



水污染综合指数评价及主导因子分析

何鑫, 陈晓飞, 郑志杰, 柏娟, 黄向阳, 吴小刚

Evaluation of water pollution comprehensive index and analysis of its dominant factor

HE Xin, CHEN Xiaofei, ZHENG Zhijie, BO Juan, HUANG Xiangyang, WU Xiaogang

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.16803/j.cnki.issn.1004-6216.2021.06.023>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

水污染综合指数评价及主导因子分析

——基于湖北某水库的水环境空间分布特征

何 鑫^{1,2}, 陈晓飞¹, 郑志杰², 柏 娟², 黄向阳², 吴小刚^{2,3}

1. 湖北省生态环境科学研究院, 湖北 武汉 430072;
2. 长江大学城市建设学院, 湖北 荆州 434023;
3. 湿地生态与农业利用教育部工程研究中心, 湖北 荆州 434025)

摘 要: 为了探究河流型水库水质的主要污染指标, 文章通过湖北省某河流型水库 2018~2019 年的水样测定结果, 以水库水质空间分布特征为基础, 采用了污染综合指数法及主成分分析对水质进行了评估。结果表明: 该水库主要受氮磷污染, 主要归因于周边农业生产污水的随意排放, 以及库区内水生植物的腐烂分解。同时, 主成分分析也明确了主要水质指标之间的影响关系: 第一主成分中正负荷因子为水温和高锰酸盐指数, 主要反映了水温上升对有机物含量增加有促进作用; 第二主成分中正负荷因子总氮、硝酸盐氮指标与负荷因子 pH 则反映了水库中水生植物生长消耗氮盐从而使 pH 升高的现象; 第三主成分的正负荷因子为磷酸盐指标, 体现了该水库水体的富营养化程度。

关键词: 河流型水库; 空间分布特征; 综合污染指数; 主成分分析

中图分类号: X524

文献标志码: A

DOI: 10.16803/j.cnki.issn.1004-6216.2021.06.023

Evaluation of water pollution comprehensive index and analysis of its dominant factor

——Based on water environment spatial distribution characteristic of a reservoir in Hubei

HE Xin^{1,2}, CHEN Xiaofei¹, ZHENG Zhijie², BO Juan², HUANG Xiangyang², WU Xiaogang^{2,3}

1. Hubei Provincial Academy of Eco-Environmental Sciences, Wuhan 430072, China;
2. School of Urban Construction, Yangtze University, Jingzhou 434023, China;
3. Engineering Research Center of Ecology and Agricultural Use of Wetland, Ministry of Education, Jingzhou 434025, China)

Abstract: In order to analyze the main pollution index of riverine reservoir, the comprehensive indexes and principal component analysis were used to evaluate the water quality of this reservoir, according to the spatial distribution characteristics of water quality through the measurement results of a riverine reservoir in Hubei Province during 2018-2019. The result showed that this reservoir was mainly polluted by nitrogen and phosphorus. The main reason was the indiscriminate discharged of sewage from surrounding agricultural production and the decomposition of aquatic plants in the reservoir. In addition, the influence relationship among the indexes was also clarified. The positive load factors were water temperature (T) and permanganate index (COD_{MN}) of the first principal components, which mainly reflected that the rise of water temperature promoted the increase of organic matter content. While the second principal component positive load factors were total nitrogen (TN) and nitrate nitrogen (NO_3^- -N), and the negative load factor was pH, which reflected the phenomenon of aquatic plants in the reservoir consumed nitrogen salt, thus increasing pH. The positive load factor of the third principal component was phosphate (PO_4^{3-}) index. It indicated the eutrophic degree of the water in this reservoir.

Keywords: riverine reservoir; spatial distribution characteristic; comprehensive pollution index; principal component analysis

CLC number: X524

收稿日期: 2021-02-20

基金项目: 湖北省环保科研专项(2018-HB-001)

作者简介: 何 鑫(1995-), 男, 硕士、助工程师。研究方向: 水处理理论与技术。E-mail: 794944306@qq.com

通信作者: 陈晓飞(1980-), 男, 博士、副高级工程师。研究方向: 水生态修复。E-mail: whchenxf@qq.com

引用格式: 何 鑫, 陈晓飞, 郑志杰, 等. 水污染综合指数评价及主导因子分析——基于湖北某水库的水环境空间分布特征[J]. 环境保护科学, 2021, 47(6): 127-133.

