

基于模糊综合法和灰色关联法的百花湖水质评价

敖成欢^{1,2}, 钟九生^{1,2}, 赵梦^{1,2}, 黄国金^{1,2}, 段纪维^{1,2}, 江丽^{1,2}

(贵州师范大学 地理与环境科学学院, 贵州 贵阳 550001)

摘要: [目的] 为有效防止水质的不可逆污染和破坏,以喀斯特高原区域的百花湖为研究对象,揭示其历年水质及其变化情况,为相关的水资源管理部门科学开发、利用及保护该水源地提供依据。[方法] 利用百花湖 2013—2016 年的 8 项水体实测理化参数参与分析,为使水质评价结果更为客观,采用模糊综合评价法、灰色关联分析法对百花湖水质进行综合评价。[结果] 百花湖整体为 I 类水质,但 II 类、IV 类、V 类隶属值都较大。[结论] 百花湖水质有变差的趋势,其生态环境防治对策势在必行。

关键词: 百花湖水库; 模糊综合评价法; 灰色关联分析法; 水质分析

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2020)01-0116-07

中图分类号: X824

文献参数: 敖成欢, 钟九生, 赵梦, 等. 基于模糊综合法和灰色关联法的百花湖水质评价[J]. 水土保持通报, 2020, 40(1): 116-122. DOI: 10. 13961/j. cnki. stbctb. 2020. 01. 017; Ao Chenghuan, Zhong Jiusheng, Zhao Meng, et al. Evaluation on water quality evaluation of Baihua Lake based on fuzzy comprehensive method and grey correlation method[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020, 40(1): 116-122.

Evaluation on Water Quality Evaluation of Baihua Lake Based on Fuzzy Comprehensive Method and Grey Correlation Method

Ao Chenghuan^{1,2}, Zhong Jiusheng^{1,2}, Zhao Meng^{1,2}, Huang Guojin^{1,2}, Duan Jiwei^{1,2}, Jiang Li^{1,2}

(College of Geography and Environmental Science, Guizhou Normal University, Guiyang, Guizhou 550001, China)

Abstract: [Objective] To effectively prevent the irreversible water pollution and damage in Baihua Lake in the karst plateau region, the lake was taken as a research object and its water quality and changes over years were studied. This was aimed to provide a basis for the scientific development, utilization, and protection of the water source for relevant water resource management departments. [Methods] Based on an analysis of the physical and chemical parameters of the eight water bodies in Baihua Lake from 2013 to 2016, and to ensure that the water quality evaluation results were as objective as possible, the fuzzy comprehensive evaluation and grey correlation analysis methods were used to comprehensively evaluate the water quality of Baihua Lake and to reveal the category that its water quality could be classified. [Results] Baihua Lake had class I water quality, but the class II, IV, and V values were relatively high. [Conclusion] The quality of water in Baihua Lake is getting worse. It is imperative to propose countermeasures to stabilize the ecological environment.

Keywords: Baihua Lake reservoir; fuzzy comprehensive evaluation method; grey relational analysis method; water quality analysis

随着人类对地表影响程度的不断加深,人地关系变得愈发密切,随之也引发了一系列的环境问题,其中地表水环境的污染便是当下亟需解决的问题,关于水环境污染治理问题也引起众多水环境研究学者的广泛关注。

李延林等^[1]利用综合营养状态指数法及灰色关联分析了腾格里湖水质状况,邓渠成等^[2]利用三角模糊—贝叶斯方法对九洲江水的水体进行了评价,郭晶等^[3]利用不同评价方法对洞庭湖水质进行了分析,张婷等^[4]利用 MIKE21 和灰色模式识别模型探究了洪

收稿日期: 2019-08-04

修回日期: 2019-09-22

资助项目: 国家自然科学基金项目“面向喀斯特区的光学遥感影像超分辨率重建研究”(41661081); 贵州省水利厅项目“基于 GIS 的灌区数字化系统研究: 以云雾灌区为例”(KT201706)

第一作者: 敖成欢(1993—), 男(汉族), 贵州省盘县人, 硕士研究生, 研究方向为地图学与遥感。Email: 912415700@qq.com。

通讯作者: 钟九生(1984—), 男(汉族), 江西省兴国县人, 博士, 副教授, 主要从事地理信息技术及应用。Email: 332476076@qq.com。

湖水质,杨浩等^[5]采用模糊综合评价法对洮河水质进行了研究,上述水质评价方法都能较好的分析出研究区水质现状,但由于水质评价方法较多,在分析不同的水环境时要选择恰当的分析方法进行综合评价,其中灰色关联和模糊评价法就比较常用于水质评价。

当下,水质评价的方法众多,评价的标准体系也尚未统一,而水质评价方法约有二三十种,主要有指数法和不确定方法两大类。而模糊评价法与灰色关联分析法可将自然界中一些边界不清且不容易量化的因素进行定量分析,可针对地表水环境的不确定性进行综合评价。本文通过监测水体 8 项理化参数,利用灰色关联法和模糊评价法建立相应的评价模型,得出该水库水质类别,旨在为相关的水资源管理部门科学开发、利用及保护该水源地提供依据。

