

喀斯特森林优势树种罗伞生物量研究

王军才¹,刘济明^{1*},闫国华²,高攀¹,文爱华¹

(1. 贵州大学 林学院,贵州 贵阳 550025; 2. 贵州省林业调查规划院,贵州 贵阳 550003)

摘要: 为了准确评估喀斯特森林生物量,以青冈栎黄樟群落中罗伞为研究对象,采用回归模型估测法,从含水率、生物量时空异质性、生物量模型拟合 3 个方面进行生物量研究。结果表明:罗伞树叶和树干的含水率明显大于林木其他各组分,各组分含水率的大小为树叶>树干>干材>树枝>树皮;各组分生物量在空间上分配关系为干材>树枝>树叶>树皮,并且各个组分生物量均随着胸径增大而增大。通过对解析木生物量的回归分析,得出罗伞各组分生物量的最优回归模型: $Y_{\text{树干}} = -1\,664.800\,0x^2 + 299.630\,0x - 1.276\,5 (R^2 = 0.926\,9)$, $Y_{\text{树皮}} = 11.543\,0x^2 + 19.985\,0x + 0.032\,1 (R^2 = 0.939\,5)$, $Y_{\text{树枝}} = -567.560\,0x^2 + 98.880\,0x - 0.994\,6 (R^2 = 0.943\,9)$, $Y_{\text{树叶}} = -121.690\,0x^2 + 48.549\,0x - 0.399\,9 (R^2 = 0.937\,0)$, $Y_{\text{干材}} = -1\,624.700\,0x^2 + 274.240\,0x - 1.190\,9 (R^2 = 0.912\,0)$, $Y_{\text{地上部分}} = -2\,302.400\,0x^2 + 441.650\,0x - 2.553\,2 (R^2 = 0.953\,9)$ 。

关键词: 喀斯特森林; 罗伞; 生物量; 模型

中图分类号: S718 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-3268(2015)04-0125-06

Research on Biomass of Dominant Species
Brassaiopsis glomerulata Kuntze in Karst Forest

WANG Juncai¹, LIU Jiming^{1*}, YAN Guohua², GAO Pan¹, WEN Aihua¹

(1. College of Forestry, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 2. Guizhou Forest Investigation and Planning Institute, Guiyang 550003, China)

Abstract: In order to accurately evaluate the biomass of karst forest, the biomass from moisture content, biomass spatial heterogeneity, biomass model fitting was studied using regression estimation method with *Brassaiopsis glomerulata* Kuntze as material. The results showed that the moisture contents of leaf and trunk of *Cinnamomum parthenoxylon* Kuntze were greater than that of the other components of trees, moisture content order was leaf>trunk>bole>branch>bark; the biomass order was bole>branch>leaf>bark, and the biomass of each components increased with the increase of diameter at breast height. Through regression analysis of estimation of wood biomass, the biomass optimal regression model of each components were obtained as follows: $Y_{\text{trunk}} = -1\,664.800\,0x^2 + 299.630\,0x - 1.276\,5 (R^2 = 0.926\,9)$, $Y_{\text{bark}} = 11.543\,0x^2 + 19.985\,0x + 0.032\,1 (R^2 = 0.939\,5)$, $Y_{\text{branch}} = -567.560\,0x^2 + 98.880\,0x - 0.994\,6 (R^2 = 0.943\,9)$, $Y_{\text{leaf}} = -121.690\,0x^2 + 48.549\,0x - 0.399\,9 (R^2 = 0.937\,0)$, $Y_{\text{bole}} = -1\,624.700\,0x^2 + 274.240\,0x - 1.190\,9 (R^2 = 0.912\,0)$, $Y_{\text{overground}} = -2\,302.400\,0x^2 + 441.650\,0x - 2.553\,2 (R^2 = 0.953\,9)$.

