

## 洞庭湖水质评价(2002–2004年)\*

申锐莉<sup>1</sup>, 张建新<sup>2</sup>, 鲍征宇<sup>1</sup>, 周旻<sup>3</sup>, 乔胜英<sup>1</sup>, 谢淑云<sup>1</sup>

(1: 中国地质大学(武汉)地球科学学院地球化学研究所, 武汉 430074)

(2: 湖南省地质研究所, 长沙 410007)

(3: 武汉大学资源与环境学院环境工程系, 武汉 430079)

**摘要:**根据2002–2004年洞庭湖水质监测数据,参照GB3838–2002中Ⅲ类水质标准,选用内梅罗水污染指数法和黄浦江污染指数对洞庭湖水质现状进行评价,结果表明:(1)洞庭湖水体的主要污染指标是总磷,总氮和粪大肠菌群;(2)黄浦江污染指数平均值为0.27,所以洞庭湖12个断面水质无黑臭现象发生;(3)枯水期西洞庭湖和南洞庭湖水质污染最严重,平水期西洞庭湖水质污染最严重,洞庭湖丰水期的污染程度小于平水期;(4)洞庭湖的大部分水体的水质主要处于轻度污染的状态,局部水体的水质在枯水期达到重污染的状态。

**关键词:**洞庭湖;水质评价;内梅罗水污染指数;黄浦江污染指数

## Water quality assessment in Lake Dongting(2002–2004), China

SHEN Ruili<sup>1</sup>, ZHANG Jianxin<sup>2</sup>, BAO Zhengyu<sup>1</sup>, ZHOU Min<sup>3</sup>, QIAO Shengying<sup>1</sup> & XIE Shuxun<sup>1</sup>,

(1: *Department of Geochemistry, Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, P. R. China*)

(2: *Hunan Province Research Institute of Geology, Changsha 410007, P. R. China*)

(3: *Department of Environmental Engineering, School of Resource and Environmental Science, Wuhan University, Wuhan 430079, P. R. China*)

**Abstract:** According to Basic Analytical Methods of Environmental Quality Standards for Surface Water in China (GB3838–2002), we used the 2002–2004 monitoring data to evaluate and characterize water quality condition of Lake Dongting, based on the application of comprehensive index methods such as Nemerow Index and Huangpu River Organic Pollution Index. The results are obtained as follows: (1) The main pollutants of Lake Dongting are total phosphorus (TP), total nitrogen (TN) and fecal coliform. (2) The mean Huangpu River Organic Pollution Index is 0.27, indicating that the water quality does not have the black smelly phenomenon at twelve designated sections in Lake Dongting. (3) In western and southern Lake Dongting, the water pollution could be more serious during the drought water season, whereas during the normal water season in western Lake Dongting the water pollution is also bad. The water quality are generally better during the flood water season than those during normal water season. (4) Pollutants make a great contribution to the water quality of Lake Dongting; and the main sources are industrial effluents and domestic sewage. (5) The pollution condition of the main lake are not serious during 2002–2004, while in certain water areas heavy pollution condition may occur during the drought water season. The investigations suggest that lake water quality has improved in recent years in response to changes in the land restoration of reclaimed areas and the construction of the Three Gorges Project.

**Keywords:** Lake Dongting; water quality assessment; Nemerow index; Huangpu River Organic Pollution Index

洞庭湖(29°20'0"E, 112°55'0"N)是中国第二大淡水湖,位于长江中下游下荆江南岸,流域面积达到

\* 湖南省洞庭湖区生态地球化学调查项目(1212010310304)资助。2005–08–22 收稿;2005–12–16 收修改稿。申锐莉,女,1977 生,博士;E-mail: shenruili\_sab@sina.com.

259430.0 km<sup>2</sup>. 洞庭湖湖面面积变化很大, 枯水期仅有 2740 km<sup>2</sup>, 而丰水期则可能扩大到 12000 km<sup>2</sup>. 湖水平均深度 6.7m, 最大水深 30.8m<sup>[1-4]</sup>. 洞庭湖蓄纳湘、资、沅、澧四水, 北部有长江经松滋口、太平口、藕池口和调弦口(调弦口于 1958 年关闭, 现为三口)流入, 经岳阳城陵矶流入长江, 形成向北开口的马蹄形盆地<sup>[5]</sup>(图 1). 洞庭湖是典型的过水性吞吐型湖泊<sup>[6]</sup>, 江湖天然沟通, 湖泊换水周期短(18.2d), 湖水更新、交换十分频繁<sup>[7]</sup>. 由于历史上围湖筑垸, 洞庭湖被分为东洞庭湖、西洞庭湖(目平湖)和南洞庭湖(万子湖)三个部分<sup>[8,9]</sup>. 东洞庭湖湖盆面积 1288.9 km<sup>2</sup>, 南洞庭湖 907.2 km<sup>2</sup>, 目平湖 314.5 km<sup>2</sup><sup>[10]</sup>.

