

围海造田水稻土磷吸附动力学特征及其机理^①

刘 辉^{1,2}, 刘忠珍¹, 杨少海¹, 胡正义^{2,3}, 赵言文⁴

(1 广东省农业科学院土壤肥料研究所, 广州 510640; 2 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008; 3 中国科学院研究生院资源与环境学院, 北京 100049; 4 南京农业大学, 南京 210095)

摘要: 沿海农田 N、P 排放是沿海湿地和近海水体污染源之一。研究围海造田土壤 P 化学行为对评价其水质污染风险, 制定兼顾农业生产和环境保护 P 肥管理措施具有实际意义。本研究以浙江省慈溪市 3 个代表性时期(宋代, 明代, 现代)围海造田水稻土为研究对象, 研究了 3 种温度条件下(15℃, 25℃, 35℃)土壤 P 吸附动力学, 并获得了其热力学参数。结果表明: ①水稻土的 P 吸附动力学曲线可用 Langmuir、Freundlich 及 Temkin 等温吸附方程拟合, 而以 Freundlich 方程的拟合度最高; 水稻土壤 P 吸附热 (ΔH^θ) 分别为 4.39, 11.40, 15.97 kJ/mol, 对照前人的研究结果, 推测围海造田土壤 P 吸附作用力是氢键力和偶极间力为主。②土壤最大吸附量 (Q_m) 依次为: 宋代 > 明代 > 现代土壤, 说明, 随着种植年限延长, 土壤保持 P 容量增加, 土壤固 P 能力增强。土壤最大吸附量 (Q_m) 与有机质之间呈线性正相关 ($p < 0.01$), 因此, 增施有机肥提高土壤有机质有利于增强土壤 P 吸附能力。随着温度的上升, 土壤最大吸附量逐渐增大, 建议选择高温季节使用 P 肥, 可有利于 P 吸附, 降低农田土壤 P 排放污染风险。

关键词: 磷; 围海造田; 吸附动力学; 热力学参数; 水稻土

中图分类号: S158; X53

以颗粒态和溶解态 P 随径流流失是农田生态系统中的 P 进入水体的主要途径之一^[1-2]。P 在水/土壤界面的吸附、解吸行为^[3-8]是探讨 P 在土-水系统化学行为重要内容^[9]。

在吸附过程中, 土壤和磷酸盐间可能同时存在着各种作用力, 如范德华力、氢键力、偶极间力、疏水键力、配位基交换和化学键等; 各种作用力所释放的热量不同, 作用力越强, 放出的吸附热越大。因此, 可以通过测定 P 在土壤中吸附热来推断吸附的主要作用力^[10]。这些信息对调控土壤 P 化学行为, 制定农艺措施具有重要实际意义。有关吸附 P 等温线、吸附动力学研究较多^[5-9], 而对土壤 P 吸附热力学参数及其土壤对 P 的吸附作用机理研究报道较少^[11]。本文以不同时期围海造田形成的水稻土为研究对象, 研究各个时间序列土壤 P 吸附特征以及热力学参数, 并从热力学角度探讨土壤对 P 的吸附作用机理。其研究结果对制定减少农田土壤 P 向沿海湿地和近海水体排放措施具

有实际意义。

1 材料与方法

1.1 试验区概况及样品采集

本研究以浙江省慈溪市(121°02' ~ 121°42'E, 30°02' ~ 30°24'N)不同种植时间的水稻土为研究对象。慈溪位于宁绍平原东部, 总面积 1 154 km²。该区域在 6 000 年前尚为浅海, 陆地均由海涂在自然条件下沉积堆高形成, 到公元 5 世纪, 民间随海涂地形不同开始垒土筑塘。有文字记载的大规模筑塘始于宋庆历年间(1041—1048)^[12], 后称之为大古塘。以后, 海涂逐渐淤涨, 海塘不断增筑。每筑一塘, 当地居民便开始开垦, 使其变为耕地, 挖土垫高成旱地, 低洼处为水田^[13]。《慈溪县志》记载, 东汉光武帝时(公元 25—57 年)慈溪东部已广栽水稻^[12]。稻田耕作年限可根据所处地段海塘修筑年代来推算。

