

太湖水体氮、磷浓度演变趋势(1985—2015年)*

戴秀丽, 钱佩琪, 叶凉, 宋挺

(无锡市环境监测中心站, 无锡 214121)

摘要: 分析了太湖水体氮、磷浓度 1985—2015 年的演变趋势. 结果表明, 近 30 年来, 全太湖水体氮、磷指标总体呈先恶化、后好转的波动变化趋势. 总氮(TN)浓度年均值在 1.79~3.63 mg/L 之间, 30 年平均值为 2.62 ± 0.03 mg/L, 总磷(TP)浓度年均值在 0.04~0.15 mg/L 之间, 30 年平均值为 0.086 ± 0.001 mg/L, 1996 年全太湖 TN(3.84 mg/L)和 TP(0.15 mg/L)浓度年均值均达历史峰值. 氮、磷逐月浓度变化情况显示, TN 浓度呈明显季节性变化规律, 最高值集中出现在 3、4 月, 概率分别为 67% 和 33%, 最低值则分布在 8、9、10、11 月, 概率分别为 18%、41%、29% 和 12%, 而 TP 浓度则没有明显的季节性变化规律. 太湖各湖区水体氮、磷浓度变化空间异质性明显, 西部水域和北部水域变化幅度大于东部水域、南部水域和湖心区. 太湖水体氮、磷浓度的长期变化趋势显然和流域经济发展及各项环保管理措施的实施密切相关, 同时也受到重大水情变化的影响. 此外, 在相对封闭的局部湖湾水体可以通过水利调度等综合治理措施短时期内改善氮、磷指标, 但太湖水质的改善任重道远.

关键词: 太湖; 水体; 氮; 磷; 趋势分析

Changes in nitrogen and phosphorus concentrations in Lake Taihu, 1985—2015

DAI Xiuli, QIAN Peiqi, YE Liang & SONG Ting

(Wuxi Environmental Monitoring Center, Wuxi 214121, P.R.China)

Abstract: This paper analyzed the evolution trends of nitrogen and phosphorus concentrations of Lake Taihu for a period from 1985 to 2015. The result showed that there occurred water deteriorating at first years by records of the nitrogen and phosphorus indicators, and then the water improved in the whole Lake Taihu during the past three decades. The annual average of total nitrogen(TN) varied between 1.79 and 3.63 mg/L, and the thirty-year-average is 2.62 ± 0.03 mg/L. The annual average of total phosphorus(TP) varied between 0.04 and 0.15 mg/L, and the thirty-year average is 0.086 ± 0.001 mg/L. In 1996, the annual average of TN and TP concentrations in the whole Lake Taihu reached the historical peaks of 3.84 and 0.15 mg/L, respectively. Monthly records showed that, there was significant seasonal variation in the TN concentrations, in which the maximum usually appeared in March and April with the probability of 67% and 33%, respectively. The minimum usually appeared in four months between August and November, with the probability of 18%, 41%, 29% and 12%, respectively. However, the TP did not show significant seasonal variations. There were spatial changes in nitrogen and phosphorus concentrations in different areas of the lake. The water bodies in the western and northern showed greater changes than in areas of the eastern, southern and center. The long term changes in TN and TP of Lake Taihu are closely linked with the drainage economy development and the environment protection actions. As an example of Lake Wuli, a small water body in the northern Lake Taihu, there occurred remarkable decreases in the N and P concentrations in 2015 after many years of treatments such as water interception, water source control, and dredging and ecological restoration. The successful experience for Lake Wuli leads us to believe that it is possible to manage the small water bodies well, although waive for efforts on the improvement of the whole Lake Taihu.

Keywords: Lake Taihu; water; nitrogen; phosphorus; trend analysis

太湖是我国东部的大型浅水湖泊, 水面面积 2338 km², 平均水深 1.9 m, 最大水深约 3.4 m, 是整个流域水调节和水生态系统的中心, 对长江下游地区的经济发展起着举足轻重的作用^[1]. 1980s 前, 水质虽受一定

* 2016-05-04 收稿; 2016-07-05 收修改稿. 戴秀丽(1966~), 女, 高级工程师; E-mail: daixiuli820@sina.com.

的污染,但水质总体良好,很少有蓝藻暴发现象. 据 1981 年调查,太湖水域 69% 的面积为Ⅱ类水,30%为Ⅲ类水,只有 1%为Ⅳ类水;83%的面积为中营养状态,只有 16.9%为富营养状态^[2]. 太湖的富营养化始自 1980s^[3],特别是 1980s 后期,太湖北部的梅梁湾开始频繁暴发蓝藻水华并扩大到整个太湖西北部^[4]. 2007 年 5 月,位于太湖北部的贡湖湾水厂由于蓝藻水华积聚发生了严重的水危机事件,数百万居民饮用水出现危机^[5-6],直接影响饮用水供水安全^[7].

