

# 洪泽湖水质时空变化和富营养化研究

沈海岑<sup>1</sup>, 张 敏<sup>2</sup>, 汪 露<sup>2</sup>, 薛联青<sup>1</sup>

(1. 河海大学 水文水资源学院, 江苏 南京 210098; 2. 江苏省洪泽湖管理委员会办公室, 江苏 淮安 223100)

**摘要:**为揭示洪泽湖水质时空变化和富营养化状况,研究基于2018—2020年洪泽湖区及入湖河流的水质监测资料,利用内梅罗指数和综合营养状态指数分别评价湖泊的水质状况和不同来水情况下的营养状态,并探究其影响原因,为相关部门制定洪泽湖水质改善措施提供依据。

**关键词:**水质; 时空变化; 富营养化; 洪泽湖

中图分类号:X524

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2021)06-0030-06

## Study on temporal and spatial variation of water quality and eutrophication in Hongze Lake

SHEN Haicen<sup>1</sup>, ZHANG Min<sup>2</sup>, WANG Lu<sup>1</sup>, XUE Lianqing<sup>1</sup>

(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. Hongze Lake Management Committee Office of Jiangsu Province, Huaian 223100, China)

**Abstract:** In order to reveal the temporal and spatial variation of water quality and eutrophication status of Hongze Lake, Nemerow index and comprehensive nutritional status index were used to evaluate the water quality status of the lake and the nutritional status under different inflow conditions based on the water quality monitoring data of Hongze Lake area and inflow rivers from 2018 to 2020. Causes were explored so as to provide basis for relevant departments to formulate water quality improvement measures of Hongze Lake.

**Key words:** water quality; temporal and spatial variation; eutrophication; Hongze Lake

湖泊是一种重要的自然资源,具有防洪调蓄、用水供水、灌溉养殖、调节气候、船舶续航等多种功能。中国近几十年经济发展迅速,但自然资源被过度开发,城市人口增长速度过快,工业集中,而城市下水道和农村污水处理设施的建设发展速度极为缓慢,湖泊整体水环境恶化。洪泽湖是淮河流域洪水的主要调蓄湖泊,淮河下游地区重要的水源地,同时也是南水北调东线工程的主要调节湖泊,在防洪保安、城乡供水、交通运输以及维系生态平衡等方面有不可替代的作用。过量施肥、施肥结构不合理、农田排水直接进入湖泊,会加剧水体富营养化<sup>[1-3]</sup>。长期以来,洪泽湖为促进地区社会经济的发展发挥了重要作用,但受粗放式发展模式的影响,洪泽湖非法侵占水域、非法采砂等引起的生态

环境退化问题较为严重,削弱了洪泽湖综合功能的发挥,洪泽湖的健康遭受严重威胁。

本文综合考虑洪泽湖的实际情况,根据洪泽湖的区域特点,选用内梅罗污染指数法和综合营养状态指数法,采用2018—2020年洪泽湖湖区老子山、湖心区、成子湖、临淮四处及主要入湖河流的水质监测数据,分析洪泽湖湖区水质时空变化特点,并进行湖泊富营养化水平综合评价,探究其影响原因。

## 1 材料及方法

采用2018—2020年洪泽湖湖区老子山、湖心区、成子湖、临淮四处,及主要入湖河流包括淮河干流、新汴河、老汴河、新濉河、老濉河、徐洪河和怀洪

收稿日期:2020-12-19

基金项目:江苏省水利科技项目(2019031)

作者简介:沈海岑(1995—),女,硕士研究生,研究方向为生态水文及水环境保护。E-mail:375658486@qq.com

新河的水质监测数据,由洪泽湖水利工程管理处提供。

### 1.1 研究区域

洪泽湖是我国第四大淡水湖泊,地理位置在东经  $118^{\circ}10' \sim 118^{\circ}52'$ 、北纬  $33^{\circ}06' \sim 33^{\circ}40'$  之间,位于苏北平原西部,承接淮河中上游来水,湖区跨江苏省盱眙、洪泽、淮阴、泗洪、泗阳和宿城六个城区,洪泽湖主要入湖河流包括淮河干流、新汴河、老汴河、新濉河、老濉河、徐洪河和怀洪新河。

