

监测与评价

基于层次分析法的香溪河库湾水质综合评价

沈君坤¹, 纪道斌¹, 崔玉洁², 范绪敏¹

(1.三峡大学水利与环境学院, 湖北 宜昌 443002; 2.武汉大学水利水电学院,
湖北 武汉 430072)

摘要:三峡水库自2003年蓄水以来,库区支流水体污染和富营养化问题较为严重。以香溪河库湾为例,对该库湾的5个重要监测断面开展了为期1年的采样实验,从而了解香溪河库湾水质现状。应用层次分析法(AHP)通过对一年四季和TN、TP、Chl.a、CODMn、SD共5项检测指标进行水质综合评价。结果显示:2014年香溪河库湾平均水质现状为污染状态,呈富营养,库湾上游与河口污染程度较中游稍严重,AHP分析结果与监测情况基本相符。该结果表明AHP法应用于香溪河库湾水质评价行之有效,在三峡水库具有重要应用价值。此外,香溪河库湾目前水质虽然达到总体规划的一类水质目标,但有恶化的趋势,因此需做好长期生态监测研究,改善水质。

关键词:香溪河库湾;层次分析法;水质评价

中图分类号:X82

文献标识码:B

文章编号:1006-8759(2017)01-0059-06

ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS(AHP) EVALUATION OF WATER QUALITY IN XIANGXI BAY

SHEN Jun-kun¹, JI Dao-bin¹, CUI Yu-jie², FAN Xu-min¹

(1.College of Hydraulic and Environmental Engineering, China Three Gorges University,
Yichang 443002, China; 2.College of Water Resources and Hydropower, Wuhan University,
Wuhan 430072; 3.College of Resources and Environment, Hubei University of Technology,
Wuhan 430068, China)

Abstract: Since the impoundment of the Three Gorges reservoir in 2003, water pollution and eutrophication have been more serious in tributaries. In an effort to grasp the water quality of Xiangxi Bay that is taken as an example, the Bay is divided into five monitoring sections, conducting one-year sampling experiments. This research is based on Analytical Hierarchy Process (AHP) and evaluate water quality by four seasons as well as five physicochemical indexes: water quality variables-total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), chlorophyll a, chemical oxygen demand (CODMn) and secchi depth (SD) respectively. The result shows that water in Xiangxi Bay is contaminated and in eutrophic conditions. The situation in upstream and estuary is more serious. AHP is basically consistent with the actual results of the analysis. The study also reflects that AHP as a water quality comprehensive assessment is worth a lot of value in Three Gorges Reservoir; the water quality in Xiangxi Bay at present reaches the goal of grade I, but it is apt to deteriorate. Therefore, a long-term ecological monitoring research to improve water quality is expected.

Key words: Xiangxi Bay; analytical hierarchy process; water quality assessment

三峡水库蓄水后,原自然流态河流形成新型大型深水湖库型水体,水体流速减缓,营养污染物滞留富集,水体环境发生根本性变化。其各支流库湾近乎于静态水流致使其富营养化严重,水华频发。以香溪河库湾为例,蓄水后连续多次暴发水华,水质污染较为严重,如2004年2~4月和6~7月分别暴发了以甲藻、小环藻和隐藻门红包藻为主要种类的水华^[1];2008年6~8月,库湾暴发了严重的以蓝藻、绿藻为主要藻种的水华^[2];2011年秋季库湾暴发了持续时间较长的硅藻水华^[3],且水华藻种由河流型甲藻、硅藻向湖泊型蓝绿藻演替,持续监测评价库湾水质状况成为广大学者关注的重要课题。

