

## 天目山常绿阔叶林优势种群胸径的空间连续性分析

方国景<sup>1</sup>, 汤孟平<sup>2</sup>

(1. 浙江省森林资源监测中心, 浙江 杭州 310020; 2. 浙江农林大学 环境与资源学院, 浙江 临安 311300)

**摘要:** 研究常绿阔叶林优势种群胸径的空间连续性以揭示常绿阔叶林的空间结构特征。在天目山国家级自然保护区内选择典型常绿阔叶林设置 100 m × 100 m 样地, 用全站仪测定每株树木坐标, 选择胸径在 5 cm 以上的乔木, 用优势度分析法确定群落优势种群, 并用 GS+ 软件进行空间统计分析。结果显示: 样地整体结构比为 0.7, 平均空间连续性范围为 5.7 m, 表明天目山国家级自然保护区常绿阔叶林的优势树种林分胸径具有较高的空间相关性, 但林分整体的空间连续性范围较小, 这也体现了常绿阔叶林的结构复杂性。图 2 表 3 参 15

**关键词:** 森林生态学; 常绿阔叶林; 优势种群; 地统计学; 空间连续性; 天目山

**中图分类号:** S718.54      **文献标志码:** A      **文章编号:** 2095-0756(2014)05-0663-05

## Spatial continuity for DBH in dominant populations of an evergreen broadleaved forest in National Nature Reserve of Mount Tianmu, China

FANG Guojing<sup>1</sup>, TANG Mengping<sup>2</sup>

(1. Monitoring Center for Forest Resources in Zhejiang Province, Hangzhou 310020, Zhejiang, China; 2. School of Environmental and Resource Sciences, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

**Abstract:** To reveal structural characteristics, a study on spatial continuity for DBH of dominant plant populations in an evergreen broadleaved forest was conducted. A typical plot, 100 m × 100 m, in National Nature Reserve of Mount Tianmu, Zhejiang was surveyed for tree diameter at breast height (DBH) above 5 cm with Total Station (Leica TCR702Xrange) that is used to measure tree coordinates. Also, dominant plant populations were first determined using the Dominance Index and then completed using a spatial statistical analysis with GS + software. Results showed that DBH of the dominant plant populations of evergreen broadleaved trees in the reserve had a spatial dependence of 0.7 and a range of spatial continuity of 5.7 m. Thus, the structural complexity for this evergreen broadleaved forest showed a high spatial dependence and a small range of spatial continuity. [Ch, 2 fig. 3 tab. 15 ref.]

**Key words:** forest ecology; evergreen broadleaved forest; dominant species, geostatistics; spatial continuity; Mount Tianmu

常绿阔叶林是中国亚热带地区最复杂、生产力最高、生物多样性最丰富的地带性植被类型之一, 对保护环境、维持全球性碳循环的平衡和人类的持续发展等都具有极重要的作用<sup>[1]</sup>。对常绿阔叶林的研究是维护亚热带地区生物多样性和构建稳定森林结构的基础工作, 也是近年来生态学研究热点之一<sup>[2-4]</sup>。地统计学(GS, geostatistics)于 20 世纪 50 年代初开始形成, 60 年代在法国著名统计学家 Matheron<sup>[5]</sup>的大量理论研究工作基础上形成一门新的统计学分支。地统计学如今已经被广泛用于地理学、生态学、环境

收稿日期: 2013-12-09; 修回日期: 2014-03-13

基金项目: “十二五” 国家科技支撑计划项目(2012BAD22B0503)

作者简介: 方国景, 工程师, 从事森林经理及林业工程规划等研究。E-mail: fanguojing2008@163.com。通信作者: 汤孟平, 教授, 博士, 博士生导师, 从事森林经理学等研究。E-mail: goodtmp@yahoo.com.cn

