

文章编号: 1674- 6139(2011) 02- 0179- 05

高州水库水体富营养化评价与控制对策研究

周杨^{1, 2}, 许振成^{1, 2, 3}, 蔡立梅^{2, 3}, 赵学敏², 杜诚⁴, 姚玲爱²

(1 湖南农业大学, 湖南 长沙 410128 2 环境保护部华南环境科学研究所, 广东 广州 510655; 3 中国科学院
广州地球化学研究所有机地球化学国家重点实验室, 广东 广州 510640; 4 茂名市环境科学研究所, 广东 茂名 525000)

摘要:采用综合营养状态指数法 (TLI)和卡森指数评分法对高州水库 2004年到 2008年的水质进行了评价, 结果显示, 近年来高州水库两库区 3月份的综合营养状态指数值 TLI(Σ)近年来呈上升趋势。石骨库区和良德库区 2008年 3月份的综合营养状态指数值分别达到了 40.32和 48.07。两库区 3月份都呈现出即将突破中营养化状态达到富营养化的趋势。卡森指数评分法得出水库 2004- 2008年的分值在 45.0- 68.2之间, 自 2005年以后, 每年 3月份的富营养程度要高于 9月份, 且三月份呈明显的上升趋势。表明了 2- 3月份是高州水库水华爆发的危险期。在实地调研的基础上, 分析了主要的污染原因, 并提出了针对高州水库的富营养化控制措施和建议。

关键词:综合营养状态指数法; 卡森指数评分法; 富营养化评价; 高州水库

中图分类号: X824

文献标识码: A

Gaozhou County Reservoir Water Eutrophication Evaluation and Control Countermeasures

Zhou Yang^{1, 2}, Xu Zhencheng^{1, 2, 3}, Cai Limei^{2, 3}, Zhao Xuemin², Du Cheng⁴, Yao Lingai²

(1 Hunan Agricultural University Changsha 410128 China

2 South China Institute of Environmental Sciences MEP, Guangzhou 510655 China

3 Guangzhou Institute of Geochemistry, China Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China

4 Maoming Institute of Environmental Sciences Guangzhou 525000 China)

Abstract After evaluated Gaozhou county reservoir water quality based on comprehensive nutrition state index method and carson index evaluation method during 2004 to 2008, it showed a obviously rising trend of the TLI(Σ) in both two reservoir in march. The TLI(Σ) in ShGu reservoir and LiangDe reservoir reached 40.32 and 48.07 respectively. This indicated a breakthrough from medium nutritional status to eutrophication in both reservoir during March. The results of Carson index evaluation method during 2004- 2008 was between 45.0 and 68.2. The eutrophication level in March, which showed a rising trend, was higher than in September after 2005. Verified that 2- 3 month is the high-risk period of eutrophication. On the basis of investigation, this research analysed the main pollution causes and gave the feasible measures and suggestions to control the eutrophication in GaoZhou county reservoir.

Key words TLI(Σ); carson index evaluation method; eutrophication evaluation; gaozhou county reservoir

高州水库位于广东省西部, 处于高州市东北部。建于 1958年, 库区集雨区面积为 1 022 km², 年均径流量 14.77亿 m³, 总设计库容为 11.5亿 m³。由良德水库和石骨水库组成, 通过一条长约 0.7 km 的人工运河相连接。是一座以工业用水和农业灌溉为

主, 结合防洪、发电、航运、养殖等综合利用的大型水利工程。其中, 良德水库建于大井河上游, 集雨面积 497 km², 库容 5.932亿 m³, 供茂名市工业及城市生活用水, 灌溉高州、化州、吴川三市和茂南、湛江坡头两区 4.16万 hm² 农田, 并补充鉴江枯水期流量以满足通航要求; 石骨水库建于曹江上游, 集雨面积 525 km², 库容 4.597亿 m³, 通过总干、东干、电茂干直接引水补充袂花江共青河引水, 灌溉高州市、吴川市、电白县、茂南区、茂港区两市一县两直辖区 3.71万

