

太湖水体氮、磷赋存量的逐月变化规律研究

赵林林^{1,2}, 朱广伟¹, 顾 钊¹, 朱梦圆¹, 李 未¹, 秦伯强¹, 陈元芳³

(1. 中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊与环境国家重点实验室, 江苏 南京 210008;

2. 江苏省水文水资源勘测局扬州分局, 江苏 扬州 225002; 3. 河海大学水文水资源学院, 江苏 南京 210098)

摘 要:基于中国科学院太湖湖泊生态系统研究站 2005~2009 年对太湖逐月叶绿素 a、氮、磷各形态因子及水深的监测, 结合太湖大浦水文站的逐日水位数据, 估算出 2005~2009 年太湖的逐日水量, 并运用泰森多边形法, 估算出太湖水体总氮(TN)、总磷(TP)、溶解性总氮(TDN)、溶解性总磷(TDP)、硝态氮(NO_3)、铵态氮(NH_4)、亚硝态氮(NO_2)、反应性活性磷(PO_4)、颗粒态总氮(TPN)、颗粒态总磷(TPP)、浮游藻类叶绿素 a(Chla)的逐月动态变化过程。结果表明: (1) 太湖 2005~2009 年 TN、TDN、 NO_2 、 NO_3 、 NH_4 、TP、TDP、 PO_4 、TPN、TPP、Chla 的平均赋存量分别为 $1.36 \times 10^4 \text{ t}$ 、 $1.02 \times 10^4 \text{ t}$ 、 $0.02 \times 10^4 \text{ t}$ 、 $0.37 \times 10^4 \text{ t}$ 、 $0.25 \times 10^4 \text{ t}$ 、514.34 t、147.30 t、51.44 t、 $0.34 \times 10^4 \text{ t}$ 、367.04 t、7.92 t, 不同月份、年际之间变化剧烈, 变幅分别为 106%、142%、657%、252%、233%、95%、196%、276%、236%、131%、276%; (2) 2007 年 6 月无锡贡湖水厂“饮用水危机”事件之后, 截止到 2009 年 12 月, 太湖水体各形态氮及总磷赋存量的下降趋势不明显, 溶解性总磷、反应性活性磷的赋存量反而增高, 反映出营养盐控制任务的艰巨性。本研究表明, 对于年水量变幅巨大的大型湖泊, 全湖水体营养盐赋存量在评估水体营养盐污染状况中是一个有价值的指标; 对于太湖流域的污染控制效果, 仅从浓度角度评价具有一定的缺陷, 有必要从水体营养盐赋存量的变化规律上探讨其治理效果。

关键词: 太湖; 水量; 营养盐赋存量; 地球化学形态; 泰森多边形法

中图分类号: X522

文献标识码: A

文章编号: 1000-0852(2013)05-0028-06

营养盐的大量输入, 导致水体营养盐持续升高, 是太湖蓝藻水华问题的根本原因^[1]。治理太湖的蓝藻水华问题, 其根本途径也是控制氮、磷的入湖通量^[2-3]。而监测、估算太湖水体氮、磷的浓度和赋存量变化是评估太湖水质改善程度、流域污染控制效果的基础。

水体营养盐浓度的变化是评价和分析太湖水质变化及治理效果的最常用手段^[4-7]。然而, 营养盐浓度受水量变化的影响很大。作为一个大型浅水湖泊, 太湖的平均换水周期大约 300d^[8], 且一年中的水位波动很大。据戈礼宾等人对 1956~2006 年太湖水位特征的分析, 50 年来太湖的最高日平均水位 4.97m, 最低日平均水位仅 2.37m, 相差 2.60m, 即便是年平均水位, 最高 3.73m, 最低 2.69m^[9], 波动幅度达 1.04m。这对于一个平

均水深只有 1.89m 的大型湖泊而言, 年水位波动相当大。水位波动也是太湖蓝藻水华形成湖泛的重要因素^[10]。太湖水位偏低, 加之相对稳定的风场作用, 促成太湖沿岸流泥堆积区在厌氧状态下形成湖泛^[11]。因此, 有必要从水体营养盐赋存总量的角度分析太湖湖体营养盐的变化规律。

另外, 太湖水体氮、磷等营养盐总量、浓度受风浪扰动、水华过程等短期气象和生态过程影响很大^[12-13], 如风浪前后水体总磷的浓度相差近 10 倍^[14]。因此, 在分析水体营养盐变化的时候, 有必要将颗粒态、溶解态、各化学形态的氮、磷加以区别进行分析。

本文以太湖湖泊生态系统研究站 2005~2009 年全太湖 32 个点位的营养盐、水深监测数据为基础, 通

收稿日期: 2013-02-05

基金项目: 国家自然科学基金项目(41171368); 中国科学院对外合作重点项目(GJHZ1214); 国家科技重大专项项目(2010ZX03006-006)

