

## ◆特邀栏目◆

基于树高和冠幅的广西桉树二元立木材积模型研建<sup>\*</sup>张 伟<sup>1</sup>,岑巨延<sup>2</sup>,冯建强<sup>1</sup>,谭昌师<sup>1</sup>,黄孝发<sup>1</sup>

(1.广西壮族自治区林业勘测设计院,广西南宁 530011;2.广西国有高峰林场,广西南宁 530001)

**摘要:**激光雷达在获取树高和冠幅等森林资源信息方面具有无可比拟的优越性,构建基于树高和冠幅的二元立木材积模型,可为激光雷达技术在森林蓄积量估测应用中提供计量依据。通过测定广西桉树(*Eucalyptus*)典型分布区 448 株样木的树高、冠幅、胸径等因子,采用非线性回归估计方法建立树高冠幅二元材积模型、树高一元材积模型、胸径树高二元材积模型、胸径一元材积模型和冠幅一元材积模型,并对模型进行检验评价。建立的 5 个模型确定系数分别为 0.969,0.875,0.994,0.945 和 0.588,总体误差分别为 0.29%、-1.94%、-0.26%、1.88%和 -2.82%,模型预估精度分别为 97.75%、95.38%、99.14%、96.95%和 91.72%;树高冠幅二元材积模型的模型总体检验、分树种检验、分段检验、分区检验和五折交叉检验,均符合林业数表编制的相关要求。树高冠幅二元材积模型各项指标显著优于树高一元材积模型和冠幅一元材积模型,与胸径树高二元材积模型接近,完全符合林业数表编制要求,可应用于基于机载激光雷达的森林资源调查和监测。

**关键词:**树高 冠幅 桉树 材积模型 广西

中图分类号:S758 文献标识码:A 文章编号:1005-9164(2022)04-0785-08

DOI:10.13656/j.cnki.gxkx.20220919.021

桉树(*Eucalyptus*)是世界上价值高、种植广泛的人工林树种之一,与杨树、松树并称为世界三大速生造林树种<sup>[1]</sup>。桉树人工林不仅能改善生态环境,而且在我国储备林建设及广西“造纸与木材加工”千亿元产业中也起着非常重要的作用,能带来显著的经济效益和社会效益<sup>[2]</sup>。2020年,广西桉树人工林种植面积超过 242 万  $\text{hm}^2$ 。桉树已成为我国南方重要的用材树种。

桉树作为广西森林资源的重要组成部分,准确计量其蓄积量,对桉树经营管理和完善森林调查计量体系均具有重要意义。传统的材积模型主要以胸径、树高为自变量,如已有的桉树二元材积模型主要是以胸径、树高为自变量,以多项式、山本和藏式等为基础模型结构的、超总体的二元材积模型<sup>[3]</sup>;或者是以胸径或树高为自变量,以多项式、幂函数式等为基础模型结构的、适应于某一总体的一元材积模型<sup>[4,5]</sup>。然

收稿日期:2022-01-28

<sup>\*</sup> 广西林业科研项目(桂林科研[2016]24号)和国家重点研发计划项目(2017YFD06000901)资助。

## 【作者简介】

张 伟(1979-),男,硕士,正高级工程师,主要从事森林资源调查监测研究,E-mail:zhwei1979@126.com。

## 【引用本文】

张伟,岑巨延,冯建强,等.基于树高和冠幅的广西桉树二元立木材积模型研建[J].广西科学,2022,29(4):785-792.

ZHANG W,CEN J Y,FENG J Q,et al. Study on Binary Volume Model for *Eucalyptus* Based on Tree Height and Crown Width in Guangxi [J]. Guangxi Sciences,2022,29(4):785-792.

