

文章编号: 1004-7271(2007)03-0252-07

太湖水质调查与富营养状态评价

彭自然¹, 陈立婧¹, 江敏¹, 王武¹, 孔优佳², 花少鹏², 鲍雯瑾¹, 刘少平¹

(1. 上海水产大学生命科学与技术学院, 上海 200090;
2. 江苏省太湖渔业管理委员会, 江苏 常州 213161)

摘要:于2004年4月-2005年4月对太湖水质进行调查,分析了透明度、pH值、DO、生化需氧量、高锰酸盐指数、总无机氮、总磷等水质参数年内变化规律。采用太湖富营养状态指数评价其富营养化程度,并对比了20年来该湖富营养化状况。研究表明,太湖水体夏季DO为3.98 mg/L、生化需氧量年均值为4.98 mg/L、高锰酸盐指数年均值为4.59 mg/L、总无机氮年均值为1.37 mg/L、总磷年均值为0.209 mg/L;除南部部分水域属中-富营养后期外,大部水域营养状态处于富营养期,且富营养化程度由北向南逐渐减弱;氮磷物质含量明显上升是造成富营养化的主要原因;上游来水水质恶化和网围养殖过密造成水质污染和湖泊环境功能破坏,从而导致氮磷累积。

关键词:太湖; 富营养化; 营养状态指数; 水质评价; 氮; 磷
中图分类号:S 912 **文献标识码:**A

Water quality investigation and eutrophication status evaluation in Gehu Lake

PENG Zi-ran¹, CHEN Li-jing¹, JIANG Min¹, WANG Wu¹,
KONG You-jia², HUA Shao-peng², BAO Wen-jin¹, LIU Shao-ping¹

(1. College of Aqua-life Science and Technology, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China;
2. Fishery Management Committee of Gehu Lake, Changzhou 213161, China)

Abstract: By investigating water quality of Gehu Lake from Apr. 2004 to Apr. 2005, an analysis is made to development trends of parameters such as diaphaneity, pH, DO, BOD, COD_{Mn}, TIN and TP. Eutrophication evaluation was carried out by calculating eutrophication status index of Gehu Lake and contrasting with eutrophication status in twenty years. The results arrived as DO in summer is 3.98 mg/L, BOD average is 4.98 mg/L over the year, COD_{Mn} average is 4.59 mg/L, TIN average is 1.37 mg/L and TP average is 0.209 mg/L. Getting rid of the later-mesotrophy stage in south, the eutrophication status of Gehu Lake is eutrophy stage. And the grade weakens gradually from north to south. It is the primary reason of eutrophication that the content of phosphorus and nitrogen in the water body has risen evidently. Water quality of upriver deteriorates and the dense aquatic culture causes pollution, and environmental functions have been damaged and nutrition has accumulated.

Key words: Gehu Lake; eutrophication; eutrophication status index; water quality evaluation; nitrogen; phosphorus

收稿日期: 2006-09-06

基金项目: 常州市科技局项目-太湖生态修复与综合开发的研究; 上海市重点学科建设项目(Y1101)

作者简介: 彭自然(1978-), 男, 江西万载人, 讲师, 主要从事水域环境监测评价与污染防治方面的研究。E-mail: zrpeng@shfu.edu.cn

溇湖位于江苏省常州市西南,东南通太湖,西联长荡湖,南接宜兴市,是苏南太湖湖群的重要组成部分,具有饮用、灌溉、航运、游览和水产增殖等多种功能。湖面面积 146 km^2 ,平均水深 1.17 m ,蓄水量 $1.74 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^[1],主要来自西北部地表径流及工业废水和生活污水排放。湖区地形多为低洼平原,沿岸水系发达,水网交错,入湖河道有扁担河、北干河等,出湖河道有太溇运河、太溇南运河等。近年来湖体污染加重,富营养化进程加速。上世纪 90 年代初,盛建明等^[2]研究了溇湖富营养化,表明总氮、总磷和 COD 分别比 80 年代增长 64.3%、171.4% 和 27.8%。于 2004 年 4 月至 2005 年 4 月调查了溇湖水质,并评价了富营养化状态,希望为富营养化控制和环境保护提供参考。

