

# 太湖水质时空相关性分析

李一平<sup>1</sup> 严 莹<sup>2</sup> 韩广毅<sup>3</sup>

( 1. 河海大学环境科学与工程学院, 江苏 南京 210098 ; 2. 江苏广播电视大学建筑工程学院, 江苏 南京 210017 ;  
3. 天津市水利工程有限公司, 天津 300222 )

摘要 利用 2001 年太湖 12 个月 25 个监测点的实测水质资料, 结合太湖监测点的空间地理位置, 基于相关系数法, 对太湖水质时空相关性及时空分布规律进行了研究, 并利用动态聚类分析法将太湖所有监测点进行了聚类分析. 结果表明, 太湖水质存在很强的时空相关性, 月份之间的相关性变化比较明显, 可能与太湖水位、水体的流动情况以及入湖排污口污染物排放量有关, 动态聚类分析的结果可以直观地了解太湖水质的时空变化规律.

关键词 太湖 时空相关性 聚类分析 水质

中图分类号 :X824 文献标识码 :A 文章编号 :1000-1980( 2005 )05-0505-04

了解湖泊水质参数的空间分布特征是进行太湖水环境评价的前提, 而空间发生的生态学现象与空间的相互作用密切相关<sup>[1~3]</sup>, 不同方向、不同距离组分间的相互作用不同. 地统计学通过计算变异函数来揭示区域化变量的空间变异特点以及不同方向上的空间异质性<sup>[4~6]</sup>, 与传统方法相比较, 地统计学分析方法对于样本分布以及数据质量等要求较高. 本文将地统计学方法与传统方法相结合, 以相关性代替变异函数, 分析了不同方向上水质的空间异质性.

## 1 太湖水质时空相关性分析<sup>[7]</sup>

### 1.1 数据的选取与计算

为了研究太湖水质的时空变化特征, 选取太湖 2001 年 25 个监测点( 位置分布见图 1 )每月 1 次的水质资料作为研究对象, 监测项目为总氮( TN )、总磷( TP )、五日生化需氧量( BOD<sub>5</sub> )、高锰酸盐指数( COD<sub>Mn</sub> )、氨氮( NH<sub>3</sub>-N )、硝酸盐氮( NO<sub>3</sub>-N )、亚硝酸盐氮( NO<sub>2</sub>-N )、叶绿素 a ( chl-a )、正磷酸盐( PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P )、溶解氧( DO )、水温、pH 值、透明度( SD )、悬浮物( SS ), 这 14 个水质参数形成了各月的水质数据矩阵. 再以监测点为对象, 对各月水质数据矩阵求取相关系数矩阵, 可得到各月监测点-监测点的相关系数矩阵. 在此基础上, 对上述各月的相关系数矩阵进行如下统计分析:

$$R_{im} = \frac{1}{25} \sum_{j=1}^{25} R_{imj} \tag{1}$$

式中:  $R_{imj}$  表示第  $i$  月相关系数矩阵中, 第  $m$  个监测点与第  $j$  个监测点的相关系数,  $j = 1, 2, \dots, 25$ . 令  $R_s = R_{im}$ , 称  $R_s$  为空间相关性.  $R_s$  越大, 水质的空间分布就越均匀, 差异性越小;  $R_s$  越小, 水质的空间差异就越大.

$$S_m = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} R_{mi} \quad T_i = \frac{1}{25} \sum_{m=1}^{25} R_{mi} \tag{2}$$

式中:  $S_m$ ——第  $m$  监测点各月  $R_s$  值的均值;  $R_{mi}$ ——第  $i$  月第  $m$  监测点的  $R_s$  值;  $T_i$ ——第  $i$  月各监测点  $R_s$  值的均值. 基于监测点的空间相关分析, 得出监测点的时空相关性指标  $S$  和月的时空相关性指标  $T$ .  $S$  值越

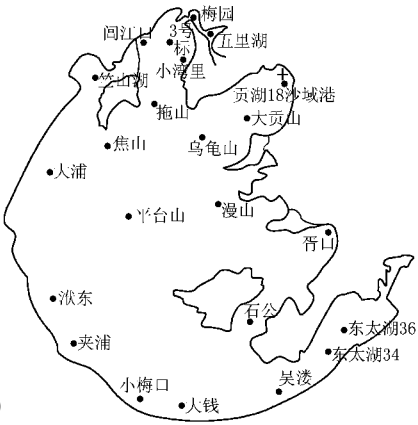


图 1 太湖水质监测点位置

Fig.1 Location of water quality monitoring points in Taihu Lake

收稿日期 2004-06-12

基金项目 国家高新技术发展计划“863”资助项目( 2003AA6011002 ); 国家自然科学基金资助项目( 50239030 ); 江苏省自然科学基金资助项目( BK2002067 )

作者简介 李一平( 1978— ), 男, 湖北荆州人, 博士研究生, 主要从事水环境治理与保护方面的研究.

