

引用格式:邵彬,姚予龙,吴良,等. 西伯利亚地区主要森林优势树种生物量相对生长模型[J]. 资源科学, 2018, 40(11): 2195-2201. [Shao B, Yao Y L, Wu L, et al. Relative growth models of main dominant tree species of forest in Siberia Region[J]. Resources Science, 2018, 40(11): 2195-2201.] DOI :10.18402/resci.2018.11.06

# 西伯利亚地区主要森林优势树种生物量 相对生长模型

邵彬, 姚予龙, 吴良, 欧阳华

(中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

**摘要:**西伯利亚地区的主要森林优势树种有欧洲赤松(*Pinus sylvestris* L.)、西伯利亚落叶松(*Larix sibirica* Ledeb.)、凯杨德落叶松(*Larix cajanderi* Maye)、西伯利亚红松(*Pinus sibirica* Mayr)、西伯利亚云杉(*Picea obovata* Ldb.)、西伯利亚冷杉(*Abies sibirica* Ledeb.)、欧洲山杨(*Populus tremula* L.)、欧洲白桦(*Betula pendula* Roth)等。利用 IASA 和俄罗斯著名学者 V.A.Usol'tsev 的专著等提供的森林优势树种样地实测数据和生物量实测数据,西伯利亚地区 7 个森林优势树种的林分平均林木区域尺度上的生物量相对生长模型已成功构建。精度分析结果表明,7 个树种的树干(带皮)和地上生物量模型完全满足计算这些树种样地生物量和植被碳储量的需要;除西伯利亚红松外的其它 6 个树种的树枝、树叶的生物量模型可以用于样地内林木主要营养器官生物量的计算;欧洲赤松、西伯利亚红松、西伯利亚冷杉和欧洲山杨的地下生物量模型也已达到实际应用的精度要求。区域尺度上样本数对生物量模型构建的响应与局地尺度上的响应在有限样本条件下可能略有不同。

**关键词:**生物量相对生长模型;欧洲赤松;西伯利亚落叶松;西伯利亚红松;西伯利亚云杉;西伯利亚冷杉;欧洲山杨;凯杨德落叶松;西伯利亚

DOI :10.18402/resci.2018.11.06

## 1 引言

森林优势树种的生物量相对生长模型是准确估算森林植被生物量和碳储量的基础。俄罗斯西伯利亚地区分布的森林优势树种有欧洲赤松(*Pinus sylvestris* L.)、西伯利亚落叶松(*Larix sibirica* Ledeb.)、凯杨德落叶松(*Larix cajanderi* Maye)、西伯利亚红松(*Pinus sibirica* Mayr)、西伯利亚云杉(*Picea obovata* Ldb.)、西伯利亚冷杉(*Abies sibirica* Ledeb.)、欧洲山杨(*Populus tremula* L.)、欧洲白桦(*Betula pendula* Roth)等<sup>[1-3]</sup>,有关上述树种的区域尺度生物量实测数据建立的相对生长模型一直未见报道,局地尺度上仅见有西伯利亚南部边缘的阿尔泰山地生物量相对生长模型研究报道<sup>[4-10]</sup>,笔者在处理 2012 年前的

综合科学考察过程中的森林样地生物量和碳储量数据时也颇费周折。借助国家科技部科技基础调查专项“中蒙俄国际经济走廊多学科联合科学考察”等项目的支持,笔者有幸收集并整理了以往俄罗斯学者对这些树种开展的生物量样地实测数据,据此在区域尺度上分别建立起这些树种的生物量相对生长模型,进而弥补中国学者在这方面研究的不足。

## 2 基础数据与研究方法

俄罗斯西伯利亚地区的欧洲赤松、西伯利亚落叶松、西伯利亚红松、西伯利亚云杉、西伯利亚冷杉、欧洲山杨和凯杨德落叶松等森林优势树种样地实测数据和生物量实测数据来源于 IASA(国际应用系统分析研究所)网站和俄罗斯著名学者 V.A.

