

长兴湖水华期间水污染问题分析及对策研究

黎标^{1,2}, 谭菊³, 郭晶⁴, 黄刚³, 陈勃智³, 杨海君¹, 张金谔^{3*}

(1. 湖南农业大学环境与生态学院, 湖南 长沙 410128; 2. 湖南中拓环境工程有限公司, 湖南 长沙 410128; 3. 湖南省长沙生态环境监测中心, 湖南 长沙 410001; 4. 湖南省洞庭湖生态环境监测中心, 湖南 岳阳 414000)

摘要:为研究长兴湖水华期水污染现状及成因,采用单因子指数法、内梅罗污染指数法和综合污染指数法对水质状况和底泥污染进行评价。结果表明,长兴湖水体中总氮(TN)和总磷(TP)均值分别为1.49 mg/L和0.24 mg/L,单因子污染指数分别为1.49和0.24,分属地表水质量Ⅳ类和劣Ⅴ类水质;内梅罗污染指数显示TN、TP分别达到1.59、1.58,均评价为差;综合污染指数表明水体整体处于中度污染水平,主要污染源为长兴湖相连水域(工业园沟渠)及渭川河中的N、P。Pearson相关性分析显示,N是长兴湖藻类生长的限制因素,TN主要源自外源污染,TP与湖内表层底泥磷营养盐释放相关。

关键词:水质;底泥污染;来源分析;蓝藻水华;长兴湖

中图分类号:X524

文献标志码:B

文章编号:1006-2009(2024)06-0077-06

Analysis and Countermeasures of Water Pollution during Algal Bloom in Changxing Lake

LI Biao^{1,2}, TAN Ju³, GUO Jing⁴, HUANG Gang³, CHEN Bozhi³, YANG Haijun¹, ZHANG Jinchen^{3*}

(1. College of Environment & Ecology, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China; 2. Hunan Zhongtuo Environmental Engineering Co., Ltd., Changsha, Hunan 410128, China; 3. Changsha Ecological Environment Monitoring Center of Hunan Province, Changsha, Hunan 410001, China; 4. Eco-Environmental Monitoring Central of Dongting Lake of Hunan Province, Yueyang, Hunan 414000, China)

Abstract: The water quality and sediment pollution were evaluated by single-factor index method, Nemerow pollution index and comprehensive pollution index. The current situation and causes of water pollution during algal bloom in Changxing Lake were studied. The results showed that the mean concentration of total nitrogen (TN) and total phosphorus (TP) in Changxing Lake was 1.49 mg/L and 0.24 mg/L, respectively, and single factor pollution index was 1.49 and 0.24, respectively, which belonging to Class IV and lower V surface water quality. Nemerow pollution index for TN and TP reached 1.59 and 1.58, respectively, both were evaluated as poor. The comprehensive pollution index indicated that the overall water body was at a moderate level of pollution, the main pollutants were nitrogen and phosphorus from the ditches of the industrial park connected with Changxing Lake and Weichuan River. Pearson correlation analysis revealed that nitrogen restricted the growth of algae in Changxing Lake. TN mainly originated from external pollution, and TP was related to the release of phosphorus nutrients from surface sediment in the lake.

Key words: Water quality; Sediment pollution; Source analysis; Cyanobacteria bloom; Changxing Lake

长兴湖是浏阳河上游的重要水源之一,随着浏阳市经济的快速发展,人类活动加重了该城市湖泊水体N、P等营养物质的污染负荷,严重影响其湖

收稿日期:2023-11-07;修订日期:2024-09-24

基金项目:国家自然科学基金资助项目(42277494);湖南省重点研发计划基金资助项目(2023SK2062);长沙市自然科学基金资助项目(kq2208137)

