

# 黄土性土壤在连续液流条件下吸附、解吸磷酸根的动力学研究

薛泉宏 尉庆丰 薛喜乐

(西北农业大学农化系, 712100)

## 摘 要

采用连续液流法研究了黄土性土壤吸附、解吸磷酸根的动力学性质。结果表明: (1) 供试土壤对磷酸根的吸附、解吸按速率可分为快、中、慢三种反应类型; (2) 描述吸附、解吸反应的最优模型均为 Elovich 方程, 最差模型分别为一级反应方程及双常数方程, 拟合差的模型对反应速率变化“敏感”, 可用于反应类型划分和机理研究; (3) 粘粒含量及代换量对吸附速率有显著影响, 游离铁对吸附速率、CaCO<sub>3</sub> 对较低温度下的吸附及较高温度下的解吸速率也有明显影响, 速效磷含量是控制解吸速率的重要因子; (4) 升高温度吸附加速, 但对解吸速率无明显影响; (5) 不同土类及同一剖面不同层次的吸附、解吸速率, 反应时间及吸附、解吸量不同。

**关键词** 土壤化学动力学, 磷吸附动力学, 磷解吸动力学, 磷吸附, 磷解吸

土壤固液相间磷的转化速率取决于磷在固相表面的吸附、解吸机制, 并制约着土壤的供磷能力。研究土壤固液相间磷转化的动力学性质, 对于探讨磷的吸附解吸机制, 评价土壤固磷供磷能力及指导磷肥施用有重要的理论与实践意义。

磷与土壤作用的动力学性质国外已有一定研究<sup>[7-10]</sup>, 但国内报道不多<sup>[4,5]</sup>, 有关黄土性土壤与磷反应的动力学研究更少, 而该类土壤在我国北方分布很广, 且多为重要的农产品生产基地, 故有必要对黄土性土壤吸附、解吸磷素的动力学性质加以研究。此外, 已有研究多采用间歇平衡法<sup>[4,5,7-10]</sup>, 该法不便于进行快反应研究, 且采用的实验条件与土壤中的反应条件差距较大, 其结果难以反映土壤中的实际过程。连续液流法能模拟田间条件并进行快反应研究。

本实验之目的: (1) 研究黄土性土壤在模拟条件下吸附、解吸磷酸根的动力学性质; (2) 研究影响黄土性土壤吸附、解吸磷酸根的因素。

## 一、材料与方 法

(一) 材料 供试土壤共五类七个土样, 均发育于黄土或黄土性母质上。基本性质见表 1。

磷饱和土样: 称过 1mm 筛的风干土样 100 克, 加 200 $\mu$ g/g 磷溶液 (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) 100ml, 加盖于室温下平衡两个月, 风干磨碎过 1mm 筛后用饱和 NaCl 溶液淋洗至无游离磷(钼兰法检验), 用少量无离子水淋洗过多的 NaCl, 风干磨碎过 1mm 筛。

(二) 方法 动力学测定装置见图 1。本实验蠕动泵流速 1ml/min, 水浴温度 25 $^{\circ}$ C、45 $^{\circ}$ C, 湿度变幅 $\pm 0.5^{\circ}$ C。

表 1 供试土壤理化性质<sup>1)</sup>

Table 1 Physical and chemical properties of the soils studied

土壤 Soil	采样点 Site	编号 No.	层次 Horizon	深度 (cm) Depth	pH (H <sub>2</sub> O)	有机质 O. M. (g/kg)
塬 土	陕西	1	Ap	0—20	8.05	12.1
	杨陵	2	Bt	80—100	8.04	9.3
黑垆土	陕西	3	Ap	0—20	8.05	16.3
	洛川	4	A <sup>2)</sup>	50—70	8.19	14.9
淋溶褐土	陕西周至	5	Ap	0—20	7.40	9.4
黄绵土	陕西米脂	6	Ap	0—20	8.45	5.5
黄褐土	陕西宁陕	7	Ap	0—20	6.88	5.7

