

贵州高原深水水库水质演变和趋势分析

齐瑞环^{1,2}, 龙 健^{1,2}, 朱 健^{1,2}, 康福星^{1,2}, 张明时¹

(1. 贵州省山地环境信息系统与生态环境保护重点实验室, 贵州 贵阳 550001; 2. 贵州师范大学地理与环境科学学院, 贵州 贵阳 550001)

摘要 依据对贵州高原喀斯特深水水库——百花湖与红枫湖两湖近 10 a 的监测数据和资料, 对“两湖”的水质变化趋势进行分析。结果表明: “两湖”N、P 比的平均值由 1998 年的 103 下降到 2007 年的 14, 营养盐限制性因子由 P 限制逐步向 N 限制过渡; “两湖”中浮游植物群落组成明显小型化, 生物多样性降低, 湖体底泥含量加速增加, 水体中 TN、TP、COD 年增长量也逐渐加快, 两湖水体已呈极度富营养化趋势。

关键词 水质演变; 富营养化; 趋势分析; 红枫湖; 百花湖

中图分类号: X524 文献标识码: A 文章编号: 1004-693X(2009)S1-0010-04

红枫湖和百花湖(以下简称“两湖”)被称为贵阳城区居民的“两口水缸”, 具有亚热带喀斯特高原深水湖的典型特征, 其流域内岩溶缝隙广泛发育, 连接了不同水体。一旦污染物纳入一个流域甚至是一条河流中, 将随着岩溶缝隙的连通而扩散至整个地区, 进而对该地区的生态平衡及人类健康造成严重威胁。近年来, “两湖”水体的富营养化不断加剧, 被环境监测部门纳入重点监测区域。笔者主要依据“两湖”近几年的水质监测数据和资料, 对“两湖”水质的整体变化趋势进行分析, 探讨我国喀斯特高原深水水库富营养化的机制及变化趋势, 这将有助于明确今后高原深水水库治理的方向, 恢复原有的生态环境和水质功能。

1 采样与分析方法

“两湖”流域地处云贵高原苗岭山脉北坡, 海拔 1 180 ~ 1 720 m, 属中亚热带常绿阔叶林亚带、生物气候带, 年均气温 14.4℃, 年均降水量 1 174.7 ~ 1 386.1 mm, 平均无霜期 270 d, 平均日照时间 1 264.4 h/a, 平均相对湿度 80%。流域总面积为 1 886.0 km², 其中红枫湖水域面积 57.2 km², 库容量 6.0 亿 m³, 最大水深 45.0 m, 平均水深 10.5 m; 百花湖水域面积 14.5 km², 库容量 1.8 亿 m³, 最大水深 45.0 m, 平均水深 12.5 m。“两湖”相距 10 km, 具有相同的地质背景和气候条件, 同时又有各自的沉积特点, 物质

经过红枫湖作用后, 流入百花湖^[1]。

1.1 底质

以湖泊为单位, 按悬浮层、上、中、下层采样, 采样点见图 1、图 2。

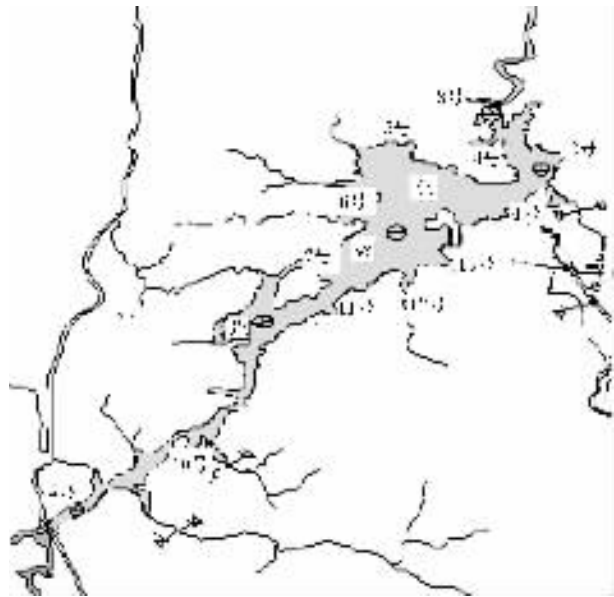


图 1 百花湖底质采样点

1.2 水质

按照原国家环境保护总局《环境监测技术规范(地表水和废水部分)》和《湖泊富营养化调查规范》^[2]要求, 结合实际布设采样点。

1.3 氮、磷的测定

测定方法: 水体中 TN 的测定采用碱性过硫酸

基金项目: 贵阳市两湖一库科技公关示范项目([2007] 筑科农合同字第 21 号)

