

# 合肥市环巢湖地区种植业面源污染监测与评价

甘曼琴<sup>1</sup>, 荚力<sup>2</sup>, 黄瑜<sup>1</sup>, 刘佩诗<sup>1</sup>, 叶从容<sup>2</sup>, 马友华<sup>1\*</sup>

(1. 安徽农业大学资源与环境学院, 安徽 合肥 230036;

2. 合肥市经济技术监督管理总站, 安徽 合肥 230000)

**摘要:**通过2016—2018年在合肥市环巢湖5个县主要农田周边沟渠中采集水样, 监测农田氮磷流失浓度, 并评价该区域种植业面源污染状况。结果表明, 这3年该区域种植业TN、TP流失的平均质量浓度分别为3.48 mg/L、0.602 mg/L, 均高于地表水V类水质标准。2016年与2017年TN、TP浓度差异不大, 2018年较前两年TN浓度有所提高, TP浓度相比显著降低。巢湖市农田沟渠水中TP浓度高于其他县区, TN浓度相对较低;  $\text{NO}_3^-$ -N浓度庐江县高于其他县区;  $\text{NH}_3$ -N地区间几乎没有差异。TP和 $\text{NH}_3$ -N浓度均为秋季高于夏季, TN和 $\text{NO}_3^-$ -N浓度均为夏季高于秋季。

**关键词:** 农业面源污染; 氮; 磷; 巢湖; 合肥

中图分类号: X824; X832

文献标志码: B

文章编号: 1006-2009(2021)01-0028-05

## Monitoring and Evaluation of Non-point Source Pollution of Planting Industry in Chaohu Lake Area of Hefei

GAN Man-qin<sup>1</sup>, JIA Li<sup>2</sup>, HUANG Yu<sup>1</sup>, LIU Pei-shi<sup>1</sup>, YE Cong-rong<sup>2</sup>, MA You-hua<sup>1\*</sup>

(1. College of Resources and Environment, Anhui Agricultural University, Hefei, Anhui 230036, China;

2. Hefei Economic and Technical Supervision and Management Station, Hefei, Anhui 230000, China)

**Abstract:** From 2016 to 2018, water samples were collected from the main farmland ditches in five counties in Chaohu Lake area of Hefei for monitoring nitrogen and phosphorus loss from the farmland, and evaluating non-point source pollution of planting industry in the region. Results showed that in the 3 years, the average mass concentration of TN and TP loss in planting industry in this region were 3.48 mg/L and 0.602 mg/L, respectively, both were above surface water quality standards of V grade. There was little difference in TN and TP concentrations between 2016 and 2017. Compared the previous two years, TN concentration increased and TP concentration decreased significantly in 2018. TP concentration in the farmland ditches in Chaohu was higher than that in other counties, and TN concentration was relatively low. The concentration of  $\text{NO}_3^-$ -N in Lujiang County was higher than that in other counties. There was little difference in  $\text{NH}_3$ -N concentration between regions. The concentration of TP and  $\text{NH}_3$ -N were higher in autumn than that in summer, and the concentration of TN and  $\text{NO}_3^-$ -N were higher in summer than that in autumn.

**Key words:** Agricultural non-point source pollution; Nitrogen; Phosphorus; Chaohu Lake; Hefei

近年来,巢湖流域工业化和现代农业的迅速发展使得巢湖水体呈现严重的富营养化状况。巢湖水质总体为V类,环湖河流水体污染较为严重,主要污染指标为TP、TN等<sup>[1-4]</sup>。其中,农业面源污染是引起巢湖水体富营养化的重要原因。农业施肥结构中化肥使用量占比较大,水产养殖饵料在水体中残留较多,人畜粪便与生活污水及农村生活垃

圾造成的污染等<sup>[5-6]</sup>,以上因素以多种方式加重了巢湖流域水体富营养化程度。为强化农业面源污

收稿日期:2019-12-04;修订日期:2020-12-03

基金项目:国家重点研发计划“水稻主产区氮磷流失综合防控技术与产品研发”基金资助项目(2016YFD0800503)

