

四川省龙泉湖表层沉积物与表层水体中 各种形态氮含量及其相关关系

王华静, 旦波, 赵超, 刘梦, 朱亚兰, 杜鹃, 李锦, 徐留兴

(西南土地资源评价与监测省部共建教育部重点实验室; 四川师范大学 地理与资源科学学院, 四川 成都 610101)

摘要: 以四川省龙泉湖湖泊表层沉积物和表层水体为研究对象, 分析了表层沉积物的各种水溶性氮含量和表层水体的硝态氮和氨氮的含量。结果表明, 表层沉积物中水溶性总氮、水溶性氨氮和水溶性硝态氮的平均含量分别为 6.64, 1.22 和 2.83 mg/kg, 水体中硝态氮和氨氮的平均含量分别为 5.09 和 0.05 mg/L; 表层水体和表层沉积物中的硝态氮含量无显著相关关系, 但表层水体和表层沉积物中的氨氮含量呈显著正相关, 说明表层水体中氨氮可能是由沉积物释放而来。

关键词: 表层沉积物; 表层水体; 各种形态氮

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)05-0085-04

中图分类号: X143

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.05.022

Contents and Correlations of Different Forms of Nitrogen Between Surface Sediment and Surface Water of Longquan Lake in Sichuan Province

WANG Hua-jing, DAN Bo, ZHAO Chao, LIU Meng, ZHU Ya-lan, DU Juan, LI Jin, XU Liu-xing

(Key Laboratory of Land Resources Evaluation and Monitoring in Southwest China, Ministry of Education;
Faculty of Geography and Resource Sciences, Sichuan Normal University, Chengdu, Sichuan 610101, China)

Abstract: Different forms of water soluble nitrogen contents in surface sediment and contents of $\text{NO}_3\text{-N}$ and $\text{NH}_3\text{-N}$ in surface water from Longquan Lake, Sichuan Province were studied. Average contents of water soluble total nitrogen, water soluble $\text{NH}_3\text{-N}$ and water soluble $\text{NO}_3\text{-N}$ were 6.64 mg/kg, 1.22 mg/kg and 2.83 mg/kg in surface sediment, respectively. Average contents of $\text{NO}_3\text{-N}$ and $\text{NH}_3\text{-N}$ were 5.09 mg/L and 0.05 mg/L in surface water, respectively. The correlation of $\text{NO}_3\text{-N}$ content between surface water and surface sediment was not significant, but $\text{NH}_3\text{-N}$ content between surface water and surface sediment was significantly positively correlated, indicating that $\text{NH}_3\text{-N}$ of surface water may be caused by $\text{NH}_3\text{-N}$ released from surface sediment.

Keywords: surface sediment; surface water; different forms of nitrogen

农业面源污染常常给湖泊带来大量氮元素。氮在水生生态中具有重要作用, 是水生植物生长发育的必须元素之一, 但往往也是湖泊富营养化的主要营养元素之一, 因此氮是湖泊水质最主要的污染物之一^[1-3]。随着入湖污染物的过量输入以及水生生物残渣的沉积, 湖泊沉积物富集了大量的营养盐, 当外源得到控制以后, 湖泊沉积物中营养盐可以向水体释放, 成为污染物的主要来源, 在很长时间内沉积物释放营养盐甚至可以使湖泊长期处于富营养化状态^[4-5]。而沉积物中的可溶性氮是生物利用氮的最直接形式, 如大型水生植物直接吸收硝态氮, 藻类直接利用氨态氮, 也

是较容易矿化的氮形态^[6]。目前, 已开展了不少关于城市湖泊水体富营养化状况调查^[7-8]以及城市湖泊沉积物污染状况^[9-10]的研究工作, 但对于湖泊沉积物中各种水溶性氮含量及与水体中相关形态氮的相关关系的研究报道还较少。

龙泉湖位于四川省龙泉山脉东麓, 又名石盘水库。地跨简阳市石盘镇、成都市龙泉驿区茶店镇, 为 1980 年竣工的中型水库。它处在沱江的支流绵溪河水系, 又属于都江堰灌区东风渠第 6 期工程, 主要水源来自岷江水系。湖面东西长 10 km、南北宽 4 km, 湖周长 62 km, 水域面积 5 152 km², 坝址以上流域面

收稿日期: 2013-09-04

修回日期: 2013-10-08

资助项目: 四川省教育厅高等教育质量工程子项目“龙泉湖沉积物中氮磷形态及对水体贡献研究”; 四川省教育厅科研项目“土壤碳氮变化研究”(12ZB116)

