

# 广西不同气候条件下马尾松人工林生物量模型构建及分配格局<sup>\*</sup>

秦佳双<sup>1,2</sup>,李玉凤<sup>1,3</sup>,马姜明<sup>1,3\*\*</sup>,蓝创造<sup>4</sup>,李海星<sup>5</sup>,唐生森<sup>6</sup>,李明金<sup>7</sup>

(1.广西师范大学可持续发展创新研究院,广西桂林 541006; 2.广西壮族自治区中国科学院广西植物研究所,广西桂林 541006; 3.珍稀濒危动植物生态与环境教育保护教育部重点实验室,广西桂林 541006; 4.环江毛南族自治县华山林场,广西河池 547105; 5.广西壮族自治区国有派阳山林场,广西崇左 532200; 6.广西林业科学研究院,广西南宁 530002; 7.横县镇龙林场,广西南宁 530327)

**摘要:**为科学地理解马尾松 *Pinus massoniana* 人工林地上生物量的分配格局及随气候带的变化,以广西中亚热带、南亚热带和北热带不同气候条件下马尾松人工林幼龄林、中龄林和过熟林为研究对象,构建生物量模型,并基于所得的模型比较分析不同气候条件下马尾松人工林生物量分配特征。结果表明:(1)灌木层立木生物量模型中,干和整株地上部分生物量的拟合效果较好,且模型Ⅱ:  $W = a \times D^b \times H^c$  的各项评价指标最好;(2)马尾松中龄林的群落及乔木层各部分生物量的积累均表现为南亚热带>北热带>中亚热带,灌木层的叶和枝生物量积累均表现为北热带>南亚热带>中亚热带,干和地上生物量均表现为南亚热带>中亚热带>北热带;幼龄林和过熟林(除叶生物量外)群落各部分生物量积累分别均为南亚热带最少;(3)中龄林叶生物量表现为南亚热带>北热带>中亚热带,枝、干和地上生物量均表现为北热带>南亚热带>中亚热带,马尾松各部分生物量(除叶生物量外)在群落中占比以及乔木层马尾松各部分生物量占比均表现为北热带>中亚热带>南亚热带。幼龄林和过熟林生物量积累分别均为南亚热带最少,马尾松各部分占比均为南亚热带最低。气候条件变化对马尾松不同阶段各部分均有着明显的影响,不同气候条件下马尾松生物量有明显不同。

**关键词:**马尾松 人工林 生物量 分配格局 估测模型 气候条件

中图分类号:Q948.1 文献标识码:A 文章编号:1005-9164(2020)02-0165-10

DOI:10.13656/j.cnki.gxkx.20200422.001

## 0 引言

森林生物量是指在特定的时间范围内,单位面积

内存存生活的某个或某几个生物物种或一个整体生物群落中的有机物质干重<sup>[1]</sup>。生物量是度量个体、种群在群落中的地位和功能的重要指标,能够反映出生

<sup>\*</sup> 广西创新驱动发展专项(桂科 AA17204087-7),桂林市科学研究与技术开发计划项目(20190205,20180107-3),广西优良用材林资源培育重点实验室开放课题项目(2019-B-04-01)和广西研究生教育创新计划项目(XYCSZ2019081)资助。

### 【作者简介】

秦佳双(1992—),男,硕士,主要从事恢复生态学研究。

### 【\*\*通信作者】

马姜明(1976—),男,博士,教授,博士生导师,主要从事退化生态系统的恢复与重建研究,E-mail:mjming03@163.com。

### 【引用本文】

秦佳双,李玉凤,马姜明,等.广西不同气候条件下马尾松人工林生物量模型构建及分配格局[J].广西科学,2020,27(2):165-174.

QIN J S, LI Y F, MA J M, et al. Biomass Model Construction and Distribution Pattern of *Pinus massoniana* Plantations under Different Climatic Conditions in Guangxi [J]. Guangxi Sciences, 2020, 27(2): 165-174.

态系统生产者的生产力和固碳能力,同时也可表征群落和生态系统功能强弱<sup>[2]</sup>,生物量作为植物的基本生物学特征和功能性状之一,是物质和能量积累的基本体现<sup>[3]</sup>,并对森林群落碳储量及其碳循环机理和生态经济效益等研究具有重要作用<sup>[4]</sup>。林木地上和地下生物量是森林生态系统的组成碳库之一<sup>[5]</sup>。植物个体的生长发育依赖于各器官间的协调生长,各器官生物量在个体中的占比代表着同化产物在各器官的分配比例和生长过程中各器官的协调关系<sup>[2]</sup>。区域和国家对树木生物量的估算通常基于国家森林资源清查数据,通常涉及生物量模型<sup>[6]</sup>。构建生物量模型是准确估算森林植被生物量的主要方法之一,植被胸径(基径)的平方与高度的乘积是运用最广泛的生物量模型的自变量<sup>[7]</sup>。

马尾松 *Pinus massoniana* 是我国东南部亚热带湿润地区种植面积最广泛、资源最大的森林群落,也是我国南方地区生态建设的主要造林树种和先锋树种,具有耐干旱、耐贫瘠、适应性强等特点<sup>[8]</sup>。国内外学者对生物量的研究主要集中在乔木层的生产力<sup>[9]</sup>、遥感估测<sup>[10]</sup>、生物量估算模型<sup>[11]</sup>、碳储量<sup>[12]</sup>和生物量分布格局<sup>[13]</sup>等方面,而从不同气候条件视角出发关于生物量分配研究较少。本研究以不同气候条件下的马尾松人工林群落生物量为研究对象,构建不同马尾松人工林乔木层和灌木层的生物量模型,并对不同马尾松人工林群落立木生物量分配格局进行分析,以探究其分配格局的变化特征,从而为研究不同马尾松人工林的群落结构动态变化提供基础资料。

