

有机磷在调节土壤磷素保持与释放过程中的作用^①

周 驰^{1,2}, 宋春雷¹, 陈 玺^{1,2}, 李 阳^{1,2}, 曹秀云¹, 周易勇^{1*}

(1 中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072; 2 中国科学院大学, 北京 100049)

摘 要:以巢湖沿岸土壤和沉积物为对象, 分析了速效磷、藻类可利用性磷、有机磷含量和碱性磷酸酶活性的空间变化格局, 并测定了磷吸附参数。结果表明, 土壤有机磷含量差异显著, 以草地最高, 而速效磷和藻类可利用性磷含量无明显差异; 酶活性及速效磷含量与有机磷含量呈显著正相关, 土壤对正磷酸根的吸附量与土壤有机磷含量呈正相关; 湖泊沉积物中有机磷含量与周边土壤中有机磷含量显著正相关。因此, 土壤有机磷及其酶促水解过程是调节沉积物作为磷源或磷汇功能的关键因素之一。

关键词:土壤; 有机磷; 磷饱和度; 磷吸附行为; 土地利用; 巢湖

中图分类号: X131.3

经济发展与城市化过程将持续改变土地利用方式, 导致土壤营养状态与土壤中总氮和总磷的分布格局随之发生转换。湖泊周边土地利用方式的空间变化会改变土壤磷的负荷, 继而会影响磷从土壤向水体中的迁移过程^[1]。因此, 研究土地利用方式所导致的总氮和总磷空间分布的差异性不仅可以有效提高水陆营养迁移模型预测的准确性^[2], 更对水体富营养化等环境问题具有重要意义。目前, 国内外有关此领域的研究相对较少。

有关沿岸带土壤与湖滨带沉积物的磷负荷研究主要包括磷的形态和吸附特征。首先, 土壤磷的主要存在形态因利用方式而异。在湿地土壤中有机磷通常以易分解形式存在^[3]。相对施肥而言, 土地利用方式更能在大尺度上影响土壤中 NaOH 可提取有机磷的含量^[4], 但土地利用和管理方式对土壤质量的影响研究多集中于土壤有机碳, 较少涉及有机磷。在城市河流系统中, 河床有机磷化合物与水质改善程度密切相关^[5]。如巢湖流域, 农田土壤磷肥的大量施用影响了河口沉积物中磷循环过程, 导致基质和沉积物表层的总磷含量显著增加。其中, 残留磷比例最高, 占到总磷量的 19.8% ~ 74.0%。磷饱和度数据显示, 几乎一半的河口都有着富营养化的潜在趋势^[6]。因此, 水生生态系统周边土壤的有机磷状态和磷饱和度对湖泊的富营养化进程具有重要影响; 其次, 在水体富营养化

和水资源保护战略研究中, 对农业土壤磷的面源流失估算已成为一个热点。磷在土壤颗粒上的吸附参数对土壤渗滤液中磷的扩散具有重要的影响^[7]。由地表径流携带进入水体的土壤颗粒中磷的吸附和解吸对湖泊富营养化具有重要的驱动作用^[8]; 第三, 固体对溶液中磷在固体上达到吸附平衡状态时, 溶液相中磷的浓度称为磷平衡浓度(EPC₀, equilibrium phosphorus concentration)^[9]。EPC₀可用于沉积物作为磷源和磷汇功能的判定^[10]。但有关大型浅水湖泊周边土壤中 EPC₀的功能和意义的研究尚鲜有报道。

本文以巢湖湖滨带土壤和与之相邻的沿岸带沉积物为对象, 系统研究了不同季节不同土地利用方式(农田、草地、树林和崩岸)对土壤与沉积物磷形态和吸附行为的影响, 同时分析了碱性磷酸酶在有机磷分解过程中的作用。这一工作旨在深入揭示湖滨带土壤有机磷在磷缓冲过程中的重要作用及其机制, 为大型富营养化浅水湖泊的恢复和管理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

巢湖(117°16'54" ~ 117°51' 46" E, 31°25' 28" ~ 31°43' 28" N)是中国第五大淡水湖泊, 位于长江淮河流域、安徽省中部, 湖泊面积约为 780 km², 流域面积 13 486 km², 全湖湖滨带 184.66 km。在过去的数

①基金项目: 水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07106-001)、国家自然科学基金项目(40903030, 41073066)以及中国与波兰政府间科学与技术合作项目(2008-333-4-7)资助。

* 通讯作者(zhouyy@ihb.ac.cn)

