

地统计学在淡水生态学中的应用^{*}

唐 涛 蔡庆华 潘文斌

(中国科学院水生生物研究所、淡水生态与生物技术国家重点实验室, 武汉 430072)

提 要 建立在区域化定量理论基础上的地统计学是一门空间统计学分支学科, 主要用于研究自然现象的相关性和依赖性. 这一理论主要内容包括: 半方差图(用以描述研究对象空间相关性); Kriging 空间内插技术(通过空间上抽样点的调查数据对空间上未测点进行估计); 以及通过半方差图求算分形体的分形维数. 本文在介绍该理论基本原理的基础上, 探讨了其在淡水生态学上的实际应用.

关键词 地统计学 淡水生态学 Kriging 空间内插术 分形

分类号 Q178.1

作为陆地海洋的生境岛屿, 河流、湖泊、水库等淡水生态系统往往在空间上彼此断裂, 在功能上相互隔离, 表现出较强的空间异质性特征. 而常规的生态学格局研究方法一般都建立在宏观统计的基础上, 假定对象在研究区域内表现出均质性, 用这些方法对淡水系统的研究其结果必然存在很大偏差. 此外, 由于多了一个水介质, 系统格局可视性较陆地系统差. 所以, 如何真实、定量地描述该类生态系统的空间特征并精确绘制它们的空间格局图(分布图), 成为该学科当前的研究重点之一.

地统计学(Geostatistics)是由法国的马特隆(G. Matheron)于1962年提出的^[1], 是一种以矿石品位和矿床储量的精确估算为主要目的, 以矿化的空间结构(空间相关)为基础, 以区域化变量为核心, 以半方差函数为基本工具的数学地质新理论和新方法, 最早被用于找矿和地质研究中. 由于该理论充分考虑了样点位置、方向和彼此间的距离, 直接测定空间结构的相关性和依赖性, 可用于研究有一定随机性和结构性的各种定量的空间分布规律, 所以近年来逐渐被生态学专家所接受和应用^[2-7], 淡水生态学领域只有少数研究涉及^[8-11], 本文拟就地统计学在该领域的应用做一些探讨, 为该学科的定量研究探索一条新途径.

1 地统计学理论基础

地统计学的基础是区域化变量理论(Regionalized variable theory). 区域化随机变量是空间上的一个数值函数, 它在空间的每一点取一个确定的数值. 它与普通随机变量不同, 普通随机变量的取值符合某种概率分布, 而区域化随机变量则根据其在某一个区域内的位置不同而取不同的值, 具有结构性与随机性双重特征. 所谓结构是指研究对象在 x 处与 $(x+h)$ 处的变量值 $Z(x)$ 和 $Z(x+h)$ 具有某种程度的自相关, 这种自相关依赖于两样点间的距离向量 h . 区域化随机变量是普通随机变量与位置相关的随机函数^[12], 在研究时必须用随机函数来刻画其结

^{*} 国家自然科学基金(39670150), 国家“九五”科技攻关(95-920-04-12)及中国科学院湖沼专项第2期特别支持项目联合资助. 收稿日期: 1999-11-28; 收到修改稿日期: 2000-04-02. 唐涛, 男, 1974年生, 在读研究生.

构性和随机性双重特征. 区域化变量间的差异用半方差来表示, 定义为:

$$r(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^h [Z(i) - Z(i+h)]^2 \tag{1}$$

其中, $r(h)$ 为半方差, $Z(i), Z(i+h)$ 分别为一维, 二维或三维空间中 i 点处和距离 i 点 h 处的区域化随机变量值, h 为点对间的距离(通常称滞后), $N(h)$ 是距离为 h 的点对的数量.

2 在系统空间格局研究中的应用

格局是现代生态学研究的一大难点, 而空间格局是其主要内容之一. 地统计学充分考虑了变量的区域化特征, 所以特别适用于分析异质性较强的淡水生态系统. 研究中可用半方差函数或分形维数对系统及其组分的空间格局进行定量描述, 获取更加可信的结果.

