

鄱阳湖南矶山湿地土壤磷释放研究

彭延治¹,张 静²

(1.江西省环境保护科学研究院,江西 南昌 330029;2.江西省环境保护科学研究院广东分院,广东 广州 510275)

摘要 :研究鄱阳湖南矶山湿地土壤的磷释放,探讨土壤中磷的形态与磷释放的关系以及土壤吸附大量磷后的再释放情况。结果表明,土壤磷的释放有限,土壤吸附大量磷后的再释放是缓慢的,pH 值、温度、NO₃⁻ 浓度、扰动和溶解氧对土壤磷的释放均有影响,土壤中磷释放取决于磷的形态,可溶性磷和铁磷在土壤磷的释放中所起作用较大,其余形态的磷所起作用较小。

关键词 :湿地土壤;释磷;环境条件;磷形态

中图分类号:S153.6 文献标识码:A 文章编号:1004-693X(2009)05-0058-03

Phosphorus release from wetland soil in the Nanjishan nature reserve of Poyang Lake

Peng Yan-zhi¹, Zhang Jing²

(1. Jiangxi Academy of Environmental Protection Sciences, Nanchang 330029, China; 2. Guangdong Institute, Jiangxi Academy of Environmental Protection Sciences, Guangzhou 510275, China)

Abstract :Phosphorus release from the wetland soil in the Nanjishan of Poyang Lake was studied. The relationship between the phosphorus forms in the soil and phosphorus release was explored, and the instance of phosphorus release after large amount of phosphorus absorption was examined. Results show that the amount of phosphorus release from the soil is limited, and the re-release is slow after a large amount of adsorption. The phosphorus release is affected by the pH value, the temperature, the concentration of NO₃⁻, the disturbance, and the dissolved oxygen. The study also shows that the phosphorus release is related to phosphorus forms. The dissolved phosphorus and Fe binding phosphorus in soils play the most important roles in phosphorus release, and the other forms play smaller roles.

Key words :wetland soil; phosphorous release; environment condition; phosphorus forms

鄱阳湖是一个季节性、过水性、吞吐型湖泊。在春夏丰水期时,南矶山自然保护区就形成了一片宽广的湖面,当湿地土壤中出现有利于钙、铁、铝等不溶性磷酸盐沉淀溶解的条件时,磷就会释放出来^[1],从而成为鄱阳湖水体中磷的重要来源之一,对鄱阳湖的营养化水平有着不容忽视的影响。因此,研究湿地土壤磷释放机制有着重要的生态环境意义。

本文在模拟南矶山湿地土壤磷释放试验中,研究了磷释放动力学,并探讨了环境因素和土壤特性的影响,以及土壤吸附大量磷后的再释放问题等,这些结果为鄱阳湖水体富营养化的研究提供了科学依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集与制备

在南矶山自然保护区的草甸沼泽土地带以每份多小区、多点混合的方法随机采集表层土壤样品 4 个。将土壤样品置于背光、通风处风干,并研磨过 100 目筛,备用。

在一系列 250 mL 锥形瓶中,加入 0.50 g 土样和 50 mL 无磷水,在室温下振荡 2 h、24 h、48 h、96 h 后,取出离心,用钼锑抗比色法测定清液中磷浓度,同时做空白实验。

1.2 土壤吸附大量磷后的再释放实验

称取各土样 0.50 g 于若干个 250 mL 锥形瓶中;

作者简介:彭延治(1978—),男,江西南康人,工程师,主要从事环境保护工作。E-mail: pengyanzhi@sina.com

表 1 供试土壤基本理化性质

土样号	pH	$u(\text{Fe})/(\text{g}\cdot\text{kg}^{-1})$	$u(\text{Al})/(\text{g}\cdot\text{kg}^{-1})$	$u(\text{有机质})/(\text{g}\cdot\text{kg}^{-1})$	$u(\text{有机磷})/(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})$	$u(\text{有效磷})/(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})$	$u(\text{无机磷})/(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})$				
							P_{sol}	P_{Al}	P_{Fe}	P_{O}	P_{Ca}
1	4.96	3.60	0.45	6.6	79.25	1.51	0.41	29.24	0.17	0.38	0.41
2	5.20	2.77	0.60	6.0	84.81	0.53	0.54	20.44	0.43	0.20	0.16
3	5.57	3.06	0.52	5.5	86.14	1.34	0.92	23.20	0.30	0.54	1.04
4	5.40	3.51	0.53	5.5	64.23	2.44	2.43	46.32	0.43	0.40	0.54