科学、土壤学等诸多领域的研究中<sup>[6]</sup>。在林业上,通常把林分中的树木视为离散点,分析林木空间分布格局<sup>[7]</sup>。实际上,树木的属性特征(胸径、冠幅、树高等)的空间分布被认为是具有空间连续性的<sup>[8]</sup>。在树木的各属性特征中,胸径是最常用的指标,也是最容易准确测定的指标。本研究通过对浙江省天目山国家级自然保护区内的常绿阔叶林优势种群的胸径空间分布进行地统计分析,以便揭示常绿阔叶林的空间结构特征,为常绿阔叶林的保护和恢复重建提供理论依据。

## 1 研究区概况

浙江省天目山国家级自然保护区位于浙江省西北部临安市境内的西天目山,距省会杭州 94 km, 30°18'30"~30°24'55"N, 119°23'47"~119°28'27"E。区内年平均气温为 8.8~14.8 °C<sup>[9]</sup>; ≥10 °C 积温 2 500~5 100 °C; 年降水量 1 390~1 870 mm, 相对湿度 76%~81%。自然保护区受海洋暖湿气候影响较深,具有中亚热带向北亚热带过渡特征,森林植被十分茂盛。由于区内地势较为陡峭,海拔上升快,气候差异大,植被的分布有着明显的垂直界限,自山麓到山顶垂直带谱为:海拔 870 m 以下为常绿阔叶林; 870~1 100 m 为常绿、落叶阔叶混交林; 1 100~1 380 m 为落叶阔叶林; 1 380~1 506 m 为落叶矮林。其中,常绿阔叶林是自然保护区内重点保护植被类型。

## 2 研究方法

### 2.1 调查方法

选择保存较完好的常绿阔叶林设置样地,样地大小为 100 m×100 m(图 1)。用相邻格子调查方法,把样地划分为 100 个 10 m×10 m 的调查单元。在每个调查单元内,对胸径大于或等于 5 cm 的木本植物进行每木调查,记录树木种类,测定每株树木的胸径、树高、活枝下高、冠幅等因子,采用激光对中全站仪(徕卡 TCR702Xrange)测定每株树木坐标( $x, y, z$ )。

### 2.2 数据分析方法

2.2.1 优势种确定 优势树种按优势度分析法确定<sup>[10]</sup>。其方法是首先计算群落乔木层每个树种的相对胸高断面面积,并作为优势度,按优势度从大到小排序。然后,通过下式确定优势树种数:

$$d = \frac{1}{N} \left[ \sum_{i \in T} (x_i - x)^2 + \sum_{i \in U} x_j^2 \right] \quad (1)$$

式(1)中: $x_i$ 为排序在前的上位种( $T$ )的相对胸高断面面积, $x$ 为优势树种所占的理想百分比, $x_j$ 为上位种以外的剩余种( $U$ )的相对胸高断面面积, $N$ 为总种数。如果群落只有 1 个优势树种,则优势树种的理想百分比为 100.0%。如果有 2 个优势树种,则它们的理想百分比为 50.0%,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  $d$  为最小值时的上位种数为群落乔木层优势树种数。

2.2.2 空间统计分析 地统计学的核心是半变异函数。半变异函数分析是通过测定区域化变量分隔等距离的样点间的差异来研究变量的空间相关性和空间结构。分隔距离  $h$  的 2 点  $x_0$  和  $x$  的区域化变量  $Z(x_i)$  和  $Z(x_i+h)$  之间的变异,可用增量值  $Z(x_i)-Z(x_i+h)$  平方的数学期望(即区域化变量增量的方差)表示:

$$2\gamma(h) = E \{ [Z(x_i) - Z(x_i+h)]^2 \} = \text{var} [Z(x_i) - Z(x_i+h)] \quad (2)$$

式(2)中: $\gamma(h)$ 称为半变异函数。半变异函数既是距离  $h$  函数,又是方向  $a$  的函数。半变异函数曲线图(semivariogram)是半变异函数值  $\gamma(h)$  对距离  $h$  的函数的图形,它有 3 个特征参数:基台值(sill),变程(range)和块金值(nugget),可作为各个方向的平均值,也可作为某一特定方向的值。基台值表示变量在研究系统中最大的变异程度,包括空间结构方差( $c$ )和块金方差( $c_0$ )。空间结构方差表示非随机的结构原因形成的变异,块金方差则反映的是由实验误差和小于最小取样尺度所引起的随机变异。变程表示研究

