

与材积兼容的生物量模型的建立 及其估计方法研究*

张会儒 唐守正 王奉瑜

(中国林业科学研究院资源信息研究所, 100091, 北京; 第一作者 34 岁, 男, 副研究员)

摘要 建立生物量模型是生物量估测的主要手段, 而建立与材积兼容的生物量模型是实现生物量调查与森林蓄积量调查相结合的基础。因此, 采用变量逐步筛选法建立了落叶松和椴树与材积兼容的生物量模型。模型的参数估计采用了加权最小二乘法, 以消除异方差现象。同时, 提出了 5 个指标用于模型评价, 即参数变动系数 C_w 、总相对误差 E_t 、平均相对误差 E_m 、平均相对误差绝对值 E_a 和预估精度 P 。研究结果表明, 所建的生物量模型不仅实现了与材积表的兼容, 而且估计效果和预估精度较以往的 CAR 模型都有显著提高。最后给出了一些备选模型。

关键词 生物量; 兼容模型; 长白落叶松; 椴树

分类号 S758.51; S718.556

我国是一个森林资源较少的国家, 且分布很不均匀, 摸清森林资源具有特别重要的意义。自 50 年代始, 我国对森林资源的调查进行过多次, 但主要集中在木材蓄积和生长量上, 全国性的生物量调查工作从未开展^[1]。致使在 IBP 计划期间所建立的全球生产力模型缺少中国的数据^[2]。1994 年联合国粮农组织在‘国际森林资源监测大纲’中就明确规定森林生物量是森林资源监测中的一项重要内容。近年国内对许多生态问题的研究, 由于受到生物量数据严重不足的限制, 一些研究过于粗放和简单, 甚至对一些问题的研究无法深入下去。因此, 在我国森林资源监测体系中增加生物量监测项目势在必行, 而研究并提出一套与森林资源监测体系中森林蓄积量估计相兼容的区域性森林生物量资源调查方法是当务之急。本文以我国东北的两个重要用材树种长白落叶松 (*Larix olgensis* Henry) 和椴树 (*Tilia amurensis* Rupr.) 为研究对象, 研究与材积相兼容的单木生物量模型的建立及估计方法。

1 数据来源及整理

研究数据来源于吉林省红石林业局的 119 株样木。每株样木实测因子有: 年龄、直径、树高、平均冠幅、冠长及材积等。各树种样木概况见表 1。

树干鲜质量用两种方法获得, 对于幼树和小树, 采用全称重法; 对于大树, 采用材积密度法。枝、叶的鲜质量测定采用全枝称重法。同时在野外对干材、树皮、枝和叶抽取样品, 在室内通过测定样品的含水率或密度而推算出各部分的干质量。最后, 木材和皮的干质量相加, 就可得到树干的总干质量; 枝和叶的干质量相加, 就可得到树冠的总干质量; 树干和树冠的干质量

* 本文为第一作者硕士论文的一部分, 属 1995 ~ 1997 年林业部重点课题‘我国主要树种二元生物量模型及其相容的一元自适应模型系列的研究’部分内容。

1998-07-02 收稿。

相加,就可得到全树地上部分的总干质量,称之为总量。

表 1 各树种样木概况

树种	样木数/株			胸径/cm		年龄/a	树高/m
	合计	全称重法	密度法	范围	平均		
落叶松	99	57	42	2.8~33.6	16.2	8~40	2.6~26.4
椴树	20	6	14	10.4~57.7	27.8	21~142	8.8~25.3

2 研究方法

2.1 异方差性的消除

对于回归模型参数的估计常常采用普通最小二乘法,该法要求模型中的误差项 ϵ 必须满足零数学期望、独立和等方差^[3]。在这种假设条件下,普通最小二乘法能够得到回归模型的最优估计。

林业应用中的许多回归模型,其误差项的方差一般都随自变量的变化而变化,即存在着异方差性。生物量模型也不例外,因为干质量这一变量在多数情况下是随其它变量的增大而增大的。以往在进行生物量方程拟合时,普遍采用普通最小二乘法,而忽略了以上的事实,所作的拟合是违背最小二乘法要求的,尽管相关系数已达显著水平,其结果必然是有偏差的。为了消除异方差,本研究采用了加权最小二乘法^[4]。在此之前,此方法已成功地应用于二元材积模型的拟合中^[5]。

