

橡胶树生物量估测的数学模型*

周再知 郑海水 尹光天 杨曾奖 陈康泰

摘要 依据生物体各部分器官与测树因子之间存在着相对生长规律,以树围(G)和 D^2H 为自变量建立橡胶树叶、树干、小枝、树根、树头、地上、地下部分及全株生物量估测模型,经综合检验,确认以树围为自变量的模型优于以 D^2H 为自变量的模型。并利用此模型对更新橡胶林的生物量进行了估测,同时建立了橡胶树生物量表。

关键词 橡胶树、生物量、数学模型

随着生产的发展和对资源的开发利用,生物生产量(生物量)的研究愈来愈引起人们的关注。生物量是森林生态系统的最基本的数量特征,也是森林生态系统初级生产力,能量固定、消耗、分配和积累,养分分配与循环研究的重要基础指标^[1]。准确的测定和估测生物量有着重大的现实意义和理论意义。在生物量的测定上,世界各国普遍利用易测的测树因子建立数学模型来估测林木各器官的生物量,从而估算林分的生物量,实践证明这是一种节省人力、物力,破坏性小,方便可靠的方法。

橡胶树(*Hevea brasiliensis* (H. B. K) Muell. -Arg)原产于巴西亚马逊河,1904年引入我国,先后在云南、海南、广东雷州半岛等地大面积种植,获得了成功,并逐步在华南5个省区的南部推广,至今种植面积已达60万 hm^2 ,居世界第四位。橡胶树不仅可以用于生产橡胶水,其木材也是良好的用材,可用于制造各种家具、纤维板、刨花板、中密度纤维板,具有较高的价值。自1965年马来西亚科学家肖罗克斯(Shorrocks)利用516株疏伐胶树建立地上部分生物量与树围的幂函数回归方程后,国内开展有关橡胶林生物量研究都是依据这一方程估算。可是这一估测方程往往过大地估计了大径阶胶树的生物量^[2]。1978~1980年华南热带作物研究所和保亭热带作物研究所在海南岛的一些试验林及更新胶林内进行了生物量估测研究,建立了估测模型。在广东省雷州半岛植胶区,尚未开展这方面的研究工作。橡胶树与其它树木不同,定植后一般不允许砍伐(橡胶树的更新年龄一般为25~30a),如没有生物量估测模型可利用,就会限制对林分的进一步评价与研究。本研究目的在于建立橡胶树各器官生物量,地上、地下部分及整株树生物量的估测模型,并利用此模型对更新胶林(老胶林)的生物量进行估算。

1 调查地自然概况

调查地设在广东省雷州半岛地区的徐闻县国营南华农场,位于 $20^{\circ}11' \text{N}$, $110^{\circ}11' \text{E}$,属热带季风气候区。年均气温 22.7°C ,年均相对湿度85%,年平均降水量1579.3mm。受干热季

1994-12-28收稿。

周再知助理研究员、郑海水、尹光天、杨曾奖(中国林业科学研究院热带林业研究所 广州 510520);陈康泰(广东省徐闻县国营南华农场)。

* 本研究为加拿大IDRC资助的“华南热带农用林模式综合研究项目”研究内容之一。

风影响,干湿季分明,雨量多,但分配不均。11~4 月为旱季,5~10 月为雨季,因受台风影响,大部分降水集中在 7~9 月。地势平缓。土壤为玄武岩发育成的铁质砖红壤,土层深厚。

2 研究方法

2.1 生物量测定与取样

分别在毗邻的幼龄、中龄及更新胶林内(种植株行距 3 m×6 m)设置样地,面积为 50 m×50 m。在样地内按径级选伐 1~6 株标准木。样木共计 50 株,径级范围 2~22 cm,树高范围 2.5~12.8 m。伐倒标准木前测定胸径、冠幅,伐倒后测定树高、枝下高;测定每个区分段中央带皮径和去皮径及大枝基径。样木各器官的生物量采用全部称重法测定,即干材和大枝(基径>4 cm)采用 1 m 的区分段称鲜重;枝叶全部摘除后称叶及小枝鲜重;地下部分全部挖出后,分树头和根称鲜重。采集的各器官样品置于通风干燥箱内,在 85 °C 恒温下烘至恒重,求出干鲜比,并将样木各器官鲜重换算成干重。由于橡胶树分枝较粗大,故将基径大于 4 cm 的枝材并为干材计算。