加入 0.5 $\mu\text{g/mL}$ 、5.0 $\mu\text{g/mL}$ 、50 $\mu\text{g/mL}$ 的 P 溶液(用 KH_2PO_4 配制)50 mL,密封,在室温下振荡 24 h,然后离心,测定清液中的磷浓度。在离心后剩下的土样中加入 50 mL 无磷水,用手上下剧烈振荡,将沉淀土块振碎混匀,然后振荡 24 h,离心测定,连续提取 10 次。

2 结果与讨论

2.1 土壤的理化性质

土壤的主要理化性质均采用常规分析方法测定,结果见表 1。

2.2 土壤磷的释放分析

土壤磷释放主要有两个过程:无机磷酸盐的溶解作用和有机磷酸盐的矿化作用。一般情况下,释放出的磷酸盐首先进入土壤的间隙水中,逐步扩散到土壤表面,进而向水体混合扩散^[2]。由图 1 可见,土样释放的磷量十分有限。4 个土样具有相似的磷释放过程,都存在快、慢两个阶段。在 0~24 h 内释放速度较快,24~96 h 内较为缓慢。一般来说,土壤释放磷数小时后基本可达到平衡,但要达到完全平衡需要更长的时间。选用 Elovich 公式 $Q = A + B\ln t$ 与双常数速率公式 $\ln Q = \ln A + B\ln t$ 对动力学曲线拟合,拟合结果(表 2)表明这两个方程都能很好地描述土壤释磷动力学。

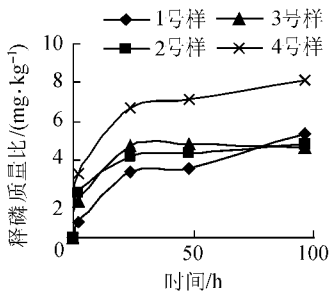


图 1 土壤释磷动力学曲线

表 2 各土样释磷动力学公式比较

土样号	相关系数 r		土样号	相关系数 r	
	Elovich 公式	双常数速率		Elovich 公式	双常数速率
1	0.974	0.990	3	0.928	0.934
2	0.992	0.985	4	0.996	0.989

2.3 不同条件下对土壤磷释放的影响

2.3.1 pH 对土壤磷释放的影响

在一系列 250 mL 锥形瓶中,加入 0.50 g 土样和

50 mL 无磷水,用稀释后的 HCl 和 NaOH 调节无磷水的 pH 值,分别为 3.0、5.0、7.0、8.0、10.0。

pH 值对释磷的影响有两个途径:①影响吸附作用,②控制化学反应^[3]。由图 2 可知,在不同 pH 条件下磷释放量顺序为:碱性大于中性大于酸性,即水体 pH 值升高有利于土壤中磷的释放。这是因为水体中的 pH 影响了其 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 的存在形式。水体偏酸性时,磷主要以 H_2PO_4^- 形态存在,镁盐、硅酸盐、铝硅酸盐以及氢氧化铁胶体都参与对磷的吸附,此时土壤吸附作用较大,不利于土壤磷的释放^[4];水体偏碱性时,磷主要以 HPO_4^{2-} 形态存在,土壤中磷的释放以离子交换为主,体系中 OH^- 与铁和铝磷酸盐复活体中的磷酸盐不断发生交换,从而释放较多的磷。

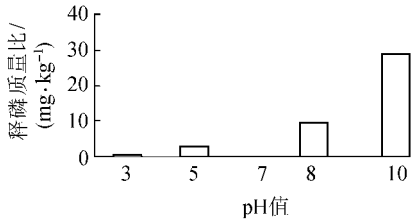


图 2 pH 值对 4 号土样磷释放的影响

2.3.2 溶解氧

在一系列 250 mL 锥形瓶中,加入 0.50 g 土样和 50 mL 无磷水,不断充入氧气,同上测定溶液中的磷浓度。

由图 3 可见,溶解氧对于土壤磷的释放有显著影响。在好氧条件下 $\rho(\text{DO}) > 9.5 \text{ mg/L}$,磷的释放量明显降低。这是因为 DO 决定了土壤-水界面的氧化还原状态。当水体中有足够氧时,土壤表层的氧化还原电位较高,呈氧化状态,有助于 Fe^{2+} 向 Fe^{3+} 的转化,使 Fe^{3+} 与磷酸盐以磷酸铁的形式沉积

