基于组合赋权贝叶斯模型的平寨水库水质评价

李韶慧[1,2], 周忠发[1,2], 但雨生[1,2], 尹林江[1,2]

(1. 贵州师范大学 喀斯特研究院/地理与环境科学学院, 贵州 贵阳 550001;
2. 贵州省喀斯特山地生态环境国家重点实验室培育基地, 贵州 贵阳 550001)

摘 要: [目的] 对黔中水利枢纽的一期工程的核心水源工程——平寨水库的水环境质量进行评价,为该水库水环境质量评价及科学管理提供科学参考。[方法] 于 2018 年 1,5,8 月选取了平寨水库 7 个断面进行水样采集,选择溶解氧(DO),化学需氧量(COD),总氮(TN),氨氮(NH_3-N)这 4 个因子作为水质评价指标。在层次分析法和熵权法组合确定各评价指标权重的基础上,结合贝叶斯模型对平寨水库进行水质评价。[结果] ①从组合权重来看,TN 和 COD 对平寨水库水质影响较大,DO 和 NH_3-N 影响较小。②平寨水库丰水期水质最好,其次为枯水期,最次为平水期;各断面中库区中心 1(KQ1)、库区中心 2(KQ2)以及纳雍河断面(NY)水质最差。③TN 和 COD 是平寨水库的主要污染因子。[结论] 基于组合赋权贝叶斯模型的水质评价方法不仅区分了各评价因子对水质贡献的差异性,同时对水质进行了较为精确的评价。整体而言,平寨水库水质状况达到了贵州省水功能区划的相应要求。

关键词: 组合赋权; 贝叶斯模型; 水质评价; 平寨水库

文献标识码: A **文章编号**: 1000-288X(2020)02-0211-07 **中图分类号**: X824, X522

文献参数: 李韶慧, 周忠发, 但雨生, 等. 基于组合赋权贝叶斯模型的平寨水库水质评价[J]. 水土保持通报,2020,40(2):211-217. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2020.02.031; Li Shaohui, Zhou Zhongfa, Dan Yusheng, et al. Water quality evaluation of Pingzhai Reservoir based on combined weighted Bayesian model [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020,40(2):211-217.

Water Quality Evaluation of Pingzhai Reservoir Based on Combined Weighted Bayesian Model

Li Shaohui[1,2], Zhou Zhongfa[1,2], Dan Yusheng[1,2], Yin Linjiang[1,2]

(1. *Department of Geography and Environmental Sciences/Karst Research Institute, Guizhou Normal University, Guiyang, Guizhou* 550001, *China*; 2. *Guizhou Key Laboratory of Mountain Environment, Guizhou Normal University, Guiyang, Guizhou* 550001, *China*)

Abstract: [Objective] The water environment quality of Pingzhai Reservoir was evaluated for the core water source project of the first phase of the Qianzhong water diversion project, in order to provide scientific reference for the evaluation and scientific management of the water environment quality of the reservoir. [Methods] This paper selected seven sections of Pingzhai Reservoir for water sampling in January, May and August 2018. Dissolved oxygen (DO), chemical oxygen demand (COD), total nitrogen (TN) and ammonia nitrogen (NH_3-N) factors were selected as water quality evaluation index. Based on the combination of analytic hierarchy process and entropy weight method, the weight of each evaluation index was determined, and the water quality of Pingzhai Reservoir was evaluated by Bayesian model. [Results] ① From the combination weight, TN and COD showed great impact on water quality of Pingzhai Reservoir, while DO and NH_3-N showed little impact. ② The water quality of Pingzhai Reservoir was the best in high-flow period, followed by the low-flow period, and then followed by the moderate-flow period. Among the sections, the water

收稿日期:2019-09-04 **修回日期**:2019-10-26

资助项目:国家自然科学基金委员会:贵州喀斯特科学研究中心项目"喀斯特筑坝河流水安全评估与调控策"(U1612441); 贵州省高层次创新型人才培养计划:"百"层次人才项目(黔科合平台人才[2016]5674); 贵州省科技计划项目(黔科合平台[2017]5726-57)

第一作者:李韶慧(1994—),女(汉族),山西省长治市人,硕士研究生,研究方向为自然地理学。Email:sxlsh1209@163.com。

通讯作者:周忠发(1969—),男(汉族),贵州省遵义市人,教授,博士生导师,主要从事地理息系统与遥感研究。Email:fa6897@163.com。

quality of reservoir area 1 (KQ1), reservoir area 2 (KQ2) and Nayong river sections (NY) were the worst. ③ TN and COD were the main pollution factors in Pingzhai Reservoir. [Conclusion] The water quality evaluation method based on the combined weighted Bayesian model not only distinguishes the difference of contribution of each evaluation factor to water quality, but also evaluates the water quality accurately. Overall, the water quality of Pingzhai Reservoir meets the corresponding requirements of water function zoning in Guizhou Province.

