

灰色聚类法在升钟水库水体富营养化评价中的应用

胡丽慧¹, 潘 安², 李铁松¹, 李成柱³, 王佑汉¹

(1. 西华师范大学国土资源学院, 四川 南充 637002; 2. 西华师范大学学工部, 四川 南充 637002; 3. 南充市环保局, 四川 南充 637002)

摘 要: 水库水环境是一个灰色系统。将灰色聚类法应用到水库富营养评价中, 是为了建立一种比较完善, 适合于水库富营养化评价的模型, 从而合理地评价库区的水质, 为水库的管理提供依据。参照中国湖泊水库富营养化评价标准和水库的富营养化特点, 选取评价指标, 将富营养化程度分为 6 个级别, 利用灰类白化权函数描述水体富营养化的等级界线, 确定各指标在灰类中的聚类权以及聚类系数, 确定各聚类对象的等级, 在此基础上建立水库富营养化综合评价模型。以四川的升钟水库为研究对象, 采用该水库具代表性监测点 2006 年的监测数据进行分析。结果表明, 升钟水库的监测点中铁鞭电站、果园场、大石桥富营养化程度较重, 铁路寺、青岗垭次之, 李家坝最轻; 该水库富营养化与周边的不合理开发密切相关, 尤其是面源污染负荷的加重和网箱养鱼的增加, 进一步加重了库区的水体富营养化。因此灰色聚类应用于环境质量评价中是可行的, 关键是正确划分灰类白化函数。

关键词: 水库富营养化; 灰色聚类; 聚类权; 聚类系数

中图分类号: X173 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-2043(2008)06-2407-06

Application of the Grey Clustering Method to Assessing the Eutrophication of Shengzhong Reservoir

HU Li-hui¹, PAN An², LI Tie-song¹, LI Cheng-zhu³, WANG You-han¹

(1.Land and Resource College of China West Normal University, Nanchong 637002, China; 2.Section of Students' Affairs of China West Normal University, Nanchong 637002, China; 3.Environmental Protection Agency of Nanchong, Nanchong 637002, China)

Abstract: Reservoir water environment is a grey system. Applying the grey clustering method to assessing the eutrophication of reservoir water is to establish a comparatively perfect model for reservoir eutrophication evaluation and give a sound assessment of the quality of reservoir water, thus, providing a ground for reservoir management. Taking ShengZhong Reservoir of Sichuan Province as the subject and selecting evaluation indices by referring to China's lakes and reservoirs eutrophication criteria and the characteristics of reservoir eutrophication, dividing the eutrophication into six categories and using the whitenization weight function to describe its grading sideline and determine the clustering weights, coefficients and their grades of the corresponding indices in the grey system, a comprehensive evaluation model was established in our study. Through the analysis of the data form several representative monitoring points in ShengZhong Reservoir region in 2006, the findings indicated that eutrophication in such places as Tiebian Hydropouer Station, Guoyuanchang and Dashiqiao comed the most, with Tielushi and Qinggangya secondary, and Lijiaba the least. The eutrophication of the reservoir was closely in relation to the irrational exploitation in its surrounding areas, especially to the non-point source pollutions and net fishery. Therefore, grey cluster is feasible for environmental quality assessment and key is the right dividing of whitenization weight function.

Keywords: eutrophication of reservoir; grey clustering method; clustering weights; clustering coefficients

水库水体富营养化程度评价是在水环境监测调查的基础上, 针对本区域的污染情况, 选取一定的评价指标和数学方法进行评价, 以判明不同评价对象的

富营养化状况存在的问题, 客观地对水体富营养化程度进行评价, 进而提出综合治理的对策措施。水体富营养化评价不仅可以为环境的管理与治理提供科学依据, 同时对制定水环境保护, 水库库区的协调、可持续发展具有一定的指导意义。目前水体富营养化的主要评价法有评分法、营养状态综合指数法^[1]、内梅罗指数法^[2]、模糊数学法^[3]、灰色评价法^[4]和物元分析法等^[5-7]。