## 1 材料与方 法

### 1.1 研究地概况

镇龙林场位于广西横县北部,109°08′—109°19′E,23°02′—23°08′N,海拔400—700 m的低山丘陵。气候属于亚热带季风气候,热量丰富,夏长冬短,雨热同季,年平均气温为21.5℃,年均降雨量为1477.8 mm;年平均日照时数1758.9 h;林地土壤多为赤红壤,呈酸性或微酸性。华山林场位于广西西北部,环江毛南族自治县中部,108°06′—108°38′E,25°05′—25°31′N,海拔300—600 m的低山丘陵地貌。属中亚热带季风气候,年平均气温为19.8℃,年均降雨量1402.1 mm,土壤多为黄壤和红壤。国有派阳山林场位于广西西南部的宁明县境内,106°30′—107°15′E,21°15′—22°30′N,海拔200—800 m的低山地貌。属北热带季风气候,年均气温21.8℃,

年均降雨量1250—1700 mm,土壤有赤红壤、黄红壤和紫色土等,以赤红壤为主。

### 1.2 样地设置及调查

采用群落学调查方法在镇龙林场、华山林场和派阳山林场选取立地条件大致相似,不同气候条件下的马尾松人工林进行研究。共选取样地11个,镇龙林场7个、华山林场和派阳山林场各2个,每个样地设置重复样方3个。样方面积20 m×20 m,并将样方分成4个10 m×10 m的小样方。调查记录样地的海拔、坡向、坡度、坡位等生境因子,以及样方内植被种类、株数、胸径(基径)、树(株)高、冠幅和群落的郁闭度。

### 1.3 生物量的测定与样品收集

在样方周围按照1 cm < 胸径 < 5 cm 随机选取样品,每个等级选取3—5株,测定其胸径和树高,齐地面处切割,地上部分按干、枝、叶、花果分开,并称重。然后带回实验室,将样品放置于105℃烘箱内杀青2 h,调至85℃下烘至恒重,求出各器官干鲜质量之比,由此换算出样本木各器官的干重及总重<sup>[14]</sup>。

### 1.4 生物量模型构建与评价

结合蔡会德等<sup>[15]</sup>和李良等<sup>[16]</sup>的模型,采用相对生长法建立非线性生物量模型。

模型 I 公式为

$$W = a(D^2 H)^b, \quad (1)$$

模型 II 公式为

$$W = aD^b H^c, \quad (2)$$

模型 III 公式为

$$W = a + b(D^2 H), \quad (3)$$

式(1)–(3)中, $W$ 为生物量(g), $D$ 为胸径或基径(cm), $H$ 为高度(m), $a$ 、 $b$ 、 $c$ 为模型参数。

为避免地区生长差异,选择研究地区已有的马尾松和针阔混交林模型<sup>[7]</sup>对马尾松以及非马尾乔木树种生物量进行估算。马尾松模型为

$$W_{\text{叶}} = 0.3032(D^2 H)^{0.3256}, \quad (4)$$

$$W_{\text{枝}} = 0.0599(D^2 H)^{0.6542}, \quad (5)$$

$$W_{\text{干}} = 0.1181(D^2 H)^{0.8187}; \quad (6)$$

非马尾松模型为

$$W_{\text{叶}} = 0.02(D^2 H)^{0.665}, \quad (7)$$

$$W_{\text{枝}} = 0.024(D^2 H)^{0.713}, \quad (8)$$

$$W_{\text{干}} = 0.067(D^2 H)^{0.803}, \quad (9)$$

式(4)–(9)中, $W$ 为生物量(kg), $D$ 为胸径或基径(cm), $H$ 为高度(m)。

在评价立木生物量模型时,计算确定系数( $R^2$ )、

估计值的标准误差(SEE)、平均系统误差(MSE)和总相对误差值(TRE) 4项指标评价拟合结果。数据处理采用统计软件 SPSS 20.0 和 Sigmaplot 12.5 作图。

### 1.5 生物量分配格局分析

将不同气候条件下马尾松人工林群落的生长因子代入 1.4 节筛选后的最佳生物量模型中,并以此探究不同气候条件下马尾松人工林灌木层各部分(叶、枝、干、整株)生物量、马尾松群落生物量及马尾松地

表 1 马尾松人工林样地基本情况

Table 1 Basic situation of *Pinus massoniana* plantation plots

林分类型 Stand types	林龄 Ages (a)	坡向 Aspect	坡位 Slope position	海拔 Altitude (m)	平均胸径 Mean DBH (cm)	平均树高 Average tree height (m)	密度 Density (trees/hm <sup>2</sup> )	郁闭度 Canopy density	气候条件 Climatic conditions
Yh	10	N	中上 Mid-uphill	314	16.02	13.35	1 983	0.8	中亚热带 Central subtropics
Yz	7	NW	中 Mid	313	10.55	5.65	1 300	0.7	南亚热带 South subtropics
Mh	19	SE	中 Mid	315	15.18	13.83	925	0.7	中亚热带 Central subtropics
Mz	18	SE	中上 Mid-uphill	378	12.67	10.79	1 407	0.8	南亚热带 South subtropics
Mp	14	SW	中 Mid	426	11.52	9.75	1 066	0.7	北热带 Northern tropics
Oz	59	SE	上 Uphill	258	41.27	26.55	197	0.8	南亚热带 South subtropics
Op	61	NE	中上 Mid-uphill	425	50.87	30.19	307	0.7	北热带 Northern tropics

