

文章编号: 1001-1498(2007)02-0160-05

天然红松阔叶林林木分布格局研究的最小样本量^{*}

徐海^{1,2}, 惠刚盈^{1**}, 胡艳波¹, 李储山³, 林天喜³, 张显龙³, 吴相菊³

(1. 中国林业科学研究院林业研究所, 国家林业局林木培育重点实验室, 北京 100091;

2. 贵州省林业调查规划院, 贵州 贵阳 550003; 3. 吉林省蛟河林业实验区管理局, 吉林 蛟河 132517)

摘要:利用角尺度法分析了天然红松阔叶林林木个体的空间分布格局, 采用数学模型对抽样点数与对应林木空间分布格局吻合率的关系进行拟合, 将拟合方程二阶导数开始趋近于 0 的点对应的样点数确定为林木空间分布格局抽样调查的最小样本量, 并利用 9 块模拟样地及 2 块厄瓜多尔天然林样地的资料进行分析, 进一步求证最小样本量的合理性。结果表明, 天然红松阔叶林空间分布格局调查的最小样本量为 49。

关键词:天然红松阔叶混交林; 空间结构; 角尺度; 二阶导数

中图分类号: S791.247

文献标识码: A

Minimum Samples for Distribution Patterns of Natural Korean Pine Broad-leaved Forest

XU Hai^{1,2}, HUI Gang-ying¹, HU Yan-bo¹, LI Chu-shan³, LIN Tian-xi³, ZHANG Xian-long³, WU Xiang-ju³

(1. Research Institute of Forestry, CAF; Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation, State Forestry

Administration, Beijing 100091, China; 2. Guizhou Forestry Survey and Planning Institute, Guiyang 550003, Guizhou, China;

3. The Bureau for Administering Jiaohe Forestry Experimental Area, Jiaohe 132517, Jilin, China)

Abstract: Angle index was used to identify tree spatial distribution patterns of natural Korean pine broad-leaved forest, while models were employed to fit the relationships between the number of sampling points and probabilities that the identified tree spatial patterns coincide with the actuality, and then the number of sampling points at which the secondary derivatives of the fitted equations began to approach 0 was determined as the minimum sample for spot checking tree spatial distribution patterns of this forest. To further validate the rationality of the minimum sample, data from 9 simulated plots and 2 Ecuador natural forest plots were also analyzed. It showed that the minimum sample for spot checking tree spatial distribution patterns of natural Korean pine broad leaved forest should be 49.

Key words: natural Korean pine broad-leaved forest; spatial structure; angle index; secondary derivative

林木个体的空间分布格局是指林木个体在水平空间的分布状况。林木分布格局是种群生物学特性、种内与种间关系以及环境条件综合作用的结果, 是种群空间属性的重要方面, 也是种群的基本数量特征之一。格局研究不仅可以对种群和群落的水平结构进

行定量描述, 给出它们之间的空间关系, 同时能够说明种群和群落的动态变化^[1]。林木空间分布格局反映了初始格局、微环境差异、气候和光照因子、竞争植物以及单株林木生长特征等综合作用的结果, 因此对这些空间关系的描述和解释已成为森林结构研究的

收稿日期: 2006-02-15

基金项目: 国家林业局 948 项目“林分计算机模拟技术引进”

作者简介: 徐海 (1965—), 贵州大方人, 高级工程师, 在读博士。

* 参加野外调查的还有吉林省蛟河实验区管理局的张秋艳、吴显东、高海涛同志, 在此一并致谢!

