

样方形状对空间点格局的性能影响分析 ——以天目山阔叶林为例

陈永刚^{1,2}, 汤孟平^{1,2}, 施拥军^{1,2}, 葛宏立^{1,2}, 胡 芸²

(1. 浙江农林大学浙江省森林生态系统碳循环与固碳减排重点实验室,
浙江临安 311300; 2. 浙江农林大学环境资源学院, 浙江临安 311300)

摘要: 利用浙西天目山常绿阔叶林样地调查数据, 在随机样方点格局分析基础上, 提出样方形状对点格局分析性能影响差异性问题。结果表明: (1) 在最优样方面积相同条件下, 通过配对 t 检验得出圆形与正方形、圆形与正六边形和正方形与正六边形样方性能对比的配对 t 检验概率 P 分别为 0.249、0.043 和 0.023, 表明样方形状对点格局分析性能影响具有差异性, 圆形样方和正方形样方之间没有显著差异, 正六边形样方与圆形样方、正方形样方之间差异显著; (2) 圆形~正六边形和正方形~正六边形样方间 VMR 差值的 95% 置信区间分别为 $[-0.429, -0.010]$ 和 $[-0.196, -0.021]$, 其区间值上界均小于 0, 表明正六边形样方分析性能为最优, 其性能高于圆形样方和正方形样方; (3) 随机样方法在样本量较小时, 点格局分析结果不稳定, 但随着采样数目逐步增大到 90 以上时, 其 VMR 值和 P 值趋于稳定。

关 键 词: 随机样方; 点格局; 样方分析

文章编号: 1000-0585(2012)04-0665-07

识别和测度空间分布格局一直是生态学、流行病学和社会科学研究的热点之一^[1~9]。样方分析法是常用的空间点格局分析方法^[10]。空间分布格局具有尺度依赖性, 分布类型与空间尺度有密切关系, 在小尺度下可能呈聚集分布, 而在大尺度下则可能为随机分布或均匀分布^[2,11,12]。Taylor 等讨论了最优样方面积消除尺度依赖性的问题^[13~15]; Lucio 等讨论了空间点格局的随机性假设问题并提出了一个新的空间格局识别方法^[16]; Iwao 讨论了改变样方大小的空间格局分析问题^[17]; Stewart 讨论分析了空间分布类型与样方大小的关系^[18]。但是, 关于样方形状和样方数量对空间点格局分析性能影响的研究鲜有报道。本文以浙西天目山常绿阔叶林为研究对象, 采用圆形、正方形和正六边形随机样方, 测定常绿阔叶林的空间点格局模式, 结果表明在相同样方面积和样方数量的情况下, 样方形状对空间点格局分析性能影响具有差异性。

1 研究与方法

1.1 整体样本与随机样方

整体样方分析法是用规则的正方形或正六边形覆盖整个研究区域, 整体样方分析法如图 1 所示^[11]。

收稿日期: 2011-05-13; 修订日期: 2011-12-14

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30871963); 浙江省自然科学基金项目 (Y3080261); 国家林业局项目 (2451012027); 浙江省教育厅项目 (Y201017891); 林业碳汇与计量科技创新团队 (2010R50030)

作者简介: 陈永刚 (1980-), 男, 内蒙兴和人, 讲师, 博士研究生, 研究方向为地理信息技术与空间分析方法、林业资源管理。E-mail: cyg_gis@163.com

