

# 巢湖水体氮磷营养盐时空分布特征

奚姗姗<sup>1</sup>, 周春财<sup>1</sup>, 刘桂建<sup>1\*</sup>, 吴蕾<sup>1</sup>, 王培华<sup>2</sup>

(1. 中国科学技术大学地球和空间科学学院, 合肥 230026; 2. 安徽省环境科学研究院, 合肥 230000)

**摘要:** 在不同汛期对巢湖水体进行了网格化样品采集, 研究了巢湖水体中氮磷营养盐的含量与时空分布规律, 确定了巢湖水体的主要污染因子。结果表明, 巢湖入湖河流中 TP、TN 和  $\text{NO}_3^-$ -N 指标均超过了 V 类水标准, 南淝河和十五里河中 TP、TN、 $\text{NH}_4^+$ -N 和  $\text{NO}_3^-$ -N 表现出丰水期低于平水期、枯水期的季节性变化特征, 在其他河流则呈现出丰水期高于枯水期、平水期的特征; 巢湖湖体氮磷营养盐浓度的分布存在时空差异, 西部湖区中氮磷营养盐含量远高于东部湖区; TP、TN 和  $\text{NH}_4^+$ -N 表现出在枯水期高于平水期和丰水期的变化特征, 而  $\text{NO}_3^-$ -N 在丰水期的含量较高; 巢湖水体的主要污染因子为 TN 和  $\text{NH}_4^+$ -N, 这些污染物从西往东质量浓度不断减少。

**关键词:** 氮磷营养盐; 时空分布; 地表水; 巢湖

中图分类号: X524 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2016)02-0542-06 DOI: 10.13227/j.hjxx.2016.02.019

## Spatial and Temporal Distributions of Nitrogen and Phosphate in the Chaohu Lake

XI Shan-shan<sup>1</sup>, ZHOU Chun-cai<sup>1</sup>, LIU Gui-jian<sup>1\*</sup>, WU Lei<sup>1</sup>, WANG Pei-hua<sup>2</sup>

(1. School of Earth and Space Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China, 2. Anhui Research Academy of Environmental Sciences, Hefei 230000, China)

**Abstract:** In order to determine the concentrations, spatial and temporal distributions of nitrogen (N) and phosphorus (P) nutrients in Chaohu Lake, the surface water samples were collected systemically in different flood seasons by grid sampling methods. Meanwhile, the predominant pollution factors and priority control area were confirmed. The results showed that the concentrations of TP, TN and  $\text{NO}_3^-$ -N in the inflowing rivers were higher than the V class water standard, the concentrations of nutrients in wet season were lower than those in normal season and dry season in Nanfei River and Shiwuli River, while the levels of nutrients in the other selected rivers were higher in wet season. The variations of spatial and temporal of nutrients were observed in the Chaohu Lake. The concentrations of N and P nutrients in the western part of Chaohu Lake were higher than those of the eastern part. The elevated concentrations of TP, TN and  $\text{NH}_4^+$ -N were found in the dry season, while the elevated content of  $\text{NO}_3^-$ -N was observed in the wet season. The predominant pollution factors in Chaohu Lake were TN and  $\text{NH}_4^+$ -N, the concentrations of these nutrients were decreasing from the western part of the Chaohu Lake to the eastern part of the Chaohu Lake.

**Key words:** N and P nutrients; spatiotemporal distribution; surface water; Chaohu Lake

巢湖位于安徽省中部, 长江中下游左岸, 是我国五大淡水湖之一。巢湖的水文特征表现为入湖水系众多、湖库深度大、水体环境相对封闭、水体更新周期长、水体流速缓慢等特征<sup>[1-3]</sup>。近年来, 巢湖流域正处在飞速城市化发展中, 区域土地利用从农业用地转变为城市和工业用地, 人口剧增, 人类经济活动强度高。巢湖是工农业和生活饮用水的重要来源, 也是沿岸工农业和生活排水的主要纳污场地<sup>[4]</sup>。随着工业化、城镇化的发展, 氮磷富营养物质排放量不断增加, 水体富营养化日益严重, 巢湖水质污染问题严峻<sup>[5-6]</sup>。巢湖流域经济社会发展与环境保护的矛盾突出, 因此, 巢湖水体污染治理已刻不容缓。

