

# 红树植物木榄幼树斑块形状的分形分析

梁士楚<sup>1,2</sup>, 王伯荪<sup>1</sup>

(1. 中山大学生命科学学院, 广东广州 510275; 2. 广西红树林研究中心, 广西北海 536007)

**摘要:** 应用分形理论分析了山口国家级红树林自然保护区木榄幼树斑块形状的分形特征。木榄幼树斑块在整体水平上的分形维数为 1.12, 而单个斑块的分形维数介于 1.17~1.37 之间。分形维数的大小与斑块形状的复杂程度密切相关。频谱法和周长-面积法都适用于分析幼树斑块形状的分形特征。

**关键词:** 木榄; 斑块形状; 分形维数; 形状指数

**中图分类号:** Q948.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2002)06-0481-04

## Fractal analysis of sapling patch shape of the mangrove species, *Bruguiera gymnorrhiza*

LIANG Shi-chu<sup>1,2</sup>, WANG Bo-sun<sup>1</sup>

(1. School of Life Science, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China;

2. Guangxi Mangrove Research Center, Beihai 536007, China)

**Abstract:** Based on the fractal theory, the fractal characteristics of sapling patch shape of the mangrove species, *Bruguiera gymnorrhiza*, in Shankou National Mangrove Nature Reserve were analyzed. At the whole level, the fractal dimension for the patches of *B. gymnorrhiza* saplings is 1.12, while the fractal dimensions for the single patches range from 1.17 to 1.37. The values of fractal dimension are closely related to the shape complexity of the patches. Both frequency-power spectrum method and perimeter-area method are suitable for the analysis of fractal characteristics of sapling patch shape.

**Key words:** *Bruguiera gymnorrhiza*; patch shape; fractal dimension; shape index

木榄(*Bruguiera gymnorrhiza*)是海岸红树林沼泽中的嗜热广布性的红树植物种类,分布于非洲东海岸、亚洲海岸和大洋洲等地,在我国见于海南、广西、广东、福建、台湾和香港<sup>[1]</sup>。目前,对于木榄的生态学研究主要集中在物质循环和能量流、空间格局、遗传与进化、育苗与造林等方面,少数涉及幼苗的生物量和斑块的分形特征<sup>[1~3]</sup>。为了探讨木榄种群的新的信息特征,进一步地掌握其生物学和生态学特性,本文应用分形理论,从单个斑块和由若干斑块组成的斑块整体类型 2 个层次水平,分析木榄幼树斑块的分形特征。

### 1 研究地点与群落概况

研究地点位于山口国家级红树林自然保护区内,约 21°28'~21°37' N, 109°37'~109°47' E。呈南亚热带季风型海洋性气候,年平均气温 22.9 °C,极端最高气温 38.2 °C,极端最低气温 1.5 °C。年平均降水量 1 573.4 mm,其中 80%~85%集中在 4~9 月。潮汐为混合全日潮,平均潮差 2.53 m,最大潮差 6.25 m。海水的年平均温度 23.5 °C,盐度 20‰

收稿日期: 2001-10-08

作者简介: 梁士楚(1965-),男,广西百色人,副研究员,博士生,生态学专业。

基金项目: 国家自然科学基金重大项目(39899370); 国家自然科学基金项目(39860023)。

~23%, pH 值 7.6~7.8。红树林面积约 730 hm<sup>2</sup>, 主要的群落类型有木榄群落、红海榄 (*Rhizophora stylosa*) 群落、秋茄 (*Kandelia candel*) 群落、海漆 (*Excoecaria agallocha*) 群落、桐花树 (*Aegiceras corniculatum*) 群落和白骨壤 (*Avicennia marina*) 群落等<sup>[4]</sup>。

研究样地设在木榄群落内。该群落面积较小, 见于内滩的近岸区域, 呈带状分布。群落高 4~7 m, 盖度约 50%~85%。群落上层由木榄组成, 偶有红海榄和秋茄混生。群落下层通常为木榄幼苗, 少数地段的木榄幼树也比较多。

