

土壤磷酸盐吸持作用的研究*

朱荫湄** G. Pardini P. Sequi

(中国科学院南京土壤研究所) (意大利国家科学委员会土壤化学所)

摘 要

18个供试土样,在较宽的磷浓度范围内(0—100 $\mu\text{m P/g土}$),它们的吸磷特征与 Langmuir, Freundlich 和 Temkin 方程式都有很好的相关性(r 值大多在0.97以上),尤以 Langmuir 方程式最佳。各供试土样吸磷能力差异很大,其最大 M 从大约300 $\mu\text{g P/g土}$ (黑炉土)到1500 $\mu\text{g P/g土}$ (砖红壤),火山灰土则高达5000 $\mu\text{g P/g土}$ 。当加入100 $\mu\text{m P/g土}$ 时,上述各土壤吸磷量分别占加入磷量的10%,47%和95%左右。土壤粘粒含量以及无定形和结晶态游离氧化铁铝含量均各与 M 显著相关。土粒的比面可作为单一的指标,它能较妥切而综合地反映土壤的吸磷能力。

有机质对土壤吸磷能力的影响是复杂的,它可以增加或减少 M 值。耕作施肥特别是红壤旱改水多年后,显著地降低了原土壤的 M 和 K 值。砂潮新成土上不同施肥处理小区的吸磷等温线表明,土壤中新增加的粗有机质对磷的吸持作用多发生在磷浓度较高的范围内,它是以吸附量高而吸附结合能低为特征的。

很多研究工作表明,用以说明土壤对植株供磷状况的应该是土壤的供磷强度(I)、数量(Q)、缓冲容量($\Delta Q/\Delta I$)和迁移速率(R)等四个因素^[4,5]。磷的等温吸附线既反映了土壤中磷素供应的强度因素也反映了数量和缓冲容量因素,因而受到了广泛的注意。近年来,很多土壤肥料工作者用它以及由它而得的一些吸附指标来描述土壤中磷素的有效供应能力,并进而估计该土壤种植作物高产所需的磷肥量^[3]。通常用来描述土壤对磷酸盐吸持作用的等温吸附方程式有 Freundlich 方程式、Langmuir 方程式、Temkin 方程式^[1,2]和其他一些经验或模拟方程式^[13,15]。由于 Langmuir 方程式对吸附平衡的描述是以吸附最大值和有关吸附结合能的参数为基础的,故自从 Olsen 和 Watanabe^[12]用它描述土壤对磷的吸持作用以来,很多土壤科学工作者都选用该式来研究土壤对磷的吸持特征。许多结果表明,此方程式在一定浓度范围内能很好地表现土壤对磷的吸持特征。但当平衡溶液的磷浓度范围较大时(如超过20 $\mu\text{g/ml}$,或 $10^{-3}M$),实验值与单一Langmuir方程式的计算值往往会出现偏差^[7,9,12,18]。Holford 和 Syers 等^[8,9,17]认为在土壤这一复杂的体系中,存在着两种或更多的具有不同吸附结合能的吸附点,因而用扩展的 Langmuir 两段或三段方程能够较完善地描述土壤对磷的吸附作用。Barrow^[2]则认为土壤对磷的吸附作用是带电荷的,因而在吸附作用过程中,随着表面电荷的变化,对磷的吸附亲和力减少,这是用两段方程所不能完全解决的。因此,利用这些等温吸附线只能表现地描述某一浓度范围内土壤对磷的吸持作用,得到表征土壤对磷吸附特征的参数——吸附最大值 M 和反映吸附结合能的 K 值,以便对不同土壤间的吸磷能力进行比较^[13]。

* 此项研究工作于1981年在意大利国家科学委员会土壤化学研究所进行;并得到中国科学院南京土壤研究所鲁如坤教授、蒋伯藩副教授的指正。在此一并致谢。

** 作者现在工作单位是浙江农业大学。

本工作选用了母质类型、矿质成分、质地、pH 以及利用类型差异较大的十种中国土样和八种意大利土样(采自不同有机肥处理的两个田间试验点)作为试样,进行了磷酸盐吸附作用的研究。

