

沱江流域地表水水质的模糊综合评价

宋述军^{1,2},周万村¹

(1. 中国科学院 成都山地灾害与环境研究所,成都 610041;2. 中国科学院 研究生院,北京 100049)

摘要:沱江是长江上游的一个重要支流,其水质安全对维持成都平原及周边地区正常的生产生活起着至关重要的作用。采用模糊综合评价的方法,对沱江流域 15 个地表水监测断面的水质状况进行综合评价,结果表明:在 15 个监测断面中,处于清洁状态的有 6 个,占 40%;处于未污染的有 4 个,约占 26.7%;处于轻污染和中污染的各有 1 个,分别约占 6.7%;处于重污染的有 3 个,占 20%。处于清洁和未污染的断面主要位于沱江流域的中游,其水质状况较好;处于中污染和重污染的断面主要位于沱江流域的上游和下游,水质状况较差。需要加强流域综合治理尤其是对沱江上游和下游的治理,以确保沱江流域的水质安全。

关键词:沱江流域;地表水;水质;模糊综合评价;隶属度函数

中图分类号:X824

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2007)06-0128-03

Surface Water Quality Assessment in Minjiang River Basin by Fuzzy Synthetic Evaluation Method

SONG Shu-jun^{1,2}, ZHOU Wan-cun¹

(1. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China;

2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Tuojiang River is an important branch of the upriver of Yangtze River. The water quality of Tuojiang River plays a key role in securing the normal social process of producing and living in Chengdu plain and interrelated regions. The fuzzy synthetic evaluation method is presented to access the surface water quality of a total of 15 monitor sections in Tuojiang River basin. The results indicate that there are 6 sections which account for 40% of the total sections in none or lowly polluted status. These sections are mainly distributed in the middle reaches of Tuojiang River basin. Meanwhile, there are 4 sections which account for 26.7% of the total sections in highly or moderately polluted status. And these sections are mainly distributed in the upriver and downriver of Tuojiang River basin. By analyzing the results, more emphasis should be paid on the integrated basin administration, especially on the treatment of the upper and lower region of Tuojiang River for securing the safety of surface water quality in Tuojiang River basin.

Key words: Tuojiang River basin; surface water; water quality; fuzzy synthetic evaluation; membership function

地表水水质是一个随时间、空间动态变化的量,受诸多因素影响,年内、年际变化极其复杂。进行地表水水质评价是环境质量评价的一项重要内容,是进行有效的环境管理的重要手段之一。地表水水质评价是指根据监测数据对河流、湖泊、水库的水质现状、变化趋势及其变化原因进行评价,是环境质量评价中的一种单因素评价。通过水环境质量评价可以了解水环境质量的过去和现在以及未来的发展趋势和变化规律,可以了解和掌握影响本地区环境质量的主要污染因子和主要污染源,从而有针对性地制定改善环境质量的污染源治理方案和综合防治规划与措施^[1]。

区域地表水环境是多因素控制的复杂的、非线性的模糊系统,对这类系统进行水质评价具有模糊性。目前所采用的地表水水质评价方法主要有单因素评价法、综合污染指数法、加权或算术平均法^[2]、密切值法、灰色聚类分析、模糊综合评价法^[3-4]等,其中模糊综合评价法能够客观地反映水质的实际状况,解决水质综合评价中的污染程度、水质类别等

一些客观存在的模糊概念和模糊现象。现在,模糊综合评判法已成为水质综合评价的一种常见方法,是定量研究水质的一种有效手段^[5]。该文利用模糊综合评价法,对沱江流域的地表水水质状况进行了综合评价。

1 沱江流域水质监测断面概况

沱江,又名外江、中江,是长江上游的一级支流。它有三源:左源绵远河,发源于茂县九顶山南麓,为主源,河长 180 km;中源石亭江,河长 141 km;右源湔江,河长 139 km,三源于金堂县赵镇汇合始称沱江,再经资阳、内江到泸州市注入长江。干流全长 629 km,流域面积 2.78 万 km²。