①基金项目: 国家自然科学基金重点项目(NSFCNo.40335047)、国家科技支撑计划项目(2006BAJ10B04—2)和广东省自然科学基金博士启动项目(8451064001001121)资助。

* 通讯作者(zhyhu@gucas.ac.cn)

作者简介: 刘辉(1983—), 男, 重庆开县人, 硕士研究生, 主要从事土壤生态方面研究。E-mail: huihui542@yahoo.com.cn

根据海塘修筑历史时间的记载来确定采样点的土壤年代, 结合当地水稻种植时间的调查, 从而获得一组不同时间序列的水稻土, 不同采样点具体信息见表

1。每个采样点用手持GPS仪测定位置, 每个时间序列采集 5 个土样。土壤采集、记载及描述按照土壤学的常规方法进行^[14]。

表 1 采样点基本信息

Table 1 Basic information of sampling sites

土壤编号	采样地点	地理位置	筑塘围涂朝代	推断植稻累计时间
P1	慈溪市桥头镇小桥头村	121°20'57"E, 30°09'50"N	现代	100 年
P2	慈溪市周巷镇吴家路村	121°07'45"E, 30°12'25"N	明代	500 年
P3	慈溪市周巷镇南周巷村	121°06'57"E, 30°09'45"N	宋代	1 000 年

供试土壤的基本性质见表 2。其测定方法为: pH: 电位法(用水作浸提剂); 有机质: 高温外热重铬酸钾氧化-容量法; 全N: 开氏消煮法; 全P: 王水消煮-钼

锑抗比色法; 有效P: 0.03 mol/L NH₄F-0.025 mol/L HCl 法; 全K: 王水消煮-火焰光度法; 速效K: 乙酸铵提取-火焰光度法^[14]。

表 2 供试土壤的基本性质

Table 2 Basic properties of paddy soils used in experiment

土壤年代	pH	有机质 (g/kg)	全 N (g/kg)	全 K (mg/kg)	全 P (mg/kg)	速效 K (mg/kg)	有效 P (mg/kg)
现代	5.82	16.6	1.9	2 657	632	88	20
明代	6.28	19.6	1.4	3 766	999	153	42
宋代	5.74	21.9	1.6	3 754	1 133	196	53

1.2 研究方法

1.2.1 P等温吸附 每个样品称取 1.000 g 6 份于离心管中, 分别加入含P(用KH₂PO₄ 配制)为 10、20、30、40、50 和 60 mg/L的 0.01 mg/L CaCl₂ 溶液 25 ml, 同时加入 3 滴甲苯以抑制微生物的活动。上述P浓度梯度通过预实验获得, 其保证了土壤对P的吸附能达到饱和。离心管加塞后分别在 15℃, 25℃, 35℃下振荡 24 h, 至吸附平衡(根据预实验结果), 平衡后离心 15 min (4 000 r/min), 过滤, 用钼蓝比色法测上清液P浓度, 根据平衡前后溶液P浓度之差, 计算土壤对P的吸附量。以平衡溶液的P浓度为横坐标, 以土壤的吸P量为纵坐标绘制等温吸附曲线。

1.2.2 等温吸附方程 土壤中 P 的行为主要受吸附和解吸过程的控制, 通常用 3 种方程来描述。Langmuir 方程在一定浓度范围内能够较好地描述土壤对 P 的吸附特征。

$$\frac{C_e}{q} = \frac{1}{KQ_m} + \frac{C_e}{Q_m} \quad (1)$$

式中, C_e 为平衡溶液中P的浓度, q 是土壤吸P量, K 为与吸附能级有关的常数, Q_m 是土壤最大吸P量, 这些参数均可由实验方法求得。

Freundlich 等温式是一个经验公式, 表达为:

$$q = KC^n \quad (2)$$

式中, K , n 分别为与吸附剂和吸附质以及温度有关的经验常数, 其数值由试验方法确定。如果将上式改写为对数形式:

$$\ln q = \ln K + \frac{1}{n} \ln C_e \quad (3)$$

该直线方程式中截距为 $\ln K$, 斜率为 $\frac{1}{n}$, 由此可求得这两个经验常数。 K 值越大, $\frac{1}{n}$ 越小, 表明吸附可在相当快的浓度范围内进行。

