

DOI: 10.3969/j.issn.1004-4701.2015.03.02

摘要: 鄱阳湖是中国最大的淡水湖,位于江西省北部,汇集赣江、修水、饶河、信江、抚河等水经湖口注入长江。湖泊南北长 110 km,东西宽 50~70 km,北部狭窄仅 5~15 km。在平水位时湖水面积为 3 050 km²,高水位时为 3 583 km²,低水位时仅 500 km²。作为江西的母亲湖,鄱阳湖被有关专家称为“仅剩的一盆清水”。随着社会经济的快速发展,鄱阳湖水环境受到社会各界越来越多的关注。目前,我们惯用单因子评价法对鄱阳湖水质进行评价,该法简便且易于理解,但缺乏严密性,已不能准确反映鄱阳湖水质的特点。在水质从“清洁”到“污染”的动态过程中,差异往往要通过一个中介过渡的阶段,而处于过渡阶段的差异,便具有模糊性。因此,本文针对鄱阳湖水质的特点,在入湖口、湖区、出湖口选取了 14 个具有代表性的监测站点,引入模糊数学方法,并参考前人的计算与分析方法^[1-3],对鄱阳湖多年来的水质进行综合评价,为鄱阳湖的水质评价及未来发展趋势提供可靠的科学依据。

(1.江西省水文局,江西 南昌 330002;2.江西省南昌市水文局,江西 南昌 330038)

关键词: 鄱阳湖;水质评价;模糊数学;综合评价

中图分类号: TV991.21 文献标识码: A 文章编号: 1004-4701(2015)03-0160-05

0

鄱阳湖是中国最大的淡水湖,位于江西省北部,汇集赣江、修水、饶河、信江、抚河等水经湖口注入长江。湖泊南北长 110 km,东西宽 50~70 km,北部狭窄仅 5~15 km。在平水位时湖水面积为 3 050 km²,高水位时为 3 583 km²,低水位时仅 500 km²。

作为江西的母亲湖,鄱阳湖被有关专家称为“仅剩的一盆清水”。随着社会经济的快速发展,鄱阳湖水环境受到社会各界越来越多的关注。

目前,我们惯用单因子评价法对鄱阳湖水质进行评价,该法简便且易于理解,但缺乏严密性,已不能准确反映鄱阳湖水质的特点。在水质从“清洁”到“污染”的动态过程中,差异往往要通过一个中介过渡的阶段,而处于过渡阶段的差异,便具有模糊性。因此,本文针对鄱阳湖水质的特点,在入湖口、湖区、出湖口选取了 14 个具有代表性的监测站点,引入模糊数学方法,并参考前人的计算与分析方法^[1-3],对鄱阳湖多年来的水质进行综合评价,为鄱阳湖的水质评价及未来发展趋势提供可靠的科学依据。

1 模糊综合评价法

1.1 建立集合及模型

设影响水体质量的污染因素有 n 个,由这 n 个因素构成评价因素集合 $U=\{u_1, u_2, u_3, \dots, u_n\}$,评价等级集合为: $V=\{V_1, V_2, V_3, \dots, V_m\}$,共 m 个等级。

设第 i 个因子 u_i 评价的结果组成单因素模型评价集 $R_i=(r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{im})$ 。它可以看作为评价等级集合 V 上的一个模糊子集,其中 $r_{ik}(k=1, 2, \dots, m)$ 表示第 i 个因素的评判对第 k 个等级评价的隶属度, n 个因素总的评判矩阵为:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11}, r_{12}, \dots, r_{1m} \\ r_{21}, r_{22}, \dots, r_{2m} \\ \dots \dots \dots \\ r_{n1}, r_{n2}, \dots, r_{nm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

在进行综合评判时,应当考虑各个因素对评价等级所起作用的大小,根据这种作用的大小分别给予不同的权重,组成各因素的权数分配矩阵:

$$A=(a_1, a_2, \dots, a_n) \text{ 且 } \sum_{i=1}^n a_i \geq 1 \quad a_i \geq 0 \quad (2)$$

根据模糊变量原理,使得模糊综合评判模型:

$$B=A \times R = (a_1, a_2, \dots, a_n) \begin{bmatrix} r_{11}, r_{12}, \dots, r_{1m} \\ r_{21}, r_{22}, \dots, r_{2m} \\ \dots \dots \dots \\ r_{n1}, r_{n2}, \dots, r_{nm} \end{bmatrix} = (b_1, b_2, \dots, b_m) \quad (3)$$

