

太湖水质氮素质量浓度时空差异特征及影响因素分析

卢仁杰¹, 张晓婕^{2*}, 黄佳慧¹, 朱燕玲¹, 顾俊强¹, 吴福全¹, 薛媛媛¹, 刘雷³

(1. 江苏省苏州环境监测中心, 江苏 苏州 215000; 2. 苏州常卫环保科技有限公司, 江苏 苏州 215000; 3. 江苏省环境监测中心, 江苏 南京 210036)

摘要:通过对2014—2016年湖体水质中氮素质量浓度分析,结合出入湖总氮浓度、水量、湖体水生生态等影响因素,发现太湖水体中总氮浓度呈现逐年下降的趋势,各监测点位总氮为0.530 mg/L~5.51 mg/L,时空分布不均,差异明显。时间上,总氮浓度表现为春季最高,夏季和秋季最低,且月均值变化曲线呈现出规律的正弦函数波形。空间上,总氮浓度大致表现出由西部湖区向东部湖区递减的趋势,呈现西部湖区>北部湖区>南部湖区>湖心区>东部湖区。要改善湖体水质,不仅要切断污染源,而且要加强水生生态功能修复。

关键词: 氮;时空分布;水生生态;自净功能;太湖

中图分类号:X824

文献标志码:B

文章编号:1006-2009(2020)03-0063-05

Spatial and Temporal Differences and Its Influence Factors of Nitrogen Concentration in Taihu Lake

LU Ren-jie¹, ZHANG Xiao-jie^{2*}, HUANG Jia-hui¹, ZHU Yan-ling¹, GU Jun-qiang¹, WU Fu-quan¹, XUE Yuan-yuan¹, LIU Lei³

(1. Suzhou Environmental Monitoring Center, Jiangsu Province, Suzhou, Jiangsu 215000, China;
2. Suzhou Changwei Environmental Protection Technology Co. LTD, Suzhou, Jiangsu 215000, China;
3. Jiangsu Environmental Monitoring Center, Nanjing, Jiangsu 210036, China)

Abstract: Through the analysis of nitrogen concentration in Taihu lake from 2014 to 2016, and the influence factors such as input and output of total nitrogen concentration, water quantity and aquatic ecosystem, it was found that total nitrogen concentration in Taihu Lake was decreasing year by year. Total nitrogen concentration at various monitoring sites were 0.530 mg/L~5.51 mg/L, which was obviously different and uneven distributed in time and space. In terms of time, total nitrogen concentration was the highest in spring and the lowest in summer or autumn. Monthly mean concentration varied with sinusoidal function. In space, total nitrogen concentration had a decreasing trend from the west to the east of the lake, total nitrogen concentration in the lake from high to low in order was: west area, north area, south area, central area, east area. In order to improve water quality, one should not only cut off the pollution sources, but also strengthen the restoration of aquatic ecological functions.

Key words: Nitrogen; Temporal and spatial distribution; Aquatic ecosystem; Self-purification function; Taihu Lake

太湖是我国第三大淡水湖,地处长江经济发达地区,是流域内最主要的供水水源地和重要的淡水生态系统^[1-2]。近20年来流域内大量氮、磷等营养盐输入,导致太湖面临着严重的湖泊富营养化和频繁的蓝藻水华暴发^[3]。研究表明,湖泊水体富

收稿日期:2019-01-03;修订日期:2020-05-02

基金项目:国家重大科学仪器设备开发专项基金资助项目(2012YQ030111007,2017YFF0108503)

作者简介:卢仁杰(1988—),男,安徽天长人,工程师,硕士,从事环境监测综合分析工作。

*通信作者:张晓婕 E-mail: xjzhang990@163.com

营养化是由内源、外源污染共同决定,且太湖出入湖河流水质以氮污染为主导因素^[4-6]。氮是蛋白质、叶绿素、核酸、酶、生物激素等重要生命物质的组成部分,是江河、湖泊富营养化的主要诱因之一^[7-9]。太湖属于永久性淹水湿地,对氮素起到源、汇或转化器的作用,太湖氮素质量浓度变化规律引起了学者们的关注。戴秀丽等^[10]分析了太湖 1985—2015 年长达 30 a 的总氮质量浓度变化,水体氮指标总体呈先恶化、后好转的波动变化趋势,1996 年达历史峰值。今通过对 2014—2016 年太湖水质中氮素质量浓度变化规律分析,结合出入湖总氮浓度、出湖水量、大气氮沉降通量、沉积物固氮、湖体水生植物生长分布等情况,分析该差异特征的影响因素,对加强太湖流域水资源保护和水污染防治,保障生活、生产和生态用水安全,改善太湖流域生态环境具有一定现实意义。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