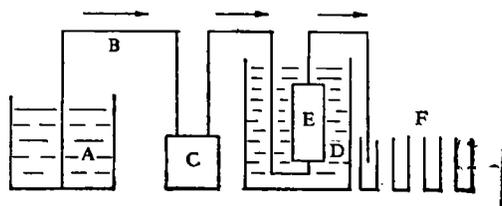
CaCO <sub>3</sub> (g/kg)	游离铁 Free Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (g/kg)	全磷 Total P (g/kg)	粘粒 ( $<0.005\text{mm}$ ) Clay (g/kg)	代换量 CEC (cmol(+)/kg)	土壤饱和吸磷量 Saturated P( $\mu\text{g/g}$ )
52.4	9.5	0.65	334	12.9	63.8
2.0	12.3	0.48	510	16.3	71.0
53.8	9.5	0.68	432	10.5	82.4
48.6	14.5	0.49	430	11.8	57.7
0.7	13.3	0.04	470	15.6	84.6
81.2	4.8	0.58	175	4.5	42.3
0	12.8	0.70	402	15.7	81.0

1) 游离铁用 DCB 法提取, 邻菲罗啉比色<sup>[1]</sup>; 土壤饱和吸磷量用 Olsen 法<sup>[2]</sup>; 其余项目常规法<sup>[1]</sup>。

2) 埋藏腐殖质层。

**交换柱准备:** 交换柱为长 70mm、内径 20mm 的有机玻璃柱。装柱时先向柱底加无磷石英砂至柱高 1/3 处, 中部装 2.000 克土与 4.0 克石英砂的混合物, 其上装石英砂近满, 再放 3 层磷慢速滤纸并加螺口盖旋紧密封。

**吸附测定:** 称过 1mm 筛的风干土样 2.000 克两份装柱并按图 1 连接。交换柱在预定温度下预热 30 分钟开启蠕动泵, 使初始浓度为 15 $\mu\text{g/g}$  磷标准液 (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) 自下而上均匀通过交换柱。在第一滴交换液流出输出导管时准确计时, 并在 150 分钟内连续 13 次收集交换液。1—6、7—9、10—12 及 13 号交换液的收集时间分别为 5、10、20 及 30 分钟。用钼兰法<sup>[3]</sup>测定各时段的交换液磷浓度 (C<sub>x</sub>) 并计算相应时段的土壤吸磷量 ( $\Delta q_s$ )。按时间顺序将各时段的吸磷量逐一累加, 即得反应进行至某一时刻时土壤的吸磷量, 如第 5、10、15、20、25、30、40、50、60、80、100、120、150 分钟时的吸磷量。结果用两次平行测定的均值表示。



A 交换液, B 连接胶管, C 蠕动泵, E 交换柱, F 滤出液承接管

图 1 动力测定装置示意图

Fig. 1 Apparatus of kinetics measurement

解吸测定: 用磷饱和和土样装柱, 0.5ml/L  $\text{NaHCO}_3$  (pH8.5) 为解吸液。操作同吸附测定。某时段土壤吸附、解吸量分别用(1)、(2)式计算:

$$\Delta q_s = \frac{(C_0 - C_s) \times V \times \Delta t}{m} \quad (1)$$

$$\Delta q_d = \frac{C_s \times V \times \Delta t}{m} \quad (2)$$

式中  $C_0$  为交换柱输入液浓度(15 $\mu\text{g/g}$ ),  $C_s$  为某时段的输出液磷浓度测定值,  $V$  为蠕动泵流速(1ml/min),  $m$  为称样量(2.000g),  $\Delta t$  为收集时间 (min)。