布设于沱江流域的地表水水质监测断面共有 36 个,由四川省环境监测中心站收集和分析水质监测数据。这些断面包括国控和省控断面,每个断面的常规监测项目有水温、电导率、pH、溶解氧、高锰酸盐指数、BOD₅、氨氮、汞、铅、挥发酚、石油类和流量共 12 项,其中参与水质月报评价的项目

有 pH、溶解氧、高锰酸盐指数、BOD₅、氨氮、汞、铅、挥发酚、石油类等 9 项。

2 沱江流域水质评价

2.1 模糊综合评价方法

模糊综合评价方法以模糊数学为基础,其基本原理可表述如下^[6]:

设有 n 件事物的某一特征等待评价,这 n 件事物构成对象集 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$,又知因素集 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$ 和评价集 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$ 。设对因素的权重分配为 V 上的模糊子集 A ,计为: $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$,式中: a_i ——第 i 个因素 u_i 所对应的权,其一般均规定: $\sum_{i=1}^n a_i = 1$ 。对第 i 个因素的单因素模糊评价为 V 上的模糊子集 $R_i = \{r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{im}\}$,于是单因素评价矩阵 R 为

$$R = \begin{matrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{matrix}$$

对该评价对象的模糊综合评价 B 是 V 上的模糊子集:

$$B = A R \tag{1}$$

式中: \circ ——算子符,再根据最大隶属度原则便可确定被评价对象的评价等级。

2.2 评价标准与评价因子的选择

采用 GB 3838 - 2002《地表水环境质量标准》为评价标准^[7],并选择在水质监测结果中主要的污染指标作为评价因子(表 1),建立因子集,同时根据相应的标准划分的水质级别确定评价集。

表 1 地表水环境质量标准限值 mg/L

序号	项目名称	类	类	类	类	类
1	溶解氧	7.5	6	5	3	2
2	高锰酸盐指数	2	4	6	10	15
3	五日生化需氧量	3	3	4	6	10
4	氨氮	0.15	0.5	1.0	1.5	2.0
5	石油类	0.05	0.05	0.05	0.5	1.0

表 2 沱江流域地表水监测断面的水质监测数据 mg/L

序号	监测断面	DO	COD _{Mn}	BOD ₅	NH ₃ - N	Oils
1	201 医院	6.88	4.12	2.58	0.67	0.09
2	八角	5.25	4.57	3.24	2.25	0.08
3	大磨子	6.77	3.59	1.95	0.33	0.04
4	工农大桥	5.83	5.42	5.33	1.81	0.35
5	河东元坝	7.58	3.38	3.38	0.74	0.04
6	宏缘	7.71	3.60	2.85	0.75	0.06
7	李家湾	6.47	4.26	2.39	0.71	0.25
8	龙门镇	5.77	3.64	2.53	0.36	0.14
9	清江	6.66	3.00	1.74	0.40	0.06
10	清平	9.04	1.40	0.74	0.10	0.03
11	双河口	7.00	5.94	4.48	3.32	0.32
12	顺和场	7.21	3.20	1.04	0.30	0.07
13	碳研所	4.28	6.75	4.73	8.74	0.92
14	沱江一桥	7.38	3.93	2.10	0.33	0.07
15	五凤鸣阳	6.48	4.10	2.16	1.00	0.07

在本评价中,具体选择了沱江流域内 15 个地表水监测断面的 5 个评价参数:溶解氧(DO)、高锰酸盐指数(COD_{Mn})、五日生化需氧量(BOD₅)、氨氮(NH₃ - N)、石油

类(Oils)作为评价因子,各监测断面的各监测指标的实测值见表 2,这些监测值取自各监测断面 2005 年的监测数据年均值。通过这些数据,建立因子集 $U = \{DO, COD_{Mn}, BOD_5, NH_3 - N, Oils\}$;确定评价集 $V = \{ , , , , \}$,把河段的水质划分为优()、良()、中()、差()、劣()等 5 类;污染程度相应为清洁、未污染、轻污染、中污染和重污染。