1999 年的调查显示, 洞庭湖纯湖区人口为 1079.63 万, 其中农业人口 825.29 万, 非农业人口为 254.34 万. 农村人口密度为 381.1 人/km<sup>2</sup>, 城镇人口密度 4400.3 人/km<sup>2</sup>, 人口自然增长率为 4.31‰. 与 1986 年相比, 城镇人口增长较快, 增加了 88.53 万, 城镇人口密度每平方公里增加了 484.8 人.

洞庭湖区既是我国重要的商品粮、棉、油及水产基地, 又是湖南省主要的造纸、石化及纺织工业基地. 2000 年洞庭湖纯湖区调查的重点工业污染源企业 145 家, 年工业废水排放总量为 23357.56 × 10<sup>4</sup> t, 造纸业 8760.76 × 10<sup>4</sup> t, 占 37.51%, 石油加工业 4565.1 × 10<sup>4</sup> t, 占 19.54%, 食品烟草加工与饮料业 3969.19 × 10<sup>4</sup> t, 占 16.99%, 化工业 3597.21 × 10<sup>4</sup> t, 占 15.4%. 洞庭湖纯湖区年排放的污染物以化学需氧量、悬浮物为主, 分别为 163906.59t 和 40,337.61t. 主要污染物 COD 排放量中, 以造纸业为主, 占 90%. 随着湖区工农业生产的发展和湖区人口城镇化趋势加强, 工业污染、农业污染、生活污染等对湖区水域的污染日益严重.

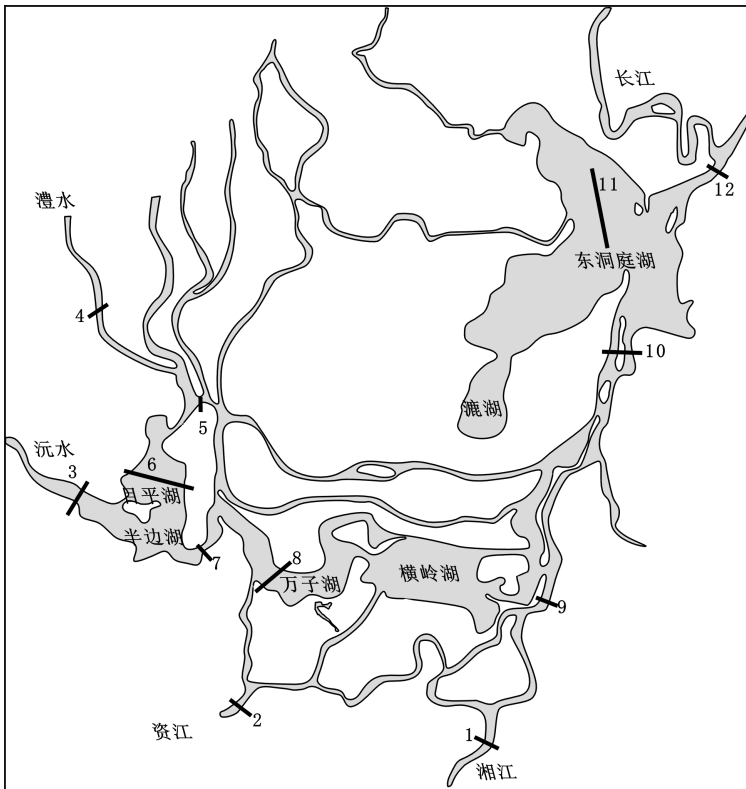


图 1 洞庭湖监测断面示意图

Fig. 1 Monitoring sections in Lake Dongting

根据对湖南省洞庭湖环境保护监测站、湖南省环境保护局 1999 - 2001 年对洞庭湖的最新监测和调查资料进行诊断分析和评价, 目前洞庭湖区湖水本底水质尚好, pH 值在正常范围内, 离子总量不高, 中等矿化