## 一、结果与讨论

### (一) 吸附、解吸曲线的意义

供试土壤在 25 $^{\circ}\text{C}$  时的吸附、解吸曲线见图 2。

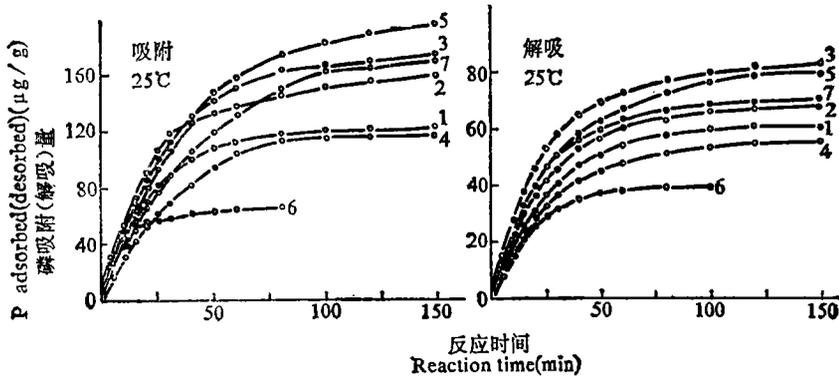


图 2 磷吸附、解吸曲线

Fig. 2 Curves of P adsorption and desorption

由图 2 看出, 在 25 $^{\circ}\text{C}$  下约经 80 分钟反应, 1—4 号土的吸附及 1、2、4、7 号土的解吸已趋近完成, 6 号土的吸附及解吸仅用 50 分钟左右就达到平衡, 5、7 号土的吸附及 5、3 号土的解吸平衡较慢, 但在 150 分钟时也接近完成。这说明黄土性土壤对磷酸根的吸附、解吸是一个相当快的过程, 质地较粗的土壤(6 号)达到吸附、解吸平衡所需时间远低于粘粒和游离铁含量较高的土壤(5、7 号)。从图 2 还可看出, 供试土壤达到或接近平衡时的吸附、解吸量分别按下列顺序排列: 5 号 > 3 号 > 7 号 > 2 号 > 1 号 > 4 号 > 6 号及 3 号 > 5 号 > 7 号 > 2 号 > 1 号 > 4 号 > 6 号, 除 5、3 号土样略有变动外, 其余土样排序相同。从吸附曲线的上升趋势看, 5、7 号土基本一致, 1—4 号比较相似, 6 号土很快进入平直阶段。在解吸反应中, 除 5、6 号土的解吸曲线比较特殊外, 其余土样的上升趋势比较相似。曲线的上升趋势反应了反应速率。图 2 提供的信息表明, 不同土类及同一剖面不同层次的土壤具有不同的吸附、解吸量及反应速率。粘粒、代换量及游离铁含量较高的土壤(吸附、解吸序列的前四个土样)具有较高的吸附、解吸量及较快的反应速率, 其余 3 个土样情况相反, 其中黄绵土(6 号)的吸附、解吸特征与其他土壤相比差异较大。

### (二) 吸附、解吸动力学模型

土壤对磷的吸附、解吸有多种模型<sup>[4,5,7-9]</sup>。不同模型拟合性不同。模型的拟合性用相关系数( $r$ )和标准误差( $Se$ )判定。 $r$ 值愈大, $Se$ 愈小,拟合愈好。

$$r = \sqrt{1 - \frac{\sum(q_i - \hat{q}_i)^2}{\sum(q_i - \bar{q}_i)^2}} \quad (3)$$

$$Se = \sqrt{\frac{\sum(q_i - \hat{q}_i)^2}{n - 2}} \quad (4)$$

式中 $q_i$ 、 $\hat{q}_i$ 及 $n$ 分别为吸附、解吸量的测定值、计算值及测定次数。在25℃时,四种模型对实验数据的拟合性见表2。

由表2可知,描述磷吸附、解吸的最优模型均为Elovich方程,最差模型分别为一级反应方程和双常数方程。对吸附反应来说,Elovich方程和双常数方程的相关系数均值分别为0.987、0.787, $Se$ 均值为6.32和30.53,反映出前者良好的拟合性,也说明黄土性土壤对磷的吸附不是一个简单的一级反应。在解吸反应中,一级方程的拟合性仅次于Elovich方程,其相关系数及 $Se$ 均值分别为0.989、0.992及3.48、2.28,差别不大,说明供