收稿日期: 2010- 08- 30

作者简介: 周杨 (1985-), 女, 湖南人, 硕士研究生, 研究方向: 环境工程。

lm² 农田,以及直接供高州市区自来水厂、茂名市区第二水厂城市生活用水。

水体富营养化是水环境普遍存在的问题^[1-3]。富营养化水体中部分藻类释放的一些毒素,能引起鱼类大量死亡。此外,富营养化水体由于亚硝酸盐和硝酸盐含量较高,人畜长期饮用也会中毒致病^[4]。水源区水质不仅关系到当地生产和生活,更关系到广大的下游用水区的用水安全。作为水源地水体的富营养化的防治应该提到更高的战略角度,做到及时有效治理并最终能达到杜绝发生。由于高州水库集雨区内居民生产和生活带来的点源污染和面源污染的长期积累,水库于 2009 年 2 月大面积暴发了蓝藻水华,直接威胁到了高州市及茂名市城市生活用水安全。

1 评价方法

目前,湖泊富营养化评价的基本方法主要有营养状态指数法(卡尔森营养状态指数(TSI)^[5-7]、修正的营养状态指数、综合营养状态指数(TLI)、营养度指数法和评分法^[8]。以上几种方法在实际工作中均有被采用,其中营养度指数法计算步骤繁琐、耗时长,而综合营养指数法则相对简便易行且应用较多;评分法在实际应用过程中,相对最为简单^[9-11]。

因此,本文选取综合营养状态指数法和评分法评价高州水库水体富营养化程度,并进行结果上的对比分析。

1.1 综合营养状态指数计算公式

$$TLI(\sum) = \sum_{j=1}^m W_j \cdot TLI(j) \quad (1)$$

式中, W_j 为第 j 种参数的营养状态指数的相关权重; $TLI(j)$ 为代表第 j 种参数的营养状态指数。以 Chla 作为基准参数,则第 j 种参数的归一化相关权重计算公式为

$$W_j = \frac{r_{ij}^2}{\sum_{j=1}^m r_{ij}^2} \quad (2)$$

式中, r_{ij} 为第 j 种参数与基准参数 Chla 的相关系数,本文采取金相灿等^[12]研究的全国主要湖泊调查 r_{ij} 值,见表 1; m 为评价参数的个数。

营养状态指数计算公式为:

$$TLI(\text{chl}) = 10(2.5 + 1.086 \ln \text{chl})$$

$$TLI(\text{TP}) = 10(9.436 + 1.624 \ln \text{TP})$$

$$TLI(\text{TN}) = 10(5.453 + 1.694 \ln \text{TN})$$

$$TLI(\text{SD}) = 10(5.118 - 1.94 \ln \text{SD})$$

$$TLI(\text{COD}_{Mn}) = 10(0.109 + 2.661 \ln \text{COD}_{Mn})$$

评价项目选取了反映水体营养程度的主要指标:叶绿素 a(Chla)、总磷(TP)、总氮(TN)、透明度(SD)、高锰酸盐指数(COD_{Mn})5项。采用 0-100 的一系列连续数字对湖泊营养状态进行分级: $TLI(\sum) < 30$ 为贫营养; $30 \leq TLI(\sum) \leq 50$ 为中营养; $TLI(\sum) > 50$ 为富营养,其中 $50 < TLI(\sum) \leq 60$ 为轻度富营养, $60 < TLI(\sum) \leq 70$ 为中度富营养, $TLI(\sum) > 70$ 为重度富营养^[13]。

表 1 中国湖泊(水库)部分参数与 chla 的相关关系 r_{ij} 及 r_{ij}^2

	chl	TN	TP	SD	COD _{Mn}
r_{ij}	1	0.82	0.84	-0.83	0.83
r_{ij}^2	1	0.6724	0.7056	0.6889	0.6889

(注:引自金相灿等著《中国湖泊环境》,表中 r_{ij} 来源于中国 26 个主要湖泊调查数据的计算结果^[12]。)

表 2 Chla 与其它参数的关系

	chl	TN	TP	SD	COD _{Mn}
W_j	0.2663	0.1879	0.1790	0.1834	0.1834

1.2 营养评分方法

评分法是一种简单通用的评价模式,在中国绝大部分水体都有应用,已经成为验证其他评价模式的最好的验证对比法^[14]。评分值越高说明水体的富营养化程度越严重。各指标可单独使用,或选取其中数项使用^[15]。

基本公式:

$$M = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n M_i \quad (3)$$

式中, M 为富营养化程度的评分值(各调查点); M_i 为评价参数的评分值; n 为评分参数的个数。

采用修正的卡森指数评分法评价:用 1-100 连续数字对水库富营养程度进行分级,分为极贫营养、贫营养、贫-中营养、中营养、中-富营养、富营养、严重富营养、异常富营养等 9 个级别^[16],详见表 3

