

江苏省2006–2015年水生态环境质量变化特征分析

吕学研¹, 程亮², 陈亚男³, 张咏¹, 张甦¹, 张然¹, 崔嘉宇¹

(1. 江苏省环境监测中心, 江苏南京 210019; 2. 南京水利科学研究院 水利工程科学国家重点实验室, 江苏南京 210029; 3. 中国环境监测总站 国家环境保护环境监测质量控制重点实验室, 北京 100012)

摘要:以2006–2015年江苏省地表水监测数据为基础, 统计分析了该10年间的水生态环境质量特征和趋势, 并对太湖湖体主要水质指标的变化特征进行了拟合。结果表明: 全省水生态环境质量在2006–2015年间总体呈改善趋势, 水质主要污染指标均有不同程度下降; 太湖主要水质指标下降趋势显著, 高锰酸盐指数和氨氮浓度基本进入稳定期, 总氮浓度也接近稳定期, 太湖总磷浓度仍处于不稳定的变化期; “十二五”期间全省水生态环境改善的幅度均较“十一五”有所收窄, 全省水生态环境治理进入攻坚克难阶段。

关键词:水生态环境质量; 高锰酸盐指数; 总氮; 总磷; 太湖流域; 长江流域; 淮河流域; 江苏省
中图分类号:X824 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-643X(2019)05-0001-06

Variation characteristics of aquatic eco-environment quality in Jiangsu Province from 2006 to 2015

LÜ Xueyan¹, CHENG Liang², CHEN Yanan³, ZHANG Yong¹, ZHANG Su¹, ZHANG Ran¹, CUI Jiayu¹

(1. Jiangsu Province Environmental Monitoring Center, Nanjing 210019, China; 2. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China; 3. State Environmental Protection Key Laboratory of Quality Control in Environmental Monitoring, China National Environmental Monitoring Centre, Beijing 100012, China)

Abstract: Statistical analysis of variation characteristics and trend from 2006 to 2015 of aquatic eco-environment quality in Jiangsu Province were carried out based on the monitoring data of surface water. A data fitting work for main water quality indicators in Taihu Lake was done as well. It was found that there was a significant improvement trend for aquatic eco-environment quality in Jiangsu Province, and the concentrations of main quality indicator all performance a decrease trend during the studied 10 years. The main water quality indicators in Taihu Lake decreased significantly, and the concentrations of permanganate index and ammonia nitrogen entered into a stabilization period and the concentration of total nitrogen closed to a stabilization period. The phosphorous concentration in Taihu Lake was still unstable. The data also indicated that the improvement degree of aquatic eco-environment quality in Chinese 12th five-year-plan period was less than that in 11th five-year-plan period. The improvement for aquatic eco-environment quality already entered the critical phase to overcome difficulties.

Key words: aquatic eco-environment quality; permanganate index; total nitrogen; total phosphorous; Taihu Lake Basin; Yangtze River Basin; Huaihe River Basin; Jiangsu Province

1 研究背景

江苏省地处长江、淮河下游。境内河道、湖泊、水库众多, 水网稠密, 进一步又分为长江、太湖、淮河

3个流域片区。受地形影响, 形成了里下河^[1]、太湖^[2]等典型的平原河网区域特征。加之南水北调^[3-4]、引江济太等调水工程, 境内流域边界不清, 水系的上、下游关系更加复杂^[5]。研究发现, 江苏

收稿日期: 2019-03-20; 修回日期: 2019-05-17

基金项目: 国家自然科学基金项目(51509158); 江苏省自然科学基金项目(BK20150075); 江苏省环境监测科研基金项目(1623)

作者简介: 吕学研(1984-), 男, 江苏沐阳人, 博士, 高级工程师, 主要从事水污染控制及环境与生态水力学研究。

通讯作者: 陈亚男(1985-), 女, 江苏射阳人, 硕士, 工程师, 主要从事水环境评价与管理研究。

省在2004–2014年城镇化水平逐年提升的同时,河湖水系连通水平基本上呈下降趋势,从而加大了生态环境保护的难度^[6]。

地表水是江苏省主要的水资源供给源。受2007年太湖蓝藻水华造成的水危机影响,针对太湖流域的研究报道显著高于省内其他区域。在其他区域,马小雪等^[7]发现里下河地区地表水综合水质在汛期较非汛期差,西南部水质好于东北部。