采用加权回归估计方法,其中的关键问题是权函数的确定。怎样确定权函数,目前还没有统一的标准和方法。Cunia^[6]在采用加权最小二乘法建立材积方程时,指出材积拟合方程的剩余方差在多数情况下是与 D^{-2} 或 $(D^2H)^{-2}$ 成比例的,因此,一元材积方程以 D^{-2} 为权,二元材积方程以 $(D^2H)^{-2}$ 为权。国内一些研究结果表明,对于材积模型 $V = aD^bH^c$, 认为选择 $1/(D^2H)^2$ 作权函数为最佳;对于材积生长率模型 $P_v = aD^bA^c$, 认为选择 $1/(D^2A)$ 作权函数为最佳^[7]。这些研究结果说明最佳权函数是针对某个模型而言的,即模型不同,其最佳权函数也不同。基于以上分析,经过研究比较,本次确定用原函数本身来构造权函数,即以原函数的倒数作为权函数: $W_i = 1/f^2(x_i)$, 以此对模型作数据变换,使得到的新模型满足独立、正态、等方差的要求。本研究中所有模型的参数估计均采用了此方法。

2.2 模型的评价指标与评价方法

模型的评价运用了以下 5 个指标: 参数的变动系数 $C_{vi}(\%) = |S_{\sigma}/C_i|$ (其中 S_{σ} 为参数标准差, C_i 为参数估计值), 总相对误差 $E_r = \sum_i (y_i - \hat{y}_i) / \sum_i y_i \times 100\%$, 平均相对误差 $E_m = \frac{1}{N} \sum_i [(y_i - \hat{y}_i) / y_i] \times 100\%$, 平均相对误差绝对值 $E_a = 1/N \sum_i |(y_i - \hat{y}_i) / y_i| \times 100\%$, 预估精度 $P = [1 - (t_{\alpha} \sum_i (y_i - \hat{y}_i)^2) / (\bar{y} \overline{N(N-T)})] \times 100\%$ 。公式中, y_i 为实测值, \hat{y}_i 为预估值, N 为样本数, t_{α} 为置信水平 α 时的 t 分布值, T 为回归模型中参数个数, \bar{y} 为平均预估值, 由 $f(x)$ 求出。

以上指标中, C_{vi} 反映了模型的稳健性, E_r 和 E_m 用来检验模型是否存在系统偏差。指标 E_a 是检验模型与样本点的切合程度一个重要指标。而指标 P 则是检验模型用来预测效果好坏的一个重要指标。

生物量模型的评价,用以上指标进行总体和分组两方面的检验。先按照直径大小排序,然后根据样本数的多少分成均等的若干组,并保证每组有 10 个以上的样本点。最后,落叶松分为 5 组,椴树分为 2 组。

2.3 各维量模型的建立

2.3.1 模型结构设计 生物量模型的通式可表达为 $m = f(D, H, C_w, C_l)$, 加入材积因子 V 后, 则通式变为: $m = f(D, H, C_w, C_l) V$ 。

通式中 $f(D, H, C_w, C_l)$ 最基本的形式有以下 4 种: $c_1 D^{c_2} H^{c_3} C_w^{c_4} C_l^{c_5}$, $c_1 D^{c_2} H^{c_3} (C_w^2 C_l)^{c_4}$, $c_1 (D^2 H)^{c_2} C_w^{c_3} C_l^{c_4}$, $c_1 (D^2 H)^{c_2} (C_w^2 C_l)^{c_3}$ 。那么, 与此相对应, 基本干质量模型就有 4 种:

$$m = c_1 D^{c_2} H^{c_3} C_w^{c_4} C_l^{c_5} V \tag{1}$$

$$m = c_1 D^{c_2} H^{c_3} (C_w^2 C_l)^{c_4} V \tag{2}$$

$$m = c_1 (D^2 H)^{c_2} C_w^{c_3} C_l^{c_4} V \tag{3}$$

$$m = c_1 (D^2 H)^{c_2} (C_w^2 C_l)^{c_3} V \tag{4}$$

2.3.2 各维量最优模型的确定 最优模型的确定采用变量逐步筛选法, 此方法与许多线性模型中应用的逐步回归有相似之处。

首先对模型(1)~(4)进行加权回归估计, 然后对估计结果进行分析, 将其中参数估计值小、变动系数大(50%以上)的变量从模型中剔除, 再进行加权估计, 观察评价指标的变化, 经过多次筛选, 使之达到参数变动系数较小, 各项评价指标较优, 此模型就被列为备选模型。这样从(1)~(4)式可得到几个备选模型, 最后综合评价各备选模型的参数变动系数、 S 、 R 、 E_r 、 E_m 、 E_a 、 P 等指标, 确定最优生物量模型, 同时得到了参数估计值。