对于湖泊富营养化和蓝藻水华暴发,研究氮、磷等营养盐浓度的变化是许多学者达成的共识之一. 朱广伟^[8]研究显示,2002—2006 年 5 年间太湖湖心区夏季水体总氮(TN)的平均浓度明显高于前 10 年,2009 年通过分析发现太湖水体溶解态氮平均占水体总氮的 79%,且以硝态氮污染为主^[9]. 陈宇炜等^[10]分析了太湖 1991—1999 年长达 8 年的总磷(TP)、TN 浓度变化,结果显示,太湖 TN、TP 浓度均呈自梅梁湾底至湖心的逐步递减趋势. 大量相关研究表明,太湖湖体氮、磷指标备受关注^[11-23]. 但由于受各种因素的制约,前人对于太湖富营养化的研究,往往局限在太湖的局部区域,或较短的时间尺度(比如 1990s 以来),对太湖水体中氮、磷浓度的长期演变趋势及空间分布特征研究缺乏足够的支撑.

本文基于无锡市环境监测中心站 30 年(1985—2015 年)监测数据,重点分析了太湖水体氮、磷浓度的长期演变趋势,阐述太湖水体环境氮、磷的污染变化状况,特别有助于了解太湖从生态环境明显恶化之前至今的营养状况,为太湖富营养化治理提供科学依据.

1 太湖水体氮、磷浓度监测概况

自 1980s 开始,太湖水质监测部门对太湖湖体氮、磷指标实施每月例行监测,30 多年间,在充分考虑监测点数据连续性、点位代表性的基础上,太湖湖体氮、磷监测体系经历过多次优化调整,监测点位、监测频率不断递增. 太湖湖体 1980s 初期监测工作刚起步,监测点位 16 个左右,监测频次仅一年 3 次(1、7、11 月分别代表太湖枯水期、丰水期和平水期的水质变化);1990s 对监测点位及项目优化调整,形成了较完整的太湖湖体监测体系(监测点位在 20 个左右、监测频次为一年 6 次、监测项目约 20 项);2000 年以后,由于自然环境不断变化、污染持续处于高水平、太湖水质不断恶化,因此对环境监测要求不断提高,太湖湖体监测点位几乎每年递增、监测频次达一年 12 次、监测项目也不断增加,到 2007 年,太湖湖体监测点位共有 26 个(包括国控点位 21 个、省控点位 3 个和无锡市控点位 2 个),分设在太湖东部水域(3 个)、南部水域(3 个)、西部水域(3 个)、北部水域(12 个)、湖心区(5 个)5 个部分(图 1). 监测点位覆盖了全太湖绝大部分水域(其中东太湖由于礁石水草多、水深太浅而无法实施监测,实际可监测湖体面积约 2166 km²),监测频次为一年 12 次,且在夏季进行加密预警监测.

氮、磷指标的监测分析方法均采用国家标准分析方法. TN 浓度采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法(GB 11894—1989)(HJ 636—2012)测定. TP 浓度采用钼酸铵分光光度法(GB 11893—1989)测定.

样品监测过程按照国家规范实施全程序质量控制,质控措施齐全,数据均通过三级审核^[24]. 使用 Excel 软件对数据进行统计.

2 太湖近 30 年氮、磷浓度时空变化趋势

近 30 年来,太湖 TN 浓度年均值在 1.79~3.63 mg/L 之间,30 年均值为 2.62±0.03 mg/L. TP 浓度年均值在 0.04~0.15 mg/L 之间,30 年均值为 0.086±0.001 mg/L. 1980s 中后期到 1990s 中期:TN 在 V 类~劣 V 类之间波动,TP 由Ⅲ类向Ⅳ类转变,1994 年开始全湖氮、磷浓度迅速升高,1996 年全太湖 TN(3.84 mg/L)和 TP(0.15 mg/L)浓度年均值分别达历史最高值;1997—2006 年:TN 处于劣 V 类、TP 在Ⅳ类~V 类之间波动;2007 年至今:氮、磷浓度开始持续下降,但 TN 仍处于劣 V 类、TP 处于Ⅳ类水平(图 2).

近 30 年来,太湖各湖区氮、磷浓度有较大差异(图 3).

(1) 北部水域: TN 浓度年均值在 1.74~5.73 mg/L 之间,30 年均值为 3.09±0.05 mg/L. TP 浓度年均值在 0.05~0.20 mg/L 之间,30 年均值为 0.096±0.002 mg/L. 1980s 中期 TN 指标处在 V 类水平,1980s 后期进入劣 V 类水平,此后 TN 浓度在波动中迅速上升,至 1996 年达北部水域历史最高值 5.73 mg/L,1997—2006 年在相对平稳中小幅波动,水质从 2007 年开始逐步改善,至 2014 年,持续 25 年的劣 V 类升至Ⅳ类. TP 指标从

