

2018—2022 年洞庭湖水质变化趋势分析

方 平¹, 李照全², 庄琼华², 高吉权¹, 欧阳美凤¹

(1. 湖南省洞庭湖生态环境监测中心, 湖南 岳阳 414000; 2. 湖南省岳阳生态环境监测中心, 湖南 岳阳 414000)

摘 要: 为研究洞庭湖氮、磷空间分布与变化趋势, 在 2018—2022 年对洞庭湖 20 个断面进行每月采样分析. 运用相关性分析探讨入湖河流与湖体、出湖口之间氮、磷的相互关联及污染成因, 并采用综合污染指数评价洞庭湖污染程度. 结果表明, 2018—2022 年洞庭湖湖体、入湖河流、出湖口 ρ (TN) 年均值范围分别为 1.21~2.38 mg/L、1.28~2.28 mg/L、1.47~1.89 mg/L, ρ (TP) 年均值范围分别为 0.036~0.088 mg/L、0.038~0.120 mg/L、0.062~0.072 mg/L. 空间分布上, ρ (TN) 呈现四水 > 区间河流 > 东洞庭湖 > 松滋、藕池河东支 > 洞庭湖出口 > 南洞庭湖 > 西洞庭湖; ρ (TP) 呈现区间河流 > 松滋、藕池河东支 > 东洞庭湖 > 洞庭湖出口 > 南洞庭湖 > 四水 > 西洞庭湖. 2018—2022 年洞庭湖氮磷综合污染以轻度污染为主, 出湖口综合污染指数呈现逐年下降趋势.

关键词: 洞庭湖; 总氮; 总磷; 空间分布; 综合污染指数

中图分类号: X52

文献标识码: A

文章编号: 1672-5298(2023)02-0050-06

Trend Analysis of Water Quality in Dongting Lake from 2018 to 2022

FANG Ping¹, LI Zhaoquan², ZHUANG Qionghua², GAO Jiquan¹,
OUYANG Meifeng¹

(1. Eco-Environmental Monitoring Center of Dongting Lake of Hunan Province, Yueyang 414000, China;

2. Yueyang Eco-Environmental Monitoring Center of Hunan Province, Yueyang 414000, China)

Abstract: To investigate the spatial distribution and change the trend of nitrogen and phosphorus in Dongting Lake, monthly sampling and analysis of 20 cross-sections of Dongting Lake were conducted from 2018 to 2022. Correlation analysis to explore the correlation and pollution causes of nitrogen and phosphorus was used between inflow rivers and lake region or outlet of Dongting Lake, and the comprehensive pollution index was used to evaluate the pollution degree of Dongting Lake. The results show that the annual average of ρ (TN) from 2018 to 2022 in Dongting Lake ranged from 1.21 to 2.38 mg/L while that of the inflow rivers from 1.28 to 2.28 mg/L, and the outlet of Dongting Lake from 1.47 to 1.89 mg/L. The annual average of ρ (TP) in Dongting Lake ranged from 0.036 to 0.088 mg/L, the inflow rivers from 0.038 to 0.120 mg/L and the outlet of Dongting Lake from 0.062 to 0.072 mg/L, respectively. Spatially, the average of ρ (TN) was ranked as in the order: Four rivers > Interval rivers > East Dongting Lake > Songzi rivers and the East Branch of Ouchi rivers > Outlet of Dongting Lake > South Dongting Lake > West Dongting Lake, the average of ρ (TP) was ranked as in the order: Interval rivers > Songzi rivers and the East Branch of Ouchi rivers > East Dongting Lake > Outlet of Dongting Lake > South Dongting Lake > Four rivers > West Dongting Lake. The comprehensive pollution level demonstrated that the Dongting Lake was mainly slightly polluted from 2018 to 2022, and the comprehensive pollution index at outlet of Dongting Lake was decreased year by year.