2.1 半方差函数

根据(1)式可计算出在空间上具有任意滞后 h 的相应变量值的样本方差(为了保证变量值具有统计学意义上的代表性, h 的取值范围应大于最邻近的两样点间距离而不过样线总长度的 $1/3-1/2$).^[13,14] 以半方差函数 $r(h)$ 对滞后 h 作图, 即可得半方差图(Semivariogram). 该图的形状反映了对象空间分布的结构或空间相关的类型, 同时给出了这种空间相关的范围. 如果存在空间自相关, $r(h)$ 会随 h 的增大而增大, 典型的情况是 $r(h)$ 增大到平衡状态才停止(图 1). 达到平衡值(该值称基台值 Sill 后), $r(h)$ 就稳定在此值附近. 这时 h 称为相关程或变程(Range), 即存在空间相关的最大距离. 理论上 $r(0)=0$, 但由于取样误差或小尺度变化性等原因, 使得样本值在小于 $h=a$ 的距离分布时具有更大的不相似性, 于是 $r(h)$ 外插到 $h=0$ 时并不取 0. 这个值叫做块金系数(Nugget), 它表示了由于短距离变化较大和抽样误差引起的方差. 某些情况下, $r(h)$ 会呈水平直线状, 这表明数据的完全随机性或完全均匀性, 说明抽样尺度没有空间相关性. 水平直线状态称纯块金效应^[15,16].

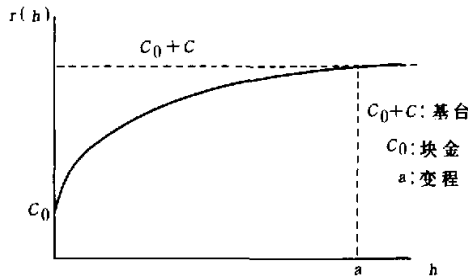


图 1 一维情况下 $r(h)$ 的典型图象

Fig. 1 Typical graph of $r(h)$ in one dimension

$C_0 + C$: Sill; C_0 : Nugget; a : Range

图中的变程 a 反应了数据的空间相关距离. 一个分布, 如果 a 存在, 总能找到它. 当 a 大于 0 时, 如果两点间间隔 $h < a$, 两点处的个体是相互影响的, 相反则两处互无影响, 不同方向的 a 值反映不同方向的影响范围, 且 a 值不受样方大小的影响. 如果相对尺度发生变化, a 的绝对大小是固定的. 例如, a 的固定大小是 4(单位距离), 当样方大小取 1(单位距离)时, $a=4$; 当样

方大小取 2 时, $a=2$. 另外, c_0 大小反映了密度变化的幅度, $c_0 \rightarrow 0$ 反映连续变化, c_0 越大变化幅度与大. 空间结构比率 (Proportion of spatial structure) $c_0/(c_0+c)$ 即提供了一个说明空间结构系数在样点变异中所占比率的测度. 如果该值较大, 则相应块金效应小, 说明小尺度范围内被研究对象变化较小, 亦说明当前采样密度对于所进行的研究是足够的.

除了将 $r(h)$ 和 h 间的关系绘成曲线外, 还可以用数学公式进行拟合, 以此定量地确定出组分的空间自相关性, 而且可用于空间内插的计算. 空间半方差曲线有如下几种常见类型^[17]:

a) 线性模型 (Linear model):

$$\begin{aligned} r(h) &= c_0 + \omega h, h > 0 \\ r(0) &= 0 \end{aligned} \quad (2)$$

a) 有阈值的线性模型 (Linear model with sill):

$$\begin{aligned} r(h) &= c_0 + c(h/a) & 0 < h \leq a \\ r(h) &= c_0 + c & h > a \\ r(h) &= 0, \end{aligned} \quad (3)$$

c) 球面模型 (Spherical model):

$$\begin{aligned} r(h) &= c_0 + c[3h/2a - 1/2 \times (h/a)^3] & 0 < h \leq a \\ r(h) &= c_0 + c & h > a \\ r(0) &= 0, \end{aligned} \quad (4)$$

d) 指数模型 (Exponential model):

$$\begin{aligned} r(h) &= c_0 + c[1 - \exp(-3h/a)] & h > 0 \\ r(0) &= 0, \end{aligned} \quad (5)$$

e) 高斯模型 (Gaussian Model):

$$\begin{aligned} r(h) &= c_0 + c[1 - \exp(-3h^2/a^2)] & h > 0 \\ r(0) &= 0, \end{aligned} \quad (6)$$

上述模型中, 参数 c_0 为块金参数, c_0+c 为基台值, a 为变程, ω 为斜率. 线性模型是简单的拟合形式, 没有提供基台值, 主要适用于块金效应分析. 指数模型和高斯模型均是一个 $r(h)$ 渐进地趋近基台值的过程, 不存在一个截然的变程.

