

2009 年太湖水域“湖泛”监测与分析^{*}

陆桂华¹, 马 倩²

(1: 河海大学, 南京 210098)

(2: 江苏省水文水资源勘测局, 南京 210029)

摘 要:“湖泛”是太湖水域近年来发生的重要环境灾害问题之一。根据 2009 年 4—10 月的太湖“湖泛”易发区巡测和跟踪监测资料, 分析了 2009 年太湖水域“湖泛”发生情况。2009 年太湖共发生 11 次小范围“湖泛”, 主要发生在太湖西岸、梅梁湾和贡湖湾局部水域。对比近年“湖泛”发生水域的水质指标, 以及同期太湖蓝藻水华暴发、湖体水质及其变化情势, 认为蓝藻水华强度、频次和面积与 2007、2008 年相比呈明显的下降趋势, 从而可能降低了大面积“湖泛”暴发的机率; 同时, 2007 年以来在太湖北部湖湾的生态清淤工程也降低了北部湖湾发生大面积“湖泛”的可能性。同期水质监测指标显示, 2009 年同期太湖水质综合评价为Ⅳ类、中富营养状态, 而太湖湖西、竺山湖、梅梁湾水域仍为Ⅴ类或劣Ⅴ类, “湖泛”仍时有发生。蓝藻打捞、生态清淤、控源截污、“引江济太”调水是预防太湖“湖泛”的有效措施; 同时, 加强太湖“湖泛”巡查, 建立太湖“湖泛”监测预警系统, 及时发现太湖“湖泛”, 有序、妥善地处置黑臭水体, 将对确保太湖饮用水水源地安全起到积极的作用。

关键词:“湖泛”; 监测; 分析; 太湖

Monitoring and analysis on “Black Water Aggregation” in Lake Taihu, 2009

LU Guihua¹ & MA Qian²

(1: Hohai University, Nanjing 210098, P. R. China)

(2: Jiangsu Hydrology & Water Resources Investigation Bureau, Nanjing 210029, P. R. China)

Abstract: “Black Water Aggregation” (BWA) is one of the most serious environmental hazards occurred in Lake Taihu. Based on the investigation in relevant areas during Apr. – Oct., 2009, the BWA status was analysed. 11 BWA were observed in western Lake Taihu, Meiliang Bay and Gonghu Bay. Comparison of blue-green algal blooms, water level, water-quality in recent years gave insight to the further understanding of BWA. The algal bloom was less serious in intensity, frequency and scale in 2009 than in 2007 and 2008, which reduced the possibility of BWA outbreak. In addition, the ecological dredging project undertaken in northern Lake Taihu since 2007 also functioned for the less serious BWA in 2009. Investigations of water quality revealed that the lake was still under meso-eutrophic as a whole whereas the western Lake Taihu, Meiliang Bay and Lake Zhushan was hyper eutrophic. In order to mitigate and control the BWA, measures such as algae salvage, ecological dredging, source control and interception and water diversion from the Yangtze River to Lake Taihu. More efficient investigation in relevant BWA-sensitive areas and setup of monitoring-warning system for BWA are favored for early ascertainment and instant handling of BWA, which offers technical guarantee for water supply in Lake Taihu.

Keywords: “Black Water Aggregation” (BWA); monitoring; analysis; Lake Taihu

2007 年太湖发生“湖泛”引起无锡供水危机后, 政府部门和学术界都高度重视太湖治理。近两年通过控源截污、调水引流、蓝藻打捞、生态清淤、“湖泛”防控等措施, 太湖水水质已得到初步改善, 饮用水水源地特别是贡湖水源地水质已明显好转。为及时发现太湖“湖泛”, 最大限度地减少其危害, 确保太湖饮用水安全, 江苏省水文部门自 2009 年 4 月开始对太湖“湖泛”易发区建立了逐日巡查监测和日报制度, 至 10 月底共发现

^{*} 国家水专项“湖泊大规模水华蓝藻去除与处理处置技术及工程示范”项目(2008ZX07101-011)资助。2009-12-29 收稿; 2010-04-01 收修改稿。陆桂华, 男, 1962 年生, 博士, 教授; E-mail: lugh@hhu.edu.cn.