Key words: karst forest; *Brassaiopsis glomerulata* Kuntze; biomass; model

森林生物量作为评价林地生产力及森林生态系统结构与功能的重要指标,是研究森林生态系统物

质循环的基础,准确测定森林生物量在森林经营管理、监测和评价过程中显得极为重要,特别是在研究

收稿日期:2014-10-20
基金项目:贵州省社会发展攻关项目[黔科合SY字(2011)3108]
作者简介:王军才(1990-),男,山东聊城人,在读硕士研究生,研究方向:林木栽培生理生态与分子生物学。
E-mail:wangjuncai12@126.com

* 通讯作者:刘济明(1963-),男,重庆人,教授,博士,主要从事森林培育和植物生态学研究。E-mail:karst0623@163.com

森林生态系统碳储量及碳循环过程中具有不可替代的作用^[1-2]。由于森林生物量的测定难度大,而且耗时费力,因此确定一种行之有效且又能准确测定森林生物量的方法具有重要意义。生物量模型估算法是目前研究森林生物量较为流行的一种方法^[3]。它是利用林木易测因子(如胸径和树高)来推算较难测定的林木生物量,从而减少野外工作量。虽然在模型建立过程中需要一定的基础数据,但是模型一旦建立,就可以利用森林原有清查资料来估计同类林分的生物量,并有一定的精度保证。特别是在调查较大尺度区域上的森林生物量,利用生物量模型能大大减少调查工作量^[4]。

现阶段对森林生物量的研究多集中在人工林树种,而对天然林的研究则鲜见报道。本研究以茂兰青冈栎黄樟群落天然林作为生物量研究的基础群落,依托茂兰自然保护区为试验基地,对该群落中的优势树种罗伞进行生物量研究,通过对罗伞各器官生物量的统计,构建了罗伞生物量估测模型,旨在为研究茂兰地区森林生物量奠定相应基础,也为准确评估该地区森林生物量、碳储量以及制定科学合理的森林经营管理方法提供理论支持。

1 材料和方法

1.1 研究地概况及研究对象

研究地点设在茂兰自然保护区内的洞塘乡瑶所村白羊山,研究区域平均海拔 800 m 以上,属中亚热带季风湿润气候,气候温暖湿润,光照充足,年平均气温 15.3 ℃,年均降水量 1 320.5 mm,年均蒸发量 1 343.6 mm,平均相对湿度 83%。土壤以黑色石灰土为主,土层浅薄,地面岩石裸露,pH 值 7.5~8.0,有机质和全氮含量丰富,植被类型属于中亚热带非地带性植被——喀斯特常绿落叶阔叶混交林。以茂兰青冈栎黄樟群落中优势树种罗伞为研究对象。

1.2 研究方法

在林分中选取人为干扰较小的林地,设置 9 个面积为 30 m×30 m 的方形标准样地。在每个标准样地内进行每木检尺,将选取的标准木伐倒后,采用分层切割法^[5-6],分别对不同区分段上的枝、叶、皮、干进行分割称量,各组分分别按 1 000 g 取样。把所取样品带回实验室,在 85 ℃ 的通风干燥箱内烘干至恒定质量,计算各组分的含水率,依次推算出各个标准木各组分干质量生物量及总生物量(地上部分)^[7]。国内外学者为估测林木生物量提出 3 种模型,分别为线性模型、非线性模型和多项式模型。非线性模型的应用最为广泛,其中相对生长模型则最具代表性,是应用最为普遍的一类模型^[8-11]。结合

前人研究基础,以胸径(D)、胸径-树高(D^2H)等测树因子为自变量,选用直线回归、多项式、对数回归、指数回归和幂回归 5 种数学回归模型计算分析,拟合树木组分生物量和树木总生物量的回归方程。

直线模型: $Y=aX+b$;多项式模型: $Y=aX^2+bX+c$;对数模型: $Y=a\ln+b$;指数模型: $Y=ae^{bX}$ (或者 $\ln Y=\ln a+bX$);幂回归模型: $Y=aX^b$ (或者 $\ln Y=\ln a+b\ln X$),其中, X 和 Y 是林木的各维量, a 、 b 、 c 是方程的参数。