### 1.2 水质评价方法

#### (1) 内梅罗污染指数

内梅罗指数<sup>[4]</sup>基于多因子评价水体污染情况,兼顾水质因子质量浓度的极值和均值。

对于 DO:

$$F_i = \frac{C_{im} - C_i}{C_{im} - S_i} \quad (1)$$

$$C_{im} = \frac{P}{P_0} \times \frac{477.8}{T + 32.26} \quad (2)$$

对于其他水质参数:

$$F_i = \frac{C_i}{S_{ij}} \quad (3)$$

$$P' = \sqrt{(F_{2最大}^2 + F_{2平均}^2)}/2 \quad (4)$$

式中,  $C_{im}$  为饱和溶解氧的数值;  $P$  为当地实测大气压;  $P_0$  为标准大气压, 101.325 kPa;  $T$  为检测水温。  $C_i$  为第  $i$  类评价因子的实测质量浓度;  $S_{ij}$  为第  $i$  类评价因子的第  $j$  类标准质量浓度;  $F_{最大}$  为  $F_i$  的最大值;  $F_{平均}$  为  $F_i$  的平均值;  $P'$  为内梅罗污染指数。水质级别划分见表 1。

表 1 水质级别分级

水质级别	内梅罗指数
I	<0.59
II	[0.59, 0.74)
III	[0.74, 1.00)
IV	[1.00, 3.50)
V	$\geq 3.50$

#### (2) 综合营养状态指数

应用综合营养状态指数<sup>[5]</sup>评价各月份、各样点的营养状态,计算公式为

$$I_{TL} = \sum_{i=1}^m I_{TL,j} \times W_j \quad (5)$$

式(1)中,  $I_{TL,j}$  为第  $j$  种参数的营养状态指数;  $W_j$

为第  $j$  种参数营养状态指数的相关权重, Chl - a、TP、TN、SD 和  $COD_{Mn}$  的权重分别为 0.266、0.188、0.179、0.183 和 0.184,  $I_{TL,j}$  的计算公式见参考文献<sup>[6]</sup>。综合营养状态指数分级见表 2。

## 2 结果与讨论

### 2.1 入湖河流水质评价分析

由表 3, 洪泽湖西部湖滨的 7 条主要入湖河流中, 淮河的內梅罗污染指数最高, 同时淮河也是入湖流量最大的入湖河流, 因此淮河的上游来水中的污染物对洪泽湖影响最大, 淮河干流入湖口的采样点为老子山, 老子山的水质也较差, 这是由于汛期时, 淮河中上游发生强降雨, 径流携带污水冲向淮河下游, 污水借行洪通道被夹带入洪泽湖, 此时洪泽湖水位较低, 淮河入湖口区域受到严重污染, 蔓延全湖。其次是新濉河、老濉河、老汴河、徐洪新河和徐洪河, 均为 IV 类水, 只有新汴河为达到 III 类水标准, 入湖河流的主要超标污染物均为 TN。总体来看, 入湖河流除 TN 以外, 其余水质因子均达到 III 类水标准。

