

香料植物桂花野生种群分布格局的分形分析

林勇明^{1,2}, 吴承祯^{1,2}, 洪伟^{1,2}, 肖珍¹, 胡喜生^{1,2}, 范海兰^{1,2}, 宋萍^{1,2}

(¹福建农林大学林学院, 福州 350002; ²福建省高校森林生态系统过程与重点实验室, 福州 350002)

摘要:采用分形理论中的计盒维数、信息维数和关联维数对长汀县石峰寨桂花野生种群分布格局的多尺度分布规律进行比较分析。结果表明,桂花野生种群的分布格局具有分形特征,其计盒维数为0.8622~1.0058,信息维数为0.8670~0.9849,关联维数为1.0037~1.0757。桂花种群的计盒维数、信息维数、关联维数相差不大,表明该种群的分布格局强度相对复杂,局域空间占据较强,具有集聚分布的趋势。

关键词:桂花;分布格局;计盒维数;信息维数;关联维数

中图分类号:S3 文献标识码:A 论文编号:2009-1080

Fractal Properties of Distribution Pattern of Natural *Osmanthus fragrans* Populations

Lin Yongming^{1,2}, Wu Chengzhen^{1,2}, Hong Wei^{1,2}, Xiao Zhen¹,

Hu Xisheng^{1,2}, Fan Hailan^{1,2}, Song Ping^{1,2}

(¹College of Forestry, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002;

²Key Laboratory of Forest Ecological System Process and Management of Fujian Province, Fuzhou 350002)

Abstract: Based on the investigation data of *Osmanthus fragrans* populations in Shifengzai Scenery, Fujian Province, the fractal properties of distribution pattern were analyzed by using box-counting dimension, information dimension and correlation dimension of fractal theory. The results showed that the distribution pattern of *O. fragrans* populations could be described by fractal dimensions. The box-counting dimension of *O. fragrans* populations ranged between 0.8622 and 1.0058, the information dimension ranged from 0.8670 to 0.9849, and the correlation dimension from 1.0037 to 1.0757. It showed that the distribution pattern had relatively little difference among box-counting dimension, information dimension, and correlation dimension. According to the results, the distribution pattern of the *O. fragrans* populations tended to be aggregative.

Key words: *Osmanthus fragrans*, distribution pattern, box-counting dimension, information dimension, correlation dimension

0 引言

种群格局是种群在表达自身生物学特性、维持种内种间关系及对环境条件响应过程中的综合表现,是种群的基本数量特征之一^[1]。种群格局研究在探讨个体分布非随机性,即分布类型判断方面已经比较深入^[2-3]。由于环境因子空间分布的不规则性和复杂性,在取样尺度增大过程中,环境因子随之发生变异,种群个体对这种变异的适应性以及对环境资源的竞争和分配,导致种

群分布格局在不同尺度上产生了空间的异质性。因此,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必要。B.B.Mandelbrot^[4-5]于20世纪70年代提出的分形理论,其基本内容是研究分形体的分形维数和自相似性规律。分形理论作为研究空间变异的有效方法和手段,在种群格局研究方面已广泛应用^[6-14]。

桂花(*Osmanthus fragrans*),亦称山桂、岩桂、九里香、木犀,其香气馥郁文雅,清甜纯正,自古以来深受中

基金项目:中国博士后科研基金、福建省科技厅重大基金“福建中亚热带常绿阔叶林生态安全及其应用研究”(2001F007)资助。

第一作者简介:林勇明,男,1982年出生,博士,讲师,主要从事区域资源优化、生态学方面的研究。通信地址:350002福建省福州市金山福建农林大学林学院, Tel: 0591-83797153, E-mail: monkey1422@163.com。

通讯作者:吴承祯,男,1970年出生,江西吉安人,教授,博士生导师,从事森林生态学研究。E-mail: fjwcz@126.com。

收稿日期:2009-05-20, **修回日期:**2009-06-22。

国人民喜爱,一向被视作为高洁、吉祥、荣誉的象征。现今桂花已跻身于中国传统的十大名花之列,被国家列为中国重要经济树种,在南方13省(区)大面积推广种植。在福建省长汀县石峰寨风景区保存有一片以桂花为优势种的天然次生林,面积达5.4 hm²,实属少见^[15-17]。此文应用分形理论中的计盒维数、信息维数和关联维数探讨野生桂花优势种群分布格局的分形特征,掌握种群的多尺度分布规律,揭示其占据空间资源的能力和生态适应力。