收稿日期: 2008-04-24

基金项目: 国家自然科学基金(30470297)

作者简介: 胡丽慧(1981—), 女, 四川汉源人, 主要从事水环境研究。

E-mail: env-fox@163.com

随着经济的迅速发展,水库周边经济的发展,点、面源污染负荷的普遍增加,加速了水库富营养化的进程,使水体丧失了原有的功能,影响了经济和社会可持续发展,成为水环境保护中的突出环境问题之一^[8-9]。

水库受人类活动的影响程度是不同的。流经的区域不同,所处的地理位置、地理条件不同,以至每个监测区域的差异很大。然而水库的营养状态受多种因素的影响,并且各影响因子之间又相互影响,相互制约,加之水环境监测中测得的数据是在有限的时间和空间通过不同的工作人员所得到的。所以水库的水环境系统是部分信息已知,部分信息未知或是一个不确定的系统。灰色系统研究对象正是不确定的信息系统。因此,本研究将灰色系统理论中的灰色聚类法应用到水库水体富营养化程度评价中,目的是建立水库水环境质量综合评价模型,并结合四川升钟水库的评价实例,说明评价的一般过程。

1 灰色聚类分析的基本原理和方法

1.1 灰色聚类分析法的介绍

灰色聚类是灰色系统理论的内容之一,按聚类对象可分为灰色关联聚类和灰色白化权函数聚类。灰色关联聚类主要用于同类因素的归并,以使复杂系统简化;而灰色白化权函数聚类主要用于检查观测对象是否属于事先设定的不同类别^[10]。本文选用的是灰色白化权函数聚类,是一种能够充分利用已知信息来淡化未知信息,最终客观、真实地反映系统本质的系统分析法^[11]。用白化权函数可以描述一个灰数对其取值范围内数值的接近程度。该法对监测数据没有特殊的要求和限制,是评价水库水质富营养化程度的一种简单、客观而又合理可靠的方法。

1.2 灰色聚类分析的基本原理和方法

灰色白化权函数聚类法是将 n 个聚类对象对 m 个不同聚类指标所拥有的白化值(d_{ij})按 s 个不同灰类进行归纳整理,从而判断聚类对象是属于哪一类的灰色统计^[12]。评价模型的基本步骤为:

- ① 给出样本的白化值(d_{ij})
- ② 确定评价指标白化函数的灰类值
- ③ 数据的无量纲化处理
- ④ 确定灰类白化权函数 f_j^k 为第 j 个指标属于第 k 个灰类的白化权函数
- ⑤ 确定聚类权 η_j^k
- ⑥ 确定聚类系数 σ_j^k 并构造聚类向量 σ_i
- ⑦ 确定各聚类对象的等级,做聚类分析,在 σ_i^k

中求最大元素 σ_i^k , $\sigma_i^k = \max\{\sigma_i^k\}$

则第 i 个对象属于第 k^* 个等级

2 富营养化评价的灰色聚类分析模型

2.1 确定聚类指标和灰类

根据湖泊水库调查结果和富营养化标准选择灰色聚类指标,此次研究选用 5 个污染指标即:叶绿素 a(Chl-a),总磷(TP),总氮(TN),化学需氧量(COD),透明度(SD)作为评价湖泊水库富营养化程度的聚类指标^[13]。参照的是金相灿等^[14]提出的评价标准,将富营养化程度划分为 6 个级别即:贫营养(1 级),贫中营养(2 级),中营养(3 级)、中富营养(4 级)、富营养(5 级),重富营养(6 级),见表 2。

2.2 数据的无量纲化处理

在水体富营养化评价中,由于各评价指标的量纲各不相同,划分等级大小也不同,需进行无量纲化处理,以便具有可比性。本文采用的是均值法对指标的实测值 d_{ij} 和指标评价标准的灰类值 b_{kj} 进行无量纲化,计算公式如下:

$$x_{ij} = \frac{d_{ij}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_{ij}}, y_{ij} = \frac{d_{kj}}{\frac{1}{s} \sum_{s=1}^s b_{kj}} \quad (1)$$

