

海南岛热带天然林直径分布模型研究*

孟京辉¹ 陆元昌¹ 刘刚² 修勤绪¹ 刘宪钊¹

1. 中国林业科学研究院资源信息研究所, 北京 100091; 2. 华中农业大学园艺林学学院, 武汉 430070

摘要 以海南省原始天然林和天然次生林为研究对象, 选取了负指数函数、限定线函数、倒J形对数函数、幂指数函数和 Weibull 函数 5 种直径分布模型进行模拟和检验, 结果表明: 负指数函数和幂指数函数对于热带森林的直径分布模拟, 尤其是对大径阶部分的林木株数分布有较好的拟合效果。

关键词 原始天然林; 天然次生林; 分布模型

中图分类号 S 711 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2010)02-0227-04

热带天然林在海南岛占据重要的生态位, 具有人工林不可比拟的涵养水源、防风固沙、保持水土、维持生物多样性等生态功能, 同时天然林可以提供多样的非木质林产品, 具有巨大的经济潜力, 经营好热带天然林对海南省的生态与经济建设具有重要意义。

林分直径结构是森林可持续经营的基础参数, 林分直径分布与林分的蓄积结构及其功能有着密切的关系, 研究林分的直径分布可为预估林分各径级的株数和蓄积变化, 测定林木生长量、估算林分材种出材量、确定合理经营周期、林木枯损量计算以及抚育间伐设计提供科学依据^[125], 许多学者对此进行了研究^[610]。对林分直径结构模型的研究大体可以分为相对直径法、概率密度函数法、理论方程法、联立方程组法、最相似回归法。

笔者通过对海南白沙热带原始天然林和天然次生林的直径频率分布的不同模型的模拟和对比, 提出最佳的模拟方程, 从而为当地的热带天然林经营提供参考依据。

1 研究地区与方法

1.1 研究地区概况

研究区域位于海南岛白沙县 18°56'N ~ 19°29'N, 109°02'E ~ 109°42'E, 面积约为 2 117.73 km²; 境内 41.9% 为山地, 属热带湿润季风性气候, 年降雨量在 1 800~ 2 400 mm 之间, 并且 70% ~ 80% 的降水集中在 5- 8 月, 年平均气温 21.9~

23.4 °C, 最高温度 35~ 37 °C, 最低温度 5~ 6 °C, 土壤类型以砖红壤和山地黄壤为主。

1.2 材料与方法

研究数据来自于研究区域的原始天然林和退化的天然次生林中布设和调查的样地。原始天然林是海南省区域地带性植被, 处于演替的顶级阶段, 优势树种为黄杞 (*Engelhardtia roxburghiana*); 壳斗科 (*Fagaceae*) 具有最大的重要值, 构成了树种组成的主体; 胸径分布跨度较大上限至 80 cm, 大径阶林木个体呈现间断性分布。天然次生林是在原始天然林遭到火灾破坏后, 在火烧迹地上通过自然更新与演替重新生成的森林类型; 优势树种为典型的先锋喜光树种中平 (*Macaranga denticulata*); 林木主要集中于喜光的大戟科 (*Euphorbiaceae*)。随着演替进程的进行, 一些壳斗科的耐荫树种逐渐出现, 胸径分布范围上限为 50 cm, 明显低于原始天然林, 而小径阶的林木株数高于原始天然林。

在上述 2 种类型的森林中选取 4 个 50 m @ 50 m 有代表性的固定样地, 避免受开阔地、河流、道路、轮垦空地影响或特殊土壤形成的没代表性的森林地段。调查内容包括胸径 5 cm 以上的林木的种名、胸径、枝下高、树高、树冠级、冠幅、生活力、物候、起源、成熟期及林木的平面坐标。由调查样地数据计算的 2 类森林的株数2直径分布如图 1 所示。

收稿日期: 2009203231; 修回日期: 200908080

* 国家/ 十一五科技支撑计划(2006BAD23B01)和国家自然科学基金项目(30671679)资助

孟京辉, 男, 1980 年生, 博士研究生。研究方向: 森林可持续经营和森林资源监测技术。E-mail: jinghui_meng@hotmail.com

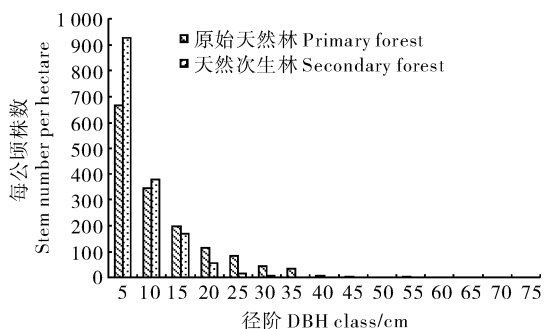


图 1 原始天然林和天然次生林的株数-直径分布

Fig. 1 Stem number & diameter distribution of the tropical primary and secondary forests in 5 cm DBH classes

