

红树植物木榄种群分布格局关联维数的研究^{*}

梁士楚¹ 董 鸣^{1* *} 王伯荪² 张炜银²

(¹ 中国科学院植物研究所植被数量生态学重点实验室 北京 100093)

(² 中山大学生命科学学院 广州 510275)

提要 应用分形理论中的关联维数分析了山口国家级红树林自然保护区木榄 (*Bruguiera gymnorrhiza*) 种群的个体空间关联程度及其尺度变化的特征。木榄种群个体空间关联的无标度区介于 1.26~14.66 m, 相应的关联维数介于 1.36~1.61。集群型的木榄种群的关联维数比随机型的高。关联维数的大小实际上也反映了木榄种群个体间竞争的强弱程度。分析表明, 关联维数适用于定量描述种群分布格局的特征。

关键词 木榄种群, 分布格局, 关联维数

中图分类号 Q948 **文献标识码** A **文章编号** 1000-3096(2003)06-0051-04

植物种群在自然环境中由于受个体、种群以及与环境因子之间相互作用的影响, 存在着各种空间分布的特征。种群个体通过对环境资源的竞争和分配, 形成了空间关联的关系。不同性质的环境资源具有不同的表现尺度, 从而导致种群格局在不同尺度上的空间关联程度存在着差异^[1~3], 种群格局的这种尺度变化特征可以用分形理论中的关联维数来定量刻画。了解种群个体空间关联尺度变化的规律, 将有助于进一步认识种群的各种生态关系。

1 研究地点与群落概况

研究地位于山口国家级红树林自然保护区内 (21°28'~21°37'N, 109°37'~109°47'E), 属于南亚热带季风型海洋性气候, 年平均气温 22.9℃, 年平均降水量 1 573.4 mm。潮汐为半规则全日潮, 平均潮差 2.53 m, 最大潮差 6.25 m。海水的年平均温度为 23.5℃, 盐度约 20~23, pH 值 7.6~7.8。该保护区内现有的红树林面积约 730 hm², 其中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^[4,5]。

研究样地设在木榄群落内。该群落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, 偶有极少量的

红海榄、秋茄、白骨壤或海漆散生。群落下层一般由木榄的幼苗组成, 在更新良好的区域, 木榄幼树也比较多; 少数地段的群落下层以桐花树为主。

2 研究方法

2.1 取样方法

选择以木榄种群为建群种的群落地段作为样地, 同时考虑潮滩的生态演替进程, 特别是土壤的质地状况, 共选择了 4 个样地, 每个样地的取样面积均为 800 m²。建立样地二维坐标系, 测量木榄种群胸高直径≥2.5 cm 的个体的坐标位置、株高、胸径、冠幅等。在每个样地内随机选择 5 株木榄个体作为对象木, 以每个对象木为中心、半径为 5 m 的样圆内胸高直径≥2.5 cm 的木榄个体作为该对象木的竞争木, 测量对象木和竞争木的胸径以及它们之间的距离。测定每个群落内 0~20 cm 层土壤的机械组成、有机质含量、含盐量等(表 1)。

^{*} 国家重点基础研究发展规划项目 G2000046804 号; 国家自然科学基金项目 39860023 号。

^{**} 通讯联系人

第一作者: 梁士楚, 出生于 1965 年, 博士, 副研究员, 主要从事种群生态和红树林生态研究, E-mail: gxlsc@sina.com

收稿日期: 2002-01-17; 修回日期: 2002-09-18

表 1 木榄群落的样地概况

Tab.1 The general conditions of four typical sample plots of *B. gymnorrhiza* community

样地编号	地点	滩位	土壤质地	土壤有机质(%)	土壤含盐量(‰)
Q1	管理站	内滩	粉粘土, 稍硬化	6.42	21.56
Q2	海堤中部	内滩	壤粘土, 半硬化	7.16	25.13
Q3	海堤中部	内滩	粉壤土, 淤泥状	4.37	12.38
Q4	英罗村	内滩	粉壤土, 淤泥状	4.85	15.42

