

广西木论自然保护区铁榄群落主要乔木种群格局的分形特征

张建亮^{1,2}, 李先琨^{1*}, 吕仕洪¹, 叶 铎¹, 钟军弟^{1,2}, 焦继飞^{1,2}, 尤业明^{1,2}

(1. 广西壮族自治区 广西植物研究所, 广西桂林 541006; 2. 广西师范大学, 广西桂林 541004)
中国科学院

摘 要: 为了揭示种群空间分布特征随尺度的变化规律, 探讨不同种群对空间资源的占据能力和生态适应能力及分形差异, 采用计盒维数、信息维数和关联维数对木论自然保护区铁榄群落主要乔木种群格局特征进行了研究。结果表明, 优势种铁榄(*Sinosideroxylon pedunculatum*)、东女贞(*Ligustrum japonicum*)、小栎树(*Boniodendron minius*)、稀有濒危种掌叶木(*Handeliodendron bodinieri*)、青檀(*Pteroceltis tatarinowii*) 5 个种群在相应的尺度具有明显的分形特征; 计盒维数和信息维数大小顺序一致, 均为: 铁榄 > 东女贞 > 小栎树 > 掌叶木 > 青檀; 在 5 个种群中, 铁榄计盒维数为 1.7763 最大, 接近 2, 对空间环境的占据能力最强, 信息维数(1.7206)也最大, 个体聚集强度高, 在群落中处于绝对优势地位, 青檀计盒维数(0.8316)和信息维数(0.8990)最小, 对环境的占据利用能力弱, 个体聚集程度整体较弱, 在群落中处于伴生地位; 在 0.5 ~ 50 m 的尺度上, 关联维数大小顺序为: 铁榄(1.7314) > 东女贞(1.6688) > 小栎树(1.6050) > 青檀(0.7868), 而掌叶木只有在大的尺度上才出现关联, 且关联较强。3 个分形维数大小的不同组合, 能够全面揭示不同种群格局特征和种群在群落中所处地位的差异。

关键词: 空间格局; 分形特征; 计盒维数; 信息维数; 关联维数; 喀斯特森林; 木论自然保护区

中图分类号: Q948.15⁺5

文献标识码: A

文章编号: 1000-470X(2009)06-0622-07

Fractal Properties of Spatial Pattern of Main Woody Plant Populations of *Sinosideroxylon pedunculatum* Community in Mulun National Nature Reserve in Guangxi

ZHANG Jian-Liang^{1,2}, LI Xian-Kun^{1*}, LÜ Shi-Hong¹, YE Duo¹,
ZHONG Jun-Di^{1,2}, JIAO Ji-Fei^{1,2}, YOU Ye-Ming^{1,2}

(1. Guangxi Institute of Botany, Guangxi Zhuang Autonomous Region and Chinese Academy of Sciences, Guilin, Guangxi 541006, China;
2. Guangxi Normal University, Guilin, Guangxi 541004, China)

Abstract: The fractal properties of main populations of *Sinosideroxylon pedunculatum* community in Mulun National Nature Reserve were analyzed using box-counting dimension, information dimension and correlation dimension to reveal the orderliness of spatial distribution of different populations and its difference along with the different scales and hence to understand the spatial occupation of the resources and ecological adaptation as well as fractal variation. The results showed that the spatial pattern of dominant plant populations *S. pedunculatum*, *Ligustrum japonicum* and *Koeleruteria integrifoliola* and rare and endangered plant populations *Handeliodendron bodinieri* and *Pteroceltis tatarinowii* had obvious fractal properties in corresponding scales. Both the orders of count-box and information dimensions were *S. pedunculatum* > *L. japonicum* > *K. integrifoliola* > *H. bodinieri* > *P. tatarinowii*. The count-box dimension of *S. pedunculatum* population was the maximum (1.7763), which was near to value 2, indicating high degree of spatial occupation and the dominant position in community. Its information dimension was 1.7206, which was the highest in five populations, reflecting the high degree of pattern intensity. Both the count-box dimension and information dimension of *P. tatarinowii* population were lowest, were 0.8316 and 0.8990, respectively, indicating low degree of spatial occupation and pattern intensity. It was in an accompaniment position in forests community and its individuals were scattered in space. From 0.5 to 50 m,

收稿日期: 2008-11-19, 修回日期: 2009-03-27。

基金项目: 中国科学院西部行动计划项目(KZCX2-XB2-08-02)资助; 广西壮族自治区研究生教育创新计划项目(2008106020710M256)资助; 国家科技支撑计划(2006BAC01A10)资助。

作者简介: 张建亮(1983-), 男, 硕士研究生, 主要从事应用生态学研究(E-mail: tmcgrandy@163.com)。

* 通讯作者(Author for correspondence. E-mail: xiankunli@163.com)。

the gradation of correlation dimensions was *S. pedunculatum* (1.7314) > *K. integrifoliola* (1.6688) > *L. japonicum* (1.6050) > *P. tatarinowii* (0.7868), *H. bodinieri* population only appears correlation in biggish scale. The combination of three fractal dimensions implied comprehensively the feature of the spatial patterns of different population types and the difference in the position of population in community.