作者简介: 齐瑞环(1983—), 女, 河南开封人, 硕士研究生, 研究方向为水土环境污染与防治。E-mail: qiruihuan@163.com

通讯作者: 龙健, 教授。E-mail: longjian22@163.com



图2 红枫湖底质采样点

钾消解-紫外分光光度法 ;TP 的测定采用过硫酸钾消解-钼锑抗分光光度法。

底质中含水率测定 :各采样点取 0.5 ~ 1.0 g 称重 ,105℃干燥 4 h ,冷却再称重 ;TN 和 TP 的测定分别参照《土壤农化分析》(第二版)中的“半微量开氏法”和“HClO₄-H₂SO₄法”。

1.4 浮游植物监测

浮游植物的采样和分析参照文献 [2-3] ,浮游植物监测项目为 种类组成、数量(细胞数)、叶绿素 a。

2 结果与分析

2.1 “两湖”水体中氮磷比

由图 3 可见 ,1998 ~ 2007 年“两湖”水体中的氮磷比变化很大 ,比值由 1998 年的 103 下降到 2007 年的 14 ,2002 年达到最大值 203.4 ,2006 年降到最小值 12.7。

高伟生等 [4] 指出 ,用水体中 TN 和 TP 作衡量指标 ,适宜藻类生长的氮磷比为 15 ,TN 和 TP 浓度比值 ,大于 15 的水体 ,P 为限制因子。目前“两湖”水

体的限制性因子有向氮转化的趋势 ,水中的氮、磷浓度向更适宜藻类生长的状态演变 ,有利于藻类的大量繁殖 ,使“两湖”水体的富营养化程度加重。

2.2 2000 ~ 2007 年的水质状况

笔者采用 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》作为“两湖”水质的评价标准 ,富营养化状态评价方法及标准参照文献 [5] ,评价结果如表 1、图 4。

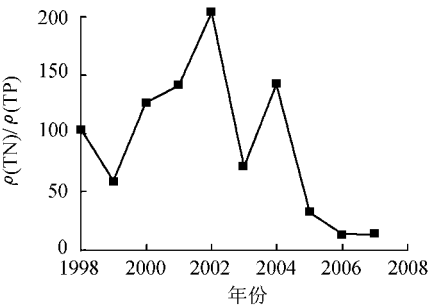


图3 氮磷比值的变化趋势

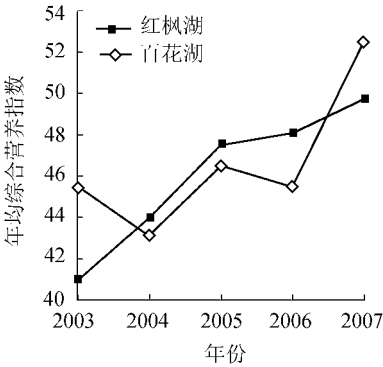


图4 两湖水体年均综合营养指数

红枫湖、百花湖兼有化学污染及富营养化 ,主要污染物是 TP、TN、COD ,DO 偏低 ,这与 1999 ~ 2002 年的监测结果相同 [6]。“两湖”属于深水磷限制型富营养化人工河道水库 ,由于高原深水河道水库的自然地理和水文特征 ,富营养化导致的水质污染滞后于生物和地质污染。

自 1996 年开始 ,贵州省对“两湖”的治理力度逐年加大 ,尤其是 1999 年实施了以削减氮、磷入湖排

表 1 两湖 2000 ~ 2007 年水质达标状况

湖泊	采样点	规定类别	实达水质类别							
			2000 年	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年
红枫湖	大坝	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ	V
	腰洞	Ⅲ	劣 V	Ⅲ	Ⅲ	V	劣 V	V	V	劣 V
	花鱼洞	Ⅲ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	V	V
	后五	Ⅱ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅲ	V	V
	三岔河	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅳ	劣 V	劣 V
	偏山寨	Ⅲ	劣 V	Ⅲ	Ⅲ	劣 V	劣 V	劣 V	劣 V	劣 V
	焦家桥	Ⅲ	劣 V	Ⅲ	Ⅲ	V	Ⅲ	劣 V	劣 V	劣 V
百花湖	大坝	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅳ	V
	贵铝泵房	Ⅱ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅳ	V	V
	麦西河口	Ⅲ	Ⅱ	Ⅳ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ	V
	岩脚寨	Ⅲ	Ⅱ	Ⅳ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅳ	V	劣 V
	花桥	Ⅲ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅲ	Ⅳ	V	V	劣 V	劣 V