地表水环境质量的好或坏、优或劣直接关系到经济社会的发展质量,也是水生态环境治理效果的有效反馈。本文以2006–2015年江苏省地表水例行监测数据为基础,根据《地表水环境质量评价办法(试行)》,对全省河流、湖库水质进行分析和评价,从水环境质量的变化方面分析全省水生态环境整治的工作成效,进一步与“十五”末(2005年)的水环境质量进行比较,对比“十一五”与“十二五”水环境质量的改变程度,以期全省水质进一步改善提供参考。

2 数据来源及分析方法

本文以江苏省境内2006–2015年地表水例行监测数据为基础进行统计。数据统计与评价依据《地表水环境质量评价办法(试行)》。

趋势分析 Spearman 秩相关系数(R_s)的计算在SPSS18.0软件上实现。

3 结果与分析

3.1 全省河流水质变化趋势分析

2006–2015年全省河流水质总体呈好转趋势。与2006年相比,2015年Ⅰ~Ⅲ类断面比例上升了22.5个百分点,劣Ⅴ类断面比例下降了15.8个百分点(图1(a))。全省河流水质2006和2007年总体处于中度污染状态,2008年开始,劣Ⅴ类断面比例降低到20%以下,水质总体处于轻度污染状态。主要污染指标变化趋势分析结果显示,2006–2015年全省河流主要污染指标均呈显著下降趋势(图1(b)),氨氮的 R_s 为 $-0.782(p=0.004)$,总磷的 R_s 为 $-0.697(p=0.013)$,化学需氧量的 R_s 为 $-1.000(p<0.001)$ 。全省河流主要污染指标在2006–2015年得到明显有效控制。

与2005年相比,2010年全省河流Ⅰ~Ⅲ类断面比例提升了13.3个百分点,劣Ⅴ类断面比例下降了12.1个百分点,主要污染指标氨氮、总磷和化学需氧量的平均浓度分别下降了0.052、0.039和3.1

mg/L;相较于2010年,2015年全省河流Ⅰ~Ⅲ类断面比例提升了8.4个百分点,劣Ⅴ类断面比例下降了2.8个百分点,主要污染指标化学需氧量平均浓度下降了2.1 mg/L,氨氮和总磷的平均浓度则分别有0.05和0.005 mg/L的小幅回弹。数据还显示,2011–2015年(十二五)期间,全省河流水质在2013年改善到最好程度,随后又有所下降,最终导致全省河流水质在“十二五”期间的改善幅度较“十一五”期间有所收窄。

3.2 全省湖库水质变化趋势分析

2006–2015年,全省湖库水质总体呈好转趋势。与2006年相比,2015年Ⅰ~Ⅲ类断面比例上升了32.6个百分点,劣Ⅴ类断面比例下降了7.1个百分点(图2(a))。2006–2015年,全省湖库水质总体污染程度未发生变化,均处于轻度污染状态。

趋势分析结果显示,2006–2015年全省湖库总磷指标呈显著下降趋势(图2(b))($R_s=-0.912, p<0.001$);化学需氧量呈一定的下降趋势,但不显著($R_s=-0.394, p=0.130$)。

与2005年相比,2010年全省湖库Ⅰ~Ⅲ类断面比例提升了18.8个百分点,劣Ⅴ类断面比例下降了12.2个百分点,主要污染指标总磷和化学需氧量的平均浓度分别下降了0.03和3.3 mg/L;相较于2010年,2015年全省湖库Ⅰ~Ⅲ类断面比例提升了17.4个百分点,劣Ⅴ类断面比例上升了1.6个百分点,主要污染指标化学需氧量平均浓度略微回弹了0.2 mg/L,总磷的平均浓度下降了0.013 mg/L。数据还显示,“十二五”期间,全省湖库水质的改善程度均较“十一五”不同程度收窄。

3.3 主要流域水质变化趋势分析

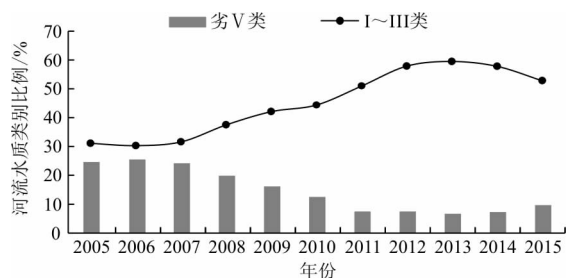
3.3.1 太湖流域

(1)太湖湖体水质变化。2006–2015年,太湖湖体水质改善明显,湖体高锰酸盐指数、氨氮、总氮、总磷和综合营养状态指数下降趋势均非常显著($p<0.001$)(图3(a)~3(d)), R_s 分别为 -0.843 、 -0.997 、 -0.952 、 -0.960 和 -0.936 。