自从巢湖转变为富营养化湖泊以来, 政府部门和众多学者对巢湖的污染过程<sup>[7-8]</sup>、富营养化机

制<sup>[9,10]</sup>、污染源甄别<sup>[11,12]</sup>、内源控制<sup>[13,14]</sup>和区域水质变化<sup>[15,16]</sup>等方面展开了大量研究, 取得了较好的成果, 开展了一系列对策措施, 并出台了相关的政策规定<sup>[17,18]</sup>。然而巢湖水体富营养问题并没有被很好地解决, 巢湖西部湖区夏季蓝藻暴发依然普遍。研究巢湖水体富营养现状与时空变化特征可以为控制和削减巢湖水体富营养化提供重要的理论参考和数据支持<sup>[19-21]</sup>。

本研究通过对不同汛期巢湖入湖河流和湖体的水环境质量现状进行网格化的调查和监测, 结合巢湖的水文特征和水环境特性, 揭示了巢湖水体氮磷

收稿日期: 2015-08-17; 修订日期: 2015-09-18

基金项目: 安徽省环境保护科研课题项目(2015-011, 2014-003)

作者简介: 奚姗姗(1982~), 女, 博士研究生, 高级工程师, 主要研究方向为水体富营养化, E-mail: xishanshan2014@163.com

\* 通讯联系人, E-mail: lgj@ustc.edu.cn

营养盐的时空分布特征, 确定了巢湖污染的关键控制因子, 旨在为巢湖水质保护和科学的水污染治理技术提供基础支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

巢湖流域面积为13 350 km<sup>2</sup>, 涵盖合肥市区、肥西县、肥东县、巢湖市、含山县、和县、庐江、无为和舒城县。流域人口达 965 万人, 人口密度为 715 人·km<sup>-2</sup>, 是安徽省人口最密集、经济最发达的生态脆弱区<sup>[2, 11]</sup>。巢湖处于长江中下游左岸, 是长江流域的重要支流, 水域面积约为 770 km<sup>2</sup>, 以忠庙-姥山岛-齐头咀为界, 分为东湖区和西湖区, 其中西部湖区和东部湖区的水域面积分别为 250 km<sup>2</sup> 和 550

km<sup>2</sup>。巢湖流域水系较为发达, 共有大小河流 33 条, 主要入湖河流为杭埠-丰乐河(HB)、派河(PH)、十五里河(SWL)、南淝河(NF)、双桥河(SQ)、柘皋河(ZG)、兆河(ZH)和白石天河(BST) 8 条, 其中杭埠-丰乐河、派河、南淝河和白石天河 4 条河流占流域径流量 90% 以上<sup>[1, 21]</sup>。

### 1.2 样品采集与测试分析

为系统研究巢湖水体中氮磷营养盐分布与变化特征, 本次研究根据样品采集的代表性以及巢湖的自然形态, 利用经纬度网格法对整个巢湖湖区和 8 条主要入湖河流进行不同汛期布点采样, 采样时间分别为 2013 年 7 月(丰水期、夏季)、2013 年 11 月(平水期、秋季)和 2014 年 1 月(枯水期、冬季), 采样点分布可见图 1。