作者简介: 赵林林(1987-), 男, 江苏扬州人, 硕士, 研究随机水文学、湖泊水文学、水资源质量监测与管理。E-mail: zhaolinlinstudent@126.com

通讯作者: 朱广伟(1972-), 男, 河南中牟人, 博士后, 中国科学院南京地理与湖泊研究所研究员, 主要从事湖泊水文学、环境水文学。

E-mail: gwzhu@niglas.ac.cn

过对太湖水量的逐日计算,估算出太湖 2005~2009 年水体逐月各形态氮、磷的赋存量,对太湖水体氮、磷赋存量变化的影响因素进行了分析,并对 2007 年发生无锡“饮用水危机”以来太湖营养盐赋存量的变化特征进行了分析,以期对太湖富营养化和蓝藻水华治理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 营养盐数据及其空间差值

太湖水体逐月的总氮(TN)、总磷(TP)、溶解性总氮(TDN)、溶解性总磷(TDP)、硝态氮(NO_3)、铵态氮(NH_4)、亚硝态氮(NO_2)、反应性活性磷(PO_4)、颗粒态总氮(TPN)、颗粒态总磷(TPP)、浮游藻类叶绿素 a (Chl-a) 及采样期间各点位的水深数据来自中国科学院太湖湖泊生态系统研究站。该站在太湖布设 32 个监测点位(见图1),其中北太湖的 0、1、3~8、10、13、14、16、17、32 共 14 个点位为逐月监测点位,其余点位则每年 2 月、5 月、8 月、11 月各监测 1 次。



图1 太湖监测点位及其代表区域划分

Fig.1 The monitoring sites and representative areas in the Taihu Lake

为了考虑每个监测点位的空间代表性,在 1km×1km 水深图的基础上,采用泰森多边形法为每个监测点位划分了代表区域,如图 1 所示。结合水位、水深及面积数据,计算出每个区域内的总水量。由于边界处理问题,共获得 1km×1km 有效格点 2 226 个,与太湖 2 338km² 的水面面积数据基本相符^[8]。

1.2 太湖水量的估算方法

利用太湖湖泊生态系统研究站逐月巡查时各个点位的现场调查水深值及 1km×1km 格点水深图,基于泰

森多边形法计算出太湖平均水深($SH_{\text{巡}}$),然后利用江苏省水文水资源勘测局提供的太湖大浦水文站逐日水位数据(DW),构建与同期大浦水位($DW_{\text{巡}}$)之间的关系,二者关系如图 2 所示。

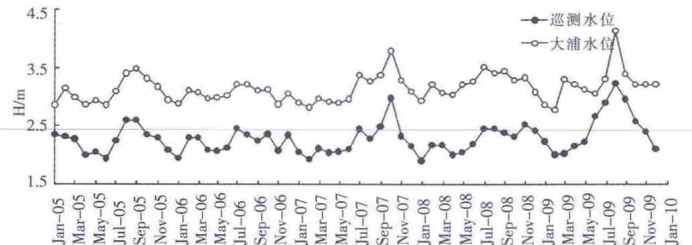


图2 太湖水深与大浦水位数据关系图

Fig.2 The relationship between the water depth in the Taihu Lake and the water level at the Dapu station

二者的线性相关关系为:

$$DW_{\text{巡}} = 0.706 \times SH_{\text{巡}} + 1.536$$

由此即可获得太湖的平均水深与对应的大浦水位之间的关系式,然后利用大浦水文站的逐日水位数据,即可求得太湖平均水深,结合太湖面积,即可得到太湖储水量的日变化过程。

1.3 太湖水体氮、磷赋存量的估算

在太湖水量日变化数据的基础上,计算出每月调查时各个点位所代表的水量,结合该点各形态氮、磷浓度,采用加权平均的方法获得当月太湖水体各形态氮、磷的赋存量。采用同样的方法,估算出全湖水体叶绿素 a 含量,用于近似反映水体浮游藻类生物量的变化。

2 结果与讨论

2.1 2005~2009 年太湖水体水量变化

基于 2005~2009 年大浦水文站水位数据基础上的太湖水量日变化情况如图 3 所示。

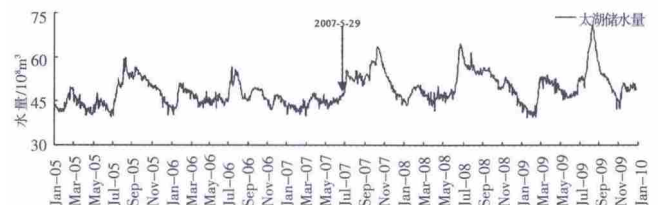


图3 2005~2009 年太湖水量的日变化图

Fig.3 The change of the total water volume in the Taihu Lake from 2005 to 2009

从图 3 可以看出,无论是年内,还是不同年度之间,太湖水量的变化都很剧烈。2005~2009 年太湖水量介于 $39.32 \times 10^8 \text{ m}^3 \sim 71.15 \times 10^8 \text{ m}^3$ 之间,变幅最大的是 2009 年。以日为统计单位,2005~2009 年的年内变幅