1 研究区概况

百花湖位于贵州省贵阳市西北郊,地理位置为 $106^{\circ}27' - 106^{\circ}32'E, 26^{\circ}35' - 26^{\circ}41'N$,夏秋季水温为 $26^{\circ}C$ 左右,冬初在 $10^{\circ}C$ 左右^[6]。属云贵高原乌江支流猫跳河六级开发中的第二级大型人工水库,建成于 1966 年,1987 年被国务院批准为国家级风景名胜区。百花湖长 18 km,平均宽度 0.8 km,流域面积 $1\ 895\ km^2$,湖面面积为 $14.5\ km^2$,最大水深 45 m,平均水深 12.55 m,设计正常高水位 1 195 m,相应库容 $1.82 \times 10^9\ m^3$,发电装机库容 $2.20 \times 10^4\ kW$,湖泊补给系数为 182.2,湖水滞留时间为 $0.102\ a$ ^[7-9]。该水库原始功能为发电、调洪、供水、农业灌溉和养殖,兼具旅游和水上运动等功能,其主要为贵阳市白云水厂、贵州铝厂及朱昌镇的供水,百花湖水库设计供水 $3.10 \times 10^9\ m^3$,水厂断面可供水量 $2.90 \times 10^9\ m^3$,年总供水量为 $2.87 \times 10^7\ m^3$ 。

西南喀斯特生境脆弱^[10]。主要表现为:①西南喀斯特水资源开发利用难度较大,区域储水能力弱:因受该区域特殊的地表地貌影响,地表破碎,多发育峰丛、洼地、洞穴、裂隙、峡谷等地貌类型,地表水渗漏致使储水蓄水能力弱,降水不易在地表长时间储存,加之地下水埋藏较深,储存形式复杂,导致水资源开发利用难度加大。此外,该区域成土过程缓慢,土层薄且不连续分布,土壤涵养水源的能力弱,石漠化严重,植被稀少,地表径流少等原因使得其水资源开发利用难度大。②季节性干旱频发:喀斯特区域拥有特殊的“二元”水循环系统,因其地表地貌复杂多样,多发育着陡峭、破碎地形,导致地表水下渗,地表极难形成持续性的集水区域,且贵州降雨时空分布上的不均匀,长久下去极易造成季节性缺水、干旱频繁。③工

程性缺水问题明显:季节性干旱及地表水下渗严重,必定要修建水利设施以防供水期缺水问题的出现,单因贵州经济发展较为缓慢,复杂的地质地貌条件突出,一些较大水利设施因年久失修,运行能力低,以及小型水利设施供水不足等现象,致使工程性缺水突出。④水环境容易遭受外界破坏、污染,治理不易:西南喀斯特区域矿点、煤点等较多,存在重金属污染现象,某些工农业生产排放的三废,一旦遇见降雨天气,污染物必定会随之汇入河流、湖泊等水环境,引发水污染及富营养化问题,特殊的“二元”水环境系统使地表地下水连通性强,若河流、水库、湖泊等一旦受到污染会很难治理。作为西南地区典型喀斯特区域之一,贵州喀斯特面积广阔,地表崎岖破碎,岩溶分布广泛,碳酸盐岩石出露面积占了全省总面积的 73%^[11],在此地理背景之下,其生态环境较其他非喀区域更为脆弱,且根据《贵阳市城市总体规划》,2020 年将在百花湖周边建成百花新城,如果百花湖周边环境不加以保护,届时百花湖污染将会更为严重^[12]。

2 材料与方法

于 2013—2016 年进行水体表层逐月采样,根据百花湖湖泊形状、湖泊入湖支流分布特点布设 5 个采样点,共涉及溶解氧、高锰酸盐指数、化学需氧量、氨氮、总磷、总氮、氟化物、粪大肠菌群 8 个参数。利用 LocaSpace Viewer 和 ArcGIS10.1 软件确定采样空间轨迹和位置,理化参数的测定标准按照金相灿等(1990)编著的《湖泊富营养化调查规范》(第二版)进行测定。

2.1 研究方法

2.1.1 模糊综合评价法^[13-14]

(1)评价指标选取与执行标准。选取溶解氧、高锰酸盐指数、化学需氧量、氨氮、总磷、总氮、氟化物、粪大肠菌群 8 个理化参数,采用《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)作为评价标准。

(2)模糊综合评价法评价步骤。

①建立因子集。假设影响水质的因子共 i 个,则评价因子集合可表达为 $U = \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_i\}$ 。即集合 $U = \{\text{溶解氧, 高锰酸盐指数, 化学需氧量, 氨氮, 总磷, 总氮, 氟化物, 粪大肠菌群}\}$ 。

②建立评价集。假设评价等级分为 i 个等级,该集合即为 $V = \{v_1, v_2, v_3, \dots, v_i\}$,根据《地表水环境质量标准》^[14]划分标准及百花湖实际情况可将其水质划分为 5 个等级,评价集为 $V = \{I, II, III, IV, V\}$ 。