一、试验方法

供试土样共十八个,均采自耕层。土壤的基本情况见表 1、2。

磷吸附等温线的测定主要按 Bache^[1] 提供的方法,同时根据我们的试验条件略作变动:每一种土样称取 6—8 份的 5 克样品(风干,过 20 目),分别加不同量 0.01 M KCl 的含磷溶液(其 KH_2PO_4 浓度为 0.01M),并用 0.02M KCl 补足溶液使容积达 50ml,在这一系列样品中加入的磷量一般变化于每克土样 0—100 μmP 浓度范围内,土液比均为 1:10,而离子强度则保持基本不变。为了抑制微生物活动,溶液中加入两滴氯仿,然后在 25 $^{\circ}\text{C}$ 恒温水浴振荡机上连续振荡 22 小时。最后,把悬浊液过滤,测清液中磷含量。加入磷量与最后清液中磷量之差为吸附磷量。由于各土壤吸附能力有差异,我们改变 KCl 溶液中 KH_2PO_4 的浓度,使 497 及 501—508 各土样加入磷量变化于每克土 0—120 μmP 浓度范围内,而 499(火山灰土)加入的磷量则高达 200 $\mu\text{mP/g}$ 土。另外,为了比较不同的磷酸盐浓度范围下土壤对磷吸附的特点,我们对 Lamporecchio 试验地两个不同处理小区的土样(504 与 505)还采用更低的磷加入量(0—16 $\mu\text{mP/g}$ 土)进行了试验。

表 1 供试土壤的基本情况及对磷的吸附最大值

Table 1 Description of soil samples and maximum sorption in langmuir's adsorption isotherm of soil phosphate

土壤类型 Soil type	土壤样品号 Soil sample	采土地点 Locality	母 质 Parent material	吸附最大值 M($\mu\text{g P/g soil}$) Maximum sorption
红壤性水稻土	483	浙江、金华	第四纪红色粘土	1076
	484			573
红壤性水稻土	485	江西、刘家站	第三纪红砂岩	1335
	486			273
水稻土(赭血黄泥)	476	江苏、吴县	太湖地区黄土沉积	820
黄棕壤	491	南京近郊	下蜀黄土	622
下等白土	481	江苏、武进	黄土状母质	653
砖红壤	497*	广东、徐闻	玄武岩	1577
黑垆土	498*	内蒙、赤峰	黄土	346
火山灰土	499*	云南、腾冲	火山灰	5048
潜育冲积土	501	Field experimental plot Modena, Italy	河流冲积物	714
	502			751
	503			776
砂潮新成土	504	Field experimental plot Modena, Italy	河流冲积物	253
	505			434
	506			357
	507			344
	508			421