而,在实际应用中树高和胸径数据的获取存在工作量大、劳动强度高、效率低等问题。另外,基于树高建立的一元材积模型精度难以满足现行林业数表编制技术规程的要求<sup>[4]</sup>,因此探索易于获取的参数用于立木材积模型的研建成为亟待解决的问题。

由于激光雷达技术在森林资源信息的估测中具有提高调查工作效率、保证调查质量的优势,因此其在林业调查监测中应用越来越广泛<sup>[6-11]</sup>。但是,由于无法获取胸径信息,激光雷达技术在基于胸径和树高的森林蓄积量估测中受到限制<sup>[10,12-14]</sup>。另外,因为激光雷达技术能准确地获取林木树高和冠幅数据,所以开展基于树高和冠幅的立木材积研究,对促进激光雷达技术在森林资源调查监测方面的应用具有十分重要的意义。

目前国内有少量基于树高和冠幅的立木材积模型研究,模型的确定系数大多在0.8左右,模型预估精度为92%–95%<sup>[15,16]</sup>。然而,在国内尚未见有满足林业数表编制要求,即预估精度达到97%<sup>[17,18]</sup>以上的、基于树高冠幅的二元立木材积模型报道。广西桉树人工林种植密度为1 200–1 650株/hm<sup>2</sup>,株数密度适中,在林木生长过程中基本不进行间伐和人工整枝,因此林木冠幅与林木胸径、材积之间的关系更为密切,为研究立木材积与胸径、树高、冠幅之间的关系提供了天然的实验场所。本研究以广西桉树典型分布区的样木实测数据为基础,构建基于树高和冠幅的二元立木材积模型,并对模型按树高分段、冠幅分段和分区域进行检验,再采用五折交叉验证法进行模型适用性检验,同时将其与相同样本数据建立的胸径树高二元材积模型、胸径一元材积模型、树高一元材积模型、树冠一元材积模型对比,验证基于树高和冠幅的桉树二元材积模型的可行性和适用性,拟为激光雷达技术在森林蓄积量估测中的应用提供准确可靠的计量依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 数据采集范围

根据桉树人工林在广西的分布情况,确定数据采集范围。采样时,综合考虑桉树人工林在广西分布的地理位置、气候条件、地貌、土壤等立地因素的差异,分别在广西桉树五大分布区——桂南、桂北、桂西、桂

东和桂中的典型区域进行采样,共包括14个地级市的33个县(区)和6个区直国有林场。

桂东区采样点位于贵港市平南县、桂平市,玉林市容县,梧州市苍梧县、岑溪市,贺州市的八步区、钟山县以及大桂山林场。桂南区采样点包括北海市合浦县,防城港市防城区、上思县,钦州市钦南区、浦北县,南宁市兴宁区、横州市、隆安县,崇左市龙州县、宁明县以及高峰林场、七坡林场、博白林场。桂西区采样点位于百色市右江区、德保县、田林县、西林县。桂北区采样点位于河池市金城江区、罗城仫佬族自治县、南丹县,柳州市的融水苗族自治县,桂林市平乐县、全州县、灵川县。桂中区采样点位于贵港市覃塘区,来宾市象州县、武宣县,柳州市柳城县、鹿寨县,以及三门江林场、黄冕林场。

### 1.2 数据采集方法

为保证桉树立木材积模型的精度和适用性,在样本组织方面尽可能扩大样本变量(树种、区域、胸径、树高、冠幅)的覆盖范围,以保证变量间相关规律的完整性、真实性和稳定性,为提高模型的预估精度、缩小模型应用的外推偏差打下基础<sup>[3]</sup>。根据已有的桉树人工林资料,依据样本在变量变幅范围内全部覆盖、均匀取样的原则,确定取样范围:按胸径分为6 cm、8 cm、10 cm、12 cm、14 cm、16 cm、18 cm、20 cm、22 cm、24 cm、26 cm以上共11个径阶取样点,每个径阶取样点样本30–35株,尽量按照大、中、小3个高径比等比采样。选定样木后进行伐前胸径( $D$ )、东西冠幅和南北冠幅测量;伐倒后测量树干高度( $H$ ),树干相对高0.1 $H$ 、0.2 $H$ 、0.3 $H$ 、0.4 $H$ 、0.5 $H$ 、0.6 $H$ 、0.7 $H$ 、0.8 $H$ 、0.9 $H$ 处的带皮直径,采用区分求积法计算树干材积,计算东西冠幅和南北冠幅的平均值作为冠幅直径( $C_w$ )。本研究共采集456株样木,通过绘制散点图,剔除8株胸径生长不正常的异常数据样木,将448株样木数据(样木按区域分桂东92株、桂南106株、桂西95株、桂北57株、桂中98株;按树种分尾巨桉/巨尾桉339株,尾叶桉109株)作为材积模型研建样本。样本在每个径阶点样本数量基本相当,在高径比和冠幅大、中、小范围上的数量均匀分布,达到了模型自变量胸径、树高、冠幅的全面覆盖与均匀配置。建模样本径阶、树高、冠幅分布情况详见表1。

