

## 基于实测数据的杉木构筑型研究

卢康宁, 张怀清, 刘 闽

(中国林业科学研究院资源信息研究所, 北京 100091)

关键字: 植物构筑型; 杉木; 分枝率; 分枝角度

中图分类号: S791.27

文献标识码: A

### Study on Plant Architecture of *Cunninghamia lanceolata* Based on Measured Data

LU Kang-ning, ZHANG Huai-qing, LIU Min

(Research Institute of Forest Resource Information Techniques, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

**Abstract:** Based on plant architecture, this paper analyzes the morphological structure of four *Cunninghamia lanceolata* trees in different ages using statistical method. The results indicate that: the bifurcation ratios increases with the age; the branching angles of primary branches are mainly distributed from  $50^{\circ}$  to  $100^{\circ}$  while the secondary branches are mainly distributed from  $50^{\circ}$  to  $80^{\circ}$ ; the azimuth of primary branches follows uniform distribution and the secondary branches mostly distribute in horizontal direction; Distance from a branch attachment region to its parent container has a good correlation with the branch length. Branch length has a great relevance to the number of sublevel branch.

**Key words:** plant architecture; *Cunninghamia lanceolata*; bifurcation ratios; branching angles

20世纪70年代,著名植物学家 Halle 和 Oldeman 首次正式提出了树木的构筑型概念并总结出热带树木的23种构型模式,同时编制了分析热带树木构筑型的检索表开始了对植物构筑型比较系统的研究。

植物构筑型研究树形、冠形、分枝结构等树木的整体形态结构特征和它的构件即根、茎、枝、叶、芽等在空间的排列形式<sup>[1-5]</sup>。简单地说,植物构筑型就是研究植物的各个构件在空间的排列形式。

在对植物构筑型进行划分时,常以树冠、树干和树根的发育方式以及顶端分生组织的活动方式来进

行划分,另外,树木的延长生长方式、同步生长、异步生长、有限生长、无限生长、单一轴、混合轴、替代、并置这些也是构筑型划分时的要素。在对构筑型进行分析时常常应用树木的分枝格局(分枝率、分枝角度、枝长、枝条分布)和树冠等因素。乔木树种构筑型分析时主要以树冠和树干为基础,研究枝系的发育、形态、生长动态以及之上其他构件的动态变化和相互关系<sup>[6]</sup>。本文根据实际测量的杉木(*Cunninghamia lanceolata*(Lamb.) Hook.)数据对这些参数做了统计分析,研究了杉木的构筑型特征。实验所选定的杉木生长形态良好,树冠完整,没有受到自然灾害的影响。

收稿日期: 2010-04-10

基金项目: 国家“十一五”科技支撑重点项目课题(2006BAD23B06); 中央级公益性科研院所项目(IFRIT200904); 国家林业局948引进项目(2008-4-61)

作者简介: 卢康宁(1983—),男,河北任丘人,硕士研究生,主要从事林业虚拟现实技术研究。

\* 通讯作者: 张怀清(1973—),男,湖南宁乡人,副研究员,硕士生导师,主要从事林业可视化模拟技术与湿地监测技术研究。

## 1 杉木构筑型

通过比较不同构筑型之间的差异以及杉木的形态结构特征判断出杉木的构筑型属于 Massart 型,这类树木的构筑型是由一个单轴式、节律性生长、直生的树干所决定的,干上所产生的枝层有规律地排列在不同的高度上,枝斜生<sup>[5]</sup>。

## 2 杉木构筑型分析

杉木的树高生长在3—4年开始迅速生长,连年生长量最大值多出现在5—6年,平均生长量最大值(即连年生长量与平均生长量相交的时间)出现在11—15年。胸径生长在6—12年最快,连年生长量最大值多出现在6—8年,平均生长量最大值出现在12—15年。材积生长10年以前缓慢,10—20年为速生期,连年生长量最大值多出现在16—18年,平均生长量最大值多出现在20—25年<sup>[7]</sup>。根据杉木的生长状况和实地情况,分别选择了5.5、9.5、11.5、17.5年的杉木活立木进行了逐枝解析。4株树木信息如表1所示。

表1 实验调查的杉木信息

林龄/a	树高/m	胸径/cm	东西冠幅/m	南北冠幅/m	总分枝数
5.5	2.8	3.9	1.50	1.78	826
9.5	6.1	8.5	1.52	1.90	1 745
11.5	11.2	14.2	1.18	1.18	4 840
17.5	13.6	28.0	5.40	4.70	25 640