选择何种模型去拟合一个样本方差图是一件较为复杂的过程, 依据相关指数的大小选择模型是一种直接简便的方法. 模型中参数可通过非线性回归进行估计, 许多软件包均提供了这一程序^[18].

上述模型均假设各方向上随机变量的空间自相关性是相同的. 但在实际的研究中许多生物与非生物因子空间分布与方向有着密切的关系. 对于此类问题也有相应的各向异性 (anisotropy) 模型, 此类模型是几个不同角度上模型的组合, 其基本表达式也包含同向模型中的几个基本参数: 块金系数 c_0 (模型在 y 轴的截距, 在各个方向的取值相同); 基台 (c_0+c) (模型的渐进线, 在各个方向的取值相同); 变程 a (模型达到基台时空间自变量的取值). 但这里的变程不再是单一的参数值, 而是两个参数 a_1 与 a_2 的组合, 即

$$a = [a_1^2 \cos^2(\theta - \Phi) + a_2^2 \sin^2(\theta - \Phi)]^{1/2}$$

其中, a_1 为主要轴 (major axis, 即存在最大变异的轴的变程), a_2 为次要轴 (minor axis, 与主要轴成 90° 的轴) 的变程, θ 为所研究的相邻两个方向间的夹角, Φ 为存在最大变异的轴, 即主要

轴与基轴(研究中所设定的起始轴,定义其为 0°)之间的角度.各向异性模型的基本表达式与各向同性模型相同.

半方差函数曲线图的形状反映了研究对象空间分布的结构及空间相关类型,还揭示了这种空间相关范围的大小.聚集型分布的半方差曲线可以是球形、抛物线形和高斯形,但数据的空间结构却存在着很大的差异.球形半方差函数指明的聚集分布,它的空间结构是当样点间距离达到变程之前时,样点的空间依赖性随样点间的距离增大而逐渐降低.指数与球形模型类似,但其基台值是渐进线.非水平直线型的半方差函数表明数据是中等程度的聚集分布,其空间依赖范围超过研究尺度.如果是随机分布,则 $r(h)$ 随距离无一定的规律性变化,它由对象的方差变化组成.完全随机或均匀的数据, $r(h)$ 呈直线或稍倾斜,块金值等于基台值,表明抽样尺度下没有空间相关性.

在淡水生态学中,半方差曲线可用于分析组分的空间动态格局,判断空间格局的类型,评估变量随机性与结构性的比例,测定空间依赖范围及决定它们的最大变异方向.结合地理信息系统时间序列的分析,可以研究这些组分的时空格局,预测格局的变化趋势,为淡水系统的生态平衡调节提供理论基础.

2.2 分形维数

分形理论(Fractal theory)适用于描述那些无法用传统欧几里德几何进行研究的复杂的非线性系统和过程,如一类病态的、破碎的和不规则的几何结构,这类系统或过程称为分形体,它们具有两大特征:其空间维数为分数和存在自相似性(标度不变性).所谓自相似性是指在分形体上任选一局部区域,对它进行放大,这时得到的放大图又会显现出原图形的形态特征.因此,对于分形体,不论将其放大或缩小,它的形态、复杂程度、不规则性等特性均不会发生变化^[19].对淡水生态系统的研究会发现,系统在不同尺度上(种群、群落、景观)都具有分形体的特征,所以分形理论适用于此类系统的研究.

分形理论的目的是通过尺度与某一测度参量的关系,寻找其自相似性规律,最终结果就分形维数(Fractal dimension).该参数是对物体独立于尺度的共同特征的特征,是对分形体复杂程度进行刻划的主要工具.分形维数的定义有许多种,而且对同一对象以不同方式定义的分形维数其意义也各不相同^[20].用双对数半方差图求算分形维数是其中的方法之一.