收稿日期:2018-05-25 修订日期:2018-10-11

基金项目:国家科技部科技基础调查专项(2017FY101302,2017FY101300);国家科技部科技基础性工作专项(2007FY110300-04);国家重点基础研究发展计划(2005CB724801)。

作者简介:邵彬,男,山东招远人,硕士,助研,主要从事森林生态与资源方面的研究工作。E-mail:shaob@igsrr.ac.cn

Usol'tsev的专著<sup>[2,3]</sup>。笔者将这些数据,根据生物量和样地主要测树因子(胸高直径及树高等)是否是实测,是否有完备的树木地上部分的树干、树枝、叶的生物量测定值,是否有树根的生物量测定值,以及样地调查数据是否发生在俄罗斯西伯利亚地区进行分类整理,相关信息展示在表1。其中的欧洲赤松和欧洲山杨数据含有俄罗斯欧洲地区的数据,考虑到树种分布总是遵循生境一致性原则以及建模要有充足的样本数,故没有对这2种树种的样地数据集进行拆分。其它5个树种其中心分布区完全在俄罗斯的西伯利亚地区,其样本的来源地也主要是该地区。

利用生物量样地实测数据建立林木生物量相对生长模型的通用模式一般有5种:

$$W=a \times D^b \quad (1)$$

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

$$W=a \times D^b \times H^c \quad (3)$$

$$W=a \times (D^3/H)^b \quad (4)$$

$$W=(D^2 \times H)/(a+b \times D) \quad (5)$$

式中, $W$ 为林分平均木或样木的生物量(kg); $D$ 为林分平均木或样木胸径(cm); $H$ 为林分平均木或样木树高(m); $a$ 、 $b$ 、 $c$ 分别为模型参数。

其中的模式(1)和模式(2)是以往生物量相对生长模型研究中最经常使用的类型,本文主要利用这2种模型对俄罗斯西伯利亚地区的7个优势树种进行了建模。

衡量林木生物量相对生长模型精度的指标主要有<sup>[4-13]</sup>:

非线性模型的经验相关系数:

$$R^2=1-\frac{\sum_{i=1}^N(W_i-\hat{W}_i)^2}{\sum_{i=1}^N(W_i-\bar{W})^2} \quad (6)$$

总相对误差:

$$TRE=\sum_{i=1}^N(W_i-\hat{W}_i)/\sum_{i=1}^N\hat{W}_i \times 100 \quad (7)$$

平均系统误差:

$$MSE=\sum_{i=1}^N((W_i-\hat{W}_i)/\hat{W}_i)/N \times 100 \quad (8)$$

平均百分标准误差:

$$MPSE=\sum_{i=1}^N|(W_i-\hat{W}_i)/\hat{W}_i|/N \times 100 \quad (9)$$

平均预估精度:

$$P=1-MPE \quad (10)$$

$$MPE=t_\alpha \times (SEE/\bar{W})/\sqrt{N} \times 100 \quad (11)$$

$$SEE=\sqrt{\sum_{i=1}^N(W_i-\hat{W}_i)^2/(N-F)} \quad (12)$$

式中, $N$ 为样地数; $F$ 为生物量相对生长模型中的参数个数; $t_\alpha$ 为置信水平 $\alpha$ (本文 $\alpha=0.05$ )时的 $t$ 值; $\bar{W}$ 为样地平均生物量; $i$ 为样地编号; $\hat{W}_i$ 为第 $i$ 块样地平均木的模拟生物量; $W_i$ 为第 $i$ 块样地平均木的实测生物量; $SEE$ 为生物量相对生长模型估计值的标准差(kg); $MPE$ 为模型的平均预估误差(%)。其中的 $R^2$ 又叫相关指数<sup>[11]</sup>、确(决)定系数<sup>[7,9,10,12]</sup>、判定系数<sup>[4]</sup>和Fit Index<sup>[5]</sup>。所有精度指标中, $R^2$ 为生物量相对生长模型检验的最常用指标,反映了模型的拟合优度; $TRE$ (%)和 $MSE$ (%)是反映拟合效果的重要指标; $P$ (%)为反映回归模型预估精度的重要指标; $MPSE$ (%)为单株生物量估计值的精度指标<sup>[12]</sup>。

