

侧渗水稻土磷吸附与解吸特性的研究

刘辉¹, 赵言文², 胡正义³ (1. 南京农业大学资源与环境科学学院, 江苏南京 210095; 2. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏南京 210098; 3. 中国科学院南京土壤研究所, 江苏南京 210008)

摘要 [目的] 为太湖地区侧渗水稻土经济施用磷肥提供理论依据。[方法] 研究太湖地区侧渗水稻土在等温条件下不同土层磷的吸附和饱和吸附后的解吸特性。[结果] 侧渗水稻土对磷的吸附特性和饱和吸附后的解吸特性与简单 Langmuir 等温吸附方程和等温解吸方程基本吻合, 但不同土层对磷的吸附和饱和吸附后解吸特性表现出较大的差异, 导致各土层最大解吸量占最大吸附量的百分比也有所不同。[结论] 太湖地区侧渗水稻土应该重点关注 40~60 cm 土层。

关键词 侧渗水稻土; 磷; 吸附特性; 解吸特性

中图分类号 S154.1 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2007)34-11144-02

Research on Phosphorus Adsorption and Desorption Traits in Side Bleaching Paddy Soil

LIU Hui et al (College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu 210095)

Abstract [Objective] The study aimed to provide theoretical basis for applying phosphate fertilizer economically in the side bleaching paddy soil in the Taihu area. [Method] The phosphorous adsorption trait and desorption trait after saturated adsorption in different soil layers of the side bleaching paddy soil were studied under the isothermal condition in Taihu area. [Result] The phosphorous adsorption trait and desorption trait after saturated adsorption in the side bleaching paddy soil conformed to the simple isothermal adsorption equation and isothermal desorption equation of Langmuir. But the phosphorous adsorption trait and desorption trait after saturated adsorption in different soil layers showed bigger difference, causing that the percentage of maximum desorption accounted for maximum adsorption were different. [Conclusion] The emphasis attention should be put on the soil layer with depth of 40~60 cm in the side bleaching paddy soil in Taihu area.

Key words Side bleaching paddy soil; Phosphorus; Adsorption trait; Desorption trait

太湖地区是我国经济开发地区, 工业化、城镇化进程日益加快。同时, 太湖地区也是全国农业高产稳产区之一。但是, 太湖地区耕地土壤以水稻土为主, 水稻土总面积约为 $1.9 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 。但是, 太湖水体富营养化问题严重。其中, 磷元素是太湖富营养化的限制性因子之一。这是因为该地区经济发达, 人口密度高, 肥料的投入量较大, 然而当季施用磷肥的利用率一般仅为 15%~25%。这就造成大量磷肥在土壤中积累, 增加了磷素通过径流方式向水体迁移的风险^[1-4]。

由于太湖周边地区微地貌和地面高程、地下水位以及成土母质不同, 所形成的水稻土性质也不尽相同, 主要包括爽水水稻土(Permeable paddy soil)、囊水水稻土(Waterlogged paddy soil)、漏水水稻土(Percolating paddy soil)、侧渗水稻土(Side bleaching paddy soil)和滞水水稻土(Sagnating paddy soil) 5 种类型^[5]。因为不同类型水稻土的特点不同, 基础肥力水平也存在较大差异, 所以在相同的耕作制度条件下, 产量水平出现差异性变化。在太湖地区, 侧渗水稻土面积占 13.3%^[6]。为此, 笔者研究了侧渗水稻土不同土层对磷的吸附与饱和吸附后的解吸特性, 并用简单的 Langmuir 方程来拟合不同土层对磷的吸附与饱和吸附后解吸特性, 绘出变化曲线, 在此基础上计算了侧渗水稻土不同土层磷吸附的解吸率, 为太湖地区侧渗水稻土经济施用磷肥提供理论依据。