* 土样分别由吴志东、高以信、刘朝端同志提供。

表 2 供试土样的一些基本性质
Table 2 Some properties of soil samples

土样号 Soil sample	全 磷 (P%) Total-P	有 机 磷 (P%) Org.-P	pH (H ₂ O)	粘粒(%) Clay	有机-C (%) Org.-C	比面 (m ² /g) Specific surface area	连二亚硫酸钠提取 Dithionite- extractable		草酸盐缓冲液提取 Oxalate-extractable	
							Fe(%)	Al(%)	Fe (%)	Al(%)
							483	0.30	0.06	4.9
484	0.32	0.12	4.7	20.8	1.86	6.2	0.50	0.033	0.20	0.110
485	0.23	—	5.1	36.4	0.28	31.8	1.75	0.256	0.48	0.350
486	0.70	0.05	5.2	8.4	0.61	2.9	0.30	0.059	0.09	0.073
476	0.70	0.10	6.0	34.3	1.65	25.3	1.26	0.036	0.85	0.130
491	0.42	0.07	5.5	31.5	0.96	22.3	1.30	0.076	0.40	0.120
481	0.30	0.06	5.8	28.5	1.14	16.7	0.88	0.032	0.50	0.104
497	0.37	0.01	5.8	76.0	1.79	52.5	7.38	0.184	0.63	0.320
498	0.29	0.05	8.1	12.7	0.49	11.6	0.38	0.012	0.08	0.074
499	1.26	0.09	5.7	4.3	7.80	38.5	2.90	0.176	0.85	1.480
501	0.68	0.09	8.1	39.5	0.96	23.7	0.98	0.053	0.38	0.091
502	0.73	0.10	7.5	43.1	1.19	28.4	0.88	0.025	0.39	0.094
503	0.82	0.16	7.4	42.6	1.13	30.9	0.88	0.024	0.36	0.090
504	0.33	0.07	6.1	13.7	0.31	9.1	1.04	0.094	0.33	0.075
505	0.39	0.07	6.7	16.0	0.70	7.9	0.83	0.120	0.37	0.086
506	0.41	0.09	6.4	13.8	0.49	7.6	0.93	0.050	0.32	0.075
507	0.35	0.09	6.4	14.8	0.53	8.6	1.01	0.057	0.34	0.079
508	0.69	0.17	6.5	16.8	0.91	7.1	1.05	0.058	0.39	0.089

注: 试验所用分析方法如下:

全磷: CEC 推荐的方法: 1:1 硫酸和硝酸混合液消煮, 钼锑抗比色 (Cottenie and Kiekens, 1978)^[19]。

有机磷: 土壤灼烧后盐酸提取磷量与未经灼烧盐酸提取磷量之差 (Legg and Black, 1955)^[20]。

pH: 电位测定法(土/水=1/2.5)。

粘粒含量: 超声波分散, 吸管法测定 (Edwards and Bremner, 1967)^[21]。

有机-C: 重铬酸钾-硫酸。

比面: 低温氮吸附法 (Greenland and Quirk, 1964)^[22]。

Fe, Al: 连二亚硫酸钠提取 Fe, Al 和草酸-草酸钠缓冲液提取 Fe, Al, 分别都用原子吸收光谱法测定。

二、结果和讨论

(一) 供试土壤的吸磷特征

表 3 表明实验测得全部土壤样品 (18 个) 的吸持特征与 Langmuir, Freundlich 和 Temkin 吸附方程式都有很好的相关性。相关系数绝大多数都在 0.97 以上, 其中, 与 Langmuir 方程式的相关性最为显著。从表 1 可以看出不同土壤的吸磷特征差别很大, 磷的吸附最大值 (M) 可从 253 $\mu\text{g P/g}$ 土 (504), 346 $\mu\text{g P/g}$ 土 (黑垆土) 到 1577 $\mu\text{g P/g}$ 土 (砖红壤), 而比较特殊的云南火山灰土甚至高达 5048 $\mu\text{g P/g}$ 土。当每克土加入 100 $\mu\text{m P}$ 时, 我国北方黑垆土吸持的磷量仅占加入磷量的 10% 左右; 南京附近的黄棕壤以及太湖流域的白土和鳍血黄泥土吸持磷量约占 20% 上下 (18—24%); 而南方砖红壤和火山灰土

