

# 稻作制、有机肥和地下水位对红壤性 水稻土磷的吸持作用的影响\*

张 杨 珠

(湖南农业大学资源系, 长沙 410128)

蒋 有 利

(湖南省祁阳县国土管理局)

黄运湘 胡瑞芝 肖永兰

(湖南农业大学资源系)

**摘 要** 从 1982~1994 年, 对稻作制, 有机肥和地下水位三因素多水平的定位试验土壤, 进行磷的恒温吸附试验, 研究不同稻作制和地下水位以及施用有机肥对红壤性水稻土对磷的吸持作用的影响。结果表明, 各处理土壤磷的恒温吸附曲线形状都很相似, 均属于高亲和力的“L”型曲线, 所有吸附资料与三个已知吸附模型的拟合程度均达极显著水平, 其中以一元 Langmuir 模型优于 Freundlich 和 Temkin 两个模型。三种稻作制比较, 水稻冬泡土壤对磷的吸持容量明显大于水稻冬绿和水稻冬油土壤对磷的吸持容量; 施用有机肥和提高地下水位均显著增大土壤对磷的吸持容量。除去土壤游离氧化铁和无定形氧化铁后, 土壤对磷的吸持容量显著下降。土壤无定形氧化铁含量与除去无定形氧化铁后土壤对磷的吸持量的降低值和一元 Langmuir 方程中的  $Q_m$  值分别呈显著和极显著正相关。稻作制、有机肥和地下水位对供试土壤对磷的吸持作用的影响主要是通过影响其氧化铁的活性实现的。一元 Langmuir 方程中的  $Q_m$  值与 Olsen ——有效磷含量呈极显著负相关。

**关键词** 稻作制, 有机肥, 地下水位, 红壤性水稻土, 土壤磷素吸持作用

**中图分类号** S158.2

土壤对磷的吸持作用是土壤的重要化学特性之一, 也是影响土壤对作物的供磷能力的重要因素。它既与成土母质有关, 也受耕作、栽培、施肥等农业技术措施的影响。因此, 研究这些农业技术措施对土壤磷的吸持作用的影响可为进一步明了土壤中磷的化学行为和提高土壤本体磷以及施入磷肥的生物有效性提供理论依据。

\*本文系湖南省教委 1995 年度自然科学基金资助课题“不同稻作制下红壤性水稻土肥力演变的化学机理研究” (批准号: 95079) 的一部分。

收稿日期: 1997-05-22; 收到修改稿日期: 1997-11-18

# 1 供试材料和研究方法

## 1.1 供试土壤

土壤采自本校土壤教研室 1982 年春建立的持续进行的稻作制, 有机肥和地下水位的三因素多水平长期定位试验地。土壤类型为由耕型第四纪红土上发育的红壤开垦而来的红壤性水稻土。定位试验的原始土壤(耕型第四纪红土红壤)的某些基本性质已经报道<sup>[1,2]</sup>。各试验处理代号及处理内容如表 1。其中常量有机肥处理为早稻每季每公顷施鲜紫云英 22500kg, 晚稻每季每公顷施鲜稻草 7500kg; 高量有机肥处理为早稻每季每公顷施鲜紫云英 45000kg, 晚稻每季每公顷施鲜稻草 11250kg; 化肥处理只施化肥, 不施任何有机肥。各处理 N、P、K 的施用量一致, 每季每公顷施纯 N150kg, N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O 为早稻 1:0.5:1, 晚稻 1:0:1。

表 1 长期定位试验处理

Table 1 Design and treatments for the long-term stationary experiment

处理代号 Treatment No.	地下水位 Groundwater level	有机肥施用量 Applying rate of organic manure	稻作制度 Rice-based cropping system
M-4	低	常量有机肥	稻稻冬泡
M-5		常量有机肥	稻稻绿肥
M-6		常量有机肥	稻稻油菜
M-7	水	高量有机肥	稻稻冬泡
M-8		高量有机肥	稻稻绿肥
M-9		高量有机肥	稻稻油菜
M-16	(80cm)	化 肥	稻稻冬泡
M-17		化 肥	稻稻绿肥
M-18		化 肥	稻稻油菜
M-1	高	常量有机肥	稻稻冬泡
M-2		常量有机肥	稻稻绿肥
M-3		常量有机肥	稻稻油菜
M-10	水	高量有机肥	稻稻冬泡
M-11		高量有机肥	稻稻绿肥
M-12		高量有机肥	稻稻油菜
M-13	(20cm)	化 肥	稻稻冬泡
M-14		化 肥	稻稻绿肥
M-15		化 肥	稻稻油菜