表 1 桉树建模样本数据基本情况

Table 1 General situation of the sample data for *Eucalyptus* modelling

径阶(cm) Diameter class (cm)	株数(株) Plant number (ind.)	树高(m) Tree height (m)		冠幅(m) Tree crown (m)	
		平均值 Average value	取样区间 Sampling interval	平均值 Average value	取样区间 Sampling interval
6	36	10.09	8.0-12.5	1.74	1.15-2.75
8	35	12.90	9.1-16.5	2.03	1.25-3.40
10	40	14.46	9.7-17.8	2.28	1.40-3.75
12	41	17.30	10.50-20.80	2.47	1.50-4.40
14	43	18.68	13.20-22.30	3.15	1.50-4.55
16	43	20.19	13.80-25.60	3.64	2.60-4.75
18	42	22.47	17.0-28.5	3.72	2.70-4.85
20	43	24.89	18.5-36.0	4.32	3.00-6.00
22	41	25.41	20.2-38.4	4.97	3.50-6.45
24	40	27.12	20.3-38.5	5.22	3.55-7.55
≥26	44	33.83	21.1-41.5	6.13	3.60-9.50
Total/Average	448	20.20	8.0-41.5	3.47	1.15-9.50

### 1.3 建模方法

本研究因变量为材积( $V$ ),自变量主要选择树高( $H$ )和冠幅( $Cw$ ),采用同一套数据同时建立树高冠幅二元材积模型(模型 I)、树高一元材积模型(模型 II)、冠幅一元材积模型(模型 V),并与采用同一套数据建立的胸径树高二元材积模型(模型 III)和胸径一元材积模型(模型 IV)进行比较。模型拟合采用数据管理系统 Visual FoxPro 作为软件开发平台,研建模型拟合程序系统,并结合唐守正等<sup>[19]</sup>开发的 Forstat 互为辅助,采用麦夸尔特迭代法进行模型拟合。模型结构如下:

$$\text{模型 I, } V = c_1 \times H^{c_2} \times Cw^{c_3};$$

$$\text{模型 II, } V = c_1 \times H^{c_2};$$

$$\text{模型 III, } V = c_1 \times D^{c_2} \times H^{c_3};$$

$$\text{模型 IV, } V = c_1 \times D^{c_2};$$

$$\text{模型 V, } V = c_1 \times Cw^{c_2}.$$

式中: $V$ 为立木材积, $D$ 为胸径, $H$ 为树高, $Cw$ 为冠幅(直径), $c_1, c_2, c_3$ 为模型参数。

### 1.4 模型检验指标

在评价检验立木材积模型时,将确定系数( $R^2$ )、估计值的标准差(SEE)、总相对误差(TRE)、平均相对误差(MSE)、相对误差绝对值(MPSE)和预估精度( $P$ )6项作为评价指标<sup>[20-22]</sup>,分别从模型总体检验、分段检验和独立样本检验等方面对建立的模型进行

评价与检验。主要评价指标公式如下:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2},$$

$$SEE = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{n - q}},$$

$$TRE = \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)}{\sum \hat{y}_i} \times 100\%,$$

$$MSE = \left[ \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)}{\sum \hat{y}_i} \right] \div n \times 100\%,$$

$$MPSE = \frac{\sum |(y_i - \hat{y}_i) \div \hat{y}_i|}{n} \times 100\%,$$

$$P = (1 - t_\alpha \times \frac{SEE}{\bar{y}} \div \sqrt{n}) \times 100\%,$$

式中: $y_i$ 为实际观测值, $\hat{y}_i$ 为模型估计值, $\bar{y}$ 为样本平均值, $n$ 为样本数, $q$ 为参数个数, $t_\alpha$ 为置信水平为95%时的 $t$ 值。

### 1.5 异方差的处理

很多材积和生物量模型中普遍存在异方差的问题。为消除模型中可能存在的异方差,本研究采用加权回归方法处理异方差的影响,选择原函数的倒数作为权函数来解决异方差问题<sup>[23]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 模型拟合结果

基于建模样本数据,利用计算机模型拟合系统,得到5个模型的拟合结果,详见表2。5个模型中,参数 $c_1$ 和 $c_2$ 的变动系数分别为2.12%~97.75%、5.35%~18.06%, $c_3$ 的变动系数在模型I和模型III中分别为5.94%和3.48%。拟合的5个模型中,树

