

# 不同施肥条件下旱地红壤磷素固定 及影响因素的研究\*

杨 芳 何园球 李成亮 王艳玲 林 天

(中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

**摘 要** 以 Langmuir 曲线测出的  $X_m$  值(最大吸磷量)为指标, 对不同施肥条件下旱地红壤土壤的吸磷能力变化特征及影响磷素吸附的主要因素进行了研究。结果表明: 施用磷肥能显著降低土壤的最大吸磷量, 其中, 施用厩肥的土壤  $X_m$  值最小。有机质是影响土壤吸磷能力的一个重要因素, 随着有机质含量的升高, 土壤吸磷能力减小; 活性铝也是影响磷素吸附的重要因素, 随活性铝含量增加, 磷素吸附能力增加; 活性铁的影响不显著; pH 对红壤旱地吸磷能力影响也不显著。通过因子分析得到, 有机质含量对土壤吸附磷素的能力影响最大。在生产上, 磷素最大吸附量  $X_m$  值可以作为初步判断土壤需施磷肥量大小的依据。这些可为红壤地区的磷素施用研究提供理论依据和实践指导。

**关键词** 红壤旱地; 不同施肥条件; 磷素吸附; 影响因素  
**中图分类号** S158.5 **文献标识码** A

磷是植物生长不可缺少的营养元素之一, 它既是植物体许多重要有机化合物的组成部分, 同时又以多种方式参与植物体内各种生理过程<sup>[1]</sup>。植物生长所需要的磷素营养主要来自于土壤, 所以土壤的有效性磷素与植物生长状况息息相关。但红壤作为我国南方主要的耕作土壤, 由于其独特的理化性质, 使其中的磷素很容易被固定, 从而表现出缺磷现象。有研究表明, 红壤上的磷素当季利用率只有 10% ~ 25%<sup>[2]</sup>。所以红壤磷素固定规律及其主要影响因素的研究, 可以为红壤地区的磷素施用和研究提供理论依据和实践指导。

影响磷素吸附的因素很多, 主要有土壤黏粒、有机质和土壤 pH 等。例如甘海华等的研究表明, 不同肥力红壤上, < 1  $\mu\text{m}$  粒级的复合体吸附磷量最大<sup>[3]</sup>。何振立等的研究表明, 有机阴离子降低磷酸根吸附的机制主要是竞争专性吸附<sup>[4]</sup>。王光火等的研究表明, 红壤在 pH5 左右吸附磷量最高, 吸附的磷最难解吸, 即能维持土壤溶液的磷浓度最低<sup>[5]</sup>。这些研究都比较深入, 但关于不同施肥条件对红壤旱地磷素吸附影响的研究还不多见。因此, 本文基于江西鹰潭长期施肥实验, 研究不同施肥条件下红壤磷素吸附规律及有机质、活性铝、铁和土壤 pH 等对磷素吸附的影响很有意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验地概况

供试土壤采自中国科学院红壤生态实验站, 为第四纪红色粘土发育的旱地红壤。长期试验始于 1988 年, 至今(2004 年)已有 16 年历史。包括单施无机肥试验和有机肥、无机肥配施试验。1995 年以前进行花生和油菜轮作, 后改为一季花生, 冬季休田。

### 1.2 实验设计

长期无机肥试验(以下简称无机肥试验): 选取 NPKCa、NPK 和 NK 3 种处理, 其中“Ca”指施用石灰, 每个处理设 3 次重复。

长期有机肥无机肥配施试验(以下简称有机肥试验): 设置对照 CK(即施 NPK)、厩肥与化肥配施、绿肥与化肥配施、秸秆(稻草)与化肥配施、花生秆本田还田与化肥配施 5 个处理(分别简称为 CK、厩肥、绿肥、秸秆、还田)。每个处理设 3 次重复。

有机肥试验的对照 CK 处理与化肥试验的 NPK 处理相比, 施肥量少近 1/2, 而且 2002 年和 2003 年两年均未施肥。供试土壤耕层的理化性质见表 1。本文统一以 NK 处理作对照。供试土壤的施磷量见表 2。