河流型水库工程建设可以发挥调节水资源的时空分配、发电、防洪等积极作用,但河流型水库在自然生态平衡维护方面还存在一些问题。如污染物处理能力不足、水库管理机制不够健全、缺乏科学有效的治理方案等问题,因此生态环境保护难度大,难以形成有效的生态管理方案。因此进行库区水环境质量分析及库区生态保护工程具有重要意义^[1]。

目前对水环境质量进行评价的研究,主要通过水质指标的时空分布特征及污染指数法对水环境现状进行评价^[2-3]。污染指数法基于单因子评价法,将单项因子与水功能分区的水质标准进行比较,得出单项污染指数,再通过一定的计算方法得出各污染指标的相对污染指数,以此来作为水质评价的基础。因此污染指数评价法能够直观地判断出综合水质是否符合功能区的目标要求。由于在计算的过程中所采用的数学方法不同,所以得出的污染指数也就有所不同^[4-5]。主成分分析是一种多元统计方法^[6-7],使用主成分分析方法对河流或者湖泊水质进行研究时,主要是从众多的污染因子中筛选出主要部分进行分析,又称为主分量分析。由于在进行常规水质评价时,所涉及到的因子数量众多,因此难以提取出水体的重要信息,进而无法做出科学有效的水质评价。而主成分分析不仅在一定程度上减少指标数量,且筛选出的水质指标彼此独立,这样可以在保证信息量损失最小的情况下简化计算,筛选出重要的水质指标^[8],从而提高评价结果的可信度。

湖北某水库为长江中游支流上的一座中型河流型水库,流域集水面积约 2 396 km²,设计库容 5 200 万 m³,防洪库容 2 700 万 m³。该水库主要用于防洪和发电,同时也为附近市区的自来水厂提供水源。流域内河流蜿蜒曲折,在洪水期极易爆发洪水,洪水主要集中在 6、7 月份,大部分由暴雨形成,水位变化剧烈,具有明显的山区河流洪水特征。随着区域经济的持续发展,库区水体污染程度不断增加,目前该河流型水库面临两大类主要污染问题:内源污染和外源污染。内源污染主要是部分底泥的释

放及水体中水生生物死亡后尸体的腐烂变质所引起的;外源污染主要由于附近基础设施建设较差,产生的生活污水易排入江中,从而影响库区水质。因此,本研究以河流型水库的水环境空间分布特征为基础^[9-10],采用污染指数法和主成分分析对库区全年水质进行分析,探讨库区水质污染的主导因子,归纳水质控制的主要因素。

1 材料与方法

1.1 样品采集

本研究区域位于 30.349 888 ~ 30.386 834°N、109.374 832 ~ 109.464 390°E,内干流全长约 12 km,2 条支流总长约 1.5 km,沿途共布设 10 个监测点。其中,1# ~ 7#点位于水库的干流,由上游至下游依次分布;+1#号点位于水库中上游段与支流的交汇处,+2#、+3#号点位于水库中下游段支流上。研究区域采样点,见图 1。

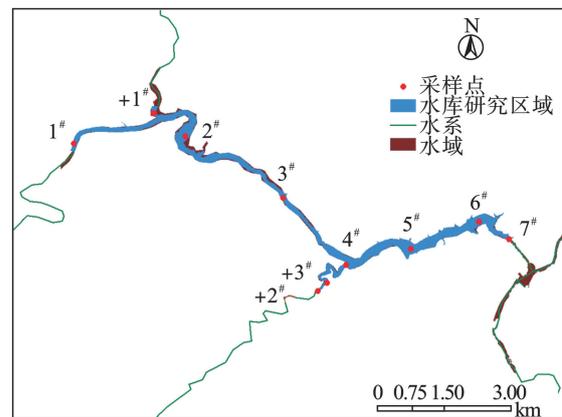


图 1 研究区域采样点分布

本研究测定该水库的水质指标共 13 个,分别为水温(T)、水深(H)、透明度(SD)、电导率、溶解氧(DO)、pH、氨氮(NH₄⁺-N)、亚硝酸盐氮(NO₂⁻-N)、硝酸盐氮(NO₃⁻-N)、总氮(TN)、总磷(TP)、磷酸盐(PO₄³⁻)和高锰酸盐指数(COD_{Mn})。使用有机玻璃采水器对各个采样点进行水样采集,并分装在 2 个 500 ml 的塑料瓶中。从 2018 年 12 月 17 日 ~ 2019 年 11 月 10 日,共计完成了 10 次调查采样,各点位全年平均水质指标数据,见表 1。

表 1 各点位水质全年平均值

点位	T/ °C	H/ m	SD/ m	电导率/ μs·cm ⁻¹	DO/ mg·L ⁻¹	pH	NH ₄ ⁺ -N/ mg·L ⁻¹	NO ₂ ⁻ -N/ mg·L ⁻¹	NO ₃ ⁻ -N/ mg·L ⁻¹	TN/ mg·L ⁻¹	TP/ mg·L ⁻¹	PO ₄ ³⁻ / mg·L ⁻¹	COD _{Mn} / mg·L ⁻¹
1#	14.87	4.37	1.26	338.71	9.668	8.87	0.112	0.009	1.971	2.446	0.059	0.034	1.357