### 2.1 分枝率

几乎在植物所有的构筑型分析中,分枝率都被作为一个重要的指标,用它表示枝条的分枝能力和各枝级间的数量配置状况<sup>[6]</sup>。分枝率包括总体分枝率和逐步分枝率2种,总体分枝率是从整体上表征植物的分枝能力,是一个综合不同枝级枝条数量的平均值,但忽略了不同枝级数量之间的比例关系;而逐步分枝率表征了不同枝级枝条的分枝能力。逐步分枝率高说明该级别的枝条的分枝能力强,对空间资源的利用程度高;反之,说明该级别的枝条的分枝能力弱。另外,分枝率的计算首先和枝序的确定有关。枝序的确定也有两种,一种是由外及内的 trahler 法,即外层的第一小枝为第1级,两个第1级相遇即为第2级,两个第2级相遇即为第3级,以此类推。另一种为由内及外,即以主干为0级枝,其上侧枝为1级枝,生长在1级枝上的侧枝为2级枝,以此类推。本文选用第2种方法确

定分枝率。

分枝率计算公式:

$$\text{总体分枝率: } OBR = \frac{N_i - N_1}{N_i - N_s}$$

其中: $N_i$  为所有枝级中枝条的总数,即  $N_i = \sum N_i$ ,  $N_s$  为最高级枝条数,  $N_1$  为第一级的总枝数。

$$\text{逐步分枝率: } SBR = \frac{N_i + 1}{N_i}$$

其中: $N_i$  和  $N_i + 1$  分别为第  $i$  级和第  $i + 1$  级的枝条总数。

分枝率在构筑型描述中表示枝条的分枝能力,是对分枝格局定量分析的一个指标。统计每株解析木的1级分枝、2级分枝、3级分枝的数量,计算其总体分枝率和逐步分枝率见表2。

表2 杉木分枝率汇总

林龄/a	OBR	SBR <sub>2,1</sub>	SBR <sub>3,2</sub>
5.5	1.267 6	7.925 4	0.427 5
9.5	1.487 9	11.505 6	0.617 2
11.5	3.196 8	11.015 9	2.487 0
17.5	4.007 9	25.514 5	3.165 0

从表中可以看出,随着年龄的增加杉木的总体分枝率和逐级分枝率逐渐增大,这主要是由于随着杉木的生长,其对养分、光照等的竞争能力和对空间资源的利用程度逐渐增加而引起的。

早期的关于分枝率的研究认为一个树种的分枝率趋于常数并与环境条件无关。当前有些学者认为光照、温度、湿度、昆虫和寄生虫等因素有可能引起枝系的变动从而影响分枝率的大小。Halle 认为植物的构筑型有一个比较稳定的性状,但分枝格局也存在变化。陈波等人认为仅注重分枝率的定量结果可能会模糊顶芽和侧芽对分枝格局的影响,同时也会忽略枝系形态差异和发育方式不同对分枝格局造成的影响。

### 2.2 分枝角度

分枝角度是构筑型分析的一个重要因素,是衡量植物空间分布能力的一个重要指标,它对冠形的形成起着决定性的作用,不但影响着枝叶对光照、温度、CO<sub>2</sub> 的利用能力,还对不同构件生物量的空间分布产生影响。

本文主要以杉木1级枝和2级枝的分枝角度(即分枝与父枝之间的夹角也称为仰角)作为研究对象,4株杉木共调查一级枝420个,二级枝6493个,具体情况如表3所示。

表3 杉木一级枝和二级枝分枝角度

项目	一级枝	二级枝
观测枝数	420	6 493
平均值/(°)	73.66	68.68
标准差/(°)	11.38	27.69
最小值/(°)	5	0
最大值/(°)	110	180

以10°间隔划分分枝角度,统计在每个区间间隔内分枝的个数。对一级枝进行分布拟合,如图1所示。从分枝角度分布拟合直方图中可以看出,分枝角度基本满足正态分布,位于50°~80°的分枝个数最多,两侧逐渐减少,稍向右偏移。