2.2 数学模型的建立

据英国 J. S. Huxley 的理论,生物体各部分器官与测树因子之间普遍存在着相对生长规律,这种生长规律可用数学式表达^[3]。在建立数学模型之前,首先分别以树围 G (距地 130 cm 处), $D'H$ (D 为胸径, H 为树高)为横坐标,以胶树生物量为纵坐标,绘制样本散点图,分析其变化规律,剔除异常样本(文中仅剔除一个样本),然后利用最小二乘法拟合在橡胶树生物量研究中常用的幂函数 $W=a(G)^b$, $W=a(D^2H)^b$ (线性表达式为 $\ln(W)=\ln a+b \ln(G)$, $\ln(W)=\ln a+b \ln(D^2H)$)建立树叶、枝、干、树头、根的带皮和去皮重量,地上、地下部分重量,树皮总重,全树总重量的数学模型。

2.3 数学模型的检验

利用剩余标准差(S)、相关系数(R)及方差比(F)检验胶树各器官生物量与树围回归关系显著性及拟合精度;用更直观的指标——相对误差估计值(E)即回归估计标准差的反对数来检验所建模型的相对精度^[4]。就生物量模型的检验而言,拟合精度除用 S 、 R 、 F 和 E 判断外,更主要的还应检验模型总的系统偏差。总系统偏差应在 ±3% 范围内,最大不应超过 ±5%。只用相关系数和 F 检验确定拟合精度是片面的,因为尽管相关系数很大,且达到极显著水平,模型总的系统偏差可能会超过 ±5%。

2.4 橡胶林生物量估算

在林龄 25 a,株行距为 3 m×6 m 更新胶林内,随机设置 3 个 25 m×25 m 的样地,在样地内实测每株胶树的树围。按表 2 所建最优模型估算胶树各器官的生物量,然后推算林分每公顷生物量。因生物量幂函数的对数转换过程中所产生的系统偏差对估计林分生物量影响较小,故偏差的校正被忽略。

3 结果分析

3.1 生物量模型

胶树各器官生物量估测数学模型列入表 1。由表 1 可见,无论是以 G 为自变量,还是以

表1 橡胶树生物量估测的数学模型及相关检验

组分	变量	方 程	E 值	剩余标准差	相关系数	方差比
树叶	G	$\ln W_l = 1.754\ 54 \ln G - 4.918\ 45$	1.296 1	0.259 3	0.976 9	982.712
	D^2H	$\ln W_l = 0.674\ 11 \ln D^2H - 3.365\ 56$	1.350 2	0.300 33	0.968 9	721.099
小枝	$G^{①}$	$\ln W_b = 2.556\ 56 \ln G - 6.668\ 21$	1.288 1	0.253 2	0.984 8	1 449.745
	$G^{②}$	$\ln W_b = 2.540\ 46 \ln G - 6.824\ 87$	1.277 9	0.245 2	0.989 0	1 525.989
	$D^2H^{①}$	$\ln W_b = 0.984\ 62 \ln D^2H - 4.437\ 29$	1.363 9	0.310 3	0.982 6	953.455
	$D^2H^{②}$	$\ln W_b = 0.979\ 02 \ln D^2H - 4.611\ 79$	1.346 8	0.297 7	0.983 8	1 024.045
树干	G	$\ln W_s = 2.587\ 18 \ln G - 5.949\ 85$	1.269 5	0.238 6	0.990 8	2 525.045
	G	$\ln W_s = 2.555\ 34 \ln G - 5.993\ 27$	1.278 1	0.245 4	0.990 1	2 328.255
	D^2H	$\ln W_s = 1.005\ 08 \ln D^2H - 3.727\ 72$	1.219 7	0.198 6	0.993 7	3 665.998
	D^2H	$\ln W_s = 0.993\ 45 \ln D^2H - 3.803\ 00$	1.217 3	0.196 7	0.993 6	3 651.022
树根	G	$\ln W_r = 3.099\ 68 \ln G - 10.575\ 8$	1.287 1	0.252 4	0.994 9	1 581.881
	G	$\ln W_r = 3.557\ 08 \ln G - 13.000\ 3$	1.218 8	0.197 9	0.989 6	662.779
	D^2H	$\ln W_r = 1.185\ 43 \ln D^2H - 7.727\ 48$	1.294 9	0.258 5	0.994 7	1 508.064
	D^2H	$\ln W_r = 1.342\ 81 \ln D^2H - 9.572\ 97$	1.349 5	0.299 8	0.976 0	280.943
树头	G	$\ln W_h = 2.178\ 87 \ln G - 5.478\ 83$	1.289 0	0.253 9	0.984 5	1 228.438
	G	$\ln W_h = 2.152\ 63 \ln G - 5.444\ 55$	1.290 4	0.254 9	0.983 0	1 116.753
	D^2H	$\ln W_h = 0.841\ 13 \ln D^2H - 3.575\ 58$	1.329 1	0.284 5	0.980 5	970.098
	D^2H	$\ln W_h = 0.800\ 81 \ln D^2H - 3.331\ 96$	1.373 9	0.317 6	0.973 5	705.449
地上部分 总量	G	$\ln W_o = 2.446\ 33 \ln G - 4.985\ 44$	1.208 8	0.189 6	0.993 7	3 533.058
	D^2H	$\ln W_o = 0.947\ 60 \ln D^2H - 2.862\ 65$	1.233 6	0.209 9	0.992 3	2 874.115
地下部分 总量	G	$\ln W_u = 2.217\ 35 \ln G - 5.446\ 90$	1.286 7	0.252 1	0.985 5	1 278.253
	D^2H	$\ln W_u = 0.856\ 76 \ln D^2H - 3.504\ 37$	1.320 3	0.277 9	0.982 3	1 045.198
树皮 总量	G	$\ln W_p = 2.649\ 08 \ln G - 7.445\ 99$	1.331 9	0.286 6	0.989 0	1 790.777
	D^2H	$\ln W_p = 1.022\ 46 \ln D^2H - 5.128\ 18$	1.413 5	0.346 0	0.983 9	1 215.833
全树总 生物量	G	$\ln W_t = 2.402\ 05 \ln G - 4.580\ 31$	1.193 1	0.176 6	0.994 1	3 973.494
	D^2H	$\ln W_t = 0.928\ 94 \ln D^2H - 2.491\ 38$	1.221 4	0.199 9	0.992 5	3 087.501