林木直径分布一般可以分为 2 种主要的分布型,即单纯同龄林呈正态或近正态分布(或单峰有偏分布)和面积或异龄林分呈递减型或近似递减型分布^[8]。本文的研究对象为异龄天然林,选取分布表现为倒 J 形曲线的负指数函数(模型 1)、限定线函数(模型 2)、倒 J 形对数函数(模型 3),同时选取具有较强适应性的三参数模型:幂指数函数(模型 4)、Weibull 函数(模型 5)。

1) 负指数函数

$$y = a \# e^{-b \# x}$$

y 是林木株数, x 是林木的胸径, a 和 b 是参数。此函数常作为标准用于择伐作业体系下天然林结构的比较分析^[5,7]。Akca^[7]推荐此函数作为天然异龄林的直径分布模型。

2) 限定线函数

由 Reineke 提出,模型为:

$$N_{max} = A \# D_g^{a_1}$$

N_{max} 是每公顷活立木的最大株数, D_g 是平方平均直径, A 和 A_1 是模型参数。

3) 倒 J 形对数函数

可更好地表示大径阶林木的分布,模型为:

$$N = \exp[a \# \exp(-b \# D)]$$

其中 N 为每公顷株数, D 是林木胸径, a 和 b 为模型参数。

4) 幂指数函数

幂指数函数的一般形式为:

$$N = a \# D^b \# c^D$$

其中 N 为径级林木株数, D 为径级中值, a、b、c 为模型参数。

5) Weibull 函数

三参数 Weibull 函数是常用的株数 & 直径分布模型,对于随机变量 x 的三参数 Weibull 分布概率密度函数为:

$$f(x) = \frac{c}{b} \left(\frac{x-a}{b}\right)^{c-1} \exp\left[-\left(\frac{x-a}{b}\right)^c\right] \quad (a \leq x < \infty)$$

$$f(x) = 0 \quad (x < a)$$

其中 a 是定位参数, b 是尺度参数, c 是形状参数。

本文采用非线性最小平方迭代法进行参数估计,模型的拟合效果采用以下 2 个指标进行比较:

1' 可决系数(R^2):

$$R^2 = \frac{E(\hat{\epsilon}_i - \bar{\epsilon})^2}{E(\hat{\epsilon}_i)^2}$$

其中 u_i 是观测值, $\hat{\epsilon}_i$ 是估计值, $\bar{\epsilon}$ 为平均值。

2' 平均绝对残差(B):

$$B = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |u_i - \hat{\epsilon}_i|$$

其中 $\hat{\epsilon}_i$ 是估计值, $\bar{\epsilon}$ 为平均值。

2 结果与分析

5 种直径分布模型的参数和拟合统计量分别见表 1 和表 2。

表 1 5 种直径分布模型参数

Table 1 Parameters of five diameter distribution functions

参数 Parameters	负指数函数 Negative exponential function	限定线函数 Limiting line function	倒 J 形对数函数 Logarithmic D shape function	幂指数函数 Power exponential function	Weibull 函数 Weibull function
原始天然林 Primary forest					
a, a_0	343.382	16 113.574	6.172	905.801	5.000
b, a_1	0.126	- 1.599	0.031	0.729	6.686
c				0.939	1.000
天然次生林 Secondary nature forest					
a, a_0	672.187	55 976.064	6.893	489.228	5.000
b, a_1	0.176	- 2.071	0.038	0.268	8.467
c				0.815	0.797

表 2 5 种分布模型拟合统计量

Table 2 Fit statistics of five diameter distribution models

项目 Item	观测值 Observation	原始天然林 Primary forest					观测值 Observation	天然次生林 Secondary nature forest				
		模型 1	模型 2	模型 3	模型 4	模型 5		模型 1	模型 2	模型 3	模型 4	模型 5
		Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5		Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5
R ²		0.978	0.981	0.983	0.986	0.997		0.993	0.986	0.985	0.993	0.997
株数(全部林木) Stem number (All stems)	1 504	1 475	1 655	1 553	1 519	1 550	1 563	1 580	1 698	1 661	1 575	1 624
B(全部林木) B (All stems)		6.2	21.4	6.1	3.8	7.1		4.1	29.4	13.9	4.0	12.4
株数 (DBH > 30 cm) Stem number (DBH > 30 cm)	54	43	253	116	75	122	10	18	132	83	16	59
B(DBH > 50 cm)		3.7	21.6	7.2	3.8	7.7		2.1	24.5	11.3	1.7	9.7