水环境是多种污染因素共同作用的复杂生态系统^[4],基于单一污染因子的监测评价快速方便,利于确定主要污染因子,但在综合水质评价上具有不准确性和局限性^[5]。为了准确表达河流水质情况,需在大量生态调查的基础上,选用科学的评价方法对其客观分析评价。目前围绕水质评价已开展大量工作,杜富芝运用BP神经网络对三峡库区嘉陵江的次级支流流域进行水质综合评价,认为此方法避免了在权重和隶属函数人为主观因素的干扰,评价结果合理准确^[6],但此方法网络结构的选择一般只能由经验选定。刘琰采用水污染指数法对湘江进行了水质定量评价,认为此方法在评价劣类水体具有较好的优势^[7],但该方法没有考虑不同污染指标对水质影响的程度,具有一定局限性。美国学者T.L.Saaty在20世纪70年代创立了一种处理复杂的经济、社会、科学技术等问题的方法——层次分析法(AHP)^[8],该方法具有丰富的理论内容,且表达形式简单易懂。在运用的过程中,能够有效解决定量和定性统一的问题,且所得结果简单明确,故将AHP应用于环境质量评价具有简易、实用的特点^[9]。

本研究在广泛深入的科学监测、实验基础上,采用层次分析法对三峡水库香溪河库湾2014年全年不同断面进行水质综合评价,为污染防控提供理论支持。

1 研究方法

1.1 野外监测

1.1.1 采样点布设

香溪河发源于鄂西神农架林区,是三峡库区

湖北省境内的最大支流,河流由北向南,在秭归香溪汇入水库干流。香溪河干流长94 km,流域面积3 099 km²,流域范围110°25′~111°06′E、30°57′~31°34′N,属亚热带大陆性季风气候。由于支流交汇河口处向上游约26~40 km,水流速度减缓成为类似湖泊水体,此区域形成了香溪河库湾。基于香溪河水生态与环境野外原位观测站,沿河道中泓线设置5个样点,间距约6 km,从交汇河口到上游依次记为XX00、XX02、XX04、XX06、XX08,见图1。

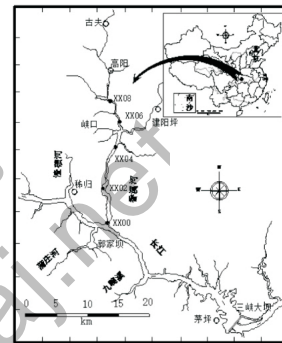


图1 香溪河库湾采样点分布示意

1.1.2 样品采集与测定

在2014年固定时间逐月对香溪河库湾5个主要断面进行监测。监测指标主要有:透明度(SD)、总磷(TP)、总氮(TN)、化学耗氧量(COD_{Mn})、叶绿素a浓度(Chl-a)等。

表1 香溪河各水质指标检测结果

采样点	采样时间	TN (mg/L)	TP (mg/L)	Chl-a (mg/L)	COD _{Mn} (ml/L)	透明度 (SD)(m)
XX00	春季	2.325	0.195	0.001	1.60	2.3
	夏季	2.304	0.62	0.013	2.00	0.8
	秋季	2.011	0.082	0.002	1.98	0.9
	冬季	2.279	0.149	0.003	1.37	3.5
XX02	春季	1.95	0.12	0.051	2.32	0.9
	夏季	2.107	0.067	0.023	1.89	0.8
	秋季	1.536	0.068	0.003	1.68	1.2
XX04	冬季	2.395	0.147	0.002	1.30	2.0
	春季	1.812	0.164	0.047	1.84	1.2
	夏季	2.072	0.077	0.023	1.48	0.8
XX06	秋季	1.493	0.078	0.001	1.71	1.1
	冬季	2.014	0.151	0.001	1.09	1.8
	春季	2.391	0.221	0.013	1.47	2.0
	夏季	2.377	0.120	0.021	1.81	0.9
XX08	秋季	1.510	0.085	0.003	2.10	1.2
	冬季	2.172	0.101	0.002	1.66	2.1
	春季	1.653	0.258	0.060	1.50	1.1
	夏季	2.339	0.198	0.109	2.9	0.6
Cs	秋季	1.425	0.144	0.002	1.82	1.2
	冬季	2.177	0.145	0.004	1.46	2.0
	全年平均	7.000	1.200	10.000	18.00	0.12

