

# 保安湖—湖湾大型水生植物群落格局的研究

潘文斌 蔡庆华

(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)

**摘要:**用地质统计学中的半方差和双对数半方差图对保安湖—湖湾(黄风口)的大型水生植物群落格局进行了研究,在不同的尺度上对群落及其主要组成种类的空间异质性进行了定量的描述。结果表明:保安湖黄风口大型水生植物群落的双对数半方差图存在线性区域,群落具有分形特征(自相似性)。在不同的尺度下,群落和各组成种类空间格局具有不同的分形维数值,异质性程度存在差异。但其异质性程度不高,建议进行群落调查时,样方尺度应取520m;单一种群调查时的样方尺度取380m。

**关键词:**半方差;群落格局;尺度;空间异质性;分形

**中图分类号:** Q948.8   **文献标识码:** A   **文章编号:** 1000-3207(2000)05-0412-06

水生植物群落具有的结构特征,主要表现为一定的种类组成、群落的外貌,垂直和水平的分布格局。群落格局指的是组成该群落的种类当前在时间或空间上的配置。大型水生植物是草型湖泊的主要初级生产者,在湖泊中不仅是许多草食性水生动物的食物,而且还有改善水质和增加水环境稳定性的功能<sup>[1-4]</sup>。它的分布区域具有不规则性、镶嵌性和斑块性。由于其分布的这种特性,在不同的空间尺度下其群落格局应具有不同的特征。经典的分析方法对此特征难以处理,而地质统计学中半方差法和分形几何为对这种特征的研究提供了一个新的途径。本工作运用上述两种方法,结合以往的群落研究经验的基础上<sup>[5,6]</sup>,分析大型水生植物在两条采样带上分布的数据,以期为研究不同的尺度下水生植物群落特征提供切实可行的方法。

## 1 材料与方法

**1.1 研究地点概况** 保安湖( $114^{\circ}23' E, 30^{\circ}15' N$ )位于湖北省黄石市的大冶市西北,为长江中游南岸的一个浅水草型湖泊,东接三山湖,西隔梁子湖,南邻保安镇,北濒长江,属于梁子湖湖群。常年平均气温为20℃左右,无霜期长达280d。湖表面积为 $39.3 km^2$ ,由主体湖区、桥墩湖区、扁担塘、肖四海四个部分组成<sup>[7]</sup>。黄风口位于其主体湖的东部,有一条宽约15m的小河由此流入主体湖。该区域的水深平均为1.0—2.0m,透明度常清澈见底。白天水温在27.5℃左右。总磷浓度平均为0.045mg/L。

**1.2 采样方法** 于1997年5月25日对黄风口的水生植物群落进行调查。设计了两条

收稿日期:1999-10-15;修订日期:2000-05-30

基金项目:国家自然科学基金资助项目(39670150)

作者简介:潘文斌(1973—),男,浙江临安人,博士,从事系统生态学及流域生态学方面的研究

采样带,纵向沿着注入的河流向东溯源而上;横向则垂直于前者。纵向采样带长1920m,横向采样带长1280m。每隔20m取一次样,记录出现的种类。主要的大型水生植物的种类有:苦草 *Vallisneria spiralis* L.,金鱼藻 *Ceratophyllum oryzetorum* Kom.,狐尾藻 *Myriophyllum spicatum* L.,黑藻 *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle,黄丝草 *Potamogeton maackianus* A. Benn,菱 *Trapa bispinosa* Roxb.,荇菜 *Nymphoides peltata* (Gmel.) O. Kuntze,菹草 *Potamogeton crispus* L.。

**1.3 半方差和双对数半方差图及分形维数的计算** 半方差是地质统计学(或地统计学)(Geostatistics)中关键概念,在生态学中有着较大的应用价值<sup>[8]</sup>。地质统计学理论自本世纪五、六十年代由克里格和马特隆等提出之后,经过几十年的发展与完善,已形成一套完整体系<sup>[9]</sup>。它可用于研究区域化随机变量(Regionalized variable)的差异<sup>[9,10]</sup>。这种差异用半方差表示,定义如下:

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

其中  $r(h)$  为半方差,  $Z(i+h)$  为距  $i$  点  $h$  处的区域化随机变量值,  $N(h)$  为距离为  $h$  的点对数。如果将群落的一个特征随尺度( $h$  值)的变化量代入公式,就可求出对于不同尺度( $h$  值)下的半方差值。然后画出  $r(h)$  和  $h$  的双对数图,根据图上的直线斜率就可求出空间关系的表征,即分形维数。公式如下:

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

式中  $D$  为分形维数,  $m$  为双对数半方差图的斜率<sup>[11]</sup>。与经典几何相反,分形几何描述的是一些破碎的,不光滑的和不规则的空间结构。分形体具有两个明显的特征,其一具有自相似性,其二具有一个非整数的维数。自然界中的许多物体都具有分形特征,如著名的 Koch 雪花、Siepinski 地毯、Siepinski 海绵、海岸线、植物体的构件等等<sup>[12-14]</sup>。

## 2 结果

将记录下的数据进行整理,出现某物种的样点则将其对应区域化随机变量赋值为1,否则赋值为0。另将群落某点区域化随机变量赋值为各物种在该采样点随机变量值的总和。由于植被在不同尺度下异质性规律有所不同,就会出现线性区域和拐点。拐点的出现意味着植被格局在大于该尺度时与前者有明显差异,这时需将直线进行分段拟合。是否有拐点由各变量双对数半方差图来判断。根据公式1计算,并分段进行拟合后得到纵向样带  $h$  值和各变量半方差的双对数线性表,见表1;横向样带  $h$  值和各变量半方差的双对数线性表,见表2。由于半方差法中考虑了  $h$  值的变化,当  $h$  值变大时,点对数相对较少,故一般都取样带的1/3或1/2长才有统计意义<sup>[10]</sup>。

由表1可以看出在0~980m的较大尺度上,各变量除狐尾藻和黑藻外,均具有一定的相关性。在0~400m的尺度上,各变量与  $h$  值均具有较好的线性关系。在400~980m的尺度上,各自的相关系数有增有减,表明各变量在这个尺度上的格局有所分化。菱的拐点在460m左右,而荇菜的拐点在300m左右。

从表2可以看出在0~660m的尺度下金鱼藻、狐尾藻、荇菜和整个群落的线性拟合较好。在0~400m的尺度下也有同样的现象。但在380~660m的尺度下,金鱼藻、黄丝

草和荇菜线性拟合较好, 狐尾藻和群落的相关系数下降。黄丝草的拐点在 220m 左右, 而整个群落的拐点在 520m 左右。

表 1 纵向样带各变量半方差与 h 的双对数回归分析

Tab. 1 The log-log regression between semivarance of variables and h on lengthwise transect

h 值(m)	全部(0<h<980)			分段(0<h<380)			分段(380<h<980)		
	变量名	截距	斜率	相关系数	截距	斜率	相关系数	截距	斜率
苦草	-3.865	0.397	0.921	-3.136	0.246	0.849	-6.440	0.797	0.946
金鱼藻	-4.974	0.502	0.966	-4.612	0.426	0.901	-6.080	0.674	0.984
狐尾藻	-1.866	0.039	0.213	-2.491	0.169	0.761	0.292	-0.297	-0.500
黑藻	-2.988	-0.013	-0.088	-3.550	0.110	0.550	-3.691	0.089	0.296
黄丝草	-3.080	0.121	0.528	-3.818	0.283	0.794	-4.430	0.320	0.674
菱	-4.516	0.210	0.907	-4.689	0.249	0.939	-6.994	0.583	0.990
荇菜	-4.312	0.475	0.965	-4.923	0.614	0.982	-4.827	0.551	0.902
菹草	-2.880	0.112	0.648	-2.901	0.113	0.667	-1.354	-0.121	-0.276
群落	-0.622	0.159	0.671	-1.540	0.356	0.963	-0.351	0.109	0.247

注: 菱的分段 h 值为 0<h<460 及 460<h<980; 荇菜的分段 h 值为 0<h<300 及 300<h<980。

表 2 横向样带各变量半方差与 h 的双对数回归分析

Tab. 2 The log-log regression between semivariance of variables and h on transverse transect

h 值(m)	全部(0<h<660)			分段(0<h<380)			分段(380<h<660)		
	变量名	截距	斜率	相关系数	截距	斜率	相关系数	截距	斜率
苦草	-1.836	0.001	0.041	-1.581	-0.049	-0.267	-3.431	0.268	0.490
金鱼藻	-3.606	0.258	0.921	-3.462	0.228	0.925	-7.287	0.850	0.885
狐尾藻	-3.929	0.397	0.959	-4.126	0.440	0.955	-1.803	0.052	0.160
黄丝草	-3.614	0.046	0.129	-2.907	-0.105	-0.172	-7.101	0.622	0.934
荇菜	-2.315	0.412	0.959	-2.118	0.369	0.932	-4.249	0.726	0.908
菹草	-2.249	0.044	0.248	-2.336	0.062	0.337	-1.614	-0.062	-0.057
群落	-1.910	0.274	0.873	-1.902	0.273	0.852	-2.683	0.401	0.621

