

# 长白落叶松林下灌木生物量模型研究

蔡兆炜, 孙玉军\*, 刘凤娇

(北京林业大学 省部共建森林培育与保护教育部重点实验室, 北京 100083)

**摘要:** 以长白落叶松人工林林下灌木为研究对象, 采用数学模拟的方法, 以实测生物量数据为基础, 构建灌木层最佳生物量预测回归模型。结果表明: 林下常见灌木单株生物量模型以二次多项式及乘幂方程为最佳估算模型, 以复合因子基径面积、植干体积、植冠面积及植冠投影体积为最佳模型参数; 灌木层混合生物量( $W_T$ )模型以复合因子植干体积( $V_D$ )为最佳模型参数, 其模型方程为  $W_T = 9.00 \times 10^{-6} V_D^2 + 0.389V_D + 57.598 (R^2 = 0.933)$ 。

**关键词:** 长白落叶松; 灌木; 生物量; 估算模型

**中图分类号:** S791.24      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1004-3268(2013)06-0126-04

## Studies on Biomass Models of Understory Shrubs in *Larix olgensis* Herry. Plantation

CAI Zhao-wei, SUN Yu-jun\*, LIU Feng-jiao

(Key Laboratory for Silviculture and Conservation, Ministry of Education, Beijing Forestry University,  
Beijing 100083, China)

**Abstract:** Shrub biomass is an important index of weighing the productivity of vegetation. Based on the biomass data of the field investigation in *Larix olgensis* Herry. plantation, the best biomass prediction model was established by mathematical modelling. The results showed that, quadratic polynomial and power function were the optimal biomass estimation models of shrub species, and the composite factors, i. e., stem area, trunk volume, canopy projection area, and crown projection volume, were the optimal model parameters, with a high correlation. The biomass model of the shrub layer was:  $W_T = 9.00 \times 10^{-6} V_D^2 + 0.389V_D + 57.598 (V_D \text{ said trunk volume})$ , with a high  $R^2$  value (0.933).

**Key words:** *Larix olgensis* Herry.; shrub; biomass; prediction model

森林生物量是森林生态系统最基本的数量特征。研究森林生物量是研究森林生态系统物质循环、能量流动和生态系统健康的重要基础<sup>[1]</sup>。灌木层是森林林下植被的主要部分, 同时也是森林生态系统的重要组成部分。在整个森林生态系统营养元素的积累与循环、维持物种多样性, 尤其是在促使林分养分步入良性生物循环, 促进森林演替和增强森林碳汇能力等方面具有不可忽视的作用<sup>[2-6]</sup>。

林下植被与乔木层相比, 其生物量仅占总林分的10%~30%, 处于次要地位<sup>[7]</sup>。我国林下植被研究起步较晚, 对灌木层的生物量研究更少, 已有研究主要

集中在南方杉木林林下植被的研究方面, 研究内容也相对狭窄, 多是林下植被与林下土壤的关系<sup>[8]</sup>及物种多样性<sup>[9-11]</sup>的研究。鉴于此, 以黑龙江省朗乡林业局东折棱河林场长白落叶松人工林的林下灌木层为研究对象, 选择切实可行的估测因子对灌木层植被生物量进行模型研建, 为估算区域的长白落叶松人工林灌木生物量及其动态变化奠定基础。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究地概况

研究地位于黑龙江省伊春市朗乡林业局东折棱河

收稿日期: 2012-11-05

基金项目: 国家林业局重点科研项目(2012-07)

作者简介: 蔡兆炜(1989-), 男, 黑龙江望奎人, 在读硕士研究生, 研究方向: 森林资源监测与评价。E-mail: caizhaowei@sohu.com