## 2 研究方法

### 2.1 取样方法

在山口红树林自然保护区, 自然更新良好、具有由幼树构成下层结构的木榄群落很少, 仅选择到一处符合取样条件的群落地段作为样地。取样的面积为 600 m<sup>2</sup>, 对于高度在 1.3 m 以下且面积较小的幼树斑块, 采用面积为 6 m<sup>2</sup>、格子大小为 0.2 m×0.2 m 的网格样框进行取样; 其余的是通过建立格子大小为 1 m×1 m 的网状格子样方来测量。在调查现场, 用坐标纸绘制幼树斑块的形状图, 测量每个斑块的周长 ( $P$ ) 和面积 ( $A$ ) 以及调查个体数量等特征。

### 2.2 分形维数的计算方法

**2.2.1 频谱法** 首先将每个幼树斑块图形的边界划分为  $N$  等分, 间隔为 0.10 m。然后, 测量各个等分边界点到斑块形心的距离  $r(j)$ , 并将  $r(j)$  进行 Fourier 转换<sup>[5]</sup>。

设形心距离  $r(j)$  的 Fourier 转换为  $\hat{r}(k)$ , 则有:

$$\hat{r}(k) = \sum_{j=1}^N r(j) \omega_N^{(j-1)(k-1)} \quad (1)$$

式中,  $\omega_N = e^{(-2\pi i)/N}$ 。故功率谱  $P_s$  为:

$$P_s = |\hat{r}(\delta)|^2 \sim f^{-\beta} \quad (2)$$

式中,  $\delta = 1, 2, \dots, N/2$ , 频率  $f = 2 \cdot Nyquist \cdot \delta/N$ ,  $Nyquist = 1/2$ ;  $\beta$  是功率谱指数。

功率谱  $P_s$  的幂函数形式反映了形心距离频率  $f$  的空间跨越尺度, 而功率谱指数  $\beta$  与分形维数  $D$  之间存在如下的关系:

$$\beta = 5 - 2D \quad (3)$$

**2.2.2 周长—面积法** 上述的频谱法用于测定单个斑块的形分维数, 而在整体水平上, 斑块的形分维数采用周长—面积法来测定, 其计算公式如下<sup>[6]</sup>:

$$\log P = C + (D/2) \log A \quad (4)$$

## 3 结果与分析

### 3.1 斑块形状的复杂程度

在山口红树林自然保护区, 由木榄幼树种群形成的斑块的数量较少。在 600 m<sup>2</sup> 样地内, 整个外形完全在样地内且面积在 2 m<sup>2</sup> 以上的木榄幼树斑块只有 8 块。这些斑块的形状如图 1 所示, 斑块的有关数量特征见表 1。其中, 斑块的形状指数  $S$  是以圆为参照几何形状进行测定的, 具体的计算公式为:  $S = P/2\sqrt{\pi A}$ <sup>[7]</sup>。由表 1 可知, 不同的木榄幼树斑块, 其个体数量组成和边界复杂的程度等都有所差异。斑块的形状越复杂或者越扁长, 形状指数就越大。因此, 根据斑块的形状指数大小, 木榄幼树斑块形状的复杂程度的大小顺序为:  $P7 < P5 < P6 < P4 < P3 < P8 < P2 < P1$ 。