注:①——带皮部分;②——去皮部分,以下各组分同小枝。

D^2H 为自变量的回归方程,相对树干而言,树叶、小枝和根系的 E 值较大,说明树叶、枝及根的估计值较树干易产生偏差。当把整株树的生物量做为一个整体来考虑时,偏差进一步降低(表2)。树木树干这一器官的动态变化远远不及其它器官的动态变化,其生物量相对误差估计值(E 值)理应比其它器官生物量相对误差估计值显著的低。由橡胶树特殊的生理特性可知,其分枝矮化且粗大,一般把基径大于 4 cm 的分枝并入干材生物量计算,故使胶树树干的相对误差估计值与其它器官相比无显著差异。

表1还表明,树叶、小枝、树干、树根、树头、树皮及整株树的生物量与树围的相关关系是极显著的(相关系数 $R=0.98\sim 0.99$, 方差比 $F=662.779\sim 3\ 533.056$),当利用 D^2H 为自变量建立各器官生物量回归方程时,这种相关关系也是很显著的($R=0.97\sim 0.99$, $F=280.943\sim 3\ 651.022$)。从 E 值及剩余标准差大小也可看出,除树干外,用 D^2H 为自变量建立的回归方程并不比用树围(G)为自变量建立的回归模型更显著。况且在林分的实际测定中,树围测定要比树高测定更容易更精确。综上所述,在建立胶树各器官生物量数学模型时,利用树围这一测树因子为自变量优于利用 D^2H 为自变量。并不否认,利用 D^2H 为自变量建立数学模型能消除因树种、林型和立地条件不同的影响^[5]。对只用树围为自变量建立的生物量估测模型做系统偏差检验,检验结果见表2。从表2中看出,根、树头(带皮),地上、地下部分总量及整株树总量的系

统偏差在±3%范围内,而树叶、小枝、树干、树皮的系统偏差略高于±3%。作统计检验,其显著性检验统计量 $|u|$ 都小于 $u_{0.01}$ 的值,因此不推翻假设,即系统偏差与±3%无显著差异。

表 2 橡胶树生物量估测数学模型系统偏差检验

组 分	变 量	方 程	系统偏差(%)	显著性检验统计量 $ u $
叶	G	$\ln W_l = 1.754\ 54 \ln G - 4.918\ 45$	3.220	0.092 3
小枝	$G^{\text{①}}$	$\ln W_b = 2.556\ 56 \ln G - 6.668\ 21$	3.004	0.014 1
	$G^{\text{②}}$	$\ln W_b = 2.540\ 46 \ln G - 6.824\ 87$	3.232	0.080 9
树干	G	$\ln W_t = 2.587\ 18 \ln G - 5.949\ 85$	3.010	0.005 0
	G	$\ln W_t = 2.555\ 34 \ln G - 5.993\ 27$	3.239	0.095 9
树根	G	$\ln W_r = 3.099\ 68 \ln G - 10.575\ 8$	2.600	0.099 4
	G	$\ln W_r = 3.557\ 08 \ln G - 13.000\ 3$	1.752	0.293 1
树头	G	$\ln W_h = 2.178\ 87 \ln G - 5.478\ 83$	2.969	0.015 0
	G	$\ln W_h = 2.152\ 63 \ln G - 5.444\ 55$	3.024	0.007 0
地上部分	G	$\ln W_o = 2.446\ 33 \ln G - 4.985\ 44$	1.712	0.518 0
地下部分	G	$\ln W_u = 2.217\ 35 \ln G - 5.446\ 90$	2.982	0.006 6
树皮总量	G	$\ln W_p = 2.649\ 08 \ln G - 7.445\ 99$	3.767	0.295 7
总生物量	G	$\ln W_t = 2.402\ 05 \ln G - 4.580\ 31$	1.469	0.628 0