其中 B 为综合评价的结果,它是评价等级集合 V 上的一个模糊子集。

1.2 建立单因素隶属函数

收稿日期: 2015-03-27
基金项目: 江西省水利科学研究所项目(1977-1999)资助。

根据水的特征,将水质划分为 m 个等级标准,用这些标准可以划分各因素对各级标准的隶属度,隶属度是通过隶属函数计算得到的。从一个 u_i 出发进行评价,以确定评价对象对评价集元素 v_j ($j=1,2,\dots,m$)。 u_i 属于第 j 级水的隶属函数为:

$$r_{ij} = \begin{cases} 0 & c_i \leq S_{i,j-1} \text{ 或 } c_i \geq S_{i,j+1} \\ \frac{c_i - S_{i,j-1}}{S_{i,j+1} - S_{i,j-1}} & S_{i,j-1} < c_i < S_{i,j} \\ \frac{S_{i,j+1} - c_i}{S_{i,j+1} - S_{i,j}} & S_{i,j} < c_i < S_{i,j+1} \\ 1 & c_i = S_{i,j} \end{cases} \quad (4)$$

其中: r_{ij} ——因子 u_i 对 j 级水质的隶属度 z ;

c_i ——因子 u_i 的实测浓度值;

$S_{i,j}$ ——因子 u_i 第 j 级水质标准。

当 c_i 给定后,可用以上隶属函数求出 u_i 对各级水的隶属度,从而可确定模糊评判矩阵 R 。

1.3 确定评价因素的模糊权向量

通常各因子的重要程度不同,对每个因子 u_i 赋与一个相应的权重构成权重集 A 。因子 a_i 的权重值确定方法如下:

$$w_i = \frac{c_i}{S_i} \quad (5)$$

其中: c_i ——因子 u_i 的实测浓度评价的最大值;

S_i ——因子 u_i 各级环境标准的算术均值;

w_i ——因子 u_i 的权重值。

在模糊综合评价中, a_i 本质上是因子对评价事物的重要程度,为进行模糊运算对各因子的权重值进行归一化运算得出因子的权重 a_i :

$$a_i = \frac{\frac{c_i}{S_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{c_i}{S_i}} = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (6)$$

上述 n 项因子指标,分别计算出权重后,组成一个 $1 \times n$ 模糊权重集:

$$A = (a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n) \text{ 且 } \sum_{i=1}^n a_i \geq 1 \quad a_i \geq 0 \quad (7)$$

2 模糊综合评价

2.1 建立因子及评价集

根据鄱阳湖 2004~2009 年水质监测资料进行计算,选取 5 个因素(即 $n=5$)参加评价便构成鄱阳湖水质综合评价因素集合 u 为:

$$u = \{\text{pH, 溶解氧, 氨氮, 总磷, 高锰酸盐指数}\}$$

根据国家《地表水环境质量标准》(GB3838-2002),把鄱阳湖水质类别分为 6 类。

评价集: $V = \{\text{I 类, II 类, III 类, IV 类, V 类, 劣 V 类}\}$

2.2 建立隶属函数, 求出模糊评判矩阵 R

根据隶属函数(4)建立各因素对 6 个级别水的隶属函数,求出各因素对 5 个级别水的隶属度,以昌江口 2009 年实测值为例,求出模糊关系矩阵 R 为:

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.73 & 0.27 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.95 & 0.05 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.60 & 0.04 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

表 1 2009 年昌江口水质测试因素和数据 mg/L

测试站名称	pH(无量纲)	溶解氧	氨氮	高锰酸盐指数	总磷
昌江口	7.46	9.1	0.17	2.1	0.035

表 2 水质分级标准

评价因素	I 类水	II 类水	III 类水	IV 类水	V 类水
pH*			6~9		
溶解氧	7.5	6.0	5.0	3.0	2.0
氨氮	0.15	0.50	1.00	1.50	2.00
高锰酸盐指数	2	4	6	10	15
总磷	0.010	0.025	0.050	0.100	0.200