分别为 43%、35%、48%、45%及 63%。具体变幅情况如表 1 所示。

表1 太湖各年水量统计表（以日为单位）
Table1 Statistics of the annual water volume in the Taihu Lake (based on daily value)

	平均值	最小值	最大值	变幅	相对变幅
	/10 ⁸ m ³	/10 ⁸ m ³	/10 ⁸ m ³	/10 ⁸ m ³	
2005 年	47.01	39.54	59.79	20.25	0.43
2006 年	46.81	40.21	56.68	16.47	0.35
2007 年	48.89	39.98	63.58	23.60	0.48
2008 年	50.70	41.76	64.69	22.93	0.45
2009 年	50.33	39.32	71.15	31.83	0.63
2005~2009 年	48.75	40.16	63.18	23.02	0.47

根据太湖的水量日变化,计算出 2005~2009 年太湖的平均水深为 1.87 m, 平均水量为 48.74×10⁸ m³,与文献中平均水深 1.89 m、平均水量 44.4×10⁸ m³ 的数值相当^[8]。

2.2 2005~2009 年太湖水体营养盐的赋存量变化

根据太湖湖泊生态系统研究站逐月监测营养盐浓度及水量日变化,估算出太湖水体各形态氮、磷及叶绿素 a 赋存量随时间的变化,如图 4 所示。

从图 4 可以看出,各形态氮、磷及叶绿素 a 的赋存量年变化都很大。W、TN、TDN、NO₃、Chl-a 具有明显的以年为周期的变化规律,NO₂ 除 2005 年 7 月外总量较为稳定,5 年来 PO₄ 的水体赋存量总体呈上升趋势。TPN 与 TPP 变化趋势一致,而 TP、TDP、NH₄ 周期规律不太明显,其中 TP 的变化十分剧烈。

在统计各形态氮、磷、叶绿素 a 赋存量月均值的基础上,计算出赋存量的年平均值,如表 2 所示。通过

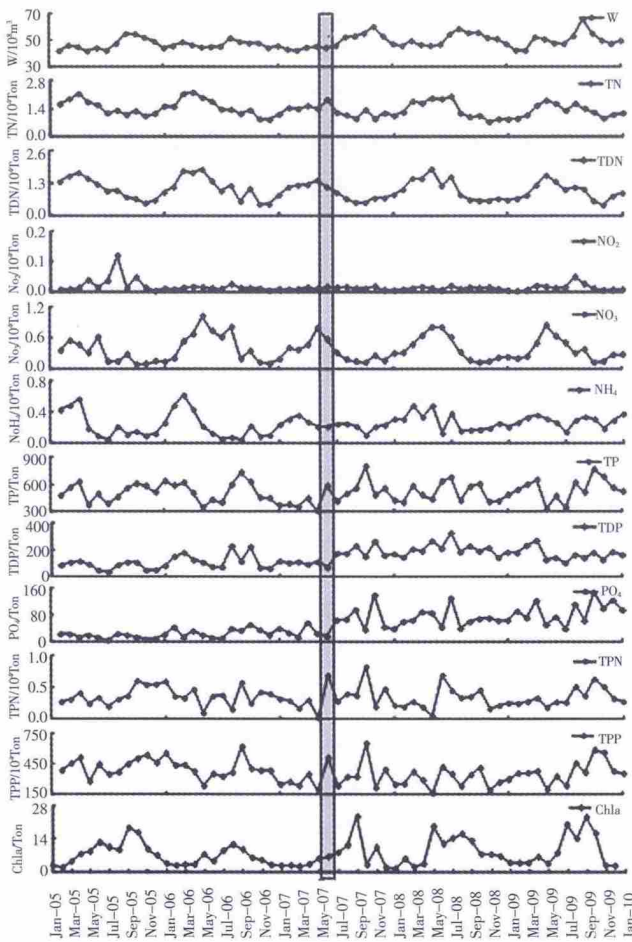


图4 太湖湖体营养盐赋存量逐月变化图
Fig.4 The monthly nutrient volume in the Taihu Lake

注:W 表示水量。

表 2 可以计算出 2005~2009 年太湖水体 TN、TDN、NO₂、NO₃、NH₄、TP、TDP、PO₄、TPN、TPP、Chl-a 的赋存量分别为 1.36×10⁴t、1.02×10⁴t、0.02×10⁴t、0.37×10⁴t、

表2 营养盐总量统计表（以月平均为单位）
Table2 The statistics of total nutrient volume (based on monthly value)

