

利用遥感技术预测人工林木材性质及其产品价值的初探

刘杏娥¹, 江泽慧^{1*}, 费本华¹, 李增元², 庞勇², 范少辉³

(1. 中国林业科学研究院木材工业研究所 北京 100091; 2. 中国林业科学研究院资源信息研究所 北京 100091;
3. 中国林业科学研究院林业研究所 北京 100091)

摘要: 阐述了遥感技术在森林树冠参数提取以及林木冠层与木材结构、性质间的关系研究现状, 分析了树冠冠层和木材性质二者之间潜在的关系, 探讨了利用高空间分辨率遥感卫星影像(QuickBird)数据分析林木树冠冠层特征的方法, 提出了遥感树冠因子与木材性质间的关系模型的构想, 进而进行木材性质的预测和产品经济价值的评价。

关键词: 遥感技术; 树冠; 木材性质预测

中图分类号: S771.8 文献标识码: A

Discussion on Prediction of Wood Properties and Product Values of Plantation by Remote Sensing Technology

LIUXing-e¹, JIANG Ze-hui¹, FEI Ben-hua¹, LI Zeng-yuan², PANG Yong², FAN Shao-hui³

(1. Research Institute of Wood Industry, CAF, Beijing 100091, China; 2. Research Institute of Forest Resource Information Techniques, CAF, Beijing 100091, China; 3. Research Institute of Forestry, CAF, Beijing 100091, China)

Abstract: This paper discussed on how to estimate the tree crown parameters by remote sensing technique and there is a close relationship between the tree crown and wood properties. There is the possible connection among remote sensing technique, the canopy of crown and wood properties. The characters of the crown were analyzed using remote sensing image(eg. QuickBird) and the relation could be found between the crown indices and wood properties in order to predict wood properties and evaluate the utilization value, according to crown indices. The purpose is to provide some references for the evaluation of the wood properties and product economic values.

Key words: remote sensing technique; crown; wood properties; utilization value

目前, 全球森林的数量和质量呈现下降趋势, 而工业生产和人们生活对木材的需求却在不断增加。因此, 在保护天然林和生态环境的同时, 如何有效地对人工林进行定向培育, 改进木材品质, 提高其利用率, 最大限度地发挥树木的利用价值, 显得越来越重要。这就要求在树木的生长过程中, 对树木的生长状况及其木材质量进行及时的监控、分析和预测。

另一方面, 通过对采伐后木材产品质量优劣分析, 指导和调控林木种植密度等培育措施, 培育出优质、价值高的木材产品。但是, 我国目前工业用材林的材性分析与预测基本是采取传统的现场测树方法和树木实体锯解后利用解析木检测等破坏性手段, 其劳动强度大、覆盖面小、效率低、费时费力, 难以对大范围的用材林的材性指标的获取提供有力保障, 远远

收稿日期: 2005-03-23

基金项目: 国家自然科学基金重点项目“利用遥感技术预测人工林木材性质和利用价值的研究”(30230420)资助

作者简介: 刘杏娥(1971-)女, 安徽潜山人, 讲师, 在读博士生。

* 通讯作者

不能满足工业生产对木材性质快速评价的要求。因此,寻求一种快速、准确、低成本地评价木材性质和价值的方法,已经成为林木培育和木材科学研究的重要内容之一。

如能利用现代遥感手段,即高空间分辨率卫星图像信息提取结合模型技术,在大范围内快速分析和预测特定森林树木的木材性质,并及时进行动态监控和经营管理,将对工业用材林的定向培育具有重要意义。利用遥感技术提取树冠特征参数,建立树冠特征参数与木材性质指标之间的关系,进而预测纤维性状、木材强度等木材性质,最终预测出木材产品的经济价值;通过评价产品经济价值的影响因子,反过来指导森林培育和森林经营,这方面的研究目前处于学科前沿,国内外未见报道。本文重点阐述了遥感技术在林木树冠特征参数提取、林木冠层与木材性质间关系的研究现状,分析了树冠特征-木材性质二者间潜在的关系,探讨用高分辨率遥感技术预测人工林木木材性质及木材利用价值方面的应用前景,以期对遥感技术的应用领域拓展新的思路,为预测木材性质及其利用价值评价的研究提供新的方法。

