

基于灰色关联的太湖流域水质评价

蒋慧云, 吕惠进, 李佐卿

(浙江师范大学 地理与环境科学学院, 浙江 金华 321004)

摘要: 采用灰色关联分析法对太湖流域水质进行评价, 详细介绍了灰色关联分析法应用于太湖流域湖州新塘港水环境质量进行评价的过程, 该方法采用太湖流域浙江湖州新塘港水体断面的影响因子: 溶解氧、高锰酸钾指数、氨氮的实测浓度组成参考数列, 各因子标准浓度组成比较数列, 计算参考数列与比较数列的关联度, 按其大小确定综合水质级别。研究表明该地区水环境质量较差, 并指出了治理太湖流域的建议性措施。

关键词: 水环境质量; 灰色关联; 水质评价; 太湖流域

中图分类号: X524; TU991.21

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2012)01-0161-03

Water quality evaluation in Taihu lake basin based on the grey relation

JIANG Huiyun, LÜ Huijin, LI Zuoqing

(College of Geography and Environmental Science, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, China)

Abstract: The paper used grey relation analysis method to evaluate water quality in Taihu lake basin and detailed the gray correlation analysis method used in water environment quality evaluation process of Huzhou Xintang port in Taihu lake basin. The method applied the impact factors of Huzhou Xintang port water cross-section in Taihu lake basin, such as DO, COD_{Mn} , $\text{NH}_3\text{-N}$; these concentration are measured to form the reference sequence, each factor is the sequence of standard concentration, through calculating the correlation degree between the comparison of the sequence and the reference sequence and according to their sizes to determine the comprehensive water quality level. Research showed that the water environmental quality in this area was poorer and pointed out the constructive measures to govern Taihu lake basin.

Key words: water environment quality; grey relational; water quality evaluation; Taihu lake basin

0 前言

灰色关联分析法是环境评价中最常见的评价方法之一, 其灰色系统理论是环境评价系统理论的重要部分, 是我国学者邓聚龙教授于 20 世纪 80 年代前期提出的用于控制和预测的新理论、新技术, 目前应用于各个学科领域, 取得了显著成就^[1]。水体污染是一个连续、渐变、不分明复杂过程, 只有对其进行定期的、不间断的监测与评价, 才能得到准确的数据和结果, 才能分析水环境质量优劣级别。污染水体本身是一个信息不完全清楚的系统, 即灰色系统。应用灰色系统理论的基本原理, 用关联分析法对地表水进行环境质量评价, 着重于待评价样本与水环境质量分级标准在整体上的关联程度, 因而能够减少人为因素, 较好地为区域水环境指标进行综合评价分级^[2]。

1 灰色关联评价方法

对于一定时空监测点的水环境指标, 存在着一

些指标属于 t_1 级水, 而另一些指标属于 t_2 级水 ($t_1 \neq t_2$) 的情况。在时间上还是在空间时间上取样, 都是不连续的, 样本信息并不完全或充分, 因此, 要从监测数据中提炼出大多数接近的某类水环境质量级别, 就要进行监测序列与各级标准序列间的关联分析或隶属关系, 找出关联最密切的标准序列, 就是水环境的质量级别^[3-4]。实际工作中, 评价指标的量化值不同, 在评价之前应该先将样本数据进行无量纲处理。目前在水质评价中使用的无量纲化方法主要有均值化变换、初值化变换、标准化变换, 这里采用均值化变换数据。在进行水环境质量评价时, 选择水体实测值作为参考数列 $x_0(k)$ ($k = 1, 2, 3, \dots, n$), 水体质量的分级标准为比较数列 $x_i(k)$ ($i = 1, 2, \dots, m; k = 1, 2, 3, \dots, n$), 这样对于参考数列, 所求出的 5 个关联度中最大关联度所对应的比较数列的级别, 就是待评水体所对应的水质分类标准^[4]。

