

影响富营养化湖泊底泥氮、磷释放的因素

史静, 于秀芳, 夏运生, 张乃明

(云南农业大学 资源与环境学院, 云南 昆明 650201)

摘要: [目的] 分析水体酸碱度、温度以及上覆水营养盐浓度, 为合理评估环境因素对湖泊底泥氮、磷释放的影响提供科学依据。[方法] 选择富营养化比较严重的云南省昆明市城市景观湖泊翠湖为研究区域, 通过控制不同 pH 值、温度和上覆水营养盐浓度来模拟影响底泥氮磷释放的因素。[结果] (1) 放置时间相同条件下底泥氮、磷释放量受到水体酸碱性的影响, 中性环境下 ($\text{pH}=7.5$) 释放量高于酸性和碱性水体条件。底泥释放 5, 10 h 条件下, pH 值为 7.5 时底泥磷释放量分别达到 5.88, 8.28 mg/kg; pH 值为 7.5 时底泥氮释放量分别达到 22.8, 38.4 mg/kg; (2) 底泥氮、磷释放量随着温度升高而增加。温度为 20 °C 时底泥氮、磷的释放量分别达到 28.62, 3.75 mg/kg; (3) 底泥氮、磷的释放量均随着上覆水浓度增加而减少, 随着放置时间延长而增加。放置时间 5 h 上覆水氨氮浓度 0.31 mg/L 底泥氮的释放量最大, 达到 21.63 mg/kg。放置 10 h 在氨氮为 2.37 mg/L 时底泥氮的释放量达到最大值 (39.22 mg/kg); 底泥磷释放量在上覆水磷浓度 0.14 mg/L 时底泥总磷的释放量最大; 放置时间为 5, 10 h 时分别达到 4.25, 4.91 mg/kg。[结论] 底泥中营养盐释放是一相当复杂的动态过程, 水体酸碱度、温度或上覆水营养盐浓度是影响释放量的主要因素。

关键词: 富营养化湖泊; 底泥; 氮、磷释放; 翠湖

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)03-0241-04

中图分类号: X52

文献参数: 史静, 于秀芳, 夏运生, 等. 影响富营养化湖泊底泥氮、磷释放的因素[J]. 水土保持通报, 2016, 36(3): 241-244. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2016.03.041

Factors Influencing Release of Nitrogen and Phosphorus in Eutrophication Lake Sediment

SHI Jing, YU Xiufang, XIA Yunsheng, ZHANG Naiming

(College of Resources Environment Science, Yunnan Agriculture University, Kunming, Yunnan 650201, China)

Abstract: [Objective] To study the factors influencing nitrogen and phosphorus release in eutrophication lake sediment in order to provide the scientific significance for eutrophication lake management. [Methods] Taking the urban landscape lake, Cuihu lake, which eutrophication is more serious, in Kunming City, Yunnan Province, as the study area, by controlling the different pH value, temperature and nutrient concentration of overlying water to simulate factors that affect the release of nitrogen and phosphorus in sediment. [Results] (1) Under the same conditions, the release rate of nitrogen and phosphorus in sediment was affected by the pH value of the water, and the release rate of the neutral environment ($\text{pH}=7.5$) was higher than that of acidic and alkaline water. Under conditions of sediment release for 5 hours, 10 hours and $\text{pH}=7.5$, the release of phosphorus was 5.88 mg/kg and 8.28 mg/kg respectively, nitrogen emission was 22.8 mg/kg and 38.4 mg/kg. (2) The release of nitrogen and phosphorus increased with the increase of temperature. Under temperature 20 °C, the nitrogen and phosphorus release reached 28.62 mg/kg and 3.75 mg/kg. (3) The release rate of nitrogen and phosphorus in sediment decreased with the increase of the concentration of overlying water, while it increased with the extension of storage time. When overlying water with ammonia concentration of 0.31 mg/L placed for 5 hours, the sediment nitrogen emissions reached a maximum of 21.63 mg/kg. When it was placed for 10 hours with ammonia concentration of 2.37 mg/L, the sediment nitrogen emissions

收稿日期: 2013-08-27

修回日期: 2015-08-06

资助项目: 国家自然科学基金项目“内源磷非常态释放与水生物的关系”(41030640); 云南省教育厅重点项目“滇池湖滨农田土壤磷素淋失风险与环境阈值研究”(2013Z025)

第一作者: 史静(1980—), 女(汉族), 山西省临汾市人, 博士, 副教授, 从事土壤—水体氮、磷元素迁移方面的研究。E-mail: 383110966@qq.com。

通讯作者: 张乃明(1963—), 男(汉族), 山西省长治市人, 博士, 教授, 从事面源污染防控方面的研究。E-mail: zhangnaiming@sina.com。

reached a maximum of 39.22 mg/kg, when the phosphorus concentration of the overlying water was 0.14 mg/L, sediment total phosphorus release reached to the maximum; When it was placed for 5 hours and 10 hours respectively, the maximum release of phosphorus reached 4.25 mg/kg and 4.91 mg/kg. [Conclusion] The release of nutrients in sediment is very complex, and its release rate is influenced by the pH value, temperature, and nutrient concentration of water.