作者简介:黎标(1983—),男,湖南长沙人,高级工程师,硕士,研究方向为水生态修复。

*通信作者:张金谔 E-mail: 77911814@qq.com

泊功能发挥^[1]。已有研究表明,入湖水量少、水交换缓慢、换水周期长、湖底淤泥多、外来污染物输入量大、水生态环境恶化等是城市湖泊 N、P 负荷加重、水环境质量下降的主要原因^[2]。开展城市湖泊水环境质量评价,统筹水环境质量分析与湖泊的点源、面源、内源污染分析,明晰水质污染状况和污染物来源,进而甄别关键污染因子并实施有效的治理措施是改善和提升城市湖泊水质的重要基础^[3]。因此,探究长兴湖水华期水质状况和污染物来源,对改善浏阳城市生态环境,重塑城市优美景观等具有重要作用,对保护长兴湖水生态安全和改善浏阳河上游水环境质量也具有一定意义。今采用单因子指数法^[4]、综合污染指数法^[5]、内梅罗污染指数法^[6]对长兴湖水华期水质状况和底泥污染进行综合评价,分析底泥中营养盐与表层水 N、P 的相关关系,从外源和内源方面揭示造成长兴湖水体富营养化的主要原因,以期为长兴湖水体污染物控制及富营养化治理提供科学依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区域概况

长兴湖位于浏阳市关口街道(E113°39′14″~E113°39′35″,N28°09′33″~N28°10′27″),水域面积 54 hm²,平均水深 2.5 m,最大水深 5 m,总库容 114.2 万 m³。长兴湖的外来水源分别为渭川河、工业园沟渠及周边雨水。渭川河是长兴湖的主要水源,其水质主要受周边农村居民生活污水、农业面源等影响;作为次要水源的工业园沟渠水量少、水质差;周边雨水呈现季节性变化,水量集中于春季和夏季。长兴湖现已发展成为一座集防洪与景观综合利用于一体的水利工程,水域沉水、挺水、浮水植物少,沉积物多,水体自净能力较差。随着长兴湖周边居住人口的增加、湖底沉积物的累积及渭川河与工业园沟渠水源水质的恶化,长兴湖的水质由优良等级下降至地表水质量Ⅲ类及以下,水体透明度也变差。

1.2 采样点布设

根据长兴湖进出水口位置、水流方向及影响长兴湖水质的内源污染和外源污染特征,在长兴湖和周边水域布设地表水采样点 12 个,其中湖面水域水质监测点 6 个(W1—W6),工业园沟渠水质监测点 2 个(工业园沟渠总排口 Z1 和下游汇入长兴湖断面 W7),渭川河水水质监测点 3 个(渭川河大坝上

游 Z3、大坝下游 Z4 及汇入长兴湖断面 W8),长兴湖出水汇入浏阳河断面水质监测点 1 个(Z2)。为明晰长兴湖沉积物中污染物释放对长兴湖水质的潜在影响,结合污染物来源与地表水采样点,采用网格布点法布设底泥采样点 15 个,其中湖面水域底泥采样点 12 个(N1—N12)、工业园沟渠底泥样点 1 个(NW1)、渭川河底泥样点 1 个(NW2)、长兴湖汇入浏阳河断面底泥样点 1 个(NW3),每个底泥样点分别采集 1 个表层(0 cm~20 cm)和 1 个深层底泥样品(20 cm~50 cm),共计 30 个底泥样品。

1.3 样品采集与分析

在长兴湖蓝藻水华期间的 2022 年 9 月 8 日采集地表水、底泥样品^[7-8],参考《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)(以下简称《标准》)Ⅲ类限值进行水质评价。水样除测定水温外,采用 pH 计测定 pH 值,过硫酸钾氧化紫外分光光度法测定 TN,过硫酸钾消解磷钼蓝比色法测定 TP,电化学探头法测定溶解氧(DO),分光光度法测定叶绿素 a(Chl-a),纳氏试剂分光光度法测定氨氮(NH₃-N)^[9]。底泥样品采用电位法测定 pH 值,碱熔-钼锑抗分光光度法测定 TP,凯氏法测定 TN^[10]。样品严格执行空白样、平行样、加标样等质控措施。