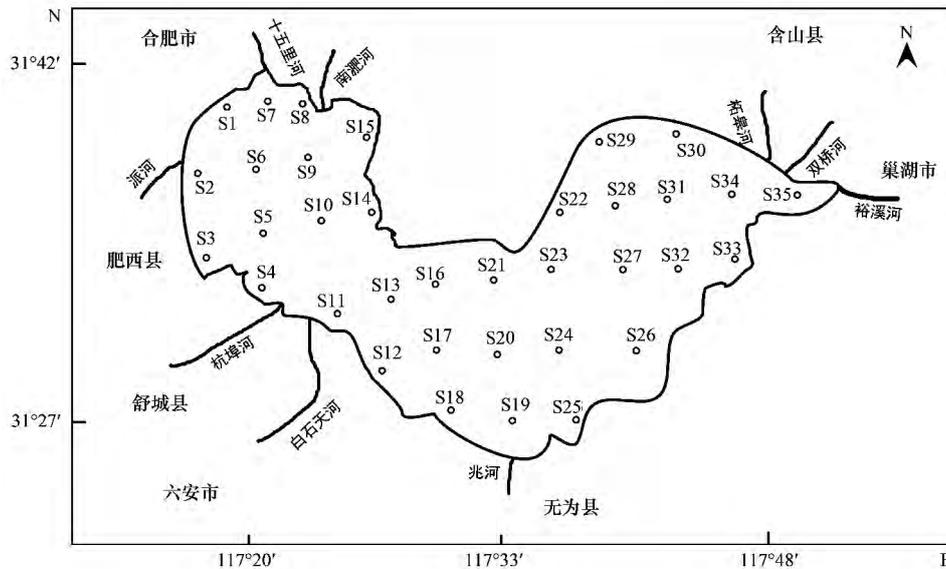


图 1 巢湖采样分布示意

Fig. 1 Sampling locations of Chaohu Lake

所有的采样点均用全球卫星定位系统进行定位, 采集水面 0.5 m 以下处的水样, 保存于 2.5 L 的聚乙烯塑料瓶中, 放入装有冰袋的保存箱中暂存。

水样的预处理及分析测试均参照国家相关标准方法。总磷(TP)、总氮(TN)、氨氮(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N)和硝氮(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N)分别采用过硫酸钾氧化-钼锑抗分光光度法(GB 11893-89)、碱性过硫酸钾消解-紫外分光光度法(GB 11894-89)、纳氏试剂分光光度法(HJ 535-2009)和酚二磺酸分光光度法(GB 7480-87)进行测定。为保证所测数据的准确性, 所有样品均做 3 次平行, 试验结果以 3 次分析结果的平均值表示。通过测试可知, 3 次平行分析结果的误差小于 5%。试验数据采用 Excel 2013、OriginPro 8.0、SPSS 16 和 ArcGIS 10.0 进行分析与绘图。

## 2 结果与讨论

### 2.1 巢湖入湖河流氮磷营养盐的时空分布特征

巢湖入湖河流流量和水质季节性变化很大, 主要受大气降水影响。不同汛期巢湖入湖河流氮磷营养盐的含量可见表 1。从中可知, 入湖河流 TP 的浓度为 0.06 ~ 2.46 mg·L<sup>-1</sup>, 平均值为 0.58 mg·L<sup>-1</sup>; TN 的浓度为 0.39 ~ 24.6 mg·L<sup>-1</sup>, 平均值为 6.00 mg·L<sup>-1</sup>; NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 的浓度为 0.08 ~ 21.6 mg·L<sup>-1</sup>, 平均值为 4.90 mg·L<sup>-1</sup>; NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 的浓度为 0.14 ~ 1.58 mg·L<sup>-1</sup>, 平均值为 0.78 mg·L<sup>-1</sup>; 与地表水环境质量标准(GB 3838-2002)比较可知, 其 TP、TN 和氨氮指标均超过了 V 类水标准, 且在夏季的浓度最低, 可能是由于夏季雨水充沛, 稀释了其浓度。

从不同河流的含量特征可知,位于巢湖西部湖区的南淝河、十五里河和派河的污染较为严重,其 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TP和TN的浓度均远远超过了国家V类水标准。而位于巢湖东部湖区的兆河、柘皋河和双桥河的污染程度较轻,基本属于III-IV类水水平。对不同季节巢湖入湖河流氮磷营养盐特征进行比较可知(图2),各河流在不同季节的变化也有所不同。南淝河和十五里河中TP、TN和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 随着季节的变化明显,其含量冬季>秋季>夏季,而 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的变化不明显,可能是由于这些河流在冬季和秋季的水源补给以工业和生活污水排放为主<sup>[5,11]</sup>,而夏季主要

以雨水径流为主,导致河流污染浓度因雨水稀释而降低。在杭埠河、白石天河、兆河、柘皋河和双桥河中,其 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TP和TN随季节的变化较小,且TP主要在秋季和冬季偏高,而TN、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的含量则在夏季偏高,可能是由于这些河流主要流经农业耕作区域,夏季是农业施肥的一个集中时期,而且雨水偏多,在雨水淋溶和水土流失作用下,农田中的硝酸盐化肥进入河流中,从而导致这些河流中 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 在夏季含量高。此外,有机氮可在有氧条件下经微生物分解形成 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ,从而致使 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和TN在夏季的含量偏高<sup>[3]</sup>。