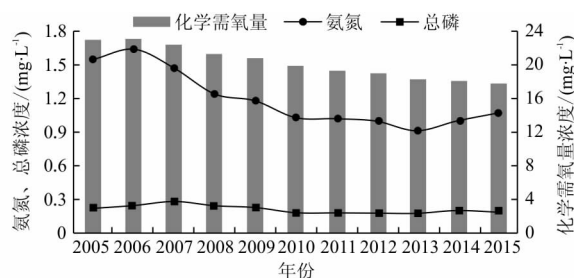
由图3(a)可看出,2005–2015年,太湖湖体高锰酸盐指数的变化趋势与幂函数的拟合度最高,说明湖体高锰酸盐指数的改善已经进入平稳期,近期难以有较大的改善空间。根据拟合方程预测2016、2017、2018年太湖湖体的高锰酸盐指数均值分别为3.9、3.8和3.8 mg/L,实际监测年均值分别为3.8、3.9和3.9 mg/L,相对误差分别为2.6%、-2.6%和-2.6%。不断补充2016、2017和2018年的监测数

据,优化方程的拟合参数,进行进一步预测。结果显示,补充2016年的监测数据后,2017年的预测值为3.9 mg/L ($y = 5.1004x - 0.109, R^2 = 0.8213$),与实际监测值一致;2018年的预测值3.8 mg/L,相对误差-2.6%。2017年监测数据的加入,并未对2018年的

预测值($y = 5.0923x - 0.108, R^2 = 0.8324$)产生实质影响。进一步延伸预测显示,2019和2020年太湖湖体高锰酸盐指数的预测值并未因为2016-2018年数据的加入而发生变化(2018年数据加入后,拟合方程为 $y = 5.0809x - 0.108, R^2 = 0.8324$)。