Keywords: eutrophication lake; sediment; nitrogen and phosphorus release; Cuihu lake

湖泊底泥是湖泊富营养物质的重要蓄积库,底泥在湖泊养分循环和水体富营养化过程中起着重要作用^[1]。一定条件下,底泥中的氮、磷营养盐有可能成为富营养化的主导因子^[2],研究湖泊底泥氮、磷释放及影响因素对阐述上覆水体营养元素和初级生产力的关系和水体化学组成的控制和影响具有重要生态环境意义^[3-5]。

湖泊底泥作为营养物质积累的重要场所,在一定条件下会发生间歇性的再生释放作用。被吸附在沉积物中的污染物质通过解吸、溶解、生物分解等释放作用再次返回水体,形成湖泊营养盐的内源污染负荷,并且极易受环境因素影响而释放,再次污染湖泊水体^[6]。已有研究表明杭州西湖内源污染负荷已达到外源污染负荷的 41%;巢湖内源污染负荷是外源负荷的 20%;滇池底泥中也有大量的氮磷分布^[7],湖泊底泥中氮、磷的释放是一个相当复杂的动态过程,释放量的大小受到湖泊底上层覆水中溶解氧、营养盐水平、水温、pH 值、生物活性、风浪扰动等多种因素的影响^[8]。然而目前研究多集中于对富营养化水体沉积物氮、磷的赋存形态、剖面分布以及对水体的贡献^[9-10]。关于底泥内源营养盐释放影响因素的相关研究也只有水—土界面的浓度梯度^[11]、季节和环境温度变化引起底泥中诸如溶解性有机质的变化等可能导致内源营养盐释放的改变方面的研究^[12],但未能对其做进一步探讨。此外,还有研究报道温度对钝化剂抑制滇池底泥磷素释放^[13]以及改变底泥有机质组分

对内源磷释放速率的影响^[14],但目前研究多侧重于单一因素对内源营养盐释放的影响,而关于影响底泥氮、磷释放影响因素的综合性研究相对较少。因此本文选择富营养化比较严重云南省昆明市的城市景观湖泊翠湖为研究区域,试图通过模拟试验的方法,初步摸清影响湖泊底泥氮、磷释放的主要影响因素及数量关系,以期明确内源营养盐的转化释放提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 布点与采样

翠湖最初曾是滇池中的一个湖湾,后来因水位下降而成为一汪清湖。蓄水量近 $1.70 \times 10^6 \text{ m}^3$,水面面积 $1.50 \times 10^5 \text{ m}^2$,平均水深 1.5 m 左右,水体呈中度富营养化。采用均匀布点采样。在湖内选择 8 个有代表性的位点,每 1 位点每次取 3 个重复,沉积物样品用 Uwitec 重力采样器(奥地利)UVP 管原位采取,分表层(0—5 cm)、中层(5—10 cm)、底层(10—20 cm)3 层分取沉积物样品,每一个点位重复随机采 10 管按同一位点不同层次取样混合,作为一个复合样品。

1.2 测定项目与分析方法

底泥样品采集后自然风干、磨碎分别过 1,0.25 mm 筛用于分析,总磷采用高氯酸—硫酸消煮钼蓝比色法测定,总氮采用半微量开氏法,有机质采用重铬酸钾容量法—外加热法,碱解氮采用碱解扩散法,速效磷采用 0.5 mol/L NaHCO_3 法。供试样品理化性质如表 1 所示。

表 1 供试昆明市翠湖底泥的理化性质

采样位置	pH 值	有机质/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	总磷/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	速效磷/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	总氮/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	碱解氮/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
翠湖	7.39	55.55	3.02	163.29	5.92	493.41