透明度(SD)采用萨氏盘(Secchi Disc)现场测定,总磷(TP)、总氮(TN)、化学耗氧量(CODMn)、叶绿素 a 浓度(Chl-a)参照 2002 年《水和废水监测分析方法(第 4 版)》^[10]和《湖泊生态调查观测与分析》^[11]测定。

1.1.3 指标实际监测结果

由一年的野外实际监测及实验所得各指标监测结果如表 1 所示。

1.2 层次分析法

层次分析法(AHP)是一种多目标决策方法,针对问题不同的组成因素及因素间相互存在的关系,建立完善的递阶层次结构;由专家对准则层进行客观评价,即准则层的各元素相对于目标层的重要性进行两两比较,构造准则层判断矩阵;由该层判断矩阵计算指标层各元素相对该层各因子的权重^[12]。利用求特征值的方法确定各环境因子重要权重^[13],再根据综合权重按最大权重原则来确定水相应污染程度。

1.2.1 构建递阶层次结构模型

用层次分析法来确定水环境评价中各环境因子的权重时,首先需要构造综合评价的递阶层次结构图,见图 2

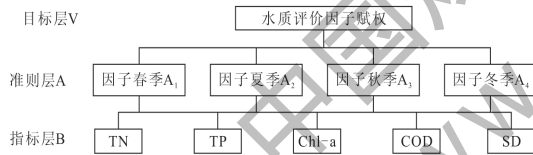


图 2 水质综合评价递阶层次结构

1.2.2 建立判断矩阵

V-A 层(准则层)判断矩阵

考虑到季节在综合评价中的重要性,本研究采用四季为准则层来确定它们之间的权重,依据比较标度法^[9](见表 2),根据野外观测站长期监测表明,香溪河春夏季暴发水华频率和持续时间均比秋冬要高,定义春夏季同等重要,秋冬季同等重要,且春夏季较秋冬季稍微重要,于是可得 V-A 层判断矩阵

$$A = \begin{bmatrix} A_1 & A_2 & A_3 & A_4 \\ 1 & 1 & 3 & 3 \\ 1 & 1 & 3 & 3 \\ 1/3 & 1/3 & 1 & 1 \\ 1/3 & 1/3 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

表 2 判断矩阵标度及其含义

标度	含 义
1	两个因素同等重要
3	两个因素相比,一个比另一个稍微重要
5	两个因素相比,一个比另一个明显重要
7	两个因素相比,一个比另一个强烈重要
9	两个因素相比,一个比另一个极端重要
2,4,6,8	上述两相邻判断的中值
以上数值的倒数	因素 p_i 与 p_j 比较。得到判断矩阵的元素 b_{ij} , 则因素 p_j 与 p_i 比较的判断值 $b_{ji}=1/b_{ij}$

A-B(指标层)判断矩阵

该层的矩阵元素 b_{ij} 确定如下:

将四条准则 A_1, A_2, A_3, A_4 下的各指标监测实验值(见表 2)用分指数公式标准化:

$$\beta_{ij} = C_{ij} / C_{sj} \quad (1)$$

由于透明度(SD)标准化值越小表示水质越好,故需要转化成反向指标,因此用指标允许的最大值(C_s)除以指标实验值,其中 C_{ij} 是第 A_i 条准则下第 j 个指标的监测值,取每个季节的均值, C_{sj} 是第 j 个指标的最大允许浓度值。

对于每条准则下

$$\beta_{it} = \max\{\beta_{ij} \mid j=1, 2, \dots, 5\}, i=1, 2, 3, 4$$

$$\beta_{it} = \min\{\beta_{ij} \mid j=1, 2, \dots, 5\}, i=1, 2, 3, 4$$

计算 $\Delta_i = (\beta_{it} - \beta_{it}) / 9 \quad (2)$

设 $\gamma_{st} = \frac{\beta_s - \beta_t}{\Delta_i} (s, t=1, 2, \dots, 5) \quad (3)$