1.4 研究方法

以单因子评价法评价水体的总体水质类别,按公式(1)计算。

$$Q = \max Q_i \quad (1)$$

式中: Q 为单因子评价水体综合级别; Q_i 为评价参数 i 的水质类别; \max 为 i 个水质指标中最差的指标。

NH₃-N、TP、TN 的单项污染指数按式(2)计算。

$$P_i = C_i / S_i \quad (2)$$

式中: P_i 为第 i 项因子的相对污染值; C_i 为第 i 项因子的实测值; S_i 为第 i 项的地表水Ⅲ类标准限值。

水质 DO 的单项污染指数按式(3)计算。

$$SDO_i = (DO_f - DO_i) / (DO_f - DO_s) \quad (3)$$

式中: S_{DO_i} 为单项水质参数 DO 在 i 点位的标准指数,等同于 P_i ; DO_i 为 DO 在 i 点位的测定值,mg/L; DO_f 为饱和 DO 质量浓度,mg/L,本文取地表水Ⅲ类标准限值; DO_s 为 DO 的水质评价标准限值,mg/L。

平均综合污染指数按式(4)计算。

$$P = 1/n \sum_i^n P_i \quad (4)$$

式中: P 为水体的综合污染指数; n 为参与评价的

污染物指数; P_i 为污染物 i 的单项污染指数。综合污染指数 P 对应的水质分级为: $P \leq 0.25$, 为 I 级, 清洁; $0.25 < P \leq 0.40$, 为 II 级, 较清洁; $0.40 < P \leq 0.500$, 为 III 级, 轻污染; $0.50 < P \leq 0.99$, 为 IV 级, 中污染; $P \geq 1$, 为 V 级, 重污染^[11]。

沉积物 TN、TP 的单项评价指数公式^[12]如下。

$$S_i = C_i / C_s \quad (5)$$

式中: S_i 为单项评价指数, $S_i > 1$ 表示该指标含量超过评价标准值; C_i 为评价因子 i 的实测值; C_s 为评价因子 i 的标准值(TN 取值 550 mg/kg, TP 取值 600 mg/kg^[13])。

沉积物 TN、TP 的综合污染指数由公式(5)和(6)计算^[14]:

$$FF = \sqrt{(F^2 + F_{\max}^2)} / 2 \quad (6)$$

式中: FF 为综合污染指数; F 为 TN 和 TP 单项评价指数的平均值(S_{TN} 和 S_{TP} 的平均值); F_{\max} 为最大单项评价指数(S_{TN} 和 S_{TP} 的最大值)。参照文献[10]确定沉积物综合污染程度。

使用单因子评价法、内梅罗污染指数法和综合指数法对水质状况进行分析评价^[15]; 采用线性相关法分析采样过程中表层沉积物与表层水体间 TN 和 TP 的相关关系; 运用 Pearson 相关系数法分析水环境因子间相关关系。

2 结果与讨论

2.1 长兴湖水华期水质特征

2.1.1 长兴湖水域内及水域周边水质特征

长兴湖水华期间水域内及周边水域地表水监测结果见表 1。由表 1 可知, 监测期间水域内水体 pH 值为 7.1~8.7, pH 值偏高的点位为 W3—W6, 这也是蓝藻暴发严重的区域, 整体上水域内水体 pH 值沿水流方向呈升高趋势; DO 测定最小值为 7.61 mg/L, 所有点位达到地表水 I 类标准(≥ 7.5 mg/L); Chl-a 值 $> 10 \mu\text{g/L}$ 表明长兴湖水水质已富营养化, Chl-a 测定值高的点位为 W2、W4、W5、W6; $\text{NH}_3\text{-N}$ 测定最大值为 0.413 mg/L, 所有点位达到地表水 II 类标准; TP 测定值为 0.18 mg/L~0.38 mg/L, 所有点位均未达到地表水 IV 标准; TN 测定值为 1.23 mg/L~1.69 mg/L, 只有 W4、W5、W6 达到地表水 IV 类标准。从单个点位样品的 TN、TP 值及 N/P 比值可以看出, TN、TP 值差异不大, N/P 比值介于 3.97~8.89 之间, 这满足合 Redfield 定律中 N:P $< 10:1$ 的要求, 可以认为 N 是长兴湖蓝藻水华的限制性因素^[16]。