作者简介:甘曼琴(1994—),女,安徽安庆人,在读研究生,研究方向为农业资源与环境。

\*通信作者:马友华 E-mail: yhma@ahau.edu.cn

染监测,建立健全农业面源综合防治运行机制,今于2016—2018年开展环巢湖地区农业面源污染源解析研究,选择合肥市的巢湖市、肥东县、肥西县、包河区和庐江县,通过对农田沟渠水体的调查与采样分析,弄清合肥市环巢湖地区种植业氮磷流失含量变化特征,为防控农业面源污染提供参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 研究区域概况

巢湖位于长江中下游、安徽省中部,是中国5大淡水湖之一,流域面积为13 000多 $\text{km}^2$ ,水域面积约760 $\text{km}^2$ ,涉及9个市县(区),是合肥市的主要饮用水源。流域内农耕面积约500 000 $\text{hm}^2$ ,农村人口600多万人,占总人口的80%左右<sup>[7-8]</sup>。农业生产以油菜、水稻、棉花、蔬菜、水果和水产畜禽为主,是典型的传统农业种植区。

今选择合肥市的巢湖市、庐江县、肥东县、肥西县和包河区5个环巢湖区县作为研究区。其中,肥东县主要种植莲藕,施用德州大颗粒氮肥为主,几乎不施农药;包河区主要种植葡萄与蔬菜;巢湖市、庐江县和肥西县主要种植水稻。

### 1.2 采样点布 设与样品采集

2016—2018年的9月和11月,选择研究区内典型农田周边沟渠(田间到末级排水沟道-斗沟),在其田间水入口处、中部、出口处内侧和入河道口各布设1个点位采集水样,共布设采样点20个(见图1),每个点位均用GPS定位。

在每个采样点用聚乙烯塑料瓶采集水面下0.5 m处的水样500 mL,同时采集1个平行样品,放入装有冰袋的保存箱中,送实验室保存待测。监测项目包括总氮(TN)、总磷(TP)、氨氮( $\text{NH}_3\text{-N}$ )

和硝酸盐氮( $\text{NO}_3^-\text{-N}$ )。

### 1.3 样品分析

仪器设备为连续流动注射分析仪(AA3HR),其由自动进样器、蠕动泵、化学反应模块、比色计组成。主要试剂为碱性过硫酸钾溶液:20 g 过硫酸钾溶于1 L 纯水中;钼酸盐溶液:1.8 g 钼酸铵、22.3 mL 分析纯浓硫酸、0.05 g 酒石酸锑钾溶于1 L 纯水中,定容后再加2 g 十二烷基硫酸钠;抗坏血酸溶液:1.5 g 抗坏血酸溶于100 mL 纯水中,现配现用;氢氧化钠溶液:10 g 氢氧化钠+3 mL 磷酸溶于1 L 纯水中,再加入1 mL 300 g/L 的十二烷基硫酸钠溶液;硫酸溶液:22.5 mL 分析纯浓硫酸溶于1 L 纯水中,定容后加2 g 十二烷基硫酸钠;硫酸联氨:0.4 g 硫酸联氨溶于200 mL 纯水中;缓冲溶液:40 g 柠檬酸钠溶于1 L 纯水中,再加入1 mL Brij-35,30% 溶液;氮磷标准物质:500 mg/L 氮磷标准溶液(水利部水环境监测评价研究中心生产)稀释成需要的标线质量浓度。

$\text{NH}_3\text{-N}$  和  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  由水样经滤纸过滤后直接进入 AA3 连续流动注射分析仪分析;TN、TP 由未过滤水样经过硫酸钾消煮后,用 AA3 连续流动注射分析仪测定;可溶性 TP 由过滤后的水样采用过硫酸钾消煮-AA3 连续流动注射分析仪测定<sup>[9-11]</sup>。