放量为目的的“两湖”综合治理一期工程后；“两湖”水质有了质的变化^[7-8]，但 2000 ~ 2007 年“两湖”的水质总体上还是在不断地恶化，这与姚俊杰等^[9]研究的结果相同，截止到 2007 年所有监测点水质均达不到功能区规定的水质类别要求（见表 1）。

图 4 表明；“两湖”年均综合营养状态指数变化总体来说是在中-富营养化之间，从 5 年的指数变化趋势来看，呈缓慢上升趋势。在生物高峰期“两湖”营养状态指数均超出 50，达到富营养化状态。

2.3 浮游植物

浮游植物大量生长不仅会降低富营养化水体的透光度，导致沉水植物的衰退，更严重的是浮游植物对沉水植物产生抑制作用^[10]。实施“两湖”治理后，红枫湖的浮游植物种类数是治理前 1.72 倍，百花湖的种类数是治理前 1.68 倍^[6]。但 2006 年监测的结果却显示浮游植物的种类有明显的减少，结果见表 2。

表 2 浮游植物的分类及数量

湖名	检测时间段	分类	细胞密度/ (× 10 ⁶ L ⁻¹)	
			平均	变幅
红枫湖	1997-04 ~ 1998-05	8 门 11 纲 19 目 34 科 95 属 290 种	84	5.9 ~ 234
	2006-03 ~ 2006-12	6 门 9 纲 19 目 38 科 78 属 252 种	73	7.2 ~ 177
百花湖	1997-04 ~ 1998-05	8 门 11 纲 22 目 37 科 112 属 367 种	34	3.2 ~ 94
	2006-03 ~ 2006-12	8 门 10 纲 20 目 33 科 65 属 145 种	11	1 ~ 93

表 2 表明“两湖”水体中生物多样性减少，个体密度大幅度下降，但密度仍大于 1 × 10⁷ cell/L，仍处于极富营养化水平。“两湖”属于高原湖泊，其受环境因子影响的情况类似于云南洱海^[11]。浮游植物的监测结果表明红枫湖、百花湖水体已受严重污染。

2.4 “两湖”底质

2002 ~ 2007 年“两湖”的底泥质量随时间增长呈上升趋势，其 TP、TN、COD 也呈上升趋势（见表 3）。

表 3 “两湖”底质监测结果

湖泊	时间	鲜沉积 V/ 万 m ³	干沉积/ 万 t	m(TP)/ t	m(TN)/ t	m(COD)/ 万 t
红枫湖	2007 年 10 月	1200	340	3900	9800	12.00
	2005 年 11 月	1000	290	3800	9700	10.00
	2002 年 12 月	760	220	2600	7300	8.20
百花湖	2007 年 10 月	330	92	1350	3500	4.6
	2005 年 11 月	280	87	1300	3500	4.0
	2002 年 12 月	220	65	840	2500	3.1

“两湖”底质已严重污染，有机态磷和铁结合态磷占总磷的 85%，完全不符合“两湖”所处的喀斯特地域背景，底质中以形成磷酸钙沉积的矿化过程被微生物的作用取代，磷主要以“活性”态存在，同时底

质中贮存的大量有毒气体，使“两湖”沉积物成为水质发生生物恶变的巨大污染物储备库。

3 结论与讨论

“两湖”水体富营养化程度不断加重，其主要原因是氮、磷含量超标，其中工业污染源排放量最大，其次是城市、农业面源。

贵州喀斯特地区，地处亚热带，雨水充足，岩溶景观发育完全，具有二元三维空间的地域结构^[12]，生态系统脆弱，流域内人类活动对“两湖”水质影响较大^[13]，投饵养鱼对“两湖”氮、磷的影响严重^[14]。人地矛盾突出，为了增加农作物产量，农民大量施加化肥，而在喀斯特地区生态系统脆弱^[15]，土壤侵蚀严重，水土易流失，加之土地利用方式对水质影响较大^[16]，使得流域内的工农业废水及生活污水排放的大量金属盐、氮、磷随着地表水或雨水渗入地下或流入河流，最后由复杂的喀斯特水系进入湖泊，造成水体的富营养化。

