

The Related Analysis about Eutrophication Parameters of Freshwater Lake in Guizhou Plateau

Fayun Xiang

Guiyang Environmental Protection Monitoring to Two Lakes and a Reservoir, Guiyang
Email: fayunxiang@163.com

Received: Jul. 10th, 2013; revised: Jul. 20th, 2013; accepted: Aug. 3rd, 2013

Copyright © 2013 Fayun Xiang. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract: Using Microsoft Excel worksheet and Pearson correlation analysis of SPSS19.0 software, we counted monitoring data of Hong Feng Lake from 2003 to 2009, analysed the changes of eutrophication parameters Chla, TP, TN, SD, COD_{Mn} and pH in seven years, and then analysed their correlations. The results showed that: 1) The content of Chla increased every year, the annual average concentration of TN changed from 1.58 mg/L to 3.39 mg/L, the annual average concentration of TP changed from 0.07 mg/L to 0.55 mg/L, and the average concentration of TP supered III drinking water standards; 2) Chla negatively correlated with SD, significantly positive correlated with pH and COD_{Mn}, COD_{Mn} and pH were positively correlated highly, and all these correlations were due to that a lot of algae grew in water, suspended solids increased, and carbonate equilibrium system was broken; 3) Chla and TN were negatively correlated, Chla and TP had no significant correlation, and TP and TN were negatively correlated, which might be related to the growth of Planktonic algae was no longer constrained to the special characteristics of Hongfeng lake, the too high concentration of TP and TN, and the rich nutrients.

Keywords: Freshwater; Eutrophication; Parameters; Relevance

贵州高原淡水湖泊水体富营养化参数间关联性分析

向发云

贵阳市两湖一库环境保护监测站, 贵阳
Email: fayunxiang@163.com

收稿日期: 2013年7月10日; 修回日期: 2013年7月20日; 录用日期: 2013年8月3日

摘 要: 采用 Microsoft Excel 工作表和 SPSS19.0 软件 Pearson 相关性分析, 统计 2003 年至 2009 年红枫湖水质监测数据, 分析富营养化参数 Chla、TP、TN、SD、COD_{Mn} 与 pH 七年的存在量变化及各参数间的相关性。结果表明: 1) Chla 年均含量逐渐增加, TN 浓度年均值在 1.58 mg/L~3.39 mg/L、TP 浓度年均值在 0.07 mg/L~0.55 mg/L, 超 III 类饮水标准; 2) Chla 含量与 SD 负相关, 与 pH、COD_{Mn} 显著正相关, COD_{Mn} 与 pH 呈极显著正相关, 这与水体中浮游藻类的大量生长, 悬浮物增加, 水体中碳酸盐平衡系统被打破有关; 3) Chla 含量与 TN 显著负相关, 与 TP 无明显相关性, TP、TN 浓度显著负相关, 这可能与水体水质的特殊性, 水体中 TP、TN 浓度过高, 水体营养物质丰富, 浮游藻类的生长不再受其限制有关。

关键词: 淡水; 富营养化; 参数; 关联性

1. 引言

富营养化是全球性的水污染问题，自六十年代起就受到国际社会的关注^[1]。富营养化不仅使水体丧失其应有的功能，而且使水生生态环境恶化，水中生物的生存受到威胁^[2]，进而影响到人民生活、经济建设和社会的发展。因此，现已有很多国家对富营养化进行研究。

富营养化是指湖泊、河流、水库中氮、磷等营养物质富集，引起藻类及其他浮游生物的迅速繁殖，水体溶解氧量下降，水生生物的生存受到威胁的现象^[3,4]。目前，用于评价富营养化的方法很多。我国湖泊富营养化评价的基本方法主要有修正的营养状态指数、综合营养状态指数(TLI)、卡尔森营养状态指数(TSI)、营养状态指数法和评分法等^[5]。这些方法中能够直接或间接指示或影响湖泊营养状态类型的指标有叶绿素a(Chla)、总磷(TP)、总氮(TN)、五日生化需氧量(BOD₅)、化学需氧量(COD)、透明度(SD)、悬浮物(SS)等^[6]。在实际工作中，以上几种方法都在采用，因而评价过程中存在营养状态的划分比较混乱，描述方法