入湖地表水水环境质量对长兴湖水质的贡献大(见表 1)。渭川河水温变化小, pH 值为 7.3~7.5; $\text{NH}_3\text{-N}$ 测定值为 0.052 mg/L~0.898 mg/L, 达

表 1 长兴湖水域内及水域周边水质特征

Table 1 Water quality characteristics in and around the waters of Changxing Lake

点位	水温 θ / °C	pH 值	ρ_{DO} /(mg · L ⁻¹)	$\rho_{\text{Chl-a}}$ /($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\rho_{\text{NH}_3\text{-N}}$ /(mg · L ⁻¹)	ρ_{TP} /(mg · L ⁻¹)	ρ_{TN} /(mg · L ⁻¹)	N/P 比值	
水域内点位	W1	28.9	7.1	7.83	8	0.174	0.19	1.69	8.89
	W2	28.6	7.6	7.84	13	0.185	0.38	1.51	3.97
	W3	28.6	8.3	7.69	6	0.413	0.23	1.67	7.26
	W4	28.7	8.3	7.91	22	0.198	0.22	1.23	5.59
	W5	28.9	8.4	7.88	15	0.317	0.22	1.41	6.41
	W6	28.9	8.7	7.61	12	0.260	0.18	1.41	7.83
	均值	28.8	8.1	7.79	13	0.258	0.24	1.49	6.66
入湖上游点位	Z1	27.8	7.1	7.58	—	0.083	0.18	6.07	33.72
	W7	27.4	7.1	7.77	—	0.091	1.22	8.84	7.25
	均值	27.6	7.1	7.68	—	0.087	0.70	7.46	20.49
	Z3	28.3	7.3	7.97	—	0.064	0.15	0.80	5.33
	Z4	28.4	7.5	8.10	—	0.052	0.15	0.93	6.2
	W8	28.3	7.5	8.32	26	0.898	0.35	2.73	7.8
	均值	28.3	7.4	8.13	—	0.338	0.22	1.49	6.44
《标准》	Z2	28.7	8.6	7.49	12	0.270	0.18	1.39	7.72
	V类		6~9	≥ 2		≤ 2.0	≤ 0.4 (湖、库 0.2)	≤ 2.0	
	IV类		6~9	≥ 3		≤ 1.5	≤ 0.3 (湖、库 0.1)	≤ 1.5	
	III类		6~9	≥ 5		≤ 1.0	≤ 0.2 (湖、库 0.05)	≤ 1.0	
II类		6~9	≥ 6		≤ 0.5	≤ 0.1 (湖、库 0.025)	≤ 0.5		

到地表水Ⅲ类标准;TP测定值为0.15 mg/L~0.35 mg/L,Z3、Z4点位达到地表水Ⅲ类标准,W8达到地表水Ⅴ类标准;TN测定值为0.80 mg/L~2.73 mg/L,Z3、Z4点位达到地表水Ⅲ类标准,W8点位TN处于地表水质量劣Ⅴ类。工业园沟渠Z1、W7点位水体中TN值分别为地表水质量Ⅴ类标准的3.03倍、4.42倍,W7点位TP值为地表水质量Ⅴ类标准的3.05倍,表明W7点位水体富营养化程度严重。工业园沟渠W7点位TN、TP值明显高于渭川河W8点位。