续表 1

点位	T/ ℃	H/ m	SD/ m	电导率/ μs·cm ⁻¹	DO/ mg·L ⁻¹	pH	NH ₄ ⁺ -N/ mg·L ⁻¹	NO ₂ ⁻ -N/ mg·L ⁻¹	NO ₃ ⁻ -N/ mg·L ⁻¹	TN/ mg·L ⁻¹	TP/ mg·L ⁻¹	PO ₄ ³⁻ / mg·L ⁻¹	COD _{Mn} / mg·L ⁻¹
2#	16.33	10.14	1.26	281.59	10.541	8.92	0.136	0.011	1.890	2.379	0.055	0.046	1.663
3#	15.79	17.55	1.54	311.94	10.518	9.03	0.161	0.012	1.825	2.321	0.057	0.034	1.633
4#	16.02	15.77	1.59	275.36	10.259	8.97	0.125	0.018	1.645	2.171	0.056	0.036	1.649
5#	16.26	18.12	1.94	277.18	9.947	8.60	0.254	0.018	1.758	2.311	0.046	0.034	1.425
6#	16.32	21.36	1.94	275.85	10.084	8.78	0.116	0.019	1.782	2.367	0.050	0.028	1.342
7#	16.06	28.18	2.06	288.07	9.813	8.86	0.148	0.019	1.800	2.352	0.056	0.036	1.428
+1#	18.80	3.36	1.54	214.34	10.918	8.96	0.169	0.013	1.485	1.862	0.043	0.019	1.974
+2#	18.58	/	/	225.26	10.082	9.47	0.202	0.011	0.914	1.388	0.101	0.028	1.698
+3#	20.20	/	/	211.72	11.993	9.53	0.173	0.008	0.897	1.428	0.041	0.014	1.534
均值	16.92	14.85	1.64	270.00	10.382	9.00	0.160	0.014	1.597	2.102	0.056	0.031	1.570

1.2 样品检测

1.2.1 现场水质参数测定方法 由水深仪来测量水深, 哈希水质分析仪测定现场的 pH、水温、溶解氧和电导率等指标, 最后使用塞氏盘来测定各个采样点位的透明度。

1.2.2 水体营养盐成分测定方法 每个采样点采集的 2 瓶水样中, 一瓶滴加硫酸进行酸化固定处理, 使 pH<2, 另一瓶不做处理, 用于检测磷酸盐, 最后将水样带回实验室完成测定。主要测定指标为总磷、总氮、高锰酸盐指数、氨氮、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮和磷酸盐。

1.3 数据分析

(1) 使用 Excel 2016 对水质数据进行初步处理之后, 利用 ArcGIS 10.2 软件并使用空间插值法^[11]绘制水质指标的空间分布图, 分析水库全年平均水质指标的空间变化规律。

(2) 将单个水质指标数据与评价标准做对比, 并通过计算其比值结果的算术平均值得出综合污染指数^[12], 从而了解水库的全年平均污染状况。

(3) 使用 SPSS 22.0 统计分析软件对水库水质指标做主成分分析^[6], 从而探讨其库区水体水质的主导因子。

2 结果与分析

2.1 水库水环境现状

根据库区水体水质检测结果和地表水环境质量标准, 对研究区域内的水环境现状评价如下: 水

库水体的年平均水温 16.92 ℃、水深 14.85 m、透明度 1.64 m、电导率 270.00 μs/cm; 年平均 pH 9.00, 水体总体偏碱性; 年平均溶解氧含量较高, 为 10.382 mg/L, 达到 I 类水质标准; 年平均氨氮含量 0.160 mg/L, 达到地表水环境 II 类水质标准; 年平均总氮含量 2.102 mg/L, 超过地表水环境质量标准 V 类标准限值, 污染严重; 年平均总磷含量 0.056 mg/L, 超过地表水 III 类水质标准; 年平均高锰酸盐指数 1.570 mg/L, 符合地表水环境 I 类水质标准。

2.1.1 常规水质指标 常规水质指标空间分布特征, 见图 2。

图 2 可知, 库区水体全年平均水温在 14.87 ~ 20.20 ℃ 的区间内变化, 干流水温较支流水温低; 全年平均水深在 3.36 ~ 28.18 m 内变化, 由上游至下游不断增加, 整体变化趋势较大; 水体透明度在 1.26 ~ 2.06 m 内变化, 可以明显看出水体的透明度基本随河流流向逐渐升高。一般来说, 水体透明度与悬浮物、水质污染指标等有较大联系见文献^[13]这与图 2 结论的水质情况并不完全相符, 因此推测透明度的变化趋势很可能是由于该水库水深变化较大引起悬浮物浓度改变造成的; 电导率在 211.72 ~ 338.71 μs/cm 内变化, 且干流水体较支流水体电导率高, 这可能与水体中的溶解盐以及浊度等指标有关见文献^[14]; 库区水体 pH 在 8.60 ~ 9.53 内变化, 且干流水体较支流水体 pH 低, 水库水质偏碱性主要归因于藻类的光合作用^[15], 该水库的碱性较高, 推测这与水库在 3 月份发生甲藻水