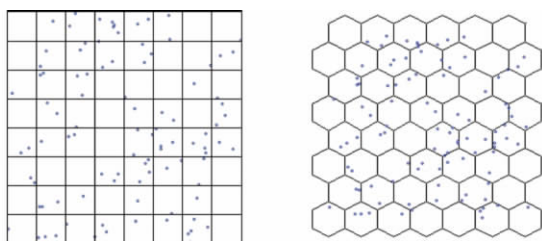


图 1 整体样方分析法

Fig 1 The overall quadrat analysis method

随机样方分析法是指在研究区域内随机放置分析样方^[11]。样方形状可为正方形、正六边形或圆形样方。随机样方分析法如图 2 所示。

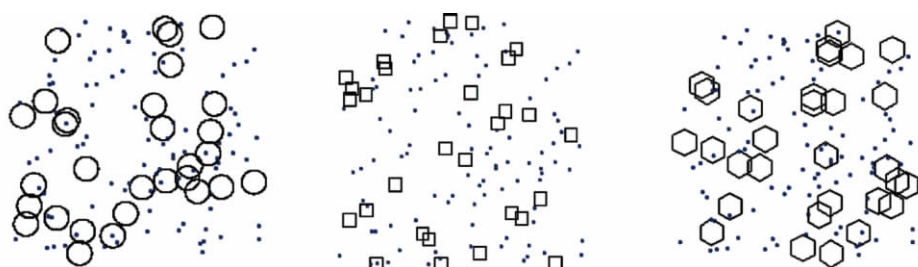


图 2 随机样方分析法

Fig 2 The random quadrat analysis method

整体样方分析法可避免过度抽样或抽样不足,但整体样方分析法相对随机样方而言,会存在样方之间信息丢失的问题如图 3 所示^[11]。

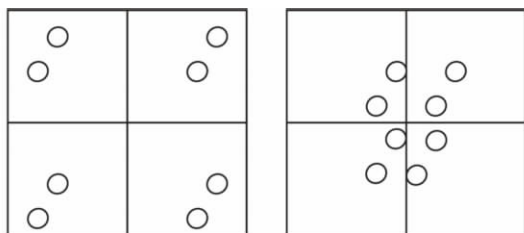


图 3 整体样方分析法的问题

Fig 3 The problem of overall quadrat analysis method

此情形下,整体样方分析不能有效识别空间点格局的模式。根据统计学理论,如果随机样方分析法的样方数目足够多,则能准确提取研究区域的空间点格局信息^[11]

1.2 样方形状

样方是基本的空间统计抽样单元。利用不同形状的样方对研究区域进行抽样,以获得整体研究区域的信息。样方形状可以有多种形状,如圆形、正方形、正六边形等。本文采用圆形、正方形、正边形三种样方进行分析。

1.3 样方最优面积

尺度与范围的选择对空间点格局分析至关重要^[11]。样方太大, 则易丢失细节信息; 样方太小, 则不能考虑全局信息。Taylor 等认为样方的最优尺寸为式 (1)^[11,13~15]:

$$S = \frac{2A}{N} \quad (1)$$

式中, A 为整个研究区域的面积, N 为区域内点的个数, S 为空间点格局分析样方的最优面积。

根据式 (1), 对于圆形样方, 其半径为 R 为 (2) 式:

$$R = \sqrt{\frac{S}{\pi}} = \sqrt{\frac{2A}{\pi N}} \quad (2)$$

式中, π 为圆周率, R 为圆形样方半径, 其它同 (1) 式。

根据式 (1), 对于正方形样方, 其边长 a 为 (3) 式。

$$a = \sqrt{S} = \sqrt{\frac{2A}{N}} \quad (3)$$

式中, a 为正方形样方的边长, 其它同 (1) 式。

根据式 (1), 对于正六边形样方, 其边长 r 为 (4) 式。

$$r = \sqrt{\frac{4A}{3\sqrt{3}N}} = 0.877 \sqrt{\frac{A}{N}} \quad (4)$$

式中, r 为正六边形样方的边长, 其它同 (1) 式。

1.4 方差—均值比 VMR 与 χ^2_{n-1} 统计量判定空间点格局模式

在判定研究区域的空间点格局模式时, 以方差—均值比 VMR 和 χ^2_{n-1} 统计量来判定。方差—均值比 VMR 如下式 (5) 所示^[11,19]。

$$VMR = \frac{s^2}{\bar{x}} \quad (5)$$

如果 $VMR=1$, 则研究区域为随机分布格局; 如果 $VMR>1$, 则研究区域的空间分布格局为空间聚集模式; 如果 $VMR<1$, 则研究区域的空间分布格局为均匀模式。通常不是直接通过 VMR 来判定空间分布格局, 而是通过引入一个 χ^2_{n-1} 统计量来判定空间模式, χ^2_{n-1} 统计量如下式 (6) 所示^[20]:

$$\chi^2_{n-1} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{\bar{x}} = \frac{s^2}{\bar{x}} (N-1) = VMR * \times (N-1) \quad (6)$$