大,各个监测点相关性越好,各空间测点的性质就越均衡. $T$ 值越大,空间差异性的季节变化就越小.不同季节太湖水质 $R_s$ 的时空分布及 $S$ 值见表1.

表1 太湖水质 $R_s$ 值的空间分布

Table 1 Spatial distribution of  $R_s$  value for Taihu Lake

| 测点 | 1月    | 2月    | 3月    | 4月    | 5月    | 6月    | 7月    | 8月    | 9月    | 10月   | 11月    | 12月    | $S$ 值 |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|
| 1  | 0.647 | 0.696 | 0.487 | 0.900 | 0.569 | 0.594 | 0.870 | 0.873 | 0.883 | 0.551 | 0.388  | 0.403  | 0.655 |
| 2  | 0.129 | 0.080 | 0.204 | 0.287 | 0.340 | 0.511 | 0.870 | 0.824 | 0.913 | 0.295 | -0.120 | -0.241 | 0.341 |
| 3  | 0.839 | 0.634 | 0.899 | 0.937 | 0.702 | 0.378 | 0.565 | 0.796 | 0.896 | 0.822 | -0.173 | 0.656  | 0.662 |
| 25 | 0.848 | 0.852 | 0.862 | 0.937 | 0.861 | 0.839 | 0.916 | 0.904 | 0.909 | 0.871 | 0.807  | 0.828  | 0.869 |

1.2  $T$ 值的季节变化分析

$T$ 值是以太湖月监测资料为研究对象,对所有监测点的水质参数两两之间求相关系数,取平均后得到,1个月对应1个值,可以用来表征太湖水质的空间分布特征.月份的 $T$ 值越大,说明该月太湖所有监测点之间水质浓度的相关性越好,即水质浓度空间分布越均匀;反之, $T$ 值越小,说明该月所有监测点之间水质浓度的相关性越差,即水质浓度空间分布不均匀,空间差异性较大.

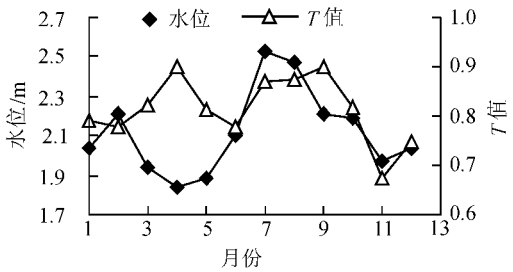


图2 太湖水质 $T$ 值和水位月变化关系  
Fig.2 Monthly  $T$  value and water level for Taihu Lake

太湖水质随时间的变化( $T$ 值)比较明显.2001年太湖各监测点不同月份 $T$ 值变化如图2所示.由图2可见, $T$ 值在4月和9月呈现两个峰值,11月为全年最低,其他月份处于全年平均水平,说明在4月和9月太湖水质浓度的空间分布比较均匀,而11月却刚好相反.究其原因,可能与太湖水位、水体的流动情况以及入湖排污口的排放量有关.比较 $T$ 值和太湖水位的月变化趋势可以看出:1~6月,两者的变化趋势刚好相反,1~2月太湖水位缓慢上升,而 $T$ 值呈略微下降趋势;2~4月太湖水位急剧下降,而 $T$ 值则急剧上升;4~6月太湖水位上升,而 $T$ 值又下降,说明太湖水质的空间分布差异与入湖河道污染水流有很大关系.

上半年春季后农用灌溉水量增加,入湖水量减少,农业污染负荷入湖量减少,太湖水位降低,湖内水质浓度相对均匀;6月以后为丰水期,太湖水位上升, $T$ 值一直较高;10~12月以后,太湖水位开始下降,步入枯水期阶段,水体流动缓慢,空间差异性变大,故 $T$ 值处于全年最低水平.

