

文章编号: 1004-7271(2008)05-0564-06

## 乌伦古湖水质及营养水平调查

董 攸<sup>1</sup>, 江 敏<sup>1</sup>, 刘其根<sup>1</sup>, 黄央央<sup>1</sup>, 沈建忠<sup>2</sup>,  
刘 军<sup>3</sup>, 马徐发<sup>2</sup>, 李周永<sup>3</sup>, 郝志才<sup>3</sup>, 刘 宇<sup>2</sup>

- (1. 上海海洋大学农业部水产种质资源与养殖生态重点开放实验室 上海 200090;
2. 华中农业大学水产学院 湖北 武汉 430070;
3. 新疆福海县水产局 新疆 福海 836400)

**摘 要:**于2006年11月-2007年8月对乌伦古湖(包括吉力湖和布伦托海)水质进行调查,分析了透明度、叶绿素 a、高锰酸盐指数、总氮、总磷等水质指标年内的变化规律,采用综合营养状态指数(TLI)对其营养水平现状进行评价。研究表明,乌伦古湖透明度年平均值为 $(2.53 \pm 1.07)$ m,叶绿素 a 年平均值为 $(3.59 \pm 18.34)$ mg/m<sup>3</sup>,高锰酸盐指数年平均值为 $(5.423 \pm 1.369)$ mg/L,总氮年平均值为 $(0.856 \pm 0.205)$ mg/L,总磷年平均值为 $(0.028 \pm 0.033)$ mg/L。布伦托海全年处于中营养水平,年平均 TLI 为 38.51;吉力湖夏季已达到中度富营养水平,TLI 为 60.90,其余季节处于中营养水平。两湖 TLI 值均呈现夏高冬低的变化趋势。海滨浴场、小海子和中海子全年均处于中营养水平。中海子营养水平(TLI 年平均值为 44.02)略高于全湖平均值。后孢子夏季 TLI 为 72.96,已达到重度富营养水平,其它季节处于中营养水平。此次调查还表明,养殖生产会加大水体的富营养化程度。总体上来看,乌伦古湖处于中营养水平,其中布伦托海水质好于吉力湖。

**关键词:**乌伦古湖;综合营养状态指数;营养水平

中图分类号:S 912 文献标识码:A

## Research on water quality and trophic level in Wulungu Lake

DONG You<sup>1</sup>, JIANG Min<sup>1</sup>, LIU Qi-gen<sup>1</sup>, HUANG Yang-yang<sup>1</sup>, SHEN Jian-zhong<sup>2</sup>,  
LIU Jun<sup>3</sup>, MA Xu-fa<sup>2</sup>, LI Zhou-yong<sup>3</sup>, HAO Zhi-cai<sup>3</sup>, LIU Yu<sup>2</sup>

- (1. Key Laboratory of Aquatic Genetic Resources and Aquacultural Ecology Certificated by the Ministry of Agriculture, Shanghai Ocean University, Shanghai 200090, China;
2. College of fisheries, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;
3. Xinjiang Fuhai Fisheries Bureau, Fuhai 836400, China)

**Abstract:** An investigation on water quality of Wulungu Lake composed of Jili Lake and Buluntuo Lake was carried out from November 2006 to August 2007. We studied the changes of parameters as transperance, chlorophyll a, COD<sub>Mn</sub>, TN and TP in the whole year. Appraisalment was made by using TLI to evaluate the water trophic level of Wulungu Lake. The results showed; the annual mean of transperance was  $(2.53 \pm 1.07)$ m, Chla was  $(3.57 \pm 18.34)$ mg/m<sup>3</sup>, COD<sub>Mn</sub> was  $(5.423 \pm 1.369)$ mg/L, TN was  $(0.856 \pm 0.205)$ mg/L, and

收稿日期:2008-01-01

基金项目:上海市重点学科建设项目(Y1101)

作者简介:董 攸(1983-),男,河南原阳人,硕士研究生,专业方向为渔业水环境调控。E-mail:wayne\_19831002@yahoo.com.cn

通讯作者:江 敏,E-mail:mjiang@shou.edu.cn

TP was  $(0.028 \pm 0.033)$  mg/L. The trophic level of Buluntuo Lake was Mesotrophic ( $TLI = 38.51$ ). Jili Lake was moderate eutrophic in summer ( $TLI = 60.90$ ) while Mesotrophic in other seasons. The trophic levels of two lakes changed along with temperature which were higher in the summer and lower in the winter. In all seasons, the trophic level of area at the lakeside swimming ground, the Xiaohaizi and the Zhonghaizi Reproduction Conservation ground were Mesotrophic. Zhonghaizi ( $TLI = 44.02$ ) was a little higher than the average  $TLI$  of the lake. The eutrophic level of Houpaizi ( $TLI = 72.96$ ) was Hyper eutrophic in summer while Mesotrophic in other seasons. This investigation also showed that aquaculture might increase the eutrophication level of the water. The investigation indicated that water trophic level of Wulungu Lake was mesotrophic and the water quality of Buluntuo Lake was better than Jili Lake as a whole.