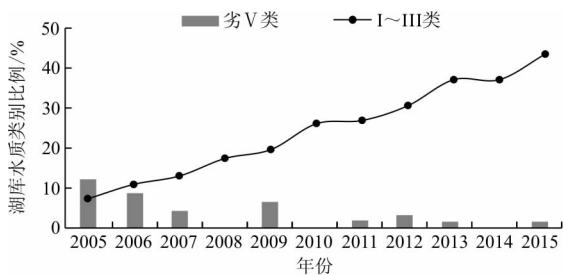


(a) 水质类别比例

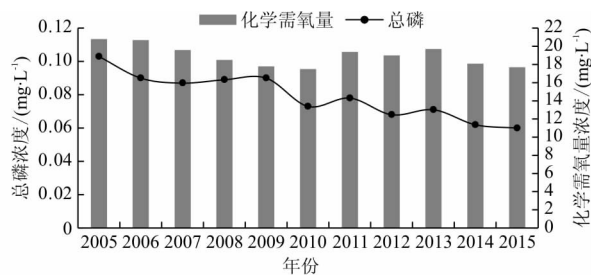


(b) 主要污染指标年均值

图1 2005-2015年江苏省河流水质类别比例与主要污染指标年均值年际变化

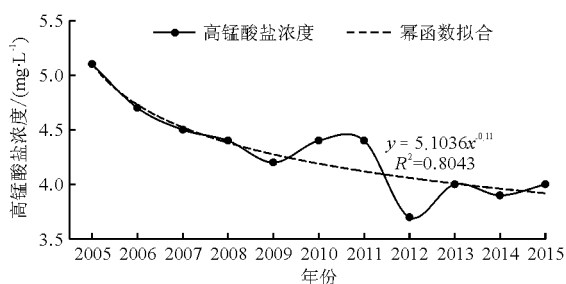


(a) 水质类别比例

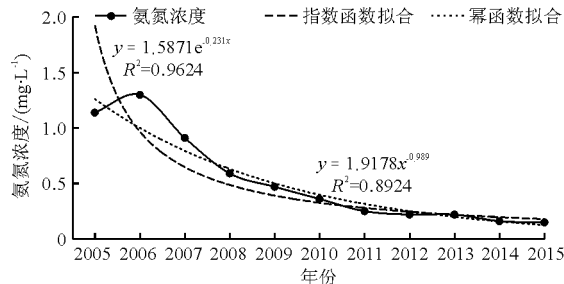


(b) 主要污染指标年均值

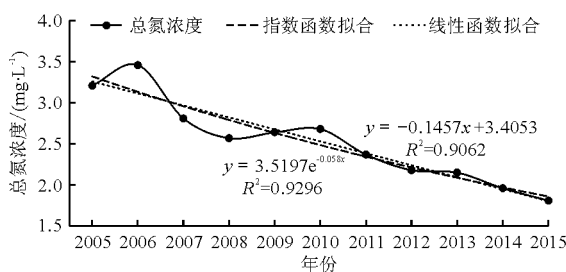
图2 2005-2015年江苏省湖库水质类别比例与主要污染指标年均值年际变化



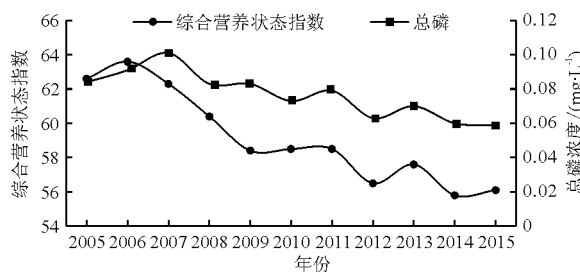
(a) 高锰酸盐



(b) 氨氮



(c) 总氮



(d) 总磷及综合营养状态

图3 2005-2015年太湖湖体富营养化指标年均值年际变化

由图3(b)可看出,湖体氨氮浓度变化以指数方程的拟合结果最好,其次是幂函数。两个拟合方程对2016-2018年湖体氨氮的预测值分别为0.10、0.08、0.06 mg/L和0.16、0.15、0.14 mg/L,与实测

值0.14、0.14、0.16 mg/L的相对误差分别为-28.6%、-42.9%、-62.5%和14.3%、7.1%、-12.5%。可见虽然指数函数能够最好地拟合湖体2005-2015年的氨氮变化,但是由于其较快的后期

收敛特征,导致其预测值的下降幅度较实际值偏大,而幂函数后期较慢的收敛特征,造成了其预测值的下降幅度较实际值偏小,这对于负向型的水质指标,预测结果是保守的、偏稳的。随着 2016 年数据的加入,太湖湖体氨氮 2017 和 2018 年的幂函数预测值分别为 0.15 和 0.13 mg/L(指数函数的预测结果为 0.08 和 0.07 mg/L),相对误差分别为 7.1% 和 -18.8%;进一步加入 2017 年的数据,幂函数预测 2018 年太湖湖体的氨氮浓度为 0.14 mg/L(指数函数的预测结果为 0.08 mg/L),相对误差为 -12.5%。据此,以 2005-2018 年太湖湖体氨氮的幂函数拟合结果预测 2019 年太湖湖体氨氮年均值约为 0.13 mg/L。

由图 3(c)可看出,对于湖体总氮来说,线性方程和指数方程均给出了较好的拟合结果。两种方程对 2016-2018 年湖体总氮的预测值分别为 1.66、1.51、1.37 mg/L 和 1.75、1.66、1.56 mg/L,与实测值 1.74、1.65、1.38 mg/L 的相对误差分别为 -4.6%、-8.5%、-0.7% 和 0.6%、0.6%、13.0%。加入 2016 年的数据后,对 2017、2018 年的预测值分别为 1.54、1.40 mg/L 和 1.66、1.56 mg/L,相对误差分别为 6.7%、1.4% 和 0.6%、13.0%。利用 2017 年的数据进一步预测,2018 年总氮浓度分别为 1.43 和 1.56 mg/L,相对误差分别为 3.6% 和 13.0%。可见,线性方程和指数方程对 2016 和 2017 年湖体总氮浓度的预测效果均较好,但是线性方程对 2018 年湖体总氮的预测效果明显优于指数方程。这是因为湖体总氮实测值的下降幅度在 2018 年较 2017 年增加了 2 倍,指数方程对这一变化的捕捉能力明显低于线性方程。考虑到两种拟合方程对数据信息不同的捕捉能力,以 2005-2018 年湖体总氮数据预测 2019 年湖体总氮浓度在 1.42 mg/L(线性方程)~1.50 mg/L(指数方程)。