在双对数坐标中,将不同 h 对应的 $r(h)$ 值表示出来,便得到双对数半方差图.该图能够明显地提供两个信息:研究对象格局的尺度多层次性;研究对象的空间异质性在不同尺度间的相互关系.对于这种空间相关关系的表征是采用分形维数,它的获得借助公式:

$$D = (4 - m) / 2 \quad (7)$$

其中, D 为分形维数, m 为双对数半方差图的斜率^[21].由(7)式可知:当 $D=2$ 时, $m=0$,此时双对数半方差图呈水平直线状.它的意义是在统计学意义上所有间隔样方间的差异性都相同,即研究对象在样方内特征相同,是同质的,在研究中可把图中同质区的最小尺度确定为最小取样面积. D 值越小于2, m 值越大,双对数半方差图中的直线越陡,表明出现不同尺度间隔样方间的差异性越显著,研究对象的空间异质性越强.所以,可以用 D 值大小来衡量对象空间异质性(结构复杂性)的程度.从空间相关性角度来看, $D=2$ 时对象是同质的,空间不相关,整个样本是空间独立的. D 越小,空间相关性越强^[22].应该特别指出的是,当 $D=1(m=2)$ 是,由公式(1)可知,统计意义 $\Delta Z = \Delta h$,表明依赖变量随间隔增加而单调变化,则依赖变量在样带上呈线性

内分布,研究对象具有梯度性.因此,双对数半方差图的所有线性区域中最小 D 值反映出对象的空间相关性最强,异质性最高,说明该尺度环境因素(或干扰)对对象的作用是最主要的.该方法对于揭示淡水生态系统各组分的结构成因及演替规律都有重要意义.当然,因为生态系统在所有尺度上都有细节,不同格局层次上组分存在着不同的空间相关性,如果采用对所有 $r(h)$ 用同一条直线拟合,误差显然很大^[22],应采用分段拟合的方法处理(图 2).

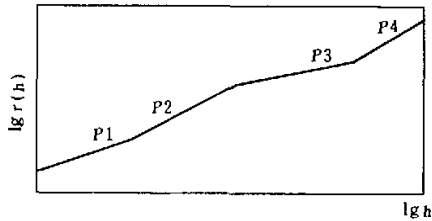


图 2 双对数半方差分段拟合图

P_1, P_2, P_3, P_4 为不同尺度下双对数半方差图的斜率

Fig. 2 Double logarithm semivariogram in different scales

如前文所示,半方差值反映了统计学意义上某一间隔样方向的差异性,当一定尺度范围内的差异符合一定规律时,双对数半方差图表现为线性.而当双对数半方差图出现拐点时,表现样方向在拐点前和拐点后的尺度上空间相关规律发生显著变化,故可断定拐点处是对象出现格局的尺度.

显然,可用地统计学推导的分形维数揭示淡水生态系统及组分存在的格局尺度和层次性、不同尺度范围的空间相关性及异质性规律,以及对其空间异质性影响最大的环境因素或干扰因素,从而为认识系统格局提供丰富的信息,这也是此方法较其它格局分析法的优越之处.

2.3 在系统数量特征研究中的应用

生态系统组分的数量(密度)是该系统的基本特征之一,也是研究系统整体结构功能的基础.在实际的研究中,由于种种原因,很难精确掌握,但要深入研究生物组分与因子间的相互关系等问题时,全面了解它们的分布状况又是必要的.地统计学为解决这一问题提供了强有力的工具——Krigé 内插技术.

Krigé 内插技术是基于随机途径的空间内插方法,此方法的理论由 Matheron 博士于 1970 年首先提出^[22],后来矿物学家 D. R. Krigé 最早将这个理论应用到南非寻找金矿上,因此这一技术就以 Krigé 来命名.该方法是根据某一点周围若干样品的信息,应用地统计学有关公式对该点未知数据作一种线性无偏内插,最小方差估计的方法^[25].具体计算方法可参考有关文献^[26,27],在此不再详述.目前已有一系列计算机分析软件可以利用^[18,28].

淡水生态系统中生物与非生物因子的时空依赖性普遍存在的,例如水草、藻类的地带性分布,氮、磷等营养元素的时空配置等.在研究中,可用 Krigé 技术精确估算这些组分的空间分布状况并可绘制成分空间分布图,而且可以对该方法的拟合精度进行检验,从而克服了以往方法没有一个可信度和误差评价的缺陷.并能使研究结果可视化,解决了水生态系统格局可视性差的问题.