Keywords: combination weighting; Bayesian model; water quality evaluation; Pingzhai Reservoir

水质评价是以实际监测数据为基础,选择合适的评价指标,采用某评价方法,依据水环境质量标准,对水质进行定性定量评价,从而对水体开发利用及污染程度作出判断[1]。其评价方法众多,但至今国内外没有公认的统一的水质评价方法,目前主要的水质评价方法有综合污染指数法[2-3]、模糊综合评价法[5-6]、人工神经网络法[7-9]、多元统计分析法[10-12]、以及主成分分析法[13-14]等,以上方法应用于水质评价中各有优缺点,并且众多学者针对以上方法的不足均进行了一定的改进,但由于水环境本身具有动态性和复杂性的特点,加之监测数据收集不完全的影响,如何在水环境存在不确定性的条件下,提高水质评价精度,就成为了现阶段水质评价的关键[15]。为了对平寨水库水质进行较为精确的评价,本文引入了贝叶斯方法。贝叶斯理论是英国数学家贝叶斯于 1763 年提出来的一种基于概率论的数理统计方法,通过计算赋权之后的后验概率和,以最大概率原则确定所属水质等级的概率的方法[16]。目前众多学者[17-18]把贝叶斯理论引入水质评价领域取得一定研究成果,但上述贝叶斯模型实质上为"等权重"贝叶斯模型,忽略了各评价因子对水环境质量贡献的差异性。有学者将熵权法引入贝叶斯模型[19-20],结果表明基于熵权赋权的贝叶斯评价模型应用于水质评价明显优于等权贝叶斯模型。然而熵权法主要依据数据本身的离散程度计算其权重大小,可削弱异常值的影响,但其权重往往由于"过于客观"而与实际不符。为了更好地反映实际情况,本文采用主观层次分析法和客观熵权法组合确定评价指标权重,在客观赋值的基础上加入主观因素,使平寨水库水环境质量评价更加科学、合理。平寨水库位于中国喀斯特广泛分布、工程性缺水严重、生态环境脆弱的西南地区,同时又是黔中水利枢纽的源头水库,是周边地区及贵阳市供水、灌溉的重要水源地。因此对其进行水质监测及评价具有重要的现实意义。本文利用组合权重并结合贝叶斯水质评价模型,对平寨水库水环境质量进行评价,以期对平寨水库水环境质量评价及科学管理提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

平寨水库位于乌江南源一级支流三岔河,地处 105°17′3″E—105°26′44″E,26°29′33″N—26°35′38″N 之间,由水公河、张维河、白水河和扈家河汇入纳雍河(三岔河纳雍段)后筑坝而成(图 1)。坝址位于六枝特区与织金县交界的三岔河中游木底河平寨附近,坝高 162.7 m,水库正常蓄水位 1 331 m,总库容量 1.09×10^9 m^3,调节库容 4.48×10^8 m^3,水库面积 14.57 km^2,湖岸线长达 94.89 km。入库河流流域总面积 357.2 km^2,年平均气温 10.4～15.1 ℃,多年平均降雨量为1 089.6 mm。于 2015 年开始蓄水,作为黔中水利枢纽一期工程核心水源工程,主要用于解决黔中主要灌区的农灌用水、县乡镇供水和人畜饮水,和贵阳市 2020 年缺水问题。

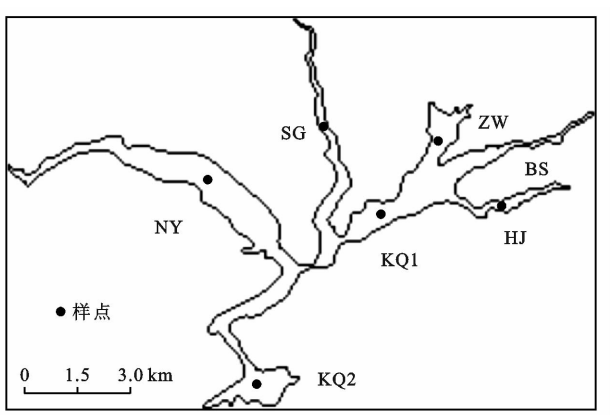


图 1 平寨水库监测断面及样点分布

1.2 采样与监测

根据《环境影响评价技术导则:地面水(HJ2.3-2018)》,并结合根据平寨水库入库河流、汇流区以及坝区分布位置特点,设置了纳雍河(NY)、水公河(SG)、扈家河(HJ)、白水河(BS)、张维河(ZW)、库区中心 1(KQ1)、库区中心 2(KQ2)7 个断面(图 1),于 2018 年 1,5,8 月在连续稳定天气条件下进行水样采集,所采水样立即放入便携式冷藏箱保存,带回实验室进行水样分析。根据《地表水环境质量标准

