

灰色聚类法在水环境质量评价中的应用

慕金波 侯克复

(华东工学院环境科学与工程系)

摘要 本文提出运用灰色聚类法评价水质的新方法,并用该方法对某水库水质进行了评价,最后与模糊数学方法作了比较。结果证明,灰色聚类法不仅具有模糊数学的优点,又补充了其不完善之处,用灰色聚类法评价水质,比较符合实际状况。

关键词 灰色聚类法;水质评价;模糊数学。

一、灰色聚类法评价水质的步骤

记 $i = 1, 2, \dots, n$ 为聚类样本,即各个水质监测点; $j = 1, 2, \dots, p$ 为聚类指标,即各项污染指标; $k = 1, 2, \dots, m$ 为灰类,即各水质分级标准。

1. 按聚类指标所属的灰类确定白化函数

参照国家规定的水质分级标准并结合当地实际情况,划分为几个级别,即有几个灰类。本文将水质分为三级,则有三个灰类。然后按聚类指标所属类别,确定出不同的白化函数。

第 I 类(第一级水)对于第 j 个指标规定的白化函数 $f_{1j}(x)$ 为(见图 1a)

$$f_{1j}(x) = \begin{cases} f_{1j}(s) & x \in [0, \lambda_{1j}(2)] \\ \frac{\lambda_{1j}(3) - x}{\lambda_{1j}(3) - \lambda_{1j}(2)} f_{1j}(s) & x \in [\lambda_{1j}(2), \lambda_{1j}(3)] \\ 0 & x \in [\lambda_{1j}(3), \infty) \end{cases} \quad (1)$$

第 II 类(第二级水)对于第 j 个指标规定的白化函数 $f_{2j}(x)$ 为(见图 1b)

$$f_{2j}(x) = \begin{cases} \frac{x - \lambda_{2j}(1)}{\lambda_{2j}(2) - \lambda_{2j}(1)} f_{2j}(s) & x \in [\lambda_{2j}(1), \lambda_{2j}(2)] \\ \frac{\lambda_{2j}(3) - x}{\lambda_{2j}(3) - \lambda_{2j}(2)} f_{2j}(s) & x \in [\lambda_{2j}(2), \lambda_{2j}(3)] \\ 0 & x \in [\lambda_{2j}(1), \lambda_{2j}(3)] \end{cases} \quad (2)$$

第 III 类(第三级水)对于第 j 个指标规定的白化函数 $f_{3j}(x)$ 为(见图 1c)

$$f_{3j}(x) = \begin{cases} 0 & x \in [0, \lambda_{3j}(1)] \\ \frac{x - \lambda_{3j}(1)}{\lambda_{3j}(2) - \lambda_{3j}(1)} f_{3j}(s) & x \in [\lambda_{3j}(1), \lambda_{3j}(2)] \\ f_{3j}(s) & x \in [\lambda_{3j}(2), \infty) \end{cases} \quad (3)$$

式中, x 为各污染指标的实测值,或用 d_{ij} 表示; λ_{ki} 为白化函数的阈值,由各级水质标准值确定; f_{ki} 为白化函数值; $f_{ki}(s)$ 为白化函数峰值,通常定为 1。

由图 1 可见,在建立各污染物的白化函数时,考虑了各水质分级界线的模糊性。

2. 定聚类权

聚类权是衡量各个指标对同一灰类的权重。在水质评价中,由于各聚类指标的单位不同,以及绝对值相差很大,因而不能直接采用文献[1]中的公式进行计算,必须事先对灰类进行无量纲化处理,其算式为

$$r_{ki} = \frac{S_{ki}}{S_{0j}} \quad (4)$$

式中, S_{ki} 为第 i 个污染指标第 k 个灰类(级别)的灰数(标准值); r_{ki} 为第 i 个指标第 k 个灰类的无量纲数; S_{0j} 为第 j 个污染指标的参考标准,其取值一般视所评价地区的环境目标而确定。