度,水质硬度属软水,是工农业生产和人民生活用水的良好水源,但局部水域由于造纸、麻纺、食品加工业废水的影响已呈现一定程度的污染<sup>[11]</sup>。卢宏玮<sup>[12]</sup>等根据1989,1997和1999年洞庭湖TP,TN和Cd,Pb,Zn,Cu,Cr等重金属污染物的变化过程,分析了污染物产生的原因并对洞庭湖各监测点的重金属污染风险进行了评价。本文根据2002-2004年洞庭湖12个监测断面的水质监测数据,参照GB3838-2002中Ⅲ类水质标准,选用内梅罗水污染指数法和黄浦江有机污染指数等综合污染指数法,查明洞庭湖的主要污染因子,分枯水期,平水期和丰水期对洞庭湖水质现状进行评价,并分析洞庭湖水质污染的主要原因。

## 1 评价材料与方法

### 1.1 监测数据

2002年到2004年洞庭湖的水质监测数据的监测断面如图1所示,监测断面1,2,3和4控制洞庭湖入湖口的水质,即控制来自湘、资、沅、澧四水的水质,监测断面5,6和7控制西洞庭湖的水质,监测断面8和9控制南洞庭湖的水质,监测断面10和11控制东洞庭湖的水质,最后监测断面12控制洞庭湖出水口的水质。

洞庭湖水质监测数据采样时间是从2002年到2004年的1月,5月和9月,分别代表洞庭湖的枯水期,平水期和丰水期<sup>[13]</sup>。选取22项监测指标进行水质评价,包括pH,高锰酸钾指数,COD,BOD<sub>5</sub>,NH<sub>3</sub>-N,TP,TN,Cu,Zn,F,Se,As,Hg,Cd,Cr<sup>6+</sup>,Pb,氰化物,挥发酚,石油类,阴离子表面活性剂,硫化物和粪大肠菌群。洞庭湖水质监测项目的分析方法选用的是地表水环境质量标准(GB3838-2002)中规定的地表水环境质量标准基本项目分析方法。

### 1.2 评价方法

运用单因子平价法,对照国家《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)中的Ⅲ类水质标准限值来确定主要污染指标,计算平均超标倍数:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{C_i}{S}}{N}$$

式中, $C_i$ 为水质监测结果, $S$ 为标准值, $N$ 为有效监测次数。

黄浦江污染指数,是一种基于河流水质长期监测经验基础上建立的指数。经过数据分析发现监测断面的氨氮和溶解氧浓度有如下关系:

$$A = \frac{\text{氨氮质量浓度实测值(mg/L)}}{\text{溶解氧饱和百分率(\%)} + 0.4}$$

当 $A \geq 5$ ,水质发生黑臭现象,故 $A$ 又称黑臭指数。

内梅罗水污染指数法选择表2中所列的24项作为计算水质指标的参数。内梅罗水污染指数公式如下:

$$I = \sqrt{\frac{[\frac{1}{n} \sum (\frac{c_i}{s_i})]^2 + [\max(\frac{c_i}{s_i})]^2}{2}}$$

式中, $c_i$ 为水质参数 $i$ 的实际监测值; $s_i$ 为水质参数 $i$ 的标准值,选取GB3838-2002中Ⅲ类水质标准限值为标准值。同时,参考《内梅罗水质指数污染等级划分标准》<sup>[14]</sup>对洞庭湖水质进行评价, $I < 1$ ,清洁; $I:1-2$ ,轻污染; $I:2-3$ ,污染; $I:3-5$ ,重污染; $I > 5$ ,严重污染。

## 2 结果与讨论

2002-2004年洞庭湖12个监测断面的24项水质监测结果表明,不同水文形势下,水质变化随不同断面有明显变化。(1)枯水期,12个监测断面全部超过Ⅲ类水质标准,断面1,6和8为劣Ⅴ类,占25.0%;断面2和3为Ⅴ类,占16.7%;断面4,5,7,9,10,11和12为Ⅳ类,占58.3%。东洞庭湖为Ⅳ类,南洞庭湖和西洞庭湖为劣Ⅴ类。采用面积加权法,全湖的总体污染程度为Ⅴ类。(2)平水期,12个监测断面全部超过Ⅲ类水质标准,断面6和9为劣Ⅴ类,占16.7%;断面2,3,4,5,7,8,10,11和12为Ⅴ类,占75.0%;断面1为