Key words: Dongting Lake; total nitrogen (TN); total phosphorus (TP); spatial distribution; comprehensive pollution index

0 引言

洞庭湖位于长江荆江段南岸, 是长江流域重要的调蓄湖泊. 洞庭湖南汇湘、资、沅、澧四水, 北纳松滋河、虎渡河、藕池河三口分流长江洪水, 与汨罗江、新墙河和华容河等河流来水经洞庭湖洪道和湖泊调蓄后由城陵矶注入长江. 湖区内大小湖泊星罗棋布, 河流洪道纵横. 湖体呈现不规则的 U 型带状水域, 可划分为西洞庭湖、南洞庭湖和东洞庭湖 3 个不同的湖泊水域, 其水流方向大致为西洞庭湖→南洞庭湖→东洞庭湖→长江^[1]. 近几十年来, 受洞庭湖流域工农业生产和城乡生活污染等影响, 洞庭湖出现湖泊萎缩、水沙失衡和调蓄功能减退等问题, 其中水体氮磷污染问题尤为突出, 生态环境不容乐观^[2,3]. 三峡工程运

收稿日期: 2023-02-17

作者简介: 方 平, 女, 硕士, 工程师. 主要研究方向: 水环境监测与保护对策研究

通信作者: 李照全, 男, 硕士, 高级工程师. 主要研究方向: 环境质量监测与综合分析

行后,洞庭湖水文节律发生变化,加上受气候变化与人类活动影响^[4],总氮(TN)、总磷(TP)在不同湖体和时段出现较大差异,已成为洞庭湖主要污染因子^[5]。有研究认为,洞庭湖入湖污染负荷主要来源于四水水系^[6],氮磷污染主要来源于农业面源和城镇生活污染^[7]。郭晶等^[8]研究发现,洞庭湖平水期水质优于枯水期和丰水期,而不同湖体之间以西洞庭湖水质较好,南洞庭湖次之,东洞庭湖相对较差。黄代中等^[9]研究认为,入湖污染负荷和人类活动是洞庭湖氮与磷空间分布的重要影响因素。为进一步分析洞庭湖水质现状与变化趋势,本文对近5年洞庭湖及主要入湖、出湖水水质监测数据进行统计分析,采用综合污染指数法评价水体污染等级,探讨洞庭湖污染成因,以为洞庭湖水环境保护提供参考。

1 材料与方法

1.1 点位布设与采样分析

水质监测数据来源于湖南省洞庭湖生态环境监测中心。采样时间为每月上旬。共布设20个断面(图1),其中入湖断面9个,分别为湘江樟树港(S1)、资江万家嘴(S2)、沅江坡头(S3)、澧水沙河口(S4)、松滋河马坡湖(S5)、藕池河东支团州(S6)、华容河六门闸(S7)、新墙河八仙桥(S8)、汨罗江南渡(S9);西洞庭湖3个,分别为南嘴(S10)、蒋家嘴(S11)、小河嘴(S12);南洞庭湖3个,分别为万子湖(S13)、横岭湖(S14)、虞公庙(S15);东洞庭湖4个,分别为鹿角(S16)、君山(S17)、扁山(S18)、岳阳楼(S19);以及洞庭湖出口(S20)。断面设左、中、右三条或左、右两条垂线,分别采集表层0~50 cm柱状水样,按不小于10%的比例采集现场平行样。TN用过硫酸钾氧化紫外分光光度法进行检测,TP用钼酸铵分光光度法进行检测,采用国家标准样品进行质控。

