

文章编号: 1674- 5566(2010) 01- 0105- 06

太湖水质现状与主要污染物分析

成芳¹, 凌去非¹, 徐海军¹, 林建华², 吴林坤², 贾文方²

(1. 苏州大学生命科学学院, 江苏 苏州 215123;

2. 江苏省太湖渔业管理委员会, 江苏 苏州 215168)

摘要: 2007年11月至2008年8月,按季度对太湖进行水化学及水生生物学分析采样,并采用水质污染指数评价法和综合富营养化指数法对太湖水质现状和主要污染物进行评价与分析。水质污染指数法分析结果显示,太湖的主要污染物为氮(N)、磷(P)和有机耗氧量(COD_{Mn})。总磷(TP)所占的污染负荷指数最大(34.34%~54.34%),平均污染指数为48.36%。叶绿素a(Chl-a)与TN、TP和COD_{Mn}之间呈显著正相关, Pearson相关系数分别为0.715($P < 0.01$)、0.666($P < 0.01$)和0.740($P < 0.01$)。采用综合营养状态指数法评价太湖的水质状态,发现太湖4个季节的综合营养状态指数TLI(Σ)值均在60~70之间,平均值为65.54。各季节的水质状态差异较小。太湖水质整体上已处于中度富营养状态,部分区域已呈严重富营养化。

关键词: 太湖; 富营养化; 水质污染评价指数法; 综合营养状态指数

中图分类号: S 912 文献标识码: A

Assessment of water quality and the main pollutions of Taihu Lake

CHENG Fang¹, LING Qu-fei¹, XU Hai-jun¹, LIN Jian-hua², WU Lin-kun², JIA Wen-fang²

(1. School of Life Sciences, Soochow University, Suzhou 215123, China

2. Taihu Lake Fisheries Administration Committee of Jiangsu Province, Suzhou 215168, China)

Abstract The analysis samples of water chemistry and aquatic biology were collected quarterly in Taihu Lake from November 2007 to August 2008. We evaluate the actual condition of water quality and the main pollution sources of Taihu Lake by ways of water pollution index and comprehensive analysis of eutrophication. Evaluation of water pollution index analysis revealed that the main pollutants in Taihu Lake were nitrogen (N), phosphorus (P) and organic oxygen consumption (COD_{Mn}). Total phosphorus (TP) shared the largest pollution load index (34.34% - 54.34%), with the average pollution index of 48.36%. TN, TP and COD_{Mn} had a significant positive correlations with Chlorophyll a (Chl-a), Pearson correlation coefficients were 0.715 ($P < 0.01$), 0.666 ($P < 0.01$) and 0.740 ($P < 0.01$) respectively. According to comprehensive analysis of nutritional status indicators, it also showed that TLI (Σ) values of Taihu Lake were between 60 and 70 in four seasons, with a mean value of 65.54. The seasonal changes of water quality were small. In a word, Taihu Lake was in a moderately eutrophication, and some of the region had shown a serious eutrophication.

Key words Taihu Lake; eutrophication; evaluation index of water pollution; comprehensive pollution index

收稿日期: 2009-07-19

基金项目: 江苏省科技厅自然科学基金项目 (BK2007735)

作者简介: 成芳 (1983-), 女, 硕士研究生, 专业方向为水生生物学与水域修复生态学。E-mail: fangfang-5403@163.com

通讯作者: 凌去非, E-mail: Lingqf@suda.edu.cn

湖泊是地表生态系统中人类赖以生存的自然单元之一。作为一种独特的资源,湖泊在供水、防洪、养殖、旅游、航运、维持生态平衡 and 环境保护等方面发挥着巨大的社会经济作用。近年来,由于人口增加和工农业生产的发展,湖泊资源的过度开发与不合理的利用,已造成湖泊水资源短缺、水环境恶化和生态系统退化的严重局面,特别是富营养化问题,已严重威胁到社会经济的可持续发展 and 人类健康^[1-3]。