有关回归模型的常用评价指标有残差平方和(SS)、相关系数(R^2)和残差分布等。本研究为了更好地对所建立的模型进行评价,在采用常用评价指标的基础上另外增加总相对误差、平均相对误差、平均相对误差绝对值^[12-14]3 个指标。

总相对误差(RS) =
$$\frac{\sum W_i - \sum W_{i'}}{\sum W_{i'}} \times 100\%$$
,
平均相对误差(E) =
$$\frac{1}{n} \times \sum \left(\frac{W_i - W_{i'}}{W_{i'}} \right) \times 100\%$$
,
平均相对误差绝对值(RMA) =
$$\frac{1}{n} \times \sum \left| \frac{W_i - W_{i'}}{W_{i'}} \right| \times 100\%$$
, 式中, W_i 为实测值, $W_{i'}$ 为估计值, n 为样本数。

上述 3 个检验指标是检验模型的实质性指标,它们将估测值和实际值联系起来,从总体到单个样本生物量均有较好的检验作用。

2 结果与分析

2.1 罗伞各组分含水率

2.1.1 含水率变幅 从图 1 可以看出,罗伞树叶含水率为 63.63%~80.70%,树枝、树皮和树干的含水率均处于较为稳定的状态,树枝为 47.61%~48.71%,树干为 43.39%~65.28%,树皮为 34.50%~55.20%。

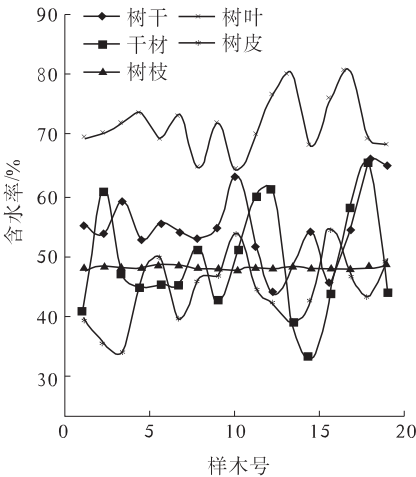


图 1 罗伞各组分含水率变幅

干材含水率波动较大,为 32.44%~65.27%。表明,罗伞树叶含水率明显大于其他各组分。

2.1.2 平均含水率 由图 2 可知,树干、干材、树枝、树叶、树皮含水率平均值分别为 54.72% ±0.014 9%、

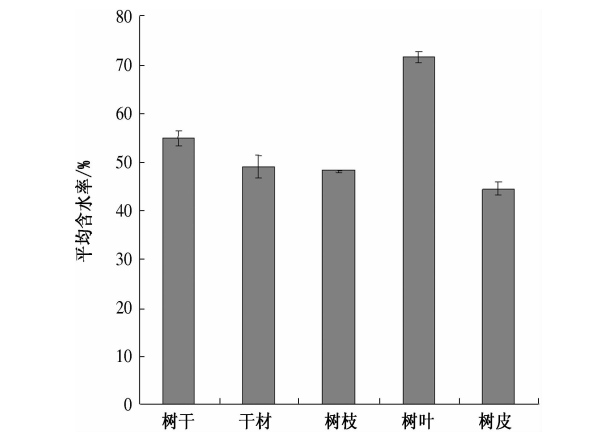


图 2 罗伞各组分平均含水率

48.98% ±0.022 4%、48.04% ±0.000 9%、71.62% ±0.011 8%、44.42% ±0.014 1%,各组分含水率高低为:树叶>树干>干材>树枝>树皮。

2.2 罗伞生物量时空异质性

由表 1 可知,罗伞各组分生物量的比例以干材的生物量最大,平均可达 64.69%,树皮的最小,仅占 8.18%,树叶为 11.65%,树枝为 15.48%。树枝与树叶生物量大小相当,由于罗伞这种植物的特殊性,它是掌状复叶,叶柄较长而树枝较少,导致树枝和树叶的生物量相差不多。罗伞各组分生物量分配的大致规律为:干材>树枝>树叶>树皮,并且同一树龄各个组分生物量均随着胸径增大而增大。随着树龄的增大,罗伞各组分生物量总体呈增大趋势,尤其是在第 15~20 年增长较为明显。