## 2 结果与讨论

### 2.1 研究区种植业氮磷流失浓度总体特征

表1为2016—2018年研究区农田沟渠水中氮磷质量浓度分布。由表1可知,合肥市环巢湖地区种植业氮磷流失浓度差异显著。2016—2018年,研究区农田沟渠水中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 质量浓度范围为0.001 mg/L~2.11 mg/L,平均值为0.462 mg/L; $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 质量浓度范围为0.013 mg/L~9.76 mg/L,平均值为0.777 mg/L;TN质量浓度范围为0.688 mg/L~14.8 mg/L,平均值为3.48 mg/L,TP质量浓度范围为0.033 mg/L~2.79 mg/L,平均值为0.602 mg/L。依据《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中的TN和TP项目标准评价, $\text{NH}_3\text{-N}$ 平均值低于II类标准限值(0.5 mg/L), $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 平均值高于II类标准限值,TN、TP平均值均高于V类标准限值。从三年对比来看,2016年与2017年氮磷浓度差异不大,2018年较前两年TN浓度有所增加,TP浓度相比显著降低。2016—2018年合肥市全年降水总量分别为1 502 mm、951.9 mm、

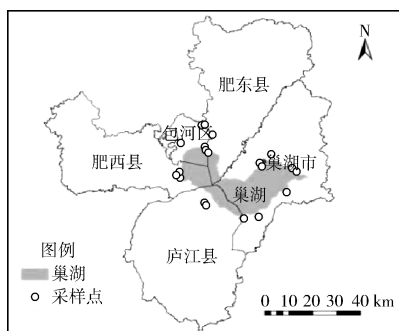


图1 合肥市环巢湖采样点分布

Fig. 1 Distribution of sampling sites in Chaohu Lake in Hefei

表1 2016—2018年研究区农田沟渠水中氮磷质量浓度分布

Table 1 Distribution of nitrogen and phosphorus mass concentration in farmland ditches in the research area from 2016 to 2018

年份	指标	样本数 n/个	范围 $\rho$ / ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	平均值 $\rho$ / ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	分区间 $\rho$ / ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	占比 /%	分区间 $\rho$ / ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	占比 /%	分区间 $\rho$ / ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	占比 /%	分区间 $\rho$ / ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	占比 /%
2016年	NH <sub>3</sub> -N	80	0.004~2.11	0.478	<0.5	58.8	[0.5,1.0)	28.8	[1.0,1.5]	11.2	>1.5	1.2
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	80	0.022~9.76	0.794	<1.0	87.5	[1.0,1.5)	3.8	[1.5,2.0)	0	>2.0	8.7
	TN	80	0.958~12.9	2.31	<1.5	23.8	[1.5,2.0)	46.2	[2.0,10]	27.5	>10	2.5
	TP	80	0.083~1.31	0.557	<0.2	17.5	[0.2,0.3)	10.0	[0.3,0.4]	7.5	>0.4	65.0
2017年	NH <sub>3</sub> -N	80	0.001~1.19	0.354	<0.5	75.0	[0.5,1.0)	20.0	[1.0,1.5]	5.0	>1.5	0
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	80	0.048~4.57	0.669	<1.0	88.8	[1.0,1.5)	3.7	[1.5,2.0)	5.0	>2.0	2.5
	TN	80	0.688~10.2	3.05	<1.5	25.0	[1.5,2.0)	17.5	[2.0,10]	56.3	>10	1.2
	TP	80	0.118~2.79	1.07	<0.2	30.0	[0.2,0.3)	16.3	[0.3,0.4]	6.2	>0.4	47.5
2018年	NH <sub>3</sub> -N	90	0.017~0.986	0.554	<0.5	33.0	[0.5,1.0)	67.0	[1.0,1.5]	0	>1.5	0
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	90	0.013~6.12	0.867	<1.0	72.0	[1.0,1.5)	14.0	[1.5,2.0)	6.0	>2.0	8
	TN	90	0.983~14.8	5.08	<1.5	10.0	[1.5,2.0)	11.0	[2.0,10]	69.0	>10	10.0
	TP	90	0.033~1.15	0.180	<0.2	71.0	[0.2,0.3)	10.0	[0.3,0.4]	9.0	>0.4	10.0

