

# 城市河流浅水景观公园水质的富营养化灰色聚类法评价 ——以龙潭湖公园为例

张勇, 黄淑玲 (宿州学院地理与环境科学系, 安徽宿州 234000)

**摘要** 在监测龙潭湖水质的基础上, 选取透明度(SD)、高锰酸钾指数(COD<sub>Mn</sub>)、总磷(TP)和总氮(TN)4个指标, 采用灰色聚类法对其富营养化进行了评价, 结果表明, 这种方法简单、可靠, 可有效提高信息的利用度, 同时龙潭湖公园水体已处于中-富营养状态(IV级), 进行治理已是刻不容缓。

**关键词** 城市河流; 富营养化; 灰色聚类法

**中图分类号** X522 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2009)26-12667-03

## Application of Grey Clustering Method in Eutrophication Assessment for Shallow Landscape Park of City River

ZHANG Yong et al (Department of Geography and Environmental Science, Suzhou College, Suzhou, Anhui 234000)

**Abstract** Based on monitoring the water quality of Longtan Lake, SD, COD<sub>Mn</sub>, TP and TN were selected as indices and gray clustering method was adopted to evaluate the lake's eutrophication. The results showed that this method is simple, reliable and can improve utilization degree of information, the Longtan Lake is between nutrition and eutrophication (IV grade) that the management is urgent.

**Key words** City river; Eutrophication; Grey clustering method

目前河流已成为城市不可分割的一部分, 人们在城市快速化进程中, 通过对其建设和改造, 体现出休闲娱乐的生态功能和生态城市的景观功能, 而非传统意义的河流作用<sup>[1-2]</sup>。利用城市河流建立浅水公园是经常采取的措施之一, 同时也导致了水体富营养化问题的出现, 严重影响了城市化进程中生态城市的建设。水体富营养化评价的方法很多<sup>[3]</sup>, 如营养度指数法、模糊神经网络法、模糊数学法以及灰色聚类法等。由于环境质量评价, 其有限的时空监测数据所能提供的信息是不完全和非确知的, 因而环境质量系统是一个灰色系统, 其中灰色聚类法是建立在模糊数学基础上的新理论, 将相似程度高(或距离小)的点归聚成类, 避免了投影过程中的信息损失问题, 是水质评价方法中一种简便客观而又可靠的方法<sup>[4]</sup>。笔者以龙潭湖公园为例, 采用灰色聚类法评价其富营养化, 旨在为城市河流浅水景观公园水体的富营养化评价提供借鉴。

### 1 龙潭湖公园概况

龙潭湖公园是个人工改造并主要用于城市景观娱乐的浅水湖泊公园, 其平均水深是189.4 cm, 全湖面积是183 502.573 0 m<sup>2</sup>, 其中南湖为78 413.740 6 m<sup>2</sup>, 中部湖面区域为64 842.852 0 m<sup>2</sup>, 北湖是40 245.980 4 m<sup>2</sup>。在2005年10月份公园改造完工后, 建有象征龙城历史的文化韵味浓厚的古鼎, 具有重要的社会价值, 同时也成为尖草坪区公众的主要休闲去处, 公园里有免费开放的全民健身场、特别适用于老人的门球场, 还有水面游船和垂钓等, 在清晨, 几乎每天都有上千人次在公园里进行各种锻炼活动, 是周围民众的好去处。但现在其水质开始有恶化的趋势, 不仅导致人群健康受到危害, 还对城市形象有损害, 作为干旱地区的重要水资源, 其生态价值的丧失是巨大的。