(GB3838-2002)》,排除了一些低于检出限的指标,最后选取化学需氧量(COD)、总氮(TN)、溶解氧(DO)和氨氮(NH_3-N)作为水质评价指标,溶解氧(DO)采用 Multi 3510IDS 便携式多参数水质分析仪现场测定,其余指标均按照《水和废水监测分析方法》[21]在室内进行测定。

2　研究方法

2.1　计算评价指标权重

2.1.1　*熵权法*　本文采用熵权法计算各评价指标的客观权重。熵权法确定评价权重的步骤为:

(1) 建立有 m 个评价指标,n 个评价样本的原始矩阵。

$$X=(x_{ij})_{m\times n} \tag{1}$$

式中:x_{ij} 为第 i 个评价样本 j 个评价指标($i=1,2,\cdots,m$; $j=1,2,\cdots,n$)。

(2) 矩阵标准化。

$$x_{ij}'=\frac{x_{ij}}{x_{\max}} \quad (x_{\max}\text{为相同指标下的最大值}) \tag{2}$$

(3) 计算信息熵。

$$H_j=-k\sum_{i=1}^{m}p_{ij}\ln p_{ij} \tag{3}$$

式中:$P_{ij}=\frac{x_{ij}'}{\sum_{i=1}^{m}x_{ij}'}$,$k=1/\ln n$。

(4) 计算评价指标 j 的熵权。

$$\omega_j=\frac{1-H_j}{\sum_{j=1}^{n}(1-H_j)} \tag{4}$$

式中:$\omega_j\in[0,1]$,$\sum_{j=1}^{n}\omega_j=1$。

2.1.2　*层次分析法*　本文采用层次分析法计算各评价指标的主观权重。计算权重步骤如下。

① 根据实际情况构建层次结构模型,分为目标层、准则层、方案层; ②构建判断矩阵,从准则层开始,同一层次中的每个指标,采用两两比较法按照上一层次的准则对各项指标重要性进行判断,用 1—9 尺度法进行赋值,构造 $n\times n$ 判断矩阵; ③进行矩阵一致性检验即 CI 值,计算判断矩阵的最大特征值 $\lambda_{\max}$,$CI=\frac{\lambda_{\max}-n}{n-1}$, $CI\leqslant 0.1$, CI 值越小则表示一致性越好; ④计算各指标权重; ⑤总体一致性检验。

2.1.3　*差异系数法计算组合权重*　熵权法主要依据数据本身的离散程度计算其权重大小,可削弱异常值的影响,但其权重往往由于“过于客观”而与实际不符;采用层次分析法修正熵权法的不足。设层次分析法得到的指标权重为 ω_{j1},熵权法得到的评价指标权重为 ω_{j2},综合权重为 ω_z,用 ω_{j1} 和 ω_{j2} 线性表示 ω_z,计算公式为:

$$\omega_z=(1-\alpha)\omega_{j1}+\alpha\omega_{j2} \tag{5}$$

式中:α 为熵权法确定的权重在组合赋权中所占的比例,为了减少主观因素的影响,其值选用差异系数法[22]进行赋值,计算公式为:

$$\alpha=\frac{n}{n-1}\left\{\frac{2}{n}(\omega_1+2\omega_2+\cdots+n\omega_n)-\frac{n+1}{n}\right\} \tag{6}$$

式中:$\omega_1,\omega_2,\cdots,\omega_n$ 为层次分析法确定的评价指标的权重依次递增重新排列; n 为层次分析法的评价指标数。

2.2　水质评价方法

(1) 贝叶斯水质模型。贝叶斯计算公式[23]为:

$$P(B_i|A)=\frac{P(B_i)P(A|B_i)}{\sum_{i=1}^{n}P(B_i)P(A|B)} \tag{7}$$

式中:B_i 代表水质等级; A 代表样本水质指标; $P(B_i)$表示先验概率; $P(B_i|A)$表示后验概率; $P(A|B_i)$表示条件概率。

将贝叶斯公式引入水质评价时,公式改写为:

$$P(y_{ij}|x_i)=\frac{P(y_{ij})P(x_i|y_{ij})}{\sum_{i=1}^{n}P(y_{ij})P(x_i|y_{ij})} \tag{8}$$

式中:i 表示所测样本指标($i=1,2,\cdots,n$); j 表示水质等级($j=1,2,3,4,5$); y_{ij} 表示水质等级;