太湖地处江苏、浙江交界处($N30^{\circ}55'40'' \sim N31^{\circ}32'58''$, $E119^{\circ}52'32'' \sim E120^{\circ}36'10''$),是江苏省重要的水源地之一,所处区域属亚热带季风气候,气候温暖湿润,四季分明,其水域面积 2 338 km²,平均水深 1.9 m,蓄水量 44 亿 m³,年平均气温为 16.0 ℃~18.0 ℃,年降水量 1 100 mm~1 150 mm,汛期降雨多集中在 6—9 月。太湖河流众多,东部沿岸的苏州辖区有超过 54 个出入湖河流,大部分出入湖河流都有闸控,其中望虞河和太浦河为主要的引排水通道。望虞河是“引江济太”工程调水河道,也是太湖主要泄洪河道,太浦河为主要出湖河流。太湖水质监测部门对太湖氮开展每月例行监测,共设置了 20 个采样点,监测点位覆盖了全太湖绝大部分水域(根据监测点位将太湖分成 5 个湖区,分别为东部湖区、南部湖区、西部湖区、北部湖区、湖心区)。太湖东部沿岸的 2 个主要出入湖河道口(太浦河太浦闸和望虞河 312 国道桥)设置监

测断面,监控出入湖水量和氮质量浓度。太湖西部和北部沿岸的 14 个主要入湖河道口设置监测断面,监控出入湖氮浓度。监测点位/断面如图 1 所示。

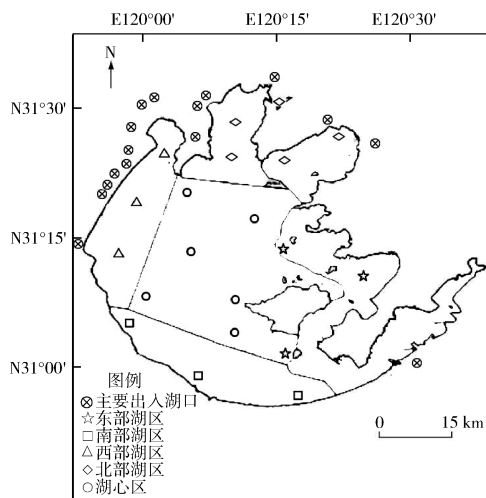


图 1 太湖采样点示意

Fig. 1 Sampling sites in Taihu Lake

1.2 样品分析

2014 年 1 月—2016 年 12 月,逐月对太湖湖体和出入湖的 27 个采样点采样分析。水温采用 YSI ProPlus 型多参数水质测量仪现场测定;在水面下 20 cm 处采集 500 mL 水样,带回实验室后于冰箱中 4 ℃ 保存,48 h 内测定总氮和氨氮。水位和流量数据由苏州市水利局提供。

2 结果与讨论

2.1 太湖氨氮和总氮年度变化特征

太湖氨氮和总氮质量浓度监测结果见表 1。由表 1 可知,2014—2016 年,太湖和主要入湖河流中总氮年均质量浓度逐年下降,分别下降 11.2% 和 17.1%。各监测点位单月氨氮和总氮质量浓度分布不均,湖体总氮最大值分别是最小值的 20.4 倍、14.6 倍和 10.4 倍。2014—2016 年,湖体中氨氮分别占总氮质量浓度的 8.0%、8.1% 和 7.8%。

表 1 太湖氨氮和总氮监测结果

Table 1 Monitoring results of ammonia nitrogen and total nitrogen in Taihu Lake

年份	湖体氨氮 $\rho/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$			湖体总氮 $\rho/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$			主要入湖河流总氮 $\rho/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$		
	年均值	最大值	最小值	年均值	最大值	最小值	年均值	最大值	最小值
2014 年	0.156	1.87	0.020	1.96	7.55	0.370	3.97	9.73	0.46
2015 年	0.147	1.67	0.013	1.81	6.71	0.460	3.72	7.63	0.82
2016 年	0.136	1.49	0.013	1.74	5.51	0.530	3.29	8.55	0.97