高冠幅二元材积模型(模型 I)、胸径树高二元材积模型(模型 III)和胸径一元材积模型(模型 IV)变动系数均小于 50%,符合林业数表编制相关要求。树高一

元材积模型(模型 II)和冠幅(Cw)一元材积模型(模型 V)变动系数大于 50%,尚达不到林业数表编制相关要求。

表 2 模型拟合结果

Table 2 Results of model regression

模型 Model	参数 $c_1$ Parameter $c_1$	参数 $c_2$ Parameter $c_2$	参数 $c_3$ Parameter $c_3$
Model I	$4.05602 \times 10^{-5}$ (47.37%)	2.444 21 (12.16%)	0.861 34 (5.94%)
Model II	$3.16128 \times 10^{-5}$ (97.75%)	2.916 35 (9.30%)	-
Model III	$4.63006 \times 10^{-5}$ (2.12%)	1.630 74 (5.37%)	1.264 21 (3.48%)
Model IV	$2.99962 \times 10^{-4}$ (43.62%)	2.370 13 (5.35%)	-
Model V	$2.51672 \times 10^{-2}$ (60.07%)	1.837 63 (18.06%)	-

Note: Data in brackets are parameter variation coefficients; "-" indicates no data

## 2.2 模型检验与评价

### 2.2.1 模型总体检验与评价

5个模型的模型总体检验指标如表3所示。根据我国现行林业数表编制要求<sup>[17,18]</sup>,立木材积模型检验的总相对误差绝对值和平均相对误差绝对值要小于3%,相对误差绝对值要小于10%,预估精度大于97%。依据以上规范,结合模型总体检验结果可知模型I和模型III的整体预估效果都较好(预估精度大于97%),二元材积模型总体检验各项指标明显优于一元材积模型。

表 3 模型总体检验指标

Table 3 Overall test index for the model

模型 Model	检验指标 Inspection index					
	$R^2$	SEE ( $m^3$ )	TRE (%)	MSE (%)	MPSE (%)	P (%)
Model I	0.969	0.061	0.29	1.42	9.61	97.75
Model II	0.875	0.132	-1.94	-10.17	26.36	95.38
Model III	0.994	0.023	-0.26	-1.09	4.89	99.14
Model IV	0.945	0.074	-1.88	-10.50	16.11	96.95
Model V	0.588	0.224	-2.82	-11.79	50.01	91.72

### 2.2.2 模型分树种检验与评价

广西桉树以尾巨桉(*Eucalyptus urophylla* × *E. grandis*)/巨尾桉(*E. grandis* × *E. urophylla*)无性系为主,此外还有部分尾叶桉(*E. urophylla*),因此按照尾巨桉/巨尾桉和尾叶桉两个树种(组)对5个模型进行检验。结果表明,模型I和模型III在两个树种(组)上的TRE绝对值、MSE绝对值均小于5%;模型II在两个树种(组)上的TRE绝对值、MSE绝对值均超过5%;其他模型在分树种(组)检验上均有TRE

绝对值和MSE绝对值超过5%的现象,二元材积模型分树种(组)检验的各项指标明显优于一元材积模型。模型分树种(组)检验指标详见表4。

表 4 模型树种分段检验指标

Table 4 Species sectional test index of model

模型 Model	树种(组) Species (group)	TRE (%)	MSE (%)
Model I	<i>E. urophylla</i> × <i>E. grandis</i> / <i>E. grandis</i> × <i>E. urophylla</i>	-1.07	0.38
	<i>E. urophylla</i>	-4.06	3.81
Model II	<i>E. urophylla</i> × <i>E. grandis</i> / <i>E. grandis</i> × <i>E. urophylla</i>	-6.52	-13.95
	<i>E. urophylla</i>	16.35	6.42
Model III	<i>E. urophylla</i> × <i>E. grandis</i> / <i>E. grandis</i> × <i>E. urophylla</i>	-0.40	-0.36
	<i>E. urophylla</i>	0.85	-0.15
Model IV	<i>E. urophylla</i> × <i>E. grandis</i> / <i>E. grandis</i> × <i>E. urophylla</i>	1.96	-5.42
	<i>E. urophylla</i>	-8.85	-8.73
Model V	<i>E. urophylla</i> × <i>E. grandis</i> / <i>E. grandis</i> × <i>E. urophylla</i>	3.28	-4.01
	<i>E. urophylla</i>	13.58	11.70

