

西北地区山杨立木生物量模型研建

李智华

(国家林业局西北林业调查规划设计院, 陕西 西安 710048)

摘要:以西北地区山杨为对象,对立木生物量模型研建过程分地上和地下两部分进行了研究,建立了山杨地上生物量、木材、树皮、树枝、树叶独立模型和材积相容模型,同时采用相容性模型方法建立地上生物量和各分量相容的立木生物量模型,还建立了根茎比模型来估计地下部分生物量。研究表明,所建立的各项模型均达到相关技术规定要求,可以用于西北地区山杨的生物量估计。

关键词:山杨;生物量;相容性

中图分类号:S718 文献标识码:A 文章编号:1003-5508(2013)04-0055-04

Establishment of Single-tree Biomass Equations of Aspen in Northwestern Regions

LI Zhi-hua

(Northwest Institute of Forest Inventory, Planning and Design, State Forestry Administration, Xi'an 710048, Shaanxi, China)

Abstract: In this paper, studies were made of the establishment of above-ground and below-ground single-tree biomass equations of aspen. Firstly the work was done for establishing its total above-ground, stem wood, stem bark, branch, leaf independent biomass models and compatible models with the volume biomass. Then a system of aspen biomass models was established, in which the total above-ground biomass equations were compatible with stem wood, stem bark, branch, leaf biomass equations. Finally a root-shoot ratio model was established, which could be used to estimate below-ground biomass together with above-ground biomass equation. The results showed that all the models should be able to fulfill technical regulations and to be applied to the biomass estimation of aspen.

Key words: Aspen, Biomass, Compatibility

森林生物量是测算森林碳汇和生态效益的基础依据,对于我国建立统一的、有可比性的森林生态效益测算方法和指标具有重要的现实意义。开展森林生物量监测,最重要的基础工作就是建立立木生物量模型,为生物量监测提供计量标准和依据^[1]。国家林业局在第八次全国森林资源清查中专门对生物量调查建模做了安排和部署,要求各省尽快建立森林生物量监测的计量体系。以西北地区山杨为对象,开展了相关森林生物量数学模型的研究。

1 样本分配和组成

建模样本 150 个(挖根样本 55 个),其中甘肃 38 个,新疆 43 个,陕西 32 个,青海 19 个,宁夏 18 个。样本数量严格按径阶(2 cm、4 cm、6 cm、8 cm、12 cm、16 cm、20 cm、26 cm、32 cm、38 cm 以上)和树高(5 个树高级)分布于指定的行政范围(县或林业局),确保了所采集的样本具有广泛的代表性。每个样本采集木材、树皮、树枝、树叶、死枝、根茎、粗

收稿日期:2013-04-25

作者简介:李智华(1978-),男,工程师,主要从事森林资源监测工作。

根、细根等样品,最后总共采集2 587个样品,最后内业测定的有效样品2 568个。样本分配和内业系数测定严格执行了国家技术规定。

2 数据处理

首先从建模样本数据库中提取以下核心信息:树种、起源、胸径、树高、冠长、冠幅、带皮材积、干材生物量、干皮生物量、树枝生物量、树叶生物量、地上生物量、地下生物量和总生物量,并单独形成文件;然后利用专业知识与实践经验,对样本的生物量、胸径、树高等因子之间的关系进行判断,找出明显不符合相互关系的异常样本;再通过绘制下述散点图,检查是否存在异常数据(即“离群”数据)。主要包括:绘制各项生物量与胸径、树高、冠幅、冠长之间的散点图;绘制地下生物量与地上生物量比值(根茎比)与胸径、树高之间的散点图;绘制树冠生物量与树干生物量比值(冠干比)与胸径、树高之间的散点图;绘制干皮与干材生物量比值与胸径、树高之间的散点图;绘制树枝与树叶生物量比值与胸径、树高之间的散点图。

通过以上方法仔细核对,基本上没有发现异常数据,只有几个数字异常通过查找原始记录和分析发现是由于记载和计算方面的原因,已经予以更正。生物量建模样本资料弥足珍贵且数量有限,只要数据客观真实,原则上尽量不予剔除。

3 模型设计

林木生物量涉及树干、树冠、干材、干皮、树枝、树叶和树根各个分项,由于生物量主要与胸径(D)和树高(H)相关,一般采用非线性模型,考虑到因子测量的方便、测量成本以及模型在现实中的实际应用,暂时只考虑建立一元和二元模型,模型结构式^[2]如下:

3.1 地上生物量独立模型

一元模型: $M_A = a_0 D^{a_1}$

二元模型: $M_A = a_0 D^{a_1} H^{a_2}$

式中, M_A 为地上生物量(kg); D 为胸径(cm); H 为树高(m); a_i 为模型参数。

3.2 与材积相容模型

考虑到生物量与材积的高度相关性,我们设计了如下与材积相容的模型:

一元模型: $M_A = b_0 D^{b_1} \cdot V$

二元模型: $M_A = b_0 D^{b_1} H^{b_2} \cdot V$

式中, M_A 为地上生物量(kg); D 为胸径(cm); H 为树高(m); V 为立木材积(m^3); b_i 为模型参数。其中立木材积采用如下公式^[3]计算:

$$V = \pi/40\,000 \times (d_0^2/4 + d_{0.5}^2/2 + 3d_1^2/4 + d_2^2 + \dots + d_8^2 + 5d_9^2/6) \times H/10$$

式中, d_i ($i=0, 0.5, 1, 2, \dots, 9$) 分别表示 0, 0.5/10, 1/10, 2/10, \dots , 9/10 树高处的直径(cm), H 为树高(m), π 取 3.14159。

3.3 与各分项相容的系统模型

地上生物量应该等于各分项(干材、干皮、树枝、树叶)之和,但由于各分项也是独立建立与胸径(D)、树高(H)的模型,各分项之和与地上总生物量肯定会不相等。因此,在同时建立各分项生物量模型时就要考虑与总生物量的相容性,采取在总量控制下采用按比例平差的办法。各分项模型结构如下:

$$\begin{cases} y_1 = \frac{g_1(x)}{1 + g_1(x) + g_2(x) + g_3(x)} \cdot f_0(x) \\ y_2 = \frac{g_2(x)}{1 + g_1(x) + g_2(x) + g_3(x)} \cdot f_0(x) \\ y_3 = \frac{1}{1 + g_1(x) + g_2(x) + g_3(x)} \cdot f_0(x) \\ y_4 = \frac{g_3(x)}{1 + g_1(x) + g_2(x) + g_3(x)} \cdot f_0(x) \end{cases}$$

式中, y_1, y_2, y_3, y_4 分别为干材、干皮、树枝、树叶的生物量, x 为林木胸径 D 、树高 H , $g_1(x)$ 为干材占总生物量的相对比例函数(相对于树枝为 1 的变化函数); $g_2(x)$ 为干皮占总生物量的相对比例函数; $g_3(x)$ 为树叶占总生物量的相对比例函数, $f_0(x)$ 为前述地上生物量模型; $g_i(x)$ 的通用模型结构同独立模型。

3.4 地下生物量独立模型

一元模型: $M_B = c_0 D^{c_1}$

二元模型: $M_B = c_0 D^{c_1} H^{c_2}$

式中, M_B 为地下生物量(kg); D 为胸径(cm); H 为树高(m); c_i 为模型参数。

3.5 与地上生物量兼容的模型

考虑到地下生物量与地上生物量有较高的关联性,我们设计与地上生物量兼容的模型结构:

一元模型: $M_B = R \cdot M_A = d_0 D^{d_1} M_A$

二元模型: $M_B = R \cdot M_A = d_0 D^{d_1} H^{d_2} M_A$

式中, M_B 为地下生物量(kg); D 为胸径(cm); H 为树高(m); M_A 为地上生物量(kg); d_i 为模型参数; R 为根茎比,在森林资源清查中可直接应用根茎比模型。

4 模型参数计算

生物量和材积数据均存在异方差,模型的求解必须采用加权回归估计^{[2]358}。我们利用统计软件 SPSS 采用加权最小二乘法计算相关模型参数。

5 模型评价与检验

5.1 基本评价指标

综合考虑各种因素,在立木生物量模型评价和比较时,将确定系数(R^2)、估计值的标准误(SEE)

和平均预估误差(MPE)等3项指标作为基本统计指标,其计算公式^[4]为:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2}$$

$$SEE = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{n - p}}$$

$$MPE = t_\alpha \cdot (SEE/\bar{y}) / \sqrt{n} \times 100$$

式中 y_i 为实际观测值; \hat{y}_i 为模型预估值; \bar{y} 为样本平均值; n 为样本单元数; p 为参数个数; t_α 为置信水平 α 时的 t 值。