Key words: Spatial pattern; Fractal properties; Count-box dimension; Information dimension; Correlation dimension; Karst forest; Mulun National Nature Reserve

种群格局是对种群在群落中所处的空间格局特征的定量化描述,能够说明种群的空间配置状况或分布特点,是种群生物学特性、种内种间关系及环境条件综合作用的结果,是种群的基本数量特征之一^[1,2]。关于植物种群格局方面的研究历史比较长久,研究方法较多,也相对比较成熟。但是由于研究结果受到取样面积的影响,在不同尺度上考察所得结论可能不同^[3]。比如一个在大尺度上为聚集分布的种群,在较小的尺度上可能是随机分布或均匀分布。这种不确定性的存在,使种群格局尺度变化特征研究显得尤为重要。近年来,不少生态学家引入了一些新的关于种群格局分析方法。分形模型(fractal model)提供了一个能够直接探讨生态学中涉及尺度、等级等难题的数学途径。分形分析强调了尺度的重要性,尺度变化的内涵通过分形维数的变化反映出来,是刻画尺度依赖问题的有力工具,该方法对种群格局的研究能够揭示种群空间分布随尺度的变化规律,是种群格局研究的扩展和深入^[4]。分形理论中的计盒维数、信息维数和关联维数分别从种群的空间占据能力、格局强度和个体空间关联的尺度变化来反映种群格局的分形特征,三个分形维数相辅相承,互相影响,综合运用、整体分析能更加全面揭示种群格局特征^[5]。

通过对保存完好的喀斯特植被生态系统进行研究,可以直接为喀斯特生物多样性保育和退化生态系统恢复提供科学依据。铁榄(*Sinosideroxylon pedunculatum*)群落是喀斯特常绿落叶阔叶混交林的主要类型之一,在生物多样性保育方面具有重要的作用,为石漠化区域的植被恢复提供了重要的物种资源,喀斯特原生植被生态系统的保存为石漠化治理提供了现实的教材和参考。本文通过对广西木论自然保护区范围内的铁榄群落主要优势种群及伴生种群空间格局及尺度的变化特征进行比较,探讨群落主要乔木种群对空间资源的占据能力,分析各种群的生态适应性,以期为植被生态系统保护和管理、珍稀濒危植物的保育提供理论依据。

1 研究区与群落概况

木论自然保护区位于环江毛南族自治县西北部,

北与贵州省茂兰自然保护区相连,地理坐标为北纬25°07'01"~25°12'22",东经107°54'01"~108°05'51",年平均气温17~19.3℃,无霜期为235~290 d,平均降水量1530~1820 mm(降雨多集中于4~8月份,占全年降雨量的73.7%),在林区内相对湿度大,一般在80%~90%,甚至接近饱和(夏季)。保护区林区总面积8969 hm²,保护区主要受中亚热带季风湿润气候影响,使得区内保持典型的喀斯特森林生境,是中国生物多样性较为丰富的地区之一^[6,7]。

所调查铁榄群落样地中上层乔木主要有铁榄、东女贞(*Ligustrum japonicum*)、小栎树(*Koelreuteria integrifoliola*)、广西密花树(*Rapanea kwangsiensis*)、九里香(*Murraya microphylla*)、掌叶木(*Handeliodendron bodinieri*)、菜豆树(*Radermachera sinica*)、粗糠柴(*Mallotus philippinensis*)、小叶山柿(*Diospyros dumetorum*)、石山樟(*Cinnamomum saxatile*)、刨花中越棒柄花(*Cleidion bracteosum*)、虾公木(*Bridelia fordii*)、朴树(*Celtis sinensis*)、青檀(*Pteroceltis tatarinowii*)、青冈栎(*Cyclobalanopsis glauca*)、伞花木(*Eurycorymbus cavaleriei*)等,其中掌叶木是无患子科残遗于我国的稀有单属植物,国家一级重点保护野生植物,为我国特有,青檀是国家三级保护野生植物^[8]。灌木层一般高度为1~2.5 m,分布稀疏,多为乔木的幼树,真正的灌木树种种类不多,数量也少,主要有:石山苧麻(*Boehmeria longispica*)、密榴木(*Miliusa chunii*)、红背山麻杆(*Alchornea trewioides*)、杜茎山(*Maesa japonica*)、小叶山柿幼树等。草本层植物一般在1 m以下,覆盖度10%以下,种类贫乏,数量也不多,局部分布或聚集生长,主要有:肾蕨(*Nephrolepis auriculata*)、毛蕨(*Pteridium revolutum*)、楼梯草(*Elatostema balansae*)、石韦(*Pyrrosia adnascens*)、兰科植物等,另外还有一些乔木树种幼苗,如小叶山柿幼苗、广西密花树幼苗、红背山麻杆幼苗等。层间植物数量少,生长不茂盛,主要有买麻藤(*Gnetum parvifolium*)、麒麟尾(*Epipremnum pinnatum*)、三叶扁藤(*Tetrastigma planicaule*)、鸡血藤(*Millettia reticulata*)等,多数攀附在灌木或较低的乔木上,很少能延伸