IV类,占8.3%。东洞庭湖为V类水质,南洞庭湖为V类水质,西洞庭湖为劣V类水质。全湖的总体污染程度为劣V类水质。(3)丰水期,12个监测断面全部超过III类水质标准,断面1为劣V类,占8.3%;断面10为V类,占8.3%;断面2,3,4,5,6,7,8,9,11和12为IV类,占83.3%。东洞庭湖为IV类水质,南洞庭湖为IV类水质,西洞庭湖为IV类水质。全湖的总体污染程度为IV类水质。

### 2.1 主要污染物

洞庭湖12个常规监测断面的监测值超过GB3838-2002中III类水质标准限值的统计结果见表1。由表2可以看出,洞庭湖水质中的主要污染物是TP,TN和粪大肠菌群。Pipes<sup>[15]</sup>曾指出细菌群落大小和营养水平的相关性,即水中的细菌含量随营养水平的提高而增加。监测数据表明,入湖河道的粪大肠菌群的含量大于东、南和西三个湖区的粪大肠菌群含量,而三个湖区中以西洞庭湖的粪大肠菌群含量最高,最高值达到1700 MPN/100 ml。另外,硫化物仅有的1次超标中,实际超标倍数竟高达1149倍。

表1 2002-2004年洞庭湖主要污染物指标超过III类水质标准情况

Tab.1 Status of the main pollutants in Lake Dongting between 2002 and 2004

污染物指标	GB3838-2002 III类水质标准	平均超标倍数	超标次数	有效监测次数	超标率(%)
COD(mg/L)	≤20	0.4	2	409	0.5
BOD <sub>5</sub> (mg/L)	≤4	0.3	12	558	2.2
NH <sub>3</sub> -N(mg/L)	≤1.0	0.3	5	673	0.7
TP(mg/L)	≤0.05	2.0	490	691	70.9
TN(mg/L)	≤1.0	1.2	235	379	62.0
Cd(mg/L)	≤0.005	0.2	11	676	1.6
石油类(mg/L)	≤0.05	0.7	25	661	3.8
硫化物(mg/L)	≤0.2	11.1	1	688	0.1
粪大肠菌群(MPN/100ml)	≤100	1.0	131	392	33.4

### 2.2 黑臭污染指数

全湖12个监测断面中,黄浦江污染指数值均小于5,平均值为0.27,所以洞庭湖12个断面水质无黑臭现象发生。上海黄浦江“黑臭指数”曾经较好地描述80年代初黄浦江有机污染的程度,但不能反映近年来黄浦江有机污染的状况<sup>[16]</sup>。所以,黑臭指数反映洞庭湖有机污染的状况有一定的局限性。

### 2.3 综合污染指数(内梅罗水污染指数)

从图2中可以看出,2004年枯水期的水质较2003年和2002年有所恶化。在枯水期,2002年内梅罗水污染指数的峰值3.51出现在监测断面8,2003年的峰值2.14出现在断面6,2004年的峰值5.91出现在断面7,另外2个明显的高值出现在断面6和断面8。由于断面6控制了西洞庭湖水质,断面7控制了西洞庭湖出口水质,断面8控制了南洞庭湖水质,所以在枯水期,西洞庭湖和南洞庭湖是整个洞庭湖区水质污染最严重的地方。

2004年平水期的水质较2003年和2002年有所恶化。在平水期,2002年内梅罗水污染指数的峰值3.08出现在监测断面8,2003年的峰值3.03出现在监测断面8,2004年的峰值6.66则出现在断面4。所以在平水期,西洞庭湖是整个洞庭湖区水质污染最严重的地方。

2004年丰水期的水质较2003年和2002年有所好转。在丰水期,2002年内梅罗水污染指数的峰值2.16出现在监测断面7,2003年的峰值7.58出现在监测断面1,2004年的峰值1.95则出现在断面12。从2002年到2004年,除个别监测断面外,丰水期的内梅罗水污染指数均小于平水期,这说明丰水期的大量来水加大了洞庭湖的稀释自净作用,降低了污染物的浓度,使丰水期的污染程度小于平水期,也表明内梅罗水污染指数与湖泊蓄水量大小呈负相关关系。

由于枯水期(低流量状态下)水质主要反映点源的污染情况,而丰水期(高流量状态下)水质主要受到面源污染的影响,是点源和面源的综合作用的结果<sup>[17]</sup>. 在2004年,除监测断面12外,洞庭湖枯水期的内梅罗水污染指数均大于丰水期,同时,枯水期的内梅罗水污染指数最大值与最小值相差6.09倍,丰水期的内梅罗水污染指数最大值与最小值相差3.10倍,说明枯水期各个监测断面的内梅罗水污染指数值差异较大. 所以,洞庭湖水质以点源污染为主<sup>[18]</sup>,而且工业废水和生活污水的排放仍是洞庭湖水质污染的主要原因.