2.1.2 长兴湖水域内及水域周边水质评价

长兴湖水体中DO最小值为7.61 mg/L,NH₃-N最大值0.413 mg/L,DO、NH₃-N单因子污染指数分别为0.15、0.24,单因子污染评价结果为Ⅰ级;TP最大值为0.38 mg/L,单因子污染指数为0.24,单因子污染评价结果为Ⅰ级;TN最大值为1.69 mg/L,单因子污染指数为1.49,单因子污染评价结果为Ⅴ级,TN是长兴湖水域污染的主要因子。虽然长兴湖NH₃-N、DO的内梅罗指数分别为0.34、0.17,评价结果均为Ⅰ级,但水体中的TP、TN内梅罗指数分别达到1.58、1.59,评价结果均为差,其中TN的内梅罗指数最高,说明长兴湖水体呈现明显的营养盐N污染。基于综合污染指数看,长兴湖水体整体处于中度污染水平。

工业园沟渠和渭川河水体中DO最小值分别为7.58 mg/L和7.97 mg/L,单因子污染指数评价结果均为Ⅰ级。工业园沟渠、渭川河水体中NH₃-N最大值分别为0.091 mg/L、0.898 mg/L,前者NH₃-N的单因子污染指数评价结果为Ⅰ级,后者为Ⅱ级。工业园沟渠TP最大值为1.22 mg/L,TN最大值为8.84 mg/L,单因子污染指数评价均为Ⅴ级;渭川河TP最大值为0.35 mg/L,TN最大值为2.73 mg/L,单因子污染指数评价结果分别为Ⅳ级和Ⅴ级。内梅罗指数法评价结果表明,工业园沟渠和渭川河水中NH₃-N和DO评价结果均为好,TP与TN的内梅罗指数法评价结果均为差,其中工业园沟渠水体中的TN、TP内梅罗指数分别为4.97、8.18,而渭川河中水体中TN、TP内梅罗指数则分别为1.46、4.40,说明工业园沟渠水体中明显存在N、P污染,渭川河存在明显的N污染。基于综合污染指数,两处水体均处于重度污染,这也是长兴湖水体中N、P营养盐的主要来源。

2.2 长兴湖水华期底泥污染特征与水质污染相关分析

2.2.1 长兴湖水域内及水域周边底泥污染特征

长兴湖水华期间域内和周边底泥营养盐污染评价结果见表2。长兴湖水域底泥中TN污染严重,尤其在入水口(N3—N5点位)和出水口(N10—N12点位)区域,TN污染指数超过3.0,属重度污染,N9深层样品TN也属重度污染。入水口N1、N3点位的TN值高于N2,归因于工业园区沟渠水体污染物的沉降。从入水口至出水口,TP污染由重度转为轻度。表层底泥中TP污染等级分布均匀,重度、中度、轻度样品各4个;深层底泥中重度污染样品6个,中度2个,轻度4个,且多集中于入水口。在12个表层底泥样品中,9个为重度综合污染,其余为中度;深层底泥中仅2个中度,其余重度。这与长兴湖上下游底泥营养盐污染最严重的区域相吻合,也是沉积物主要聚集区。周边底泥中,TN污染等级均为重度,工业园区沟渠底泥TN污染指数最高,表层、深层分别达5.33、5.41。TP污染程度差异大,工业沟渠和渭川河表层底泥TP污染严重,渭川河深层底泥中度污染,而长兴湖汇入浏阳河断面底泥TP清洁。整体来看,工业园区沟渠底泥和渭川河水汇入口深层底泥TP含量较高,达重度污染。长兴湖周边底泥综合污染等级均为重度,工业沟渠底泥污染最重。此外,大多数点位表层底泥营养盐含量高于深层,表明表层底泥受高营养盐水体污染,营养盐蓄积量增加,进一步加重了TN、TP污染。

2.2.2 长兴湖水域内污染因子相关性分析

长兴湖水域内各指标Pearson相关性分析结果显示,水域内Chl-a与TN为显著负相关($P < 0.05$),与其他湖泊水体发生水华时Chl-a和水质TN的关系一致^[17],这与水体中蓝藻的快速生长与繁殖消耗了水体中N有关,进而导致水体中的TN含量相应下降。Redfield定律认为藻类细胞组成的原子比率C:N:P=106:16:1,若N:P超过16:1,则P被认为是限制性因素,反之当N:P<10:1,N被认为是限制性因子^[16-19],表1中W1—W6点位水体中N:P均<10:1,说明N是长兴湖水体中藻类生长的限制因素,P浓度变化对水华发生的影响较小。