Temkin 等温式为单组分不均匀表面吸附等温方程:

$$q = k_1 \ln k_2 + k_1 \ln C_e \quad (4)$$

式中, k_1 、 k_2 为常数, Temkin 方程没有 Freundlich 和 Langmuir 方程应用频繁, 但用它描述土壤对 P 的吸附通常也能得到较好的结果。如用 a 替代 $k_1 \ln k_2$, K 替代 k_1 , 上式改写为:

$$q = a + K \ln C_e \quad (5)$$

2 结果与讨论

2.1 吸附等温方程

用 3 种常用模型拟合不同温度下各个年代土壤P

的等温吸附方程（表 3）。结果表明，在 3 种不同温度条件情况下，Langmuir 方程、Freundlich 方程和 Temkin 方程的相关系数均达极显著水平，说明这 3 种方程都可用于描述土壤对 P 的吸附特征。在 3 种不同温度条件下，各年代土壤都以 Freundlich 方程的拟合度最好，Langmuir 方程次之，Temkin 方程稍差，与 Langmuir 方程相比，Freundlich 方程能更好地说明 P 的吸附能力。

Sanyal 等^[15]对酸性土壤的研究也有类似规律；Sakadevan 和 Bavor^[16]对悉尼里奇蒙湿地土壤、矿渣研究也表明 Freundlich 方程拟合度好于 Langmuir 方程。但夏瑶等^[6]对黄泥田、黄泥土、淤泥土、夹砂土、砂性轻盐土等 5 种水稻土研究表明 Langmuir 方程拟合度高于 Freundlich 方程；王丽香等^[17]对我国东部稻田土壤的研究也得到类似结果，这可能与土壤的性质有关。

表 3 不同温度下各年代水稻土 P 吸附等温方程拟合参数

Table 3 Parameters of phosphate isotherm adsorption on paddy soils at different temperatures

土壤年代	温度	Langmuir		Freundlich		Temkin	
		$Q = KC_e + b$	r	$Q = KC_e^n$	r	$Q = K \ln C_e + b$	r
现代	15℃	$Q = 0.0025 C_e + 0.0389$	0.990	$Q = 58.471 C_e^{0.3966}$	0.995	$Q = 72.037 \ln C_e - 15.455$	0.984
	25℃	$Q = 0.0024 C_e + 0.0149$	0.994	$Q = 125.72 C_e^{0.2965}$	0.996	$Q = 78.275 \ln C_e + 79.221$	0.992
	35℃	$Q = 0.0023 C_e + 0.0078$	0.998	$Q = 176.75 C_e^{0.2179}$	0.990	$Q = 62.574 \ln C_e + 157.37$	0.988
明代	15℃	$Q = 0.0022 C_e + 0.0513$	0.966	$Q = 53.185 C_e^{0.3719}$	0.980	$Q = 60.241 \ln C_e - 11.85$	0.949
	25℃	$Q = 0.0021 C_e + 0.0405$	0.976	$Q = 68.241 C_e^{0.3345}$	0.980	$Q = 61.033 \ln C_e + 9.5899$	0.953
	35℃	$Q = 0.0020 C_e + 0.0259$	0.994	$Q = 81.86 C_e^{0.3318}$	0.993	$Q = 67.248 \ln C_e + 27.018$	0.989
宋代	15℃	$Q = 0.0021 C_e + 0.0121$	0.989	$Q = 177.2 C_e^{0.3832}$	0.999	$Q = 189.57 \ln C_e + 13.669$	0.985
	25℃	$Q = 0.0020 C_e + 0.0207$	0.994	$Q = 98.986 C_e^{0.3402}$	0.999	$Q = 82.481 \ln C_e + 36.439$	0.994
	35℃	$Q = 0.0019 C_e + 0.0073$	0.996	$Q = 201.9 C_e^{0.2256}$	0.996	$Q = 73.099 \ln C_e + 184.22$	0.985