** 通讯作者: 惠刚盈, 博导, 研究员。

焦点^[2,3]。研究林木的分布格局可以从三个角度进行:一定面积样方内林木个体可能的株数分布;单木之间距离的大小及分布;各单木与其周围单木所能构成的夹角大小及其分布。由此,格局的研究方法可分为 3 类:样方法、距离法和角尺度法^[1]。角尺度法通过判断和统计参照树最近 4 株相邻木构成的夹角是否大于标准角,来描述相邻木围绕参照树的均匀性,不需要精密测距就可以获得林木的水平分布格局。林分的角尺度可通过全面判断并统计样地内每 1 株树木 4 株相邻木构成的夹角是否大于标准角来获得,而这通常又是经费和时间所不允许的。通过抽取一定量的树木,判断并统计其 4 株相邻木构成的夹角是否大于标准角,显然更为现实和合理。本研究拟对天然红松阔叶林空间分布格局与抽样调查样本量之间的关系进行探讨,旨在确定准确判断天然红松阔叶林空间分布格局的最小样本量,为费省效宏、事半功倍地调查天然红松阔叶林空间结构提供借鉴。

1 研究地点概况

2005 年,本研究在吉林省蛟河林业实验区大坡经营区进行。蛟河林业实验区位于吉林省蛟河市东北部前进乡境内,距蛟河市区 45 km,东靠敦化市黄泥河林业局,西至太阳林场,南接白石山林业局,北邻舒兰县上营森林经营局,东北与黑龙江省五常县毗邻。地理坐标为 43°51′~44°05′N, 127°35′~127°51′E。实验区总面积 31 562 hm²。

实验区属长白山系张广才岭支脉断块中心地貌。气候属温带大陆性季风山地气候,春季雨少、干燥多

大风,夏季温热多雨,秋季凉爽多晴天、温差大,冬季漫长而寒冷,年平均气温 1.7℃,年最低气温 -22.2℃,年平均降水量 856.6 mm,年相对湿度 75%。土壤为潜育化暗棕壤,植被为天然红松阔叶混交林,主要树种有白牛槭 (*Acer mandshurica* Maxim.)、色木槭 (*A. mono* Maxim.)、春榆 (*Ulmus propinqua* Rehd.)、水曲柳 (*Fraxinus mandshurica* Rupr.)、核桃楸 (*Juglans mandshurica* Maxim.)、裂叶榆 (*U. laciniata* Mayr)、千金榆 (*Carpinus cordata* B. I.)、红松 (*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc.)、沙冷杉 (*Abies holophylla* Maxim.)、紫椴 (*Tilia amurensis* Rupr.)、蒙古栎 (*Quercus mongolica* Fisch.)、枫桦 (*Betula costata* Trautv.)、暴马丁香 (*Syringa reticulata* (B. I.) Hara Subsp.)、黄波罗 (*Phellodendron amurense* Rupr.) 等。常见的灌木有花楷槭 (*A. ukununduense* Trautv. et Mey.)、胡枝子 (*Lespedeza bicolor* Turcz.)、楔叶绣线菊窄叶变种 (*Spiraea canescens* D. Don var. *oblanceolata* Rehd.)、刺五加 (*Acanthopanax senticosus* (Rupr. et Maxim.) Hams) 等。

研究林分中,核桃楸、水曲柳处于优势地位,枫桦、紫椴处于亚优势地位,色木槭、白牛槭、裂叶榆、千金榆、暴马丁香受压、处于劣态,沙冷杉、红松、春榆处于中庸状态。研究林分的郁闭度 0.9,密度约为 1 300 株·hm⁻²,平均胸径 16 cm 左右,平均树高约 12 m,胸高断面积为 30 m²·hm⁻² 左右;林分的林木株数分布遵从异龄林典型的倒 J 形曲线^[4,5] (图 1);林分平均混交度为 0.803,即参照树的最近 4 株相邻木中与其同种的树木不超过 1 株,处于强度至极强度混交状态。

