J. Lake Sci.(湖泊科学),2011,**23**(6):855-862
http://www.jlakes.org. E-mail:jlakes@niglas.ac.cn
© 2011 by *Journal of Lake Sciences*

2009 年环太湖入出湖河流水量及污染负荷通量*

燕姝雯[1],余　辉[1**],张璐璐[1],徐　军[2],王振平[3]
(1:中国环境科学研究院湖泊生态环境创新基地国家环境保护湖泊污染控制重点实验室,北京 100012)
(2:中国科学院水生生物研究所东湖湖泊生态系统试验站,武汉 430072)
(3:江西农业大学,南昌 330045)

摘　要:通过对 2009 年环太湖水文巡测及同步水质监测数据整理,得到 2009 年环太湖河流入出湖水量以及污染负荷,并将之与前期文献资料数据进行对比.结果表明,2009 年环太湖河道入出湖水量分别为 88.40×10^8 m^3、93.27×10^8 m^3.入湖水量超过 5×10^8 m^3 的依次为陈东港、大浦港、梁溪河、太滆运河、望虞河.出湖水量最大两条河为太浦河、长兜港,水量超过 20×10^8 m^3.宜兴地区入湖污染物负荷较大,应加强治理;悬浮颗粒物出湖通量大于入湖通量,且绝大多数从太湖南部地区出湖;总氮滞留率在下降的同时入湖通量在逐年增加;引江济太对太湖总体水质改善有积极作用,与湖内污染数据对比分析表明出入湖河流水质对太湖影响较大.
关键词:太湖;水量;污染物通量;滞留率;引江济太

Water quantity and pollutant fluxes of inflow and outflow rivers of Lake Taihu, 2009

YAN Shuwen[1], YU Hui[1], ZHANG Lulu[1], XU Jun[2] & WANG Zhenping[3]
(1: *State Environment Protection Key Laboratory for Lake Pollution Control, Research Center of Lake Eco-environment, Chinese Research Academy of Environmental Science, Beijing* 100012, *P. R. China*)
(2: *Donghu Experimental Station of Lake Ecosystems, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan* 430072, *P. R. China*)
(3: *Jiangxi Agricultural University, Nanchang* 330045, *P. R. China*)

Abstract: By the synchronous environmental monitoring of 49 inflow and outflow rivers of Lake Taihu, this study analyzed the water quantity and pollutant fluxes of those rivers in 2009, and compared them with the literature data of previous years. Analyses showed that water fluxes of the inflow and outflow rivers were 88.40×10^8 m^3 and 93.27×10^8 m^3 successively in the year 2009, respectively. The 5 largest inflow water fluxes were in the order as Chendonggang > Dapugang > Liangxi River > Taige River > Wangyu River and the 2 largest outflow water fluxes were Taipu River and Changdougang. Analyses also showed that the river pollution from Yixing area were heaviest, and should be urgently improved. Also the outflow suspend particle fluxes were extremely larger than that of inflow and most of suspend particle was outflow in the south part of the lake. Furthermore, the total nitrogen and total phosphorus fluxes increased since 2002. The project of water diversion from Yangtze River to Taihu basin was good for water quality of the lake. Comparison of water quality between the lake and rivers suggested that the inflow river pollutant had important effect on the lake water.
Keywords: Lake Taihu; water quantity; pollutant fluxes; retention rate; water Diversion from Yangtze River to Lake Taihu

近年来,太湖污染问题一直受到高度关注.湖泊污染负荷包括内源与外源[1],其中外源负荷对湖泊的长期变化起着巨大的作用.外源负荷进入湖泊的途径有入湖河道、大气干湿沉降、地下水入渗等[1].毛新伟等利用 1998 – 2000 年数据对太湖湖区水量平衡进行分析得到结论,环太湖口入出湖水量是对太湖水量变化影

* 国家水体污染控制与治理科技重大专项项目(2008ZX07101 – 001)和国家自然科学基金项目(31170439、30870428)联合资助.2010 – 12 – 02 收稿;2011 – 05 – 09 收修改稿.燕姝雯,女,1985 年生,硕士研究生;E-mail:yanshuwen1985@163.com.
** 通讯作者;E-mail:yuhui@craes.org.cn.

响最大的一个因子[2]. 而河道污染物输入则是太湖主要的外源污染,也是流域点源、非点源污染的综合表现[3].