(2) 贝叶斯水质评价计算步骤。

①计算 $P(y_{ij})$,即水质等级的先验概率,没有前提条件下,所测水样属于任一水质等级的概率相等即:$P(y_{i1})=P(y_{i2})=P(y_{i3})=P(y_{i4})=P(y_{i5})=1/5$。

②计算 $P(x_i|y_{ij})$,采用几何概率中距离计算值法,以水质检测指标与标准水质指标距离的绝对值倒数进行计算可得:

$$P(x_i|y_{ij})=\frac{1/L_{ij}}{\sum_{j=1}^{5}1/L_{ij}} \tag{9}$$

式中:$L_{ij}=|x_i-y_{ij}|$　($j=1,2,\cdots,5$) ($i=1,2,\cdots,5$),L_{ij} 越小则表示所测指标属于对应水质等级的概率越大。

③计算 $P(y_{ij}|x_i)$,即公式(8)所示公式。

④计算多指标下综合水质的后验概率 P_j。

$$P_i=\sum_{i=1}^{n}\omega_iP(y_{ij}|x_i) \tag{10}$$

式中:ω_i 表示检测指标 i 的权重。

⑤确定最终水质等级。

$$P=\max_{i=1\sim5}P_j \tag{11}$$

3　结果与分析

3.1　评价指标含量分析

根据平寨水库的水文情况,以 1,5,8 月分别代表

枯水期、平水期和丰水期，以 1，5 和 8 月这 3 个月份指标的平均浓度值代表全年指标情况，并结合《地表水环境质量标准(GB3838-2002)》中 4 个评价指标的水质等级标准(表 1)，对所选评价指标含量进行分析。由图 2 可知，7 个断面 TN 的平均浓度均高于 2 mg/L，超过Ⅴ类水，TN 浓度最低值出现在丰水期 SG 断面，为Ⅴ类水，TN 浓度最高值出现在丰水期的 KQ2 断面。DO 全年平均浓度高于 7.5 mg/L，为Ⅰ类水，7 个断面均为枯水期 DO 浓度最低，BS 和 HJ 两个断面平水期 DO 浓度最高，ZW，NY 和 SG 断面丰水期 DO 浓度最高，而 KQ1 和 KQ2 两个断面平水期和丰水期 DO 浓度值相差不大，考虑可能是由于处于河流交汇处。NH_3-N 浓度最高值低于 0.15 mg/L，为Ⅰ类水，除 NY 断面外，其余 6 个断面在平水期 NH_3-N 浓度最高。COD 全年平均浓度值在 KQ1 和 KQ2 断面高于 30 mg/L，为Ⅴ类水，其余 5 个断面 COD 浓度高于 20 mg/L，为Ⅳ类水，COD 浓度最高值出现在平水期的 KQ1 断面，其浓度高于 40 mg/L，超过Ⅴ类水，COD 浓度最低值出现在丰水期 BS 断面低于 20 mg/L，为Ⅲ类水。全年而言，TN 浓度超过Ⅴ类水，COD 浓度为Ⅴ类水，DO 和 NH_3-N 浓度达到Ⅰ类水。因此，平寨水库主要水质污染因子为 TN 和 COD。

表 1 地表水环境质量标准 mg/L

水质等级	DO	COD	NH_3-N	TN
Ⅰ类	≥7.5	≤15	≤0.15	≤0.2
Ⅱ类	≥6	15	≤0.5	≤0.5
Ⅲ类	≥5	≤20	≤1	≤1
Ⅳ类	≥3	≤30	≤1.5	≤1.5
Ⅴ类	≥2	≤40	≤2	≤2