灌木层主要优势种有:(Yh)鹅掌柴 *Schefflera octophylla*、地果 *Ficus tikoua*、茄叶斑鸠菊 *Vernonia solanifolia*;(Yz)展毛野牡丹 *Melastoma normale*、广西水锦树 *Wendlandia aberrans*、鼠刺 *Itea chinensis*;(Mh)三桠苦 *Evodia lepta*、地果、桃金娘 *Rhodomyrtus tomentosa*;(Mz)鹅掌柴、三桠苦、草珊瑚 *Sarcandra glabra*;(Mp)山鸡椒 *Litsea cubeba*、茄叶斑鸠菊 *Vernonia solanifolia*;(Oz)纽子果 *Ardisia palysticta*、海南冬青 *Ilex hainanensis*、九节 *Psychotria rubra*;(Op)假苹婆 *Sterculia lanceolata*、尾叶崖爬藤 *Tetrastigma caudatum*、纽子果。

乔木层主要优势种有:(Mh)芳樟润楠 *Machilus suaveolens*、欆木 *Loropetalum chinense*、鸡仔木 *Sinoadina racemosa*、西南木荷 *Schima wallichii*;(Mz)山乌柏 *Sapium discolor*、鹅掌柴;(Oz)鹅掌柴、海南冬青 *Ilex hainanensis*、大叶栎 *Quercus griffithii*;(Op)毛八角枫 *Alangium kurzii*、假苹婆、鹅掌柴。

上生物量在群落中占比,总结归纳马尾松人工林的生物量分配格局特征。

## 2 结果与分析

### 2.1 马尾松人工林林分情况

马尾松人工林林分基本情况见表 1。其中,Y,M,O 分别表示幼龄林、中龄林、过熟林;h,z,p 分别表示华山林场、镇龙林场、派阳山林场。

### 2.2 不同气候条件下马尾松人工林灌木层生物量生长模型

利用马尾松不同气候条件下立木的各项生物量与胸(基)径、树(株)高的实测数据,建立不同林分类型生物量模型,采用加权回归拟合的 3 种模型对其叶、枝、干、整株生物量进行拟合,并计算各项模型评价指标,结果见表 2。 $R^2$  和 SEE 是回归模型最常用指标,反映模型的拟合优度,TRE 和 MSE 是反映拟合效果的重要指标,趋于 0 时效果最好<sup>[17]</sup>。对于模型的选择通常要求  $R^2$  大,SEE 小<sup>[18]</sup>,其模型拟合效果为最好模型,故模型 II 为各类型马尾松人工林灌木层生物量的最佳模型。本研究中通过比较实测值与预估值,对不同气候条件下的马尾松林根据  $R^2$ ,SEE,MSE 和 TRE 进行灌木层生物量模型验证,发现平均系统误差 MSE 基本小于 30%,总相对误差 TRE 基本小于 10%,说明建立的生物量模型的精确度较高。

表 2 不同气候条件下马尾松人工林灌木层生物量模型拟合及验证

Table 2 Model fitting and verification of shrub biomass of *Pinus massoniana* plantations under different climatic conditions