表 1 罗伞样木各器官生物量

树龄/a	树高/m	胸径/cm	干材/kg	树叶/kg	树皮/kg	树枝/kg	总生物量/kg	$D^2H/(cm^2 \cdot m)$
10	5	3.86	0.611 3	0.227 1	0.127 7	0.146 6	1.112 7	0.007 4
10	5	5.80	3.422 8	0.432 0	0.433 0	0.382 5	4.670 3	0.016 8
11	7	7.00	4.564 6	0.957 9	0.650 0	1.629 0	7.801 5	0.034 3
12	6	5.00	2.937 2	0.392 1	0.389 0	0.255 4	3.973 7	0.013 8
12	6	6.30	4.590 0	0.569 9	0.450 0	1.125 0	6.734 9	0.022 9
13	8	7.60	8.970 0	1.432 5	0.930 0	2.550 0	13.882 5	0.046 2
14	6	6.20	4.768 0	0.515 2	0.443 0	0.583 0	6.309 2	0.023 1
14	6	6.70	4.537 3	0.895 5	0.560 0	1.497 9	7.490 7	0.026 9
14	7	6.90	4.442 5	0.952 1	0.589 0	1.656 4	7.640 0	0.033 3
15	7	5.30	3.341 0	0.414 1	0.414 8	0.351 8	4.521 7	0.021 0
16	7	6.20	4.629 1	0.650 5	0.456 1	0.808 2	6.543 9	0.025 0
18	7	8.60	9.118 2	2.240 4	1.280 0	2.649 2	15.287 8	0.051 4
19	6	6.30	4.636 1	0.533 8	0.431 0	1.281 4	6.882 3	0.025 6
20	8	9.00	9.491 6	2.317 3	1.472 5	2.959 9	16.241 3	0.064 8
22	7	11.00	10.232 0	2.616 6	1.660 0	3.252 9	17.761 5	0.084 7
24	7	8.90	9.286 1	2.325 5	1.440 0	2.842 6	15.894 2	0.058 9
29	7	7.60	8.980 0	1.335 4	0.860 0	2.458 6	13.634 0	0.040 4

2.3 罗伞单木生物量模型建立与评价

2.3.1 测树因子与植物组分相关性 通过对罗伞各个组分及地上部分生物量的相关矩阵分析可以发现,各个组分之间及其与 D 、 D^2H 之间均存在着极显

著的关系(在 99% 置信区间显著相关),除了树皮、树叶外, D 、 D^2H 与各个组分之间的相关系数均为 0.9 以上(表 2),可见,利用 D 、 D^2H 与各生物量之间拟合相关模型的想法是可行的。

表 2 罗伞单木各器官生物量及部分因子的相关矩阵

组分	胸径/cm	$D^2H/(cm^2 \cdot m)$	干材	树叶	树皮	树枝	地上部分
胸径/cm	1.000						
$D^2H/(cm^2 \cdot m)$	0.972 **	1.000					
干材	0.982 **	0.959 **	1.000				
树叶	0.876 **	0.882 **	0.861 **	1.000			
树皮	0.828 **	0.906 **	0.798 **	0.689 **	1.000		
树枝	0.934 **	0.934 **	0.945 **	0.829 **	0.822 **	1.000	
地上部分	0.978 **	0.983 **	0.987 **	0.888 **	0.836 **	0.980 **	1.000

注:**表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

2.3.2 生物量估测模型的建立 选取 D 和 D^2H 两个因子,选用 5 种常用的生物量拟合模型对罗伞进行拟合发现,整体上以多项式模型拟合的生物量模型的相关系数 R^2 较大,说明该模型具有较好的拟合效果^[15](表 3),所以初步选取多项式模型作为罗伞的生物量模型,其各个组分的最优方程如下。