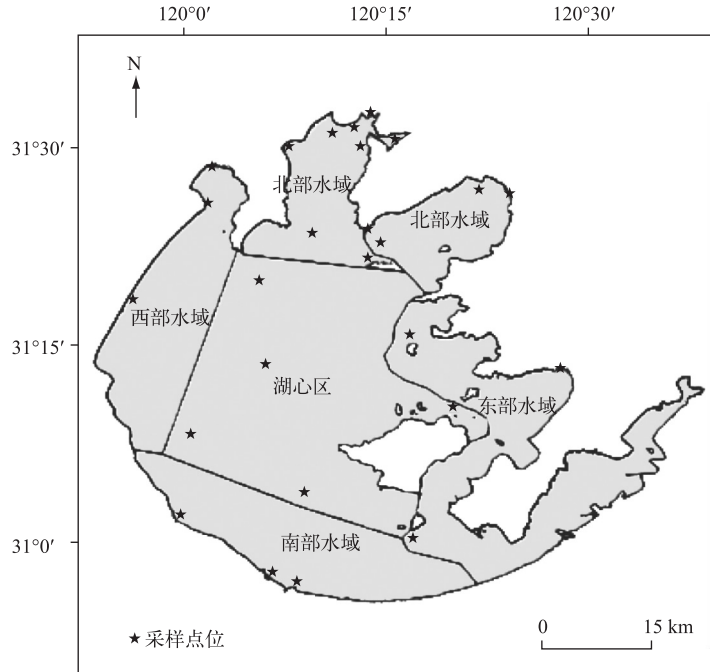


图1 太湖水体分区及点位分布

Fig.1 Monitoring sites in different parts of Lake Taihu

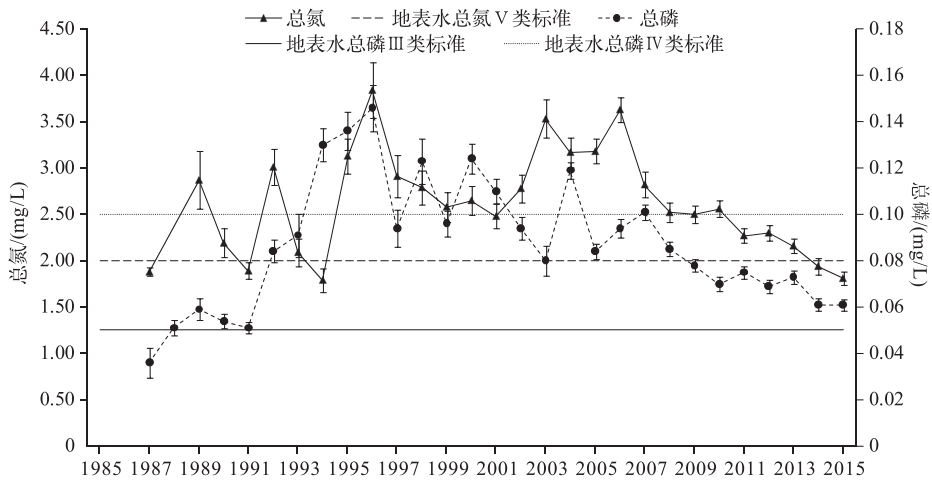


图2 太湖全湖氮、磷浓度近30年变化趋势

Fig.2 Annual changes of the nitrogen and phosphorus concentrations in Lake Taihu over the past three decades

1980s 中期的IV类开始,水质处于持续下降中,在1991年开始进入V类,直至1996年TP浓度达历史最高值0.20 mg/L,1997—2006年处于V类,2007年开始升至IV类并持续到2015年(图3)。

(2) 西部水域: TN浓度年均值在1.68~6.02 mg/L之间,30年均值为 4.25 ± 0.08 mg/L。TP浓度年均值在0.04~0.18 mg/L之间,30年均值为 0.13 ± 0.003 mg/L。1980s中期TN指标处在V类水平,1980s后期到2007年,TN浓度在小幅波动中上升,至2007年达西部水域历史最高值6.02 mg/L,2008—2015年TN指标维

持在劣V类水平,但浓度持续下降. TP 指标从 1980s 中期Ⅲ类开始,一直处于持续下降,1992 年开始进入Ⅳ类,1994 年进入Ⅴ类,直至 1998 年 TP 浓度达最高值 0.175 mg/L,1998—2015 年处于Ⅴ类水平(图 3).

(3) 湖心区: TN 浓度年均值在 1.23~2.58 mg/L 之间,30 年均值为 1.96 ± 0.03 mg/L. TP 浓度年均值在 0.03~0.12 mg/L 之间,30 年均值为 0.068 ± 0.001 mg/L. TN 指标在 1980s 中期处在Ⅴ类水平,1980s 后期到 2012 年,在Ⅴ类和劣Ⅴ类之间小幅波动,湖心区水域 TN 浓度历史最高值出现在 1996 年,达 2.58 mg/L,2013—2015 年稳定在Ⅴ类水平. 1980s—1991 年 TP 指标在Ⅲ类和Ⅳ类之间波动,1992—1996 年处于Ⅴ类水平,最高浓度为 0.12 mg/L,出现在 1994 年. 1997—2015 年长达 19 年的时间稳定在Ⅳ类水平(图 3).

(4) 南部水域: TN 浓度年均值在 1.12~2.86 mg/L 之间,30 年均值为 1.96 ± 0.04 mg/L. TP 浓度年均值在 0.04~0.15 mg/L 之间,30 年均值为 0.079 ± 0.002 mg/L. TN 指标除 1999 年处于Ⅳ类水平,其余时间均在Ⅴ类和劣Ⅴ类之间小幅波动,最高浓度为 2.86 mg/L,出现在 1992 年. TP 指标在 1980s 初期为Ⅲ类,1980s 后期到 1990s 中期从Ⅳ类快速下降到Ⅴ类,1994 年达该水域历史最高值 2.86 mg/L,1995—2015 年在Ⅳ类与Ⅴ类之间波动(图 3).