### 2.2.3 模型按胸径分段检验与评价

根据桉树样木胸径数据分布范围,将胸径分为 $D < 12$  cm、 $12 \text{ cm} \leq D \leq 18$  cm、 $D > 18$  cm 3个分段对5个模型进行检验,结果表明模型I和模型III在3个胸径分段上的TRE绝对值、MSE绝对值均小于5%;而模型II和模型V在3个胸径分段的TRE绝对值均超过5%,最高达到58.43%;MSE绝对值也均超过10%,最大达到49.22%;模型IV在胸径 $D < 12$  cm和 $12 \text{ cm} \leq D \leq 18$  cm分段上TRE绝对值超过5%,MSE绝对值在胸径 $D < 12$  cm分段上超过10%

(表5)。按胸径分段检验,二元材积模型的各项指标明显优于一元材积模型,树高冠幅二元材积模型与胸径树高材积模型各项指标相近。

表5 模型胸径分段检验指标

Table 5 Tree DBH test index of the model

模型 Model	胸径(cm) DBH (cm)	TRE (%)	MSE (%)
Model I	$D < 12$	3.23	-0.57
	$12 \leq D \leq 18$	-1.28	1.28
	$D > 18$	0.94	3.05
Model II	$D < 12$	-33.15	-29.29
	$12 \leq D \leq 18$	-14.43	-10.63
	$D > 18$	5.33	10.79
Model III	$D < 12$	-2.52	-1.68
	$12 \leq D \leq 18$	-1.20	-1.63
	$D > 18$	0.14	0.39
Model IV	$D < 12$	-12.57	-14.06
	$12 \leq D \leq 18$	-7.71	-8.06
	$D > 18$	0.93	0.74
Model V	$D < 12$	-58.43	-49.22
	$12 \leq D \leq 18$	-29.95	-20.31
	$D > 18$	20.04	35.99

#### 2.2.4 模型按树高分段检验与评价

根据桉树树高分布实际,将树高分为  $H < 16$  m、 $16 \leq H \leq 22$  m、 $H > 22$  m 3个分段对5个模型进行检验,结果表明模型I和模型III在3个树高分段上的TRE绝对值均小于5%,MSE绝对值也都小于5%;模型II和模型IV在树高  $H < 16$  m 分段上的TRE绝对值均超过5%,MSE绝对值超过10%;模型II在树高  $16 \text{ m} \leq H \leq 22 \text{ m}$  分段上的MSE绝对值超过10%,模型IV在树高  $16 \text{ m} \leq H \leq 22 \text{ m}$  分段上的TRE绝对值超过5%;模型V在3个树高分段上的TRE绝对值均超过5%,树高  $H < 16$  m 分段的误差达到-65.82%,MSE绝对值也均超过10%(表6)。在树高分段检验上,二元材积模型的各项指标明显优于一元材积模型,树高冠幅二元材积模型与胸径树高材积模型各项指标相近。

#### 2.2.5 模型分区域检验与评价

根据广西桉树种植地分布,将桉树分为桂东、桂南、桂西、桂北和桂中5个分区,对总体检验和胸径树高分段检验均符合立木材积数表编制要求的树高冠幅二元材积模型和胸径树高二元材积模型这2个模

型进行分区检验,结果表明2个模型在5个分区检验的TRE绝对值和MSE绝对值均小于5%(表7),树高冠幅二元材积模型的各项指标比较接近于胸径树高二元材积模型。

表6 模型树高分段检验指标

Table 6 Tree height test index of the model

模型 Model	树高(m) H (m)	TRE (%)	MSE (%)
Model I	$H < 16$	-0.84	1.51
	$16 \leq H \leq 22$	3.64	3.04
	$H > 22$	-0.43	-0.22
Model II	$H < 16$	-23.57	-23.02
	$16 \leq H \leq 22$	-8.86	-10.96
	$H > 22$	1.63	2.02
Model III	$H < 16$	-0.92	-0.68
	$16 \leq H \leq 22$	-1.44	-2.51
	$H > 22$	0.07	1.75
Model IV	$H < 16$	-19.77	-17.97
	$16 \leq H \leq 22$	-13.92	-9.41
	$H > 22$	3.41	4.31
Model V	$H < 16$	-65.82	-59.02
	$16 \leq H \leq 22$	-33.65	-20.32
	$H > 22$	24.90	38.35

