

湖泊水体富营养化评价的 改性灰色局势决策法*

郑成德 李志斌

(大连铁道学院数学教研室, 大连 116028)

提 要 将待评价样本作为事件, 水质级别作为对策, 构造局势. 通过用效果测度统一计量评价指标, 按级别变量特征值确定最优局势, 提出了用改性灰色局势决策法综合评价湖泊水体富营养化状况并结合实例说明该决策法评价湖泊水体富营养化. 具有客观性和实用性.

关键词 灰色局势决策 效果测度 权重 湖泊富营养化评价

分类号 P343.3

为了对湖泊水体富营养化程度进行综合评价, 近年来我国学者作了一些深入的研究, 提出了若干水体富营养化评价的数学模型^[1-6]. 由于影响湖泊水质的因素很多, 评价因素与富营养化等级之间的关系也很模糊, 所以至今仍没有一种统一的评价模式.

环境是一个多因素多层次的复杂系统. 由于环境系统质量评价时存在着一些不甚明确的灰色信息^[7], 仅从评价因素的监测数据难以建立确定的数学模型, 事实上, 环境系统是一个具有模糊性的灰色系统. 因此用灰色系统理论对湖泊水体富营养化评价显得更客观、合理.

本文从决策角度出发, 运用改进的灰色局势决策原理^[8-10]对湖泊水体富营养化状况进行了评价, 通过实例说明, 该模型用于湖泊水质评价适用性强、方法可行, 结果合理.

1 改性灰色局势决策原理

所谓决策, 指对于某个事件, 从许多对策中挑选出效果最佳者的过程. 决策一般包含事件、对策、效果、目标四因素. 其中事件与对策的二元组合称为局势. 灰色局势决策即指对含有灰元的事件所作的决策. 其中, 信息不完全或者内涵难以穷尽的元素称为灰元.

本文将待评价的湖泊水质样本作为事件, 水体富营养化级别作为对策, 构造局势. 由于湖泊水质各项指标(称为目标)的监测数据中含有灰元, 分级标准中也含有灰元, 因此湖泊水体富营养化评价是一个灰色局势决策问题. 各不同量纲事数量级的指标用效果测度统一计量; 根据综合效果测度确定最优局势, 由此即可判断湖泊水体富营养化级别.

1.1 构造局势与局势矩阵

若有 n 个待评价的环境样本构成事件集 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, 相应地有 m 个环境质量等级构成对策集 $B = \{b_1, b_2, \dots, b_m\}$, 则对策 b_j 对付事件 a_i 的局势为 $S_{ij} = \{a_i, b_j\}$, $j = 1, 2, \dots, m$, $i = 1, 2, \dots, n$. 用所有 m 个对策对付全体 n 个事件的 $n \times m$ 个局势依次排列, 便可得到局

* 收稿日期: 1997-09-16; 收到修改稿日期: 1998-07-02. 郑成德, 男, 1966年生, 硕士, 讲师.

势矩阵 $S = (S_{ij})_{n \times m}$.

1.2 确定目标效果测度

对于某目标(污染指标) $k(k=1, 2, \dots, p)$,每一局势 S_{ij} 都有一个效果值 $r_{ij}^{(k)}$,效果值全体构成效果测度矩阵 $R^{(k)} = (r_{ij}^{(k)})_{n \times m}$.基于非时间序列的单点数据,采用白化函数^[11]作为目标效果测度的计算公式.由于各种指标对环境质量的的不同影响,将数值越大环境质量级别越高的指标(目标)称为正向指标,如湖泊水体富营养化评价中的总磷、总氮等.反之,称其为负向指标,如湖泊水质评价中的透明度等.对于正、负向指标,所用的白化函数公式自然不同.

例如,对正向指标 k ,事件 i 第 1 个对策(环境质量等级)即 $j=1$ 的白化函数为:

$$r_{ij}^{(k)} = \begin{cases} 1 & X_{ik} < S_{kj} \\ [S_{k(j+1)} - X_{ik}] / [S_{k(j+1)} - S_{kj}] & S_{kj} \leq X_{ik} \leq S_{k(j+1)} \\ 0 & X_{ik} > S_{k(j+1)} \end{cases} \quad (1)$$

式中, S_{ik} 表示事件(环境样本) i 目标 k 的实测值, S_{kj} 表示目标 k 对策 j 的标准值.

