosphorus added quantity and the immobile quantity in alpine soil.

上述方程的斜率  $b$  为在加磷范围内，每加入一单位磷素被固定的平均比率。由表 3 可知，水溶性磷加入土壤 1 天时，被固定的比率在 0.43—0.55 之间，平均为  $0.528 \pm 0.045$ 。其中碳酸盐高山草甸土较低，小嵩草草甸土最低，高山灌丛草甸土及高山泥炭土居中，而石质土和粗骨土最高。同时水溶性磷加入土壤后，磷被固定的平均比率随着时间的增加而逐渐上升。7 天时平均为  $0.578 \pm 0.028$ ，30 天时增至  $0.669 \pm 0.049$ 。不同类型土壤变化趋势相似，但变化幅度不同。高山泥炭土，每克土加入水溶性磷 1 单位，第 1 天固定 0.5453 单位，第 7 天固定 0.5633 单位，至 30 天时磷固定总量达 0.6542 单位。

表3 磷加入量与固定量的线性回归方程

Table 3 Regression equations of phosphorus added quantity and phosphorus fixation quantity in different soils.

土壤类型 Soil type	加磷1天 P added one day		加磷7天 P added seven days		加磷30天 P added thirty days	
	回归方程 Regression equation	相关系数 <i>r</i>	回归方程 Regression equation	相关系数 <i>r</i>	回归方程 Regression equation	相关系数 <i>r</i>
冻石质土 Frozen rocky soil	$y=0.5416$ $+0.5512x$	0.999***	$y=0.9288$ $+0.5896x$	0.999***	$y=0.5305$ $+0.7203x$	0.999***
冻粗骨土 Frozen skeleton soil	$y=0.2926$ $+0.5505x$	0.999***	$y=0.5975$ $+0.6151x$	0.999***	$y=1.1846$ $+0.6643x$	0.999***
碳酸盐高山草甸土 I Carbonate alpine meadow soil I	$y=0.3293$ $+0.4348x$	0.999***	$y=0.8638$ $+0.5463x$	0.099***	$y=1.9038$ $+0.7203x$	0.999***
碳酸盐高山草甸土 II Carbonate alpine meadow soil II	$y=0.2729$ $+0.5423x$	0.999***	$y=0.5714$ $+0.6105x$	0.999***	$y=0.8613$ $+0.7168x$	0.999***
高山灌丛草甸土 Alpine scrubby meadow soil	$y=0.6562$ $+0.5436x$	0.999***	$y=1.1514$ $+0.6018x$	0.999***	$y=1.8589$ $+0.6691x$	0.999***
高山泥炭土 Alpine peat soil	$y=0.5756$ $+0.5453x$	0.999***	$y=1.1898$ $+0.5633x$	0.999***	$y=1.3404$ $+0.6542x$	0.999***

\*\*  $P < 0.01$ , \*\*\*  $P < 0.001$ .

第7天与第1天固定比率相差0.018, 而第30天与第7天相差0.0909; 碳酸盐高山草甸土I加入磷后, 各时间的固定比率依次为0.4348、0.5463、0.5860, 相应各时期固磷比率之差为0.1115和0.0397; 高山灌丛草甸土为0.5436、0.6018、0.6691和0.0565、0.0673。由此可知, 不同类型土壤在不同培养时期其磷固定比率不同。

单位时间(天)土壤磷固定比率的变化, 不同土壤各异, 但均随磷加入时间的延长, 磷固定量的增多, 其固定比率渐趋降低。高山泥炭土培养1天内固定比率为0.5453, 7天内平均固定比率为0.0805, 30天内则为0.0218。

冻粗骨土、碳酸盐高山草甸土I和高山泥炭土中, 水溶性磷加入量( $x$ )与其固定百分率( $y$ )的关系如图2所示。磷的固定百分率随磷素加入量的增加明显降低, 二者呈指数形式变化。在加入较少磷的条件下, 磷固定百分率随磷加入量的微小增加而大幅度降低; 当加入磷量较多( $>10-20 \mu\text{g/g}$ 土)时, 继续加磷, 其固定百分率降低的幅度明显减小。不同类型土壤的固定百分率尽管有所不同, 但变化趋势相似。综合各类土壤固磷百分率的变化, 大致可分为两类, 一类为冻粗骨土及高山泥炭土加入磷1天时, 磷固定百分率( $y$ )与加磷量( $x$ )之间的关系为  $y = ae^{b/x^2}$ ; 另一类为碳酸盐高山草甸土I及施磷7天、30天的高山泥炭土, 两者关系为  $y = ae^{b/\sqrt{x}}$ 。前者在加入磷量较低( $<10-15 \mu\text{g}$ 磷/ $\text{g}$ 土)时, 曲线陡度较大; 而后者在  $5-40 \mu\text{g/g}$ 土的试验区间, 磷固定百分率变化相对地较为一致。