太湖西岸及北部湾水域 11 次小范围“湖泛”,并及时跟踪监测,为研究“湖泛”成因提供宝贵的现场观测数据,为“科学治太”提供技术支撑.

1 “湖泛”定义及太湖水域易发区的确定

1.1 “湖泛”的定义

从 20 世纪 90 年代以来,太湖北部水域时常出现水体浑浊、颜色为浆褐色、界限清晰,时有气泡冒出,并伴有似下水道恶臭和硫化氢的气味、湖面漂有以湖鳅为主的死鱼现象,通常称之为黑水团或污水团亦称为“湖泛”^[1-2]. 经过近年跟踪监测与分析研究,我们认为“湖泛”是指湖泊富营养化水体在藻类大量暴发、积聚和死亡后,在适宜的气象、水文条件下,与底泥中的有机物在缺氧和厌氧条件下产生生化反应,释放硫化物、甲烷和二甲基三硫等硫醚类物质,形成褐黑色伴有恶臭的“黑水团”,从而导致水体水质迅速恶化、生态系统受到严重破坏的现象^[3].

1.2 “湖泛”易发区的确定

根据对 2008 年 5 月底太湖宜兴近岸水域发生的“湖泛”及对 20 世纪以来太湖西北部水域发生多次“湖泛”的初步研究发现^[3],藻类死亡和受污染的底泥是“湖泛”形成的物质基础,适宜的水温、气压、风速为“湖泛”的发生提供了条件,根据太湖“湖泛”的定义及对太湖“湖泛”成因的初步认识,太湖“湖泛”易于以下水域中发生:(1)入湖河道较多且污染物量排放较大的区域;(2)湖体淤泥和流泥分布较厚的区域;(3)藻类易聚集的区域;(4)湖区水流不畅的湖湾;(5)历史上经常发生“湖泛”的区域. 图 1 为太湖“湖泛”易发区范围.

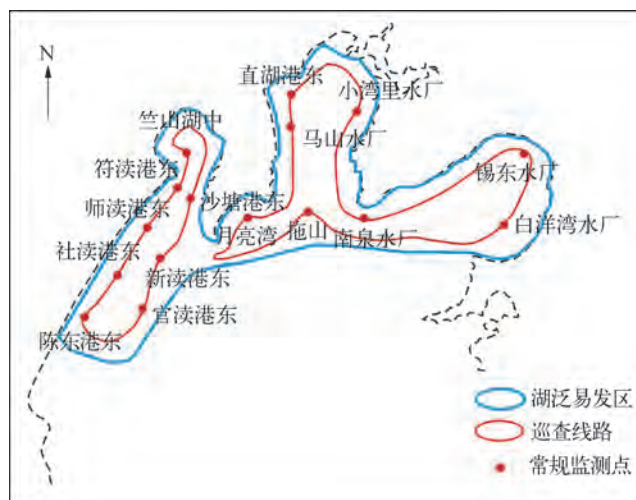


图 1 太湖“湖泛”易发区及巡查监测点示意

Fig. 1 Sketch of the susceptible area of “Black Water Aggregation” in Lake Taihu, and patrol and monitoring point

1.3 太湖“湖泛”巡查线路及监测项目

为有效掌控太湖“湖泛”发生情况,对“湖泛”易发区的巡查区域及重要监测站点布设如下:(1)太湖西岸大浦港-竺山湖段巡查水域面积约 152km²,船只单次航行路程约 51km;设置陈东港东、社渚港东、官渚港东、新渚港东、师渚港东、符渚港东、沙塘港东、竺山湖中 8 个巡查监测点.(2)梅梁湾及贡湖段巡查水域面积共计约 306km²,单次航行路程约 113km;设置月亮湾、拖山、马山水厂、直湖港东、小湾里水厂、南泉水厂、锡东水厂、白洋湾水厂 8 个巡查监测点(图 1).“湖泛”巡查总水域面积 458km²,约占太湖正常蓄水位下面积的 1/5,观察及监测项目为水体“湖泛”和蓝藻等感官情况、透明度、水温(表层和底层)、风速、风向、溶解氧(表层和底层)、pH、藻密度等,其

中溶解氧、pH、藻密度用现场水质多参数测定仪现场监测.若在巡测过程中发现蓝藻聚集或其它异常水域,详细记录掌握其位置、范围和面积等具体信息,必要时采样送化验室分析.