至较高的乔木上。

2 研究方法

2.1 样地调查

选择该地区具有代表性的森林群落,依照美国 Smithsonian 研究院 CTFS(the center for tropical forest science)的森林生物多样性监测规范设立固定样地^[9-11]。样地设在保护区铁榄群落中,西南坡向,坡度 30.93°,海拔 484 ~ 559 m,水平投影面积为 1 hm² (100 m × 100 m),将样地分为 400 个 5 m × 5 m 的小样方进行调查,对胸径 1 cm 以上的乔木树种个体进行每木检尺,挂牌编号,野外调查对每个 5 m × 5 m 小样方进行坐标系统编号,以小样方左下角为原点,所有胸径 1 cm 以上个体进行空间定位。记录树种名、胸径、树高、枝下高、冠幅、坐标等;灌草层记录各物种的高度、盖度、多度等。

2.2 计算方法

2.2.1 物种重要值及优势种的确定

物种重要值的计算按 McIntosh 公式^[12]:

$$\text{重要值} = \frac{\text{相对多度} + \text{相对频度} + \text{相对显著度}}{3} \quad (1)$$

群落的优势种由 Ohsawa 优势度分析法确定^[13]。公式为:

$$D = \frac{1}{N} \left[\sum_{i \in T} (X_i - X)^2 + \sum_{i \in U} X_j^2 \right] \quad (2)$$

式中: X_i 为排序在前的上位种的相对断面面积, X 为优势种所占的理想百分比, X_j 为上位种以外的剩余种的相对断面面积, N 为总种数, T 为上位种的个数, U 为下位种的个数。如果某级只有 1 个优势树种,则优势树种的理想百分比为 100%;如果有 2 个优势树种,则它们的理想百分比为 50%;如果有 3 个优势树种,则理想百分比为 33.3%,依次类推,分别计算 D 值。当 D 为最小值时,排列在前的上位种数为群落在该级的优势树种数。

2.2.2 分形维数

(1) 计盒维数 计盒维数计算公式^[14]:

$$D_b = - \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\ln N(\varepsilon)}{\ln \varepsilon} \quad (3)$$

式中: D_b 为计盒维数; ε 为划分尺度; $N(\varepsilon)$ 为对应于尺度 ε 的非空格子数。本文采用 Excel 中 Visual Basic 编辑器进行编程,将样方边长 100 m 从 2 等分至 50 等分,所对应的尺度 ε 边长分别为 50、33.33、25……2 m,统计每个尺度 ε 所对应的非空格子数 $N(\varepsilon)$,两者在双对数坐标下直线拟合斜率的绝对值即为计盒维数的估计。

(2) 信息维数 信息维数计算公式^[15]:

$$D_i = - \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\ln I(\varepsilon)}{\ln \varepsilon} \quad (4)$$

在对种群格局进行网格覆盖的过程中,进一步计数每个非空格子中拥有的个体数目(N_i)。若样方内总个体数目为 N ,那么单一格子中的概率为 $P_i = N_i/N$,信息量为 $I_i = -P_i \ln P_i$,则该网格边长时总的信息量为 $I(\varepsilon) = \sum I_i$ 。将与之相应的网格边长(ε)在双对数坐标下进行直线拟合(或分段直线拟合),所得拟合直线斜率的绝对值为信息维数的估计。网格变长 ε 的划分等同于计盒维数尺度 ε 的确定。

(3) 关联维数 关联维数的计算公式^[5]:

$$D_c = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\log C(\varepsilon)}{\log \varepsilon} \quad (5)$$

首先将样方内每个个体与所有其它个体间的欧氏距离计算出来,然后给定一个距离值,查找小于该距离的欧氏距离个数,变换距离值,可以得到一系列(N_i),通过每一距离值对应的距离个数与距离总个数(N)的比值得到 $C(\varepsilon)$ 。将 $C(\varepsilon)$ 与对应的距离值在双对数坐标下进行(分段)直线拟合,所得拟合直线的斜率的绝对值为其关联维数。根据样方大小为 100 m × 100 m 的实际情况以及植株之间的最大距离,确定距离值为 0.5 m 到 50 m,变换步长 0.5 m。

3 结果与讨论

3.1 物种重要值

根据样地调查资料,计算每个物种的重要值,再依据公式(2)确定群落优势种,表 1 给出所研究种群的个体数和重要值。其中,铁榄 416 株,重要值为 15.99、东女贞 291 株,重要值 11.35、小栎树 157 株,重要值 7.91,是群落的优势种。我国特有的单属濒危植物掌叶木在样地中个体数 44,重要值 3.20,根据公式(2)确定的结果,为样地优势种之一;稀有种青檀在样地中优势度不明显,重要值仅为 1.43,为