1.3 底泥氮磷释放试验方案

1.3.1 不同 pH 值对底泥释放的影响 以静态释放法考察翠湖底泥营养盐释放,翠湖底泥与蒸馏水比为 1:13,pH 值分别为 6.0,7.5,9.0 时,分别放置 5 和 10 h,然后取出上清液,测水体中总磷和氨氮的含量。并计算出释放量 n ,

$$n = C_t \times V / m \quad (1)$$

式中: C_t ——释放后水体中总磷或氨氮的浓度(mg/L);

V ——蒸馏水的体积(L); m ——底泥的质量(kg)。

1.3.2 不同温度对底泥释放的影响 以静态释放法考察翠湖底泥营养盐释放,翠湖底泥与蒸馏水比为 1:13,温度为 4,11 和 20 ℃时,放置 5 h,然后取出上清液,测水体中总磷和氨氮的含量。并计算出释放量 n ,计算方法同公式(1)。

1.3.3 水体中不同营养盐浓度对底泥营养盐释放的影响 以静态释放法考察翠湖底泥营养盐释放,水体

中总磷浓度分别为 0.14, 0.38, 1.15 mg/L 和氯化铵浓度分别为 0.31, 2.37, 11.9 mg/L, 固液比为 1:13, 室温时放置 5 和 10 h, 然后取出上清液, 测水中总磷和氨氮的含量。并计算出释放量 n :

$$n = (C_t - C_0) \times V / m \quad (2)$$

式中: C_0 ——原溶液中总磷或氨氮浓度 (mg/L); C_t ——释放后溶液总磷或氨氮浓度 (mg/L)。以上模拟释放试验每个水平均设 3 次重复。

2 结果与分析

2.1 水体 pH 值对底泥氮磷释放的影响

已有研究表明, 在 pH 值约为 7 时, 磷酸盐以 HPO_4^{2-} 和 $\text{H}_2\text{PO}_4^{-1}$ 形态存在最易被底泥吸收; pH 值

降低时, 磷酸盐以溶解态为主, 铝磷最先释放; pH 值升高时, 磷酸盐以离子交换为主, 即 OH^- 与被束缚的磷酸盐阴离子产生置换, 使磷酸盐的释放增加^[15]。

本研究结果(图 1)表明, 放置时间相同的条件下底泥磷释放量为 $\text{pH}=7.5 > \text{pH}=6.0 > \text{pH}=9.0$ 。底泥释放 5 h, pH 值为 7.5 时释放量最大 5.88 mg/kg, 明显高于 pH 值为 6.0 时释放量和 pH 值为 9.0 时磷的释放量。底泥释放 10 h, pH 值为 7.5 时底泥磷释放量排序为: $\text{pH}=7.5 > \text{pH}=6.0 > \text{pH}=9.0$, pH=7.5 时达到 8.28 mg/kg。pH 值相同的条件下, 10 h 底泥磷的释放量大于 5 h 底泥磷的释放量。表明随着放置时间延长, 底泥释放量增大。氮的释放规律与磷基本一致。

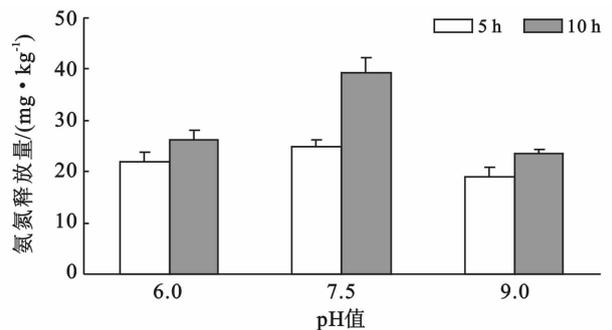
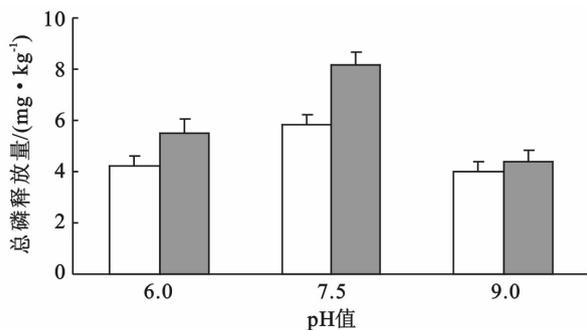