原始天然林和天然次生林的直径分布都呈现倒 J 形曲线, 随着径阶的增加株数逐渐减少, 尤其在大径阶范围内林木株数最少。为了清楚地描述各分布模型, 本文在半对数标尺上绘制直径分布曲线, 样地的实际和预估直径分布见图 2 和图 3。

明显的差异。原始天然林, 当胸径大于 30 cm; 天然次生林, 当胸径大于 20 cm 时, 各模型曲线开始逐渐偏离(图 2 和图 3)。幂指数函数和负指数函数下降最急剧, 限定线函数则呈现出缓慢地逼近水平轴的趋势, 由此可见各模型的差异主要表现在对大径阶林木株数拟合的效果上。大径阶林木株数虽然较少, 但其在森林生态系统中扮演着种子树的作用, 具有重要的生态学意义, 因此在森林经营中不容忽视。本文把大径阶林木株数的最优化表达作为评价模型优良的依据。

从整体株数拟合效果上来看, 负指数函数和幂指数函数的拟合效果最好, 预测的林木总株数接近实测株数, 且平均绝对残差也是 5 类模型中最小的。限定线函数、倒 J 形函数、Weibull 函数, 拟合的林木总株数和实测株数存在较大的差异, 其差异从小到大依次为: Weibull 函数、倒 J 形对数函数、限定线函数, 且残差明显大于负指数函数、幂指数函数(表 2)。

从拟合大径阶林木株数效果来看, 负指数函数、幂指数函数同样表现出绝对的优势。原始天然林大于 30 cm 林木株数为 54 株, 负指数函数和幂指数函数预测的结果分别为 43、75 株; 天然次生林中, 大于 30 cm 林木株数为 10 株, 负指数函数和幂指数函数预测的结果分别为 18、16 株; 负指数函数和幂指数函数在拟合大径阶林木株数时的平均绝对残差也是最小的。限定线函数、倒 J 形函数、Weibull 函数在拟合大于 30 cm 林木株数时, 效果明显较差, 均表现出负偏差。与观测数据比较(表 2), 在拟合大于 30 cm 林木株数时, 限定线函数的预测结果在原始天然林中被高估 4.7 倍, 在天然次生林中被高估 13.2 倍, 平均绝对残差最大; 倒 J 形函数的预测结果在原始天然林中被高估 2.1 倍, 在天然次生林中被高估 8.3 倍, 平均绝对残差仅次于限定线函数; Weibull 函数在原始天然林中被高估 2.3 倍, 在天然次生林中被高估 5.9 倍。

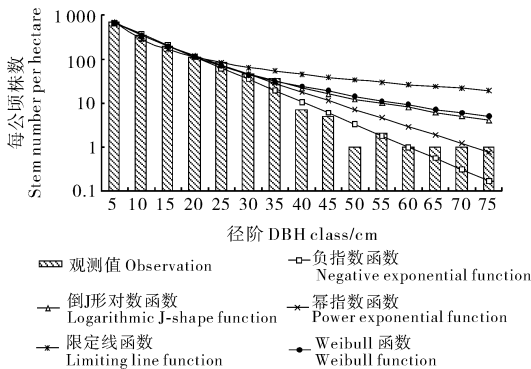


图 2 原始天然林不同模型直径分布的观测值和估计值
Fig. 2 Observed and predicted diameter distributions of different models for primary forest

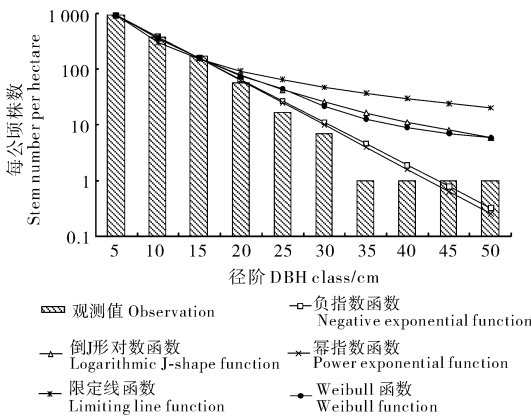


图 3 天然次生林不同模型直径分布的观测值和估计值
Fig. 3 Observed and predicted diameter distributions of different models for second nature forest