不一、同一湖泊富营养化结论不同等缺点。本文根据国家环保部确认的《湖泊(水库)富营养化状况评价方法及分级技术规定》，以贵阳市红枫湖为例，通过统计 Chla、TP、TN、COD_{Mn}、SD、pH 多年的监测数据，分析他们之间的关系，探讨这种关系产生的原因，以期深入研究富营养化的机理，寻找一条能够有效抑制贵州高原淡水湖泊富营养化发生的方法。

2. 材料与方法

2.1. 研究区概况

红枫湖流域地处贵州省清镇市，位于东经 106°19'~106°28'，北纬 26°26'~26°35'，海拔 1240 m，湖水面积 5712 km²，总库容 6101 × 108 m³，平均水深 1015 m^[7]。本文选取 5 个对红枫湖水质影响比较明显的区域设置采样点，其地理位置分布见图 1。其中 1 号点，大坝，红枫湖北湖库区出水口；2 号点，腰洞，贵州化肥厂排放污水北湖汇集区；3 号点，花鱼洞，南湖出水口采样点，也是红枫湖水库南北湖水交汇处；4 号点，西郊水厂取水点；5 号点，后午，为南湖污染源

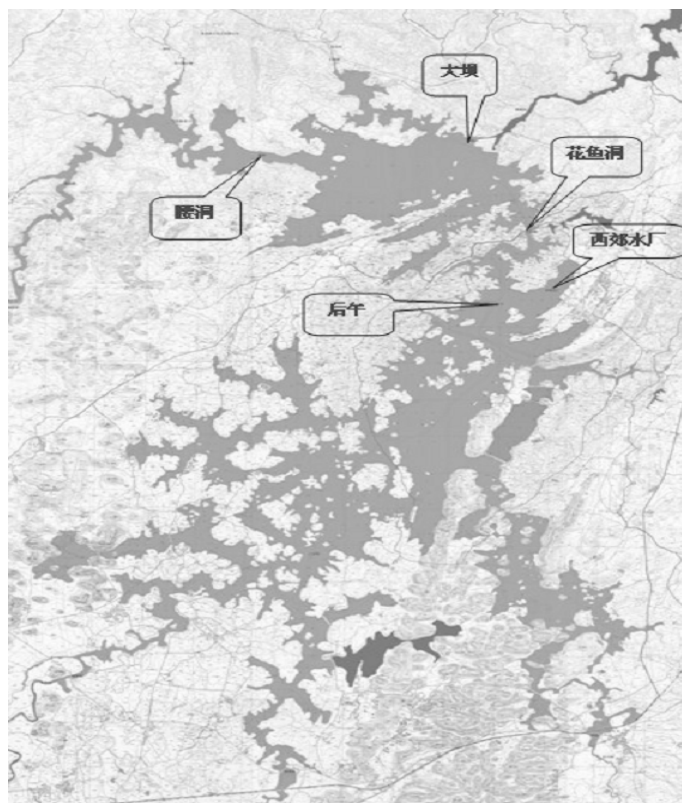


Figure 1. The geographical location of the sampling points
图 1. 采样点地理位置分布图

的交汇处, 曾经是网箱养鱼的养殖区。

2.2. 样品采集与分析方法

从 2003 年至 2009 年, 每月月初, 定点定时进行样品采集。采样时, 根据湖水深度, 采集上、中、下三层水样合成一个综合水样, 每个点一个分析项目采集一个综合水样, 每次采集 25 个水样。样品采集后, 按分析指标要求, 加入相应的固定剂、贴好标签、做好采样记录后带回实验室 24 小时内进行测定(透明度现场测定), 整个采样过程严格遵守《水和废水监测分析方法(第四版)》相应分析项目要求。

分析方法: 透明度, 《水和废水监测分析方法(第四版)》“塞氏盘法(B)”; 叶绿素 a, 该书“叶绿素 a 的测定(B)”; pH, 玻璃电极法(A)(GB 6920-86); 高锰酸盐指数, 酸性法(A)(GB11892-89); 总氮, 过硫酸钾氧化紫外分光光度法(A)(GB 11894-89); 总磷, 钼锑抗分光光度法(A)(GB 11893-89)。