	W	TN	TDN	NO ₂	NO ₃	NH ₄	TP	TDP	PO ₄	TPN	TPP	Chl-a
	/10 ⁸ m ³	/10 ⁴ t	/10 ⁴ t	/10 ⁴ t	/10 ⁴ t	/10 ⁴ t	/t	/t	/t	/10 ⁴ t	/t	/t
2005	47.00	1.45	1.06	0.029	0.28	0.23	522.24	81.49	16.13	0.39	440.75	9.07
2006	46.81	1.46	1.12	0.014	0.46	0.22	508.80	127.73	29.21	0.34	381.07	5.73
2007	48.85	1.26	0.92	0.014	0.34	0.24	482.00	151.37	51.86	0.35	330.63	6.79
2008	50.71	1.34	1.04	0.014	0.41	0.27	509.05	207.80	69.74	0.30	301.24	9.03
2009	50.26	1.31	0.96	0.017	0.37	0.29	549.61	168.11	90.28	0.34	381.50	8.99
$\bar{X}$	48.73	1.36	1.02	0.018	0.37	0.25	514.34	147.30	51.44	0.34	367.04	7.92
V	23.03	1.33	1.39	0.115	0.92	0.58	490.81	192.60	124.57	0.81	451.66	21.34
ΔV	46%	93%	125%	400%	200%	261%	102%	131%	240%	232%	137%	314%
V ₅	23.48	1.45	1.46	0.115	0.94	0.58	490.81	289.08	141.83	0.81	479.26	21.86
ΔV_5	48%	106%	142%	657%	252%	233%	95%	196%	276%	236%	131%	276%

注: $\bar{X}$ 表示 5a 均值,V 表示年内变幅, ΔV 表示年内相对变幅,V₅ 表示 5a 变幅, ΔV_5 表示 5a 相对变幅。

0.25×10⁴t、514.34t、147.30t、51.44t、0.34×10⁴t、367.04t 和 7.92t。

统计各指标的年内变幅可知, 年内 W、TN、TDN、NO₂、NO₃、NH₄、TP、TDP、PO₄、TPN、TPP、Chl-a 的最大相对变幅分别为 46%、93%、125%、400%、200%、261%、102%、131%、240%、232%、137%、314%, 而 5 年内的最大相对变幅则分别达到 48%、106%、142%、657%、252%、233%、95%、196%、276%、236%、131%、276%, 反映出水体营养盐赋存量的巨大变化。

1998~2007 江苏省环太湖多年平均 NH₄、TP、TN 的入湖量分别为 2.14×10⁴t、0.17×10⁴t、3.7×10⁴t, 年平均增长率分别为 2.48%、0.72%、2.57%^[15]。而 2009 年环太湖河道 TN、TP、NH₄ 入湖总量分别为 5.11×10⁴t、0.19×10⁴t、1.32×10⁴t, 出湖总量分别为 3.60×10⁴t、

0.11×10⁴t、0.89×10⁴t^[16]。许朋柱由 2001~2002 水文年 115 条环太湖河道的同步环境监测资料, 估算全年的 TN、TP 入湖总通量分别为 2.8×10⁴t/a、0.10×10⁴t/a, 出湖总量为 1.46×10⁴t/a、0.07×10⁴t/a; NH₄、NO₂、NO₃、TDP 入湖总通量分别为 1.24×10⁴t/a、0.10×10⁴t/a、1.05×10⁴t/a、0.06×10⁴t/a, 出湖总量为 4.87×10⁴t/a、0.04×10⁴t/a、5.86×10⁴t/a、0.04×10⁴t/a^[17]。与之类比, 以 2009 年的外源输入程度下, 外源净输入的 TN、TP、NH₄ 是 2005~2009 年太湖平均水体赋存量的 1.11 倍、1.56 倍、1.72 倍, 足见外源输入对太湖的巨大影响。