林分类型 Stand types	不同器官 Different organs	模型 Model	回归模型 Regression model	$R^2$	SEE (g)	MSE (%)	TRE (%)
Yh	叶 Leaf	I	$W=27.836(D^2H)^{0.544}$	0.527	24.378	-2.549	-0.562
		II	$W=42.177D^{1.501}H^{-0.021}$	0.547	23.864	-4.056	-0.941
		III	$W=24.434+7.544(D^2H)$	0.494	25.208	-1.686	0.001
	枝 Branch	I	$W=13.709(D^2H)^{0.991}$	0.658	25.875	-5.915	-0.659
		II	$W=17.877D^{2.330}H^{0.620}$	0.660	25.804	-5.237	-0.489
		III	$W=-0.375+13.565(D^2H)$	0.658	25.875	-4.538	0.001
	干 Trunk	I	$W=51.604(D^2H)^{0.673}$	0.834	31.169	-4.052	-1.053
		II	$W=33.222D^{0.968}H^{1.228}$	0.846	30.022	-2.677	-0.634
		III	$W=37.565+21.063(D^2H)$	0.797	34.383	-3.065	-0.002
	整株地上部分 Above-ground part	I	$W=80.980(D^2H)^{0.799}$	0.843	59.009	-3.592	-0.868
		II	$W=102.652D^{1.866}H^{0.485}$	0.846	58.360	-3.209	-0.861
		III	$W=38.507+48.900(D^2H)$	0.831	61.140	-2.997	0.000
Yz	叶 Leaf	I	$W=20.626(D^2H)^{0.458}$	0.511	28.375	-14.098	-2.764
		II	$W=31.956D^{1.403}H^{-0.189}$	0.546	27.350	-16.022	-3.095
		III	$W=21.913+3.062(D^2H)$	0.400	31.425	-5.632	0.002
	枝 Branch	I	$W=12.478(D^2H)^{0.691}$	0.811	19.036	-16.914	-2.543
		II	$W=22.169D^{2.391}H^{-0.373}$	0.867	15.944	-14.099	-1.401
		III	$W=9.967+4.598(D^2H)$	0.776	20.736	-10.198	-0.001
	干 Trunk	I	$W=23.062(D^2H)^{0.940}$	0.960	33.103	-5.983	-1.138
		II	$W=21.078D^{1.758}H^{1.083}$	0.960	32.747	-6.434	-1.081
		III	$W=3.795+19.216(D^2H)$	0.958	33.617	-4.734	0.000
	整株地上部分 Above-ground part	I	$W=54.601(D^2H)^{0.777}$	0.910	71.427	-13.748	-2.000
		II	$W=62.053D^{1.720}H^{0.576}$	0.913	70.530	-13.641	-1.973
		III	$W=35.675+26.876(D^2H)$	0.893	77.857	-10.017	0.000
Mh	叶 Leaf	I	$W=21.114(D^2H)^{0.591}$	0.501	43.642	-0.250	-0.155
		II	$W=154.637D^{3.405}H^{-2.298}$	0.887	20.745	2.152	0.914
		III	$W=35.214+4.217(D^2H)$	0.492	44.038	-0.938	0.006
	枝 Branch	I	$W=7.636(D^2H)^{0.956}$	0.743	42.351	-1.869	-0.820
		II	$W=22.161D^{2.658}H^{-0.289}$	0.773	39.799	-2.934	-0.645
		III	$W=0.665+6.595(D^2H)$	0.742	42.411	0.515	-0.004
	干 Trunk	I	$W=46.287(D^2H)^{0.745}$	0.880	70.115	-1.758	-0.459
		II	$W=53.227D^{1.601}H^{-0.573}$	0.881	328.199	306.271	335.588
		III	$W=67.584+17.521(D^2H)$	0.867	73.604	-1.834	-0.001
	整株地上部分 Above-ground part	I	$W=68.507(D^2H)^{0.774}$	0.835	139.685	-1.659	-0.575
		II	$W=120.492D^{2.049}H^{-0.044}$	0.855	150.889	8.809	11.604
		III	$W=94.099+29.089(D^2H)$	0.826	143.743	-1.713	0.000
Mz	叶 Leaf	I	$W=24.448(D^2H)^{0.552}$	0.409	48.698	-0.798	-0.184
		II	$W=45.228D^{2.879}H^{-1.265}$	0.575	41.322	12.024	2.681

续表 2

Continued table 2

林分类型 Stand types	不同器官 Different organs	模型 Model	回归模型 Regression model	$R^2$	SEE (g)	MSE (%)	TRE (%)	
Mp	枝 Branch	III	$W=38.820+4.281(D^2H)$	0.386	49.637	-1.635	-0.003	
		I	$W=29.078(D^2H)^{0.652}$	0.592	61.570	-1.811	-0.273	
		II	$W=28.366D^{1.255}H^{0.707}$	0.592	61.555	-1.912	-4.727	
	干 Trunk	III	$W=44.662+7.769(D^2H)$	0.578	62.623	-2.031	-0.003	
		I	$W=56.908(D^2H)^{0.821}$	0.954	59.846	-3.188	-0.615	
		II	$W=48.708D^{1.366}H^{1.145}$	0.963	53.562	-3.147	-0.467	
	整株地上部分 Above-ground part	III	$W=64.155+29.585(D^2H)$	0.945	65.695	-3.082	-0.001	
		I	$W=101.386(D^2H)^{0.762}$	0.911	121.422	-1.692	-0.301	
		II	$W=98.480D^{1.467}H^{0.827}$	0.911	121.173	-1.808	-0.337	
	叶 Leaf	III	$W=138.733+41.884(D^2H)$	0.898	129.511	-2.391	0.000	
		I	$W=18.403(D^2H)^{0.855}$	0.666	76.292	4.333	1.343	
		II	$W=44.183D^{2.304}H^{-0.278}$	0.716	70.391	1.314	0.253	
		枝 Branch	III	$W=32.582+10.029(D^2H)$	0.672	75.600	-0.778	-0.003
			I	$W=18.919(D^2H)^{0.818}$	0.602	52.831	0.800	0.236
			II	$W=24.961D^{2.391}H^{0.098}$	0.649	49.631	5.580	0.936
		干 Trunk	III	$W=22.009+9.954(D^2H)$	0.604	52.716	-0.770	0.001
			I	$W=58.056(D^2H)^{0.684}$	0.861	71.963	-2.488	-0.568
			II	$W=58.685D^{1.376}H^{0.671}$	0.861	71.958	-2.657	-0.735
整株地上部分 Above-ground part	III	$W=106.810+16.177(D^2H)$	0.817	82.555	-3.326	-0.002		
	I	$W=128.655(D^2H)^{0.650}$	0.898	122.922	-3.804	-0.763		
	II	$W=153.251D^{1.433}H^{0.412}$	0.902	120.800	-4.202	-1.012		
Oz	叶 Leaf	III	$W=235.673+30.683(D^2H)$	0.842	152.921	-3.752	0.001	
		I	$W=29.242(D^2H)^{0.462}$	0.272	77.015	-3.848	-0.900	
		II	$W=28.719D^{0.851}H^{0.522}$	0.273	76.994	-3.656	-0.821	
	枝 Branch	III	$W=69.295+2.042(D^2H)$	0.222	79.645	-1.927	-0.008	
		I	$W=20.621(D^2H)^{0.765}$	0.434	160.548	2.274	0.439	
		II	$W=25.614D^{4.426}H^{-1.368}$	0.690	118.825	12.580	0.755	
	干 Trunk	III	$W=63.297+6.759(D^2H)$	0.435	160.456	-0.633	-0.003	
		I	$W=31.419(D^2H)^{0.988}$	0.903	199.788	3.593	1.207	
		II	$W=40.121D^{2.919}H^{0.195}$	0.944	150.979	4.152	0.765	
整株地上部分 Above-ground part	III	$W=31.459+29.257(D^2H)$	0.904	198.856	0.368	0.001		
	I	$W=65.658(D^2H)^{0.886}$	0.817	376.743	1.953	0.776		
	II	$W=84.049D^{2.953}H^{-0.072}$	0.888	294.769	2.839	0.426		
Op	叶 Leaf	III	$W=159.994+38.304(D^2H)$	0.819	374.753	-0.884	0.001	
		I	$W=10.036(D^2H)^{0.957}$	0.614	85.227	2.591	0.834	
		II	$W=19.797D^{2.972}H^{-0.252}$	0.651	80.995	5.366	1.410	
	枝 Branch	III	$W=13.866+8.146(D^2H)$	0.616	85.021	0.550	0.000	
		I	$W=21.523(D^2H)^{0.696}$	0.649	73.468	1.156	0.276	