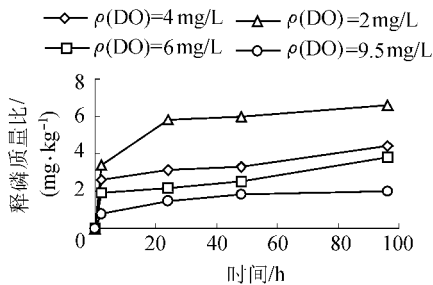


图 3 DO 质量浓度对土壤磷释放的影响

到土壤里 ,或水中可溶性磷被氢氧化铁吸附而沉降 ;当水中溶解氧降低时 ,土壤表层呈还原状态 ,有助于 Fe^{3+} 向 Fe^{2+} 的转化 ,不溶性的氢氧化铁变成可溶性的氢氧化亚铁 ,导致土壤中的磷释放进入水体^[5]。

2.3.3 NO_3^- 浓度

在一系列 250 mL 锥形瓶中 ,加入 0.50 g 土样和 $\rho(\text{NO}_3^-)$ 分别为 0、10 mg/L、20 mg/L、30 mg/L、40 mg/L 的 50 mL 无磷水 ,在室温下振荡 24 h ,测定溶液中的磷浓度。

由图 4 可见 , NO_3^- 的存在抑制了磷的释放 ,这是因为 NO_3^- 作为电子受体起到升高土壤表层氧化还原电位的作用 ,当其浓度较高时 ,阻止或拖延了磷的释放^[3]。

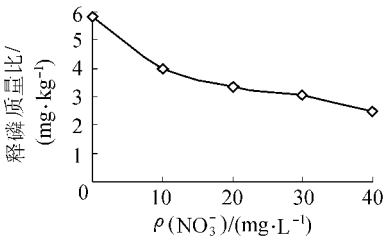


图 4 $\rho(\text{NO}_3^-)$ 对 4 号土样磷释放的影响

2.3.4 温度

在一系列 250 mL 锥形瓶中 ,加入 0.50 g 土样和 50 mL 无磷水 ,分别置于 30℃ 和 40℃ 的恒温振荡箱中 ,测定溶液中的磷浓度。

由图 5 可以看出 ,温度对土壤的磷释放会产生一定影响。40℃ 时土壤的释磷量比 30℃ 时土壤的释磷量提高近 0.5 倍。一方面 ,这是因为温度升高 ,微生物的活性增强 ,好氧增多 ,溶解氧减少 ,从而使水体环境由氧化状态向还原状态转化 ,有利于 Fe^{3+} 的还原 ,加速土壤中 铁结合态磷的释放 ,土壤释磷量也就逐渐增加^[6]。另一方面 ,微生物活性的增强可以促使土壤中的有机磷向无机态转化 ,将不溶性磷化物转化为可溶性磷 ,从而促进磷的释放^[4]。

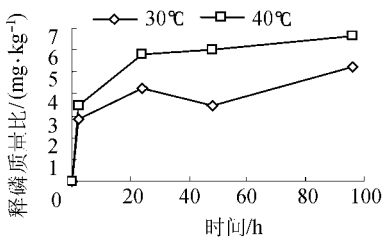


图 5 温度对土壤磷释放的影响

2.3.5 扰动对土壤磷释放的影响

在一系列 250 mL 锥形瓶中 ,加入 0.50 g 土样和 50 mL 无磷水 ,测定扰动与静止条件下溶液中的磷浓度。

图 6 的结果表明 ,扰动状态下释磷量是静止状

态下释磷量的近 3 倍。这是因为 ,静止状态下间隙水中的 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 是通过扩散而转移到上覆水体中 ,由于扩散速度相当缓慢 ,因此释磷量就很少。扰动能使土壤中的颗粒再悬浮 ,增加土壤颗粒的反应界面 ,促进土壤中释磷以及土壤间隙水中磷的扩散。