作者简介: 周驰(1984—), 男, 湖北武汉人, 博士研究生, 主要从事土壤化学和受污染水体生态修复研究。E-mail: zhouc0222@126.com

十年中, 巢湖水体受到人类活动越来越严重的影响, 湖滨带迅速萎缩, 水质下降、生态系统退化、生物多样性减少, 富营养化问题日趋严重。

1.2 样品采集

本实验在巢湖全湖湖滨带岸共设 16 个采样点, 包括了农田、草地、树林、崩岸等不同类型的湖滨带。每个采样点分别采集了 10 ~ 20 cm 的表层土壤和与之对应的表层沉积物。样点位置和土地利用方式如图 1 和表 1。

1.3 化学分析

速效磷(Olsen-P) 称取 2.5 g 过 60 目筛风干样品, 加入 0.5 mol/L NaHCO₃ 溶液(用 NaOH 调节 pH 至 8.5)50 ml 和一勺无磷活性炭, 盖紧, 在 25℃恒温振荡器中振荡 30 min, 离心, 上清液过 0.45 μm 滤膜后

测定磷浓度^[11]。

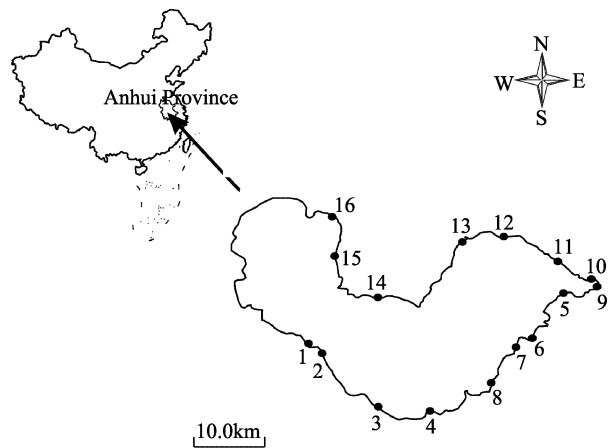


图 1 采样点地图(西北岸湖滨带为水泥堤岸, 无土壤覆盖)
Fig. 1 Map of Lake Chaohu showing sampling sites in soils and sediments along shoreline

表 1 采样点概况
Table 1 Backgrounds of sampling sites

土地利用方式	采样点	优势植被	有机质含量(mg/g)
草地	1	藜草(<i>Phalaris arundinacea</i> Linn.)、 酸模(<i>Rumexacetosa</i> Linn.)	27.82 ± 7.72
	4	狗牙根(<i>Cynodondactylon</i> Linn.)	25.98 ± 7.34
	5	飞蓬(<i>Erigeron acer</i> Linn.)	56.12 ± 20.64
	12	狗牙根(<i>Cynodondactylon</i> Linn.)	22.24 ± 6.28
	13	狗牙根(<i>Cynodondactylon</i> Linn.)	28.86 ± 11.88
	16	狗牙根(<i>Cynodondactylon</i> Linn.)	11.58 ± 0.57
农田	2	—	35.86 ± 0.89
	6	—	36.96 ± 17.33
	9	—	40.61 ± 17.41
	14	—	20.86 ± 3.33
崩岸	7	—	21.99 ± 4.24
	8	—	29.23 ± 5.95
	15	—	16.09 ± 5.36
树林	3	槐树(<i>Sophora japonica</i> Linn.)	34.30 ± 6.14
	10	柳树(<i>Salix babylonica</i>)	35.51 ± 13.06
人工湿地	11	—	20.61 ± 1.88

注：“—”表示无优势植被。

藻类可利用磷(AAP)：称取 0.5 g 过 60 目筛风干样品, 加入 0.1 mol/L NaOH 溶液 200 ml, 盖紧, 在 25℃恒温振荡器中振荡 17 h, 离心, 上清液过 0.45 μm 滤膜后测定磷浓度^[12]。

有机磷(OP)：称取一定量过 60 目筛的风干样品于坩埚中经 550℃灼烧 1 h, 使有机磷化合物转化为无机磷态, 然后与未经灼烧的同一土样, 分别用 0.1 mol/L H₂SO₄ 溶液浸提, 摇匀后置于 40℃烘箱内保温 1 h, 测定上清液磷浓度, 所得结果的差值即为有机

磷^[13]。

碱性磷酸酶活性(APA)：由于巢湖流域土壤为碱性土壤^[14], 因此, 本文主要测定了碱性磷酸酶活性。以对硝基苯磷酸钠(pNPP)为底物, 取 0.13 g 过 60 目筛的风干样品于 10 ml 离心管中, 加 1 ml Tris-HCl 缓冲液(pH = 7.4)、0.25 ml 0.3 mol/L 叠氮化钠和 0.25 ml 6 mmol/L 对硝基苯磷酸钠后, 充分混合, 在 37℃下培养 1 h。培养结束后, 加 2.0 ml 0.5 mol/L NaOH 和 0.5 ml 0.5 mol/L CaCl₂, 充分混匀后离心(3 000

r/min, 10 min), 取上清液循环分光光度法在 410 nm 波长下测定酶水解产物对硝基酚的含量; 对照组酶底物在 37°C 培养结束后加入^[15]。