然后,采用下式计算聚类权

$$\eta_{ki} = \frac{r_{ki}}{\sum_{j=1}^p r_{kj}} \quad (5)$$

式中, η_{ki} 为第 i 个污染指标第 k 个灰类的权值。

3. 求聚类系数

聚类系数是通过灰数白化函数的生成而得到。

* 现在山东省环境保护设计院工作。

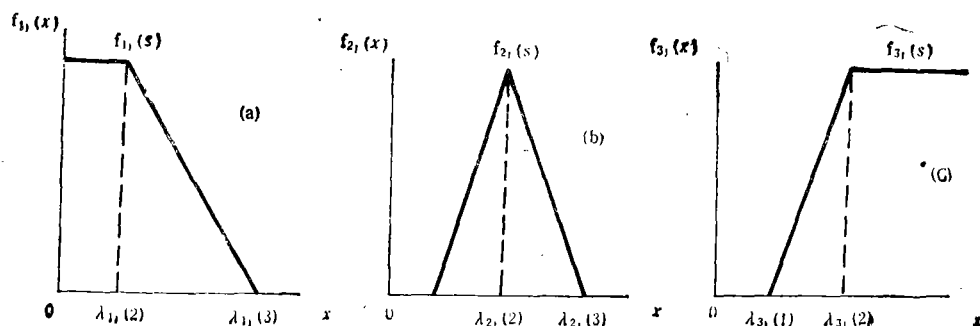


图 1 各灰类的白化函数曲线

表 1 某水库水质实测值 (mg/L)

测点 i 污染指标 j	1	2	3	4	5	6	7
COD	3.2	3.6	3.7	3.7	3.3	3.9	3.6
色度(度)	12.3	14.3	15.0	15.1	9.8	16.0	11.8
氧亏量	2.5	2.1	1.9	1.0	0.4	3.0	1.9
汞	0.0001	0	0.0004	0.0004	0.0004	0.0002	0.0002
六价铬	0.0002	0.006	0.0006	0.004	0.002	0.004	0.0107
铜	0.008	0.0169	0.0247	0.009	0.007	0.020	0.008
BOD	2.40	1.25	1.40	1.40	1.80	1.40	1.23
石油类	0.194	0.103	0.087	0.193	0.098	0.245	0.132

它反映了聚类样本对灰类的亲疏程度,其算式为

$$\delta_{ki} = \sum_{j=1}^p f_{kj}(d_{ij})\eta_{kj} \quad (6)$$

式中, δ_{ki} 为第 i 个样本关于第 k 个灰类的聚类系数。

4. 按最大原则确定样本属于何类
若

$$\delta_{k^*i} = \max_{1 \leq k \leq m} \{\delta_{ki}\}$$

则 δ_{k^*i} 所对应的灰类 k^* 即是这个样本所属类别。把各个样本同属的灰类进行归纳,便是灰色聚类的结果。至此,将各监测点所属水质级别判别出来,同一水质级别的监测点归为一类。

二、应用实例

下面用灰色聚类法对水库水质进行评价。

1. 给出聚类样本、聚类指标和聚类白化数

该水库在 7 个采样点对 8 项污染指标进行了监测,各个采样点上各项污染指标的实测值列于表 1

表 2 水质评价标准 (mg/L)

分级 k 污染指标 j	I	II	III
COD	2	4	6
色度(度)	10	15	25
氧亏量	2.2	4.2	6.2
汞	0.0001	0.0005	0.001
六价铬	0.01	0.02	0.05
铜	0.005	0.01	0.03
BOD	1	3	5
石油类	0.05	0.3	0.5

本文把 7 个采样点作为聚类样本(即 $i = 1, 2, \dots, 7$),把 8 种污染指标作为聚类指标(即 $j = 1, 2, \dots, 8$),而各个采样点上各项污染指标的实测值作为聚类白化数 d_{ij} 。

2. 灰类的划分

本文以地面水环境质量标准作为水质评价标准,8 项污染指标各级浓度标准值列于表 2。这样

表 3 聚类权 η_{ki} 的计算结果

灰类 k	I	II	III
污染指标 j			
COD	0.147	0.125	0.097
色度	0.197	0.125	0.108
氧亏量	0.155	0.125	0.095
汞	0.059	0.125	0.129
六价铬	0.147	0.125	0.162
铜	0.147	0.125	0.194
BOD	0.098	0.125	0.108
石油类	0.049	0.125	0.108