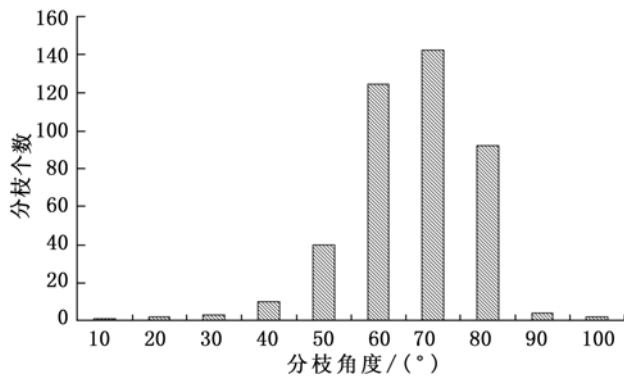


图1 一级枝分枝角度分布拟合直方图

以百分比数据建立4株杉木的一级枝分枝角度的概率分布图如图2所示。其中17.5年生杉木一级枝138个,11.5年生杉木一级枝126个,9.5年生杉木一级枝89个,5.5年生杉木一级枝67个。

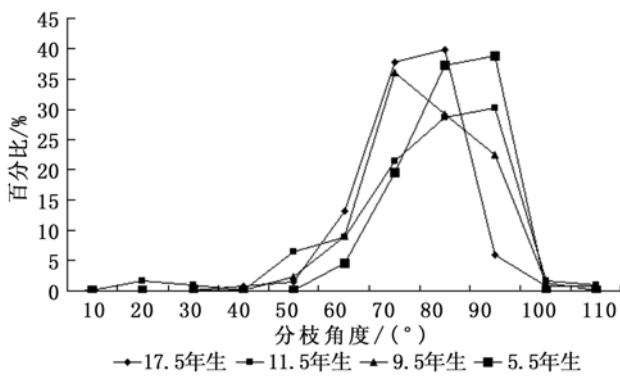


图2 4株杉木的一级枝分枝角度概率分布

从图2中可以看出,年龄对于分枝角度的影响较小。主要是由于年龄较大的树木分枝生物量较大,受重力作用的影响较大,分枝角度较大;年龄较小的树木需要获得更多的光照,分枝趋于平展,另外,由于木质比较柔软使得分枝受重力作用较大。

共调查杉木二级枝6 493个,其中分枝角度大于120°的样本量较少,故把大于120°的分枝合并在一个重要因素。

一起,对二级枝进行分布拟合,如图3所示。从分枝角度分布拟合直方图中可以看出,分枝角度基本满足正态分布,杉木二级枝分枝角度主要集中在50°~100°之间。

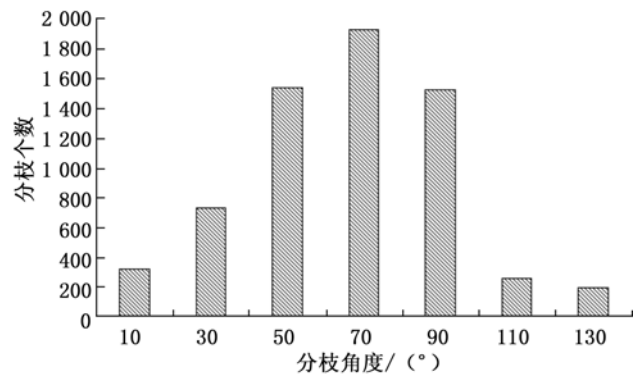


图3 二级枝分枝角度分布拟合直方图

以百分比数据建立4株杉木的二级枝分枝角度的概率分布图如图4所示。

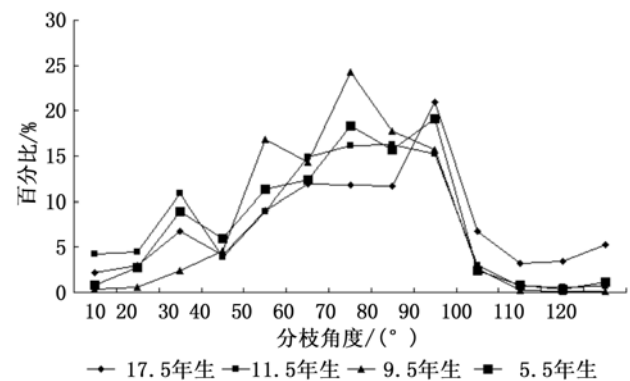


图4 4株杉木的二级枝分枝角度概率分布

分枝角度对冠形的形成以及树木的总体构筑模式起着至关重要的作用,同时,分枝角度的量化分析,对构筑型的研究以及构筑型的计算机动态模拟来说都是一个重要的参数。

### 2.3 方位角

方位角为当前分枝在与上一级分枝垂直的平面里,水平方向的夹角<sup>[8]</sup>。树木一级枝的方位角与二级及其以后的分枝稍有区别。以面向正北方向,顺时针旋转测量一级枝的方位角。如图5.1所示。二级及二级以上的分枝,按照分枝的自然形态,面对分枝的生长方向,顺时针旋转测量其下一级分枝的方位角。如图5.2所示<sup>[9]</sup>。