注: $u_{0.01}=2.58$;①——带皮部分,②——去皮部分,以下各组分同小枝。

通过各种检验证明所建胶树各器官生物量估测模型精度较高,可以利用这些模型估测胶树各器官的生物量,且可用该模型编制胶树树围与各器官及全株树的生物量表(表 3)。

表 3 橡胶树生物量

径阶 (cm)	树围 (cm)	带 皮 部 分				树叶 (kg)	全株 (kg)	去 皮 部 分				树皮率 (%)
		小枝 (kg)	树干 (kg)	树根 (kg)	树头 (kg)			小枝 (kg)	树干 (kg)	树根 (kg)	树头 (kg)	
8	25.1	5.09	10.93	0.68	4.80	2.09	23.59	4.18	9.45	0.34	4.58	13.70
9	28.3	6.63	14.83	1.05	6.35	2.57	31.43	5.29	12.76	0.58	6.05	14.48
10	31.4	8.54	19.47	1.42	7.94	3.10	40.47	6.91	16.71	0.78	7.55	14.50
11	34.6	10.90	24.92	1.83	9.56	3.66	50.87	8.80	21.31	1.00	9.06	14.91
12	37.7	13.62	31.21	2.26	11.34	4.26	62.69	10.98	26.62	1.21	10.70	15.26
13	40.8	16.71	38.39	2.52	13.47	4.91	76.00	13.46	32.66	1.22	12.69	15.55
14	44.0	20.19	46.50	3.09	15.83	5.59	91.20	16.24	39.47	1.50	14.89	15.78
15	47.1	23.79	55.59	4.05	18.06	6.31	107.80	19.36	47.08	2.15	16.93	15.73
16	50.3	28.03	65.69	4.87	21.05	7.05	126.69	22.80	55.52	2.55	19.73	15.91
17	53.4	31.91	76.85	5.81	24.08	7.85	146.50	25.34	64.83	3.24	22.53	16.37
18	56.5	37.98	89.09	6.88	27.07	8.68	169.70	30.76	75.02	3.85	25.28	16.21
19	59.7	44.91	102.47	8.12	29.85	9.55	190.90	35.29	86.14	4.65	27.80	15.14
20	62.8	47.24	117.01	9.42	32.88	10.45	217.00	37.18	98.20	5.58	30.54	16.96
21	66.0	52.67	132.75	10.83	36.67	11.38	244.30	41.24	111.24	6.40	34.03	17.17
22	69.1	59.10	149.73	12.44	40.68	12.35	274.30	46.18	125.28	7.48	37.71	17.29
23	72.3	65.71	167.98	14.09	44.67	13.35	305.80	51.20	140.35	8.59	41.35	17.42
24	75.4	74.51	187.54	15.85	48.52	14.38	340.80	58.29	156.48	9.77	44.80	17.48
25	78.5	79.81	208.43	18.07	52.54	15.45	374.30	61.67	173.68	11.41	48.45	17.73
26	81.7	87.27	230.69	20.16	56.94	16.55	411.61	67.26	191.99	12.90	52.43	17.84
27	84.8	93.28	254.35	22.84	61.48	17.68	449.63	71.20	211.43	14.19	56.52	18.19
28	88.0	101.02	279.44	25.37	65.94	18.85	490.42	76.73	232.02	16.85	60.51	18.12
29	91.1	110.28	306.02	27.95	70.43	20.05	536.73	83.65	253.79	18.78	64.51	18.56
30	94.2	120.59	334.05	30.97	74.96	21.28	581.85	91.49	276.75	21.16	68.51	18.31

3.2 更新橡胶林的生物量

3个同龄(25年生)更新胶林的平均胸径分别为21.0、17.9和20.3 cm;依据所建模型对更新胶林的生物量进行估计,其结果见表4。

表4 更新胶林生物量估计

(单位:kg/hm²)