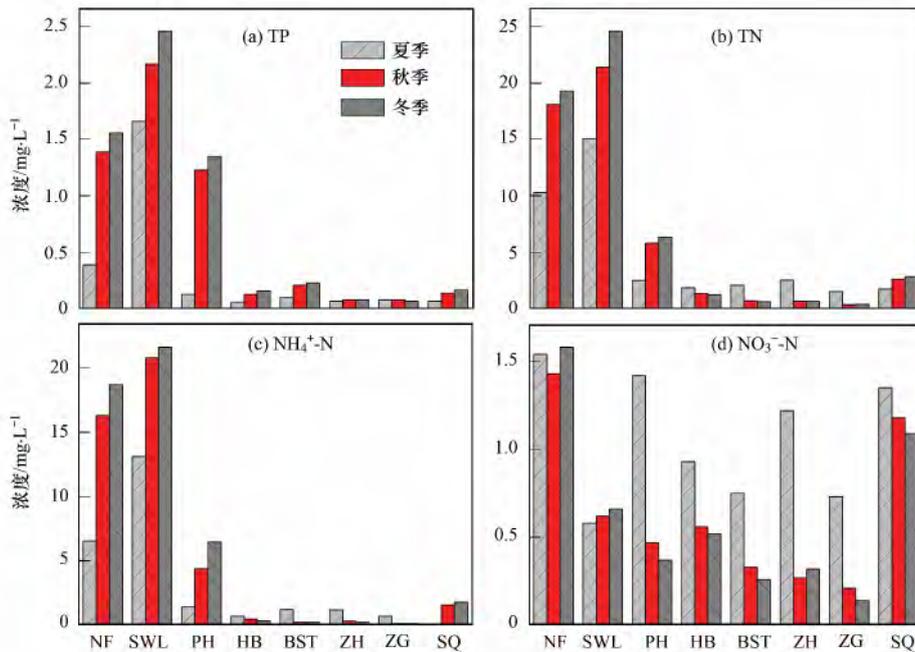


图2 巢湖入湖河流中氮磷营养盐的分布特征

Fig. 2 Distribution characteristics of N and P nutrients in the inflowing rivers of Chaohu Lake

表1 巢湖入湖河流中氮磷营养盐的分布特征/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

Table 1 Concentrations of N and P nutrients in the inflowing rivers of Chaohu Lake/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

项目	TP			TN			$\text{NH}_4^+\text{-N}$			$\text{NO}_3^-\text{-N}$		
	夏季	秋季	冬季	夏季	秋季	冬季	夏季	秋季	冬季	夏季	秋季	冬季
南淝河	0.39	1.39	1.56	10.3	18.1	19.3	6.55	16.3	18.7	1.54	1.43	1.58
十五里河	1.66	2.17	2.46	15.1	21.4	24.6	13.1	20.8	21.6	0.58	0.62	0.66
派河	0.13	1.23	1.35	2.52	5.82	6.37	1.43	4.39	6.48	1.42	0.47	0.37
杭埠河	0.06	0.13	0.16	1.87	1.37	1.26	0.69	0.48	0.35	0.93	0.56	0.52
白石天河	0.10	0.21	0.23	2.12	0.72	0.64	1.23	0.23	0.24	0.75	0.33	0.26
兆河	0.07	0.08	0.08	2.55	0.69	0.66	1.20	0.32	0.23	1.22	0.27	0.32
柘皋河	0.08	0.08	0.07	1.53	0.39	0.42	0.69	0.13	0.14	0.73	0.21	0.14
双桥河	0.07	0.14	0.17	1.76	2.65	2.86	0.08	1.56	1.79	1.35	1.18	1.09
季节均值	0.32	0.68	0.76	4.72	6.39	7.01	3.12	5.53	6.20	1.07	0.63	0.62
年度均值	0.58			6.00			4.90			0.78		

## 2.2 巢湖水体中氮磷营养盐的时空分布规律

### 2.2.1 巢湖水体中氮磷营养盐的含量

通过对巢湖湖体网格化采样分析可知,巢湖湖

体中TP的浓度为 $0.04 \sim 1.40 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,平均值为 $0.20 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ;TN的浓度为 $0.84 \sim 23.0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,平均值为 $3.85 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ;  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度为 $0.17 \sim 10.2$

$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 平均值为  $1.34 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ;  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  的浓度为  $0.20 \sim 12.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 平均值为  $1.98 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ; 与地表水环境质量标准(GB 3838-2002)比较可知, 巢湖湖体中 TN 超过 V 类水标准,  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  超过 III 标准, 污染问题依然严峻。

通过对巢湖东部湖区和西部湖区氮磷营养盐的分析可知(表 2), 西部湖区中氮磷营养盐的含量远远高于东部湖区, 这是由于西部湖区靠近城市活动区域, 南淝河更是横穿合肥, 大量的生活污水、工业废水以及农业用水等通过南淝河、十五里河和派河

等进入西部湖区<sup>[4, 9]</sup>, 导致西部湖区水体中氮磷营养盐含量高, 而东部湖区离市区较远, 河流较少, 排入东部湖区的污染物较少, 且可由裕溪闸排出, 因此含量较西部湖区低。

从不同季节湖体中氮磷营养盐的含量可知(表 2), 湖体污染物在冬季的含量 > 秋季 > 夏季的含量, 这可能是由于冬季入湖河流中污染物的含量高于夏季入湖河流污染物的含量, 污染物进入湖体后不能及时排出, 且夏季雨水充沛, 裕溪闸排放量大, 可以较好地稀释湖体污染物。