1 材料与方

1.1 供试土壤 在江苏省宜兴市远郊区采集侧渗水稻土样。该地属于太湖周边地区, 气候属于亚热带湿润气候, 干湿季明显, 年均气温 10℃左右, 年均降雨量约 1 100~1 400 mm^[6]。把宜兴地区侧渗水稻土分为 5 个土层, 分别是 0~10、10~20、20~40、40~60 及 60~80 cm。

由表 1 可知, 10~20 cm 土层和 20~40 cm 土层土壤 pH 值

>7, 土壤的固态环境偏弱碱性, 而其他 3 个土层土壤 pH 值 <7, 土壤的固态环境偏弱酸性, 其中 0~10 cm 土层土壤酸性程度最高。土壤有机质总体趋势是随着采样土壤土层深度的增加而减少; 土壤全磷总体趋势也是随着采样土壤土层深度的增加而减少; 而土壤速效磷在 0~10、10~20、20~40 cm 土层是随采样土壤土层深度的增加而减少, 在 40~60 cm 土层速效磷含量却高于 60~80 cm 土层。除 40~60 cm 土层以外, 其余土层的颗粒组成都是粉土成分占的比重最大, 约占 60%, 其次是粘土成分, 约占 30%, 最少的是沙粒成分, 约占 10%。但是, 40~60 cm 土层的颗粒结构与上述 4 个土层的颗粒结构差异比较大。该土层中 3 种颗粒占总颗粒数的比重基本上差不多, 所以在该研究中应重点关注这个比较特殊的土层。

表 1 侧渗水稻土基本性状特征

采样深度 cm	pH 值	有机质 g/kg	全磷 g/kg	速效磷 mg/kg	颗粒组成 g/kg		
					沙粒 (>0.05 mm)	粉土 (0.005~0.05 mm)	粘土 (<0.005 mm)
0~10	6.04	17.0	0.36	6.53	87	611	300
10~20	7.08	9.6	0.31	6.15	70	631	301
20~40	7.03	4.8	0.24	5.16	30	689	278
40~60	6.88	1.5	0.15	1.73	304	328	365
60~80	6.67	1.2	0.17	2.00	59	554	387

1.2 等温条件下侧渗水稻土对磷的吸附与解吸试验

1.2.1 等温条件下侧渗水稻土对磷的吸附试验。 侧渗水稻土的土壤样品于 2006 年 1 月采集。土样风干后, 过 100 目筛, 贮存。试验时每个土层分别称取 8 份土样, 每份 2.00 g 于已知重量的 100 ml 离心管内, 分别加入 0、4、8、16、24、32、40、60 mg/L KH_2PO_4 标准溶液 50 ml (内含 0.02 mol/L KCl 为支持电解质, pH 值 7), 土液比为 1:30, 同时加 2 滴氯仿以抑制微生物的活动, 加盖, 每天振荡 2 次, 平衡 6 d 后, 离心, 用 0.55 μm 微孔滤膜过滤, 用钼锑抗比色法测定平衡溶液中磷的浓度, 并根据其浓度变化计算土壤对磷的吸附量。以平衡

溶液中磷的浓度为横坐标,以每个土层土壤磷的吸附量为纵坐标,绘制磷的等温吸附曲线。根据试验结果及等温曲线,确定Langmir方程及其参数:

$$C/q = 1/kQ_m + C/Q_m \quad (1)$$

式中, q 为土壤吸磷量(ng/kg), C 为平衡溶液中磷的浓度(ng/L), k 为与吸附能力有关的常数(L/ng), Q_m 为土壤磷最大吸附量^[7-13]。