表 1 种群的物种重要值
Table 1 Importance value of species

物种 Species	个体数 No. of individual	相对显著度 RDO	相对多度 RDE	相对频度 RFE	重要值 IV
铁榄 <i>Sinosideroxylon pedunculata</i>	416	31.09	13.92	2.97	15.99
东女贞 <i>Ligustrum japonicum</i>	291	2.116	10.05	2.85	11.35
小栎树 <i>Boniodendron minus</i>	157	1.541	5.70	2.62	7.91
掌叶木 <i>Handeliodendron bodinieri</i>	43	5.15	2.18	2.26	3.20
青檀 <i>Pteroceltis tatarinowii</i>	65	0.57	1.26	2.26	1.36

群落中的伴生种。

3.2 种群计盒维数

计盒维数表征的是相同形状的小集合覆盖一个集合的效率,应用在种群格局上则反映了种群占据空间的能力^[14]。直线拟合过程出现拐点,则在拐点尺度前后,种群空间占据程度的剧烈变化反映出种群格局显著的尺度差异,揭示出格局的聚集规模^[5]。5个种群计盒维数曲线拟合的拐点分别为4.7619、4.7619、4.5455、9.0909、7.1429 m,为了使各种群的计盒维数具有可比性,结合拐点出现的尺度,种群计盒维数直线的拟合均为5~50 m。由图1可知,种群计盒维数的大小排列为铁榄(1.7763) > 东女贞(1.6257) > 小桉树(1.4229) > 掌叶木(0.8763) > 青檀(0.8316),铁榄计盒维数最大,接近2,反映出对空间的占据能力最强,东女贞对空间占据能力也较强,小桉树计盒维数1.4229,对空间占据能力一般,而濒危种掌叶木的计盒维数0.8763,青檀计盒维数0.8316,两者都接近并且小于1,说明种群对空间占据以及利用能力较弱。

种群对空间环境的占据力与空间资源利用率程度的大小,与种群生态学习性及所处的喀斯特生境条件密切相关。喀斯特森林,是在可溶性碳酸盐发

育的喀斯特地貌上发育的森林,生境条件极为严酷,具有岩石裸露率高,土被不连续,土层浅薄,土壤富钙、偏碱性等特征。有学者将喀斯特森林生境划分成石面、石缝、石沟、石洞、石槽、土面等6种小生境类型,不同的小生境具有不同的生态学特征和植被利用的有效性^[16-19]。据调查,铁榄群落所处的喀斯特生境主要为石面、石沟、石缝、石槽及其相互之间的组合,在土面生长的很少而且不连续,因此,铁榄群落不同种群对空间环境的占据,主要就是对少许的不连续土面,对石沟、石缝等生境的利用,而种群对这些生境的占据能力的大小,则取决于它们种群竞争力的大小、在群落中的优势程度及其所处的地位。

从表1可知,铁榄在群落中处于绝对的优势地位,种群竞争能力强,种群个体在群落中的位置如图2所示,从图2可以看出,铁榄种群密度大,在各个小生境类型分布广泛,因此与其它种群相比,铁榄对环境的占据与利用能力最强。东女贞种群在群落处于亚优势的地位,它的分布也较为广泛,占据了一定的除土面之外最适合植物生长的石沟生境,除此之外,它对石缝的占据及利用能力也较强,因此计盒维数较大。小桉树计盒维数为1.4229,对环境的占据能力一般。与其它优势种相比,掌叶木和青檀的计

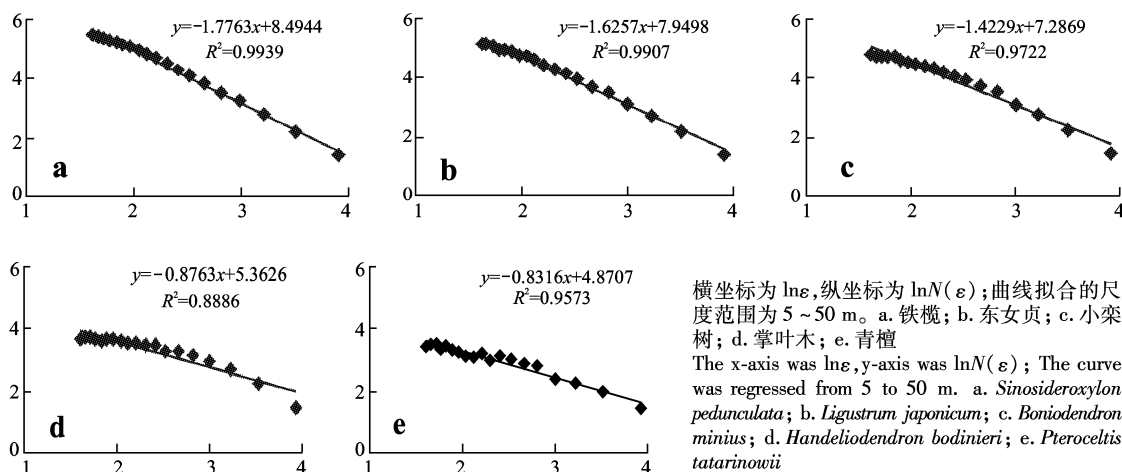
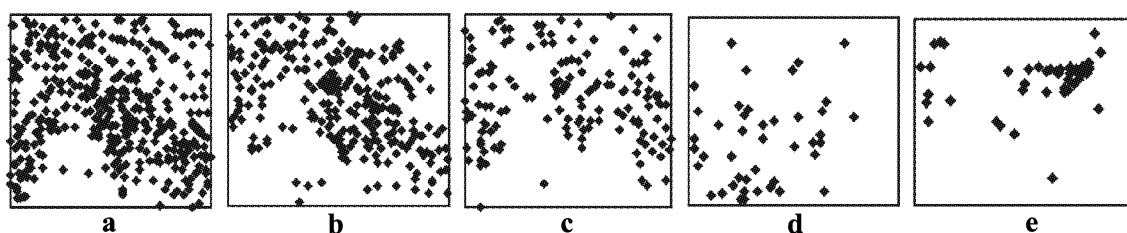