下面以长白落叶松的总量和树干为例叙述具体选型过程。

对于总量, 先从(2)式出发, 对其进行加权回归估计, 参数拟合结果及评价指标见表 2。

表 2 模型(2)参数及评价指标

参数估计值				参数变动系数%				评价指标%			
C_1	C_2	C_3	C_4	C_{v1}	C_{v2}	C_{v3}	C_{v4}	E_r	E_m	E_a	P
1 224.67	0.064	-0.477	0.079	4.37	103.6	13.1	16.3	0.24	-0.36	5.39	99.04

从表 2 看出, 模型(2)的 C_{v2} 高达 103.6%, 且参数估计值也相对较小, 因此从模型中剔除胸径变量 D , 模型变为如下形式:

$$m = c_1 H^{c_2} (C_w^2 C_l)^{c_3} V \tag{5}$$

再对模型(5)式加权回归估计, 参数拟合结果及评价指标见表 3。

表 3 模型(5)参数及评价指标

参数估计值			参数变动系数%			评价指标%			
C_1	C_2	C_3	C_{v1}	C_{v2}	C_{v3}	E_r	E_m	E_a	P
1 208.938	-0.421 9	0.086 6	4.15	5.25	12.34	0.03	-0.63	5.00	99.00

从表 3 看出, 模型(5)在减少一个参数后, 总相对误差 E_r 比模型(2)降低 7.2 倍, 平均相对误差绝对值 E_m 和预估精度 P 两模型基本相同, 但是模型(5)中的参数相当稳定。因此, 模型(5)为长白落叶松总量的备选模型之一。按此作法, 从模型(1)、(3)、(4)出发, 也可以得到几个

备选模型, 最后再综合评价各备选模型的参数变动系数、 S 、 R 、 E_r 、 E_m 、 E_a 、 P 等指标, 从中确定落叶松总量的最优模型, 同时也得到了参数估计值。

对树干、木材、树皮只需考虑胸径和树高两个变量。因此, 由(1)和(4)派生出两种形式:

$$m = c_1 D^{c_2} H^{c_3} V \quad (6); \quad m = c_1 (D^2 H)^{c_2} V \quad (7)$$

先对模型(6)进行拟合, 结果见表4。

表4 模型(6)参数及评价指标

参数估计值			参数变动系数%			评价指标%			
C_1	C_2	C_3	C_{v1}	C_{v2}	C_{v3}	E_r	E_m	E_a	P
426.944	0.005 2	- 0.000 4	0.27	52.09	838.13	0.006 6	- 0.001 3	0.518	99.79

从表4看出, 模型(6)的参数变动系数过大, 其中 C_{v3} 高达838.13%, 且其参数估计值仅为-0.0004。因此, 必须从模型(6)中剔除树高变量, 将模型改变为如下形式:

$$m = c_1 D^{c_2} V \quad (8)$$

再对模型(8)进行拟合, 结果见表5。

表5 模型(8)参数及评价指标

参数估计值		参数变动系数%		评价指标%			
C_1	C_2	C_{v1}	C_{v2}	E_r	E_m	E_a	P
426.893	0.004 9	0.18	14.61	0.007 9	- 0.001 1	0.519	99.80

从表5看出, 模型(8)在缺少一个变量的情况下, 仍能达到模型(6)的拟合与预估水平, 而且参数相当稳定。因此, 模型(8)为长白落叶松总量的备选模型之一。按此作法, 从模型(7)出发, 也可以得到一个备选模型, 最后再综合评价各备选模型的参数变动系数、 S 、 R 、 E_r 、 E_m 、 E_a 、 P 等指标, 从中确定落叶松树干的最优模型。