2.3 确定白化函数

灰类白化函数对聚类结果有至关重要的影响,在本文中各聚类灰数的阈值 y_{ij} 是由各聚类指标的标准确定的,从而避免了经验主义估计计算所产生的误差甚至错误,白化函数对于白化数是独立的^[15]。白化函数常用三角形白化函数和线性函数来表示,本文采用的第 i 个聚类对象的污染指标 j 的白化权函数可用下列线性函数来表示:

(1)对于观测值越大水质越差的指标(COD、TN、TP、Chl-a),当 $k=1$,即属于第一级贫营养化的白化权函数为:

$$f_j^1(x_{ij}) = \begin{cases} 1 & 0 \leq x_{ij} \leq y_{1j} \\ \frac{y_{2j}-x_{ij}}{y_{2j}-y_{1j}} & y_{1j} < x_{ij} < y_{2j} \\ 0 & x_{ij} > y_{2j} \end{cases} \quad (2)$$

$k=2$,即属于第二级中营养化的白化权函数:

$$f_j^2(x_{ij}) = \begin{cases} 0 & x_{ij} \leq y_{1j} \text{ 或 } x_{ij} \geq y_{3j} \\ \frac{x_{ij}-y_{1j}}{y_{2j}-y_{1j}} & y_{1j} < x_{ij} \leq y_{2j} \\ \frac{y_{3j}-x_{ij}}{y_{3j}-y_{2j}} & y_{2j} < x_{ij} \leq y_{3j} \end{cases} \quad (3)$$

$k=3,4,5$ 属于第三、四、五营养级的白化权函数参照第二级的白化权函数公式确定。

$k=6$,属于第 6 级重富营养的白化权函数为:

$$f_j^6(x_{ij})=\begin{cases}0 & x_{ij}<y_{5j} \\ \frac{x_{ij}-y_{5j}}{y_{6j}-y_{5j}} & y_{5j}<x_{ij}<y_{6j} \\ 1 & x_{ij}\geq y_{6j} \end{cases} \quad (4)$$

(2)对于观测值越大,水质越好的指标(SD),当 $k=1$ 属于第一级贫营养化的白化权函数则变为:

$$f_j^1(x_{ij})=\begin{cases}1 & x_{ij}\geq y_{1j} \\ \frac{y_{2j}-x_{ij}}{y_{2j}-y_{1j}} & y_{1j}>x_{ij}>y_{2j} \\ 0 & x_{ij}\leq y_{2j} \end{cases} \quad (5)$$

其他等级的白化权函数依次类推。

2.4 确定各指标在各类别中的聚类权

聚类权的确定方法有:(1)单纯阈值法,(2)阈值样本法,(3)专家经验法,(4)样本平均差值法^[16]。由于污染因子阈值 y_{kj} 越大、毒性越小,其相对权重就越小^[2],本文采用单纯阈值法中的取倒数法。该法每个指标对于不同的级别都有不同的聚类权,避免了用一个固定基准划分营养级别的不合理之处。公式为:

$$\eta_{kj}=\frac{1}{y_{kj}}/\sum_{j=1}^m\frac{1}{y_{kj}} \quad (6)$$

2.5 确定聚类系数 σ_i^k

公式为:
$$\sigma_i^k=\sum_{j=1}^mf_j^k(x_{ij})\eta_j^k \quad (7)$$

聚类系数是通过灰类白化函数生成得到,它反映了聚类样本对灰类的关联程度。

2.6 构造聚类向量 σ_i 确定各聚类对象的等级

$\sigma_i=\{\sigma_i^1,\sigma_i^2\cdots,\sigma_i^k\}$ 根据各等级中最大聚类系数,确定聚类对象等级,哪一级聚类系数最大即 $\sigma_i^k=\max\{\sigma_i^k\}_{1\leq k\leq s}$,则该对象 i 就属于哪一级(灰类 k)。