磷吸附指数: 在土液比 1:10 的条件下, 按每克过 60 目风干土添加 1.5 mg 磷(P), 平衡后测得的土壤对磷的吸附量 Q (P mg/100 g 土) 与溶液中磷浓度 C ($\mu\text{mol/L}$) 的对数之比, 即 $PSI = Q/\lg C$ ^[16]。

磷在土壤表面吸附等温线的测定: 称取 1.0 g 过 60 目风干样品于离心管, 分别加入 0.01 mol/L 的 KCl 溶液配制的磷浓度梯度为 0、1、5、10、20、30、40、50 mg/L 的 KH_2PO_4 溶液 25 ml, 2 滴氯仿抑制微生物生长, 密封后于 25°C 恒温振荡器中充分混合 24 h 后离心, 取上清液过 0.22 μm 滤膜后用钼蓝比色法测定溶液中磷浓度^[17]。

Langmuir 方程: $Q = Q_{\max} K_L C / (1 + K_L C) - Q_{0L}$

式中: Q 为吸附平衡后磷在土壤颗粒上的吸附量 (mg/kg), C 为吸附平衡后溶液中可溶性反应磷的平衡浓度 (mg/L), Q_{0L} 为土壤颗粒在空白溶液 (磷加入量为 0) 中磷的释放量 (mg/kg), $Q_{\max}$ 为磷在土壤颗粒表面的饱和吸附量 (mg/kg), K_L 为 Langmuir 吸附能常数 (L/mg)。

Freundlich 方程: $Q = K_F C^n - Q_{0F}$

式中: Q 为吸附平衡后磷在土壤颗粒上的吸附量 (mg/kg), C 为吸附平衡后溶液中可溶性反应磷的平衡浓度 (mg/L), Q_{0F} 为土壤颗粒在空白溶液 (磷加入量为 0) 中磷的释放量 (mg/kg), K_F 为 Freundlich 吸附能常数 (mg/kg), n 为常数 (L/kg)。

EPC_0 为 $Q = 0$ 时所对应的可溶性反应磷浓度。

1.4 数据处理

用统计软件 SigmaPlot2000 和 SPSS13.0 对数据作 Pearson 相关系数和线性回归分析。

2 结果与讨论

2.1 不同土地利用方式磷含量的差异性

在巢湖湖滨带的诸多土地利用方式中, 土壤速效磷和藻类可利用磷的含量无显著差异, 而草地土壤有机磷含量高于其他类型土壤的相应值 (图 2)。在粒径小于 20 μm 的土壤组分中有机磷具有较高的稳定性。与耕地土壤相比, 草地土壤对碳素具有更强的持留能力^[18]。土壤中有有机质矿化降解会引起土壤氧化还原电位、酸碱度等物理化学条件变化, 对磷在土壤中的存在形态造成影响^[19]。亦有文献报道有机磷是有机质的重要组成部分^[20], 土壤中有有机质含量越高, 有机磷的含量也越高。本文的实验结果同样也可以用

土壤中有有机质含量来解释: 在实验涉及的不同土地利用方式的土壤中, 草地与农田土壤具有较高的有机质含量, 其中有机磷的含量亦相应较高。土壤中有有机磷的形态也与土壤种类有关, 在芬兰 Okeechobee 湖一个水文条件相对独立的区域, 湿地与周边牧场土壤中有有机磷均以磷酸单酯为主^[21]。与农田土壤黏土相比, 草地土壤黏土中含有更多的胞壁酸磷、磷酸二酯以及可用树脂提取的有机磷^[4]。Murphy 等^[22]对 21 个草地土壤的分析结果表明, 草地土壤中有有机磷主要由磷酸单酯组成, 含量占总磷含量的 84%~100%, 因此, 草地能在更大的程度上保持有机磷。有机磷的环境意义是在微生物胞外磷酸酶的作用下分解产生可供生物直接利用的无机磷, 随着草地土壤中有有机质矿化降解, 有机磷可以转变为可溶态无机磷, 一部分与金属离子结合, 生成沉淀或者吸附在沉淀物颗粒表面^[19]。