太湖是中国五大淡水湖之一,流域包括苏州、无锡、湖州等 38 个市县。相连通的河流计 220 余条。太湖面积为 2 428 km²,平均深度为 1.89 m,最大深度 2.6 m,湖泊总蓄水量为 4.43 × 10⁹ m³,是典型的浅碟形湖泊^[4]。近年来太湖污染严重,2003 年太湖梅梁湾蓝藻大规模爆发,影响了居民的正常生活。2007 年太湖蓝藻再次爆发,数百万居民饮用水出现危机^[5-6]。为此,我们从 2007 年 11 月至 2008 年 8 月对太湖水体的水化学特征及水生生物群落结构进行周年调查,对太湖水质现状及主要污染物进行研究与分析,为太湖污染的进一步治理及管理提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 采样点的分布

2007 年 11 月至 2008 年 8 月共 4 次对太湖 14 个采样点采集水样和水生生物样(图 1,表 1)。太湖为典型的浅水湖泊,水体垂直循环较水平循环快,且不同湖区周围环境不同,受湖区周围人类活动影响不同,湖区水平差异较大,故在太湖不同湖区设立采样点。在水体表面下 0.5 m 处采集水样。

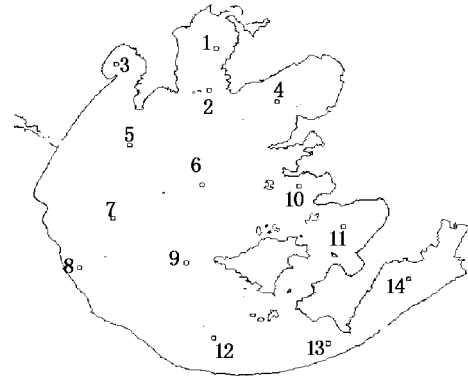


图 1 太湖水质与水生生物学样品采样点分布
Fig 1 Water chemistry and aquatic biology sampling sites in Taihu Lake

表 1 太湖各采样点的分布区域及经纬度
Tab 1 The distribution, latitude and longitude of sampling sites in Taihu Lake

	1	2	3	4	5	6	7
邻近区	梅梁湾	拖山	竺山湖	贡湖	焦山	湖心区	平台山
经度	120° 11' 39"	120° 11' 14"	120° 1' 41"	120° 17' 44"	120° 3' 22"	120° 10' 14"	120° 15' 11"
纬度	31° 28' 35"	31° 24' 40"	31° 27' 0"	31° 23' 11"	31° 18' 29"	31° 14' 53"	31° 30' 47"
	8	9	10	11	12	13	14
邻近区	大雷山	竹山岛	漫山岛	长沙岛	小雷山	泽山	东山东
经度	119° 58' 2"	120° 8' 38"	120° 19' 33"	120° 24' 21"	120° 11' 23"	120° 22' 45"	120° 30' 48"
纬度	31° 6' 28"	31° 6' 59"	31° 14' 41"	31° 10' 37"	31° 59' 28"	31° 58' 51"	31° 5' 22"

1.2 水质监测项目及分析方法

水质监测指标包括水温(WT)、水深、透明度(SD)、pH 值、溶解氧(DO)、氨态氮(NH₃-N)、硝态氮(NO₃-N)、总氮(TN)、总磷(TP)、化学耗氧量(COD)、叶绿素 a(Chl a)及重金属等,在水下 0.5 m 处采集水样测定各相关指标。相关化学指标的测定方法参照地面水分析国家标准^[7]。具体分析方法是:水温采用温度计直接测定;透明度采用塞氏盘法; pH 值采用 pH 计直接测定;溶解氧采用碘量法;氨态氮采用纳氏比色法;硝酸

盐氮测定采用酚二磺酸分光光度法;总氮采用过硫酸钾法;总磷采用钼酸铵分光光度法测定;COD 采用高锰酸钾法;叶绿素 a 测定参照乙醇萃取法^[8-9];重金属元素采用原子吸收分光光度法。