1.1 计算步骤

1.1.1 确定参考数列和比较数列 设 $X_0 =$

收稿日期: 2011-10-08; 修回日期: 2011-10-19

作者简介: 蒋慧云 (1987-), 女, 湖南永州人, 硕士研究生, 主要研究方向资源与环境评价。

通讯作者: 吕惠进 (1958-), 男, 浙江缙云人, 硕士生导师, 教授, 主要从事地质、资源与环境方面的教学和科研工作。

$\{x_0(k) \mid k = 1, 2, 3, \dots, n\}$ 为参考数列 (母数列), $X_0(k)$ 表示待评价样本的第 k 项评价因子的无量纲化值, 即各个监测值为参考数列; $X_i = \{x_i(k) \mid k = 1, 2, 3, \dots, n\}, (i = 1, 2, \dots, m)$ 为比较数列 (子数列), $x_i(k)$ 表示评价标准的第 i 级第 k 项评价因子的无量纲化值。即水体质量的分级标准为比较数列。

1.1.2 求关联系数 比较数列的所有指标对应于参考数列的所有指标的关联系数为:

$$\xi_i(k) = \frac{\min_k \min_i \Delta i(k) + \zeta \max_i \max_k \Delta i(k)}{\Delta i(x) + \zeta \max_i \max_k \Delta i(x)} \quad (1)$$
$$i = 1, 2, \dots, m; \quad k = 2, 3, \dots, n$$

式中: $\xi_i(k)$ 为第 k 个指标 $x_i(k)$ 与 $x_0(k)$ 的关联系数; $\Delta i(k) = |x_0(k) - x_i(k)|, (k = 1, 2, \dots, n)$, 为第 k 个指标 X_0 与 X_i 的绝对差; ζ 为分辨系数, 取 $0 \sim 1$ 之间; $\min_k \min_i \Delta i(k)$ 为两级最小差, $\max_i \max_k \Delta i(k)$ 为两级最大差。即: $\xi_i(k) = \{ \xi_i(k) \mid k = 1, 2, 3, \dots, n \}$ 。

1.1.3 计算关联度 关联系数个数很多, 信息过于分散, 不便于评价所有 n 个评价因子的整个关联程度, 有必要将各个评价因子的关联系数 $\xi_i(k)$ 集中为一个值。这个值就是关联度, 一般用算术平均值, 其表达式为:

$$R_i = 1/n \sum \xi_i(k) \quad k = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2)$$

式中: 关联度 R_i 表示参考序列 $x_0(k)$ 与比较序列 $x_i(k)$ 之间的相关度, 求得最大 $R_i = \max(R_1, R_2, \dots, R_m)$ 值所对应的标准级别 i 即为待评价样本的环境质量级别^[5]。根据关联度 R_i 可计算参评因素的权重: $w_i = R_i / \sum R_i \times 100$ (3)

1.1.4 根据关联度大小进行排序 R_i 的值越大, 表示母序列 $x_0(k)$ 与子序列 $x_i(k)$ 的相关程度高, 反之, 关联度程度低。根据关联度最大原则, 对结果做出综合评价。

2 浙江湖州新塘港水质评价

2.1 监测结果并计算处理

根据中国环境监测网 2004 - 2010 年太湖流域监测点水质自动监测公报, 选取浙江湖州新塘港的 7 年监测数据 (表 1) 为参考数列, 即 $X_0(k)$ ($k = 1, 2, 3$) 值 (单位 mg/L), 依据监测点数据中溶解氧、高锰酸钾指数、氨氮 3 个指标作为待评价因子。根据地表水环境质量标准 (GB - 3838 - 2002), 确定 5 级水质分级标准 ($m = 5$) 为比较数列 $x_i(k)$ ($i = 1,$