表2 四种动力学模型的相关系数( $r$ )和标准误差( $Se$ )(25℃)

Table 2 Correlation coefficients ( $r$ ) and standard errors ( $Se$ ) of four kinetic models for soils studied (25℃)

土壤编号 Soil No.	Elovich 方程 Elovich equation $q_t = a + b \ln t$		抛物扩散方程 Parabolic diffusion equation $q_t = a + b\sqrt{t}$		双常数方程 Two-constant rate equation $\log q_t = \log a + b \log t$		一级反应方程 <sup>1)</sup> First-order equation $\log \frac{q_t}{q_\infty} = a + bt$	
	$r$	$Se$	$r$	$Se$	$r$	$Se$	$r$	$Se$
吸 附								
1	0.979***	7.18	0.903***	15.56	0.938***	13.52	0.772**	24.31
2	0.984***	7.71	0.921***	16.82	0.926***	19.48	0.756**	32.15
3	0.990***	7.39	0.942***	17.15	0.938***	21.33	0.766**	39.12
4	0.989***	5.52	0.961***	10.28	0.952***	13.44	0.788**	28.13
5	0.993***	7.19	0.973***	13.77	0.963***	18.92	0.811***	44.0
6	0.980***	2.27	0.917***	5.50	0.943***	5.04	0.784**	9.11
7	0.991***	7.00	0.982***	9.98	0.973***	13.95	0.830***	36.92
平均	0.987	6.32	0.943	12.72	0.943	15.10	0.787	30.53
解 吸								
1	0.993***	2.07	0.932***	6.24	0.951***	6.88	0.995***	3.10
2	0.992***	2.38	0.943***	6.39	0.946***	7.61	0.985***	4.71
3	0.993***	2.64	0.951***	7.07	0.956***	8.44	0.998***	1.72
4	0.994***	1.70	0.953***	4.72	0.957***	5.37	0.996***	1.79
5	0.995***	2.27	0.955***	6.78	0.954***	8.57	0.986***	5.11
6	0.988***	1.81	0.938***	3.99	0.935***	4.85	0.996***	1.53
7	0.987***	3.09	0.925***	7.29	0.932***	8.43	0.969***	6.40
平均	0.992	2.28	0.942	6.07	0.947	7.16	0.989	3.48

注: \*、\*\*、\*\*\*分别表示  $P < 0.05, 0.01, 0.001$ , 以后各表与之相同。

1) 在解吸反应中, 一级反应方程为  $\log\left(1 - \frac{q_t}{q_\infty}\right) = a + bt$

试土壤解吸磷的反应近似一级反应,与吸附不同。

比较表 2 同一模型对不同土壤的拟合指标  $r$ 、 $Se$  可知,四种模型对 6 号黄绵土的拟合性均优于其他土壤,且对不同土壤有不同的  $r$ 、 $Se$  值。如用一级方程描述吸附过程时,七种土壤的  $Se$  及  $r$  分别变动在 9.11—44.0 及 0.756—0.830 之间,其中 6 号黄绵土的  $Se$  最小(9.11)。这说明同一模型对不同土类及同一剖面不同层次具有不同拟合性。其根本原因在于土壤组成及性质差异。

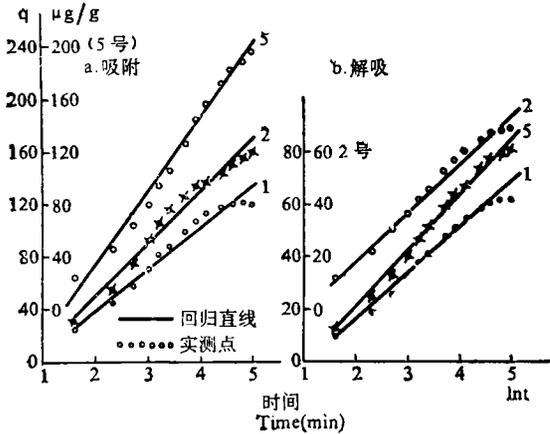


图 3 磷吸附、解吸 Elovich 方程图

Fig. 3 Elovich equation plots of P adsorption and desorption for some soils studied (25°C)