2.3 建立隶属度函数及隶属度矩阵

样本对于各级水质的隶属程度是用隶属度来刻化的,隶属度用隶属函数 $u(x)$ 表示,其只能在 $[0, 1]$ 区间连续取值,即 $0 \leq u(x) \leq 1$ 。按各指标隶属各水质等级,确定出不同的隶属函数如下:

第 j 个指标对第 1 类水,对于指数越大污染越重的指标:

$$a. u_{j1}(x) = \begin{cases} 1 & x \in [0, a_{j,1}] \\ (a_{j,2} - x)/(a_{j,2} - a_{j,1}) & x \in [a_{j,1}, a_{j,2}] \\ 0 & x \in [a_{j,2}, \infty) \end{cases} \tag{2}$$

对于数值越大污染越轻的指标:

$$b. u_{j1}(x) = \begin{cases} 0 & x \in [0, a_{j,2}] \\ (x - a_{j,2})/(a_{j,1} - a_{j,2}) & x \in [a_{j,2}, a_{j,1}] \\ 1 & x \in [a_{j,1}, \infty) \end{cases} \tag{3}$$

第 j 个指标对第 k 类水($k=2, 3, \dots, k-1$),对于数值越大污染越重的指标:

$$a. u_{jk}(x) = \begin{cases} (x - a_{j,k-1})/(a_{j,k} - a_{j,k-1}) & x \in [a_{j,k-1}, a_{j,k}] \\ (a_{j,k+1} - x)/(a_{j,k+1} - a_{j,k}) & x \in [a_{j,k}, a_{j,k+1}] \\ 0 & x \in [a_{j,k-1}, a_{j,k+1}] \end{cases} \tag{4}$$

对于数值越大污染越轻的指标:

$$b. u_{jk}(x) = \begin{cases} (x - a_{j,k+1})/(a_{j,k} - a_{j,k+1}) & x \in [a_{j,k+1}, a_{j,k}] \\ (a_{j,k-1} - x)/(a_{j,k-1} - a_{j,k}) & x \in [a_{j,k}, a_{j,k-1}] \\ 0 & x \in [a_{j,k+1}, a_{j,k-1}] \end{cases} \tag{5}$$

第 j 个指标对第 4 类水,对于指数越大污染越重的指标:

$$(a). u_{j5}(x) = \begin{cases} 0 & x \in [0, a_{j,4}] \\ (x - a_{j,4})/(a_{j,5} - a_{j,4}) & x \in [a_{j,4}, a_{j,5}] \\ 1 & x \in [a_{j,5}, \infty) \end{cases} \tag{6}$$

对于数值越大污染越轻的指标:

$$(b). u_{j5}(x) = \begin{cases} 1 & x \in [0, a_{j,5}] \\ (a_{j,4} - x)/(a_{j,4} - a_{j,5}) & x \in [a_{j,5}, a_{j,4}] \\ 0 & x \in [a_{j,4}, \infty) \end{cases} \tag{7}$$

以上各式中, x 表示某一监测断面第 j 项监测指标的实测值, $a_{j,k}$ 表示第 j 项监测指标对第 k 类水的标准限值。

按照上列公式分别建立各因子的隶属函数,然后将相应的实测值代入,即可得到各水质监测断面的隶属度矩阵。以八角监测断面为例,得到的其隶属度矩阵为

$$R_{八角} = \begin{bmatrix} 0 & 0.2500 & 0.7500 & 0 & 0 \\ 0 & 0.7150 & 0.2850 & 0 & 0 \\ 0 & 0.7600 & 0.2400 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0.9333 & 0.0667 & 0 \end{bmatrix}$$