(2)太湖流域河流水质变化。2006 年以来,太湖流域河流水质改善明显(图 4(a)),I~III 类断面比例显著上升($R_s = 0.891, p < 0.001$),劣 V 类断面比例显著下降($R_s = -0.830, p = 0.001$)。主要污染指标分析表明(图 4(b)),太湖流域河流主要污染指标均呈现显著的下降趋势,氨氮的 R_s 为 -0.799($p = 0.003$),总磷的 R_s 为 -0.782($p = 0.004$),化学需氧量的 R_s 为 -0.988($p < 0.001$)。

图 4(a)还显示,2009 年为太湖流域河流水质变化的特征年。这一年,太湖流域河流 I~III 类断面比例开始高于劣 V 类断面比例。“十一五”末,流

域河流 I~III 类断面比例为 25.3%,较 2005 年提升了 13.9 个百分点;劣 V 类断面比例为 15.6%,较 2005 年下降了 24.8 个百分点。

这一变化均高于“十二五”期间的幅度。随着水生态环境治理工程的有效落实推进,流域河流水质已经得到了显著改善,后续工作的重点是在对已有成效的河流进行长期维护与监管的基础上,加强整治重点、难点河流。

3.3.2 长江流域 2006 年以来,长江干流江苏段水质总体为优。从水质类别来看,10 个水质监测点位 10 年水质均稳定达到或优于 III 类。从污染变化趋势来看,2006-2015 年长江干流江苏段综合污染指数总体下降趋势显著($R_s = -0.835, p < 0.001$),但是在 2006-2009 年有短暂上升,2009 年之后大幅回落(图 5)。

由图 5 可知,2006 年以来,全省入江支流水质改善明显。从水质类别来看,I~III 类断面比例显著上升($R_s = 0.888, p < 0.001$);劣 V 类断面比例显著下降($R_s = -0.754, p = 0.006$)。从污染变化趋势来看,2006-2015 年,3 项主要污染指标整体均呈下降趋势,其中总磷浓度下降趋势显著($R_s = -0.717, p = 0.010$),五日生化需氧量和氨氮浓度整体呈下降趋势但均不显著。

3.3.3 淮河流域 2006 年以来,淮河干流江苏段水质总体有所改善(图 6),除 2007 年为轻度污染外,其他年度水质良好。从水质类别来看,淮河干流 4 个水质监测点位中除 2006 和 2007 年分别有 1 个和 4 个点位水质为 IV 类,2008 年以后 4 个点位历年水质均为 III 类。从污染变化趋势来看,2006-2015 年淮河干流江苏段综合污染指数总体下降趋势显著($R_s = -0.830, p < 0.001$),主要污染物氨氮在 10 年间呈下降趋势,但不显著($R_s = -0.333, p = 0.173$)。

从水质类别比例来看(图 6(a)),2006 年以来淮河流域河流水质改善明显,I~III 类断面比例显著上升($R_s = 0.867, p < 0.001$);劣 V 类断面比例显著下降($R_s = -0.879, p < 0.001$)。3 项主要污染指标整体均呈下降趋势(图 6(b)),其中化学需氧量和氨氮浓度下降趋势显著, R_s 分别为 -0.976($p < 0.001$)和 -0.697($p = 0.025$);总磷浓度下降趋势不显著, R_s 为 -0.261($p = 0.467$)。

3.4 讨论

“十二五”期间,江苏省继续扎实推进太湖、淮河、长江等重点流域的水环境综合整治,全面实施国

家《重点流域水污染防治规划(2011 – 2015 年)》《太湖流域水环境综合治理总体方案》及《长江中下游流域水污染防治规划(2011 – 2015 年)》等规划方案。资料(表 1)显示,“十二五”期间,全省工业源化学需氧量和氨氮排放总量均呈下降趋势,污水处理厂实际处理量呈升高趋势;虽然生活污水排放量

呈升高趋势,但是由于实施了有效的处理措施,生活源化学需氧量与氨氮的排放总量同样呈下降趋势。

在控制污染源排放总量的同时,针对省内重点流域^[8–9]、区域^[10–12]、河流^[13–14]、断面^[15–16]开展的专项调查、治理工作,也成为全省水环境质量改善的有力推手。