太湖流域河道纵横、水网稠密且受人类活动影响巨大. 同时,近几十年来,流域的水系格局发生巨大的变化[4]. 掌握环太湖入出湖水量及水质对太湖污染状况的研究具有重要的意义[5].

在对环太湖水量水质的研究方面,许朋柱等根据 2001 - 2002 水文年 115 条环太湖河道的同步环境监测资料,对水量及污染物通量进行了估算,研究表明环太湖河道入湖污染负荷的增加是太湖水环境恶化的根本原因[1]. 翟淑华等通过对环太湖水文巡测资料水量统计方法比较,计算分析 2000 - 2002 年环太湖河流进出湖水量、水质、污染负荷变化[5],得出 2000 年后环太湖进出湖河流水质污染恶化趋势得到初步遏制的结论. 沈国华等利用 1996 - 2006 年太湖水文巡测资料,对太湖进出湖水量变化进行了分析[6]. 郑一等通过非参数检验探讨了太湖地区河道水质时空差异[7].

本文根据 2009 年的水文巡测以及同步水质监测资料,分析了 2009 年入出太湖水量并计算总氮、总磷等污染物的入出湖污染负荷,结合水文水质的历史资料,探讨了环太湖入出湖河流水量、污染负荷现状以及历史变化特征.

1 环太湖河道水文水质监测方法

1.1 水量监测方法及点位选择

本文根据 2009 年全年的水文巡测资料,对环太湖入出湖水量水质进行分析. 巡测站断面选择原则首先是离湖边有一定距离,以期减小太湖水动力脉动对断面水文特征的影响,其次断面不能离湖边太远,保证断面到太湖段基本没有其他水流汇入. 另外,所有断面都选在桥梁上,便于测量. 最后总监测河流能控制环太湖 80% 以上的入出湖水量.

基于以上原则选择 49 条环太湖入出河流,每月定期监测水量并同步测量水质. 根据河流入湖区域将 49 条监测河流入出湖地点分为太湖东部(苏州地区)、太湖西部(宜兴地区)、太湖南部(湖州地区)、太湖北部(无锡市区以及常州武进地区)四个区域(图 1). 由于望虞河、太浦河不定期开闸,为求准确,望虞河以及太浦河水量数据参考太湖网公布的调水数据.

河流流速以及水量的测定使用澳大利亚 unidata 公司的 STARFLOW 超声多普勒流速、水位、温度综合测量仪. 流量巡测频次为每月一次,水质采样同时进行,测验时段为 2009 年全年,每月下旬采样.

1.2 水质监测方法及点位选择

水质监测同水量监测一致,水质分析项目有悬浮物(SS)、化学需氧量(COD_{Mn})、总氮(TN)、溶解性总氮(DTN)、硝酸盐氮(NO_3^--N)、铵态氮(NH_4^+-N)、总磷(TP)、溶解性总磷(DTP)、正磷酸盐(DIP)、叶绿素(Chl.a)、颗粒态氮(PN)、颗粒态磷(PP)、溶解性有机氮(DON)(PN = TN - DTN; PP = TP - DTP; DON = DTN - NH_4^+-N - NO_3^--N).

使用 pH < 2 的硫酸处理过的聚乙烯瓶在水下 30 cm 左右收集水样,低温保存,野外实验室分析. 化学需氧量使用高锰酸盐法(GB11892-89);TN、DTN 使用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法(GB11894-89),NO_3^--N 使用酚二磺酸分光光度法(GB7480-87);NH_4^+-N 使用纳氏试剂分光光度法(GB7479-87);TP、DTP 使用钼酸铵分光光度法(GB11893-89);DIP 使用磷钼蓝比色法(GB/T8538-1995)[8];Chl.a 使用分光光度法(SL88-1994).

1.3 入出湖河流与湖体水质相关性分析方法

利用 ARCGIS 软件,根据湖内采样点 2009 年 TN、TP、COD_{Mn}浓度的年平均数据进行插值,同时将河流采样点 2009 年 TN、TP、COD_{Mn}浓度的年平均数据以带颜色圆圈的形式展现在同一张图上,对之进行对比分析.