续表 2

Continued table 2

林分类型 Stand types	不同器官 Different organs	模型 Model	回归模型 Regression model	$R^2$	SEE (g)	MSE (%)	TRE (%)
干 Trunk		II	$W = 32.596D^{2.460}H^{-0.326}$	0.694	68.609	5.991	1.158
		III	$W = 63.921 + 5.197(D^2H)$	0.650	73.385	-0.170	-2.853
		I	$W = 33.160(D^2H)^{0.960}$	0.839	224.715	3.949	0.888
	整株地上部分 Above-ground part	II	$W = 30.626D^{1.735}H^{1.142}$	0.840	224.014	3.140	0.603
		III	$W = 45.267 + 27.319(D^2H)$	0.840	223.714	1.461	-0.002
		I	$W = 113.140(D^2H)^{0.696}$	0.883	174.908	-1.178	-0.378
	II	$W = 119.682D^{1.498}H^{0.585}$	0.884	174.329	-0.975	-0.262	
	III	$W = 310.599 + 27.991(D^2H)$	0.867	186.313	-1.144	-0.001	

### 2.3 不同气候条件下立木地上生物量分配及其特征

不同马尾松人工林群落立木地上生物量的变化幅度为 1.84—377.16 t/hm<sup>2</sup> (表 3)。在气候条件从中亚热带到南亚热带再到北热带, 中龄林阶段乔木层及群落各部分(叶、枝、干和整株地上部分)生物量的积累均呈先起后伏的趋势, 均表现为南亚热带>北热带>中亚热带; 灌木层的叶和枝生物量积累均呈逐渐增大的趋势, 均表现为北热带>南亚热带>中亚热

带, 干和地上生物量均呈先起后伏的趋势, 均表现为南亚热带>中亚热带>北热带。幼龄林阶段群落各部分生物量的积累均表现为中亚热带>南亚热带。过熟林阶段乔木层以及群落枝、干和整株地上部分生物量分别均表现为南亚热带积累量最少, 北热带积累量最多, 叶生物量积累量表现则相反; 灌木层各部分生物量的积累均呈逐渐减小的趋势, 均表现为南亚热带>北热带。

表 3 不同气候条件下立木地上生物量及分配(t/hm<sup>2</sup>)Table 3 Above-ground biomass and biomass partitioning under different climatic conditions (t/hm<sup>2</sup>)

林分类型 Stand types	层次 Layer	叶 Leaf	枝 Branch	干 Trunk	整株地上部分 Above-ground part
Yh	群落 Community	7.10	20.05	152.82	179.94
Yz	群落 Community	2.65	4.24	24.32	31.14
Mh	乔木层 Arbor layer	3.93	11.28	87.49	102.70
	灌木层 Shrub layer	0.57	0.44	1.61	2.53
Mz	群落 Community	4.49	11.72	89.10	105.23
	乔木层 Arbor layer	7.13	16.81	117.78	141.71
	灌木层 Shrub layer	0.64	0.54	1.94	2.79
Mp	群落 Community	7.77	17.34	119.72	144.50
	乔木层 Arbor layer	4.19	13.00	102.26	119.46
	灌木层 Shrub layer	0.80	0.73	1.06	2.35
	群落 Community	4.99	13.73	103.32	121.81

续表 3

Continued table 3

林分类型 Stand types	层次 Layer	叶 Leaf	枝 Branch	干 Trunk	整株地上部分 Above-ground part
Oz	乔木层 Arbor layer	4.77	21.24	228.17	254.18
	灌木层 Shrub layer	2.14	3.26	8.34	13.74
	群落 Community	6.91	24.49	236.51	267.92
Op	乔木层 Arbor layer	4.40	27.18	343.74	375.32
	灌木层 Shrub layer	0.42	0.35	1.41	1.84
	群落 Community	4.83	27.53	345.15	377.16