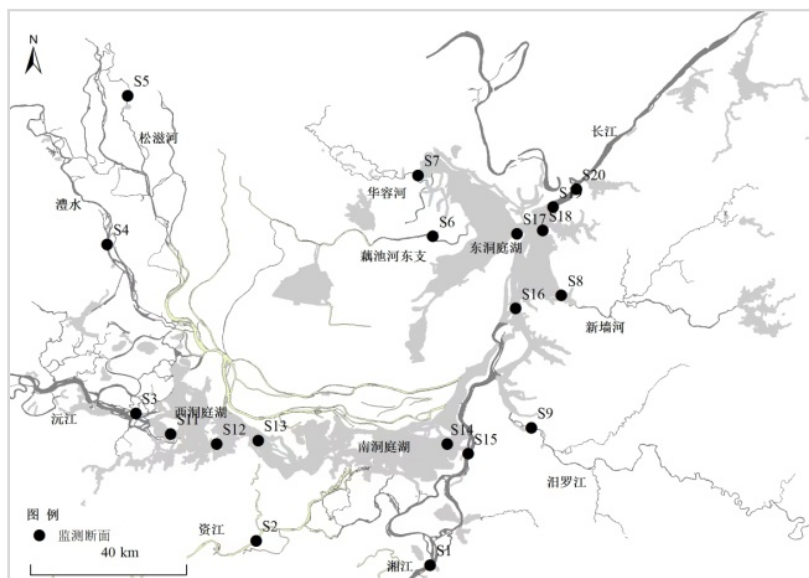


图1 水质采样点分布

1.2 数据统计与分析

TN、TP按各断面算术平均值参与统计,运用SPSS 19.0软件统计数据。年际变化趋势采用秩相关系数表示,相关性分析采用Pearson相关系数表示。空间分布按四水(S1—S4)、松滋、藕池河东支(S5—S6)、区间河流(S7—S9)、西洞庭湖(S10—S12)、南洞庭湖(S13—S15)、东洞庭湖(S16—S19)、洞庭湖出口(S20)比较。TN、TP水质类别评价执行《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002),其中TP参照湖库标准。

1.3 评价方法

采用综合污染指数法评价TN和TP综合污染程度,计算公式为

$$P_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n P_{ij}, P_{ij} = \frac{C_{ij}}{S_{ij}}.$$

其中 P_i 为 i 水体的综合污染指数; P_{ij} 为 i 水体第 j 项污染物的污染分指数; C_{ij} 为 i 水体第 j 项污染物的年均值; S_{ij} 为 i 水体第 j 项污染物的水质标准值(TN: 1.0 mg/L, TP: 0.05 mg/L). 参考文[10], 并结合 TN、TP 水质类别对应标准值的差异, 得到综合污染指数分级(表 1).

表 1 综合污染指数分级

等级划分	P_i	等级
1	$P_i \leq 0.50$	好
2	$0.50 < P_i \leq 1.00$	较好
3	$1.00 < P_i \leq 1.75$	轻度污染
4	$1.75 < P_i \leq 3.00$	中度污染
5	$P_i > 3.00$	重度污染

2 结果与讨论

2.1 TN、TP 含量与空间分布

2.1.1 TN、TP 含量

2018—2022 年洞庭湖 TN 质量浓度 $\rho(\text{TN})$ 、TP 质量浓度 $\rho(\text{TP})$ 平均值及变化范围见表 2. 入湖河流(S1—S9) $\rho(\text{TN})$ 年均值在 1.28~2.28 mg/L 之间, 最大年均值和最小年均值分别出现在资江(S2, 2018 年)和澧水(S4, 2020 年). 洞庭湖湖体(S10—S19) $\rho(\text{TN})$ 年均值在 1.21~2.38 mg/L 之间, 最大年均值和最小年均值分别出现在西洞庭湖(S10, 2021 年)和西洞庭湖(S12, 2022 年). 洞庭湖出口(S20) $\rho(\text{TN})$ 年均值在 1.47~1.89 mg/L 之间, 最大年均值和最小年均值分别出现在 2018、2022 年. 入湖河流(S1—S9) $\rho(\text{TP})$ 年均值在 0.038~0.120 mg/L 之间, 最大年均值和最小年均值分别出现在藕池河东支(S6, 2018 年)和资江(S2, 2022 年). 洞庭湖湖体(S10—S19) $\rho(\text{TP})$ 年均值在 0.036~0.088 mg/L 之间, 最大年均值和最小年均值分别出现在东洞庭湖(S19, 2021 年)和西洞庭湖(S12, 2021 年). 洞庭湖出口(S20) $\rho(\text{TP})$ 年均值在 0.062~0.072 mg/L 之间, 最大年均值和最小年均值分别出现在 2018、2021 年.