水体中氮循环是指氮气、无机氮和有机氮等在水体中相互转化和迁移过程,氮在湖泊、水库、河流、沉积物、微生物和水生动植物等不同迁移途径内会发生溶解、生物吸收、吸附、解吸、沉积、挥发、硝化和反硝化等过程^[7]。氮的输入和输出会影响水环境,湖泊水质中氮的输入方式主要有地表径流汇入、干湿沉降、沉积物释放等,输出方式主要有地表径流流失、水生动植物生长等^[18]。水体中氮循环受自然和人类活动共同影响,人类活动向水体中排入过量的氮,会打破自然的氮循环平衡,引起水体富营养化等水环境安全问题。

太湖上游来水中的氮输入对太湖水体氮浓度影响较大,为加快太湖流域污染整治,早在 2007 年江浙地区已采取各种措施:凡是向太湖流域排放含氮项目一律停止审批,流域内所有城镇都要有健全的污水处理设施和配套收集管网,太湖流域氨氮排放指标有偿使用收费等,对流域内氮排放进行管控。通过管控,2014—2016 年太湖沿岸主要入湖河流总氮年均质量浓度逐年下降;净入湖总氮负荷量明显下降,2014 年与 2010 年相比减少了 16%;湖体水质中总氮质量浓度逐年下降。

2.2 太湖东部沿岸主要出入湖水量和总氮监测结果

太湖东部沿岸(苏州辖区)主要出入湖流量、湖口总氮质量浓度和排放负荷量见表 2。2016 年,通过望虞河和太浦河排放的水量分别为 30.1 亿 m³ 和 65.4 亿 m³,湖体储水量约为 44 亿 m³,2016 年太湖湖体水仅从望虞河和太浦河出湖水量超过太湖储水量的 2 倍。从月度出入湖水量情况来看,1 月和 2 月望亭立交处于关闸状态,3 月和 9 月望

虞河向太湖引水,其他月份望虞河往外排水;太浦河一直处于出水状态,因 6 月太湖西山降雨量大,7 月太湖水位较高,流量突增。

从主要出入湖总氮质量浓度来看,312 国道桥断面和太浦闸断面的总氮年均质量浓度(0.788 mg/L、1.20 mg/L)均低于 2016 年太湖湖体总氮年均质量浓度(1.74 mg/L)。2016 年,望虞河和太浦河的总氮年排放量分别为 2 325 t 和 10 679 t,低于 2007—2014 年南部沿岸区、梅梁湖、竺山湖、西部沿岸区主要入湖河道的总氮年均入湖量(28 596 t)^[11]。从月度总氮质量浓度来看,312 国道桥断面无论是处于关闸还是引水、排水状态,除个别月份总氮浓度出现或高或低偏离外,总氮质量浓度处于稳定状态。因此,太湖出湖流量较大,湖体水质更新快,而东部沿岸出湖水质中总氮质量浓度低于湖体,太湖出水的总氮负荷量低于入湖量,太湖湖体对氮素进行截留。

2.3 太湖湖体中氨氮和总氮质量浓度月度变化特征

2014—2016 年太湖湖体温度变化范围为 4.3 ℃ ~ 32.7 ℃,平均水位变化范围为 3.12 m ~ 4.53 m,二者均是夏季最高,秋季次之,冬季最低。氨氮月均质量浓度表现为春季最高,其他 3 个季节处于波动状态:在春季,除 2014 年 4 月外,氨氮均处于Ⅱ类水平(0.5 mg/L);其他 3 个季节,除 2014 年 1 月和 7 月、2015 年 11 月和 12 月、2016 年 1 月和 11 月外,氨氮处于Ⅰ类水平(0.15 mg/L),并在 0.05 mg/L ~ 0.15 mg/L 范围内波动。总氮月均质量浓度为 0.86 mg/L ~ 2.89 mg/L,表现为春季最高,夏季和秋季最低,且月均值变化曲线呈现出规则的正弦函