## 1.2 研究方法

(1) 于 1994 年春季翻耕前取上述定位试验各处理的耕作层土壤(0~20cm), 风干, 制成过 20 目和 60 目分析土样, 供研究用。

(2) 磷的恒温吸附试验, 分别称取各处理过 60 目土样 8 份, 分别加入磷浓度分别为 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 $\mu\text{gP}/\text{mL}$  的 0.01mol/L  $\text{CaCl}_2$  溶液 50mL, 在 25 $^{\circ}\text{C}$  恒温条件下平衡 24 小时, 期间每隔 6 小时振荡 1 次, 每次 1 小时。24 小时后, 取出过滤, 测定滤液中磷浓度, 计算残余磷量。溶液中起始含磷量减去残余磷量即为吸磷量。用已知的三个吸附模型: 一元 Langmuir 模型, Freundlich 模型和 Temkin 模型来拟合

吸附试验资料。

(3) 测定方法, 土壤有效磷: pH8.5 的 0.5mol / L NaHCO<sub>3</sub> 溶液浸提, 钼锑抗比色法测磷<sup>[3]</sup>; 游离氧化铁和 无定形氧化铁: 分别用 DCB 法和 Tamm 法提取, 邻菲罗啉比色法测铁<sup>[4]</sup>。

(4) 去游离氧化铁和无定形氧化铁对土壤吸磷量的影响, 分别用 DCB 法和 Tamm 法去铁后, 用含磷量为 40μgP / mL 的 0.01mol / L CaCl<sub>2</sub> 溶液按上述方法进行磷的恒温吸附试验, 用钼锑抗比色法测磷。

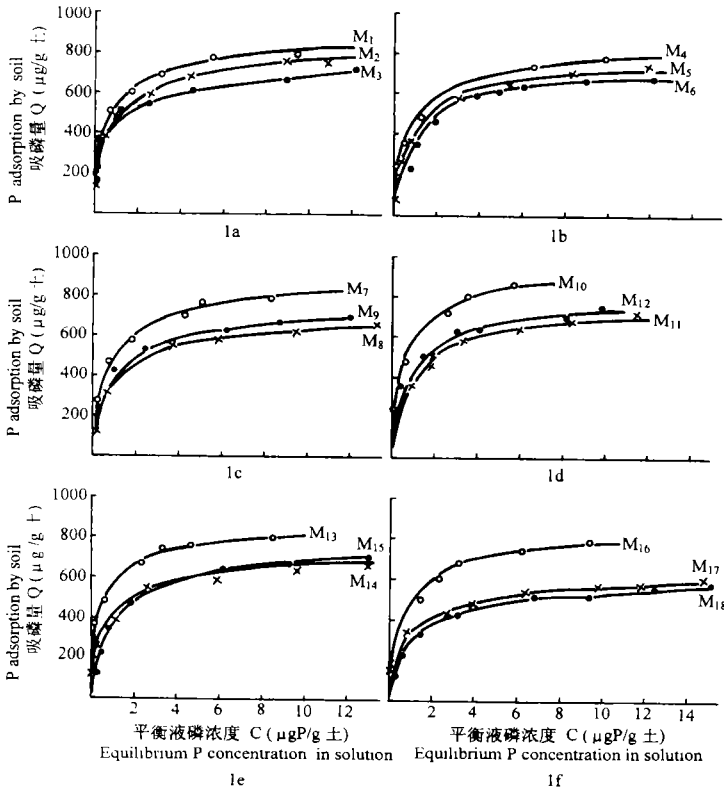


图 1a  $M_1: Q = \frac{1372.0C}{1 + 1.66C}$ ;  $M_2: Q = \frac{1200.3C}{1 + 1.59C}$ ;  $M_3: Q = \frac{909.3C}{1 + 1.24C}$

图 1b  $M_4: Q = \frac{1110.5C}{1 + 1.37C}$ ;  $M_5: Q = \frac{1128.0C}{1 + 1.50C}$ ;  $M_6: Q = \frac{1118.7C}{1 + 1.50C}$