\* 中国科学院知识创新项目(KZCX2-413)和国家“973”项目(2005CB121107)资助

作者简介: 杨 芳(1978~), 女, 硕士研究生, 从事农业生态学方面的研究。E-mail: yf-lucky2005@163.com

收稿日期: 2004-12-29; 收到修改稿日期: 2005-05-21

表 1 供试土壤的基本理化性质

Table 1 Basic properties of tested soil

施肥处理 Fertilized treatments	有机质 Organic matter (g kg <sup>-1</sup> )	活性铝 Available Al (g kg <sup>-1</sup> )	活性铁 Available Fe (g kg <sup>-1</sup> )	pH(H <sub>2</sub> O)	有效磷 Available P (mg kg <sup>-1</sup> )	全磷 Total P (g kg <sup>-1</sup> )
还田 Return	11.46	1.16	1.06	5.58	39.59	0.50
秸秆 Stem	13.43	1.14	1.18	5.62	40.70	0.50
绿肥 Green manure	11.68	1.07	0.92	5.49	42.65	0.51
厩肥 Livestock manure	15.14	1.03	1.17	6.01	127.7	1.36
NK	8.18	1.52	1.26	4.50	9.27	0.27
CK	10.04	1.14	1.07	5.66	53.3	0.55
NPKCa	11.20	1.22	1.38	7.07	53.2	0.65
NPK	12.55	1.30	1.29	6.27	58.75	0.70

表 2 2003 年供试土壤施磷量

Table 2 P application rates in the experiment in 2003

施肥处理 Fertilized treatments	施磷量 Amount of applied P (P, mg kg <sup>-1</sup> )	施肥处理 Fertilized treatments	施磷量 Amount of applied P (P, mg kg <sup>-1</sup> )
还田 Return	4.00	NK	0
秸秆 Stem	5.00	CK	0
绿肥 Green manure	127.0	NPKCa	69.00
厩肥 Livestock manure	282.0	NPK	69.00

### 1.3 采样和实验方法

2003 年 8 月收获花生后采样,每个小区采用蛇形采样法采 20 个点,充分混合后,用四分法取土。采样深度为 0 ~ 10 cm。土样风干后,过 2 mm 筛备用。

Langmuir 曲线的测定:在 100 ml 三角瓶中加入过 35 目筛的土样 2.5 g,分别加入含磷浓度为 9、12、18、24、30、40 mg L<sup>-1</sup> 的 0.01 mg L<sup>-1</sup> 的 CaCl<sub>2</sub> 溶液各 50 ml。在 25 恒温室中每 8 h 振荡一次,每次 30 min。24 h 后取出并过滤,用钼锑抗法测磷<sup>[6]</sup>。

磷素固定系数  $f$  的测定:称取 5.0 g 过 2 mm 筛的风干土样于 100 ml 塑料瓶中,每个施肥处理称 4 份土,分别均匀地加入 1.5 ml 含 P 量分别为 0、120、240、480 mg L<sup>-1</sup> 的 NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 溶液湿润土壤,松松地盖住瓶盖,室温下培养 16 h 后,用 Bray 法测有效磷<sup>[6,7]</sup>。

有机质采用高温加热重铬酸钾氧化-容量法;pH 采用电位法(水土比 1:5);活性铁铝采用酸性草酸铵提取<sup>[7]</sup>,ICP 测定。

统计分析用 Excel 进行,差异显著性分析用 SPSS 软件执行。

## 2 结果与讨论

### 2.1 长期施肥条件下土壤的磷素固定能力

衡量土壤吸磷能力的指标很多,例如磷酸吸收系数(PAC)、磷酸盐位(I<sub>c</sub>)、磷饱和度(DPS)等。本文用由 Langmuir 曲线拟合计算出的磷素吸附特征值  $X_m$  和  $K$  值来作为衡量土壤吸磷能力的指标。Langmuir 曲线的计算公式为:

$$C/X = C/X_m + 1/(K \times X_m) \quad (1)$$

式中, $C$  为平衡液磷浓度 (mg L<sup>-1</sup>);  $X$  为磷吸附量 (mg kg<sup>-1</sup>);  $X_m$  为磷素最大吸附量 (mg kg<sup>-1</sup>),可表征土壤吸磷容量,  $X_m$  越大,代表土壤能吸附磷的点位越多;  $K$  为与结合能有关的参数,可表征土壤吸磷强度,  $K$  越大,代表土壤与磷素结合越牢固。也就是说被土壤吸附的磷素越难解吸。

