应用地统计学方法研究湖泊中叶绿素 a 的空间分布

刘瑞民¹, 王学军¹, 王翠红², 江耀慈³, 周修炜³

(1. 北京大学城市与环境学系, 北京 100871; 2. 济南市舜耕中学, 山东 济南 250014;

3. 国家环保局太湖流域环境监测网中心站, 江苏 无锡 214023)

摘要: 在分析湖泊中叶绿素 a 特点的基础上, 结合太湖实例, 应用地统计学的理论与方法, 尝试在湖泊中叶绿素 a 空间分布研究方面做一探讨。

关键词: 叶绿素 a; 地统计学; 太湖

中图分类号: X524 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0267(2001)05-0308-03

Application of Geo - Statistics in Studying Spatial Distribution of Chlorophyll A in Lakes

LIU Rui-min¹, WANG Xue-jun¹, WANG Cui-hong², JIANG Yao-ci³, ZHOU Xiu-wei³

(1. Department of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871 China; 2. Jinan Shungeng Middle School,

Jinan, Shandong 250014 China; 3. Center of Lake Tai Area Environmental Monitoring Network, SEPA of China, Wuxi, Jiangsu 214023 China)

Abstract: The development of geo - statistics has provided a new tool in study of chlorophyll A in lakes. The present investigation, based on the analysis of the characteristic of chlorophyll - A in lakes and with an example, is trying to approach spatial distribution of chlorophyll A of lakes in situ, by utilization of the theory and practice of geo - statistics.

Keywords: chlorophyll A; geo - statistics; Lake Tai

在湖泊环境的研究中, 经常要求对叶绿素 a (chlorophylla a, 简称 cha - a) 的空间分布做出可靠的估计。了解湖泊中叶绿素 a 空间分布特征是进行富营养化评价的重要前提, 是治理湖泊污染的基础。但是湖泊中叶绿素 a 的空间分布是不均匀的, 我们称这种不均匀性为空间变异性。由于这种空间变异性既具有随机性又具有确定性, 因此用传统方法进行叶绿素 a 空间分布的研究具有明显的局限性^[1]。地统计学的出现为解决这个问题提供了新的方法。地统计学主要包括空间结构分析和空间估值(克立格法)两部分^[2]。

1 地统计学应用的基础及特点

1.1 湖泊中叶绿素 a 空间分布的特点

一般说来, 叶绿素 a 在湖泊中的空间分布并不是均质的, 而是具有随空间而变化的特征, 这就决定了它们的各种性质都具有空间变异性。湖泊中叶绿素 a 的空间变异性具有随机性, 因此叶绿素 a 在某点的取值具有不确定性, 同时这种空间变异性又具有结构性

特征。确切地说, 湖泊中叶绿素 a 在空间一点的取值所具有的随机性是包含在整体空间结构性之中的一种内在的随机性。上述湖泊中叶绿素 a 的空间变异性既具有结构性又具有随机性, 是产生叶绿素 a 不确定性的根源。这种空间变异性与人们对叶绿素 a 进行取样、测试过程中的失真及测量误差一起构成了叶绿素 a 变异性的主要原因^[3]。

1.2 经典统计学的缺陷

在早期和目前大多数的湖泊研究中, 都将叶绿素 a 作为简单的随机介质处理, 仅用经典统计方法来描述。认为湖泊空间中一点的叶绿素 a 取值是完全随机的, 在空间上是完全不相关的, 没有认识到湖泊中叶绿素 a 的空间分布具有结构性的一方面, 因此丢失了大量的结构性方面的信息。另外, 经典统计学通常采用均值等^[4]特征值来表征离散性随机变量的总体特征。这类特征值一般只能用来概括某一给定范围内全部叶绿素 a 值的大小以及总体集中离散程度等, 而无法反映空间局部范围和特定方向上湖泊中叶绿素 a 特征。因此也就不可能对叶绿素 a 的性质达到精确的认识, 对湖泊环境的正确评价以及采取合理的治理措施都会产生影响。

收稿日期: 2000-11-07

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(49771068)

作者简介: 刘瑞民(1975—), 男, 山东聊城人, 北京大学城市与环境学系硕士研究生, 研究方向为环境信息系统。

1.3 地统计学的特点及应用

地统计学是近几十年发展起来的一种处理空间数据的方法,是法国著名学者 G. 马特隆 (G. Matheron) 教授于 1962 年创立的^[5]。是以区域化变量理论为基础,以变差函数为主要工具,研究那些在空间分布上既有随机性又有结构性,或空间相关性和依赖性的自然现象的科学^[6]。地统计学能充分利用变量的空间信息,对空间结构的描述和空间插值都是比较精确的。