图 1c  $M_7: Q = \frac{1290.6C}{1 + 1.52C}$ ;  $M_8: Q = \frac{822.5C}{1 + 1.17C}$ ;  $M_9: Q = \frac{767.5C}{1 + 1.04C}$

图 1d  $M_{10}: Q = \frac{1641.9C}{1 + 1.75C}$ ;  $M_{11}: Q = \frac{900.3C}{1 + 1.20C}$ ;  $M_{12}: Q = \frac{987.6C}{1 + 1.23C}$

图 1e  $M_{13}: Q = \frac{1826.7C}{1 + 2.21C}$ ;  $M_{14}: Q = \frac{821.3C}{1 + 1.13C}$ ;  $M_{15}: Q = \frac{718.4C}{1 + 0.97C}$

图 1f  $M_{16}: Q = \frac{1033.4C}{1 + 1.20C}$ ;  $M_{17}: Q = \frac{589.3C}{1 + 0.93C}$ ;  $M_{18}: Q = \frac{625.7C}{1 + 1.04C}$

图 1 供试土壤对磷的吸附等温线

Fig.1 Phosphate adsorption isotherms of the tested soils

## 2 结果与讨论

### 2.1 供试土壤磷的恒温吸附曲线及其对几个吸附模型的拟合情况

图 1 是长期定位试验各处理土壤对磷的恒温吸附曲线, 按一元 Langmuir 方程绘制。其中 1a, 1d, 1e 分别是高水位条件下施用常量有机肥, 高量有机肥和化肥的三种稻作制处理土壤对磷的恒温吸附曲线; 1b, 1c, 1f 分别是低水位条件下施用常量有机肥, 高量有机肥和化肥的三种稻作制处理土壤对磷的恒温吸附曲线。由图 1 可知, 尽管不同处理土壤对磷的吸持能力不同, 但其曲线形状和变化规律都非常一致: 即随起始磷浓度增大, 供试土壤的吸磷量都不断增加, 起始磷浓度较低时, 曲线很陡, 溶液中的磷几乎全被吸附; 随着起始磷浓度增大, 曲线渐趋平缓, 吸磷量增加速度减慢; 至一定浓度后, 曲线变得很平坦, 基本达到饱和状态。各吸附曲线都属于高亲和力的“L”型曲线。

将供试土壤磷的恒温吸附资料分别用一元 Langmuir 模型, Freundlich 模型和 Temkin 模型来拟合, 结果如表 2。结果表明, 供试土壤磷的恒温吸附资料都能很好地用一元 Langmuir 模型, Freundlich 模型和 Temkin 模型来拟合, 其相关系数  $r$  均在 0.91 以上, 均达到了 1.0% 的极显著水平。其中以一元 Langmuir 模型的拟合度最好, 其相关系数均在 0.99 以上; 其次是 Temkin 模型, 其相关系数均在 0.97 以上。图 1 中实线是用一元 Langmuir 模型拟合的曲线, 由此也可看出其拟合度是相当好的。这与作者过去的研究结果一致<sup>[1,2]</sup>。

表 2 不同处理土壤磷的等温吸附资料对几个吸附模型的拟合情况

Table 2 Fitting of phosphate isothermal adsorption data of the differently treated soils with the three adsorption equations

处理代号 Treatmeat No.	一元Langmuir模型 $C/Q=1/Q_m \cdot K+C/Q_m$			Freundlich模型 $\ln Q=\ln k+(1/n) \ln C$			Temkin模型 $Q=K_1+K_2 \ln C$		
	$K(\text{ml}/\mu\text{g})$	$Q_m(\mu\text{gP}/\text{g}\pm)$	$r^{1)}$	$n$	$k$	$r^{1)}$	$K_2$	$K_1$	$r^{1)}$
M-1	1.662	825.5	0.999	2.70	427.0	0.910	150.0	496.0	0.980
M-2	1.589	755.4	0.998	2.95	375.3	0.929	129.5	437.4	0.987
M-3	1.242	732.1	0.985	3.39	355.0	0.964	105.7	412.8	0.974
M-10	1.754	936.1	0.992	2.66	498.7	0.957	157.4	570.5	0.984
M-11	1.197	752.1	0.994	3.17	357.5	0.980	114.0	418.0	0.986
M-12	1.228	804.2	0.993	2.99	382.5	0.989	125.5	448.9	0.985
M-13	2.212	825.8	0.995	3.21	465.4	0.933	122.0	534.1	0.982
M-14	1.132	725.5	0.998	3.02	335.5	0.976	114.4	395.5	0.972
M-15	0.965	744.5	0.994	3.17	337.6	0.969	113.1	394.8	0.974
M-4	1.374	808.2	0.995	2.95	396.2	0.970	130.8	462.6	0.995
M-5	1.503	750.5	0.999	3.05	373.8	0.968	121.6	438.0	0.997
M-6	1.500	745.8	0.998	3.18	372.6	0.961	115.7	433.3	0.992
M-7	1.520	849.1	0.996	2.65	422.5	0.930	152.0	492.5	0.986
M-8	1.168	704.2	0.996	3.24	334.6	0.977	107.5	389.9	0.991
M-9	1.040	738.0	0.996	2.99	332.0	0.979	118.7	389.4	0.994
M-16	1.203	859.0	0.992	2.78	404.8	0.973	138.7	475.9	0.972
M-17	0.931	633.0	0.993	3.39	288.5	0.982	94.9	333.1	0.993
M-18	1.037	603.4	0.996	3.70	290.6	0.983	85.1	333.5	0.994