$2, 3, 4, 5, k = 1, 2, 3$) (表 2)。

表 1 2004 - 2010 年浙江湖州新塘港监测数据 mg/L

年份	DO	CDO _{Mn}	NH ₃ -N
2004	8.08	5.17	0.41
2005	7.76	4.59	0.48
2006	7.23	4.82	0.42
2007	8.58	4.75	0.42
2008	10.45	4.41	0.48
2009	8.98	3.93	0.37
2010	9.04	3.99	0.32

表 2 地表水环境质量标准 (GB3838 - 2002) mg/L

水质级别	DO	COD _{Mn}	NH ₃ -N
I	7.5	15	0.15
II	6	15	0.5
III	5	20	1.0
IV	3	30	1.5
V	2	40	2.0

由于各个指标的量级不同, 必须在进行关联度计算之前对各指标的原始数据进行均值化变换^[5]。先分别求出参考数列 $x_0(k)$ ($k = 1, 2, 3$) 和比较序列 $x_i(k)$ ($i = 1, 2, 3, 4, 5, k = 1, 2, 3$) 的平均值, 再用平均值去除对应序列的各个原始数据, 得到新的数列即为均值化序列, 见表 3 和表 4。

表 3 实测数据无量量值

年份	DO	COD _{Mn}	NH ₃ -N
2004	1.063	0.822	1.010
2005	1.107	0.985	0.863
2006	1.790	0.938	0.986
2007	1.000	0.952	0.986
2008	0.822	1.026	0.803
2009	0.956	1.133	1.119
2010	0.950	1.150	1.295

表 4 水环境质量标准无量量值

水质级别	DO	COD _{Mn}	NH ₃ -N
I	0.627	1.6	6.87
II	0.783	1.6	2.06
III	0.940	1.2	1.03
IV	1.567	0.8	0.69
V	2.350	0.6	0.52

2.2 关联系数

根据表 3 和表 4 的数据, 监测数据组成一个参考数列, 水环境质量的评价标准中的 5 个水质分级组成一个比较数列, 然后将参考数列逐个与比较数列进行组合, 求出绝对差 $\Delta i(k)$ 见表 4, 依次求出 2004 - 2010 年太湖流域湖州新塘港监测数据的 $\min_k \min_i \Delta i(k)$ 和 $\max_i \max_k \Delta i(k)$ 。根据式 (1) 中求出关联系数 $\xi_i(k)$, 根据公式 (2)、(3) 算出关联度及权重。

由于各个年份对应的影响因子数据不同,首先计算 2004 年与比较数列 $\{x_i(k), i = 1, 2, 3, 4, 5, k = 1, 2, 3\}$ 的绝对值差,根据公式(1)中,以 2004 年 $DO = 1.063, COD_{Mn} = 0.822, NH_3-N = 1.01$ 为特征序列,其余序列是以水环境质量标准等级(Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ)中各个因子 DO 、高锰酸钾指数(COD_{Mn})、 NH_3-N 3 个指标不同水质标准值进行灰色关联分析,计算过程如下:

第一步:绝对值差序列:
 $|x_0(k) - x_1(k)| = (0.336, 0.778, 4.86)$
 $|x_0(k) - x_2(k)| = (0.28, 0.778, 1.05)$
 $|x_0(k) - x_3(k)| = (0.123, 0.378, 0.02)$
 $|x_0(k) - x_4(k)| = (0.504, 0.022, 0.32)$
 $|x_0(k) - x_5(k)| = (1.287, 0.222, 0.49)$
第二步:取两级最小差和最大差:
 $\min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)| = \min_i \min_k \Delta_i(k) = 0.02$
 $\max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)| = \max_i \max_k \Delta_i(k) = 4.86$

第三步:结合第一步和第二步计算结果代入公式(1)中,取分辨系数 $\zeta = 0.5$ 得:

$$\zeta_i = \frac{0.02 + 0.5 \times 4.86}{|x_0(k) - x_i(k)| + 0.5 \times 4.86} \quad (4)$$

