

红枫湖水体中氮的季节变化特征研究

张耀¹, 余萍萍^{2,3}, 肖红¹, 胡稳¹

(¹ 贵州师范大学 地理与环境科学学院, 贵州 贵阳 550001; ² 中国科学院地球化学研究所 环境地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550081; ³ 贵州大学 资源与环境工程学院, 贵州 贵阳 550025)

摘要: 选取贵阳市重要的饮用水源地—红枫湖为研究对象, 对不同季节(枯水期、丰水期、平水期)水体中总氮、氨氮含量的变化特征及原因进行研究。结果表明: 红枫湖水体中总氮的季节性差异明显, 呈现出丰水期 > 平水期 > 枯水期的规律, 氨氮的季节性变化规律为丰水期 > 枯水期 > 平水期。降水量和水质参数对水体中氮含量影响较大, 氮污染治理的重点应放在雨季。研究结果为红枫湖氮污染研究与水环境评价提供了基础。

关键词: 红枫湖, 总氮, 氨氮, 降水量, 水质参数

中图分类号: X524; X824 文献标识码: A 文章编号: 1003-6563(2019)01-0083-05

Seasonal variation characteristics of nitrogen in Hongfeng Lake

ZHANG Yao¹, YU Pingping^{2,3}, XIAO Hong¹, HU Wen¹

(¹ School of Geography and Environmental Science, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China; ² State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China; ³ College of Resource and Environmental Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

Abstract: We selected Hongfeng Lake, an important drinking water source in Guiyang City, as the research object. And studied the variation characteristics and variation reasons of total nitrogen and ammonia nitrogen in the lake in different seasons (flood season, normal season, drought season). The results showed that the seasonal variation of total nitrogen in Hongfeng Lake was obvious, and the nitrogen content ranked as flood season > normal season > drought season. The content of ammonia nitrogen in the lake ranked as flood season > drought season > normal season. Precipitation and water quality parameters had great influence on nitrogen content in the water body, therefore the focus of nitrogen pollution control should be in the flood season. The results have provided scientific basis for nitrogen pollution research and water environment assessment of Hongfeng Lake.

Keywords: Hongfeng Lake, total nitrogen, ammonia nitrogen, precipitation, water quality parameters

0 引言

近年来, 关于水体富营养化的研究越来越受到社会各界重视, 富营养化是影响湖泊水质好坏的重要因素。磷被公认为湖泊富营养化的关键限制因子, 是当前湖泊生态系统的重要养分元素^[1]。除此之外, 氮也是湖泊生态系统中重要的生源要素, 是湖

泊富营养化过程中关键的影响要素之一^[2-5]。

红枫湖是贵阳市的重要饮用水源地, 从上世纪90年代末以来, 水环境问题逐渐受到社会关注。目前, 虽然磷是影响红枫湖水体富营养化的一个重要指标, 但是氮污染仍对红枫湖的水质构成潜在威胁。本研究主要考察了红枫湖水体中总氮和氨氮的季节变化特征, 进一步分析其成因及环境效应。

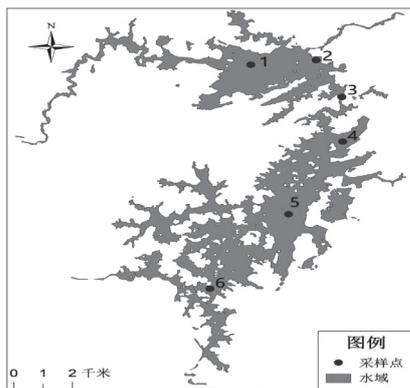
1 材料与方法

1.1 研究区域

位于贵阳市下辖县级市清镇市的红枫湖地处贵州省中部,长江二级支流猫跳河的上游区,东经 $106^{\circ}07' \sim 106^{\circ}32'$ 和北纬 $26^{\circ}25' \sim 26^{\circ}56'$ 之间^[6]。红枫湖主要分为南湖和北湖两片区域,由麻线河、羊昌河、桃花园河等支流汇合而成。红枫湖设计正常高水位 1240.00 m(吴淞标高),死水位 1227.50 m,流域年均降水量 1174.7 ~ 1 386.1 mm,降水主要集中在每年的 5 月至 8 月^[7]。