2.3. 数据分析

利用 SPSS19.0 软件和 Microsoft Excel 工作表对分析结果进行处理, 对水体各营养参数进行 Pearson

相关性分析。

3. 结果与讨论

3.1. 水体中富营养化参数存在量分析

统计 2003 年至 2009 年红枫湖水体富营养化参数和 pH, 其结果如表 1 中所示。其中, 叶绿素 a 含量范围为 0.58 mg/m³~25.3 mg/m³, 最小值出现在 2004 年, 最大值出现在 2009 年, 从 2008 年开始, 年均值超过 10 mg/m³, 藻类的生长比较旺盛; 总磷浓度范围为 0.005 mg/L~3.91 mg/L, 年均值在 0.07 mg/L~0.55 mg/L; 2003 年至 2006 年, 水体中总磷浓度逐年增加, 2007 年后总磷浓度开始下降, 这可能与两湖一库管理局成立后, 对周边化工厂的治理有关; 总氮浓度范围为 0.71 mg/L~5.99 mg/L; 高锰酸盐指数范围为 1.67 mg/L~5.45 mg/L; 透明度变化范围为 0.67 m~3.55 m, 平均值变化在 1.43 m~1.74 m 之间, 2003 年最大值为 3.55 m, 2009 年最大值降到 1.8 m, 这 7 年中, 透明度在逐渐降低。根据《中华人民共和国国家标准 GB3838-2002》规定, III类水体中, 总氮限值为 1.0 mg/L, 总磷限值为 0.05 mg/L。与表 1 中总氮、总磷的浓度比较,

Table 1. The statistical results of nutritional parameters in Hongfeng Lake
表 1. 红枫湖营养参数存在量统计结果

营养参数 统计年份	SD (m)	pH (无量纲)	COD _{Mn} (mg/L)	TP (mg/L)	TN (mg/L)	Chla (mg/m ³)	
2003	范围	1.05~3.55	7.6~8.21	2.08~3.51	0.005~3.8	1.37~3.28	0.82~13.5
	均值	1.74	7.92	2.76	0.35	2.46	4.13
2004	范围	1.1~2.34	7.46~8.35	1.88~4.11	0.016~0.091	2.45~5.72	0.58~7.82
	均值	1.58	7.87	3.04	0.058	3.68	3.71
2005	范围	0.96~1.94	7.42~8.44	1.67~3.81	0.028~0.3	1.94~5.99	1.96~20.4
	均值	1.46	7.95	2.71	0.11	3.39	7.13
2006	范围	0.97~2.51	7.45~8.76	2.41~4.01	0.094~3.91	1.61~3.23	2.66~6.73
	均值	1.53	8.24	3.12	0.55	2.35	4.61
2007	范围	0.76~2.43	7.68~8.89	2.18~4.51	0.13~0.52	1.46~4.56	2.4~15.6
	均值	1.69	8.35	3.34	0.27	2.67	7.29
2008	范围	0.67~2.6	7.8~8.78	2.49~5.45	0.07~0.36	1.24~2.01	5.28~16.9
	均值	1.51	8.35	3.65	0.16	1.58	10.9
2009	范围	0.9~1.8	8.06~8.84	2.19~4.19	0.05~0.1	0.71~2.26	3.4~25.3
	均值	1.43	8.39	3.1	0.07	1.58	12.7

注: 样本数 N = 79。

总氮年均值超标倍数分别为 1.46、2.68、2.39、1.35、1.67、0.58、0.58，总磷年均值超标倍数分别为 6、0.16、1.2、10、4.4、2.2、0.4^[8]。氮、磷是水体藻类生长的必须元素。pH 变化范围为 7.42~8.89，在 6~9 范围内。许海等^[9]在研究中指出，铜绿微囊藻最适宜生长的 pH 为 9.0，水华鱼腥藻 pH 为 8.0~9.0，浮游颤藻 pH 为 7.0~8.0，斜生栅藻、绿球藻、雷氏衣藻的适宜 pH 为 9.0~10.0、7.0~8.0 和 7.0，红枫湖的水质已为藻类的生长提供了适宜的 pH，及丰富的氮源与磷源，为藻类的生长提供了良好的外在条件。

3.2. 富营养化参数间相关性分析

运用 SPSS.19 软件对 2003 年至 2009 年红枫湖水体富营养化参数进行 Pearson 相关性分析，其结果如表 2 中所示。水体透明度与 pH 显著负相关($r = -0.236$, $p < 0.05$)，与 COD_{Mn} 极显著负相关($r = -0.393$, $p < 0.01$)，与叶绿素 a 呈极显著负相关($r = -0.395$, $p < 0.01$)，与 TP、TN 浓度相关性不明显；pH 的大小与 COD_{Mn} 浓度极显著负相关($r = -0.455$, $p < 0.01$)，与叶绿素 a 含量呈极显著正相关($r = 0.486$, $p < 0.01$)，与 TP、TN 浓度相关性不明显； COD_{Mn} 浓度与叶绿素 a 含量呈极显著正相关($r = 0.529$, $p < 0.01$)，与 TP、TN 浓度相关性不明显；TP 与 TN 浓度间相关性显著($r =$