### 2 龙潭湖公园水质状况数据监测

**2.1 监测布点** 针对龙潭湖的湖体形状和水体流动特点,

设3个取样点来代表湖泊的3个不同区域, 分别为北湖进水区、中区湖面和南湖出水区, 记为P1、P2和P3(图1)。

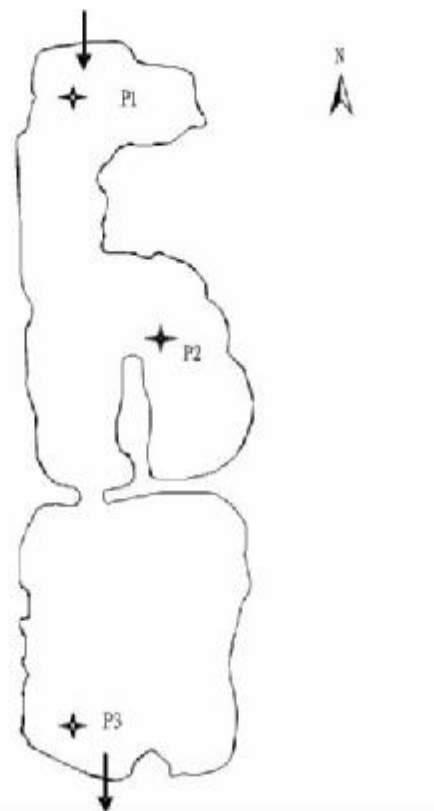


图1 龙潭湖水水质监测点

Fig. 1 The monitoring positions of Longtan lake

**2.2 监测项目及监测方法** 通过对龙潭湖及其周围流域的勘察、调查和系统分析<sup>[5-8]</sup>, 笔者选择了透明度(SD)、高锰酸钾指数(COD<sub>Mn</sub>)、总磷(TP)、总氮(TN)4个指标来评价湖泊富营养化状况。该试验采用《水和废水监测分析方法(第4版)》, 国家环保总局主编, 中国环境科学出版社, 2002》水质分析方法(表1)。

**2.3 监测时限及采样频率** 目前, 我国水质监测一般确定一年内采样不少于6~8次, 由于湖泊水质情况主要体现在夏季, 同时为了更好地掌握水质的时空变化, 该研究确定采样时间为1~12月, 监测频率为每月采样2次。

**基金项目** 安徽省教育厅自然科学研究重点项目(KJ2008A08ZC); 宿州学院硕士科研启动基金项目(2007yss16)资助。

**作者简介** 张勇(1982-), 男, 安徽肥西人, 硕士, 讲师, 从事水环境污染、水体评价和规划研究。

**收稿日期** 2009-05-11

**2.4 监测结果** 基于在3个不同区域不同月份的监测值,运用内梅罗<sup>[9]</sup>平均值公式计算出结果(表2),确定出灰色聚类法的聚类样本( $X_{ij}$ )。

表1 水质监测项目和监测方法

Table 1 The monitoring items and methods for water quality

监测项目	监测方法	相同方法
Monitoring items	Monitoring methods	Identical method
SD	塞氏盘法	
COD <sub>Mn</sub>	酸性法	GB11892-89
TP	钼酸铵	GB11893-89
TN	碱性过硫酸钾	GB11894-89

表2 龙潭湖3个取样点水质监测值( $X_{ij}$ )

Table 2 The monitoring values of water quality in 3 sampling sites of Longtan Lake( $X_{ij}$ )

监测点	SD	COD <sub>Mn</sub>	TP	TN
Monitoring sites	m	mg/L	mg/L	mg/L
P1(北湖区)P1(North lake area)	0.624	8.75	0.126 0	2.48
P2(中湖区)P2(Middle lake area)	0.609	8.57	0.075 0	2.00
P3(南湖区)P3(South lake area)	0.635	8.48	0.068 9	1.77

**3 龙潭湖富营养化灰色聚类法评价**

**3.1 灰色聚类法的灰类标准化处理** 聚类法中的灰类即富营养化评价标准,我国专家学者前期以滇池的富营养化评价标准为基础,在调查各地不同湖泊的具体情况,提出了一个较综合平均的评价标准<sup>[10]</sup>,但是龙潭湖是北方的景观湖,在气候、水质要求、周围流域的情况等各方面和南方的湖泊都有较大差异,结合上面的2个标准,制定出龙潭湖的富营养化评价标准(表3),确定出6个灰类别的灰类标准值( $c_{pj}$ )。

表3 龙潭湖富营养化评价标准( $c_{pj}$ )

Table 3 The evaluating criterion for water quality eutrophication in Longtan Lake ( $c_{pj}$ )