1 遥感技术提取森林树冠特征参数的研究

遥感探测森林主要是利用森林树冠中叶片的叶绿素、胡萝卜素及其水分含量的信息。在地面一定单元内,主要是通过绿色生物量和叶面积指数这两个参数来综合反映这些信息的变化。应用遥感方法对森林树冠参数进行较多研究的是估计大范围的叶面积指数。估计森林叶面积指数,使人们能够对一个较大尺度的地球生态系统的物质和能量的交换特性进行定性描述和定量分析^[1]。国内外学者对此进行了大量的研究,且取得了较好的效果。如席建超等^[2]研究了利用 TM 图像数据提取红壤丘陵区不同类型针叶林的植被指数与其各自的有效叶面积指数间存在明显的正相关关系,相关系数皆达 0.71 以上,指出在红壤丘陵区用遥感数据反演针叶林叶面积指数是可行的。

随着遥感技术的飞速发展,特别是卫星影像的空间分辨率达到了米级和亚米级(如:IKONOS-2 和 QuickBird 的全色波段分辨率分别为 1 m 和 0.61 m),使得单株林木的树冠可清晰地被识别出来,由此可以较好的估测出单株树冠的面积和冠幅(树冠直

径)。Gougeon^[3]用高分辨率的卫星影像数据结合复杂模型对单株树冠进行了描述;D. A. Pouliot 等^[4]用高分辨率的机载数码相机图像对针叶林幼林的单株树木树冠参数进行自动识别和描述,得出树冠的识别精度为 91%,树冠直径的估测误差在 17.9% 的范围内。Hampus Holmström^[5]用光学和雷达数据来估计林中单株树的特征,获得较高的精度;John W. McCombs^[6]等将激光雷达数据和高分辨率的多光谱影像数据融合,获得较高精度的 15 年生的火炬松(*Pinus taeda* Linn.)人工林的树冠信息及其林分平均高和林分密度。林辉^[7]用 QuickBird 高分辨率的卫星图像数据获得了湖南株洲单株杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.)的树冠冠幅信息,精度较好,并由此编制了该地区杉木林分一元卫星图像立木材积表和二元卫星图像立木材积表。

利用遥感技术提取森林林分(群落)大范围的叶面积指数,以及对单株树冠进行识别、描述,进而反演出树木胸径、树高、林分平均高等生长因子,各国学者已经做了部分的研究,取得了较好的研究成果。而林木的树冠参数与木材性质之间存在密切的相关关系。

2 树冠冠层与木材构造、性质的关系

林木的冠层是林木的主要光合场所,它不仅影响树木太阳能的获取,而且通过影响林内的水、热、气等微循环来调节植物与环境的相互作用和光合效率,因而其冠层特性与树木的生长密切相关^[8,9],对木材结构形成起重要作用^[10,11],最终影响木材的材性和材质^[12]。

通过常规的林业外业调查方法获取树冠特征参数,用砍伐样木分析解析木的方法测定木材性质,进而分析树冠与木材构造、性质的关系在上个世纪初就开始进行了研究,其研究重点主要集中在边材面积、心材形成,边材的渗透性及木材结构与性质等方面。

2.1 树冠与心材形成、边材面积及渗透性间的关系

1955 年,Wellwood^[13]研究花旗松(*Pseudotsuga menziesii* (Mirbel) Franco)时发现,对于相同树种,同一胸径,生长迅速的树木因具有较大的树冠而产生较宽的边材,较小的树冠,产生较窄的边材,且树木的活力由树冠表现。Benič^[14]研究欧洲白蜡木(*Fraxinus excelsior* L.)时,考虑了地位级、树冠等级和取样高度等因子,得出树冠体积与边材面积间的关系,且

边材转变为心材的年龄取决于树冠体积与树干直径的比值。Shinozaki 等于 1964 年提出了说明植物形成的管道模型理论。管道模型(pipe model) 将林木个体以及森林群落视为若干单位管道系的集合, 认为树干内单位数量的管道支持树冠内单位数量的叶子, 即树冠内叶量的多少取决于树干中具有输导水分能力的边材横断面积的大小^[15]。在管道模型理论上, 学者们进一步研究发现边材面积与叶面积或叶生物量间有密切的线性关系^[16]。如: Marchand 等^[17] 用一元线性回归方程: $Y_{\text{叶面积}} = 0.673 X_{\text{边材面积}} - 5.453 (R = 0.952)$ 、 $Y_{\text{叶面积}} = 0.167 X_{\text{边材面积}} + 6.772 (R = 0.934)$ 分析了胶冷杉 (*Abies balsamea* (L.) Mill) 和红云杉 (*Picea rubens* Sarg.) 的边材面积与叶面积间的关系; 钱能志^[8] 也对杉木的边材面积和叶面积间的关系进行了研究, 发现有密切的线性关系(相关系数达 0.97 以上), 且直线的斜率因树种^[9]、立地质量^[20]、土壤水分^[21]、栽植密度^[22] 等而异。根据此关系, Whitehead^[23] 通过用简单的试验方法测定边材面积来预测该树种的叶面积, 效果良好。