1 研究区域概况

调查地位于福建省长汀县石峰寨风景区,属武夷山脉南段低山丘陵地区。长汀县地处北纬25°04'~26°02',东经116°02'~116°40',气候属于中亚热带季风性气候,年均气温18.7℃,1月平均气温9.8℃,7月均温26.5℃,极端最低气温-8.0℃,极端最高气温为35.1℃,10℃以上年积温5873℃,年日照时4 423 h,年降雨量1 636 mm,相对湿度81%,无霜期约282天。桂花群落林分面积5.4 hm²,海拔400~462.4 m,坡度29~35°。成土母岩为石灰岩,土壤由石灰岩发育而成,土层薄,质地粘重,呈中性至弱碱性反应,但土壤较为肥沃,石灰岩多裸露于地面,裸露面达到60%^[15-17]。

风景区原生群落为桂花与枫香占优势的常绿阔叶落叶混交林,从大跃进开始的数十年内,枫香遭到大肆砍伐,造成群落极度退化。2 000年当地政府将风景区规划为自然保护小区进行封山育林,现今在风景区中桂花多与云山青冈(*Cyclobalanopsis nubium*)、枫香(*Liquidambar formosana*)、米楮(*Castanopsis carlesii*)等混生,由于封山育林时间不长,整个群落高仅5~10 m。伴生树种主要为大叶桂樱(*Laurocerasus zippeliana*)、盐肤木(*Rhus chinensis*)、欆木(*Loropetalum chinensis*)、竹叶花椒(*Zanthoxylum armatum*)等,灌木层植物有刺藤子

(*Sageretia melliana*)、山牡荆(*Vitex quinata*)、白马骨(*Serissa serissoides*)等,草本层以千根草(*Euphorbia thymifolia*)、江南星蕨(*Microsorium fortunei*)、黑莎草(*Gahnia tristis*)、乌蕨(*Stenoloma chusanum*)等为主^[16-17]。

2 研究方法

2.1 野外调查方法

在福建省长汀县石峰寨风景区选择桂花为优势种的次生林群落为研究对象,在全面勘察的基础上,在具代表性的分布地段设置样地(20 m×20 m)5个,为了方便,分别记做Q1、Q2、Q3、Q4、Q5。记录每个样地的海拔、坡向、坡度等指标,测定样地内所有桂花个体的坐标,调查各物种种株高、地径(胸径)、冠幅、冠高、枝下高等数据,并对每一样地立地条件、植被状况等基本情况进行调查。

2.2 分形维数的计算方法

计算方法请参阅参考文献[11-12, 18-19]。

3 结果与分析

种群分布格局是植物种群个体对环境资源进行竞争和分配的表现尺度,并制约着其他生物在同一环境资源空间内的数量和生存^[8]。在研究中采用计盒维数、信息维数和关联维数,从种群利用生态空间的能力、格局强度和个体空间相关程度的尺度变化入手,揭示种群分布格局的尺度变化特征^[20-21],可加深对种群自身及与其他种群间的各种关系认识。

点位图是对种群分布的二维空间模拟,其不仅能显示出种群个体在各样地的水平配置状况,而且反映了不同样地的桂花种群在水平分布格局方面的差异(图1)。以此图为基础,运用分形维数的计算方法,可计算出桂花种群格局的计盒维数、信息维数和关联维数,进而揭示桂花个体空间关联、系统结构复杂度和生态空间占据的多尺度变化规律。