2.4 确立各监测指标的权重及模糊综合评价计算

进行地表水水质的模糊综合评价时,水质的各项监测指标的重要性可能相同,也可能不同,因此,需要考虑评价指标的权重 W ,数值越大污染越重的指标,第 i 项指标的权重:

$$W_i = c_i / S_i \quad (8)$$

对于数值越大污染越轻的指标,其权重为

$$W_i = S_i / c_i \quad (9)$$

式中: c_i ——第 i 项指标的实测值; S_i ——第 i 项指标标准限值的平均值。使用公式(8),(9)计算出来的权重值可能大于 1,因而需要使用下式对各项权重进行归一化处理:

$$A_i = \frac{W_i}{\sum_{i=1}^m W_i} \quad (10)$$

式中: A_i ——第 i 项监测指标归一化后的权重值; m ——评价中采用的监测指标数。经过归一化处理后的权重见表 3。

最后,利用公式(1)进行模糊综合评价,得到沱江流域各水质监测断面的模糊综合评价集,仍以八角监测断面为例:

$$R_{八角} A_{八角} \quad R_{八角} = \begin{bmatrix} 0.1962 \\ 0.1353 \\ 0.1366 \\ 0.4788 \\ 0.0531 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 & 0.2500 & 0.7500 & 0 & 0 \\ 0 & 0.7150 & 0.2850 & 0 & 0 \\ 0 & 0.7600 & 0.2400 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0.9333 & 0.0667 & 0 \end{bmatrix} = [0.02496 \quad 0.2681 \quad 0.0035 \quad 0.4788 \quad]$$

表 4 沱江流域地表水监测断面水质模糊综合评价结果

序号	监测断面	水质类别		污染程度	原级别*		
1	201 医院	0.3373	0.4644	0.1892	0.0091	0	未污染
2	八角	0	0.2496	0.2681	0.0035	0.4788	重污染
3	大磨子	0.5549	0.4451	0	0	0	清洁
4	工农大桥	0	0.1638	0.2516	0.3821	0.2025	中污染
5	河东元坝	0.3440	0.4254	0.2306	0	0	未污染
6	宏缘	0.4913	0.2949	0.2121	0.0016	0	清洁
7	李家湾	0.2142	0.4362	0.2447	0.1049	0	未污染
8	龙门镇	0.2785	0.4832	0.2052	0.0331	0	未污染
9	清江	0.4756	0.4342	0.0882	0.0020	0	清洁
10	清平	1.0000	0	0	0	0	清洁
11	双河口	0.0686	0.0380	0.2790	0.1208	0.4937	重污染
12	顺和场	0.5959	0.2855	0.1134	0.0053	0	清洁
13	碳研所	0	0	0.1424	0.0947	0.7628	重污染
14	沱江一桥	0.5531	0.3461	0.0963	0.0045	0	清洁
15	五凤鸣阳	0.2250	0.3543	0.4174	0.0033	0	轻污染

注:原级别指通过单因素法评价的水质类别。

上述各断面的模糊综合评价结果表明,在沱江流域的 15 个地表水水质监测断面中,处于清洁状态的有 6 个,占 40%;处于未污染的有 4 个,约占 26.7%;处于轻污染和中污染的各有 1 个,分别约占 6.7%;处于重污染的有 3 个,占 20%。处于清洁和未污染状态的断面主要分布于沱江流域的中游地区,而处于中污染和重污染状态的断面则主要分布于上游和下游地区,这些地区位于成都、宜宾、自贡等地,是四川省工业、农业发达的地区。造成沱江流域上游和下游水质状况较差的主要原因是该区工业污染源、农业污染源(包括养殖业废水、农田径流)及城镇生活污染源的污染排放较