2 高州水库水质评价

在现有数据的基础上,选择目前使用较广泛的综合营养状态指数法对高州水库 2004 年-2008 年的营养状况进行综合评价。分析水华暴发前,水库营养状态的变化趋势和原因,为高州水库水体富营养化控制提供科学客观的依据。

表 3 湖泊、水库富营养状态评价表 (卡森指数评分法)

	评价 指标	透明 度 (m)	悬浮物 (mg/L)	总氮 (mg/L)	总磷 (mg/L)	耗氧量 (mg/L)	藻量 (个/L)	细菌总 数 (个/L)	叶绿素 (mg/m ³)
极贫营养	0	48	0.04	0.01	0.0004	0.06	< 5	4.2 × 10 ⁴	0.1
	10	27	0.09	0.02	0.0009	0.12	5	8.3 × 10 ⁴	0.26
贫营养	20	15	0.23	0.04	0.002	0.24	10	1.6 × 10 ⁴	0.66
	30	8	0.55	0.08	0.005	0.48	20	3.2 × 10 ⁴	1.6
贫-中营养	40	4.4	1.3	0.16	0.010	0.96	30	6.4 × 10 ⁴	4.1
中营养	50	2.4	2.1	0.31	0.023	1.08	60	1.3 × 10 ⁴	10.00
富营养	60	1.3	7.7	0.65	0.050	3.60	100	2.5 × 10 ⁴	26.00
中-富营养	70	0.73	19.00	1.20	0.110	7.10	200	4.9 × 10 ⁴	64.00
重富营养	80	0.4	45.00	2.30	0.250	14.0	1000	9.6 × 10 ⁴	160.00
严重富营养	90	0.22	108.00	4.60	0.560	27.0	> 1000	1.8 × 10 ⁴	400.00
异常富营养	100	0.12	260.00	7.10	1.230	54.0	> 1000	3.8 × 10 ⁴	1000.00

表 4 高州水库 2004 年 - 2008 年水质检测指标

采样 站点	采样 时间	Chla/ (mg/l)	TP (mg/l)	TN (mg/l)	SD (m)	COD (mg/l)	采样 时间	Chl a (mg/l)	TP (mg/l)	TN (mg/l)	SD (m)	COD (mg/l)
石骨 库区	2004/3	0.005	0.010	0.727	2.67	7.0	2004/9	0.02	0.24	0.484	3.68	6.0
	2005/3	0.015	0.021	0.412	2.8	5.3	2005/9	0.014	0.02	0.48	1.9	8.1
	2006/3	0.020	0.04	1.95	2.75	6.0	2006/9	0.004	0.05	0.53	2.72	3.6
	2007/3	0.009	0.05	0.97	2.6	17.0	2007/9	0.006	0.02	0.27	2.68	6.0
	2008/3	0.004	0.02	0.20	0.01	14	2008/9	0.002	0.02	0.38	1.6	5.0
良德 库区	2004/3	0.003	0.01	0.598	2.98	6.0	2004/9	0.028	0.25	0.454	3.76	7.0
	2005/3	0.012	0.077	1.433	2.96	23	2005/9	0.01	0.11	3.24	2.87	13
	2006/3	0.028	0.04	0.44	-	8.0	2006/9	0.003	0.04	0.38	2.78	10.0
	2007/3	0.008	0.04	0.95	-	-	2007/9	0.002	0.03	0.30	-	-
	2008/3	0.005	0.28	0.28	0.01	10.0	2008/9	0.003	0.02	0.43	1.9	6.0

(注: 1. 水质监测资料来源于茂名地表水水质监测年鉴; 2. 计算中良德库区缺省资料按石骨库区补。)