### 2.2 湖区水质时空分布特征

图 1 显示了洪泽湖湖区四个监测点总磷 (TP)、总氮 (TN)、溶解氧 (DO)、氨氮 ( $NH_3-N$ )、高锰酸盐指数 ( $COD_{Mn}$ )、氟化物 (F) 2018—2020 年度变化趋势。整体来看, TN 质量浓度老子山 > 湖心区 > 成子湖 > 临淮, 老子山湖区的 TN 质量浓度总体最高, 冬季较高。湖心区次之, 成子湖和临淮变化趋势较一致, TN 质量浓度均在夏季明显升高。TP 质量浓度总体各湖区变化较一致, 成子湖和临淮湖区质量浓度较高, 最高值出现在 7—9 月。DO 质量浓度全湖质量浓度空间差异较小, 总体冬春季质量浓度较高, 夏秋季质量浓度较低。  $NH_3-N$  全湖空间变化较大, 季节变化均无明显规律。临淮和成子湖湖区  $NH_3-N$  质量浓度较大, 时序变化幅度也较大, 分别为 0.09 ~ 0.84 mg/L 和 0.14 ~ 0.88 mg/L; 湖心区和老子山湖区质量浓度较小, 老子山为 0.06 ~ 0.69 mg/L, 湖心区时序变化幅度较小, 为 0.04 ~ 0.31 mg/L。老子山和湖心区  $COD_{Mn}$  质量浓度较高, 成子湖和临淮湖区质量浓度较低, 冬春季质量浓度较高, 夏秋季质量浓度较低。全湖 F 质量浓度为 0.4 ~ 0.97 mg/L, 时空变化无明显规律。

由表 2, 洪泽湖区 4 个点位均为 IV 类水, 湖区主要超标污染物均为 TP 和 TN, 其中, 老子山 TP 和 TN 污染程度最高, 其次是成子湖和临淮氮磷污染