由图 1，图 2，图 3 可见，各年代土壤对 P 的吸附量均随初始浓度的加大而增加，在浓度较低时，等温吸附线的斜率较大，即曲线较陡的部分，此时为土壤对 P 的快速吸附阶段，其原因可能在于土壤中无定形 Fe、Al 对 P 的化学吸附及黏粒上盐基离子对 P 的共价吸附；在浓度较高时曲线趋于平缓，吸附量增加较慢，逐渐达到平衡，这一阶段为土壤的慢速吸附，可能由土壤对 P 的物理化学吸附和物理吸附所引起^[18-20]。在 15℃ 条件下，各年代土壤的等温吸附曲线缓慢上升，在 25℃、35℃ 条件下，各年代土壤的等温吸附曲线急剧上升，说明各年代土壤 P 的吸附量随温度升高而增大，表明该吸附是一个吸热过程。

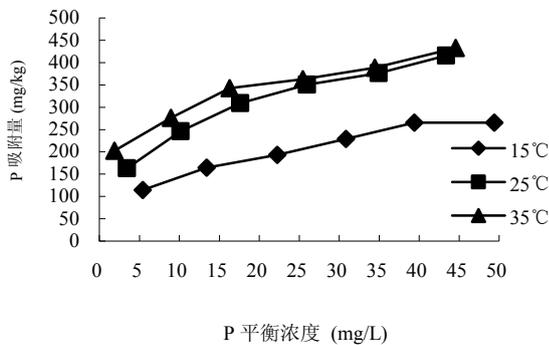


图 1 不同温度下现代水稻土对 P 的等温吸附曲线

Fig. 1 Adsorption isothermal curves of phosphate in present paddy soils at different temperatures

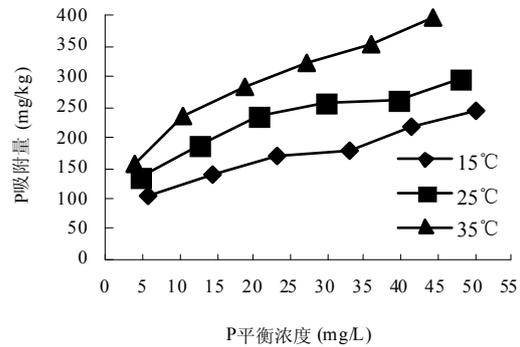


图 2 不同温度下明代水稻土对 P 的等温吸附曲线

Fig. 2 Adsorption isothermal curves of phosphate in Ming dynasty paddy soils at different temperatures

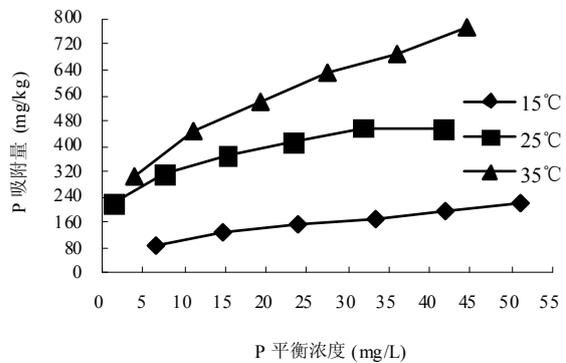


图 3 不同温度下宋代水稻土对 P 的等温吸附曲线

Fig. 3 Adsorption isothermal curves of phosphate in Song dynasty paddy soils at different temperatures