式中, N 为样方数。如果 χ^2 的显著水平在 0.025 和 0.975 之间时, 则空间点格局为随机分布模式; 如果 χ^2 的显著水平在 0.975 以上时, 则空间点格局为集聚模式; 如果 χ^2 的显著水平在 0.025 以下时, 则空间点格局为均匀分布模式。

2 实验与结果分析

2.1 实验数据

实验数据为以全站仪野外测量得到的浙西天目山某

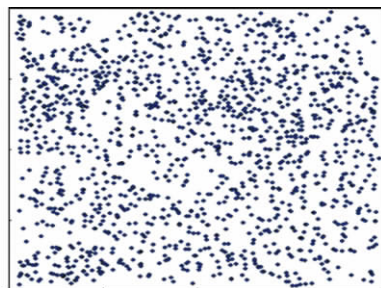


图4 树木点位分布图

Fig. 4 The map of surveys trees point

样地常绿阔叶林的坐标数据, 共计 1802 株树木数据, 样地布设的大小为 $100\text{m} \times 100\text{m}$, 树木点位图如图 4 所示。

2.2 不同形状样方最优面积计算

根据公式 (1) 可计算出样方的最优面积 S 为 11.099m^2 。根据公式 (2) ~ (4) 分别计算圆形、正方形和正六边形样方的边长和半径, 计算结果如表 1 所示。

表 1 圆形、正方形和正六边形样方尺寸

Tah 1 The sizes of round, square and hexagon quadrats

样方形状	圆形样方	正方形样方	正六边形样方
边长/半径 (m)	1.880	3.332	2.067

2.3 圆形、正方形、正六边形样方常绿阔叶林点格局分析

在研究区域内, 分别以表 1 中的样方形状参数, 各自独立地分别随机生成 30、60、90、120、150、180、210、240 个圆形、正方形和正六边形样方。下图 5 所示为当样方数为 240 个时, 三种形状的随机样方分布图。