3 应用实例

本文以湖北梅子垭水库 1998 年 5 月的水体营养状况测定数据为例说明地统计学在淡水生态学中的具体应用。

水体营养状况的评价方法很多,本研究采用建立在监测水体总磷(TP)、叶绿素 a(Chla)浓度和透明度(SD)基础上的营养状态综合指数法(TSI)进行评价^[20]。所得 TSI 值在 0—100 间,评价标准为:TSI<37 为贫营养型;TSI 介于 37—54 之间为中营养型;TSI>54 为富营养型。表 1 给出了各样点的相对坐标及 TSI 值。从表中可见,样点间的最小距离不到 1 个单位,最大距离接近 20 的单位,为了保证分析具有统计学意义,本研究中 h 的取值范围设为 1—10。用地统计分析软件 GS⁺ for Windows 对其进行分析结果如下:

表 1 各样点的坐标(X,Y 为相对坐标)及 TSI 值表

Tab.1 Relative coordinate and TSI of sampling points

样点	X	Y	TSI	样点	X	Y	TSI	样点	X	Y	TSI
1	8.1	18.2	44	16	2.8	12.4	49	31	4.5	6.8	48
2	7.9	17.5	47	17	3.9	12.4	49	32	5.4	6.9	49
3	4.4	15.4	49	18	5.2	12.4	49	33	6.4	6.9	53
4	6.6	16.0	25	19	4.0	11.1	50	34	7.3	6.7	57
5	8.1	16.4	42	20	5.2	11.1	54	35	5.3	5.6	49
6	8.9	16.1	49	21	6.2	11.1	54	36	6.4	5.6	56
7	1.5	14.4	47	22	7.3	10.7	54	37	7.7	5.6	54
8	2.7	14.5	49	23	9.1	10.7	50	38	5.3	4.4	51
9	4.0	14.5	51	24	4.0	9.8	51	39	6.5	4.4	55
10	5.2	14.5	51	25	5.2	9.8	50	40	7.6	4.6	50
11	6.4	14.5	48	26	6.1	9.8	52	41	5.3	3.2	54
12	1.5	13.6	45	27	7.7	9.8	54	42	5.3	2.1	60
13	2.7	13.6	45	28	4.4	8.6	56	43	5.2	0.7	59
14	4.0	13.6	47	29	5.3	8.4	56				
15	1.5	12.6	48	30	6.3	8.4	42				

表 2 为几种半方差模型中各参数的取值情况,其中 R^2 是确定系数,用于说明模型模拟程度的优劣,但它没有剩余平方和 RSS (Reduced Sums of Squares)敏感和稳健,所以在判断模型模拟程序时它一般用于参考;RSS 则提供模型拟合优劣的精确测度,一般其取值最小的模型拟合程度最好。从表中可以看出,指数形方差模型的拟合度最高,说明该水体 TSI 值呈聚集

表 2 半方差模型各参数取值表

Tab.2 Values of parameters in semivariogram models

模 型	块 金	基 台	变 程	空间结构比例	确定系数	剩余平方和
	c_0	c_0+c	α	c/c_0+c	R^2	RSS
球形	4.06	33.35	7.17	0.878	0.509	708.3
指数形	1.10	37.78	10.38	0.971	0.533	674.5
线形	9.63	39.83	9.43	0.758	0.527	683.8
阈值线形	5.10	33.42	5.63	0.847	0.513	704.2
高斯形	9.28	34.25	20.40	0.729	0.502	719.0