1.3  $S$ 值的空间分布

$S$ 值是对太湖中不同监测点全年12个月的水质浓度求相关系数,取平均后得到,1个监测点对应1个值,可以用来表征全年不同监测点水质的空间差异性规律.某监测点的 $S$ 值越大,说明该监测点水质浓度与其他所有监测点的水质浓度相关性越好,即该监测点的水质浓度值越接近全湖平均水平,代表了大多数监测点的水质浓度;反之,说明该监测点的水质浓度比较离群,要么是水质比其他监测点明显要好,要么是水质比其他监测点明显要差.

通过监测点的空间数据和 $S$ 值,利用Suffer软件,采用Kriging空间最优差值法进行内插,可分析得到太湖水质 $S$ 值的空间分布,见图3.由图3可知,梅梁湾、竺山湖、贡湖一带的 $S$ 值较小且变化幅度较大,说明该湖域的水质特征与其他湖域显著不同,为污染较为严重地区.在梅梁湾内,梅园的 $S$ 值最低,说明该监测点与其他监测点的性质存在很大的差异.在整个太湖水域中,东太湖是另一个 $S$ 低值区,也是一个离群点.太湖中心的 $S$ 值最高,达到0.89,涉及的范围较广.整个太湖 $S$ 值的分布呈现由四周向中间递增的

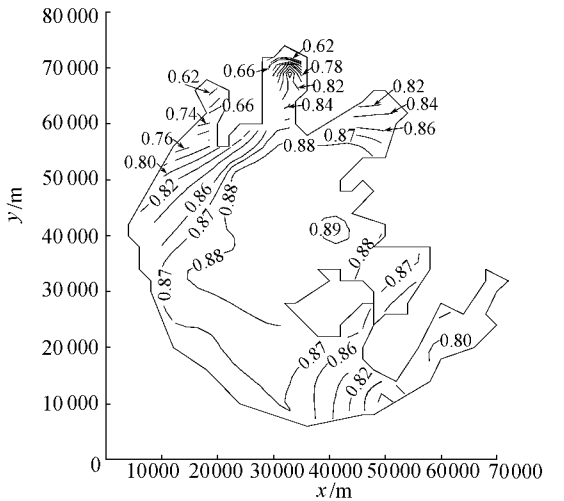


图3 太湖水质 $S$ 值的空间分布

Fig.3 Spatial distribution of  $S$  value for Taihu Lake

趋势,且太湖北部  $S$  值随空间距离的变化幅度要明显大于太湖南部、东部和西部湖域,而太湖东部湖域的变化幅度要大于西部湖域,这充分说明太湖中心的水质浓度代表了全太湖的平均水平.东太湖和梅梁湾均为  $S$  低值区,但代表了不同的水质状况,含义不同. $S$  值的空间分布不仅可以反映太湖水体不同湖域的水质状况,而且可以为新建水厂取水口或确定其他的保护目标提供技术支持.

2 太湖水质监测点的动态聚类分析<sup>[8]</sup>

为了进一步说明各监测点水质浓度之间的关联性,并对上述结果进行检验,本文采用层次聚类分析方法对太湖监测点每月 1 次的常规监测资料进行聚类分析.为了便于比较,统一聚为 5 类.图 4 给出了 2001 年具有代表性的 3 个月监测点聚为 5 类的分布图.从图 4 可以看出:随着季节的变化,太湖水质的聚类结果呈现动态变化,反映出太湖水质空间的分布情况与季节有很大的关系.2 月梅梁湾北部自成一类,属于污染十分严重的地区,贡湖自成一类,施山、焦山、乌龟山、平台山一带聚为一类,属于污染较为严重的地区,整个竺山湖和西太湖聚为一类,平台山和太湖南部湖域聚为一类,总体上太湖水质空间分布比较均匀.8 月太湖的空间分布聚类情况较复杂,水质的空间差异较大,12 月太湖的空间聚类情况又有所变化.从整体上来看,太湖春季水质浓度相似点的空间分布比较集中,而夏秋季则比较分散,反映了太湖水质的时空变化过程.