\* 通讯作者: 孙玉军(1963-), 男, 黑龙江绥化人, 教授, 博士生导师, 主要从事森林资源与环境监测以及生态旅游等方面的研究。

E-mail: sunyj@bjfu.edu.cn

林场,海拔 200~900 m,属低山丘陵区域,坡度为 0~15°。冬季冷长,夏季湿短,年均气温 0.36℃,最高气温 32℃,最低气温-42.1℃,年积温 1 900~2 200℃,全年无霜期 90~110 d;年降水量 618 mm 左右,相对湿度 65%~70%;土壤以暗棕壤为主,土层厚度约 60 cm。研究地区植被类型较多,天然林、人工林、未成林造林地等均有分布,其中人工林群落以长白落叶松林为主。林分结构相对简单,长白落叶松为绝对优势树种,间有枫桦、白桦、山杨、春榆等乔木树种。灌木层在不同林分林龄时期分布差异较大,喜光性植物中以柳叶绣线菊为主,耐阴性植物以东北山梅花、小花溲疏、毛榛、珍

珠梅、暴马丁香等为主。

## 1.2 研究方法

1.2.1 样地设置 根据不同林分年龄在研究地林班内设置 16 个 20 m×30 m 样地。采用网格式的标准地调查法,在每个标准地内设置 6 个 10 m×10 m 的小样方,并对每个小样方内的乔木树种进行每木调查。同时,在每个标准地内的 4 个角上各设 1 个 5 m×5 m 的灌木小样方,进行灌木层调查(包括乔木层起测径阶以下的小乔木)。并记录植被种类、生长状况、高度、基径等基本因子。16 块调查样地具体林分特征及调查因子见表 1。

表 1 长白落叶松人工林样地基本特征及调查因子

样地	林龄/a	海拔/m	坡度/°	坡向/°	坡位	平均 胸径/cm	平均 树高/m	林分密度/ (株/hm <sup>2</sup> )	郁闭度
1	7	299	9	WN15	中下	2.5	3.4	1 067	0.2
2	8	306	8	WS15	中下	4.3	3.9	1 717	0.3
3	11	266	1	/	/	8.1	7.3	2 750	0.7
4	19	412	1	/	/	12.1	12.2	833	0.7
5	20	295	1	/	/	14.9	14.4	783	0.7
6	20	308	7	SW10	中	14.5	14.4	1 583	0.7
7	22	263	1	/	/	10.1	10.9	3 100	0.6
8	23	259	1	/	/	13.5	13.5	1 017	0.8
9	24	317	6	SW3	下	16.7	16.2	950	0.7
10	24	314	9	WS10	中	16.7	16.4	783	0.6
11	24	356	6	SW5	中	15.4	17.4	1 250	0.7
12	28	456	6	EN23	下	14.5	15.1	1 250	0.5
13	28	455	11	EN17	中上	15.6	16.7	1 283	0.6
14	33	376	6	SE20	下	15.4	16.0	1 000	0.7
15	35	383	13	WN20	中下	15.8	16.4	533	0.7
16	46	312	9	ES15	中	25.4	27.4	450	0.7

## 1.2.2 生物量测定及建模

1.2.2.1 生物量测定 根据主要形态特征,将灌木分为 2 种类型:①具有明显主干、冠幅较均匀的乔木型灌木,以基径和高度作为调查变量因子;②无明显主干、冠幅大、分支多的灌木,以冠幅和高度作为调查变量因子。冠幅取最大直径与最小直径的平均值。选取标准木分别用层割法和全根量收获法测定枝、叶(包括花、果)和根的生物量,各器官取样并于 105℃烘箱内烘干,测定干物质质量。

1.2.2.2 生物量建模 在回归分析中,采用以下 6 种回归模型进行生物量建模<sup>[12-14]</sup>。

$$W = aX^2 + bX + c \quad (1)$$

$$W = aX^b \quad (2)$$

$$W = aX_1^b X_2^c \quad (3)$$

$$W = aX_1 + bX_2 + c \quad (4)$$

$$W = ae^{bx} \quad (5)$$

$$W = a + bX \quad (6)$$

## 1.3 数据处理

利用 Excel 2007 和 SPSS 16.0 等软件,对所获取的生物量数据进行归类、统计,结合灌木生长因子进行处理分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 林下主要灌木各器官最佳单一生物量模型

研究地林下 8 种常见灌木种类重要值和生物量模型自变量范围见表 2。以枝、叶、根和总生物量为因变量,以基径、树高、冠幅、主根长、基径面积、植干体积、植冠面积、植冠投影体积为自变量,选取相关性最高的因子代入 1.2.2.2 中 6 种常见回归模型,采用配对 *t* 检验,选出灌木各器官的最佳估算模型(表 3)。