注: 黄丝草的分段 h 值为 0<h<220 及 200<h<660; 群落的分段 h 值为 0<h<520 及 520<h<660。

根据表 1 和表 2, 在考虑各斜率值应有统计学意义(显著性水平  $\alpha=0.1$ )的条件下, 可得到各变量在不同尺度下的分形维数, 列于表 3。

表 3 各变量对于不同 h 值的分维值

Tab. 3 The fractal dimension of variables to different h values

采样方式	横向			纵向		
	h 值范围(m)	0<h<660	0<h<400	380<h<660	0<h<980	0<h<400
苦草	—	—	—	1.8660	1.8015	1.8770
金鱼藻	1.8710	1.8860	1.5750	1.7490	1.7870	1.6630
狐尾藻	1.8015	1.7800	—	—	1.9155	—
黑藻	无	无	无	—	1.9450	—
黄丝草	—	—	1.6890	1.9395	1.8585	1.8400

续表 3

采样方式 h 值范围(m)	横向			纵向		
	0 < h < 660	0 < h < 400	380 < h < 660	0 < h < 980	0 < h < 400	380 < h < 980
菱	无	无	无	1.8950	1.8755	1.7085
荇 菜	1.7940	1.8155	1.6370	1.7625	1.6930	1.7245
菹 草	—	—	—	1.9440	1.9435	—
群 落	1.8630	1.8635	1.7995	1.9205	1.8220	—

注:菱纵向采样分段 h 值为  $0 < h < 460$  及  $460 < h < 980$ ; 荇菜纵向采样分段 h 值为  $0 < h < 300$  及  $300 < h < 980$ 。黄丝草横向采样分段 h 值为  $0 < h < 220$  及  $220 < h < 660$ ; 群落横向采样分段 h 值为  $0 < h < 520$  及  $520 < h < 660$ 。“无”表示没有采到该种植物,“—”表示由于相关系数没有统计学意义而舍弃该值。

表 3 列出了横向和纵向采样时,各变量在不同尺度下的分维值有所不同。一般说来,分维值越接近于 2,其空间异质性程度越低,空间相关性较弱;反之,空间相关性较强,空间异质性程度高,分维值越远离 2。同时,物种分维值越高,其空间占有能力越强。表 3 中各变量分维值都大于 1.5 而小于 2.0,说明各物种和两个群落在不同尺度下存在空间异质性,但异质性程度不高。从群落的分维值来看,纵向调查的群落空间异质性强于横向调查的群落异质性值,这与环境的异质性在这两个方向上的差异有关。说明沿着河流上溯造成的环境异质性比主要湖体更趋复杂。虽然两个群落空间异质性的最小尺度不同,但异质程度均较低。由于大型水生植物群落具有相对较为同质的格局,所以在调查保安湖沉水植物群落时,尺度应定为 520m 左右。单一种群的调查最大取 380m 就够了。金鱼藻、狐尾藻、苦草的拐点距离较为相似。它们经常被发现呈镶嵌状分布在一起,对水体环境的要求较为一致。荇菜和菱的空间异质性有所类似,只是各自的拐点不同,这与它们均是浮水植物有关。黑藻的纵向采样数据只在较小尺度下具备分形特征,而在横向采样中,苦草和黄丝草在较大尺度下具有分维值,菹草的数据没有表现出分形特征,这可能与对这些区域化随机变量定量化较为粗糙有关。一般而言,随着 h 值的递增,各变量的分维值有减少的趋势,导致其空间相关性有增加的趋势。但表 3 中荇菜的分维值随 h 的增加却减少了,这可能与对 h 值不恰当的人为划分或其区域化随机变量的定量化不够精确有关。

### 3 讨论

**3.1** 保安湖黄风口大型水生植物群落的双对数半方差图存在线性区域,群落具有分形特征(自相似性)。但其异质性程度不高,建议进行群落调查时,样方尺度取 520m 就够了。单一种群的样方尺度取 380m 就够了。

**3.2** 各物种在不同尺度下具有不同的分维值,空间相关性和异质性也有所不同。

**3.3** 结合植被在时间尺度上的格局变化,找出植被空间的特征尺度,进行尺度推绎,大致可以描述出该植被在时间和空间上的格局变动,进而可寻找出产生这种变动的原因。

**3.4** 如果对各区域化随机变量的定量化更精确,将有助于后面的半方差处理,也会得到更合理的解释。

**3.5** 环境异质性对于生物分布格局有影响,一个时空下的格局会影响另一时空下的格局,其中的推动者是各种过程。环境异质性在此起很重要的作用。半方差法在测度多个

理化参数的空间变化方面具有明显的优势,可以在空间上表述出各理化因子的变动<sup>[10]</sup>。这样就为进一步研究水生生物的分布格局的形成提供了基础。

**3.6** 应将景观生态学的一些新理论,如景观多样性中的修改的分维数和斑块多样性的测定方法等<sup>[15,16]</sup>,应用于各个群落斑块形状的复杂度和湖泊景观的破碎度测定。同时利用各景观要素间的转移矩阵,可以预测未来湖泊中各群丛的分布面积的大小,以及优势种的变化,进而对湖泊的水质变化作出一定的评价。此外,分形理论为我们提供了新的思路。它在种群生长格局和植被空间异质性研究,河流网状系统研究,河流地理形态学,沿岸带的复杂性测度,着生生物与植物的关系,物种扩散,湖泊地理学等方面有着较好的应用前景<sup>[11,14,17-20]</sup>。