表 2 2016 年主要出入湖水量和总氮排放量^①

Table 2 Main water flowing in and out of the lake, The mainly flows runoff and total nitrogen discharge in 2016^①

月份	西山降雨量 h/mm	望虞河出入湖 水量 V/亿 m ³	太浦河出湖 水量 V/亿 m ³	$\rho(\text{总氮})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$		总氮排放量 m/t	
				312 国道桥	太浦闸	望虞河	太浦闸
1 月	80.7	0	2.15	0.850	0.810	0	174
2 月	27.3	0	3.18	0.853	0.886	0	282
3 月	47.5	-0.914	3.31	0.853	0.922	-78.0	305
4 月	174.5	0.932	3.62	0.940	0.986	87.6	357
5 月	197.0	4.06	5.39	0.711	1.37	289	738
6 月	405.0	6.02	7.09	0.929	0.953	559	676
7 月	112.5	9.42	19.3	0.670	2.85	631	5 500
8 月	37.0	2.29	4.99	0.500	0.998	114	498
9 月	217.0	-0.457	2.51	0.640	0.978	-29.2	246
10 月	248.5	2.97	3.74	0.860	0.828	255	310
11 月	83.0	4.97	6.97	0.880	1.85	437	1 290
12 月	47.5	0.771	3.11	0.770	0.973	59.4	303

①望虞河出入湖水量的负数代表入湖,正数代表出湖;望虞河总氮排放量的负数代表入湖,正数代表出湖。

数波形。1—4月、8—12月,总氮质量浓度呈上升趋势;4—8月,总氮质量浓度呈下降趋势;3—5月,总氮质量浓度达到波峰位置;8—11月,总氮质量浓度达到波谷位置。

太湖水体中总氮月均浓度表现为春季最高、夏季和秋季最低,氮的输入方式可能会形成该变化规律。2016年,3—9月太湖(江苏境内)15条主要入湖河流总氮月均值分别为4.87 mg/L、4.30 mg/L、3.40 mg/L、2.97 mg/L、2.78 mg/L、2.08 mg/L和2.40 mg/L,同样表现出明显的季节变化。研究表明,干湿沉降和沉积物释放并不是引起太湖水体总氮浓度季节差异的主要原因^[12-14],太湖湖体总氮月均值变化特征与主要入湖河流总氮月均值变化特征保持一致,也与水生植物周期性生长旺盛和腐烂分解情况保持一致。

李灵慧等^[15]对东太湖水生植物季节演替研究发现,春季水生植物生物量较小,随温度升高,水生植物生物量明显增加;4月调查区域大部分水生植物还未萌发,此时水生植物整体覆盖率很低;6月沉水植物萌发生长,浮叶植物开始大量生长并成为优势种;8月,水生植物最为繁茂的时期,此时水生植物生物量最大;10月大部分植物进入结实衰亡期;12月进入冬季后,绝大部分水生植物已经消失。水生植物的生长需要吸收大量的氮营养盐,集中腐烂又会导致水质恶化^[15-16]。因此,总氮月均浓度变化特征与水生植物周期性生长旺盛和腐烂分解情况保持一致。

2.4 太湖水体中氨氮和总氮质量浓度空间分布特征

2014—2016年太湖水体中氨氮和总氮质量浓度空间分布特征见图2,该图由太湖湖体20个监测点位的氨氮和总氮年均值绘制。由图2可见,太湖水体中氨氮和总氮年均值的空间变化范围为0.043 6 mg/L~0.836 mg/L和1.07 mg/L~4.76 mg/L。氨氮和总氮高值主要分布在西部湖区,低值出现在东部湖区,大致表现出由西部湖区向东部湖区递减的趋势,氨氮和总氮质量浓度大体呈现西部湖区>北部湖区>南部湖区>湖心区>东部湖区。吕伟伟等^[3]在太湖总氮分析中也获得了类似的结论。2014—2016年,太湖水体中总氮年均浓度逐年下降,与2014年相比,2016年湖体总氮最大浓度下降27.5%,低浓度区域面积由东往西扩大。