表7 模型分区检验指标

Table 7 Regions test index for the model

模型 Model	地区 Region	TRE(%)	MSE(%)
Model I	Eastern Guangxi	-1.76	-2.04
	Southern Guangxi	2.18	4.63
	Western Guangxi	-3.81	-1.60
	Northern Guangxi	-4.45	-2.37
	Central Guangxi	-0.95	4.46
Model III	Eastern Guangxi	-1.39	-2.11
	Southern Guangxi	0.24	-0.32
	Western Guangxi	-2.94	-3.12
	Northern Guangxi	-0.81	-0.62
	Central Guangxi	-0.15	-1.17

#### 2.2.6 交叉检验评价

为进一步检验桉树树高冠幅二元材积模型和胸径树高二元材积模型的适用性,采用五折交叉验证法加以检验,即将原始数据集随机划分为样本数量近乎

相等的5个子集, 轮流将其中的4个子集合并作为建模样本, 剩下的1个子集作为检验样本。树高冠幅二元材积模型五折交叉检验的TRE、MSE平均值分别为0.49%和-2.82%, 胸径树高二元材积模型五折交叉检验的TRE、MSE平均值分别为-0.38%和-1.46%, 检验结果在精度范围之内, 表明树高冠幅二元材积模型的适用性接近于胸径树高二元材积模型。

### 3 讨论

利用树高、胸径、冠幅等调查因子的实测数据估算森林蓄积量和生物量是森林资源监测常用的方法。激光雷达可以快速高效地获取树高和树冠等森林结构参数<sup>[24,25]</sup>, 从而为材积估计提供新视角<sup>[15]</sup>。大量的研究和长期的实践工作表明, 胸径树高二元材积模型是森林蓄积量清查中最常用的计量依据<sup>[3,17,22]</sup>, 然而, 胸径和树高的获取存在劳动强度大、效率低的问题<sup>[7]</sup>, 激光雷达技术的应用使得由传统的树高和胸径建立的二元材积模型转为由树高和冠幅建立的二元材积模型成为可能<sup>[15,16]</sup>。蒲莹等<sup>[15]</sup>研究发现, 基于树高和冠幅建立的云杉、冷杉、栎树、桦树4个树种(组)立木材积模型, 预估精度达95%。本研究通过分析分布于广西桉树典型分布区的448株桉树样本实测数据, 发现胸径与冠幅之间呈较强的相关性, 这与一些学者的研究结果<sup>[15,16]</sup>一致。本研究基于树高冠幅建立的桉树二元材积模型的总体预估精度 $P$ 达97.75%, 确定系数 $R^2$ 达0.969, 高于已发表的马尾松、云杉、冷杉、栎树和桦树等树种的树高冠幅二元材积模型<sup>[15,16]</sup>, 这可能与树种不同有关。此外, 采集的样本均为桉树人工林, 种植密度适中, 差异不大, 冠幅生长受密度影响较小; 在经营过程中极少有人为整枝, 冠幅受人为干扰少, 这可能是本研究的模型预估精度优于已发表的其他树种树高冠幅二元材积模型的主要原因。基于树高和冠幅的二元材积模型在人工整枝比较少、种植密度差异不大的桉树林分中应用取得比较高的精度, 但在种植密度差异较大、人工整枝强度大的林分中应用还需进一步研究。

### 4 结论

南方人工林森林经营活动频繁, 森林资源调查和监测任务繁重, 激光雷达技术在森林资源调查监测中具有广阔的应用前景。本研究使用激光雷达技术所获取的数据构建桉树树高冠幅二元材积模型, 通过比

较分析拟合的5个模型, 研建的基于树高和冠幅的二元材积模型预估精度和各项指标与胸径树高二元材积模型接近, 且各项指标均优于树高一元材积模型、胸径一元材积模型、冠幅一元材积模型; 模型总相对误差为0.29%, 显著小于3%; 相对误差绝对值9.61%, 小于10%; 预估精度达到97.75%, 大于97%, 总体检验各项指标完全符合林业数表模型编制的精度要求。模型在分树种、胸径分段、树高分段、分区域和五折交叉检验中总相对误差和平均相对误差均达到林业数表相关要求。研建的基于树高和冠幅的二元材积模型精度高、误差小, 可以较好地应用激光雷达测量数据进行森林蓄积量的测算, 对于提高森林资源调查监测效率和精度具有重要作用。