2.2 维数的计算方法

首先计算种群个体间的欧式距离 r_{ij} :

$$r_{ij} = ||P_i - P_j|| = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2} \quad (1)$$

任意给定一个正数 δ , 然后检查一遍有多少点对 $[P_i, P_j]$ 之间的距离 $||P_i - P_j||$ 小于 δ , 把距离小于 δ 的点对数占总点对数 N 的比例表示为:

$$C(\delta) = \frac{1}{N} \sum_{i,j=1}^N \theta(\delta - ||P_i - P_j||) \quad (2)$$

其中, $\theta(x)$ 为阶跃函数, 即

$$\theta(x) = \begin{cases} 1, & x > 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases} \quad (3)$$

$C(\delta)$ 是一个累积分布函数, 它描绘了种群个体间距离小于 δ 的概率以及相对于空间中某参考点在 δ 内的个体聚集的程度, 所以 $C(\delta)$ 被称为关联函数^[1,6,7]。

当 δ 取值适当时, 在无标度区内有:

$$C(\delta) = \alpha \delta^D \quad (4)$$

根据双对数性质, 上式中的 D 就是种群分布格局的关联维数, 即

$$D = \lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{\lg C(\delta)}{\lg \delta} \quad (5)$$

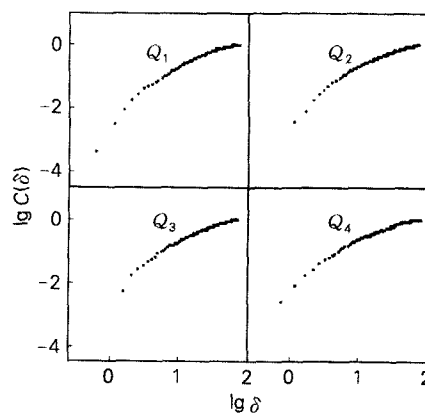
将距离值与对应的 $C(\delta)$ 在双对数坐标中进行直线拟合, 所得的直线斜率的绝对值即为关联维数 D 。通过分析每个样地个体间欧式距离的计算结果, 本文确定的 δ 取值的原则是将样地中最大的个体间欧式距离值作为 δ 的最大值, 然后按照每次变换尺度减少 0.5 m 的方法, 得到一系列 δ 的值。

3 结果与分析

3.1 无标度区及其生态学意义

根据实测数据计算后, 得出木榄种群分布格局的 $\lg \delta - \lg C(\delta)$ 之间的关系如图 1 所示。图中显示, 随着 $\lg \delta$ 值的增加, 每个样地都出现尺度范围不等的 2 或 3 个明显的线性区域, 而且起始拐点的位置也有

所不同。对各个样地 $\lg \delta - \lg C(\delta)$ 曲线中的线性区域进行分段直线回归, 得到表 2。这些线性区域直线回归的相关系数均在 0.99 以上, 达到了极显著相关水平, 但是它们的直线斜率出现了 3 种情形, 即小于 1、介于 1~2 和大于 2。已有的研究表明, 有意义的种群格局关联维数是介于 1~2^[1]。在统计学意义上, 种群分布格局的关联维数揭示种群个体空间相关的尺度变化规律。在拐点尺度前后, 个体空间关联程度发生较大的变化, 表明种群格局在不同尺度上存在着显著差异。由表 2 和图 1 可知, 样地 Q1, Q2, Q3 和 Q4 无标度区的起始拐点所对应的尺度分别为 2.66, 3.19, 3.08 和 1.26 m。根据实测调查, 样地 Q1 木榄的平均冠幅为 2.2 m, 最小冠幅为 1.4 m; 样地 Q2 木榄的平均冠幅为 1.8 m, 最小冠幅为 1.2 m; 样地 Q3 木榄的平均冠幅为 2.6 m, 最小冠幅为 1.9 m; 样地 Q4 木榄的平均冠幅为 1.3 m, 最小冠幅为 0.7 m, 由此说明各样地的起始拐点的尺度都反映出林木以完整个体为单位对水平空间的占据。

图 1 木榄种群分布格局的 $\lg \delta - \lg C(\delta)$ 曲线Fig.1 The $\lg \delta - \lg C(\delta)$ curves of distribution pattern of *B. gymnorrhiza* population