表 2 洞庭湖 TN 与 TP 质量浓度

区域	$\rho(\text{TN}) / \text{mg/L}$						总体 均值	$\rho(\text{TP}) / \text{mg/L}$					总体 均值
	2018	2019	2020	2021	2022			2018	2019	2020	2021	2022	
入湖 河流	S1	2.26	1.81	1.86	2.23	1.67	1.97	0.076	0.065	0.070	0.082	0.061	0.071
	S2	2.28	2.08	1.88	2.21	2.00	2.09	0.075	0.054	0.055	0.052	0.038	0.055
	S3	1.37	1.58	1.75	1.88	1.76	1.67	0.060	0.051	0.044	0.043	0.039	0.047
	S4	1.37	1.38	1.28	1.56	1.31	1.38	0.063	0.066	0.050	0.066	0.052	0.059
	S5	1.62	1.84	1.74	1.80	1.54	1.71	0.096	0.078	0.078	0.067	0.063	0.076
	S6	2.02	1.56	1.49	2.12	1.62	1.76	0.120	0.066	0.076	0.100	0.083	0.089
	S7	1.81	1.94	1.62	1.66	1.33	1.65	0.097	0.100	0.087	0.080	0.087	0.089
	S8	2.03	1.57	2.09	2.12	1.81	1.92	0.103	0.108	0.078	0.090	0.092	0.094
	S9	2.12	1.83	1.78	1.57	1.47	1.75	0.100	0.093	0.069	0.091	0.085	0.087
西洞 庭湖	S10	1.66	1.73	1.88	2.38	2.36	2.00	0.063	0.062	0.067	0.055	0.050	0.059
	S11	1.45	1.53	1.33	1.44	1.35	1.42	0.063	0.054	0.060	0.048	0.049	0.055
	S12	1.38	1.35	1.31	1.29	1.21	1.31	0.061	0.055	0.040	0.036	0.045	0.047
南洞 庭湖	S13	1.46	1.60	1.27	1.61	1.58	1.50	0.065	0.074	0.053	0.063	0.050	0.061
	S14	1.46	1.57	1.48	1.57	1.62	1.54	0.069	0.072	0.062	0.063	0.058	0.065
	S15	2.24	1.81	1.79	1.79	1.57	1.84	0.072	0.062	0.063	0.057	0.048	0.060
东洞 庭湖	S16	1.92	1.76	1.74	1.94	1.78	1.83	0.073	0.058	0.059	0.070	0.070	0.066
	S17	1.91	1.84	1.77	1.92	2.00	1.88	0.071	0.058	0.061	0.084	0.069	0.068
	S18	1.94	1.66	1.67	1.73	1.57	1.71	0.079	0.079	0.068	0.065	0.075	0.073
	S19	1.82	1.59	1.68	1.77	1.23	1.62	0.073	0.077	0.067	0.088	0.080	0.077
洞庭湖 出口	S20	1.89	1.68	1.66	1.65	1.47	1.67	0.072	0.070	0.064	0.062	0.069	0.067

总体上看,洞庭湖体及入湖、出湖 $\rho(\text{TN})$ 以Ⅳ、Ⅴ类为主,单次监测各占 30.3%、41.2%; $\rho(\text{TP})$ 以Ⅲ、Ⅳ类为主(采用湖库标准评价),单次监测各占 28.3%、61.3%。秩相关系数表明,2018—2021 年 S9、S12、S20 的 $\rho(\text{TN})$ 年均值呈显著负相关($r_s < -0.9$),除 S3、S4、S8、S10、S13、S14、S17 断面外,其余断面均呈负相关但相关性不显著。S2、S3、S5、S15 的 $\rho(\text{TP})$ 年均值呈显著负相关($r_s < -0.9$),除 S16、S17、S19 这 3 个断面外,其余断面均呈负相关但相关性不显著。这说明,近 5 年洞庭湖 $\rho(\text{TN})$ 、 $\rho(\text{TP})$ 总体呈下降趋势但不显著,出湖水质 $\rho(\text{TP})$ 呈显著下降趋势。另外,西洞庭湖 S10 的 $\rho(\text{TN})$ 呈显著正相关,表明受 TN 污染不断加重,应引起高度重视。

2.1.2 TN、TP 空间分布

表 3 为 2018—2022 年洞庭湖各湖体与入湖、出湖 $\rho(\text{TN})$ 、 $\rho(\text{TP})$ 平均值。在空间分布上, $\rho(\text{TN})$ 呈现四水(1.78 mg/L) > 区间河流(1.77 mg/L) > 东洞庭湖(1.76 mg/L) > 松滋、藕池河东支(1.74 mg/L) > 洞庭湖出口(1.67 mg/L) > 南洞庭湖(1.63 mg/L) > 西洞庭湖(1.58 mg/L)。入湖河流之间比较,湘江(S1)、资江(S2)与新墙河(S8)入湖 $\rho(\text{TN})$ 相对较高,澧水(S4)最低。 $\rho(\text{TP})$ 呈现区间河流(0.090 mg/L) > 松滋、藕池河东支(0.083 mg/L) > 东洞庭湖(0.071 mg/L) > 洞庭湖出口(0.067 mg/L) > 南洞庭湖(0.062 mg/L) > 四水(0.058 mg/L) > 西洞庭湖(0.054 mg/L)。入湖河流以华容河(S7)、新墙河(S8)、汨罗江(S9)等区间河流及藕池河东支(S6) $\rho(\text{TP})$ 相对较高,沅江(S3)最低。