单因素隶属函数和模糊评价矩阵的建立:由《地表水环境质量标准》^[15]建立各评价因子的隶属函数。

对于溶解氧来说,其数值越大,等级就越低,隶属函数为:

$$r_1 = \begin{cases} 0 & (x \leq S_2) \\ \frac{x - S_2}{S_1 - S_2} & (S_2 < x < S_1) \\ 1 & (x \geq S_1) \end{cases}$$

$$r_j = \begin{cases} \frac{x - S_{j+1}}{S_j - S_{j+1}} & (S_{j+1} \leq x \leq S_j) \\ \frac{S_{j-1} + x}{S_{j-1} - S_j} & (S_j \leq x \leq S_{j-1}) \\ 0 & (x \geq S_{j-1}, x \leq S_{j+1}) \end{cases} \quad (1)$$

$$r_5 = \begin{cases} 1 & (x \leq S_5) \\ \frac{S_4 - x}{S_4 - S_5} & (S_5 < x < S_4) \\ 0 & (x \geq S_4) \end{cases}$$

而数值越大等级越高的其余 7 个参数的隶属函数为:

$$r_1 = \begin{cases} 1 & (x \leq S_1) \\ \frac{S_2 - x}{S_2 - S_1} & (S_1 < x < S_2) \\ 0 & (x \geq S_2) \end{cases}$$

$$r_j = \begin{cases} \frac{x - S_{j-1}}{S_j - S_{j-1}} & (S_{j-1} \leq x \leq S_j) \\ \frac{S_{j+1} - x}{S_{j+1} - S_j} & (S_j \leq x \leq S_{j+1}) \\ 0 & (x \geq S_{j+1}, x \leq S_{j-1}) \end{cases} \quad (2)$$

$$r_5 = \begin{cases} 0 & (x \leq S_4) \\ \frac{x - S_4}{S_5 - S_4} & (S_4 < x < S_5) \\ 1 & (x \geq S_5) \end{cases}$$

根据上述公式建立模糊评价矩阵,即:

$$R = [r_{ij}] = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{14} & r_{15} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & r_{24} & r_{25} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{51} & r_{52} & r_{53} & r_{54} & r_{55} \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中:第 i 行 $R_i = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{im})$, $i=1, \dots, m$, i 为第 i 个评价因子对各级水质标准的隶属度;第 j 列 $R_j = (r_{1j}, r_{2j}, \dots, r_{nj})$, j 为各评价因子对第 j 级水质标准的隶属度。

③权重的确定。

将每个评价因子 U_i 赋予对应权重 $a_i (a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n)$, 得到权重集合 $M(a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n)$, 并且 $\sum_{i=1}^n a_i = 1, i=1, 2, \dots, n$ 。权重利用超标法计算:

$$a_i = c_i / \bar{S}_i, \quad (\bar{S}_i = \frac{1}{k} \sum_j S_{ij}) \quad (4)$$

式中: \bar{S}_i 为各评价标准的平均值、 c_i 为实测浓度值;

a_i 为第 i 个评价因子的权重。 S_{ij} 为第 i 个评价因子在第 j 级中的标准值。 K 为水质评价等级的分级数。

④建立综合评价矩阵。

得出上述权重集和模糊综合评价矩阵,可知综合评价模型:

$$B = M \times R = \{a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n\} \times$$

$$\begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{14} & r_{15} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & r_{24} & r_{25} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{51} & r_{52} & r_{53} & r_{54} & r_{55} \end{bmatrix} \quad (5)$$

计算得出矩阵最大隶属度值所在的对应水质类别即为该监测点的水质类别。

2.1.2 灰色关联评价法^[16-17]

(1) 评价指标选取与执行标准。选取溶解氧、高锰酸盐指数、化学需氧量、氨氮、总磷、总氮、氟化物、粪大肠菌群 8 个参数,采用《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)作为评价标准。

(2) 灰色关联评价法评价步骤。

①标准浓度矩阵和样本矩阵的确定。

假设某研究水域共有 p 个待分级评价的水体断面,各断面又划分出 q 项被评价的单项水质指标,那么可将其排列为一样本矩阵,即:

$$X_{p \times q} = \begin{bmatrix} X_1(1) & \cdots & X_1(q) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ X_p(1) & \cdots & X_p(q) \end{bmatrix} \quad (6)$$

又根据《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)及水体实测数据确定水质标准浓度矩阵,水质污染程度分级记为 m 。既有浓度矩阵

$$S_{m \times n} = \begin{bmatrix} S_1(1) & \cdots & S_1(n) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ S_m(1) & \cdots & S_m(n) \end{bmatrix} \quad (7)$$

②数据归一化处理。使用分段线性公式计算,因涉及到的评价指标有正向指标(指标越大污染越重)和负向指标(指标越大污染越小),所以分两类方法计算。正向指标:

$$M_i(U) = \frac{S_m(U) - S_i(U)}{S_m(U) - S_1(U)} \quad (i=1, 2, \dots, m; U=1, 2, \dots, n) \quad (8)$$

$$N_j(U) = \begin{cases} 1 & [X_j(U) \leq S_1(U)] \\ \frac{S_m(U) - X_j(U)}{S_m(U) - S_1(U)} & [S_i(U) > X_j(U) > S_1(U)] \\ 0 & [X_j(U) \geq S_m(U)] \end{cases} \quad (j=1, 2, \dots, m)$$