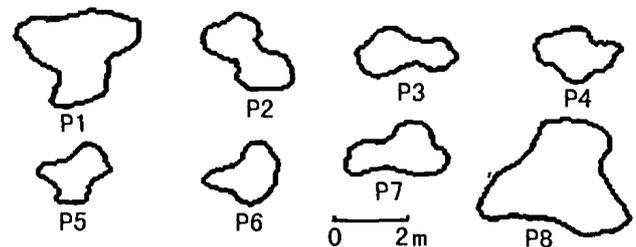


图 1 木榄幼树斑块的形状

Fig. 1 The shapes of *Bruguiera gymnorrhiza* sapling patches

### 3.2 斑块形状的分形维数

斑块的形状指数虽然表征了斑块形状的复杂性程度, 但是斑块形状随尺度变化的方式及其数量特征需要通过分形维数来刻画<sup>[3,7]</sup>。对于单个斑块, 测量其等分边界点的形心距离和将边界展开成一维曲线后, 根据公式(1)进行 Fourier 转换, 然后由公式(2)来计算功率谱  $P_s$ , 由此得出木榄幼树斑块的  $\log f - \log P_s$  的关系如图 2。图 2 显示出  $\log f - \log P_s$  之间呈现比较明显的线性关系, 进行直线回归拟合, 得出它们都在 0.01 概率水平上显著(表 1), 即每个木榄幼树斑块形状都具有分形的特征。所测定的斑块 P1、P2、P3、P4、P5、P6、P7 和 P8 的分形维数分别为 1.364 8、1.364 6、1.315 5、1.258 3、1.182 3、1.227 6、1.179 3 和 1.363 4, 它们的平均值为 1.282 0。这些斑块的形分维数的大小顺序呈现  $P7$

$<P5 < P6 < P4 < P3 < P8 < P2 < P1$  的变化, 而且与它们形状的复杂程度的大小顺序相吻合。在研究过程中, 采用的斑块边界的等分间隔比较小, 为 0.10 m, 因此可以认为这些分形维数充分地反映了木榄幼树斑块形状的细节特征。从整体水平上分析, 木榄幼树斑块的  $\log A - \log P$  的关系如图 3 所示, 它们之间也具有明显的线性关系, 进行直线回归拟合, 得出它们在 0.01 概率水平上显著, 即这些木榄幼树种

群斑块形状在整体水平上也具有分形的特征, 其分形维数为 1.117 9 ( $R=0.992 8$ )。

## 4 讨 论

### 4.1 斑块的成因及其分形性质

木榄是显胎生的红树植物种类, 其胎生的幼苗成熟脱离母树后, 在胚轴重量的作用下, 可以垂直下

表 1 木榄幼树斑块的数量特征

Table 1 Quantitative characteristics of *Bruguiera gymnorhiza* sapling patches

斑块编号 No. of patch	周长(m) Perimeter	面积(m <sup>2</sup> ) Area	个体数 Individual number	形状指数 Shape index	D	R	P
P1	12.3	8.12	10	1.218 7	1.364 8	-0.788 9	<0.01
P2	8.8	4.27	5	1.201 6	1.364 6	-0.772 8	<0.01
P3	7.4	3.34	3	1.142 5	1.315 5	-0.635 2	<0.01
P4	7	3.21	4	1.102 4	1.258 3	-0.583 9	<0.01
P5	6.3	2.68	3	1.085 9	1.182 3	-0.836 5	<0.01
P6	6.7	3.01	4	1.089 7	1.227 6	-0.741 4	<0.01
P7	7.8	4.12	6	1.084 3	1.179 3	-0.798 6	<0.01
P8	14.2	11.87	13	1.163 0	1.363 4	-0.693 7	<0.01

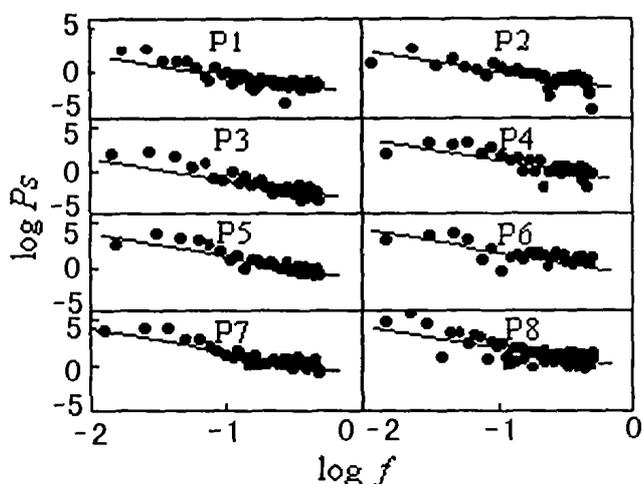


图 2 木榄幼树斑块的  $\log f - \log P_s$  关系

Fig. 2 The  $\log f - \log P_s$  relation for *Bruguiera gymnorhiza* sapling patches