### 3 数据处理结果与分析讨论

具体数据处理结果见表2和表3。

表2、表3的数据处理结果表明,俄罗斯西伯利亚地区7个森林优势树种的林木生物量与林分平均胸径和林分平均树高的回归关系绝大部分都非常

表1 西伯利亚地区森林优势树种样地调查因子变动范围

Table 1 The range of plot investigation factors of forest dominant tree species in Siberia Region

森林优势树种	样地数/块	地位级	林龄/a	林分平均胸径/cm	林分平均树高/m
欧洲赤松	462	I-Vb	5~300	0.5~50.7	1.1~35.7
西伯利亚落叶松	80	II-Va	25~350	4.7~37.1	6.8~27.5
西伯利亚红松	39	I-Va	14~250	2.0~58.0	1.5~31.0
西伯利亚云杉	61	I-Vb	12~230	2.0~30.9	2.2~24.0
西伯利亚冷杉	114	I-Va	20~200	1.6~37.9	2.2~27.0
欧洲山杨	78	I-V	6~95	2.1~33.0	3.2~31.0
凯杨德落叶松	65	III-Vb	14~380	0.5~29.0	1.3~24.6

2018年11月

表2 西伯利亚地区主要森林优势树种生物量相对生长模型( $W=a \times D^b$ )拟合结果Table 2 The fitting results of relative growth model( $W=a \times D^b$ )of forest dominant tree species in Siberia Region

林木生长器官	模型参数	欧洲赤松	西伯利亚落叶松	西伯利亚红松	西伯利亚云杉	西伯利亚冷杉	凯杨德落叶松	欧洲山杨
树干(带皮)	$a$	0.056 8	0.079 1	0.059 1	0.075 5	0.097 6	0.043 1	0.046 3
	$b$	2.543 3	2.497 8	2.454 1	2.431 5	2.319 1	2.698 0	2.650 8
	$R^2$	0.896 4	0.938 4	0.987 9	0.847 8	0.787 4	0.929 2	0.786 2
	$N$	462	80	39	61	114	65	78
树枝	$a$	0.015 5	0.011 6	0.078 6	0.036 7	0.041 0	0.026 9	0.007 2
	$b$	2.232 8	2.396 4	1.556 6	2.012 1	1.998 0	2.012 0	2.579 9
	$R^2$	0.819 9	0.876 7	0.480 7	0.700 8	0.703 9	0.758 1	0.848 1
	$N$	462	80	39	61	114	65	78
树叶	$a$	0.026 6	0.007 1	0.159 2	0.064 5	0.050 6	0.033 1	0.016 8
	$b$	1.795 0	2.106 0	1.182 8	1.678 5	1.756 4	1.485 7	1.730 9
	$R^2$	0.786 4	0.827 1	0.244 7	0.667 6	0.644 4	0.800 5	0.807 1
	$N$	462	80	39	61	114	65	78
树根	$a$	0.018 1	—	0.009 1	0.021 2	0.040 1	0.040 9	0.062 9
	$b$	2.448 3	—	2.586 7	2.725 4	2.147 8	2.466 1	2.034 7
	$R^2$	0.850 5	—	0.981 9	0.531 4	0.905 0	0.662 0	0.847 8
	$N$	462	—	30	11	25	17	32
地上生物量	$a$	0.092 6	0.097 2	0.162 7	0.165 0	0.178 2	0.090 5	0.063 1
	$b$	2.433 8	2.472 8	2.197 5	2.237 5	2.198 0	2.476 0	2.595 7
	$R^2$	0.913 9	0.940 2	0.970 7	0.868 1	0.782 9	0.928 9	0.819 9
	$N$	462	80	39	61	114	65	78

表3 西伯利亚地区主要森林优势树种生物量相对生长模型( $W=a \times (D^2 \times H)^b$ )拟合结果Table 3 The fitting results of relative growth model( $W=a \times (D^2 \times H)^b$ )of forest dominant tree species in Siberia Region