华爆发事件有一定联系;库区水体溶解氧含量在 9.668 ~ 11.993 mg/L 内变化,整体波动不大;高锰酸盐指数在 1.342 ~ 1.974 mg/L 内变化,整体含量较低,水库受到的有机污染较轻。

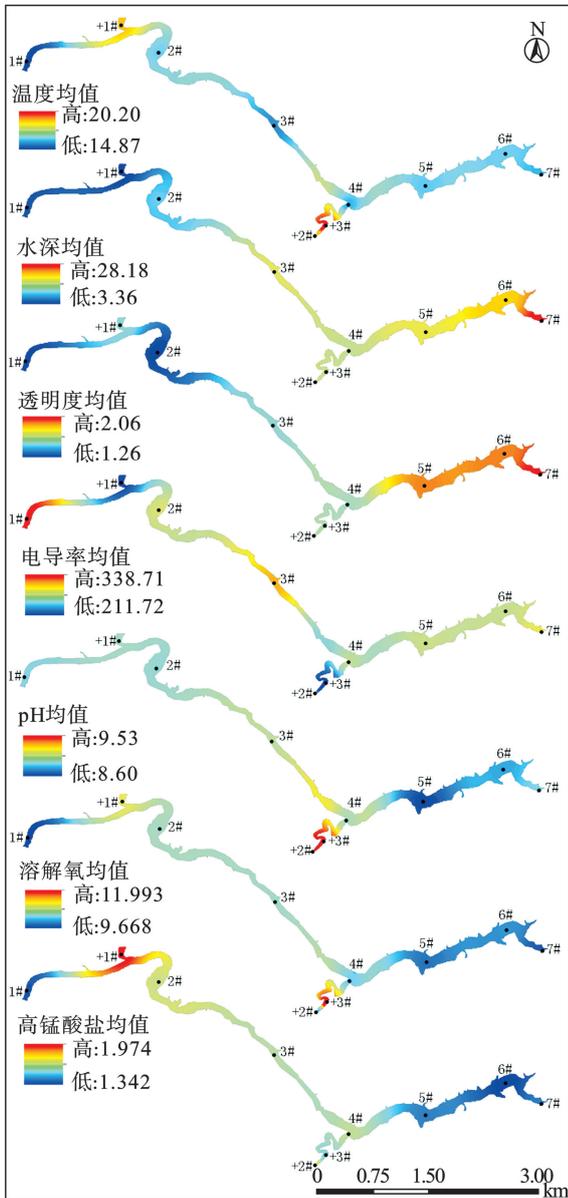


图 2 常规水质指标空间分布规律

2.1.2 营养性污染物指标 营养性污染物指标空间分布特征,见图 3。

图 3 可知,库区水体年平均亚硝酸盐氮含量在 0.008 ~ 0.019 mg/L 的区间内变化,浓度基本随流向逐渐增加;氨氮含量在 0.112 ~ 0.254 mg/L 的区间内变化,除 5# 点位附件浓度较高外,总体上分布较为均匀;硝酸盐氮含量在 0.897 ~ 1.971 mg/L 的区间内变化,总氮在 1.388 ~ 2.446 mg/L 的区间内变化,磷酸盐含量在 0.014 ~ 0.046 mg/L 的区间内变

化,三者分布情况类似,呈现明显的干流含量高于支流的现象;总磷在 0.041 ~ 0.101 mg/L 的区间内变化,整体含量分布波动不均,在 +1#、+2# 达到最低值和最高值。