表 3 沱江流域各监测指标归一化后的权重值

序号	监测断面	A_{DO}	$A_{COD_{mn}}$	A_{BOD_5}	A_{NH_3-N}	A_{Oils}
1	201 医院	0.2569	0.2094	0.1866	0.2446	0.1026
2	八角	0.1962	0.1353	0.1366	0.4788	0.0531
3	大磨子	0.3478	0.2431	0.1879	0.1605	0.0607
4	工农大桥	0.1498	0.1361	0.1905	0.3265	0.1971
5	河东元坝	0.2416	0.1780	0.2533	0.2799	0.0472
6	宏缘	0.2387	0.1905	0.2146	0.2851	0.0712
7	李家湾	0.2264	0.1794	0.1432	0.2148	0.2361
8	龙门镇	0.3174	0.1916	0.1896	0.1362	0.1653
9	清江	0.3501	0.2011	0.1660	0.1926	0.0902
10	清平	0.5002	0.1820	0.1369	0.0934	0.0875
11	双河口	0.1028	0.1230	0.1320	0.4937	0.1485
12	顺和场	0.3646	0.2419	0.1119	0.1629	0.1187
13	碳研所	0.0774	0.0643	0.0641	0.5979	0.1964
14	沱江一桥	0.3026	0.2524	0.1919	0.1523	0.1008
15	五凤鸣阳	0.2520	0.1925	0.1443	0.3374	0.0737

3 结果与讨论

经过上述一系列的计算,得出各水质监测断面的模糊综合评价结果如表 4 所示,在确定断面的最终水质类别时,采用最大隶属度原则,即隶属度最大值所在的级别为该断面最终的水质类别,也是该断面模糊综合评价的最终结果。当出现 2 个或 2 个以上的隶属度最大值时,选择贴近次大值的隶属度所在的水质级别为该断面的最终水质类别。在八角的水质模糊综合评价结果中,其最大的隶属度为 0.8307,则八角的最终水质类别为 I 级,污染程度为清洁。同理可以得到其它断面的水质类别评价结果,见表 4。

大。由此可以看出,应该加强污染源的综合治理工作,严格进行废水及固体排放物的管理,积极开展植树造林及水源保护工作,以确保沱江流域的水质安全。另外,采用模糊综合评价法得出的结果是综合分析了水质监测数据后得出的,与采用单因素法评价^[2]得出的结果(表 4)相比具有一定的客观性。

4 结论

以沱江流域地表水为研究对象,通过确立具有代表性的
(下转第 134 页)

林、常绿阔叶林,各土层有机质含量均高于楠竹林。土壤容重变动的总趋势是随着土层深度的增加而增加,相反土壤孔隙度则随土层深度的增加而降低。灌木林土壤非毛管孔隙度的平均值明显大于楠竹林,灌木林的非毛管孔隙度平均值比楠竹林增加了 37.2%,灌木林总孔隙度的平均值是楠竹林的 1.3 倍。

缙云山不同植被坡面土壤含水量和土壤水吸力之间存在显著的幂函数关系,其数学模型为: $y = as^{-b}$ 。

以 0-15 cm 土壤层为例,当土壤水吸力相同时,灌木林土壤含水率最高,针阔混交林次之,常绿阔叶林较低,楠竹林最低,即灌木林 > 针阔混交林 > 常绿阔叶林 > 楠竹林,当土壤含水量相同时,土壤水吸力差异很大,土壤水吸力从大到小依次为灌木林 > 针阔混交林 > 常绿阔叶林 > 楠竹林,灌木林土壤持水性能最好,针阔混交林次之,常绿阔叶林较好,楠竹林最差。

土壤最大蓄水量变动范围为 186.40~245.47 mm,土壤有效水含量的变动范围为 78.13~174.37 mm,不同林分的有效蓄水量从大到小依次为灌木林 > 针阔混交林 > 常绿阔叶林 > 楠竹林,灌木林的有效蓄水量和针阔混交林有效蓄水量相差不大,都约为楠竹林有效蓄水量的 2.23 倍,常绿阔叶林的有效蓄水量是楠竹林的 1.19 倍。有效蓄水量大,有利于调节地表径流,增加土壤水分。

建议在现有林分的经营管理中,注重地表植被和枯落物的保护,进一步采取措施保护现有的天然阔叶林,并加大混交林的营造力度,以更好地发挥缙云山森林涵养水源的生态效益。

参考文献:

- [1] 于志明,王礼先. 水源涵养林效益研究[M]. 北京:中国林业出版社,1991:44-57.
- [2] 张小泉,张清华,毕树峰. 太行山北部中山幼林地土壤水分的研究[J]. 林业科学,1994,30(3):193-199.