供试土壤的磷素吸附特征值见表 3。

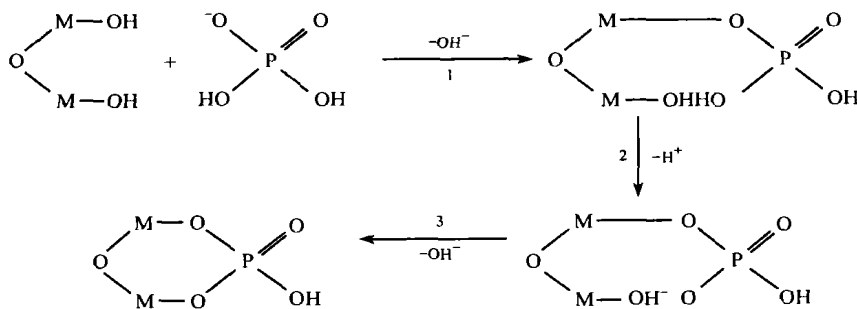
由表 3 中可以看到,不管是施用有机磷肥还是无机磷肥,都能显著降低土壤的  $X_m$  值。其中厩肥处理的  $X_m$  值最小,这应该跟厩肥处理中活性铝含量较少有关,有研究表明长期施用牛粪由于引起无

表3 供试土壤的磷素吸附特征值

Table 3 Characteristic value of soil P adsorption

施肥处理 Fertilized treatments	$X_m$ (P, g kg <sup>-1</sup> )	$K$
还田 Return	0.71	0.041
秸秆 Stem	0.63	0.023
绿肥 Green manure	0.63	0.028
厩肥 Livestock manure	0.45	0.007
NK	1.43	0.042
CK	0.59	0.042
NPKCa	0.67	0.032
NPK	0.71	0.028

定型铝数量降低,而间接地引起土壤磷最大吸附量



同样,施有机磷肥或无机磷肥都能降低土壤的  $K$  值。其中厩肥处理的  $K$  值最小,也就是说土壤与吸附其上的磷结合比较弱。绿肥处理的  $K$  值与 NPK 处理的一样。说明这两种施肥处理土壤与磷素结合的强度相差不大。NK 处理与 CK 处理的  $K$  值一样,这应该是因为 CK 处理的土壤,最近两年都没有施肥,造成其磷浓度比较低,也就比较难解吸<sup>[9]</sup>。NPK 处理与 CK 处理相比,CK 处理的  $K$  值远大于 NPK 处理说明施肥量少的土壤虽然其吸磷容量小,但吸磷强度却比较大。

要考察各施肥处理土壤的吸磷能力,就需要综合考虑土壤的吸磷量和强度。但由于  $K$  值主要与磷素解吸有关,而本文主要考虑磷素吸附问题,所以只以  $X_m$  值为指标进行研究。

## 2.2 影响磷素固定的主要因素分析

### 2.2.1 有机质

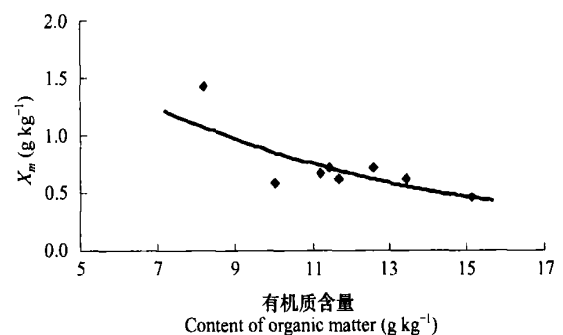
关于有机质对土壤磷素吸附的影响,存在两种截然不同的观点:有的学者认为土壤有机质产生的有机阴离子可与磷竞争吸附位点,从而减少磷的吸附;有的学者认为土壤有机质在形成过程中螯合铁、铝,而这些螯合的铁铝可以吸附磷,使土壤吸磷量上升<sup>[10]</sup>。