表 3 供试土样的磷酸吸附等温线
Table 3 Phosphate adsorption isotherms of soil samples

土壤样品号 Soil sample	Langmuir 式 $C/Y = \frac{1}{KM} + \frac{C'}{M}$			Freundlich 式 $Y = ac^{1/n}$ 即 $\lg Y = \lg a + \frac{1}{n} \lg c^{1/n}$			Temkin 式 $Y = K1/n(K_1C)$ 或 $Y = A + B \lg C$		
	$\frac{1}{KM}$	$\frac{1}{M}$	r	$\lg a$	$\frac{1}{n}$	r	A	B	r
483	0.0138	0.000930	0.997	2.428	0.259	0.996	175.36	359.95	0.995
484	0.0495	0.00175	0.996	2.050	0.285	0.994	-25.543	227.81	0.995
485	0.00821	0.000749	0.996	2.561	0.252	0.998	339.37	403.48	0.988
486	0.0908	0.00367	0.998	1.886	0.216	0.986	18.091	96.796	0.991
476	0.0445	0.00122	0.992	2.069	0.340	0.997	109.31	344.78	0.989
491	0.0608	0.00161	0.990	1.999	0.313	0.994	82.195	259.52	0.984
481	0.0455	0.00153	0.994	2.092	0.290	0.995	33.283	259.18	0.990
497	0.0110	0.000634	0.995	2.518	0.292	0.998	214.30	528.75	0.983
498	0.194	0.00289	0.988	1.508	0.391	0.995	120.42	162.78	0.984
499	0.00151	0.000198	0.992	3.087	0.302	0.997	1451.14	1481.29	0.975
501	0.0610	0.00140	0.992	2.034	0.312	0.981	-116.62	300.85	0.987
502	0.0642	0.00133	0.993	1.982	0.346	0.996	-152.83	324.09	0.992
503	0.0667	0.00129	0.994	1.925	0.375	0.996	-198.27	348.64	0.990
504	0.00803	0.00395	0.964	1.995	0.180	0.832	54.549	88.361	0.802
505	0.0907	0.00230	0.993	1.969	0.253	0.995	-17.941	161.63	0.983
506	0.155	0.00280	0.972	1.816	0.267	0.961	38.510	134.92	0.930
507	0.126	0.00291	0.987	1.854	0.254	0.982	21.101	129.13	0.971
508	0.169	0.00238	0.976	1.686	0.344	0.982	120.03	183.78	0.958

1) M = 吸附最大值; K = 与土壤对磷酸离子结合能有关的一个常数; Y = 土壤对磷酸离子的吸附量; C = 平衡溶液中磷酸离子的浓度。
2) a, n 为常数; 3) A, B 为常数; 表中 r = 相关系数。

对加入磷量的吸持值分别高达 47% 和 95% 左右。

(二) 影响土壤吸磷能力的因素

土壤本身的物理化学性质都会影响它对磷的吸持能力^[6,10,11,14,16,18]。18 个土样中,除了火山灰土含有大量水铝英石的胶体这一特殊情况外,其余 17 个土样的吸附最大值与土粒比面、粘粒含量和无定形氧化铝含量的相关性最大(表 4)。土粒比面的大小是由多种土壤性质决定,其中很重要的因素是粘粒含量,无定形氧化铁铝和游离氧化铁铝含量。表 4 的相关系数表明,它们与比表面积高度相关。所以,土壤比面可以作为一个指标,综合地反映该土壤对磷的吸持能力。

如果把这 17 个土壤样品分成两组。第一组中国土样由于它们的母质、矿物类型等一系列理化性质差异甚大,因而除了比面和粘粒含量外,游离氧化铁铝和无定形氧化铝含量都与吸附最大值 M 显著相关(表 4)。而第二组意大利土样(501—508),由于它采自不同有机肥处理的两个田间试验点,只有两种基本土壤,因而 M 与土壤有机质含量有明显的相关($r = 0.93^{**}$)。这说明,对于土壤类型不同,性质不同的土样,甚至包括石灰性土壤,游离氧化铁铝、无定形氧化铝含量在磷的吸持作用中都起重大作用。而对于土壤性质相近或同一土壤仅短时间不同施肥处理的各样品来说,土壤有机质含量对土壤吸磷作用起重大影响。

(三) 耕作、施肥对土壤吸磷能力的影响

1. 对磷吸附最大值 M 和有关吸附结合能 K 值的影响: 表 5 表明, 483、484 和 485、486 这两对分别来自同一地点、具有相同母质的红壤性水稻土,除了所处地形部位不同而带来的一些影响外,其主要差别在于 483 和 485 是新改水稻田,而 484 和 486 则是耕作年代较久(十年以上)的熟化老水田。比较每一对土壤的吸持特征,反映出长期水田耕作施肥对土壤吸磷能力有很大影响。与新改田 483、485 相比,熟化老水田 484 和 486 的吸