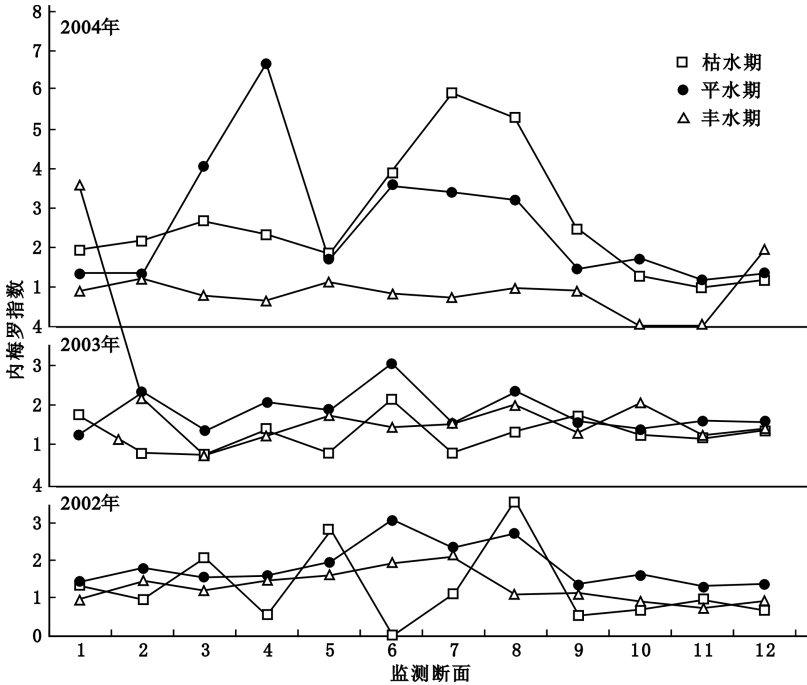


图2 从2002年到2004年洞庭湖枯水期,平水期和丰水期的12个监测断面的内梅罗水污染指数变化曲线

Fig. 2 Nemerow water quality index in twelve sections of Lake Dongting during the drought, normal, and flood water seasons between 2002 and 2004

#### 2.4 发展趋势分析

由图3可以看出,洞庭湖的大部分水体的水质主要处于轻度污染的状态,局部水体的水质在枯水期达到重污染的状态. 西洞庭湖和南洞庭湖的内梅罗水污染指数的波动曲线相似,反映了西洞庭湖和南洞庭湖季节性变化明显,受不同水期影响,水质变动幅度大的特点;而东洞庭湖和出湖口的波动曲线相似,内梅罗水污染指数的变动幅度较小.

2003年洞庭湖生态移民工程正式完工,洞庭湖面积由以前的2625 km<sup>2</sup>扩大到3970 km<sup>2</sup>,进一步加大湖泊的稀释和自净能力,但是移民建镇带来的生活废水更加集中于水体局部区域,造成洞庭湖的局部水体污染严重<sup>[19]</sup>. 退田还湖区由于季节性的淹水和退水,水体中的氮、磷含量在头2-3年会是明显增高,但随着时间的延长,水质指标逐渐接近天然水体<sup>[20,21]</sup>. 另外,谭支良等人<sup>[22]</sup>研究得出退田还湖区水样中大肠杆菌严重超标的主要原因与示范堤垸农民习惯于直接在水体或土壤施用人畜粪便密切相关. 目前,又正在进行新一轮规划,计划到2010年恢复洞庭湖面积到4350 km<sup>2</sup>,达到新中国成立初期洞庭湖天然湖泊水域面积.