(5) 东部水域: TN 浓度年均值为 0.81~2.90 mg/L,30 年均值为 1.48 ± 0.03 mg/L. TP 浓度年均值在 0.01~0.10 mg/L 之间,30 年均值为 0.053 ± 0.001 mg/L. TN 指标在 1889、1990、1993 年为劣Ⅴ类,1999 年为Ⅲ类,其余年份在Ⅳ类~Ⅴ类之间波动. TP 指标在 1994 年为Ⅴ类,其余时间在Ⅲ类和Ⅳ类之间波动(图 3).

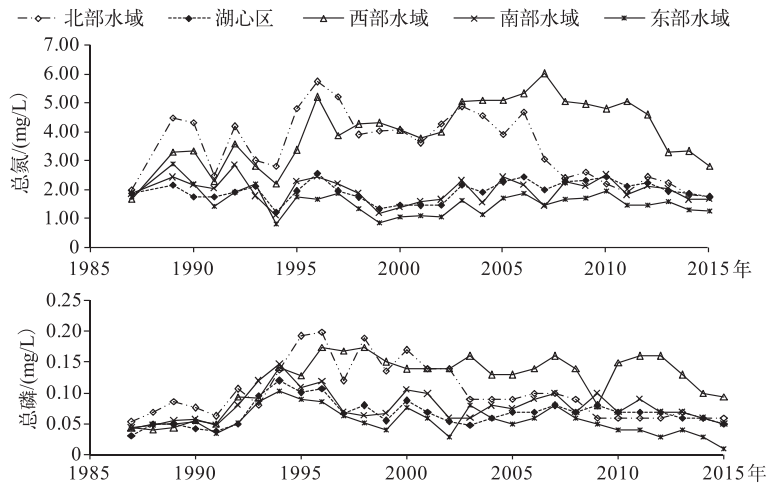


图 3 太湖各湖区氮、磷浓度近 30 年年度变化趋势

Fig.3 Annual changes of nitrogen and phosphorus concentrations in each part of Lake Taihu over the past three decades

总体上来看,东部水域、南部水域和湖心区水质好于西部水域和北部水域. 太湖具有藻型湖区和草型湖区共存的生态特征^[25],东部水域高等植物较多,氮、磷浓度总体较同期其它湖区偏低. 西部水域受沿岸工业发展及污染排放影响,氮、磷浓度上升趋势和北部水域基本一致,西部水域、北部水域从 1991 年开始氮、磷浓度剧增,至 1990s 中后期达到峰值. 西部水域综合治理后效果弱于北部水域,北部水域受无锡工业、季候风及水位影响最大,所以早期浓度高、上升快,综合治理后效果明显,TP 浓度 2003 年开始持续下降,TN 浓度也在 2007 年开始大幅度下降,和西部水域的持续高水平氮、磷浓度对比明显,而西部水域氮、磷浓度 2013 年才下降. 此外,空间对比来看,湖心区受沿岸影响最小.

从 1985—2015 年逐月水质变化情况来看,TN 浓度有明显的季节性变化规律(图 4). TN 月均值的最高值集中出现在 3、4 月,频率分别为 67% 和 33%;最低值则出现在 8、9、10、11 月,频率分别为 18%、41%、29% 和 12%. TN 的这种规律和蓝藻的季节分布密切相关. 太湖藻类密度最低值分布在 2、3、4 月,频率分别为 25%、62.5% 和 12.5%;最高值分布在 8、9、10 月,频率分别为 25%、62.5% 和 12.5%. TP 浓度没有明显的季节

性变化规律(图4).

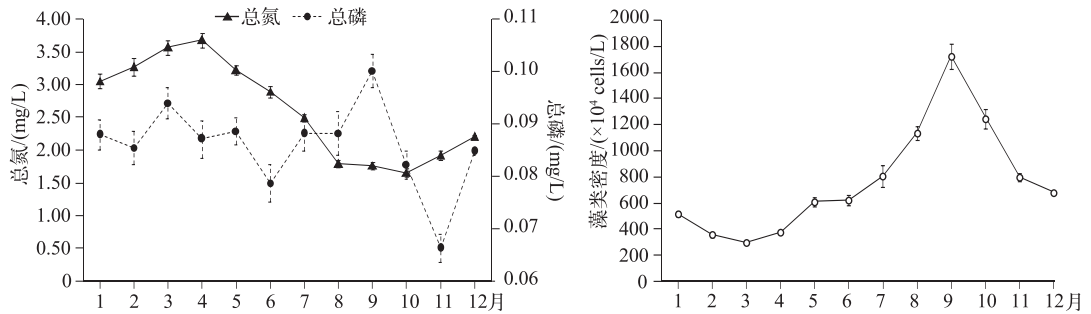


图4 近30年来太湖氮、磷浓度和藻类密度的月变化趋势

Fig.4 Monthly changes of nitrogen, phosphorus concentrations and algal density in Lake Taihu over the past three decades

3 太湖水体氮、磷浓度近30年演变趋势

30年来,全太湖水质总体呈先恶化、后好转的波动性变化趋势(图5).

1980s中期:全太湖TP指标平均处于Ⅲ类水平,太湖各水域中除北部水域为Ⅳ类外,其他均为Ⅲ类水平;全太湖TN指标平均处于Ⅴ类水平,各水域中除北部水域处在Ⅴ类~劣Ⅴ类临界点外,其他均为Ⅴ类.