表 3 洞庭湖 TN、TP 质量浓度的空间分布(2018—2022 年平均值)

项目	入湖			平均	湖体			平均	洞庭湖出口
	四水	松滋、藕池河东支	区间河流		西洞庭湖	南洞庭湖	东洞庭湖		
$\rho(\text{TN}) / \text{mg/L}$	1.78	1.74	1.77	1.77	1.58	1.63	1.76	1.66	1.67
$\rho(\text{TP}) / \text{mg/L}$	0.058	0.083	0.090	0.74	0.054	0.062	0.071	0.063	0.067

入湖、湖体与出湖之间比较, $\rho(\text{TN})$ 、 $\rho(\text{TP})$ 呈现入湖高于出湖、出湖高于湖体的分布特征,与文[9]研究结论一致。不同湖体之间比较, $\rho(\text{TN})$ 、 $\rho(\text{TP})$ 呈现东洞庭湖 > 南洞庭湖 > 西洞庭湖的分布特征,表明湖体氮磷污染从上游到下游呈加重趋势,可能与上游来水背景值及局部污染负荷叠加有关。洞庭湖入湖河流背景值对湖体氮磷浓度影响较大^[9,11],同时湖区农业生产、渔业尾水排放、采砂作业、船舶航行等人为活动对氮磷空间分布有不同程度影响。

2.2 污染成因分析

运用 Pearson 相关分析研究各入湖河流与洞庭湖及出湖之间 TN(列)、TP(行)的相互关系,结果见表 4。可以看出, TN 在湘江(S1)与南洞庭湖虞公庙(S15)、东洞庭湖鹿角(S16)、君山(S17)、岳阳楼(S19)和洞庭湖出口(S20)呈极显著正相关($P < 0.01$); 资江(S2)与南洞庭湖虞公庙(S15)、东洞庭湖鹿角(S16)、君山(S17)、岳阳楼(S19)和洞庭湖出口(S20)呈极显著正相关; 沅江(S3)与西洞庭湖小河嘴(S12)及南洞庭湖万子湖(S13)呈显著正相关($P < 0.05$); 新墙河(S8)与东洞庭湖君山(S17)、扁山(S18)、岳阳楼(S19)呈极显著正相关,与洞庭湖出口(S20)呈显著正相关。 TP 在湘江(S1)与东洞庭湖鹿角(S16)、君山(S17)呈极显著正相关,资江(S2)与南洞庭湖虞公庙(S15)呈极显著正相关,沅江(S3)与西洞庭湖蒋家嘴(S11)、小河嘴(S12)及南洞庭湖万子湖(S13)、虞公庙(S15)呈极显著正相关,松滋河(S5)与西洞庭湖南嘴(S10)呈极显著正相关,新墙河(S8)与东洞庭湖扁山(S18)、岳阳楼(S19)呈极显著正相关,与君山(S17)、洞庭湖出口(S20)呈显著正相关,表明上述河流与相关湖体断面的污染有同源性或受其他相同因素影响。

洞庭湖入湖水量主要来自四水和长江三口,多年平均入湖水量为 2916 亿立方米,其中四水 1689 亿立方米,长江三口 951 亿立方米,区间河流 276 亿立方米^[12]。结合相关分析来看,湘江与南洞庭湖虞公庙及东洞庭湖 TN、TP 变化关系密切,资江与南洞庭湖虞公庙及东洞庭湖 TN 变化关系密切,沅江与西洞庭湖和南洞庭湖万子湖 TN、TP 变化关系密切,新墙河与东洞庭湖 TN、TP 变化关系密切。根据相关研究,洞庭湖 TN、TP 通量峰值出现在丰水期的 6—7 月^[13],总体上四水对洞庭湖 TN、TP 贡献较大^[14],但长江三口

在丰水期对入湖污染物的贡献也不容忽视. 同时, 区间河流在枯水期对局部水质的影响亦应引起高度重视.