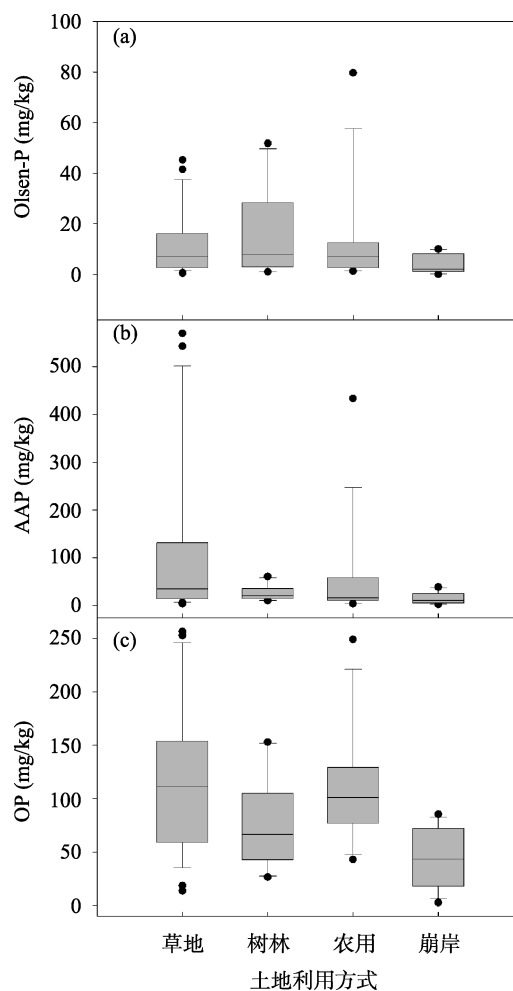


图 2 不同土地利用类型土壤中速效磷(Olsen-P)、藻类可利用磷(AAP)与有机磷(OP)含量的变化

Fig. 2 Changes in contents of Olsen-P, AAP and OP in soils under different land use patterns

2.2 有机磷对磷平衡浓度的影响机制

巢湖沿岸带土壤有机磷与速效磷和藻类可利用性磷含量密切相关(图 3a), 其转化过程受磷酸酶活性影响。如图 3b 所示, 碱性磷酸酶活性与有机磷以及速效磷含量均显著正相关, 有机磷浓度越高, 碱性磷酸酶的活性越强, 从而有更多的有机磷转化为无机磷酸盐。在间歇性淹水的土壤中(pH 7.85), 碱性磷酸酶活性与总有机磷、易分解有机磷、中度易分解有机磷和中度稳定性有机磷均显著正相关^[23]。太湖沉积物

中碱性磷酸酶活性亦显著正比于酸溶性有机磷^[24]。Manna 等人^[25]发现在印度中部 Madhya Pradesh 地区大豆-小麦轮作系统变性土壤中生物可利用磷与有机磷矿化率、作物根部磷酸酶以及根际土壤碱性磷酸酶活性三者显著相关, 因此, 通过微生物调节的酶活性是控制有机磷和无机磷丰度的主要影响因素之一。地表径流中的磷直接来源于土壤可利用的磷, 其中包括水和 NaHCO_3 可提取无机磷、水溶性有机磷以及 NaHCO_3 和 NaOH 可提取有机磷等组分, 这些磷组分均易在土壤微生物及其胞外酶的介导下矿化, 因此土壤磷酸酶活性可作为地表径流磷流失潜力的重要指数^[26]。在酶水解机制作用下, 有机磷与速效磷含量显著正相关, 并间接增大 EPC_0 (图 3b 和 3c), 这意味着有机磷分解产生的速效磷将增大土壤的 EPC_0 , 降低土壤对磷的吸附能力, 将增加磷迁出土体的风险^[27]。在亚热带湿地(Okeechobee 湖周边湿地)的研究亦有类似结果, 表层土壤的 EPC_0 和水溶性磷含量均较高, 并随着土壤深度的增加而降低^[28]。在美国密苏里地区的河流中溶解可反应性磷与对应的沉积物 EPC_0 亦显著正相关^[29]。

2.3 有机磷影响磷饱和度和磷吸附特征的复杂性

磷饱和度一般用土壤中速效磷含量与最大吸附量的比值或土壤中速效磷含量与磷吸附指数的比值加以表征^[30-31]。如图 4 所示, 分别以最大吸附量和磷吸附指数作为分母所表示的速效磷、藻类可利用磷和有机磷的磷饱和度均与 EPC_0 显著正相关, 这说明高磷饱和度伴随高 EPC_0 , 反之亦然^[32]。值得注意的是, 用有机磷代替速效磷所得到的磷饱和度亦可作为 EPC_0 的指示参数(图 4)。而作为磷饱和度的分母, 最大吸附量与有机磷显著正相关(图 5a), 这一结果与前人报道相一致^[33]。换言之, 磷饱和度表达式中的分子(图 3a)与分母(图 5)的数值均随着有机磷含量的增加同时增大, 从而表现出较为复杂的磷保持机制。