**Key words:** Wulungu Lake; trophic state index; trophic level

乌伦古湖 ( $N47^{\circ}10.4'$ ;  $E87^{\circ}11.6'$ ) 位于新疆准噶尔盆地北部, 由布伦托海和吉力湖组成, 为北疆最大的内陆断陷湖泊。布伦托海面积  $745 \text{ km}^2$ , 蓄水量  $59.0 \text{ 亿 m}^3$ , 平均水深  $7.9 \text{ m}$ ; 吉力湖面积  $172 \text{ km}^2$ , 蓄水量  $15.0 \text{ 亿 m}^3$ , 平均水深  $8.7 \text{ m}$ 。发源于阿尔泰山的乌伦古河为该湖主要水源。乌伦古河先流入吉力湖, 经西北流出, 再经  $8 \text{ 千米}$  的库依戈河汇入布伦托海。1988 年建成的新“引额济海”渠道工程, 每年可从额尔齐斯河引  $1.85 \text{ 亿 m}^3$  水量注入布伦托海。乌伦古湖鱼类资源丰富, 以盛产白斑狗鱼 (*Esox lucius*)、池沼公鱼 (*Hypomesus olidus*)、鲤鱼 (*Cyprinus carpio*)、贝加尔雅罗鱼 (*Leuciscus baicalensis*)、河鲈 (*Perca fluviatilis*)、东方欧鳊 (*Abramis brama orientalis* Berg) 等著称。由于人类的开发活动, 加之乌伦古湖水循环缓慢, 在一定程度上导致了水质的恶化。上世纪 60–80 年代, 有研究者指出, 乌伦古湖水质不容乐观, COD 达到  $13.36 \text{ mg/L}$ , 总氮达  $1.98 \text{ mg/L}$ , 总磷达  $0.105 \text{ mg/L}$ , 透明度只有  $0.47 \text{ m}^{[1-2]}$ , 属 IV 类水。李新贤等<sup>[3]</sup>2005 年指出, 乌伦古湖已属于中营养水体。课题组于 2006 至 2007 年分季度对乌伦古湖的 29 个站位进行了调查, 对其营养状态进行了客观评价, 调查结果可为乌伦古湖的开发、利用以及富营养化防治提供参考。

## 1 调查方法和水质分析

### 1.1 站位布设

根据地表水监测技术规范 (HJ/T 91–2002) 的有关规定<sup>[4]</sup>, 设置 29 个采样点, 于 2006 至 2007 年每季度采样一次。采样点分布如图 1 所示: 站位 1–25 位于布伦托海中, 站位 26–28 位于吉力湖中, 站位 29 位于乌伦古河上的福海水库。各采样点均取表层 ( $0.5 \text{ m}$ )、中层、底层 (底上  $0.5 \text{ m}$ ) 等体积水样混合后进行分析。

### 1.2 监测指标与方法

根据地表水环境质量标准推荐的方法, 测定各水样的透明度 (SD)、叶绿素 a (Chl. a)、总磷 (TP)、总氮 (TN) 和高锰酸盐指数 ( $\text{COD}_{\text{Mn}}$ )<sup>[5–7]</sup>。