本研究表明: $X_m$  值随有机质含量的增加而减少,

降低<sup>[8]</sup>。施秸秆与施绿肥的处理, $X_m$  值相同;花生杆本田还田和化肥 NPK 处理的  $X_m$  值也相同。说明这些施肥处理土壤的吸磷量两两间差异不大。CK 与 NPK 处理相比,CK 处理的  $X_m$  值较小,说明施肥量少的土壤,其吸磷量也少。因此,施肥量越大,土壤吸磷量越大,损失也就越多,相应的对环境潜在的威胁也就越大。

NPK 处理与 NPKCa 处理相比,加了石灰的 NPKCa 处理的  $X_m$  值较小,说明加石灰到酸性土壤中减少了土壤吸附磷的量,这与其较高的 pH 有关。当铁铝氧化物遭遇  $H_2PO_4^-$  时,发生配位基团交换,铁铝氧化物放出  $OH^-$ ,此时,如果加入石灰,土壤的 pH 变大,该反应向左进行,减少了  $H_2PO_4^-$  的吸附<sup>[11]</sup>。反应式如下:

其相关系数达 0.80,为显著相关(见图 1)。即随着有机质含量的升高,土壤吸磷量下降。这在以往的研究中已有所验证。何振立等认为,由于有机阴离子的初始浓度比磷酸根高很多,因此相当大比例的高能结合位被有机阴离子占据,迫使部分磷酸根吸附在束缚较弱的位置上,从而提高了吸附磷的同位素交换活性和解吸率<sup>[4]</sup>。也就是说有机阴离子的竞争吸附导致了磷酸根离子解吸,从而降低了磷酸根离子的吸附量。倪悟钟等认为:有机阴离子与磷酸根离子的竞争吸附,导致了土壤对磷素吸收的减少<sup>[11]</sup>。

图 1  $X_m$  值与土壤有机质含量间的关系Fig. 1 The relationship between  $X_m$  and the content of organic matter

2.2.2 活性铝、铁 酸性土壤中的无定形铁铝氧化物和水化氧化物是磷的主要吸附基质<sup>[12]</sup>。吸附在铁铝氧化物表面的磷可以向更稳定的化学吸附态磷转变,同时与铁铝发生一些沉淀反应,形成难溶性磷酸盐,从而使红壤表现出对磷的高固定能力<sup>[13]</sup>。因此在红壤上,活性铁铝对磷素固定的影响是很重要的。

NK 处理活性铝含量最高,厩肥处理的活性铝含量最低,相应的它们的  $X_m$  值也分别是最大和最小的。相关分析的结果表明:土壤中活性铝含量与  $X_m$  值为极显著正相关(见图 2),相关系数达到 0.88。这说明了土壤吸附磷素的能力随着活性铝含量的增加而增加,活性铝对红壤磷素吸附有着不可忽视的作用。这就是 NK 处理土壤总是表现出很高的磷素吸附能力的原因。

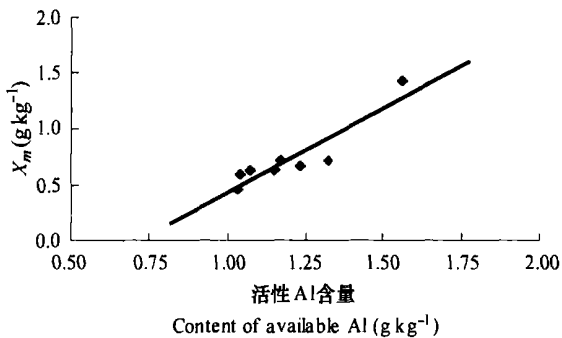


图 2  $X_m$  值与土壤活性铝含量间的关系

Fig. 2 The relationship between  $X_m$  and the content of available Al

8 种处理土壤的活性铁含量与  $X_m$  值没有达到

显著相关,相关系数为 0.45,这表明活性铁对红壤中磷素吸附的影响没有活性铝大。Yuan 和 Lavkulich 对 43 种森林土壤的研究表明,无定形的 Fe 和 Al 是最重要的吸附磷的基质,尤其是无定形的 Al<sup>[14]</sup>。洪顺山等的研究也表明在强酸性条件下,特别是红壤中,磷肥可能是被无定形磷酸铝固定下来的<sup>[15]</sup>。