1.3 营养状态评价方法

1.3.1 污染指数评价法

水质评价指数法的出发点是根据水质组分浓度相对于其环境质量的标准的的大小来判断水质的质量状况。水质的污染指数 P 的计算公式为^[10]

$$P = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \quad (1)$$

$$P_i = \frac{C_i}{S_i} \quad i=1, 2, \dots, n \quad (2)$$

式中: P 为水质污染指数; P_i 为污染物 i 的污染指数; C_i 为污染物 i 的实测浓度 (mg/L); S_i 为污染物 i 的评价标准; n 为参加评价的污染个数。

污染负荷分担率 K_i 的计算公式^[11]为

$$K_i = \left(P_i - \sum_{j=1}^n P_j \right) \times 100\% \quad (3)$$

式中: P 与 P_i 同前式。

指数评价法依据国家《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)中的Ⅲ类水质标准来确定(表2)。

表2 地表水质量分级标准

Tab 2 Classification of surface water quality standards

P值	< 0.2	0.2~0.4	0.4~0.7	0.7~1.0	1.0~2.0	> 2.0
级别	清洁	尚清洁	轻污染	中污染	重污染	严重污染

1.3.2 综合营养状态指数法

根据中华人民共和国环境保护部, 2004年的湖泊(水库)富营养化评价方法及分级技术规定的湖泊(水库)富营养化状况评价方法: 综合营养状态指数法进行评价。

综合营养状态指数采用修正的卡尔森指数方法^[2], 计算公式如下:

$$TLI(\Sigma) = \sum_{j=1}^m W_j \cdot TLI(j) \quad (4)$$

式中: $TLI(\Sigma)$ 为综合营养状态指数; W_j 为第 j 种参数的营养状态指数的相关权重; $TLI(j)$ 代表第 j 种参数的营养状态指数, 以 $Chl-a$ 作为基准参数, 则第 j 种参数的归一化的 W_j 计算式为

$$W_j = \frac{r_{ij}^2}{\sum_{j=1}^m r_{ij}^2} \quad (5)$$

式中: r_{ij} 为第 j 种参数与基准参数 $Chl-a$ 的相关系数; m 为评价参数的个数。

营养状态指数计算公式为

$$TLI(Chl-a) = 10(2.5 + 1.086 \ln Chl-a) \quad (6)$$

$$TLI(TP) = 10(9.436 + 1.624 \ln TP) \quad (7)$$

$$TLI(TN) = 10(5.453 + 1.694 \ln TN) \quad (8)$$

$$TLI(SD) = 10(5.118 - 1.94 \ln SD) \quad (9)$$

$$TLI(COD_{Mn}) = 10(0.109 + 2.661 \ln COD_{Mn}) \quad (10)$$

式中: $Chl-a$ 为叶绿素 a (mg/m³); SD 为透明度

(m); 其它指标单位均为 mg/L。

采用 0~100 的一系列连续数字对湖泊(水库)营养状态进行分级, 包括: 贫营养、中营养、富营养、轻度富营养、中度富营养和重度富营养(表3)。

表3 水质类别与评分值对应表

Tab 3 The score values corresponding to water quality category

营养状态分级	评分值 $TLI(\Sigma)$	定性评价
贫营养	$0 < TLI(\Sigma) \leq 30$	优
中营养	$30 < TLI(\Sigma) \leq 50$	良好
轻度富营养	$50 < TLI(\Sigma) \leq 60$	轻度污染
中度富营养	$60 < TLI(\Sigma) \leq 70$	中度污染
重度富营养	$70 < TLI(\Sigma) \leq 100$	重度污染

2 结果

2.1 各因子之间的相关关系

太湖污染组成复杂, 为了突出对富营养化有指示作用的因素, 对 pH 值、溶解氧 (DO)、水温 (WT)、透明度 (SD)、氨态氮 (NH₃-N)、总氮 (TN)、总磷 (TP)、化学耗氧量 (COD_{Mn}) 和叶绿素 a (Chl-a) 等 9 个指标进行多元分析。为了消除量纲的影响首先对数据进行了标准化, 然后进行 Pearson 相关分析, 得到相关系数矩阵(表4)。