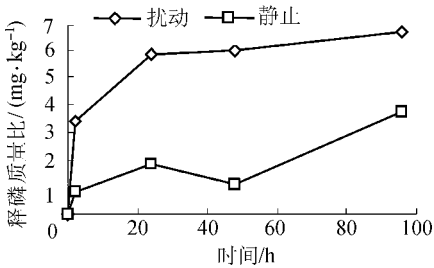


图 6 扰动对土壤磷释放的影响

2.4 土壤中磷的形态分布与磷释放的关系

土壤组成对释磷过程也有很大的影响。将各土壤样品中的起始磷形态分别与磷释放量进行线性相关分析(表 3) ,发现 P_{sol} 和 P_{Fe} 与磷释放量相关 ($r > 0.80$) ,其他各形态磷与土壤磷释放的相关性不大 ,所以可以认为释放出的磷主要来自土壤中可溶性磷和铁磷两种磷形态。

表 3 释磷量与各磷形态的相关性

磷形态	相关系数 r	磷形态	相关系数 r
P_{sol}	0.97	P_{O}	0.52
P_{Al}	0.78	P_{Ca}	0.23
P_{Fe}	0.86	P_{org}	0.76

2.5 土壤吸附大量磷后的再释放

使用 5 mg/L 的 P 溶液 ,以使土壤与溶液达到平衡后 ,再观察它对磷的释放情况(图 7 和图 8) 。结果表明 ,土壤磷的释放主要是来自前几次释放的磷量 ,随着提取次数的增加 ,释放的磷量越来越少 ,并逐渐达到平衡。而且释放的速度缓慢 ,在更换 10 次无磷水后 ,仍有不少磷残留在土壤上 ,特别是土壤在吸附较高浓度的磷溶液后 ,残留的磷量更多。

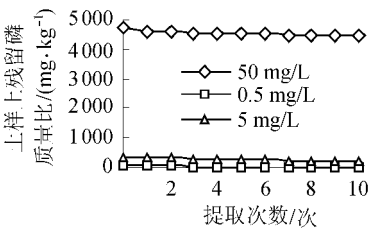


图 7 土样在吸附不同初始磷浓度溶液后的再释放

将每次释放的磷量进行累加 ,与相应的提取累积时间进行一级方程(F)、二级方程(S)、Parabolic 扩散方程(PD)、Two constant 方程(TC)和 Elovich 方程(ET)拟合 ,结果见表 4。由表 4 可见 ,各土壤样对不同曲线拟合的结果非常相似 ,而且不同方程对 P 的释放动力学的拟合效果都达到显著(下转第 69 页)

Science & Technology 2002 45(3):109-116.

[3] RAUCH W ,BERTRAND-KRAJEWSK J L. Mathematical modeling of integrated urban drainage systems[J]. Water Science & Technology ,2002 45(3) 81-94.

[4] CLEMENT L ,THAS O ,VANROLLEGHEM P A ,et al. Spatio-temporal statistical models for river monitoring networks[J]. Water Science & Technology 2006 55(1) 9-15.

[5] 孟伟 苏一兵 郑丙辉. 中国流域水污染现状与控制策略的探讨[J]. 中国水利水电科学研究院学报 ,2004 ,2(4) 242-246.

[6] 李嘉 张建高. 论水污染协同控制的基本原则[J]. 水力学报 ,2002(1) :1-5.

[7] 樊立萍 ,于海斌 袁德成. 河流水质模型(RWQM1)介绍及应用分析[J]. 水资源保护 2005 21(4) 4-7.

[8] REICHERT P ,BORCHARDT D ,HENZE M ,et al. River water

quality model(RWQM1) :II. biochemical process equations [J]. Water Science & Technology 2001 43(5) :11-30.

[9] HENZE M ,GUJER W ,MINO T ,et al. Activated sludge model no. 2d ,ASM2d[J]. Water Science & Technology ,1999 ,39(1) :165-182.