1.2.2 等温条件下侧渗水稻土对磷的解吸试验。将弃去上清液的离心管中土壤用无水乙醇清洗掉表面水分,加入 0.02 mol/L KCl 溶液,同时加2滴氯仿以抑制微生物的活动,加盖,每天振荡2次,平衡6d后,离心,用 $0.55 \mu\text{m}$ 微孔滤膜过滤,用钼锑抗比色法测定平衡溶液中磷的浓度,并根据其浓度变化计算土壤磷的解吸量。以平衡溶液中磷的浓度为横坐标,以每个土层土壤磷的解吸量为纵坐标,绘制磷的等温解吸曲线。根据试验结果及等温曲线,确定Langmir方程及其参数:

$$C/q = 1/kQ_m + C/Q_m \quad (2)$$

式中, q 为土壤解吸量(ng/kg), C 为平衡溶液中磷的浓度(ng/L), k 为与解吸能力有关的常数(L/ng), Q_m 为土壤磷最大解吸量^[7-13]。

2 结果与分析

2.1 侧渗水稻土不同土层磷的等温吸附曲线 土壤对磷的吸附能力与多种因素有关。土壤外部环境、土壤内部环境、施磷量都会对磷的吸附能力产生很大影响^[14]。笔者只研究了侧渗水稻土不同土层对磷吸附能力的差异。通常情况下,土壤对磷的吸附量应该是平衡溶液中磷浓度的正函数,并且存在一个饱和值,即随着平衡溶液中磷浓度的逐渐升高,土壤对磷的吸附量也逐渐加大,并且当平衡溶液中磷的浓度达到一定值后,土壤吸磷量增加缓慢至吸附平衡后不再增加。

从图1可以看出,5个土层可以分为2个族群,一个是0~10、10~20和20~40 cm土层,另一个是40~60和60~80 cm土层。0~10、10~20 cm土层和20~40 cm土层群的吸磷量随溶液中磷浓度的增加呈现出稳步增加的趋势,在磷浓度增加到35 ng/L 时土壤对磷吸附量还没有达到饱和状态。同时,在磷浓

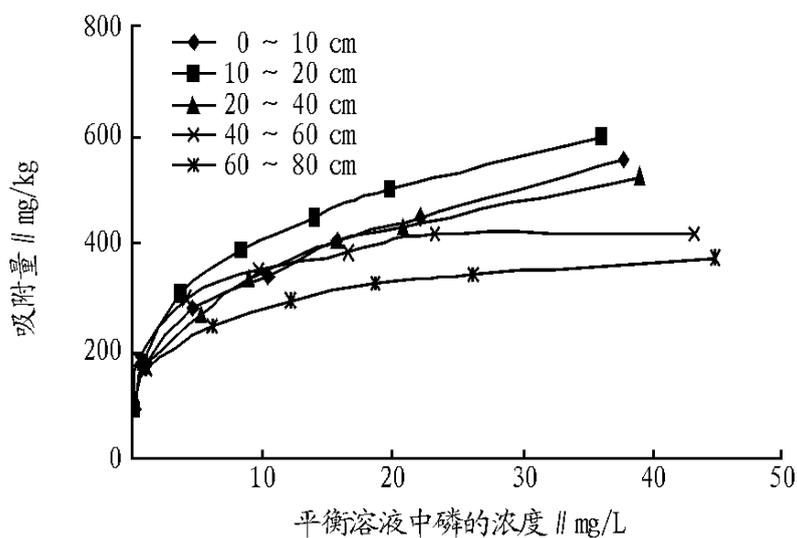


图1 侧渗水稻土不同土层磷等温吸附曲线

度低于 10 ng/L 时,吸磷量增加的速度较快,但在磷浓度超过 10 ng/L 后,吸磷量增幅明显减慢。而40~60和60~80 cm土层群的吸磷量在溶液中磷浓度低于 10 ng/L 时吸磷量增加得较快,而在溶液中磷浓度超过 10 ng/L 时,土壤对磷吸附量已经基本上达到了饱和状态,后续随着溶液中磷浓度的增加,吸磷量变化的幅度非常小,几乎保持在固定值状态。由此可知,

侧渗水稻土土层越深,溶液中磷浓度越高,土壤的吸磷量对磷浓度增加的反应越不明显,而且前3个土层的变化趋势相似,后两个土层的变化趋势相似。

供试的侧渗水稻土对磷的吸附特性用Langmir方程来拟合,其相关性均达到显著水平,即 R^2 介于0.9345和0.9980之间。因此,用该方程来描述侧渗水稻土不同土层的磷素在固相与液相之间的分配特征并由此计算其他的一些相关参数是完全可行的。