Chl-a 与 SD、DO 负相关, 相关系数分别为 -0.541 和 -0.214。Chl-a 与 TN、TP、COD_{Mn} 和 NH₃-N 之间呈显著正相关, Pearson 相关系数分别为 0.715 ($P < 0.01$)、0.666 ($P < 0.01$)、0.740 ($P < 0.01$) 和 0.560 ($P < 0.01$)。DO 与 TP、TN、COD_{Mn}、NO₃-N 负相关, 相关系数分别为 -0.550 ($P < 0.05$)、-0.536 ($P < 0.05$)、-0.554 ($P < 0.05$) 和 -0.614 ($P < 0.05$)。SD 与 TP 显著负相关, 相关系数为 -0.628 ($P < 0.01$)。

2.2 污染指数评价

按照国家《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)中的Ⅲ类水质标准计算其污染指数 P , 使用的评价因子包括 pH 值、DO、COD、NH₃-N、TP 和 TN 6 项指标, 评价因子的标准为: pH 值为 6~9, DO 为 5 mg/L; COD 为 20 mg/L; NH₃-N 为 1.0 mg/L; TP 为 0.05 mg/L; TN 为 1.0 mg/L。水质指标的值取各采样点 4 次采样的平均值计算其污染负荷分担率 K_i 值(表5)。

污染负荷分担率 K_i 值显示, 污染负荷最大指

标集中在 TN、TP 和 COD 这 3 项因子。其中 TP 所占的污染负荷指数最大, 在 7 号点高达 54.34%, 10 号点最低仍达到 34.34%, 平均污染指数达 48.36%。国家地表水质量标准中 Ⅲ类水质规定湖、库含磷量 ≤ 0.05 mg/L, 而调查结果显示含磷量最低的 10 号点仍达到 0.09 mg/L, 接近 Ⅲ级水质的标准, 而最高值高达 0.2 mg/L, 已经达到 Ⅱ类水质标准。其次是 TN, 其污染物负荷指

数最高达 33.39%, 最低为 21.19%, 平均水平达到 26.59%。TN 最低含量为 1.56 mg/L, 已经超过了 Ⅲ类水质标准。从污染物负荷指数可知太湖的首要污染物是磷, 其次是氮和化学耗氧量。

14 个采样点水质的 P 值范围在 0.81~1.72 之间, 平均值为 1.20。根据地表水质量分级标准 (表 2) 判断各点位的水质污染等级, 显示太湖水质污染极其严重, 水体环境质量极不乐观 (表 6)。

表 4 各因子之间的 Pearson 相关系数矩阵

Tab 4 Pearson correlation coefficient matrix of the factors

相关项目	pH 值	DO	NH ₃ -N	TP	TN	COD _{Mn}	Chl-a	WT	SD	NO ₃ -N
pH 值	1.000									
DO	0.184	1.000								
NH ₃ -N	0.312	-0.149	1.000							
TP	0.117	-0.550	* 0.078	1.000						
TN	0.380	-0.536 [*]	0.473	0.749 [†]	1.000					
COD _{Mn}	0.326	-0.554 [*]	0.493	0.543 [‡]	0.641 [†]	1.000				
Chl-a	0.417	-0.214	0.560 [*]	0.666 [*]	0.715 [*]	0.740 [*]	1.000			
WT	0.462	-0.320	-0.040	0.416	0.370	0.314	0.226	1.000		
SD	0.142	0.376	0.116	-0.682 [*]	-0.278	-0.429	-0.541 [*]	-0.057	1.000	
NO ₃ -N	-0.382	-0.614 [*]	0.133	0.578 [‡]	0.570 [‡]	0.212	0.247	-0.014	-0.293	1.000