2 2009 年太湖“湖泛”分析

2.1 “湖泛”发生概况

自 20 世纪 90 年代起,太湖湖西、梅梁湾、贡湖水域曾多次出现“湖泛”现象,据无锡市水利局记载,1990 年 7 月 1-25 日、1994 年 7 月、1995 年 7 月 5-8 日、1998 年 8 月 1-10 日、2003 年 8 月梅梁湾藻类大规模暴发和发生“湖泛”.2007 年 5 月底,无锡南泉水厂附近水域大规模暴发蓝藻,出现“湖泛”,引起无锡市的供水危机.2008 年 5 月 26 日-6 月 9 日太湖无锡宜兴近岸水域出现了最大面积达 17km²的“湖泛”,严重危害了

太湖水生生态系统. 2009 年共发生 11 次小范围“湖泛”, 其中 5、6 月各发生 1 次“湖泛”, 7、8、9 月各发生 5、3、1 次, “湖泛”发生的最大面积未超过 2km².

2009 年太湖“湖泛”发生情况见表 1, 2008 年、2009 年太湖“湖泛”发生位置见图 2.

表 1 2009 年太湖“湖泛”发生统计

Tab. 1 The occurrence statistics of the “Black Water Aggregation” in Lake Taihu in 2009

序号	发生时间	发生地中心位置	发生水域	面积(km ²)	溶解氧(mg/L)
1	5 月 11-14 日	120.0188° E, 31.4216° N	宜兴境内沙塘港至师涑港	0.5-2.0	0
2	6 月 3-5 日	119.8939° E, 31.2497° N	湖西八房港近岸软围隔内	0.2	0.2
3	7 月 7-11 日	120.0801° E, 31.4021° N	月亮湾	0.1-0.2	0.2
4	7 月 16-31 日	120.1520° E, 31.5323° N	太湖三山西北部渔港	0.02	0.1-0.2
5	7 月 20-24 日	120.3307° E, 31.4676° N	太湖小溪港河口	0.10-0.20	0.1-0.3
6	7 月 21-24 日	120.0801° E, 31.4021° N	月亮湾码头	0.01-0.02	0.1-0.2
7	7 月 22-23 日	119.9986° E, 31.4052° N	西部沿岸欧浜港至郝浜港	0.3	0.2-2.3
8	8 月 21 日	120.0801° E, 31.4021° N	月亮湾	0.5-1.0	0.2
9	8 月 22 日	119.8939° E, 31.2497° N	湖西八房港近岸软围隔内	0.10-0.20	0.1
10	8 月 23 日	120.0801° E, 31.4021° N	月亮湾	0.5	0.2-0.4
11	9 月 9 日	119.9265° E, 31.3061° N	湖西大浦港口段	0.8	0-0.5