三峡工程在2003年投入试运行,按照三峡水库的调度方式,对洞庭湖水体环境在一年中的10月份,1-4月份产生较大影响,使洞庭湖提前退出汛期,而西洞庭湖(目平湖),南洞庭湖由于湖底高程超过26 m

(黄海基面),没有长江来水<sup>[23,24]</sup>. 由于换水周期延长,加上西洞庭湖,南洞庭湖过水量减少,对局部水域,特别是西洞庭湖水域的污染形势将更加严峻,水质恶化的进程相对于整体水域将大大加快. 据 Yang 等研究<sup>[25]</sup>,三峡水库运用后的百年内其下游径流的含沙量均会较之前降低. 因此可以认为,洞庭湖三口来水含沙量的减少将成为趋势. 李倩等<sup>[26]</sup>分析了2004年三峡工程运行前后枯、丰水期洞庭湖水力梯度变化,三峡工程对洞庭湖水力梯度的影响是枯水期大于丰水期,其中东洞庭湖影响最明显.

因此,生态移民与三峡工程对洞庭湖整体水域的水质恶化的进程有所减缓,这主要是两项工程对湖体的扩容作用带来的,减缓的程度有待进一步研究.

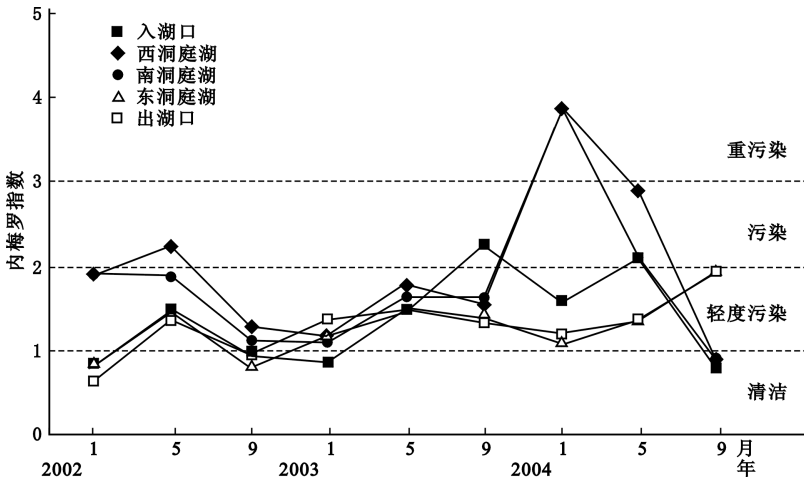


图3 从2002年到2004年洞庭湖的入湖口,西洞庭湖,南洞庭湖,东洞庭湖和出湖口五个部分内梅罗水污染指数随时间的变化曲线以及水质污染等级状态

Fig. 3 Water quality assessment of each part of Lake Dongting between 2002 and 2004, based on the Nemerow Water Quality Index

### 3 结语

本文根据2002-2004年洞庭湖水质监测数据,参照GB3838-2002中Ⅲ类水质标准,选用内梅罗水污染指数法和黄浦江污染指数对洞庭湖水质现状进行评价. 洞庭湖水体的主要污染指标是总磷,总氮和粪大肠菌群. 黄浦江污染指数平均值为0.27,所以洞庭湖12个断面水质无黑臭现象发生,但是黑臭指数不能如实反映洞庭湖有机污染的状况. 枯水期,西洞庭湖和南洞庭湖水质污染最严重;平水期,西洞庭湖水质污染最严重;洞庭湖的丰水期的污染程度小于平水期. 洞庭湖水质以点源污染为主,而且工业废水和生活污水的排放是洞庭湖水质污染的主要原因. 内梅罗水污染指数法的评价结果表明,洞庭湖的大部分水体的水质主要处于轻度污染的状态,局部水体的水质在枯水期达到重污染的状态.

随着湖区的退田还湖、移民建镇水利规划的实施,势必加剧现有城镇岸边局部水域的污染,及出现新的岸边污染源. 另外,随着农业产业结构的调整,水产养殖与畜牧业比重将显著提高,化肥与畜禽粪便带来的面源污染以及湖区的工业发展,也将加重洞庭湖的污染. 因此加快城镇污水处理设施、垃圾集中处理设施,人、畜、禽粪便的处理设施建设,鼓励人、畜、禽粪便的资源化,严格控制氮、磷化肥的施用量,对工业污染源实行总量控制与达标排放等是防止洞庭湖水质污染加剧的有效措施与当务之急.

致谢 非常感谢湖南省洞庭湖环境监测站提供2002-2004年洞庭湖的水质监测数据.