分级	SD	COD <sub>Mn</sub>	TP	TN
Classification				
贫营养(I) Poor-nutrition(I)	5.0	0.4	0.004	0.05
贫-中营养(II) Poor-middle nutrition(II)	3.0	1.0	0.010	0.10
中营养(III) Middle nutrition(III)	1.0	4.0	0.050	0.50
中-富营养(IV) Middle-eutrophication(IV)	0.5	8.0	0.100	1.00
富营养(V) Eutrophication(V)	0.3	25.0	0.600	6.00
重富营养(VI) Heavy-eutrophication(VI)	0.2	40.0	0.900	9.00

水质的6个级别灰类中由于各聚类指标划分等级的区间大小不同,且量级和量纲有很大的差别,所以不能直接进行聚类权的计算,需进行无量纲化处理,依据均值化方法:

$$\gamma_{pj} = c_{pj} / \frac{1}{k} \sum_{p=1}^k c_{pj} \quad (1)$$

式中, $\gamma_{pj}$ 为无量纲数; $k$ 为灰类别。

对灰类进行标准化处理,结果见表4。

在无量纲灰类数基础上,采用倒数法确定出各指标的聚类权,聚类权是衡量各个指标对同一灰类的权重<sup>[11]</sup>。公式为:

$$W_{pj} = \frac{1/\gamma_{ij}}{\sum_{p=1}^k (1/\gamma_{ij})} \quad (2)$$

式中, $W_{pj}$ 为第 $j$ 个污染指标第 $p$ 个灰类的权重。

计算结果见表5。

表4 龙潭湖富营养化评价标准的无量纲灰类数( $\gamma_{pj}$ )

Table 4 The evaluating criterion for water quality eutrophication in Longtan Lake with no units ( $\gamma_{pj}$ )

分级	SD	COD <sub>Mn</sub>	TP	TN
Classification				
贫营养(I) Poor-nutrition(I)	3.000	0.030 61	0.014 42	0.018 02
贫-中营养(II) Poor-middle nutrition(II)	1.800	0.076 53	0.036 06	0.036 04
中营养(III) Middle nutrition(III)	0.600	0.306 12	0.180 29	0.180 18
中-富营养(IV) Middle-eutrophication(IV)	0.300	0.612 24	0.360 58	0.360 36
富营养(V) Eutrophication(V)	0.180 0	1.913 27	2.163 46	2.162 16
重富营养(VI) Heavy-eutrophication(VI)	0.120 0	3.061 22	3.245 19	3.243 24

表5 龙潭湖各灰类中各指标的聚类权值( $W_{pj}$ )

Table 5 The clustering weight of each index with different grey classification( $W_{pj}$ )

分级	SD	COD <sub>Mn</sub>	TP	TN
Classification				
贫营养(I) Poor-nutrition(I)	0.002 112	0.206 969	0.439 282	0.351 637
贫-中营养(II) Poor-middle nutrition(II)	0.008 039	0.189 083	0.401 318	0.401 560
中营养(III) Middle nutrition(III)	0.103 972	0.203 785	0.346 018	0.346 226
中-富营养(IV) Middle-eutrophication(IV)	0.317 007	0.155 334	0.263 750	0.263 909
富营养(V) Eutrophication(V)	0.793 317	0.074 635	0.066 004	0.066 044
重富营养(VI) Heavy-eutrophication(VI)	0.898 329	0.035 215	0.033 218	0.033 238

**3.2 灰色聚类法的聚类指标白化函数的建立** 根据选取的分级标准,分别构造出每个指标在不同灰类的白化函数,其中由于TP、TN、COD<sub>Mn</sub>3项指标都属于观测值越大,水质越差的指标。所以,第 $i$ 个聚类对象污染指标 $j$ 的白化函数可用下列线性函数表示:

对I级(贫营养)水体的白化函数,即 $p=1$ 。

$$f_{j1} = \begin{cases} 1 & x_{ij} \leq c_{j1} \\ \frac{c_{j2} - d_{ij}}{c_{j2} - c_{j1}} & c_{j1} < x_{ij} < c_{j2} \\ 0 & x_{ij} > c_{j2} \end{cases} \quad (3)$$