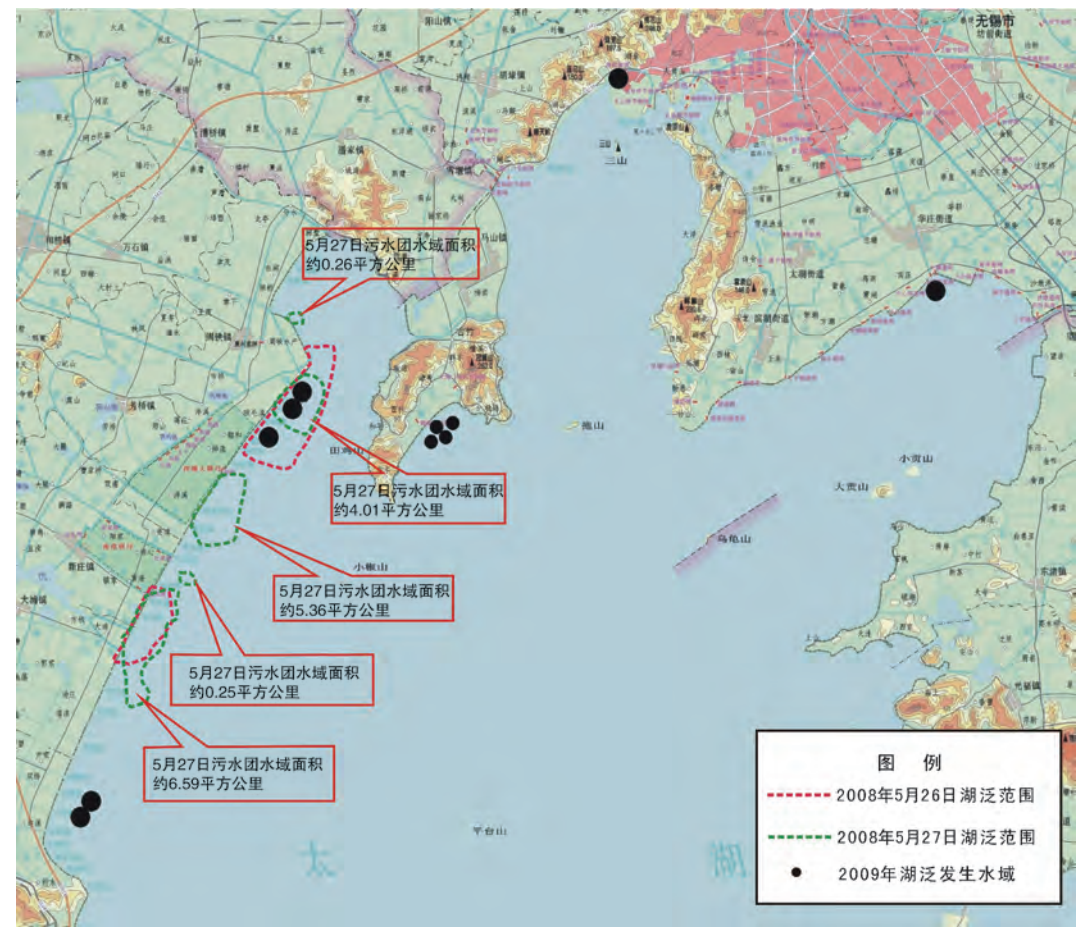


图 2 2008、2009 年太湖“湖泛”发生位置

Fig. 2 The location of the occurrence of the “Black Water Aggregation” in Lake Taihu in 2008 and 2009

2.2 “湖泛”水域水质监测指标分析

近三年来太湖“湖泛”发生水域水质主要指标监测结果可以看出:(1)“湖泛”发生后,水体溶解氧浓度很低、近为零,而高锰酸盐指数、总磷、氨氮、总氮的浓度很高,高锰酸盐指数浓度一般是Ⅲ类水水质标准浓度的3-4倍、总磷约100倍左右、而氨氮和总氮约10倍左右;(2)2009年5月11日和7月12日监测的“湖泛”水体水质高锰酸盐指数、总磷、氨氮、总氮的浓度特别高,而从5月12日、7月13日开始“湖泛”水体水质主要指标的监测浓度与2007、2008年发生“湖泛”时的基本一致,初步推断,2007、2008年监测到的“湖泛”发生水域的水质指标浓度并非“湖泛”刚发生时的水质指标浓度(表2)。

表2 近年太湖“湖泛”发生水域水质主要指标监测成果*

Tab. 2 The monitoring results statistics of main water-quality guideline of water areas where “Black Water Aggregation” happens in Lake Taihu in recent years