林木生长器官	模型参数	欧洲赤松	西伯利亚红松	西伯利亚落叶松	凯杨德落叶松	西伯利亚云杉	西伯利亚冷杉	欧洲山杨
树干(带皮)	$a$	0.037 1	0.063 1	0.037 2	0.020 4	0.059 6	0.065 2	0.019 1
	$b$	0.909 6	0.845 0	0.931 7	1.000 6	0.845 6	0.833 1	0.974 8
	$R^2$	0.945 4	0.976 8	0.907 8	0.917 6	0.868 4	0.820 8	0.816 0
	$N$	462	39	80	65	61	114	78
树枝	$a$	0.011 5	0.085 5	0.005 9	0.016 0	0.032 6	0.029 6	0.003 1
	$b$	0.789 2	0.530 9	0.889 5	0.739 9	0.689 6	0.715 1	0.943 6
	$R^2$	0.757 9	0.435 9	0.874 7	0.777 5	0.642 5	0.717 1	0.855 0
	$N$	462	39	80	65	61	114	78
树叶	$a$	0.021 0	0.176 2	0.003 7	0.022 3	0.053 1	0.037 3	0.009 8
	$b$	0.633 7	0.398 9	0.786 2	0.548 2	0.587 7	0.630 8	0.631 1
	$R^2$	0.721 0	0.212 2	0.840 9	0.813 5	0.678 3	0.676 9	0.795 8
	$N$	462	39	80	65	61	114	78
树根	$a$	0.012 4	0.012 0	—	0.041 6	0.006 8	0.034 4	0.026 6
	$b$	0.871 1	0.869 3	—	0.838 1	1.085 5	0.743 0	0.772 2
	$R^2$	0.857 0	0.960 0	—	0.799 8	0.428 4	0.882 3	0.889 6
	$N$	462	30	—	17	11	25	32
地上生物量	$a$	0.062 4	0.176 1	0.046 2	0.045 9	0.134 0	0.122 0	0.026 6
	$b$	0.868 6	0.754 3	0.922 0	0.916 9	0.776 9	0.789 1	0.953 7
	$R^2$	0.944 7	0.940 0	0.914 4	0.936 6	0.866 9	0.812 3	0.846 5
	$N$	462	39	80	65	61	114	78

明显,其模型的经验相关系数( $R^2$ )均较高,唯一例外的是西伯利亚红松的针叶和树枝生物量,其经验相关系数( $R^2$ )数值不高,原因有待于进一步探讨。

西伯利亚云杉、西伯利亚冷杉及凯杨德落叶松的树根生物量样本数均小于30个,本着“有”比“没有”强的原则,本文也给出了它们的曲线拟合结果,仅供使用者参考,待日后如能收集更多样本时给予改进。俄罗斯境内西伯利亚落叶松的树根生物量样地数仅有7块,样本数太少,本文没有给出其树根生物量模型。

以往生物量相对生长模型的建模主要发生在局地尺度上,很少在区域尺度上,其主要的精度指

标是非线性模型的经验相关系数 $R^2$ 值,一般都在0.8以上,个别的有0.7~0.8之间的<sup>[13]</sup>,本文所建的所有树干和地上生物量相对生长模型的 $R^2$ 值基本在0.8以上,只有西伯利亚冷杉和欧洲山杨的模式(1)稍低,也在0.7以上,表明这些模型基本满足今后计算树干和地上生物量的要求。树枝和树叶的生物量相对生长模型的表现参差不齐,如西伯利亚云杉和西伯利亚冷杉的树叶生物量模型精度都不高, $R^2$ 值在0.64~0.67之间,西伯利亚云杉树枝的生物量模型精度则因模型模式选择的不同,表现有所差异,模式(1)精度高于模式(2)。表4和表5给出了所建模

表4 西伯利亚地区主要森林优势树种生物量模型( $W=a \times D^b$ )的精度分析

Table 4 The accuracy index of relative growth model( $W=a \times D^b$ ) of forest dominant tree species in Siberia Region