由于不同样地的生境条件有所差异(表 1)以及不同生境资源具有不同的表现尺度,同时不同的种群个体对生境资源竞争的能力也不同,从而导致不同样地的木榄种群格局在不同尺度上空间关联程度的差异。鉴于种群格局关联维数为 1~2,由表 2 得出,样地 Q1, Q2, Q3 和 Q4 木榄种群个体空间关联的无标度区分别为 2.66~14.66, 3.19~10.19, 3.08~14.58 和 1.26~8.26 m。

表 2 木榄种群分布格局的 $\lg \delta$ 与 $\lg C(\delta)$ 线性关系

Tab.2 The linear relationship between $\lg \delta$ and $\lg C(\delta)$ of distribution pattern of *B. gymnorhiza* population

样地	尺度范围 (m)	直线斜率	相关系数	显著水平 (P)
Q1	0.66~2.16	3.1158	0.9983	<0.01
	2.66~14.66	1.4161	0.9990	<0.01
	15.16~31.16	0.9239	0.9989	<0.01
Q2	1.19~2.69	2.3588	0.9969	<0.01
	3.19~10.19	1.4334	0.9980	<0.01
	10.69~21.69	0.9734	0.9993	<0.01
Q3	1.08~2.58	4.8084	0.9990	<0.01
	3.08~14.58	1.3613	0.9982	<0.01
	15.08~31.08	0.8690	0.9988	<0.01
Q4	1.26~8.26	1.6003	0.9963	<0.01
	8.76~40.76	0.8676	0.9997	<0.01

3.2 关联维数与个体间竞争

根据表 2 得出,样地 Q1, Q2, Q3 和 Q4 的木榄种群分布格局的关联维数分别为 1.416 1, 1.433 4, 1.361 3 和 1.600 3,它们的大小次序呈现 $Q3 < Q1 < Q2 < Q4$ 。根据 Hegyi 的单木竞争指数模型计算得出样地 Q1, Q2, Q3 和 Q4 的木榄种内竞争强度分别为 3.017 4, 4.054 5, 1.625 3 和 7.634 2,它们的大小顺序与种群分布格局关联维数吻合,由此说明关联

维数的大小实际上也反映了木榄种群个体间竞争的强弱程度。大的关联维数,表明种群个体的空间相关程度高,个体间竞争激烈,种群整体对空间的占据程度较高;反之,关联维数小,个体空间相关程度低,个体间竞争较弱,种群整体对空间的占据也较弱^[1]。由于样地 Q1, Q2 和 Q3 的起始相关距离分别为 2.66, 3.19 和 3.08 m,大于相应的平均冠幅大小,表明这些样地木榄种群个体间的竞争相对较弱;而样地 Q4 的起始相关距离为 1.26 m,小于相应的平均冠幅大小,表明样地 Q4 中的木榄种群的幼树较多,个体间存在着较强的竞争,而且这种竞争会随着冠幅的扩大而增强,并导致部分个体的死亡而使个体间的相关距离增大。从木榄种群在水平空间上分布的范围大小和种群个体冠幅大小之间的关系来看,样地 Q1, Q2, Q3 和 Q4 可供每个个体利用的水平空间的平均大小分别为 11.94, 10.13, 15.38 和 4.44 m²,而这些样地的木榄种群个体的平均冠幅分别为 2.2, 1.8, 2.6 和 1.3 m,若将树冠的投影以圆面积来计算,得出其大小分别为 3.80, 2.54, 5.31 和 1.33 m²。另外,据测定(表 3),样地 Q1, Q2 和 Q3 木榄种群的分布格局属于随机型,说明这 3 个样地的木榄种群个体的水平分布具有较大程度的离散性,对水平空间的利用性竞争不强烈,它们的关联维数都小于 1.5,比较远离 2。而样地 Q4 理论上种群个体可占据的水平空间的平均大小虽然大于其树冠的平均投影面积,但该样地木榄种群的分布格局属于集群型,而且这种分布状态是由于较大数量的幼树在母树的树冠下集聚分布造成的^[8,9],因此幼树与幼树以及幼树与母树之间存在着较大程度的竞争,该样地的关联维数大于 1.5。另外,从种群分布格局的集聚程度(表 3)来看,各样地木榄种群关联维数的大小顺序与其集聚强度相吻合。