对分枝方位角的研究可以了解枝条的水平分布。分枝方位角影响着枝条的光照条件,对枝条的生长产生很大的影响,同时也是研究构筑型的另一个重要因素。

本文以 4 株杉木一级枝和二级枝的方位角作为研究对象,统计了分枝方位角分布,分析了杉木枝条的分布情况。观察杉木一级枝方位角的分布情况后,以 45 度间隔分为(0°,45°]、(45°,90°]、(90°,

135°]、(135°,180°]、(180°,225°]、(225°,270°]、(270°,315°]、(315°,360°] 8 个区间,统计结果见表 4、5。

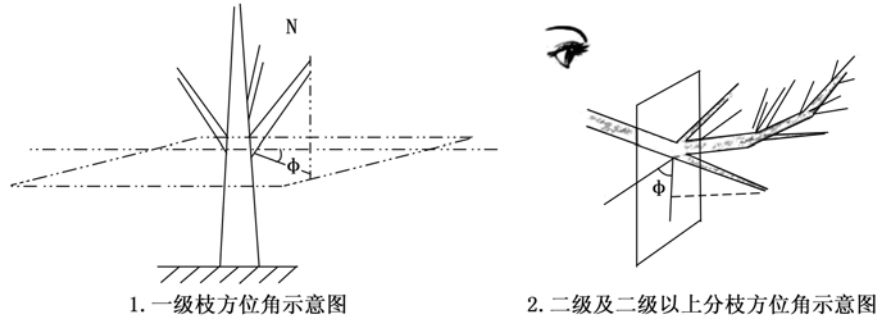


图 5 方位角示意图

表 4 一级枝方位角概率统计分析结果

%

方位角	(0°,45°]	(45°,90°]	(90°,135°]	(135°,180°]	(180°,225°]	(225°,270°]	(270°,315°]	(315°,360°]
一级枝	14.52	12.86	10.71	12.14	11.43	13.81	11.90	12.62

表 5 4 株杉木一级枝方位角概率统计分析结果

%

林龄/a	(0°,45°]	(45°,90°]	(90°,135°]	(135°,180°]	(180°,225°]	(225°,270°]	(270°,315°]	(315°,360°]
17.5	15.94	13.04	10.87	9.42	10.14	12.32	13.04	15.22
11.5	14.29	12.70	11.11	11.11	12.70	15.08	11.90	11.11
9.5	13.48	11.24	10.11	16.85	11.24	14.61	12.36	10.11
5.5	13.43	14.93	10.45	13.43	11.94	13.43	8.96	13.43

一级枝分布在各区间的百分数都在 10% ~ 15% 之间,从一级枝的水平分布的  $\chi^2$  检验结果来看(见表 6),样木均通过了  $\chi^2$  检验( $\chi^2 < \chi^2(8-2) = 11.592$ ),表明杉木一级枝的水平分布遵从均匀分布,即枝条的方位角大小可以用均匀分布来描述。

表 6 一级枝均匀分布  $\chi^2$  检验

一级枝	全部	17.5 年生	11.5 年生	9.5 年生	5.5 年生
$\chi^2$	3.62	4.14	1.62	2.78	1.42

备注:  $\chi^2_{0.05}(8-2) = 11.592$

杉木二级枝生长向外横展,呈扇叶状。根据杉木二级枝的特点,把二级枝的方位角分为(45°,

135°]、(135°,225°]、(225°,315°]、(315°,45°] 4 个区间,统计各个区间内的分枝的个数,计算各个区间内的分枝个数的百分比,详细信息见表 7。