2.2.3 pH 本次实验所测得的结果显示 pH 与  $X_m$  值没有达到显著相关,相关系数为 0.65。这与 Reeve 等在纳第尔省酸性土壤上的研究结果相吻合<sup>[16]</sup>。但有很多报道表明 pH 对土壤吸磷是有影响的。例如: Eze 等对尼日利亚南部酸性土的研究表明,加入高浓度的含磷  $\text{CaCl}_2$  和  $\text{NaCl}$  溶液的土壤培养一定时间后,随着 pH 的升高,土壤对磷的吸附降低<sup>[17]</sup>; Chen 等在红壤中添加不同量的石灰,调节红壤至不同的 pH 培养一定时间后测磷,结果表明土壤对磷的吸附随着土壤 pH 的升高而增加<sup>[18]</sup>。我们发现 Eze 和 Chen 等的研究方法都是首先调节土壤 pH,培养一段时间后测磷。只有 Reeve 等是直接取用大田土壤进行研究的<sup>[16]</sup>,其得到的结论与本研究的结论相似,因此 pH 对红壤旱地磷素吸附的影响还需要更进一步的研究。

2.2.4 因子分析 由于影响土壤吸附磷素的因素很多,各因素间很可能会有交互作用,因此仅用简单相关分析也许会忽略了问题的复杂性,从而不能揭示出对磷素吸附能力变化起支配作用的潜在因子。本文选取以上讨论过的各个对土壤磷素吸附有影响或可能有影响的因子进行因子分析来说明这一问题。分析结果如表 4、表 5 所示:

表 4 相关关系矩阵

Table 4 Correlation matrix

影响因素 Affected factors	有机质 Organic matter (g kg <sup>-1</sup> )	活性铝 Available Al (g kg <sup>-1</sup> )	pH(H <sub>2</sub> O)	活性铁 Available Fe (g kg <sup>-1</sup> )
有机质 Organic matter (g kg <sup>-1</sup> )	1.00			
活性铝 Available Al (g kg <sup>-1</sup> )	- 0.61	1.00		
pH(H <sub>2</sub> O)	0.47	- 0.36	1.00	
活性铁 Available Fe (g kg <sup>-1</sup> )	- 0.05	0.58	0.42	1.00

表 5 相关矩阵的特征数值

Table 5 Characteristic data of the correlation matrix

影响因素 Affected factors	特征值 Eigenvalues	贡献率 Contributive rates (%)	累积贡献率 Contributive rates of cumulation (%)
有机质 Organic matter (g kg <sup>-1</sup> )	2.00	49.88	49.88
活性铝 Available Al (g kg <sup>-1</sup> )	1.51	37.85	87.73
pH(H <sub>2</sub> O)	0.42	10.42	98.15
活性铁 Available Fe (g kg <sup>-1</sup> )	0.08	1.85	100.0

从表 4 中可以看出,各因子间都没有达到显著相关,它们之间的相互作用并不显著。从表 5 可以看出只有有机质含量和活性铝含量两个因素对磷素吸附影响的特征值超过 1,并且它们的累积贡献率达到了 87.73%。说明应该取这两个因子为本次分析的主成分,它们对于土壤磷素吸附有潜在的支配作用。从各影响因素的贡献率来看,有机质含量对磷素吸附能力的影响比活性铝含量的影响大。

### 3 $X_m$ 值的实践意义

磷素最大吸附量  $X_m$  值,在农业生产中意味着什么呢?在此用磷素固定系数  $ff$  值说明。 $ff$  值的意义是土壤每增加一个单位的有效磷,需要增施磷肥的量。一般用于计算推荐施肥量,具有很强的实践意义。计算公式为:

$$ff = A / (R - E) \quad (2)$$

式中, $A$  为加入磷肥溶液的量 ( $\text{mg kg}^{-1}$ ), $R$  为加入磷肥溶液培养的土壤的有效磷的量 ( $\text{mg kg}^{-1}$ ), $E$  为加入去离子水培养的土壤的有效磷的量 ( $\text{mg kg}^{-1}$ )<sup>[7]</sup>。以加  $0 \text{ mg L}^{-1} \text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  溶液培育的土壤测出的有效磷的量为  $E$ ,加入其余各浓度  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  溶液培育的土壤测出的有效磷的量为  $R$ ,由此即可得出 3 个  $ff$  值,取其平均值,即得到该施肥处理的  $ff$  值。