1) 所有土样的拟合程度都达到了 1.0% 的极显著水平。

## 2.2 三个吸附模型中不同吸附参数之间的相互关系

表 3 是三个吸附模型中的六个吸附参数之间的相关分析结果。结果表明,除 Langmuir 模型中的  $K$  与 Freundlich 模型中的  $n$  之间的相关性不显著外,其余各个吸附参数之间都呈极显著相关关系。其中一元 Langmuir 模型中  $Q_m$  与 Freundlich 模型中的  $n$ , Freundlich 模型中的  $k$  与  $n$  以及 Temkin 模型中的  $K_1$ 、 $K_2$  与  $n$  之间呈负相关,其余参数之间均呈正相关。

在本文所用的三个吸附模型中,以一元 Langmuir 模型中的参数意义最明确。从理论上讲,  $Q_m$  代表表面单层最大吸附量,是表征吸持容量的一个参数;  $K$  则是与结合能有关的吸持——解吸平衡常数,其值大小可以反映土壤对磷的吸持强度;  $C$  代表平衡液中 P 的浓度 (mgP / L)。从本试验结果看,求得的  $Q_m$  值与最大平衡浓度时的实际吸附量相差甚小 (在 10% 以下),说明  $Q_m$  确能代表一定磷浓度范围内的最大吸磷量,因而具有明确的实际意义,是一很有用途的吸附参数。而且,由  $Q_m$  和  $K$  还可求得土壤对磷的最大缓冲容量 (MBC) 和吸附自由能,它们都可以用来表征土壤对磷的吸持特性<sup>[5~7]</sup>。可能由于上述原因,自 Olsen 和 Watanabe(1957)<sup>[8]</sup> 第一次将一元 Langmuir 吸附模型用于研究土壤对磷的吸持作用后,便得到了广泛的应用。

表 3 三个吸附模型中不同吸附参数之间的相关系数

Table 3 Correlation coefficients between adsorption parameters in three adsorption equations

参数 Parameter	$Q_m$	$K$	$k$	$n$	$K_1$	$K_2$
$Q_m$	1	0.628**	0.936**	-0.858**	0.950**	0.931**
$K$		1	0.845**	0.401	0.832**	0.576**
$k$			1	-0.714**	0.998**	0.855**
$n$				1	-0.741**	-0.965**
$K_1$					1	0.872**
$K_2$						1

Freundlich 模型是最早用于土壤对磷的吸持作用研究的吸附模型<sup>[8]</sup>。该式最初提出时完全是一经验式,后来的研究表明,该模型与一吸附能随吸附量增加而呈指数规律下降的模型相吻合,而且可以从理论上推导出来<sup>[9]</sup>。据认为,式中的  $k$  是一吸附容量参数,由其数学式可知,它等于平衡液磷浓度为一个单位值时的吸磷量;常数  $n$  则是与吸持强度有关的参数。本研究结果指出,  $k$  与一元 Langmuir 模型中的  $Q_m$ , 呈极显著正相关,表明  $k$  确实是一吸附容量参数,可以表征土壤对磷的吸持容量,只是其值远小于最大平衡液磷浓度时的实际吸磷量。