太湖水体流向为由西往东,通过降雨和出入湖河道水体流通实现水质更新。东部湖区为太湖的

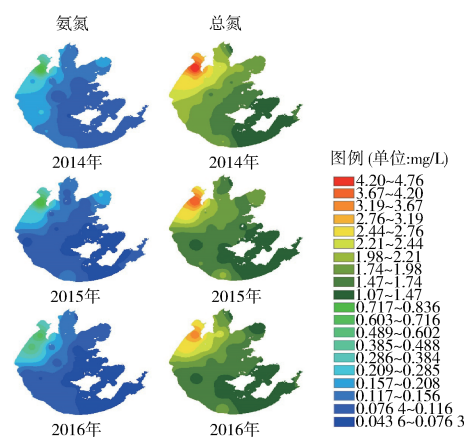


图2 太湖水体中氨氮、总氮年均值空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of annual mean of ammonia nitrogen and total nitrogen in Taihu Lake

主要出湖通道,尤其是太浦河,流量较大,2016年仅从望虞河和太浦河出湖的水量超过湖体总储水量的2倍。虽然太湖水体交换量较大,但总氮浓度空间分布并不均匀。太湖具有藻型湖区和草型湖区共存的生态特征,全湖水生植被分布区面积达到33.82%,水生植被总体呈西部湖区和北部湖区裸露,东北、东部、南部湖区广泛分布的格局^[17],太湖水体总氮浓度空间分布特征与水生植被分布相吻合。沉积物的固氮速率同样存在明显的空间差异,东太湖和梅梁湾是太湖沉积物固氮速率较高的湖区,而湖心区、西部沿岸区和湖东边岸区则是沉积物固氮速率较低的湖区^[18]。因此,太湖湖体水生生态构建了自然的水质净化系统,入湖水质总氮浓度较高,西部湖区和北部湖区总氮浓度较高,水体流经湖体过程中,经过层层净化,东部湖区的总氮浓度明显低于西部湖区。

3 结语

2014—2016年太湖水质总氮年均浓度逐年下降。各监测点位总氮浓度变化明显,表现为春季最高、夏季和秋季最低,空间上总氮浓度由西部湖区向东部湖区递减的趋势。太湖水质总氮浓度的变化规律表明,一方面太湖流域的氮排放管控取得显著效果,另一方面与太湖水生植物生长分布特征密切相关。因此,为保障生活、生产和生态用水安全,要加强对太湖流域水资源保护和水环境治理,逐步阻断入湖河道两岸的污染源,减少入湖污染量,更要加强对太湖水生态的科学管理,建立水生植被管理制度,加强水生植被种植、养护、收割和打捞的长

效管理,使水生植被处于最佳生长状态,充分发挥其净化水环境、改善水生态的积极作用。

[参考文献]

- [1] 朱冰清,高占啟,胡冠九,等.太湖重点区域水环境中邻苯二甲酸酯的污染水平及生态风险评价[J].环境科学,2018,39(8):3614-3622.
- [2] 李继影,牛志春,陈桥,等.江苏省太湖流域水生态健康评估的初步实践及展望[J].环境监测管理技术,2018,30(5):1-3.
- [3] 吕伟伟,姚昕,张保华,等.太湖颗粒态有机质的荧光特征及环境指示意义[J].环境科学,2018,39(5):2056-2067.
- [4] 王霞,刘雷,何跃,等.洪泽湖水体富营养化时空分布特征与影响因素分析[J].环境监测管理技术,2019,31(2):58-61.
- [5] 蔡琳琳,朱广伟,王永平,等.五里湖综合整治对湖水水质的影响[J].河海大学学报(自然科学版),2011,39(5):482-488.
- [6] 余辉,燕姝雯,徐军.太湖出入湖河流水质多元统计分析[J].长江流域资源与环境,2010,19(6):696-702.
- [7] 周念清,王燕,钱家忠,等.湿地氮循环及其对环境变化影响研究进展[J].同济大学学报(自然科学版),2010,38(6):865-869.
- [8] 付斌,刘宏斌,胡万里,等.凤羽河小流域水质氮磷特征及影