- [3] 杨文治,邵明安. 黄土高原土壤水分研究[M]. 北京:科学出版社,2000.
- [4] 吴文强,李吉跃,张志明,等. 北京西山地区人工林土壤水分特性的研究[J]. 北京林业大学学报,2002,24(4):51-55.
- [5] 邵明安. SPAC 中的水分运动[J]. 中国科学院水利部水土保持研究所集刊,1991(13):3-12.
- [6] 刘玉成,钟章成,等. 缙云山自然保护区植被概括[M]//钟章成. 常绿阔叶林生态学研究. 重庆:西南师范大学出版社,1988:315-326.
- [7] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海:上海科学技术文献出版社,1995.
- [8] 华孟,王坚. 土壤物理学[M]. 北京:北京农业大学出版社,1993.
- [9] 李开元,李玉山. 土壤水分特征曲线的意义及其应用[J]. 陕西农业科学,1991(4):47-48.
- [10] Daniel Hillel. Environmental Soil Physics [M]. New York:Academic Press,1998.
- [11] 钟兆站,赵聚宝,薛军红. 晋中中山地区褐土土壤水分特征的测定与应用[J]. 中国农业气象,1996,17(3):1-6.
- [12] West D C, et al Forest succession concept and applications[M]. New York:Springer Verlag,1981:185-211.
- [13] 赵世伟,周印东,吴金水. 子午岭北部不同植被类型土壤水分特征研究[J]. 水土保持学报,2002,16(4):119-122.
- [14] 雷志栋,杨诗秀,谢森传. 土壤水动力学[M]. 北京:清华大学出版社,1988:19-24.
- [15] 周择福,李昌哲. 北京九龙山不同植被土壤水分特征研究[J]. 林业科学研究,1994,7(1):48-53.

(上接第 130 页)

评价因子,建立评价因子矩阵,并建立合适的隶属度函数,对研究区的地表水水质进行模糊综合评价,客观地反映了沱江流域水质状况,结论如下:

(1) 沱江流域中游的地表水水质处于良好状态,而上游和下游的水质状况较差,应该重点加强对沱江上游和下游地区的地表水环境治理。

(2) 模糊数学中的模糊综合评价方法是评价地表水水质的一种较为综合和客观的方法,它通过对监测数据的数学分析,得出较为实际的结果,减少了人为干扰的影响。

(3) 本文中,由于监测数据的限制,只选择了沱江流域 36 个监测断面中的 15 个作为评价对象,同时只选择了 12 个监测指标中的 5 个作为评价因子,如果加入更多的监测断面和更多的监测指标,则可能更好地反映沱江流域地表水水质的综合状况。

(4) 影响地表水水质状况有诸多因素,如土地利用结构、城市发展水平、环境治理情况等,结合这些因素对水质状况进行分析和评价是有待于进一步开展的工作。

参考文献:

- [1] 程西方,谭炳卿. 水环境质量评价及存在问题浅析[C]//水环境保护与管理文集. 郑州:黄河水利出版社,2002:23-26.
- [2] HJ/T2.3-93. 环境影响评价技术导则地面水环境[S].
- [3] 李莲芳,曾希柏,李国学,等. 利用模糊综合评判法评价潮白河流域水质[J]. 农业环境科学学报,2006,25(2):471-476.
- [4] 李进,陈益滨,师伟,等. 模糊综合评价法在地下水水质评价中的应用[J]. 地下水,2006,28(2):1-5.
- [5] 贾陈忠,秦巧燕,张竹清,等. 模糊数学在地表水环境质量评价中的应用[J]. 北方环境,2004,29(6):73-77.
- [6] 陈杰,崔鹏,韦方强,等. 基于模糊关系理论的冰川泥石流活动性评价方法[J]. 水土保持研究,2003,10(2):1-4.
- [7] GB 3838-2002,地面水环境质量标准[S].