组 分	带皮部分	百分比(%)	去皮部分	百分比(%)
小枝	24 590.85±2 657.86	23.6	19 589.66±2 102.52	18.9
树干	57 149.31±6 318.15	52.0	47 502.54±5 140.83	45.8
树根	4 498.81±670.64	4.0	2 692.71±493.69	2.8
树头	16 594.28±1 363.84	15.7	15 390.82±1 904.99	11.8
树叶	4 906.54±244.22	4.7		
树皮总量	16 590.67±1 904.99	16.0		
地上部分总量	83 133.61±8 380.69	80.3		
地下部分总量	20 119.78±1 707.67	19.7		
总生物量	103 579.20±10 123.51			

注:±后面为平均值的标准差。

更新胶林的平均总生物量为104 t/hm²,略低于马来西亚林科院试验站种植的橡胶无性系(RRIM600)的总生物量(114 t/hm²)^[2]。总生物量中地上部分的生物量占80.3%,地下部分仅占19.7%。胶树各器官中,以树干生物量(带皮部分)所占比例最大为52%,树根最小为4%;去皮部分的总生物量与树皮总量分别占84%和16%。

4 结 论

(1)利用回归分析方法建立橡胶树各器官,地上、地下部分及全株树的生物量与树围或 D^2H 估测模型,经检验、分析表明,以树围为自变量的估计模型优于以 D^2H 为自变量的估测模型。

(2)以树围为自变量的胶树各组分生物量估测模型的系统偏差在±3%范围内,满足模型精度要求及编制生物量(干重)表要求,故依此模型,并经适当调整后编制胶树生物量表。胸径在8~22 cm或树围在25.1~70 cm范围内,可直接利用胶树生物量表查找各器官生物量。胸径在22~30 cm或树围在70~95 cm范围内,经实测检验后利用此表效果更佳。超出30 cm胸径的胶树,需采集样木,对表值进行严格检验,当偏差超出±5%时,不宜实用。本表适宜在广东雷州半岛植胶区使用,其它地区是否可用有待进一步验证。

(3)更新橡胶林中,地上及地下部分的生物量分别占总生物量80.3%和19.7%。树皮及去皮总量分别占总生物量的16%和84%。胶树各器官生物量带皮与去皮部分占总生物量的百分比大小分别依次为树干(52%)>小枝(23.6%)>树头(15.7%)>树叶(4.7%)>树根(4.0%);树干(45.8%)>小枝(18.9%)>树头(11.8%)>树叶(4.7%)>树根(2.8%)。

参 考 文 献

- 1 H 里思, R H 怀特克. 生物圈第一性生产力. 北京: 科学出版社, 1985.
- 2 Wan Razali, Rosni Maidin, Mohd Ali Suian. Double entry volume table equations for some RRIM 600 series clones of *Hevea brasiliensis*. The Malaysian Forester, 1983, 46(1): 46~59.
- 3 冯林. 内蒙古地区油松、白桦、山杨生物量研究. 内蒙古林学院学报, 1981, 3.
- 4 Whittaker R H, Woodwell G M. Dimension and production relations of trees and shrubs in the Brookhaven forest.

Journal of Ecology, 1968, 56: 1~20.

5 户割义茨(薛德裕译). 作物的光合作用与物质生产. 北京: 科学出版社, 1979. 269~270.

Biomass Equations for Rubber Tree in Southern China

Zhou Zaizhi Zheng Haishui Yin Guangtian
Yang Zengjiang Chen Kangtai

Abstract Allometric regression equations for biomass prediction were developed for trees of *Hevea brasiliensis* in the Leizhou peninsular region of Southern China. Individual tree component dry weight, such as leaf, branch, bole, root, bark, total aboveground and underground, whole tree were regressed against girth (at breast height 1.3 m) and D^2H (D —diameter at breast height, H —total height) using 49 sample trees. The statistical comparison showed that the regression equation against girth was better than that of against D^2H . In 25-year-old rubber plantation, approximately 80% of tree biomass was in the aerial part and 20% in the roots. The bole, branches, roots and leaves constituted about 52.0%, 23.6%, 19.7% and 4.7% of the whole tree biomass respectively. The revised biomass table using regression equation against girth was developed.

Key words *Hevea brasiliensis*, biomass, equation

Zhou Zaizhi, Assistant Professor, Zheng Haishui, Yin Guangtian, Yang Zengjiang (The Research Institute of Tropical Forestry, CAF Guangzhou 510520); Chen Kangtai (The Nanhua State Farm of Xuwen County, Guangdong Province).