对于任意的 β_s 与 β_t 相比,其判断矩阵元素 b_{st}

表 3 香溪河各水质指标检测结果标准化值

采样点	采样时间	TN (mg/L)	TP (mg/L)	Chl-a (mg/L)	COD _{Mn} (ml/L)	透明度 (SD)(m)
XX00	春季	0.3321	0.1625	0.0001	0.0889	0.0522
	夏季	0.3292	0.0516	0.0013	0.1111	0.1500
	秋季	0.2872	0.0682	0.0002	0.1100	0.133
	冬季	0.3256	0.1242	0.0003	0.0763	0.034
XX02	春季	0.2789	0.1021	0.0051	0.1291	0.1333
	夏季	0.3009	0.0560	0.0023	0.1048	0.1565
	秋季	0.2194	0.0566	0.0003	0.0935	0.1000
	冬季	0.3421	0.1225	0.0002	0.0724	0.0615
XX04	春季	0.2589	0.1364	0.0047	0.1023	0.1043
	夏季	0.2960	0.0646	0.0023	0.0821	0.1565
	秋季	0.2133	0.0650	0.0001	0.0948	0.1091
	冬季	0.2877	0.1262	0.0001	0.0606	0.0686
XX06	春季	0.3416	0.1838	0.0013	0.0816	0.0600
	夏季	0.3395	0.0998	0.0021	0.1003	0.1385
	秋季	0.2157	0.0712	0.0003	0.1165	0.1043
	冬季	0.3102	0.0846	0.0002	0.0920	0.0585
XX08	春季	0.2362	0.2151	0.0060	0.0834	0.1443
	夏季	0.3341	0.1651	0.0109	0.1548	0.2118
	秋季	0.2036	0.1200	0.0002	0.1010	0.1000
	冬季	0.3110	0.1205	0.0004	0.0808	0.0615
C _s		7	1.200	10.000	18.00	0.12

由以下方法确定:

$$\begin{aligned} & \text{当 } |r_{st}| < 1 && \text{取 } b_{st} = 1 \\ & \text{当 } r_{st} > 1 && \text{取 } b_{st} = r_{st} \\ & \text{当 } r_{st} < -1 && \text{取 } b_{st} = -1/r_{st} \\ & \text{此外 } b_{st} = 1/b_{ts}, \quad b_{ss} = 1 \end{aligned} \quad (4)$$

按公式(1)得相应的各监测指标检测结果的标准化值如表 3 所示。

求解特征值和特征向量

本研究采用方根法求解矩阵特征值与特征向量,其计算步骤如下:

计算判断矩阵每一行元素的乘积 M_i :

$$M_i = \prod_{j=1}^n b_{ij}, i=1,2,\dots,n \quad (5)$$

计算 M_i 的 n 次方根 \bar{W}_i

$$\bar{W}_i = \sqrt[n]{M_i} \quad (6)$$

对向量 $\bar{W}=[\bar{W}_1 \ \bar{W}_2 \ \dots \ \bar{W}_n]$ 正规化,即

$$W_i = \frac{\bar{W}_i}{\sum_{i=1}^n \bar{W}_i} \quad (7)$$

则 $W=[W_1 \ W_2 \ \dots \ W_n]$ 即为所求的特征向量。

计算判断矩阵的最大特征跟 γ_{max}

$$\gamma_{max} = \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{nW_i} \quad (8)$$

式中 $(AW)_i$ 表示向量 AW 的第 i 个元素。

1.2.3 一致性检验

判断标准为:

$$CI = \frac{\gamma_{max} - n}{n-1} \quad CR = \frac{CI}{RI} \quad (9)$$

式中, n 表示判断矩阵的阶数, RI 为平均一致性指标,其标准^[9](见表 4)。

表 4 平均一致性指标

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

当 $CI < 0.1$ 时,判断矩阵具有满意的一致性,否则需要对判断矩阵进行调整。

1.2.4 水环境质量的综合评价指数计算

以 XX00 为例,设 V_A 是判断矩阵特征向量, V_{B1} 是 XX00 采样点 4×5 的标准化值对应的矩阵, V_{C1} 是 XX00 采样点 4 个判断矩阵的最大特征值对应的特征向量组成的 4×5 矩阵。综合评价指数

$$PI = \sum_{i=1}^4 (V_{B1i}) \times (V_{C1i})^T \times V_{Ai} \quad (10)$$

公式中: V_{B1i} 、 V_{C1i} 分别表示 V_{B1} 、 V_{C1} 的行向量, V_{Ai} 表示 V_A 的元素。具体评价标准根据水质分级标准^[9],如表 5 所示。