注: * 表示相关 ($P < 0.05$); ** 表示显著相关 ($P < 0.01$)。

表 5 各位点水质指标的均值及 Ki 值

Tab 5 The mean and Ki values of water quality indicators

点位	pH 值		DO (mg/L)		COD (mg/L)		NH ₃ -N (mg/L)		TP (mg/L)		TN (mg/L)	
	均值	Ki 值	均值	Ki 值	均值	Ki 值	均值	Ki 值	均值	Ki 值	均值	Ki 值
1	8.89	10.34	8.79	1.54	18.95	10.57	0.06	0.67	0.23	51.33	2.29	25.55
2	8.64	8.54	9.06	0.80	21.20	11.91	0.05	0.56	0.24	53.92	2.16	24.27
3	8.22	4.65	6.41	6.56	25.98	12.58	0.07	0.68	0.26	50.36	2.60	25.18
4	8.43	10.08	8.34	3.97	19.38	15.75	0.04	0.65	0.13	42.26	1.68	27.30
5	8.62	8.04	7.79	3.88	27.13	14.61	0.04	0.43	0.23	49.55	2.18	23.48
6	8.26	7.53	7.71	5.95	14.85	11.03	0.04	0.59	0.17	50.52	1.64	24.37
7	8.34	7.61	8.33	3.59	18.93	12.86	0.03	0.41	0.2	54.34	1.56	21.19
8	8.14	5.95	8.66	2.86	21.5	14.98	0.05	0.70	0.18	50.16	1.82	25.36
9	8.24	6.98	8.8	2.29	14.4	10.19	0.03	0.42	0.19	53.78	1.86	26.33
10	8.71	15.39	9.22	1.59	14.83	14.15	0.06	1.14	0.09	34.34	1.75	33.39
11	8.30	9.39	8.98	2.77	11.83	10.41	0.03	0.53	0.13	45.75	1.77	31.15
12	8.09	5.82	8.91	2.59	12.65	9.36	0.05	0.74	0.19	56.21	1.71	25.29
13	8.14	8.67	9.13	1.46	12.5	12.69	0.04	0.81	0.11	44.68	1.56	31.68
14	8.50	10.21	8.87	2.31	24.4	18.69	0.08	1.23	0.13	39.83	1.81	27.73
平均	8.39	8.51	8.5	3.01	18.47	12.84	0.05	0.68	0.18	48.36	1.89	26.59

表 6 太湖各点位的水质污染等级

Tab 6 The water pollution level in monitor sites of Taihu Lake

点位	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
P 值	1.49	1.48	1.72	1.03	1.55	1.12	1.23	1.20	1.18	0.81	0.95	1.13	0.82	1.09
等级	重	重	重	重	重	重	重	重	重	中	中	重	中	重

2.3 综合营养状态指数法评价

2.3.1 综合评价太湖周年的营养水平

根据综合营养状态指数法对太湖每个季节的营养水平进行评估。结果显示太湖周年的 $TLI(\Sigma)$ 值均在 60~70 之间(表 7), 平均值为 65.54, 各季节的水质状态差异较小, 整体而言, 太湖已处于中度富营养状态。

表 7 太湖周年富营养化水平

Tab 7 The level of eutrophication in Taihu Lake in a year

季节	秋季	冬季	春季	夏季
$TLI(\Sigma)$ 值	65.81	67.81	64.26	68.26
营养分级	中度富营养	中度富营养	中度富营养	中度富营养

2.3.2 太湖周年营养水平

根据综合营养状态指数法对太湖 4 次采样所有采样点的营养水平进行评估, 对其不同时空状态的营养水平综合指数进行归类。

各采样点春夏秋冬四季的 $TLI(\Sigma)$ 值有所不同, 但均表现出一定程度的富营养化现象。其中有 8 个采样点在不同季节均表现出重度富营养化的情况。夏季 2 号点所在水域的 $TLI(\Sigma)$ 值达 78.52 为四季所有采样点的最高值, 属于重度富营养化(图 2)。

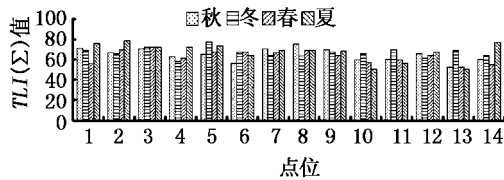


图 2 太湖各采样点周年的 $TLI(\Sigma)$ 值的变化
Fig 2 The $TLI(\Sigma)$ value changes of sampling sites in Taihu Lake during the year