优势树种	林木生长器官	N	$R^2$	SEE/kg	TRE/%	MSE/%	MPSE/%	MPE/%	P/%
欧洲赤松	树干	462	0.896 4	63.55	7.46	7.38	27.76	3.78	96.22
	树枝	462	0.819 9	8.21	11.31	12.19	36.63	4.82	95.18
	针叶	462	0.786 4	3.33	11.26	12.06	35.77	4.74	95.26
	树根	462	0.850 5	15.99	3.38	8.46	29.49	4.26	95.74
	地上生物量	462	0.913 9	64.64	8.35	6.87	26.48	3.37	96.63
西伯利亚红松	树干	39	0.987 9	32.41	3.66	6.32	22.18	3.71	96.29
	树枝	39	0.480 7	14.43	17.82	16.59	56.46	27.83	72.17
	针叶	39	0.244 7	14.36	42.21	28.67	73.81	42.38	57.62
	树根	30	0.981 9	9.48	-0.14	1.27	11.88	3.93	96.07
	地上生物量	39	0.970 7	55.07	5.21	3.72	18.31	5.73	94.27
西伯利亚落叶松	树干	80	0.938 4	36.81	-0.02	2.68	12.40	4.27	95.73
	树枝	80	0.876 7	6.59	5.87	4.97	20.35	6.85	93.15
	针叶	80	0.876 7	6.59	5.87	4.97	20.35	6.85	93.15
	地上生物量	80	0.940 2	41.83	0.40	2.63	12.35	4.27	95.73
	树根	65	0.929 2	20.61	9.92	20.29	49.05	9.07	90.93
凯杨德落叶松	树干	65	0.758 1	3.93	18.70	16.41	44.90	18.26	81.74
	树枝	65	0.800 5	0.66	9.98	12.29	40.77	11.56	88.44
	针叶	17	0.662 0	31.01	15.67	20.49	59.24	35.88	64.12
	地上生物量	65	0.928 9	23.04	11.48	15.69	40.88	9.05	90.95
	树根	61	0.847 8	24.62	1.85	9.99	31.93	8.22	91.78
西伯利亚云杉	树干	61	0.700 8	5.98	10.02	7.69	29.18	13.18	86.82
	树枝	61	0.667 6	3.77	12.55	10.32	34.95	12.26	87.74
	针叶	11	0.531 4	20.80	12.77	14.04	46.36	44.75	55.25
	地上生物量	61	0.868 1	28.65	4.05	7.84	27.60	7.63	92.37
	树根	114	0.787 4	52.36	5.90	6.42	24.20	6.62	93.38
西伯利亚冷杉	树干	114	0.703 9	10.17	10.82	7.28	30.56	8.26	91.74
	树枝	114	0.644 4	5.58	8.83	7.77	32.03	8.12	91.88
	针叶	25	0.905 0	6.36	5.96	8.89	31.90	9.83	90.17
	地上生物量	114	0.782 9	65.30	6.68	5.83	23.99	6.65	93.35
	树根	78	0.786 2	50.06	-0.43	5.13	24.83	13.79	86.21
欧洲山杨	树干	78	0.848 1	5.43	3.36	8.75	32.89	11.53	88.47
	树枝	78	0.807 1	0.86	5.20	5.98	25.51	10.10	89.90
	针叶	32	0.847 8	9.27	3.22	8.39	33.16	16.43	83.57
	地上生物量	78	0.819 9	52.01	-0.08	4.39	22.74	12.43	87.57

表5 西伯利亚地区主要森林优势树种生物量模型( $W=a \times (D^2 \times H)^b$ )的精度分析Table 5 The accuracy index of relative growth model ( $W=a \times (D^2 \times H)^b$ ) of forest dominant tree species in Siberia Region