从图2还可看出, 随加入磷素与土壤作用时间的增加, 固定百分率相应提高, 但其增长幅度随土壤类型不同而有所差异。以碳酸盐高山草甸土上升幅度最大, 而高山泥

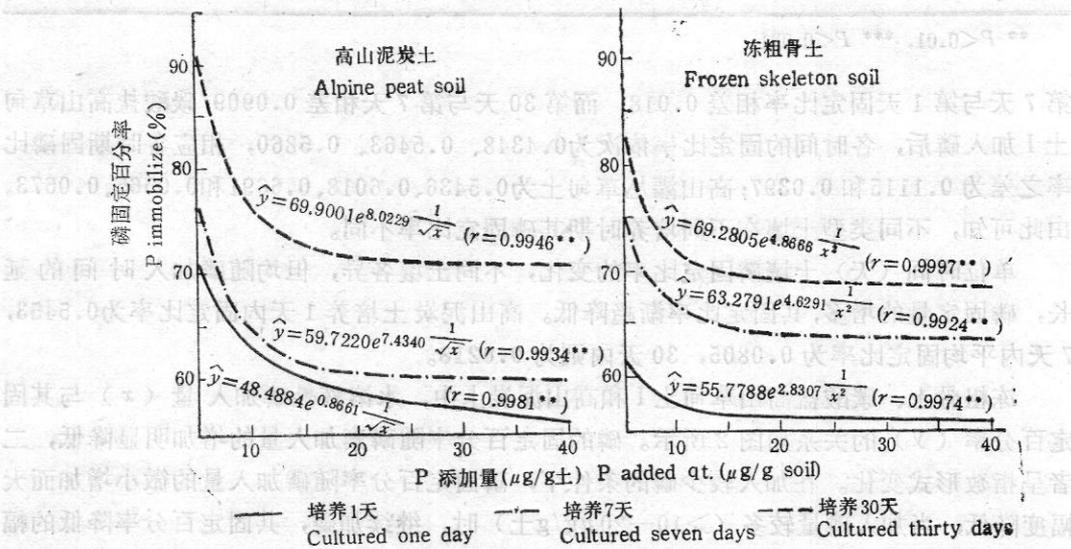
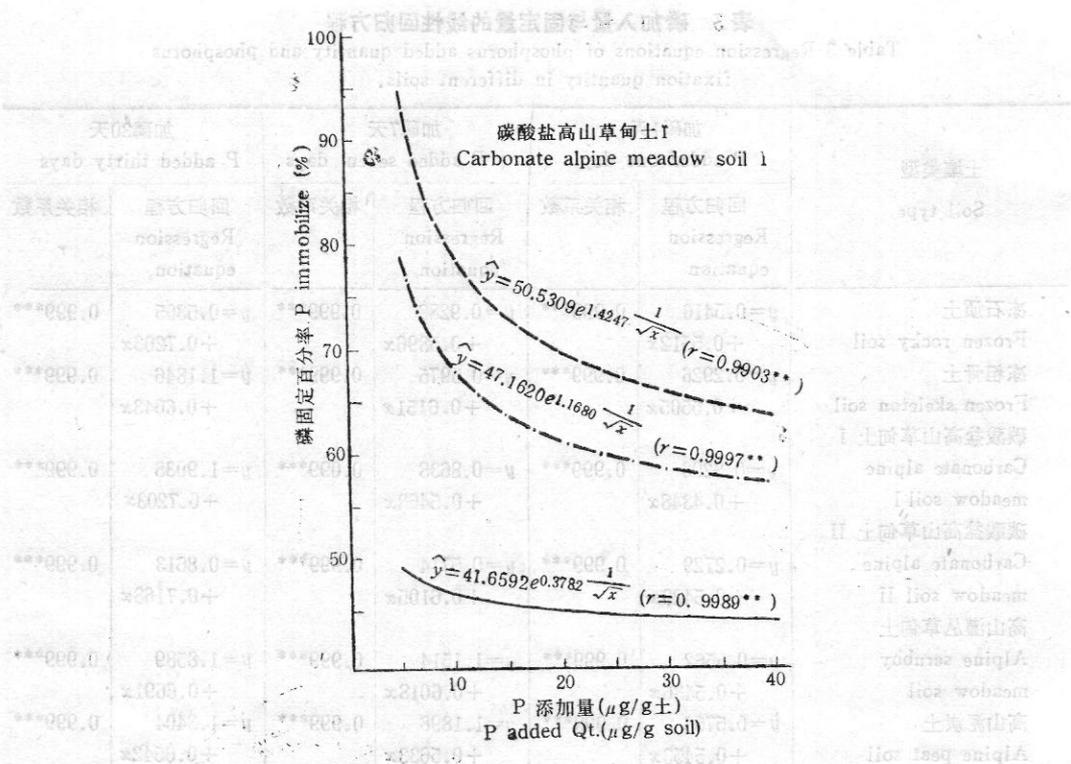