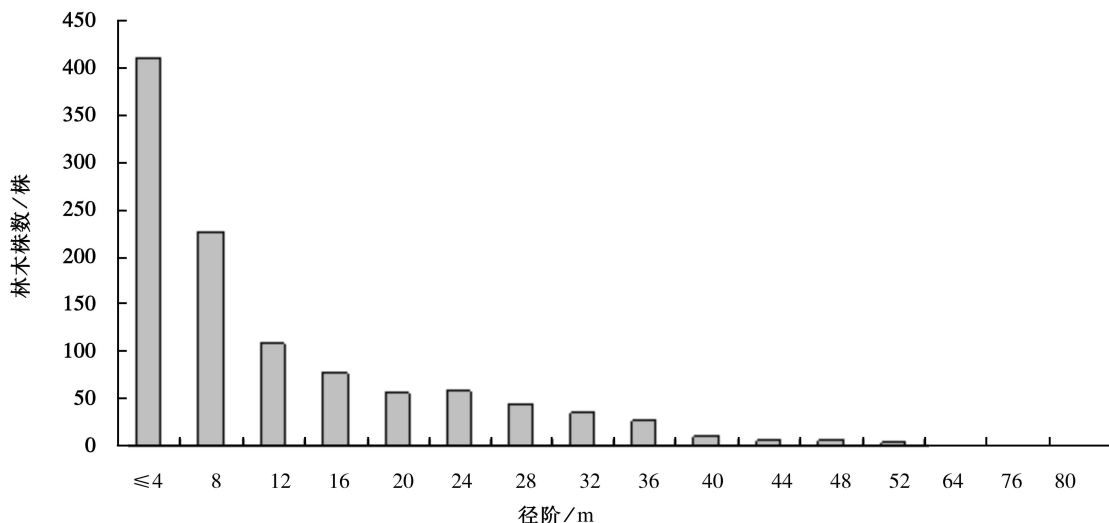


图 1 红松阔叶林各径阶林木株数

2 研究方法

在吉林省蛟河林业实验区大坡经营区设立 100 m ×100 m (面积为 1 hm²) 的样地, 利用全站仪全面调查并记录 1.3 m 以上的树种, 进行每木定位, 实测胸径; 利用空间结构分析软件——WinkeMass^[6] 计算样地内胸径 5 cm 以上林木的角尺度, 通过平均角尺度判断林分中胸径 5 cm 以上林木的空间分布格局; 设计 4、9、16、25、36、49、64、81、100 个抽样点等 9 个抽样调查方案, 每个抽样点测定周围最近 4 株树的角尺度, 利用 WinkeMass 软件分别进行 1 000 ~ 2 000 次模拟抽样, 分析各抽样方案与全面调查所得的格局是否吻合, 计算抽样格局与实际格局一致的百分率 (以下称格局吻合率); 利用统计分析程序 STATISTICA, 采用数学模型对模拟抽样点数与对应林木空间分布格局吻合率的关系进行拟合, 并进行相关关系显著性检验; 求解拟合方程的二阶导数, 确定二阶导数开始趋近于 0 所对应的抽样调查点数, 综合分析确定对天然红松阔叶林空间分布格局进行准确判断的最小抽样调查样本量; 以全面调查的样地为原型, 利用 WinkeMass 软件自动生成 9 块大小 100 m ×100 m、林木株数为 1 000 株、林木呈随机分布 (平均角尺度介于 [0.475, 0.517] 之间) 的样地, 分别按 4、9、16、25、36、49、64、81、100 个抽样点等 9 个方案进行 1 000 ~ 2 000 次模拟抽样, 分析其格局吻合率与抽样调查点数的关系, 并对 2 块 100 m × 100 m 的厄瓜多尔天然林样地分别按上述 9 个方案进行 1 000 ~ 2 000 次模拟抽样和分析, 进一步求证最小样本量的合理性和可行性。

3 结果与分析

3.1 研究样地林木空间分布格局

利用 WinkeMass 软件对全面调查数据进行计算, 得出研究样地林分胸径 5 cm 以上林木的平均角尺度为 0.497 6, 落在 [0.475, 0.517] 的范围之内, 属随机分布^[1] (图 2)。