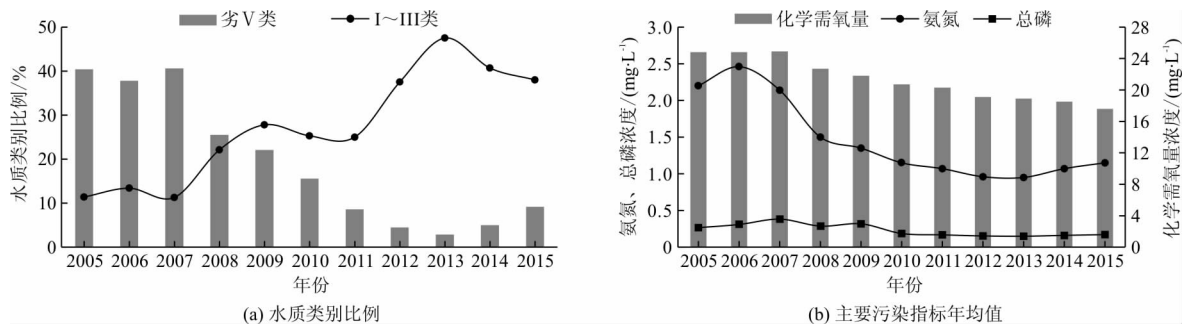


图 4 2005 – 2015 年太湖流域河流水质类别比例与主要污染指标年均值年际变化

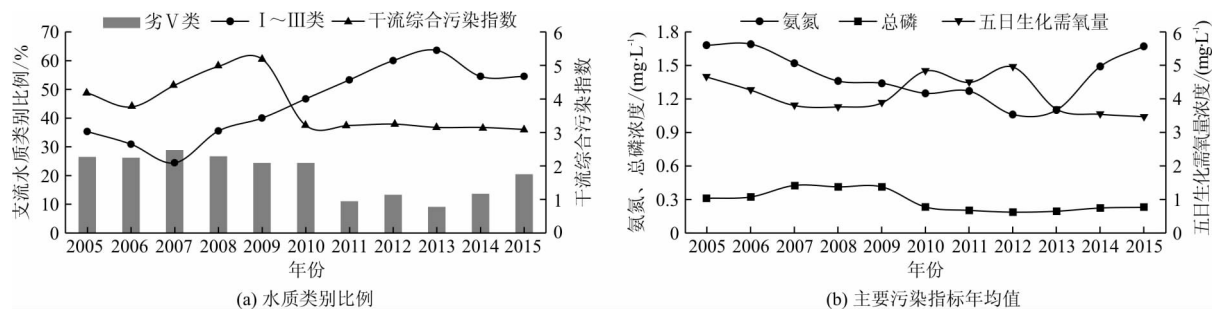


图 5 2005 – 2015 年长江干流江苏段综合污染指数、主要污染指标年均值及入江支流水质年际变化

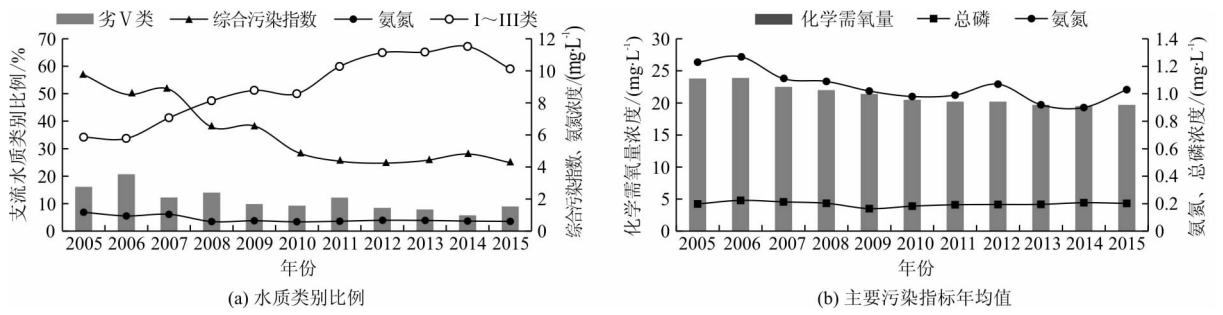


图 6 2005 – 2015 年淮河干流江苏段综合污染指数、主要污染指标年均值及支流水质年际变化

表 1 2010 – 2015 年江苏省主要污染物排放量						10 ⁴ t
主要污染物	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年
工业源化学需氧量排放量	25.1	23.9	23.1	20.9	20.4	20.1
工业源氨氮排放量	1.8	1.7	1.6	1.4	1.4	1.4
污水处理厂实际处理量	33.2	34.8	37.8	40.8	43.0	45.8
生活污水排放量	32.7	34.6	36.2	37.4	39.6	41.5
生活源化学需氧量排放量	61.2	60.2	57.2	55.9	52.8	50.0
生活源氨氮排放量	10.1	10.0	9.7	9.4	9.1	8.8