Elovich 方程对磷吸附、解吸的拟合情况可用三种土壤为代表说明(图 3)。由图 3 可见,磷的吸附、解吸反应用 Elovich 方程描述时具有较好的线性关系,且解吸时的线性关系优于吸附。表 2 中的  $r$  及  $Se$  值也说明了这一点。从图 3 还可以看出,尽管 Elovich 方程的拟合性优于其他三种模型,但吸附、解吸量测定值  $q$  与回归直线间仍有一定偏差,随时间延长偏差增大。 $q$  值在回归直线两侧的偏离反映了吸附、解吸过程中反应速率的变化。当用拟合差的模型作图时反应速率变化及速率等级表现得更为明显

(图 4、5)。

### (三) 吸附、解吸反应分类

图 4 以两种土壤为代表,说明供试土壤在两种温度下的吸磷一级反应方程曲线。图 5 是三种代表性土壤在 25°C 时的解吸扩散方程曲线。由图 4、图 5 可见,黄土性土壤在两种温度下的磷吸附、解吸过程均表现为三段(或两段)直线。反应初期直线很陡,中、后

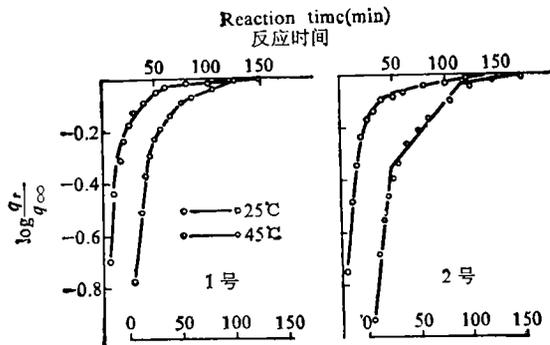


图 4 土壤吸磷一级反应方程曲线

Fig. 4 First-order equation plots for P adsorption

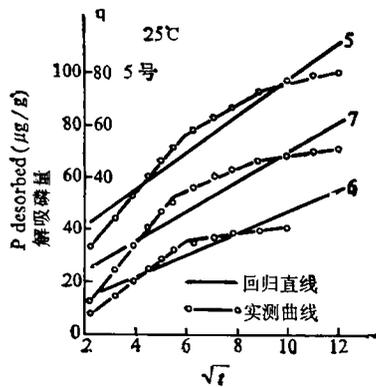


图 5 磷解吸扩散方程图

Fig. 5 Parabolic diffusion equation plots of P desorption for three soils

期趋于平缓。这三段直线的分段拟合结果见表 3。表中“整个反应”及快、中、慢反应分别代表不分段及分段两种情况。与不分段相比,分段后各段直线的  $r$  值增高及  $Se$  减小明显,拟合性显著提高。如吸附反应中,2 号土分段前后的相关系数( $r$ )分别为 0.756 及 0.970—0.978,  $Se$  值为 32.15 及 2.48—8.91。在解吸反应中,拟合度提高主要表现在  $Se$  上。如 7 号土的相关系数分段前、后分别为 0.925 及 0.970—0.9999,  $Se$  则由 7.29 减少到 0.161—0.872。以上结果表明,黄土性土壤对磷的吸附、解吸以不同速率进行,大致分为三个速率等级,分别代表快、中、慢三种反应类型,对立着不同的吸附、解吸机制和能态,其细节尚需进一步研究。

表 3 供试土壤不同速率磷吸附、解吸反应分段方程的相关系数 ( $r$ ) 和标准误差 ( $Se$ )(25°C)