1 研究方法

1.1 调查布点

溇湖规划为饮用水源及工业用水区、渔业资源常年繁保护区、水上休闲及渔业资源增值区、网围生态养殖区等四个功能区^[1]。根据溇湖的形态能特征,分别在进出水口和功能区布点,共设 13 个采样点(图 1)。

1.2 水样采集与分析

2004 年 4 月至 2005 年 4 月,每季采样一次。采样时间分别为 2004 年 4 月、7 月、10 月和 2005 年 1 月、4 月。

水温、透明度、pH 值分别采用深水温度计、透明度盘和 pH-4B 型 pH 计现场测定。溶解氧、五日生化需氧量、高锰酸盐指数、氨氮、亚硝酸盐氮、硝酸盐氮、活性磷酸盐、总磷均采用国家标准分析方法。

1.3 富营养化评价方法

在富营养化评价中,浮游植物响应型(藻型)和大型水生植物响应型(草型)湖泊特征和生态环境不同,评价参数也应有差别,否则评价结果将导致较大的偏差^[3]。目前,藻型湖泊富营养化评价指标参数主要有叶绿素 a、总磷、总氮、化学需氧量、透明度、浮游植物量、优势浮游植物等,草型湖泊的评价指标参数主要有活性磷、总无机氮、高锰酸盐指数、维管束植物生物量、初级生产力等^[3-6]。溇湖原为典型的草型浅湖,1994 年沉水植物覆盖率达 95%,但近十年来湖泊北部水草植被受到破坏,2004 年覆盖率锐减到不足 10%^[4],呈现出藻型湖泊的特征,但南部仍保留了草型湖泊特征。溇湖营养状态评价参数应具有完整性、可比性和代表性,反映溇湖南北两种类型湖泊特征。兼顾现有实验条件,溇湖营养状态评价指标参数选用总磷、总无机氮、高锰酸盐指数、叶绿素 a 和透明度 5 项。根据国内外湖泊富营养化分类标准、我国湖泊水质参数与营养状态相关性分析^[5-10],综合考虑溇湖营养元素浓度和效应,确定关键控制点浓度和评分对应关系,由内插法提出溇湖水域评分和分级标准(表 1)。参数权值确定多根据参数间的相互关系,如综合营养状态参数 TSI 由 *Chl. a* 与 TP、TN、SD、COD 的相关系数平方(分别为 0.84、0.82、-0.83、0.83)^[10]计算权值。由于本文评价方法所选参数相关系数接近,为简单起见取等权。评价时由参数实测值按评分标准得出单参数各点评分值和全湖均值,加和计算综合评分值,按分级标准判断营养状况类别。

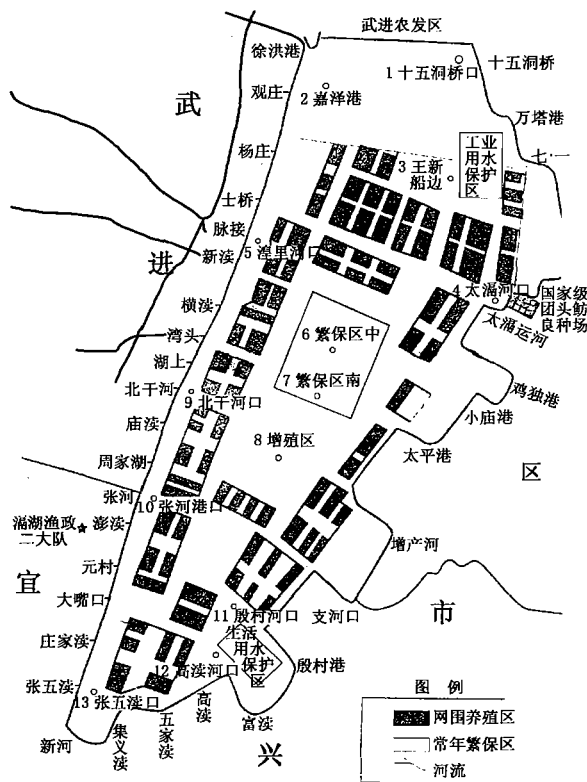


图 1 溇湖水质调查点位布设示意图
Fig. 1 Sketch map of water quality investigation points in Gehu Lake