### 参考文献

- [1] 杨章旗. 广西桉树人工林引种发展历程与可持续发展研究[J]. 广西科学, 2019, 26(4): 355-361.
- [2] 项东云. 华南地区桉树人工林生态问题的评价[J]. 广西林业科学, 2000, 29(2): 57-64, 86.
- [3] 岑巨延. 广西桉树人工林二元立木材积动态模型研制[J]. 华南农业大学学报, 2007, 28(1): 91-95.
- [4] 贺鹏, 贺东北. 海南省主要人工林树种树高一元材积模型构建[J]. 中南林业调查规划, 2018, 37(3): 42-46.
- [5] 曾亚林. 桉树一元材积方程的研究[J]. 福建林业科技, 2006, 33(3): 101-104.
- [6] KNAAP N, FISCHER R, CAZCARRA-BES V, et al. Structure metrics to generalize biomass estimation from LiDAR across forest types from different continents [J]. Remote Sensing of Environment, 2020, 237: 111597. DOI:10.1016/j.rse.2019.111597.
- [7] 李春干, 李振. 机载激光雷达大区域亚热带森林参数估测的普适性模型[J]. 林业科学, 2021, 57(10): 23-35.
- [8] 刘海, 苏本跃. 基于激光雷达数据的森林蓄积量模型反演及精度估算[J]. 安徽工程大学学报, 2021, 36(4): 34-40.
- [9] 杜志, 陈振雄, 马开森, 等. 基于无人机 LiDAR 特征变量的南方集体林区蓄积量估测[J]. 林业资源管理, 2021(4): 157-165.
- [10] 张国飞, 岳彩荣, 王雷光, 等. 运用机载激光雷达数据和立地质量分级对亚热带森林蓄积量遥感反演[J]. 东北林业大学学报, 2020, 48(7): 60-65.
- [11] 庞勇, 李增元, 陈尔学, 等. 激光雷达技术及其在林业上的应用[J]. 林业科学, 2005, 41(3): 129-136.
- [12] BANSKOTA A, WYNNE R H, JOHNSON P, et al. Synergistic use of very high-frequency radar and discrete-return lidar for estimating biomass in temperate

- hardwood and mixed forests [J]. *Annals of Forest Science*, 2011, 68(2): 347-356.
- [13] SKOVSGAARD J P, VANCLAY J K. Forest site productivity: A review of spatial and temporal variability in natural site conditions [J]. *Forestry*, 2013, 86(3): 305-315.
- [14] STARK S C, LEITOLD V, WU J L, et al. Amazon forest carbon dynamics predicted by profiles of canopy leaf area and light environment [J]. *Ecology Letters*, 2012, 15(12): 1406-1414.
- [15] 蒲莹, 曾伟生. 基于树高和树冠因子的立木材积模型研究[J]. *林业科学研究*, 2016, 29(2): 196-201.
- [16] 贺鹏, 贺东北, 陈振雄, 等. 基于树高和树冠因子的立木材积与地上生物量相容模型研究[J]. *中南林业科技大学学报*, 2020, 40(4): 28-33.
- [17] 国家林业局. 中华人民共和国林业行业标准 二元立木材积表编制技术规程: LY/T 2102-2013 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
- [18] 中华人民共和国林业部. 林业专业调查主要技术规定 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1990.
- [19] 唐守正, 郎奎建, 李海奎. 统计和生物数学模型计算 (ForStat 教程) [M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [20] 曾伟生, 唐守正. 立木生物量方程的优度评价和精度分析[J]. *林业科学*, 2011, 47(11): 106-113.
- [21] 曾伟生, 骆期邦, 贺东北. 论加权回归与建模[J]. *林业科学*, 1999, 35(5): 5-11.
- [22] 张伟, 岑巨延, 秦旭东. 广西杉木胸径和树高二元立木材积模型研究[J]. *广西林业科学*, 2020, 49(3): 397-402.
- [23] 张会儒, 唐守正, 胥辉. 关于生物量模型中的异方差问题[J]. *林业资源管理*, 1999(1): 46-49.
- [24] 全迎, 李明泽, 甄贞, 等. 运用无人机激光雷达数据提取落叶松树冠特征因子及树冠轮廓模拟[J]. *东北林业大学学报*, 2019, 47(11): 52-58.
- [25] 徐志扬, 刘浩栋, 陈永富, 等. 基于无人机 LiDAR 的杉木树冠上部外轮廓模拟与可视化研究[J]. *林业科学研究*, 2021, 34(4): 40-48.