表 2 林下主要灌木种类基本参数

序号	树种	重要值	样本数/个	高度/cm		冠幅/cm		基径/cm	
				平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差
1	毛榛	0.08	30	139.53	63.63	78.93	43.35	1.23	0.51
2	金花忍冬	0.08	10	126.00	70.26	104.25	45.58	1.14	0.48
3	暴马丁香	0.10	17	235.71	152.41	128.57	65.98	2.38	1.34
4	刺五加	0.05	14	115.14	20.26	50.00	13.97	0.95	0.21
5	珍珠梅	0.11	25	117.92	30.27	72.96	24.09	0.92	0.34
6	花楷槭	0.08	12	183.57	77.61	84.45	29.68	1.49	0.65
7	小花溲疏	0.07	13	106.92	15.62	81.54	21.86	0.88	0.20
8	东北山梅花	0.10	21	145.48	54.54	109.07	39.77	1.29	0.52

表 3 灌木各器官生物量最佳估算模型

序号	树种	方程	$a$	$b$	$c$	判定系数 ( $R^2$ )	标准误 ( $SEE$ )	$t$ 检验 统计量	显著度 ( $Sig.$ )
1	毛榛	$W_T = aD_S^2 + bD_S + c$	11.11	76.4	-5.462	0.911	0.301	0.851	0.403
		$W_b = aV_D^2 + bV_D + c$	$-4.00 \times 10^{-6}$	0.286	3.773	0.942	0.264	-0.805	0.429
		$W_l = aS^2 + bS + c$	-0.952	31.72	0.804	0.915	0.309	-0.567	0.576
		$W_r = aD_S^2 + bD_S + c$	-3.98	40.81	-6.776	0.764	0.426	-0.346	0.373
2	金花忍冬	$W_T = aD_S^2 + bD_S + c$	15.9	66.27	11.58	0.969	0.225	0.792	0.413
		$W_b = aD_S^2 + bD_S + c$	8.689	48.25	0.079	0.966	0.240	0.632	0.531
		$W_l = aV^2 + bV + c$	0.89	6.643	8.767	0.943	0.271	0.567	0.314
		$W_r = aD_S^2 + bD_S + c$	5.913	8.969	9.285	0.955	0.287	0.620	0.426
3	暴马丁香	$W_T = aD_S^2 + bD_S + c$	7.457	76.88	22.6	0.986	0.147	0.796	0.468
		$W_b = aV_D^2 + bV_D + c$	$2.00 \times 10^{-5}$	0.177	95.9	0.985	0.199	0.822	0.442
		$W_l = aS^2 + bS + c$	5.359	27.18	3.503	0.942	0.278	0.732	0.362
		$W_r = aD_S^2 + bD_S + c$	1.973	2.862	28.82	0.979	0.183	0.820	0.531
4	刺五加	$W_T = aV_D^2 + bV_D + c$	0.004	-0.333	44.58	0.951	0.229	1.170	0.249
		$W_b = aV_D^2 + bV_D + c$	$1.00 \times 10^{-4}$	0.23	2.962	0.953	0.108	0.916	0.327
		$W_l = aS^2 + bS + c$	-42.11	51.23	1.517	0.898	0.109	0.297	0.771
		$W_r = aD_S^2 + bD_S + c$	139.2	-177.1	69.29	0.835	0.392	0.288	0.777
5	珍珠梅	$W_T = aV_D^2$	0.978	0.903	—	0.927	0.328	0.293	0.772
		$W_b = aD_S^2 + bD_S + c$	-5.615	59.04	-9.013	0.826	0.468	0.794	0.435
		$W_l = aV^2 + bV + c$	5.4	14.45	1.651	0.950	0.181	-0.995	0.330
		$W_r = aD_S^2 + bD_S + c$	-3.51	29.82	-3.248	0.858	0.266	0.940	0.357
6	花楷槭	$W_T = aV_D^2 + bV_D + c$	0.0003	0.672	19.15	0.899	0.270	0.643	0.544
		$W_b = aV_D^2 + bV_D + c$	$-2.00 \times 10^{-4}$	0.456	14.755	0.903	0.331	0.987	0.362
		$W_l = aS^2$	29.27	1.226	—	0.731	0.710	0.473	0.653
		$W_r = aD_S^2 + bD_S + c$	-2.544	28.045	-2.974	0.970	0.136	0.896	0.321
7	小花溲疏	$W_T = aV_D^2$	1.247	0.973	—	0.810	0.347	0.479	0.641
		$W_b = aD_S^2 + bD_S + c$	27.35	-16.31	36.57	0.913	0.102	0.883	0.395
		$W_l = aV^2 + bV + c$	-19.126	53.531	0.832	0.725	0.249	0.945	0.379
		$W_r = aL^2 + bL + c$	0.108	-4.569	85.711	0.841	0.478	0.729	0.524
8	东北山梅花	$W_T = aV_D^2 + bV_D + c$	$-7.00 \times 10^{-5}$	0.52	105.4	0.809	0.357	1.227	0.216
		$W_b = aD_S^2 + bD_S + c$	0.157	47.66	34.37	0.774	0.440	1.109	0.280
		$W_l = aV^2$	17.983	0.747	—	0.820	0.358	0.693	0.496
		$W_r = aD_S^2 + bD_S + c$	25.042	81.622	-30.521	0.630	0.502	1.660	0.113