对于负向指标,白化函数为:

$$r_{ij}^{(k)} = \begin{cases} 0 & X_{ik} < S_{j+1} \\ [X_{ik} - S_{k(j+1)}] / [S_{kj} - S_{k(j+1)}] & S_{k(j+1)} \leq X_{ik} \leq S_{kj} \\ 1 & X_{ik} > S_{kj} \end{cases} \quad (2)$$

对事件 i 第 2 至 $m-1$ 个对策(即 $j=2, 3, \dots, m-1$),正向指标的白化函数为:

$$r_{ij}^{(k)} = \begin{cases} [X_{ik} - S_{k(j-1)}] / [S_{kj} - S_{k(j-1)}] & S_{k(j-1)} \leq X_{ik} \leq S_{kj} \\ [S_{k(j+1)} - X_{ik}] / [S_{k(j+1)} - S_{kj}] & S_{kj} < X_{ik} \leq S_{k(j+1)} \\ 0 & X_{ik} > S_{k(j+1)} \text{ 或 } X_{ik} < S_{k(j-1)} \end{cases} \quad (3)$$

负向指标的白化函数为:

$$r_{ij}^{(k)} = \begin{cases} [X_{ik} - S_{k(j+1)}] / [S_{kj} - S_{k(j+1)}] & S_{k(j+1)} \leq X_{ik} \leq S_{kj} \\ [S_{k(j-1)} - X_{ik}] / [S_{k(j-1)} - S_{kj}] & S_{kj} < X_{ik} \leq S_{k(j-1)} \\ 0 & X_{ik} > S_{k(j-1)} \text{ 或 } X_{ik} < S_{k(j+1)} \end{cases} \quad (4)$$

对于事件 i ,第 m 个对策($j=m$)正向指标的白化函数为:

$$r_{ij}^{(k)} = \begin{cases} 1 & X_{ik} > S_{kj} \\ [X_{ik} - S_{k(j-1)}] / [S_{kj} - S_{k(j-1)}] & S_{k(j-1)} < X_{ik} \leq S_{kj} \\ 0 & X_{ik} < S_{k(j-1)} \end{cases} \quad (5)$$

负向指标的化函数为:

$$r_{ij}^{(k)} = \begin{cases} 0 & X_{ik} > S_{k(j-1)} \\ [S_{k(j-1)} - X_{ik}] / [S_{k(j-1)} - S_{kj}] & S_{kj} < X_{ik} \leq S_{k(j-1)} \\ 1 & X_{ik} < S_{kj} \end{cases} \quad (6)$$

此外还可用文献[3]的隶属函数或文献[8]的上、下限效果测度、中心效果测度等作为目标效果测度的计算公式.一般地应视具体情况而定.

1.3 多目标决策

由于各目标对环境质量的作用程度不同,因此综合评价时需要对目标进行加权处理.本文

采用文献[3]的公式计算各目标的权重. 对于正向指标, 未归一化权重公式为: $\bar{w}_{ik} = X_{ik}/S_{0k}$. 对于负向指标, 未归一化公式为: $\bar{w}_{ik} = S_{0k}/X_{ik}$. 归一化为:

$$w_{ik} = \frac{\bar{w}_{ik}}{\sum_{k=1}^p \bar{w}_{ik}} \quad (7)$$

这里, S_{0k} 为目标 k 的参考标准值.

对 p 个目标的效果测度进行综合, 即得多目标决策综合效果测度矩阵 $R^{(\Sigma)} = (r_{ij}^{(\Sigma)})_{n \times m}$. 其中

$$r_{ij}^{(\Sigma)} = \sum_{k=1}^p w_{ik} r_{ij}^{(k)} \quad (8)$$

1.4 决策准则

目前大多根据最大效果测度选择最优局势. 但对于环境评价问题, 最大综合效果测度原则经常因丢失信息过多而使评判失真, 因此不宜使用.

本文应用陈守煜的级别变量特征值公式^[10]确定最优局势. 公式为:

$$H_i = \sum_{j=1}^m j r_{ij}^{(\Sigma)} \quad (9)$$

式中, H_i 描述了级别变量 j 的综合效果测度分布列或分布多边形的整体特征, 因此它可作为样本 i 对环境质量级别的评判指标. 显然该指标用于决策, 要优于目前评判方法中通常采用的最大综合效果测度原则.

2 应用实例

为便于比较, 本文对我国 9 个主要湖泊^[5]水体富营养化状况进行评价.

2.1 确定事件集、对策集、目标集

九个主要湖泊(表 1)构成事件集 $\Lambda = \{a_1, a_2, \dots, a_9\} = \{\text{青海湖, 太湖, } \dots, \text{洱海}\}$.