3.2 格局吻合率与抽样点数的关系

表 1 显示了抽样调查点数 (N) 与林木空间分布格局吻合率 (P) 之间的关系, 格局吻合率随抽样点数的增加而上升, 最初上升很快, 然后上升速度逐渐变缓。当抽样点数达到 36 后, 格局吻合率均达到 90% 以上。采用下列饱和曲线模型^[7, 8] 进行模拟, 利用统计分析程序 STATISTICA 进行计算, 拟合结果

如表 2 和图 3 所示。

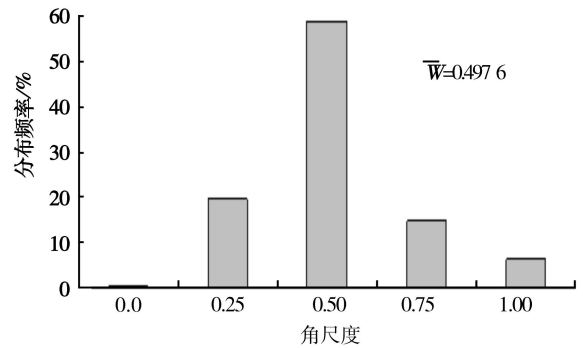


图 2 红松阔叶林角尺度 (\bar{W}) 分布图

表 1 抽样点数与林分水平空间格局吻合率的关系

抽样点数/点	分布格局吻合率/%	抽样次数/次
4	48.0	1 906
9	51.7	2 000
16	72.4	1 589
25	71.7	2 000
36	92.5	2 000
49	96.7	1 751
64	95.4	1 288
81	99.9	2 000
100	100.0	2 000

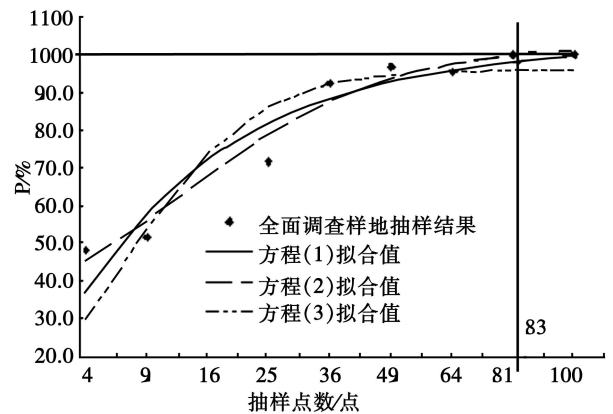


图 3 抽样调查点数与分布格局吻合率 (P) 之间的关系

从表 2 看出, 在所采用的饱和曲线模型中, 方程 (2) 的相关系数最高, 但如图 3 所示, 当抽样点数 (N) 达到 83 后, 该方程拟合的林木空间分布格局吻合率将大于 100%, 而这显然是不合乎逻辑的。在剩下的 2 个模型中, 方程 (1) 相关系数高于方程 (3)。因此, 本研究最终确定采用方程 (1) 进行二阶求导, 其二阶导数公式如下:

$$P = 2ab / (1 + bN)^3 = 0.03746 / (1 + 0.13219N)^3$$

$$P = aN / (1 + bN) \tag{1}$$

$$P = c - ae^{-bN} \tag{2}$$

$$P = a(1 - e^{-bN}) \tag{3}$$

由于 $F_{0.01}(1, n-2) = F_{0.01}(1, 7) = 12.2$

$$\text{故有 } R_{0.01} = \frac{\sqrt{F_{0.01}}}{\sqrt{F_{0.01} + n - 2}} = \frac{\sqrt{12.2}}{\sqrt{12.2 + 9 - 2}} = 0.7971$$