1.2 采样点与实验方法

实验共设置 6 个采样点,分别为羊昌河、南湖中、后五、花鱼洞、大坝和北湖中。每个点若若干垂直点位进行采样,采样时间为 2017 年 7 月至 2018 年 2 月,每月采样 1 次。于采样点现场用 YSI 水质参数仪测定样品水深、温度、透明度、pH 值和溶解氧(DO)等参数,采样后将样品带回实验室立即测定。



1 - 北湖中; 2 - 大坝; 3 - 花鱼洞; 4 - 后五; 5 - 南湖中; 6 - 羊昌河。

图 1 红枫湖采样点分布示意图

Fig. 1 Sampling points in Hongfeng Lake

1.3 监测方法

实验中主要的监测指标是氨氮和总氮,总氮(TN)按照国标法——碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法(GB 11894-89)测定;氨氮($\text{NH}_4^+ - \text{N}$)按照国标法——纳式试剂分光光度法(HJ 535-2009)测定。

2 结果及讨论

2.1 总氮季节变化特征

研究选取 6 个典型月份,从每个采样点在枯水期(12、1 月)、平水期(10、11 月)、丰水期(7、8 月)的总氮浓度季节变化折线图(图 2)可以看出,整体呈丰水期 > 平水期 > 枯水期的规律。在丰水期,总氮的变化范围在 1.61 mg/L 至 2.12 mg/L 之间,为三个季节中最高,该期间降水量增多,地表径流流量增大,可导致地表化肥的大量流失。7—8 月气温为全年最高时段。高温会导致沉积物中的氮矿化速率加快,在微生物的作用下进一步转化释放出氮,在雨季风浪的扰动下会导致水体中总氮浓度升高^[8];在平水期,总氮的变化范围在 1.58 mg/L 至 2.10 mg/L 之间,该期间降水量逐渐减少,湖区支流携带的污染物减少,会导致水体中总氮相比丰水期来说有所下降;枯水期,总氮的变化范围在 1.53 mg/L 至 1.82 mg/L 之间,该期间降水量较少,较低的水温使水体中悬浮颗粒物的溶解度降低,有利于悬浮颗粒物沉积^[9],导致水体中总氮的浓度降低。

从图 2 红枫湖水体中总氮季节变化图也可以看出,羊昌河和后五水中总氮浓度略高于其他点位。其中羊昌河中下游化工企业含氮废水的排放,以及附近施用农药化肥所产生的农业面源也会导致总氮含量变高^[8]。

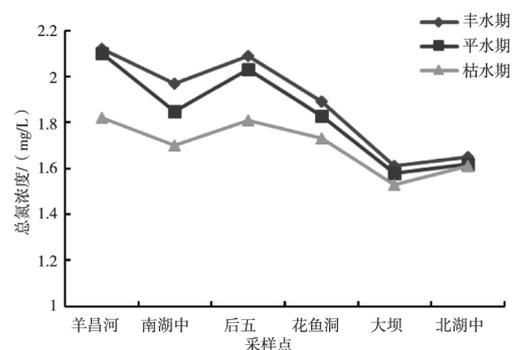


图 2 红枫湖水体中总氮季节变化

Fig. 2 Seasonal variation of total nitrogen in Hongfeng Lake

2.2 氨氮季节变化特征

从每个采样点在枯水期(12、1 月)、平水期(10、

11月)、丰水期(7、8月)的氨氮浓度季节变化折线图(图3)可以看出,水体氨氮季节分布均呈现出丰水期>枯水期>平水期的规律。其中7、8月所处的丰水期氨氮浓度整体较高,变化范围在0.169 mg/L至0.360 mg/L之间。在8月,各个点位的氨氮底层浓度均最高,最高值出现在后五(底层)。丰水期降水量增多,水位上涨,春季耕种施用农药化肥累积的农业面源、生活污水及企业废水、畜禽散养产生的粪便随地表径流进入红枫湖^[10],丰水期是最容易发生水体氮污染的季节;在枯水期,各个点位的氨氮浓度低于丰水期,变化范围在0.098 mg/L至0.231 mg/L之间,这期间降水量减少,地表径流所排入的污染物减少,水体氨氮含量有所下降;从丰水期至平水期,各个点位的氨氮浓度略低于丰水期和枯水期,折线降于0.060 mg/L至0.144 mg/L之间,最低值出现在10月的花鱼洞(中层)。