树干: $Y = -1\ 664.800\ 0x^2 + 299.630\ 0x -$

$1.276\ 5(R^2 = 0.926\ 9)$;树皮: $Y = 11.543\ 0x^2 + 19.985\ 0x + 0.032\ 1(R^2 = 0.939\ 5)$,树枝: $Y = -567.560\ 0x^2 + 98.880\ 0x - 0.994\ 6(R^2 = 0.943\ 9)$;树叶: $Y = -121.690\ 0x^2 + 48.549\ 0x - 0.399\ 9(R^2 = 0.937\ 0)$,干材: $Y = -1\ 624.700\ 0x^2 + 274.240\ 0x - 1.190\ 9(R^2 = 0.912\ 0)$;地上部分: $Y = -2\ 302.400\ 0x^2 + 441.650\ 0x - 2.553\ 2(R^2 = 0.953\ 9)$,其中, Y 代表生物量, x 代表 D^2H 。

表 3 5 种数学模型拟合的罗伞单木各组分生物量方程

组分	模型	方程 1(D)				方程 2(D^2H)			
		a	b	c	R^2	a	b	c	R^2
树干	直线	1.871 0	-6.057 5		0.882 9	152.240 0	1.195 9		0.873 0
	对数	12.488 0	-17.324 0		0.881 5	5.124 7	24.540 0		0.888 4
	多项式	-0.092 3	3.176 7	-10.836 0	0.895 2	-1 664.800 0	299.630 0	-1.276 5	0.926 9
	幂函数	0.464 0	2.504 4		0.864 6	208.880 0	1.032 6		0.882 7
	指数	0.523 2	0.339 6		0.760 1	2.179 3	26.664 0		0.655 4
树皮	直线	0.253 5	-1.023 3		0.917 1	21.007 0	0.015 0		0.939 3
	对数	1.687 4	-2.484 0		0.852 7	0.636 5	2.988 1		0.774 5
	多项式	0.009 8	0.108 2	-0.514 7	0.924 5	11.543 0	19.985 0	0.032 1	0.939 5
	幂函数	0.005 0	2.516 2		0.942 8	11.248 0	0.810 8		0.860 2
	指数	0.051 7	0.356 5		0.901 6	0.268 3	25.296 0		0.932 4
树枝	直线	0.575 3	-0.447 4		0.882 4	48.630 0	-0.151 7		0.881 9
	对数	3.994 5	-5.398 2		0.870 6	1.622 7	7.255 0		0.881 9
	多项式	-0.026 2	0.963 0	-3.803 6	0.892 3	-567.560 0	98.880 0	-0.994 6	0.943 9
	幂函数	0.001 2	3.592 3		0.872 3	203.990 0	1.485 1		0.890 0
	指数	0.035 6	0.495 1		0.789 5	0.279 4	39.416 0		0.699 9
树叶	直线	0.438 5	-1.943 6		0.897 7	37.550 0	-0.219 2		0.932 0
	对数	2.911 1	-4.456 1		0.830 5	1.179 1	5.248 1		0.815 5
	多项式	0.016 1	0.200 0	-1.109 3	0.904 2	-121.690 0	48.549 0	-0.399 9	0.937 0
	幂函数	0.003 7	2.857 8		0.930 4	52.900 0	1.172 0		0.936 5
	指数	0.495 0	0.410 8		0.915 9	0.260 4	34.112 0		0.883 4
干材	直线	1.557 1	-5.034 2		0.860 8	130.390 0	1.222 0		0.844 3
	对数	10.801 0	-14.840 0		0.869 2	4.441 4	21.399 0		0.844 3
	多项式	-0.102 1	3.068 5	-10.322 0	0.880 6	-1 624.700 0	274.240 0	-1.190 9	0.912 0
	幂函数	0.040 7	2.509 3		0.846 3	187.020 0	1.035 4		0.862 5
	指数	0.468 5	0.338 2		0.732 3	1.951 2	26.379 0		0.623 3
地上部分	直线	2.811 4	-10.346 0		0.909 1	237.810 0	0.866 1		0.909 8
	对数	19.231 0	-27.356 0		0.892 8	7.879 7	36.890 0		0.897 1
	多项式	-0.094 8	4.215 1	-15.256 0	0.914 6	-2 302.400 0	441.650 0	-2.553 2	0.953 9
	幂函数	0.055 8	2.580 6		0.930 8	323.740 0	1.063 3		0.945 9
	指数	0.650 9	0.355 7		0.842 4	2.854 0	28.385 0		0.750 5