$R_{0.01}$,说明各方程抽样点数 (N)与对应林木空间分布格局吻合率 (P)的相关关系均极显著。

如表 2 所示,三个方程的相关系数 (R)均大于

表 2 3 个方程拟合结果

模型	参数			方程式	相关系数
	a	b	c		
(1)	0.14170	0.13219		$P = 0.14170N / (1 + 0.13219N)$	0.9535
(2)	0.67001	0.04266	1.01943	$P = 1.01943 - 0.67001e^{-0.04266N}$	0.9795
(3)	0.95807	0.09262		$P = 0.95807(1 - e^{-0.09262N})$	0.9079

3.3 最小抽样调查样本量的确定

从表 1 看出,当抽样点数达到 36 时,林木空间分布格局吻合率 (P)达到 90% 以上,其后林木空间分布格局吻合率 (P)随模拟抽样点数 (N)增加而上升的速度陡然变缓,因此似乎可以初步将 36 确定为吉林蛟河天然红松阔叶林空间分布格局调查的最小样本量,如图 3 所示,即使抽样点数达到 36 个以后,林木空间分布格局吻合率仍呈现一定的波动,为此,本研究采用对拟合方程求二阶导数的办法^[9],将二阶导数为 0 (或开始趋近于 0)的点对应的样点数确定为林木空间分布格局抽样调查的最小样本量。

如图 4 所示,方程 (1) 的二阶导数曲线为随抽样点数增加逐步趋近于 0 的渐近线。本研究采用 $P = 0.0001$ 对应的最小抽样调查点数作为林木空间分布格局调查的最小样本量,当抽样调查点数达到 47 时,拟合方程的二阶导数降至 0.0001 以下,因此可以确定吉林蛟河天然红松阔叶林林木空间分布格局调查的最小样本量为 47。为进一步求证上述最小样本量的合理性和可行性,利用方程 (1) 对各样地林木空间分布格局吻合率与抽样调查点数的关系进行拟合,进而进行

二阶求导,取 $P = 0.0001$ 对应的最小抽样调查点数作为林木空间分布格局调查的最小样本量。

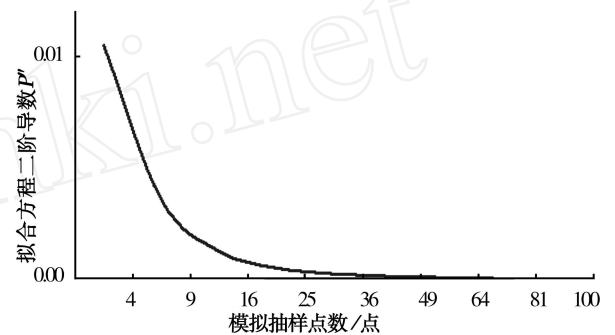


图 4 拟合方程二阶导数与抽样点数的关系

从表 3 看出,各模拟样地林木空间分布格局调查的最小样本量为 44 ~ 53。为进一步求证新确定的最小样本量,特意又对来自厄瓜多尔的 2 块 100 m × 100 m 天然林进行分析 (表 4)。结果表明,该天然林林木空间分布格局调查的最小样本量为 49 ~ 50。因此,可以认为确定的吉林蛟河天然红松阔叶林林木空间分布格局调查的最小样本量为 47 是合理的。为便于机械抽样,采用 49 作为吉林蛟河天然红松阔叶林林木空间分布格局调查的最小样本量将是合理和可行的。