3 实证分析

3.1 水质监测样本和分级标准值

以四川升钟水库为研究对象,对其水体进行富营养化评价,为其综合治理及可持续发展研究提供依据。升钟水库水质监测数据 d_{ij} 和分级标准值 λ_j^k 分别为表 1 和表 2。

数据的无量纲化处理:采用公式(1)均值化法,对表 1 和表 2 中的数据进行无量纲化处理,处理后结果分别为表 3 和表 4。

3.2 确定各评价指标对各灰类的聚类权

采用公式(6)计算权重,各灰类中各评价指标的聚类权计算结果见表 5。

3.3 确定各评价对象对各灰类的聚类系数

将表 3 和表 4 的数据代入(2)~(5)式,得到各聚

表 1 升钟水库水体富营氧化监测数据(d_{ij})

Table 1 Eutrophication surveying date of water quality of lakes and reservoir in Shengzhong (d_{ij})

聚类指标/ Clustering index	聚类对象 Clustering object/ <i>i</i>					
	李家坝 Lijiaba	果园场 Guoyuanchang	大石桥 Dashiqiao	铁鞭电站 Tiebiandianzhan	铁路寺 Tielusi	青岗垭 Qinggangya
COD/mg·L ⁻¹	4.25	4.95	5.1	6.450	4.250	4.350
TN/mg·L ⁻¹	0.67	1.335	0.975	1.520	0.960	0.765
TP/mg·L ⁻¹	0.061 5	0.066	0.08	0.130	0.081	0.064
Chl-a/mg·L ⁻¹	5.725	8.325	9.415	12.740	1.900	7.745
SD/m	1.200	1.030	1.050	0.600	0.950	1.050

表 2 中国湖泊水库富营养化分级标准(灰类值 λ_j^k)

Table 2 Eutrophication classification standard of lakes and reservoirs in China(grey λ_j^k)

评价指标 Evaluation Index	1 级 The first 贫营养 Oligotrophic	2 级 The second 贫中营养 Lower-mesotrophic	3 级 The third 中营养 Mesotrophic	4 级 The fourth 中富营养 Upper-mesotrophic	5 级 The fifth 富营养 Eutrophic	6 级 The sixth 重富营养 Hypereutrophic
COD/mg·L ⁻¹	0.300	0.400	2.000	4.000	10.000	25.000
TN/mg·m ⁻³	30.000	50.000	300.000	500.000	2 000.000	6 000.000
TP/mg·m ⁻³	2.500	5.000	25.000	50.000	200.000	600.000
Chl-a/mg·m ⁻³	1.000	2.000	4.000	10.000	65.000	160.000
SD/m	10.000	5.000	1.500	1.000	0.400	0.300

表 3 升钟水库无量纲化处理的水质富营养化监测数据(x_{ij})

Table 3 Non-dimension eutrophication surveying date of water quality of reservoir and lakes in Shengzhong(x_{ij})

聚类指标/ Clustering index	聚类对象 Clustering Object/ <i>i</i>					
	李家坝 Lijiaba	果园场 Guoyuanchang	大石桥 Dashiqiao	铁鞭电站 Tiebiandianzhan	铁路寺 Tielusi	青岗垭 Qinggangya
COD/mg·L ⁻¹	0.869	1.012	1.043	1.319	0.869	0.889
TN/mg·L ⁻¹	0.646	1.287	0.940	1.465	0.925	0.737
TP/mg·L ⁻¹	0.766	0.822	0.997	1.614	1.009	0.791
Chl-a/mg·L ⁻¹	0.749	1.089	1.232	1.667	0.249	1.014
SD/m	1.225	1.051	1.072	0.612	0.969	1.072

表 4 中国湖泊水库富营养化分级标准无量纲化后的灰类值(η_{kj})

Table 4 Dimensionless values of entrophication of lakes and reservoirs in China(η_{kj})