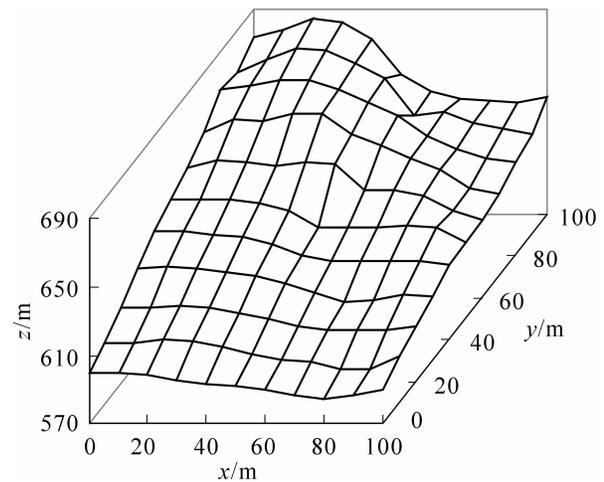


图 1 样地三维地形图  
Figure 1 3D map of the plot

变量在空间上自相关的范围。对于观测的数据系列  $Z(x_i)$  (其中  $i=1, 2, 3, \dots, n$ )，样本半变异函数值可由下式计算：

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i+h)]^2 \quad (3)$$

式(3)中： $\gamma(h)$ 是相隔距离为  $h$  的半变异函数曲线图的估计值， $N(h)$ 为被  $h$  分割的数据对  $(x_i, x_i+h)$  的总数即是相隔距离为  $h$  的所有点的配对数， $Z(x_i)$ 和  $Z(x_i+h)$ 分别为在点  $x$  和  $(x_i+h)$ 处样本的测量值， $h$  为样点间距离 (图 2)。当用变异函数定量描述整个区域时，需给变异曲线配制相应的数学模型。本研究拟合了有基台值的 3 个模型：球状模型、指数模型和高斯模型(表 1)。Journel 等<sup>[11]</sup>推荐遵循间距和最远配对样品之间的距离。间距距离 4 m 保证有 1 个足够的间距配对数。最大搜索距离使用相应样地宽的一半，即 50 m<sup>[12]</sup>。地统计学计算分析使用的是GS+软件。

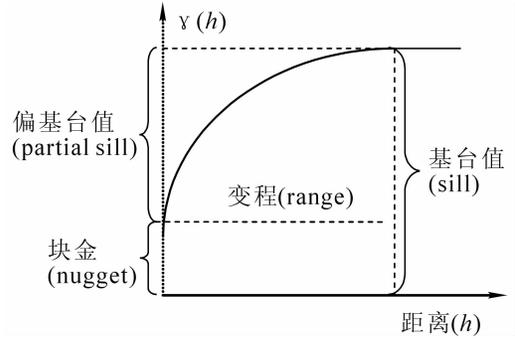


图 2 1 个典型的半变异函数  
Figure 2 A typical Semivariogram

表 1 地统计模型

Table 1 Models of geostatistics

类型	模型	说明	
球状模型	$\gamma(h) = \begin{cases} 0 &  h =0 \\ c_0+c \left[ \frac{3 h }{2a} - \frac{1}{2} \left( \frac{ h }{a} \right)^3 \right] & 0 <  h  \leq a \\ c_0+c &  h  > a \end{cases}$	$c_0$ 为块金值； $c_0+c$ 为基台值； $a$ 为变程； $c$ 为偏基台值。	
	高斯模型	$\gamma(h) = \begin{cases} 0 &  h =0 \\ c_0+c [1-\exp(- h /a)^2] & 0 <  h  \leq \sqrt{3} a \\ c_0+c &  h  > \sqrt{3} a \end{cases}$	$c_0, c$ 意义同前，当 $ h  = \sqrt{3} a$ 时， $1-\exp(- h /a)^2 = 0.95 \approx 1$ ，故变程为 $\sqrt{3} a$ 。
		指数模型	$\gamma(h) = \begin{cases} 0 &  h =0 \\ c_0+c [1-\exp(- h /a)] & 0 <  h  \leq \sqrt{3} a \\ c_0+c &  h  > 3a \end{cases}$