Table 3 Correlation coefficients ( $r$ ) and standard errors ( $Se$ ) of different rate P adsorption and desorption equations for soils studied (25°C)

土壤编号 Soil No.	整个反应 Whole reaction		快 反 应 Fast reaction		中速反应 Middle reaction		慢 反 应 Slow reaction	
	$r$	$Se$	$r$	$Se$	$r$	$Se$	$r$	$Se$
吸附(据一级反应方程曲线斜率划分)								
1	0.758**	0.145	0.969*	0.061	0.983*	0.012	0.915	0.0067
2	0.715**	0.160	0.974*	0.062	0.979*	0.010	0.978***	0.0071
3	0.747**	0.172	0.965**	0.071	0.976*	0.014	0.979*	0.0034
4	0.787**	0.170	0.961**	0.072	0.990**	0.015	0.897*	0.013
5	0.798**	0.173	0.975*	0.061	0.983**	0.020	0.971*	0.0073
6	0.767**	0.087	0.943*	0.058	0.983*	0.0058	0.917*	0.0087
7	0.822***	0.161	0.966**	0.065	0.982**	0.018	0.949*	0.010
平均	0.771	0.152	0.965	0.064	0.982	0.014	0.944	0.008
解吸(据扩散方程曲线斜率划分)								
1	0.932***	6.24	0.9999***	0.171	0.994**	0.871	0.977**	0.776
2	0.943***	6.39	0.9995***	0.413	0.985**	1.34	0.997*	0.164
3	0.951***	7.07	0.9999***	0.167	0.999*	0.385	0.992**	0.620
4	0.953***	4.72	0.9999**	0.117	0.998**	0.421	0.966**	0.950
5	0.955***	6.78	0.9994***	0.571	0.993***	1.118	0.965*	0.998
6	0.938***	3.99	0.9998***	0.151	—	—	0.945**	1.10
7	0.925***	7.29	0.9999***	0.161	0.997**	0.597	0.970**	0.872
平均	0.942	6.07	0.9998	0.250	0.994	0.789	0.973	0.783

根据反应类型的划分结果可进一步计算出各反应的速率常数  $R$  (直线斜率)、反应时间  $t$ 、吸附解吸量  $q$  及其在总量中所占比例(表 4)。

从表 4 可知,快、中、慢反应的速率常数  $R_F$ 、 $R_M$  及  $R_S$  差异很大。如 25°C 时 5 号土的吸附速率常数分别为 34.2、6.35 及 0.81。解吸速率常数用扩散方程斜率表示,各速率差异较小。如 3 号土的  $R_F$ 、 $R_M$  及  $R_S$  分别为 13.59、7.31 及 2.81。从反应时间和吸附解吸量看,三种反应差异也很大。如 25°C 时吸附快反应多在 20—30 分钟完成,吸附量占总量的 48—80%,中、慢反应约分别 20—50, 70—100 分钟,吸附量占总量的 12—35% 及 8—20%。解吸时的情况与之类似。若将解吸时间与何振立等用间歇平衡法在南方酸性土壤

表 4 快、中、慢反应速率( $R$ )、时间( $t$ )及磷吸附、解吸量( $q$ ) (25°C)

Table 4 P adsorption and desorption capacities, reaction time and rates of fast, middle and slow reactions for soils studied (25°C)