落并插入淤泥中, 从而导致幼苗和幼树通常是在母树的树冠下呈集群状分布<sup>[3]</sup>。然而, 跟踪调查得出, 在山口红树林自然保护区的木榄自然更新良好的区域, 仅有 3% 的木榄幼苗能生长成为幼树。因此, 木榄幼树斑块是由不同时期的幼苗生长补充并在空间上镶嵌或叠加而形成的, 即斑块是由不同年龄大小的幼树个体构成的, 例如斑块 P2, 8 a 的个体有 1 株, 7 a 和 6 a 的各 2 株。由不同的幼树个体自然形成的斑块, 具有不规则的复杂形状。上述的分析表明, 山口红树林保护区木榄幼树斑块形状具

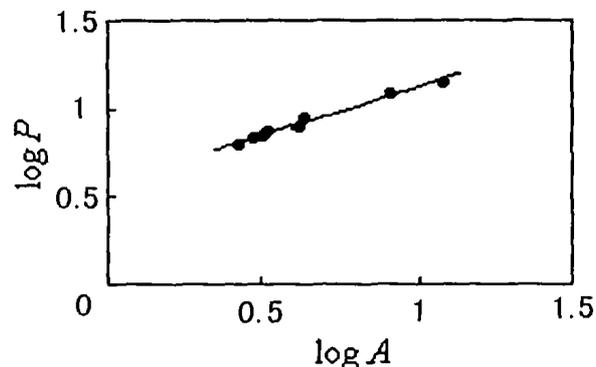


图 3 木榄幼树斑块的  $\log A - \log P$  关系

Fig. 3 The  $\log A - \log P$  relation for *Bruguiera gymnorhiza* sapling patches

有分形的特征, 即木榄幼树斑块的边界曲线也具有与“海岸线”类似的结构, 可以当作分形体来处理, 用分形维数来表征它们的形状的复杂性及其尺度不变的性质。分形维数的大小可以揭示斑块形状的复杂程度, 而组成斑块的幼树个体数量、分布格局以及个体的形状特点, 特别是树冠形状及其在空间上镶嵌或叠加的程度, 是决定斑块形状复杂程度的主要因素。至于斑块形状和边界特征对生态学过程的影响, 可能是多种多样和非常复杂的, 这尚有待于进一步研究。

### 4.2 斑块形状的分形描述方法

在生态学研究, 对于斑块形状的分形描述, 最常用的方法是周长—面积法<sup>[6~9]</sup>, 包括测量单个斑

块和由若干斑块组成的斑块类型的分形特征。人们之所以要测量多个斑块图形,其根本的原因在于承认它们具有整体分形维数<sup>[10,11]</sup>。采用周长—面积法,根据每个斑块的周长和面积而计算得出的山口红树林自然保护区多个木榄幼树斑块组成的斑块整体的分形维数为 1.12。对于单个斑块,由于木榄幼树斑块的面积都比较小,如果对于一个给定的斑块采用不同的尺度来分别测量其周长和面积,特别是当测量的尺度比较大的时候,会忽略斑块边界的许多细节,由此造成较大的误差。为了解决这一问题,首次采用频谱法来分析单个木榄幼树斑块形状的分形特征,其中斑块边界的等分间隔为 0.10 m,足够反映斑块形状的细节特征,由此计算得出的木榄幼树单个斑块的分形维数介于 1.17~1.37 之间。由于斑块形状的分形维数是指斑块边界的分形维数,而斑块边界是作为二维空间中的曲线来对待的,其分形维数是介于 1~2 之间。因此,上述的木榄幼树斑块的分形维数值都是有意义的,周长—面积法以及通过 Fourier 转换的频谱法都适用于幼树斑块形状的分形描述。

#### 参考文献:

[1] 林 鹏. 中国红树林生态系[M]. 北京: 科学出版社,

1997. 1—10.