实验结果表明有机磷亦会影响其他磷的吸附特征。如图 5b 所示, 有机磷与正磷酸根的吸附能常数 K_L 之间存在着显著的负相关关系。

2.4 有机磷的可迁移性

湖泊沉积物的磷状态主要取决于周边土壤的土地利用方式。例如, 美国爱荷华州 Silver 湖泊沉积物磷多源于湖泊东南方向沿岸带的农田和养猪场面源污染^[34]。一般情况下, 湖泊中 10% 的总磷来自于流域内陆生植物的碎屑^[35]。在 Tibagi 河沉积物和与之相邻的土壤中均能检出有机磷, 并可将其作为评价水库堤岸人为影响的指示参数^[36]。大量存在于沉积物

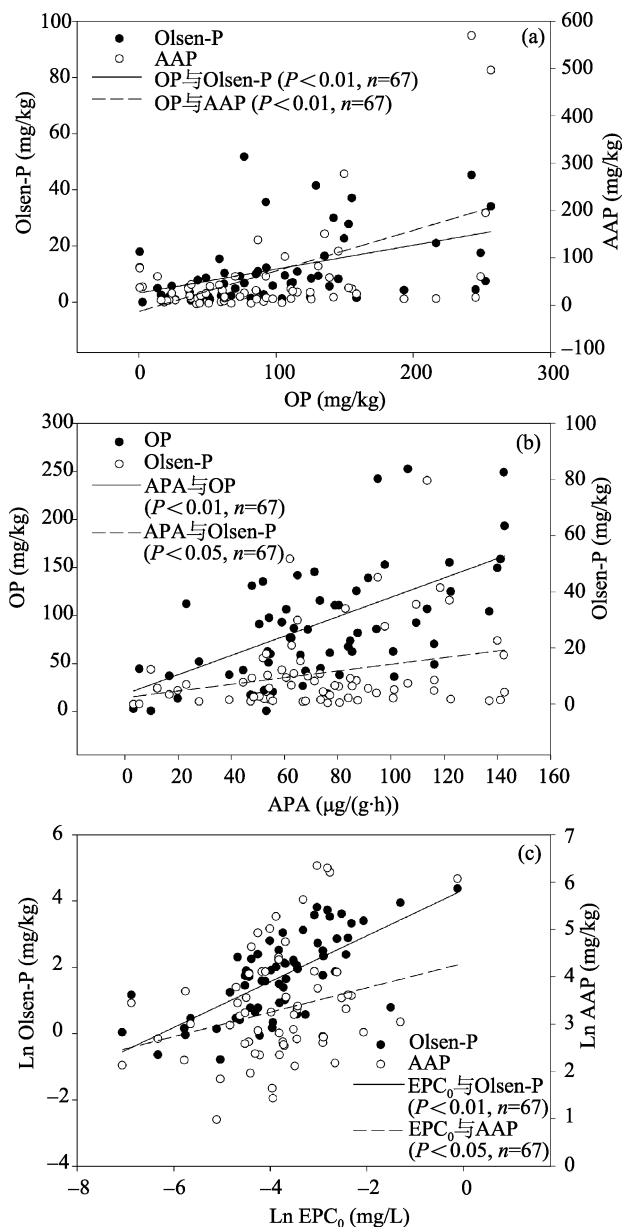


图 3 土壤中有有机磷(OP)与速效磷(Olsen-P)和藻类可利用磷(AAP)的关系(a), 碱性磷酸酶活性(APA)与有机磷和速效磷的关系(b), 磷平衡浓度(EPC_0)与速效磷和藻类可利用磷的关系(c)

Fig. 3 Relationships between OP and Olsen-P, AAP (a); APA, OP and Olsen-P (b); EPC_0 and Olsen-P, AAP (c) in the soils

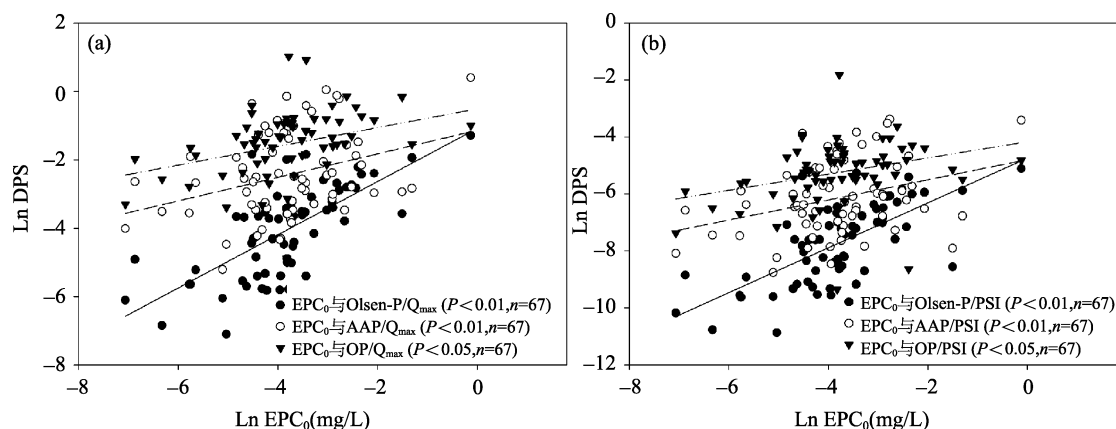


图 4 磷平衡浓度(EPC_0)与磷饱和度(DPS)的关系(a:用最大吸附量表征;b:用磷吸持指数表征)