表 4 洞庭湖入湖河流与湖体、出湖之间 TN、TP 的 Pearson 相关系数

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20
S1	1	0.338**	0.260*	0.225	0.020	0.093	-0.035	0.083	0.271*	-0.227	-0.044	0.112	0.227	0.018	0.192	0.395**	0.390**	-0.001	0.145	0.133
S2	0.550**	1	0.434**	0.053	0.463**	0.317*	0.121	0.121	0.494**	0.032	0.418**	0.387**	0.143	-0.049	0.376**	0.150	0.113	-0.012	-0.160	-0.034
S3	0.047	0.228	1	0.020	0.321*	0.132	0.129	0.134	0.140	0.183	0.597**	0.722**	0.458**	0.253	0.350**	0.190	0.109	0.228	0.104	0.087
S4	0.067	0.092	0.198	1	-0.144	0.204	-0.096	-0.044	-0.044	0.206	-0.127	-0.035	0.204	0.211	-0.073	-0.146	-0.117	-0.029	-0.032	0.032
S5	0.265*	0.310*	-0.006	0.216	1	0.263*	0.156	-0.027	0.317*	0.439**	0.313*	0.301*	0.130	-0.031	0.291*	-0.014	-0.028	-0.119	-0.211	-0.068
S6	0.426**	0.477**	0.162	0.104	0.243	1	0.030	0.123	0.204	0.108	0.179	0.170	0.194	0.211	0.130	0.098	0.102	-0.085	-0.039	-0.057
S7	0.521**	0.298*	0.125	-0.086	0.221	0.244	1	0.469**	0.321*	0.076	-0.057	0.097	-0.187	0.063	0.116	-0.175	-0.220	0.045	0.035	0.060
S8	0.573**	0.378**	0.385**	-0.122	-0.093	0.254*	0.416**	1	0.383**	-0.194	-0.009	0.164	-0.076	0.171	0.006	0.246	0.295*	0.406**	0.376**	0.266*
S9	0.623**	0.570**	-0.002	-0.265	0.171	0.227	0.547**	0.412**	1	-0.068	0.025	0.183	0.012	-0.079	0.229	0.189	0.176	-0.010	-0.031	-0.099
S10	-0.107	-0.109	0.222	0.220	0.008	0.212	-0.243	0.115	-0.433**	1	0.293*	0.128	.259*	0.096	0.302*	-0.353**	-0.369**	-0.123	-0.305*	-0.150
S11	0.248	0.330**	0.254	0.175	0.221	0.366**	0.199	-0.027	0.190	-0.025	1	0.722**	.437**	0.085	0.131	0.001	-0.061	0.002	-0.197	-0.159
S12	0.313*	0.470**	0.289*	-0.164	0.137	0.125	0.363**	0.187	0.366**	-0.350**	0.455**	1	.390**	0.114	0.181	0.179	0.042	0.138	0.015	0.138
S13	0.031	0.471**	0.309*	0.156	0.137	0.333**	-0.033	-0.01	0.096	0.100	0.486**	0.326*	1	.364**	0.077	-0.080	0.039	0.004	-0.080	-0.054
S14	-0.004	0.137	0.180	0.009	0.149	0.065	0.124	0.028	0.049	0.180	0.126	0.065	.263*	1	0.088	-0.118	-0.144	0.077	-0.032	-0.159
S15	0.633**	0.497**	-0.134	0.059	0.158	0.389**	0.403**	0.391**	0.622**	-0.246	0.208	0.234	0.166	0.039	1	0.146	-0.052	0.090	-0.027	-0.067
S16	0.595**	0.591**	0.156	0.062	0.119	0.264*	0.298*	0.416**	0.500**	-0.112	0.030	0.344**	0.198	0.078	0.514**	1	0.754**	0.294*	0.442**	0.478**
S17	0.388**	0.425**	0.122	-0.057	-0.120	0.150	0.227	0.415**	0.343**	-0.082	-0.092	0.261*	0.156	0.052	0.405**	0.620**	1	0.203	0.552**	0.490**
S18	0.314*	0.327*	0.150	-0.134	0.071	0.322*	0.232	0.335**	0.377**	0.035	0.171	0.142	0.163	0.340**	0.267*	0.274*	0.153	1	0.686**	0.569**
S19	0.595**	0.416**	0.027	-0.070	0.059	0.210	0.381**	0.434**	0.650**	-0.272*	0.140	0.304*	-0.022	-0.028	0.475**	0.508**	0.367**	0.286*	1	0.644**
S20	0.486**	0.366**	0.007	-0.030	0.166	0.206	0.385**	0.328*	0.548**	-0.125	0.105	0.157	0.086	0.187	0.457**	0.527**	0.355**	0.629**	0.433**	1

注: *和**分别表示 $P<0.05$ 、 $P<0.01$ 的显著水平.

