

DOI: 10.20040/j.cnki.1000-7709.2023.20221166

基于 TOPSIS 法的鄱阳湖水环境评价研究

孟定华, 朱诗洁, 毛劲乔

(河海大学水利水电学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 为综合评价鄱阳湖水环境健康状况, 从水质、水文、水生生物三方面建立定量评价指标体系。以层次分析法和变异系数法结合的综合赋权法确定指标的综合权重, 运用 TOPSIS 法构建评价模型, 结合指标权重确定评价对象得分。结果表明, 鄱阳湖水环境健康状态存在季节变化特征, 夏季水文、水生生物指标明显优于其他时段, 因而水环境健康等级最高, 属Ⅰ级, 协调性较好; 秋冬季水环境健康等级最差, 属第Ⅲ级, 其中水文条件为主要的的影响指标。该研究可为鄱阳湖水环境保护与建设提供参考依据。

关键词: 鄱阳湖; 水环境健康状况; 评价指标体系; 指标权重; TOPSIS 法

中图分类号: TV882.9; X822

文献标志码: A

文章编号: 1000-7709(2023)03-0044-04

1 概况

鄱阳湖是我国第一大淡水湖, 位于江西省北部, 属亚热带湿润季风型气候, 为典型的季节性吞吐型湖泊^[1]。鄱阳湖湖水面积达 3 150 km², 湖泊面积为 4 070 km², 湖中有岛屿 41 个。鄱阳湖地形图见图 1。鄱阳湖承担着调蓄洪水、调节气候等多种生态功能, 具有重要的生态价值, 是周边城市维持稳定的基本保障。随着周边人口迅速增长及工农业快速发展, 大量污染物被直接排入湖泊, 致使湖泊水环境不断恶化。此外, 人类不合理

地开采利用淡水资源, 使社会经济的可持续发展和湖泊水体环境的稳定遭受不同程度的破坏, 因此急需展开鄱阳湖水环境健康状况评价研究。湖泊水环境评价体系涉及水质、水文、水生生物三个层面十余项指标, 指标间尚无统一的评价标准, 因此选择适宜的评价方法尤为重要^[2]。TOPSIS 法是基于指标客观数据的一种评价方法, 相比其他方法, TOPSIS 法对样本的数据量限制不严格, 指标数量越多越能反映环境监测的综合情况^[3,4]。因此, 针对鄱阳湖湖区, 考虑到湖泊水环境影响因素众多, 为较好地结合多个评价指标, 构建了基于 TOPSIS 法的多指标健康评价体系, 评价湖泊水环境, 探究湖泊水环境的季节性变化特征, 以期对鄱阳湖水环境保护和管理提供科学依据。

2 数据与方法

2.1 研究数据

由于三峡工程建坝截流, 长江下游湖泊出现严重缺水现象, 鄱阳湖水位于 2012 年枯水期跌至历史最低水位, 低于 8 m, 面积仅为丰水期的 1/20, 为典型的枯水年; 2015 年鄱阳湖遭遇罕见降雨, 星子站水位涨至 19.47 m, 为近年来首次超过警戒线, 故选取 2012、2015 年为典型年对鄱阳湖各季节水环境变化特征进行综合评价。分析监

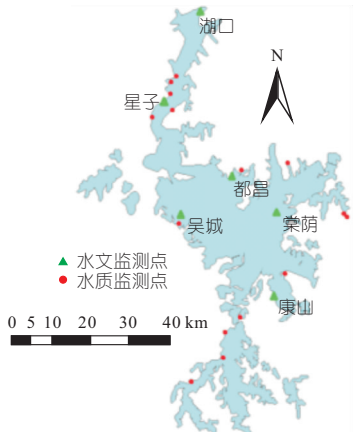


图 1 鄱阳湖地形图

Fig. 1 Topographic map of Poyang Lake

收稿日期: 2022-05-01, 修回日期: 202-06-30

基金项目: 国家自然科学基金项目(52109013); 中国博士后科学基金项目(2021M701049)