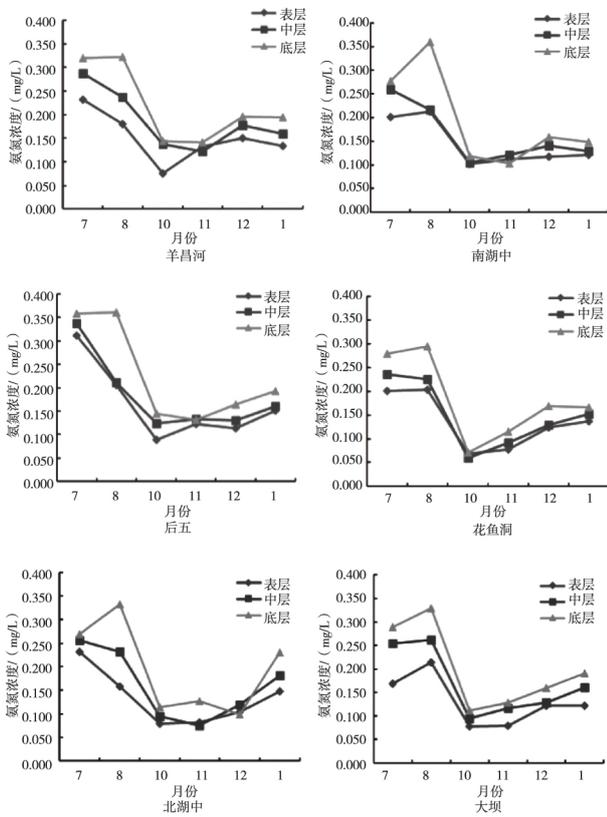


图3 各个采样点氨氮季节变化

Fig. 3 Seasonal variation of ammonia nitrogen at each sampling point

在不同季节,红枫湖水体氨氮的变化(图4)幅度较为平稳,在三个不同季节,羊昌河和后五的氨氮

含量均略高于其它点位。这2处氨氮浓度过高的原因与人文环境及历史原因有关。羊昌河中下游的化工企业会排放出含氮废水,上世纪九十年代后五“网箱养鱼”曾给红枫湖水质造成极重的污染。另外,含量过高也可能是由于硝化过程受到抑制导致亚硝态氮的积累,从而导致氨氮的转化不明显^[11]。