图 1 不同时间和 pH 下底泥总磷、氨氮的释放量

2.2 水体温度对底泥氮、磷释放的影响

一般化学物质在水体中的溶解度及与固体表面的吸附与解吸附作用都与温度变动有关。图 2 为温度为 4, 11 和 20 °C 时底泥氮、磷的释放量。

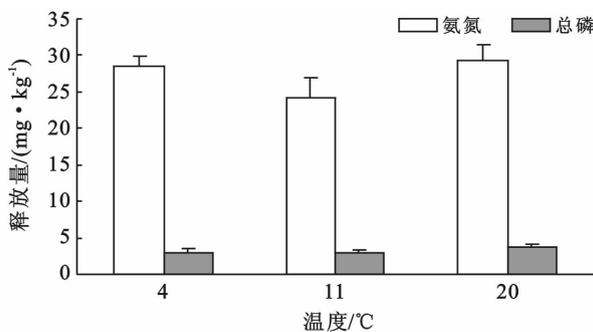


图 2 不同温度下底泥磷酸盐、氮的释放量

结果表明, 底泥磷的释放量, 温度为 20 °C > 11 °C > 4 °C。温度为 20 °C 时底泥磷的释放量 3.75 mg/kg 明显高于 11 和 4 °C 时的释放量。这可能是由于温度升高促进了底泥中生物活动, 特别是微生物的活性增强, 耗氧增多, DO 减少, 使得底泥层中的 Eh 降低, 磷得以释放^[17]。在相同条件下, 底泥氮的释放量, 温度为 20 °C 时释放量最大为 28.62 mg/kg, 与其他温度下的释放没有显著差异。

2.3 上覆水中氮、磷浓度对底泥氮、磷释放的影响

上覆水不同氯化铵浓度对底泥氮释放的影响见图 3。结果表明, 在底泥铵盐和水体铵盐之间释放与吸附未达到平衡时, 其他条件相同时, 放置 5 h 上覆水中铵盐浓度越低, 泥中氮的释放量越多, 上覆水中铵盐浓度越高, 底泥中氮的释放量越少。上覆水氮浓度为 0.31 mg/L 时底泥氮释放量高于氮浓度 2.37 mg/L 时底泥氮释放量约 25% 左右, 是上覆水氮浓度为 11.9 mg/L 时底泥氮释放量的近 2 倍。但是, 其他条件相同时, 放置 10 h 的释放量水体中氯化铵浓度为 2.37 mg/L 时底泥氮的释放量 (39.22 mg/kg) 最大, 其次是水体中氯化铵浓度为 0.31 mg/L 时, 水体中氯化铵的浓度为 11.9 mg/L 时底泥氮的释放量最小。这可能是因为上覆水氯化铵浓度为 2.37 mg/L 底泥氮的释放量和水体氨氮的浓度达到释放与吸附平衡的缘故所致。

水体自身磷浓度较低时, 随着时间延长底泥中磷的释放速率较快。随着水中磷浓度的不断升高, 底泥中磷的释放速率越来越小; 当底泥中磷的释放速率减小到一定值时, 底泥中磷不再释放。图 4 为上覆水中不同磷浓度对底泥中磷释放的影响。结果表明, 在底泥磷和水体磷之间释放与吸附未达到平衡时, 其他条

件相同时,上覆水中磷浓度越低,底泥中磷的释放速度越快,相同时间释放量越多;上覆水中磷浓度较高时,随着放置时间延长,底泥中磷的释放速度越慢;相同时间底泥中磷的释放量减少。相同条件下,2 个时间段内均表现为底泥释放量随着上覆水磷浓度的升高而降低,其中上覆水磷浓度为 0.14 mg/L 时底泥释放量最高,5 h 达到 4.25 mg/kg,10 h 达到 4.91 mg/L,显著高于其他 2 个浓度的底泥释放量;相同条件下,随着时间延长,10 h 的底泥释放量大于 5 h。