2 水量及污染通量计算结果

将每月监测得到的每条河流量作为本条河的月平均流量,并由此得到本条河本月入出太湖的水量,将所有入出湖河流水量相加,得到本月河流入出太湖水量. 将 12 个月入出湖水量相加得到 2009 年全年入出太湖水量. 将同时测得水质数据作为本条河的月平均浓度,与本条河流月入出太湖水量数据相乘得到此类污

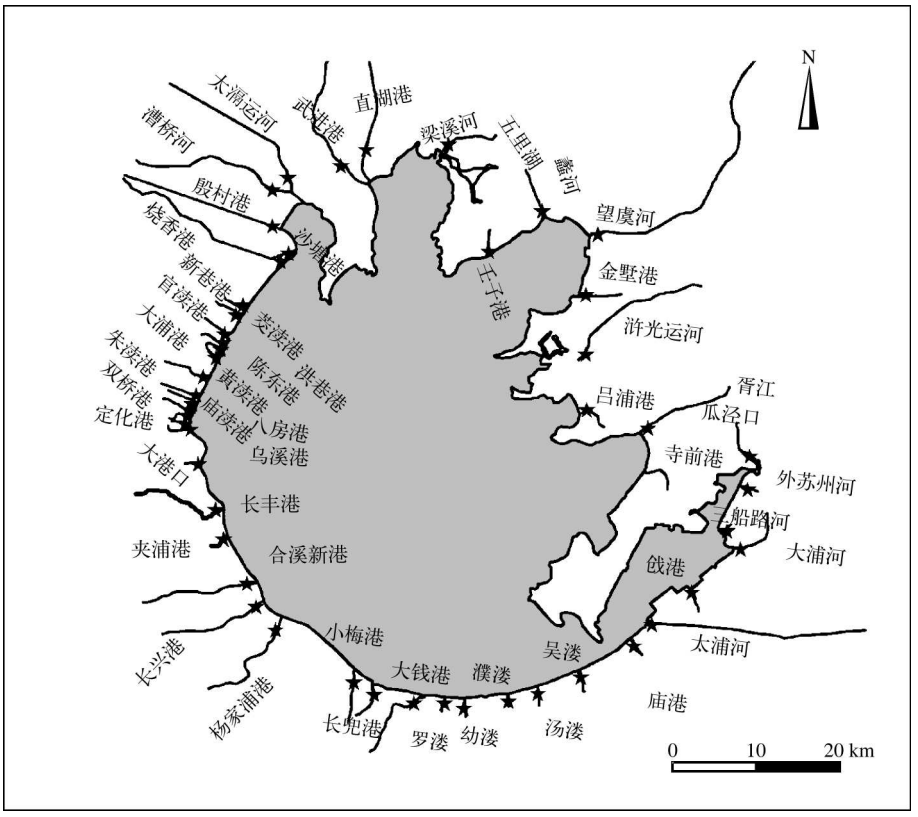


图 1 环湖河流水文巡测点位

Fig. 1 Patrol gauging sites of the surrounding rivers in Lake Taihu

染物的入出湖量. 将 49 条河流此类污染物本月入出太湖量相加,再将 12 个月量相加,得到此类污染物的年入出太湖量. 文中涉及水量以及污染物通量入湖量为正,出湖量为负. 望虞河以及太浦河水量数据摘自太湖网[9].

2.1 水量计算结果

2.1.1 2009 年环太湖水量　在 2009 年全年的时间里,监测河道既有入湖径流又有出湖径流. 总体上来看,无锡市区及常州武进地区、宜兴地区以入湖为主,湖州、苏州地区以出湖为主. 入湖水量宜兴地区 > 无锡市区及常州武进地区 > 湖州地区 > 苏州地区,分别占入湖径流总量的 51.25% 、31.44% 、16.04% 、1.26% . 出湖水量苏州地区 > 湖州地区 > 无锡市区及常州武进地区 > 宜兴地区,分别占出湖径流总量的 46.16% 、41.24% 、12.50% 、0.11% (表 1). 入湖河流中,水量大于 1×10^8 m^3 河流有 19 条. 其中陈东港入湖水量最大,占总入湖水量的 15.87% . 入湖水量超过 5×10^8 m^3 的河流有 5 条,除陈东港外依次为大浦港、梁溪河、太滆运河、望虞河. 出湖河流中,水量大于 1×10^8 m^3 河流有 17 条,其中太浦河与长兜港出湖水量皆大于 20×10^8 m^3,两者出湖量之和占总出湖量一半左右. 出湖水量超过 5×10^8 m^3 的河流有 4 条,除以上两条外依次为望虞河和瓜泾口(图 2).