作者简介: 王华静(1979—), 女(汉族), 山东省威海市人, 博士研究生, 副教授, 主要从事土壤和水体物质循环方面的研究。E-mail: wanghua-jing0631@163.com。

积 84 km²[11]。成都龙泉湖为人工湖,水体具有旅游和灌溉双功能,因而其水质监测工作十分重要。

本文拟研究龙泉湖表层水体和表层沉积物各种氮形态的含量及相关关系,以期为其氮营养盐释放评价提供基础数据和决策依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集与前处理

本次采样点设置在龙泉湖景区内,随水的流向,从上游到下游每隔 500 m 设置一个采样点,共设置 6 个采样点。每个样点在距水面 0.2 m 深处采集,采集后立即装入聚乙烯采样瓶中;表层沉积物采用抓斗式采样器进行了采集,样品置于聚乙烯袋中;编号、贴好标签运回室内,在冰箱中 4 ℃ 保存,尽快进行测定。

1.2 样品提取与分析

表层沉积物浸提液的制备[12]:将鲜样充分混合均匀过 2 mm 筛子(土样含水量较大不能过筛的则不过),称取鲜样约 30 g 于 250 ml 振荡瓶中,加入 150 ml 去离子水(水土比为 5:1),在振荡器上振荡 0.5 h,置于恒温高速离心机(7 500 r/min)离心 5 min,上清液过 0.45 μm 微孔滤膜抽滤后,收集于 150 ml 的细口三角瓶中,用保鲜膜封好瓶口,并贴好相应标签,未能及时测定的浸提液样品保存于 4 ℃ 的冰箱备用(不超过一周)。为了避免微孔滤膜带来的误差,在进行抽滤前将即将使用的 0.45 μm 微孔滤膜于沸水中煮沸 3 次,每次 20 min,再用去离子水将微孔滤膜冲洗干净,在干燥通风处阴干备用(去除煮沸后变形的微孔滤膜)。每个样品做 3 次重复。

总氮(TN)的测定采用过硫酸钾氧化—紫外分光光度法[13],氨氮(NH₃-N)测定采用纳氏试剂光度法[13],硝酸盐氮(NO₃⁻-N)测定采用离子色谱法测定[12]。

1.3 数据分析

数据用 Excel 处理,同时数据采用 DPS 统计软件进行方差分析和多重比较。

2 结果与讨论

2.1 龙泉湖表层沉积物水溶性总氮、水溶性氨氮、水溶性硝态氮含量分析

从图 1 可以看出,水溶性总氮的含量在起点(0 和 500 m)含量最低,分别为 3.69 和 3.40 mg/kg;在 1 000 m 时,含量最高(12.34 mg/kg);随后下降,在 1 500,2 000 和 2 500 m 分别为 9.84,6.02,4.53 mg/kg。水溶性硝态氮的含量随着距离的增加,先升高后降低,在 1 500 m 时达到最高,含量为 4.21 mg/kg。水

溶性氨氮的含量也是随着距离的增加,先升高后降低,在 1 000 m 时达到最高,含量为 1.82 mg/kg。可以看出,3 种表层沉积物水溶性氮都是在 1 000 或 1 500 m 出现最大值,这可能主要是因为 1 000 ~ 1 500 m 湖底地势较低,湖底地形造成沉积物中各种水溶性氮在此累积。本研究的氨氮和硝态氮的含量远低于陈建军等[14]和陈永川等[15]的研究结果,这主要是两者所用的浸提剂不同,本项目是用水作为浸提剂的,而他们用中性盐为浸提剂的。

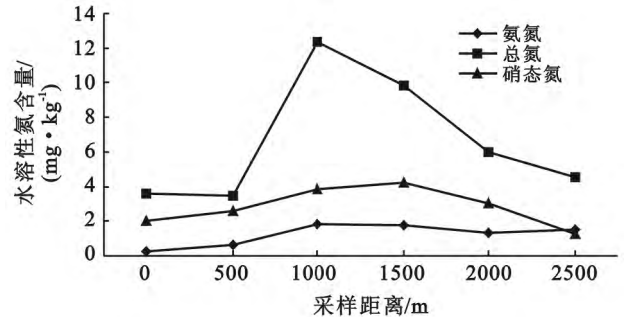


图 1 龙泉湖表层沉积物各种形态水溶性氮的含量

根据相关系数分析可知,龙泉湖表层沉积物中水溶性氨氮和总氮、水溶性硝态氮和总氮都显著正相关,相关系数分别为 0.797 0 和 0.811 9,说明氨氮和硝态氮可能主要是总氮经过氨化和硝化作用转化而来。