表 2 巢湖东部湖区和西部湖区中氮磷营养盐的含量/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

Table 2 Concentrations of N and P nutrients in different parts of Chaohu Lake/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

项目	西部湖区			东部湖区		
	夏季	秋季	冬季	夏季	秋季	冬季
TP	$0.20 \pm 0.05$	$0.26 \pm 0.07$	$0.27 \pm 0.03$	$0.13 \pm 0.02$	$0.14 \pm 0.04$	$0.12 \pm 0.03$
TN	$4.68 \pm 1.54$	$6.74 \pm 1.78$	$6.81 \pm 1.05$	$1.60 \pm 0.33$	$1.53 \pm 0.19$	$1.69 \pm 0.24$
$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	$1.46 \pm 0.64$	$2.46 \pm 0.72$	$2.54 \pm 0.57$	$0.41 \pm 0.13$	$0.60 \pm 0.26$	$0.52 \pm 0.13$
$\text{NO}_3^- - \text{N}$	$2.40 \pm 0.78$	$3.61 \pm 0.92$	$3.33 \pm 1.44$	$0.76 \pm 0.25$	$0.69 \pm 0.17$	$0.70 \pm 0.28$

### 2.2.2 巢湖水体中氮磷营养盐的时空分布特征

不同季节(汛期)巢湖水体中 TP 的时空分布特征可见图 3。夏季巢湖大部地区含量总磷含量小于  $0.2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 属于 I ~ III 类水, 在杭埠河和白石天河附近含量为  $0.2 \sim 0.3 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 属于 IV 类水, 主要的污染出现在南淝河和十五里河入湖口周边, 最大值达  $1.14 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 表明巢湖总磷的来源主要为南淝河和十五里河。南淝河和十五里河是合肥城市生活水和工业废水的主要排放地, 在生活用水中含有大量的磷, 从

而导致巢湖西北部总磷的污染。在杭埠河和白石天河入湖口中总磷主要来源于磷肥的施用, 通过雨水冲刷和地表径流等途径而进入河流中<sup>[22]</sup>。

在秋季和冬季, 巢湖中 IV 类水区域增加, 主要出现在西部湖区区域。且随着季节变化, 污染区域不断往东部湖区扩散, 这可能是由于秋季和冬季降雨量的减少而导致水量的减少, 而磷源的输入没有减少, 从而导致总磷含量的增加。在东部其水质较好, 均属于 I ~ III 类水。

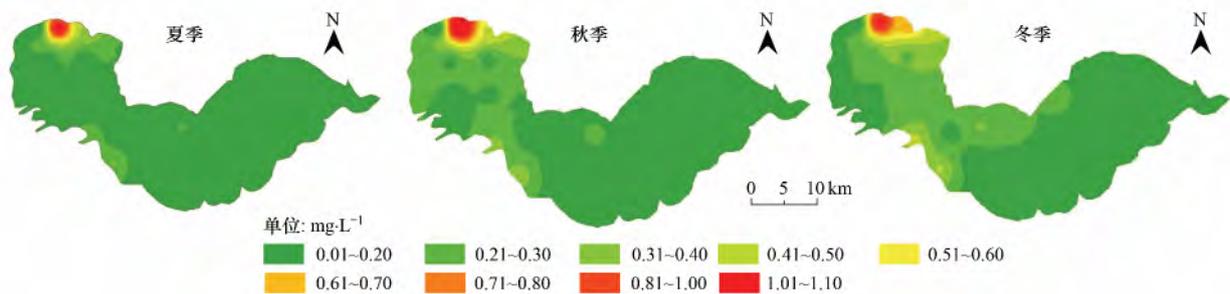


图 3 TP 在巢湖的时空分布特征

Fig. 3 Temporal and spatial distribution characteristics of TP in the Chaohu Lake

巢湖中 TN 的时空分布特征可见图 4。夏季巢湖 TN 污染严重, 整个巢湖含量均超过地表水 III 类水标准( $1.0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )。巢湖 TN 的空间分布明显, 主要可以分为 3 区, 第一区为巢湖的东南部, 含量为  $1.0 \sim 1.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 属于 IV 类水; 第二区为偏东部地区, 含量为  $1.6 \sim 2.0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 属于 V 类水; 第三区为西部和中部地区, 其含量均超过国家地表水 V 类水标准, 最大值为南淝河和十五里河入湖口(达