表 1 环太湖河流 2009 年整体入出湖水量

Tab. 1 Water quantity of inflow and outflow rivers of Lake Taihu in 2009

水量	全湖	无锡市区(常州)	宜兴	苏州	湖州
入湖水量($\times10^8$ m^3)	88.40	27.80	45.31	1.12	14.18
出湖水量($\times10^8$ m^3)	-93.27	-11.66	-0.10	-43.05	-38.46

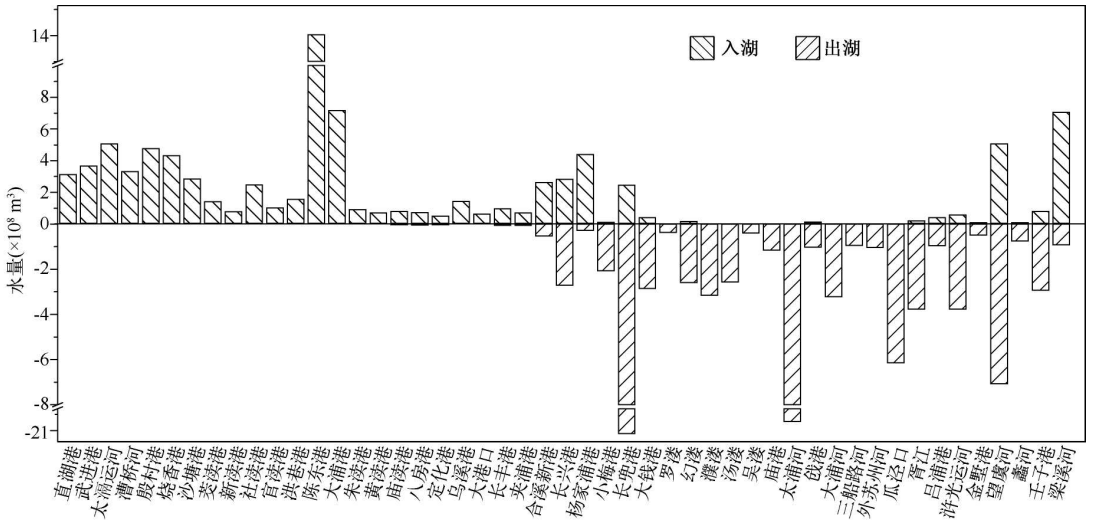


图 2 2009 年环太湖河流入出湖水量

Fig. 2 Water quantity of inflow and outflow rivers of Lake Taihu in 2009

2.1.2 太湖水量入出湖历年变化　搜集文献中历年来太湖的入出湖水量数据[1,5,9-13](如果某年水量数据有多个不同的来源,便将各文献数据进行平均)发现,历年入出湖水量呈现波动变化趋势(图 3),而污染物负荷量除与流域排污负荷量有关外,还与水情有很大关系. 有研究指出枯水年的河道污染物负荷量大于平水年,平水年大于丰水年[14-15],根据搜集的数据,得到多年平均入湖量为 $90.89 \times 10^8\ m^3$,出湖量为 $-87.36 \times 10^8\ m^3$. 2009 年数据与平均值差距不大,故 2009 年属于平水年.