表1 漏湖富营养化评分与分级标准
Tab.1 Grade standard of eutrophication in Gehu Lake

评分值	TP (mg/L)	总无机氮 (mg/L)	COD (mg/L)	SD (m)	Chl. a (mg/m ³)	营养程度
0	0.000 4	0.01	0.06	48	0	
10	0.000 9	0.07	0.12	27	0.1	
20	0.002 0	0.15	0.24	15	0.5	贫营养
30	0.004 6	0.30	0.48	8.0	1.0	贫-中营养
40	0.010	0.60	0.96	4.4	2.0	中营养
50	0.023	1.00	1.80	2.4	3.0	中-富营养
60	0.050	1.50	3.60	1.3	5.0	
70	0.110	2.00	7.10	0.73	10	富营养
80	0.250	3.00	14.0	0.40	20	重富营养
90	0.550	4.60	27.0	0.22	50	
100	1.200	10.0	54.0	0.12	100	

2 调查结果

2.1 透明度

2004年4月至2005年4月漏湖各样点透明度变化为18~110 cm, 年均值41 cm(图2)。南部透明度(49.52 cm)比北部(35.36 cm)大。季节变化规律北部为冬季高、夏季低, 而南部则相反, 为夏季高、冬季低。可能原因是漏湖北部属藻型湖泊, 夏季藻类大量增生, 透明度降低, 冬季藻类消亡沉降, 透明度增加; 而南部属草型湖泊, 夏季水草茂盛, 水流减缓, 悬浮物沉降使透明度增加, 冬季水草枯萎, 水位下降, 风浪搅动水体致使底泥浮起, 透明度减小。

2.2 pH值

2004年4月至2005年4月间, 漏湖湖水pH值为7.11~9.28, 年均值8.05(图3)。北部pH值(年均值8.30)比南部(年均值8.10)大, 且夏季低, 冬季高, 季节变化异于长江中下游其他湖泊。湖泊水体中碳酸盐平衡受水体浮游植物影响显著, 夏季光合作用强烈, 消耗水中游离CO₂, 使平衡向pH升高方向移动^[11]。但由于漏湖养殖密度过大, 水生生物呼吸作用和有机物矿化作用排放的CO₂量超过光合作用消耗量, 使得水体CO₂增加, 平衡向pH值降低方向移动。

2.3 溶解氧

图4是2004年4月至2005年4月漏湖溶解氧变化情况。夏季溶解氧浓度极低, 北部湖区为(4.59±0.43) mg/L; 南部仅为(3.01±0.36) mg/L。其他三季漏湖溶解氧为(10.12±0.72) mg/L, 而又以

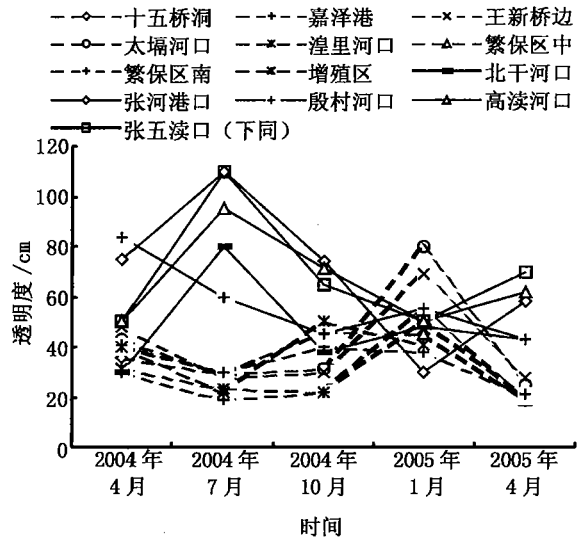


图2 2004年4月至2005年4月漏湖湖水透明度变化
Fig.2 Diaphaneity trends of water in Gehu Lake from Apr. 2004 to Apr. 2005