* 因总氮缺失,在参数选择的过程中选择了能体现湖泊富营养化状态的指标 pH 进行评价。在计算过程中假定 pH 在 6-9 范围内符合 I 类水水质标准。

2.3 计算各因素权数分配

根据公式(6)求得昌江口 2009 年各因素分配矩阵 A 为:

$$A = \{0.4123, 0.2132, 0.0684, 0.1165, 0.1895\}$$

表 3 因素权数分配计算结果

	pH	溶解氧	氨氮	高锰酸盐指数	总磷
c_i	7.46	9.1	0.17	2.1	0.035
S_i	7.50	4.7	1.03	7.4	0.077
c_i/S_i	0.9947	0.5142	0.1650	0.2811	0.4571
$W_i/\sum W_i$	0.4123	0.2132	0.0684	0.1165	0.1895

注:表中计算 DO 的权数时,取 $W_i = S_i/C_i$

2.4 模糊综合评判

根据公式(3),将权重集 A 和单因素模糊矩阵 R 相乘,可得出鄱阳湖昌江口 2009 年的水质综合评价向量 B 。

$$B = A \times R$$

$$=(0.413\ 3,0.213\ 4,0.068\ 2,0.117\ 3,0.187\ 8)\times$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.73 & 0.27 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.95 & 0.05 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.60 & 0.04 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$=\{0.787\ 9,0.137\ 0,0.075\ 1,0,0\}$$

从向量 B 可以看出,对于 I 类水的隶属度最大,根据最大隶属原则,评价昌江口水质为 I 类水。

同理,可以计算出鄱阳湖湖区不同监测点 2007~2009 年水质综合评价情况,如表 4~6 所示。

从表 4 可以看出:(1)根据最大隶属原则,2009 年鄱阳湖区水质为 I 类水,通过单因子评价矩阵 R 可以看出主要污染物为总磷;(2)湖泊下游水质略好于上游水质;(3)湖口出湖水水质较好,无污染物,且 I 类水隶属度处于相对较高水平。

从表 5 可以看出:(1)根据最大隶属度原则,2008 年鄱阳湖区水质为 I 类水(乐安河入湖水水质为劣 V

表 4 2009 年鄱阳湖区水质综合评价情况

测站名称	I 类	II 类	III 类	IV 类	V 类	主要污染物	单因子评价
昌江口	0.675 5	0.242 9	0.081 6	0	0		III
乐安河口	0.442 5	0.167 5	0.354 0	0.036 0	0	总磷	IV
信江东支	0.635 6	0.016 0	0.146 3	0.202 1	0	总磷	IV
鄱阳	0.466 6	0.116 0	0.091 1	0.326 3	0	总磷	IV
龙口	0.555 1	0.029 0	0.250 8	0.180 0	0	总磷	IV
康山	0.578 4	0.075 8	0.002 9	0.384 2	0.003 9	总磷	V
赣江南支	0.568 8	0.145 1	0.267 7	0.036 1	0	总磷	IV
棠荫	0.673 4	0.046 4	0.224 1	0.056 0	0	总磷	IV
都昌	0.714 0	0.038 3	0.237 8	0.009 9	0	总磷	IV
蚌湖	0.745 8	0.216 5	0.037 6	0	0		III
修河口	0.787 2	0.124 9	0.087 9	0	0		III
星子	0.733 4	0.024 7	0.241 9	0	0		III
蛤蟆石	0.789 7	0.096 9	0.113 5	0	0		III
湖口	0.756 6	0.049 9	0.193 4	0	0		III

表 5 2008 年鄱阳湖区水质综合评价情况

测站名称	I 类	II 类	III 类	IV 类	V 类	劣 V 类	主要污染物	单因子评价
昌江口	0.646 4	0.282 4	0.071 3	0	0	0		III
乐安河口	0.390 8	0.038 0	0.118 2	0	0	0.453 0	氨氮	劣 V 类
信江东支	0.510 6	0.119 2	0.059 2	0.310 9	0	0	总磷	V
鄱阳	0.461 2	0.016 7	0.319 1	0.203 0	0	0	总磷	IV
龙口	0.498 5	0.111 8	0.307 3	0.082 5	0	0	总磷	IV
康山	0.629 8	0.087 0	0.192 6	0.090 6	0	0	总磷	IV
赣江南支	0.507 4	0.055 7	0.408 2	0.028 7	0	0		IV
棠荫	0.590 8	0.169 2	0.201 6	0.038 4	0	0	总磷	IV
都昌	0.545 5	0.191 6	0.253 8	0.009 1	0	0	总磷	IV
蚌湖	0.726 1	0.186 9	0.087 0	0	0	0		III
修河口	0.783 6	0.134 2	0.082 2	0	0	0		III
星子	0.700 8	0.284 4	0.014 9	0	0	0		IV
蛤蟆石	0.761 6	0.149 3	0.089 1	0	0	0		III
湖口	0.666 6	0.050 2	0.186 9	0.096 3	0	0	总磷	IV