三个水质级别即为三个灰类(即 $k = 1, 2, 3$), 各级浓度标准值即为灰数。

3. 建立白化函数

由表 2 水质分级的标准值可知各指标的各类白化函数的阈值 λ_{ki} , 取各白化函数峰值为 1, 参考式(1)、(2)和(3), 不难写出各污染指标的各类白化函数。以 COD 为例

$$f_{11}(x) = \begin{cases} 1 & x \in [0, 2] \\ \frac{1}{2}(4-x) & x \in [2, 4] \\ 0 & x \in [4, \infty) \end{cases}$$

$$f_{21}(x) = \begin{cases} \frac{1}{2}(x-2) & x \in [2, 4] \\ \frac{1}{2}(6-x) & x \in [4, 6] \\ 0 & x \notin [2, 6] \end{cases}$$

$$f_{31}(x) = \begin{cases} 0 & x \in [0, 4] \\ \frac{1}{2}(x-4) & x \in [4, 6] \\ 1 & x \in [6, \infty) \end{cases}$$

4. 求聚类权

先以第二级水质标准为参考标准, 用式(4)对各灰类进行无量纲化处理, 再用式(5)求出各污染指标不同灰类的权值, 见表 3。

5. 求聚类系数

把表 1 中各污染指标的实测值 d_{ij} 代入各自的白化函数 $f_{ki}(x)$ 中, 得出其白化函数值, 表 4 给出了测点 1 的白化函数值。然后用式(6)求聚类系数 δ_{ki} , 列于表 5。

6. 按最大原则确定归类

由表 5 的最后一列可见, 测点 1, 2, 3, 5 和 7 归为一类, 为第 I 级水; 测点 4 和 6 归为一类, 为第

表 4 测点 1 的白化函数值 f_{ki}

灰类 k	I	II	III
污染指标 j			
COD	0.40	0.60	0.00
色度	0.54	0.46	0.00
氧亏量	0.85	0.15	0.00
汞	1.00	0.00	0.00
六价铬	1.00	0.00	0.00
铜	0.40	0.60	0.00
BOD	0.30	0.70	0.00
石油类	0.42	0.58	0.00

表 5 聚类系数 δ_{ki} 的计算结果

灰类 k	I	II	III	最大元对应的灰类
测点 i				
1	0.612	0.297	0	I
2	0.543	0.330	0.068	I
3	0.459	0.400	0.146	I
4	0.468	0.520	0.001	II
5	0.752	0.299	0	I
6	0.381	0.498	0.108	II
7	0.670	0.315	0	I

II 级水。

三、与模糊数学方法的比较

下面对同一实例用模糊综合评判方法进行水质评价。

第一步, 根据水质分级标准表 2, 拟出降半梯形形式的隶属函数, 然后将表 1 各污染物实测值代入求隶属度, 得出各测点的单因素评判矩阵 $\tilde{R}_i (i = 1, 2, \dots, 7)$ 。本文所建立的隶属函数与白化函数的形式相同, 因而隶属度就是白化函数值, 从而各测点的单因素评判矩阵 $\tilde{R}_i$ 可以直接由该测点的白化函数值写出, 例如测点 1 的单因素评判矩阵 $\tilde{R}_1$ 可直接由表 4 读出。

第二步, 由下式确定各污染物的权重

$$a_{ij} = \frac{d_{ij}/S_{0j}}{\sum_{j=1}^p d_{ij}/S_{0j}} \quad (7)$$

式中, a_{ij} 表示第 i 测点第 j 种污染物的权重; S_{0j} 为第 j 种污染物的参考标准, 有的文献把它取为第 j 种污染物各级标准的平均值, 本文取为二级水质标

准。

由(7)式可以求出各测点的模糊权重向量 $\tilde{A}_i$ ($i = 1, 2, \dots, 7$)，例如测点 1 的权重向量为 $\tilde{A}_1 = (0.171, 0.176, 0.127, 0.043, 0.002, 0.171, 0.171, 0.138)$ 。

第三步，用模糊综合评判模型 $M(\bullet, \oplus)$ 进行复合运算 $\tilde{B}_i = \tilde{A}_i \circ \tilde{R}_i$ ，按最大隶属原则确定各测点的污染级别。例如

$$\tilde{B}_1 = \tilde{A}_1 \circ \tilde{R}_1 = (0.494, 0.505, 0)$$

判为 II 级水。各测点的评判结果见表 6。

表 6 各测点的模糊综合评判结果

测点 i \ 级别	I	II	III	综合评判结果
1	0.494	0.505	0	II
2	0.674	0.541	0.116	I
3	0.224	0.488	0.288	II
4	0.310	0.688	0.002	II
5	0.580	0.419	0	I
6	0.230	0.603	0.016	II
7	0.617	0.384	0	I