为考察长兴湖底泥中N、P释放对水质的影响,分析了表层底泥中TN、TP与表层水体中TN、TP,以及深层底泥中TN、TP与表层水体中TN、TP

表 2 长兴湖水域内和周边底泥污染特征

Table 2 Sediment quality characteristics in and around the waters of Changxing Lake

点位	测定值 $w/(mg \cdot kg^{-1})$		污染指数		单因子污染等级		综合污染指数	综合污染等级 ^[10]	
	TN	TP	TN	TP	TN	TP			
长兴湖水域内	N1 表层	1 333	680	2.42	1.13	重度	中度	4.06	重度
	N1 深层	1 344	919	2.44	1.53	重度	重度	4.11	重度
	N2 表层	1 158	1 168	2.11	1.95	重度	重度	4.12	重度
	N2 深层	1 053	1 233	1.91	2.06	重度	重度	4.11	重度
	N3 表层	1 486	907	2.70	1.51	重度	重度	4.14	重度
	N3 深层	1 873	914	3.41	1.52	重度	重度	4.24	重度
	N4 表层	1 667	1 206	3.03	2.01	重度	重度	4.25	重度
	N4 深层	1 529	1 925	2.78	3.21	重度	重度	4.41	重度
	N5 表层	1 755	986	3.19	1.64	重度	重度	4.22	重度
	N5 深层	1 599	1 019	2.91	1.70	重度	重度	4.19	重度
	N6 表层	1 206	856	2.19	1.43	重度	中度	4.07	重度
	N6 深层	1 116	911	2.03	1.52	重度	重度	4.06	重度
	N7 表层	911	610	1.66	1.02	重度	中度	3.98	重度
	N7 深层	1 035	691	1.88	1.15	重度	中度	4.01	重度
	N8 表层	973	479	1.77	0.80	重度	轻度	3.97	重度
	N8 深层	1 197	482	2.18	0.80	重度	轻度	4.00	重度
	N9 表层	974	491	1.77	0.82	重度	轻度	3.97	重度
	N9 深层	1 609	482	2.93	0.80	重度	轻度	4.08	重度
	N10 表层	1 984	489	3.61	0.82	重度	轻度	4.17	重度
	N10 深层	1 497	578	2.72	0.96	重度	轻度	4.08	重度
N11 表层	1 468	729	2.67	1.22	重度	中度	4.10	重度	
N11 深层	2 323	800	4.22	1.33	重度	中度	4.33	重度	
N12 表层	1 978	501	3.60	0.84	重度	轻度	4.17	重度	
N12 深层	1 671	488	3.04	0.81	重度	轻度	4.10	重度	
工业园沟渠	NW1 表层	2 932	3 208	5.33	5.35	重度	重度	5.40	重度
	NW1 深层	2 974	3 312	5.41	5.52	重度	重度	5.46	重度
渭川河	NW2 表层	1 699	696	3.09	1.16	重度	中度	4.15	重度
	NW2 深层	1 529	973	2.78	1.62	重度	重度	4.17	重度
长兴湖汇入	NW3 表层	2 030	260	3.69	0.43	重度	清洁	4.13	重度
浏阳河断面	NW3 深层	2 021	252	3.67	0.42	重度	清洁	4.13	重度