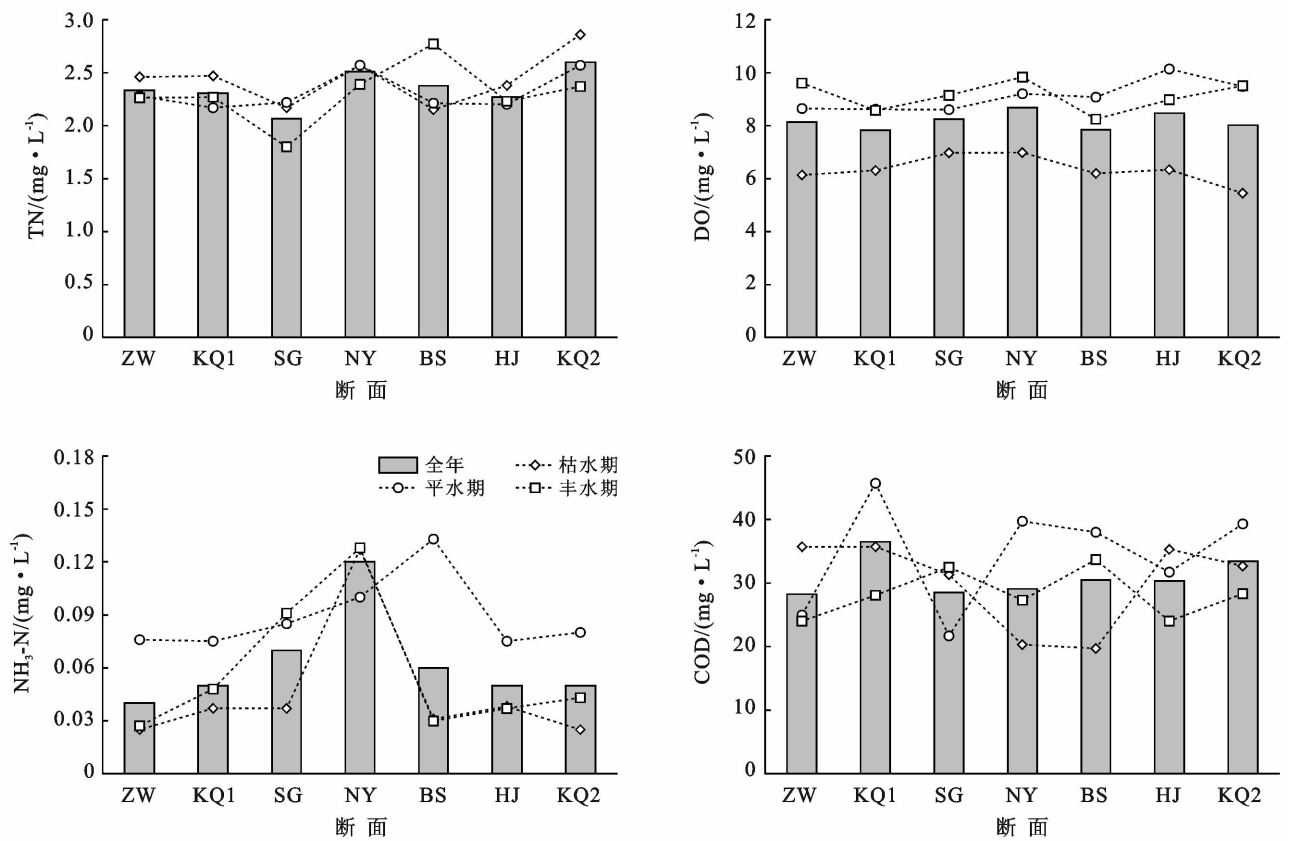


图 2 平寨水库水质评价指标含量实测值

3.2 各水文时期内水质指标变化

对平寨水库 2018 年各水文时期内水质评价指标含量取均值，分析其在各水文时期的变化特征，结果如图 3 所示。由图 3 可知，DO 浓度在枯水期最低；NH_3-N 和 COD 在平水期浓度最高；TN 在枯水期浓度最高。4 个指标浓度值在水文时期内变化趋势为：DO 表现为：丰水期＞平水期＞枯水期；TN 为：枯水期＞平水期＞丰水期；COD 表现为：平水期＞枯水期＞丰水期；NH_3-N 表现为：平水期＞丰水期＞枯水期。

3.3 贝叶斯水质评价

以 2018 年 1，5，8 月的实测数据为基础，按公式(1)—(6)得到熵权法、层次分析法的权重及两者共同

确定的各评价指标的组合权重(表 2);按公式(7)—(10)计算多指标下综合水质的后验概率(表 3),按最大概率的原则即公式(11)并结合《地表水环境质量标准(GB3838-2002)》(表 1)确定平寨水库各监测断面水质评价结果。根据《贵州省水功能区划》要求,平寨水库水质标准应符合Ⅱ类水质标准。监测显示(图 4),除枯水期 KQ1 断面以及丰水期 NY 和 KQ2 断面外,其余断面在各水文时期水质类别均达到Ⅱ类及以上。从各水文时期的水质状况看,丰水期 7 个断面水质均达标,枯水期 ZW,SG,NY,HJ,BS 和 KQ2 断面水质达标,平水期 ZW,SG,KQ1,BS 和 HJ 断面水质达标,因此,平寨水库丰水期水质最好,枯水期水质次之,平水期水质最差。从各断面水质状况来看,ZW,SG,BS,HJ 断面在各水文时期水质均达标,KQ1 断面水质仅枯水期未达标,NY 和 KQ2 断面水质仅丰水期水期未达标,因此,平寨水库 NY,KQ1 和 KQ2 断面水质最差。