评价指标 Evaluation index	1 级 The first 贫营养 Oligotrophic	2 级 The second 贫中营养 Lower-mesotrophic	3 级 The third 中营养 Mesotrophic	4 级 The fourth 中富营养 Upper-mesotrophic	5 级 The fifth 富营养 Eutrophic	6 级 The sixth 重富营养 Hypereutrophic
COD/mg·L ⁻¹	0.036	0.048	0.240	0.480	1.199	2.998
TN/mg·m ⁻³	0.017	0.028	0.169	0.282	1.126	3.378
TP/mg·m ⁻³	0.014	0.028	0.142	0.283	1.133	3.399
Chl-a/mg·m ⁻³	0.021	0.041	0.083	0.207	1.343	3.306
SD/m	2.747	1.374	0.412	0.275	0.110	0.082

表 5 各灰类中各评价指标的聚类权(η_{kj})

Table 5 Clustering weights of evaluation indexes in corresponding grey classification(η_{kj})

评价指标 Evaluation index	1 级 The first 贫营养 Oligotrophic	2 级 The second 贫中营养 Lower-mesotrophic	3 级 The third 中营养 Mesotrophic	4 级 The fourth 中富营养 Upper-mesotrophic	5 级 The fifth 富营养 Eutrophic	6 级 The sixth 重富营养 Hypereutrophic
COD/mg·L ⁻¹	0.135	0.177	0.132	0.118	0.067	0.025
TN/mg·L ⁻¹	0.287	0.304	0.187	0.201	0.071	0.022
TP/mg·L ⁻¹	0.342	0.304	0.223	0.200	0.071	0.022
Chl-a/mg·L ⁻¹	0.232	0.208	0.381	0.274	0.060	0.023
SD/m	0.002	0.006	0.077	0.206	0.731	0.909

表 6 各灰类的聚类系数

Table 6 Clustering coefficients of the crey category

聚类对象 Clustering objects	1 级 The first 贫营养 Oligotrophic	2 级 The second 贫中营养 Lower-mesotrophic	3 级 The third 中营养 Mesotrophic	4 级 The fourth 中富营养 Upper-mesotrophic	5 级 The fifth 富营养 Eutrophic	6 级 The sixth 重富营养 Hypereutrophic
李家坝 Lijiaba	0	0.006 413 776	0.014 607 3	0.294 613 177	0.103 691 1	0
果园场 Guoyuanchang	0	0.004 326 063	0.027 117 1	0.157 974 432	0.223 174 7	0.002 025 864
大石桥 Dashiqiao	0	0.004 555 186	0.025 875 3	0.133 475 562	0.232 920 6	0
铁鞭电站 Tiebiandianzhan	0	0.000 789 986	0.037 235 4	0	0.344 877 6	0.020 752 333
铁路寺 Tielusi	0	0.003 481 954	0.031 318 1	0.142 208 384	0.165 182 3	0
青岗垭 Qinggangya	0	0.004 555 186	0.025 875 3	0.010 004 858	0.138 974 6	0

类样本对各灰类的关联值。将表 5 所得的灰类的关联程度值代入公式(7)得到聚类系数矩阵,结果见表 6。

3.4 结果与分析

3.4.1 评价结果

按照最大隶属度原则,参照表 6,李家坝为 4 级,属于中富营养;果园场为 5 级,属于富营养;大石桥为 5 级,属于富营养;铁鞭电站为 5 级,属于富营养;铁路寺为 5 级,属于富营养;青岗垭为 5 级,属于富营

养。6 个聚类对象除了李家坝其余 5 个均为 5 级富营养,但由于 $\sigma_4^4 > \sigma_3^4 > \sigma_2^4 > \sigma_5^4 > \sigma_6^4$, $\sigma_5^4 > \sigma_3^4 > \sigma_2^4 > \sigma_4^4 > \sigma_6^4$, 各监测点的富营养化程度顺序为铁鞭电站、大石桥、果园场、铁路寺、青岗垭、李家坝。本次评价结果与实际情况相对应,图 1 是升钟水库水体富营养化程度评价结果的专题图。