的相关关系。其中,水样与底泥点位对应关系为 W1 - N1、W2 - N4、W3 - N7、W4 - N10、W5 - N11、W6 - N12。结果表明,表层水中 TN 浓度与表层底泥中 TN 浓度呈显著负相关($P < 0.05$),相关系数为 0.677 6,与深层底泥中 TN 浓度不显著相关($P > 0.05$),这主要与工业园沟渠和渭川河水体中 N 污染有关;表层水中 TP 浓度与表层底泥中 TP 浓度呈显著相关($P < 0.05$),与深层底泥中 TP 浓度呈极显著相关($P < 0.01$),相关系数分别达 0.842 2 和 0.864 6,说明表层水体中 P 污染与底泥中含 P 营养物的释放存在显著关联。在长兴湖水域内,底泥 TN 污染严重区域主要集中于入水口和出水口,TP 污染主要集中于入水口。

2.3 长兴湖污染物主要来源分析

某具体水域的水环境质量与水域的纳污能力、自净能力密切相关。本研究中长兴湖水体污染物

来自工业园区沟渠、渭川河水体及长兴湖底泥营养盐的释放。在实地踏查和采样过程中,发现工业园区沟渠来水部分为未处理的工业废水,这些污水间断式进入长兴湖,渭川河流域有菜地、水稻种植区及养殖区,周边农户的生活污水、餐厨废水经简单生化池处理后排入渭川河。渭川河 NH_3-N 未达到地表水质量Ⅲ类标准,渭川河下游最接近长兴湖点位 W8 的 TP、TN 均为劣 V 类水。工业园沟渠下游最接近长兴湖点位 W7 的 TN、TP 值分别是地表水质量 V 类标准的 4.42 倍、3.05 倍。另外,研究还发现渭川河流入长兴湖的水量大,占长兴湖外来水源补水量的 80% 左右,故渭川河进入长兴湖的污染物总量也最大。长兴湖出水口 W6 与长兴湖下游入浏阳河点位 Z2 水样检测发现,Z2 点位水体中的 NH_3-N 含量高于水域内 NH_3-N 均值,Z2 点位水体中 TP、TN 含量均低于水域内 TP、TN 均值。长

兴湖表层水体中 TN 浓度与表层底泥中 TN 浓度虽然相关性不显著,但存在负相关趋势,与深层底泥中 TN 浓度不显著相关;表层水中 TP 浓度与表层底泥中 TP 浓度呈显著相关($P < 0.05$),与深层底泥中 TP 浓度呈极显著相关($P < 0.01$)。综上可推断,长兴湖水体中 TP、TN 污染物主要来源于工业园区沟渠、渭川河,底泥中内源 TP 污染物的释放对上覆水环境质量的影响也不容忽视,随着 TP、TN 在长兴湖中沉降累积,不断加重底泥中 TP、TN 污染。

3 结语

从污染来源看,长兴湖水体污染主要来源于工业园沟渠的工业废水、渭川河的生活污水与农业生产废水及沉积物内源;从控制策略看,长兴湖水污染治理应“内外兼顾”,即在削减工业园沟渠、渭川河 TN、TP 外源污染输入的同时,还应重点实施内源污染治理。另外,还应开展长兴湖水域内水生态修复,提高水生态综合管理能力。

(1) 长兴湖入湖口工业园区内有烟花厂、再生资源处理公司及豆腐加工厂等,这些企业外排废水中的 TP、TN 浓度高,没有通过污水厂处理就直接排入长兴湖上游工业园沟渠,严重影响长兴湖上游局部水环境质量。须强化工业园企业外排各类污染源的精细化管理,严控含高 N、P 等废水直接进入沟渠;建立工业园区污水收集体系,实现工业园区污水的全收集与统一处理;依托现有条件,建生态湿地,将污水处理厂尾水净化处理后再排入长兴湖,这是减少长兴湖水体 N、P 等营养盐含量的关键措施。

(2) 针对长兴湖上游渭川河流域沿岸面源、养殖等产生的 TN 污染问题,应实施农村生活废水治理、化肥农药减量和畜禽养殖污染防治,在渭川河分段实施清淤疏浚与水生态综合治理,与此同时,加强渭川河流域水土保持工作,减少地表径流。