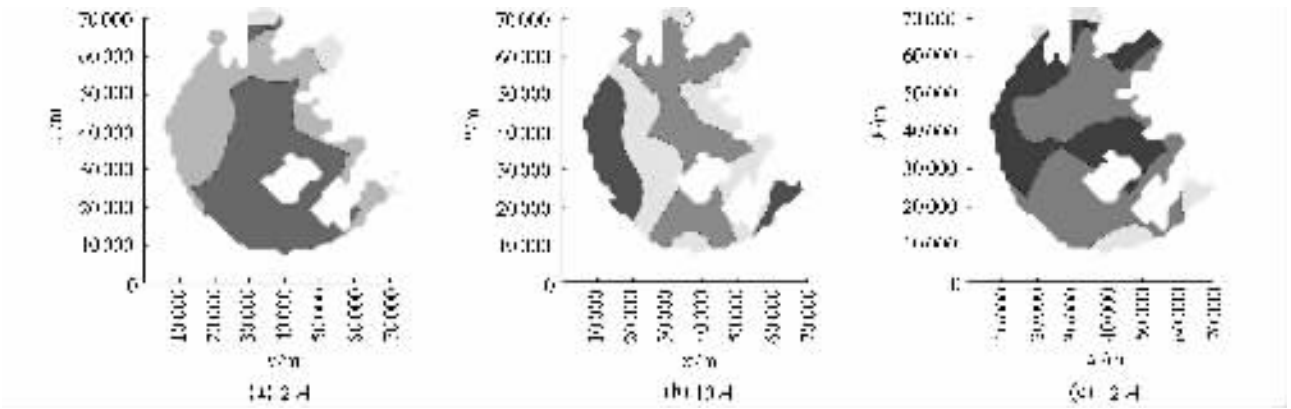


图 4 2001 年不同月份太湖监测点聚为 5 类时的分布

Fig.4 Monthly distribution graph for water quality of Taihu Lake when the monitoring points were clustered into 5 classes

3 基于时间(月)相关矩阵的太湖水质时空相关性分析

3.1 数据的选取与计算

以 2001 年太湖各监测点各月的水质数据为分析基础,选取前述 14 个水质参数作为研究对象,以时间(月)作为样本,求得不同月份之间的相关系数矩阵,进而分析太湖水质季节变化强度(用季节变化系数  $P$  表示)及其空间差异规律.

3.2  $P$  值的空间分布

为了具体了解太湖  $P$  值的空间分布,对各相关系数矩阵进行如下统计分析:

$$\sum R_m = \sum_{p=1}^{12} \sum_{q=1}^{12} R_{pq} \quad P = 144 - \sum R_m \quad (3)$$

式中  $R_{pq}$  为第  $p$  月与第  $q$  月所有水质参数的相关系数. $P$  值反映了不同监测点各月水质参数之间的相关程度. $P$  值越大,各月的水质浓度相关性越差,季节变化性越大.太湖水质  $P$  值的空间分布见图 5.

由图 5 可以看出:梅园水质的  $P$  值最大,其次是竺山湖、五里湖、小湾里等,基本上位于梅梁湾和竺山湖一带;西山、胥口等监测点的  $P$  值最小,其次是乌龟山、大贡山和东太湖一带;其他湖域的  $P$  值处于全湖平均水平.整个太湖  $P$  值的分布趋势是由北向南、由西向东逐渐减小.结合水质资