从表 4 可以看出,各年代土壤最大吸附量 Q_m 随着种植年代延长而增大, Q_m 依次为:宋代>明代>现代。这与各年代土壤有机质的含量有关。图 4 表明,最大吸附量 Q_m 与土壤有机质含量呈极显著正相关($p < 0.01$)。可能是因为有机质中含有大量的吸附活性官能团,如羧基、酚羟基、羰基、乙醇羟基和甲基,这些活性官能团较易与P作用生成氢键。Sakadevan等^[16]对湿地土壤研究认为土壤最大吸附量 Q_m 与土壤有机质极显著相关。Zhou等^[21]对太湖流域水稻土研究也表明土壤最大吸附量 Q_m 与土壤有机质正相关。Toreu等^[22]研究也认为有机质的含量能够准确地反映土壤对P的吸附能力。前人研究表明,最大吸P量可以表征土壤的固P能力,最大吸P量增大,土壤的固P能力增强^[23-25]。因此,在农业生产中,建议通过增施有机肥来提高土壤有机质,从而提高土壤最大吸P量,有利于提高土壤的固P能力,降低P向水体排放的风险。

表 4 不同温度下各年代土壤P最大吸附量 (Q_m)

Table 4 Dynamic parameters of phosphorus adsorption of paddy soils at different temperatures

土壤年代	15℃		25℃		35℃	
	Q_m	K	Q_m	K	Q_m	K
现代	403	0.064	424	0.161	440	0.295
明代	445	0.043	467	0.052	499	0.077
宋代	482	0.174	502	0.097	515	0.260

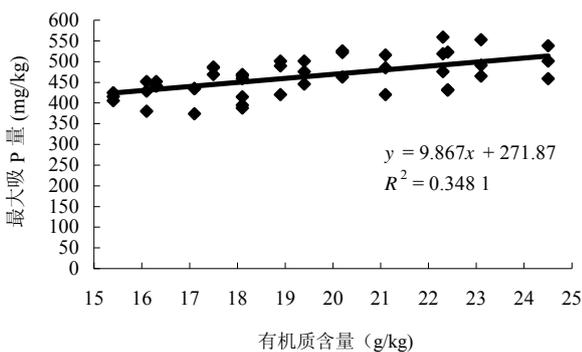


图 4 土壤P最大吸附量 Q_m 与土壤有机质含量之间相关曲线

Fig. 4 Relationship between Q_m and soil organic matter

随着温度的上升,各年代土壤P最大吸附量逐渐增大(表 4),20℃的温差使各年代 Q_m 分别增加 9%,12%,7%。温度每升高 1℃,P最大吸附量分别增加 0.45%,0.6%,0.35%。杜建军等^[26]对黄褐土P吸附的研究也得到类似结果。随着温度的上升,土壤P最大吸附量逐渐增大,建议选择夏季使用P肥,可能有利于P吸附,降

低P从农田向水体排放导致的污染风险。

2.2 吸附热力学参数估计

在试验温度范围内,各年代土壤P的吸附量随温度升高而增大,表明该吸附是一个吸热过程。

应用吉布斯方程可以计算温度对平衡吸附系数的影响:

$$\Delta G^0 = -RT \ln K \quad (6)$$

$$\Delta G^0 = \Delta H^0 - T\Delta S^0 \quad (7)$$

由式(6)和式(7)可得:

$$\ln K = -\Delta H^0/RT + \Delta S^0/R \quad (8)$$

式中, ΔG^0 为吸附的标准自由能变化量, ΔH^0 为标准吸附热, ΔS^0 为吸附的标准熵变值, R 为气体摩尔常数, T 为绝对温度, K 为平衡吸附系数。若不考虑温度对 ΔH^0 和 ΔS^0 的影响,将式中的 $\ln K$ 和 $1/T$ 作图,得线性回归方程如下:

现代土壤: $\ln K = -528.57/T + 3.1129$ ($r = 0.9989$)

明代土壤: $\ln K = -1371.41/T + 5.927$ ($r = 0.9942$)

宋代土壤: $\ln K = -1921.4/T + 7.9021$ ($r = 0.9892$)

根据上述回归方程可求得现代土壤、明代土壤、宋代土壤的 ΔH^0 分别为 4.39, 11.40, 15.97 kJ/mol。根据(6)式计算得现代土壤、明代土壤、宋代土壤的 ΔG^0 分别为 3.31, 3.56, 3.90 kJ/mol。