1980s后期—1990s后期:太湖全湖水体TN、TP浓度快速上升,并在1996年分别达历史峰值3.84和0.15 mg/L.西部水域、北部水域上升速度明显高于其他3个水域,此期间污染程度最大的北部水域五里湖TN和TP浓度峰值分别为8.94和0.22 mg/L.

1999—2000年,太湖水质有所改善,氮、磷浓度有所回落,总体仍劣于Ⅴ类.各湖区间水体氮、磷浓度差异较大,西部及北部水域湖体水质仍劣于Ⅴ类,其中五里湖最差,TN浓度大于6.00 mg/L,梅梁湖与西部水域TN浓度大于4.00 mg/L;东部、南部及湖心区水域氮、磷处于Ⅳ类~Ⅴ类水平.

2001—2008年,太湖各湖区TN及TP浓度均有波动性反弹.西部水域逐渐取代北部水域的梅梁湖、五里湖,成为太湖水质最差的水域,并一直延续至今,其TN浓度年均值于2007年达到监测以来最高值(6.02 mg/L).

2009—2013年,氮、磷浓度有所下降,但TN指标仍处于劣Ⅴ类、TP指标处于Ⅳ类.此期间各湖区水质差异显著:北部水域、东部水域好转,尤以北部水域五里湖最为显著,由劣Ⅴ类好转为Ⅳ类;西部水域、南部水域、湖心区水质延续2003—2006年的走势,呈变差趋势.

2014—2015年,氮浓度持续下降,TN处于Ⅴ类、TP处于Ⅳ类.此期间东部水域、西部水域、北部水域氮、磷差异显著:西部水域TN浓度由2011年的5.06 mg/L降为3.33 mg/L,东部水域TN指标由2013年的Ⅴ类降为Ⅳ类,北部尤其是西北部水域TP浓度略有下降.

4 太湖近30年氮、磷浓度变化原因分析

太湖水体氮、磷变化显然和流域经济发展密切相关.1980s前,太湖水体虽受一定污染,但水质总体良好,很少有蓝藻水华暴发现象.太湖在1960年处于贫营养阶段,总无机氮浓度为0.05 mg/L^[26],1981年83%的面积为中营养状态,只有16.9%为富营养状态^[2].1970s末、1980s初,太湖周边乡镇企业迅速发展,星罗棋布,规模小,数量多,工业用水量巨大.同时,这些小企业缺乏统一、规范的管理,追求利润、忽视环保,没有污水处理设施,或有而不用,导致产生的污水没有经过处理就排入太湖,污水中含有大量的氮、磷等元素,导致太湖氮、磷浓度从1980s后期开始上升,且速度越来越快.1997—2002年,氮、磷浓度有所回落,总体仍劣于Ⅴ类.太湖治理从1990s后期得到了高度重视,1998年底对重点污染工业实施的“零点达标行动”使流域污染物的输入得到一定控制^[27].但由于“零点达标行动”等措施属应对性措施,缺乏长期的治污战略统筹,