表 3 模拟样地林木空间分布格局调查的最小样本量

模拟样地号	平均角尺度	方程参数		相关系数	二阶导数式	最小样本量
		a	b			
1	0.4907	0.10733	0.10423	0.9422	$P = 0.01119 / (1 + 0.10423N)^3$	49
2	0.4900	0.09658	0.08827	0.9825	$P = 0.00853 / (1 + 0.08827N)^3$	52
3	0.4957	0.08607	0.07850	0.9197	$P = 0.00676 / (1 + 0.0785N)^3$	53
4	0.4803	0.08647	0.09748	0.9640	$P = 0.00843 / (1 + 0.09748N)^3$	47
5	0.5043	0.14946	0.15623	0.9189	$P = 0.02335 / (1 + 0.15623N)^3$	44
6	0.4948	0.14866	0.14121	0.9606	$P = 0.02099 / (1 + 0.14121N)^3$	46
7	0.4928	0.09633	0.08569	0.9377	$P = 0.00825 / (1 + 0.08569N)^3$	53
8	0.5073	0.10277	0.10572	0.9632	$P = 0.01086 / (1 + 0.10572N)^3$	48
9	0.4961	0.10685	0.09579	0.9540	$P = 0.01024 / (1 + 0.09578N)^3$	52

表 4 厄瓜多尔天然林林木空间分布格局调查的最小样本量

样地号	平均角尺度	方程参数		相关系数	二阶导数式	最小样本量
		a	b			
1	0.498 9	0.120 73	0.114 58	0.985 0	$P = 0.013 83 / (1 + 0.114 58N)^3$	49
2	0.500 3	0.111 07	0.102 99	0.982 8	$P = 0.011 44 / (1 + 0.102 99N)^3$	50

4 结论

(1)吉林蛟河天然红松阔叶林胸径 5 cm 以上林木的平均角尺度为 0.497 6,落在 [0.475, 0.517] 的范围之内,属随机分布。

(2)林木空间分布格局吻合率随模拟抽样点数增加而上升,最初上升很快,然后上升速度逐渐变缓;当模拟抽样点数达到 36 后,格局吻合率达到 90% 以上,并逐步趋于稳定。

(3)抽样点数与格局吻合率的关系可通过数学模型来表达,最小抽样调查样本量可采用对模型求导的方法来确定,可将二阶导数为 0 (或开始趋近于 0) 的点对应的样点数确定为林木空间分布格局抽样调查的最小样本量。本研究林分的拟合方程二阶导数在抽样点数达到 47 时已十分趋近于 0 ($P = 0.000 1$),为便于抽样调查时进行机械布点,本研究最终确定吉林蛟河天然红松阔叶林林木空间分布格局调查的最小样本量为 49。

参考文献:

[1] 惠刚盈, 克劳斯·冯佳多. 森林空间结构量化分析方法 [M]. 北

京: 中国科学技术出版社, 2003

- [2] Moeur M. Characterizing spatial patterns of trees using stem mapped data [J]. For Sci, 1993, 39(4): 756 ~ 775
- [3] 汤孟平. 森林空间结构分析与优化经营模型的研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2003
- [4] 于政中. 森林经理学 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1993: 50 ~ 60
- [5] Garcia A, Irastoza P, Garcia C, et al. Concepts associated with deriving the balanced distribution of uneven-aged structure from even-aged yield tables: Application to *Pinus sylvestris* in the entral mountains of Spain [A]. In: Olssthoorn FM, Bartelink H H, Gardiner J J, et al. Management of mixed-species forest: silviculture and economics [C]. Dlo Institute for Forestry and Nature Research (BN-DLO), 1999: 109 ~ 127
- [6] Hui G Y, v Gadow K. Das Winkelmass-Theoretische berlegungen zum optimalen Standardwinkel [J]. Allgemeine Forst u Jagdzeitung, 2002, 173(9): 173 ~ 177
- [7] 邓红兵, 吴刚, 郝占庆, 等. 马尾松 栎类天然混交林群落最小面积确定及方法比较 [J]. 生态学报, 1999, 19(4): 499 ~ 503
- [8] 刘灿然, 马克平, 于顺利, 等. 北京东灵山地区植物群落多样性研究: 几种类型植物群落临界抽样面积的确定 [J]. 生态学报, 1998, 18(1): 15 ~ 23
- [9] 唐龙, 郝文芳, 孙洪罡, 等. 黄土高原四种乡土牧草群落种 面积曲线拟合及最小面积的确定 [J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(4): 83 ~ 87