1 495.6 mm。根据《安徽省农业统计年鉴》，合肥市2016—2018年有效灌溉面积不变，约为4 592 km<sup>2</sup>。从降雨量与TN平均浓度可以推算，2018年TN流失量大于2016年与2017年，对巢湖水质影响相对较大。根据TP平均浓度，结合2016—2018年降雨与灌溉情况，2016年和2017年与2018年相比，TP流失量较大。

## 2.2 研究区种植业氮磷流失浓度空间分布特征

图2(a)—(h)为2016—2018年研究区夏秋两季农田沟渠水中氮磷质量浓度分布。由图2(a)(b)可见，夏季肥西县和庐江县种植业TP流失质量浓度均低于0.2 mg/L，包河区 and 肥东县大部分地区低于0.2 mg/L，而巢湖市TP流失质量浓度最高，有部分在0.3 mg/L~0.4 mg/L之间。对夏季作物施肥情况的调查表明，可能是由于巢湖市水稻季施肥磷的投入量年均均为90 kg/hm<sup>2</sup>，大于肥西县(48 kg/hm<sup>2</sup>)及庐江县(75 kg/hm<sup>2</sup>)。秋季包河区、肥东县和肥西县种植业TP流失质量浓度绝大多数在0.3 mg/L~0.4 mg/L之间，高于地表水Ⅳ类标准。原因可能是肥东县和包河区种植的作物分别为莲藕、葡萄和蔬菜，施肥量较大，磷的投入量年均分别达900 kg/hm<sup>2</sup>和450 kg/hm<sup>2</sup>。而庐江县和巢湖市以水稻为主，农田TP流失质量浓度在0.2 mg/L~0.3 mg/L之间，极少数地区TP质量浓度低于0.2 mg/L。

由图2(c)(d)可见，夏季研究区TN流失质量浓度在2 mg/L~10 mg/L之间。据调查，环巢湖的5个区县，肥东县(莲藕)、肥西县(水稻)、庐江县

(水稻)、巢湖市(水稻)和包河区(葡萄)氮的投入量年均分别为900 kg/hm<sup>2</sup>、189 kg/hm<sup>2</sup>、225 kg/hm<sup>2</sup>、92 kg/hm<sup>2</sup>和394.5 kg/hm<sup>2</sup>。秋季TN流失质量浓度基本也在2 mg/L~10 mg/L之间，而巢湖市部分地区TN流失质量浓度在1.5 mg/L~2 mg/L之间，有少量地区低于1.5 mg/L，各地由于降雨与灌溉差异造成氮的流失浓度也存在差异。肥东地区由于氮肥投入量高于其他县区，TN流失浓度也高于其他区域，处于劣Ⅴ类水质。总体来看，夏季可能由于农耕活动较多，受施肥的影响TN流失浓度普遍较高。夏秋两季环巢湖地区主要沟渠水中TN含量全部超过地表水Ⅴ类水质标准。

由图2(e)(f)可见，不同季节研究区种植业NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N流失浓度差异不大。夏季包河区、肥东县、肥西县和巢湖市种植业NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N流失质量浓度基本上低于1 mg/L，庐江县部分地区和巢湖市部分地区NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N质量浓度在1 mg/L~1.5 mg/L之间。秋季研究区种植业NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N流失质量浓度均低于1 mg/L。由图2(g)(h)可见，研究区种植业NH<sub>3</sub>-N流失浓度差异不大。夏季除了巢湖市和包河区有少量样点NH<sub>3</sub>-N质量浓度低于0.5 mg/L外，其他3个县及巢湖市和包河区大部分地区NH<sub>3</sub>-N质量浓度在0.5 mg/L~1 mg/L之间；秋季研究区种植业NH<sub>3</sub>-N流失质量浓度均低于0.5 mg/L，优于地表水Ⅱ类标准。