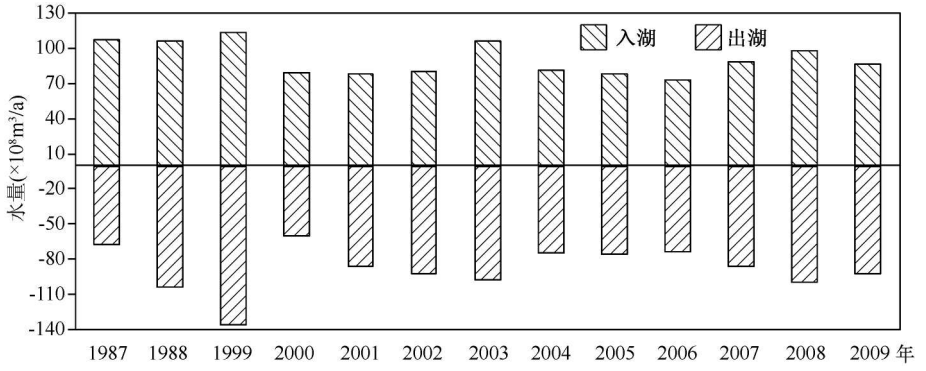


图 3 历年环太湖河流入出湖水量

Fig. 3 Water quantity of inflow and outflow rivers of Lake Taihu in recent years

2.2 污染通量计算结果

2.2.1 2009 年环太湖污染物通量　49 条环太湖河流中绝大多数污染物质入湖量大于出湖量(表 2),即污染物在湖中均有一定程度的滞留. 值的注意的是,SS 出湖量大于入湖量. 由于太湖是一个浅水湖泊,风浪对湖底表层沉积物扰动作用强烈,在风浪作用下底泥极易再悬浮. 所以可能导致出湖河流输出的悬浮物质增加[16].

2009 年 DIP、DTP 滞留率最大,已达到 60% 左右(表 2). 经测算,DIP 滞留率在夏季时达到最大. 由于 DIP 包含生物可利用性磷,因此夏季藻类生物量增加时期,DIP 的大量利用会导致滞留率比其他月份更高. 2009 年 TN、NH_4^+-N 的滞留率较 1987 -1988 年增加,但是较 2001 -2002 年已明显减少. NO_3^--N、TP 滞留率近

几年无太大变化,而 COD_{Mn} 滞留率一直处于升高的趋势中.

表 2 污染物通量及滞留率

Tab. 2 The fluxes and retention rates of the pollutants

污染物	2009 年入湖量(t)	2009 年出湖量(t)	滞留率(1987 - 1988 年)	滞留率(2001 - 2002 年)	滞留率(2009 年)	引江济太入湖比例
水量	88.40×10^8	-93.27×10^8			-5.50%	5.68%
SS	498874.63	-864830.26			-73.36%	3.61%
TN	51072.64	-36013.78	-6.10%	49.10%	29.49%	1.98%
DTN	37093.86	-24450.97			34.08%	2.05%
PN	14013.50	-11605.82			17.18%	1.81%
NO_3^--N	13372.46	-7564.13	-76.10%	44.00%	43.44%	2.39%
NH_4^+-N	13197.64	-8892.64	19.10%	60.90%	32.62%	2.76%
溶解态有机氮	10440.22	-7942.09			23.93%	0.73%
TP	1917.83	-1102.81	41.50%	35.10%	42.50%	1.97%
DTP	807.72	-329.39			59.22%	3.79%
PP	1037.09	-773.84			25.38%	1.12%
PO_4^{3-}-P	527.49	-195.81			62.88%	2.87%
COD_{Mn}	50956.67	-44696.65	-16.20%	5.70%	12.28%	3.60%
Chl.a	258.92	-194.65			24.82%	4.88%

将分区污染物入出湖量按比例做图(图 4). 太湖西部(宜兴地区)以及太湖北部(无锡市区以及常州武进地区)入湖水量以及污染物入湖通量约占总入湖水量和通量的 80%. 其中太湖西部(宜兴地区)入湖水量及入湖污染物通量月占总入湖量的 50%,所以应加强宜兴地区入湖河流污染物的控制.

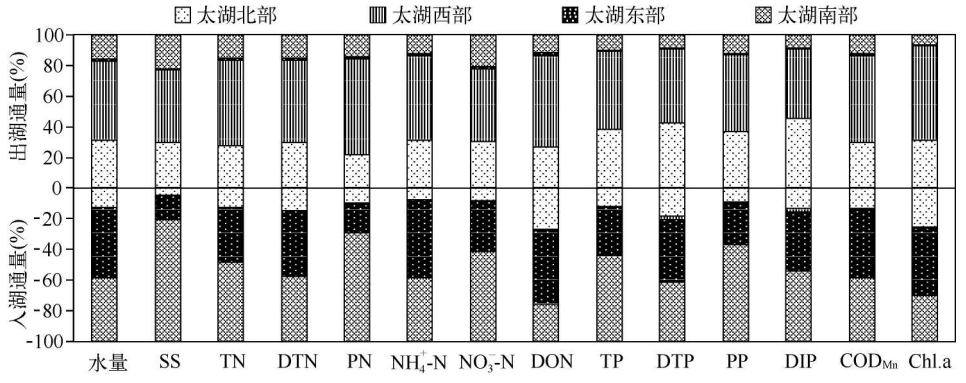


图 4 各污染物分区年入出湖通量比例

Fig. 4 Regional distribution of pollutant fluxes ratios of inflow and outflow rivers in Lake Taihu