对 $p$ 级至 $k-1$ 级水体的白化函数,即: $p=2,3,\dots,k-1$ 。

$$f_{jp} = \begin{cases} 1 - \frac{c_{jp} - x_{ij}}{c_{jp} - c_{jp-1}} & c_{jp-1} \leq x_{ij} \leq c_{jp} \\ \frac{c_{jp+1} - x_{ij}}{c_{jp+1} - c_{jp}} & c_{jp} < x_{ij} < c_{jp+1} \\ 0 & x_{ij} < c_{jp-1} \text{ 或 } x_{ij} > c_{jp+1} \end{cases} \quad (4)$$

对 $k$ 级水体的白化函数,即 $p=k$ 。

$$f_{jk} = \begin{cases} 0 & x_{ij} < c_{jk-1} \\ 1 - \frac{c_{jk} - x_{ij}}{c_{jk} - c_{jk-1}} & c_{jk-1} \leq x_{ij} \leq c_{jk} \\ 1 & x_{ij} > c_{jk} \end{cases} \quad (5)$$

式中,  $c_p$  为第  $j$  个指标在  $p$  级灰类中的标准值;  $f_{jp}$  为第  $j$  个指标在  $p$  级灰类中的白化函数值 ( $j = 1, 2, 3, \dots, m; p = 1, 2, 3, \dots, k$ )。

由于 SD 与其他污染物作用不同, SD 值越大说明水质越好, 其白化函数式应作相应变动, 如 I 级 (贫营养) 水体可变为下式, 其他依次类推。

$$f_{jl} = \begin{cases} 1 & x_{ij} \geq c_{j1} \\ \frac{c_{j2} - x_{ij}}{c_{j2} - c_{j1}} & c_{j1} > x_{ij} > c_{j2} \\ 0 & x_{ij} < c_{j2} \end{cases} \quad (6)$$

根据白化函数的 3 种形式, 得出龙潭湖 4 个聚类指标的白化函数值:

$$f(SD) = \begin{bmatrix} \text{I级} & 0 & 0 & 0 \\ \text{II级} & 0 & 0 & 0 \\ \text{III级} & 0.248 & 0.218 & 0.27 \\ \text{IV级} & 0.752 & 0.782 & 0.73 \\ \text{V级} & 0 & 0 & 0 \\ \text{VI级} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$f(COD_{Mn}) = \begin{bmatrix} \text{I级} & 0 & 0 & 0 \\ \text{II级} & 0 & 0 & 0 \\ \text{III级} & 0 & 0 & 0 \\ \text{IV级} & 0.956 & 0.966 & 0.972 \\ \text{V级} & 0.044 & 0.034 & 0.028 \\ \text{VI级} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$f(TP) = \begin{bmatrix} \text{I级} & 0 & 0 & 0 \\ \text{II级} & 0 & 0 & 0 \\ \text{III级} & 0 & 0.500 & 0.622 \\ \text{IV级} & 0.948 & 0.500 & 0.378 \\ \text{V级} & 0.052 & 0 & 0 \\ \text{VI级} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$f(TN) = \begin{bmatrix} \text{I级} & 0 & 0 & 0 \\ \text{II级} & 0 & 0 & 0 \\ \text{III级} & 0 & 0 & 0 \\ \text{IV级} & 0.704 & 0.800 & 0.846 \\ \text{V级} & 0.296 & 0.200 & 0.154 \\ \text{VI级} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