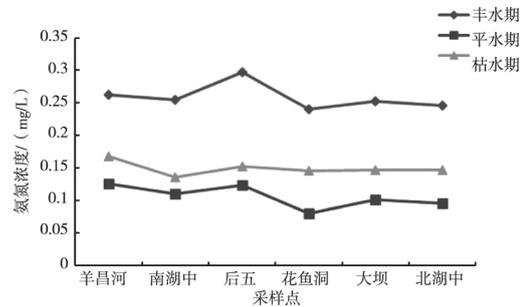


图4 红枫湖水体中氨氮季节变化

Fig. 4 Seasonal variation of ammonia nitrogen in Hongfeng Lake

2.3 降水量对红枫湖水体中氮的影响

贵州省气象监测数据显示,在全年降水量丰富的7—8月,氨氮浓度平均值为全年最高,从图2总氮浓度季节变化折线图中可以看出总氮浓度在7—8月平均值也为全年最高。丰水期降水量增多,汇入湖区水量增多,湖区水位上涨,流量逐渐增大,极易发生氮污染。从表1的各个季节降水量范围数据中可以看出,在10月份平水期氨氮平均浓度降至0.15 mg/L以下,明显低于丰水期和枯水期的氨氮浓度均值。这是因为9月上旬清镇市的降水量依旧维持在50 mm以上,全省的降雨量为1961年以来的同期第二高位,从9月下旬至10月中旬降水量逐渐减少到10 mm至20 mm之间^[12]。随着降雨的进行,雨量增大,红枫湖湖区水位上涨,地表污染物减少,雨水逐渐对水体起到了稀释的作用,导致水体氮含量出现明显下降。从11月至次年1月,季节从平水期过渡到枯水期,该期间清镇市的平均降水量均不足10 mm,总氮平均浓度也为三个季节中最低。随着降水量的减少,地表径流和麻线河、羊昌河、桃花园河等支流汇入红枫湖的污染物减少,氮含量偏低。

为了减少红枫湖雨季(丰水期)的氮污染,可以采取控制湖区流量的方法,在雨季重点加强湖区以

及各个支流的水质监测。

表 1 各季节降水量范围

Tab.1 Precipitation in each season

| 月份 | 降水量范围/mm | 氨氮浓度/(mg/L) |
|-----|----------|-------------|
| 7月 | 50~75 | 0.266 |
| 8月 | 50~100 | 0.253 |
| 10月 | 10~20 | 0.101 |
| 11月 | 0~10 | 0.112 |
| 12月 | 0~10 | 0.139 |
| 1月 | 0.1~10 | 0.160 |

2.4 水质参数对红枫湖水体中氨氮的影响

通过前文对氨氮浓度季节变化规律的讨论,季节分布呈现出丰水期 > 枯水期 > 平水期的规律。对水质参数溶解氧和 pH 随着季节变化的曲线分析(图 5)可以看出,从 2017 年 7 月至 2018 年 2 月,随着时间的推移,红枫湖水体中溶解氧和 pH 在丰水期均达到最低值,平水期溶解氧和 pH 也都略高于枯水期,但差距不大。在丰水期,溶解氧最低值为 1.77 mg/L, pH 最低值为 8.23,这期间氨氮和总氮浓度均为全年最高,是红枫湖最容易发生水华污染的时期,随着气温的升高、降水量增多等条件变化,死亡藻类的分解作用也会大量消耗氧气,使得水中溶解氧降低,水生动物也有可能因为缺氧而死亡^[13]。平水期和枯水期溶解氧比较接近,在 6.24 mg/L 至 8.43 mg/L 之间。在丰水期,随着温度的升高,水体 pH 偏弱碱性,维持在 8.0 至 8.4 之间。在平水期和枯水期,水体 pH 较高,最高可接近 8.8,氨氮浓度相对于丰水期来说较低,这期间氨氮可以返回大气,被水体内鱼虾等吸收,部分也可以被水体沉积物所吸收。

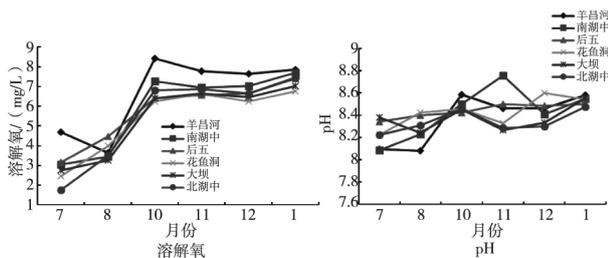


图 5 溶解氧和 pH 随着季节变化曲线

Fig.5 Seasonal variation of dissolved oxygen and pH value

从图 6 中可以看出溶解氧和 pH 分别与红枫湖

水体氨氮浓度之间的相关关系^[14],相关系数 R^2 分别为 0.9013 和 0.7369, P 值均小于 0.05,呈现出比较好的相关性。

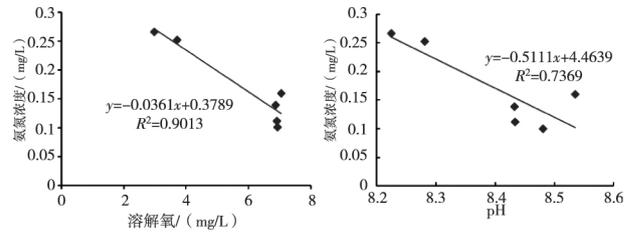


图 6 溶解氧、pH 与水体氨氮浓度的相关性

Fig.6 Correlation between dissolved oxygen, pH value and ammonia nitrogen concentration in water