此方法与以往的模型选型方法相比较, 至少有3个优点: 一是能充分考虑各变量及其各种组合形式, 避免了较优模型的漏选; 二是在保证估计精度的前提下, 能够得到模型的最简化形式; 三是避免了从一大堆事先给定模型中逐一筛选的繁重工作, 减少了工作量。本研究中各维量的最优模型的确定皆采用此法, 这是本次研究在模型选型上的一个创新。因此, 在目前尚无条件研究生物量机理模型的情况下, 采用本方法行之有效, 是一条捷径。

3 结果与分析

3.1 各维量模型筛选结果

按2.3.2节的方法, 经过变量逐步筛选, 最后确定的两树种各维量的最优生物量模型见表6。从表中可以发现以下规律, 对于总量、树冠、枝、叶的生物量模型, 两树种均为(9)式。对于树干、木材和树皮的生物量模型, 均为(10)式, 说明树干、木材和树皮的生物量与树冠因子关系不紧密, 这将对以后在树干、

表6 各树种各维量的最优生物量模型

维量	模 型		备注
	落叶松	椴 树	
总量	$m = c_1 H^{c_2} (C_w^2 C_l)^{c_3} V$	$m = c_1 H^{c_2} (C_w^2 C_l)^{c_3} V$	(9)
树干	$m = c_1 D^{c_2} V$	$m = c_1 D^{c_2} V$	(10)
木材	$m = c_1 D^{c_2} V$	$m = c_1 D^{c_2} V$	
树皮	$m = c_1 D^{c_2} V$	$m = c_1 D^{c_2} V$	
树冠	$m = c_1 H^{c_2} (C_w^2 C_l)^{c_3} V$	$m = c_1 H^{c_2} (C_w^2 C_l)^{c_3} V$	
树枝	$m = c_1 H^{c_2} (C_w^2 C_l)^{c_3} V$	$m = c_1 H^{c_2} (C_w^2 C_l)^{c_3} V$	
树叶	$m = c_1 H^{c_2} (C_w^2 C_l)^{c_3} V$	$m = c_1 H^{c_2} (C_w^2 C_l)^{c_3} V$	

木材和树皮生物量建模的变量选择上提供参考。

3.2 模型参数估计结果

表 7、8 分别为落叶松、椴树各维量模型的估计结果。综合各维量的估计结果,从参数的变动系数和统计指标上来看,各树种的规律是一致的,即总量、树干、木材、树皮的估计效果优于树冠、枝和叶;在总量、树干、木材、树皮 4 个维量中,以总量和树干的估计效果最好,木材次之,树皮相对较差;在树冠、枝和叶 3 个维量中,以树冠估计效果最好,枝次之,叶相对较差。这与前人的研究成果基本一致。究其原因,主要是因为树冠部分的生物量受树冠的形状、大小和饱满程度以及树木长势的影响很大,而这些因素是随气候、生境的不同而变化的。因此就造成了树冠部分生物量变动范围很大。另外,在生物量调查中,树冠部分的数据采集采用的是抽样方法,由于抽样误差的存在,使数据的变动范围增大,也影响了模型的拟合和估计效果。

两树种相比,落叶松估计效果最好,椴树次之。分析其原因,主要与样本的组成和多少有关。落叶松的样本数在 50 株以上,而椴树只有 20 株左右。因此,在生物量研究中,要想提高估计精度,就得加大样本量。

表 7 落叶松各维量模型估计结果

维量	参数估计值			参数变动系数/%			统计指标	
	C_1	C_2	C_3	C_{v1}	C_{v2}	C_{v3}	S	R
总量	1 208.938 3	- 0.421 8	0.086 6	4.15	5.24	12.34	5.789	0.998 9
树干	426.893 3	0.004 9		0.18	14.61		0.973	0.999 9
木材	345.131 3	0.038 3		1.40	14.27		6.703	0.997 5
树皮	93.214 0	- 0.236 2		10.05	16.71		5.740	0.876 3
树冠	1 916.491 9	- 1.756 6	0.431 3	23.93	7.27	14.33	5.537	0.965 3
树枝	1 165.610 7	- 1.666 0	0.435 2	22.62	7.25	13.43	5.104	0.961 2
树叶	1 005.716 7	- 2.028 6	0.384 1	29.91	7.98	20.74	1.384	0.879 4