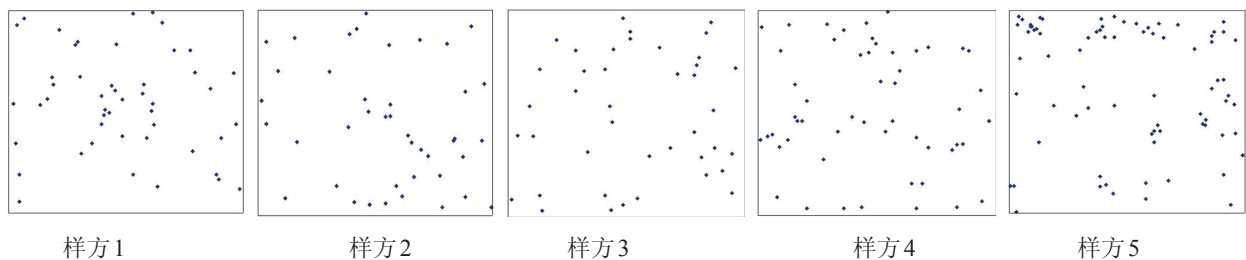


图1 桂花种群分布点位图

3.1 计盒维数

根据桂花种群分布点位图,在双对数坐标下对网格边长与非空格子数进行直线拟合,拟合效果良好,在水平上达显著相关,此时拟合直线的斜率即为桂花种群分布格局的计盒维数(表1)。其中,Q1、Q4和Q5的

计盒维数较大,而Q2和Q3的计盒维数较小,整个桂花种群格局的计盒维数介于0.9~1.1之间,计盒维数的大小揭示了桂花种群对空间的占据能力,较大的计盒维数则反映了种群对空间较高的占据程度^[20]。种群格局计盒维数的顺序依次为Q1(1.0058)>Q3(0.9915)>Q2

表1 桂花种群格局的分形维数

样地号	个体数/平均冠幅	计盒维数/拐点处	相关系数	信息维数/拐点处	相关系数	关联维数/拐点处	相关系数
Q1	112/1.59m	1.0058/2.22m	0.9298	0.9849/2.22m	0.9482	1.0757/1.1m	0.9649
Q2	109/1.96m	0.9642/2.5m	0.9281	0.9469/2.22m	0.9443	1.0496/1.3m	0.9670
Q3	102/1.62m	0.9915/2m	0.9201	0.9995/2m	0.9414	1.0581/1.1m	0.9691
Q4	103/1.53m	0.9135/2m	0.9377	0.9028/2m	0.9598	1.0264/0.9m	0.9745
Q5	184/1.29m	0.8622/1.82m	0.9619	0.8670/1.82m	0.9801	1.0037/0.9m	0.9867

(0.9642)>Q4(0.9135)>Q5(0.8622),表明Q1对水平空间的占据程度最高,利用水平空间的能力最强;Q5对水平空间的占据程度最低,利用水平空间的能力最弱。但各样地计盒维数均较低,生态空间的占有率较小。

前人总结发现:理论上,种群占据全部生态空间時計盒维数应为2,余下的维数为生态空间隙维^[9]。由表1可见,不同样地的桂花种群生态间隙维分别是0.9942、1.0358、1.0085、1.0865、1.1378,表明桂花种群尚可拓宽的生态空间维数占其理论占据生态空间的49.71%~56.89%,具有很大的潜力,这与桂花群落尚处于群落结构的形成期,其群落提供的剩余生态空间较大有关。各个样地Q1、Q2、Q3、Q4、Q5的拐点尺度分别为2.22 m、2.5 m、2 m、2 m、1.82 m,均大于各样地的平均冠幅1.59 m、1.96 m、1.62 m、1.53 m、1.29 m,样地内桂花种群聚集明显,表明种群幼苗幼树较多,更新状况较好,在群落中处于优势建群地位。

3.2 信息维数

在对种群格局进行网格覆盖的过程中,计盒维数只考虑了每个格子中是否有个体存在,但对每个非空格子中的个体数量有多少未进行统计和区分。信息维数则充分考虑非空格子中个体数的概率密度,即系统结构“因地制宜”的程度,从独立于尺度的角度,揭示了格局强度的尺度变化程度以及个体分布的非均匀状况^[22]。