地统计学应用的范围非常广泛,凡是要研究空间分布数据的空间结构性和随机性,并对它进行最优线性无偏插值估计时,均可应用地统计学^[7]。地统计学在地质、土壤等研究中已被广泛应用,如张征^[8-10]、王学军^[11]等,但在湖泊的研究中却鲜有报道。

1.4 叶绿素 a 研究中地统计学应用的原理

基于湖泊中叶绿素 a 的空间结构特征既具有随机性又具有结构性,可以将展布于一定湖泊空间、相互间具有一定相关性的叶绿素 a 随机变量看作是“区域化变量”。显然,叶绿素 a 区域化变量具有双重性:在观测前,可把它看作是一个随机场;观测后,则可把它看成是一个普通的空间点函数。以空间点坐标 x 为自变量的区域化变量一般用 $Z(x)$ 来表示。

在湖泊研究中,许多水质参数变量可以看成是区域化变量。例如:叶绿素 a、pH 值、总悬浮物以及透明度等。理论上,这些都是三维区域化变量,本文仅讨论二维的情况。区域化变量正是地统计学所要研究的对象。因此我们就可以应用地统计学的理论与方法来描述湖泊中叶绿素 a 的性质,对精确认识湖泊中叶绿素 a 的空间分布,开展湖泊环境的评价以及湖泊治理都具有一定的意义。

2 实例研究

2.1 太湖概况

太湖是我国的五大淡水湖之一,位于长江三角洲中。整个流域面积涉及上海市、江苏省、浙江省以及江西省^[12]。太湖地区是我国经济发展最发达的地区之一,也是中国人口最密集的地区之一。但是在经济高速发展的同时,在资源、环境等方面也付出了巨大的代价,造成了生态系统的严重破坏和环境质量的下降,尤其是人类活动给太湖造成的水质污染,导致了水资源短缺及太湖生态环境的严重破坏,以至影响到了周边居民的身心健康^[13]。治理太湖已到了刻不容缓的地步。本文尝试应用地统计学的理论与方法来

描述太湖中叶绿素 a 的性质,对进一步认识太湖污染现状提供新的信息。

2.2 数据采集和处理

在采样监测中,考虑到湖岸线和湖中岛的影响,在太湖中均匀布置 75 个采样点,南北向采样点间距为 5.585 km,东西向采样点间距为 6.079 km。

采样时间为 1999 年 11 月 4 日,由国家环保局太湖流域环境监测网中心站进行监测。采样和样品的分析根据国家有关规范进行。

2.3 太湖中叶绿素 a 的空间结构分析

利用太湖中的采样数据,我们分析了叶绿素 a 的空间结构。全部分析过程用的是 GEO-EAS 软件。在太湖中,由于污染源空间分布不同等因素的影响,叶绿素 a 的空间变异特征在不同方向可能不同,因此进行了不同方向的变差函数分析。由于原始数据得到的实验变差函数变化没有规律,参照有关文献^[14],对采样数据取对数,可得水质参数叶绿素 a 的实验变差函数及拟合曲线图,分析结果见图 1。

从计算结果可以看出,太湖叶绿素 a 在二维空间中是各向异性的。在各个方向上变化影响范围有大有小,空间变异程度有很大的差别。任何两点之间的距离在变程范围内时,它们的数据都是空间相关的,也就是结构性起作用的范围。当两点之间的距离在变程之外时,二者就相互没有影响了,即纯随机性起作用了。

根据实验变差函数值,按球状模型^[15]进行理论拟合,可以得到叶绿素 a 理论变差函数模型(另有文献详细论述)。

2.4 应用克里格法进行空间插值

2.4.1 克里格法是空间插值最优方法。地统计学主要包括空间结构分析和空间插值(克里格法)两部分,空间结构分析是克里格法应用的基础,克里格法所利用的正是经空间结构分析后所得的理论变差函数模型,这两部分是不可分割的。克里格法是基于这样一种理解,即用于推断的研究对象(如叶绿素 a)的已知值之间相互不是完全独立的,而是存在着一定的相关关系。这种相关性既随数据点之间的距离变化,也随方向变化,并可用变差函数来表征这种区域化变量的空间结构性。克里格法是以无偏为约束,寻求估计方差最小的一种插值方法,是最优空间插值方法^[16]。

为了表明在进行湖泊中叶绿素 a 空间插值时,克里格法确比其它传统内插插值方法有更强的有效性,我们分别运用克里格法、线性内插法和距离平方反比法对太湖内 10 个检验采样的总悬浮物进行了插值计