[10] HUISMAN J L ,KREBS P ,GUJER W. Integral and unified model for the sewer and wastewater treatment plant focusing on transformations[J]. Water Science & Technology ,2003 ,47(12) 65-71.

[11] 樊立萍 ,于海斌 袁德成. 集成化城市污水系统的建模与仿真[C]//全球化制造高级论坛暨 21 世纪仿真技术研讨会论文集. 贵阳 :世界图书出版社 2004 304-308.

[12] PONS M N. Benchmark 1 influen[ED/OL].[2004-05-07]. <http://www.ensic.u-nancy.fr/COSTWWTP>

(收稿日期 2008-05-14 编辑 高渭文)

(上接第 60 页)

水平 ,其中PD、TC、ET和 F 方程的拟合效果达到极显著水平。在磷的释放过程中 ,并不只是通过一个简单的表面交换反应 ,而涉及不同的反应。每一个动力学方程都能解释磷的释放过程中所涉及的某一方面 ,因此磷的释放动力学可以用一种以上曲线方程进行很好的拟合^[7]。

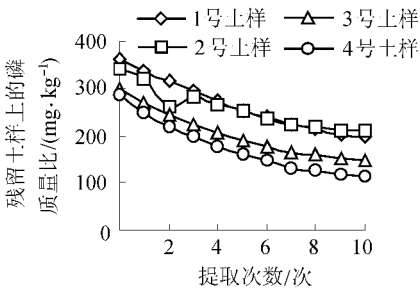


图 8 各土样吸附 $\rho = 5 \text{ mg/L}$ 磷后的再释放

表 4 土壤吸附大量磷后释磷动力学公式比较

土 样 号	相关系数 r				
	F $\ln Q = \ln A + Bt$	S $1/Q = 1/A + Bt$	PD $Q = A + Bt^{1/2}$	TC $\ln Q = \ln A + B \ln t$	ET $Q = A + B \ln t$
1	0.918	0.792	0.998	0.995	0.984
2	0.920	0.808	0.995	0.995	0.984
3	0.910	0.803	0.996	0.993	0.992
4	0.907	0.806	0.994	0.992	0.993

3 结 论

土壤释磷是一个受多种因素综合作用的复杂过程。笔者模拟不同环境因子下土壤磷的释放 ,通过土壤吸附大量磷后 ,考查了土壤所固定磷的再释放情况。

a. 土壤磷的释放在 24 h 后已基本平衡 ,但要达

到完全平衡需要更长的时间 ,而且释磷量非常有限。释磷动力学可以用 Elovich 公式与双常数速率公式进行很好的拟合。

b. 水体 pH 值升高有利于土壤中磷的释放 ,水体中 NO_3^- 的存在抑制了磷的释放。温度升高 ,土壤中磷的释放量随之增大 ,扰动状态下释磷量是静止状态下释磷量的近 3 倍。好氧状态下 ,土壤中磷的释放受到抑制。

c. 土壤中磷释放也取决于磷的形态分布 ,可溶性磷和铁磷是土壤释磷的主要形态 ,铝磷与有机磷也不可忽视。

d. 土壤吸附大量磷后的再释放是缓慢的。

参考文献 :

[1] 漆辉. 受淹土壤中磷的释放研究[J]. 绵阳经济技术高等专科学校学报 2000 ,17(2) :19.

[2] 石孝洪. 三峡水库消落区土壤磷素释放与富营养化[J]. 土壤肥料 2004(1) :40.

[3] 焦念志. 关于沉积物释磷问题的研究[J]. 海洋湖泽通报 ,1989(2) 80.

[4] 董浩平 姚琪. 水体沉积物磷释放及控制[J]. 水资源保护 2004(6) 20.

[5] 尹大强 覃秋荣 阎航. 环境因子对五里湖沉积物磷释放的影响[J]. 湖泊科学 ,1994 4(3) 240.

[6] 韩沙沙 温琰茂. 富营养化水体沉积物中磷的释放及其影响因素[J]. 生态学杂志 2004 23(2) 98-101.

[7] 李寿田 周健民 王火焰 ,等. 太湖水稻土中磷的固定和释放特性的研究[J]. 安徽农业大学学报 ,2003 ,30(2) :123-127.

(收稿日期 2009-01-03 编辑 高渭文)