## 2.3 研究区种植业氮磷流失浓度季节分布特征

受降水及农田施肥影响，沟渠水中氮磷浓度季节性变化较大。根据调查可知，2016—2018年9月

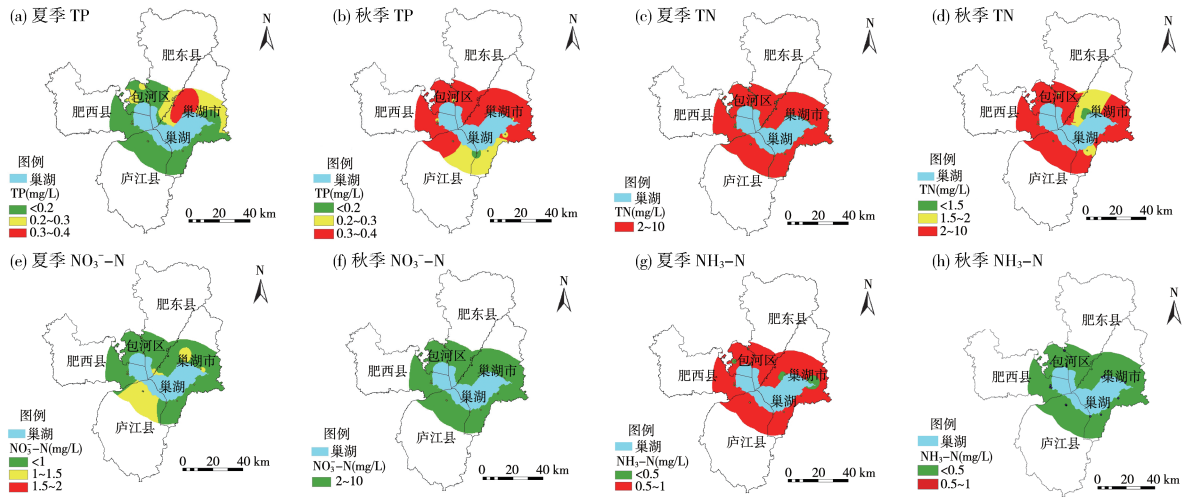


图 2 2016—2018 年研究区夏秋两季农田沟渠水中氮磷质量浓度分布

Fig. 2 Distribution of nitrogen and phosphorus mass concentration in farmland ditches in the research area in summer and autumn from 2016 to 2018

合肥市总降雨量分别为 129 mm、111.6 mm、109.6 mm, 11 月总降雨量分别为 96 mm、10.8 mm、68.3 mm。由夏秋两季沟渠水中氮磷平均质量浓度(见表 2)比较可知,TP 质量浓度秋季明显高于夏季。由于夏季雨水充足,径流量大,可以更好地稀释污染物<sup>[12-14]</sup>。TN 和 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 浓度季节分布一致,均是夏季高于秋季,因夏季是农业施肥的集中时期<sup>[15-16]</sup>,大量含氮肥料的施用致使径流中 TN 浓度较高<sup>[17-18]</sup>。夏秋两季 TN、TP 浓度大小相反,可能是由于氮肥投入量较磷肥大,夏

季较为充足的雨水可以稀释 TP,使得夏季 TP 浓度低于秋季,可是夏季雨水不足以稀释氮肥,随着作物生育期推进,秋季沟渠中的 TN 浓度逐渐低于夏季刚施过肥时。另外,由于土壤颗粒和胶体一般带负电荷,在降雨冲刷和水土流失作用下,作物对 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 的吸附作用较弱,农田中的硝酸盐易随径流进入沟渠,从而导致 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 浓度较高<sup>[19-22]</sup>。NH<sub>3</sub>-N 浓度秋季明显高于夏季。从三年比较来看,2018 年的 TN、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N、NH<sub>3</sub>-N 浓度高于前两年,而 TP 浓度明显低于前两年。