### 3 结果与分析

#### 3.1 优势种群

根据调查结果进行统计，样地内胸径 5 cm 以上的乔木共计 1 603 株，72 个种。计算群落乔木层各树种的相对胸高断面积，并按降序排列，根据式(1)确定优势树种。结果显示：群落有 13 个优势树种(表 2)。13 个优势树种的株数和胸高断面积分别占样地的 78.66%和 81.13%，表明这些树种在森林群落乔木层中占明显的优势。其中细叶青冈 *Cyclobalanopsis myrsinaefolia* (A)，杉木 *Cunninghamia lanceolata* (B)，短尾柯 *Lithocarpus brevicaudatus* (C)，青冈 *Cyclobalanopsis glauca* (E)和豹皮樟 *Litsea coreana* (M)是常绿树种，占样地总株树的 61.01%。细叶青冈(A)，短尾柯(C)和青冈(E)三者的株树占了总株树的 52.71%，胸高断面积占了总样地胸高断面积的 34.04%。

#### 3.2 优势种群胸径空间连续性

不同方向上的半变异函数往往会表现出不同的性质，这种不同方向上的差异称为各向异性<sup>[13]</sup>，反之称为各向同性。各向同性是各向异性的特例。对本次调查的数据进行方向差异性检验时发现树木胸径的空间相关性仅仅与 2 点间的距离有关，即具有各向同性，因此不考虑方向效应，用各向同性变异函数进行分析。在各优势树种中，蓝果树(H)和金钱松(L)的株数太少，达不到最低配对数，不符合地统计分析要求，不予计算。黄檀(K)函数变程大于 50 m，超出了最大搜索距离，在空间分布的函数假设中，认为超出最大距离的树是没有意义的，也不予计算。地统计模型的拟合，首要考虑决定系数  $r^2$  的大小，然

后考虑变程和块金值的大小,从而确定最佳模型。结果如表3。

从表3可见:豹皮樟(M)块金值为0,半变异函数值具有纯金块效应,即在该样地空间尺度上不存在空间相关性。杉木(B),枫香(D),白栎(F),黄连木(G),天目木姜子(I)和榉树(J)的结构比大于0.75,空间相关性较强;细叶青冈(A),短尾柯(C),青冈(E)结构比都在0.55以上,具有中度的空间相关性。短尾柯(C),青冈(E)和细叶青冈(A)的变程较大,空间连续性范围分别为35.70 m,45.55 m和11.10 m,其余优势树种的变程都在7.50 m以内。样地整体结构比为0.70,具有中度的空间相关性,平均空间连续性范围为5.70 m。

#### 4 结论与展望

天目山国家级自然保护区常绿阔叶林的优势树种中,以细叶青冈、杉木、短尾柯和枫香为主,形成多优势种结构特征,林分胸径特征具有较高的空间相关性,但林分整体的空间连续性范围较小,仅在6 m以内,这也体现了常绿阔叶林的结构复杂性。汤孟平等<sup>[14]</sup>采用Ripley's  $K(d)$ 函数分析优势种群空间分布格局和种间关联关系,认为天目山常绿阔叶林群落的优势种均呈显著聚集分布,多数优势种间有较强的种间关联性。这与本研究的结果是一致的。本研究仅对树木胸径这一属性特征,分析其空间连续性,林分其他因子,包括土壤性质、竞争等的空间连续性有待进一步研究。地统计分析是研究林分特征的有力工具,有必要在林业领域开发出具有林业特色的实用空间统计软件,使空间统计学理论、方法、程序系统一体化<sup>[15]</sup>,以促进空间统计分析在林业领域的广泛应用。