表 3 木榄种群的分布格局

Tab.3 Distribution pattern of *B. gymnorhiza* population

样地编号	格局类型	集聚强度			
		丛生指数	平均拥挤指数	聚块性指数	扩散指数
Q1	随机分布	-0.7974	7.5776	0.9048	1.0340
Q2	随机分布	-0.4087	9.4663	0.9586	1.0956
Q3	随机分布	-0.7363	5.7637	0.8867	1.0134
Q4	集群分布	5.3492	27.8492	1.2377	1.4146

4 结论

不同的生境资源具有不同的空间表现尺度,不同的种群个体对生境资源的竞争能力和程度也不同,由此导致种群分布格局在不同尺度上空间关联程度的差异。木榄种群个体空间关联的无标度区介于1.26~14.66m,相应的关联维数介于1.36~1.61。这些维数值揭示了木榄种群个体空间关联的尺度变化规律,表明了种群个体的空间相关程度,实际上也反映了木榄种群个体间竞争的强弱程度。集群型的木榄种群的关联维数比随机型的高。

关联维数是定量描述种群分布格局特征的有效参数之一。了解种群分布格局的关联维数特征,有助于进一步了解种群在不同生境条件中的地位和功能等方面的差异。

参考文献

- 1 马克明,祖元刚,倪红伟.兴安落叶松种群格局的分形特征——关联维数.生态报,1999,19(3):353-358
- 2 Palmer M W. Fractal geometry: a tool for describing spatial patterns of plant communities. *Vegetation*, 1988, 75: 91-102
- 3 Turner M G. Landscape ecology: the effect of pattern on process. *Ann Rev Ecol Sys*, 1989, 20: 171-197
- 4 梁士楚.广西英罗湾红树植物群落的研究.植物生态学报,1996,20(4):310-321
- 5 梁士楚.广西红树植物群落特征的初步研究.广西科学,2000,7(3):210-216
- 6 屈世显,张建华.复杂系统的分形理论与应用.西安:陕西人民出版社,1996.28-31
- 7 董连科.分形理论及其应用.沈阳:辽宁科学技术出版社,1991.26-30
- 8 梁士楚.红树植物木榄幼苗的分形生态研究 I 形态和生物量的分形维数.广西科学,1998,5(4):318-320
- 9 梁士楚,彭丽萍.红树植物木榄幼苗的生态研究.见:董鸣,Werger 主编.生态学研究文集.重庆:西南师范大学出版社,1999.219-226
- 1 马克明,祖元刚,倪红伟.兴安落叶松种群格局的分形

CORRELATION DIMENSION OF DISTRIBUTION PATTERN OF MANGROVE *Bruguiera gymnorrhiza* POPULATION

LIANG Shi-Chu¹ DONG Ming¹ WANG Bo-Sun² ZHANG Wei-Yin²

(¹Key Laboratory of Quantitative Vegetation Ecology, Institute of Botany, the Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100093)

(²School of Life Science, Zhongshan University, Guangzhou, 510275)

Received: Jan., 17, 2002

Key Words: *Bruguiera gymnorrhiza*, Distribution pattern, Correlation dimension

Abstract

The degree and scaling variation law of spatial autocorrelation of individuals of *Bruguiera gymnorrhiza* population in National Shankou Mangrove Nature Reserve were investigated using the correlation dimension of fractal theory. The scaling ranges of spatial autocorrelation of individuals of the population were from 1.26 to 14.66m, and the corresponding correlation dimensions from 1.36 to 1.61. The correlation dimensions of the clumped population were higher than those of the random population. In fact, the correlation dimension also reflects the degree of competition between individuals. The results suggest that the correlation dimension be among the suitable methods for quantifying the characteristics of distribution pattern of the population.

(本文编辑:刘珊珊)