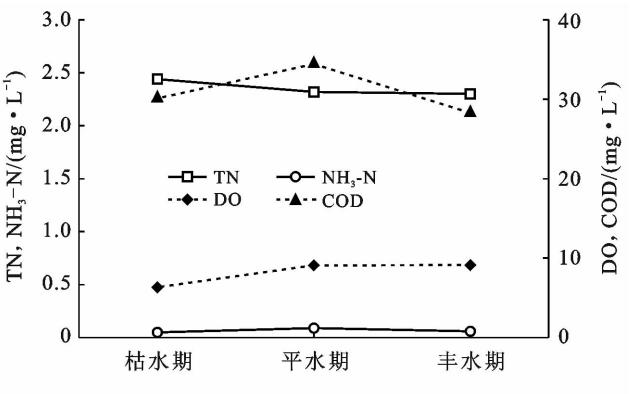


图 3　平寨水库评价指标各水文时期的含量变化

表 2　各评价因子权重

评价指标	熵权法	层次分析法	组合权重
DO	0.255 1	0.150 0	0.257 5
TN	0.256 7	0.240 8	0.243 9
NH_3-N	0.234 6	0.311 0	0.247 9
COD	0.253 6	0.298 2	0.260 7

表 3　多指标下综合水质后验概率

监测断面	水文时期	不同水质等级后验概率 P				
		Ⅰ级	Ⅱ级	Ⅲ级	Ⅳ级	Ⅴ级
ZW 断面	枯水期	0.224 9	0.286 8	0.107 4	0.152 2	0.228 7
	平水期	0.360 6	0.142 9	0.156 7	0.156 3	0.183 6
	丰水期	0.316 1	0.158 6	0.182 1	0.150 0	0.193 3
KQ1 断面	枯水期	0.231 4	0.223 3	0.096 9	0.273 0	0.175 5
	平水期	0.340 5	0.121 1	0.099 3	0.113 4	0.325 7
	丰水期	0.331 9	0.130 3	0.115 6	0.238 3	0.183 9
SG 断面	枯水期	0.318 3	0.138 6	0.095 7	0.244 6	0.202 9
	平水期	0.363 4	0.135 1	0.215 5	0.104 6	0.181 4
	丰水期	0.333 6	0.120 4	0.110 1	0.248 5	0.187 5
NY 断面	枯水期	0.385 4	0.121 1	0.292 1	0.080 9	0.120 4
	平水期	0.331 9	0.111 6	0.094 0	0.097 1	0.365 4
	丰水期	0.365 0	0.121 7	0.129 6	0.210 6	0.173 1
BS 断面	枯水期	0.217 3	0.249 4	0.284 7	0.067 5	0.181 1
	平水期	0.365 2	0.097 8	0.089 4	0.114 3	0.333 3
	丰水期	0.351 9	0.142 0	0.122 6	0.200 1	0.183 3
HJ 断面	枯水期	0.251 6	0.235 0	0.118 5	0.162 2	0.232 6
	平水期	0.305 4	0.123 7	0.109 1	0.246 2	0.215 6
	丰水期	0.333 4	0.151 2	0.173 6	0.141 0	0.201 0
KQ2 断面	枯水期	0.233 7	0.184 2	0.198 9	0.222 0	0.161 3
	平水期	0.325 6	0.120 5	0.100 4	0.107 2	0.346 3
	丰水期	0.307 5	0.139 5	0.126 9	0.249 4	0.176 6

注:按后验概率的最大值,最终确定各断面在不同月份的水质类别。

3.4　组合赋权贝叶斯与等权重贝叶斯评价结果的对比

以平寨水库 2018 年枯水期、平水期、丰水期的实测数据为基础,按各指标等权重即为 0.25,根据公式(7)—(11)并结合《地表水环境质量标准(GB3838-2002)》(表 1)确定各监测断面水质等级,并与组合赋权贝叶斯评价结果进行对比,结果见表 4。表 4 显示,组合赋权贝叶斯模型和等权重贝叶斯模型两者评价结果具有较好的一致性。表现出 86%的评价结果相一致,评价结果不一致的主要集中于枯水期的 ZW,BS,KQ1 三个断面,在枯水期 ZW 和 BS 断面显示组