表3 优势种群胸径变异函数计算结果

Table 3 Dominant tree species basal area and height variograms

优势树种	胸径半变异函数					
	模型	块金值 $c_0$	基台值 $c_1+c_0$	结构比 $c_1/c_1+c_0$	决定系数 $r^2$	变程/ m
细叶青冈(A)	指数	13.80	46.04	0.70	0.882	11.10
松木(B)	球状	21.40	150.80	0.86	0.300	3.40
短尾柯(C)	指数	20.21	44.54	0.55	0.902	35.70
枫香(D)	指数	19.10	108.50	0.82	0.313	7.50
青冈(E)	高斯	18.55	44.02	0.58	0.901	45.55
白栎(F)	指数	27.90	118.80	0.77	0.227	4.20
黄连木(G)	高斯	2.00	102.00	0.98	0.141	4.33
天目木姜子(I)	指数	5.20	55.99	0.91	0.130	2.70
榉树(J)	高斯	0.10	57.70	0.99	0.088	4.68
豹皮樟(M)	指数	0.00	26.80	1.00	0.007	0.30
总样地	高斯	25.10	82.86	0.70	0.851	5.72

表2 优势种群及其比例

Table 2 Dominant tree species and mingling

优势种	数量 /株	比例/%	胸高断 面积/m <sup>2</sup>	比例/%	平均胸高断 面积/cm <sup>2</sup>
细叶青冈(A)	484	30.19	5.067 8	18.50	104.71
松木(B)	51	3.18	3.197 2	10.42	626.90
短尾柯(C)	183	11.42	2.496 3	8.14	136.41
枫香(D)	42	2.62	2.369 4	7.72	564.14
青冈(E)	178	11.10	2.270 9	7.40	127.58
白栎(F)	66	4.12	2.175 0	7.09	329.55
黄连木(G)	44	2.74	1.792 7	5.84	407.43
蓝果树(H)	8	0.50	1.023 0	3.33	1 278.75
天目木姜子(I)	48	2.99	0.821 2	2.68	171.08
榉树(J)	40	2.50	0.803 5	2.62	200.88
黄檀(K)	31	1.93	0.798 9	2.60	257.71
金钱松(L)	4	0.25	0.745 5	2.43	1 863.75
豹皮樟(M)	82	5.12	0.724 2	2.36	88.32
小计	1 261	78.66	24.896 3	81.13	197.43
样地	1 603	100	30.681 7	100	191.40

说明: A 细叶青冈 *Cyclobalanopsis myrsinaefolia*; B 杉木 *Cunninghamia lanceolata*; C 短尾柯 *Lithocarpus brevicaudatus*; D 枫香 *Liquidambar formosana*; E 青冈 *Cyclobalanopsis glauca*; F 白栎 *Quercus fabri*; G 黄连木 *Pistacia chinensis*; H 蓝果树 *Nyssa sinensis*; I 天目木姜子 *Litsea auriculata*; J 榉树 *Zelkova schneideriana*; K 黄檀 *Dalbergia hupeana*; L 金钱松 *Pseudolarix kaempferi*; M 豹皮樟 *Litsea coreana*。