土壤编号 Soil No.	反应类型 Reaction type	吸附(按一级方程计算) Adsorption (based on first-order equation)				解吸(按扩散方程计算) Desorption (based on diffusion on equation)			
		$R \times 10^{-3}$ / min	$t$ (min)	$q$ ( $\mu\text{g/g}$ )	%	$R$ ( $\mu\text{g/g} \cdot \text{min}^{-1/2}$ )	$t$ (min)	$q$ ( $\mu\text{g/g}$ )	%
1	F	30.2	20	71.1	59.0	9.78	20	31.7	51.9
	M	4.71	30	36.8	30.5	6.97	40	19.6	32.1
	S	0.48	100	12.6	10.5	2.12	90	9.8	16.0
2	F	33.4	25	107.3	66.9	10.99	25	42.3	61.1
	M	3.56	55	38.5	24.0	5.06	55	21.7	31.4
	S	0.78	70	14.6	9.1	1.15	70	5.2	7.5
3	F	28.6	25	101.7	58.6	13.59	25	52.8	63.2
	M	4.0	35	49.3	28.4	7.31	25	17.1	20.4
	S	0.44	90	22.6	13.0	2.81	100	13.7	16.4
4	F	27.4	25	61.2	51.0	8.42	20	29.4	52.3
	M	6.48	35	42.6	35.5	5.87	30	16.1	28.6
	S	0.65	90	16.1	13.4	1.76	100	10.7	19.0
5	F	34.2	25	94.7	48.1	12.36	30	51.2	63.8
	M	6.35	35	62.3	31.7	6.32	50	21.9	27.3
	S	0.81	90	39.7	20.2	1.52	70	7.1	8.9
6	F	20.8	20	53.6	79.8	7.66	25	29.3	71.6
	M	2.97	20	8.2	12.2	—	—	—	—
	S	0.95	40	5.4	8.0	1.90	75	11.6	28.4
7	F	26.6	30	89.7	52.1	12.68	20	41.4	58.4
	M	4.30	50	60.2	35.0	6.47	30	18.8	26.5
	S	0.84	70	22.3	13.0	1.72	100	10.7	15.1

注: F、M、S 分别指快、中、慢反应。

上所测结果加以比较<sup>[4]</sup>,看出,黄土性土壤在连续液流条件下的解吸过程要快得多。

#### (四) 影响吸附、解吸速率的因素

1. 土壤性质与反应速率的相关性 Elovich 方程可简化为  $q_t = a + b \ln t$ , 其中  $b = 1/\beta$ , 故表 5 中的  $\beta$  具有速率意义。由表 5 可知,在两种温度下,吸附反应的  $\beta$  值与粘粒、游离铁及代换量达到  $3 P < 0.05$  或  $P < 0.10$  水平负相关,说明代换量愈高,粘粒与游离铁愈多的土壤吸磷愈快,5、2 号土就属于此类。在解吸反应中, $\beta$  与粘粒及代换量的关系与吸附反应相同,但游离铁对解吸速率无明显影响。在 45°C 时,  $\text{CaCO}_3$  对解吸速率的降低达到了  $P < 0.10$  水平,这可能与升温后  $\text{CaCO}_3$  溶解增加,导致  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  化学沉淀增加有关。土壤饱和吸磷量测定值为速效磷含量,它与  $\beta$  的极显著负相关 ( $P < 0.01$ ) 表明,土壤速效磷含量是控制解吸速率的主要因素,有机质对吸附、解吸速率及全磷对解

表 5 Elovich 方程速率参数 ( $\beta$ ) 与土壤性质的相关系数 ( $r$ )Table 5 Coefficients ( $r$ ) of correlations between rate constants ( $\beta$ ) of Elovich equation and soil characteristics

	有机质 O. M.	代换量 CEC	粘 粒 Clay	游离铁 Free Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>	全 磷 Total P	土壤饱和 吸磷量 Saturated P
吸 25℃	-0.381	-0.863*	-0.907**	-0.820*	-0.745	—	—
附 45℃	-0.398	-0.847*	-0.838*	-0.689*	0.659	—	—
解 25℃	-0.386	-0.718*	-0.770*	-0.510	0.610	0.438	-0.948**
吸 45℃	-0.327	-0.818*	-0.813*	-0.654	0.708*	-0.420	-0.959***

吸速率均无明显影响。

2. 温度对反应速率的影响 由表 6 可知, 随温度升高吸附明显加快, 供试土壤除 6 号外, 其余土壤的吸附速率常数皆随温度升高增大, 变动在 +4.1—+20.8 之间。这说明黄土性土壤的吸磷过程是一个吸热反应。这与 Mehadi (1988) 在两种高度风化土壤上所得结果一致<sup>[10]</sup>。表 6 也说明温度升高对解吸速率无明显影响。