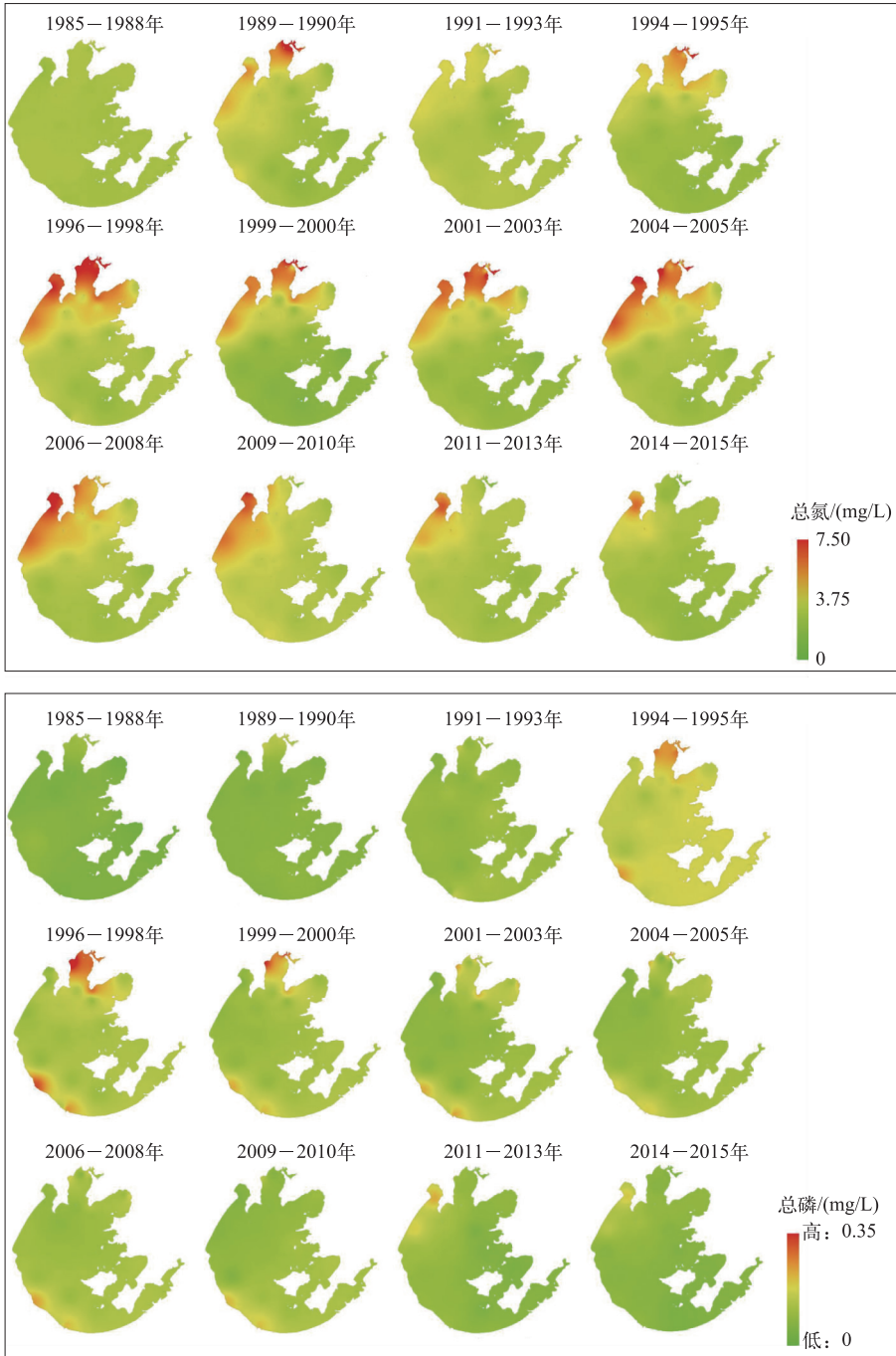


图 5 太湖近 30 年氮、磷浓度空间分布

Fig.5 Spatial changes of nitrogen and phosphorus concentrations in Lake Taihu over the past three decades

2003—2008 年太湖并没有进入明显的水质恢复期,反而呈现出一定的恶化趋势,更于 2007 年 5 月 29 日,由太湖局部蓝藻暴发而酿成震惊中外的“无锡供水危机”事件. 该事件给环湖城市敲响了警钟,各级政府高度重视,开启了“铁腕治污,科学治太、依法治太”之路. 太湖水体氮、磷浓度 2008 年开始下降,2014 年 TN 指标

降为V类,TP指标处于IV类,与太湖长达8年的长久治理密切相关。

太湖重大水情变化也影响到太湖氮、磷浓度变化。从太湖最高水位来看,1999年太湖流域发生特大洪水,太湖最高水位达5.08 m,创历史记录,其次为1991年的4.79 m,再次为1954年的4.65 m,而2009年太湖最高水位4.23 m,为近10年来的最高水位。1991年洪水后,太浦河、望虞河、杭嘉湖南排、环湖大堤等太湖治理“十大骨干工程”加快建设,并在抗御1995、1996、1998年的3次常遇洪水及1999年流域特大洪水中发挥了重要作用。结合太湖水文、水质资料分析,太湖1990s初水质波动期正好处在太湖1991年大洪水和1992年大旱交替的年份,1998—2002年太湖水体氮、磷浓度的改善期也与1999年太湖流域特大洪水重合。而从太湖水质这两个变化的前后年份来看,水质均呈变差趋势,由此可见,重大水情变化对太湖水体氮、磷指标变化起着重要作用。

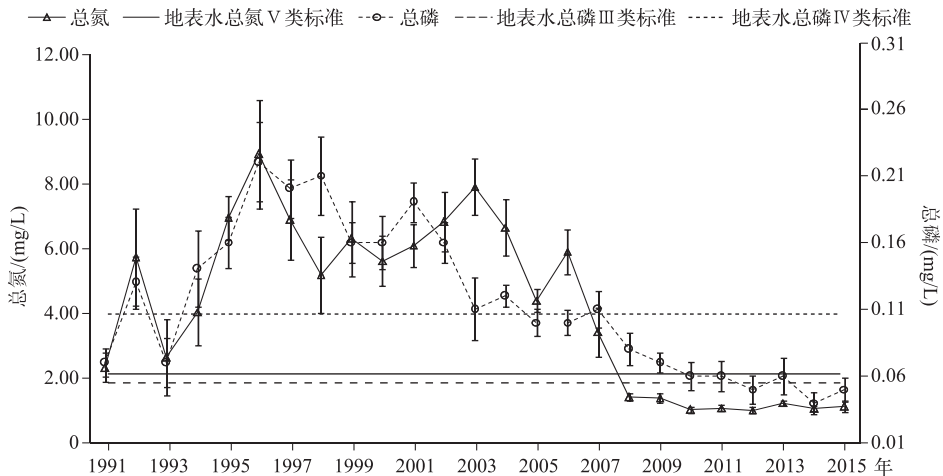


图6 太湖五里湖氮、磷浓度近30年的年度变化趋势

Fig.6 Annual changes of the nitrogen and phosphorus in Lake Wuli of Lake Taihu over the past three decades

太湖北部水域五里湖是太湖伸入无锡内陆的水域,水体流动慢,换水周期长,自净能力差。由于身处腹地,也是周围污染源主要的纳污场所。2002年下半年,五里湖综合整治工程开始,通过闸断与梅梁湖的水体交换,五里湖成为较封闭水体,经过截污、控源、清淤、修复等4年多大力整治,水质改善成效显著。2008年水体TN和TP浓度分别下降至1.42和0.08 mg/L,2015年TN和TP浓度为1.12和0.05 mg/L。从五里湖的成功经验看,水体综合治理还是有章可循的,这为太湖整治提供了经验。