Temkin 模型中的吸持参数  $K_1$  和  $K_2$  意义不太明确。但本研究指出,  $K_1$ 、 $K_2$  均与 Langmuir 模型中的  $Q_m$  呈极显著正相关,说明  $K_1$ 、 $K_2$  都是吸持容量参数,可以用来表征土壤对磷的吸持容量,但其绝对值都小于  $Q_m$ , 特别是  $K_2$  的值要小 5~7 倍,因此,其应用不如  $Q_m$  方便。

## 2.3 稻作制, 有机肥和地下水位对土壤磷吸持作用的影响

本研究结果表明,稻作制,有机肥和地下水位对土壤对磷的吸持作用有很大的影响。由图 1 和表 4 结果可以看出:(1)不同稻作制处理土壤对磷的吸持能力明显不同。

在高水位条件下, 稻稻冬泡土壤的最大吸磷量  $Q_m$ (M-1, M-10, M-13) 明显大于稻稻冬绿 (M-2, M-11, M-14) 和稻稻冬油 (M-3, M-12, M-15) 土壤的  $Q_m$  值, 其与二者之差异分别达显著和极显著水平 (表 4); 而稻稻冬绿与稻稻冬油土壤的  $Q_m$  差异较小, 未达显著水平。在低水位条件下, 稻稻冬泡土壤的  $Q_m$  值 (M-4, M-7, M-16) 也明显大于稻稻冬绿 (M-5, M-8, M-17) 和稻稻冬油 (M-6, M-9, M-18) 土壤的  $Q_m$ , 其与二者之差异均达极显著水平; 而稻稻冬绿和稻稻冬油土壤的  $Q_m$  之间基本上无甚差异。这些结果说明长期实行稻稻冬泡的种植制度明显增大红壤性水稻土对磷的吸持能力。(2) 施用有机肥也明显增强土壤对磷的吸持作用 (表 4)。在高水位条件下, 高量有机肥处理与化肥处理之间土壤  $Q_m$  的差异达显著水平, 但常量有机肥处理与高量有机肥处理之间以及常量有机肥处理与化肥处理之间  $Q_m$  的差异均未达显著水平。在低水位条件下, 常量有机肥处理与化肥处理之间  $Q_m$  的差异达显著水平, 而常量有机肥处理与高量有机肥处理之间以及高量有机肥与化肥处理之间  $Q_m$  的差异均不显著。(3) 两种地下水位处理之间比较, 无论在何种稻作制或有机肥施用量条件下, 高水位土壤的  $Q_m$  值都大于低水位土壤的  $Q_m$  值。 $t$  检验结果表明, 在高量有机肥条件下, 两种地下水位处理之间  $Q_m$  的差异达 1% 的极显著水平, 在施用常量有机肥条件下, 二者之间的差异不显著; 在施用化肥条件下, 二者之间的差异达 1% 的极显著水平。在稻稻冬泡条件下, 两种地下水位处理之间土壤的  $Q_m$  值差异不显著; 在稻稻冬油和稻稻冬绿条件下, 二者之间的差异分别达 1% 的极显著水平和 5% 的显著水平。

赵晓齐和鲁如坤 (1991) 的研究表明<sup>[10]</sup>, 施用有机肥可以减少土壤对磷的吸附, 而去除土壤有机质后可以增强土壤对磷的吸附作用, 这和本研究结果相反。这是因为有机肥对土壤的磷吸附特性具有双重效应, 一方面, 施入土壤中的有机肥在分解过程中可以活化土壤中结晶质氧化铁、铝化合物, 使其表面活性增大, 吸磷能力增强; 另一方面, 有机肥在分解过程中产生的有机酸大多具有较强的络合能力, 可以占据铁、铝氧化物表面的吸附位, 从而与磷酸根离子发生竞争吸附, 但这些有机酸至少在红壤旱土改水田的初期, 由于土壤有机质含量不高, 其浓度不大, 其对土壤对磷的吸持作用的影响, 主要是通过影响土壤中

表 4 各处理土壤  $Q_m$  值的多重比较 (SSR法)