## 2 富营养化评价方法

依据《湖泊 (水库) 富营养化评价方法及分级技术规定》<sup>[8]</sup>, 采用综合营养状态指数对乌伦古湖的

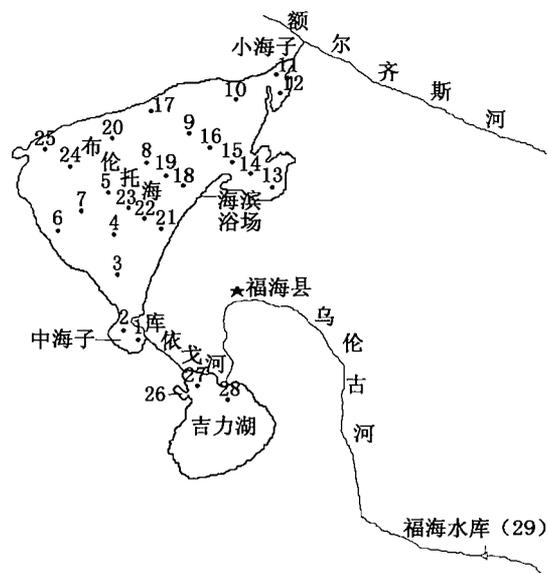


图 1 乌伦古湖采样点分布图

Fig. 1 The sample stations in the Wulungu Lake

现状调查结果进行评价<sup>[9-14]</sup>。

2.1 评价因子营养状态指数计算公式:

$$TLI(Chl a) = 10 \times (2.5 + 1.086 \times \ln Chl. a)$$

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

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

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

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

式中:叶绿素 a(Chl. a)单位为 mg/m<sup>3</sup>,透明度 SD 单位为 m;其它指标单位均为 mg/L。

2.2 综合营养状态指数计算公式

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

式中:TLI(Σ)为综合营养状态指数;m为评价参数的个数;TLI(j)为第j种参数的营养状态指数;W<sub>j</sub>为第j种参数的营养状态指数的相关权重。

2.3 相关权重计算公式

以 Chla 作为基准参数,则第j种参数的归一化的相关权重(W<sub>j</sub>)计算公式为:

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

式中:m为评价参数的个数;r<sub>ij</sub>为第j种参数与基准参数 Chl. a 的相关系数<sup>[1-2]</sup>。

2.4 湖泊(水库)营养状态分级

根据 TLI(Σ)数值对湖泊营养状态进行分级,分级标准见表1。在同一营养状态下,指数值越高,其营养程度越重。

表1 湖泊(水库)营养状态分级标准  
Tab.1 Classification standard of lake (reservoir) trophic level

综合营养指数	富营养化程度
TLI(Σ) < 30	贫营养(Oligotropher)
30 ≤ TLI(Σ) ≤ 50	中营养(Mesotropher)
TLI(Σ) > 50	富营养(Eutropher)
50 < TLI(Σ) ≤ 60	轻度富营养(Light eutropher)
60 < TLI(Σ) ≤ 70	中度富营养(Middle eutropher)
TLI(Σ) > 70	重度富营养(Hyper eutropher)

3 结果与分析

3.1 乌伦古湖水质变化

调查期间乌伦古湖水质监测指标的变化情况如表2所示。乌伦古湖透明度为0.6 m - 4.7 m,平均(2.53 ± 1.07)m,最小值出现在2007年7月的26

表2 乌伦古湖水质监测结果  
Tab.2 Result of water quality monitoring in Wulungu Lake

采样地点	采样时间	监测项目				
		SD(m)	Chl. a(mg/m <sup>3</sup> )	TP(mg/L)	TN(mg/L)	COD <sub>Mn</sub> (mg/L)
布伦托海	2006年11月	1.60 ± 0.21	-	0.020 ± 0.004	-	5.089 ± 0.363
	2007年1月	3.71 ± 0.48	1.935 ± 1.483	0.029 ± 0.021	0.908 ± 0.195	4.736 ± 0.339
	2007年4月	3.26 ± 0.94	1.456 ± 2.304	0.014 ± 0.003	0.806 ± 0.084	5.425 ± 0.462
	2007年7月	1.83 ± 0.49	2.385 ± 2.131	0.034 ± 0.005	0.861 ± 0.214	5.776 ± 0.448
	全年平均值	2.60 ± 1.08	1.952 ± 2.043	0.024 ± 0.013	0.859 ± 0.178	5.257 ± 0.565
吉力湖	2006年11月	-	-	-	-	-
	2007年1月	2.97 ± 0.61	4.818 ± 2.839	0.034 ± 0.011	0.836 ± 0.780	5.109 ± 2.428
	2007年4月	2.00 ± 0.61	1.782 ± 2.063	0.036 ± 0.013	0.745 ± 0.032	11.31 ± 6.375
	2007年7月	1.20 ± 0.66	70.57 ± 117.0	0.175 ± 0.213	1.125 ± 0.627	8.538 ± 4.596
	全年平均值	2.06 ± 0.94	28.34 ± 71.70	0.082 ± 0.127	0.902 ± 0.529	8.319 ± 4.914