对于 2 种森林类型所有模型的可决系数都很高(表 2), 在小径阶范围内拟合结果都很理想、偏差很小。随着径阶的增加, 各模型的拟合效果出现比较

3 讨 论

本文中负指数函数和幂指数函数,在拟合整体林木株数和大径阶林木株数时都表现出明显的优势,是 2 类森林的直径分布拟合的最优模型。负指数函数和幂指数函数在大径阶时都表现出急剧的下降趋势,从图 3 可知预测天然次生林时,2 类模型在径阶为 45 cm 时,预测林木株数开始出现低估,随着大径阶的增加林木估测株数急剧下降,在径阶为 50 cm 时已经接近 0。由于本文中天然次生林最大直径值为 52 cm,所以取得了最好的拟合效果。如果在拟合更大径阶的林木株数时,负指数函数和幂指数函数则体现不出优势,林木总株数和最大径阶株数往往被低估,与此相反,由于在大径阶逼近水平轴的趋势较为平缓这一模型特性,倒 J 形函数和 Weibull 函数在拟合更大径阶中表现出优势。陆元昌等^[9]在拟合直径 100 cm 以上的西双版纳热带沟谷雨林和山地常绿阔叶林时,发现倒 J 形函数表现出最优的拟合效果,尤其在拟合大于 65 cm 径阶的树木时表现出其它模型不可比拟的效果,这主要是由于倒 J 形函数,在大径阶时表现出逐渐缓慢的下降趋势并且其趋势不易受个别数据的影响;同时,该研究还表明负指数函数无论是在拟合全林分株数还是大径阶林木株数,表现出的拟合效果都最差,主要是由于负指数函数在大径级表现出急剧下降的趋

势,在径阶为 65 cm 时已经趋近于 0,无法预测大于 65 cm 径阶的树木,从而导致整体林分株数的低估。

模型的好坏不能一概而论,适合某一区域的最优化模型对于另一个区域并不一定最优,有时反而会表现出很大的劣势。在模型选择时,要做到因地制宜,根据所研究林分的具体情况和研究目的选取不同的模型。

参 考 文 献

- [1] 张建国,段爱国.理论生长方程与直径结构模型研究[M].北京:科学出版社,2004.
- [2] 王鹏程,庄尔奇,涂炳坤,等.湖北省马尾松人工林削度方程及材种出材率表的研究[J].华中农业大学学报,2001,20(1):62-72.
- [3] 王鹏程,周志祥,涂炳坤,等.湖北省马尾松纸浆林主伐年龄的确定[J].华中农业大学学报,2000,19(2):168-172.
- [4] 贾秀红,郑小贤.长白山过伐林区云冷杉针阔混交林空间结构分析[J].华中农业大学学报,2006,25(4):436-440.
- [5] MEYER H A. Forest mensuration [M]. Pennsylvania: Pennsylvania Valley publishers, INC, 1953.
- [6] PHILIP M S. Measuring trees and forests [M]. Oxon: CAB international, 1994.
- [7] AKCA A. Forest mensuration [M]. Gottingen: Cuvillier Verlag, 1997.
- [8] 李晓惠,陆元昌,袁彩霞,等.六盘山林区林分直径分布模型研究[J].内蒙古农业大学学报,2006,27(4):68-72.
- [9] 陆元昌,雷相东,国红,等.西双版纳热带雨林直径分布模型研究[J].福建林学院学报,2005,25(1):24.
- [10] 段爱国,张建国,童书振.6种生长方程在杉木人工林分直径结构上的应用[J].林业科学研究,2003,16(4):423-429.

The Model of Diameter Frequency Distribution for the Natural Forest in Baisha County, Hainan Province

MENG Jinghui¹ LU Yuanchang¹ LIU Gang² XIU Qinxu¹ LIU Xianzhao¹

1. Resource and Information Institute, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China;

2. College of Horticulture and Forestry Sciences, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

Abstract In order to find the suitable diameter distribution model for primary forest and secondary in Baisha County, Hainan Province. Five statistical distribution models: negative exponential model, limiting line model, logarithmic J2shape model, power exponential model and Weibull distribution model were selected and compared. The results showed that negative exponential model and Weibull distribution model are suitable models for modeling works, especially for the stem number of larger DBH classes in the tropical rain forests.

Key words primary forest; secondary forest; distribution model

(责任编辑:陆文昌)