优势树种	生物量分量	N	R <sup>2</sup>	SEE/kg	TRE/%	MSE/%	MPSE/%	MPE/%	P/%
欧洲赤松	树干	462	0.945 4	46.16	5.89	4.93	21.78	2.75	97.25
	树枝	462	0.757 9	9.53	11.52	14.25	41.06	5.60	94.40
	针叶	462	0.720 8	3.81	11.71	13.84	39.41	5.42	94.58
	树根	462	0.857 0	15.66	3.17	8.64	28.37	4.17	95.83
	地上生物量	462	0.944 7	51.86	7.36	5.48	22.48	2.70	97.30
西伯利亚红松	树干	39	0.976 8	45.51	5.41	3.20	16.44	5.20	94.80
	树枝	39	0.435 9	15.24	19.05	17.71	58.46	29.40	70.60
	针叶	39	0.212 2	14.86	44.28	31.29	76.54	43.86	56.14
	树根	30	0.960 0	14.36	3.43	1.11	9.39	5.97	94.03
	地上生物量	39	0.940 0	79.85	6.89	2.46	16.83	8.31	91.69
西伯利亚落叶松	树干	80	0.907 8	45.34	-1.01	3.01	16.94	5.26	94.74
	树枝	80	0.874 7	6.69	4.29	4.80	22.99	6.95	93.05
	针叶	80	0.840 9	1.42	3.19	7.50	23.56	6.36	93.64
	地上生物量	80	0.914 4	50.07	-0.52	3.03	16.62	5.11	94.89
凯杨德落叶松	树干	65	0.917 6	22.40	4.34	20.79	49.06	9.86	90.14
	树枝	65	0.777 5	3.80	16.84	18.08	49.79	17.65	82.35
	针叶	65	0.813 5	0.65	8.82	12.75	41.61	11.27	88.73
	树根	17	0.799 8	24.65	17.30	26.05	64.38	28.67	71.33
西伯利亚云杉	地上生物量	65	0.917 6	21.93	7.06	15.98	39.73	8.62	91.38
	树干	61	0.868 4	23.09	2.27	8.49	28.97	7.71	92.29
	树枝	61	0.642 5	6.60	11.40	8.48	31.33	14.53	85.47
	针叶	61	0.678 3	3.74	12.18	9.14	33.35	12.16	87.84
西伯利亚冷杉	树根	11	0.428 4	24.22	14.49	11.88	43.89	52.89	47.11
	地上生物量	61	0.866 9	29.03	4.46	6.78	25.81	7.73	92.27
	树干	114	0.820 8	48.30	6.15	5.06	20.04	6.11	93.89
	树枝	114	0.717 1	9.98	11.29	6.90	29.65	8.11	91.89
欧洲山杨	针叶	114	0.676 9	5.34	8.95	7.27	30.05	7.78	92.22
	树根	25	0.882 3	7.23	7.01	8.74	32.40	11.20	88.80
	地上生物量	114	0.812 3	61.00	7.00	4.82	20.72	6.21	93.79
	树干	78	0.816 0	46.74	0.40	4.19	21.47	12.88	87.12
欧洲山杨	树枝	78	0.855 0	5.34	7.16	11.99	36.09	11.34	88.66
	树叶	78	0.795 8	0.89	6.31	7.25	28.78	10.46	89.54
	树根	32	0.889 6	8.03	1.54	7.63	30.42	14.22	85.78
	地上生物量	78	0.846 5	48.33	1.15	4.12	21.54	11.55	88.45

型在另外4个精度指标上的表现。结果表明,它们的表现与 $R^2$ 值基本一致。生物量相对生长模型的 $R^2$ 值大,其相应的TRE和MSE指标就低,模型的预估精度P就很高,表现最明显的是树干生物量和地上生物量,它们的TRE和MSE一般在 $\pm 10\%$ 以内,其预估精度一般都在90%以上,精度稍微低点的是凯杨德落叶松。几乎所有树种的树枝、树叶和树根生物量模型的TRE和MSE一般在 $\pm 20\%$ 以内,表现最

佳的是西伯利亚落叶松和欧洲山杨的树枝和树叶生物量模型。曾伟生等认为<sup>[12]</sup>,局地尺度生物量相对生长模型的TRE和MSE都应该在 $\pm 5\%$ 以内,趋于0时效果最好。本文的结果表明,区域尺度林木生物量相对生长模型精度指标阈值可能比局地尺度精度指标要宽泛一些,主要林木生长组分的生物量(如树干、地上生物量等)模型精度应保证在 $\pm 10\%$ 以内,其它的林木生长器官生物量模型的MSE和TRE



只要能在 $\pm 20\%$ 以内即可,  $TRE$  和  $MSE$  明显超过 $\pm 20\%$ 或预估精度低于80%的模型,其适用性就大打折扣,如西伯利亚红松的针叶和树枝生物量模型、凯杨德落叶松和西伯利亚云杉的树根生物量模型。这其中的原因可能与生物量样地实测数量有关,也可能与森林植被的内在异质性有关,因为区域尺度的森林是包含有若干个局地尺度森林的集合。