负向指标:

$$M_i(U) = \frac{S_i(U) - S_m(U)}{S_1(U) - S_m(U)} \quad (10)$$

$$N_j(U) = \begin{cases} 1 & [X_j(U) \geq S_1(U)] \\ \frac{X_j(U) - S_m(U)}{S_1(U) - S_m(U)} & [S_m(U) < X_j(U) < S_1(U)] \\ 0 & [X_j(U) \leq S_m(U)] \end{cases} \quad (11)$$

③标准浓度矩阵归一化后得到的矩阵。

$$S_{m \times n} = \begin{bmatrix} M_1(1) & \cdots & M_1(n) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ M_m(1) & \cdots & M_m(n) \end{bmatrix} \quad (12)$$

样本矩阵归一化后得到的矩阵为:

$$X_{p \times q} = \begin{bmatrix} N_1(1) & \cdots & N_1(q) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ N_p(1) & \cdots & N_p(q) \end{bmatrix} \quad (13)$$

④计算关联度级关联离散函数。目前有关联离散函数 ξ 极差法与幂函数法^[18], 本文采用极差法计算, 即:

$$\xi_{MN} = \frac{\min_{M,N} \Delta_{MN}(U) + \rho \max_{M,N} \Delta_{MN}(U)}{\Delta_{MN}(U) + \rho \max_{M,N} \Delta_{MN}(U)}$$

式中: $\Delta_{MN}(U) = |M_i(U) - N_j(U)|$; $\min_{M,N} \Delta_{MN}(U)$, $\rho \max_{M,N} \Delta_{MN}(U)$ 为 $\Delta_{MN}(U)$ 的最小值和最大值; ρ 为分辨系数, 一般取 0.5。

关联度 $\Gamma_k = \sum_{U=1}^n \omega(p)(q) \cdot \xi_{MN}$, 式中 $\omega(p)(q)$ 表示断面 p 的第 q 项的权重, 可采用浓度超标加权算法, 即: $\omega(p)(q) = \frac{X(p)(q)/S_Q}{\sum X(p)(q)/S_Q}$, 公式中, $\omega(p)(q)$ 表示监测断面 p 的第 q 项实测值, S_q 为第 q 项指标各类标准限值的平均值, 即有: $S_Q = \frac{1}{T} \sum_{m=1}^T S_{m \times n}$

⑤灰色关联分析法得出结果的评判。灰色关联分析的最终结果应取关联度 (Γ_k) 最大值所对应的分级数。

3 结果与分析

文中选取了溶解氧、高锰酸盐指数、化学需氧量、氨氮、总磷、总氮、氟化物、粪大肠菌群 8 个参数作为评价因子集, 通过月均值进行计算, 并采用《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) 作为评价标准, 表 1 为本文选取的 8 项指标的地表水环境质量标准限值, 表 2—3 为灰色关联法和模糊综合评价法计算得出的结果。

3.1 灰色关联与模糊数学数据分析

由表 2 可知, 百花湖 2013—2016 年湖泊水质整体都达到了标准, 水质较好, 除 2013 年 5 号采样点水质达到 IV 类水质和 2016 年 1 号采样点达到 II 类水质之外, 其余年份的采样点水质均达到 I 类水质, 水质类别变化基本稳定, 从灰色综合值来看, 1—4 号采样点的 I 和 II 类综合值都接近, II 类水质隶属度较大, 水质有从 I 类变为 II 类的可能; 由表 3 可知百花湖 2013—2016 年间水质变化呈现逐年变化的趋势, 除了 2015—2016 年间水质稳定外, 2013—2014 年: 3—5 号采样点水质较差, 这与上游红枫湖下泄水及采样点附近外源径流所带来的营养物质有关, 水质变化起伏较大, 2013—2016 年: 5 号采样点水质都为 V 类水质, 2015 年 1—4 号采样点 V 类水质隶属度较大, 2016 年 1—4 号采样点 IV 类水质隶属度较大; 从图 1 中可以明显得出, 灰色关联法与模糊综合评价法计算出的百花湖水质 (2015—2016) 变化大致一样, 而 2013—2014 年得出的评价结果区别较为明显。但都能大致反应出研究区水质类别, 具有一定的现实借鉴、参考作用。从上述可知: 百花湖整体为 I 类水质, 5 号采样点水质较差, 这与上游红枫湖下泄水带来的水体营养物质有关系, 此外, 由两类得出的隶属度值来看, 百花湖水质有变差的可能, 所以百花湖水质有防治的现实意义。

表 1 地表水环境质量标准

序号	标准限值	I 类	II 类	III 类	IV 类	V 类
1	溶解氧 (\geq)	7.5	6	5	3	2
2	高锰酸盐指数 (\leq)	2	4	6	10	15
3	化学需氧量 (\leq)	15	15	20	30	40
4	氨氮 (\leq)	0.15	0.5	1	1.5	2
5	总磷 (\leq)	0.01	0.025	0.05	0.1	0.2
6	总氮 (\leq)	0.2	0.5	1	1.5	1.5
7	氟化物 (\leq)	1	1	1	1.5	1.5
8	粪大肠菌群 (\leq)	200	2 000	10 000	20 000	40 000