表 1 全国九个主要湖泊评价参数的实测数据

Tab.1 Recorded data of the assessed parameters at nine main lakes in China

湖 泊	青海湖	太 湖	呼伦湖	洪泽湖	巢 湖	滇 池	武汉东湖	杭州西湖	洱 海
总磷/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	20	20	80	100	30	20	105	130	34
化学耗氧量/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	1.4	2.83	8.29	5.5	6.26	10.13	10.7	10.3	2.11
透明度/m	4.5	0.5	0.5	0.3	0.25	0.5	0.4	0.35	3.3
总氮/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	0.22	0.9	0.13	0.46	1.67	0.23	2.0	0.76	0.49
生物量/ $\text{万个}\cdot\text{L}^{-1}$	14.6	100	11.6	11.5	25.3	189.2	1913.7	6920	22.30

将湖泊水体富营养化状况划分为 5 个等级(表 2), 由其构成对策集 $B = \{b_1, \dots, b_5\} = \{\text{极贫营养, } \dots, \text{极富营养}\}$. 由参加评价的 5 个污染参数构成目标集 $P = \{\text{总磷, } \dots, \text{生物量}\}$.

2.2 计算目标效果测度

本文用白化函数式(1) - (6)计算目标效果测度. 如目标 1(总磷)对 1 级湖泊水质的白化函数为:

$$r_{i1}^{(1)} = \begin{cases} 1 & x_{i1} < 1 \\ (4-x_{i1})/3 & 1 \leq x_{i1} \leq 4 \\ 0 & x_{i1} > 4 \end{cases}$$

对 2 级水质:

$$r_{i2}^{(1)} = \begin{cases} (x_{i1}-1)/3 & 1 \leq x_{i1} \leq 4 \\ (23-x_{i1})/19 & 4 < x_{i1} \leq 23 \\ 0 & x_{i1} < 1 \text{ 或 } x_{i1} > 23 \end{cases}$$

对 5 级水质:

$$r_{i5}^{(1)} = \begin{cases} 0 & x_{i1} < 110 \\ (x_{i1}-110)/550 & 100 \leq x_{i1} \leq 660 \\ 1 & x_{i1} > 660 \end{cases}$$

同理可以建立各目标对 5 个湖泊水体富营养化级别的白化函数.

将各目标的白化值(表 1 的数据)代入对应公式便可得到各目标的效果测度,并构成效果测度矩阵.如目标 1(总磷)的效果测度矩阵为:

$$R^{(1)} = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.158 & 0.158 & 0 & 0 & 0 & 0.158 & 0 & 0 & 0 \\ 0.842 & 0.842 & 0.345 & 0.115 & 0.920 & 0.842 & 0.057 & 0 & 0.874 \\ 0 & 0 & 0.655 & 0.885 & 0.080 & 0 & 0.943 & 0.964 & 0.126 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.036 & 0 \end{vmatrix}$$

表 2 湖泊水质分级标准

Tab.2 Standards of eutrophication grades in lakes

级别	总磷/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	耗氧量/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	透明度/m	总氮/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	生物量/ 10^4 个 $\cdot\text{L}^{-1}$
极贫营养	<1	<0.09	>37.0	<0.02	<4
贫营养	4	0.36	12.0	0.06	15
中营养	23	1.80	2.4	0.31	50
富营养	110	7.1	0.55	1.20	100
极富营养	>660	>27.10	<0.17	>4.60	>1000

2.3 确定目标权值

根据各目标的白化值,按式(7)计算目标权值.其中取三级(中营养)的标准值为参考值 S_{0k} .各目标权值计算结果列于表 3.

表 3 各目标权重计算结果

Tab.3 The calculated results of the targets' weights

湖泊	青海湖	太湖	呼伦湖	洪泽湖	巢湖	滇池	武汉东湖	杭州西湖	洱海
总磷	0.192	0.115	0.389	0.470	0.121	0.077	0.082	0.036	0.032
化学耗氧量	0.172	0.208	0.515	0.330	0.322	0.501	0.107	0.036	0.025
透明度	0.414	0.028	0.023	0.014	0.010	0.019	0.004	0.001	0.030
总氮	0.157	0.384	0.047	0.161	0.500	0.066	0.116	0.056	0.034
生物量	0.056	0.265	0.026	0.025	0.047	0.337	0.691	0.871	0.878

2.4 计算综合效果测度

根据各目标效果测度 $r_{ij}^{(k)}$ 和权值 w_{ij} , 按式(8)计算综合效果测度 $r_{ij}^{(\Sigma)}$, 并由此构成综合效果测度矩阵:

$$R^{(\Sigma)} = \begin{pmatrix} 0.002 & 0 & 0.008 & 0.008 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.288 & 0.018 & 0.053 & 0.017 & 0.032 & 0.012 & 0 & 0 & 0.697 \\ 0.710 & 0.394 & 0.147 & 0.288 & 0.176 & 0.186 & 0.095 & 0 & 0.289 \\ 0 & 0.584 & 0.759 & 0.678 & 0.715 & 0.790 & 0.266 & 0.196 & 0.014 \\ 0 & 0.004 & 0.033 & 0.009 & 0.077 & 0.012 & 0.639 & 0.804 & 0 \end{pmatrix}$$

2.5 确定最优局势

利用公式(9)计算各样本的级别变量特征值 H_i 以确定各湖泊的水体富营养化程度.