表 5 水质的分级标准

级别	PI < 0.10	< 0.24	< 0.38	< 0.50	< 0.70	< 0.90	> 0.90
标准	最清洁	清洁	尚清洁	轻污染	污染	重污染	严重污染

2 结果与分析

2.1 水环境现状监测结果

从多项指标值与水质营养状态划分标准来分析,许多评价指标已经达到富营养水平之上。本研究选用 Carlson^[14]提出经 Aizaki^[15]修订的营养状态指数法 TSIM 法,针对库湾的富营养状况进行评价,并对评价指标采用加权平均处理^[16],此方法应用于三峡水库已经得到较好的验证和评价结果^[1],其计算公式为:

$$TSI_M(chl.a) = 10 \times (2.46 + 1n(chl.a)/1n2.5)$$

$$TSI_M(TP) = 10 \times (2.46 + (6.71 + 1.151n(TP))/1n2.5)$$

$$TSI_M(SD) = 10 \times (2.46 + (3.69 - 1.531n(SD))/1n2.5)$$

$$TSI_M = W(chl.a) \times TSI_M(chl.a) + W(TP) \times TSI_M(TP) + W(SD) \times TSI_M(SD)$$

其中, TSI_M 为综合营养状态指数, $W(X)$ 为上述三参数的权重,分别为: $(chl.a, TP, SD) = (0.540, 0.163, 0.297)$ 。评价标准为: $TSI_M < 37$ 为贫营养, $37 \leq TSI_M < 53$ 为中营养, $TSI_M \geq 53$ 为富营养^[1]。根据香溪河库湾 2014 年野外监测结果(见表 2),求得香溪河库湾水体 TSIM 计算结果为 60.12,属于富营养状态。这与张平等^[17]运用模糊数学与综合营养状态指数在香溪河库湾的研究结果类似。

2.2 权重系数及其综合评价指数

根据公式(2)、(3)、(4),计算出准则层判断矩阵 A 的最大特征值对应的特征向量 $V_A = [0.6708 \ 0.6708 \ 0.2236 \ 0.2236]$

XX00 的标准化矩阵 V_{B1} 为:

$$V_{B1} = \begin{bmatrix} 0.3321 & 0.4127 & 0.0001 & 0.0889 & 0.0522 \\ 0.3292 & 0.0516 & 0.0013 & 0.1111 & 0.1500 \\ 0.2872 & 0.0682 & 0.0002 & 0.1100 & 0.1333 \\ 0.3256 & 0.1242 & 0.0003 & 0.0763 & 0.0343 \end{bmatrix}$$

由公式(2)、(3)、(4)得 A-B 层的 XX00 的 4 个判断矩阵的特征向量,并用矩阵形式表达为 V_{C1} :

$$V_{C1} = \begin{bmatrix} 0.9204 & 0.3204 & 0.0957 & 0.1574 & 0.1275 \\ 0.9417 & 0.1066 & 0.0749 & 0.1926 & 0.2431 \\ 0.9380 & 0.1360 & 0.0696 & 0.2020 & 0.2366 \\ 0.9535 & 0.2253 & 0.0848 & 0.1489 & 0.1034 \end{bmatrix}$$