表 2 百花湖水水质灰色关联分析法评价结果

年份	采样点	I 类	II 类	III 类	IV 类	V 类	灰色综合值	评价结果
2013	1 号	0.868	0.771	0.691	0.502	0.383	0.868	I
	2 号	0.862	0.769	0.694	0.500	0.391	0.862	I
	3 号	0.859	0.772	0.693	0.493	0.402	0.859	I
	4 号	0.832	0.758	0.721	0.510	0.415	0.832	I
	5 号	0.667	0.641	0.648	0.686	0.487	0.686	IV
2014	1 号	0.878	0.794	0.687	0.488	0.392	0.878	I
	2 号	0.868	0.782	0.691	0.490	0.400	0.868	I
	3 号	0.871	0.786	0.689	0.488	0.399	0.871	I
	4 号	0.846	0.764	0.710	0.502	0.408	0.846	I
	5 号	0.650	0.616	0.606	0.644	0.522	0.650	I
2015	1 号	0.872	0.836	0.680	0.486	0.378	0.872	I
	2 号	0.899	0.812	0.670	0.484	0.377	0.899	I
	3 号	0.900	0.808	0.666	0.479	0.379	0.900	I
	4 号	0.863	0.765	0.686	0.496	0.396	0.863	I
	5 号	0.724	0.660	0.652	0.604	0.479	0.724	I
2016	1 号	0.845	0.856	0.697	0.507	0.371	0.856	II
	2 号	0.911	0.811	0.666	0.493	0.362	0.911	I
	3 号	0.901	0.811	0.669	0.490	0.368	0.901	I
	4 号	0.866	0.771	0.688	0.511	0.379	0.866	I
	5 号	0.685	0.623	0.595	0.641	0.520	0.685	I

表 3 百花湖水水质模糊综合评价结果

年份	采样点	I 类	II 类	III 类	IV 类	V 类	模糊综合值	评价结果
2013	1 号	0.428	0.085	0.054	0.261	0.172	0.428	I
	2 号	0.419	0.077	0.059	0.182	0.263	0.419	I
	3 号	0.395	0.085	0.051	0.036	0.434	0.434	V
	4 号	0.372	0.065	0.082	0.000	0.480	0.480	V
	5 号	0.092	0.178	0.099	0.145	0.486	0.486	V
2014	1 号	0.435	0.074	0.039	0.064	0.398	0.435	I
	2 号	0.419	0.073	0.039	0.018	0.451	0.451	V
	3 号	0.407	0.076	0.034	0.000	0.483	0.483	V
	4 号	0.375	0.059	0.070	0.000	0.497	0.497	V
	5 号	0.208	0.096	0.053	0.161	0.482	0.482	V
2015	1 号	0.399	0.115	0.000	0.169	0.317	0.399	I
	2 号	0.430	0.090	0.004	0.175	0.301	0.430	I
	3 号	0.411	0.090	0.004	0.114	0.381	0.411	I
	4 号	0.402	0.072	0.054	0.115	0.356	0.402	I
	5 号	0.312	0.052	0.084	0.106	0.446	0.446	V
2016	1 号	0.400	0.191	0.025	0.383	0.000	0.400	I
	2 号	0.465	0.105	0.000	0.420	0.009	0.465	I
	3 号	0.448	0.114	0.004	0.326	0.109	0.448	I
	4 号	0.418	0.114	0.056	0.333	0.079	0.418	I
	5 号	0.287	0.070	0.000	0.217	0.426	0.426	V

如表 4 所示,将本文评价结果与 2017 年百花湖水水质类别比较可知(贵州省 2017 年水资源公报):百花湖 2017 水质总体为 II 类,汛期水质优于非汛期水质,说明水库雨季、排水期水体得到一定的更换,水质

较优,从 2013—2016 年的水质评价结果来看,水质总体优于 2017 年水质,归其原因与评价方法的权重有关,历年总氮、总磷实测值较高,会影响权重的分配比例,从而影响模糊评价法的隶属度与灰关联的关联

度,特别是 5 号采样点各项指标年均值均高于其余采样点,使得评价显示出较差的水质结果。

此外,由于模糊数学法所计算的权重、隶属度矩阵皆由实测水质确定,所以受超标指标的影响较大,也是图 1 中显示出的在 5 号采样点的模糊评价结果

水质较差的原因,而相比灰关联评价法,其实测水质与各级水质的标准是经过归一化处理的,然后经权重矩阵计算参考数列与比较数列,因而评价结果受超标因子的影响较小,所以结果中的灰关联结果较为稳定^[19]。

表 4 2017 年百花湖水质

水源地	全年水质类别	汛期水质	非汛期水质	监测次数	全年水质类别所占次数				
					I	II	III	IV	V
百花湖	III	II	IV	12	0	7	2	2	1