与入湖通量相反,在污染物出湖通量中,太湖南部(湖州地区)以及太湖东部(苏州地区)占到绝大多数. 太湖南部以及太湖东部年出湖水量基本相同,都占到 40% 左右. 但是太湖南部地区 SS 出湖量占到总出湖量约 80%. 与 SS 相关的 PN、PP,绝大多数也由太湖南部出湖. 由于太湖水大部分经由太湖东部以及太湖南部地区出湖,而太湖东部是浅水草型湖泊[17],出湖水流携带泥沙在进入河道之前被水生植物截留并沉降,

故出湖水中含有 SS 较少,这可能会使太湖东部地区湖泊沼泽化现象加剧. 太湖南部地区岸线多为防洪大堤,致使大量 SS 未经截留直接进入河道,这极易造成太湖南部地区入出河道淤积[18].

自 2002 年开始实施的引江济太工程,依托望虞河、太浦河两项骨干工程,将长江水引入太湖和相关河网[19]. 望虞河 2009 年入湖水量 5.02×10^8 m^3,即 2009 年引江济太入湖水量占入湖总水量的 5.68%.

根据太湖网水量数据,以及本研究所测水质数据,得到引江济太各类污染物入湖通量占总入湖通量的比例(表 2). 2009 年引江济太入湖污染物质通量占总入湖通量比例小于其入湖水量占总入湖水量比例,即引江济太入湖水质好于太湖整体入湖水质. 结合历史数据可见,2002、2007、2009 年引江济太引水量分别占总入湖水量的 9.80%、7.58%、5.79%,而 TN 以及 TP 入湖通量分别占总入湖通量的 4.18%、3.34%、1.98% 以及 3.76%、3.31%、1.97%[20-21]. 由此可见,引江济太对改善太湖总体水质的作用是积极的.

2.2.2 太湖入出湖污染物通量历年变化 2000 年以来 COD_{Mn} 入湖通量并无明显增长,而出湖通量相对近两年略有增加(表 3). TN、TP 入出湖通量自 2000 年来有增加的趋势. 氮磷污染一直是太湖流域的首要污染问题[23],因此有效遏制氮磷入湖量的增加是太湖治理的重要任务. 同时 TN、TP 出湖通量的逐年上升,增加了流域下游地区氮磷污染负荷. NH_4^+-N 入湖通量近几年来并未有明显上升.

表 3 污染物入出湖通量历史变化

Tab. 3 Historical changes in pollutant fluxes of Lake Taihu

污染物		翟淑华等[5]				许朋柱等[1]	马倩等[22]	本研究	
		1987-1988	2000	2001	2002	2001-2002	1998-2007	2007	2009
COD_{Mn}($\times10^4$ t)	入湖通量	3.24	5.97	5.10	6.50	3.76			5.10
	出湖通量	-3.76	-5.10	-3.24	-3.45	-3.54			-4.47
TN($\times10^4$ t)	入湖通量	2.02	3.43	3.47	4.46	2.87	3.51	3.51	5.11
	出湖通量	-2.15	-0.73	-0.87	-1.15	-1.60			-3.60
NH_4^+-N($\times10^4$ t)	入湖通量	0.54				1.24	2.14	1.83	1.32
	出湖通量	-0.43				-0.49			-0.89
TP(t)	入湖通量	1551	1430	1350	1890	1029	1673	1862	1918
	出湖通量	-907	-340	-350	-360	-668			-1103

2.3 入湖污染物与湖内污染相关性分析

入湖污染物与湖内污染表现出了很好的相关性(图 5),在入湖河流污染物质浓度大的地方,湖区水中污染物浓度也偏大,说明区域入湖河流水质对区域太湖水质影响很大,入湖河流的治理是太湖治理的关键问题之一.

TN、TP 在入出湖河流以及湖内的分布均表现出西北浓度偏高,由西北至东南浓度逐步降低的规律. COD_{Mn} 在湖内浓度除西北湖区偏高外,东南湖区浓度也相对较高,并且与对应地区河流浓度表现出很好相关性. 推测东南湖区浓度偏高是由于本地区围湖水产养殖污染较严重造成,并且造成本地区出湖河流 COD_{Mn} 浓度亦偏高.