表 8 椴树各维量模型估计结果

维量	参数估计值			参数变动系数/%			统计指标	
	C_1	C_2	C_3	C_{v1}	C_{v2}	C_{v3}	S	R
总量	600.559 5	- 0.200 5	0.072 7	14.61	40.12	25.73	25.57	0.998 4
树干	419.714 1	- 0.002 2			0.14	20.61	0.34	1.000 0
木材	289.110 9	0.049 7			3.33	21.28	7.11	0.999 7
树皮	166.464 1	- 0.239 9			16.34	21.61	7.73	0.985 0
树冠	216.863 7	- 1.048 7	0.378 1	73.05	38.35	24.74	25.28	0.980 1
树枝	171.430 4	- 1.258 5	0.490 7	72.35	31.62	18.84	21.47	0.982 6
树叶	107.716 8	- 0.603 7	- 0.053 2	105.89	96.57	254.90	5.58	0.895 5

3.3 模型检验与评价

用本文提出的 4 个指标对各树种各维量模型进行了总体和分组检验。结果表明,所建两个树种的生物量模型各维量总体检验,平均相对误差皆趋近于 0,说明模型无明显系统偏差。各维量模型中,均以树干和木材模型的精度最高,总量和树皮次之,树冠、枝和叶相对较低。

3.4 新建模型与常规 CAR 模型比较

CAR 模型是由 Kittredgt^[8] 提出的,它的原形为 $Y = aX^b$,是基于固定相对生长速率的模型,在以往的生物量估计中应用非常普遍。本次所建模型由于加入了材积因子 V 和树冠因子

C_w 、 C_l ，在模型选型过程中，剔除了贡献性小而参数变动系数大的变量，使得各维量生物量模型的拟合效果及预估精度比常规的 CAR 模型都有了较大幅度的提高。将新建模型与常规 CAR 模型作一比较，结果见表 9、10。各维量的常规 CAR 模型采用常用的 $m = c_1(D^2H)^{c_2}$ 形式。

表 9 落叶松各维量常规 CAR 模型与新建模型总体检验结果

%

维量	常规 CAR 模型				新建模型			
	E_r	E_m	E_a	P	E_r	E_m	E_a	P
总量	4.637 0	- 0.408 3	13.155 1	96.48	- 0.033 6	- 0.626 0	5.000 8	99.00
树干	2.590 6	0.017 7	11.369 2	97.75	0.007 8	- 0.001 0	0.517 8	99.80
木材	2.619 5	- 0.002 6	12.279 8	97.25	0.067 2	- 0.013 1	2.795 8	98.43
树皮	1.897 5	0.098 9	21.090 2	87.77	- 0.825 5	0.068 0	18.373 0	88.40
树冠	5.621 8	- 1.722 5	35.740 3	87.26	- 1.004 0	- 4.467 1	23.555 7	94.02
树枝	6.937 5	- 1.489 9	36.283 3	86.01	0.762 8	- 3.971 3	24.828 7	93.14
树叶	0.455 2	- 2.517 3	36.856 0	90.65	- 8.086 5	- 5.885 3	27.077 9	91.98

表 10 椴树各维量常规 CAR 模型与新建模型总体检验结果

%

维量	常规 CAR 模型				新建模型			
	E_r	E_m	E_a	P	E_r	E_m	E_a	P
总量	3.176 3	0.000 05	11.889 0	86.90	1.205 7	- 0.000 01	3.625 2	96.36
树干	1.704 1	- 0.000 02	11.217 1	89.78	- 0.020 6	0	0.072 8	99.94
木材	2.446 0	0.000 04	10.782 1	88.78	0.548 7	0	1.595 7	98.43
树皮	- 1.609 7	- 0.000 01	13.359 6	89.62	- 2.654 9	- 0.000 01	7.792 9	91.65
树冠	9.108 5	0.001 26	27.398 3	73.63	5.177 9	- 0.000 01	18.091 3	84.06
树枝	8.872 2	0.000 06	29.841 2	75.95	3.061 5	0.000 08	17.731 7	85.17
树叶	6.103 4	- 0.000 01	33.615 5	55.81	8.310 6	0	28.998 2	65.61

从表 9 可见，落叶松新建模型 7 个维量的平均预估精度为 94.97%，而 CAR 模型仅为 91.88%。新建模型的平均相对误差绝对值减小幅度最大，7 个维量的平均值由 23.82% 减小到 14.5%，其中树干减小的幅度最大，由 11.369% 降至 0.518%，说明新模型的曲线与样本点基本完全切合，这主要是因为引入了材积变量所致。 E_r 指标除树叶外，其余分量新建模型均小于 CAR 模型。但在指标 E_m 上，CAR 模型略优于新建模型。