供试土壤的 Bray-P 量(即  $E$  值)及  $ff$  值如表 6 所示:

表 6 供试土壤的有效磷含量及  $ff$  值

Table 6 Content of available P and  $ff$ -value

施肥处理 Fertilized treatments	$E$ (P $\text{mg kg}^{-1}$ )	$ff$
还田 Return	12.98	2.8
秸秆 Stem	6.84	3.26
绿肥 Green manure	15.07	2.99
厩肥 Livestock manure	110.8	2.38
NK	1.52	3.65
CK	16.58	2.59
NPKCa	21.45	3.2
NPK	28.97	3.58

由表 6 可以看出,与对照 NK 处理相比,不管是施有机还是无机肥,都能显著提高土壤有效磷含量,并使  $ff$  值降低。也就是说,要增加一个有效磷单位所需施的磷量都有所降低。厩肥处理的有效磷含量最多, $ff$  值最小。以  $X_m$  值为自变量,以  $ff$  值为因变

量,做简单相关分析,其相关方程为  $Y = 0.001X + 2.269$ ,相关系数  $r = 0.69$ ,达到显著正相关。也就是说, $X_m$  值大的土壤,要增加一个单位的 Bray 有效磷,需要增施的磷肥量就比较大。因此, $X_m$  值可以用来初步推断土壤需施磷量的大小。

### 4 结 论

1)  $X_m$  值是一个能够反映土壤磷素吸附能力的容量指标。 $X_m$  值增大,土壤吸磷量增加。施用磷肥的土壤相对于不施磷肥的土壤来说,前者的  $X_m$  值明显低于后者。其中厩肥处理土壤  $X_m$  值最小,说明厩肥的施用可以明显降低土壤的吸磷能力。

2) 影响土壤吸磷能力的因素有很多:随有机质含量的增加,土壤吸磷量减少;随活性铝含量增加,土壤吸磷量增加;pH 值和活性铁的影响不显著。从因子分析结果看,有机质含量对其影响最大。

3)  $ff$  值是用于计算推荐施肥量的系数,其与  $X_m$  值的呈显著正相关。因此,可以根据  $X_m$  值来初步推测土壤需要施用的磷肥量。

### 参 考 文 献

- [1] 何念祖,孟赐福,编著. 植物营养原理. 上海:上海科学技术出版社,1987. 134~145. He N Z, Meng C F, et al. eds. Theory of Plant Nutrition (In Chinese). Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1987. 134~145
- [2] 中国科学院南京土壤研究所主编. 中国土壤. 北京:科学出版社,1978.384. Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. ed. Soil of China (In Chinese). Beijing: Science Press, 1978. 384
- [3] 甘海华,徐盛荣. 红壤及其有机无机复合体对磷的吸附与解吸规律探讨. 土壤通报,1994,25(6):264~266. Gan H H, Xu S R. Discussing the rules of adsorption and desorption to phosphorus in red soil and its organic and inorganic complex (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 1994, 25(6):264~266
- [4] 何振立,袁可能,朱祖祥. 有机阴离子对磷酸根吸附的影响. 土壤学报,1990,27(4):378~384. He Z L, Yuan K N, Zhu Z X. The effect of organic anion to the absorption of phosphate (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 1990, 27(4):378~384
- [5] 王光火. 红壤在不同 pH 下对磷的吸附和解吸作用. 土壤通报,1989,20(2):70~72. Wang G H. Adsorption and desorption of phosphorus in red soil on the condition of different pH (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 1989, 20(2):70~72
- [6] 鲁如坤主编. 土壤农业化学分析方法. 北京:中国农业科技出版社,1999.181~182. Lu R K. ed. Methods of Agricultural Chemical Analysis in Soil (In Chinese). Beijing: Chinese Agricultural Science and Technology Press, 1999. 181~182
- [7] Vendrell P F, Sabbe W E. Evaluation of a fast method for determination of P and K fixation. Commun. Soil Sci. Plant Anul., 1990, 21