它表示各指标在各个季节上的权重系数。

利用公式(8)、(9),得 XX00 的 4 个判断矩阵 CR<0.1,判断矩阵均具有好的一致性。

根据公式(10)计算得 XX00 的综合评价指数 PI,PI=0.71

根据水质分级标准^[9](见表 5),XX00 采样点的水质属于重污染状态。而根据“地表水环境质量标准 GB3838-2002”,从单项指标来看,总氮(TN)指标属于劣类水质标准,总磷(TP)属于类水质标准。评价结果也基本与实际监测情况相符。

与 XX00 的计算过程相同,XX02、XX04、XX06、XX08 的结果如下:

XX02 的标准化矩阵 V_{B2} 为:

$$V_{B2} = \begin{bmatrix} 0.2789 & 0.1021 & 0.0051 & 0.1291 & 0.1333 \\ 0.3009 & 0.0560 & 0.0023 & 0.1048 & 0.1565 \\ 0.2194 & 0.0566 & 0.0003 & 0.0935 & 0.1000 \\ 0.3421 & 0.1225 & 0.0002 & 0.0724 & 0.0615 \end{bmatrix}$$

XX02 的 4 个判断矩阵的特征向量组成的特征向量矩阵 V_{C2} :

$$V_{C2} = \begin{bmatrix} 0.9308 & 0.1940 & 0.0655 & 0.2122 & 0.2161 \\ 0.9313 & 0.1129 & 0.0720 & 0.1795 & 0.2874 \\ 0.9357 & 0.1399 & 0.0681 & 0.2173 & 0.2303 \\ 0.9567 & 0.2032 & 0.0804 & 0.1415 & 0.1305 \end{bmatrix}$$

XX02 的 4 个判断矩阵 CR<0.1,判断矩阵均具有好的一致性。

根据公式(10)计算得 XX02 的综合评价指数 PI,PI=0.60

根据水质分级标准^[9](见表 5),XX02 采样点的水质属于污染状态。根据现场实际监测得知,XX02 分别在春季和夏季暴发水华,秋季水体虽然没有暴发水华,但水体透明度较低,营养盐含量较高,有暴发水华的趋势,且 XX02 距离河口较近,仅 6 km 受长江干流水体倒灌影响明显^[18],其总体水质与 XX00 类似也属正常。

XX04 的标准化矩阵 V_{B3} :

$$V_{B3} = \begin{bmatrix} 0.2589 & 0.1364 & 0.0047 & 0.1023 & 0.1043 \\ 0.2960 & 0.0646 & 0.0023 & 0.0821 & 0.1565 \\ 0.2133 & 0.0650 & 0.0001 & 0.0948 & 0.1091 \\ 0.2877 & 0.1262 & 0.0001 & 0.0606 & 0.0686 \end{bmatrix}$$

XX04 的 4 个判断矩阵的特征向量组成的特征向量矩阵 V_{C3} :

$$V_{C3} = \begin{bmatrix} 0.9284 & 0.2395 & 0.0653 & 0.1935 & 0.1973 \\ 0.9303 & 0.1274 & 0.0718 & 0.1421 & 0.3048 \\ 0.9269 & 0.1568 & 0.0662 & 0.2203 & 0.2517 \\ 0.9461 & 0.2488 & 0.0751 & 0.1325 & 0.1405 \end{bmatrix}$$

XX04 的 4 个判断矩阵 CR<0.1,判断矩阵均具有好的一致性。

根据公式(10)计算得 XX04 的综合评价指数 PI,PI=0.57

根据水质分级标准^[9](见表 5),XX04 采样点的水质属于污染状态。

XX06 的标准化矩阵 V_{B4} :

$$V_{B4} = \begin{bmatrix} 0.3416 & 0.1838 & 0.0013 & 0.0816 & 0.0600 \\ 0.3395 & 0.0998 & 0.0021 & 0.1003 & 0.1385 \\ 0.2157 & 0.0712 & 0.0003 & 0.1165 & 0.1043 \\ 0.3102 & 0.0846 & 0.0002 & 0.0920 & 0.0585 \end{bmatrix}$$