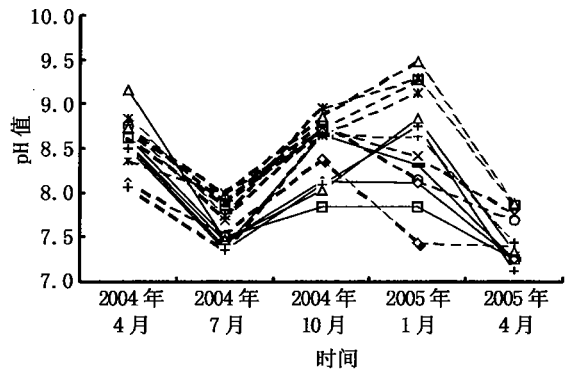


图3 2004年4月至2005年4月漏湖湖水pH值变化
Fig.3 pH value trends of water in Gehu Lake from Apr. 2004 to Apr. 2005

冬季最高,有时甚至呈过饱和状态。说明漏湖围网养殖密度大,夏季水产动物呼吸作用消耗溶解氧量超过藻类光合作用释放氧量。此外,水中有机物质氧化也消耗大量溶解氧,造成夏季 DO 低。

2.4 生化需氧量 (BOD₅)

2004 年 4 月至 2005 年 4 月漏湖湖水 BOD₅ 的变化趋势(图 5)。漏湖湖水 BOD₅ 年平均值为 4.98 mg/L,且北部(均值 6.3 mg/L)明显比南部(均值 2.6 mg/L)高,这是入湖河水水质受污染所致。

2.5 高锰酸盐指数

2004 年 4 月至 2005 年 4 月漏湖湖水 COD_{Mn} 的变化(图 6)。漏湖水体高锰酸盐指数变化范围为 2.07~8.91 mg/L,年均值为 4.59 mg/L。2005 年 4 月高锰酸盐指数高,是由于底泥悬浮物中还原性物质引起。

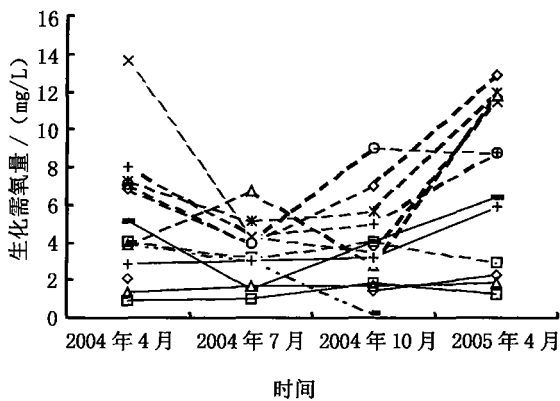


图 5 2004 年 4 月至 2005 年 4 月漏湖湖水生化需氧量变化
Fig.5 Trends of BOD₅ in Gehu Lake from Apr. 2004 to Apr. 2005

2.6 总无机氮

测定了 2004 年 4 月、7 月、10 月、2005 年 4 月漏湖湖水氨氮、亚硝酸盐氮和硝酸盐氮,计算总无机氮(图 7)。漏湖湖水氨氮、亚硝酸盐氮、硝酸盐氮的年平均值分别为 0.34 mg/L、0.088 mg/L 和 0.94 mg/L,总无机氮的年平均值为 1.37 mg/L。其中硝酸盐氮含量最高(69%),氨氮次之(25%),亚硝酸酸盐氮含量最低。

从图 7 可见,总无机氮季节变化明显,春夏季有机碎屑腐烂分解使总无机氮含量增高;水草和藻类生长利用氮素使得秋冬季含量相对较低。受上游来水水质影响,嘉泽港、十五洞桥口和王新桥边总无机氮含量较高。2005 年 4 月湖水总无机氮明显增大,是暴雨径流和底泥悬浮引起。