注:数学模型表达式中的 a 、 b 、 c 为模型参数, R^2 为相关系数;方程 1 中,模型因变量 $Y = W$,自变量 $x = D$, W 代表生物量, D 代表胸径;方程 2 中,模型因变量 $Y = W$,自变量 $x = D^2H$, W 、 D 同方程 1, H 代表树高。

2.3.3 模型检验 对得出的相应模型进行回归显著性检验,将 F 值、残差平方和(Q)与相关系数(R^2)进行相应比较,从而检验各模型的拟合优度(表 4)。

表 4 罗伞各组分生物量回归分析

测树因子	组分	模型	R^2	F 值	标准误(SE)	Sign F	残差平方和(Q)
胸径(D)	地上部分	$Y = -0.094\ 8x^2 + 4.215\ 1x - 15.256\ 0$	0.914 6	142.80	1.485 8	0	30.906 5
	树干	$Y = -0.092\ 3x^2 + 3.176\ 7x - 10.836\ 0$	0.895 2	1 410.62	0.281 3	0	1.108 5
	树皮	$Y = 0.009\ 8x^2 + 0.108\ 2x - 0.514\ 7$	0.924 5	160.53	0.129 4	0	0.234 7
	干材	$Y = -0.102\ 1x^2 + 3.068\ 5x - 10.322\ 0$	0.880 6	830.97	0.311 2	0	1.356 4
	树叶	$Y = 0.016\ 1x^2 + 0.2x - 1.109\ 3$	0.904 2	3 155.62	0.049 1	0	0.033 7
	树枝	$Y = -0.026\ 2x^2 + 0.963x - 3.803\ 6$	0.943 9	1 784.06	0.079 8	0	0.089 3

续表 4 罗伞各组分生物量回归分析							
测树因子	组分	模型	R^2	F 值	标准误 (SE)	Sign F	残差平方和 (Q)
胸径 - 树高 (D^2H)	地上部分	$Y = -2\,302.4x^2 + 441.65x - 2.553\,2$	0.953\,9	320.83	0.969\,0	0	13.147\,4
	树干	$Y = -1\,664.8x^2 + 299.63x - 1.276\,5$	0.926\,9	243.24	0.795\,5	0	9.492\,1
	树皮	$Y = -11.543x^2 + 98.88x - 0.994\,6$	0.939\,5	2\,259.72	0.002\,5	0	18.023\,8
	干材	$Y = -1\,624.7x^2 + 274.24x - 1.190\,9$	0.912\,0	187.36	0.776\,3	0	9.041\,2
	树叶	$Y = -121.69x^2 + 48.549x - 0.399\,9$	0.937\,0	3\,075.63	0.051\,2	0	0.036\,7
	树枝	$Y = -567.56x^2 + 98.88x - 0.994\,6$	0.943\,9	216.71	0.238\,8	0	0.798\,9

通过分析可以看出,罗伞最优方程的 F 值始终远大于 F 临界值,说明方程的回归特性良好,且标准误差都较小(基本都在 1.000 0 以下,最小的只有 0.002 5),因而具有较高的精度。

3.3.4 模型评价 对罗伞而言,以 D 作为自变量

的方程其总相对误差均小于 3% (表 5),平均相对误差同样都小于 1%;而对于以 D^2H 作为自变量而拟合的生物量模型,误差更小,其总相对误差小于 2%,因此胸径 - 树高模型比胸径模型更高,具有较高的精度。