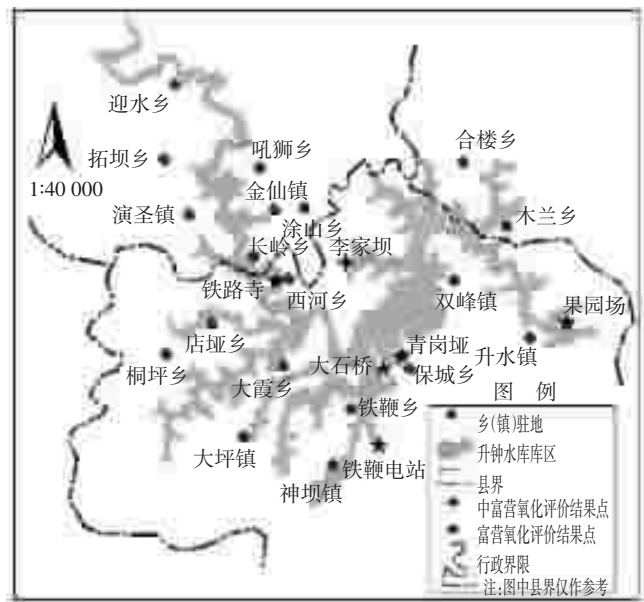


图 1 南充市升钟水库富营养化评价图

Figure 1 Eutrophication evaluation plans of Shengzhong reservoir

3.4.2 评价结果分析

从图 1 可以看出李家坝水环境质量相对较好,而铁鞭电站、果园场、大石桥水质最差,富营养化程度较严重。结合当地实际情况对其进行分析:

①富营养化相对较好的区域:富营养化相对较好的李家坝位于库区的中心位置,水面宽阔,蓄水量最大,网箱养鱼较少,水土流失、城镇生活污水、船舶废弃物污染都相对较少。

②富营养化相对较差的区域:水库的主要部分是四川省南充市西河干流,流水方向上至入境断面铁路寺,下至水库大坝前的果园场。在入境断面的铁路寺和铁鞭镇境内的西河支流的青岗垭富营养化相对较差。该区域的生态环境脆性,水土流失等生态环境问题较突出,加之化肥使用量较大,在该地区造成的污染和环境破坏较严重。

③富营养化程度最严重的区域:铁鞭电站,果园场污染程度较重是由多种因素造成的。铁鞭电站、果园场监测点是网箱养鱼的密集区且分别临近总干渠;而大石桥接近升钟水库总干渠出口,网箱比较密集,

是接纳场镇生活污水的汇合口。

4 结束语

通过应用灰色聚类法对水库湖泊进行富营养化评价的实例,结果全面,既有白化结果,又有灰色类别。灰色聚类法不但可以更好地体现湖泊富营养化程度的灰色性和不确定性,而且可以反映单个污染物或多个污染物突出影响,同时可以反映出各种因素的综合影响,其分析方法原理简单,计算方便,结果可靠,能较大的提高环境影响评价的科学性和客观性,是一种颇具实用价值的评价方法。因此灰色聚类应用于环境质量评价中是可行的,但正确划分灰类白化函数是解决问题的关键。

参考文献:

- [1] 谢 骏.灰色系统理论在我国湖泊富营养化程度评价中的应用[J].水利渔业,1997(4):9-12.
XIE Jun. Application of gray-system theory to the eutrophication evaluation for lake water in China.[J]. *Reservoir Fisheries*, 1997 (4):9-12.
- [2] 兰文辉.灰色聚类分析法在大气环境评价中的应用及与其它方法的比较[J]. 干旱环境监测,1995,9(3): 147-150.
LAN Wen-hui. Application of grey clustering method to atmospheric environmental assessment and comparing with other methods[J]. *Arid Environmevtal Monitoring*,1995,9(3): 147-150.
- [3] 赵东风,赵朝成,冯成武.模糊数学法在回顾性环境影响评价中的应用研究[J]. 干旱环测,1997,11(4): 234-238.
ZHAO Dong-feng, ZHAO Zhao-cheng, FENG Cheng-wu. Application of fuzzy to the reviewing evaluation on eia[J]. *Arid Environmental Monitoring*, 1997, 11(4):234-238.
- [4] 朱庆峰,廖秀丽,陈新庚,等.用灰色聚类法对荔湾湖水水质富营养化程度的评价[J].中国环境监测,2004,20(2):47-50.
ZHU Qing-feng, LIAO Xiu-li, CHEN Xin-geng, et al. The application of the grey clustering method to assess the eutrophication of lake of Li-wan[J]. *Environmental Monitoring in China*, 2004, 20(2):47-50.
- [5] 周林飞,谢立群,周林林,等.灰色聚类法在湿地水体富营养化评价中的应用[J].沈阳农业大学学报,2005,36(5): 594-598.
ZHOU Lin-fei, XIE Li-qun, ZHOU Lin-lin, et al. Application of grey clustering method in eutrophication evaluation for wetland[J]. *Journal of Shenyang Agricultural University*,2005, 36(5):594-598.
- [6] 许文杰,陈为国.应用灰色聚类法评价湖泊水体富营养化[J]. 山东建筑大学学报,2007,22(1): 49-56.
XU Wen-jie, CHEN Wei-guo. Application of grey clustering method in eutrophication assessment for lake water[J]. *Journal of Shandong Jianzhu University*, 2007, 22(1):49-56.
- [7] Janssen MA.An exploratory integrated model to assess management of lake eutrophication[J]. *Ecological Modeling*, 2001(140):111-124.
- [8] 马经安,李红清.浅谈国内外江河湖库水体富营养化状况[J].长江流域资源与环境, 2002,11(6):575-578

- MA Jing-an,LI Hong-qin. Preliminary discussion on eutrophication status of lakes reservoirs and rivers in China and overseas[J]. *Re-sources and Environment in the Yangtze Basi*, 2002,11(6):575-578.
- [9] Zalewski M.Ecohydrology the scientific background to use ecosystem properties as management tools toward sustainability of water resource[J]. *Ecological Engineering*, 2000(16):1-8.
- [10] 罗 党.灰色决策问题分析方法[M]. 河南:黄河水利出版社,2005.
- LUO Dang. Grey decision-making analysis [M]. Henan: The Yellow River Water Conservancy Press, 2005.
- [11] 邓聚龙.灰色系统基本方法[M]. 武汉:华中学院出版社,1987.
- DENG Ju-long. Grey basic method[M].Wuhan: Central China Institute Press, 1987.
- [12] 厉彦玲.基于灰色聚类分析法的生态环境质量综合评价模型[J]. 测绘科学, 2007, 32(5):77-79.
- LI Yan-ling. Ecological environment quality comprehensive evaluation model based on grey clustering[J]. *Science of Surveying and Mapping*, 2007, 32(5):77-79.
- [13] 孟春红,赵 冰.三峡水库蓄水后的富营养化趋势分析[J]. 农业环
境科学学报,2007, 26(3):863-867.
- MENG Chun-hong, ZHAO Bing. Study on the trend of eutrophication after impounding in three gorges reservoir[J]. *Journal of Agro-Environ-ment Science*, 2007, 26(3):863-867.
- [14] 金相灿,刘鸿亮,屠清瑛,等,中国湖泊富营养化[M].北京:中国环境科学出版社,1990.
- JIN Xiang-can, LIU Hong-liang, TU Qing-ying, et al. China lake eu-trophication[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1990.
- [15] 许文杰, 等.应用灰色聚类法评价湖泊水体富营养化[J]. 山东建筑大学学报, 2007, 22(1):49-51,56.
- XU Wen-jie, et al. Application of grey clustering method in eutrophication assessment for lake water[J]. *Journal of Shandong Jianzhu Uni-versity*, 2007, 22(1):49-51,56.
- [16] 党国辉, 孙 翔. 关于灰色聚类分析计算的研究[M].开封:河南大学出版社,1993.103-107.
- DANG Guo-hun, SUN Xiang. About the grey analysis of research[M]. Kaifeng:Henan University Press, 1993.103-107.