3 结论

2009 年环太湖河道入出湖水量依次为 88.40×10^8 m^3、93.27×10^8 m^3. 入湖水量宜兴地区 > 无锡市区及常州武进地区 > 湖州地区 > 苏州地区,出湖水量苏州地区 > 湖州地区 > 无锡市区及常州武进地区 > 宜兴地区. 各污染物入出湖通量以及滞留率不同. 除 SS 外,其它污染物在太湖内均有滞留. 2009 年经由太湖南部出湖的 SS 占总出湖量的 80% 左右. TN、TP 入出湖通量自 2000 年来有增加的趋势. 引江济太对太湖整体水质改善有积极作用. 区域入湖河流水质与相应湖内区域水质有较好相关性,证明入湖河流对太湖水质影响较大.

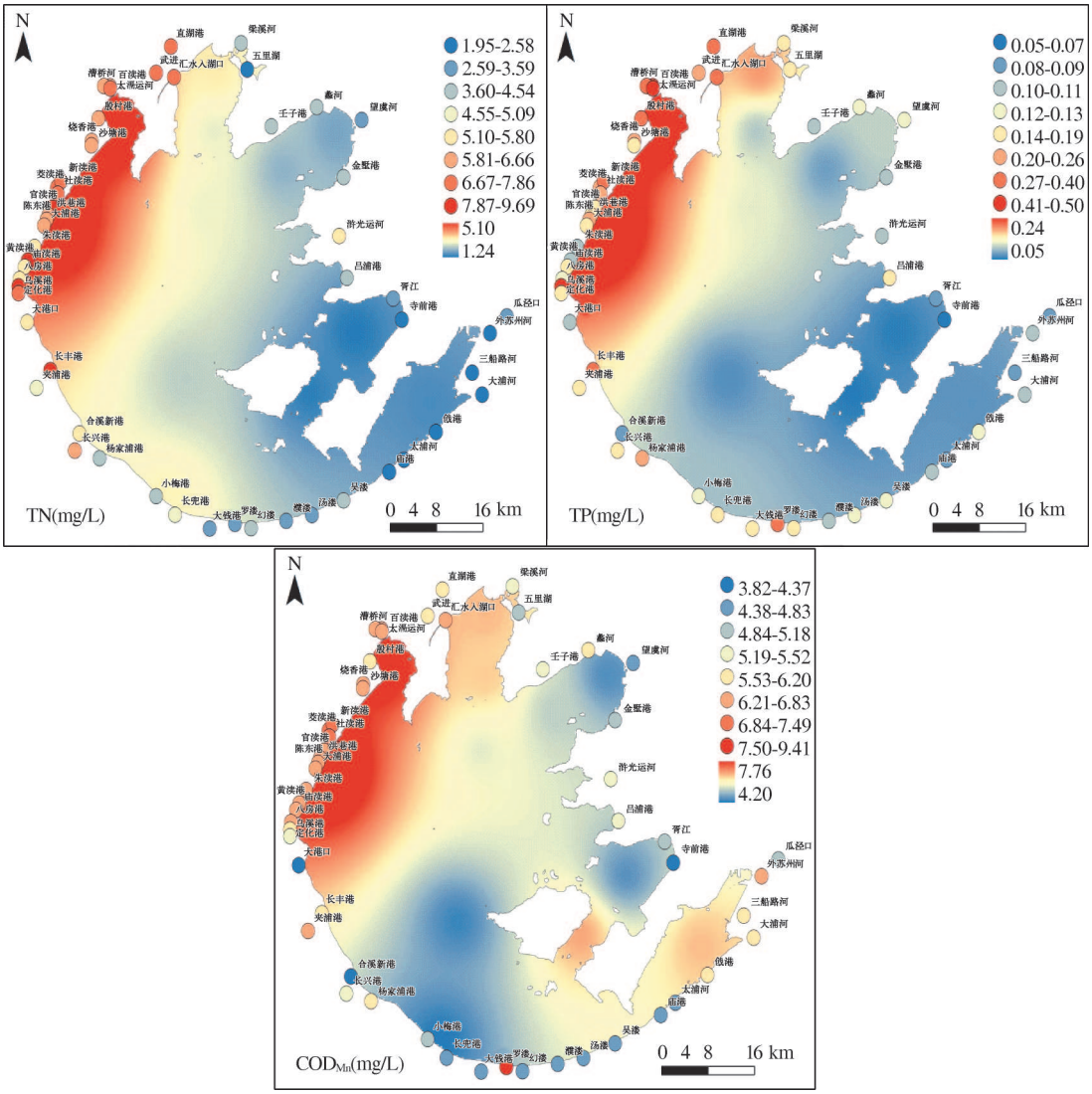


图 5 入出湖河流水质与湖体水质比较

Fig. 5 Comparative analysis of water quality between inflow and outflow rivers and Lake Taihu

4 参考文献

[1] 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. 湖泊科学, 2005, **17**(3): 213-218.

[2] 毛新伟, 高 怡, 徐卫东. 水文巡测方法对太湖水量平衡计算的影响分析. 水文, 2006, **26**(5): 58-60.

[3] 金相灿主编. 中国湖泊环境. 北京: 海洋出版社, 1995: 121.

[4] 秦伯强, 胡维平, 陈伟民主编. 太湖水环境演化过程与机理. 北京: 科学出版社, 2004: 10.

[5] 翟淑华, 张红举. 环太湖河流进出湖水量及污染负荷(2000－2002 年). 湖泊科学, 2006, **18**(3): 225-230.

[6] 沈国华, 陈 颖. 太湖进出水量变化分析. 江苏水利, 2008, (2): 27-28.

[7] 郑 一, 江耀慈等. 环太湖河道水质分析与入湖污染物负荷量估算. 地理学与国土研究, 2001, **17**(1): 40-44.

[8] 黄祥飞, 陈伟民, 蔡启铭. 湖泊生态调查观测与分析. 北京: 中国标准出版社, 2000.

[9] 水利部太湖流域管理局. 水情月报, 2009. (http://www.tba.gov.cn/).