#### 4 参考文献

- [1] Birkett C I, Mason. A new global lakes database for remote sensing programme studying climatically sensitive large lakes. *Journal of Great Lakes Research*, 1995, **21**: 307-318.
- [2] Duker L, Borre L. Biodiversity conservation of the world's lakes: a preliminary framework for identifying priorities. LakeNet Report Series Number 2, Annapolis, Maryland USA, 2001.
- [3] International Lake Environment Committee. The United Nations Environment Program and Environment Agency. Government of Japan. World Lakes Database, 1997.
- [4] 金相灿. 中国湖泊(第二版). 北京:中国海出版社, 1995: 222-231.
- [5] Yin R L, Shen D X, Che Z G. Disasters and environmental management in the Dongting Lake lowlands. *Lowland Technology International*, 2003, **5**: 39-45.
- [6] 姜加虎, 黄群. 洞庭湖近几十年来湖盆变化及冲淤特征. 湖泊科学, 2004, **16**(3): 209-214.
- [7] 姜加虎, 黄群. 洞庭湖区生态环境退化状况及其原因分析. 生态环境, 2004, **13**(2): 277-280.
- [8] 中国科学院南京地理与湖泊研究所. 中国湖泊概论. 北京:科学出版社, 1989: 51-73.
- [9] Zhao S Q, Fang J Y, Miao S L *et al.* The 7-Degradation of a Large Freshwater Lake in Central Yangtze River, China. *Environ Sci Technol*, 2005, **39**: 431-436.
- [10] 余德清, 皮建高. 洞庭湖区洲土变化特征与地壳沉降遥感研究. 湖南地质, 2002, **21**(1): 46-76.
- [11] 王文清. 洞庭湖水资源及其对湿地生态环境的影响. 国土资源管理, 2000, **17**(6): 1-7.
- [12] 卢宏伟, 曾光明, 何理. 洞庭湖流域水体污染物变化趋势及风险分析. 水土保持通报, 2004, **24**(2): 12-16.
- [13] 来红州, 莫多闻, 苏成. 洞庭湖演变趋势探讨. 地理研究, 2004, **23**(1): 78-86.
- [14] 李建军, 冯慕华, 喻龙. 辽东浅水区水环境质量现状评价. 海洋环境科学, 2001, **20**: 42-45.
- [15] Pipes W O. Indicators and water quality, in the bacterial indicators of pollution. Florida: CRC Press, 1982.
- [16] 陆雍森. 环境评价(第二版). 上海: 同济大学出版社, 1999: 129.
- [17] 赵佩伦, 申献辰, 夏军等. 泥沙对黄河水质影响及重点河段水污染控制. 郑州: 黄河水利出版社, 1998.
- [18] 曾光明, 卢宏伟, 金相灿等. 洞庭湖水体水质状况及运用小波神经网络对营养状态的评价. 湖南大学学报(自然科学版), 2005, **32**(1): 91-94.
- [19] 方凯, 李利强, 田琪. 洞庭湖水环境质量特征和发展趋势. 内陆水产, 2003, **4**: 34-36.
- [20] 吴甫成, 邓学建, 吕焕哲等. 洞庭湖退耕还湖区水质监测与分析. 水土保持学报, 2003, **17**(1): 134-140.
- [21] 姜加虎, 张琛, 黄群等. 洞庭湖退田还湖及其生态恢复过程分析. 湖泊科学, 2004, **16**(4): 325-330.
- [22] 谭支良, 王久荣, 潘亚飞等. 洞庭湖退田还湖区畜牧业资源与环境评估. 长江流域资源与环境, 2005, **14**(3): 327-332.
- [23] 卢宏伟, 曾光明, 张硕辅. 三峡工程的运行对洞庭湖水环境容量的影响. 环境工程, 2004, **2**: 61-63.
- [24] 陈绍金. 浅析三峡工程建成后对洞庭湖水环境的影响. 水资源保护, 2004, **5**: 33-37.
- [25] Yang S L, Zhao Q Y, Belkin I M. Temporal variation in the sediment load of the Yangtze River and the influences of the human activities. *Journal of Hydrology*, 2002, **263**: 56-71.
- [26] 李倩, 曾光明, 黄国和. 三峡工程对洞庭湖水力梯度及其湿地植物生长的影响. 安全与环境学报, 2005, **5**(1): 12-15.