2.2 龙泉湖表层水体氨氮和硝态氮含量分析

从图 2 可知,表层水体中氨氮的含量随着距离的增加,先升高,后降低,在 1 500 m 时含量最高,为 0.07 mg/L,与陈建军等[14]的研究相比,龙泉湖的氨氮含量偏低,根据他的研究,北京市 5 个城市湖泊(青年湖、昆明湖、紫竹院湖、陶然亭湖和红领巾湖)的氨氮含量在 0.15~0.43 mg/L;表层水体中硝态氮的含量随着距离的增加,先升高后降低,在 500 m 时达到最大,含量为 0.65 mg/L,与北京市 5 个城市湖泊(青年湖、昆明湖、紫竹院湖、陶然亭湖和红领巾湖)的硝酸盐氮含量相差不大[15]。所有采样点水体硝态氮的含量远远高于铵态氮,说明硝酸盐氮是该湖泊主要的无机氮形态,且根据相关关系分析可知,水体中的硝态氮和氨氮之间无显著相关关系,说明水体中的氨氮不是水体中硝态氮的主要来源,硝态氮可能主要来自外部污染物的输入。

刘静等[16]于 2010 年 10 月在太湖主要湖口区与饮用水源地共 10 个湖区采集 80 个水样,分析水质的时间变化,发现随时间变化,氨氮浓度较为稳定。但是根据曾海鳌等[17]等研究发现,水体中的铵态氮和

硝态氮含量随季节变化而变化,且与总磷营养水平关系密切,夏季 $\text{NH}_4\text{-N}$ 随总磷的增长趋势大于其他季节,这主要是氨氮的释放受温度、pH 值、水动力情况等因素的影响。湖泊沉积物上覆水中氨氮的含量受温度的影响,一定程度的高温能提高水中氨氮的含量,这主要是因为温度的升高一方面使得沉积物—水界面溶解氧更低,促进环境转向还原态;另一方面提高微生物活性,这样氨化作用更强,湖泊沉积物中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 释放量更大^[18];此外,水体温度上升提高了氮内源释放脱附过程、扩散过程及化学反应过程的速率,进而加速氮内源释放^[19]。pH 值能影响湖泊沉积物上覆水中氨氮的含量,一般认为 pH 值是通过影响沉积物中微生物的活动,影响氮在沉积物—水界面的迁移转化:强酸性环境不利于氨化细菌、硝化细菌等微生物活动,释放量不明显;当 $6 < \text{pH} < 8$ 时氨化细菌比较活跃,促进沉积物中氮的释放,当 pH 值继续增大时,微生物活性降低,释放量减小;从电化学方面,pH 值越低,水溶液中 H^+ 离子浓度越大,沉积物胶体中 NH_4^+ 同 H^+ 离子竞争吸附位置而被释放出来^[20]。湖泊的水动力情况也能影响水体中氨氮的含量,在动力扰动起始的 3~4 h 内,上覆水中的氨氮含量显著增加,增幅可达 20%~30%^[21]。在风平浪静时期,沉积物的营养盐释放主要表现为由沉积物向上覆水形成的浓度梯度及其分子扩散^[22],在风浪较弱的情况下,水土界面上氧化环境得到加强,从而使得从沉积物孔隙水中通过扩散进入上覆水的营养盐由于在水土界面上氧化层的吸附而减少,但在风浪较强时,沉积物的释放是以湍流作用导致的沉积物悬浮而产生释放,沉积物中的营养盐,无论是溶解性的或颗粒状,都伴随沉积物的悬浮而进入上覆水^[19,23]。实验室试验发现,动力悬浮对氨氮的释放的影响可以达到单纯由分子扩散产生的营养盐释放的数 10 倍^[24]。