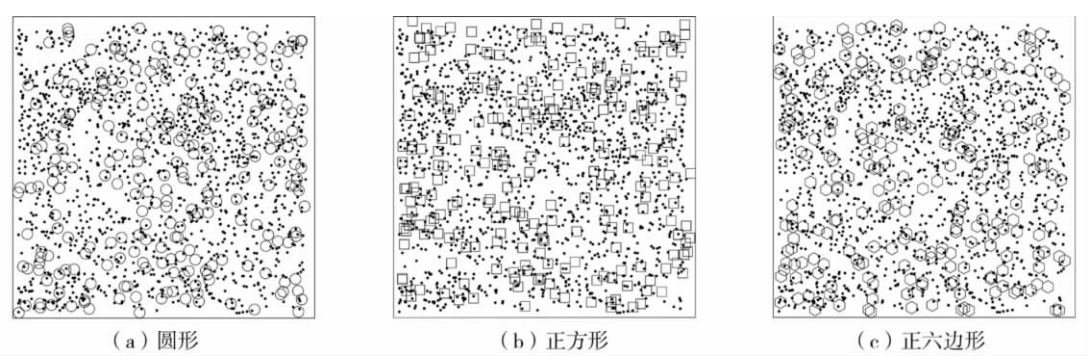


图 5 随机样方抽样分布图

Fig. 5 The distribution by random round, square and hexagon quadrat methods

根据公式 (5) 和 (6) 分别计算圆形、正方形和正六边形样方在此常绿阔叶林样地下的空间点格局参数, 结果如表 2~表 4 所示。

表 2 圆形样方空间分布格局参数

Tah 2 The parameter of spatial point pattern by round quadrat method

样方数目	\bar{x}	s^2	VMR	χ^2_{n-1}	χ^2_{n-1} 显著性水平 P
30	1.833	2.626	1.433	41.545	0.938
60	1.833	1.972	1.076	63.455	0.678
90	2.067	2.760	1.335	118.839	0.981
120	2.100	2.528	1.204	143.238	0.936
150	1.853	2.220	1.198	178.475	0.950
180	2.000	2.626	1.313	235.000	0.997
210	1.871	2.457	1.313	274.405	0.998
240	1.942	2.507	1.291	308.592	0.998

表 3 正方形样方空间分布格局参数

Tah 3 The parameter of spatial point pattern by square quadrat method

样方数目	\bar{x}	s^2	VMR	χ^2_{n-1}	χ^2_{n-1} 显著性水平 P
30	1.867	1.775	0.951	27.571	0.459
60	1.633	2.101	1.286	75.878	0.931
90	1.700	2.864	1.685	149.941	0.999
120	1.758	2.336	1.329	158.100	0.990
150	1.807	2.452	1.357	202.247	0.998
180	1.767	2.672	1.512	270.679	1.000
210	1.824	2.701	1.481	309.507	1.000
240	1.775	2.568	1.447	345.831	1.000

表 4 正六边形样方空间分布格局参数

Tah 4 The parameter of spatial point pattern by hexagon quadrat method

样方数目	\bar{x}	s^2	VMR	χ^2_{n-1}	χ^2_{n-1} 显著性水平 P
30	1.833	1.937	1.056	30.636	0.617
60	1.783	2.478	1.389	81.972	0.974
90	1.989	3.292	1.655	147.313	1.000
120	2.017	3.294	1.633	194.364	1.000
150	2.107	3.223	1.530	227.987	1.000
180	1.983	2.966	1.496	267.706	1.000
210	2.100	3.373	1.606	335.667	1.000
240	2.050	3.177	1.550	370.439	1.000

表 5 VMR 差异性配对 t 检验

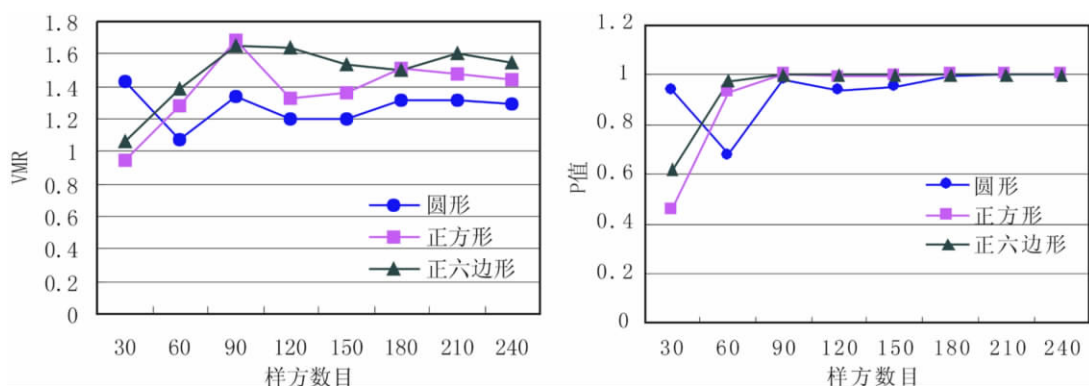
Tah 5 The paired-T test of VMR value

样方形状性能对比	T 统计量	差值 95% 置信区间	概率 P
圆形~正方形	-1.260	-0.319, 0.098	0.249
圆形~正六边形	-2.470	-0.429, -0.010	0.043
正方形~正六边形	-2.910	-0.196, -0.021	0.023