$13.04 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) 污染严重。从整体趋势看, TN 从西部往东部逐渐降低, 众多河流注入巢湖后, 从西部流向东部, 最后通过裕溪河排出。氮源通过河流输入后, 随着向东的迁移而不断地稀释。因此要控制氮源, 首要是控制南淝河、十五里河、杭埠河等河流氮源的不断输入。从季节的变化来看(图 4), TN 的区域变化不明显, 然而在西部湖区北部地区, 污染严重区域增加, 可能是由于雨水的减少而使水量减

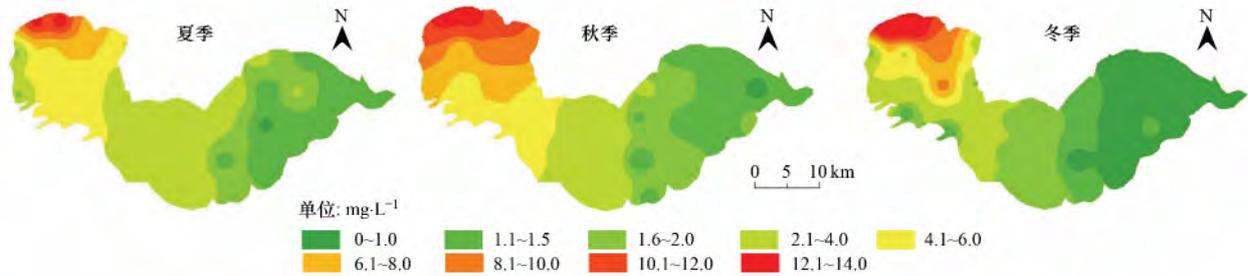


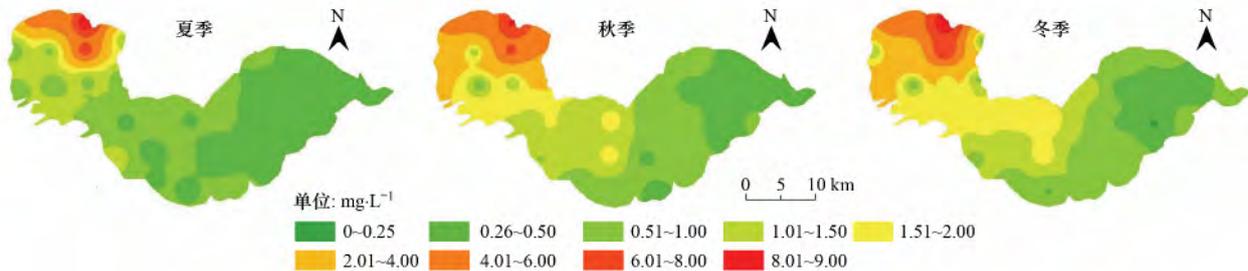
图 4 TN 在巢湖的时空分布特征

Fig. 4 Temporal and spatial distribution characteristics of TN in the Chaohu Lake

少,水流速度的降低也导致了 TN 迁移变缓,也使东部湖区水质好转<sup>[23, 24]</sup>.

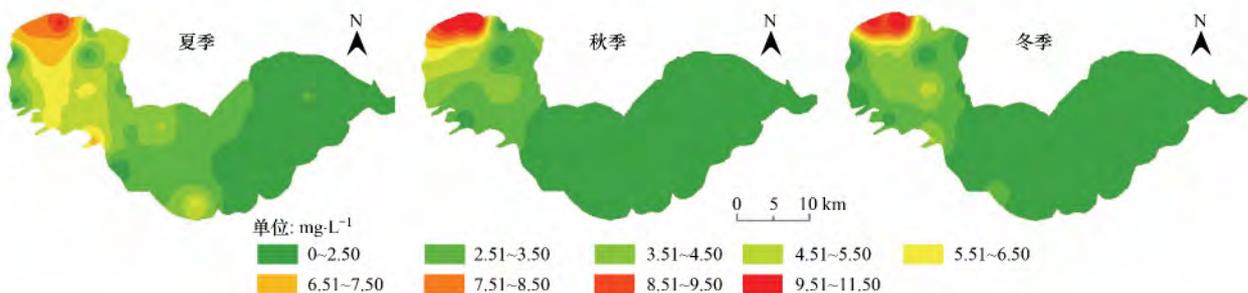
通过对巢湖湖体中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的研究可知(图 5),夏季巢湖中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的空间分布可以分为 4 区,第一区为巢湖东部地区,其含量为 $0.16 \sim 0.50 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,属于 II 类水;第二区为巢湖的中部地区,其含量为

$0.51 \sim 1.00 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,属于 III 类水;第三区西部湖区的南部地区,含量为 $1.01 \sim 1.50 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,属于 IV 类水,而在西部湖区的北部地区含量较高,主要集中在南淝河和十五里河入湖口周边.随着季节变化(图 5),由于雨水的减少,巢湖湖体中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 总量增加,水质变差,并向东迁移.