日期	地点	主要水质指标							“湖泛”发生最大面积(km ²)
		水温 (℃)	化学需氧量 (mg/L)	溶解氧 (mg/L)	高锰酸盐 指数(mg/L)	总磷 (mg/L)	氨氮 (mg/L)	总氮 (mg/L)	
2007-06-02	南泉水厂水域 ^[2]	27.5	81	0	16.2	0.436	6.10	15.9	4
2008-05-26	太湖宜兴	24.6	107	0.1	16.5	0.693	6.75	10.1	9.4
2008-05-27	周铁段	25.9	96.9	0.5	23.9	0.504	9.06	12.9	
2008-05-28	近岸水域	26.0	110	1.7	16.7	0.360	8.24	12.0	
2008-05-29		23.6	91	0.9	15.1	0.560	6.81	9.4	
2008-05-30		23.5	135	1.5	14.5	0.543	5.64	9.0	
2008-05-31		24.1	102	0.3	17.7	0.827	8.66	11.8	1.0
2009-05-11	太湖宜兴	25.8	305.4	0.0	64.6	2.850	15.10	26.4	
2009-05-12	符读港东	25.8	78.4	0.0	9.5	0.658	3.40	6.80	
2009-05-13		24.4	137.4	0.0	22.4	1.090	6.10	12.00	
2009-07-20	小溪港	32.5	162.0	0.3	45.0	0.818	4.93	25.8	0.2
2009-07-21	入湖口	33.8	50.0	0.2	12.8	0.530	3.13	7.05	
2009-07-23		28.6	67.9	0.3	16.2	0.660	4.79	9.85	
2009-07-24		28.4	36.4	0.6	7.8	0.329	2.99	4.55	

* 优于Ⅲ类水水质标准:溶解氧>5mg/L、高锰酸盐指数<6mg/L、总磷<0.05mg/L、氨氮<1mg/L、总氮<1mg/L。

3 太湖“湖泛”成因的再认识

通过研究近年太湖蓝藻水华暴发状况及太湖水体水质监测成果,并对2009年太湖水域“湖泛”的监测资料进行分析,对太湖“湖泛”的成因有了进一步的认识。

3.1 与太湖蓝藻水华暴发的关系

据可用的卫片分析,4-11月份太湖蓝藻暴发的累计面积及最大面积均显著下降。2007-2009年太湖暴发大面积蓝藻水华的次数分别为89次、81次、84次,累计暴发面积分别为18442km²、11958km²、7585km²,2009年蓝藻水华累计暴发面积比2007年、2008年分别下降58.9%、36.6%;2007-2009年暴发蓝藻水华最大面积分别为979km²、638km²、450km²(2009年7月25日)。2009年太湖蓝藻水华暴发的强度、频次和面积与2007、2008年同期相比呈明显的下降趋势,从而可能降低了大面积“湖泛”暴发的机率。

3.2 与太湖底泥的关系

据2006年水利部太湖流域管理局编制的《太湖污染底泥疏浚规划总报告》,太湖淤积较为严重,无泥区仅占湖底面积的34%,底泥总量达19.12×10⁸m³,其中淤泥和流泥所占的比例分别为88%、12%,主要集中在太湖湖西及北部湖湾。

底泥集中区域的污染物是湖泛产生的直接物质来源^[3],根据江苏省水文水资源勘测局无锡分局在竺山湖实施生态清淤试验工程(2008年11月-2009年3月)中进行监测的结果分析,在实施清淤的300×10⁴m³底泥中,包含了有机质1.0×10⁴t、总磷2000t、总氮2400t左右;底泥中叶绿素a含量约为20-80g/t,每清除

1t 底泥相当于打捞出近 0.6t 蓝藻;清淤前底泥氮、磷的释放强度约 $300\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 、 $2.3\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,清淤后分别降低至 $49.6\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 、 $-0.6\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。

2007 年以来已累计生态清淤量超 $1100 \times 10^4 \text{m}^3$ 、清淤面积超 20km^2 ,主要清淤的地点为太湖北部湖湾。生态清淤直接清除了湖体大量内源污染物质,割断了“湖泛”发生的生物链,降低了蓝藻发生强度、明显改善了湖体水质,从而降低了 2009 年太湖北部湖湾发生大面积“湖泛”现象的可能性。