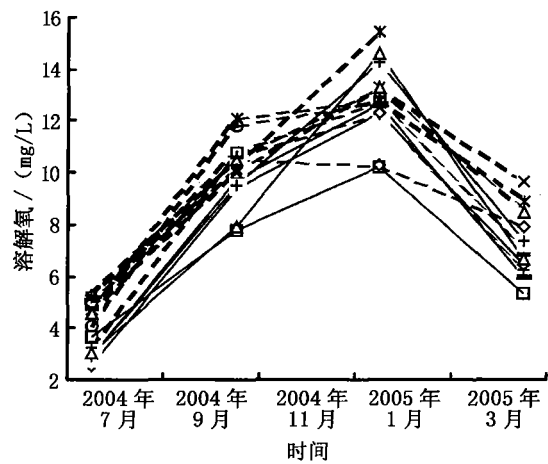


图 4 2004 年 4 月至 2005 年 4 月漏湖湖水溶解氧变化
Fig.4 Trends of DO concentration in Gehu Lake from Apr. 2004 to Apr. 2005

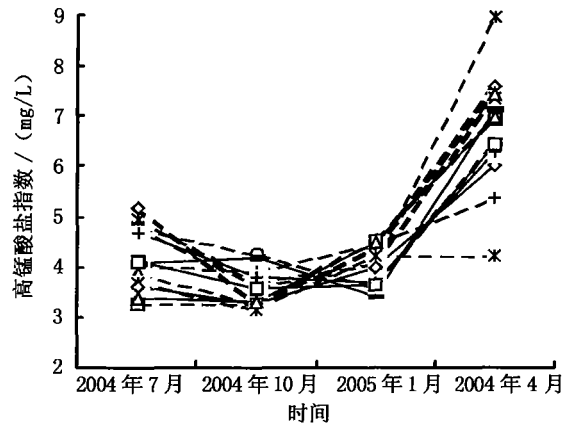


图 6 2004 年 4 月至 2005 年 4 月漏湖湖水高锰酸盐指数变化
Fig.6 Trends of COD_{Mn} in Gehu Lake from Apr. 2004 to Apr. 2005

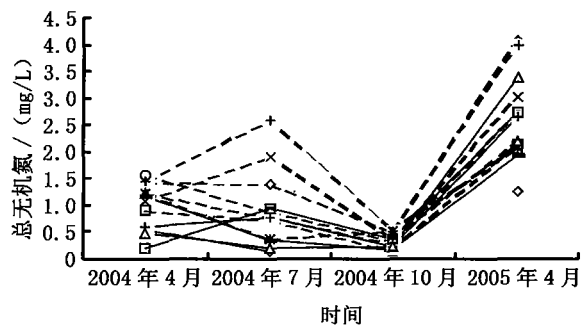


图 7 2004 年 4 月至 2005 年 4 月漏湖湖水无机氮变化
Fig.7 Trends of TIN in Gehu Lake from Apr. 2004 to Apr. 2005

2.7 总磷

2004年4月-2005年4月的溇湖湖水总磷含量见图8,年均值为0.209 mg/L,且北部湖区比南部高。北部湖区总磷含量夏冬季较高,春秋较低,南部湖区则冬季高,春季低。这是上游来水水质、地表径流、植物消长、饵料投放、底泥悬浮综合作用的结果。夏季水产动物代谢强烈,投饵量与排泄物多;同时北部藻类占优势,藻体中富集大量磷,使得总磷含量高。南部湖区水草多,冬春季水生维管束植物腐烂分解,加上底泥悬浮造成总磷增大。