2.1 综合营养状态指数评价结果

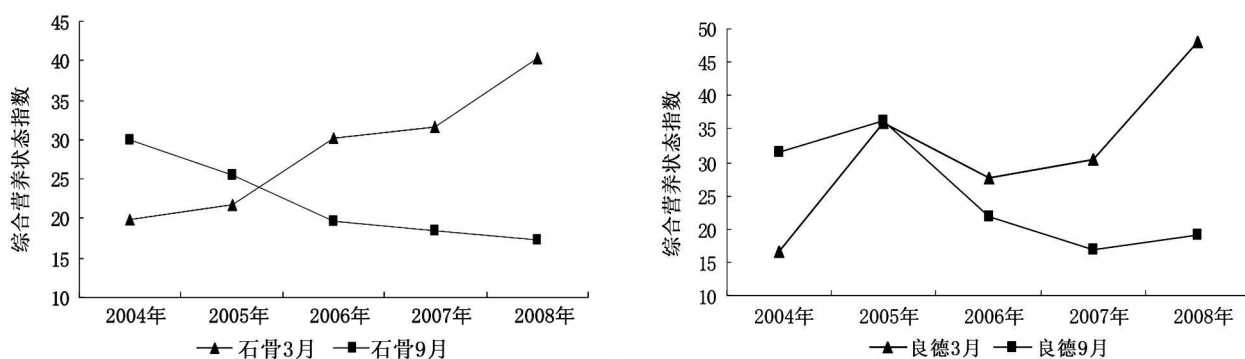


图 1 高州水库石骨库区和良德库区 2004 年 - 2008 年 3 月和 9 月综合营养状态指数

总体来说,良德库区的富营养状态要比石骨库区严重。就整个高州水库而言,评价结果中综合营养状态指数的最高值 48.07,出现在 2008 年 3 月份的良德库区,2008 年石骨库区的综合营养状态指数也达到了 40.33。结果表明两库区 2008 年 3 月份都处于中营养状态。最低值 16.56 出现在 2004 年 3 月份的良德库区,较低值 17.28 和 19.13 也分别出

现在 2008 年 9 月的石骨库区和良德库区。由图 1 历年综合营养状态指数变化趋势来看,自 2005 年以后,两库区每年 3 月份的综合营养状态指数值超过其 9 月份的值,并且呈明显的上升趋势。石骨库区 3 月份的综合营养状态指数由 2004 年的 19.80 上升到了 2008 年的 40.32。良德库区 3 月份水体综合营养状态指数,由 2004 年的 16.56 上升到了 2008 年

的 48.07。而石骨库区 9 月份的综合营养指数值由 2004 年的 29.86 下降到了 2008 年的 17.28 良德库区 9 月份的综合营养指数由 2004 年的 31.43 下降到了 2008 年的 19.13, 9 月份两库区的富营养状况呈下降趋势。由图 1 可知, 近年来, 3 月份的富营养状况正逐年严重。库区 2009 年 2-3 月间暴发的蓝藻水华, 也验证了这种趋势。依据 TLI(Σ) 的分级等级来看, 高州水库 3 月份的水质正不断从贫营养化向中营养化转变, 并且逐步呈现富营养化。

2.2 卡森指数评分法评价结果

由于高州水质资料中, 缺乏藻量、细菌总数和悬浮物数据。所以只选取了透明度 (SD)、总氮 (TN)、总磷 (TP)、化学耗氧量 (COD)、叶绿素 (Chla) 5 项作为主要评价参数。本文采用 2004 年-2008 年高州水库水质监测资料参与评价, 且缺少的指标数据

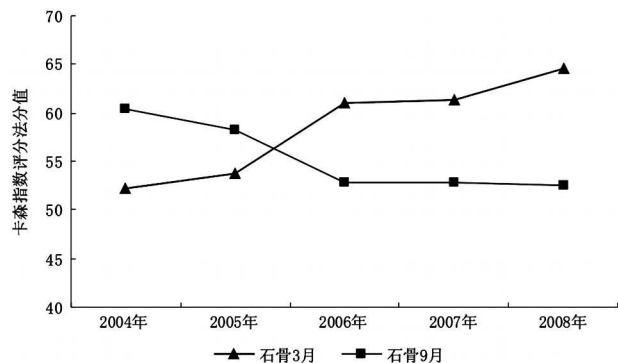


图 2 高州水库石骨库区和良德库区 2004 年-2008 年 3 月和 9 月卡森指数评分法结果

3 两种评价方法的对比分析

综合营养状态指数法和卡森指数评分法, 所显示的趋势和水库富营养化状态是一致的。都表明了水库水质在 2004 年到 2008 年期间, 逐渐由中营养转向富营养化, 并向重富营养化发展。两种方法的评价结果都显示: 近年来两库区 3 月份的富营养状态逐年严重, 表明了 2-3 月份成为了高州水库水华暴发的危险期。2009 年 2-3 月间高州水库大面积的水华爆发也验证了这个趋势。同时, 也证明了综合营养状态指数法和卡森指数评分法在水体富营养化评价上是可行的。