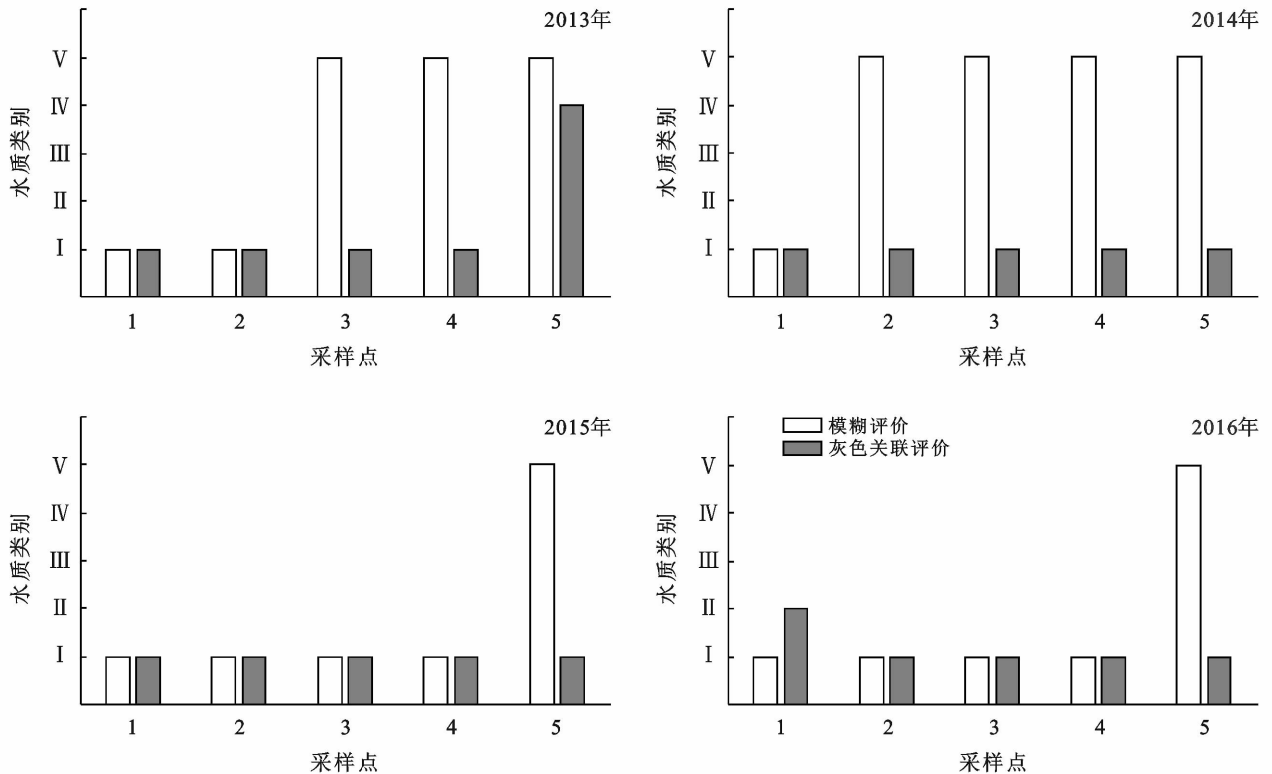


图 1 灰色关联与模糊数学法水质评价结果

由图 2 可知,2013—2016 年贵阳市降雨量分别为 888.3,1 562,1 430.8,1045.8 mm,4 a 间降雨量均值为 1 231.7 mm,1960—2016 年间降雨量均值为 1 112.3 mm,2013—2016 年年降雨量均值高于 1960—2016 年间降雨量均值。2014 年创 57 a 间最大年降雨量,2014—2015 年降雨量均高于历年降雨量均值,而 2012,2016 年降雨量分别低了历年降雨量均值 224,66.5 mm,结合 2017 年水质汛期水质优于非汛期水质,可知降雨量大的年份(丰水期)对水质是有一定影响的,尤其是汛期水质优于非汛期水质,说明百花湖 2013—2016 年间水质较优在一定程度上是受 2013—2016 年间降雨量较大的影响所致。但因采样点分布较为稀疏,某些采样点位于干流出口,会受下泄水体携带的营养物质影响,使水质较差。所以在

分析该湖泊水质时,应考虑上下游间的关系,降雨量只是分析水质优劣的充分条件。

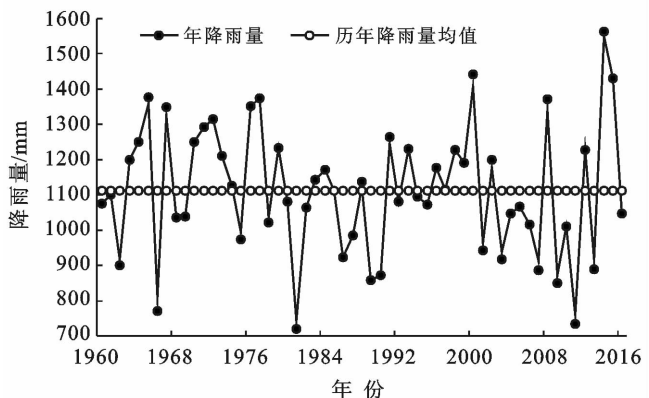


图 2 贵阳市历年降雨趋势

3.2 防护措施

整治之前的百花湖由于采矿业、制造业等不合理运营产生工业废水,农业中大量流失的农药、化肥,未经处理的城镇生活污水,水产养殖遗留的剩余饵料等造成了大量营养物质输入湖泊^[20],但整治后的百花湖水质环境已趋良好。随着经济发展,人类活动加强,且 2020 年将在百花湖周边建成百花新城,若百花湖周边环境不加以保护,防范未然,势必会污染该湖泊,针对该湖未来防治,提出以下治理措施。