图 1 叶绿素 a 的实验变差函数及拟合曲线示意图
Figure 1 Experimental variograms and simulated curves of chlorophyll A contents

算,其结果表明克立格插值方法在湖泊的实际应用中确比传统空间插值方法有着更强的有效性、最优性和无偏性^[1]。

2.4.2 插值结果图形显示

应用地统计学就是为了更好地描述叶绿素 a 在湖泊中的分布状况。应用地统计学的最优插值原理与方法,以太湖湖岸线为边界,利用计算机,对叶绿素 a 进行整个太湖插值生成叶绿素 a 在太湖中的等值线。根据“太湖水质评价标准”以及“太湖富营养化程度评价标准”^[17],经整理并用图形表示可生成叶绿素 a 在太湖中的分布图(图 2)。

从图 2 中可以明显地看出叶绿素 a 在整个太湖中的分布状况,它比单纯的采样数据更直观、有效,更有利于人们的分析和研究,以便对于不同的区域采用不同的治理措施。

3 结论

在湖泊研究中,湖泊中叶绿素 a 的空间分布具有确定性与随机性的双重性质。经典统计学仅仅从总体方面来研究,丢失了大量的空间信息。地统计学则能充分利用这些空间信息,为叶绿素 a 研究开辟了一条新的途径。

本文以太湖为例,利用太湖采样数据,运用地统计学的理论和方法,研究了太湖中叶绿素 a 的空间分布。结果显示,在研究湖泊中叶绿素 a 空间分布规律方面,地统计学能充分考虑水质参数的空间结构特征,比其它方法能更精确地描述空间分布状况。

图 2 太湖中叶绿素 a 的分布图

Figure 2 The distribution of chlorophyll A in Lake Tai

参考文献:

- [1] 刘瑞民,王学军. 湖泊水质参数空间优化估算的原理与方法[J]. 中国环境科学, 2001, **21**(2): 177 - 179.
- [2] 王政权. 地统计学及在生态学中的应用[M]. 北京:科学出版社, 1999. 102 - 149.
- [3] 张 征,刘淑春,邹正盛,等. 岩土参数的变异性及其评价方法[J]. 土木工程学报, 1995, **28**(6): 43 - 51.
- [4] 陶 澍. 应用数理统计方法[M]. 北京:中国环境科学出版社, 1994. 51 - 56.
- [5] Webster R. Quantitative spatial analysis of soil in the field [J]. *Advance in Soil Science*, 1985, **3**(1): 1 - 70.
- [6] A G 儒尔奈耳,CH J 尤日布雷格茨,著. 侯景儒,黄竞先,杨尔煦,等译. 矿业地质统计学[M]. 北京:冶金工业出版社,1982. 1 - 5.
- [7] 孙洪泉. 地质统计学及其应用[M]. 徐州:中国矿业大学出版社, 1990. 5 - 7.
- [8] 张 征,刘淑春,鞠硕华. 岩溶含水介质渗透性参数空间最优估计的原理与方法[J]. 水文地质工程地质, 1995, **6**: 27 - 30.
- [9] 张 征,张人权,徐恒力,等. 定量预测岩溶含水介质渗透性空间分布的克立格法[J]. 中国岩溶, 1995, **14**(3): 1 - 8.
- [10] 张 征,程祖锋,王恩祥,等. 岩土参数随机场空间最优估计精度分析与特异值研究[J]. 岩土工程学报, 1999, **21**(5): 586 - 590.
- [11] 王学军,邓宝山,张泽浦. 北京东郊污灌区表层土壤微量元素的小尺度空间结构特征[J]. 环境科学学报, 1997, **17**(4): 412 - 416.
- [12] 中国环境监测总站,太湖流域环境监测网中心站. 太湖水环境质量报告[R]. 无锡:中国环境监测总站,太湖流域环境监测网中心站, 1999. 1 - 2.
- [13] 金相灿,叶 春,颜昌宙,等. 太湖重点污染控制区综合治理方案研究[J]. 环境科学研究, 1999, **12**(5): 1 - 5.
- [14] 侯景儒,黄竞先译. 地质统计学的理论与方法[M]. 北京:地质出版社, 1990. 87 - 102.
- [15] 於崇文,蒋耀淞,王长庚,等. 数学地质的方法与应用[M]. 北京:冶金工业出版社, 1980. 387 - 393.
- [16] 王仁铎,胡光道. 线性地质统计学[M]. 北京:地质出版社, 1988. 123 - 126.
- [17] 中国科学院南京地理与湖泊研究所. 中国科学院南京地理与湖泊研究所集刊[C]. 北京:科学出版社, 1993. 18 - 36.