3.3 灰色聚类法的聚类系数计算及聚类结果 聚类系数是通过灰数白化函数的生成而得到的, 它反映了聚类样本对灰类的亲疏程度, 其计算公式为:

$$\sigma_{pi} = \sum_{j=1}^m f_{pj}(x_{ij}) w_{pj} \quad (7)$$

式中,  $\sigma_{pi}$  为第  $i$  个样本关于第  $p$  个灰类的聚类系数。

构造聚类向量:

$$\sigma_i = (\sigma_{i1}, \sigma_{i2}, \dots, \sigma_{ik})$$

按最大隶属原则, 若:

$$\sigma_i = \max_{1 \leq p \leq k} \{ \sigma_{ip} \} \quad (8)$$

则  $\sigma_i$  所对应的灰类即该样本所属类别, 把其他的样本进行同样的灰类计算, 便是灰色聚类的结果 (表 6)。

表 6 龙潭湖 3 个取样点的聚类系数

Table 6 The clustering coefficient of 3 sampling positions in Longtan Lake

湖区 Lake area	贫营养(I) Poor-nutrition (I)	贫-中营养(II) Poor-middle nutrition(II)	中营养(III) Middle nutrition(III)	中-富营养(IV) Middle-eutrophication (IV)	富营养(V) Eutrophication (V)	重富营养(VI) Heavy-eutrophication (VI)	评价结果 Evaluating results
P1(北湖)P1(North lake)	0	0	0.025 785	0.822 716	0.026 265	0	IV
P2(中湖)P2(Middle lake)	0	0	0.195 675	0.740 954	0.015 746	0	IV
P3(南湖)P3(South lake)	0	0	0.243 296	0.705 364	0.012 261	0	IV

根据上面的聚类系数, 可知龙潭湖的 3 个取样区都处于中-富营养状态 (即 IV 级), 营养化程度由重至轻的顺序是: 北湖进水口偏中心区域、中区湖面弯曲处区域、南湖出水口偏中心区域和龙潭湖的水质分布状况完全相符, 湖北区由于进水中含有高浓度的污染物 (总磷、总氮浓度分别为 0.027、3.89 mg/L), 到湖中区污染物浓度逐渐降低, 但是由于湖泊形状的影响, 不利于水体的流动, 到了湖南区时, 污染物浓度再降低, 水质有所好转。可知龙潭湖的整体水质已经开始有富营养化迹象, 需进行有效治理。

#### 4 结论

应用灰色聚类法对湖泊进行富营养化评价, 可以更好地体现湖泊富营养化程度的灰色性和不确定性, 它是一种涉及多指标、多类别的综合评价方法, 其信息利用度和精度都较高, 而且计算简单, 实用性强。笔者基于水质指标 SD、COD<sub>Mn</sub>、TP 和 TN, 应用灰色聚类方法对城市浅水公园龙潭湖进行水体富营养化评价, 结果显示, 龙潭湖已处于中-富营

养状态, 应加强控制管理, 防止水质的进一步恶化。

#### 参考文献

- [1] 吴天华. 城市河流生态价值的实现——以界首市颍北滨河区景观规划为例[J]. 东南大学学报: 哲学社会科学版, 2007(9): 270-272.
- [2] 张雪梅. 浅议城市河流的生态修复[J]. 中国西部科技, 2008, 7(21): 46-47.
- [3] 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.
- [4] 黄澜, 刘强, 张迈生, 等. 共原点灰色聚类法与等斜率灰色聚类法的比较[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2000, 39(3): 128-130.
- [5] 林衍, 顾恒岳, 周富春. 湖泊水质富营养化评价的物元分析法[J]. 环境工程, 1996, 14(5): 44-48.
- [6] 林衍, 顾恒岳, 韩勇. 湖泊水质富营养化评价的模糊隶属函数法[J]. 重庆环境科学, 1996, 18(3): 38-40.
- [7] 高明慧. 物元分析在水质富营养化评价中的应用[J]. 中国环境监测, 1996, 12(4): 43-45.
- [8] 郑成德. 改性模糊相似选择法在湖泊水质富营养化评价中的应用[J]. 干旱环境监测, 1997, 11(2): 75-77.
- [9] 谷朝君, 潘颖. 内梅罗指数法在地下水水质评价中的应用及存在问题[J]. 环境保护科学, 2002, 28(1): 45-47.
- [10] 金相灿, 屠清瑛. 湖泊富营养化调查规范[M]. 2版. 北京: 中国环境科学出版社, 1990.
- [11] 许佩瑶, 陈春超. 漕河水质的现状评价[J]. 水资源保护, 2005, 21(6): 69-71.