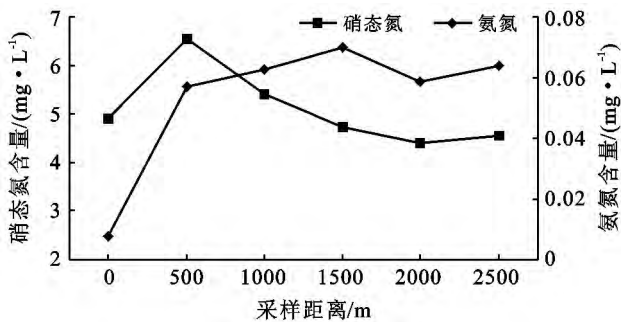


图 2 龙泉湖表层水体氨氮和硝态氮的含量

2.3 龙泉湖表层水体氨氮和表层沉积物水溶性氨氮之间的关系

沉积物中的氮能通过浓度分子扩散作用、动力扰

动的湍流扩散作用等释放到水体中^[22-24]。因此,水体中的氮可能和沉积物中的氮有一定的相关关系。

从图 3 可知,表层水体中氨氮与表层沉积物中可溶性氨氮之间的关系可用对数方程来描述: $y=0.0274\ln x+0.0529$,相关系数为 0.8132,显著正相关。这与陈建军等^[14]和陈永川等^[15]的研究一致,说明表层水体中的氨氮可能主要来自表层沉积物,可能是因为水体和表层沉积物之间有强烈的氮营养盐交换,而且可能是沉积物中的氮以 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的形式向上覆水体释放,然后上覆水体 $\text{NH}_3\text{-N}$ 在浅水湖泊水体的好氧状况以及微生物的作用下硝化成 $\text{NO}_3\text{-N}$ 。

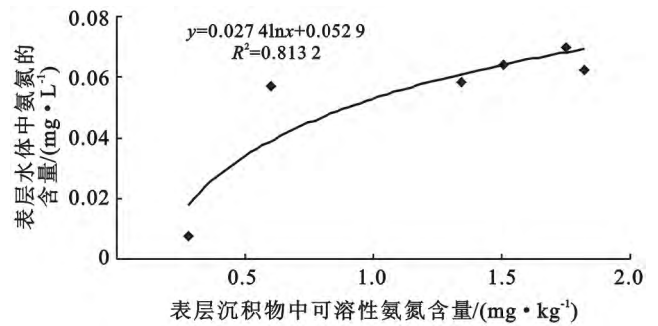


图 3 龙泉湖表层水体中氨氮与表层沉积物中可溶性氨氮之间的相关关系

但本研究表层水体中的硝态氮与表层沉积物中的水溶性硝态氮、氨氮以及总氮无显著相关关系,说明龙泉湖表层水体中的硝态氮不是湖泊沉积物的水溶性氮转化而来。因此,对于龙泉湖水体氨氮的控制和削减,应重点考虑对表层沉积物氮营养盐污染的治理,而硝态氮则应进一步进行研究,以期找到污染源。

本研究发现湖泊表层水体中氨氮与表层沉积物中可溶性氨氮之间显著正相关,而表层水体中的硝态氮与表层沉积物中各种氮形态之间无相关关系,说明沉积物中的氮以 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的形式向上覆水体释放,这与赵海超等^[25]的研究结果是一致的,他们在洱海的研究发现,洱海沉积物中氮的释放主要以 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 为主,并且沉积物中氮释放的季节性变化较大(最大值出现在 8 月,次高值出现在 3 月,最小值出现在 12 月),这种季节差异可能主要是因为沉积物氮释放受水体扰动强度和外来氮输入量的影响^[24],7—8 月为洱海水位上升期,入湖水量较大,湖水交换量的增加促进了沉积物氮的释放;2—3 月洱海流域风速较大,水体扰动加强,增加沉积物氮的释放;12 月水位较高,但由于西洱河电站蓄水,水体交换量较小,沉积物氮释放量较低。

3 结论

龙泉湖表层沉积物中水溶性氨氮和水溶性总氮、水溶性硝态氮和水溶性总氮都显著正相关,说明沉积物中的水溶性氨氮和硝态氮可能主要是总氮经过氨化和硝化作用转化而来;所有采样点水体硝态氮的含量远远高于铵态氮,说明硝酸盐氮是该湖泊主要的无机氮形态;通过相关关系分析可知,表层水体中的氨氮可能主要来自表层沉积物,而硝酸盐氮则主要来自外部污染源的输入,说明湖泊表层沉积物中总氮含量的控制和削减对于湖泊水体氨氮的污染治理具有重要意义。

[参 考 文 献]