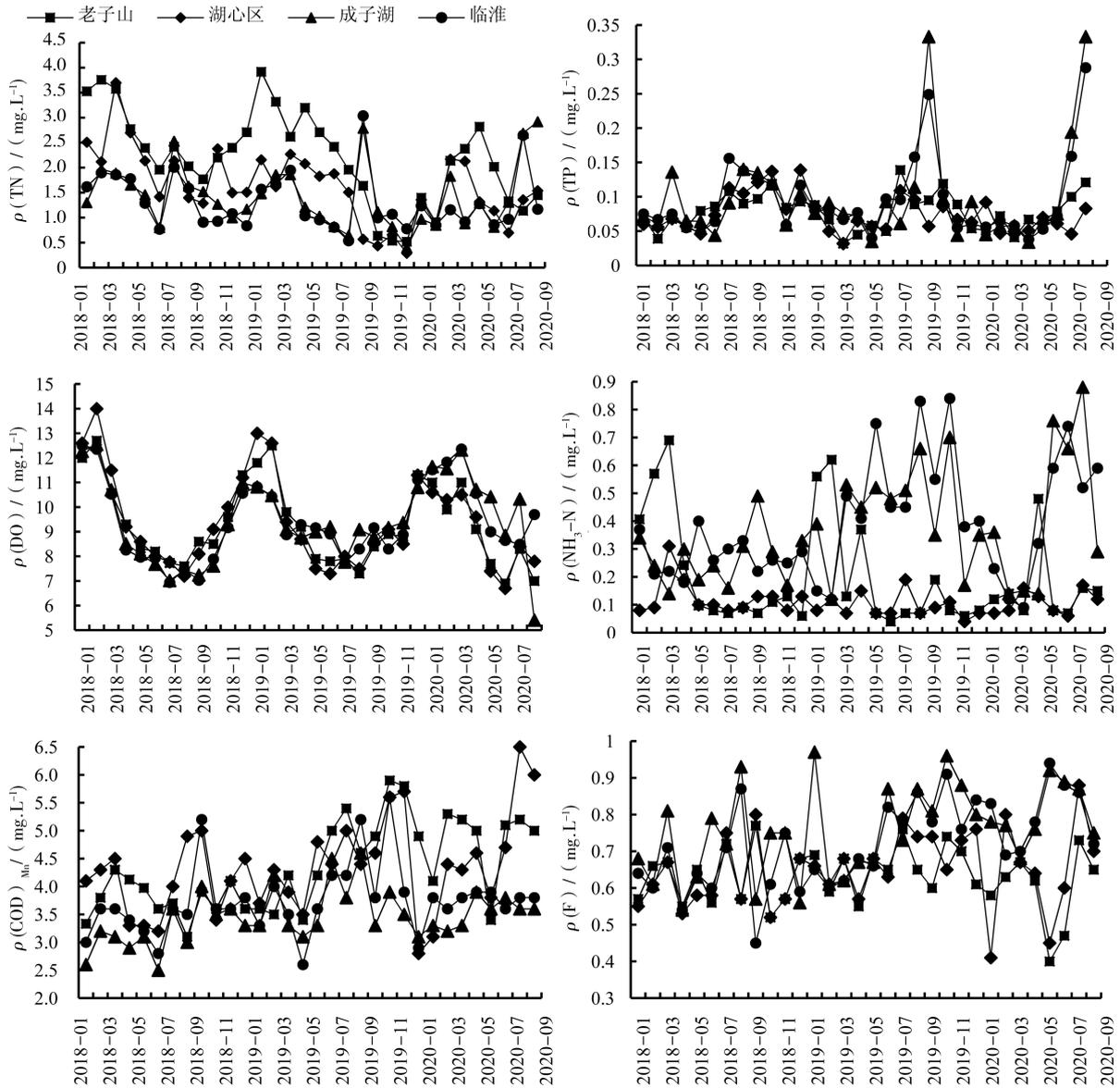


图1 2018—2020年洪泽湖水体理化指标的时空变化

表2 综合营养状态指数分级

营养状态分级	贫营养	中营养	轻度富营养	中度富营养	重度富营养
$I_{TL}$	$0 < I_{TL} \leq 30$	$30 < I_{TL} \leq 50$	$50 < I_{TL} \leq 60$	$60 < I_{TL} \leq 70$	$70 < I_{TL} \leq 100$

表3 洪泽湖主要入湖河流水质评价

入湖河流	单项污染指数 $P_i$							$F_{max}$	$F$ 均值	$P'$	水质等级
	DO	COD <sub>Mn</sub>	BOD <sub>5</sub>	NH <sub>3</sub> -N	TP	TN	F				
淮河	0.16	0.73	0.26	0.20	0.39	2.25	0.62	2.25	0.66	1.66	IV
新汴河	0.17	0.72	0.51	0.44	0.33	1.20	0.84	1.20	0.60	0.95	III
老汴河	0.24	0.76	0.66	0.55	0.55	1.63	0.75	1.63	0.73	1.27	IV

(续表3)

入湖河流	单项污染指数 $P_i$							$F_{max}$	$F$ 均值	$P'$	水质等级
	DO	COD <sub>Mn</sub>	BOD <sub>5</sub>	NH <sub>3</sub> -N	TP	TN	F				
新濉河	0.12	0.89	0.60	0.45	0.49	2.08	0.75	2.08	0.77	1.57	IV
老濉河	0.24	0.89	0.55	0.40	0.63	1.71	0.83	1.71	0.75	1.32	IV
徐洪河	0.25	0.72	0.49	0.39	0.47	1.43	0.73	1.43	0.64	1.11	IV
怀洪新河	0.22	0.77	0.58	0.37	0.57	1.42	0.81	1.42	0.68	1.11	IV

表4 洪泽湖典型湖区水质评价

湖区点位	单项污染指数 $P_i$							$F_{max}$	$F$ 均值	$P'$	水质等级
	DO	COD <sub>Mn</sub>	BOD <sub>5</sub>	NH <sub>3</sub> -N	TP	TN	F				
老子山	0.14	0.72	0.25	0.19	1.56	2.21	0.63	2.41	0.85	1.56	IV
湖心区	0.13	0.72	0.28	0.11	1.48	1.65	0.65	1.65	0.71	1.16	IV
成子湖	0.08	0.58	0.52	0.37	1.96	1.43	0.76	1.96	0.81	1.50	IV
临淮	0.09	0.62	0.52	0.38	1.91	1.32	0.72	1.90	0.80	1.46	IV

严重,湖心区污染程度最低,TP、TN 含量老子山湖区由于位处淮河入湖口,淮河 TN 输入量为七大入湖河流最多,导致老子山湖区 TN 单项污染指数远远超过湖区其他位置。成子湖和临淮靠近养殖区,淡水养殖尾水中的 TP 主要来源于饲料中的添加剂、饲料分解物及养殖生物的排泄产物,农村生活废水处理率低,因此 TP 含量远多于老子山和湖心区。湖心区远离养殖区和入湖口,污染物经过充分混合后,湖心区受外源污染影响较小。因此,外源输入是造成湖泊水体氮磷质量浓度增加的主要原因之一,外源性氮磷流入湖泊造成边缘区域污染高于湖心区。