图1 种群格局计盒维数的 $\ln \varepsilon - \ln N(\varepsilon)$ 曲线

Fig. 1 The $\ln \varepsilon - \ln N(\varepsilon)$ curves of the box-counting dimension of five populations



a ~ e 对应的植物学名参见图1 The science name of plant a to e refer to Fig. 1

图2 种群格局位点图

Fig. 2 Spatial distribution patterns of five populations

盒维数均远离 2, 对空间环境的占据与利用能力弱, 受到其它优势种的竞争排斥, 又由于这 2 个树种是喜光阳性树种, 所以多生长于林隙、林窗等光照相对充足的生境。

3.3 种群信息维数

信息维数表征了不同尺度上系统结构复杂性之间的联系和规律性, 揭示了系统结构复杂性的尺度变化程度。小的信息维数(接近 1 或小于 1)表明系统结构复杂性的尺度变化微弱, 结构简单; 大的信息维数则表明系统具有高的结构复杂性^[15]。与计盒维数相似, 信息维数的拟合出现的拐点亦揭示种群个体聚集的规模。铁榄、东女贞、小桉树、掌叶木拐点所对应的尺度分别为 5.2632、4.5455、4.3478、9.0909、7.1429 m, 与计盒维数拐点所对应的尺度 4.7619、4.7619、4.5455、9.0909、7.1429 m 基本一致, 种群聚集尺度均大于种群平均冠幅, 说明小尺度内的聚集发生在幼树与幼树之间或成熟树与幼树之间。

种群格局信息维数的拟合见图 3, 在 5 ~ 50 m 的尺度范围内, 信息维数大小顺序为: 铁榄(1.7206) > 东女贞(1.4715) > 小桉树(1.4255) > 掌叶木(0.9799) > 青檀(0.8990), 说明铁榄种群内部非均匀性强, 种群的聚集程度最高, 东女贞聚集也较强, 青檀种群格局的聚集程度最低。

种群格局反映了种群在水平空间上的配置格局或分布情况, 它是由种群特性、种间关系和环境条件的综合影响所决定的^[20], 信息维数反映的种群分布的非均匀性, 同时格局的聚集程度也与物种的生物学特性、生境条件密切相关。样地中的喀斯特生境, 如土面、石沟、石缝等的分布情况, 在一定程度上决

定了种群的分布类型以及聚集的程度, 而不同种群在相同的生境中的格局类型和聚集程度则是由于种群本身的生物学特性决定。铁榄信息维数最大, 主要与物种亲代的种子散布习性有关, 铁榄浆果卵球形^[21], 在自然条件下, 铁榄通过种子繁殖, 由于果实相对较重且数量很多, 果实成熟时, 多数种子散布离母树不远, 所以种子萌发成幼苗以及生长成为幼树、小树后在母树周围形成集群分布且聚集程度较高。东女贞和小桉树的格局强度除与种子的散布习性相关外, 还由于种内彼此之间的竞争以及与其它优势种竞争的原因, 使其聚集强度相对铁榄较弱, 但总体上来说, 个体分布的不均匀性及聚集程度较强。掌叶木在阔叶林下的湿润环境中, 由于其种子富含油脂, 常易腐烂而丧失发芽力, 并且该类种子在干燥环境中又常常因较快地失去水分而影响发芽, 所以种子在天然的状态下存活能力较弱^[22], 同时, 掌叶木种子所含油脂具有清香味, 很有可能被松鼠等小动物采食, 并且当前样地中的掌叶木处于成熟阶段, 经计算分析, 胸径在 7.5 ~ 22.5 cm 的中树较多, 占整个种群的 61%, 胸径大于 22.5 cm 的大树也占据了 12%, 由于种内的竞争、自疏作用的存在, 种群密度较小, 个体之间聚集程度相对较低, 信息维数相对较小。青檀果实为翅果, 柄细长^[23]。由于果皮延展成翅状且较轻, 成熟脱落后, 随风传播至各种生境, 因此格局纹理小, 聚集程度不高; 种群所能占据的石缝、林缘、林窗等生境空间分布不连续, 以及种群本身的生态学特征, 使得青檀种群聚集程度较低。