表 7 表明,杉木二级枝方位角主要在区间(135°,225°]和(315°,45°]之间,分布在水平方向上。

#### 2.4 枝长和子枝个数、枝下距的关系

对调查的杉木数据进行统计,分析杉木形态指标的相关性。杉木一级枝部分形态指标相关性如表 8 所示。从表 8 中可以发现枝长与枝下距有很好的相关性( $R^2 = 0.71$ ),其次是与子枝个数( $R^2 = 0.66$ )。

表 7 4 株杉木二级枝方位角分布及百分比

项目	17.5 年生		11.5 年生		9.5 年生		5.5 年生	
	个数	百分比/%	个数	百分比/%	个数	百分比/%	个数	百分比/%
(45°,135°]	833	25	149	11	47	4	10	2
(135°,225°]	1 089	32	517	37	505	41	234	47
(225°,315°]	445	13	221	16	154	13	18	4
(315°,45°]	1 021	30	494	36	515	42	241	47

表8 杉木一级枝部分形态指标相关性

项目	子枝个数	枝根直径	枝下距	枝长	分枝角度	方位角
子枝个数	1					
枝根直径	0.11	1				
枝下距	0.39	0.02	1			
枝长	0.66	0.08	0.71	1		
分枝角度	0.03	0.12	0.11	0.17	1	
方位角	0.04	0.05	0.02	0.07	0.09	1

随着枝下距的增加枝长逐渐减小,枝长越长子枝个数越多。枝根直径和子枝个数的关系不明显;枝下距和分枝角度的关系也不明显,分枝角度没有随着枝下距的增加而存在减小的趋势。主要由于枝下距较小的分枝,其枝上的生物量较大,受重力影响比较明显。而顶层的分枝其枝上生物量较小,但是由于其生长不久,木质结构比较柔软,受重力影响也很明显从而分枝角度也较大。

### 3 结论与讨论

对植物构筑型的研究近年来取得了很好的发展,但是多侧重于对植物构筑型的划分。对某种特定植物的构筑型的研究相对较少。本文基于实际测量的数据对杉木构筑型做了详细的分析,对杉木的形态结构有了一个量的认识,为以后的研究提供了方便。通过以上的分析发现:杉木的分枝率随年龄的增大有增加的趋势;杉木一级枝的分枝角度多分布在 $50^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 之间,二级枝的分枝角度多分布在 $50^{\circ}\sim 100^{\circ}$ 之间;一级枝的方位角呈均匀分布,二级枝的方位角多分布在水平方向上;枝下距和枝长、枝长和子枝个数都有很好的相关性。

传统的测量方法费时费力且精确度有待于提高,对测量方法的改进有助于提高分析的可靠性。

另外,对树木构筑型的研究为树木的可视化模拟提供了方便,将树木构筑型的基本参数进行定量化分析后作为树木模拟的入口参数,使所模拟的树木更加符合树木本身的基本特征。吴谦等<sup>[10]</sup>基于这样的方法实现了对杉木的三维可视化模拟。

### 参考文献:

- [1] Halle F, Oldeman R A, Tomlinson P B. Tropical Trees and Forests: An Architectural Analysis[M]. Springer-Verlag, New York, 1978
- [2] 肖悦. 樟子松人工林树木构筑型的研究[D]. 哈尔滨:东北林业大学, 2006
- [3] 杨曙辉, 丛者福, 魏岩, 等. 梭梭植冠的构筑型分析[J]. 新疆农业科学, 2006, 43(1): 6-10
- [4] 蒋有绪, 臧润国. 海南岛尖峰岭树木园热带树木基本构筑型的初步分析[J]. 资源科学, 1999, 21(4): 80-84
- [5] 臧润国, 蒋有绪. 热带树木构筑学研究概述[J]. 林业科学, 1998, 34(5): 112-119
- [6] 陈波, 宋永昌, 达良俊. 木本植物的构型及其在植物生态学研究的进展[J]. 生态学杂志, 2002, 21(3): 52-56
- [7] 俞新妥. 杉木[M]. 福州:福建科学技术出版社, 1982: 37
- [8] 雷向东, 常敏, 陆元昌, 等. 长白落叶松单木生长可视化系统设计及实现[J]. 工程与应用, 2006, 17: 180-183
- [9] 卢康宁, 张怀清, 刘闽. 杉木形态结构可视化模拟调查方法研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2010, 30(1): 34-40
- [10] 吴谦, 张怀清, 陈永富, 等. 杉木形态三维可视化模拟技术研究[J]. 林业科学研究, 2010, 23(1): 59-64