比较两种方法可以看出，它们最显著的共同点在于：

(1) 灰色聚类法中白化函数的建立与模糊数学中隶属函数的建立颇相似，结果表示也相同，因而灰色聚类法具有模糊数学方法的优点，即注意到水质等级界线的模糊性。当然，白化函数的形式并不唯一。

(2) 灰色聚类法和模糊综合评判模型 $M(\bullet, \oplus)$ 都是一种“加权平均型”的综合评价方法，它们的信息利用率和精度均较高。当然，模糊综合评判的某些模型如 $M(\wedge, \vee)$ 是一种“主因素突出型”的评价方法，当污染因素多，各权重值较小时，取大和取小运算将遗失许多有用信息，不宜在水质综合评价中使用。

两种方法最显著的不同点在于权重的计算方法上。

在模糊综合评判方法中用式(7)计算权重，该式的含义是，根据各污染物的超标情况进行加权，超标越多，加权越大。但(7)式存在下列问题：①从毒理学角度看，污染物毒性与浓度不成简单的比例关系，不同污染物的毒性随浓度的增长而增长的速率是不

同的，不同污染物同一超标倍数所产生的危害程度并不一定相同。②某一污染物的浓度很小或等于 0 时，由(7)式计算得出该污染物的权重就很小或等于 0，这就大大地减小或消除了该污染物对水质综合评价的影响，有时会得出与实际情况相反的结论。假如第 1 测点六价铬的浓度变为 0.011mg/L，其它污染物浓度不变，这时重新得到第 1 测点的权重向量和单因素评判矩阵为

$$\tilde{A}_1 = (0.153, 0.157, 0.114, 0.038, 0.106, 0.153, 0.153, 0.124)$$

$$\tilde{R}_1 = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.6 & 0 \\ 0.54 & 0.46 & 0 \\ 0.85 & 0.15 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0.9 & 0.1 & 0 \\ 0.4 & 0.6 & 0 \\ 0.3 & 0.7 & 0 \\ 0.42 & 0.58 & 0 \end{bmatrix}$$

则有

$$\tilde{B}_1 = \tilde{A}_1 \circ \tilde{R}_1 = (0.535, 0.463, 0)$$

由此得出此时测点 1 的水质为 I 级。当六价铬的浓度为 0.0002mg/L 时，用模糊综合评判法判为 II 级水，而浓度升为 0.011mg/L，却判为 I 级水，这显然与实际情况不符。原因在于六价铬浓度升高后，提高了它的权重，而浓度为 0.011mg/L 时仍偏重于 I 级水，故出现上述反常情况。因此，使用(7)式计算权重时要谨慎。③由表 2 可知，不同水质级别之间各级标准值的变化幅度是不同的；而且不同污染物在相同水质级别之间标准值的变化幅度又是不同的。因此，在不同的水质级别之间，各污染物的权重应该是不同的。但按(7)式计算得到的权重都是相同的。

灰色聚类法认为各污染物的危害性反映在变化幅度不同的分级标准中，提出用(5)式计算权重。该式表示不同水质级别其各污染物的权重是不同的。根据不同的水质级别，确定相应级别各污染物的权重，这就避免了模糊数学法只用一个权重划分水质分级的不合理之处。据此，我们认为用灰色聚类法对实例的水质评价结果(见表 5)，比用模糊数学法(见表 6)要可靠些。

综上所述，灰色聚类法既具有模糊数学法的优点，又克服了其不足之处，该法是评价水质的一种好方法。

参 考 文 献

- [1] 邓聚龙,灰色系统,第 103 页,国防工业出版社,北京,1985 年.

[2] 邓超冰,环境污染与防治,12(2),24(1990).

[3] 陈飞星,中国环境科学,6(6),54(1986).