容易计算: $H_1 = 2.70$, $H_2 = 3.57$, $H_3 = 3.76$, $H_4 = 3.66$, $H_5 = 4.24$, $H_6 = 3.54$, $H_7 = 4.23$, $H_8 = 4.32$, $H_9 = 2.72$.

由此判定青海湖中营养, 太湖、滇池介于 3、4 级之间, 为中富营养, 呼伦湖、洪泽湖、巢湖、武汉东湖、杭州西湖富营养, 洱海中营养.

3 比较与讨论

文献[1]利用评分统计法(简称评分法)、文献[3]用模糊数学方法(简称 Fuzzy 法)、文献[4]用灰色聚类法(简称 GCM 法)、文献[5]用人工神经网络 B-P 模型(简称 B-P 法)、文献[6]用 Fuzzy-Grey 决策法(简称 F-G 法)分别对同一实例作了评价, 现将各种方法评价结果比较列于表 4.

表 4 全国九个湖泊富营养化评价结果比较

Tab. 4 Comparison between the results of the nine lakes' eutrophication by different methods

湖 泊	青海湖	太 湖	呼伦湖	洪泽湖	巢 湖	滇 池	武汉东湖	杭州西湖	洱 海
本文法	中	中富	富	中富	富	中富	富	富	中
评分法	贫中	中富	中富	中富	中富	中富	富	极富	贫中
Fuzzy 法	中	中	中	中	富	富	富	富	中
GCM 法	贫中	富	富	富	富	富	富	极富	中
B-P 法	中	中	中	中	富	富	极富	极富	中
F-G 法	贫中	富	富	富	富	富	富	富	中

如果效果测度函数不同, 得到的综合效果测度值也自然不同, 但评价结果还是相同的. 作者还用文献[3]的隶属函数以及文献[7]的上、下限效果测度, 中心效果测度对上例进行了计算, 发现评价结果同上述白化函数所得结果基本一致, 说明该方法的评价结果是可靠的.

4 结束语

用改性灰色局势决策法综合评价湖泊水质具有概念清晰、计算简便、分辨率高等特点. 从实例的结果可以看出, 改进的目标加权决策法提高了决策结果的准确性和可靠性, 使决策结果

能够与评价的湖泊水质状况相吻合,说明湖泊水体富营养化评价的改性灰色局势决策法是一种有效的实用评价方法.

参 考 文 献

- 1 钱凯先. 国内外湖泊富营养化研究及对策. 环境科学, 1988, 9(2):123
- 2 舒金华. 我国湖泊富营养化程度评价方法的探讨. 环境污染与防治, 1990, 12(5):2
- 3 曹 斌, 宋建社. 湖泊水质富营养化评价的模糊决策方法. 环境科学, 1991, 12(5):88
- 4 舒金华. 我国主要湖泊富营养化程度的初步评价与防治对策. 环境科学丛刊, 1986, 7(2):1
- 5 蔡煜东, 汪列, 姚林声. 水质富营养化程度的人工神经网络决策模型. 中国环境科学, 1995, 15(2):123
- 6 李祚泳, 邓新民, 张辉来. 湖泊富营养化程度的 Fuzzy-Grey 决策评价. 系统工程, 1990, 8(3):60
- 7 Deng Ju-Long. Control problems of grey systems. *Systems & Control Letters*, 1982, 1(5):288
- 8 邓聚龙. 灰色预测与决策. 武汉:华中理工大学出版社, 1988
- 9 邓聚龙. 灰色系统理论教程. 武汉:华中理工大学出版社, 1990
- 10 陈守煜. 系统模糊决策理论与应用. 大连:大连理工大学出版社, 1994
- 11 慕金波, 侯克复. 灰色聚类法在水环境质量评价中的应用. 环境科学, 1991, 12(1):86

Improved Grey Situation Decision Making Method for Lake Eutrophication Evaluation

ZHENG Chengde LI Zhibin

(Dept. of Basic Sciences, Dalian Railway Institute, Dalian 116028)

Abstract

This paper studies the practicability and rationality of the application of grey system theory to the assessment of water quality of lakes and proposes the multi-target grey situation decision making method by using grey decision theory. Here, the water sample is taken as an event, the grade of water quality as a strategy, then a situation is set up. By using effect measure to unify the indexes with the grey situation decision making and determining the optimum situation according to the eigenvalues of grade variables, a new method is presented for evaluating eutrophication in lakes. The assessment result of nine lakes' eutrophication shows that it is practicable to assess eutrophication of lakes by using this method.

Key Words Grey situation decision making, effect measure, weight, eutrophication, evaluation