从表2可以看出,40~60 cm土层的最大吸附量最大,吸附常数也最大,Langmir方程对这个土层进行拟合的相关性水平也最高。

表2 侧渗水稻土不同土层磷等温吸附的Langmir方程及固磷参数

土层深度 cm	Langmir 方程	R^2	最大吸附量 ng/kg	K
0~10	$y = 0.0017x + 0.0076$	0.9345**	553.54	0.243
10~20	$y = 0.0016x + 0.0054$	0.9728**	602.43	0.298
20~40	$y = 0.0018x + 0.0071$	0.9815**	543.23	0.256
40~60	$y = 0.0016x + 0.0033$	0.9980**	621.34	0.493
60~80	$y = 0.0023x + 0.0055$	0.9925**	417.34	0.438

2.2 侧渗水稻土不同土层磷的等温解吸曲线 从图2可以看出,侧渗水稻土不同土层磷的解吸量都随着平衡溶液中磷浓度的增加而呈现出增加的趋势。在外加溶液中磷浓度低于 10 ng/L 时,不同土层对磷的解吸量无明显影响;但随着外加磷浓度的逐渐升高,5个土层又分为2个族群,一个是0~10、10~20和20~40 cm土层,另一个是40~60和60~80 cm土层。0~10、10~20及20~40 cm土层磷解吸量的上升幅度明显大于40~60、60~80 cm土层的磷解吸量。而且前3个土层之间的磷解吸量及后两个土层之间的磷解吸量无明显差异。

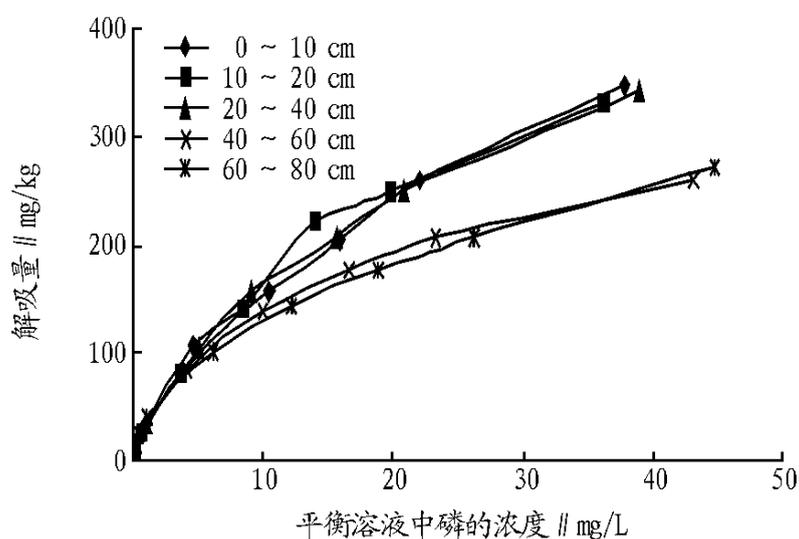


图2 侧渗水稻土不同土层磷等温解吸曲线

供试的侧渗水稻土对磷的解吸特性也用Langmir方程来拟合,其相关性也达显著水平,即 R^2 介于0.9098和0.9678之间。从表3可以看出,侧渗水稻土不同土层磷的最大解吸量随着土层的增加而增加。综合来说,最大解吸量相对来说还是比较高的,说明侧渗水稻土磷的解吸能力较强。

2.3 侧渗水稻土不同土层磷吸附的解吸率 一般来说,土壤磷吸附的解吸率随磷吸附量的增大而增大。从图3可以看出,0~10 cm土层以及20~40 cm土层最大解吸量占最大吸附量的百分比明显高于其他土层,40~60 cm土层的最大解吸量占最大吸附量的百分比是所有土层中最低的。结合表2和表3,发现该土层在相同的磷浓度下对磷的吸附能力