根据表 2、表 3 和表 4 的方差一均值比 VMR，在显著性水平 $\alpha=0.05$ 下，利用配对 t 检验进行差异性检验且计算其差值 95% 置信区间， H_0 ：性能没有差异， H_1 ：性能具有显著差异。结果如表 5 所示。

以样方数目为横轴，以表 2、表 3 和表 4 中的 VMR 和 P 值为纵轴绘制折线图 6。

由图 6，当采样数目较小时，由于样本量不足，随机样方点格局分析结果不稳定，但随着采样数目逐步增大到 90 以上时，其 VMR 值和 P 值趋于稳定且 VMR 值大于 1 概率 P 值收敛于 1。从表 2、表 3 和表 4 可知，在样本量大于 90 的情况下，该研究区域内的 P 值大于 0.975 且 VMR 大于 1，表明该区域内树木成空间聚集分布。值得注意的是，通过表 5 可知，在采样数目和样方面积相同的前提下，圆形~正方形、圆形~正六边形和正方形~正六边形样方形状性能对比配对 t 检验的概率 P 分别为 0.249、0.043 和 0.023，表明圆形和正方形样方间的空间点格局分析效率没有显著差异，正六边形样方的分析效率与圆形、正方形样方差异显著；圆形~正六边形和正方形~正六边形样方间 VMR 差值的 95% 置信区间分别为 $[-0.429, -0.010]$ 和 $[-0.196, -0.021]$ ，其区间值上界均小于 0，表明正六边形样方的分析效率高于圆形和正方形样方，其结论与图 6 相一致。

图 6 VMR 和 P 值对比图Fig. 6 Comparison of The VMR and the P value

3 结论

(1) 通过对比不同形状随机样方点格局分析性能, 得出在最优样方面积相同的条件下, 样方形状对点格局分析性能影响具有显著差异; 以正六边形样方形状为最优, 圆形样方和正方形样方次之且圆形样方和正方形样方之间没有显著差异。

(2) 随机样方分析法在采样数目较小时, 由于样本量不足, 随机样方点格局分析结果不稳定, 但随着采样数目逐步增大到 90 以上时, 其 VMR 值和 P 值趋于稳定, 表明增大随机样方分析法中样方的数目可以得到稳定的空间点格局分析结果。

本文还存在很多不足之处, 仅以浙西天目山阔叶林某调查样地为例, 分析了样方形状、数量对点格局性能的影响; 区域面积、物种类型、样方数目和样方形状等其他因素及其交互作用对点格局分析性能的影响还需做更进一步深入探讨。

参考文献:

- [1] 李仁杰, 郭风华, 张军海, 等. 北京市健身俱乐部多尺度空间格局. 地理科学进展, 2010, 29(2): 232~240.
- [2] 缪宁, 史作民, 冯秋红, 等. 川西亚高山岷江冷杉种群的空间格局分析. 林业科学, 2008, 44(12): 1~6.
- [3] 陈晓军, 刘庆生, 张宏业. 大城市边缘区建设用地空间分布格局的定量化测度研究. 武汉大学学报: 信息科学版, 2006, 31(3): 260~265.
- [4] 闫超德, 白建军, 赵仁亮. 基于 Voronoi 图的点状目标邻近空间分布测试方法. 武汉大学学报: 信息科学版, 2009, 34(1): 48~51.
- [5] 汤孟平, 陈永刚, 施拥军, 等. 基于 Voronoi 图的群落优势树种种内种间竞争. 生态学报, 2007, 27(11): 4707~4716.
- [6] 闫庆武, 卞正富, 王桢. 基于空间分析的徐州市居民点分布模式研究. 测绘科学, 2009, 34(5): 160~163.
- [7] 孟斌, 张景秋, 王劲峰, 等. 空间分析方法在房地产市场研究中的应用. 地理研究, 2005, 24(6): 956~965.
- [8] 汪德根, 陆林, 陈田, 等. 呼伦贝尔—阿尔山旅游区空间组织. 地理研究, 2006, 25(1): 161~170.
- [9] 王劲峰, 武继磊, 孙英君, 等. 空间信息分析技术. 地理研究, 2005, 24(3): 464~471.
- [10] 张春雨, 赵秀海. 随机区块法在空间点格局分析中的应用. 生态学报, 2008, 28(7): 3108~3115.
- [11] Wong D W S, Lee J. Statistical Analysis of Geographic Information With ArcView GIS and ArcGIS. Wiley, 2005. 218~279.
- [12] 张金屯. 植物种群空间分布的点格局分析. 植物生态学报, 1998, 22(4): 344~349.
- [13] Taylor P J. Quantitative Methods in Geography: An Introduction to Spatial Analysis. Houghton Mifflin, 1977, 146~147.
- [14] Griffith D A, Amrhein C G, Desloges J R. Statistical Analysis for Geographers. Prentice Hall Englewood Cliffs,