3.3 与太湖水质及富营养化程度的关系

3.3.1 水体水质分析 以水利部太湖流域管理局水文水资源勘测局在太湖水域布设 32 个监测点各水质指标的平均值作为太湖湖体各水质指标的浓度进行分析,太湖湖体 2009 年各月溶解氧浓度处在 2004 年以来逐年同期相对较高的位置,而高锰酸盐指数、总磷、总氮则处在同期较低的位置(图 3),说明 2009 年以来太湖湖体各水质指标有好转趋势。

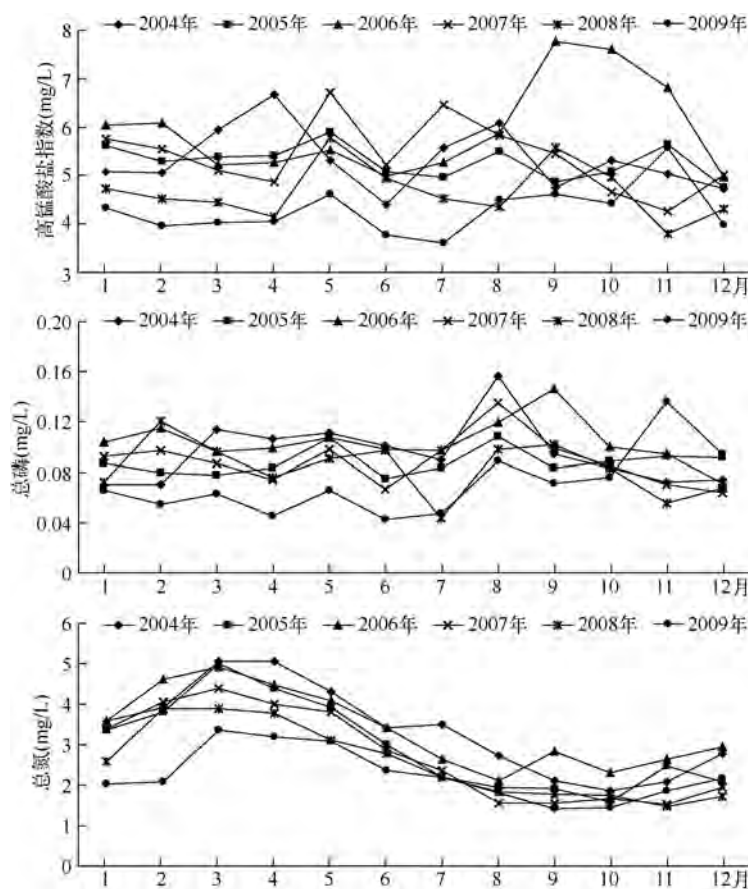


图 3 太湖水体多年逐月水质参数浓度变化

Fig. 3 The variation of concentration of water quality indexes of Lake Taihu during each month in recent years

决定太湖及各湖湾湖体水质综合评价类别的主要参数是总磷和总氮,就太湖湖体而言,2009 年 1-9 月各月的总磷浓度除 7 月份比 2008 年同期升高近 10% 以外,其它各月均比 2007、2008 年同期有显著的降低,分别比 2007、2008 年平均降低 35.8%、32.8%;2009 年 1-9 月各月的总氮浓度除 8 月份比 2007 年同期升高 16.8% 以外,其它各月均比 2007、2008 年同期有明显的降低,分别比 2007、2008 年平均降低 23.1%、14.9%。东太湖湖体水质总磷、总氮改善不明显;贡湖湖体水质总磷、总氮改善程度相当,降幅在 38% 左右;湖西、竺

山湖、梅梁湾湖体水质总磷浓度改善程度明显好于总氮,梅梁湾、湖西湖体水质总磷浓度平均降幅分别为46.6%、41.9%。

从太湖及湖湾主要水质参数2004年以来年均浓度的变化情况看,各湖湾主要水质参数浓度之间的差异有变小的趋势,其中溶解氧、总氮最为明显;梅梁湾湖体溶解氧浓度增幅最快,2007年以来梅梁湾比湖西区湖体水质高锰酸盐指数、总磷、总氮浓度改善明显。