区域尺度生物量相对生长模型的样本数响应

与局地尺度生物量建模的样本数响应有所不同。表6是样本数 $N=71$ 时西伯利亚红松树干(带皮)和地上生物量相对生长模型的精度分析。结果表明,在有限样本条件下,区域尺度生物量相对生长模型的精度不一定随样本数的增加而增大,反而有下降的可能,其原因可能也与区域内同一森林植被类型的内在异质性有关,毕竟区域尺度的生物量数据乃是多个局地尺度生物量数据的集合。

表6 西伯利亚红松树干(带皮)和地上生物量模型的精度分析

Table 6 The accuracy index of relative growth model of tree trunk biomass and aboveground biomass of *Pinus sibirica*

模型	林木生长组分	$N$	$R^2$	$SEE/kg$	$TRE/\%$	$MSE/\%$	$MPSE/\%$	$MPE/\%$	$P/\%$
$W=a \times D^b$	树干	71	0.717 6	136.60	29.92	22.44	53.01	16.25	83.75
	地上生物量	71	0.681 9	160.49	28.81	18.88	47.84	16.87	83.13
$W=a \times (D^2 \times H)^b$	树干	71	0.724 2	135.98	30.82	17.14	46.25	16.17	83.83
	地上生物量	71	0.684 7	160.93	29.81	15.31	43.42	16.92	83.08

2012年以来,陆续有多位学者利用样地-样木法、样圆-新鲜风倒木法等对西伯利亚南部边缘地区阿尔泰山地的西伯利亚冷杉、西伯利亚云杉、西伯利亚落叶松、西伯利亚红松及欧洲山杨等在局地尺度开展了生物量实测研究,建立了这些树种的林木生物量相对生长模型<sup>[4-10]</sup>。因篇幅所限,笔者将另文比较分析各位学者的生物量相对生长模型在区域尺度上的表现。

## 4 结论

(1)俄罗斯西伯利亚地区7个森林优势树种的林分平均林木区域尺度上的树干(带皮)和地上生物量相对生长模型被成功构建,其精度完全满足计算这些树种样地生物量和植被碳储量的需要;7个森林优势树种中,除西伯利亚红松外的其它6个树种主要营养器官(树枝和树叶)的生物量模型精度也能满足实际工作的需要;地下生物量模型的精度只有4个树种达标,即欧洲赤松、西伯利亚红松、西伯利亚冷杉和欧洲山杨。

(2)区域尺度上林木生物量相对生长模型建模时的样本数响应方式与局地尺度可能有所不同,其模型精度与样本数间在有限样本条件下不一定呈正相关关系。

## 参考文献(References):

- [1] IIASA. The Space Vector Database of Russian Vegetation(1:4 Million)[EB/OL].(2002-10)[2018-05-25]. [http://webarchive.iiasa.ac.at/Research/FOR/russia\\_cd/download.htm](http://webarchive.iiasa.ac.at/Research/FOR/russia_cd/download.htm).
- [2] IIASA. The Database of Biomass of Russian Forest [EB/OL].(2002-10)[2018-05-25]. [http://webarchive.iiasa.ac.at/Research/FOR/forest\\_cdrom/english/for\\_prod\\_en.html](http://webarchive.iiasa.ac.at/Research/FOR/forest_cdrom/english/for_prod_en.html).
- [3] Usol'tsev V A. Forest Biomass of Northern Eurasia: Database and Geography(Russia)[M]. Yekaterinburg: UBRAS, 2001.
- [4] 胡莎莎. 新疆典型森林类型生物量监测研究[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学, 2012.[Hu S S. Monitoring Research on the Biomass of Typical Forest Types in Xinjiang[D]. Urumchi: Xinjiang Agricultural University, 2012.]
- [5] Battulga P, Tsogtbaatar J, Dulamsuren C, et al. Equations for estimating the above-ground biomass of *Larix sibirica* in the forest-steppe of Mongolia [J]. *Journal of Forestry Research*, 2013, 24(3): 431-437.
- [6] 白志强, 刘华, 方岳, 等. 喀纳斯国家自然保护区针叶林生物量分配特征[J]. 河北农业大学学报, 2014, 37(4):14-24.[Bai Z Q, Liu H, Fang Y, et al. The biomass distribution pattern of coniferous forest in the Kanas national nature reserve[J]. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 2014, 37(4):14-24.]
- [7] 张绘芳, 高亚琪, 李霞, 等. 新疆西伯利亚云杉生物量模型研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2015, 35(11):115-120. [Zhang H F, Gao Y Q, Li X, et al. Research on biomass model of *Picea obovata*