-0.238 , $p < 0.05$)，与叶绿素 a 含量相关性不明显；TN 浓度与叶绿素 a 呈显著负相关($r = -0.246$, $p < 0.05$)。

水体中两个富营养化参数间存在相关性，说明这两个变量间存在某些共性的特征，不一定存在因果关系。以上分析说明，富营养化参数间存在相关性，透明度、pH、高锰酸盐指数、总氮与表征水体中浮游植物生长状况的叶绿素 a 含量相关性明显。同时，叶绿素 a 含量也会影响这几个参数的变化，可有效指示水体所处的营养状况及富营养化程度。

3.3. 富营养化参数间相关性成因分析

水体透明度是指水体清澈和光线透过的程度，它是判断水质状况的指标之一。表 2 分析显示，水体的透明度、高锰酸盐指数、pH 和叶绿素 a 为负相关。水体透明度主要受悬浮物影响，当悬浮物中浮游植物量占优势时，表现为透明度与叶绿素 a 含量间呈负相关关系。同时，叶绿素 a 含量高时，藻类大量生长，透明度降低，藻类进行光合作用消耗水体中 CO_2 ，水体碳酸盐平衡系统改变，水体 pH 增加，表现为 pH 与透明度负相关，与叶绿素 a 含量极显著正相关；高锰酸盐指数常被作为地表水体受有机污染物质和还原性无机物质污染程度的综合指标^[10]。高锰酸盐指数增

Table 2. Correlated analysis among nutritional parameters
表 2. 营养参数间相关性分析

	项目	SD	pH	COD_{Mn}	TP	TN	Chla
SD	Pearson 相关性(r)	1					
	显著性(p)(双侧)						
pH	Pearson 相关性(r)	-0.236*	1				
	显著性(p)(双侧)	0.036					
COD_{Mn}	Pearson 相关性(r)	-0.393**	0.455**	1			
	显著性(p)(双侧)	0.000	0.000				
TP	Pearson 相关性(r)	-0.064	-0.151	-0.123	1		
	显著性(p)(双侧)	0.573	0.183	0.279			
TN	Pearson 相关性(r)	-0.027	-0.142	-0.142	-0.238*	1	
	显著性(p)(双侧)	0.815	0.211	0.213	0.034		
Chla	Pearson 相关性(r)	-0.395**	0.486**	0.529**	-0.146	-0.246*	1
	显著性(p)(双侧)	0.000	0.000	0.000	0.200	0.029	

注：*在 0.05 水平(双侧)上显著相关，**在 0.01 水平(双侧)上显著相关，样本数 N = 79。

加,说明水体中有机污染加重,有机营养物质增加,为藻类等浮游生物的生长提供了足够的碳源,藻类生长旺盛,透明度降低,叶绿素 a 含量增加,表现为高锰酸盐指数与透明度负相关,与叶绿素 a 含量正相关。

湖泊富营养化是指水体接纳过多的氮、磷等营养性物质,使藻类以及其它水生生物过量繁殖的现象。丰茂武^[11]在研究中指出,在磷的质量浓度为 0.07 mg/L 时,藻细胞密度达到最大值,说明增加磷浓度的效果有一定限值。王长娥^[12]在研究中指出,磷作为红枫湖藻类生长的限制因子,其生长阈浓度为 0.025 mg/L。在 2003 年至 2009 年对总磷浓度监测数据中,只有 2003 年 1 月份监测浓度为 0.005 mg/L,其余均大于 0.025 mg/L,年平均值大于 0.11 mg/L。因此,红枫湖水体中磷源供应比较充足,这时氮浓度成为影响藻类生长的主要因子,这与其他研究结论不完全一致^[13-17]。本文的分析中,叶绿素 a 含量与总磷浓度没有相关性,可能与红枫湖水体中磷源过于充足有关。7 年中水体中总氮浓度年均值均超 III 类饮用水标准,水体中大量的氮源、磷源为藻类的生长提供了保证。相关性分析中总氮浓度与叶绿素 a 含量显著负相关,可能与营养物质高浓度抑制生长有关。红枫湖在多年的演替过程中,水体中总氮浓度与总磷浓度呈显著负相关,产生的可能原因,还有待进一步研究。