## Study on Binary Volume Model for *Eucalyptus* Based on Tree Height and Crown Width in Guangxi

ZHANG Wei<sup>1</sup>, CEN Jüyan<sup>2</sup>, FENG Jianqiang<sup>1</sup>, TAN Changshi<sup>1</sup>, HUANG Xiaofa<sup>1</sup>

(1. Guangxi Forestry Survey and Design Institute, Nanning, Guangxi, 530011, China; 2. Guangxi Gaofeng State Owned Forest Farm, Nanning, Guangxi, 530001, China)

**Abstract:** Laser radar has incomparable superiority in obtaining forest resources information such as tree height and crown width. The construction of binary volume model based on tree height and crown width can provide measurement basis for the application of laser radar technology in forest volume estimation. By measuring the factors such as tree height, crown width and diameter at breast height (DBH) of 448 sample trees in the typical distribution area of *Eucalyptus* in Guangxi, the binary volume model of tree height and crown width, the unitary volume model of tree height, the binary volume model of tree height and diameter at breast height, the unitary volume model of tree diameter at breast height and the unitary volume model of crown width were established by nonlinear regression estimation method, and the models were tested and evaluated. The determination coefficients of the five models were 0.969, 0.875, 0.994, 0.945 and 0.588, respectively. The overall errors were 0.29%, -1.94%, -0.26%, 1.88% and -2.82%, respectively. The model prediction accuracy was 97.75%, 95.38%, 99.14%, 96.95% and 91.72%, respectively. The model overall test, tree species test, segmentation test, zoning test and five-fold cross test of the binary volume model of the high crown width of the tree all meet the relevant requirements for the compilation of forestry tables. The indexes of the binary volume model of tree height and crown width are significantly better than those of the unitary volume

model of tree height and crown width, which are close to the binary volume model of DBH and tree height. It fully meets the requirements of forestry data table compilation and can be applied to forest resource survey and monitoring based on airborne laser radar.

**Key words:** tree height; crown width; *Eucalyptus*; volume model; Guangxi

责任编辑:米慧芝

### 《广西科学》首届医学编委会主任李浪教授荣获第十三届中国医师奖

8月19日,《广西科学》首届医学编委会主任、广西医科大学第一附属医院心血管内科李浪教授荣获第十三届中国医师奖。这是今年广西唯一一位获此殊荣的医师。当天,李浪教授在北京参加了隆重的2022年中国医师节庆祝大会暨第十三届中国医师奖颁奖大会。

李浪教授是广西医科大学第一附属医院心血管内科二级教授、主任医师、博士生导师。广西医科大学科技处处长,国家卫生健康突出贡献中青年专家,中华医学会心血管病学分会委员、心血管急重症学组副组长,中国医师协会心血管内科医师分会常委、指南与专家共识学组副组长,中国医促会心血管健康医学分会副主委,国家心血管病临床医学研究中心分中心主任,国家放射与治疗临床医学研究中心分中心主任,美国心脏病学会专家会员(FACC)、欧洲心脏病学会专家会员(FESC)、亚太介入心脏病学会委员(FAICT)、《广西科学》首届医学编委会主任《中华心血管病杂志》等杂志编委,广西心血管疾病介入诊疗技术质控中心主任、广西胸痛中心联盟主席,广西优秀专家、广西高层次人才、广西医学高层次人才领军人才。

据了解,中国医师奖是2003年卫生部批准设立的中国医师行业最高奖,其宗旨是通过表彰奖励医师队伍中做出突出贡献的优秀代表,展示当代医师救死扶伤、爱岗敬业、乐于奉献、文明行医的精神风貌。

来源:广西医科大学第一附属医院



微信公众号投稿更便捷

联系电话:0771-2503923

邮箱:gxkx@gxas.cn

投稿系统网址:<http://gxkx.ijournal.cn/gxkx/ch>