图2 高山土壤磷素加入量与其固定百分率的关系  
Fig.2 Relation between phosphorus added quantity and the immobile percent in alpine soil.

炭土和冻粗骨土较小。

(二) 磷素的非生物固定速率

水溶性磷加入土壤后,土壤有效磷含量明显增高,进入土壤的磷素被粘粒吸附或与土壤中游离铁、铝、碳酸钙作用而逐渐固定,使未被固定的磷素逐渐减少。Fox等 (1978)

对热带土壤吸附磷素的研究表明, 土壤磷素的固定遵循一级反应动力学原理。在本试验中, 无论哪一类土壤, 在加入不同磷量, 一定时间后, 因被固定磷量的差异, 使土壤中未被固定的剩余有效磷出现不同程度的下降。下降趋势为开始快, 以后渐趋缓慢, 且持续时间较长(表2)。

实验中, 加入的水溶性磷(土壤有效磷)随时间延长而降低, 这是土壤中非生物因子固定作用的结果。单位时间内, 土壤有效磷的变化量  $dp/dt$  与该时间土壤有效磷的数量成正比, 当可固定的磷因被固定而递减时, 反应速度相应降低。即  $dp/dt = -KP(1)$ , 对此式积分得  $P_t = P_0 \cdot e^{-kt}$  (2), 式中,  $k$  为比例常数, 称作非生物固定常数, 是单位时间内磷固定的概率, 可作为固定速率的度量。由于磷随时间而减少, 故用负号; 其中  $P_0$  为

表 4 高山土壤非生物固定的拟合

Table 4 Fit of phosphorus non-biological fixation of alpine soils.

土壤类型 Soil type	加磷量 Quantity of phosphorus added ( $\mu\text{gP/kg soil}$ )	拟合参数 Fit parameter ( $P_t = P_0 \cdot e^{-kt}$ )		显著性 Significance $r$
		$P_0$	$k$	
冻石质土 Frozen rocky soil	5	2.0125	-0.0375	-0.972**
	10	3.3841	-0.0158	-0.840*
	20	7.8870	-0.0144	-0.960**
	40	17.5717	-0.0173	-0.997***
冻粗骨土 Frozen skeleton soil	5	1.6833	-0.0274	-0.947**
	10	4.3295	-0.0347	-0.996***
	20	8.1580	-0.0113	-0.932**
	40	16.9360	-0.0123	-0.949**
碳酸盐高山草甸土 I Carbonate alpine meadow soil I	5	1.9121	-0.0489	-0.919**
	10	5.4573	-0.0282	-0.992***
	20	9.1780	-0.0188	-0.86*
	40	20.0286	-0.0109	-0.870*
碳酸盐高山草甸土 II Carbonate alpine meadow soil II	5	1.9337	-0.0475	-0.971**
	10	4.2880	-0.0331	-0.989***
	20	9.0519	-0.0189	-0.979***
	40	17.8526	-0.0141	-0.909*
高山灌丛草甸土 Alpine scrubby meadow soil	5	1.4990	-0.0620	-0.965**
	10	3.5669	-0.0554	-0.964**
	20	7.7006	-0.0163	-0.893*
	40	16.7420	-0.0141	-0.955**
高山泥炭土 Alpine peat soil	5	1.3306	-0.0685	-0.917**
	10	4.4291	-0.0685	-0.995***
	20	8.2419	-0.0128	-0.990***
	40	17.4538	-0.0116	-0.990***

\*  $P < 0.05$ , \*\*  $P < 0.01$ , \*\*\*  $P < 0.001$ .