表 5 罗伞模型各检验指标值						
组分	方程 1 ($Y = ax^2 + bx + c$)			方程 2 ($Y = ax^2 + bx + c$)		
	RS	E	RMA	RS	E	RMA
树干	-0.006 3	-0.000 39	0.887 61	-0.000 193 0	-1.206×10^{-5}	0.694 96
树皮	-0.005 2	-0.000 32	0.107 73	0.000 100 1	6.258×10^{-6}	0.077 58
干材	-0.006 3	-0.000 39	0.820 34	0.001 213 7	7.585×10^{-5}	0.638 10
树叶	-0.016 8	-0.001 05	0.187 78	-0.014 556 2	-0.000 909 8	0.156 08
树枝	-0.023 0	-0.001 44	0.242 42	-0.016 481 6	-0.001 030 1	0.169 89
地上部分	-0.011 3	-0.000 70	1.263 88	-0.004 634 4	-0.000 289 6	13.511 59

3 结论与讨论

本试验从含水率、生物量时空异质性、生物量模型拟合 3 个方面对罗伞单木生物量进行了系统的研究,旨在探索准确估算区域森林生态系统碳储量的最优方法。结果表明,在罗伞各组分含水率上,树叶的含水率明显大于林木其他各组分的含水率,树叶的含水率在 63.63% ~ 80.70% 波动。各组分含水率高低为:树叶 > 树干 > 干材 > 树枝 > 树皮。而在生物量时空异质性上,同一林龄,罗伞单木各组分生物量均随胸径增大而增大,但各组分生物量所占百分比与其身径阶变化不呈现明显规律性^[16-17]。罗伞的 D 、 D^2H 两个自变量均与树叶、干枝、地上部分生物量具有一定的相关关系,其中 D^2H 与各组分生物量间的相关关系更为显著,拟合方程分别为:
 $Y_{\text{树干}} = -1\,664.800\,0x^2 + 299.630\,0x - 1.276\,5$ ($R^2 = 0.926\,9$);
 $Y_{\text{树皮}} = 1.543\,0x^2 + 19.985\,0x + 0.032\,1$ ($R^2 = 0.939\,5$);
 $Y_{\text{树枝}} = -567.560\,0x^2 + 98.880\,0x - 0.994\,6$ ($R^2 = 0.943\,9$);
 $Y_{\text{树叶}} = -121.690\,0x^2 + 48.549\,0x - 0.399\,9$ ($R^2 = 0.937\,0$);
 $Y_{\text{干材}} = -1\,624.700\,0x^2 + 274.240\,0x - 1.190\,9$ ($R^2 = 0.912\,0$);
 $Y_{\text{地上部分}} = -2\,302.400\,0x^2 + 441.650\,0x - 2.553\,2$ ($R^2 = 0.953\,9$)。

由于时间有限,设置的样地较少,只是对罗伞地

上部分的生物量进行了研究,没有对林木地下部分进行估算,这将影响到茂兰青冈栎黄樟群落森林碳储量估算的准确性,因此在今后的研究中需要进一步完善。同时还要进一步加强森林不同群落和不同层次生物量的监测,提高森林碳储量的估算精度,同时应与 3S 技术相结合对森林生物量与碳储量的空间分布、碳循环进行动态跟踪^[18-20]。

在单木生物量与测树因子(胸径、树高蓄积量等)的模型拟合方面,本研究采用的是回归估测法,大量学者在这方面做了相关研究工作,其主要思路都是将生物量与各个测树因子之间建立相关关系模型。本研究选取了 5 种常见的生物量模型^[21],包括线性、非线性和多项式模型,克服了简单的线性模型拟合模式,且在比较中发现并非所有树种都以线性模型为最优,拟合效果较好的是乘幂和多项式模型,这与程堂仁^[22]、李海奎等^[23]的研究结果类似,在此基础上,结合近年来单木生物量回归估测的发展趋势,在模型拟合之前,先进行测树因子与生物量的相关性矩阵分析,在确认测树因子与生物量之间有显著相关的前提下,进行模型选择,再进行模型的检验,使得最终的最优模型具有代表性。

参考文献:

[1] 杜维忠. 甘肃小陇山林区油松人工林单木生物量的研究[J]. 甘肃科技, 2013, 28(23): 153-154.