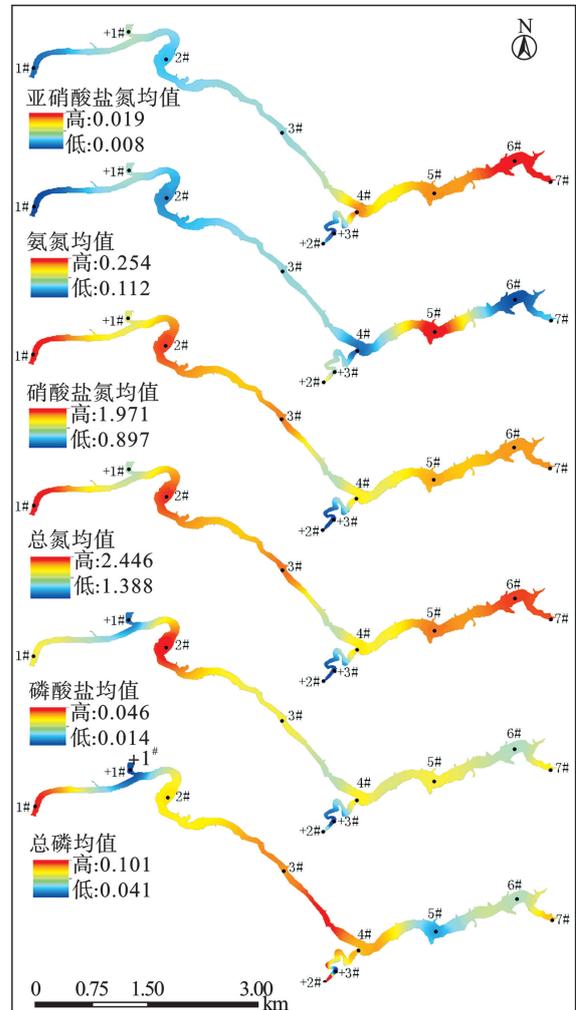


图 3 营养性污染物指标空间分布规律

由此可见,水库受到的氮磷污染比较严重,这主要归因于周边农业生产污水的随意排放,以及库区内水生植物的腐烂分解,释放氮磷污染^[16]。

2.2 水库水体综合污染指数分析

2.2.1 综合污染指数评价法 将水库水质单个指标数据与《地表水环境质量标准:GB 3838—2002》^[17] III 类标准相比,得出各水质指标的污染分指数,并通过各指标污染分指数的算术平均值计算出该水体的综合污染指数,以说明水库水体的污染程度^[18]。综合污染指数的水质评级分级表,见表 2^[19]。污染指数计算公式,见式 1。

$$P = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i; P_i = \frac{C_i}{C_0}; P_{DO} = \frac{C_0}{C_i}; \quad (1)$$

表2 综合污染指数评价分级表

P值	水质污染级别
≤ 0.20	清洁
0.21 ~ 0.40	尚清洁
0.41 ~ 0.70	轻度污染
0.71 ~ 1.00	中度污染
1.01 ~ 2.00	重度污染
> 2.00	严重污染

式(1)中, P 为水体的综合污染指数, n 为选取的污染指标的项数(共 10 项), P_i 为第 i 项水质指标的污染分指数(P_{DO} 为溶解氧的综合污染分指数), C_i 为第 i 项水质指标的实测浓度值, C_0 为第 i 项水质指标的评价标准浓度值。

2.2.2 综合污染指数评价结果 将检测出的水质指标代入公式(1)进行计算, 得到水库综合污染指数, 见表 3。

表 3 可知, 该水库的综合污染指数为 0.83, 除+3#点位属于轻度污染外, 属于中度污染。各采样点位的 5 项污染指数范围在 0.11 ~ 2.45 之间。溶解氧指标属于轻度污染, 较为正常; 高锰酸盐指数属于尚清洁级别, 污染情况较低; 氨氮已达清洁标准, 对水质影响最小; 总磷污染情况严重, 属于重度污染; 总氮含量严重超标, 整体属于严重污染, 超过 V 类标准限值。再次说明了水库的主要污染指标为氮磷污染。

表3 水库各项指标污染分指数 P_i 及综合污染指数 P

采样点	DO	COD _{Mn}	NH ₄ ⁺ -N	TP	TN	P	水质污染级别
1#	0.52	0.23	0.11	1.19	2.45	0.9	中度
2#	0.47	0.28	0.14	1.1	2.38	0.87	中度
3#	0.48	0.27	0.16	1.14	2.32	0.87	中度
4#	0.49	0.27	0.13	1.13	2.17	0.84	中度
5#	0.5	0.24	0.25	0.93	2.31	0.85	中度
6#	0.5	0.22	0.12	0.99	2.37	0.84	中度
7#	0.51	0.24	0.15	1.11	2.35	0.87	中度
+1#	0.46	0.33	0.17	0.86	1.86	0.74	中度
+2#	0.5	0.28	0.2	2.02	1.39	0.88	中度
+3#	0.42	0.26	0.17	0.81	1.43	0.62	轻度
平均值	0.48	0.26	0.16	1.13	2.1	0.83	中度

2.3 水库水体主导因子分析

2.3.1 适用性检验 剔除了透明度和水深 2 项与水质关系不大的指标, 对剩余 11 项水质指标进行 KMO 与 Bartlett 球形度检验以检验其适用性。KMO 检验系数为 0.616 > 0.5, Bartlett 球形度检验结果为 209.392, 球形检验 P 值为 0.000 < 0.05, 说明水质指标之间可能存在一定相关性。2 项检验结果都表明了本研究的数据适用因子分析法。