- 响因素分析[J].环境监测管理技术,2016,28(5):34-38.
- [9] 甘曼琴,刘佩诗,黄瑜,等.稻田氮磷流失控制技术[J].环境监测管理技术,2020,32(2):8-11.
- [10] 戴秀丽,钱佩琪,叶凉,等.太湖水体氮、磷浓度演变趋势(1985—2015年)[J].湖泊科学,2016,28(5):935-943.
- [11] 谢艾玲,徐枫,向龙,等.环太湖主要入湖河道污染负荷量对太湖水质的影响及趋势分析[J].河海大学学报(自然科学版),2017,45(5):391-397.
- [12] 王燕,刘宁锴,王骏飞,等.太湖流域氮磷等大气沉降研究[J].环境科学与管理,2015,40(5):103-105.
- [13] 翟水晶,杨龙元,胡维平.太湖北部藻类生长旺盛期大气氮、磷沉降特征[J].环境污染与防治,2009,31(4):5-10.
- [14] 张波.太湖水体和沉积物固氮作用及其影响因素研究[D].北京:中国科学院大学,2012.
- [15] 李灵慧,吴建斌,陆雪林,等.东太湖水生植物季节演替及抑藻效应初探[J].浙江农业学报,2016,57(2):288-291,293.
- [16] 赵凯,李振国,魏宏农,等.太湖贡湖湾水生植被分布现状(2012年)[J].湖泊科学,2015,27(3):421-428.
- [17] 赵凯,周彦锋,蒋兆林,等.960年以来太湖水生植被演变[J].湖泊科学,2017,29(2):351-362.
- [18] 王珺,高高,裴元生,等.白洋淀府河中氮的来源与迁移转化研究[J].环境科学,2010,31(12):2905-2910.

(上接第47页)

3 结语

采用大灰藓植物监测衡阳市大气重金属污染状况,并利用ArcGIS软件绘制了当地6种重金属元素的空间分布等值图,较为直观地反映了监测结果。通过对研究区域内各样点大灰藓和土壤中的6种重金属含量进行分析,表明重金属的空间分布受到人为活动的影响。从重金属等值分布图可知,6种重金属质量浓度较高区域均集中于北部及南部区域,这与当地的工业布局有关。有研究指出,大气重金属污染程度与区域工业发展状况紧密相关^[13],这也与上述监测结果一致。由此可见,利用大灰藓可以得出大气中重金属元素的分布规律。

[参考文献]

- [1] GHOSH M, SINGH S P. A comparative study of cadmium phyto-extraction by accumulator and weed species[J]. Environmental Pollution, 2005, 133(2):365-371.
- [2] LOSKA K, WIECHUA D. Application of principal component analysis for the estimation of source of heavy metal contamination in surface sediments from the Rybnik Reservoir[J]. Chemosphere, 2003, 51(5):723-733.
- [3] 姜苹红,罗远玲,彭克俭,等.苔藓植物运用于大气重金属污染监测的研究进展[J].环境污染与防治,2015,37(7):

- 82-87.
- [4] 王晓静,王智慧,张朝晖.喀斯特地区贵州铝厂周边植物对金属元素的监测能力[J].环境监测管理技术,2017,29(1):21-24.
- [5] 吴鹏程.苔藓植物生物学[M].北京:科学出版社,1998.
- [6] 彭晨.利用小羽藓监测江苏各地级市空气重金属污染[D].南京:南京林业大学,2010.
- [7] 杭州大学化学与分析化学教研室.分析化学手册[M].北京:化学工业出版社,1997.
- [8] 国家环境保护局. GB 15618—1995 土壤环境质量标准[S].北京:中国标准出版社,1995.
- [9] RÜHLING Å, TYLER G. An ecological approach to the lead problem[J]. Botaniska Notiser, 1968, 122(5):248-342.
- [10] MENDIL D, CELIK F, TUZEN M, et al. Assessment of trace metal levels in some moss and lichen samples collected from near the motorway in Turkey[J]. Journal of Hazardous Materials, 2009, 166(2/3):1344-1350.
- [11] 曹同,王敏,姜玉霞,等.监测环境污染的藓袋法技术及其应用[J].上海师范大学学报(自然科学版),2011,40(2):213-220.
- [12] 王敏,曹同,俞鹰浩,等.苔藓与种子植物对不同化学元素富集能力的比较[J].上海师范大学学报(自然科学版),2007,36(5):67-73.
- [13] 王慧慧,张朝晖.银叶真藓(*Bryum argenteum*)监测黔滇高速公路重金属污染的研究[J].环境监测管理技术,2018,30(6):26-29.