- [2] 巨文珍,农胜奇.森林生物量研究进展[J].西南林业大学学报,2011,31(2):78-89.
- [3] 李燕,张建国,段爱国,等.杉木人工林生物量估算模型的选择[J].应用生态学报,2010,21(12):3036-3046.
- [4] 唐守正,张会儒,胥辉.相容性生物量模型的建立及其估计方法研究[J].林业科学,2000,36(1):19-27.
- [5] Takuyuki Yoshioka, Masahiro Iwaoka, Hideo Sakai, *et al.* Feasibility of a harvesting system for logging residues as unutilized forest biomass [J]. *Journal of Forestry Research*, 2000, 5: 59-65.
- [6] 田大伦,盘宏华,康文星,等.第二代杉木人工林生物量的研究[J].中南林学院学报,1998,18(3):11-16.
- [7] 杨明,汪思龙,张伟东,等.杉木人工林生物量与养分配累动态[J].应用生态学报,2010,21(7):1674-1680.
- [8] 孟宪宇.测树学[M].3版.北京:中国林业出版社,2006.
- [9] Tomohiro Nishizono, Toshio Iehara, Hirofumi Kuboyama, *et al.* A forest biomass yield table based on an empirical model [J]. *Journal of Forestry Research*, 2005, 10: 211-220.
- [10] 姜鹏,董树国,隋玉龙,等.北沟林场华北落叶松生物量模型的研究[J].中南林业科技大学学报,2013,33(7):131-135.
- [11] 许俊利.东折棱河落叶松生物量模型研究及生物量估算[D].北京:北京林业大学,2008.
- [12] 范春楠,庞圣江,郑金萍,等.长白山林区14种幼树生物量估测模型[J].北京林业大学学报,2013,35(2):1-9.
- [13] 曾慧卿,刘琪璟,冯宗炜,等.红壤丘陵区林下灌木生物量估算模型的建立及其应用[J].应用生态学报,2007,18(10):2185-2190.
- [14] Djomo A N, Ibrahima A, Saborowski J, *et al.* Allometric equations for biomass estimations in Cameroon and pan moist tropical equations including biomass data from Africa [J]. *Forest Ecology and Management*, 2010, 260(10):1873-1885.
- [15] 王天博.福建将乐马尾松人工林单木生物量模型研究[D].北京:北京林业大学,2012.
- [16] 秦武明,何斌,余浩光,等.马占相思人工林不同年龄阶段的生物生产力[J].东北林业大学学报,2007,35(1):22-24.
- [17] 马炜,孙玉军.长白落叶松中龄林生物量及其密度效应[J].东北林业大学学报,2013,41(8):13-17.
- [18] 曹林,余光辉,代劲松,等.激光雷达技术估测森林生物量的研究现状及展望[J].南京林业大学学报:自然科学版,2013,37(3):163-169.
- [19] 武高洁,郭志华,郭菊兰,等.红树林湿地地上生物量遥感估算研究进展[J].南方农业学报,2013,44(4):693-696.
- [20] 陈文烯.基于遥感数据的森林生物量测定理论与方法[J].亚热带水土保持,2013,25(2):41-44.
- [21] 王维枫.森林生物量模型综述[J].西北林学院学报,2008,23(2):58-63.
- [22] 程堂仁.甘肃小陇山森林生物量及碳储量研究[D].北京:北京林业大学,2007.
- [23] 李海奎,宁金魁.基于树木起源、立地分级和龄组的单木生物量模型[J].生态学报,2012,32(3):740-757.