2.3 太湖水体营养盐各参数的相关关系

以月为单位, 建立月平均水量、月平均水温及各形态营养盐、叶绿素的月平均赋存量之间的相关关系, 如表 3 所示。

表3 相关性分析矩阵表
Table3 Analysis of correlation matrix

	WT	W	TN	TDN	NO ₂	NO ₃	NH ₄	TO	TDP	PO ₄	TPN	TPP
W	0.54											
	<.0001											
TN	-0.23	-0.25										
	0.0751	0.0513										
TDN	-0.32	-0.34	0.91									
	0.0115	0.0078	<.0001									
NO ₂	0.36	0.08	0.08	0.07								
	0.0046	0.5402	0.5547	0.5738								
NO ₃	-0.10	-0.23	0.73	0.82	-0.09							
	0.4478	0.0801	<.0001	<.0001	0.4997							
NH ₄	-0.62	-0.11	0.54	0.59	-0.12	0.22						
	<.0001	0.4109	<.0001	<.0001	0.3780	0.0905						
TP	0.15	0.36	0.06	-0.24	-0.05	-0.28	0.09					
	0.2578	0.0050	0.6703	0.0678	0.6905	0.0308	0.4963					
TDP	0.03	0.42	-0.02	0.05	-0.12	0.10	0.33	0.33				
	0.7967	0.0009	0.8772	0.6957	0.3496	0.4558	0.0107	0.0108				
PO ₄	0.02	0.41	-0.20	-0.16	-0.09	-0.11	0.23	0.31	0.74			
	0.8920	0.0011	0.1232	0.2114	0.4921	0.4184	0.0727	0.0149	<.0001			
TPN	0.28	0.27	0.02	-0.39	-0.01	-0.36	-0.23	0.71	-0.17	-0.05		
	0.0318	0.0382	0.8524	0.0023	0.9473	0.0053	0.0786	<.0001	0.1974	0.7049		
TPP	0.13	0.13	0.07	-0.27	0.02	-0.34	-0.10	0.84	-0.24	-0.10	0.82	
	0.3117	0.307	0.5984	0.0345	0.8976	0.0073	0.4625	<.0001	0.0636	0.4292	<.0001	
Chla	0.69	0.56	-0.18	-0.44	0.23	-0.34	-0.44	0.54	0.05	0.11	0.65	0.53
	<.0001	<.0001	0.1580	0.0005	0.0771	0.0088	0.0004	<.0001	0.6953	0.4157	<.0001	<.0001

注:加粗的为极显著相关,加粗斜体的为显著相关。WT代表水温,其他符号含义同前。

从表 3 可以看出,太湖水体 TN 的赋存量与水温、水量呈显著的负相关关系,这与总氮的污染排放特征及水体氮的反硝化作用流失有关系。在农业生产上,春

季是氮肥大量使用的季节,而此期间往往是枯水期,温度也较低,同时细菌活性低,湖泊中反硝化过程等脱氮过程慢,形成了高氮、低水位的特征,此时水体氮的浓

度特别高。而夏季随着施肥量的下降以及强降雨的稀释作用,流域及湖体氮的浓度均大幅度下降,同时湖体细菌活性旺盛,反硝化脱氮作用强烈,形成了高水位、低氮赋存量的特征。

太湖水体总氮赋存量与水位和温度反相关的现象也说明了夏季水体低氮浓度并非仅仅是藻类大量吸收利用的结果。因为藻类吸收利用的氮应仍在水体中以总氮的形式存在。流域农业施肥量下降引起的总输入量下降及水体反硝化作用脱氮加强可能是最主要的原因。

从表3还可以看出,太湖水体TN的赋存量与TDN、 NO_3 、 NH_4 均呈现显著正相关。这说明溶解态氮是太湖水体氮的主要赋存形式,且硝态氮、铵态氮对水体总氮的贡献均比较大。这与文献中各形态氮浓度的变化规律一致^[3]。TN与TPN相关性很差,与Chl-a呈现负相关,而且Chl-a与 NO_3 、 NH_4 均呈现显著负相关关系,说明藻类颗粒态氮不是太湖水体氮的主要赋存形态,但藻类的吸收利用对溶解态氮浓度具有明显的影响。这与许海等人实验获得的浮游植物生长的氮供给不足现象相吻合^[3]。藻类生长吸收利用可能是夏季水体 NO_3 、 NH_4 含量大幅度下降的因素之一。

表3表明,太湖水体中TP的赋存量与TDP、 PO_4 呈显著正相关,与W、TPN、TPP、Chl-a呈现极显著负相关。太湖水体总磷易受悬浮颗粒物及藻类生物量的影响。据对太湖多个监测点位中总磷的影响因素分析,太湖水体总磷受水体悬浮颗粒物含量、叶绿素含量及溶解性总磷含量三者共同影响,三者的贡献大致相当^[12]。频繁的水动力扰动导致太湖水体悬浮颗粒物浓度受风浪扰动过程的影响很大^[14,18],而水华期间漂浮性水华在空间上的大范围漂移又使得水体蓝藻生物量具有强烈的波动性^[13,19-20],造成水体TP赋存量波动很大。这也与图4中TP的波动特别大的现象吻合。

2.4 无锡“饮用水危机”后水体营养盐赋存量的变化

2007年5月29日~6月3日,因蓝藻水华大暴发引发的湖泛造成无锡的贡湖水厂水源地停止供水,影响整个无锡市的自来水供给,形成了“饮用水危机”事件。该事件之后,从国家到地方,高度重视,投入大量的经费从事太湖及其流域的污染治理及研究工作。