Fig. 4 Relationships between EPC_0 and DPS normalized by Q_{max} (a) and by PSI (b)

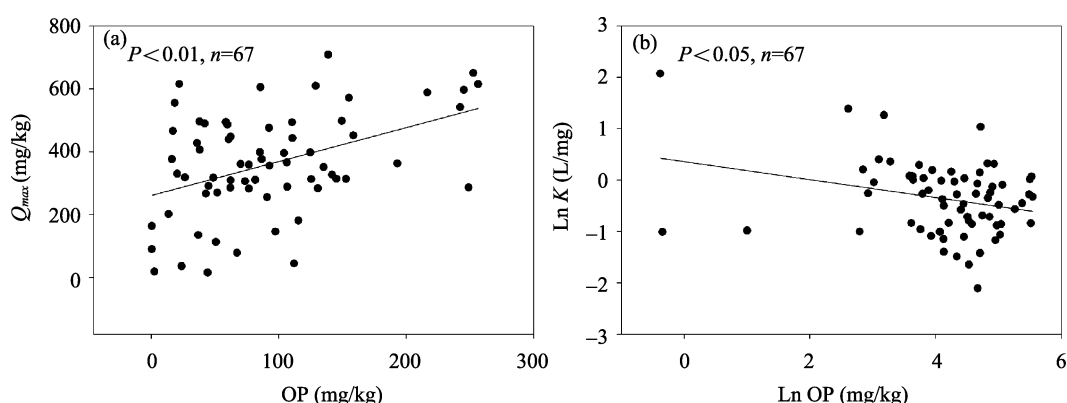


图 5 土壤有机磷(OP)与最大吸附量(Q_{max})以及吸附能常数(K)的关系

Fig. 5 Relationships between OP and Q_{max} and sorption energy (K)

中的有机磷将显著促进水体初级生产力^[37]。巢湖沿岸带土壤和相应湖滨带沉积物有机磷含量显著正相关(图 6), 这意味着土壤有机磷能随地表径流入湖泊沉积物。因此, 湖泊沿岸带土地利用方式对富营养化过程具有重要影响。

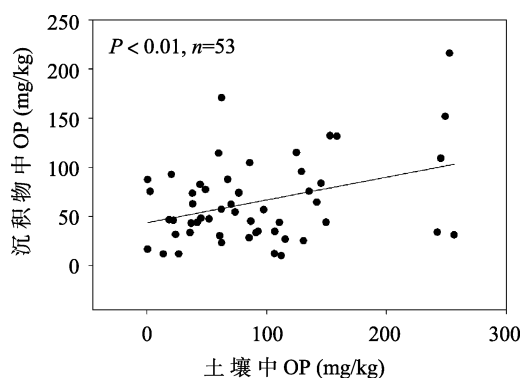


图 6 湖滨带土壤与相邻沿岸带沉积物有机磷(OP)含量的关系

Fig. 6 Relationship between OP in soil and in adjacent littoral zone sediment

3 结论

巢湖湖滨带土地利用方式具有明显的异质性, 其土壤有机磷含量明显不同, 而无机磷含量则无明显差异。有机磷能有效增大磷最大吸附量, 降低磷吸附能, 同时增强微生物胞外碱性磷酸酶活性; 而较高的碱性磷酸酶活性能促进水解作用产生更多不同形态的生物可利用性磷, 从而改变磷饱和度和 EPC_0 。此外, 沿岸带土壤和湖滨带沉积物的有机磷含量密切相关。简言之, 湖滨带土壤有机磷调控磷缓冲能力的机制较为复杂且其影响可延伸至沿岸带沉积物。在大型富营养化浅水湖泊的修复和管理过程中, 应充分考虑湖滨带土地利用方式的影响, 而土壤有机磷含量可作为相关的简要评判参数。由于草地土壤具有高含量的有机磷, 同时草地覆盖度高, 产生的地表径流和随之流失的营养盐均相对较少, 故草地当为大型浅水湖泊周边土壤的适宜利用方式。

参考文献:

- [1] Zhang W, Faulkner JW, Giri SK, Geohring LD, Steenhuis

- TS. Effect of soil reduction on phosphorus sorption of an organic-rich silt loam[J]. Soil Science Society of America Journal, 2010, 74(1): 240–249
- [2] Wang YQ, Zhang XC, Huang CQ. Spatial variability of soil total nitrogen and soil total phosphorus under different land uses in a small watershed on the Loess Plateau, China[J]. Geoderma, 2009, 150(1/2): 141–149
- [3] Fisher MM, Reddy KR. Estimating the stability of organic phosphorus in wetland soils[J]. Soil Science Society of America Journal, 2010, 74(4): 1 398–1 405
- [4] Rubaek GH, Guggenberger G, Zech W, Christensen BT. Organic phosphorus in soil size separates characterized by phosphorus-31 nuclear magnetic resonance and resin extraction[J]. Soil Science Society of America Journal, 1999, 63(5): 1 123–1 132
- [5] Wang JY, Pant HK. Phosphorus sorption characteristics of the Bronx River bed sediments[J]. Chemical Speciation and Bioavailability, 2010, 22(3): 171–181
- [6] Tang WZ, Shan BQ, Zhang H. Phosphorus buildup and release risk associated with agricultural intensification in the estuarine sediments of Chaohu Lake Valley, Eastern China[J]. Clean-Soil Air Water, 2010, 38(4): 336–343
- [7] Godlinski F, Reiche EW, Lennartz B, Meissner R. Simulation of phosphorus losses from lysimeters[J]. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2008, 171(4): 621–633
- [8] Hartikainen H, Rasa K, Withers PJA. Phosphorus exchange properties of European soils and sediments derived from them[J]. European Journal of Soil Science, 2010, 61(6): 1 033–1 042
- [9] Pierzynski GM, Sims JT, Vance GF. Soils and Environmental Quality[M]. Boca Raton: Lewis Publishers, 1994
- [10] Reddy KR, Overcash MR, Khaleel R, Westerman PW. Phosphorus adsorption-desorption characteristics of two soils utilized for disposal of animal wastes[J]. Journal of Environmental Quality, 1980, 9(1): 86–92
- [11] Olsen SR, Cole CV, Watanabe FS, Dean LA. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate // USDA Circular[C]. Washington, DC: USDA, 1954: 939
- [12] Sharpley AN, Troeger WW, Smith SJ. The measurement of bioavailable phosphorus in agricultural runoff[J]. Journal of Environmental Quality, 1991, 20: 235–238
- [13] Saunders WMH, Williams EG. Observations on the determination of total organic phosphorus in soils[J]. Journal of Soil Science, 1955, 6(2): 254–267
- [14] 胡宏祥, 洪天求, 黄明, 周地全. 巢湖马鞍山西北坡土壤侵蚀及其 N、P 时空变异研究[J]. 水土保持学报, 2007, 21(5): 30–33
- [15] Liu YB, Guo YX, Song CL, Xiao WJ, Huang DZ, Cao XY, Zhou YY. The effect of organic matter accumulation on phosphorus release in sediment of Chinese shallow lakes[J]. Fundamental and Applied Limnology, 2009, 175(2): 143–150
- [16] Bache BW, Williams EG. Phosphate Sorption Index for Soils[J]. Journal of Soil Science, 1971, 22(3): 289–301
- [17] Graetz DA, Nair VD. Phosphorus sorption isotherm determination // Pierzynski GM. Methods of Phosphorus Analysis for Soils, Sediments, Residuals and Waters[C]. Manhattan: Kansas State University, 2000: 35–38
- [18] Hou XY, Han XZ, Li HB, Xing BS. Composition and organic carbon distribution of organomineral complex in black soil under different land uses and management systems[J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2010, 41(9): 1 129–1 143
- [19] 王绪伟, 王心源, 封毅, 薛纪萍. 巢湖沉积物总磷含量及无机磷形态的研究[J]. 水土保持学报, 2007, 21(4): 56–59
- [20] 刘静静. 巢湖内源氮磷的形态、释放规律及控制研究(硕士学位论文)[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2006
- [21] Cheesman AW, Dunne EJ, Turner BL, Reddy KR. Soil phosphorus forms in hydrologically isolated wetlands and surrounding pasture uplands[J]. Journal of Environmental Quality, 2010, 39(4): 1 517–1 525
- [22] Murphy PNC, Bell A, Turner BL. Phosphorus speciation in temperate basaltic grassland soils by solution P-31 NMR spectroscopy[J]. European Journal of Soil Science, 2009, 60(4): 638–651
- [23] Yang CM, Yang LZ, Lee JH. Organic phosphorus fractions in organically amended paddy soils in continuously and intermittently flooded conditions[J]. Journal of Environmental Quality, 2006, 35(4): 1 142–1 150
- [24] Zhou YY, Song CL, Cao XY, Li JQ, Chen GY, Xia ZY, Jiang PH. Phosphorus fractions and alkaline phosphatase activity in sediments of a large eutrophic Chinese lake (Lake Taihu) [J]. Hydrobiologia, 2008, 599: 119–125
- [25] Manna MC, Rao AS, Ganguly TK. Effect of fertilizer P and farmyard manure on bioavailable P as influenced by rhizosphere microbial activities in soybean-wheat rotation[J]. Journal of Sustainable Agriculture, 2006, 29(3): 149–166
- [26] Yu S, He ZL, Stoffella PJ, Calvert DV, Yang XE, Banks DJ, Baligar VC. Surface runoff phosphorus (P) loss in