在研究种群格局时,信息维数的大小常暗示了种群格局的强度,高的信息维数(接近2)表明种群格局强度尺度变化强烈,个体分布不均匀;反之,则个体分布均匀^[7]。桂花种群格局的信息维数计算结果(表1)表明,信息维数的直线拟合效果较好,信息维数变化范围在0.8~1.0之间,其中,Q1、Q2、Q3的桂花种群个体聚集性较高,格局强度较强,体现在信息维数值也较大;而样地Q4、Q5的桂花种群个体聚集性相对较弱,格局强度尺度变化不强烈。由于桂花以种子及萌生苗繁殖,桂花种子为核果,且不具翅,不易随风传播,在重力作用下密集于母树周围,且萌生苗从根部

萌发后,易形成几株拥在一起丛状生长,这种生长方式及群落土壤分布的不均匀性,造成桂花种群在个体分布上的不均匀性。从各样地的拐点尺度可以发现,Q1、Q2、Q3、Q4、Q5的拐点分别为2.22 m、2.22 m、2 m、2 m、1.82 m,与计盒维数的拐点尺度相似,也均大于各样地的平均冠幅1.59 m、1.96 m、1.62 m、1.53 m、1.29 m,反映了桂花种群以大量幼苗幼树聚集在成熟植株周围,格局强度尺度较高。

3.3 关联维数

种群格局的关联维数可揭示种群个体空间关联的尺度变化规律,表明种群个体的空间相关程度。关联维数大(接近于2),反映种群个体的空间相关程度高,种群整体对空间的占据程度也较高,个体竞争剧烈;反之,种群个体的空间相关程度低,整体对空间的占据程度较弱^[8,12]。分析表明,桂花种群格局关联维数的直接拟合效果极佳,达到0.9以上(表1)。种群的关联维数在0.9左右,其中Q1和Q3的关联维数相对较大,说明这两个样地中桂花种群对水平空间有较强的占据能力,个体间的联结也较为密切。而Q2、Q3、Q5的关联维数则较小,表明样地中种群个体对空间的占据程度较弱,个体分布的均匀程度低。仅仅从关联维数大小判断,难以断定个体的空间相关程度,应结合关联维数的拐点特征进行分析^[8]。从拐点尺度来看,Q1、Q2、Q3、Q4、Q5的拐点分别为1.1 m、1.3 m、1.1 m、0.9 m、0.9 m,小于各样地的平均冠幅1.59 m、1.96 m、1.62 m、1.53 m、1.29 m,个体空间相关程度较高,个体间存在着比较激烈的竞争。

种群分布格局具有多方面的分形特征,并可采用计盒维数、信息维数和关联维数等不同分形维数分别刻画。一般地,个体平均相关强,分布均匀,空间占据强,则格局强度低;个体相关弱,分布不均匀,空间占据程度低,则格局强度较高^[20-21]。此文则介于上述两种论述之间,桂花种群的计盒维数、信息维数、关联维数三者相差不大,表明该种群的分布格局受群落所处演替阶段影响较大,因群落尚处演替初阶段,且土层厚度分布不均,有些部位甚至出现裸露状况,造成局

部结构相对复杂,局域空间占据较强,种群具有集聚性分布的趋势。

此文调查地点原为桂花与枫香的共优群落,但在大跃进时代,因砍伐造成群落的极度退化,封山育林后,桂花种群具丰富的种子库和根蘖生长的特性,在群落内大量繁殖。目前,桂花在整个群落中,在个体数量、频数上都处于绝对优势地位,而其他树种如云山青冈、枫香、苦槠等在群落中处于劣势,说明该生境对桂花而言为适宜环境,这也是其呈现聚集分布的原因。

4 结语与讨论

种群格局作为物种的存在形式,对它的研究不能仅仅停留在分布类型的判断上,更需要对其随尺度变化所表现出的复杂规律进行深入的研究。分形几何作为刻画尺度依赖问题的有力工具,其中的计盒维数、信息维数和关联维数分别从种群空间占据程度、格局强度、个体分布非均匀性及空间相关程度的角度,揭示种群格局的尺度变化特征,是分析种群格局对尺度变化响应特征的有效手段。由于种群格局在不同尺度之间统计自相似性特征的存在,为研究者采用分形方法模拟、调控和生成群落提供了理论基础^[6]。