在图4中,灰色条所处时间为2007年6月,即水危机事件之后。对比前后各形态氮、磷的赋存量变化,

可以看出,当时除了TN、TP、TPN、TPP赋存量呈现一个小的峰值外,全湖的Chl-a总量及其他营养盐指标均未表现出异常。由此可见,对于全太湖2338km²范围内,局部地区的水体理化特征与大面积全湖特性存在差异,这也正是太湖蓝藻水华的特点,即在全湖总量不是很高的情况下,基于合适的气象条件、水文条件,就可以在局部形成较大的灾害。陆桂华等人及秦伯强等人的分析中均提到了这一特征^[10-11]。这也说明对于蓝藻水华的灾害,可以根据气象信息及水体监测信息实施预警。

从图4中看,2007年水危机之后,各形态氮下降的趋势并不明显,只有铵态氮的赋存量略有下降。而各形态磷的赋存量也没有下降趋势,总磷变化剧烈无法判断,而TDP和 PO_4 的赋存量则呈上升趋势:2005年1月~2007年5月,二者的赋存量平均值为103.55t、23.53t,2007年6月~2009年12月则分别为188.23t、77.56t,分别增加了81.8%、229.6%。这说明2007~2009年的治理还没有显示出效果,湖体对流域富营养化治理的响应存在明显滞后。

从浓度角度来分析,陈润等采用单因子评价法结合内梅罗污染指数法,对2007年水危机后太湖水质进行评价,认为太湖水体污染仍然较严重,但对比2008、2009与2007年的水质,整体上呈现逐渐好转的趋势^[21]。但从表2及图4中均可以看出,2007年后水量是增加的,营养盐的入湖总量也明显增加,浓度下降不等于总量下降,可见太湖的治理仍需大量工作。

3 结论

2005~2009年,太湖平均水量为 $48.74 \times 10^8 \text{m}^3$,但波动很大,最大储水量为 $71.15 \times 10^8 \text{m}^3$,最小为 $39.32 \times 10^8 \text{m}^3$,年内和年际波动都很大。以月为单位,太湖2005~2009年水体TN、TDN、 NO_2 、 NO_3 、 NH_4 、TP、TDP、 PO_4 、TPN、TPP、Chl-a的赋存量分别为1.36 $\times 10^4$ t、1.02 $\times 10^4$ t、0.02 $\times 10^4$ t、0.37 $\times 10^4$ t、0.25 $\times 10^4$ t、514.34t、147.30t、51.44t、0.34 $\times 10^4$ t、367.04t、7.92t,相对变幅分别为106%、142%、657%、252%、233%、95%、196%、276%、236%、131%、276%,同样具有很大的波动性。

2007年5月的“饮用水危机”期间,太湖水体各形态氮、磷的赋存量并非最高,这反映了“湖泛”等蓝藻水华灾害具有一定的偶然性和突发性。对比2007年6月前后,至2009年底,经过政府的治理,虽然没

有显著改善,但是也没有继续恶化,这在经济仍然高速发展的情况下,也是治理的成效。截止 2009 年底,湖体对流域富营养化治理的响应存在明显滞后。太湖及其流域开展的污染治理还未在湖体营养盐赋存量方面反映特别明显效果,还需要继续加大对太湖治理工作的资金投入,该治理效果还应继续实施跟踪监测。

参考文献:

- [1] Qin, B., P. Xu, Q. Wu, et al. Environmental issues of Taihu Lake, China [J]. *Hydrobiologia*, 2007, 581: 3–14.
- [2] Paerl H W, H Xu, M J McCarthy, et al. Controlling harmful cyanobacterial blooms in a hypereutrophic lake (Taihu Lake, China): The need for a dual nutrient (N & P) management strategy [J]. *Water Research*, 2011, 45:1973–1983.
- [3] Xu Hai, Hans W Paerl, Qin Boqiang, et al. Nitrogen and phosphorus inputs control phytoplankton growth in eutrophic Taihu Lake, China [J]. *Limnology & Oceanography*, 2010,55(1): 420 – 432.
- [4] Chen, Y., C. Fan, K. Teubner & M. Dokulil. Changes of nutrients and phytoplankton chlorophyll-a in a large shallow lake, Taihu, China: an 8-year investigation [J]. *Hydrobiologia*, 2003,506–509, 273–279.
- [5] Liu, X., Lu, X. H., Chen, Y. W. The effects of temperature and nutrient ratios on *Microcystis* blooms in Taihu Lake, China: an 11-year investigation [J]. *Harmful Algae*, 2011,10:337–343.
- [6] 朱广伟. 太湖水质的时空分异特征及其与水华的关系 [J]. *长江流域资源与环境*, 2009, 18(5): 439–445.(ZHU Guangwei. Spatio-temporal distribution pattern of water quality in Taihu Lake and its relation with cyanobacterial blooms [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2009,18(5): 439–445. (in Chinese))
- [7] 王雪, 余辉, 燕姝雯, 等. 太湖流域上游河流污染空间分布特征研究 [J]. *长江流域资源与环境*, 2012, 21(3): 341–348. (WANG Xue, YU Hui, YAN Shuwen, et al. Spatial Distribution Characteristics of Up-stream River Pollution in Lake Taihu Basin [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*. 2012, 21 (3): 341–348.(in Chinese))
- [8] 孙顺才, 黄漪平. 太湖 [M]. 北京: 海洋出版社, 1993, 1–15. (SUN Shuncai, HUANG Yiping. *Taihu Lake* [M]. Nanjing: Maritime Press, 1993,1–15. (in Chinese))
- [9] 戈礼宾, 潘彩英, 张泉荣, 等. 太湖水位资料系列分析与水位特征值计算 [J]. *水资源研究*, 2008, 29 (4): 7–8. (GE Libing, PAN Caiying, ZHANG Quanrong, et al. The analysis with the water level and eigenvalue calculation in Taihu Lake [J]. *Water Resources Research*. 2008, 29(4): 7–8. (in Chinese))
- [10] Qin, Boqiang, Guangwei Zhu, Guang Gao, et al. A drinking water crisis in Lake Taihu, China: linkage to climatic variability and lake management [J]. *Environmental Management*, 2010, 45:105–112.
- [11] 陆桂华, 马倩. 太湖水域“湖泛”及其成因研究 [J]. *水科学进展*, 2009, 20 (3): 438–442. (LU Guihua, MA Qian. Analysis on the causes of forming black water cluster in Taihu Lake [J]. *Advances in Water Science*. 2009, 20(3): 438–442. (in Chinese))
- [12] Zhu, G., Wang, F., Gao, G., et al. Variability of phosphorus concentration in large, shallow and eutrophic Taihu Lake, China [J]. *Water Environment Research*, 2008, 80(9): 832–839.
- [13] 赵林林, 朱梦圆, 冯龙庆, 等. 太湖水体理化指标在夏季短时间尺度上的分层状况及其控制因素 [J]. *湖泊科学*, 2011, 23(4): 649–656. (ZHAO Linlin, ZHU Mengyuan, FENG Longqing, et al. Stratification and its controlling factors of water physical and chemical variables in large shallow Taihu Lake [J]. *Lake Sciences*, 2011, 23(4):649–656. (in Chinese))
- [14] Zhu G., Qin B., Gao G. Direct evidence of phosphorus outbreak release from sediment to overlying water in a large shallow lake caused by strong wind wave disturbance [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2005, 50(6): 577–582.
- [15] 马倩, 刘俊杰, 高明远. 江苏省入太湖污染物分析 1998~2007[J]. *湖泊科学*, 2010,22 (1):29–34. (MA Qian, LIU Junjie, GAO Mingyuan. Amount of pollutants discharged into Taihu Lake from Jiangsu province, 1998–2007 [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2010, 22(1): 29–34. (in Chinese)).
- [16] 燕姝雯, 余辉, 张璐璐. 2009 年环太湖入出湖河流量及污染负荷通量[J]. *湖泊科学*, 2011,23(6): 855–862. (YAN Shuwen, YU Hui, ZHANG Lulu. Water quantity and pollutant fluxes of inflow and outflow rivers of Taihu Lake, 2009 [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2011, 23(6) : 855–862. (in Chinese))
- [17] 许朋柱, 秦伯强. 2001~2002 水文年环太湖河道的水量及污染物通量[J]. *湖泊科学*, 2005,17(3):213–218. (XU Pengzhu, QIN Boqiang. Water quantity and pollutant fluxes of the surrounding rivers of Taihu Lake during the hydrological years of 2001–2002[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2005,17(3): 213–218. (in Chinese))
- [18] 朱广伟, 秦伯强, 高光. 强弱风浪扰动下太湖的营养盐垂向分布特征[J]. *水科学进展*, 2004,15(6): 775–780. (ZHU Guangwei, QIN Boqiang, GAO Guang. Vertical distribution of the concentrations of phosphorus and suspended solid in Taihu Lake affected by wind induced wave [J]. *Advances in Water Science*, 2004, 15(6): 775–780. (in Chinese))
- [19] Zhu G., Wang F., Zhang Y., et al. Hypoxia and its environmental influences in large, shallow, and eutrophic Taihu Lake, China [J]. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 2008, 30(3): 361–365.
- [20] Zhu G., Qin B., Gao G., et al. Effects of hydrodynamics on phosphorus concentrations in water of Taihu Lake, a large, shallow, eutrophic lake of China [J]. *Hydrobiologia*, 2007, 581: 53–61.
- [21] 陈润, 钱磊, 申金玉, 等. 2007 年水危机后太湖水质评价[J]. *水电能源科学*, 2002,30 (2):32–34. (CHEN Run, QIAN Lei, SHEN Jinyu, et al. Water quality assessment of Taihu Lake after water crisis in 2007 [J]. *Water Resources and Power*, 2002, 30 (2): 32–34. (in Chinese))

(下转第 45 页)