3.3.2 水体富营养化程度分析 2009年1-9月太湖湖体叶绿素a浓度相对2004年以来各月同期处于较低水平,湖体富营养评价价值基本处于最低水平;2009年1-9月各月的太湖湖体叶绿素a浓度较2007、2008年各月同期相比有近1/3的月份是上升的,平均上升11.3%,其它均为下降,平均下降31.5%,说明湖体叶绿素a浓度近年来总体是下降的;2009年1-9月各月的太湖湖体富营养评价价值较2007、2008年各月同期除较2008年8月略上升0.15%外,其它各月均为下降,平均下降4.1%,最大下降9.0%。太湖水体多年逐月富营养评价价值变化见图4。

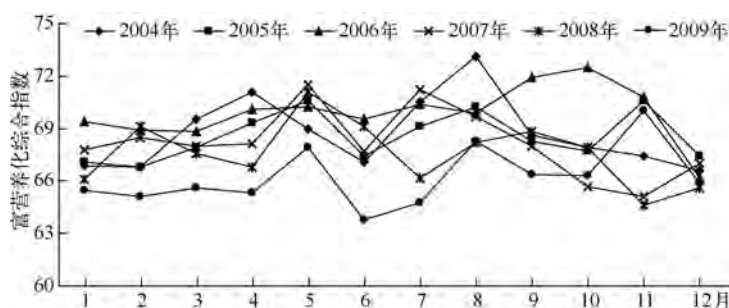


图4 太湖水体多年逐月富营养评价价值变化

Fig. 4 The variation of eutrophic evaluation of Lake Taihu water body during each month in these years

就太湖及各湖湾2004年以来叶绿素a、富营养评价年均值变化来看,除东太湖叶绿素a、富营养评价年均值变化不明显外,其它湖湾均有减小的趋势,竺山湖湖体富营养评价年均值减小最为显著;2009年1-9月竺山湖、梅梁湾、湖西、贡湖、东太湖叶绿素a分别为 $41.58\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $39.38\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $37.70\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $15.41\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $12.39\text{mg}/\text{m}^3$,富营养评价综合指数(年均值)分别为72.4、70.0、68.8、63.3、62.2,呈现由大到小的趋势。

湖体富营养化程度主要取决于湖体水质参数透明度、叶绿素a、高锰酸盐指数、总磷、总氮浓度的大小^[4],通过以上对太湖湖体水质参数及其富营养化程度分析,水质参数总磷、总氮、叶绿素a浓度的改善程度比湖体富营养化评价价值改善程度要快些,说明太湖湖体水质参数浓度处于较高的水平。2009年太湖湖体水质综合评价为Ⅳ类、中度富营养状态,但太湖湖西、竺山湖、梅梁湾水域水质综合评价为Ⅴ-劣Ⅴ类、中度富营养状态,因此,太湖“湖泛”仍时有发生,但随着太湖水质主要参数浓度及湖体富营养评价价值的降低,“湖泛”出现的面积减少、机率降低。

3.4 与太湖水位的关系

我们曾认为太湖水位偏低有利“湖泛”的产生,大部分“湖泛”的发生在太湖水位3.30m以下^[3]。2009年5-9月太湖地区降雨量为802.8mm,分别是多年平均、2008年同期的1.19倍、1.25倍;2009年8月太湖平均水位为2006年以来的同期最高;2009年太湖日平均最高水位为2006年以来的最高值,分别比2006、2007、2008年的日平均最高水位高0.84m、0.39m、0.29m;2009年5-9月太湖各月平均水位值除7月份比多年平均同期低0.01m外,5、6、8、9月平均水位分别比多年平均同期高0.13m、0.02m、0.68m、0.21m(图5)。