#### 2.4 不同气候条件下马尾松生物量分配及其特征

由表 4 信息得知,不同气候条件下马尾松人工林群落中马尾松地上生物量的变化幅度为 30.76—351.21 t/hm<sup>2</sup>。在气候条件从中亚热带到南亚热带再到北热带,中龄林阶段马尾松叶生物量的积累呈先起后伏的趋势,表现为南亚热带>北热带>中亚热带,而枝、干和整株地上部分生物量在群落中呈逐渐增大的趋势,表现为北热带>南亚热带>中亚热带;乔木层马尾松各部分(叶、枝、干和整株地上部分)生物量占比以及马尾松枝、干和整株地上部分生物量在

群落中占比均呈先伏后起的趋势,表现为北热带>中亚热带>南亚热带。幼龄林阶段马尾松各部分生物量的积累均表现为中亚热带>南亚热带;过熟林阶段马尾松各部分生物量的积累呈逐渐增大的趋势,均表现为北热带>南亚热带,幼龄林和过熟林阶段,积累量均为南亚热带最少。幼龄林阶段马尾松各部分生物量在群落中占比均表现为中亚热带>南亚热带。过熟林阶段乔木层马尾松各部分生物量占比以及马尾松各部分生物量在群落中占比均呈逐渐增大的趋势,均表现为北热带>南亚热带。

表 4 不同气候条件下马尾松地上生物量分配及在群落中占比

Table 4 Distribution of above-ground biomass and its proportion in communities of *Pinus massoniana* under different climatic conditions

林分类型 Stand types	层次 Layer	叶 Leaf		枝 Branch		干 Trunk		整株地上部分 Above-ground part	
		生物量 Biomass (t/hm <sup>2</sup> )	占比 Proportion (%)	生物量 Biomass (t/hm <sup>2</sup> )	占比 Proportion (%)	生物量 Biomass (t/hm <sup>2</sup> )	占比 Proportion (%)	生物量 Biomass (t/hm <sup>2</sup> )	占比 Proportion (%)
Yh	群落 Community	6.81	96.20	19.81	98.83	152.35	99.71	178.96	99.47
Yz	群落 Community	2.48	93.89	4.15	97.88	24.13	99.25	30.76	98.81
Mh	乔木层 Arbor layer	3.77	96.75	11.01	98.02	85.96	98.54	100.74	98.42
	群落 Community	3.77	84.49	11.01	93.31	85.96	96.59	100.74	95.78
Mz	乔木层 Arbor layer	4.99	70.28	12.99	77.53	95.31	81.08	113.29	80.12
	群落 Community	4.99	65.61	12.99	75.64	95.31	80.05	113.29	78.92
Mp	乔木层 Arbor layer	4.19	100.00	13.00	100.00	102.26	100.00	119.46	100.00
	群落 Community	4.19	83.96	13.00	94.67	102.26	98.97	119.46	98.07

续表 4

Continued table 4

林分类型 Stand types	层次 Layer	叶 Leaf		枝 Branch		干 Trunk		整株地上部分 Above-ground part	
		生物量 Biomass (t/hm <sup>2</sup> )	占比 Proportion (%)	生物量 Biomass (t/hm <sup>2</sup> )	占比 Proportion (%)	生物量 Biomass (t/hm <sup>2</sup> )	占比 Proportion (%)	生物量 Biomass (t/hm <sup>2</sup> )	占比 Proportion (%)
Oz	乔木层 Arbor layer	2.43	51.41	17.03	80.45	202.92	89.06	222.38	87.64
	群落 Community	2.43	36.81	17.03	70.51	202.92	85.99	222.38	83.37
Op	乔木层 Arbor layer	2.60	59.62	23.96	88.34	324.65	94.53	351.21	93.68
	群落 Community	2.60	55.11	23.96	87.53	324.65	94.20	351.21	93.35

### 3 讨论

生物量可以直接反映森林结构和功能的变化,对生物量的研究有助于了解林分的结构、物质的累积等规律<sup>[19]</sup>。生物量模型方法是基于易测变量评价生物量的较准确方法<sup>[20]</sup>,建立健全的生物量模型对预测林分生物量和碳项目的估算,以及森林经营的决策具有重要作用<sup>[21]</sup>。本研究在对马尾松群落样方立木进行测定的基础上,对不同马尾松灌木层采样,为灌木层生物量模型构建提供了可靠的实验数据。由于现有生物量估测模型众多,为使生物量估测精度更高,选取3种模型对马尾松人工林灌木层立木地上生物量进行拟合。研究表明,除Mz和Oz群落叶生物量模型外,各器官叶、枝、干和整株地上部分生物量模型的决定系数均为0.400—0.964,且3个生物量模型中叶和枝生物量模型的决定系数较低,干和整株地上部分生物量的拟合效果较好,这与朱江等<sup>[22]</sup>、李巍等<sup>[23]</sup>结果一致,反映了植物叶和枝部位受生物和非生物因子影响较大<sup>[24]</sup>,从而容易导致较大的差异。

植物体不同器官生物量分配策略是植物对环境条件长期自然选择的结果,植物通过调节自身资源配置以适应复杂的环境变化,在不同的环境条件下表现出不同的生长特性和生物量分配规律<sup>[25]</sup>。在气候条件从中亚热带到南亚热带再到北热带,马尾松人工林灌木层植被立木生物量在中龄林阶段较小,可能是由于随着林分的郁闭,中龄林的林下植被处于相对衰退的状态,这期间林下植被的生物量在整个马尾松人工林发育各阶段中相对最小<sup>[26]</sup>,过熟林阶段群落立木