3.4 种群关联维数

种群格局关联维数是种群个体空间关联随尺度变化规律的反映, 揭示出种群个体空间相关程度, 大

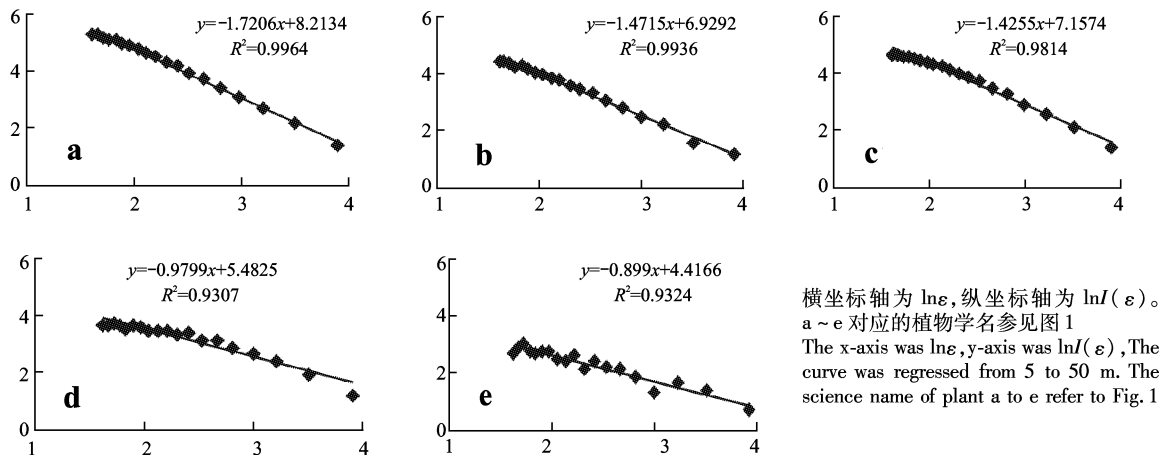


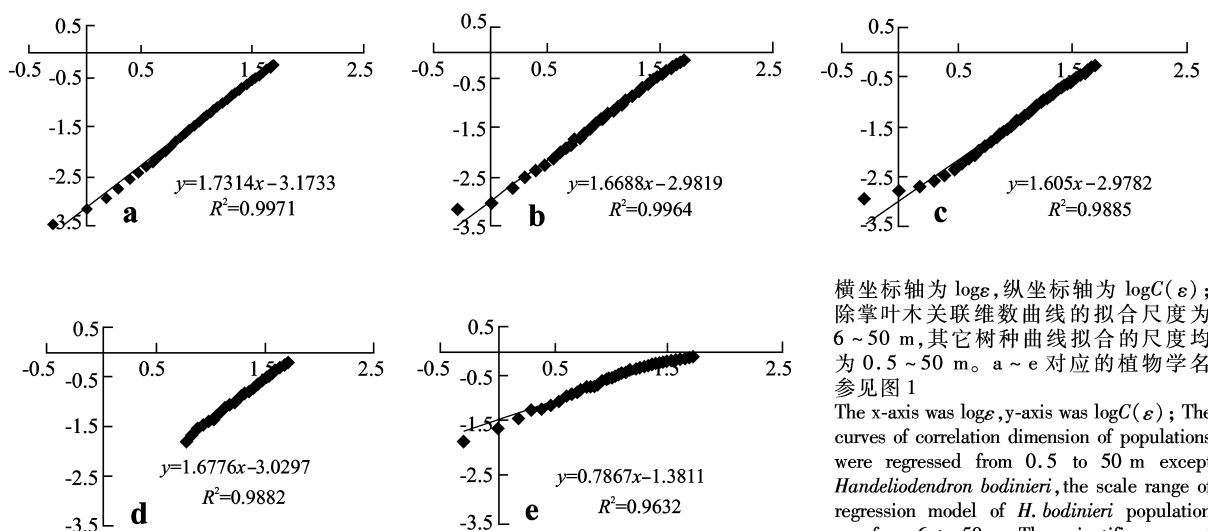
图 3 种群格局信息维数的 $\ln \varepsilon - \ln I(\varepsilon)$ 曲线

Fig. 3 The $\ln \varepsilon - \ln I(\varepsilon)$ curves of the information dimension of five populations

的关联维数(接近于2),表明种群个体的空间相关程度高,个体间竞争强烈,种群整体对空间的占据能力较强;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能力较弱^[5]。