(1) 湖周围排入湖区的污水厂产业,要设立达标的污水处理厂,集中净化后排放。

(2) 合理选择种植人工湿地植物,吸收湖底沉积物释放的氮磷元素;有指定的定期清除湿地植物^[20]。

(3) 湖区的生产生活垃圾要定点放置并统一处理,农村厕所生态化(沼气池),进行保护百花湖的宣传教育,制定相关的法律法规。

(4) 形成健康的水循环体系,保护措施应考虑上游地区,河湖同治,全局性的整治。

(5) 湖周围可植树造林,杜绝乱伐乱垦所形成的水土流失,保护湖区生态环境。

(6) 定期检测农业施肥区流入百花湖的河流,对河流中营养物超标现象要及时处理:如加强土地管理,合理使用土地资源;改良作物方式;改进施肥方式、保土耕作、作物轮植等^[21]。

(7) 湖泊治理是“持久战”,应科学的分步骤进行,且湖泊治理应以控制污染源为前提,多种技术并行,保护自然生态特征是湖泊治理的前提^[22]。

4 结论

(1) 百花湖 2013—2016 年水质大致集中在 I, II 类水质,符合饮用水源标准,但历年评价结果表明,百花湖 1—4 号采样点水质的 II 类、IV 类、V 类隶属值都较大,说明百花湖水质有变差的趋势,湖泊水体已经受到了一定污染,这可能与上游地区下泄水及湖泊支流携带的营养物质有关。

(2) 从评价结果可知,灰色关联法得出的水质较好,而模糊数学法评价出的水质较差且波动较大。从 2017 年贵州水资源公报的百花湖水质可得,本文水质评价结果整体优于 2017 年水质,是因评价方法受权重影响,水质结果偏优。且降雨量大的年份,尤其是汛期水质会优于非汛期水质,2013—2016 年年降雨量均值高于 1960—2016 年间降雨量均值,一定程度上亦能说明本文水质较优的原因受降雨量影响。此外,本研究湖面采样点偏少、对注入河流的干支流及水库相关水文数据的缺失等不足使该湖泊水质评

价结果会有失偏颇,这仍是今后需要补强验证的点。

(3) 在水质评价过程中,为减小权重及评价方法对最终水质结果的影响,建议使用多种水质评价法进行对比、分析比较可使结果更为准确,当需知研究区超标污染物情况时,建议使用模糊数学法评价,而对于下游地区的农业灌溉区、开发区等建议使用灰色关联法评价,以便最大化的开发利用水资源。本研究结果仅适于作为百花湖水资源管理、水质评价的参考。

(4) 百花湖水质防治是“持久战”,要做到湖泊自净和科学制定治理措施就必须生物措施和工程措施相结合,该流域治理需全局兼顾,方可还百花湖“一方净水”。

[参 考 文 献]

- [1] 李延林,郑灿,邱小琼,等.宁夏腾格里湖水质及富营养化现状分析与评价[J].科学技术与工程,2019,19(15):309-315.
- [2] 邓渠成,尹娟,许桂苹,等.基于三角模糊数一贝叶斯方法的九洲江水环境质量评价[J].水生态学杂志,2019,40(2):14-19.
- [3] 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.
- [4] 张婷,王学雷,耿军军,等.基于 MIKE21 和灰色模式识别模型的洪湖水水质模拟与评价[J].长江流域资源与环境,2018,27(9):2090-2100.
- [5] 杨浩,张国珍,杨晓妮,等.基于模糊综合评判法的洮河水环境质量评价[J].环境科学与技术,2016,39(S1):380-386,392.
- [6] 夏品华,林陶.百花湖水库后生浮游动物群落结构时空分布特征及水质评价[J].贵州师范大学学报:自然科学版,2018,36(1):45-50,56.
- [7] 廖国华,钟晓,庞增铨.红枫湖、百花湖水污染趋势分析及控制对策[J].地球与环境,2004,32(3):49-52.
- [8] 张杰,胡继伟,黄先飞,等.百花湖表层沉积物磷的化学形态及 pH 值对磷释放的影响[J].贵州师范大学学报:自然科学版,2011,29(3):36-41.
- [9] 王雨春,朱俊,马梅,等.西南峡谷型水库的季节性分层与水质的突发性恶化[J].湖泊科学,2005,17(1):54-60.
- [10] 郭晓娜.西南喀斯特区水资源脆弱性评价[D].重庆:重庆师范大学,2017.
- [11] 钱莉莉,贺中华,梁虹,等.基于降水 Z 指数的贵州省农业干旱时空演化特征[J].贵州师范大学学报:自然科学版,2019,37(1):10-14,19.
- [12] 范富东.百花湖功能调整对贵阳及贵安新区供水的影响[J].内蒙古水利,2017(3):38-39.
- [13] 席文娟,金婧,钱会.改进模糊综合评价法在水质评价中的应用[J].水资源与水工程学报,2012,23(3):25-29.