3 结论

1) 红枫湖水体总氮的季节分布整体呈丰水期 > 平水期 > 枯水期的规律,丰水期总氮的变化范围在 1.61 mg/L 至 2.12 mg/L 之间,枯水期总氮的变化范围在 1.53 mg/L 至 1.82 mg/L 之间,该期间降水量较少。羊昌河和后五水中总氮浓度略高于其他点位。

2) 红枫湖水体氨氮季节分布均呈现出丰水期 > 枯水期 > 平水期的规律,丰水期氨氮较高,变化范围在 0.169 mg/L 至 0.360 mg/L 之间,平水期氨氮最低,变化范围在 0.060 mg/L 至 0.144 mg/L 之间。

3) 降水量和径流量对红枫湖水体氮含量变化影响较大,在全年降水量最丰富的丰水期,氨氮和总氮含量为全年最高,水体氮含量随着流量的增大而增大,控制径流流量是控制污染的主要手段^[15-16]。

4) 在丰水期,溶解氧最低值为 1.77 mg/L, pH 最低值为 8.23,这期间氨氮和总氮浓度均为全年最高,是红枫湖最容易发生水华污染的时期。水质参数溶解氧和 pH 分别与红枫湖水体氨氮浓度之间的相关系数 R^2 分别为 0.9013 和 0.7369, P 值均小于 0.05,呈现出比较好的相关性。

5) 本文中所提到的红枫湖季节性水体输入(降水、径流量)、人为活动以及氮吸附、矿化等转化过程都会导致水环境变化。除此之外,水环境变化还可能与沉积物中内源释放、颗粒物沉降、再悬浮等过程有关^[17-18]。治理工作的重点应放在雨季(丰水期)^[11],加强本实验 6 个采样点及各个支流的长期水质监测有助于控制氮的污染。