2.3.2 主成分分析结果 使用 SPSS 进行主成分分析的统计结果, 见表 4。

表4 主成分分析统计结果

成分	对应水质指标	解释的总方差					
		合计	方差的%	累积%	初始特征值	提取平方和载入	累积%
1	COD _{Mn}	4.036	36.690	36.690	4.036	36.690	36.690
2	T	2.859	25.987	62.677	2.859	25.987	62.677
3	NO ₃ ⁻ -N	1.711	15.558	78.235	1.711	15.558	78.235
4	Cond	0.870	7.906	86.142			
5	NH ₄ ⁺ -N	0.474	4.311	90.453			
6	pH	0.447	4.059	94.513			
7	NO ₂ ⁻ -N	0.256	2.324	96.837			
8	TN	0.222	2.014	98.851			
9	PO ₄ ³⁻	0.067	0.609	99.460			
10	TP	0.031	0.284	99.744			
11	DO	0.028	0.256	100.00			

表 4 可知, 前 3 项主成分的特征值均大于 1, 且其主成分的方差贡献率分别为 36.690%、25.987%

和 15.558%, 累积方差率达到了 78.235%, 即累积解释了 78.235% 的数据变化差异, 说明它们能够较好

的代表 11 项水质标准。

各项主成分对水质指标数据变化差异的解释程度,其中主成分因子负荷矩阵,见表 5。

表 5 主成分因子负荷矩阵表

序号	水质指标	提取的成分		
		PC1	PC2	PC3
1	COD _{Mn}	0.915	0.201	0.049
2	T	0.941	-0.273	-0.039
3	NO ₃ ⁻ -N	0.585	0.781	-0.044
4	Cond	-0.805	0.014	0.340
5	NH ₄ ⁺ -N	-0.356	-0.441	-0.368
6	pH	0.464	-0.743	0.048
7	NO ₂ ⁻ -N	-0.365	0.542	-0.597
8	TN	0.162	0.886	0.085
9	PO ₄ ³⁻	-0.232	-0.128	0.890
10	TP	-0.598	0.498	0.298
11	DO	-0.640	-0.213	-0.455

表 5 可知,与第一主成分有关的主要有高锰酸盐指数、水温和电导率等水质指标。其中,正相关指标水温和的因子载荷最高,为 0.941;其次为高锰酸盐指数,达 0.915;电导率则为负相关性最好的指标,其值为-0.805。因此该水库的第一主成分主要反映水温升高对有机物含量增加有促进作用。结合水温、高锰酸盐指数和电导率等水质指标的空间分布情况来看,水温与高锰酸盐指数基本呈正相关趋势,而电导率则刚好与两者相反,这也表明了主成分分析结果符合实际情况。

与第二主成分有关的水质指标主要有 NO₃⁻-N、pH 和 TN,其中 TN 与第二主成分的相关系数最高,因子载荷为 0.886,其次分别为 NO₃⁻-N 和 pH,因子载荷分别为 0.781 和-0.743。因此,第二主成分主要反映水库水体的氮盐指标特征。正负荷为水体的 TN 和 NO₃⁻-N 指标,负负荷因子为水体的 pH,这说明当 pH 升高时,TN 和 NO₃⁻-N 指标会相应减少。氮盐作为水生生物生存的营养物质基础,对浮游植物的生长具有一定的促进作用,而这一过程势必会消耗水体当中的氮盐^[20],从而提高水体的 pH 值^[15]。结合空间分布情况图来看,pH 与 TN、NO₃⁻-N 的变化情况也基本符合负相关趋势,与实际情况相符。

与第三主成分密切相关的水质指标为 PO₄³⁻,

其相关系数为 0.890,反映了该水库水体的磷酸盐特征。水体中的磷酸盐作为影响浮游植物生长和繁殖的限制性营养盐成分^[21],是形成富营养化的重要因素。因此,第三主成分也反映了该水库水体的营养化程度。

从对该水库水体水质的方差贡献率可以看出,水库主要有 3 个主成分,其方差贡献率分别为 36.690%、25.987% 和 15.558%,累积解释了 78.235% 的数据变化差异。主成分分析结果与空间分布情况基本相符,表明该水库水质主要受到水温以及氮磷营养盐的控制。

3 结论

(1)本文所研究的河流型水库水体的年平均水温为 16.92 ℃、水深为 14.85 m、透明度为 1.64 m、电导率为 270.00 μs/cm。pH 均值为 9.00,水体总体偏碱性;溶解氧平均含量较高 10.382 nmg/L,达到 I 类水质标准;库区水体氨氮的平均含量为 0.160 mg/L,达到地表水环境 II 类水质标准;总氮的平均含量为 2.102 mg/L,超过地表水环境质量标准 V 类标准限值,污染严重;总磷含量的平均值为 0.056 mg/L,超过地表水 III 类水质标准;水库高锰酸盐指数平均值为 1.570 mg/L,符合地表水环境 I 类水质标准。