合赋权贝叶斯模型评价等级优于等权重贝叶斯模型，而在枯水期的 KQ1 断面显示出等权重贝叶斯模型评价等级优于组合赋权贝叶斯模型评价结果。

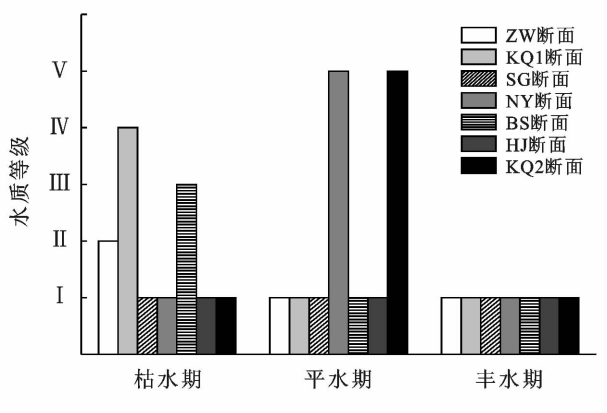


图 4 平寨水库各断面不同水文时期的水质变化

表 4 组合赋权贝叶斯与等权重贝叶斯水质评价结果的对比

监测断面	水文时期	组合赋权贝叶斯评价	等权重贝叶斯评价
ZW 断面	枯水期	Ⅱ	Ⅴ
	平水期	Ⅰ	Ⅰ
	丰水期	Ⅰ	Ⅰ
KQ1 断面	枯水期	Ⅳ	Ⅲ
	平水期	Ⅰ	Ⅰ
	丰水期	Ⅰ	Ⅰ
SG 断面	枯水期	Ⅰ	Ⅰ
	平水期	Ⅰ	Ⅰ
	丰水期	Ⅰ	Ⅰ
NY 断面	枯水期	Ⅰ	Ⅰ
	平水期	Ⅴ	Ⅴ
	丰水期	Ⅰ	Ⅰ
BS 断面	枯水期	Ⅱ	Ⅲ
	平水期	Ⅰ	Ⅰ
	丰水期	Ⅰ	Ⅰ
HJ 断面	枯水期	Ⅰ	Ⅰ
	平水期	Ⅰ	Ⅰ
	丰水期	Ⅰ	Ⅰ
KQ2 断面	枯水期	Ⅰ	Ⅰ
	平水期	Ⅴ	Ⅴ
	丰水期	Ⅰ	Ⅰ

4 讨 论

4.1 水质时空差异分析

通过分析 2018 年平寨水库在不同水文时期内的水质状况，得出丰水期水质最好、枯水期水质次之、平水期水质最差的变化特征。说明丰水期径流携带的污染物含量低，平水期径流携带污染物含量最高。一般情况下，丰水期水体污染物含量低[24]，平寨水库由于丰水期降雨量集中，库区流量增大，污染物运移和自净能力强，因而水质最好；平水期正值农业生产活动的繁忙时节，农业面源污染量大，致使水质劣于丰水期和枯水期。在分析平寨水库各断面水质状况时发现，主要是 KQ1，NY，KQ2 断面水质最差。考虑主要由于 KQ1 和 KQ2 位于河流交汇处承接了来自上游河流的污染物，且水流速度在此减缓，水体交换周期长，因而水质较差。有研究表明，水质与土地利用类型之间存在显著相关关系[25-26]，其中水体污染物的含量与城镇用地、耕地呈显著正相关关系，而与林地、草地则呈负相关关系[27-28]，NY 断面离居民点较近，受两岸分布密集的居民点影响，生产生活污水排放量高，因此居民点源污染可能是造成 NY 断面水质差的原因。

4.2 组合赋权贝叶斯模型水质评价的合理性

利用组合赋权贝叶斯模型与等权重贝叶斯模型分别对平寨水库水质进行评价，并将评价结果进行对比分析。组合赋权贝叶斯模型与等权重贝叶斯模型评价结果基本一致，但从各断面评价结果来看存在一定差异，等权重贝叶斯模型在枯水期 ZW，KQ1 和 BS 断面评价结果为Ⅴ，Ⅲ，Ⅲ，而组合赋权贝叶斯模型在枯水期三个断面的评价结果则分别为Ⅱ，Ⅳ和Ⅱ，等权重贝叶斯模型评价结果较为保守，而基于组合赋权的贝叶斯模型强调各评价因子之间的联系，并且在贵州高原 TN 本底值较高的情况下，削弱了 TN 的贡献，区分了各评价因子对水质的贡献率的差异，使得其评价结果更为合理。

5 结 论

（1）由评价指标含量分析可知，平寨水库各评价指标中，DO 和 NH_3-N 平均达Ⅰ类水标准；TN 平均超过Ⅴ类水；COD 平均达Ⅴ类水，平寨水库主要污染因子为 TN 和 COD。

（2）DO 在丰水期浓度最高，枯水期最低；TN 在枯水期浓度最高，丰水期最低；NH_3-N 在平水期浓度最高，枯水期最低；COD 在平水期浓度最高，丰水期最低。

（3）平寨水库丰水期水质最好，其次为枯水期，最次为平水期；各断面中库区中心 1(KQ1)、库区中心 2(KQ2)以及纳雍河断面(NY)水质最差。

（4）组合赋权贝叶斯水质评价结果与等权重贝叶斯评价结果一致性较好，其运用组合赋权确定权重值，较等权重贝叶斯更具真实、客观，能够真实反映地表水质实际状况。

[参 考 文 献]

[1] 宋洁,张艺伟,张炜.基于组合赋权的地表水水质模糊综合评价[J].甘肃水利水电技术,2017,53(10):4-8.