第四步:把第三步计算得出的差序列依次代人(4)中,得出 2004 年待评价因子与水质标准等级的关联函数,见表 5。

表 5 2004 年待评价因子与比较序列的关联系数			
关联系数	DO	COD_{Mn}	NH_3-N
ξ_1	0.8858	0.7637	0.3360
ξ_2	0.9040	0.7637	0.7040
ξ_3	0.9597	0.8725	1.0000
ξ_4	0.8350	0.9992	0.8909
ξ_5	0.6591	0.9238	0.8390

2.3 求关联度

根据表 5 可求出 2004 年待评价样本对各级别的关联度:

$R_1 = 0.6618, R_2 = 0.7906, R_3 = 0.9449, R_4 = 0.9086, R_5 = 0.8073$, 根据关联度最大原则, R_3 最大, 因此 2004 年太湖流域湖州新塘港的水环境质量为Ⅲ级标准。同理据以上计算步骤可确定 2005 ~ 2010 年待平因子的水环境质量级别, 结果见表 6。

根据关联度最大原则, R_i 越大, 表示母序列 $x_0(k)$ 与子序列 $x_i(k)$ 的相关程度高。由表 6 可知, 2005 - 2010 年水质标准属于Ⅳ级, 有 1 年处于三级较差级别, 6 年处于四级更差级别, 这说明太湖流域

新塘港水质污染情况日益严重。

表 6 灰色关联分析法的评价结果表(关联度 = R_i)					
样本年份	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5
2004	0.662	0.791	0.945	0.909	0.807
2005	0.672	0.673	0.675	0.679	0.675
2006	0.695	0.706	0.721	0.754	0.721
2007	0.693	0.703	0.717	0.746	0.717
2008	0.661	0.657	0.667	0.767	0.667
2009	0.685	0.692	0.903	0.912	0.700
2010	0.707	0.723	0.747	0.805	0.747

3 结 语

通过灰色关联分析法对 2004 - 2010 年期间太湖流域湖州新塘港水质监测结果进行评价, 结果表明, 该方法计算简便, 操作性好, 不仅能反映处于不同水质标准级别的环境质量之间的显著差异, 而且也能反映出处于同一级别的不同影响因子之间环境质量的优劣。

太湖流域地处长江三角洲, 是我国经济最发达的地区之一, 由于污染治理滞后, 直接排入河流的工业和生活废污水量逐年增加, 全流域 80% 河流水质达不到国家规定的三类水标准, 富营养化程度加重, 蓝藻暴发频率高, 目前, 加强河流水污染治理已迫在眉睫, 应该从以下几个阶段进行治理: ①将太湖上游(浙江湖州地区)为水源重点保护区; ②治理重金属、N、P 营养物质和非点源污染的控制; ③治河与治湖相结合, 保护湖泊水生物; ④加强工农业污染源治理, 建立污水处理产业^[6]。

参考文献:

[1] 邓聚龙. 灰色系统基本方法[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1987: 31 - 33.
[2] 李祚泳. 环境数量统计与环境管理[M]. 成都: 成都气象学院出版社, 1991.
[3] 张 蕾, 王高旭, 郑道贤. 灰色关联分析在水质评价应用中的改进[J]. 广东水利水电, 2006(3): 32 - 33.
[4] 冯利华. 水资源变换趋势的灰色聚类预测[J]. 资源科学, 1999, 27(5): 12 - 14.
[5] 张庆杰. 城市综合环境质量评价方法——二级灰色聚类法[J]. 环境保护, 1994(4): 18 - 19.
[5] 李炳军, 朱春阳, 周 杰. 原始数据无量纲化处理对灰色关联序的影响[J]. 河南农业大学学报, 2002, 36(2): 199 - 202.
[6] 刘兆德, 虞孝感, 王志宪. 太湖流域水环境污染现状与治理的新建议[J]. 自然资源学报, 2003, 18(7): 470 - 472.