- [1] 金相灿,屠清瑛. 湖泊富营养化调查规范[M]. 2版. 北京:中国环境科学出版社,1990.
- [2] Elser J J, Marzolf E R, Goldman C R. Phosphorus and nitrogen limitation of phytoplankton growth in the freshwaters of North America: A review and critique of experimental enrichments [J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1990, 47 (7): 1468-1477.
- [3] Berman T, Chava S. Algal growth on organic compounds as nitrogen sources [J]. *Journal of Plankton Research*, 1999, 21(8):1423-1437.
- [4] 张学杨,张志斌,李梅,等. 影响湖泊内源磷释放及形态转化的主要因子[J]. *山东建筑大学学报*, 2008, 23(5): 456-459.
- [5] 文威,孙学明,孙淑娟,等. 海河底泥氮磷营养物静态释放模拟研究[J]. *农业环境科学学报*, 2008, 27(1): 295-300.
- [6] 曾巾,杨柳燕,肖琳,等. 湖泊氮素生物地球化学循环及微生物的作用[J]. *湖泊科学*, 2007, 19(4): 382-389.
- [7] 荆红卫,华蕾,孙成华,等. 北京城市湖泊富营养化评价与分析[J]. *湖泊科学*, 2008, 20(3): 357-363.
- [8] 郭晓彬. 广东省城市湖泊氮、磷污染特征研究[D]. 广州:暨南大学,2006.
- [9] 谭镇,钟萍. 惠州西湖底泥中氮磷特征的初步研究[J]. *生态科学*, 2005, 24(4): 318-321.
- [10] 李卫平,李畅游,贾克力,等. 内蒙古呼伦湖沉积物营养元素分布及环境污染评价[J]. *农业环境科学学报*, 2010, 29(2): 339-343.
- [11] 董科,杨一川,钟祥浩. 四川龙泉湖自然保护区可持续性评价与撤销建议[J]. *四川环境*, 2009, 28(4): 78-85.
- [12] 谢秉楼,吴家森,徐秋芳,等. 覆盖与施肥处理对雷竹林土壤水溶性有机氮的影响[J]. *土壤学报*, 2009, 46(6): 1168-1171.
- [13] 李西开. 土壤农业化学常规分析方法[M]. 北京:科学出版社,1983.
- [14] 陈建军,黄民生,卢少勇,等. 北京六湖水体和表层沉积物中氮污染特征与评价[J]. *华东师范大学学报*, 2011, 2011(1):12-19.
- [15] 陈永川,张德刚,汤利. 滇池沉积物铵态氮的时空变化特征研究[J]. *土壤学报*, 2010, 47(6): 1180-1187.
- [16] 刘静,杭小帅,梁斌,等. 太湖湖区敏感水域水质时空变化特征[J]. *生态与农村环境学报*, 2012, 28(6): 628-632.
- [17] 曾海鳌,吴敬禄. 长江中下游不同营养水平湖泊水体环境变化特征及机制[J]. *水科学进展*, 2007, 18(6): 834-841.
- [18] 沙茜,何君,张维昊,等. 不同类型湖泊沉积物中氮释放规律研究[J]. *环境科学与技术*, 2013, 36(4): 89-91.
- [19] 范成新,张路,秦伯强,等. 太湖沉积物-水界面生源要素迁移机制及定量化(1): 铵态氮释放速率的空间差异及源-汇通量[J]. *湖泊科学*, 2004, 16(1): 10-20.
- [20] 于军亭,张帅,张志斌,等. 环境因子对浅水湖泊沉积物中氮释放的影响[J]. *山东建筑大学学报*, 2010, 25(1): 58-61.
- [21] 朱广伟,秦伯强,张路,等. 太湖底泥悬浮中营养盐释放的波浪水槽试验[J]. *湖泊科学*, 2005, 17(1): 61-68.
- [22] Mortimer C H. Chemical exchanges between sediments and water in the great lakes-speculations on probable regulatory mechanisms [J]. *Limnology and Oceanography*, 1971, 16(2): 387-404.
- [23] 秦伯强,朱广伟,张路,等. 大型浅水湖泊沉积物内源营养盐释放模式及其估算方法:以太湖为例[J]. *中国科学(D辑):地球科学*, 2005, 35(S): 33-44.
- [24] Reddy K R, Fisher M M, Tvaoff D. Re-suspension and diffusive flux of nitrogen and phosphorus in a hypereutrophic lake [J]. *Journal of Environmental Quality*, 1996, 25(3): 363-371.
- [25] 赵海超,王圣瑞,焦立新,等. 2010年洱海全湖氮负荷时空分布特征[J]. *环境科学研究*, 2013, 26(4): 391-395.