2.3 污染评价

采用综合污染指数法评价洞庭湖氮磷污染状况. 由表 5 可知, 2018—2022 年各入湖河流综合污染指数在 1.14~2.21 之间, 污染程度以轻度污染为主, 其中轻度、中度污染各占 66.7%和 33.3%. 各入湖河流之间比较, 2018—2022 年综合污染指数总体平均值在藕池河东支、新墙河为中度污染, 其他河流均为轻度污染. 湖体 10 个断面 2018—2022 年综合污染指数在 1.00~1.84 之间, 污染程度以轻度污染为主, 较好、轻度污染、中度污染各占 2.0%、90.0%、8.0%. 不同湖体之间比较, 总体呈现东洞庭湖高于南洞庭湖, 南洞庭湖高于西洞庭湖. 2018—2022 年洞庭湖出口综合污染指数在 1.42~1.66 之间, 均为轻度污染, 综合污染指数呈逐年下降趋势.

表 5 洞庭湖氮磷综合污染指数与分级

区域		2018	2019	2020	2021	2022	平均
入湖 河流	S1	1.89(4)	1.55(3)	1.63(3)	1.94(4)	1.45(3)	1.69(3)
	S2	1.89(4)	1.58(3)	1.49(3)	1.62(3)	1.38(3)	1.59(3)
	S3	1.29(3)	1.30(3)	1.31(3)	1.37(3)	1.27(3)	1.31(3)
	S4	1.32(3)	1.35(3)	1.14(3)	1.44(3)	1.17(3)	1.28(3)
	S5	1.77(4)	1.69(3)	1.65(3)	1.57(3)	1.40(3)	1.62(3)
	S6	2.21(4)	1.44(3)	1.50(3)	2.06(4)	1.64(3)	1.77(4)
	S7	1.87(4)	1.97(4)	1.68(3)	1.62(3)	1.53(3)	1.74(3)
	S8	2.05(4)	1.86(4)	1.82(4)	1.96(4)	1.83(4)	1.90(4)
	S9	2.06(4)	1.84(4)	1.57(3)	1.69(3)	1.59(3)	1.75(3)

表 5 洞庭湖氮磷综合污染指数与分级 (续)

区域		2018	2019	2020	2021	2022	平均
西洞庭湖	S10	1.45(3)	1.48(3)	1.61(3)	1.74(3)	1.67(3)	1.59(3)
	S11	1.35(3)	1.31(3)	1.27(3)	1.19(3)	1.16(3)	1.26(3)
	S12	1.30(3)	1.22(3)	1.05(3)	1.00(2)	1.06(3)	1.13(3)
南洞庭湖	S13	1.38(3)	1.54(3)	1.17(3)	1.43(3)	1.29(3)	1.36(3)
	S14	1.42(3)	1.50(3)	1.36(3)	1.42(3)	1.39(3)	1.42(3)
	S15	1.84(4)	1.52(3)	1.53(3)	1.46(3)	1.26(3)	1.52(3)
东洞庭湖	S16	1.69(3)	1.46(3)	1.47(3)	1.67(3)	1.59(3)	1.57(3)
	S17	1.66(3)	1.50(3)	1.50(3)	1.80(4)	1.69(3)	1.63(3)
	S18	1.76(4)	1.62(3)	1.51(3)	1.52(3)	1.53(3)	1.59(3)
	S19	1.64(3)	1.56(3)	1.52(3)	1.77(4)	1.41(3)	1.58(3)
洞庭湖出口	S20	1.66(3)	1.54(3)	1.47(3)	1.44(3)	1.42(3)	1.51(3)

3 结束语

2018—2022 年洞庭湖湖体 $\rho(\text{TN})$ 年均值在 1.21~2.38 mg/L 之间, 入湖河流年均值在 1.28~2.28 mg/L 之间, 洞庭湖出口年均值在 1.47~1.89 mg/L 之间. 洞庭湖湖体 $\rho(\text{TP})$ 年均值在 0.036~0.088 mg/L 之间, 入湖河流年均值在 0.038~0.120 mg/L 之间, 洞庭湖出口年均值在 0.062~0.072 mg/L 之间. 总体上, 近 5 年洞庭湖 $\rho(\text{TN})$ 、 $\rho(\text{TP})$ 总体呈下降趋势但不显著, 出湖水质 $\rho(\text{TP})$ 呈显著下降趋势. 西洞庭湖 S10 的 $\rho(\text{TN})$ 呈显著正相关, 表明受 TN 污染不断加重.