$t = 0$  时, 土壤中可供固定的磷量;  $P_t$  为时间  $t$  之后剩余的未被固定的磷量。本文以不同单位时间测定的有效磷 ( $P_t$ ) 依公式 (2) 计算各类土壤的回归参数列于表 4, 其相关系数  $r$  在  $-0.999$ — $-0.840$  间, 显著性水准在  $0.05$ — $0.001$  间。 $k$  均为负数。实验中,

$0 < t \leq 30$ ,  $t$  为大于零的正数, 结果  $k_t$  项恒为负实数, 因此公式(2) 是个减函数。上述结果说明, 施入的磷随与土壤作用时间的增加, 其未被固定部分的数量趋于减少, 但大于零, 亦即加入磷量不能全部被固定。

在加入相同磷量的条件下, 不同类型土壤的  $k$  值不同(表4)。在加磷量较低(每克土  $5 \mu\text{g}$  磷), 有效磷非生物固定速率  $k$  的变化序列为, 高山泥炭土 > 高山灌丛草甸土 > 碳酸盐高山草甸土 I > 碳酸盐高山草甸土 II > 冻石质土 > 冻粗骨土。高山泥炭土是冻粗骨土的 1.83 倍。当加磷量较高(每克土  $40 \mu\text{g}$  磷) 时,  $k$  值的变化为, 冻石质土 > 碳酸盐高山草甸土 II > 高山灌丛草甸土 > 冻粗骨土 > 高山泥炭土 > 碳酸盐高山草甸土 I。冻粗骨土的  $k$  值为碳酸盐高山草甸土 I 的 1.59 倍。由此可知, 在土壤有效磷含量低时, 不同类型土壤  $k$  值的差异较大; 而施用磷肥来提高其有效磷含量时, 虽各类土壤  $k$  值不同, 但其差异趋于缩小。同一土壤施磷量不同, 其  $k$  值亦不同。即  $k$  值随土壤有效磷库的大小而变动。加磷量越多, 固定速率越小。其变化幅度随土壤类型变动。当供试土壤每克土加磷由  $5 \mu\text{g}$  增至  $40 \mu\text{g}$  时, 其  $k$  值的变化序列为, 高山泥炭土 (0.0569) > 高山灌丛草甸土 (0.0480) > 碳酸盐高山草甸土 I (0.0381) > 碳酸盐高山草甸土 II (0.0334) > 冻石质土 (0.0203) > 冻粗骨土 (0.0151)。

在实验或自然条件下, (2) 式中的  $e^{kt}$  项均为  $1 \geq e^{kt} > 0$ , 且  $P_c \geq P_e$ 。在加磷量相同时, 不同土壤  $P_e$  不同, 是土壤特性差异的反映。同一土壤, 随加磷量增加, 其  $P_e$  增大, 但其增大值小于加入磷量, 说明所加磷肥不能被土壤全部固定, 因而土壤有效磷库随施

表5 土壤中可固定磷的容量 ( $P_c$ ) 与加磷量 ( $P$ ) 的关系

Table 5 Relationship between admissible quantity of fixable phosphorus ( $P_c$ ) with quantity of phosphorus added ( $P$ ), ( $n=4$ )

土壤类型 Soil type	回归方程 Regression equation	相关系数 $r$	显著性 Significance
冻石质土 Frozen rocky soil	$P_c = 0.5121P - 0.4935$	0.994	**
冻粗骨土 Frozen skeleton soil	$P_c = 0.4669P - 0.2856$	0.996	**
碳酸盐高山草甸土 I Carbonate alpine meadow soil I	$P_c = 0.5385P - 0.8187$	0.998	***
碳酸盐高山草甸土 II Carbonate alpine meadow soil II	$P_c = 0.4988P - 0.6400$	0.999	***
高山灌丛草甸土 Alpine scrubby meadow soil	$P_c = 0.4590P - 0.6183$	0.996	**
高山泥炭土 Alpine peat soil	$P_c = 0.4741P - 0.2209$	0.999	**

\*\*  $P < 0.01$ , \*\*\*  $P < 0.001$ .

肥量的增加而增大。这是加磷量提高可改善土壤的供磷状况的原因。

土壤  $P_c$  与加磷量的关系列于表 5。随加磷量的增加, 土壤库中可供固定的磷增多, 二者呈极显著的正线性相关 ( $P < 0.01$  或  $P < 0.001$ ), 由其线性回归方程的斜率可知, 不

同类型土壤, 当加磷量增多 1 单位时间,  $P_c$  的增加幅度各异, 高山灌丛草甸土最少 (0.4590 单位), 而碳酸盐高山草甸土 I 最多 (0.5383 单位)。这是土壤固磷能力的反映。