### 参考文献:

- [1] 李伟,等.水生高等植物[A].陈宜瑜等主编.洪湖水生生物及其资源开发[M].北京:科学出版社,1995.44—63
- [2] 李伟,钟杨.水生植被研究的理论与方法[M].武汉:华中师范大学出版社,1992
- [3] 刘建国.东湖生态学研究(一)[M].北京:科学出版社,1990
- [4] 金刚.梁子湖、牛山湖和保安湖沉水植被资源现状[J].水生生物学报,1999,23(1):87—89
- [5] 李伟,程玉.洪湖主要沉水植物群落的定量分析:I.微齿眼子菜群落[J].水生生物学报,1999,23(1):53—58
- [6] 李伟,程玉.洪湖主要沉水植物群落的定量分析:II.微齿眼子菜群落+穗花狐尾藻+轮藻群落[J].水生生物学报,1999,23(3):240—244
- [7] 梁彦龄,刘伙泉.草型湖泊资源、环境与渔业生态学管理(一)[M].北京:科学出版社,1995
- [8] 李哈滨,伍业钢.景观生态学的数量研究方法[A].见:刘建国主编.当代生态学博论.北京:中国科学技术出版社,1992.209—233
- [9] 纪发华,熊琦华,张一伟,等.地质统计学在油藏描述中的应用[M].北京:石油大学出版社,1992
- [10] 祖元刚,马克明,张喜军.植被空间异质性的分形分析方法[J].生态学报,1997,17(3):333—337
- [11] Burrough P A. Fractal dimensions of landscapes and other environmental data [J]. Nature,1981,294:240—242
- [12] 常杰,陈刚,葛滢.植物结构的分形特征及模拟[M].杭州:杭州大学出版社,1995
- [13] 林鸿溢,李映雪.分形论—奇异性探索[M].北京:北京理工大学出版社,1992
- [14] Mandelbrot B. B. The Fractal Geometry of Nature [M]. NY: W. H. Freeman, 1982
- [15] 傅伯杰.景观多样性分析及其制图研究[J].生态学报,1995,15(4):345—350
- [16] 肖笃宁.景观生态学理论、方法及应用[M].台北:地景企业股份有限公司,1993
- [17] Morse D R, et al. Fractal dimension of vegetation and the distribution of arthropod body lengths [J]. Nature 1985, 314:731—733
- [18] 蔡庆华,赵斌,潘文斌.芦苇生长格局分形特征的初步研究[J].水生生物学报,1998,22(2):123—127
- [19] 邓红兵,周永斌,王庆礼,等.三峡库区次生柏木林中物种分布格局的分形特征[J].应用生态学报 1999,10(5):518—520
- [20] 黄真理,常剑波.鱼类体长与体重关系中的分形特征[J].水生生物学报,1999,23(4):330—336

## STUDIES ON MACROPHYTES COMMUNITY PATTERN IN A BAY OF BAOAN LAKE, HUBEI

PAN Wen-bin and CAI Qing-hua

(*Institute of Hydrobiology, The Chinese Academy of Sciences; State Key Laboratory of Freshwater Ecology  
and Biotechnology, Wuhan 430072*)

**Abstract:** In this paper the authors use the semivariance and the log - log semivariograms of Geostatistic to study the macrophytes community pattern in a bay (Huangfengkou region) of Baoan Lake. The spatial heterogeneity of the community and the species were quantitatively described at different scales by carrying out an investigation on lengthwise transect and transverse transect. The result showed that the spatial pattern of the community and the species had different fractal dimension values on different scales (variable h values). The fractal dimension values of those dominant macrophyte species to different h values are all greater than 1.5 and smaller than 2. On a scale of 400m, the fractal dimension on lengthwise transect was 1.8635, and it was 1.8220 on transverse transect. This indicated that the difference of spatial heterogeneity existed between two macrophyte communities, but their degrees were not high. The fractal dimension on lengthwise transect is smaller than that on transverse transect on same scale, which indicated that spatial heterogeneity on lengthwise transect is more complex than that on transverse transect. Because the macrophyte community showed a comparative high homogeneity on its pattern, the right scale should be about 520 meters when we carry out the community investigation, and the right scale for population sampling should be about 380 meters.

**Key words:** Semivariance; Community pattern; Spatial heterogeneity; Fractal