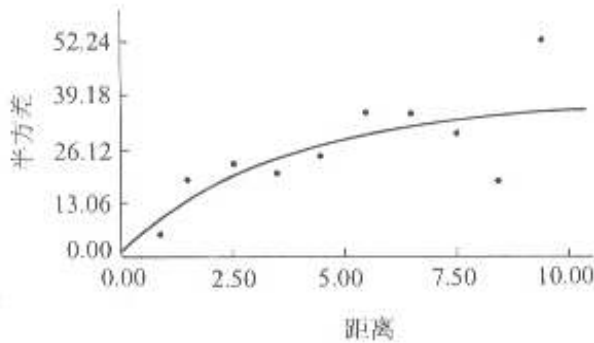


图3 水库中 TSI 值的指数型实验半方差曲线图

Fig. 3 Exponential semivariogram of TSI in the reservoir

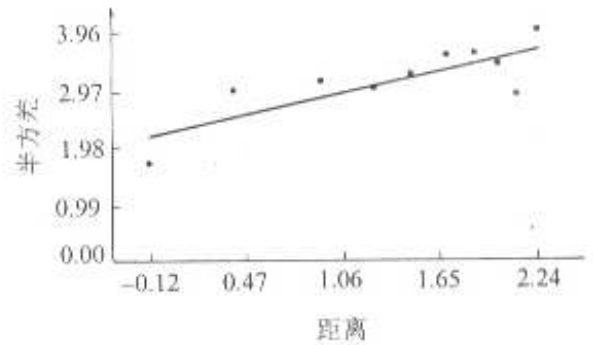


图4 水库中 TSI 值的实验双对数半方差曲线图

Fig. 4 Double logarithm semivariogram of TSI in the reservoir

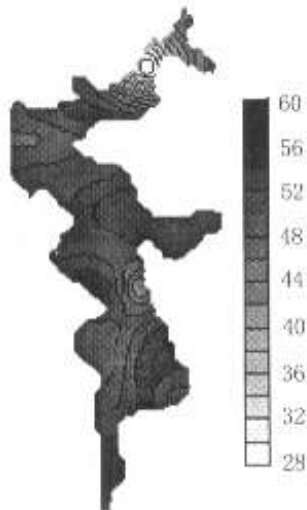


图5 水库中 TSI 值的分布图

Fig. 5 Distribution of TSI in the reservoir

型分布,相应地,水库中 TP,SD 和 Chla 分布具有较强空间异质性(图 3 为相应的半方差图)。从变程 10.83 和空间结构系数 0.878 可见,在整个研究尺度范围内都存在空间相关性,在小尺度范围内水库中 TSI 值的变化较小,取样的密度设置是合理的。

根据双对数半方差(图 4,本例中 $r(h)$ 和 h 取自然对数值)计算出的分形维数 D 值是 1.688,同样说明水体中 TSI 的分布具有较强的空间相关性。图 5 是用 Kriging 插值法绘制出的水库中 TSI 值分布图,由图可直观地看出水库的大部分区域已接近或达到富营养态。

4 结语

最近 20 年来,非线性科学的迅猛发展有力地促进了人们对生态系统结构和功能的认识。其中,地统计学在空间结构分析方面显示出独特的优越性,是研究异质性较强的淡水生态系统的有效工具。该理论与其它空间分析方法(如 GIS 等)的结合必将加深我们对此类复杂系统的认识并

最终促进淡水生态学的进展。

参 考 文 献

- 1 於崇文等编著. 数学地质的方法与应用. 北京:冶金工业出版社,1980. 341—494
- 2 石根生,李典谟. 不同松林马尾松毛虫蛹及其寄生天敌群子的空间结构分析. 生态学报,1997,17(4):386—392
- 3 李友常等. 杨树光肩星天牛种群空间格局的地统计学研究. 生态学报,1997,17(4):393—401
- 4 Fletcher W J, Summer N R. Spatial distribution of sardine (*Sardinops sagax*) eggs and larvae: an application of geostatistics and resampling to survey data. *Can J Fish Aquat Sci* 1999, 56:907—914
- 5 Nestel, Klein M. Geostatistical analysis of leafhopper (Homoptera: Cicadellidae) colonization and spread in deciduous orchards. *Environ Entomol*, 1995, 24(5):1032—1039