各采样点的 $TLI(\Sigma)$ 值与 TP 呈现很好的正相关(图 3), 具有相似的峰度变化趋势。通过拟合发现, $TLI(\Sigma)$ 值与 TP 呈指数相关, 关系式为 $y = 0.0023e^{0.0652x}$, $R^2 = 0.8649$, Pearson 相关指数

为 0.92。

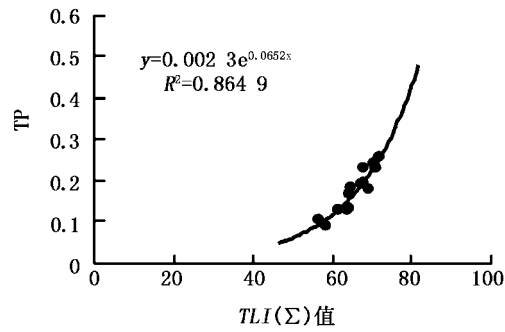


图 3 太湖各采样点 TP 与 $TLI(\Sigma)$ 值的关系拟合
Fig 3 Fitting relationships between TP and $TLI(\Sigma)$ values of the sampling points in Taihu Lake

3 讨论

3.1 太湖主要污染因子

太湖 2007 年 11 月至 2008 年 8 月的水质状况调查, 表明目前太湖污染负荷最大指标集中在 TN、TP 和 COD 等 3 个因子, 其中, 首要污染物是 P, 其次是 N 和 COD。TP 所占的污染负荷指数最大, 平均污染指数达 48.36%。所检测的磷浓度最低值达到 0.09 mg/L, 接近Ⅲ级水质的标准, 而最高值高达 0.2 mg/L, 已经达到Ⅴ类水质标准。

整个太湖氮、磷含量从西到东呈现下降趋势, 尤其是位于太湖西北部的 1、2、3 号位点的氮、磷含量明显高于湖心区附近的 6、7、9 号位点, 表明了沿岸污水排放是太湖水体污染物的重要来源。近 20 余年来, 太湖流域的工业产值特别是太湖沿岸的乡镇企业工业产值翻了 2~3 倍, 尽管实施了达标排放, 但总排放量却不断增加^[12]。同时, 太湖流域城市化建设的加快、人口的增加和农业的发展, 也增加了 N、P 的排放量。1987 年, 进入太湖的 TP 仅为 1.326 69 t TN 为 26 020 t^[4], 而到 2002 年, 分别达 1 890 t 和 44 600 t^[13], 15 年间, 分别增加了 42.46% 和 71.41%。

同时,多年来由径流带入太湖水体的污染物总量大大超过了水体的自净能力,且太湖敞水区水生植被覆盖率较低,仅在 10、13 和 14 号位点观测到水生植被覆盖。污染物主要被藻类吸收,藻类生长、繁殖、死亡,最后沉集在底泥中。因此,底泥已成为目前太湖主要内源污染贡献者之一^[14]。

3.2 太湖水体富营养化状态

太湖四季的水质状态差异较小,整体而言太湖已处于中度富营养状态,部分区域已呈严重富营养化。水质污染评价指数法分析及综合营养状态指数法分析结果均显示,不仅梅梁湾和湖心区呈现富营养化状态,即使是水生植被覆盖率较高的东太湖也表现出一定程度的富营养化。

20 世纪 60 年代太湖略呈贫富营养状态,1981 年时仍属于中富营养湖泊^[14]。从 20 世纪 80 年代后期,太湖北部梅梁湾开始频繁爆发蓝藻水华^[15-16]。近年来,与 20 世纪 90 年代相比,太湖的藻型状态似乎变得越来越稳定^[17],这与太湖的沉积物中积累了大量的营养盐,内源负荷量大,且太湖是浅水湖泊受风浪影响较大,强烈的风浪扰动特点使得太湖沉积物与水体的营养盐交换频繁,能够快速补充水华爆发期间的营养盐需求有关^[18]。本研究发现太湖 14 个样点中,只有处于东部水体的 3 个样点水质属于中度污染,重污染样点占 78.6%。微囊藻水华的适应范围是水温 20℃ 以上,水体 TP 浓度 0.1~0.8 mg/L, TN 浓度 2.5~3.5 mg/L, 以及适度浑浊的透明度条件有利于微囊藻与其他藻类竞争^[19]。本次调查结果显示,位于太湖北部的 1、2、3 号位点 TP 四季平均值分别为: 0.23 mg/L、0.24 mg/L 和 0.26 mg/L; 湖心区的 6、7、9 号位点 TP 四季平均值分别为: 0.17 mg/L、0.20 mg/L 和 0.19 mg/L, 这说明无论是太湖北部还是湖心区,总磷的条件都已经达到微囊藻水华的最佳形成条件。因此,就水体污染因子现状而言,目前太湖尤其是太湖北部水域以藻类为主的生态系统会越来越稳定。