源进行评估。由表6、7可知, 莱芜“五一”和“十一”黄金周期间的气候条件比较适宜旅游。“十一”黄金周的气象条件优于“五一”期间, 但都不是最佳旅游季节。

表6 “五一”黄金周期间的旅游气候资源

日期	综合舒适度	TH 人体感觉	WCI 人体感觉
1	较舒适	凉	凉
2	较舒适	凉	凉
3	较舒适	凉	凉
4	较舒适	凉	凉
5	较舒适	凉	凉
6	较舒适	凉	凉
7	较舒适	凉	凉

表7 “十一”黄金周期间的旅游气候资源

日期	综合舒适度	TH 人体感觉	WCI 人体感觉
1	舒适	舒适	凉
2	舒适	舒适	凉
3	较舒适	凉	凉
4	较舒适	凉	凉
5	较舒适	凉	凉
6	较舒适	凉	凉
7	较舒适	凉	凉

4 不利天气气候因素

大气温度具有白天高, 夜间低, 午后最高, 日出前最低的日变化规律。因此, 在感觉舒适的日子, 每天仍有不舒服

(上接第11145页)

明显高于其他土层, 而解吸能力却较弱。也就是说, 这个土层的侧渗水稻土可溶性磷从液相进入固相比较容易, 而从固

表3 侧渗水稻土不同土层磷等温解吸的 Langmir 方程及磷解吸参数

土层深度 cm	Langmir 方程	R ²	最大解吸量 ng/ lg
0 ~ 10	$y = 0.0021x + 0.0363$	0.9423**	449.39
10 ~ 20	$y = 0.0022x + 0.0335$	0.9678**	450.23
20 ~ 40	$y = 0.0021x + 0.0364$	0.9653**	456.68
40 ~ 60	$y = 0.0032x + 0.0185$	0.9489**	298.54
60 ~ 80	$y = 0.0032x + 0.0425$	0.9098**	286.67

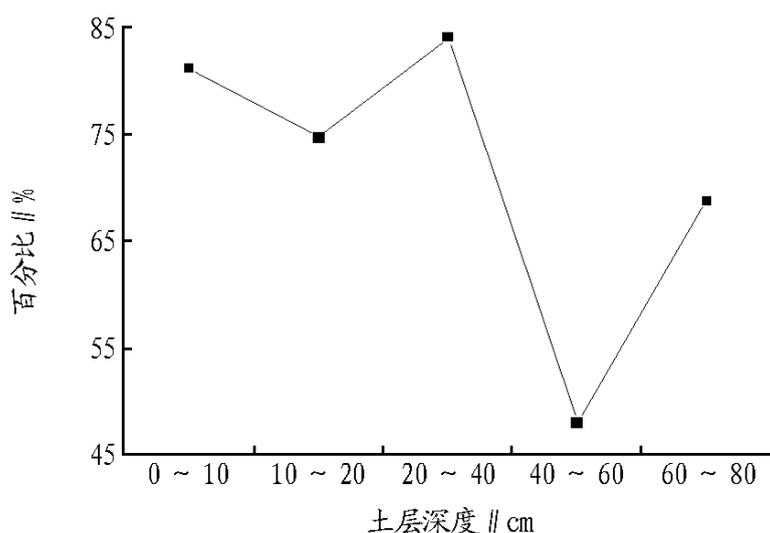


图3 侧渗水稻土不同土层最大解吸量占最大吸附量的百分比

的时刻^[3], 尤其是在7、8月10:00~15:00人感觉比较闷热。在适宜的旅游季节内, 影响莱芜旅游的不利因素主要有雷暴、暴雨、高温等灾害, 莱芜雷暴持续日期为4月上旬至9月下旬, 集中出现在15:00~20:00时, 对山区旅游尤为不利。莱芜暴雨主要出现在7、8月, 但多为局地性暴雨, 强度小。强度较大的暴雨易引起山洪, 影响人身和旅游设施安全, 但这都不足以影响旅游资源的开发。莱芜盛夏季节多受副热带高压控制, 天气潮湿, 易出现日最高气温35的天气, 使人感觉闷热难耐。