(2)本文水体透明度的变化趋势与水质情况并不完全相符,因此推测透明度的变化趋势很可能是由于该水库水深变化较大引起悬浮物浓度改变造成的;水库水质偏碱性主要归因于藻类的光合作用,该水库的碱性较高,推测这与水库在 3 月份发生的甲藻水华爆发事件有一定联系;水库受到的氮磷污染比较严重,这主要归因于周边农业生产污水的随意排放,以及库区内水生植物的腐烂分解,释放氮磷污染。

(3)该水库各采样点位的 5 项污染指数范围在 0.11 ~ 2.45 之间,其中溶解氧指标属于轻度污染,较为正常;高锰酸盐指数属于尚清洁级别,污染情况较低;氨氮已达清洁标准,对水质影响最小;总磷污染情况严重,属于重度污染;总氮含量严重超标,整体属于严重污染,超过 V 类标准限值。这表明了水库的主要污染指标为氮磷污染。

(4)从对该水库水体水质的方差贡献率可以看出,水库主要有 3 个主成分,其方差贡献率分别为 36.690%、25.987% 和 15.558%,累积解释了 78.235%

的数据变化差异。该水库的第一主成分主要反映了水温升高对有机物含量增加有促进作用,其正负荷因子为水温、高锰酸盐指数,两者基本呈正相关趋势,且与负负荷因子电导率呈负相关趋势;第二主成分为水体的氮盐指标,正负荷因子为水体的TN和NO₃⁻-N指标,负负荷因子为pH,反映了水库中水生植物生长消耗氮盐从而使pH升高的现象;第三主成分为水体中的磷酸盐含量,正负荷因子为PO₄³⁻指标,磷酸盐作为水生植物生长的一大重要营养元素,反映了该水库水体的营养化程度。主成分分析结果再现了水库的空间分布情况变化,解释了不同水质指标之前的潜在关系,因此该模型可以作为判断河湖污染主因子的工具。

参考文献

- [1] 刘录三, 黄国鲜, 王璠, 等. 长江流域水生态环境安全主要问题、形势与对策[J]. 环境科学研究, 2020, 33(5): 1081 - 1090.
- [2] 杨诗笛, 曹星星, 吴攀, 等. 贵州草海岩溶湿地水体不同形态氮的时空分布特征[J]. 生态学杂志, 2021, 40(1): 93 - 102.
- [3] 薛巧英, 刘建明. 水污染综合指数评价方法与应用分析[J]. 环境工程, 2004, 22(1): 64 - 66.
- [4] 孙涛, 张妙仙, 李苗苗, 等. 基于对应分析法和综合污染指数法的水质评价[J]. 环境科学与技术, 2014, 37(4): 185 - 190.
- [5] 刘琰, 郑丙辉, 付青, 等. 水污染指数法在河流水质评价中的应用研究[J]. 中国环境监测, 2013, 29(3): 49 - 55.
- [6] 汪红军, 颜昌龙, 李嗣新, 等. 洪湖水质空间特异性及主导因子分析[J]. 中国环境监测, 2012, 28(3): 72 - 75.
- [7] 杜耘, 陈萍, SATO Kieko, 等. 洪湖水环境现状及主导因子分析[J]. 长江流域资源与环境, 2005, 14(4): 481 - 485.
- [8] 蔡广强, 张金松, 刘彤宙, 等. 基于主成分分析的中国南方某市水库水质评价[J]. 环境科学与技术, 2018, 41(S2): 88 - 94.
- [9] 郭苗, 张飞, 张海威, 等. 艾比湖流域地表水水化学特征及空间变异特征分析[J]. 环境工程, 2017, 35(7): 146 - 151+140.
- [10] 李丹, 杨光, 倪春迪, 等. 松嫩平原北部耕地空间分布及其变化特征[J]. 环境工程, 2019, 37(4): 186 - 191.
- [11] 李慧晴, 叶爱中. 基于地形加权的降水空间插值方法研究[J]. 武汉大学学报(工学版), 2021, 54(1): 28 - 37.
- [12] 殷小琴. 2019年如泰运河水环境质量分析与评价[J]. 水利技术监督, 2020(4): 29 - 32.
- [13] 李晓宇. 宁夏沙湖水体透明度时空变化特征与影响因素研究[D]. 银川: 宁夏大学, 2018.
- [14] 聂小芬, 杨正健, 王从锋, 等. 澜沧江梯级水库建设下水体电导率和浊度时空分布特征[J]. 三峡大学学报(自然科学版), 2021, 43(1): 18 - 24.
- [15] 秦保平, 孙韧, 王德龙, 等. 引滦河道中水质偏碱的起因研究[J]. 环境科学研究, 1999(5): 43 - 47.
- [16] 唐金艳, 曹培培, 徐驰, 等. 水生植物腐烂分解对水质的影响[J]. 应用生态学报, 2013, 24(1): 83 - 89.
- [17] 国家环境保护总局, 国家质量监督检验检疫总局. G 地表水环境质量标准: GB 3838—2002[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
- [18] 蒋火华, 朱建平, 梁德华, 等. 综合污染指数评价与水质类别判定的关系[J]. 中国环境监测, 1999(6): 3 - 5.
- [19] 周森, 李维刚, 易灵. 四种水质评价方法的特点分析与比较研究[J]. 环境科学与管理, 2016, 41(12): 173 - 177.
- [20] 陈丹艳, 周威, 段婧婧, 等. 水生植物对不同形态氮素污水的生理响应及相应脱氮效率[J]. 江苏农业学报, 2020, 36(6): 1468 - 1474.
- [21] 张佳敏, 高健, 杨诚, 等. 以鲢、鳙养殖为主的长江中下游武昌湖浮游植物群落结构特征[J]. 湖泊科学, 2020, 32(6): 1771 - 1783.