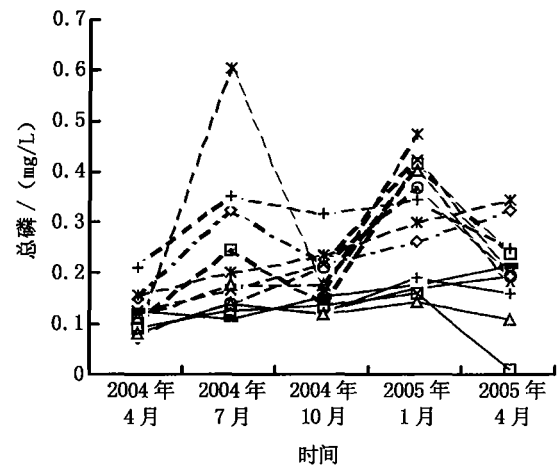


图8 2004年4月至2005年4月溇湖湖水总磷含量变化

Fig. 8 Trends of TP in Gehu Lake from Apr. 2004 to Apr. 2005

3 富营养化评价结果

3.1 样点富营养化评价

各点评分值和营养状态见表2,富营养化程度分布示意图见图9。溇湖营养状态总体处于富营养期,南部处在中-富营养后期。北部十五桥洞口、嘉泽港营养化程度最高,营养化指数大于76;王新桥边、湟里河口、繁保区次之,营养化指数大于74;太溇河口、繁保区南、增殖区富营养程度较轻,营养化指数大于70;南部营养化程度最低,北干河口、张河港口、殷村河口、高溇河口、张五河口的营养化指数都小于等于70。可见,北部承纳武进等城区污水,水草消失,湖泊藻型化进程加快,富营养化程度最大。由于湖泊的自净作用,沿水流方向污染减轻,富营养化程度减弱。到湖泊南部仍有水草分布,富营养化程度相对较轻。整个湖泊富营养化程度从北到南逐渐减轻,说明上游来水水质极大地影响溇湖水质,是富营养化主要原因之一,而网围养殖密度过大和水质污染造成湖泊环境功能破坏是造成溇湖富营养化的根本原因。

表2 溇湖各样点富营养化评分与状态评价

Tab. 2 Eutrophication grade and assessment of investigating points in Gehu Lake

样点	高锰酸盐指数分值	TIN 分值	TP 分值	SD 分值	Chl. a 分值	均分值	营养状态
1. 十五桥洞口	64.2	67.0	80.3	82.8	91.9	77.2	富营养期
2. 嘉泽港	62.4	71.4	81.7	86.1	90.3	78.4	富营养期
3. 王新桥边	63.9	59.2	78.6	79.7	93.1	74.9	富营养期
4. 太溇河口	63.3	57.4	76.4	79.4	90.7	73.4	富营养期
5. 湟里河口	65.1	51.0	80.0	86.1	95.2	75.5	富营养期
6. 繁保区中	63.3	55.2	77.1	82.2	96.8	74.9	富营养期
7. 繁保区南	62.6	49.3	78.6	83.3	93.0	73.4	富营养期
8. 增殖区	60.2	44.0	82.7	81.1	90.3	71.7	富营养期
9. 北干河口	63.1	47.5	73.6	77.6	82.6	68.9	中-富营养后期
10. 张河港口	61.0	41.3	72.1	71.2	82.4	65.6	中-富营养后期
11. 殷村河口	61.7	51.2	72.1	74.8	90.0	70.0	中-富营养后期
12. 高溇河口	62.7	51.4	70.7	72.1	80.2	67.4	中-富营养后期
13. 张五河口	62.4	65.0	68.3	71.2	80.7	69.5	中-富营养后期
平均	62.5	55.0	77.1	78.2	89.0	72.4	富营养期

3.2 溇湖富营养化20年内总体评价

表3列出了20年来溇湖富营养化状态评分和营养状态。可见,溇湖营养物质含量有较大幅度增长,富营养程度越来越严重,富营养化状态已从上世纪八十年代的中-富营养期发展至现在的富营养期。据调查^[12],从1987年至2004年,溇湖TP增加了18.5倍,TN增加了2.88倍,COD仅增加1.23倍。2004-2005年为总无机氮数据,但大大高于1985-1986年总氮分值。可见,20年来总氮、总磷分