注:  $W_b$ 、 $W_l$ 、 $W_r$ 、 $W_T$  分别是灌木枝、叶、根及总生物量,  $V_D$  为植干体积(基径面积 $\times$ 高),  $D_S$  为基径面积,  $S$  为植冠面积( $\pi C^2/4$ , 其中  $C$  为冠幅),  $V$  为植冠投影体积(植冠面积 $\times$ 高),  $L$  为主根长。下同。

从表 3 可以看出,对于单株灌木来说,不同树种、不同器官的最佳估算模型参数和模型方程类型有所不同,其中枝生物量多以基径面积( $D_S$ )和植干体积( $V_D$ )为最佳估算因子,且以方程(1)为最佳估算模型;叶生物量以植冠面积( $S$ )及植冠投影体积( $V$ )为主要模型参数;根生物量则以基径面积( $D_S$ )和主根长( $L$ )为最佳模型参数,其模型方程均以方程(1)、(2)为最佳估算模型方程。各树种枝

叶根生物量模型回归关系显著( $R^2 > 0.7$ )。对于总生物量,最佳模型类型为方程(1),相关关系显著( $R^2 > 0.8$ )。

## 2.2 林下主要灌木最佳混合生物量模型

以复合因子拟合出灌木层混合生物量的最佳估算模型(表 4)。对于多数物种而言,单一模型的生物量估测精度高于混合模型,只有少数物种的混合模型优于单一模型<sup>[15]</sup>。由表 3—4 可见,对于灌木

植株个体生物量,无论是单一模型还是混合模型,其各器官生物量最佳估算模型均有较高的  $R^2$  值和较小的  $SEE$  值,枝生物量  $R^2$  值为 0.774(东北山梅

花)~0.985(暴马丁香)、叶生物量为 0.725(小花溲疏)~0.943(金花忍冬)、根生物量为 0.63(东北山梅花)~0.979(暴马丁香)。

表4 长白落叶松人工林林下灌木层生物量最佳混合模型

项目	方程	$a$	$b$	$c$	$R^2$	$SEE$	$t$ 检验 统计量	$Sig.$
混合生物	$W_T = aV_D^2 + bV_D + c$	$9.00 \times 10^{-6}$	0.389	57.598	0.933	0.435	0.314	0.536
量模型	$W_b = aV_D^2 + bV_D + c$	$1.00 \times 10^{-5}$	0.270	28.304	0.919	0.529	-1.048	0.297
	$W_l = aV^2 + bV + c$	$5.70 \times 10^{-2}$	11.022	7.724	0.900	0.400	-0.407	0.685
	$W_r = aD_S^2 + bD_S + c$	0.943	17.226	14.439	0.751	0.697	0.623	0.475