5 结论

(1) 莱芜自然景色秀丽, 地形地貌复杂, 自然旅游资源比较丰富, 有6个月的适宜旅游季节。通过3种指数评价, 发现莱芜最佳旅游季节为6月和9月。

(2) 11月到次年3月莱芜气候比较冷, 是影响莱芜旅游的主要因素; 适宜旅游期内的雷暴、暴雨、高温等是影响莱芜旅游的不利天气因素。

(3) “五一”和“十一”黄金周期间莱芜比较适宜旅游, “十一”期间的气候适宜度优于“五一”期间。

参考文献

- [1] 廉丽姝, 李至富. 山东省旅游气候资源研究[J]. 山东气象, 2005, 25(3): 1-4.
- [2] 吴兑, 邓雪娇. 环境气象学与特种气象预报[M]. 北京: 气象出版社, 2001.
- [3] 刘春燕, 孙国栋. 三爪仑国家森林公园旅游气候分析[J]. 江西气象科技, 2001, 24(4): 40-42.

相进入液相比较难, 所以这个土层可溶性磷的流失风险相对来讲要小些。

参考文献

- [1] 廖文根, 彭静, 铁灵芝, 等. 太湖水体的磷污染负荷分析[J]. 水利学报, 1994(11): 51-53.
- [2] 林德喜, 胡锋, 范晓晖, 等. 长期施肥对太湖地区水稻土磷素转化的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2006(4): 12-13.
- [3] 王建国, 杨林章, 单艳红, 等. 长期施肥条件下水稻土磷素分布特征及对水环境的污染风险[J]. 生态与农村环境学报, 2006(3): 31-33.
- [4] 高超, 张桃林, 吴蔚东. 农田土壤中的磷向水体释放的风险评价[J]. 环境科学学报, 2001(21): 25-26.
- [5] 张焕朝, 张红爱, 曹志洪. 太湖地区水稻土磷素径流流失及其Olsen磷的“突变点”[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2004(5): 42-44.
- [6] 赵建宁, 沈其荣, 冉炜. 太湖地区侧渗水稻土连续施磷处理下稻田磷的径流损失[J]. 农村生态环境, 2005(3): 7-8.
- [7] 李文祥. 几种黄土母质土壤磷吸附特性及缓冲性能的初步研究[J]. 土壤肥料, 2002(1): 50-52.
- [8] 孙华, 张桃林, 熊德祥. 鲁南砂姜黑土磷的组成及吸附特性的研究[J]. 江苏农业研究, 2001(1): 15-18.
- [9] 卢瑛, 龚子同, 张甘霖. 南京城市土壤磷的形态和吸附—解吸特征[J]. 土壤通报, 2003(1): 57-60.
- [10] 夏瑶, 娄运生, 杨超光, 等. 几种水稻土对磷的吸附与解吸特性研究[J]. 中国农业科学, 2002(11): 24-28.
- [11] 谢学俭, 冉炜, 沈其荣, 等. 田间条件下P在淹水水稻土中的垂直运移[J]. 南京农业大学学报, 2003(3): 44-47.
- [12] 高超, 张桃林, 吴蔚东. 不同利用方式下农田土壤对磷的吸持与解吸特征[J]. 环境科学, 2001(22): 32-34.
- [13] 李宪文, 张玉娜, 徐坤等. 莱阳几种土壤磷等温吸附特性初步研究[J]. 莱阳农学院学报, 1995(12): 38-40.
- [14] 赵晓齐, 鲁如坤. 有机肥对土壤磷素吸附的影响[J]. 土壤学报, 1991(1): 19-21.