- 6 Liebhold A M, Zhang X, Hohn M E, *et al.* Geostatistical analysis of gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae) egg mass populations. *Environ Entomol*, 1991, **20**(5):1407-1417
- 7 Schotzko D J, O'Keeffe L E. Geostatistical description of the spatial distribution of *Lygus Hesperus* (Heteroptera, Miridae) in lentils. *J Econ Entomol*, 1989, **82**(5):1277-1288
- 8 刘建康主编. 高级水生生物学. 北京:科学出版社,1999. 395-397
- 9 潘文斌,蔡庆华. 保安湖-湖湾大型水生植物群落格局的研究. *水生生物学报*, 2000, **24**(5):7-13
- 10 赵 斌. 淡水生态系统中“生态因子场”空间格局的非线性分析. 中国科学院水生生物研究所学位论文, 1998
- 11 张朝生,章 申,何建邦. 长江水系沉积物重金属含量空间分布特征研究—地统计学方法. *地理学报*, 1997, **52**(2):184-192
- 12 Clark I. Practical geostatistics. London: Applied Science Publishers Ltd, 1979
- 13 Journel A, Huijbregts C J. *Mining geostatistics*. London: Academic Press, 1978
- 14 Webster R. Quantitative spatial analysis of soil in the field. *Advances in Soil Science*, 1985, **3**:1-70
- 15 侯景儒,黄竞先. 地统计学的理论和方法. 北京:地质出版社,1990
- 16 Rossel R E, Mulla D J, Journel A G, *et al.* Geostatistical tools for modeling and interpreting ecological spatial dependence. *Ecol Monographs*, 1992, **62**(2):277-314
- 17 Vicia S R, Rossi R E, Kemp W P. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. *Hilgardia*, 1989, **51**:1-75
- 18 葛剑平,郭海燕. 地统计学在生态学中的应用(1):基本理论和方法. *东北林业大学学报*, 1995, **23**(2):88-94
- 19 张济忠. 分形. 北京,清华大学出版社,1995
- 20 叶万辉,马克明,陈华豪. Fractal 几何理论形成及应用发展. *东北林业大学学报*, 1993, **21**(6):84-88
- 21 Burrough P A. Fractal dimensions of landscapes and other environmental data. *Nature*, 1981, **294**:240-242
- 22 李哈滨,伍业钢. 景观生态学的数量研究方法. 见:刘建国主编. 当代生态学博论. 北京:中国科学技术出版社,1992
- 23 Burrough P A. Multiscale sources of spatial variation in soil (1): The application of fractal concept on nested levels of soil variation. *Journal of Soil Sciences*, 1983, **34**:577-597
- 24 Matheron G. *Cah Center Morphol Math.*, 1970, 950:212
- 25 Royle A, *et al.* Geostatistics. New York: McGraw-Hill Inc, 1980. 41-60
- 26 Burgessbum T M, Webster R. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil. Properties 1: the semivariogram and unctual Kriging. *Soil Sci*, 1980, **31**:315-331
- 27 王学仁. 地质数据的变量统计分析. 北京:科学技术出版社,1980
- 28 洪 伟,吴承祯. Krige 方法在我国降雨侵蚀力地理分布规律研究中的应用. *土壤侵蚀与水土保持学报*, 1987, **3**(1):91-96
- 29 蔡庆华. 湖泊富营养化评价方法. *湖泊科学*, 1997, **9**(1):89-94

Application of Geostatistics in Freshwater Ecology

TANG Tao CAI Qinghua PAN Wenbin

(*Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China*)

Abstract

One of the most obvious characters of freshwater ecosystems is their heterogeneity, namely, their disconnected structure and isolated functions, as comparing with terrestrial environments. However, this character is usually neglected by most traditional statistical methods, so using these tools can't describe these ecosystems correctly. In this paper, the authors recommend geostatistics to solve this problem.

Based on regionalized variable theories, geostatistics is one kind of spatial statistical theory used to explore the correlativity and dependence between spatial variables. The first character of this method is its emphasis on the importance of spatial dependence of variables. In practical research, semivariance values of ecological factors or other indices can be calculated from the semivariance formulate according to the theory, and then, semivariogram can be drawn, distribution character of the research object (such as clumped or uniform pattern) can be found from the graph. Mathematical models simulation should be used in quantification of this character. Fractal dimension (D) obtained by double-logarithm semivariogram ($D = (4 - m) / 2$, where m (the slope of the graph) shows its heterogeneity character as well. The lower the value is, the higher heterogeneity the distribution of object. Kriging is another quantifying tool deduced from the theory. By kriging, the spatial concentration (density and so on) pattern of the variables can be known, values of unknown points also can be estimated, and this calculation value is more creditable because of its concern for regional property of the variables.

In view of its accuracy, geostatistics would be widely used in freshwater ecology research such as density or spatial pattern of float grass, nitrogen, phosphorus and their ability of spatial occupation and so on.

Key Words Geostatistics, freshwater ecology, pattern, fractal dimension, Kriging