### 3 结论与讨论

对长白落叶松人工林林下常见灌木种类(根据重要值大小依次选取8种)建立生物量估测模型,单株生物量模型以二次多项式及乘幂方程为最佳估算模型,以复合因子基径面积、植干体积、植冠面积及植冠投影体积为最佳模型参数,均有较高的相关性,回归关系显著( $t$  检验)。灌木层混合生物量模型以复合因子植干体积为模型参数,模型方程  $W_T = 9.00 \times 10^{-6} V_D^2 + 0.389 V_D + 57.598 (R^2 = 0.933)$ 。

目前,对森林生物量的研究以乔木层为主,对林下灌木层的研究较少,研究方法变化不大,而资源短缺、生态破坏等问题使得人工林林下植被物种多样性和生物量的研究逐渐被重视,但尚不成体系。本研究对东北林区长白落叶松人工林林下灌木植被层的生物量进行研究,拟合出8种林下常见灌木的生物量估测模型,为研究灌木单株生物量奠定基础;同时又在已有研究的基础上改进研究方法,以植干体积(灌木基径面积 $\times$ 高)为模型参数,建立区域落叶松林下灌木层最佳混合生物量模型,拟对落叶松人工林的经营措施及森林生物量估测提供参考。但由于灌木层物种的生长状况因其立地条件不同而存在一定的差异,可能出现同一物种在不同立地条件下的估算模型不尽相同。因此,在研究区外应用本研究建立的回归估算模型时需进一步验证。

#### 参考文献:

- [1] 金明仕. 森林生态学[M]. 曹福亮,译. 北京:中国林业出版社,1992:91-94.
- [2] Yang K, Guan D S. Selection of gaining quadrat for harvesting the undergrowth vegetation and its biomass estimation modeling in forest[J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(2): 705-714.
- [3] Oakley B B, North M P, Franklin J F. Facilitative and

competitive effects of a N2 fixing shrub on white fir saplings[J]. Forest Ecology and Management, 2006, 233(1): 100-107.

- [4] Taylor A H, Huang J Y, Zhou S Q. Canopy tree development and undergrowth bamboo dynamics in old-growth Abies-Betula forests in southwestern China [J]. Forest Ecology and Management, 2004, 200(1/3): 347-360.
- [5] George L O, Bazzaz F. The fern understory as an ecological filter: emergence and establishment of canopy-tree seedlings[J]. Ecology, 1999, 80(3): 833-845.
- [6] Chen Y L, Cui X Y, Zhu L, et al. Status and role of the bush layer and main shrub species in nutrient cyclings of *Tilia amurensis*-*Pinus koraiensis* forest[J]. Journal of Northeast Forestry University, 1998, 26(4): 7-13.
- [7] 马炜, 孙玉军. 我国的森林生物量研究[J]. 世界林业研究, 2009, 22(5): 71-76.
- [8] 盛炜彤, 杨成栋. 关于杉木林下植被对改良土壤性质效用的研究[J]. 生态学报, 1997, 17(4): 376-385.
- [9] 马克平. 试论生物多样性的概念[J]. 生物多样性, 1993, 1(1): 20-22.
- [10] 汪永华, 陈北光, 苏志尧. 物种多样性研究进展[J]. 生态科学, 2000, 19(3): 50-54.
- [11] 常学礼, 邬建国. 科尔沁沙漠化过程中的物种多样性[J]. 应用生态学报, 1997, 8(2): 151-156.
- [12] 王蕾, 张宏, 哈斯, 等. 基于冠幅直径和植株高度的灌木地上生物量估测方法研究[J]. 北京师范大学学报, 2004, 40(5): 700-704.
- [13] 贾宝全, 蔡体久, 高志海, 等. 白刺灌丛沙包生物量的预测模型[J]. 干旱区资源与环境, 2002, 16(1): 96-99.
- [14] 曾珍英, 刘琪璟, 张建萍, 等. 灌木各测树因子相关性以及器官生物量相关性的研究[J]. 江西农业大学学报, 2005, 27(5): 694-699.
- [15] 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.