## 参考文献:

- [1] 包维楷, 刘照光, 刘朝禄, 等. 中亚热带湿性常绿阔叶次生林自然恢复 15 年来群落乔木层的动态变化[J]. 植物生态学报, 2000, **24**(6): 702 - 709.  
BAO Weikai, LIU Zhaoguang, LIU Chaolu, *et al.* Fifteen-year changes of tree layer in secondary *Castanopsis-Schima* humid evergreen broad-leaved forest in central subtropics of western China [J]. *Acta Phytoecol Sin*, 2000, **24**(6): 702 - 709.
- [2] 丁圣彦, 宋永昌. 常绿阔叶林植被动态研究进展[J]. 生态学报, 2004, **24**(8): 1769 - 1774.  
DING Shengyan, SONG Yongchang. Research advances in vegetation dynamic of evergreen broad-leaved forest [J]. *Acta Ecol Sin*, 2004, **24**(8): 1769 - 1774.
- [3] 蔡锡安, 彭少麟, 曹洪麟, 等. 广州罗岗村边次生常绿阔叶林群落分析[J]. 应用与环境生物学报, 1998, **4**(2): 107 - 114.  
CAI Xi'an, PENG Shaolin, CAO Honglin, *et al.* Community analysis of a secondary evergreen broadleaved forest at Luogang, Guangzhou [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 1998, **4**(2): 107 - 114.
- [4] 石胜友, 尚进, 田海燕, 等. 缙云山风灾迹地常绿阔叶林生态恢复过程中优势种群分布格局和动态[J]. 武汉植物学研究, 2003, **21**(4): 321 - 326.  
SHI Shengyou, SHANG Jin, TIAN Haiyan, *et al.* Distribution pattern and dynamics of dominant population in the progression of ecological restoration of evergreen broadleaved forest after wind-damage in Jinyun Mountain [J]. *J Wuhan Bot Res*, 2003, **21**(4): 321 - 326.
- [5] MATHERON G. Principles of geostatistics [J]. *Econ Geol*, 1963, **58**: 1246 - 1266.
- [6] 肖斌, 赵鹏大, 侯景儒. 地统计学新进展[J]. 地球科学进展, 2000, **15**(3): 293 - 296.  
XIAO Bin, ZHAO Pengda, HOU Jingru. New development of geostatistics [J]. *Adv Earth Sci*, 2000, **15**(3): 293 - 296.
- [7] MARK R T DALE. *Spatial Pattern Analysis in Plant Ecology* [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1999.
- [8] CHEN Jiquan, SONG Bo, RUDNICKI M, *et al.* Spatial relationship of biomass and species distribution in an old-growth *Pseudotsuga-Tsuga* forest [J]. *For Sci*, 2004, **50**(3): 364 - 375.
- [9] 张志华, 韦新良, 汤孟平, 等. 天目山针阔混交林中枫香的结构特征[J]. 浙江农林大学学报, 2012, **29**(6): 867 - 874.  
ZHANG Zhihua, WEI Xinliang, TANG Mengping, *et al.* Structural characteristics of *Liquidambar formosana* for a mixed coniferous-broadleaf forest in Mount Tianmu [J]. *J Zhejiang A & F Univ*, 2012, **29**(6): 867 - 874.
- [10] OHSAWA M. Difference of vegetation zones and species strategies in the subalpine region of Mt. Fuji [J]. *Vegetation*, 1984, **57**(1): 15 - 52.
- [11] JOURNAL A G, HUIJBREGTS Ch J. *Mining Geostatistics* [M]. Salt Lake: Academic Press, 1978.
- [12] LIEBHOLD A M, ROSSI R E, KEMP W P. Geostatistics and geographic information systems in applied insect ecology [J]. *Annu Rev Entomol*, 1993, **38**(1): 303 - 327.
- [13] 王政权. 地统计学及在生态学中的应用[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [14] 汤孟平, 周国模, 施拥军, 等. 天目山常绿阔叶林优势种群及其空间分布格局研究[J]. 植物生态学报, 2006, **30**(5): 743 - 752.  
TANG Mengping, ZHOU Guomo, SHI Yongjun, *et al.* Study of dominant plant populations and their spatial patterns in evergreen broadleaved forest in Tianmu Mountain, China [J]. *Acta Phytoecol Sin*, 2006, **30**(5): 743 - 752.
- [15] 冯益明, 唐守正, 李增元. 空间统计分析在林业中的应用[J]. 林业科学, 2004, **40**(3): 149 - 155.  
FENG Yiming, TANG Shouzheng, LI Zengyuan. Application of spatial statistic analysis in forestry [J]. *Sci Silv Sin*, 2004, **40**(3): 149 - 155.