“两湖”属于磷限制性富营养化水库，在夏-秋-冬季节（持续高温天气后，突然降温）特殊气象水文因素的作用下导致湖泊水体垂直运动，因水动力作用使底质营养盐（磷、氮、碳）迁移至水体上层，导致氮源、碳源十分丰富，而水体中磷的阈浓度为 0.025 mg/L，一旦出现磷浓度增加，并在合适的营养盐浓度和比例、气温、水温、光照、浮游植物种源等条件下，导致藻类暴长，产生“水华”现象。

“两湖”富营养化治理在于生态修复和污染源控制。建立完整的生态系统，水体中氨氮较多时容易被植物优先吸收^[17]。不同物种及同一物种的不同器官对不同浓度水体中氮、磷的吸收效果是不同的^[18]，可在湖区内种植不同类型本土植物，用于吸收水体和底质中的营养物质^[19-20]，水生植物的恢复，对水体中其他的有害物质还具有一定的抑制作用^[21]。另外应加大对工农业、旅游业的合理布局，加强对各种污染源的控制，科学施肥，提倡科学的自然放养渔业，维护水体的生物多样性及水生态平衡。

参考文献：

[1] 王雨春,万国江,王仕禄.红枫湖、百花湖沉积物中磷的存在形态研究[J].矿物学报,2000,20(3):273-278.
[2] 金相灿,屠清瑛.湖泊富营养化调查规范[M].北京:中国环境科学出版社,1990:239-245.
[3] 章宗涉,黄祥飞.淡水浮游生物研究方法[M].北京:科学出版社,1991:333-357.
[4] 高伟生,应龙根.区域环境综合研究[M].北京:科学技术文献出版社,1987:268-269.
[5] 王明翠,刘雪芹,张建辉.湖泊富营养化评价方法及分级

标准[J]. 中国环境监测 2002, 18(5): 47-49.

[6] 廖国华, 钟晓, 庞增栓. 红枫湖、百花湖水污染趋势分析及控制对策[J]. 地球与环境 2004, 32(3-4): 49-52.

[7] 吴沿友, 李萍萍, 王宝利. 红枫湖百花湖水水质及浮游植物的变化[J]. 农业环境科学学报 2004, 23(4): 745-747.

[8] 李旗. 红枫湖、百花湖近年来富营养化状况分析[J]. 贵州工业大学学报: 自然科学版 2001, 30(5): 98-102.

[9] 姚俊杰, 沈昆根, 安苗. 红枫湖、百花湖水体的生态修复[J]. 贵州科学 2007, 23(5): 144-149.

[10] 黎慧娟, 倪乐意. 浮游绿藻对沉水植物苦草的抑制作用[J]. 湖泊科学 2007, 19(2): 111-117.

[11] 李杰君. 洱海富营养化探析及防治建议[J]. 湖泊科学, 2001, 13(2): 187-192.

[12] 李娟, 龙健, 李阳兵. 贵州高原喀斯特山区土壤环境问题与对策[J]. 贵州师范大学学报: 自然科学版 2007, 25(4): 12-16.

[13] 金相灿, 刘鸿亮, 屠清英. 中国湖泊富营养化[M]. 北京: 中国环境出版社, 1990 373-389.

[14] 庞磊, 庞增栓. 红枫湖、百花湖水体污染事件调查[J]. 环保科技 2007, 13(3): 44-48.

[15] 李阳兵, 王世杰, 魏朝富, 等. 岩溶生态系统脆弱性剖析[J]. 热带地理 2006, 26(4): 303-307.

[16] 贾亚男, 袁道先. 土地利用变化对水城盆地岩溶水水质的影响[J]. 地理学报 2003, 58(6): 831-838.

[17] 葛滢, 王晓月, 常杰. 不同程度富营养化水中植物净化能力比较研究[J]. 环境科学学报 1999, 19(6): 690-692.