### 2.3 湖区营养化程度分析

由表5、图2可知,老子山和湖心区、临淮和成子湖的富营养化指数分别呈现相同的变化规律,总体来看,成子湖和临淮湖区营养化程度较低,基本呈现中营养,但成子湖在枯水期呈现轻度富营养,说明成子湖区营养化程度受流速影响大,水流交换速度缓慢时营养化程度加重。老子山和湖心区富营养化程度较高,枯水期和丰水期水期呈现轻度富营养化,营养化指数枯水期较丰水期高,平水期呈现中营养。湖心区内梅罗污染指数最低,但营养化程度最高,富营养化的主要影响因子为透明度,湖心区的透明度明显低于入湖区域,且透明度随季节

变化大,枯水期和丰水期明显高于平水期。2019年8月老子山区域的营养化程度最高,主要由于6月以来湖区遭遇60年一遇的气象干旱时间,水位变化大,生态系统受到剧烈扰动,加剧富营养化。总氮和透明度为洪泽湖富营养化主要影响因素,洪泽湖为“藻型浊水状态”的浅水湖泊,但由于湖区受强烈风浪搅动作用,水质混浊,透光率差<sup>[7]</sup>,湖泊跃变成透明度低的“泥沙型浊水状态”。丰水期氮磷污染程度较高,这是因为汛期来临之前,为了响应南水北调,洪泽湖采取开闸放水措施,水位急速下降,水生植物的生长环境受到冲击,主要是沉水植物<sup>[8]</sup>,水生植物对水质的净化效果减弱,汛期时期,大量降雨径流携带农耕养殖污水进入湖区,导致氮磷污染大量输入。

## 3 讨论

洪泽湖近岸湖区存在大面积圈圩围网养殖和住家船<sup>[9]</sup>,主要分布在有河道入湖的近岸湖区,圈圩养殖最集中分布在入流河道密集的洪泽湖东北区域沿岸,即二河闸以北,涉及到淮阴区、泗阳县、泗洪县和宿城区,淮河干流入湖处圈圩围网情况也很严重,多年的圈圩围网养殖,鱼虾养殖投放密度高的外源性饲料,鱼虾排泄物和残饵极容易对湖体造成污染。同时,畜禽养殖的氮磷输入较高,畜禽

表5 洪泽湖典型湖区富营养化状态评价

时期	湖区点位	单因子营养状态指数					综合营养状态指数	营养状态
		CHl-a	TP	TN	SD	COD <sub>Mn</sub>		
枯水期	老子山	44.19	49.72	63.42	74.06	38.21	53.04	轻度富营养
	湖心区	43.40	50.97	59.95	78.84	36.82	53.06	轻度富营养
	成子湖	43.80	50.34	61.69	76.45	37.52	53.05	轻度富营养
	临淮	30.97	51.57	57.03	62.73	34.44	45.96	中营养
平水期	老子山	30.32	44.45	55.02	60.80	36.66	44.14	中营养
	湖心区	37.79	44.05	52.79	64.45	35.08	46.03	中营养
	成子湖	27.48	44.04	49.42	55.96	30.70	40.33	中营养
	临淮	27.41	44.56	50.21	57.38	31.90	41.02	中营养
丰水期	老子山	40.92	54.46	60.36	70.95	40.01	52.27	轻度富营养
	湖心区	44.53	51.87	56.93	74.13	41.51	52.99	轻度富营养
	成子湖	33.29	58.11	57.56	63.34	35.85	48.27	中营养
	临淮	32.95	57.95	56.31	63.93	36.82	48.21	中营养