表 2 2016—2018 年研究区夏秋两季农田沟渠中氮磷质量浓度

mg/L

Table 2 Nitrogen and phosphorus mass concentrations in farmland ditches in the research area in summer and autumn from 2016 to 2018

mg/L

指标	2016 年		2017 年		2018 年	
	夏季	秋季	夏季	秋季	夏季	秋季
TP	0.286	0.618	0.174	0.230	0.052	0.118
TN	2.94	1.68	3.48	2.59	6.87	3.25
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	0.564	0.415	0.716	0.527	1.18	0.462
NH <sub>3</sub> -N	0.186	0.559	0.251	0.548	0.434	0.664

### 3 结论

(1) 合肥市环巢湖地区 2016—2018 年种植业农田沟渠中 NH<sub>3</sub>-N、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N、TN 和 TP 平均质量浓度分别为 0.462 mg/L、0.777 mg/L、3.48 mg/L 和 0.602 mg/L。2018 年 TN 流失浓度高于 2016 年与 2017 年,2016 年与 2017 年较 2018 年,TP 流失浓度相对较高。

(2) 从合肥市环巢湖地区差异来看,巢湖市种

植业农田 TP 流失浓度高于其他县区,而 TN 流失浓度相对较低;NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 流失浓度为庐江县高于其他县区;NH<sub>3</sub>-N 流失浓度地区间几乎没有差异。

(3) 降雨和农田施肥导致环巢湖地区种植业氮磷流失量夏秋季节变化显著。TN 和 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 浓度季节分布一致,均是夏季高于秋季;夏季 TN 流失浓度高于秋季;TP 和 NH<sub>3</sub>-N 流失浓度秋季明显高于夏季。

## [参考文献]

- [1] 张燕,高翔,张洪. 巢湖水质与流域农业投入的关联性研究[J]. 环境科学,2012,33(9):3009-3013.
- [2] 魏明. 巢湖市环巢湖区域空间资源评价及规划布局研究[D]. 合肥:合肥工业大学,2010.
- [3] 张方方. 巢湖流域生态系统健康评价[D]. 芜湖:安徽师范大学,2014.
- [4] 张辉,杨雄. 综合营养状态指数法在巢湖水体富营养化评价中的应用[J]. 安徽农学通报,2018,24(9):84-87.
- [5] 朱庆春. 巢湖水体富营养化成因分析及治理对策[J]. 安徽农学通报,2017,23(9):97-98.
- [6] 武升,张俊森,管飞,等. 安徽省巢湖流域众兴水库小流域农业面源污染调查与评价[J]. 水土保持通报,2018,38(2):198-203.
- [7] 焦团理,胡波. 合肥环巢湖地区浅层地下水质量评价及影响因素解析[J]. 节水灌溉,2018(8):43-46.
- [8] 丁虹. 巢湖2005—2014年湖水水质状况[J]. 水资源开发与管理,2016(3):57-59.
- [9] 梁先芑. 连续流动注射分析仪(AA3HR)测定水中总磷[J]. 科技创新与应用,2019(12):138-139.
- [10] 石柱金,宗德浩,钟晶洁. AA3连续流动分析仪测定水质中氨氮的方法研究[J]. 云南化工,2018,45(8):150-151.
- [11] 章阅. AA3型连续流动分析仪测定水样中总氮的方法研究[J]. 陕西水利,2018(1):94-96.
- [12] 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.
- [13] 程萌,卢少勇,远野,等. 太湖东部流域水稻田周边沟渠水质污染特征[J]. 环境科学与技术,2010,33(12F):15-18,27.
- [14] 王晓锋,袁兴中,刘红,等. 三峡库区梁滩河水体营养盐时空分布及输出风险[J]. 三峡生态环境监测,2017,2(1):21-27.
- [15] 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]. 环境监测管理与技术,2019,31(2):58-61.
- [16] 杨文丽,夏品华,李惠男,等. 万峰湖水体浮游植物调查及富营养化评价[J]. 环境监测管理与技术,2018,30(1):41-45.
- [17] 卓泉龙,林罗敏,王进,等. 广州流溪河氮磷浓度的季节变化和空间分布特征[J]. 生态学杂志,2018,37(10):3100-3109.
- [18] 陈安强,雷宝坤,刘宏斌,等. 洱海近岸不同种植类型农田沟渠径流氮磷流失特征[J]. 生态与农村环境学报,2017,33(8):697-705.
- [19] 高园园,李世超,陈海燕. 2015—2017年丹江口库区(河南段)氮磷时空分布特征[J]. 南阳师范学院学报,2018,17(6):20-25.
- [20] 蒋倩文,刘锋,彭英湘,等. 生态工程综合治理系统对农业小流域氮磷污染的治理效应[J]. 环境科学,2019,40(5):2194-2201.
- [21] 窦妍,卢楷彬,邓培杰,等. 不同浓度亚硝态氮在弱碱性土壤中的转化规律研究[J]. 应用化工,2019,48(8):1830-1832,1836.
- [22] 李如忠,杨继伟,钱靖,等. 合肥城郊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.