注:“-”为未监测

号点,最大值出现在2007年4月的8号点。其中,布伦托海透明度为 $3.71\text{ m}(\text{冬}) > 3.26\text{ m}(\text{春}) > 1.83\text{ m}(\text{夏}) > 1.6\text{ m}(\text{秋})$ ,而吉力湖为 $2.97\text{ m}(\text{冬}) > 2\text{ m}(\text{春}) > 1.2\text{ m}(\text{夏})$ ,两湖变化趋势一致,均为冬春高夏秋低。高锰酸盐指数变化趋势与叶绿素 a 一致,均为夏秋高,冬春低,而与透明度的变化趋势正好相反。浮游生物是湖泊透明度的重要影响因子,其生物量的多少和温度、光照等直接相关。夏秋季水温较冬春季高,光照时间长,浮游生物量较多,导致叶绿素 a 含量上升,高锰酸盐指数增大,进而降低了湖水的透明度。此外,乌伦古湖冬季湖面封冰,水体风力涌动小,大量悬浮颗粒发生沉淀,也是其湖水透明度在冬季增加的原因之一。

乌伦古湖 TN 年际变化在 $0.355\text{ mg/L} - 1.839\text{ mg/L}$ 之间,平均为 $(0.856 \pm 0.205)\text{ mg/L}$ ,属Ⅲ类水。布伦托海 25 个采样点的 TN 年际变化不大,为 $(0.855 \pm 0.032)\text{ mg/L}$ 。其中 26 号点 TN 值最大,年平均为 $(1.434 \pm 0.614)\text{ mg/L}$ 。该处水面已承包给个人作鱼类养殖之用,养殖过程中所投饵料和施加的大量有机肥是此处氮含量较高的主要原因。29 号点位于乌伦古河上的福海水库,28 号点靠近乌伦古河的入湖处,这两处采样点 TN 年平均值分别为 $(0.508 \pm 0.179)\text{ mg/L}$ 、 $(0.601 \pm 0.221)\text{ mg/L}$ ,显著低于乌伦古湖的全湖平均值。表明汇入乌伦古湖的乌伦古河水中 TN 含量相对较低;同时由于河水的注入,导致水流加快,增加了河口区水体的自净能力<sup>[15]</sup>,使 28 号站位 TN 明显降低。

乌伦古湖 TP 的年际变化在 $0.011\text{ mg/L} - 0.42\text{ mg/L}$ 之间,年平均值为 $(0.028 \pm 0.033)\text{ mg/L}$ ,属Ⅱ类水。26 号采样点为水产养殖区,TP 含量最高,年平均值为 $(0.166 (0.220)\text{ mg/L}$ ,夏季更达到了 $0.42\text{ mg/L}$ ,水质已为劣Ⅴ类水。

### 3.2 乌伦古湖分区域水质状况

海滨浴场(18,19 号采样点)、中海子(1,2 号采样点)、小海子(11,12 号采样点)和后泡子(26 号采样点)是乌伦古湖中受人为因素影响较大的几个区域,通过对这些特定区域水质状况的分析,可以了解人类活动对乌伦古湖水质的影响。

海滨浴场主要以沙质底为主,无水草,每年夏季对游客开放。该区域水体 TP 含量较少,年平均值为 $0.022 \pm 0.009\text{ mg/L}$ ,低于全湖平均值 8%。但 TN 含量较大,2007 年 7 月 TN 含量为 $1.355\text{ mg/L}$ ,高出全湖平均值 $(0.855\text{ mg/L})$ 58.5%。有研究表明<sup>[16]</sup>,在盐度低的水体中,磷对浮游植物的生长起限制作用。调查期间布伦托海 N/P 年平均值为 35.6:1,磷是该湖泊浮游植物生长的限制因子,而海滨浴场处 N/P 年平均值更是达到了 48.7:1,所以此处浮游生物量较少,初级生产力较低,叶绿素 a 的年平均含量仅为 $(1.235 \pm 0.526)\text{ mg/m}^3$ ,为全湖平均值的 64.1%。同样原因亦导致该处透明度较大,年平均值为 $(3.04 \pm 1.33)\text{ m}$ ,约为全湖的 1.2 倍。