[18] DANIELA B. Assessment of macro and microelement accumulation capability of two aquatic plants[J]. Environmental Pollution, 2004, 130: 149-156.

[19] MADSEM T V, CEDERGREEN N. Sources of nutrients to rooted submerged macrophytes growing in a nutrient-rich stream[J]. Freshwater Biology, 2002, 47: 283-291.

[20] CROSSLEY M N, DENNISON W C, WILLIAMS R R, et al. The interaction of water flow and nutrients on aquatic plant growth[J]. Hydrobiologia, 2002, 489: 63-70.

[21] HE Tian-rong, FENG Xin-bin, GUO Yan-na. The impact of eutrophication on the biogeochemical cycling of mercury species in a reservoir: a case study from Hongfeng Reservoir, Guizhou, China[J]. Environmental Pollution 2008, 154: 65-67.

(收稿日期 2008-12-08 编辑 徐娟)

(上接第5页)

[6] SAFRAI I, ZASK A. Reverse osmosis desalination plants-marine environmental regulator point of view[J]. Desalination, 2008, 220(1-3): 72-84.

[7] KHAWAJI A D, KUTUBKHANAH I K, WIE J M. A 13.3 MGD seawater RO desalination plant for Yanbu Industrial City[J]. Desalination, 2007, 203(1-3): 176-188.

[8] SADAYUKI S. Toray supplies RO membranes for desalination plant in Saudi Arabia[J]. Membrane Technology, 2008(2): 1.

[9] 沙特将建世界最大海水淡化项目[EB/OL]. [2008-07-07]. http://www.sdmu.com.cn/news_view.asp?newsid=410.

[10] CRISP G. Perth seawater desalination plant-A sustainable solution[C]//The Proceedings of the 2nd IWA-ASPIRE Conference and Exhibition. IWA Australia: Perth, 2007.

[11] BONNELYE V, MERCER G, DANIEL L, et al. Perth reverse osmosis facility: an environmentally integrated desalination plant[C]//The Proceedings of the 2nd IWA-ASPIRE Conference and Exhibition. IWA Australia: Perth, 2007.

[12] MCCANN B. Perth marks Australia's progress to desalination[J]. Water 21, 2007(12): 17-19.

[13] VOUTCHKOV N. California turns to the ocean[J]. Water 21, 2007(12): 22-24.

[14] BERMUDEZ-CONTRERAS A, THOMSON M, INFELD D G. Renewable energy powered desalination in Baja California Sur, Mexico[J]. Desalination, 2008, 220(1-3): 431-440.

[15] MUNOZ I, FERNANDEZ-ALBA A R. Reducing the environmental impacts of reverse osmosis desalination by using brackish groundwater resources[J]. Water Res, 2008, 42(3): 801-811.

[16] Reverse osmosis desalination plants reference list-major project[EB/OL]. [2007-12-09]. www.outokumpu.com/36039.epibrw.

[17] Wind power purifies salt water[EB/OL]. [2006-04-13]. www.unitedworld-usa.com/reports/spain/carboneras.asp.

[18] FRITZMANN C, LOWENBERG J, WINTGENS T, et al. State-of-the-art of reverse osmosis desalination[J]. Desalination, 2007, 216(1-3): 1-76.

[19] 阮国岭, 冯厚军. 国内外海水淡化技术的进展[J]. 中国给水排水, 2008, 24(20): 86-90.

[20] UEMURA T, KONDOU Y. Membrane technology progress in Japan[J]. Water 21, 2003(16): 37-39.

[21] ATKINSON S. Japan's largest sea-water desalination plant uses Nitto Denko membranes[J]. Membrane Technology, 2005(4): 10-11.

[22] TEO Y Y. Fourth national tap flows[J]. Waternet, 2005(20): 3-3.

[23] 郝晓地, 李会海. 海水淡化+风能发电+盐业化工: 三位一体的清洁生产技术[J]. 节能与环保, 2006(10): 25-28.

[24] 郝晓地, 胡沅胜, 李会海. 北京水资源战略: 三位一体的海水淡化生态技术[J]. 水资源保护 2008, 24(6): 104-107.

[25] 郝晓地. 可持续污水、废物处理技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.

(收稿日期 2008-12-17 编辑 徐娟)