表 6 磷在不同温度下的吸附、解吸速率常数 (Elovich 方程)

Table 6 P adsorption and desorption rate constants (Elovich equation) at different temperatures

		土 样 号 Soil No.						
		1	2	3	4	5	6	7
吸 附	25℃	30.9	40.0	47.7	34.9	56.2	14.9	49.3
	45℃	51.7	59.7	60.4	39.0	45.2	20.2	59.2
	△	20.8	+19.7	+12.5	+4.1	-11.0	+5.3	+9.9
	t 检验	$t = 2.140* > t_{0.10}(2.015)$						
解 吸	25℃	17.6	18.0	22.4	14.6	21.6	11.8	17.9
	45℃	17.4	17.6	20.7	15.0	22.1	11.0	19.5
	△	-0.2	-0.4	-1.7	+0.4	+0.5	-0.8	+1.6
	t 检验	$ t  = 0.23 < t_{0.05}(2.571)$						

## 参 考 文 献

1. 中国科学院南京土壤研究所, 1978: 土壤理化分析。上海科学技术出版社。
2. 南京农业大学主编, 1980: 土壤农化分析。农业出版社。
3. 何群、陈家坊, 1983: 土壤中游离氧化铁及铬合铁测定。土壤, 第15卷6期, 242—245页。
4. 王光火, 1988: 土壤和高岭石与磷酸根反应动力学。浙江农业大学学报, 第14卷4期, 364—370页。
5. 何振立、袁可能、朱祖祥, 1989: 我国几种代表性土壤磷酸根释放动力学的初步研究。土壤通报, 第20卷6期, 256—260页。
6. 尉庆丰, 1992: 粘土与土壤中的反应动力学。土壤通报, 第23卷2期, 92—96页。
7. Evans, R. L. et al., 1976: Kinetics of phosphate release from a desert soil. Soil Sci. 12(4):205—211.
8. Sharpley, A. N. et al., 1981: The kinetics of phosphorus desorption from soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 45:493—496.
9. Elrhatib, E.-A. et al., 1988: Kinetics of phosphate desorption from applachian soils. Soil Sci.

145(3): 222—229.

10. Mehadi, A. A et al., 1988: Phosphate adsorption by two highly-weathered soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 52:627—632.

## KINETICS OF PHOSPHATE ADSORPTION-DESORPTION OF LESSIAL SOILS UNDER CONTINUOUS LIQUID CURRENT

Xue Quanhong, Wei Qingfeng and Xue Xile

(Northwest Agricultural University, 712100)

### Summary

Kinetics characteristics of phosphate adsorption-desorption by Loessial soils were studied under the conditions of continuous liquid current. Phosphate was adsorbed and desorbed at different rates. According to the rate, the reaction of adsorbing-desorbing could be divided into three types: fast, middle and slow reactions. Elovich equation was the best model to describe the adsorption and desorption of phosphate, while the first-order and parabolic diffusion equations were the worst; but the worst models were "sensitive" to the changes of reaction rate and could be used to classify reaction type and to study the reaction mechanism. The rates of adsorption and desorption were closely related to the soil clay and CEC. The influences of free  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  on adsorbing rate and  $\text{CaCO}_3$  on adsorbing rate under lower temperature and desorbing rate under higher temperature were significant. The rapidly available phosphorus was an important factor to control the desorption rate. The rate of phosphate adsorption was significantly influenced by temperature, but the effect of temperature on the desorption rate was not significant. The adsorption and desorption rates, capacity, of phosphate and reaction time varied with soil types and horizons.

**Key words** Chemical kinetics of soils, Phosphate adsorption kinetics, Phosphate desorption kinetics, Phosphate adsorption, Phosphate desorption