表 4 供试土壤的某些理化性质对磷吸附最大值的影响
Table 4 Correlation coefficients between M and soil properties

土壤性质 Soil properties	比面 S. S. A.	pH	有机-C Org-C	粘粒含量 Clay	Fe-Dit.	Al-Dit.	Fe-Ox.	Al-Ox.
17 个 土 样								
吸附最大值(M)	0.92**	N. S.	N. S.	0.90**	0.75**	0.68**	0.55*	0.91**
比面 S. S. A.	1.00	N. S.	N. S.	0.97**	0.76**	0.48**	0.58*	0.74**
9 个 中 国 土 样								
吸附最大值(M)	0.93**	N. S.	N. S.	0.91**	0.81**	0.85**	N. S.	0.95**
比面 S. S. A.	1.00	N. S.	N. S.	0.96**	0.89**	0.76**	N. S.	0.84**

* 为 5% 显著水准; ** 为 1% 显著水准; N. S. 为差异不显著; S. S. A. —— Specific surface area (比面);
 Fe-Dit } Dithionite-Fe, Al, 连二亚硫酸钠提取的氧化铁、铝(游离结晶态氧化铁铝);
 Al-Dit } Oxalic acid-
 oxalate-Fe, Al, 草酸-草酸盐缓冲液提取的氧化铁、铝(无定形氧化铁铝)。

附最大值要低得多, 它们的 K 值也差不多分别为新垦田的一半左右。显然, 原是差不多的红壤(在粘粒含量等性质上可能有点差异), 一旦被开垦作水田, 由于耕作、施肥、周期性渍水等人为的影响, 使一系列土壤性质发生变化, 从而影响到土壤的吸磷能力, 耕作时间越长, 变化越大。

表 5 耕作施肥对土壤吸磷能力的影响

Table 5 Influences of cultivation and fertilization on soil phosphatic retention

土样号 Soil sample	采土地点 Locality	土地利用情况 Land utilization and fertilization	吸附最大值 $M(\mu\text{g P/g soil})$ Maximum sorption	与吸附结合能有关的常数 K A constant related to the bounding energy
483	浙江、金华	新垦水稻田	1076	0.0672
484		老水田, 熟化程度高	573	0.0353
485	江西、刘家站	新垦水稻田	1335	0.0913
486		老水田, 熟化程度高	273	0.0404
501 ¹⁾	Modena	对照(不施有机肥)	714	0.0230
502 ¹⁾		施猪粪 100 米 ³ /公顷/年	751	0.0207
503 ¹⁾		施猪粪 300 米 ³ /公顷/年	776	0.0193
504 ²⁾	Lamporecchio	对照(不施有机肥)	253	0.492
505 ²⁾		嫌气污泥(占 20%)与 城市垃圾(占 80%)堆 沤后施用	434	0.0254
506 ²⁾		嫌气污泥单独施用	357	0.0180
507 ²⁾		好气污泥(占 40%)与 城市垃圾(占 60%)堆 沤后施用	344	0.0231
508 ²⁾		好气污泥单独施用	421	0.0140

1) 不同用量的有机肥试验区, 于 1980 年开始, 采样时间为 1981 年 7 月。

2) 不同有机肥源的试验, 于 1978 年开始, 采样时间为 1981 年 7 月。各处理每年加入有机质的含量与施 50 吨/公顷厩肥的有机质含量相等。

然而, 短时间施有机肥对不同土壤的吸持能力影响却不一样。Modena 试验地土壤有较高的粘粒含量, 它对磷的吸持量也大。从表 5 可以看出, 不同用量猪厩肥处理(100 米³/公顷和 300 米³/公顷)的土样其磷吸持曲线差别不大, M 和 K 值差异不大。显然, 短时间施用猪厩肥对吸持量较大的土壤的影响还看不出来。但是对于比面小得多因而吸持能力较低的 Lamporecchio 试验地, 在施用大量有机肥料(特别是 505, 嫌气污泥与城市垃圾堆沤处理)后, 土壤吸持磷能力就比对照(504)有了提高。各处理小区土样的 M 与有机质含量呈正相关($r = 0.90^{**}$)。