Table 4 Multiple comparison of  $Q_m$  values among the tested soils

地下水位 Groundwater level	不同有机肥施用量处理之间 Comparison among three applying rates of organic manure			不同稻作制处理之间 Comparison among three rice-based cropping systems		
	处理	$Q_m$ 值	差异显著性	处理	$Q_m$ 值	差异显著性
	Treatment	$Q_m$ value	Statistical difference	Treatment	$Q_m$ value	Statistical difference
高 水 位	高量有机肥	830.8	A	稻稻冬泡	862.5	Aa
	常量有机肥	771.0	AB	稻稻冬油	760.3	Bab
	化 肥	765.3	B	稻稻冬绿	744.4	Bb
低 水 位	高量有机肥	768.2	A	稻稻冬泡	838.8	Aa
	常量有机肥	763.8	AB	稻稻冬油	695.9	Bb
	化 肥	698.5	B	稻稻冬绿	695.8	Bb

注: A、B表示达5%的显著水平; a、b表示达1%的极显著水平。

氧化铁的活性实现的,而与磷酸离子竞争吸附位的效应不显著。作者过去所作的淹水和添加葡萄糖的室内培养试验结果已证实了这一点<sup>[2]</sup>,也与 Sah 和 Mikkelsen(1986)<sup>[11~13]</sup>的研究结果一致。在生产实践中也往往发现,红壤旱地新改水田后缺磷严重,需施大量磷后才有增产效果,这都证实了本研究结果。

### 2.4 除去游离氧化铁和无定形氧化铁对土壤磷的吸持作用的影响

表 5 是除去土壤游离氧化铁和无定形氧化铁对各处理土壤对磷的吸持作用的影响。结果表明,除去土壤无定形氧化铁后,土壤对磷的吸附量一般减少 40%~60%,高者可达 60% 以上;而除去土壤游离氧化铁后,土壤对磷的吸附量一般减少 90%,高者达 99% 以上。由此可见,游离氧化铁,特别是其中的无定形氧化铁,是供试土壤中最主要的吸磷组分。结果还表明,除去游离氧化铁和无定形氧化铁后,各处理之间土壤吸磷量的差异大大缩小,且无规律可循。统计

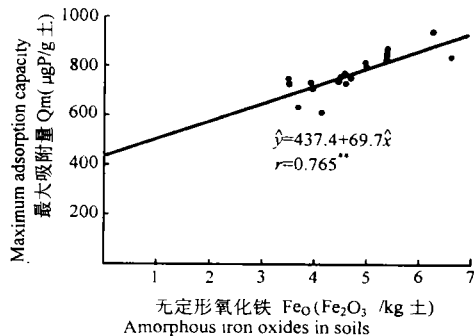


图 2 Qm 与无定形氧化铁的回归曲线

Fig. 2 Relationship between the Qm value and amorphous iron oxides content (Fe<sub>0</sub>)

分析结果也表明, Qm 值与无定形氧化铁含量之间呈极显著正相关(图 2),而与游离氧化铁含量之间的相关性不显著。用各处理游离氧化铁和无定形氧化铁含量分别对去游离氧化铁和无定形氧化铁后吸磷量的降低值进行回归分析,结果表明,去游离氧化铁后吸磷量的降低值与游离氧化铁含量呈正相关,但未达显著水平( $Y = 563.2 + 10.6X, r = 0.0770$ )。这是因为在同一母质发育的水田土壤条件下,由于游离铁作用,游离氧化铁含量与无定形氧化铁含量之间有反相关趋势(表 5)。而去无定形氧化铁后吸磷量的降低值与无定形氧化铁含量呈显著正相关(图 3)。从上述回归方程的斜率值大小的比较也可得知,无定形氧化铁吸持磷的能力比游离氧化铁要强得多。这些都说明,稻作制,有机肥和地下水位对土壤对磷的吸持作用的影响主要是通过影响土壤中游离氧化铁的活性即无定形氧化铁的含量和游离氧化铁的活化度来实现的。

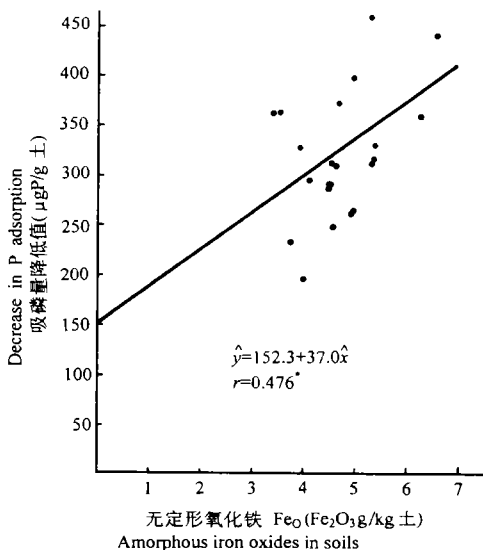


图 3 去无定形铁后吸磷量降低值与无定形铁含量的关系

Fig. 3 Relationship between Fe<sub>0</sub> and decrease in P adsorption after removing amorphous iron oxides