太湖作为江苏省最大的淡水湖泊,经过强有力的治理,其水质已经得到明显改善。湖体高锰酸盐指数、氨氮和总氮的变化已经进入或接近稳定期,但是湖体总磷浓度目前仍处于不稳定状态,成为影响太湖水质根本扭转的不确定因素。后期针对太湖的研究重点应为降磷并协同控氮,确保湖体富营养化状况稳步改善。

4 结 论

本文以2006-2015年地表水例行监测数据为基础,对江苏省河流、湖库水质进行分析和评价,从水环境质量的变化方面分析全省水生态环境整治的工作成效,进一步与2005年的水环境质量进行比较,对比“十一五”与“十二五”水环境质量的改变程度,初步得到以下结论:

(1)全省河流、湖库水生态环境质量在2006-2015年间明显改善,I~Ⅲ类断面比例显著升高,劣V类断面比例显著下降,主要污染物指标年均浓度均显著下降。长江干流、淮河干流水质稳中向好,综合污染指数下降趋势明显。长江支流和淮河支流水质同样改善显著,I~Ⅲ类断面比例升高明显,劣V类断面比例显著下降,主要污染指标年均浓度均呈不同程度的下降趋势。

(2)太湖主要富营养化指标在2006-2015年间下降明显。高锰酸盐指数和氨氮年均浓度已总体进入稳定期,总氮年均浓度接近稳定期;总磷是当前影响湖体水质的主要不稳定因素。今后一个阶段的工作重心应为降磷并协同控氮,确保湖体富营养化程度稳中向好。

参考文献:

- [1] 郁建桥,吕学研,刘雷.平原河网区水源地异味物质应急监测案例分析[J].环境监控与预警,2014,6(6):8-11.
- [2] 陆桂华,张建华.太湖水环境综合治理的现状、问题及对策[J].水资源保护,2014,30(2):67-69+90.
- [3] 吕学研,张咏,徐亮,等.南水北调东线一期江苏段试调水期间的水质变化[J].水资源与水工程学报,2015,26(6):12-18.
- [4] 闻昕,王志,方国华,等.基于改进多目标粒子群算法的南水北调东线江苏段工程联合优化调度研究[J].水资源与水工程学报,2017,28(3):110-116.
- [5] 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[J].水文,2006,26(1):92-94.
- [6] 李普林,陈菁,邓鹏,等.江苏省城镇化进程水平与河湖水系连通耦合协调模式研究[J].水资源与水工程学报,2017,28(2):86-91.
- [7] 马小雪,王腊春.里下河地区主要水环境污染物的空间分布特性研究[J].水资源与水工程学报,2014,25(6):1-6.
- [8] 凌虹,吴俊峰,周燕,等.江苏省太湖流域化工行业氮磷减排政策调控建议[J].环境科技,2014,27(2):53-57.
- [9] 宋为威,逢勇.秦淮河流域控源截污与生态补水联合效应研究[J].水力发电学报,2018,37(1):31-39.
- [10] 李娟,成晔波,徐兴.无锡市城市调水改善水环境研究与思考[J].治淮,2017(7):11-12.
- [11] 李阳,吴昌子.江苏沿江化工园区环境风险防范与应急策略[J].环境监控与预警,2017,9(1):15-17.
- [12] 刘一童,逢勇,肖洵.南京市鼓楼区入江断面水质达标方案的研究[J].水资源与水工程学报,2018,29(3):99-104.
- [13] 任伟,杨艳丽,任静,等.京杭大运河苏州高新区段水质污染状况研究[J].安全与环境工程,2012,19(3):59-62.
- [14] 姚凌伟,逢勇.秦淮新河引水量对断面水质达标影响的研究[J].四川环境,2017,36(4):118-122.
- [15] 宋为威,逢勇.基于国考七桥瓮断面水质达标秦淮河流域水环境容量计算[J].中国农村水利水电,2017(10):80-84.
- [16] 田爱军,高困,颜润润,等.京杭大运河王江泾断面水质达标综合治理对策[J].环境监控与预警,2018,10(2):57-59.