此文应用计盒维数、信息维数和关联维数3个分形维数对桂花野生种群分布格局的分形特征进行了比较分析,避免单一分形维数分析的片面性。结果表明桂花的分布格局具有分形特征,而在存在分形关系的尺度范围内,利用分形维数可以对任意尺度上种群的空间分布格局进行较为准确地定量描述。文中,计盒维数、信息维数、关联维数直线拟合效果均较好。综合分析3种分形维数,桂花种群的分布格局强度相对较高,局部结构相对复杂,具有集聚性分布的趋势。

森林植被的分形特征是由自然条件下物种分布格局的规律性确定的,对桂花种群格局的分析有助于更好地了解桂花种群的结构及功能特征,为桂花群落调控及合理管理提供理论依据。

参考文献

- [1] 周纪纶,郑师章,杨持. 植物种群生态学[M]. 北京:高等教育出版社,1992.
- [2] Pielou E.C. 数学生态学[M]. 卢泽愚.译.2版. 北京:科学出版社,

- 1991.
- [3] 李海涛. 植物种群分布格局研究概况[J]. 植物学通报, 1995, 12(2): 19-26.
- [4] Mandelbrot B.B. Form chance and dimension[M]. San Francisco: Freeman, 1977.
- [5] Mandelbrot B.B. The fractal geometry of nature[M]. San Francisco: Freeman, 1982.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] Diaz S, Mercado C, Alvarez-Cardenas S. Structure and population dynamics of *Pinus lagunae* M.-F. Passini[J]. For Ecol Manag, 2000, 134: 249-256.
- [10] Harte J, Kinzig A, Green J. Self-similarity in the distribution and abundance of species[J]. Science, 1999, 284(9): 334-336.
- [11] 宋萍,洪伟,吴承祯,等. 天然黄山松种群格局的分形特征——计盒维数与信息维数[J]. 武汉植物学研究, 2004, 22(5): 400-405.
- [12] 宋萍,洪伟,吴承祯,等. 天然黄山松种群格局的分形特征——关联维数[J]. 武汉植物学研究, 2005, 23(1): 32-36.
- [13] 蔡冰玲,范海兰,洪伟,等. 福建梅花山国家级自然保护区拟赤杨种群分布格局的分形分析[J]. 应用与环境生物学报, 2007, 13(6): 759-762.
- [14] 郭华,王孝安,肖娅萍. 秦岭太白红杉种群空间分布格局动态及分形特征研究[J]. 应用生态学报, 2005, 16(2): 227-232.
- [15] 董建文,范小明,吴东来,等. 福建长汀石峰寨景区桂花次生林群落物种数量特征[J]. 植物资源与环境学报, 2002, 11(4): 40-44.
- [16] 林勇明,洪滔,吴承祯,等. 桂花次生林群落主要树种间关联及其对混交度的响应[J]. 应用与环境生物学报, 2007, 13(3): 327-332.
- [17] 林勇明,洪滔,吴承祯,等. 桂花野生种群生命表及生存分析[J]. 北京林业大学学报, 2007, 29(3): 185-188.
- [18] Legendre P, Fortin M.J. Spatial pattern and ecological analysis[J]. Vegetation, 1989, 80: 107-138.
- [19] Zeide B, Pfeifer P. A method for estimation of fractal dimension of tree crowns[J]. For Sci, 1991, 37(5): 1253-1256.
- [20] 倪红伟,郭亚胜,吴海一. 小叶章种群分布格局的分形特征II信息维数与关联维数[J]. 木本植物研究, 2000, 20(3): 351-354.
- [21] 向悟生,李先琨,苏宗明. 元宝山南方红豆杉无性系种群分布格局的分形分析[J]. 中国学术期刊文摘, 2001, 7(11): 1439-1440.
- [22] 梁士楚. 云贵鹅耳枥种群分布格局的分形特征[J]. 武汉植物学研究, 2001, 19(4): 263-268.