### (三) 影响磷素非生物固定的因子

水溶性磷的非生物固定主要是由于土粒的表面吸附和化学沉淀的固定。因此, 非生物固定与影响表面积大小的粘粒含量有关 (朱荫涓等, 1985; 邱嘉璋等, 1986; Sen Gupta, 1963; Byan等, 1985), 在酸性土壤中化学固定则主要与铁、铝起作用; 石灰性土壤其化学固定主要转变为各种磷酸钙 (Архипов等, 1982)。在本文所研究的土壤中, 将 pH、有机质含量、 $\text{CaCO}_3\%$  和物理性粘粒含量与土壤磷的非生物固定比率 (表 3)、可固定容量  $P_c$  和固定速率  $k$  (表 4) 及不同培养时间土壤固定磷的数量、百分率、(表 2) 等进行相关分析, 其结果均未达到显著 ( $P > 0.05$ ), 此与其它学者的研究结果不同 (朱荫涓等, 1985; Fox, 1978; Пивоварова 和 Гинзбург, 1981), 由此可见, 影响高山土壤磷素固定的因素, 除上述外, 可能还有其它因子。我们发现, 除高山灌丛草甸土外, 供试土壤磷固定的斜率 (表 3) 与其粘粒含量及  $\text{CaCO}_3\%$  之和有关, 它们的关系可用  $b = 0.1038e^{0.0296(\text{粘粒} + \text{CaCO}_3)}$  ( $r = 0.934, P < 0.01$ ) 描述, 说明高山土壤的磷素固定受多因子的综合作用, 边秀举和徐秋明 (1985) 的研究结果与此相似。有关其它因子及多因子的综合作用尚待进一步研究。

### 参 考 文 献

- 左克成、乐炎舟, 1980, 青海高山草甸土的形成及其肥力评价, 土壤学报, 17(4): 308—318。
- 乐炎舟、左克成、张金霞、赵宝莲、王在模、郭建华, 1982, 海北高寒草甸生态系统定位站的土壤类型及其基本特点, 高寒草甸生态系统 (夏武平主编), 甘肃人民出版社, 19—33。
- 乐炎舟、鲍新奎、张金霞、赵宝莲, 1980, 高山草甸土营养物质与植物生长的关系研究, 中国草原, 3: 28—33。
- 边秀举、徐秋明, 1985, 土壤对磷的固定作用与磷肥需要量的估测, 北京农业科学, 5: 22—25。
- 朱荫涓、G. Pardini and P. Sequi, 1985, 土壤磷酸盐吸持作用的研究, 土壤学报, 22(2): 127—135。
- 邱嘉璋、李正明、潘枫, 1986, 根据磷素吸收系数拟订土壤的磷肥施用量初探, 土壤通报, 17(5): 223—225。
- Fox, R. L. (何念祖译), 1978, 热带土壤的磷吸附作用, 土壤学进展, 5: 33—39。
- Jekson, D. S., 1976, 土壤研究法, 科学出版社, 81—83。
- Sen Gupta, M. B. (史瑞和译), 1963, 石灰性土壤中的磷, 土壤译丛, 6: 9—13。
- Ryan, J. D. Wrtin and M. A. Cheema, 1985, Significance of iron oxides and Calcium Carbonate particle size in phosphate sorption by calcareous soils, *Soil Science Society of America Journal*, 49 (1): 74—76。
- Архипов Н. П., Кушкова Л. П. и Февралева Л. Т., 1982, Блияние фосфорфиксирующей способности почвы на поступление фосфора в растения, *Агрохимия*, 6: 33—37。
- Пивоварова И. А., Гинзбург К. Е. 1981, Количественные закономерности поглощения фосфатов почвами, *Агрохимия*, 8: 126—138。

## NONBIOLOGICAL FIXATION OF PHOSPHORUS IN ALPINE SOIL

Bao Xinkui, Cao Guangmin and Zhao Baolian

(Northwest Plateau Institute of Biology, The Chinese Academy of Sciences)

The nonbiological fixation of water-soluble phosphorus put into alpine soils was studied. Results shows that all tested soils have ability to fix phosphorus by non-biological action within the range of phosphorus added (5—40  $\mu\text{g P/g soil}$ ). The relationship between the fixed amounts and quantity of the phosphorus added is significantly positive linear correlation ( $P < 0.01$ ), and the fixation percentages reduce as the amounts of phosphorus decrease. The change of phosphorus immobilized percent with quantity of manuring phosphorus can be expressed and simulated with index regression formula, and the simulations are quite significant. The fixation ratios of water-soluble phosphorus can be described by exponential model  $P_t = P_c e^{kt}$ , and it can be seen that phosphorus fixation of alpine soil follows the principle of first order reaction. There are main factors affecting the fixation of soil phosphorus such as pH. Organic matter content, carbonate content and the ratio of physical clay, but excepting these, there is probably a common function of many other factors on the fixation of soil phosphorus.

**Key words:** Alpine soil; Nonbiological fixation; Fixing capacity; Fixing rate.