[10] 黄漪平. 太湖水环境及其污染控制. 北京:科学出版社, 2001:207.
[11] 胡维平. 平原水网地区湖泊的水环境容量及允许负荷量. 海洋湖沼通报, 1992,(1):37-45.
[12] Kelderman P, Wei Z, Maessen M. Water and mass budgets for estimating phosphorus sediment-water exchange in Lake Taihu (China P. R.). *Hydrobiologia*, 2005, **544**: 167-175.
[13] 戈礼宾, 张泉荣, 黄利亚. 太湖进出水量变化及水量平衡初步分析. 江苏水利, 2007,(11):33-34.
[14] 袁静秀, 黄漪平. 环太湖河道污染物负荷量的初步研究. 海洋与湖沼, 1993,(5):485-493.
[15] 罗 缙, 逄 勇, 林 颖等. 太湖流域主要入湖河道污染物通量研究. 河海大学学报:自然科学版, 2005, **33**(2):131-135.
[16] 张运林, 秦伯强, 陈伟民等. 太湖水体中悬浮物研究. 长江流域资源与环境, 2004, **13**(3):266-271.
[17] 谷孝鸿, 张圣照, 白秀玲等. 东太湖水生植物群落结构的演变及其沼泽化. 生态学报, 2005, **25**(7):1541-1548.
[18] 鲁有铭, 吴培江, 胡金桥. 长兜港入湖口门泥沙淤积成因初探. 浙江水利科技, 2005,(2):4-6.
[19] 吴浩云, 周丹平, 何 佳等. 引江济太工程综合效益的评估及方法探讨. 湖泊科学, 2008, **20**(5):639-647.
[20] 高 怡, 毛新伟, 徐卫东. "引江济太"工程对太湖及周边地区的影响分析. 水文, 2006,(1):92-94.
[21] 周小平, 翟淑华, 袁 粒. 2007-2008 年引江济太调水对太湖水质改善效果分析. 水资源保护, 2010,(1):40-43.
[22] 马 倩, 刘俊杰, 高明远. 江苏省入太湖污染量分析(1998-2007 年). 湖泊科学, 2010, **22**(1):29-34.
[23] 余 辉, 燕姝雯, 徐 军. 太湖出入湖河流水质多元统计分析. 长江流域资源与环境, 2010, **19**(6):696-702.