(上接第105页)

参考文献

- [1] 周勤迁, 张世春, 陈卫卫, 等. 长春市大气SO₂、O₃和NO_x的变化特征及来源[J]. 环境科学研究, 2014, 27(7): 768 - 774.
- [2] 邹天森, 康文婷, 张金良, 等. 我国主要城市大气重金属的污染水平及分布特征[J]. 环境科学研究, 2015, 28(7): 1053 - 1061.
- [3] 陈仁杰. 复合型大气污染对我国17城市居民健康效应研究[D]. 上海: 复旦大学, 2013.
- [4] 陆燕. 中国及全球能源消费大气污染物排放的历史演变与未来预测[D]. 南京: 南京大学, 2018.
- [5] 方平, 唐子君, 唐志雄, 等. 陶瓷炉窑烟气污染物排放特性及治理技术现状[J]. 环境科学与技术, 2014, 37(12): 68 - 72.
- [6] 杨军, 喜军, 王志强, 等. 工业炉节能现状和发展趋势[J]. 冶金能源, 2011, 30(6): 42 - 44.
- [7] 马双忱, 高莉, 金鑫, 等. 微波辐照活性炭脱硫脱硝技术研究进展[J]. 环境科学与技术, 2011, 34(8): 70 - 74.
- [8] 刘海龙, 王晋刚, 张少峰. 次氯酸钙溶液脱硫脱硝一体化过程热力学分析[J]. 环境科学与技术, 2012, 35(6): 55 - 57.
- [9] FANG P, CEN C P, WANG X J, et al. Simultaneous removal of SO₂, NO and Hg⁰ by wet scrubbing using urea+KMnO₄ solution[J]. Fuel Processing Technology, 2013, 106(6): 645 - 653.
- [10] FANG P, CEN C P, TANG Z X, et al. Simultaneous removal of SO₂ and NO_x by wet scrubbing using urea solution[J]. Chemical Engineering Journal, 2011, 168(6): 52 - 59.
- [11] 王双喜, 牛仕超, 余晋彬, 等. 窑炉尾气处理技术的发展现状[J]. 中国陶瓷, 2008, 44(6): 9 - 13.
- [12] 许春莲, 宋乾武, 黄海明, 等. 我国环境技术验证(ETV)评估体系建设研究[J]. 环境工程技术学报, 2011, 1(5): 396 - 402.
- [13] 白璐, 张伟, 王文君, 等. 造纸清洁漂白技术水污染预防效果验证评价[J]. 纸和造纸, 2020, 39(2): 30 - 33.
- [14] 王金梅, 王睿, 王乃丽, 等. 试论环境技术验证评价制度的作用和特点[J]. 中国环保产业, 2018(12): 31 - 34.
- [15] 中国环境科学学会. 关于发布《环境保护技术验证评价通用规范(试行)》、《环境保护技术验证评价测试通用规范(试行)》等两项标准的公告[EB/OL]. [2021-07-26]. http://www.chinacses.org/xw/gsgg/201509/t20150908_633942.shtml.
- [16] 李小婷. 干式除尘与湿式除尘优点及其缺点分析[J]. 低碳世界, 2017(30): 39 - 40.
- [17] 杨加强, 梅毅, 王驰, 等. 湿法烟气脱硝技术现状及发展[J]. 化工进展, 2017, 36(2): 695 - 704.