- NJ, 1991. 3~4.
- [15] Greig-Smith P. The use of random and contiguous quadrats in the study of the structure of plant communities. *Annals of Botany*, 1952, 16(62): 293~316.
- [16] Lucio P S, de Brito N L C. Detecting randomness in spatial point patterns: A "Stat-Geometrical" alternative. *Mathematical Geology*, 2004, 36(1): 79~99.
- [17] Iwao S. Application of the method to the analysis of spatial patterns by changing the quadrat size method to the analysis of spatial patterns by changing the quadrat size. *Researches on Population Ecology*, 1972, 14(1): 97~128.
- [18] Stewart G H, Rose A B. The significance of life history strategies in the developmental history of mixed beech (*Nothofagus*) forests, New Zealand. *Plant Ecology*, 1990, 87(2): 101~114.
- [19] 郑元润. 不同方法在沙地云杉种群分布格局分析中的适用性研究. *植物生态学报*, 1997, 21(5): 480~484.
- [20] O'Sullivan D, Unwin D J. *Geographic Information Analysis*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons Inc, 2003. 82~83.

Performance efficiency comparison and analysis of spatial point patterns with different shapes of quadrats: A case study of the evergreen broad-leaved forest in Tianmu Mountain

CHEN Yong-gang^{1,2}, TANG Meng-ping^{1,2}, SHI Yong-jun^{1,2}, GE Hong-li^{1,2}, HU Yun²

(1. Zhejiang Provincial Key Laboratory of Carbon Cycling in Forest Ecosystems and Carbon Sequestration, Zhejiang Agriculture and Forestry University, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 2. School of Environment and Resource, Zhejiang Agriculture and Forestry University, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: Based on spatial point pattern and survey data of the evergreen broad-leaved forest in Tianmu Mountain, West Zhejiang Province, we come up with a question about how quadrat shape affects performance efficiency of spatial point pattern. The research results are shown as follows. (1) In the same area of optimal quadrat, the probabilities are 0.249, 0.043, and 0.023 between round quadrat and square quadrat, between round quadrat and hexagon quadrat, and between square quadrat and hexagon quadrat with paired-T test. It is indicated that quadrat shape significantly affects performance efficiency of spatial point pattern, and there is no significant difference between round quadrat and square quadrat, and there is significant difference between hexagon quadrat and round quadrat or square quadrat. (2) The 95% confidence intervals of the VMR difference between round quadrat and hexagon quadrat, square quadrat and hexagon are $[-0.429, -0.010]$ and $[-0.196, -0.021]$, the ceiling of the intervals is less than 0, indicating that hexagon quadrat is the best performance quadrat, and that its performance is much higher compared with round quadrat and square quadrat. (3) When the sample size is small in random quadrat analysis methods, random quadrat analysis results are unstable, but with the sampling number exceeding 90, the VMR (Variance-Mean Ratio) and P value remain stable.

Key words: random quadrat; spatial point pattern; quadrat analysis