总之,太湖目前的污染现状较为严重,已处于中度富营养状态。主要污染物是 TP、TN 和 COD,尤其是 TP 污染严重。针对太湖的污染现状,治理太湖首要任务是全流域降低 TP、TN 和 COD 的排放,控制湖水污染物的总排放量。同时,加快太湖的生态修复工作,建立有效的 N、P

的输出模式,真正实现太湖的科学治理与长效管理。

参考文献:

- [1] 濮培民, 王国祥, 李止魁, 等. 健康水生态系统的退化及其修复理论、技术及应用 [J]. 湖泊科学, 2001, 13(3): 193-203
- [2] 金相灿. 中国湖泊环境 (第一册) [M]. 北京: 海洋出版社, 1995: 234-278
- [3] 舒金华, 黄文钰, 吴延根. 中国湖泊营养类型的分类研究 [J]. 湖泊科学, 1996, 8(3): 193-20
- [4] 黄漪平. 太湖水环境及其污染控制 [M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [5] Lucie G. Doing Battle with the green monster of Taihu Lake [J]. Science, 2007, 8(317): 1166.
- [6] Yang M, Yu J W, Li Z L, et al Taihu Lake not to blame for Wuxi swoes [J]. Science, 2008, 1(319): 158.
- [7] 中国标准出版社第二编辑室. 水质分析方法国家标准汇编 [S]. 北京: 国家标准出版社, 1996
- [8] 杨彩根, 宋学宏, 孙丙耀. 浮游植物叶绿素 a 含量简易测定方法的比较 [J]. 海洋科学, 2007, 31(1): 6-9.
- [9] 陈宇炜, 高锡云. 浮游植物叶绿素 a 含量测定方法的比较测定 [J]. 湖泊科学, 2000, 12(2): 185-188.
- [10] 陈晓宏, 江涛, 陈俊合. 水环境评价与规划 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007: 40-41
- [11] 肖建军, 毛剑英, 石来元, 等. 湖库水质评价因子选择方案探讨 [J]. 中国环境监测, 2005, 4(21), 53-55.
- [12] 孔繁翔, 胡维平, 范成新, 等. 太湖流域水污染控制与生态修复的研究与战略思考 [J]. 湖泊科学, 2006, 18(3): 193-198
- [13] 翟淑华, 张红举. 环太湖河流进出湖水量及污染负荷 (2000-2002年) [J]. 湖泊科学, 2006, 18(3): 225-230
- [14] Chen Y W, Fan C X, Teubner K, et al Changes of nutrients and phytoplankton chlorophyll a in a large shallow lake, Taihu China: a 8-year investigation [J]. Hydrobiologia, 2003, 506/509: 273-279
- [15] 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量化——I 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.
- [16] Qin B Q, Xu P Z, Wu Q L, et al. Environmental issues of Lake Taihu China [J]. Hydrobiologia, 2007, 581: 3-14.
- [17] 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.
- [18] Gao G, Zhang Q W, Qin B Q, et al. A alkaline phosphatase activity and the phosphorus mineralization rate of lake Taihu [J]. Science in China Series D: Earth Science, 2006, 49 (Supp I): 38-55
- [19] Chen Y W, Fan C X, Teubner K, et al Long-term dynamics of phytoplankton assemblages: Microcystis-domination in Lake Taihu, a large shallow lake in China [J]. Journal of Plankton Research, 2003, 25(1): 445-453.