(3) 针对长兴湖水体富营养化的治理问题,除了严控长兴湖上游入湖污染物外,可在特定区域种植挺水植物、浮水植物和沉水植物去除水体、底泥中的 TN、TP 等污染物,也可以增加长兴湖源头活水量,通过换水降低污染物的浓度。设立游憩项目,通过强化水体扰动,增加水体 DO,促进水体中污染物降解。

[参考文献]

- [1] 王洪铸,王海军,李艳,等. 湖泊富营养化治理:集中控磷,或氮磷皆控[J]. 水生生物学报,2020,44(5):938-960.
- [2] 曹晓峰,冀泽华,兰华春,等. 气候变化背景下我国湖库型水源富营养化控制与饮用水安全保障策略[J]. 中国工程科学,2022,24(5):34-40.
- [3] 郭怀成,孙延枫. 滇池水体富营养化特征分析及控制对策探讨[J]. 地理科学进展,2002,21(5):500-506.
- [4] 刘新,许梦文,赵珍,等. 鄱阳湖蝶形湖泊水体氮磷等的变化及污染初步评价[J]. 长江流域资源与环境,2017,26(8):1189-1198.
- [5] 李名升,张建辉,梁念,等. 常用水环境质量评价方法分析与比较[J]. 地理科学进展,2012,31(5):617-624.
- [6] 韩术鑫,王利红,赵长盛. 内梅罗指数法在环境质量评价中的适用性与修正原则[J]. 农业环境科学学报,2017,36(10):2153-2160.
- [7] 胡容华,谢蓉蓉,李家兵,等. 水口水库 2015—2019 年水质污染变化特征及 PMF 溯源解析[J]. 环境科学学报,2022,42(12):136-146.
- [8] 冯昶瑞,蒋名亮,牛海林,等. 滇池近 20 年水环境变化趋势与影响因素分析[J]. 环境监测管理和技术,2024,36(2):12-18.
- [9] 赵晏慧,李韬,黄波. 2016—2020 年长江中游典型湖泊水质和富营养化演变特征及其驱动因素[J]. 湖泊科学,2022,34(5):1441-1451.
- [10] 王艳平,徐伟伟,韩超,等. 巢湖沉积物氮磷分布及污染评价[J]. 环境科学,2021,42(2):699-711.
- [11] 李思敏,曹灿,白苏媛. 城市水系浅水湖泊水环境质量评价与分析[J]. 环境科学与技术,2014,37(9):163-167.
- [12] 蒋豫,吴召仕,赵中华,等. 阳澄湖表层沉积物中氮磷及重金属的空间分布特征及污染评价[J]. 环境科学研究,2016,29(11):1590-1599.
- [13] LEIVUORI M, NIEMISTÖ L. Sedimentation of trace metals in the Gulf of Bothnia[J]. Chemosphere, 1995, 31(8):3839-3856.
- [14] 王延军,徐敏,孟凡生,等. 长江中游盖湖富营养化趋势分析及原因诊断[J]. 湖泊科学,2023,35(4):1183-1193.
- [15] 徐彬,林灿尧,毛新伟. 内梅罗水污染指数法在太湖水质评价中的适用性分析[J]. 水资源保护,2014,30(2):38-40.
- [16] 刘荣坤,徐锦前,张颖,等. 洪泽湖湖滨带丰水期水质空间异质特征及其影响因素[J]. 长江流域资源与环境,2023,32(1):151-161.
- [17] 毕京博,郑俊,沈玉凤,等. 南太湖入湖口叶绿素 a 时空变化及其与环境因子的关系[J]. 水生态学杂志,2012,33(6):7-13.
- [18] DOMAGALSKI J L, MORWAY E, ALVAREZ N L, et al. Trends in nitrogen, phosphorus, and sediment concentrations and loads in streams draining to Lake Tahoe, California, Nevada, USA[J]. Science of the Total Environment, 2021, 752:141815.
- [19] 肖玉娜,程靖华,莫晓聪,等. 丹江口水库浮游植物群落时空变化及其与环境因子的关系[J]. 湖泊科学,2023,35(3):821-832.