2. 有机质对土壤吸磷能力的影响: 施用有机肥对土壤吸磷能力的影响是复杂的也是双重的^[11], 前面我们提到两对红壤性水稻土由于长期受耕作、施肥的影响, 一系列土壤性质发生变化。从表 2 可以看到, 水田土壤中游离氧化铁铝含量的降低、粘粒含量的减少都降低了土壤的吸附表面积; 有机质含量的增加又占据了铁铝氧化物或粘粒表面更多的吸附点, 与磷争夺吸附位, 从而使土壤对磷的吸持量大大减少^[6], 同时也增加了土壤中残余吸附点上吸附磷的饱和度, 使被吸附磷酸离子的吸附结合能减少^[8]。

与上述情况相反, Lamporecchio 试验地土壤由于施用污泥和城市垃圾的时间不长, 特别是 505 土样, 80% 是城市垃圾, 在采集土样时都可以看到土壤中留有許多未分解的垃圾残体, 它们没有很好地与土粒结合, 这些粗有机物质本身就是一个吸附剂, 能吸附磷酸盐或者通过它螯合的铁铝离子对磷酸盐起吸持作用, 从而增加了土壤对磷酸的吸持能力。

有不少土壤化学家用两段或三段 Langmuir 方程式研究了土壤对磷的吸持作用^[6,9,17], 得到了很好的结果。我们虽然未就两段方程问题进行专门研究, 但从吸持曲线来看, 如果按磷浓度高低分别用两个方程式来描述这些土壤的吸持特征, 会更好一些。因此, 我们选择 Lamporecchio 试验地两个不同处理小区的土样(504 对照和 505 CANS), 研究它们在两种不同磷酸盐浓度范围内(磷加入量分别为 0—16 $\mu\text{mP/g}$ 土和 0—120 $\mu\text{mP/g}$ 土)的吸持特征, 结果表明(表 6), 在不同的磷酸盐浓度范围内, 它们的 M 值和 K 值是不同的。这意味着, 土壤中存在着多种能级的吸持点。从表 6 中可以看到, 当磷浓度范围较低(磷加入量为 0—16 $\mu\text{mP/g}$ 土)时, 505 CANS 土样的 M 值和 K 值与 504 对照土样相差不大, 但当磷浓度范围较大(磷加入量为 0—120 $\mu\text{mP/g}$ 土)时, 504 对照土样的 M 值变化不大而 K 值大大提高了。与之相对比, 505 CANS 土样的 M 值增加了很多, 而 K 值却反而缩小, 几乎为低浓度时的十分之一。这似乎可以说明土壤中有机质对磷吸持所起的作用主要发生在磷浓度较高的范围内。505 土样中有许多没有与土粒很好结合的新增加的有机物质, 在高磷浓度下吸持或通过它螯合的铁铝可吸持更多的磷酸盐而使 M 值提高, 与此同时也大大降低了吸持的结合键能。而没有施有机肥的土样, 在高磷浓度下, 吸持的磷酸盐增加不多, 但平衡溶液中高浓度的磷酸盐却强化了磷的吸持, 使 K 值大为提高。前者对于农业生产中以有机肥与磷肥混合(或堆沤)施用能提高磷肥的有效利用是一个很好的说明。

表 6 不同磷酸盐浓度下土壤的吸持特征

Table 6 Variation of parameters in Langmuir's adsorption isotherm under different phosphate concentrations

磷酸盐浓度范围 ($\mu\text{m P/g soil}$) Phosphate concentration	吸附最大值 ($\mu\text{g P/g soil}$) Maximum sorption M		与吸附结合能有关的常数 K A constant related to the bonding energy	
	0—16	504 201	505 232	504 0.201
0—120	253	434	0.492	0.0254