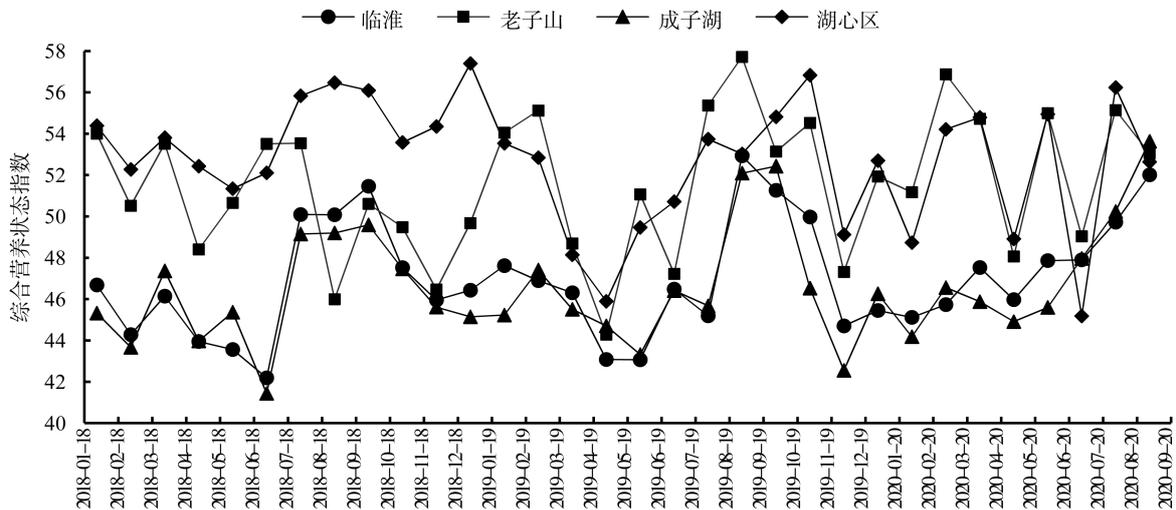


图2 2018—2020年洪泽湖典型湖区富营养化指数变化

养殖废弃物造成湖泊水体富营养化<sup>[10-11]</sup>。除养殖污染外,农村生活污染也是洪泽湖的重要面源污染源,洪泽湖周别农村地区缺少污水管道,生活污水处理率低,沿湖农村的生活污水处理覆盖率仅49.26%,大量生活污水直排。同时,住家船、餐饮船居民沿湖大量分布,船民上岸涉及民生问题,一时难以解决,住家船产生大量生活污染,生活垃圾和排泄物直排入湖。

洪泽湖入湖大流量的河道除总氮外水质状况

总体良好,一些小沟小河存在区域性面源污染。首先是秸秆造成的面源污染,主要由于禁止焚烧秸秆,目前大多数村民处理秸秆的方法就是将其扔进水沟,造成两个严重问题。首先是堵塞河流,尤其是夏天雨量比较大的时候,很多用于排水的沟渠被秸秆堵住,这很容易让雨水滞留在田里而导致庄稼被淹死的现象。其次是秸秆在水沟里面腐烂引起水质变差,一到夏季水沟里的水变黑发臭,秸秆浸泡产生的面源污染等集聚,经洪水冲刷,随支流

汇入湖体,本来禁止燃烧秸秆时为了保护环境,现在却成为了水质污染的根源。

#### 4 结论与建议

2018—2020年,洪泽湖西部湖滨的7条主要入湖河流中,淮河的內梅罗污染指数最高,入湖河道的主要超标污染物均为TN。洪泽湖区总体达到Ⅳ类水质标准,湖区主要超标污染物均为TP和TN,老子山污染程度最高,其次是成子湖和临淮,湖心区受氮磷污染程度最低。成子湖和临淮湖区营养化程度较低,基本呈现中营养,但成子湖在枯水期呈现轻度富营养,老子山和湖心区富营养化程度较高,枯水期和丰水期呈现轻度富营养化,营养化指数枯水期较丰水期高,平水期呈现中营养。现对于洪泽湖水质污染情况提出以下建议:

(1)严格控制入湖河流的水质情况,减少入湖的污染物输入量,对上游入湖河道水质进行定时定点检测,加强监测体系资金投入。在淮河流域严格执行排污许可制度,确保入湖水质达标,不超过湖泊的纳污能力。

(2)加强农业面源污染综合治理工程,提高洪泽湖周边城镇污水集中处理率,严禁农业生活污水直排,把农村生活污水纳入污水管网,完善农村排水管网设施。研发推广生态农业,减少化肥氮磷流失量。

(3)严厉打击非法采砂,坚持陆治水打相结合、刑事司法和行政执法相配合,大力实施退养还湖,压缩洪泽湖湿地围网养殖面积,调整传统的水产养殖产业结构,加快整合拆除围网养殖后的水域。种植各类水生植物,投放螺蛳、蚌类等手段净化水质,

修复湖区生态环境,增强水体自净能力。

#### 参考文献:

- [1] 司友斌,王慎强,陈怀满. 农田氮、磷的流失与水体富营养化[J]. 土壤, 2000(4):188-193.
- [2] 李吉平,徐勇峰,陈子鹏,等. 洪泽湖地区麦稻两熟农田和杨树林地氮磷径流流失特征研究[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2019, 43(1):98-104.
- [3] 吴天浩,刘劲松,邓建明,等. 大型过水性湖泊——洪泽湖浮游植物群落结构及其水质生物评价[J]. 湖泊科学, 2019, 31(2):440-448.
- [4] 赵梦,焦树林,梁虹. 基于综合营养状态指数的喀斯特高原湖泊富营养化研究[J]. 水文, 2020, 40(3):9-15.
- [5] 杜冰雪,徐力刚,张杰,等. 鄱阳湖富营养化时空变化特征及其与水位的关系[J]. 环境科学研究, 2019, 32(5):795-801.
- [6] 胡吉国. 白塔堡河水环境质量分析及评估研究[D]. 长春:东北大学, 2015.
- [7] 王霞,沈红军,刘雷,等. 洪泽湖水质特征分析及评价[J]. 环境与发展, 2019, 31(9):11-13, 15.
- [8] 李为,都雪,林明利,等. 基于PCA和SOM网络的洪泽湖水质时空变化特征分析[J]. 长江流域资源与环境, 2013, 22(12):1593-1601.
- [9] 徐勇峰,陈子鹏,吴翼,等. 环洪泽湖区域农业面源污染特征及控制对策[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2016, 40(2):1-8.
- [10] 袁哲,奚璐璐,吴燕. 洪泽湖流域生态环境现状调查与研究[J]. 给水排水, 2017, 53(增刊1):77-80.
- [11] 周玲,郭胜利,张涛,等. 洪泽湖水质模糊综合评价研究[J]. 江苏农业科学, 2012(2):289-291.

(上接第16页)

意识。二是要注重专业知识培训,纠正错误认知,提高专业素养。通过提高认知和专业技术水平,使百姓打破传统思维的束缚,接受低压管道工程,解决观念冲突的矛盾。

#### 4 结语

发展低压管道工程是实现农业灌水结构优化和升级的重要举措。本文通过对赣榆区低压管道工程发展存在的问题进行分析,分别从系统设计、水头损失、投资渠道、后期管护、宣传教育的方面提出了针对性的发展对策。以期推广低压管道工程,

建设节水型农业,提高水资源利用效率。

#### 参考文献:

- [1] 夏晶,王洁,张礼华. 浅谈江苏低压管道灌溉工程发展的技术路径[J]. 江苏水利, 2018(12):28-30, 34.
- [2] 金兆森,吴伟峰,刘静森. 节水灌溉工程中有关水泵问题的探讨[J]. 排灌机械, 2002(2):41-42, 46.
- [3] 王若宇. 江苏稻麦轮作小型机电灌区低压管道灌溉设计[D]. 扬州:扬州大学, 2019.
- [4] 卞文莉. 邯郸平原区梨园节水灌溉技术效益分析及推广研究[D]. 邯郸:河北工程大学, 2018.