各部分(枝、干、整株地上部分)表现为不断增加的趋势,说明在气候条件从南亚热带到北热带,非生物因子的改变对马尾松人工林群落的生长具有一定的促进作用;幼龄林和过熟林阶段群落生物量均为南亚热带最小,且差异较大。可能是由于树种差异所致,树木在生长发育过程中,与相邻植株进行光照、水分及养分竞争,植株不同部位的生物量分配也是不均匀的<sup>[27]</sup>。

植物生物量的分配格局与物种、年龄、植株大小以及生长环境均有密切关系<sup>[28]</sup>,气候条件是影响植物生长的关键因素,对植物的自然分布及适生性起着决定性作用<sup>[29]</sup>。不同气候条件下马尾松人工林中,从中亚热带到南亚热带再到北热带,中龄林阶段马尾松各部分生物量的占比整体呈先伏后起的趋势,北热带马尾松生物量(除叶生物量外)所占比例最高,南亚热带占比最低,幼龄林和过熟林阶段均为南亚热带占比最低,说明在南亚热带马尾松人工林群落中,林下树种生物量在群落中占比最大,且在群落中占据一定的生态位。

#### 参考文献

- [1] 韦昌幸,张党权,王凤琴,等. 木荷人工林生物量及生产力研究[J]. 广西林业科学, 2019, 48(4): 509-513.
- [2] 孙越,何怀江,李良,等. 阔叶红松林下6种早夏草本不同生长期生物量分配及模型构建[J]. 生态学报, 2017, 37(19): 6523-6533. DOI:10.5846/stxb201607071391.
- [3] 韦霄,史艳财,陈宗游,等. 不同施肥处理对战骨生长特性和生物量的影响研究[J]. 广西科学院学报, 2014, 30(4): 269-273. DOI:10.3969/j.issn.1002-7378.2014.04.010.



- [4] 胡峻嵒,黄访,铁烈华,等. 四川省森林植被固碳经济价值动态[J]. 生态学报,2019,39(1):158-163. DOI:10.5846/stxb201809292123.
- [5] 赵嘉诚,李海奎. 杉木单木和林分水平地下生物量模型的构建[J]. 林业科学,2018,54(2):81-89. DOI:10.11707/j.1001-7488.20180209.
- [6] BREIDENBACH J,ANTÓN-FERNÁNDEZ C,PETERSSON H,et al. Quantifying the model-related variability of biomass stock and change estimates in the Norwegian National Forest Inventory [J]. Forest Science,2014,60(1):25-33. DOI:10.5849/forsci.12-137.
- [7] 周国逸,尹光彩,唐旭利,等. 中国森林生态系统碳储量——生物量方程[M]. 北京:科学出版社,2018.
- [8] 潘亚静,梁月明,马姜明,等. 不同林龄和密度对马尾松人工林凋落叶养分变化的影响[J]. 广西植物,2020,40(2):237-246. DOI:10.11931/guihaia.gxzw201906044.
- [9] KEELING H C,PHILLIPS O L. The global relationship between forest productivity and biomass [J]. Global Ecology and Biogeography,2007,16(5):618-631. DOI:10.1111/j.1466-8238.2007.00314.x.
- [10] 翟晓江,郝红科,麻坤,等. 基于TM的陕北黄龙山森林生物量模型[J]. 西北林学院学报,2014,29(1):41-45.
- [11] MORALES P,HICKLER T,ROWELL D P,et al. Changes in European ecosystem productivity and carbon balance driven by regional climate model output [J]. Global Change Biology,2007,13(1):108-122. DOI:10.1111/j.1365-2486.2006.01289.x.
- [12] 周序力,蔡黎,熊心雨,等. 贵州月亮山不同演替阶段亮叶水青冈林碳储量及其分配格局[J]. 植物生态学报,2018,42(7):703-712. DOI:10.17521/cjpe.2018.0064.
- [13] 岑宇,王成栋,张震,等. 河北省天然草地生物量和碳密度空间分布格局[J]. 植物生态学报,2018,42(3):265-276. DOI:10.17521/cjpe.2015.0300.
- [14] 谢宗强,王杨,唐志尧,等. 中国常见灌木生物量模型手册[M]. 北京:科学出版社,2018.
- [15] 蔡会德,农胜奇,张伟,等. 广西主要树种立木生物量模型的研建[J]. 林业资源管理,2014(4):58-61,66. DOI:10.13466/j.cnki.lyzygl.2014.04.012.
- [16] 李良,夏富才,孙越. 阔叶红松林下早春植物生物量分配[J]. 北京林业大学学报,2017,39(1):34-42.
- [17] 张雅君,马姜明,苏静,等. 桂林岩溶石山櫟木群落不同恢复阶段地上生物量模型构建及分配格局[J]. 广西植物,2019,39(2):161-169. DOI:10.13332/j.1000-1522.20160063.
- [18] 潘良浩,史小芳,范航清. 荳芎(*Cyperus malaccensis* Lam.)生物量估测模型[J]. 广西科学院学报,2015,31(4):259-263. DOI:10.3969/j.issn.1002-7378.2015.04.006.
- [19] 黄石嘉,李铁华,文仕知,等. 青冈栎的生长规律及生物量分布格局研究[J]. 中南林业科技大学学报,2017,37(3):57-62. DOI:10.14067/j.cnki.1673-923x.2017.03.009.
- [20] OLIVERAS I,VAN DER EYNDEN M,MALHI Y,et al. Grass allometry and estimation of above-ground biomass in tropical alpine tussock grasslands [J]. Austral Ecology,2014,39(4):408-415. DOI:10.1111/aec.12098.
- [21] 陈宗铸,陈小花,陈毅青,等. 海南岛热带人工林主要树种(组)生物量兼容性模型构建[J]. 中南林业科技大学学报,2019,39(11):71-77,87.
- [22] 朱江,韩海荣,康峰峰,等. 山西太岳山华北落叶松生物量分配格局与异速生长模型[J]. 生态学杂志,2016,35(11):2918-2925. DOI:10.13292/j.1000-4890.201611.030.
- [23] 李巍,王传宽,张全智. 林木分化对兴安落叶松异速生长方程和生物量分配的影响[J]. 生态学报,2015,35(6):1679-1687. DOI:10.5846/stxb201403170466.
- [24] BOND-LAMBERTY B,WANG C K,GOWER S. Above ground and below ground biomass and sapwood area allometric equations for six boreal tree species of northern Manitoba [J]. Canadian Journal of Forest Research,2002,32:1441-1450. DOI:10.1139/X02-063.
- [25] 肖遥,陶冶,张元明. 古尔班通古特沙漠4种荒漠草本植物不同生长期的生物量分配与叶片化学计量特征[J]. 植物生态学报,2014,38(9):929-940. DOI:10.3724/SP.J.1258.2014.00087.
- [26] 刘磊,温远光,卢立华,等. 不同林龄杉木人工林林下植物组成及其生物量变化[J]. 广西科学,2007,14(2):172-176. DOI:10.3969/j.issn.1005-9164.2007.02.026.
- [27] 汪珍川,杜虎,宋同清,等. 广西主要树种(组)异速生长模型及森林生物量特征[J]. 生态学报,2015,35(13):4462-4472. DOI:10.5846/stxb201409021740.
- [28] 孟延山,孟俐君,王静洁,等. 青海省2种主要树种的生物量分配格局和单木生物量模型[J]. 西部林业科学,2019,48(6):21-28. DOI:10.16473/j.cnki.xblykx1972.2019.06.004.
- [29] 张辰露,梁宗锁,郭宏波,等. 不同气候区丹参生物量、有效成分变化与气象因子的相关性研究[J]. 中国中药杂志,2015,40(4):607-613.