三、结 论

在较宽的磷浓度范围内, Langmuir 吸附等温式能很好地反映土壤对磷酸盐的吸持特征, 并同时提供了对土壤吸磷具有表征意义的参数—— M 和 K 值。各供试土壤由于其母质类型、矿物成分以及物理、化学性质的不同, 对磷的吸持能力相差很大, M 值低的只有 300 $\mu\text{gP/g}$ 土左右(如北方的黑垆土), 高的约为 1500 $\mu\text{gP/g}$ 土(如南方的砖红壤), 而性质特殊的火山灰土甚至高达 5000 $\mu\text{gP/g}$ 土, 可相差五倍甚至十几倍, 当加入磷量为 100 $\mu\text{mP/g}$

土时,上述各土壤吸磷量分别占加入磷量的10%、47%和95%左右。在诸多物理化学性质中,土壤比面作为固液两相界面反应的一个容量指标,它大体上能比较综合地反映土壤对磷的吸附最大值;而粘粒含量、无定形氧化铁铝(特别是铝)、游离氧化铁铝(特别是铁)含量或有机质含量则分别在不同土壤类型或同一土壤类型施肥处理不同的情况下起重要作用。

人为的耕作施肥,改变了土壤的一系列性质,从而大大地影响到它对磷酸盐的吸持作用。高度熟化的红壤性水稻土与开垦年代很短的红壤性水稻土相比,其吸磷量和K值都显得低得多。短期施用有机肥对土壤吸磷能力的影响,在粘粒含量高的土壤上并不明显,而在比面小,吸磷量低的土壤上却提高了土壤的吸磷量。土壤中有机物质对磷的吸持主要发生在磷浓度较高的范围内。它的吸附能力较矿质为低,因而虽然增加了吸磷量但却降低了吸附结合能。

有机质对土壤吸磷作用的影响是复杂的,除了它本身对磷的直接表面反应外,还通过对矿质土粒的表面掩蔽、吸附位的阻塞效应、电荷影响、结构效应以及对铁铝的螯合作用等影响了土壤对磷的吸持,这种种不同机制的作用有待进一步研究。

参 考 文 献

- [1] Bache, B. W. and Williams E. G., 1971: A phosphate sorption index for soils. *J. Soil Sci.*, 22: 289—301.
- [2] Barrow, N. J., 1978: The description of phosphate adsorption curves. *J. Soil Sci.*, 29: 447—462.
- [3] Beckwith, R. S., 1965: Sorbed phosphate at standard supernatant concentration as an estimate of the phosphate needs of soils. *Aus. J. Exp. Agr. and Anim. Husb.*, 5: 52—58.
- [4] Dalal, R. C. and Hallsworth, E. G., 1976: Evaluation of the parameters of soil phosphorus availability factors in predicting yield response and phosphorus uptake. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 40: 541—546.
- [5] Fox, R. L. and Kamprath, E. J., 1970: Phosphate sorption isotherms for evaluating the phosphate requirements of soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 34: 902—907.
- [6] For, R. L. and Searle, P. G. E., 1978: Phosphate adsorption by soils of the tropics. *Diversity of Soils in the Tropics*, pp. 97—119.
- [7] Holford, I. C. R. and Mattingly, G. E. G., 1976: A model for the behaviour of labile phosphate in soil. *Plant and Soil*, 44: 219—229.
- [8] Holford, I. C. R. and Mattingly, G. E. G., 1975: The high- and low-energy phosphate adsorbing surfaces in calcareous soils. *J. Soil Sci.*, 26: 407—417.
- [9] Holford, I. C. R., Wedderburn, R. W. M. and Mattingly, G. E. G., 1974: A Langmuir two-surface equation as a model for phosphate adsorption by soils. *J. Soil Sci.*, 25: 242—255.
- [10] Juo, A. S. R. and Fox, R. L., 1977: Phosphate sorption characteristics of some bench-mark soils of West Africa. *Soil Sci.*, 124: 370—376.
- [11] Lopez-Hernandez, I. Danilo and Burnham, C. P., 1974: The covariance of phosphate sorption with other soil properties in some British and tropical soils. *J. Soil Sci.*, 25: 196—205.
- [12] Olsen, S. R. and Watanabe, F. S., 1957: A method to determine a phosphorus adsorption maximum of soils as measured by the Langmuir isotherm. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 21: 144—149.
- [13] Posner, A. M. and Bowder, J. W., 1980: Adsorption isotherms: Should they be split? *J. Soil Sci.*, 31: 1—10.
- [14] Saunders, W. M. H., 1965: Phosphate retention by New Zealand soils and its relationship to free sesqui-oxides, organic matter, and other soil properties. *N. Z. J. Agric. Res.*, 8: 30—54.
- [15] Sibbesen, E., 1981: Some new equation to describe phosphate sorption by soils, *J. Soil Sci.*, 32: 67—74.
- [16] Singh, B. B. and Tobatabai, M. A., 1977: Effects of soil properties on phosphate sorption.