4. 结论

1) 2003 年至 2009 年,红枫湖叶绿素 a 年均含量逐渐增加;总磷浓度年均值在 0.07 mg/L~0.55 mg/L,2007 年后总磷浓度开始下降;总氮浓度年均值在 1.58 mg/L~3.39 mg/L;高锰酸盐指数年均值范围为 2.71~3.65 mg/L;透明度平均值范围为 1.43 m~1.74 m; pH 在 6~9 之间;水体总氮、总磷浓度超 III 类饮水标准。

2) Pearson 相关性分析表明,叶绿素 a 含量与透明度负相关,与 pH、高锰酸盐指数显著正相关,这与水体中浮游藻类的大量生长,悬浮物增加,水体中碳酸盐平衡系统被打破有关。水体中高锰酸盐指数与 pH 呈极显著正相关关系,这与水体有机污染的

增加,藻类繁殖加快,光合作用消耗过多的 CO₂ 有关。

3) 在本文的分析中,叶绿素 a 含量与总氮浓度显著负相关,与总磷浓度无明显相关性,这可能与水体中总磷、总氮浓度过高,水体营养物质丰富,浮游藻类的生长不再受其限制有关。总磷、总氮浓度显著负相关,这可能与红枫湖特殊的水质有关。

参考文献 (References)

- [1] 梁婕,曾光明,郭生练等. 湖泊及水库富营养化模型研究综述[J]. 环境污染治理技术与设备, 2003, 7(6): 24-30.
- [2] 田永杰,唐志坚,李世斌. 我国湖泊富营养化的现状和治理对策[J]. 环境科学与管理, 2006, 31(5): 119-121.
- [3] 杨龙. 密云水库富营养化阈值与外源磷素输入响应关系研究[D]. 首都师范大学, 2009.
- [4] R. J. Livingston. Eutrophication processes in coastal systems: Origin and succession of plankton blooms and effects on secondary production in gulf coast estuaries. Boca Raton: CRC Press, 2002: 145-147.
- [5] 朱新源,陈淑云,汤大友等. 官厅水库富营养化的水生生态特征评价[J]. 环境科学学报, 1991, 11(3): 292-298.
- [6] 谢礼国,郑怀礼. 湖泊富营养化的防治对策研究[J]. 世界科技研究与发展, 2004, 26(2): 7-11.
- [7] 詹苏,杨大鹏. 红枫湖水体的富营养化特征评价[J]. 贵州农业科学, 2012, 40(10): 200-203.
- [8] 叶峰,张明时,刘汉林等. 红枫湖水库底质污染物富集现状分析[J]. 水资源保护, 2010, 26(3): 8-12.
- [9] 许海,刘兆普,袁兰等. pH 对几种淡水藻类生长的影响[J]. 环境科学与技术, 2009, 32(1): 27-30.
- [10] 国家环境保护总局编委会. 水和废水监测分析方法(第四版)[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [11] 丰茂武,吴云海,冯仕训等. 不同氮磷比对藻类生长的影响[J]. 生态环境, 2008, 17(5): 1759-1763.
- [12] 王长娥. 贵州省红枫湖、百花湖和阿哈水库污染源的现状调查、分析与评价[D]. 贵州师范大学, 2009.
- [13] P. Dufour, B. Berland. Nutrient control of phytoplanktonic biomass in atoll lagoons and Pacific Ocean waters: Studies with factorial enrichment bioassays. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 1999, 234: 147-166.
- [14] E. V. Hullebusch, V. Deluchat, P. M. Chazal, et al. Environmental impact of two successive chemical treatments in a small shallow eutrophied lake: Part II. Case of copper sulfate. Environmental Pollution, 2002, 120: 627-634.
- [15] 王雨春,万国江,黄荣贵等. 红枫湖、百花湖沉积物全氮、可交换态氮和固定铵的赋存特征[J]. 湖泊科学, 2002, 14(4): 301-308.
- [16] 晏妮. 贵州两种类型喀斯特水库浮游植物分布与富营养化特征比较研究[D]. 贵州师范大学, 2006.
- [17] 邓河霞,夏品华,林陶等. 贵州高原红枫湖水库叶绿素 a 浓度的时空分布及其与环境因子关系[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(8): 1630-1637.