# Biomass Model Construction and Distribution Pattern of *Pinus massoniana* Plantations under Different Climatic Conditions in Guangxi

QIN Jiashuang<sup>1,2</sup>, LI Yufeng<sup>1,3</sup>, MA Jiangming<sup>1,3</sup>, LAN Chuangzao<sup>4</sup>, LI Haixing<sup>5</sup>,  
TANG Shengsen<sup>6</sup>, LI Mingjin<sup>7</sup>

(1. Innovation Institute of Sustainable Development, Guangxi Normal University, Guilin, Guangxi, 541006, China; 2. Guangxi Institute of Botany, Guangxi Zhuang Autonomous Region and Chinese Academy of Sciences, Guilin, Guangxi, 541006, China; 3. Key Laboratory of Ecology of Rare and Endangered Species and Environmental Protection, Ministry of Education, Guilin, Guangxi, 541006, China; 4. Huashan Forest Farm of Huanjiang Maonan Autonomous County, Hechi, Guangxi, 547105, China; 5. Guangxi Zhuang Autonomous Region State-owned Paiyang Mountain Forest Farm, Chongzuo, Guangxi, 532200, China; 6. Guangxi Academy of Forestry Sciences, Nanning, Guangxi, 530002, China; 7. Zhenlong Forest Farm of Heng County, Nanning, Guangxi, 530327, China)

**Abstract:** In order to scientifically understand the distribution pattern of above-ground biomass of *Pinus massoniana* plantation and its changes with climatic zone, the young, middle-aged and over-mature forests of *P. massoniana* plantations under different climatic conditions in the mid-subtropical, southern subtropical and northern tropical regions of Guangxi were taken as the research objects, and a biomass model was built. Based on the obtained model, the biomass allocation characteristics of *P. massoniana* plantations under different climatic conditions were compared and analyzed. The results showed that: (1) In the shrub layer standing biomass models, the fitting effect of the above-ground biomass of the trunk and whole plants was better, and the model II:  $W = a \times D^b \times H^c$  has the best evaluation index. (2) The community of middle-aged *P. massoniana* forest and the accumulation of biomass in various parts of the tree layer was shown as south subtropical > north tropical > middle subtropical. The accumulation of leaf and branch biomass in the shrub layer was shown as north tropical > southern subtropical > middle subtropical. The trunk and above-ground biomass are expressed as south subtropical > mid-subtropical > north tropical. The accumulation of biomass in each part of the community in young forests and over-mature forests (except leaf biomass) was the smallest in the southern subtropics. (3) The leaf biomass of *P. massoniana* of the middle-aged forest was shown as south subtropical > north tropical > mid-subtropical, and the biomass of branch, trunk and above-ground was all shown as north tropical > south subtropical > mid-subtropical. The biomass of all parts of *P. massoniana* (except leaf biomass) in the community and the biomass of each part of tree layer were expressed as north tropical > mid-subtropical > south subtropical. The biomass accumulation of young forests and over-mature forests was the least in southern subtropics, respectively, and the proportion of each part of *P. massoniana* was the lowest in southern subtropics. The change of climatic conditions had significant influence on different parts of *P. massoniana* at different stages, and the biomass of *P. massoniana* was obviously different under different climatic conditions.

**Key words:** *Pinus massoniana*, plantations, biomass, distribution pattern, estimation models, climatic conditions