XX06 的 4 个判断矩阵的特征向量组成的特征向量矩阵 V_{C4} :

$$V_{C4} = \begin{bmatrix} 0.9274 & 0.3226 & 0.0750 & 0.1300 & 0.1153 \\ 0.9480 & 0.1724 & 0.0710 & 0.1709 & 0.1929 \\ 0.9190 & 0.1603 & 0.0648 & 0.2637 & 0.2365 \\ 0.9588 & 0.1608 & 0.0790 & 0.1651 & 0.1459 \end{bmatrix}$$

XX06 的 4 个判断矩阵 CR<0.1,判断矩阵均具有好的一致性。

根据公式(10)计算得 XX06 的综合评价指数 PI,PI=0.66

根据水质分级标准^[9](见表 5),XX06 采样点的水质属于污染状态。

XX08 的标准化矩阵 V_{B5} :

$$V_{B5} = \begin{bmatrix} 0.2362 & 0.2151 & 0.0060 & 0.0834 & 0.1143 \\ 0.3341 & 0.1651 & 0.0109 & 0.1548 & 0.2118 \\ 0.2036 & 0.1200 & 0.0002 & 0.1010 & 0.1000 \\ 0.3110 & 0.1205 & 0.0004 & 0.0808 & 0.0615 \end{bmatrix}$$

XX08 的 4 个判断矩阵的特征向量组成的特征向量矩阵 V_{C5} :

$$V_{C5} = \begin{bmatrix} 0.7171 & 0.6543 & 0.0613 & 0.1430 & 0.1832 \\ 0.9014 & 0.2213 & 0.0631 & 0.2073 & 0.3026 \\ 0.9035 & 0.2578 & 0.0627 & 0.2385 & 0.2376 \\ 0.9527 & 0.2092 & 0.0763 & 0.1571 & 0.1347 \end{bmatrix}$$

XX08 的 4 个判断矩阵 CR<0.1,判断矩阵均具有好的一致性。

根据公式(10)计算得 XX08 的综合评价指数 PI, PI=0.66

根据水质分级标准^[9]见表 5, XX08 采样点的水质属于污染状态。其主要原因受到上游磷矿的开发及兴山老县城昭君镇、古夫镇生活污水的影响较为严重^[19-20]。

虽然 XX02、XX04、XX06、XX08 都处于污染状态,但 XX02、XX04 污染程度低于 XX06、XX08,由表 1 知,XX06、XX08 全年总磷(TP)的含量高于 XX02、XX04,这是由于香溪河流域上游富含磷矿,磷含量分布在香溪河库湾形成从上游向下游逐渐递减的趋势在诸多研究中也得到验证。XX04 样点在库湾评价中综合评价指数最小,污染程度最轻,分析其原因为 XX04 位于香溪河中游阶段,受长江干流倒灌影响和香溪河上游来流影响均较小,且周边山区都为林区用地,农业面源污染较小。这与周淑婵^[21]等运用轮虫多样性指数评价香溪河库湾水质得到相似结论。

3 结论

本研究采用层次分析法对香溪河 2014 年 5 个断面进行水质评价,评价结果反映了香溪河库湾 2014 年全年处于污染状态,且库湾上游与干支流交汇处污染情势相对严重,中游污染程度较低。运用修订的综合营养状态指数法,得到香溪河库湾年均属于富营养状态,水华暴发的风险较高,该结果与水华暴发严重程度相符。

层次分析法综合了多种指标与因素,囊括了较多的评价信息,所得结果准确地表明了实际的水质状况,具有很好的应用前景,值得推广使用。以 XX06 为例说明,化学耗氧量(CODMn)春夏冬为 Ⅲ级标准,秋季为 Ⅳ级标准;总磷(TP)春季为 Ⅲ级,夏冬为 Ⅳ级,秋为 Ⅴ级;总氮(TN)为 Ⅳ级,叶绿素(chl-a)春夏为富营养,秋为中营养,冬为贫营养;透明度(SD)春夏秋为富营养,冬为中营养;各指标在级别上表现为参差不齐,很难从单指标判定水质的总体情况。但大部分检测指标属于 Ⅲ级标准,AHP 分析水质属于污染状态,与实际相符,也反映了综合评价方法比单指标分别评价更加合理、准确,应用范围更加广泛。