空间分布上, $\rho(\text{TN})$ 呈现四水(1.78 mg/L) > 区间河流(1.77 mg/L) > 东洞庭湖(1.76 mg/L) > 松滋、藕池河东支(1.74 mg/L) > 洞庭湖出口(1.67 mg/L) > 南洞庭湖(1.63 mg/L) > 西洞庭湖(1.58 mg/L). $\rho(\text{TP})$ 呈现区间河流(0.090 mg/L) > 松滋、藕池河东支(0.083 mg/L) > 东洞庭湖(0.071 mg/L) > 洞庭湖出口(0.067 mg/L) > 南洞庭湖(0.062 mg/L) > 四水(0.058 mg/L) > 西洞庭湖(0.054 mg/L).

相关分析表明, 湘江与南洞庭湖虞公庙及东洞庭湖 TN、TP 变化关系密切, 资江与南洞庭湖虞公庙及东洞庭湖 TN 变化关系密切, 沅江与西洞庭湖和南洞庭湖万子湖 TN、TP 变化关系密切, 新墙河与东洞庭湖 TN、TP 变化关系密切.

综合污染指数表明, 2018—2022 年各入湖河流以轻度污染为主, 其中轻度、中度污染各占 66.7% 和 33.3%; 洞庭湖湖体以轻度污染为主, 较好、轻度污染、中度污染各占 2.0%、90.0%、8.0%; 洞庭湖出口为轻度污染, 综合污染指数呈逐年下降趋势.

参考文献:

- [1] 张 敏, 张伟军. 洞庭湖水质状况分析与水环境保护研究[J]. 长江工程职业技术学院学报, 2011, 28(4): 16-18+23.
- [2] 潘 畅, 陈建湘, 黄长红, 等. 洞庭湖区水环境现状调查与分析[J]. 人民长江, 2018, 49(8): 20-24+48.
- [3] 张光贵, 王丑明, 田 琪. 三峡工程运行前后洞庭湖水质变化分析[J]. 湖泊科学, 2016, 28(4): 734-742.
- [4] 彭焕华, 张 静, 梁 继, 等. 东洞庭湖水面积变化监测及其与水位的关系[J]. 长江流域资源与环境, 2020, 29(12): 2770-2780.
- [5] 李莹杰, 王丽婧, 李 虹, 等. 不同水期洞庭湖水体中磷分布特征及影响因素[J]. 环境科学, 2019, 40(5): 2170-2177.
- [6] 田泽斌, 王丽倩, 李小宝, 等. 洞庭湖出入湖污染物通量特征[J]. 环境科学研究, 2014, 27(9): 1008-1015.
- [7] 秦迪岚, 罗岳平, 黄 哲, 等. 洞庭湖水环境污染状况与来源分析[J]. 环境科学与技术, 2012, 35(8): 193-198.
- [8] 郭 晶, 王丑明, 黄代中, 等. 洞庭湖水污染特征及水质评价[J]. 环境化学, 2019, 38(1): 152-160.
- [9] 黄代中, 李芬芳, 欧阳美凤, 等. 洞庭湖不同形态氮、磷和叶绿素 a 浓度的时空分布特征[J]. 生态环境学报, 2019, 28(8): 1674-1682.
- [10] 朱灵峰, 王 燕, 王阳阳, 等. 基于单因子指数法的海浪河水质评价[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(3): 326-327.
- [11] 吴 丁, 方 平, 李照全, 等. 东洞庭湖区芦苇群落生长对水质的影响[J]. 湖南理工学院学报(自然科学版), 2022, 35(1): 63-68.
- [12] 吴文晖, 罗岳平, 石慧华, 等. 洞庭湖流域水生态环境变化趋势及生态安全评估[M]. 湘潭: 湘潭大学出版社, 2019.
- [13] 周 琴, 贾海燕, 卢 路, 等. 洞庭湖水质及出入湖主要污染物通量变化趋势分析[J]. 三峡生态环境监测, 2021, 6(2): 71-80.
- [14] 郭 晶, 连 花, 李利强, 等. 洞庭湖水污染状况及主要污染物来源分析[J]. 水生态学杂志, 2019, 40(4): 1-7.