由于掌叶木在0.5~6 m范围内关联维数大于2,不具生态学意义^[5],其拟合尺度范围为6~50 m,铁榄、东女贞、小栎树和青檀反映林木以完整个体为单位对水平空间占据的起始拐点分别为0.5、0.5、3、0.5 m,考虑到关联维数在统一尺度上的拟合更具可比性,因此,它们的拟合尺度统一为0.5~50 m。种群格局关联维数的拟合见图4。铁榄关联维数为1.7314,接近2,表明种群空间关联随尺度的变化剧烈,个体之间关联程度高,种群整体对空间的占据能力强。东女贞和小栎树关联维数分别为1.6688和1.6050,种群空间关联程度较高,整体对空间的占据能力也较强。掌叶木关联维数为1.6776,起始相关距离为6 m,反映出种群个体之间的距离较远,密度较小,只有在大的尺度上观察才关联出现聚集。青檀在0.5~50 m的尺度区域内关联维数仅为0.7868,维数小于1,反映的是位点对水平空间的占据情况,对青檀种群在不同的尺度上重新拟合,发现在0.5~20 m的尺度上,关联维数为0.9744(接近1),说明种群个体之间的关联较弱,因此,认为0.7868虽然反映位点对水平空间的占据情况,但仍然能够说明一定的生态学问题,具有一定的生态学意义,反映种群个体之间空间的关联程度不高,竞争较弱,对空间的占据能力也较弱。

由于不同种群所占据生境条件的差异,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,从而导致不同种群格局在不同尺度上空间关联程度的差异^[24]。铁榄种群计盒维数大,对喀斯特生境的占据能力强,并且铁榄种群密度大,个体数多,所以种群个体的关联程度也强。掌叶木种群由于个体之间平均距离较大,在大的尺度上关联性较强。青檀是群落中的伴生种,种群密度及个体数都较小,其个体间的空间相关一般会受到优势种铁榄、东女贞等分布的制约,个体分布除局部聚集外,整体聚集程度不高,趋于分散,种内竞争减小,种间竞争增强,因而关联维数表现为最低。已有研究表明,3个分形维数相辅相承,互相影响,一般来说个体平均相关强,分布均匀,且空间占据强,则格局强度低(关联维数和计盒维数较高,信息维数较低);个体空间平均相关弱,分布不均匀,且空间占据程度高,则格局强度高(关联维数低和计盒维数高,信息维数较高);个体空间平均相关低,分布不均匀,空间占据程度低,则格局强度亦较高(关联维数和计盒维数低,信息维数高)^[5]。群落中东女贞和小栎树种群的3个分形维数之间的关系满足上述第一种情况,铁榄种群对喀斯特生境占据力强,个体聚集程度高,个体之间的关联也高,即:计盒维数、信息维数和关联维数都较大;掌叶木种群个体之间关联较大,对环境的利用和个体聚集较弱(计盒维数和信息维数小,关联维数大);青檀3个维数都较小。3个分形维数大小的不同组合形式,揭示出群落中不同种群和种群个体空间分布形



横坐标轴为 $\log \varepsilon$, 纵坐标轴为 $\log C(\varepsilon)$; 除掌叶木关联维数曲线的拟合尺度为6~50 m, 其它树种曲线拟合的尺度均为0.5~50 m。a~e对应的植物学名参见图1

The x-axis was $\log \varepsilon$, y-axis was $\log C(\varepsilon)$; The curves of correlation dimension of populations were regressed from 0.5 to 50 m except *Handeliendron bodinieri*, the scale range of regression model of *H. bodinieri* population was from 6 to 50 m. The scientific name of plant a to e refer to Fig. 1

图4 种群格局关联维数的 $\log \varepsilon$ - $\log C(\varepsilon)$ 曲线

Fig. 4 The $\log \varepsilon$ - $\log C(\varepsilon)$ curves of the correlation dimension of five populations

式的差异,通过比较可以对各类型种群格局的分形特征有一个完整认识。

4 结论

(1) 计盒维数的大小顺序为:铁榄(1.7763) > 东女贞(1.6257) > 小栎树(1.4229) > 掌叶木(0.8763) > 青檀(0.8316),铁榄在群落中处于绝对的优势地位,对其它树种竞争排斥能力强,分布最为广泛,对喀斯特生境的利用性强;东女贞个体数较多,分布较为广泛,占据了一定生境空间,对生境的利用能力也较强;小栎树占据和利用生境空间的能力较其它优势种小,较稀有濒危种强,整体一般;稀有种掌叶木和青檀计盒维数远离2,对空间资源的竞争力弱,占据空间环境的能力小。

(2) 信息维数反映种群聚集程度与种群分布的非均匀性,大小顺序为:铁榄(1.7206) > 东女贞(1.4715) > 小栎树(1.4255) > 掌叶木(0.9799) > 青檀(0.8990),信息维数的大小与由喀斯特生境条件产生的异质性和物种的生物学特性(主要是繁殖特性)密切相关。

(3) 种群格局关联维数是种群个体空间关联随尺度变化规律的反映,揭示出种群个体空间的相关程度。在0.5~50 m尺度上,关联维数的大小顺序为:铁榄(1.7314) > 东女贞(1.6688) > 小栎树(1.6050) > 青檀(0.7868),而掌叶木只有在大的尺度上才出现关联,且关联较强。