值的大幅度升高,是造成溇湖富营养化程度不断加深的关键原因。

3.3 溇湖与不同湖泊富营养化程度比较

采用本文的富营养化状态指数评价我国其他湖泊(见表4),评价结果与溇湖评价结果进行比较。可见滇池和巢湖污染严重,于1998年已达到了重富营养化水平;溇湖污染加重,2005年与太湖、淀山湖同处于富营养期;南四湖、固城湖、南漪湖处于中-富营养期,溇湖与之差距正在逐渐扩大。

4 富营养化成因分析及对策

国际经济合作与开发组织富营养化研究表明,氮磷等营养物质的输入和富集是水体发生富营养化的最主要原因,富营养化与水文条件和水生动植物也有密切关系^[9]。从溇湖水质调查结果看,总氮、总磷是造成湖泊富营养化加剧的主要原因,富营养化程度随氮磷分值逐年上升(如TP分值2005年达76.8,比1985年增加48.0%),而COD分值变化不大(60.3~63.3)。造成溇湖氮磷积累的主要原因是上游来水水质差。溇湖北部进水区总无机氮、总

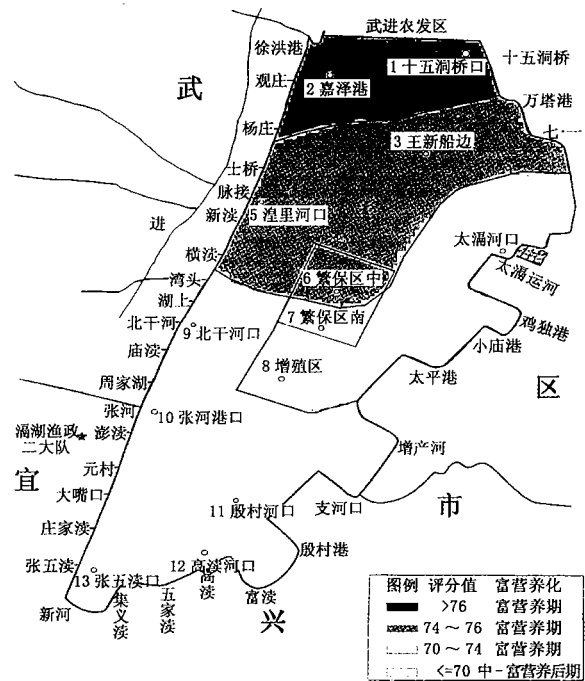


图9 溇湖富营养化评分等级分布示意图
Fig.9 Sketch map of eutrophication grade distributing in Gehu Lake

表3 20年内溇湖营养指标均分值及评价

Tab.3 Average points and assessment of eutrophication in Gehu Lake during past twenty years

时段	TP 分值	TN 分值	SD 分值	Chl. a 分值	COD 分值	均分值	营养状态
1985-1986年 ^[2]	51.9	40.8			60.3	51.0	中-富营养期
1993-1994年 ^[2]	58.5	64.2			63.3	62.0	中-富营养后期
2004-2005年	76.8		78.2	89.0	62.8	76.7	富营养期

表4 不同湖泊营养化评分值的比较

Tab.4 The comparisons of eutrophication points of several lakes

湖泊	溇湖 (2005年)	淀山湖 (2005年)	太湖 (2004年) ^[9]	南漪湖 (2005年)	南四湖 (1998年) ^[13]	固城湖 (1988年) ^[13]	巢湖 (1998年) ^[9]	滇池 (1998年) ^[9]
分值	72.4	77.8	72.4	61.8	68.5	56.9	86.2	88.2
营养状态	富营养期	富营养期	富营养期	中-富营养后期	中-富营养后期	中-富营养期	重富营养期	重富营养期