作者简介: 孟定华(1998-), 女, 硕士研究生, 研究方向为水利水电系统规划, E-mail: mengdinghua@163.com

通讯作者: 毛劲乔(1978-), 男, 教授, 研究方向为水利工程水生态安全, E-mail: jingqm@163.com

测数据可得,典型年的水质及水生生物指标数值季节变化显著,因此选用 1、4、7、10 月分别代表冬季、春季、夏季与秋季进行相关研究。其中,水质数据为代表月 15 个点位的采样数据,点位信息见图 1;包括溶解氧 DO、叶绿素 a 浓度 Chl-a、总氮 TN、总磷 TP、酸碱度 pH 值、电导率 Cond、透明度 SD、固体悬浮物浓度 SS 共 8 项水质指标。研究用指标数据的采集、运送、测定均满足《水和废水检测分析方法》^[5]。水文数据为湖口、星子、都昌、吴城、棠荫、康山 6 个水文站发布的各代表月日水位参数,点位信息见图 1。生物数据包括鱼类和浮游动物,鱼类数据为典型年代表月鱼群的个体数与生物量的测定值,浮游动物数据为轮虫、枝角类、桡足类三大类浮游动物的物种数,测定方法均满足《湖泊生态调查观测与分析》^[6]。

2.2 研究方法

TOPSIS 法中计算评价对象得分的关键在于依据标准化矩阵建立模型的最优解(最大值) Y^+ 与最劣解(最小值) Y^- 。最优解计算公式分别为:
 $Y^+ = (Y_1^+, Y_2^+, \dots, Y_n^+) = (\max\{y_{11}, y_{21}, \dots, y_{m1}\}, \max\{y_{12}, y_{22}, \dots, y_{m2}\}, \dots, \max\{y_{1n}, y_{2n}, \dots, y_{mn}\})$ (1)

$Y^- = (Y_1^-, Y_2^-, \dots, Y_n^-) = (\min\{y_{11}, y_{21}, \dots, y_{m1}\}, \min\{y_{12}, y_{22}, \dots, y_{m2}\}, \dots, \min\{y_{1n}, y_{2n}, \dots, y_{mn}\})$ (2)

定义第 i 个评价对象与最大值和最小值的距离分别为 d_i^+ 、 d_i^- ,并通过不同评价对象距离优劣解的值计算各对象的得分 η_i ,计算公式分别为:

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (Y_j^+ - y_{ij})^2}$$
 (3)

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (Y_j^- - y_{ij})^2}$$
 (4)

$$\eta_i = d_i^- / (d_i^+ + d_i^-)$$
 (5)

式中, Y_j^+ 、 Y_j^- 分别为第 j 个评价指标的最大、最小值; y_{ij} 为第 i 个评价对象的第 j 个评价指标值。

由式(1)~(5)可知, $0 \leq \eta_i \leq 1$,将各指标评价得分进行排名,即可得到各评价对象的优劣^[7]。

3 模型构建与结果

3.1 水环境评价指标体系的建立

3.1.1 评价指标体系建立

在对鄱阳湖水环境研究的基础上,建立基于水质、水文、水生生物三个层面的评价指标体系。依据目标分解法筛选指标,将评价指标体系设计成由目标层(O)、准则层(C)、分目标层(D)和指

标层(I)构成的多层次评价体系,见表 1。

表 1 鄱阳湖湖泊水环境评价指标体系

Tab. 1 Water environment evaluation index system of Poyang Lake

目标层 O	准则层 C	分目标层 D	指标层 I	属性
湖泊水环境健康状况	水质 C ₁	有机化学指标 D ₁	溶解氧 I ₁	1
			叶绿素 a 浓度 I ₂	2
		无机化学指标 D ₂	总氮 I ₃	2
			总磷 I ₄	2
	水文 C ₂	生态水位 D ₄	酸碱度 I ₅	3
			电导率 I ₆	3
		浮游动物 D ₅	物理性透明度 I ₇	3
			实际水位与生态水位差值 I ₉	1
水生生物 C ₃	浮游动物 D ₅	固体悬浮物浓度 I ₈	2	
		轮足物种数 I ₁₀	1	
		枝角类物种数 I ₁₁	1	
		桡足类物种数 I ₁₂	1	
	鱼类 D ₆	Margalef 指数 I ₁₃ ^[8]	1	
		Simpson 指数 I ₁₄ ^[9]	1	
		Shannon 指数 I ₁₅ ^[10]	1	
		Pielou 指数 I ₁₆ ^[11]	1	