图 5  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  在巢湖的时空分布特征Fig. 5 Temporal and spatial distribution characteristics of  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  in the Chaohu Lake

从图 6 可知,巢湖湖体内 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 在西部湖区的含量高于东部湖区的含量,且从西部湖区往东部湖区,其含量不断减少.其最大值也是出现在南淝河和十五里河入湖口处.从季节变化来看,夏季湖体中 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 较秋季和冬季含量高,这与入湖河流的分布特征较为一致.夏季湖体中高含量的 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 可能

受外源化肥输入和内部生物作用造成.夏季是农业耕作的集中时期,随着大量含氮肥料的施用,硝酸盐在雨水冲刷和水土流失的作用下经过河流或直接进入湖体中<sup>[25]</sup>.同时由于夏季藻类生长和雨水较多,导致湖体中溶解氧不足, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 可在厌氧微生物的作用下转化为 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ <sup>[26, 27]</sup>.

图 6  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  在巢湖的时空分布特征Fig. 6 Temporal and spatial distribution characteristics of  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  in the Chaohu Lake

通过对巢湖氮磷营养盐时空分布研究可知,巢湖西部湖区氮磷营养盐含量均不同程度地高于东部湖区,这是由于西部湖区入湖河流较多、流量大,且

西部湖区入湖河流沿岸聚集着城市生活区、工业生产区和农业耕作区.其中,南淝河和十五里河污染最为严重,随着上游董铺水库、大房郢水库对来

水的拦蓄和城市化导致汇水区域的地表硬质化, 降雨后的蓄水能力下降, 这些河流已演变为典型的缺乏生态基流的重负荷河流。由于缺乏清洁水源, 以污水处理厂尾水为主的再生水已成为南淝河的重要补给水源, 占南淝河水量的 32.9%, 尤其在合肥市城区段污水处理厂尾水已成为主要的补给水源的, 占比达 69.7%<sup>[17, 8]</sup>。同时, 随着裕溪闸的建立, 巢湖水体环境相对封闭, 更新周期长, 水体流速滞缓, 也导致了氮磷营养盐在巢湖西部湖区的富集。巢湖西部湖区入湖河流营养盐输入量巨大, 远远超出了巢湖的自净能力, 从而为蓝藻的暴发提供了营养物质。因此, 为有效地削减和控制巢湖氮磷营养盐, 减少南淝河和十五里河等河流污染的输入、补给生态基流是关键。

### 3 结论

(1) 入湖河流中 TP、TN 和  $\text{NO}_3^-$ -N 指标均超过了 V 类水标准。季节性水量变化对其浓度变化有重要影响, 由于雨水稀释, 夏季南淝河和十五里河中 TP、TN 和  $\text{NO}_3^-$ -N 含量低于秋季和冬季。夏季杭埠河、白石天河、兆河和柘皋河中 TP、TN 和  $\text{NO}_3^-$ -N 含量较高可能是由于农耕地区化肥流失造成。

(2) 巢湖湖体中 TN 超过 V 类水标准,  $\text{NH}_4^+$ -N 超过 III 标准, 污染问题依然严峻。由于受到城市活动的强烈影响, 西部湖区中氮磷营养盐的含量远远高于东部湖区。

(3) 巢湖水体的主要污染因子是 TP、TN 和  $\text{NH}_4^+$ -N 等, 尤其是 TN 和  $\text{NH}_4^+$ -N。这些物质从西部湖区往东部湖区含量不断减少, 南淝河和十五里河污染最为严重, TN、TP 和  $\text{NH}_4^+$ -N 随季节的变化明显, 其变化特征受雨水补给、城市活动、农业生产和微生物作用等影响。

#### 参考文献:

[1] 屠清瑛, 顾丁锡, 尹澄清, 等. 巢湖富营养化研究[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1990.

[2] 殷福才, 张之源. 巢湖富营养化研究进展[J]. 湖泊科学, 2003, 15(4): 377-384.

[3] 张之源, 王培华, 张崇岱. 巢湖营养化状况评价及水质恢复探讨[J]. 环境科学研究, 1999, 12(5): 45-48.

[4] 刘恩峰, 杜臣昌, 羊向东, 等. 巢湖沉积物中磷蓄积时空变化及人为污染定量评价[J]. 环境科学, 2012, 33(9): 3024-3030.