磷、生化需氧量和高锰酸盐指数都比南部明显偏高,富营养化程度空间分布也沿水流方向逐渐减弱,说明溇湖水质受上游来水的影响较大。盛建明等^[2]、舒金华等^[14]研究了溇湖氮磷平衡和迁移过程,认为河水带入是氮磷增加的主要途径,分别占总入湖量的71.88%和57.17%,网围投饵入湖仅占12.38%和29.85%。戴定立^[15]分析了1985-2004年溇湖和入湖河道水质变化趋势,认为上游河道排入污染物量逐年增加是造成近年来溇湖水质迅速下降的主要原因。其次,网围养殖密度过大的影响不容忽视。草食性鱼类和底栖鱼类破坏了养殖区水草和软体动物资源,打破水体生态平衡,降低水体环境自净能力,生态系统抵抗力减弱。同时,大量残饵和鱼类排泄物沉降使表层沉积物中的N、P和有机质增加,底泥释放成为重要的内源负荷。范成新^[16]研究了溇湖氮磷物质内源负荷量,认为由湖面网养区底泥释放的磷在全湖内源磷负荷中占较大比重(60.1%~67.8%)。投饵和排泄对水体营养物质增加有作用,网围

内磷酸盐含量比网外高1倍^[17]。水质调查结果表明, 溇湖水体污染较严重, 夏季透明度下降, pH值降低, DO降至3.01 mg/L, 总无机氮、总磷分别增至1.37 mg/L、0.209 mg/L, 富营养化面积超过全湖面积的1/2, 富营养状态指数已达70。水质恶化导致污染事故频发, 从1990年开始经常发生大面积死鱼事件^[18]。溇湖北部水草资源消失, 蓝绿藻增多^[19], 水体转为藻型湖泊。南部虽仍保有水草, 水质参数仍遵循草型湖泊的变化规律, 但近年水质污染还在升级, 富营养化程度逐步加剧, 溇湖水质治理已刻不容缓。

参考文献:

- [1] 江苏省溇湖渔业管理委员会. 溇湖“十一五”渔业养殖规划[R]. 2005.
- [2] 盛建明, 曹文明, 刘珏琴, 等. 溇湖富营养化变动趋势及防治对策研究[G]//溇湖渔业高产模式及生态渔业研究论文集. 北京: 中国农业出版社, 1995:48-52.
- [3] 朱成德, 王玉刚. 溇湖渔业高产模式及生态渔业的研究[G]//溇湖渔业高产模式及生态渔业研究论文集. 北京: 中国农业出版社, 1995:1-11.
- [4] 姚东瑞. 溇湖水环境现状对常州市自然生态系统的影响及对策分析[G]//溇湖渔业科学发展文集, 2005:18-24.
- [5] 刘建康. 湖泊与水库富营养化防治的理论与实践[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [6] 金相灿. 中国湖泊富营养化[M]. 北京: 科学出版社, 1990.
- [7] 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.
- [8] 秦伯强, 胡维平, 陈伟明. 太湖水环境演化过程与机理[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [9] World Bank. China: air, land, and water-environmental priorities for a new millennium[M]. The World Bank, Washington, DC, 2001.
- [10] 张 征. 环境评价学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004:196-205.
- [11] 陈佳荣. 水化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996:49.
- [12] 朱清顺. 溇湖生态渔业可持续发展对策研究[G]//溇湖渔业科学发展文集, 2005:64-81.
- [13] 杨桂山, 王德建. 太湖流域经济发展、水环境、水灾害[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [14] 舒金华, 黄文珏, 吴延根, 等. 溇湖磷迁移过程研究[G]//溇湖渔业高产模式及生态渔业研究论文集. 北京: 中国农业出版社, 1995:93-109.
- [15] 戴定立. 溇湖水环境变化趋势和保护对策[G]//溇湖渔业科学发展文集, 2005:49-57.
- [16] 范成新. 溇湖水土界面氮磷物质交换及内源负荷量研究[G]//溇湖渔业高产模式及生态渔业研究论文集. 北京: 中国农业出版社, 1995:118-124.
- [17] 盛建明, 刘珏琴, 曹文明, 等. 溇湖水质变化趋势和富营养化评价[G]//溇湖渔业高产模式及生态渔业研究论文集. 北京: 中国农业出版社, 1995:40-47.
- [18] 周福元. 溇湖渔业可持续发展的再思考[G]//溇湖渔业科学发展文集, 2005:25-32.
- [19] 陈立婧. 溇湖浮游植物群落结构的研究[G]//溇湖渔业科学发展文集, 2005:106-119.