2.2 树冠与木材结构、产量及性质的关系

De kot^[24] 等研究不同树冠活性花旗松木材的年轮宽度、密度和木材解剖特征时发现: 无活力的树木具有很窄的年轮、异常低的晚材密度和细胞壁比例, 较高的细胞数量, 由此获得较差的木材质量。Paztrowski^[25] 用树冠特征(宽度、垂直投影面积等)来评价木材质量, 效果较好。而对树冠大小与木材构造、性质关系进行详细研究的则是 H. Amarsekara^[12], 其在研究科西嘉松 (*Pinus nigra* var *maritima* (Aiton) Melville) 时得出: 对科西嘉松而言, 管胞长度不受树冠大小或树叶干质量的影响 ($R = 0.046$), 抗弯弹性模量 (MOE) 与树冠大小间的关系较弱 ($R = -0.355$), 木材的年轮宽度与叶干质量呈高度正相关 ($R = 0.967$), 晚材率、抗弯强度 (MOR)、抗压强度与单株树的叶干质量呈高度负相关(相关系数分别为: -0.826 、 -0.843 、 -0.796)。而木材密度是否受树冠大小的影响, 长期以来一直是颇受争议的问题^[26]。毋庸置疑, 密度与树冠大小间的关系复杂, 因为密度受几个参数影响^[27], 如: 早晚材的腔径大小、壁厚、比例以及抽提物的含量等, 这些参数中某些受形成层年龄影响, 而另外某些受树冠大小影响^[28]; 且其中某些有很强的遗传特性^[29]。对科西嘉松而言, 其木材密度与干叶质量的相关性较弱^[12] ($R = -0.378$)。

以上研究均表明, 树冠大小及叶面积与树木胸

高处的边材面积、年轮宽度、抗弯强度、顺纹抗压强度等木材产量、性质间有密切的线性关系。因此, 作者认为, 有可能实现利用遥感技术来预测人工林木材性质及其产品价值。

3 利用遥感技术预测人工林木材性质及其产品价值的构思

利用遥感技术提取树冠特征参数, 其实质是建立纹理、光谱特征与树冠的物理和生物参数之间的较严格的数学关系, 各国学者已经取得较好的研究成果; 通过林木冠层特征的研究, 对于冠层特征与树木胸径、心边材结构、木材产量、木材性质等因子之间的关系研究, 也积累了大量的经验。

在过去研究成果的基础上, 将遥感技术—树冠特征—木材性质和价值三者之间关系进行联合研究, 以树冠冠幅为中间纽带, 利用遥感技术预测树木心边材的大小、木材性质的好坏, 从大范围内快速获得木材利用价值的大小, 将会取得大的经济效益。具体来说, 将遥感图像分析技术应用到木材领域, 用研究树冠冠层特征的方法来预测树木的边心材比例以及木材的解剖、物理、力学、化学性质, 根据预测的木材性质特点, 建立木材利用价值的评价体系, 为木材用作胶合板、造纸材或锯材提供技术指导。

本研究的具体做法是: 经过广泛调研, 选择有代表性的人工林林分, 即我国工业人工林栽培面积最大的杨树人工林中的一个无性系——小黑杨 (*Populus × xiaohei* T. S. Hwang et Liang) 无性系。选取了 3 种不同栽植密度、2 种不同年龄以及在林分生长期进行过间伐等营林措施的小黑杨速生丰产林为综合实验区。其技术框架见图 1。

首先, 获取建立模型的原始数据: 确定小黑杨试验林分后, 待树叶全长齐以后, 获取该林分的 Quick-Bird 高分辨率遥感影像数据, 用 eCognition 影像分析软件进行树冠参数边界跟踪, 提取单株树木的遥感树冠参数因子(冠幅、树冠面积等)以及该林分的郁闭度和株数密度。获得卫星遥感树冠信息数据后, 根据林业外业调查的要求, 设立标准地, 用差分 GPS 进行标准地的精确定位, 确定标准地的地理坐标; 同时进行每木检尺, 按照径阶分布状况, 实际测定不同径阶小黑杨的生长因子和树冠因子指标——胸径、树高、东西和南北向冠幅、叶鲜质量(基于叶面积与叶质量之间的关系, 获得叶面积的值^[30])等; 将测量过生长因子和树冠因子指标的树木用传统的伐倒木取样方法, 锯