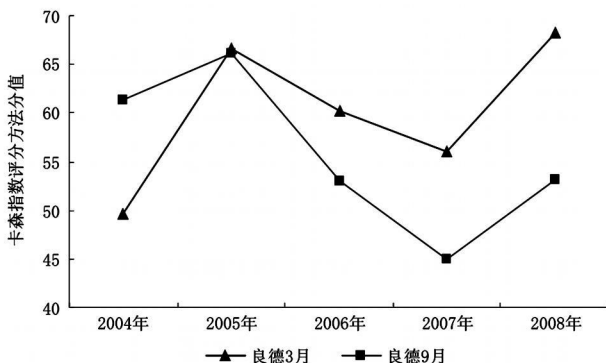
4 库区富营养化原因分析

高州水库污染源主要来自集雨区内农业面源污染、居民生活污染和遗留的作坊式的工业点源污染。

首先, 影响最大的是农业面源污染。高州水库集雨区范围包括了高州市马贵、大坡、古丁、深镇、平山等 5 个镇以及东岸和长坡的部分地域。集雨区范围内的各镇大多属高州市北部山区镇, 耕地面积少,

不进入评分。

卡森指数评分法得出的评价结果如图 2 所示。2004-2008 年高州水库两库区的水质评分值介于 45.0~68.2 之间。平均富营养状况属于贫-中营养到中-富营养之间。从 2005 年起, 两库区每年 3 月份的卡森指数评分值均高于其 9 月份的值, 且呈整体的上升趋势。由卡森指数评分标准可知, 3 月份的富营养程度也呈上升趋势。2008 年石骨、良德两库区的卡森指数评分值分别达到 64.6 和 68.2, 两库区均已经超过卡森指数评分法的富营养评分线 (60 分), 接近中度-富营养化, 并有向重-富营养化发展的趋势。由近年来, 两库区 3 月份水质富营养化评分法评价结果的趋势来看, 2-3 月是高州水库水华暴发的危险期。这和综合营养状态指数法的评价结果一致。



山地较多, 人均耕地 3 分左右。这些地区由于耕地面积少, 山地较多, 农民只有向山地要效益, 从而对山地的开发程度较高, 是以农业为主的经济落后山区。高州水库集雨区内土地面积约 153 万亩, 林地面积 113.6 万亩, 森林植被覆盖率 53.84%。上个世纪 90 年代以来, 库区群众为了发展经济, 提高生活水平, 在库区进行大量的开垦活动, 种植了大量的荔枝、龙眼、香蕉和胡椒等一系列经济作物。大量的农药、化肥也开始在集雨区内使用, 部分作物由于耕作强度大, 带来了严重的水土流失问题。在经济发展初期的土地开垦中, 布局随意没有规划, 长期以来为了经济效益而滥砍滥伐、不合理的耕作方式都给当地生态环境造成了严重的破坏, 最终污染物汇入库区, 引起了水库水质的恶化和逐年严重的富营养化的趋势。

其次, 当地居民环境意识的落后和环保基础设施的严重缺乏, 生活污染源的控制也迫在眉睫。高州水库有三条入库河流, 分别是朋情河、古丁河和深镇河。长年以来当地生活污水直接排入河流; 生活垃圾随处堆放, 而且很多都是堆放在河流沿岸, 水面

上随处可见漂浮的垃圾,既没有进行垃圾的收集,也没有经过初处理,大量的污染物最终汇入水库导致水质恶化。

第三,库区已经命令禁止的一些缺乏污水处理设施的小工厂仍然间歇性营业,污水直接排入河道中。遗留的采石场、矿厂仍在破坏当地的生态环境,特别是大量矿渣破坏植物的正常生长,堵塞河道,影响河流生态系统的发展,重金属等经过地表径流流入库区打破了库区的生态平衡。