[2] 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.

[3] 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.

[4] 侯玉婷,周忠发,王历,等.基于改进模糊综合评价法的喀斯特山区水质评价研究[J].水利水电技术,2018,49(7):29-135.

[5] 闫滨,杨骁.基于模糊综合评价法的大伙房水库上游水质评价及预测[J].南水北调与水利科技,2015,13(2):284-288,381.

[6] 姜北,孙美,纪玉琨,等.基于熵值法的地表水水质模糊综合评价[J].灌溉排水学报,2018,37(S1):47-50.

[7] 石丽莉,秦春燕.PSO-RBF 耦合神经网络在水质评价中的应用[J].安全与环境学报,2018,18(1):353-356.

[8] 张颖,高倩倩.基于随机森林分类算法的巢湖水质评价[J].环境工程学报,2016,10(2):992-998.

[9] Hamid R S, Kian M A. Prediction and assessment of drought effects on surface water quality using artificial neural networks: Case study of Zayandehrud River, Iran [J]. Journal of Environmental Health Science and Engineering, 2015,13(1):68.

[10] 党伟,焦利民.淮河上游水质污染特征及其综合评价[J].水土保持研究,2018,25(5):358-363,370.

[11] 杨学福,王蕾,关建玲,等.基于多元统计分析的渭河西咸段水质评价[J].环境工程学报,2016,10(3):1560-1565.

[12] Kunwar R S, Nidhi Bi, Ajay S, et al. Surface water quality assessment of Amingaon(Assam, India) using multivariate statistical techniques [J]. Water Practice and Technology, 2017,12(4):3511-3525.

[13] 何捷,蔡春芳,陈雯,等.阳澄西湖及其入湖港口的水质评价与分析[J].水生态学杂志,2019,40(3):25-32.

[14] 李国华,李畅游,史小红,等.基于主成分分析及水质标识指数法的黄河托克托段水质评价[J].水土保持通报,2018,38(6):310-314,321.

[15] 黄凯,张晓玲.贝叶斯方法在水环境系统不确定性分析中的应用述评[J].水电能源学,2012,30(9):47-49,216.

[16] 余勋,梁婕,曾光明,等.基于三角模糊数的贝叶斯水质评价模型[J].环境科学学报,2013,33(3):904-909.

[17] 杨海江,钟艳霞,罗玲玲,等.基于贝叶斯的星海湖湿地水质评价及特征分析[J].节水灌溉,2018(4):92-95,104.

[18] 唐金平,朱志强,刘世翔,等.基于贝叶斯理论的地下水水质评价模型及应用[J].节水灌溉,2018(4):88-91.

[19] 冯大光,范昊明,柴宇,等.基于熵权赋权贝叶斯方法的河口湿地水环境质量评价[J].沈阳农业大学学报,2014,45(4):446-450.

[20] 赵晓慎,张超,王文川.基于熵权法赋权的贝叶斯水质评价模型[J].水电能源科学,2011,29(6):33-35.

[21] 国家环境保护总局.水和废水监测分析方法[M].北京:中国环境出版社,2002.

[22] 刘宏.综合评价中指标权重确定方法的研究[J].河北工业大学学报,1996(4): 75-80.

[23] 吕美婷,叶春,李春华,等.三角模糊数优化的贝叶斯水质模型评价方法研究:以太湖竺山湾缓冲带湿地水质评价为例[J].环境污染与防治,2016,38(11):7-14.

[24] 冯卫,孟春芳,冯利,等.卫河水系新乡段历年不同水期水质变化分析[J].灌溉排水学报,2019,38(8):121-128.

[25] 王娟,张飞,张月,等.艾比湖区域水质空间分布特征及其与土地利用/覆被类型的关系[J].生态学报,2016,36(24):7971-7980.

[26] 项颂,庞燕,窦嘉顺,等.不同时空尺度下土地利用对洱海入湖河流水质的影响[J].生态学报,2018,38(3):876-885.

[27] Dowd B M, Press D, Huertos M L. Agricultural nonpoint source water pollution policy: The case of California's Central Coast [J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2008, 128(3):151-161.

[28] Meneses B M, Reis R, Vale M J, et al. Land use and land cover changes in Zêzere watershed(Portugal): Water quality implications [J]. Science of The Total Environment, 2015, 527(9):439-447.