层次分析法在三峡水库支流香溪河库湾水质评价是可行的,下一步可以将此方法应用到库区

其他典型支流,验证其是否具有一般特性,有助于三峡水库整体的水质评价规范的完善。

参考文献

- [1] 蔡庆华, 胡征宇. 三峡水库富营养化问题与对策研究 [J]. 水生生物学报, 2006, 30(01): 7-11.
- [2] 王岚, 蔡庆华, 张敏, 等. 三峡水库香溪河库湾夏季藻类水华的时空动态及其影响因素[J]. 应用生态学报, 2009, (08): 1940-1946.
- [3] 刘德富, 黄钰铃, 纪道斌, 等. 三峡水库支流水华与生态调度 [M]. 中国水利水电出版社, 2013:25-26.
- [4] 卢文喜, 李迪, 张蕾, 等. 基于层次分析法的模糊综合评价在水质评价中的应用[J]. 节水灌溉, 2011, (03): 43-46.
- [5] 安乐生, 赵全升, 刘贯群, 等. 代表性水质评价方法的比较研究 [J]. 中国环境监测, 2010, 26(5): 47-50.
- [6] 杜富芝, 傅瓦利, 杜小红, 等. 基于 BP 神经网络的三峡库区小流域水质评价[J]. 节水灌溉, 2009, (1): 8-10.
- [7] 刘璇, 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.
- [8] T L Saaty, J.P Bennett. A theory of analytical hierarchies applied to political candidacy[J]. Behavioral Science, 1977, 22(4): 237-245.
- [9] 李祚泳, 丁晶, 彭荔红. 环境质量评价原理与方法 [M]. 化学工业出版社, 2004.
- [10] 复盛. 国家环境保护总局, 水和废水监测分析方法编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 中国环境科学出版社, 2002.
- [11] 黄祥飞, 鸿烈, 光菘. 湖泊生态调查观测与分析[M]. 中国标准出版社, 2000.
- [12] 万年峰, 蒋杰贤, 徐建祥, 等. 层次分析法在上海市农田有害生物治理中的应用[J]. 生态学报, 2005, 25(11): 2997-3002.
- [13] 庞振涛, 常红军, 李玉英, 等. 层次分析法对南水北调中线水源区的水质评价[J]. 生态学报, 2008, 28(4): 1810-1819.
- [14] Robert E Carlson. A trophic state index for lakes I[J]. Limnology and oceanography, 1977, 22(2): 361-369.
- [15] Aizaki M. Application of modified Carlson's trophic state index to Japanese lakes and its relationships to other parameters related to trophic state (in Japanese with English summary)[J]. Res Rep Natl Inst Environ Stud Jpn, 1981, 23: 13-31.
- [16] 蔡庆华. 湖泊富营养化综合评价方法 [J]. 湖泊科学, 1997, 9(1): 89-94.
- [17] 张平, 黄钰铃, 陈媛媛, 等. 模糊数学在香溪河库湾富营养化评价中的应用[J]. 环境科学与技术, 2012, 35(6).
- [18] 张宇, 刘德富, 纪道斌, 等. 干流倒灌异重流对香溪河库湾营养盐的补给作用[J]. 环境科学, 2012, 33(8): 2621-2627.
- [19] 聂小倩, 郭强, 李晓玲, 等. 香溪河消落区及上缘土壤磷素的时空分布特征[J]. 环境科学与技术, 2014(11):7-14.
- [20] 冉桂花, 葛继稳, 苗文杰, 等. 三峡库区古夫河水质时空分异特征[J]. 生态学报, 2013, 33(17):5385-5396.
- [21] 周淑婵, 黄祥飞, 唐涛, 等. 香溪河库湾轮虫现状及水质评价初探[J]. 水生生物学报, 2006, 30(1):52-57.