(4) 计盒维数、信息维数和关联维数分别从种群的空间占据能力、格局强度和个体空间关联的角度反映了种群格局的尺度变化特征,种群3个分形维数大小的组合方式,能够更加全面揭示种群格局特征差异以及不同种群在群落中所处的地位。分形维数的大小,与种群所处的生境条件的异质性,物种的生物学特性、种群的生态学特征、种间种内的竞争关系密切相关。

致谢:感谢中科院华南植物园曹洪麟研究员在野外调查工作中给予指导,亚热带农业生态研究所宋同清副研究员、彭晚霞博士在数据的采集过程中给予的帮助,以及木论国家级自然保护区的大力支持和积极配合。

参考文献:

- [1] 曲仲湘. 植物生态学[M]. 第2版. 北京:高等教育出版社, 1983: 158.
- [2] 周纪伦, 郑师章, 杨持. 植物生态学[M]. 北京:高等教育出版社, 1992: 75-123.

- [3] 邬建国, Jelinski D. 生态学中的格局与尺度——可塑性面积单元问题[M]//李博. 现代生态学讲座[M]. 北京:科学出版社, 1995: 1-9.
- [4] 吴承祯, 洪伟. 不同经营模式土壤团粒结构的分形特征研究[J]. 土壤学报, 1999, 36(2): 162-167.
- [5] 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[J]. 生态学报, 1999, 19(3): 353-358.
- [6] 蒋国芳. 木论喀斯特森林区生物多样性初报[J]. 生物多样性, 1995, 3(2): 91-94.
- [7] 郑颖吾. 木论喀斯特林区概论[M]. 北京:科学出版社, 1999: 2-9.
- [8] 傅立国, 金鉴明. 中国植物红皮书[M]. 北京:科学出版社, 1992: 590-591, 654.
- [9] 郝占庆, 李步杭, 张健, 王绪高, 叶吉, 姚晓琳. 长白山阔叶红松林样地(CBS): 群落组成与结构[J]. 植物生态学报, 2008, 32(2): 238-250.
- [10] 叶万辉, 曹洪麟, 黄忠良, 练璐瑜, 王志高, 李林, 魏识广, 王章明. 鼎湖山亚热带常绿阔叶林20公顷样地群落特征研究[J]. 植物生态学报, 2008, 32(2): 274-286.
- [11] 祝燕, 赵谷风, 张儒文, 沈国春, 米湘成, 任海保, 于明坚, 陈建华, 陈声文, 方腾, 马克平. 古田山亚热带常绿阔叶林动态监测样地——群落组成与结构[J]. 植物生态学报, 2008, 32(2): 262-273.
- [12] Curtis J T, McIntosh R P. An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin[J]. *Ecology*, 1951, 32: 467-496.
- [13] 达良俊, 杨永川, 宋永昌. 浙江天童国家森林公园常绿阔叶林主要组成种的种群结构及更新类型[J]. 植物生态学报, 2004, 28(3): 376-384.
- [14] 马克明, 祖元刚. 兴安落叶松种群格局的分形特征——计盒维数[J]. 植物研究, 2000, 20(1): 104-111.
- [15] 马克明, 祖元刚. 兴安落叶松种群格局的分形特征——信息维数[J]. 生态学报, 2000, 20(2): 187-192.
- [16] 谢双喜, 彭贵. 贵州喀斯特山地灌丛香叶树群落及种群结构的初步研究[J]. 中南林业调查规划, 2002, 21(1): 56-62.
- [17] 谢双喜, 丁贵杰, 刘官浩. 贵州贞丰县兴北喀斯特森林植被的调查分析[J]. 浙江林业科技, 2001, 21(1): 56-62.
- [18] 徐军. 贵州中部喀斯特小生境月月青植物种群生态学特征的调查与分析[J]. 贵州林业科技, 2003, 31(1): 38-44.
- [19] 张邦琨, 韦小丽, 曾信波. 喀斯特森林不同小生境的小气候特征[J]. 贵州气象, 1995, 19(4): 16-19.
- [20] 梁士楚, 梁铭忠, 吴苑玲, 谢强, 曾启杰, 王勇军. 深圳福田红树林保护区海桑种群结构的研究[J]. 广西师范大学学报(自然科学版), 2005, 23(2): 94-97.
- [21] 李奕. 中国植物志——电子版[M/OL]. <http://foc.lseeb.cn/dzb.asp>.
- [22] 宋园园. 掌叶木保育的问题及对策[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(22): 6780, 6849.
- [23] 邓耀军, 张建华. 华小陇山林区珍稀树种青檀的繁育推广[J]. 甘肃科技, 2008, 24(1): 136-137.
- [24] 梁士楚, 董鸣, 王伯荪, 张炜银. 红树植物木榄种群分布格局关联维数的研究[J]. 海洋科学, 2003, 27(6): 51-54.