5 结论

从30年来的监测结果看,全太湖水体氮、磷指标总体呈先恶化、后好转的波动变化趋势,1996年全太湖水体TN、TP浓度年均值均达历史峰值。氮、磷浓度逐月变化情况显示,TN浓度呈明显季节性变化规律,而TP浓度则没有明显季节性变化规律。主要污染区域位于太湖西部水域和北部水域,氮、磷指标呈现相同的变化趋势,其中氮的变化幅度大于磷。太湖各湖区水体氮、磷浓度变化空间异质性明显,西部水域和北部水域变化幅度大于东部水域、南部水域和湖心区。

太湖水体氮、磷浓度的长期变化趋势显然和流域经济发展及各项环保管理措施的实施密切相关,同时也受到重大水情变化的影响,这种长期演变分析可以为太湖的污染治理提供有价值的参考。

致谢:衷心感谢中国科学院南京地理与湖泊研究所薛滨研究员、陶玉强博士在论文撰写和修改过程中给予无私的帮助和指导!

6 参考文献

- [1] Wang Sumin, Dou Hongshen eds. *Memoirs China Lakes*. Beijing: Science Press, 1998: 261 (in Chinese). [王苏民, 窦

- 鸿身. 中国湖泊志. 北京: 科学出版社, 1998.]
- [2] Zhang Guoliang ed. China hydrologic analysis study corpus in 2000-2001 album. Beijing: China Waterpower Press, 2003: 427(in Chinese). [张国良. 中国水情分析研究报告文集 2000—2001 年专集. 北京: 中国水利水电出版社, 2003.]
- [3] Qin BQ, Xu PZ, Wu QL *et al.* Environmental issues of Lake Taihu, China. *Hydrobiologia*, 2007, **581**: 3-14.
- [4] Chen YW, Qin BQ, Teubner K *et al.* Long-term dynamics of phytoplankton assemblages: *Microcystis*-domination in Lake Taihu, a large shallow lake in China. *J Plankton Res*, 2003, **25**: 445-453.
- [5] Lucie G. Doing Battle with the green monster of Taihu Lake. *Science*, 2007, **317**(8): 1166.
- [6] Yang M, Yu JW, Li ZL *et al.* Taihu Lake not to blame for Wuxi's woes. *Science*, 2008, **319**(1): 158.
- [7] Qin BQ, Zhu GW, Gao G *et al.* A drinking water crisis in Lake Taihu, China: Linkage to climatic variability and lake management. *Environ Manage*, 2010, **45**: 105-112.
- [8] Zhu Guangwei. Eutrophic status and causing factors for a large, shallow and subtropical Lake Taihu, China. *J Lake Sci*, 2008, **20**(1): 21-26(in Chinese with English abstract). DOI:10.18307/2008.0103. [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.]
- [9] Zhu Guangwei. Spatio-temporal distribution pattern of water quality in Lake Taihu and its relation with cyanobacterial blooms. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2009, **18**(5): 439-445(in Chinese with English abstract). [朱广伟. 太湖水质的时空分异特征及其与水华的关系. 长江流域资源与环境, 2009, **18**(5): 439-445.]
- [10] Chen YW, Fan CX, Teubner K *et al.* Changes of nutrients and phytoplankton chlorophyll-a in a large shallow lake, Taihu, China; an 8-year investigation. *Hydrobiologia*, 2003, **506/507/508/509**: 273-279.
- [11] Cai Lvbing. Preliminary study on the cause and the preventing and curing of the water body eutrophication of the Taihu Basin. *Environmental Monitoring in China*, 2003, **19**(3): 52-54(in Chinese with English abstract). [蔡履冰. 太湖流域水体富营养化成因及防治对策的初步研究. 中国环境监测, 2003, **19**(3): 52-54.]
- [12] Zhang Wei, Wang Xuejun, Jiang Yaoci *et al.* Study on characteristics and correlation among parameters of eutrophication in Taihu Lake. *Environmental Pollution & Control*, 2002, **24**(1): 50-53(in Chinese with English abstract). [张巍, 王学军, 江耀慈等. 太湖水质指标相关性与富营养化特征分析. 环境污染与防治, 2002, **24**(1): 50-53.]
- [13] Li Yiping, Yan Ying, Han Guangyi. Temporal-spatial correlation analysis of water quality for Taihu Lake. *Journal of Hehai University (Natural Sciences)*, 2005, **33**(5): 505-508(in Chinese with English abstract). [李一平, 严莹, 韩广毅. 太湖水质时空相关性分析. 河海大学学报: 自然科学版, 2005, **33**(5): 505-508.]
- [14] Bai Xiaohua, Hu Weiping. Effect of water depth on concentration of TN, TP and Chla in Taihu Lake, China. *Advances in Water Science*, 2006, **17**(5): 727-732(in Chinese with English abstract). [白晓华, 胡维平. 太湖水深变化对氮磷浓度和叶绿素 a 浓度的影响. 水科学进展, 2006, **17**(5): 727-732.]
- [15] Zhang Ninghong, Li Gang, Yu Jianqiao *et al.* Character of blue-green algal blooms outbreak in Taihu Lake. *Environmental Monitoring in China*, 2009, **25**(1): 71-74(in Chinese with English abstract). [张宁红, 黎刚, 郁建桥等. 太湖蓝藻水华暴发主要特征初析. 中国环境监测, 2009, **25**(1): 71-74.]
- [16] Chen Chao, Zhong Jicheng, Shao Shiguang *et al.* On the potential release rates of nutrient from internal sources: A comparative study of typical dredged and un-dredged areas, northwestern Lake Taihu. *J Lake Sci*, 2014, **26**(6): 829-836(in Chinese with English abstract). DOI:10.18307/2014.0603. [陈超, 钟继承, 邵世光等. 太湖西北部典型疏浚/对照湖区内源性营养盐释放潜力对比. 湖泊科学, 2014, **26**(6): 829-836.]
- [17] Chen Jun, Quan Wenting, Sun Jihong. Relationship between nitrogen, phosphorus concentration and water quality factors. *Environmental Monitoring in China*, 2011, **27**(3): 79-83(in Chinese with English abstract). [陈军, 权文婷, 孙记红等. 太湖氮磷浓度与水质因子的关系. 中国环境监测, 2011, **27**(3): 79-83.]
- [18] Yang Xiaohong, Chen Jiang, Zhou Li *et al.* South Tai Lake's main lake inlet blue-green alga water bloom space and time distribution rule and related response factor analysis. *Environmental Monitoring in China*, 2011, **27**(2): 92-96 (in Chinese with English abstract). [杨晓红, 陈江, 周李等. 南太湖入湖口蓝藻水华时空分布规律及相关响应因子分析. 中国环境监测, 2011, **27**(2): 92-96.]
- [19] Tao Yuyan, Geng Jinju, Wang Hongjun *et al.* Spatio-tempo variations of dissolved phosphorus concentrations in Lake Taihu. *Environmental Monitoring in China*, 2013, **29**(5): 84-90 (in Chinese with English abstract). [陶玉炎, 耿金菊, 王红军等. 太湖水体溶解态磷的时空变化特征. 中国环境监测, 2013, **29**(5): 84-90.]
- [20] Zhai Shuhua, Han Tao, Chen Fang. Self-purification capacity of nitrogen and phosphorus of Lake Taihu on the basis of