- (15) : 1 277 ~ 1 297
- [ 8 ] 夏立忠, Anderson Roy. 长期施用牛粪条件下草原土壤磷的等温吸附与解吸动力学. 土壤, 2000, 32(3) : 160 ~ 164. Xia L Z, Anderson R. Isothermal adsorption-desorption dynamics onto grassland soil under the condition of long-term cattle manure fertilization (In Chinese). Soils, 2000, 32(3) : 160 ~ 164
- [ 9 ] 罗安程, 章永松. 有机肥及其施用方法对红壤磷吸附和解吸特征的影响. 热带亚热带土壤科学, 1995, 4(2) : 73 ~ 78. Luo A C, Zhang Y S. Adsorption and desorption of phosphate in red soil as affected by long-term application of organic manure (In Chinese). Tropical and Subtropical Soil Science, 1995, 4(2) : 73 ~ 78
- [ 10 ] 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. Liu S X, Xiong D Z. The research of soil absorbing and applying phosphorus (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 1989, 20(4) : 147 ~ 149
- [ 11 ] Ni W Z, Zhang Y S, Sun X. Effect of organic manure on phosphorus adsorption-desorption and availability in paddy soil derived from red earth. Pedosphere, 1995, 5(4) : 357 ~ 361
- [ 12 ] Borggaard O K, Jorgensen S S, Moberg J P, *et al.* Influence of organic matter on phosphate adsorption by aluminium and iron oxides in sandy soils. J. Soil Sci., 1990, 41 : 443 ~ 449
- [ 13 ] 李寿田, 周健民, 王火焰, 等. 不同土壤磷的固定特征及磷释放量和释放率的研究. 土壤学报, 2003, 40(6) : 908 ~ 913. Li S T, Zhou J M, Wang H Y, *et al.* Research of fixation characters and the amount and rate of P release in different soils (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2003, 40(6) : 908 ~ 913
- [ 14 ] Yuan G, Lavkulich L M. Phosphate sorption in relation to extractable iron and aluminium in spodosols. Soil Sci. Soc. Am. J., 1994, 58 : 343 ~ 346
- [ 15 ] 洪顺山, 朱祖祥. 从磷酸盐位探讨土壤中磷的固定机制及其有效度问题. 土壤学报, 1979, 16(2) : 94 ~ 108. Hong S S, Zhu Z X. Discussing the problem about the fixation mechanism and availability of P from  $pH_2PO_4$  (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 1979, 16(2) : 94 ~ 108
- [ 16 ] Reeve N G, Sumner M E. Effects of aluminium toxicity and phosphorus fixation on crop growth on oxisols of Natal. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 1970, 34 : 263 ~ 267
- [ 17 ] Eze O C, Loganathan P. Effect of pH on phosphate sorption of some paleudults of southern Nigeria. Soil Sci., 1990, 150 : 613 ~ 621
- [ 18 ] Chen J H, Barber S A. Effect of liming and adding phosphate on predicted phosphorus uptake by maize on acid soils of three soil orders. Soil Sci., 1990, 150 : 844 ~ 850

## EFFECT OF FERTILIZATION ON PHOSPHORUS FIXATION IN UPLAND RED SOIL AND ITS AFFECTING FACTORS

Yang Fang He Yuanqiu Li Chengliang Wang Yanling Lin Tian  
(Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

**Abstract** Characteristics of phosphorus adsorption by upland red soils different in fertilization and their affecting factors were studied with  $X_m$ -value calculated out of the Langmuir curve as index. The results show: (1)  $X_m$ -value is always lower in soil fertilized with inorganic or organic phosphorus than in soil not fertilized with phosphorus. Livestock manure is an effective fertilizer because it makes  $X_m$ -value lower than other fertilizers. (2) Organic matter and available-Al significantly influence soil P absorbing capacity, which rises with the increase in available-Al content in soil, but it declines with the increase in organic matter content. pH and available-Fe are minor factors affecting  $X_m$ -value in this research. The above-listed results are testified by data reduction-analysis, indicating the content of organic matter was the most influential factor found. (3) Because of the good relationship between  $X_m$ -value and  $f_f$ -value, which can be used as a basis for recommendation of P fertilization in practice,  $X_m$ -value may be an index to judge the amount of P fertilizer needed in the field primarily. In a word, these results contribute to research on transformation of phosphorus and determination of P application rate in red soil regions.

**Key words** Upland red soil; Different fertilization; Phosphorus adsorption; Affecting factor