解解析木,将解析木按根颈位置伐倒,先测定根颈至第一活枝的高度(枝下高),然后打去枝桠,测量树高和它的 1/4、1/2、3/4 处的带皮和去皮直径;于根颈 0、1.3、3.6、5.6、7.6 m……等处以 2 m 为段长,截取圆盘,测量树干直径,通过树基部直径和树梢处直径的差值计算出树干尖削度;用常规的试验测试方法获取胸高处木材的纤维长度、宽度、基本密度、心边材比例、MOE/MOR、综纤维素含量、纸浆得率等基本材性因子和纸浆造纸的经济价值指标,统计分析生长因子和材性指标的值,在分析统计中,保证树冠参数、生长因子与材性指标间一一对应;

第二,将从卫星影像中提取的单株树的冠幅和株数密度的值与实测值进行对比,验证树冠冠幅和株数密度的精度;

第三,根据树冠冠幅与胸径线性相关这一原理^[31]建立树冠冠幅与胸径的关系模型:

$$D_{1.3} = a + b C_j。 D_{1.3}: 胸径; C_j: QuickBird 图像$$

上测定的树冠冠幅值。根据此关系模型,可求出不同冠幅值的胸径值,由胸径值查一元材积表,获得单株树的材积。依据树高和胸径高度相关的原理,用树高-胸径模型的办法测算树高;

第四,根据 $MOE = a_0 + a_1 DBH + a_2 SD + a_3 ST + a_4 CL + a_5 CW + \varepsilon_1^{[32]}$, 其中: $a_0、a_1、a_2、a_3、a_4、a_5$ 为回归系数; ε_1 为随机误差, DBH : 胸径, SD : 栽植密度(株数密度), ST : 树干尖削度, CL : 树冠高度(由树高-枝下高计算), CW : 冠幅, 求出 MOE 。根据相似的方法和步骤,估算出 MOR 、纤维形态等其它的材性指标;

最后,对以上所建立的关系模型,用没有参与建立模型的数据进行反复验证,最终确立遥感树冠因子与木材解剖、物理、化学性质及纸浆造纸性能间的数学关系模型,即可实现遥感技术—树冠特征(生长因子)—材性因子—经济利用价值的评价体系。