类),通过单因子评价矩阵 R 可以看出主要污染物为氨氮、总磷;(2)湖泊下游水质略好于上游水质;(3)湖口

出湖水质较好,I类水隶属度处于相对较高水平,主要污染物为总磷。

表 6 2007 年鄱阳湖区水质综合评价情况

测站名称	I类	II类	III类	IV类	V类	劣V类	主要污染物	单因子评价
昌江口	0.674 1	0.086 1	0.220 6	0.019 2	0	0		IV
乐安河口	0.325 6	0.028 1	0.108 3	0.046 4	0	0.491 6	氨氮 总磷	劣V类
信江东支	0.558 9	0.039 7	0	0.373 2	0.028 1	0	总磷	V
鄱阳	0.415 0	0.010 5	0.061 2	0.213 1	0.300 1	0	氨氮 总磷	IV
龙口	0.543 5	0.206 5	0.197 2	0.052 7	0	0	总磷	IV
康山	0.636 4	0.071 4	0.187 0	0.105 2	0	0	总磷	IV
赣江南支	0.576 2	0.342 8	0.081 0	0	0	0		III
棠荫	0.637 5	0.092 5	0.205 2	0.064 8	0	0	总磷	IV
都昌	0.585 7	0.087 1	0.239 8	0.087 4	0	0	总磷	IV
蚌湖	0.683 9	0.070 3	0.226 1	0.019 7	0	0	总磷	IV
修河口	0.757 7	0.029 1	0.213 2	0	0	0		III
星子	0.726 1	0.008 8	0.233 2	0.031 8	0	0	总磷	IV
蛤蟆石	0.603 7	0.053 0	0.089 2	0.254 0	0	0	总磷	IV
湖口	0.686 4	0.024 9	0.202 1	0.086 6	0	0	总磷	IV

从表 6 可以看出:(1)根据最大隶属度原则,2007 年鄱阳湖区水质为 I 类水(乐安河入湖水质为劣 V 类),通过单因子评价矩阵 R 可以看出主要污染物为氨氮、总磷;(2)湖泊下游水质略好于上游水质;(3)湖口出湖水质较好,I类水隶属度处于相对较高水平,主要污染物为总磷。

从表 7 可以看出:(1)根据 I 类水隶属度水质略有提高的监测点 8 个,占 57%,水质保持平稳的 5 个,占 36%,水质略有下降的 1 个,占 7%,水质整体呈略有好转趋势;(2)江河入湖水质整体呈好转趋势;(3)湖口出湖水质呈略有好转趋势。

表 7 鄱阳湖水质变化趋势

测站名称	I类水隶属度			趋势分析
	2007年	2008年	2009年	
昌江口	0.674 1	0.646 4	0.675 5	水质保持平稳
乐安河口	0.325 6	0.390 8	0.442 5	水质略有提高
信江东支	0.558 9	0.510 6	0.635 6	水质略有提高
鄱阳	0.415 0	0.461 2	0.466 6	水质略有提高
龙口	0.543 5	0.498 5	0.555 1	水质保持平稳
康山	0.636 4	0.629 8	0.578 4	水质略有下降
赣江南支	0.576 2	0.507 4	0.568 8	水质保持平稳
棠荫	0.637 5	0.590 8	0.673 4	水质保持平稳
都昌	0.585 7	0.545 5	0.714 0	水质略有提高
蚌湖	0.683 9	0.726 1	0.745 8	水质略有提高
修河口	0.757 7	0.783 6	0.787 2	水质略有提高
星子	0.726 1	0.700 8	0.733 4	水质保持平稳
蛤蟆石	0.603 7	0.761 6	0.789 7	水质略有提高
湖口	0.686 4	0.666 6	0.756 6	水质略有提高