(收稿日期:1990 年 6 月 15 日)

拟建呼斯台西里水库工程对巴音布鲁克 天鹅保护区生态环境影响探讨

袁 国 映 张 莉

(新疆环境保护科学研究所)

摘要 本文评价拟建呼斯台西里水库工程对巴音布鲁克天鹅保护区生态环境影响,认为虽然水库经济效益很高,但对生态环境破坏严重:(1)将淹没 385 km² 优良草场;(2)使美丽的开都河曲流景观消失,影响旅游事业发展;(3)淹没保护区核心区 9/10 的天鹅繁殖区和 7/10 的天鹅栖息地,会使天鹅数量迅速下降,估算蓄水当年在大尤尔都斯盆地天鹅将减少 65%.

关键词 呼斯台西里水库工程;巴音布鲁克天鹅保护区,生态环境影响.

一、保护区概况

1. 自然概况

尤尔都斯盆地位于开都河上游,分两部分:海拔 2500—2800 m 的小尤尔都斯盆地,长约 120 km,宽 1—6 km,断续分布有 256 km² 的沼泽地;海拔 2390—2600 m 的大尤尔都斯盆地,沼泽地集中于盆地底部,面积约 823 km²,是巴音布鲁克天鹅保护区的核心地带.在沼泽地中部,约有 38 块高出沼泽 3—6 m 面积大小不等的高地,最大的面积约 27 km².这里分布有永久冻土带,堡垒状的冻土丘和宽大的裂隙.该地年均气温 -4.7℃;7 月最高温度 25.5℃,1 月最低温可达 -46.6℃.无霜期不超过 12 天;年降雨量平均 276 mm,主要集中在 6—8 月;年蒸发量 1126 mm.由于盆地中部地形十分平缓,坡降只有 0.5—1‰,从周围雪山汇集的河流曲流十分发育,产生了众多的牛軛湖和泉水沼泽,星罗棋布,成为天鹅和多种水禽生活的优良环境,俗称天鹅湖.沼泽地中,发育着腐殖质深厚的高山草甸沼泽土和泥炭沼泽土,生长着多种苔草 (*Carex* spp.)、水麦冬 (*Triglochin plustris*)、水毛茛 (*Basrathium*)、狸藻 (*Utricularia* spp.) 等为主的沼生植被群落.在沼泽地周围的高地上,则发育着亚高山草原土和草甸草原土,生长着针茅 (*Sypia subessiliglora* +

S. purpurea)、狐茅 (*Festuca sulcata*)、赖草 (*Leymus secalinus*)、布顿大麦 (*Hordeum bogdanii*) 等组成的草原植被群落.在盆地中,分布有鱼类 2 科 4 种,两栖类 2 科 2 种,爬行类 2 科 4 种,鸟类 23 科 77 种,兽类 12 科 24 种.有我国一、二类保护动物 20 余种,特别是大天鹅 (*Cygnus cygnus*)^[1]、疣鼻天鹅 (*Cygnus olor*) 和小天鹅 (*Cygnus columbianus*),总数达 3000 余只,是世界最集中的大天鹅繁殖区^[2].

2. 人文概况

该地是我国蒙古族牧民聚居区的第二大草原,仅次于额尔多斯,整个盆地总面积近 13,000 km²,是新疆最重要的畜牧业基地之一.这里主要生活着蒙古族牧民,还有少量汉、维等民族,共约 3 万余人,放牧着约 46 万头牛、羊,没有农业.自古以来当地蒙古族牧民视天鹅为“神鸟”,进行崇拜和保护,因此有大量天鹅繁殖至今.1980 年经自治区人民政府批准,在近 1000 km² 的沼泽地中建立了天鹅保护区,更使这里成为旅游和避暑的胜地,游客逐年增多.天鹅也被定为新疆维吾尔自治区的区鸟和巴音郭楞蒙古

参加该项工作的还有张军林、郭凌、陈迎、李红超等同志;野外工作得到巴州环办、天鹅保护区管理站等单位帮助,特此致谢.

ru, Liu Chang-wu, Cai Luo-bao, Li Zhi-xiang: *Chin. J. Environ. Sci.*, **12**(2), 1991, pp. 68—73.

Photochemical transformation of pesticides is an important non-biological process, in which the pesticide efficacy, catabolite, toxicity and environmental impact are significantly affected. In recent years, this subject has become an active research project. This article reviews the basic concepts of environmental photochemistry of pesticides, main photoreaction and the implication of light-induced transformation.