吸附是吸附质和吸附剂间各种作用力共同作用的结果,不同作用力在吸附中所放出的热不同。Von Open等^[27]测定了各种作用力引起的吸附热的范围(表 5)。3个时期土壤的吸附热分别是 4.39, 11.40, 15.97 kJ/mol,推断3个时期土壤吸附P的机理主要是氢键力、偶极间力的作用。

表 5 各种作用力引起的吸附热 (kJ/mol)

Table 5 Sorption energy induced by different forces

范德华力	疏水键力	氢键力	配位基交换	偶极间力	化学键
4~10	≈5	2~40	≈40	2~29	>60

3 结论

(1) 不同温度条件下,各个时期水稻土对P的吸附动力学可以用Langmuir、Freundlich和Temkin吸附方程描述,以Freundlich方程的拟合度最好。各时期土壤的标准吸附热分别为 4.39, 11.40, 15.97 kJ/mol,标准自由能分别为 3.31, 3.56, 3.90 kJ/mol。因此,推断3个时期土壤吸附机理主要是氢键力、偶极间力的作用。

(2) 各年代土壤P最大吸附量随着种植年代延长

而增大, 依次为: 宋代>明代>现代, 最大吸附量与土壤有机质含量呈显著线性正相关。因此, 建议增施有机肥来提高土壤有机质, 其有利于提高土壤对 P 的吸附能力, 降低农田土壤 P 向水体排放的风险。

(3) 不同温度条件下, 随着温度的上升, 土壤最大吸附量逐渐增大, 建议选择夏季施用 P 肥, 降低土壤 P 输出风险。

参考文献:

- [1] 高超, 张桃林. 农业非点源磷污染对水体富营养化的影响及对策. 湖泊科学, 1999, 11(4): 369-375
- [2] Sharpley AN, Chapra SC, Wedepoh R. Managing agricultural phosphorus for protection of surface waters: Issues and options. J. Environ. Qual., 1994, 23: 437-451
- [3] 沈仁芳, 蒋柏藩. 黄淮海地区潮土对磷的吸附与解吸特性. 土壤, 1993, 25(1): 68-70
- [4] 夏汉平, 高子勤. 磷酸盐在白浆土中的吸附与解吸特性. 土壤通报, 1992, 23: 283-287
- [5] 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
- [6] 夏瑶, 姜运生, 杨超光, 梁永超. 几种水稻土对磷的吸附与解析特性研究. 中国农业科学, 2002, 35(11): 1369-1374
- [7] 曹志洪, 林先贵. 中国土壤质量系列专著. 太湖流域土-水间的物质交换与水环境质量. 北京: 科学出版社, 2006: 118-154
- [8] 匡恩俊, 刘峰, 朱迟. 不同改土物料对白浆土磷吸附解吸的影响. 土壤, 2009, 41(5): 772-776
- [9] 高超, 张桃林. 太湖地区丘陵旱地土壤磷的吸附解析特征. 湖泊科学, 2001, 13(3): 255-259
- [10] 朱利中, 杨坤, 许高金. 对硝基苯酚在沉积物上的吸附特征—吸附等温线和吸附热力学. 环境科学学报, 2001, 21(6): 674-678
- [11] 王圣瑞, 金相灿, 庞燕. 湖泊沉积物对磷的吸附特征及其吸附热力学参数. 地理研究, 2006, 25(1): 19-26
- [12] 慈溪市地方志编纂委员会. 慈溪县志. 杭州: 浙江人民出版社, 1992
- [13] 陆宏, 许登坤, 厉仁安. 慈溪市土壤环境质量与农产品安全生产对策. 杭州: 浙江大学出版社, 2005: 9-10
- [14] 中国土壤学会. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000
- [15] Sanyal SK, De Datta SK, Chan PY. Phosphate adsorption and desorption behaviour of some acidic soils of south and southeast Asia. Soil Sci. Soc. Am. J., 1993, 57: 937-945
- [16] Sakadevan K, Bavor HJ. Phosphate adsorption characteristics of soils, Slags and Zeolite to be used as substrates in constructed wetland systems. Pergamon, 1998, 32(2): 393-399
- [17] 王丽香, 吕家珑, 庄舜尧, 胡正义. 我国东部河网地区土壤与河道底泥对磷的吸附特性比较研究. 土壤, 2009, 41(3): 402-407
- [18] Holford RD. The high and low energy phosphate adsorbing surface in calcareous soils. Soil Sci., 1975, 26: 407-417
- [19] 熊毅主编. 土壤胶体 (第2册): 土壤胶体研究法. 北京: 科学出版社, 1985
- [20] Brennan RF, Boll MDA, Jeffery RC. Phosphorus adsorption by arrange of Western Australian soils related to soil properties. Commun Soil Sci. Plant Anal., 1994, 25(15/16): 2785-2795
- [21] Zhou QX, Zhu YM. Potential pollution and recommended critical levels of phosphorus in paddy soils of the southern Lake Tai area, China. Geoderma, 2003, 115: 45-54
- [22] Toreu BN, Thomas FG, Gillman GP. Phosphate adsorption characteristics of soils of the North Queensland coastal region. Aust. Y. Soil Res., 1988, 26: 465-477
- [23] Abrams MM. Soil phosphorus as a potential nonpoint source for elevated stream phosphorus levels. J. Environ. Qual., 1995, 24: 132-138
- [24] Mozaffari M, Sims JT. Phosphorus availability and sorption in an Atlantic coastal plain watershed dominated by animal-based agriculture. Soil Sci., 1994, 157: 97-107
- [25] Indiaty R, Sharpley AN. Soil phosphorus sorption and simulated runoff parameters as affected by fertilizer addition and soil properties. Commun Soil Sci. Plant Anal., 1995, 26(15/16): 2319-2321
- [26] 杜建军, 张一平, 白锦麟. 陕西几种土壤磷吸附特征及温度效应研究. 土壤通报, 1993, 24(6): 241-243
- [27] Von Open B, Kordel W, Klein W. Sorption of non polar and polar compounds to soils: Processes, measurement and experience with the applicability of the modified OECD-guideline. Chemosphere, 1991, 22: 285-304