- relation to phosphatase activity and soil P fractions in Florida sandy soils under citrus production[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2006, 38(3): 619–628
- [27] Dunne EJ, Culleton N, O'Donovan G, Harrington R, Daly K. Phosphorus retention and sorption by constructed wetland soils in Southeast Ireland[J]. *Water Research*, 2005, 39(18): 4 355–4 362
- [28] Bhadha JH, Harris WG, Jawitz JW. Soil phosphorus release and storage capacity from an impacted subtropical wetland[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2010, 74(5): 1 816–1 825
- [29] Haggard BE, Smith DR, Brye KR. Variations in stream water and sediment phosphorus among select ozark catchments[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2007, 36(6): 1 725–1 734
- [30] Li M, Hou YL, Zhu B. Phosphorus sorption-desorption by purple soils of China in relation to their properties[J]. *Australian Journal of Soil Research*, 2007, 45(3): 182–189
- [31] Indiati R, Trujillo I, Gutierrez F. Characterization of P adsorption properties of some agricultural volcanic soils from Canary Islands, Spain[J]. *Tropical Agriculture*, 2002, 79(4): 254–259
- [32] Luo ZX, Zhu B, Tang JL, Wang T. Phosphorus retention capacity of agricultural headwater ditch sediments under alkaline condition in purple soils area, China[J]. *Ecological Engineering*, 2009, 35(1): 57–64
- [33] Buschiazzo DE, Hevia GG, Urioste AM, Hepper EN. Cultivation effects on phosphate forms and sorption in loess-soils of Argentina[J]. *Soil Science*, 2000, 165(5): 427–436
- [34] Iqbal MZ, Brown EJ, Clayton ME. Distribution of phosphorus in a biologically restricted lake in Iowa, USA[J]. *Journal of Hydrology*, 2006, 326(1/4): 349–366
- [35] France RL, Peters RH. Predictive model of the effects on lake metabolism of decreased airborne litterfall through riparian deforestation[J]. *Conservation Biology*, 1995, 9(6): 1 578–1 586
- [36] Barreto WJ, Ishikawa DN, Scarminio IS, Costa JDS, Nora PDS, Soares MDF, Nicolau RM, Goncalves ACE, Barreto SRG. Fe, Mn, P and S speciation in sediments from the Capivara Hydroelectric dam lake (Brazil) as an indicator of anthropogenic influences[J]. *Clean-Soil Air Water*, 2008, 36(4): 353–359
- [37] Wang SR, Jin XC, Zhao HC, Zhou XN, Wu FC. Effect of organic matter on the sorption of dissolved organic and inorganic phosphorus in lake sediments[J]. *Colloids and Surfaces a-Physicochemical and Engineering Aspects*, 2007, 297(1/3): 154–162

Roles of Organic Phosphorus in Modifying Phosphorus Sorption and Release in Soils

ZHOU Chi^{1,2}, SONG Chun-lei¹, CHEN Xi^{1,2}, LI Yang^{1,2}, CAO Xiu-yun¹, ZHOU Yi-yong^{1*}

(1 *Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China;*

2 *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)*

Abstract: Spatial variations in contents of Olsen-P, algae available phosphorus (AAP), organic phosphorus (OP) and alkaline phosphatase activity (APA) were studied in soils and sediments along shoreline of a Chinese large shallow lake (Lake Chaohu). Phosphorus sorption behaviors fitted the Langmuir and Freundlich models well. The Olsen-P and AAP were less variable, while the OP contents were highest in grassland among all the land use types. Furthermore, the OP exhibited significantly positive correlations with both APA and Olsen-P. Additionally, the OP linearly gave rise to maximum phosphorus sorption capacity. The soils could provide the lakes with OP, as implied by the significantly positive correlation between OP contents in the soils and in the littoral zone sediments. Hence, the OP and its enzymatic hydrolysis in soils can shift sediments' function to act as source or sink of phosphorus.

Key words: Soil, Organic phosphorus, Degree of phosphorus saturation, Phosphorus sorption behavior, Land use, Lake Chaohu