本文涉及 16 项指标,根据 TOPSIS 法的指标分类规则分为三大类:极大型指标“1”,即指标数值越大越好;极小型指标“2”,即指标数值越小越好;区间型指标“3”,即指标数值处于某一区间最好。其中水质指标分为有机化学指标、无机化学指标和物理性指标;水文指标涉及生态水位,是保持生态环境良好的较佳水位,引入实际水位和生态水位差值这一指标,取其绝对值进行定量评价,能更直接地反映鄱阳湖的水文健康状况;水生生物分浮游动物和鱼类两个分目标层反映鄱阳湖水生生物健康状况。

3.1.2 数据预处理

使用 TOPSIS 法计算各评价对象的评价得分时应选择一类评价指标作为标准,选用极大型指标作为该评价标准,故建模前需对其余指标做正向化处理,便于后续比较。此外,为消除不同指标间量纲的影响,需将数据正向化后获得的正向化矩阵做标准化处理以得到标准化矩阵 Y:

$$Y = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ y_{m1} & y_{m2} & \dots & y_{mn} \end{bmatrix}$$
 (6)

矩阵中元素 y_{ij} 为:

$$y_{ij} = x_{ij} / \sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2}$$
 (7)

3.1.3 指标权重确定

将主客观赋权法的优点进行提炼,结合指标的主、客观权重值计算指标综合权重的方法为综合赋权法,该方法能较好地避免主、客观赋权法的缺陷,具有严谨的数学理论支撑,又能反映专家的

主观意图,其赋权结果更具说服力与可信度。鄱阳湖水环境健康状况评价涉及多个指标,根据专家的经验认知和实测指标数据,采用综合赋权法结合两种指标权重,以期得到更好的评价结果。

3.1.4 水环境评价模型构建

根据《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)^[12],结合 TOPSIS 法及鄱阳湖区实际情况,将水环境健康状况由高到低分为 5 个等级,即:① I 级。适用于源头水,该水环境优良,可协调发展,最终评价得分处于 0.8~1.0 之间;② II 级。适用于生活用水地表水源地一级保护区,水环境良好且协调性较好,最终评价得分处于 0.6~0.8 之间;③ III 级。适用于生活用水地表水源地二级保护区,该水环境与协调性一般,最终评价得分处于 0.4~0.6 之间;④ IV 级。适用于一般工业用水,该水环境质量较差,难以满足基本的协调发展,最终评价得分处于 0.2~0.4 之间;⑤ V 级。适用于农业用水,该水体环境质量恶劣,最终评价得分处于 0~0.2 之间。

3.2 实例应用

3.2.1 权重确定

采用综合赋权法确定指标权重,其中主观权重采用层次分析法确定^[13],客观权重采用变异系数法确定^[14],最后以 1:1 的比例计算指标的综合权重值,见表 2。