Key Words: pesticide, photolysis, photoreaction.

Greenhouse Effects on Climate and Agriculture. Gao Su-hua, Pan Ya-ru (Academy of Meteorological Science, State Meteorological Administration, Beijing): *Chin. J. Environ. Sci.*, **12**(2), 1991, pp. 73—76.

This article introduces some knowledge of global greenhouse effect caused by increasing emissions of the gases CO, CFCs etc. Depletion of ozone in the stratosphere and increase of ultraviolet radiation will bring about the impact on climate and agriculture, meanwhile increasing ozone in low atmospheric layer would cause yield decreasing.

Key Words: greenhouse effect, climate, agriculture.

Comprehensiv Evaluation of Agro-Natural Environmental Quality: A Case Study in Chongqing City. Zhang Jian-guang (Department of Geography, Southwest China Normal University, Chongqing): *Chin. J. Environ. Sci.*, **12**(2), 1991, pp. 77—81.

A comprehensive and quantitative method for evaluating agro-natural environmental quality has been presented in this article, in which an attempt has been made in discussing the evaluation principles, models, quantification of parameters, allocation of weights etc. As the method applied to a case study in Chongqing, the result showed its high feasibility.

Key Words: agricultural environmental quality, natural environment, evaluation, quantification.

A Study on Zooplankton in the Wastewater Containing Silver. Chen Yuan-gao (Nanjing Institute of Geography and Limnology, Academia Sinica): *Chin. J. Environ. Sci.*, **12**(2), 1991, pp. 81—85.

Zooplanktonic crustacea in some water bodies containing silver in Wuxi Cinefilm Factory was investigated. According to the seasonal sample analysis, there are 3 species in the balance pool, 7 species in the oxidizing ditch, 10 species in the oxidizing pond, 11 species in the inlet to

the Taihu Lake. The changes of silver concentrations in the waters have caused the differences of species composition, dominant species and biomass. Correlation between species amount, biomass and silver concentration appears negative. *Moina macrocopa*, *Diaphanosoma leuchtenbeganum*, *Thermocyclops taihokuensis*, *Mesocyclops leuckeri* are considered to be the dominant species. According to the analysis of samples collected up *Moina macrocopa* in the wastewater, its silver content is 101.5 ppm(DM). When the wastewater was purified with water hyacinth, zooplankton species, amounts and biomass would have an apparent change. Their order is as follows: on water hyacinth root > in wastewater below the hyacinth > in wastewater without the hyacinth.

Key Words: wastewater containing silver, zooplankton, water hyacinth.

Application of the Grey Classification in Water Quality Evaluation. Mu Jin-bo, Hou Ke-fu (Department of Environmental Science and Engineering, East China Institute of Technology): *Chin. J. Environ. Sci.*, **12**(2), 1991, pp. 86—90.

A new method for evaluating water quality, the grey classification, is put forward in this paper. A case study has also been presented to demonstrate how the method to be applied. In comparison with fuzzy mathematics, the grey classification not only retains the advantages of fuzzy mathematics method, but also supplements its imperfections.

Key Words: grey classification, water quality evaluation, fuzzy mathematics.

Environmental Impact of A Reservoir Construction Project on the Bainbluc Swan Reserve in Xinjing Uygur Autonomous Region: A Predictive Study. Yuan Guo-ying, Zhang Li (Xinjiang Environmental Protection Institute Urumqi): *Chin. J. Environ. Sci.*, **12**(2), 1991, pp. 90—93.

The Bainbluc Swan Reserve lies in the middle part of the Tianshan Mountains (The Heavenly Mountains), between 42°28'—43°25'N and 83°02'—86°00' E. According to the local government's construction plan, a reservoir, namely "Hudashely" of $10.2 \times 10^8 \text{ m}^3$ in extent would be constructed in the center of the Reserve. Meanwhile an environmental impact assessment work was done in 1988 prior to the project starting. The result of prediction showed that if the reservoir had been built, the ecological environment of the Reserve would have been destroyed though economic benefit of the reservoir was high. Finally the local government accepted the environmental assessment statement, and the Reserve was preserved.

Key Words: environmental impact assessment, reservoir construction.