据监测到的2009年11次“湖泛”,仅两次“湖泛”发生时太湖日平均水位低于3.30m,“湖泛”发生时的最高水位在4.10m。为此我们认为太湖水位的高低并非太湖“湖泛”发生的决定因素。另外针对2009年11次“湖泛”发生时的监测数据,还发现“湖泛”发生前有长时段的持续升温或高温,遇天气突然变化,气压降

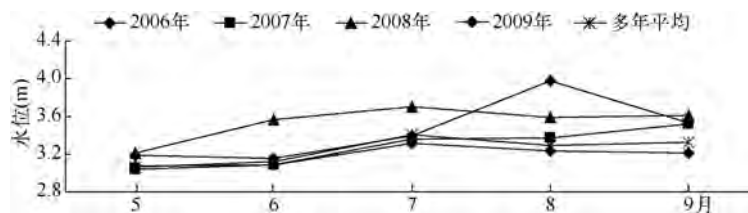


图5 太湖月平均水位变化过程

Fig. 5 The change event of monthly average water level of Lake Taihu

低时易发生“湖泛”,这一结论还将在以后的“湖泛”监测与分析中进一步认识与研究。

4 结语与讨论

近年来我们对太湖“湖泛”的成因进行了初步分析,认为蓝藻打捞、生态清淤、控源截污、“引江济太”调水是预防太湖“湖泛”的有效措施,同时,加强太湖“湖泛”巡查,建立太湖“湖泛”监测预警系统,对及时发现太湖“湖泛”,有序、妥善地处置黑臭水体,确保太湖饮用水水源地安全起到积极的作用。

(1) 蓝藻打捞是抑制“湖泛”发生的关键措施,蓝藻打捞可以直接减少水中氮、磷营养物质,降低湖泊富营养化程度。根据江苏省水文水资源勘测局无锡分局对打捞出的蓝藻中磷、氮含量的监测分析计算,2008 年共打捞蓝藻 $60 \times 10^4 \text{ t}$,相当于从水体中清除 60t 磷和 300t 氮等污染物。目前,蓝藻打捞已经逐步形成了“机械化打捞、工厂化处理、资源化利用”,打捞效率大大提高,同时避免了二次污染,积极打捞还能有效清除死亡的蓝藻堆积。

(2) 实施生态清淤工程不仅能清除了湖体大量内源污染物质、割断了“湖泛”发生的生物链,同时还能降低底泥中氮、磷的释放强度,明显改善湖体水质。生态清淤可直接有效的削减“湖泛”发生的物质基础。

(3) 控源截污是实现太湖水环境好转的根本措施,按水功能区达标排放的要求,严格控制入湖河道的污染物排放量,彻底改变入湖污染物排放量远远超过湖体承载能力的现状,从根本上减少入湖污染物的来源是保障太湖健康的关键。

(4) “引江济太”调水工程^[5]是实现“以动治静、以清释污、以丰补枯、改善水质”战略目标的重大举措,将优质的长江水引入太湖,加大入湖清洁水源,加快水体流动,缩短太湖换水周期,从而提高水体自净能力,改善太湖水环境,增强湖体水环境容量,促进太湖水持续改善。

“湖泛”成因分析涉及多学科、多领域,目前还没有成熟的理论与经验可供参照与借鉴,对“湖泛”巡查和防控措施还需要进一步加强探索与研究。

5 参考文献

- [1] Yang Min, Yu Jianwei, Li Zonglai *et al.* Lake Taihu not to blame for Wuxi's Woes. *Science*, 2008, **319**:158.
- [2] 孔繁胡,胡维平,谷孝鸿等. 太湖梅梁湾 2007 年蓝藻水华形成及取水口污水团成因分析与应急措施建议. *湖泊科学*, 2007, **19**(4):357-358.
- [3] 陆桂华,马 倩. 太湖水域“湖泛”及其成因研究. *水科学进展*, 2009, **20**(3):438-442.
- [4] 朱广伟. 太湖富营养化现状及原因分析. *湖泊科学*, 2008, **20**(1):21-26.
- [5] 崔广柏. 太湖流域水环境综合整治新理念——“引江济太”调水试验引发的思考. *中国水利*, 2004, (6):43-44.