对于椴树，从表 10 中可见，新建模型 7 个维量的预估精度平均值为 88.75%，而 CAR 模型仅为 80.07%。与落叶松一样，指标 E_a 减小幅度最大，尤其是总量、树干、木材、树皮最为明显，CAR 模型均在 11% 以上，而新建模型在 3.7% 以下，其余维量该指标 CAR 模型均大于新建模型。指标 E_m 新建模型全部小于 CAR 模型， E_r 指标在树皮和叶上，CAR 模型略优于新建模型，其余维量都不如新建模型。

通过以上对比分析，我们可以非常有把握地认为，各维量新建模型在拟合效果和预估精度方面都比通常应用的 CAR 模型有显著的提高。

4 结 论

(1) 本研究在建模方法上较以往有了很大改进。采用的变量逐步筛选法，有 3 方面的优点：一是全面考虑有用信息，避免最优模型的漏选；二是避免重复，减少工作量；三是能够得到模型

的最简化形式。特别对于生物量模型,由于变量多、模形结构复杂,以上 3 点更为明显。因此在建模方法上是一次创新。

(2) 本研究在参数估计中采用了加权回归估计,解决了异方差的问题。同时提出了以原函数本身构造权函数的思路,结果证明,此想法是可行的,达到了预期的目的。

(3) 本研究在模型中首次引进了材积因子,不但提高了模型的估计精度,而且实现了生物量模型与材积模型的兼容,使生物量资源调查与森林蓄积量调查紧密地联系起来,为生物量模型的应用和推广奠定了基础。

(4) 根据本研究结果,编制生物量数表时,总量、冠、枝、叶可选用模型 $m = c_1 H^{c_2} (C_w^2 C_l)^{c_3} V$, $m = c_1 H^{c_2} C_w^{c_3} V$; 树干、木材、树皮可选用模型 $m = c_1 D^{c_2} V$, $m = c_1 V$ 。

参 考 文 献

- 1 李文华. 森林生物生产量的概念及其研究的基本途径. 自然资源, 1978(1): 71 ~ 92.
- 2 罗天祥. 中国主要森林类型生物生产力格局及其数学模型: [学位论文]. 北京: 自然资源综合考察委员会, 1996.
- 3 唐守正. 多元统计分析方法. 北京: 中国林业出版社, 1984.
- 4 张寿, 于清文. 计量经济学. 上海: 上海交通大学出版社, 1984.
- 5 周再知, 郑海水. 橡胶树立木材积表的编制研究. 林业科学研究, 1996, 9(5): 486 ~ 491.
- 6 Cunia T. Weighted least square method and construction of volume tables. For. Sci., 1964, 10(2): 180 ~ 191.
- 7 曾伟生. 关于加权最小二乘法中权函数的选择问题. 中南林业调查规划, 1996, 15(1): 54 ~ 55.
- 8 Kittredge J. Estimating of the amount of foliage of trees and stand. J. For., 1944, 42: 905 ~ 912.

Study on Establish and Estimate Method of Biomass Model Compatible with Volume

Zhang Huiru Tang Shouzheng Wang Fengyu

(The Research Institute of Forest Resource Information Techniques, CAF, 100091, Beijing, China)

Abstract Establishing biomass models is a major way of biomass estimate. To establish biomass model compatible with volume table is the base of realizing the combination of forest biomass survey and growing stock inventory. Based on this point, the progressive variable selection method is used to establish biomass model compatible with volume table for *Larix olgensis* and *Tilia amurensis*, and weighted least squares method is used to estimate parameters for clearing up phenomenon of non-homogeneous variance. In the meantime, the paper presented five indices for evaluation of models, they are coefficient of variation for parameters C_{vi} , total relative error E_r , average relative error E_m average absolute value of relative error E_a and prediction precision P . All the results show that biomass models established in this paper not only realize compatibility with volume table, but also get remarkable improvement in estimate effect and prediction precision comparing with previous model CA R. According to the results, some reference models are given.

Key words biomass; compatible model; *Larix olgensis*; *Tilia amurensis*