中海子位于布伦托海南端,通过库依戈河与吉力湖相连通。此处水草丰富,以芦苇居多,且终年禁捕,是湖区的主要鱼类繁殖保护区。此处底泥以腐泥为主,水中营养盐含量较高,TN 年平均值为 $(0.928 \pm 0.222)\text{ mg/L}$ ,高锰酸盐指数为 $(6.103 \pm 0.476)\text{ mg/L}$ ,分别高出全湖年平均值 9% 和 16%。大量营养盐给浮游生物创造了良好的生长和繁殖条件,使该处水域的年均叶绿素 a 含量达到了 $(5.16 \pm 4.20)\text{ mg/m}^3$ ,为全湖平均值的 2.5 倍,加上该处水域水草丰富,给鱼类的繁殖创造了良好条件。另外,这些因素还导致水体透明度降低,仅为 $(1.88 \pm 0.69)\text{ m}$ ,是全湖平均值的 2/3。茂盛的水草,较低的透明度,使此处幼鱼被鸥鸟捕食的几率大为降低。

小海子位于布伦托海东北,额尔齐斯河河水经“引额济海”渠道引入布伦托海,大大缓解了湖区水平面连年下降的趋势<sup>[17]</sup>。由于此处水体较封闭,从而导致该处湖水受额尔齐斯河水影响较大。河水的稀释作用,使该处水域矿化度和主要离子含量明显低于全湖平均值<sup>[18]</sup>,但由于河水亦带来了部分营养物质,因此,此处 TN、TP 和高锰酸盐指数较全湖平均值无明显降低。

后泡子位于吉力湖西北角,与吉利湖之间只有一个狭窄的开口相连通,水交换较少。此处水域已承包给个人作养殖之用,每年投放鱼苗和饵料。由图 2 和图 3 可见,此处水质明显劣于其他各处,年均透明度只有 $(1.52 \pm 0.86)\text{ m}$ ,为全湖年平均值的 3/4;7 月份甚至只有 $0.6\text{ m}$ ,为全湖平均值的 1/2。TN、TP、高锰酸盐指数分别为全湖年平均值的 1.6 倍、2 倍和 1.3 倍。夏季水质最差,为劣Ⅴ类水。由此可

见,养殖对水体的污染很大,尤其是对水体富营养化的贡献很大。

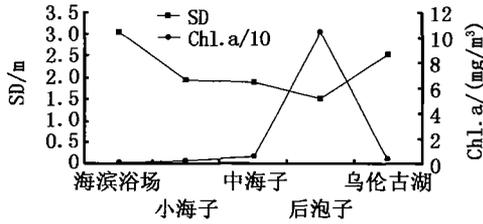


图2 乌伦古湖特定水域透明度和叶绿素 a 的比较(2006.11 - 2007.7 年平均值)

Fig. 2 Comparison of SD & Chlorophylla of some special areas in Wulungu Lake (average of 2006.11 - 2007.7)

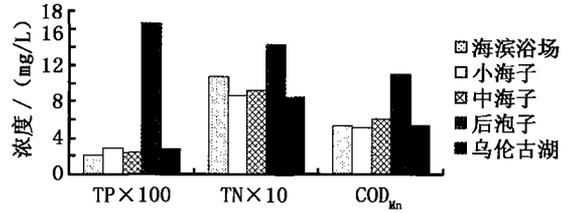


图3 乌伦古湖特定水域总氮、总磷、高锰酸钾指数比较(2006.11 - 2007.7 年平均值)

Fig. 3 Comparison of TN & COD<sub>Mn</sub> of some special places of Wulungu Lake (average of 2006.11 - 2007.7)

### 3.3 乌伦古湖的富营养化程度

调查期间,乌伦古湖综合营养状态指数的变化趋势如图4所示。布伦托海总体处于中营养水平,年均 TLI 为 38.51,且季节间变化不大,说明布伦托海富营养状态基本稳定。吉力湖富营养化程度(年平均 TLI 为 52.94)明显高于布伦托海,总体呈现轻度富营养水平,夏季可达到中度富营养化(7月 TLI 为 60.90)。

后孢子(26号点)处水质在夏季已达到重度富营养化(7月 TLI 为 72.96),表明在相对封闭的水体中开展水产养殖更易造成富营养化。中海子富营养化程度较高可能是因为吉力湖湖水通过库依戈河注入布伦托海,而吉利湖湖水的富营养化程度较高,且此处水域较为封闭,减缓了水体本身自净速度所致。小海子 TLI 为 44.42(夏) > 41.25(秋) > 38.85(冬) > 36.88(春),夏秋季富营养化程度略高于冬春季。额尔齐斯河汛期在夏秋两季,该段时间通过渠道流入布伦托海的河水量也较大,带入湖泊的营养盐也较多。当地政府对海滨浴场处的水质较为重视,管理力度较大,使该处污染物总量得到了有效控制。总体上,乌伦古湖的富营养化程度随季节变化呈现出一定的规律性,即夏秋季较高,冬春季较低,养殖水域较天然水域的富营养化程度高。