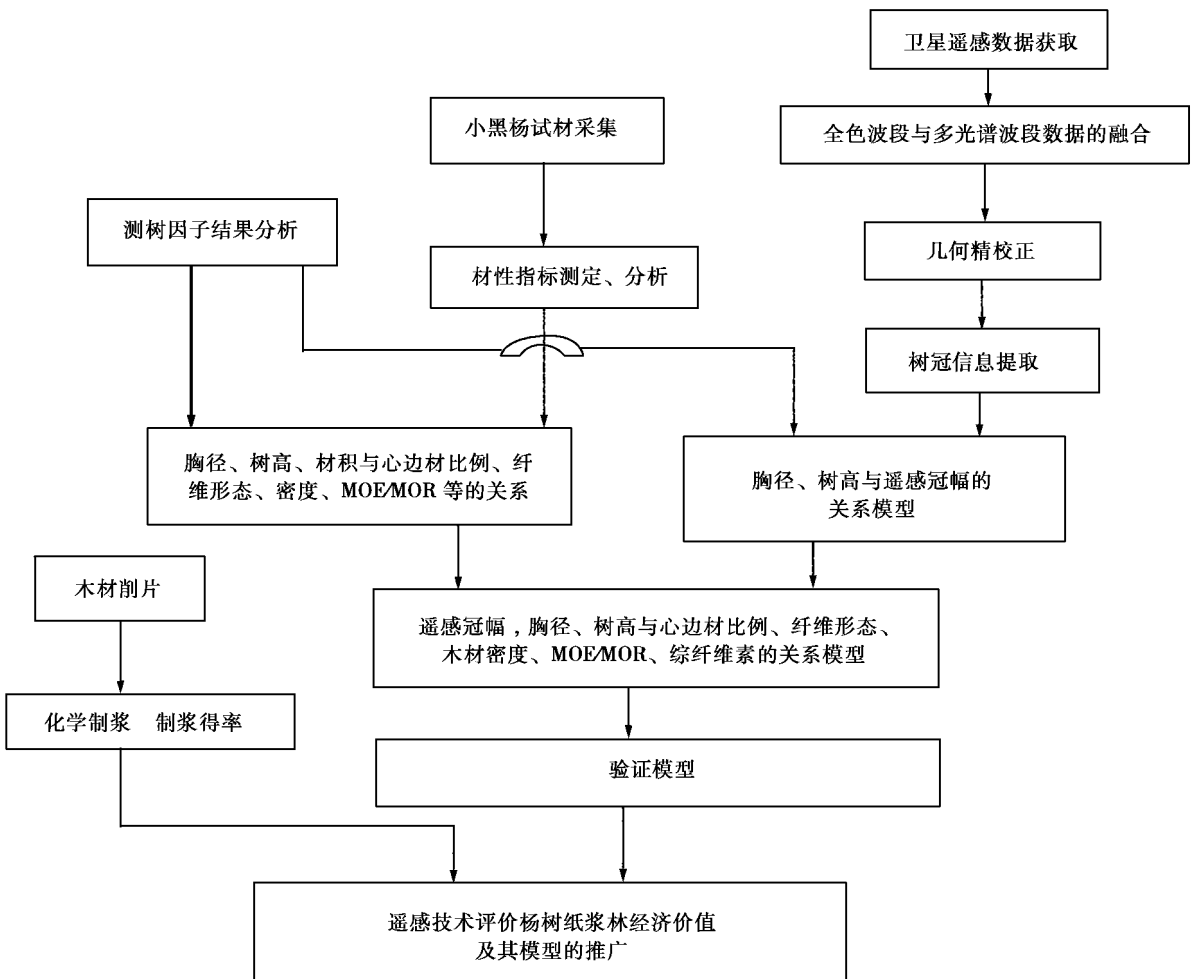


图 1 遥感技术预测木材性质的技术框架

根据遥感树冠与木材经济价值的关系, 可实现利用遥感技术对小黑杨人工林生长状况进行动态高效的监测和预测, 同时, 将树木的宏观控制与木材的具体应用紧密结合, 更好地分析和预测木材的产量、材性等级、用途, 使其在生长过程中能够朝着特定用途的方向发展, 从而有效地指导木材的合理加工与利用。依据各种树种木材性质本身固有的特点, 将此模型进行一些系数修正, 推广到其它的杨树人工林品种或无性系, 进而推广到我国主要的人工林及天然次生林树种。

总之, 利用遥感技术间接预测人工林木材产品的经济价值, 不仅是对人工林木材最终利用价值的预测, 而且可以预测大面积未采伐森林的经济价值。同时, 可以通过人工林木材最终利用价值的高低、木材产品品质的优劣, 在森林经营过程中控制营林密度等因子。

参考文献:

- [1] 浦瑞良, 宫鹏, 约翰 R. 米勒. 美国西部黄松叶面积指数与高光谱分辨率 CASI 数据的相关分析[J]. 环境遥感, 1993, 8(2): 112~ 114
- [2] 席建超, 张红旗, 张志强. 应用遥感数据反演针叶林有效叶面积指数[J]. 北京林业大学学报, 2004, 26(6): 36~ 39
- [3] Gougeon F. Recognizing the forest from the trees: Individual tree crown delineation, classification, and regrouping for inventory purposes [A]. In: Third International airborne remote sensing conference and exhibition [C]. Copenhagen, Denmark. ERM International, Ann Arbor, MI, 1997: 807~ 814
- [4] Pouliot D A, King D J, Bell F W, et al. Automated tree crown detection and delineation in high resolution digital camera imagery of coniferous forest regeneration[J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 82: 322~ 334
- [5] Hampus Holmström, Fransson J E S. Combining remotely sensed optical and radar data in KNN estimation of forest variables[J]. Forest Science, 2003, 49(3): 409~ 417
- [6] McCombs J W, Roberts S D, Evans D L. Influence of fusing lidar and multispectral imagery on remote sensed estimates of stand density and mean tree height in a managed Loblolly pine plantation[J]. Forest Science, 2003, 49(3): 457~ 466
- [7] 林辉, 宁晓波, 吕勇. 基于高分辨率卫星图象的立木材积表的编制[J]. 林业科学, 2004, 40(4): 33~ 39
- [8] 温志宏, 黄敏仁. 美洲黑杨冠层光截获特性的遗传学研究[J]. 南京林业大学学报, 1992, 16(3): 11~ 17
- [9] Cannell M G R. Physiological basis of wood production: a review [J]. Scand J For Res, 1989(4): 459~ 490
- [10] Larson P R. Wood formation and the concept of wood quality[J]. Yale University School of Forestry Bulletin, 1969, 74: 54
- [11] Denne M P, Dodd R S. The environmental control of xylem differentiation [A]. In: Barnett J R. Xylem Cell Development [M]. Castle House Publications, Tunbridge Wells, U K, 1981: 236~ 255
- [12] Amrasekara H S. Juvenile wood formation in relation to crown size in Corsican pine[D]. University College of North Wales, Bangor, 1990
- [13] Wellwood R W. Sapwood heartwood relationships in second growth Douglas fir[J]. Forest Prods J, 1955, 5(2): 108~ 111
- [14] Benič R. Investigation on the proportion, and some physical properties, of the sapwood and heartwood of *Fagus angustifolia*. Glasnik Šumske Pokuse, 1956, 12: 13~ 14
- [15] 马钦彦, 刘盛, 刘志刚. 树形管道模型原理[J]. 北京林业大学学报, 1991, 13(3): 84~ 91
- [16] Whitehead D W, Jarvis P G. Coniferous forests and plantations [A]. In: Kozłowski T T. Water Deficits and Plant Growth. VI. Woody Plant Communities[M]. Academic Press, London, 1981: 49~ 52
- [17] Grier C C, Waring R H. Conifer foliage mass related to sapwood area [J]. Forest Sci, 1974, 20: 205~ 206
- [18] 钱能志. 杉木叶量叶面积与边材面积关系研究[J]. 南京林业大学学报, 1989, 13(4): 75~ 79
- [19] Dean T J, Long J N. Variation in sapwood area leaf area relations within two stands of lodgepole pine[J]. For Sci, 1986, 32: 749~ 758
- [20] Espinosa Bancalari M A, Perry D A, Marshall J D. Leaf area sapwood area relationships in adjacent young Douglas fir stands with different early growth rates[J]. Can J For Res, 1987, 17: 174~ 180
- [21] Keane M G, Weetman G F. Leaf area sapwood cross sectional area relationships in repressed stands of lodgepole pine[J]. Can J For Res, 1987, 17: 205~ 209
- [22] Don White, Chris Beadle, Dale Worledge, et al. The influence of drought on the relationship between leaf and conducting sapwood area in *Eucalyptus globules* and *Eucalyptus nitens*[J]. Trees, 1998, 12: 406~ 414
- [23] Whitehead D. The estimation of foliage area from sapwood basal area in Scots pine[J]. Forestry, 1978, 51: 137~ 149
- [24] Ingrid de Kort, Veronique Loeffen, Pieter Baas. Ring width, density and wood anatomy of Douglas fir with different crown vitality[J]. IAWA Bulletin, 1991, 12(4): 453~ 465
- [25] Pazdrowski W. Interrelationship between some of the quantitative features of tree crowns and the macrostructure of pine (*Pinus sylvestris* L.) wood grown on a moist coniferous forest site[J]. Sylwan, 1995, 138: 79~ 88
- [26] Megraw R A. Wood Quality Factors in Loblolly Pine[M]. TAPPI Press, Atlanta, Ga, 1983: 88
- [27] Goggans J F. The interplay of environment and heredity as factors controlling wood properties in conifers with special emphasis on their effects on specific gravity[R]. Technical Report no 11, Forest Tree Improvement Program, North Carolina State College, 1961: 56
- [28] Denne M P, Calahan C M, Aebischer D P. Influence of growth rate and cambial age on density of rauli (*Nothofagus nervosa*) in relation to vessel lumen areas and numbers[J]. Holzforschung, 1999, 53: 199~ 203
- [29] Nyakuengama J G, Matheson C, Evans R, et al. Effect of age on genetic control of *Pinus radiata* earlywood and latewood properties[J]. Appia J, 2000, 53: 103~ 107
- [30] Rose J. The Radiation Regime and Architecture of Plant Stands[M]. Junk, The Hague, 1981
- [31] 成子纯. 森林测计学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1990: 98~ 99
- [32] Lei Y C, Zhang S Y, Jiang Zehui. Models for predicting lumber bending MOR and MOE based on tree and stand characteristics in black spruce [J]. Wood Science and Technology, 2005, 39(1): 37~ 47