参考文献【REFERENCES】

- [1] 范成新,张路,王建军,等. 湖泊底泥疏浚对内源释放影响的过程与机理[J]. 科学通报, 2004, 49(15): 1523-1528.
- [2] SMALL G E, STERNER R W, FINLAY J C. An ecological network analysis of nitrogen cycling in the Laurentian Great Lakes[J]. Ecological Modelling, 2014, 293: 150-160.
- [3] ZHANG Z, ZHANG Z Y, ZHANG YY, et al. Nitrogen removal from Lake Caohai, a typical ultra-eutrophic lake in China with large scale confined growth of *Eichhorniacrassipe* [J]. Chemosphere, 2013, 92(2): 177-183.
- [4] 王岩, 姜霞, 李永峰, 等. 洞庭湖氮磷时空分布与水体营养状态特征[J]. 环境科学研究, 2014, 27(5): 484-491.
- WANG Y, JIANG X, LI YF, et al. Spatial and temporal distribution of nitrogen and phosphorus and nutritional characteristics of water in Dongting Lake [J]. Research of Environmental Sciences, 2014, 27(5): 484-491.
- [5] YAO X, WANG S R, JIAO L X, et al. Resolving the influence of nitrogen abundances on sediment organic matter in macrophyte-dominated lakes, using fluorescence spectroscopy [J]. Journal of Environmental Sciences, 2015, 27: 197-206.
- [6] 张维. 红枫湖富营养化特征及水质改善对策[J]. 贵州环保科技, 2004(S1): 11-16.
- [7] 杨通铨, 刘鸿雁, 喻阳华. 红枫湖水质变化趋势及原因分析[J]. 长江流域资源与环境, 2014(S1): 96-102.
- YANG T Q, LIU H Y, YU Y H. Variation trend of water quality and its causing effect of the Hongfeng Lake [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2014(S1): 96-102.
- [8] 王书航, 王雯雯, 姜霞, 等. 蠡湖水体氮、磷时空变化及差异性分析[J]. 中国环境科学, 2014, 34(5): 1268-1276.
- WANG S H, WANG W W, JIANG X, et al. Spatial-temporal dynamic changes of nitrogen and phosphorus and difference analysis in water body of Lihu Lake [J]. China Environmental Science, 2014, 34(5): 1268-1276.
- [9] 王书航, 姜霞, 王雯雯, 等. 蠡湖水体悬浮物的时空变化及其影响因素[J]. 中国环境科学, 2014, 34(6): 1550.
- WANG S H, JIANG X, WANG W W, et al. Spatial-temporal dynamic changes of the water suspended matter and its influencing factors in Lihu Lake [J]. China Environmental Science, 2014, 34(6): 1550.
- [10] 王书航, 王雯雯, 姜霞, 等. 丹江口水库水体氮的时空分布及入库通量[J]. 环境科学研究, 2016, 29(7): 996-997.
- WANG S H, WANG W W, JIANG X, et al. Spatial and temporal distribution and flux of nitrogen in water of Danjiangkou Reservoir [J]. Research of Environmental Sciences, 2016, 29(7): 995-1005.
- [11] 宋晓敏, 季宏兵, 江用彬, 等. 丰水期红枫湖流域氮污染特征的变化规律研究[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2010, 29(1): 27-28.
- SONG X M, JI H B, JIANG Y B, et al. Study of nitrogen contamination variations during the high water period in the watershed of Hongfeng Lake, Guizhou Province [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2010, 29(1): 27-28.
- [12] 丁立国, 于俊伟, 李霄, 等. 贵州省 2017 年 7 月至 2018 年 2 月气候评价 [EB/OL]. [2018-02-01] (2018-09-01). <http://www.gzqx.gov.cn/climate/evaluate>.
- [13] 申德君, 张曼华, 刘艳, 等. 红枫湖水库富营养化现状分析[J]. 贵州大学学报(自然科学版), 2006, 23(2): 176-177.
- SHEN D J, ZHANG M H, LIU Y, et al. Analysis of actuality rich nourishment on Hongfeng Lake Reservoir [J]. Journal of Guizhou University (Natural Science Edition), 2006, 23(2): 176-177.
- [14] 刘辉, 张学洪, 陆燕勤, 等. 降雨径流对桂林桃花江水体中氨氮和总磷的影响[J]. 桂林工学院学报, 2006(1): 24.
- LIU H, ZHANG X H, LU Y Q, et al. Influence of rainfall runoff on ammonia nitrogen and total phosphorus in Taohuajiang River [J]. Journal of Guilin University of Technology, 2006(1): 24.
- [15] 段水旺, 章申. 中国主要河流控制站氮、磷含量变化规律初探[J]. 地理科学, 1999, 19(5): 411-416.
- DUAN S W, ZHANG S. The variations of nitrogen and phosphorus concentrations in the monitoring stations of the three major rivers in China [J]. Scientia Geographica Sinica, 1999, 19(5): 411-416.
- [16] PREPAS E E, CHARETTE T. Water bodies: causes, concerns, controls [J]. Environmental Geochemistry, 2005, 9: 311.
- [17] 王秋娟, 李永峰, 姜霞, 等. 太湖北部三个湖区各形态氮的空间分布特征[J]. 中国环境科学, 2010, 30(11): 1537-1542.
- WANG Q J, LI Y F, JIANG X, et al. The distribution of nitrogen speciation in three lake regions of North of Taihu Lake [J]. China Environmental Science, 2010, 30(11): 1537-1542.
- [18] MORGAN B, RATE A W, BURTON E D. Water chemistry and nutrient release during the resuspension of FeS-rich sediments in a eutrophic estuarine system [J]. Science of the Total Environment, 2012, 432(15): 47-56.

收稿日期: 2018-09-14; 修回日期: 2018-09-17

作者简介: 张耀(1993-), 男, 汉族, 研究方向: 水环境污染控制。