- Comm. Soil Sci. Plant Anal., 8: 97—107.
- [17] Syers, J. K., Browman, M. G., Smillie, G. W. and Corey, R. B., 1973: Phosphate sorption by soils evaluated by the Langmuir adsorption equation. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 37: 358—363.
- [18] Udo, E. J. and Uzu, F. O., 1972: Characteristics of phosphorus adsorption by some Nigerian soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 36: 879—883.
- [19] Cottenie, A. and Kiekens, L., 1978: Phosphorus analysis in soils. Commission of the European Communities Phosphorus in Sewage Sludge and Animal Waste Slurries, p. 82.
- [20] Legg, S. O. and Black, C. A., 1955: Determination of organic phosphorus in soils II. Ignition method. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 19: 139—142.
- [21] Edwards, A. P. and Bremner, J. M., 1967: Dispersion of soil particles by sonic vibration. J. Soil Sci., 18: 47—63.
- [22] Burford, J. R., Deshpande, T. L., Greenland, D. J. and Quirk J. P., 1964: Influence of organic materials on the determination of the specific surface areas of soil. J. Soil Sci., 15: 192—201.

STUDY ON THE PHOSPHATE RETENTION BY SOILS

Zhu Yinmei

(*Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing*)

G. Pardini and P. Sequi

(*C. N. R. Institute of Soil Chemistry, Italy*)

Summary

The data for phosphate retention of the eighteen surface soil samples in a wide range of phosphate concentration (up to 100 $\mu\text{mP/g}$ soil) were all found to be in close agreement with Langmuir, Freundlich and Temkin equations. Their correlation coefficients (r) were mostly over 0.97. Among these equations the Langmuir adsorption isotherm seemed to be the best fitting model. The great differences of their phosphate retention capacity were evidenced by the variations both in their adsorption maxima (M) and their bonding energy parameters (K). Thus, M varied from around 300 $\mu\text{g P/g}$ soil (Psammaquent, 504 and Loessial soil 498) to 1500 $\mu\text{g P/g}$ (Lateritic soil, 497). For the soil of volcanic ash origin, it even ran up as high as 5000 $\mu\text{g P/g}$. In terms of percentage of phosphate added (100 $\mu\text{m P/g}$ soil), the adsorption rates by these soils correspond to about 10%, 47% and 95% of the added phosphate respectively.

Among various physical and chemical properties of the soils studied, the contents of clay, as well as the amorphous and crystalline free iron and aluminum oxides were found to be all correlated with the phosphate retention capacity. In spite of the diversity of the soil samples, the specific surface area of the soil was found to be the most relevant single attribute which shows the best correlation with the phosphate retention capacity.

Cultivation practices, fertilizer applications and use of organic refuses exerted some influences on soil phosphatic retention properties. Seasonal flooding of soil by converting upland red earth into irrigated rice field is particularly effective in lowering the M and K values of their phosphate adsorption isotherms.