2018年11月

- in Xinjiang[J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2015, 35(11):115–120.]
- [8] 高亚琪, 张绘芳, 地力夏提·包尔汉, 等. 西伯利亚落叶松天然林立木生物量估算模型研究[J]. *新疆农业科学*, 2016, 53(4): 655–662.[ Gao Y Q, Zhang H F, Baoerhan D, *et al.* Research on natural *Larix Sibirica* biomass estimation model in Xinjiang[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2016, 53(4):655–662.]
- [9] 努尔江·哈比丁. 新疆阿尔泰西伯利亚落叶松生长及生物量研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2016. [ Harbiding N. Study on Growth and Biomass of *Larix sibirica* in the Altai Mountains of Xinjiang[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2016.]
- [10] 张绘芳, 地力夏提·包尔汉, 朱雅丽, 等. 新疆疣枝桦与欧洲山杨生物量分配与异速生长模型分析[J]. *西北林学院学报*, 2017, 32(5):33–38.[Zhang H F, Baoerhan D, Zhu Y L, *et al.* Biomass allocation patterns and allometric models of *Betula pendula* and *Populus tremula* in Xinjiang[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2017, 32(5):33–38.]
- [11] 方开泰, 金辉, 陈庆云. 实用回归分析[M]. 北京: 科学出版社, 1988.[Fang K T, Jin H, Chen Q Y. *Actual Regression Analysis*[M]. Beijing: Science Press, 1988.]
- [12] 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.[Zeng W S, Tang S Z. Goodness evaluation and precision analysis of tree biomass equations[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2011, 47(11):106–113.]
- [13] 冯宗炜, 王效科, 吴刚. 中国森林生态系统的生物量和生产力[M]. 北京: 科学出版社, 1999. [Feng Z W, Wang X K, Wu G. *The Productivity and Biomass of Forest Ecosystem in China*[M]. Beijing: Science Press, 1999.]

## Relative growth models of main dominant tree species of forest in Siberia Region

SHAO Bin, YAO Yulong, WU Liang, OUYANG Hua

(Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

**Abstract:** *Pinus sylvestris* L., *Larix sibirica* Ledeb., *Larix cajanderi* Maye, *Pinus sibirica* Mayr, *Picea obovata* Ldb., *Abies sibirica* Ledeb., and *Populus tremula* L. widely distribute in various forests of Siberia region and are main dominant tree species in a variety of forests, e.g., pine forest, cedar forest, larch forest, spruce-fir forest, dark coniferous forest, and broad-leave forest. Using plot data of tree biomass from IIASA and V. A. Usol'tsev's book and classic tree biomass model  $W=a \times (D^2 \times H)^b$  and  $W=a \times D^b$ , the relative growth models of these forest dominant tree species at the scale of Siberia region were initiated and successfully constructed, respectively. Based on comprehensive analysis of the precision index of the biomass model,  $R^2$  (correlation coefficient), TRE (total relative error), and MSE (mean system error), the biomass models with the best accuracy are relative growth models of trunk with bark and aboveground biomass of these tree species. Relative growth models of branch and leaf of almost all tree species except for Siberian stone pine also meet the need of calculating tree biomass of plot. The tree species that biomass models of their roots have been successfully constructed are Scotch pine, Siberian fir, Siberian stone pine, and European aspen.

**Key words:** Relative Growth Models of Biomass; *Pinus sylvestris*; *Larix sibirica*; *Pinus sibirica*; *Picea obovata*; *Abies sibirica*; *Populus tremula*; *Larix cajanderi*; Siberia