- mass balance. *J Lake Sci*, 2014, **26**(2):185-190(in Chinese with English abstract). DOI: 10.18307/2014.0203. [翟淑华, 韩涛, 陈方. 基于质量平衡的太湖氮、磷自净能力计算. 湖泊科学, 2014, **26**(2): 185-190.]
- [21] Xu Huiping, Yang Guijun, Zhou Jian. Effect of nitrogen and phosphorus concentration on colony growth of *Microcystis flos-aquae* in Lake Taihu. *J Lake Sci*, 2014, **26**(2): 213-220. DOI:10.18307/2014.0207(in Chinese with English abstract). [许慧萍, 杨桂军, 周健等. 氮、磷浓度对太湖水华微囊藻(*Microcystis flos-aquae*)群体生长的影响. 湖泊科学, 2014, **26**(2): 213-220.]
- [22] Dai XL, Zhu PY, Zhuang Y *et al.* Correlation study of Tai Lake conventional water quality. *Oxidation Communications*, 2015, **38**(3): 1364-1372.]
- [23] Deng Jiancai, Chen Qiao, Zhai Shuijing *et al.* Spatial distribution characteristics and environmental effect of N and P in water body of Taihu Lake. *Environmental Science*, 2008, **29**(12): 3382-3386(in Chinese with English abstract). [邓建才, 陈桥, 翟水晶等. 太湖水体中氮、磷空间分布特征及环境效应. 环境科学, 2008, **29**(12): 3382-3386.]
- [24] China National Environmental Monitoring Centre, Environmental water quality monitoring quality assurance Writing team. Environmental water quality monitoring quality assurance manual. Beijing: Chemical Industry Press, 1994: 422(in Chinese). [中国环境监测总站,《环境水质监测质量保证》编写组. 环境水质监测质量保证手册. 北京: 化学工业出版社, 1994: 422.]
- [25] Wu Yali, Xu Hai, Yang Guijun *et al.* Progress in nitrogen pollution research in Lake Taihu. *J Lake Sci*, 2014, **26**(1): 19-28(in Chinese with English abstract). DOI: 10.18307/2014.0103. [吴雅丽, 许海, 杨桂军等. 太湖水体氮素污染状况研究进展. 湖泊科学, 2014, **26**(1): 19-28.]
- [26] Zhang Yunlin, Qin Boqiang. Study Prospect and Evolution of Eutrophication in Lake Taihu. *Shanghai Environmental Sciences*, 2001, **20**(6): 263-265(in Chinese with English abstract). [张运林, 秦伯强. 太湖水体富营养化的演变及研究进展. 上海环境科学, 2001, **20**(6): 263-265.]
- [27] Lin Zexin. Analysis of Water environmental change in Taihu watershed. *J Lake Sci*, 2002, **14**(2): 111-1116(in Chinese with English abstract). DOI: 10.18307/2002.0203. [林泽新. 太湖流域水环境变化及缘由分析. 湖泊科学, 2002, **14**(2): 97-103.]