- Irrigation, 2009,(4): 33–35. (in Chinese))
- [15] 张素芳, 蒋白懿, 李亚峰. 村镇高氟水处理技术及其应用[J]. 水资源与水工程学报, 2010, 21 (6):143–145. (ZHANG Sufang, JIANG Baiyi, LI Yafeng. High fluoride water treatment technology and its application in villages and township[J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2010, 21(6):143–145. (in Chinese))
- [16] 杨湘奎, 孔庆轩, 李晓抗. 三江平原地下水资源合理开发利用模式探讨 [J]. 水文地质工程地质, 2006,(3):49–52. (YANG Xiangkui, KONG Qingxuan, LI Xiaokang. Discussion of reasonable exploration and use pattern of groundwater resources in the Sanjiang plain[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2006, (3):49 –52. (in Chinese))
- [17] 董秀颖, 王振龙. 淮河流域水资源问题与建议[J]. 水文, 2012, 32 (4):74–78. (DONG Xiuying, WANG Zhenlong. Questions and suggestions on water resources in Huaihe River basin [J]. Journal of China Hydrology, 2012, 32(4):74–78. (in Chinese))

Study on Drinking Water Supply Mode in High-fluoride Groundwater Areas in Southwest Shandong Province

HAO Qichen¹, SHI Jian², SU Chen^{1,3}, JIANG Shan², SHAO Jingli¹, WAN Miao²

(1.School of Water Resources and Environment, China University of Geosciences, Beijing 100083 China; 2.Shandong Provincial Institute of Land Surveying and Mapping, Jinan 250102 China; 3.Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, CAGS, Shijiazhuang 050061 China)

Abstract: In order to ensure the safety of drinking water in the southwest Shandong Province where residents use high-fluoride groundwater as drinking water. Target areas where groundwater matches the drinking water standard was delimited based on hydrogeological survey, analysis of water quality and comprehensive evaluation of water quality. According the water target areas and combing the distribution of other water resource, water supply status and type of water supply, three kinds of water supply modes were developed in different areas. The first one is centralized water supply mode which use shallow porous water or karst fissure water as drinking water and domestic water. The second one is dual water supply mode which use deep porous water as drinking water and supply shallow porous water as domestic water. The last one is centralized water supply mode which use surface water as the main resource of drinking water and domestic water. These water supply modes could be referred by future detailed projects to prevent resident from suffering high-fluoride water.

Key words: aquifers; high-fluoride groundwater; target area for drinking water; water supply mode

(上接第 33 页)

Monthly Variation of Nitrogen and Phosphorus Volume in Taihu Lake, China

ZHAO Linlin^{1,2}, ZHU Guangwei¹, GU Zhao¹, ZHU Mengyuan¹, LI Wei¹, QIN Boqiang¹, CHEN Yuanfang³

(1. State Key Laboratory of Lake Science and Environment, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 2.Yangzhou Hydrology and Resources Survey Bureau of Jiangsu Province, Yangzhou 225002, China; 3. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Based on the monthly data of chlorophyll-a, nitrogen forms, phosphorus forms and water depth observed by the Taihu Lake Ecosystem Research Station under Chinese Academy of Sciences from 2005 to 2009, and the daily water level data from the Dapu Station, the daily water quantity of the Taihu Lake from 2005 to 2009 was estimated, and the Tyson polygon method was used to estimate the monthly variation of total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), total dissolved nitrogen (TDN), total dissolved phosphorus (TDP), nitrate nitrogen (NO₃), ammonium nitrogen (NH₄), nitrite nitrogen (NO₂), reactive phosphorus(PO₄), total particulate nitrogen (TPN), total particulate phosphorus (TPP), planktonic algae chlorophyll-a (Chl-a) in the Taihu Lake. The results show that: (1) The average volumes of TN, TDN, NO₂, NO₃, NH₄, TP, TDP, PO₄, TPN, TPP, Chl-a are respectively 1.36×10⁴t, 1.02×10⁴t, 0.02×10⁴t, 0.37×10⁴t, 0.25×10⁴t, 514.34t, 147.30t, 51.44t, 0.34×10⁴t, 367.04t, 7.92t in the Taihu Lake during 2005–2009. The monthly and annual change are violent. The relative amplitude are respectively 106%, 142%, 657%, 252%, 233%, 95%, 196%, 276%, 236%, 131%, 276%. (2) Since the Wuxi water crisis in June 2007 untill the end of 2009, the decline trend of various nitrogen forms and total phosphorus in the Taihu Lake is not obvious, and the volume of dissolved phosphorus and reaction activity of phosphate increased. This study shows that as for large lakes with great change amplitude of water quantity, the volume of lake nutrient is a valuable indicator in the assessment of nutrient pollution. In the view of pollution control, it is not perfect only to evaluate the concentration, and it is necessary to pay attention to nutrient volume changes.

Key words: Taihu Lake; water quantity; nutrient volume; geochemical forms; Thiessen polygon method