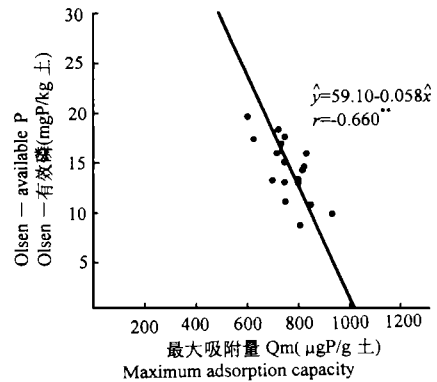
表5 与供试土壤对磷的吸持作用有关的某些土壤因素

Table 5 Some soil factors in relation to phosphate retention by the tested soils

处理号 Treatment No.	游离氧化铁 Free iron oxides in soil (g Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /kg土)	无定形氧化铁 Amorphous iron oxides in soil (g Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /kg土)	有效磷 Olsen-available P (mg P/kg土)
M-1	33.2	5.38	14.4
M-2	32.5	4.62	14.8
M-3	35.3	4.57	18.2
M-4	37.8	4.95	8.7
M-5	39.4	3.48	12.9
M-6	35.9	3.53	16.8
M-7	31.7	5.41	10.7
M-8	38.2	4.04	13.1
M-9	37.8	4.54	17.2
M-10	36.9	6.30	9.6
M-11	38.0	4.71	11.1
M-12	37.7	5.00	13.1
M-13	36.3	6.64	14.2
M-14	38.6	3.94	15.8
M-15	27.7	4.55	17.2
M-16	49.9	5.36	15.8
M-17	39.8	3.76	17.2
M-18	37.9	4.16	19.5

## 2.5 土壤吸磷参数与土壤有效磷的关系

统计分析结果表明: (1)一元 Langmuir 模型中  $Q_m$  值与 Olsen 法测定的土壤有效磷含量之间呈极显著负相关(图 4), 说明由于土壤对磷的吸持作用, 降低了土壤磷的有效性。(2)一元 Langmuir 模型中的  $K$  值与 Olsen-P 含量之间呈正相关 ( $r = -0.435, n - 1 = 17$ ), 这说明淹水强度较大的稻稻冬泡种植制度使土壤对磷的吸持量增大, 而且增大土壤对磷的吸持强度。由此可见, 土壤对磷的吸持参数可以作为土壤磷有效性大小的衡量指标, 但其与土壤磷的生物有效性的确切关系还有待进一步研究。

图4  $Q_m$  与 Olsen-有效磷的关系Fig. 4 The relationship between  $Q_m$  value and Olsen-available P content

## 3 结论

1. 在供试起始磷浓度范围内, 供试各处理土壤磷的恒温吸附曲线形状非常一致, 都属于高亲和力的“L”型曲线, 都能用一元 Langmuir 模型, Freundlich 模型和 Temkin 模型拟合, 其拟合度均达 1% 的极显著水平, 其中一元 Langmuir 模型优于 Freundlich 和 Temkin 两



个模型。

2. 长期处于淹水状态的稻稻冬泡土壤对磷的吸持容量显著大于稻稻冬绿和稻稻冬油处理,施用有机肥和高地下水位处理也明显增强土壤对磷的吸持容量。

3. 除去土壤游离氧化铁和无定形氧化铁后土壤对磷的吸持容量明显降低。土壤无定形氧化铁含量与除去无定形氧化铁后土壤吸磷量的降低值和  $Q_m$  值分别呈显著和极显著正相关。

4. 一元 Langmuir 模型中的  $Q_m$  值与 Olsen -P 含量呈极显著负相关。土壤对磷的吸持参数与土壤磷的有效性的确切关系还有待进一步研究。