3 结论

3.1 判断主要污染物

根据最大隶属度原则,2007~2009 年鄱阳湖除乐安河 2007~2008 年入湖水质为劣 V 类之外,其余水质均为 I 类。通过单因子评价隶属度组成的单因子评价矩阵 R 可以看出主要污染物为总磷,乐安河口和鄱阳的主要污染物为氨氮、总磷。

3.2 湖区水质分布特点

从各监测点的隶属度可以看出,湖泊上游监测点(鄱阳、龙口、康山、棠荫)I类水隶属度小于湖泊下游(星子、蛤蟆石),湖泊下游水质好于上游。通过对江河入湖水质及相应湖区水质 I 类水隶属度相关分析表明,昌江口、乐安河口、信江东支、赣江南支、蚌湖、修河口等江河入湖水质对鄱阳、龙口、康山、棠荫、星子、蛤蟆石等湖区监测点水质的影响正相关,达极显著水平($R=0.82^{**}$, $R=0.97^{**}$, $R=0.87^{**}$)。同时,污染物进入湖泊南面后必经稀释、降解,也是下游水质好于上游的重要原因。

3.3 江河入湖水质情况

修河口、昌江口水质好于其余入湖口水质,乐安河口入湖水质相对较差,主要污染物为氨氮、总磷;从I类水的隶属度可以看出,江河入湖水质逐年提高。

3.4 出湖水质情况

湖口出湖水质较好,I类水隶属度处于相对较高水平,且水质有不断提高的趋势,主要污染物为总磷。

3.5 鄱阳湖水质变化趋势分析

由于人们保护“一湖清水”的意识不断增强,伴随“节能减排”措施的实行,鄱阳湖区污染源得到较好地控制,鄱阳湖江河入湖水质提高,使得鄱阳湖湖区及湖

口出湖水质也呈提升趋势。因此,严格控制污染源,减少沿湖及江河入湖污染物质的排放是继续保持鄱阳湖“一湖清水”的重要手段。

参考文献

- [1] 付雁鹏.模糊数学在水质评价中的应用[M].武汉:华中工学院出版社,1986:65-77.
- [2] 李梅,朱翔.模糊数学综合评价法在昌江流域水质评价中的应用[C].中国水利学会 2006 学术年会论文集. 南京: 中国水利出版社,2006:254-257.
- [3] 孙瑛,陈广桐.模糊数学方法在湖泊水质评价中的应用[J].山东工业大学学报,1994,24(2):154-158.

Application of fuzzy mathematics method in evaluating water quality of Poyang Lake

LI Mei¹, WANG Da², XIONG Lili¹

(1.Jiangxi Provincial Hydrology Bureau, Nanchang 330002, China;

2.Nanchang Municipal Hydrology Bureau of Jiangxi Province, Nanchang 330038, China)

Abstract: Aimed at the water quality condition of Poyang Lake and based on the monitoring data of 14 representative monitoring stations, the current situation of water quality change is analyzed and the trend of water quality change is forecasted by the fuzzy mathematics method. The results showed that the fuzzy mathematics method can more objectively reflect the situation of water environment quality, also found that the water quality of Poyang Lake, into Poyang Lake and outlet of Poyang Lake is overall good and have the improved trend. After the pollutants into the southern lake was diluted and degraded, the water quality in the downstream is better than upstream. The main pollutants in this lake are ammonia nitrogen and total phosphorus. The site of serious pollution is the outlet of Lean River.

Key words: Poyang Lake; Water environments; Fuzzy mathematics; Water quality evaluation

— ...>£ " " , ¶

(上接第 159 页)

Study on the problems and countermeasures in the rural water ecological civilization construction

LIU Jutao, FANG Shaowen

£Jiangxi Provincial Key Laboratory of Water Resources and Environment of Poyang Lake, Jiangxi Provincial Institute of Water Sciences, Nanchang 330029, China)

Abstract: Rural water environment is an important part of the water ecological civilization construction. Taking rural water environment as the starting point, the relation between the rural water environment improvement and water ecological civilization construction was analyzed. On the basis, the problems during the construction of the water ecological civilization were stated, and the corresponding improvement measures were proposed. It could provide the basis for further protection, and ensure the rural drinking water safety, production and life safety and security for controlling flood. Also it could provide support for accelerating the construction of water ecological civilization.

Key words: Water environment improvement; Water ecological civilization; Measures; Rural

— ...>£ " " , ¶