- [2] 任博. 低影响开发模式在铁路车站中的应用潜力分析[J]. 科技创新导报, 2017, 14(9): 50-51, 53.
- [3] 梁小光, 武治国, 任俊雯. 子汇水区分割对 SWMM 低影响开发模拟的影响研究[J]. 中国给水排水, 2019, 35(6): 1-5.
- [4] 杨偲偲. LID 设施在城市道路设计中的应用[D]. 南京: 东南大学, 2017.
- [5] 朱寒松, 董增川, 曲兆松, 等. 基于 SWMM 模型的城市工业园区低影响开发效果模拟与评估[J]. 水资源保护, 2019, 35(2): 32-36.
- [6] 王静, 林于廉, 何强, 等. 不同雨水控制利用方案下城市暴雨径流效应[J]. 中国给水排水, 2016, 32(1): 100-105.
- [7] 胡爱兵, 任心欣, 裴古中. 采用 SWMM 模拟 LID 市政道路的雨洪控制效果[J]. 中国给水排水, 2015, 31(23): 130-133.
- [8] 张亚洲, 廖伟彪, 李彬. 西北地区基于低影响开发理念的城市雨水花园设计[J]. 草原与草坪, 2017, 37(5): 53-58.
- [9] 熊赞, 李子富, 胡爱兵, 等. 某低影响开发公共建筑雨洪效应的 SWMM 模拟与评估[J]. 给水排水, 2015, 51(S1): 282-285.
- [10] 张亮. 西北地区海绵城市建设路径探索: 以西咸新区为例[J]. 城市规划, 2016, 40(3): 108-112.
- [11] 陈言菲, 李翠梅, 龙浩, 等. 基于 SWMM 的海绵城市与传统措施下水系统优化改造模拟[J]. 水电能源科学, 2016, 34(11): 86-89.
- [12] Kong Fanhua, Ban Yulong, Yin Haiwei, et al. Modeling stormwater management at the city district level in response to changes in land use and low impact development[J]. Environmental Modelling & Software, 2017, 95: 132-142.
- [13] 黄金良, 林杰, 杜鹏飞. 城市降雨径流模拟的参数不确定性分析[J]. 环境科学, 2012, 33(7): 2224-2234.
- [14] 尚蕊玲, 王华, 黄宁俊, 等. 城市新区低影响开发措施的效果模拟与评价[J]. 中国给水排水, 2016, 32(11): 141-146.
- [15] Liao Z L, Zhang G Q, Wu Z H, et al. Combined sewer overflow control with LID based on SWMM: An example in Shanghai, China[J]. Water Science and Technology, 2015, 71(8): 1136-1142.
- [16] 孙继昌, 梁家志, 乐嘉祥. 贯彻实施《水文情报预报规范》努力实现水文情报预报现代化[J]. 水文, 2001, 21(1): 60-63.
- [17] 杨银, 吴红, 张生财. 兰州市暴雨强度公式拟合方法研究[C]//第 34 届中国气象学会年会论文集. 郑州, 2017: 265-272.
- [18] Campisano A, Catania F V, Modica C. Evaluating the SWMM LID Editor rain barrel option for the estimation of retention potential of rainwater harvesting systems[J]. Urban Water Journal, 2017, 14(8): 876-881.
- [19] 戴有学, 王振华, 戴临栋, 等. 芝加哥雨型法在短历时暴雨雨型设计中的应用[J]. 干旱气象, 2017, 35(6): 1061-1069.
- [20] 张曼, 周可可, 张婷, 等. 城市典型 LID 措施水文效应及雨洪控制效果分析[J]. 水力发电学报, 2019, 38(5): 57-71.
- [21] 杨钢, 徐宗学, 赵刚, 等. 基于 SWMM 模型的北京大红门排水区雨洪模拟及 LID 效果评价[J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2018, 54(5): 628-634.
- [22] 潘文斌, 柯锦燕, 郑鹏, 等. 低影响开发对城市内涝节点雨洪控制效果研究: 不同降雨特性下的情景模拟[J]. 中国环境科学, 2018, 38(7): 2555-2563.

(上接第 122 页)

- [14] 谭洪涛, 王彬, 朱琳, 等. 基于模糊综合评价法的涪江绵阳段水环境质量评价[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(9): 70-72, 93.
- [15] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会发布. GB12358-2006 作业场所环境气体检测报警仪 通用技术要求[M]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [16] 廖亮, 罗亭. 灰关联分析在南湖水水质评价中的应用研究[J]. 地下空间与工程学报, 2015, 11(1): 229-234.
- [17] 于福荣, 刘中培, 李俊. 灰关联分析法和模糊综合评判法在水库水质评价中的应用[J]. 水文, 2012, 32(4): 67-70.
- [18] 刘思峰. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [19] 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.
- [20] 杨飞, 支崇远. 喀斯特高原地区人工湖泊富营养化治理初探: 以红枫湖、百花湖为例[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(9): 4181-4183, 4194.
- [21] 黄钰铃, 惠二青, 刘德富. 河道型水库库湾水体富营养化评价及防治初探[J]. 人民长江, 2006, 37(4): 16-17, 49.
- [22] 宋菲菲, 胡小贞, 金相灿, 等. 国外不同类型湖泊治理思路分析与启示[J]. 环境工程技术学报, 2013, 3(2): 156-162.