(上接第7页)

和应急监测的工作需要;二是建立与海洋生态环境监测事权相适应的国家和地方财政保障机制,根据事权划分,国家负责管辖海域国控辐射环境质量监测和域外海域辐射环境监测的经费保障,地方负责核设施周边海域辐射环境监测和应急监测的经费保障。

### 3.6 健全海洋辐射环境监测标准体系

建立海洋辐射环境监测标准体系框架,完善海洋辐射环境监测能力建设标准规范。对海洋辐射标准进行梳理,整合海洋和环境标准,制定标准制修订计划和时间表,并纳入“十四五”核安全法规标准制修订计划。

### 3.7 建立海洋辐射环境监测合作体系

一是依托生态环境监测网络大数据平台,共享海洋辐射监测、气象、水文等数据,提高海洋辐射监测分析与评估能力;二是联合国内相关科研机构,开展全国海洋辐射环境质量及变化趋势、海洋放射性实验分析方法、应急监测等方面的研究,适时推

动在中国环境科学学会下建立海洋辐射监测二级学会,促进相关学术交流;三是与周边国家、国际原子能机构等积极开展双边和多边技术交流与合作。

## [参考文献]

- [1] 谢骏箭,周鹏,蔡建东,等. 我国海洋核事故应急监测与环境评价所面临的问题及对策[J]. 海洋环境科学,2015,34(4):622-629.
- [2] 招康赛,易雯,钟小兰. 关于近岸海域环境监测与管理问题的探讨[J]. 中国环境监测,2006,22(4):6-9.
- [3] 林武辉,陈立奇,何建华,等. 日本福岛核事故后的海洋放射性监测进展[J]. 中国环境科学,2015,35(1):269-276.
- [4] 钱锐,孙国金,黄仁杰,等. 国内外近岸海域放射性监测比较及发展建议[J]. 环境影响评价,2016,38(5):51-54.
- [5] 陈立奇,何建华,林武辉,等. 海洋核污染的应急监测与评估技术展望[J]. 中国工程科学,2011,13(10):34-39.
- [6] 黄燕,邹树梁,张敏. 海洋核动力平台核事故应急监测策略研究综述[J]. 环境监测管理与技术,2019,31(5):6-9.
- [7] 张瑜,杨维耿. 浅议福岛核事故后我国的辐射环境监测[J]. 环境监测管理与技术,2013,25(5):7-10.

本栏目编辑 姚朝英