### 参 考 文 献

1. 张杨珠,袁正平,肖永兰等. 红壤性水稻土与耕型红壤对磷的吸持特性的研究. 湖南农学院学报, 1989, 15(2): 13—19
2. 张杨珠,肖永兰,袁正平等. 不同稻作制下红壤性水稻土磷吸持作用的研究. 湖南农学院学报, 1991, 17: 242—249
3. 中国土壤学会农业化学专业委员会. 土壤农业化学常规分析方法. 北京: 科学出版社, 1989
4. 熊毅,陈家坊等(编著). 土壤胶体(第二册): 土壤胶体研究法. 北京: 科学出版社, 1985
5. Barrow N J. The Description of phosphate adsorption curves. Journal of Soil Science, 1978, Vol. 29:447—462
6. Mead J A. A comparison of the Langmuir, Freundlich and Temkin Equations to describe phosphate adsorption properties of soils. Aust. J. Soil Res. 1981, Vol. 19:32—342
7. 曹志洪,李庆逵. 黄土性土壤对磷的吸附与解吸. 土壤学报, 1988, 25(3): 218—226
8. 何振立,朱祖祥,袁可能. 土壤对磷的吸持特性及其与土壤供磷指标之间的关系. 土壤学报, 1988, 25(4): 397—404
9. Olsen S R, Watanabe F S. A method to determine a phosphorus adsorption maximum of soil as measured by the Langmuir isotherm. Proc. Soil Sci. Soc. Am., 1957, Vol. 21:144—149
10. 赵晓齐,鲁如坤. 有机肥对土壤磷素吸附的影响. 土壤学报, 1991, 28(1): 7—13
11. Sah R N, Mikkelsen D S. Sorption and bioavailability of phosphorus during the drainage period of flooded-drained soils. Plant and Soil, 1986, 92:265—278
12. Sah R N, Mikkelsen D S. Effects of anaerobic decomposition of organic matter on sorption and transformations of phosphate in drained soils: 1. Effects on phosphate sorption. Soil Science, 1986, 142(5): 267—274
13. Sah R N, Mikkelsen D S. Effects of anaerobic decomposition of organic matter on sorption and transformations of phosphate in drained soils: 2. Effects on amorphous iron content and phosphate transformations. Soil Science, 1986, 142(6):346—351

# EFFECTS OF RICE-BASED CROPPING SYSTEM, ORGANIC MANURE AND GROUNDWATER LEVEL ON PHOSPHATE SORPTION BY PADDY SOILS DERIVED FROM RED EARTH

Zhang Yang-zhu

(*Department of Natural Resources, Hunan Agricultural University, Changsha 410128*)

Jiang You-li

(*Bureau of Land Management of Qiyang County, Hunan Province*)

Huang Yun-xiang Hu Rui-zhi Xiao Yong-lan

(*Department of Natural Resources, Hunan Agricultural University*)

## Summary

The stationary experiment was conducted for 12 years at Hunan Agricultural University to investigate the effects of rice-based cropping system, organic manure and groundwater level on phosphate sorption by paddy soils developed on red earth, in the treatments of 3 types of rice-based cropping systems, 3 application rates of organic manure and 2 levels of groundwater table. Results showed that the phosphate adsorption isotherms for soils in all the treatments are quite similar in shape, belonging to curve in the shape of "L" with high affinity. The adsorption data all fit in well with the three adsorption equations at a very significant level of 1.0%, but the One-surface Langmuir equation is better than Freundlich and Temkin equations in this respect. In comparing the three rice-based cropping systems, the soil treated with "early rice-late rice-flooded fallow in winter" has a much larger phosphate sorption capacity than soils treated with "early rice-late rice-green manure crop in winter" or "early rice-late rice-rapeseed in winter". Both applying organic manure and raising the groundwater level significantly increase the phosphate sorption capacity of the soils. After removing free Fe oxides and amorphous Fe oxides from the soil, the phosphate sorption capacity of the soil decreases markedly. The content of amorphous Fe oxides in soil is positively correlated with the decrease in the phosphate sorption capacity of the soil after amorphous Fe oxides are removed and with the  $Q_m$  value in One-surface Langmuir equation, at a significance level of 5.0% and 1.0%, respectively. The effect of rice-based cropping system, organic manure and groundwater level on phosphate sorption by the tested soils is brought about mainly by influencing the activity of free iron oxides in soils. The  $Q_m$  value in One-surface Langmuir equation is negatively correlated with the content of Olsen-available P, at a significance level of 1.0%.

**Key words** Groundwater level, Organic manure, Paddy soils derived from red earth, Phosphate sorption by soil, Rice-based cropping system