[5] 尚广萍, 徐振宇, 李玉成, 等. 巢湖西半湖富营养化时空变化趋势与成因分析[J]. 生物学杂志, 2010, 27(5): 56-59.

[6] 赵海泉, 胡子全. 巢湖东半湖水体富营养化评价及其防治对策[J]. 水生态学杂志, 2009, 2(5): 119-122.

[7] 李国莲, 刘桂建, 姜萌萌, 等. 巢湖表层沉积物与上覆水体

中重金属分配特征及其相关性研究[J]. 中国科学技术大学学报, 2011, 41(1): 9-15.

[8] 叶琳琳, 吴晓东, 刘波, 等. 巢湖溶解性有机物时空分布规律及其影响因素[J]. 环境科学, 2015, 36(9): 3186-3193.

[9] Zhang Y C, Ma R H, Zhang M, et al. Fourteen-year record (2000-2013) of the spatial and temporal dynamics of floating algae blooms in Lake Chaohu, observed from time series of Modis images[J]. Remote Sensing, 2015, 7(8): 10523-10542.

[10] Yu L, Kong F X, Zhang M, et al. The dynamics of microcystis genotypes and microcystin production and associations with environmental factors during blooms in Lake Chaohu, China[J]. Toxins, 2014, 6(12): 3238-3257.

[11] Xi S S, Liu G J, Zhou C C, et al. Assessment of the sources of nitrate in the Chaohu Lake, China, using a nitrogen and oxygen isotopic approach[J]. Environmental Earth Sciences, 2015, 74(2): 1647-1655.

[12] 李如忠, 李峰, 周爱佳, 等. 巢湖十五里河沉积物氮磷形态分布及生物有效性[J]. 环境科学, 2012, 33(5): 1503-1510.

[13] 潘延安, 雷沛, 张洪, 等. 重庆园博园龙景湖新建初期内源氮磷分布特征及扩散通量估算[J]. 环境科学, 2014, 35(5): 1727-1734.

[14] 李超, 王丹, 杨金燕, 等. 巢湖沉积物有效磷的原位高分辨分析研究[J]. 环境科学, 2015, 36(6): 2077-2084.

[15] Li G L, Liu G J, Zhou C C, et al. Mobility, binding behavior and potential risks of trace metals in the sediments of the fifth largest freshwater lake, China[J]. Water Science & Technology, 2013, 67(11): 2503-2510.

[16] Li G L, Liu G J, Zhou C C, et al. Spatial distribution and multiple sources of heavy metals in the water of Chaohu Lake, Anhui, China[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2012, 184(5): 2763-2773.

[17] 王岩, 姜霞, 李永峰, 等. 洞庭湖氮磷时空分布与水体营养状态特征[J]. 环境科学研究, 2014, 27(5): 484-491.

[18] 秦伯强, 杨柳燕, 陈非洲, 等. 湖泊富营养化发生机制与控制技术及其应用[J]. 科学通报, 2006, 51(16): 1857-1866.

[19] Taylor G D, Fletcher T D, Wong T H F, et al. Nitrogen composition in urban runoff-implications for stormwater management[J]. Water Research, 2005, 39(10): 1982-1989.

[20] 卢少勇, 远野, 金相灿, 等. 7 条环太湖河流沉积物氮含量沿程分布规律[J]. 环境科学, 2012, 33(5): 1497-1502.

[21] 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[J]. 环境科学, 2008, 29(12): 3382-3386.

[22] 包静玥, 鲍建国, 李立青. 山地城市新建湖库氮磷营养盐时空特征研究[J]. 环境科学, 2014, 35(10): 3709-3715.

[23] 李如忠, 杨继伟, 钱靖, 等. 合肥郊区典型源头溪流不同渠道形态的氮磷滞留特征[J]. 环境科学, 2014, 35(9): 3365-3372.

[24] 李如忠, 刘科峰, 钱靖, 等. 合肥市区典型景观水体氮磷污染特征及富营养化评价[J]. 环境科学, 2014, 35(5): 1718-1726.

[25] 温胜芳, 单保庆, 张洪. 巢湖表层沉积物磷的空间分布差异性研究[J]. 环境科学, 2012, 33(7): 2322-2329.

[26] 刁晓君, 李一崑, 王曙光. 水华生消过程对巢湖沉积物微生物群落结构的影响[J]. 环境科学, 2015, 36(1): 107-113.

[27] 马孟泉, 张玉超, 钱新, 等. 巢湖水体组分垂向分布特征及其对水下光场的影响[J]. 环境科学, 2014, 35(5): 1698-1707.