- [2] 梁士楚. 红树植物木榄幼苗的分形生态研究 I. 形状和生物量的分形维数[J]. 广西科学, 1998, 5(4): 318—320.
- [3] 梁士楚, 彭丽萍. 红树植物木榄幼苗的生态研究 [A]. 见: 董 鸣, Werger M J A. 生态学研究文集 [C]. 重庆: 西南师范大学出版社, 1999. 219—226.
- [4] 梁士楚. 广西英罗湾红树植物群落的研究[J]. 植物生态学报, 1996, 20(4): 310—321.
- [5] 丁裕国, 江志红. 气象数据时间序列信号处理[M]. 北京: 气象出版社, 1998. 120—173.
- [6] Lovejoy S. Area-perimeter relation for rain and cloud areas[J]. *Science*, 1982, 216(9): 185—187.
- [7] 邬建国. 景观生态学——格局、过程、尺度与等级 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000. 99—119.
- [8] 常学礼, 邬建国. 分形模型在生态学研究中的应用 [J]. 生态学杂志, 1996, 15(3): 35—42.
- [9] 刘灿然, 陈灵芝. 北京地区植被景观斑块形状的分形分析[J]. 植物生态学报, 2000, 24(2): 129—134.
- [10] 李后强, 汪富泉. 分形理论及其在分子科学中的应用[M]. 北京: 科学出版社, 1997. 184—189.
- [11] 董连科. 分形理论及其应用[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1991. 112—120.

(上接第 493 页 Continue from page 493)

3 个种的特殊性。很有可能: ①过去对穗花杉属各种模式标本采自个别地域的个别植株,其代表一个物种的共性,显然与种群共性有差距。②穗花杉属分布地域较广泛,各地的小生境差别显然较大。③过去对穗花杉物种研究由于物质条件不完备(如物种种群),难免有不缜密和不足之处。④穗花杉属中的三个种,可能是地理环境不同所致,已有学者对三个种的木材进行过解剖研究,结论是没有种间差异。

(2)神坡穗花杉种群不同于已有的三个种,而又包含三个种的各自特点,很可能是穗花杉本应是一个单种属植物。由于地域环境小生境不同而在各地有变异而已。如果不是地域变异形成三个种,那末,神坡穗花杉种群也很可能是新种。二者必居其一。

(3)继续深入对种群进行有关多学科的研究,对种群作出圆满的结论。

(4)希望各级有关部门,对绥宁神坡穗花杉种群,应积极采取相应法律保护措施,防止当地对种群及其周围生态的人为破坏。保护好种群及外缘的生

物多样性迫在眉睫,使当前唯一的穗花杉物种种群得以安全繁衍,完善提供不可多得的一个多种类珍稀物种的科研基地。

在观察期中,承蒙吴征镒院士赐教,傅立国教授释疑和对拙文审阅,在此深表谢意。

#### 参考文献:

- [1] 傅立国. 中国植物红皮书(第一册)[M]. 北京: 科学出版社, 1991. 134.
- [2] 萧乾德, 黄德众, 张永纯. 绥宁县发现穗花杉群落 [J]. 植物杂志, 1997. 1. 16.
- [3] 刘克旺, 石道良, 杨旭红, 等. 湖南绥宁县神坡山穗花杉群落特征初步研究[J]. 武汉植物学研究, 1999, 17(2): 137—145.
- [4] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志(第七册)[M]. 北京: 科学出版社, 1978. 450—456.
- [5] 中国科学院植物研究所. 中国高等植物图鉴(第一册)[M]. 北京: 科学出版社, 1987. 334.