5 高州水库水体富营养化控制措施和建议

5.1 农业面源污染控制措施

尽快作出集雨区内科学的环境功能区划,根据区划改变现有的不合理的土地利用方式。并划分出一层保护圈,二层保护圈。

考虑到防治水华应该严格控制氮、磷总量,应将库区沿岸第一重山大约 32.97 万亩林地设置为第一层保护圈,采取严格的封山育林(限制种类)措施予以保护,严禁砍伐岸边的生态林。对岸边已经水土流失严重的地面,直接种植上生态林加强岸边水土的保持。对已有的经济林应该逐步改种。可采取“补、封、租、改并举”的方法,并通过实际调研和问卷制定合理、可行的补偿方案,有效推动库区内生态公益林改造的进程。

充分发挥高科技在面源污染控制中的作用,实施生态农业工程建设。推广生物防治病虫害,减少农药使用量;在集雨区内逐渐减少使用高残留、高毒性、难降解农药,避免化肥频用滥用;提倡用生态肥料替代部分化肥,改变施肥技术,增加生物肥料的使用比例,提高肥料利用率;改变旧的农业耕作方式,改善当地农业生态系统的状态。因地制宜的采取滞水减排、适度控排、控污少排、生物解排的方法和思路。

政策引导和鼓励当地居民外出就业和安居,减少集水区内靠山吃山,靠水吃水的务农人口数量,从根本上解决源头污染的产生。

5.2 生活污染控制措施

加强各乡镇生活污水处理管网系统的建设和人工湿地污水处理工程的建设步骤。减少生活污水对河库的污染。同时加快集雨区内垃圾中转站的、无害化垃圾填埋场的规划项目,以解决高州水库集水区范围内马贵、大坡、古丁、深镇、东岸、长坡、平山等 7 个建制镇的垃圾收集处理工作。并在各镇建立临时垃圾收集点,定期运到处理站,解决由于各镇生活垃圾乱丢入库造成污染的问题。为生活垃圾严禁入河库提供必要的基础设施支持。整治改进已有的入库河流沿岸的大型垃圾堆放点,合理妥善处理

并科学规划。

5.3 工业污染控制措施

根据茂名市生态分级管理规划,高州水库集雨区 1 022 km² 的范围,属于茂名市严格控制区,是茂名市境内面积最大的严格控制区。根据严格控制区的控制要求,该区域禁止一切与生态保护无关的开发建设活动,通过实施天然生态林、生态公益林建设、自然保护区建设和水土流失治理等生态工程促进区域生态环境改善和生态功能恢复。对于已经严令禁止生产但仍在营业的当地小企业,有关部门应该给予坚决的打击,坚决关停惩治。同时应对于库区内石场、矿厂进行关停处罚,并收回已发采矿许可证。逐步将工业驱逐出高州水库水源区,满足其环境容量并体现该区域的功能特别是专注于其划分的生态功能。

参考文献:

- [1]李艳红,杨丽原,刘恩峰,等.南四湖富营养化评价与原因分析[J].济南大学学报(自然科学版),2010,24(2): 212- 215
- [2]黄祥飞.湖泊生态调查观测与分析[M].北京:中国标准出版社,1999: 77- 79
- [3]田永杰,唐志坚,李世斌.中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
- [4]顾 颢,舒金华.湖泊水污染预测及其防治规划方法[M].北京:中国环境科学出版社,1988
- [5] Carlson R E A trophic state index for lakes [J]. Limnol Oceanogr 1977, 22(2): 361- 369
- [6] Coda T. Comprehensive studies on the eutrophication of freshwater areas XI summary of researches The Natural Institute for Environmental Studies. 1981 (27): 59- 71
- [7]蔡庆华.湖泊富营养化综合评价方法[J].湖泊科学,1997,9(1): 89- 94
- [8]荆红卫,华蕾,孙成华.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
- [9]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: 286- 302
- [10]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
- [11]朱广伟.太湖富营养化现状及原因分析[J].湖泊科学,2008,20(1): 21- 26
- [12]金相灿.中国湖泊环境[M],北京:海洋出版社,1995
- [13]郑晓红,汪琴.淀山湖水质状况及富营养化评价[J].环境监测管理与技术,2009,21(2): 68- 70
- [14]韩冰雪.松北湿地水体富营养化状态评价[J].哈尔滨师范大学自然科学学报,2009,25(5): 102- 106
- [15]陈晓宏,姜涛,陈俊合.水环境评价与规划[M].广州:中山大学出版社,2001: 64- 70
- [16]刘丽萍.九龙甸水库水质评价及富营养化趋势分析[J].环境科学导刊,2009,28(1): 45- 47