表 2 各指标综合权重计算结果

Tab. 2 Calculation results of comprehensive weight of each indicator

目标层 (权重)	准则层 (权重)	分目标层 (权重)	指标 层	主观 权重	客观 权重	综合 权重	排 序	
鄱阳湖湖泊 水环境健康 (1.000)	C ₁ (0.493)	D ₁ (0.440)	I ₁	0.032	0.021	0.027	15	
			I ₂	0.129	0.057	0.093	3	
			I ₃	0.097	0.048	0.073	5	
			I ₄	0.097	0.052	0.075	4	
		D ₂ (0.257)	I ₅	0.089	0.008	0.049	6	
			I ₆	0.030	0.037	0.033	14	
			D ₃ (0.303)	I ₇	0.148	0.045	0.096	2
				I ₈	0.030	0.065	0.047	7
	C ₂ (0.232) C ₃ (0.275)	D ₄ (1.000)	I ₉	0.130	0.333	0.231	1	
			I ₁₀	0.016	0.077	0.046	9	
			I ₁₁	0.008	0.066	0.037	12	
			I ₁₂	0.031	0.023	0.027	16	
		D ₆ (0.625)	I ₁₃	0.070	0.014	0.042	11	
			I ₁₄	0.035	0.033	0.034	13	
			I ₁₅	0.023	0.062	0.043	10	
			I ₁₆	0.035	0.059	0.047	8	

3.2.2 评价得分计算

结合指标的综合权重,依据 TOPSIS 法算得 15 个站点的水质指标评价得分,按均分的原则,即各站点的权重为 $1/15=0.067$,可得 1、4、7、10 月的评价得分分别为 0.762、0.755、0.814、0.546;计算 6 个站点水文指标的评价得分,结合各站点权重 $1/6=0.167$,所得代表月的评价得分

分别为 0.229、0.623、0.950、0.367;水生生物指标下,由浮游动物指标算得代表月的评价得分分别为 0.195、0.118、0.863、0.766,由鱼类的生物多样性指标算得代表月的评价得分分别为 0.560、0.569、0.547、0.472,结合浮游动物与鱼类的综合权重值,算得水生生物情况下,代表月的评价得分分别为 0.423、0.400、0.665、0.582。

3.2.3 评价结果分析

由表 2 得,水质、水文、水生生物指标的权重值分别为 0.493、0.232、0.275。结合权重计算代表月综合评分,其中 1 月的总评分为 $0.762 \times 0.493 + 0.229 \times 0.232 + 0.423 \times 0.275 = 0.545$,属第 III 等级;4 月的总评分为 $0.755 \times 0.493 + 0.623 \times 0.232 + 0.400 \times 0.275 = 0.627$,属第 II 等级;7 月的总评分为 $0.814 \times 0.493 + 0.950 \times 0.232 + 0.665 \times 0.275 = 0.805$,属第 I 等级;10 月的总评分为 $0.546 \times 0.493 + 0.367 \times 0.232 + 0.582 \times 0.275 = 0.514$,属第 III 等级。各项评价指标下评价对象得分见图 2。

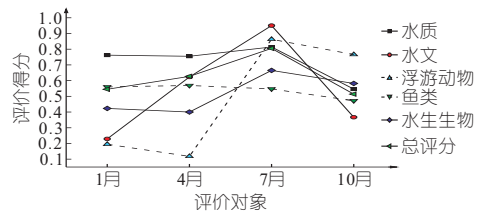


图 2 各项评价指标下评价对象得分

Fig. 2 Score of evaluation object under each evaluation index

由水质评分可知,夏季湖泊水环境最健康,春冬季次之,秋季较差。表明夏季湖泊水文情况最好,春季次之,秋季与冬季水文评分相差无几。由水生生物可观测到夏季与秋季状况良好,春冬季次之。综合考虑其权重,可得夏季湖泊水环境状况最优,春季次之,冬季第三,秋季较差,其中冬季、春季的关键影响指标为浮游动物,夏季、秋季的关键影响指标为水文,评价结果与实际相符。

4 结论

a. 引入实际水位和生态水位差值指标,建立了包括 16 个指标的评价体系,利用层次分析法和变异系数法结合的综合赋权法确定各指标权重,结合 TOPSIS 法进行湖泊水环境综合评价。

b. 评价对象从水质、水文、水生生物三个层面计算各评价得分并结合权重,最终确定鄱阳湖 1、4、7、10 月总评分分别为 0.547、0.627、0.805、0.514,对应分析了鄱阳湖水环境季节变化特征,