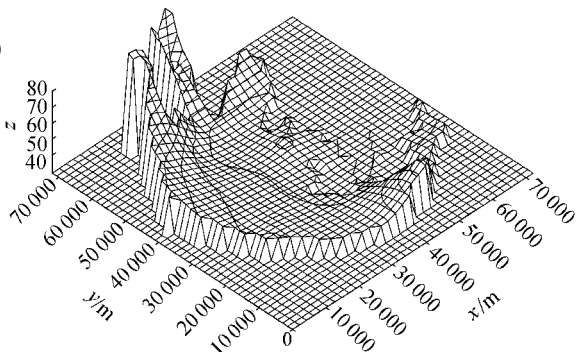


图 5 太湖水质  $P$  值的空间分布

Fig.5 Spatial distribution of  $P$  value for Taihu Lake

料进行分析,发现 $P$ 值与水质浓度的大致关系是:污染越严重的湖域, $P$ 值越大;水质较好的湖域, $P$ 值相对较小。这可能与入湖河道排污量造成太湖水体污染有关。由于污染源废水排放量的脉动值很大,季节分布也很不均匀,致使主要受污染源影响的湖域 $P$ 值较大。另外,太湖西部沿岸地区和东太湖水质的 $P$ 值也较大,这一方面是因为太湖西岸属于敞水区,水流流速较大,水动力影响强,与其他湖域水体的交换较大,水质季节变化大;另一方面与太湖西岸人类活动有关。东太湖是太湖东南部一个狭长的湖湾,属于典型的草型湖泊。每年4~10月,水生植被处于生长期,从底泥和水体中大量吸收营养盐,使得水体中营养物含量明显降低<sup>[9,10]</sup>;在冬春低温季节,水生植物停止生长或生长缓慢,处于越冬期,其净化能力极低,有些水域甚至由于死亡的水生植物腐败而对水质产生影响,这些都是造成东太湖水质 $P$ 值偏大的原因。

## 4 结 论

太湖水质存在着很强的时空相关性。太湖水质随时间和空间的变化关系,主要体现在以下几个方面:

- a. 太湖水质月份之间相关性变化较明显,可能与太湖水位、水体流动情况以及入湖排污口排放量有关。
- b. 梅梁湾、竺山湖、贡湖一带的 $S$ 值较小且变化幅度较大,东太湖的 $S$ 值也较小,其他湖域监测点的 $S$ 值居于全湖平均水平。
- c. 随着监测点间距离的增大,水质浓度的相关性逐渐减小。动态聚类分析结果可直观地反映太湖水质的空间分布状况以及太湖水质随时间变化的规律。
- d. 整个太湖水质季节变化幅度大小的分布趋势是由北向南、由西向东逐渐减小,且污染越严重的湖域,水质季节变化幅度越大,水质较好的湖域,季节变化幅度相对较小。

## 参考文献:

- [1] 周国法,徐汝梅.生物地理统计学——生物种群时空分析的方法及其应用[M].北京:科学出版社,1998.1—9.
- [2] ANDERSEN M. Spatial analysis of two species interaction[J]. Oecologia, 1992, 91: 134—140.
- [3] 王政权.地统计学及其在生态学中的应用[M].北京:科学出版社,1999.43—52.
- [4] 唐涛,蔡庆华,潘文斌.地统计学在淡水生态学中的应用[J].湖泊科学, 2000, 14(3): 280—287.
- [5] 牛文元.岛生物地理原理及生态保护[A].见:马世俊主编.现代生态学透视[C].北京:科学出版社,1990.101—108.
- [6] 李波,濮培民,韩爱民.洪泽湖水质的时空相关性分析[J].湖泊科学, 2002, 14(3): 259—266.
- [7] 郭志刚.社会统计分析方法[M].北京:中国人民大学出版社,1999.20—156.
- [8] 卢纹岱,朱一力,沙捷,等.SPSS for Windows 从入门到精通[M].北京:电子工业出版社,1999.120—236.
- [9] 李一平,逢勇,吕俊,等.太湖富营养化的驱动因子分析[J].河海大学学报(自然科学版), 2004, 32(6): 644—648.
- [10] 李一平,逢勇,崔广柏.太湖藻类动态模拟[J].河海大学学报(自然科学版), 2004, 32(增刊——海洋湖沼专辑II): 184—190.

## Temporal-spatial correlation analysis of water quality for Taihu Lake

LI Yi-ping<sup>1</sup>, YAN Ying<sup>2</sup>, HAN Guang-yi<sup>3</sup>

(1. College of Environmental Science and Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. College of Construction Engineering, Jiangsu Radio & TV University, Nanjing 210017, China;

3. Tianjin Water Conservancy Project Co., Ltd, Tianjin 300222, China)

**Abstract** Based on the monthly data of water quality of the Taihu Lake obtained from 25 monitoring points in 2001 and the spatial distribution of the monitoring points, a study was made on the water quality distribution and its temporal-spatial correlation for the Taihu Lake by use of the correlation coefficient matrix, accompanied with a dynamic cluster analysis of all the monitoring points. The results show that water quality of the Taihu Lake is of high temporal-spatial correlation, and that the evident variation of the correlation of monthly water quality distribution might be related to the water level, water flow and quantity of pollutants discharged into the lake. The result from dynamic cluster analysis can provide abundant and visualized information for domain partition of aquatic environment and for studying mechanism of eutrophication in the Taihu Lake.

**Key words** Taihu Lake; temporal-spatial correlation; cluster analysis; water quality