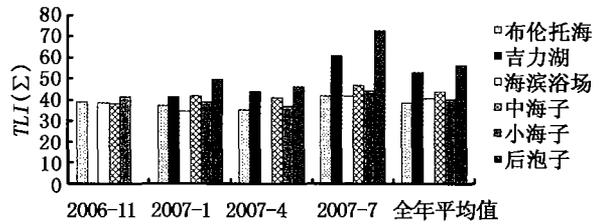


图4 乌伦古湖及其部分水域富营养化程度变化趋势

Fig. 4 Eutrophication trends of Wulungu Lake and some special areas

## 4 讨论

乌伦古湖是乌伦古河的尾间湖,湖水蒸发远大于补给,50 - 80 年代间,水位不断下降,湖面减少了 100 km<sup>2</sup><sup>[17-18]</sup>,水质也不断恶化。当地政府于 1971 和 1988 年先后开凿了两条“引额济海”渠道,将额尔齐斯河水引入布伦托海,缓解了这一状况,湖水水质也得到了改善。本次调查研究发现,位于渠道入口处水域的主要离子含量明显低于全湖平均水平,而氮、磷、有机物含量则与全湖平均值相差无几。这表明,很有可能来自额尔齐斯河的水源中含有一定量的营养盐和有机物,从而使河水本身可以发挥的稀释作用未能得到体现。吉力湖乃一过水湖泊,乌伦古河河水通过吉力湖流入布伦托海。但从地形上看,该湖过水性不强;且该区域水面人类活动干扰较大;而乌伦古河上多处水库的修建致使流入吉力湖的水量不断减少<sup>[17]</sup>,这些原因均导致了吉力湖湖水营养负荷过重。

福海县水产局的张永亮、孙崇斌以及华中农业大学水产学院的李鸿参加了样品的采集和前期处理工作,谨致谢忱。

## 参考文献:

- [1] 金相灿,刘树坤,章宗涉,等.中国湖泊环境(第一册)[M].北京:海洋出版社,1995,235.
- [2] 金相灿,刘树坤,章宗涉,等.中国湖泊环境(第二册)[M].北京:海洋出版社,1995,399-414.
- [3] 李新贤,党新成,李 红,等.新疆主要湖泊、水库的水质综合特征评价模式及营养状态分析[J].干旱区地理,2005,28(5):588-591.
- [4] HJ/T 91-2002,地表水和污水监测技术规范[S].国家环境保护总局,2002.
- [5] GB3838-2002,地表水环境质量标准[S].国家环境保护总局,2002.
- [6] 彭文彬,刘红璞,陈敬员.两种分光光度法测定浮游植物叶绿素 a 的比对试验[J].黄石高等专科学校学报,2002,18(3):34-36.
- [7] 张 新,刘洪林,王素芬.分光光度法测定叶绿素 a 含量的方法探讨[J].山东水利,2002,3:39-40.
- [8] 中国环境监测总站.湖泊(水库)富营养化评价方法及分级技术规定[S].国家环境保护总局,2001.
- [9] 陈瑞庭,谢志勇.磁湖富营养化评价[J].黄石高等专科学校学报,2004,20(4):61-63.
- [10] 甘义群,郭永龙.武汉东湖富营养化现状分析及治理对策[J].长江流域资源与环境,2004,13(3):277-280.
- [11] 任学蓉,郎勇设,金 辉.沙湖水体富营养化评价及防治对策[J].干旱区资源与环境,2007,21(2):118-122.
- [12] 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.
- [13] 吴新敏,孙建国,2004.柴窝堡湖富营养化水平评价[J].干旱环境监测,18(1):26-29.
- [14] 杨 钢,张 晟,李崇明,等.重庆长寿湖水质富营养化的调查及评价[J].西南师范大学学报,2003,28(3):492-495.
- [15] 何本茂,韦曼新.北海湾水体自净能力的探讨[J].海洋环境科学,2004,23(1):16-18.
- [16] NEILL M. A method to determine which nutrient is limiting for plant growth in estuarine water - at any salinity[J]. Marine Pollution Bulletin,2005,50:945-955.
- [17] 刘开华,谢立新,木合亚提.内陆河流乌伦古河及湖泊水环境初探[J].中国水利水电工程未来与发展,2002,246-250.
- [18] 李立人,王雪冬.布伦托海水质现状及污染防治对策[J].干旱环境监测,2003,17(2):102-105,116.