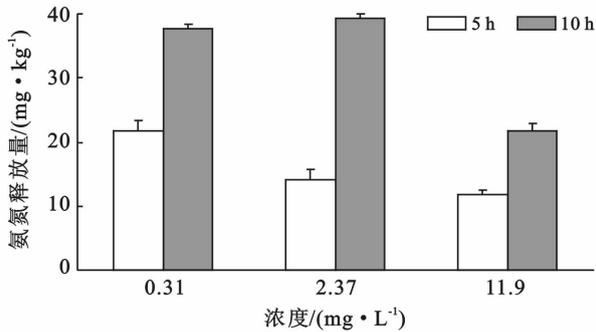


图 3 上覆水氯化铵浓度对底泥氮释放量的影响

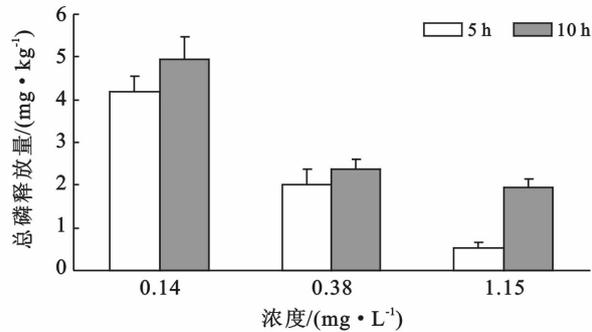


图 4 上覆水磷酸盐浓度对底泥磷酸盐释放量的影响

3 结论

(1) 富营养化湖泊底泥氮、磷释放量受到 pH 值、温度和上覆水营养盐浓度的影响。本试验条件下,放置时间相同的条件下底泥氮、磷释放量均为水体 pH 呈中性时高于酸性和碱性 pH 时的释放量。放置时间 10 h 条件下,pH 值为 7.5 时底泥氮、磷释放量分别达到 22.8,8.28 mg/kg。

(2) 底泥磷的释放量随着温度升高而增加,温度为 20 ℃时底泥磷的释放量分别达到 3.75 mg/kg,底泥氮的释放量未受温度变化影响。

(3) 底泥氮、磷的释放量均随着上覆水氮、磷浓度增加而减少,随放置时间延长而增加。放置 10 h,在上覆水氨氮为 2.37 mg/L 时底泥氮的释放量达到

39.22 mg/kg;底泥磷释放量则在上覆水磷 0.14 mg/L 时底泥总磷的释放量最大,达到 4.91 mg/L。

[参 考 文 献]

- [1] Frink C R. Nutrient Budget: Rational analysis of eutrophication in a Connecticut Lake[J]. Functional Ecology, 1967,4(3):399-407.
- [2] 陈永川,汤利,张德刚,等. 滇池沉积物总磷的时空分布特征研究[J]. 农业环境科学学报,2007,26(1):51-57.
- [3] 卢俊平,刘廷玺,马太玲,等. 不同环境要素条件下大河口水库底泥氮磷释放特征研究[J]. 内蒙古农业大学学报:自然科学版,2015,36(1):109-113.
- [4] Hill C R, Robinson J S. Phosphorus flux from wetland ditch sediments[J]. Science of the Total Environment, 2012(437):315-322.
- [5] 孙士权,杨静,谭万春,等. 东洞庭湖沉积物的释磷特性[J]. 长沙理工大学学报,2010,7(2):87-92.
- [6] 徐进,徐力刚,龚然,等. 鄱阳湖沉积物中磷吸附释放特性及影响因素研究[J]. 生态环境学报,2014,23(4):630-635.
- [7] Sondergaard M, Jensen J P, Jeppesen E. Internal phosphorus loading in shallow Danish lakes[M] // Shallow Lakes' 98. Springer Netherlands, 1999:145-152.
- [8] 黄建军,赵新华,孙井梅. 城市河道底泥释磷的影响因素分析[J]. 中国给水排水,2010,26(5):93-95.
- [9] 高海鹰,刘韬,丁士明,等. 滇池沉积物有机磷形态分级特征[J]. 生态环境,2008,17(6):2137-2140.
- [10] 步青云,金相灿,王圣瑞. 长江中下游浅水湖泊表层沉积物潜在可交换性磷研究[J]. 地理研究,2007,26(1):117-124.
- [11] 高丽,杨浩,周健民,等. 滇池沉积物磷的释放以及不同形态磷的贡献[J]. 农业环境科学学报,2004,23(4):731-734.
- [12] 杨逢乐,吴文卫,陈建中,等. 滇池沉积物中磷的释放行为研究[J]. 环境科学与技术,2009,32(11):48-52.
- [13] 郑苗壮,卢少勇,金相灿,等. 温度对钝化剂抑制滇池底泥磷释放的影响[J]. 环境科学,2008,29(9):2465-2469.
- [14] 易文利,王圣瑞,金相灿,等. 去除轻组有机质对湖泊沉积物磷释放速率的影响研究[J]. 南开大学学报:自然科学版,2008,41(4):1-7.
- [15] 李文奇,刘娜,周怀东,等. 洋水水库底泥磷的释放规律研究[J]. 中国水利水电科学研究院学报,2005,3(2):104-108.
- [16] 李向梅,解岳,黄廷林. 景观水体底泥释放分析[J]. 水处理技术,2010,36(1):60-63.
- [17] 陆敏,张卫国. 太湖北部沉积物金属和营养元素的垂向变化及其影响因素[J]. 湖泊科学,2003,15(3):213-219.