Mechanism and Characteristics of Phosphorus Adsorption Dynamics of Foreshore Reclamation Paddy Soils

LIU Hui^{1,2}, LIU Zhong-zhen¹, YANG Shao-hai¹, HU Zheng-yi^{2,3}, ZHAO Yan-wen⁴

(1 *Soil and Fertilizer Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China*; 2 *State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture (Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences), Nanjing 210008, China*; 3 *College of Resources and Environmental Sciences, Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*; 4 *Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China*)

Abstract: Emissions of nitrogen and phosphorus (P) from coastal farmlands are one of water pollution sources of coastal wetlands and water body. The knowledge on phosphorus chemical behavior of the foreshore reclamation paddy soils can help evaluate water pollution risks of agricultural production and develop environmental friendly P management measures. The dynamics of phosphate adsorption at three temperatures (15°C, 25°C, 35°C) were investigated in the foreshore reclamation paddy soils originated at three historical periods (Song dynasty, Ming dynasty and Present age) in Cixi, Zhejiang, and thermodynamics parameter and of P adsorption in these soils were also estimated. The results showed that: 1) Kinetic curves of phosphate adsorption could be well described by Langmuir, Freundlich and Temkin equations with the best fitness of Freundlich equation, the sorption parameters of thermodynamics (ΔH^{θ}) were 4.39, 11.40, 15.97 kJ/mol, respectively; P sorption could be dominated by hydrogen bond forces and dipole bond forces referenced to the results of Von Open (1991). 2) The Q_m for these paddy soils tested followed the decrease order as bellow: Song dynasty > Ming dynasty > Present age, implying that capacity of soil phosphorus adsorption increased with the increase of rice-planting duration. The Q_m was significantly positively correlated with soil organic matter (SOM) ($p < 0.01$). Therefore, application of organic fertilizer induced to increase of SOM could be conducive to increase soil P adsorption capacity. Q_m increased with increasing temperature suggested that phosphate fertilization could be used in summer to reduce the risk of P loss risk from soils.

Key words: Phosphate, Foreshore reclamation land, Adsorption kinetics, Thermodynamics parameter, Paddy soils