通过公式对上面3项指标的计算,计算结果见表1~3。

表1 相容性地上生物量模型拟合结果

| 模型 | 参数估计值 | | | | | | 统计指标 | | |
|----|----------|----------|----------|-------------|----------|-----------|--------|----------|---------|
| | 生物量独立模型 | | | 与材积相容模型 | | | R^2 | SEE (kg) | MPE (%) |
| | a_0 | a_1 | a_2 | b_0 | b_1 | b_2 | | | |
| 一元 | 0.114664 | 2.386436 | | 663.728822 | 0.007957 | | 0.9543 | 53.89 | 4.87 |
| 二元 | 0.093240 | 2.262044 | 0.217486 | 1250.771730 | 0.429991 | -0.728694 | 0.9610 | 50.97 | 4.06 |

表2 相容性生物量方程系统的拟合结果

| 模型 | 参数估计值 | | | 统计指标 | | |
|--------|----------|-----------|----------|--------|---------|--------|
| | a_0 | a_1 | a_2 | R^2 | SEE(kg) | MPE(%) |
| 干材(一元) | 5.870447 | -0.230083 | | 0.9562 | 32.42 | 4.58 |
| 干皮(一元) | 2.995345 | -0.494295 | | 0.9525 | 4.25 | 6.84 |
| 树枝(一元) | | | | 0.9122 | 17.13 | 9.54 |
| 树叶(一元) | 1.335639 | -0.661614 | | 0.9064 | 4.51 | 10.97 |
| 干材(二元) | 1.127870 | -1.068123 | 1.515251 | 0.9641 | 29.68 | 4.21 |
| 干皮(二元) | 0.668999 | -1.229852 | 1.363821 | 0.9557 | 3.86 | 6.05 |
| 树枝(二元) | | | | 0.9239 | 16.26 | 8.86 |
| 树叶(二元) | 1.189580 | -0.740678 | 0.132504 | 0.9129 | 4.07 | 9.92 |

表3 相容性地下生物量模型拟合结果

| 模型 | 参数估计值 | | | | | | 统计指标 | | |
|----|----------|----------|-----------|----------|-----------|-----------|--------|----------|---------|
| | 生物量独立模型 | | | 与材积相容模型 | | | R^2 | SEE (kg) | MPE (%) |
| | c_0 | c_1 | c_2 | d_0 | d_1 | d_2 | | | |
| 一元 | 0.058043 | 2.198687 | | 0.597791 | -0.230175 | | 0.9910 | 31.33 | 11.54 |
| 二元 | 0.154707 | 2.797383 | -1.064215 | 2.066973 | 0.501467 | -1.316784 | 0.9936 | 26.65 | 9.81 |

从上表各项统计指标看,二元模型与一元模型相比,各项指标变化不大,改进不太明显,二元要略高于一元模型;一元、二元模型和各分量模型确定系数均在0.90以上,特别是地下生物量模型更高,达到0.99,说明立木胸径和树高已经解释了立木生物量变动的绝大部分;地上生物量模型的平均预估误差均在5%以下,地下生物量模型的平均预估误差也在10%左右,模型是可以接受的;各分项模型的平均预估误差也基本在10%以内,说明拟合效果较好。

5.2 预估精度分析

利用样本实测值和模型估计值计算出预估精度,地上一元和二元模型的预估精度分别为:95.22%和96.01%,均在95%以上,二元模型要略高于一元模型,但提高和改善精度不明显,说明地上生物量一元和二元精度模型均达到要求(技术规定要求是90%),如果不测树高的情况下,使用一元模型即可,如果要得到更高精度的预估,可以采用二元模型;地下一元和二元模型的预估精度分别为81.38%和83.58%,均达到80%以上,考虑到地下

生物量分布的复杂性和调查的难度,80%左右的精度是可以接受的;各分项模型的预估精度也基本满足要求,干材、干皮的精度分别为95.62%和94.37%,树枝和树叶要稍微低一些,只有89.16%和86.93%,但也在技术规定范围之内。

5.3 分径阶分析

按照2004年《国家森林资源连续清查技术规定》根据样本的胸径,分为大、中、小3个径阶组,其中大径组胸径(≥ 25);中径组胸径(≥ 13 且 < 25);小径组胸径(< 13)。我们将建模样本按径阶组,分别计算总相对误差(TRE)和平均系统误差(MSE),比较模型在各径阶的精度,分析是否存在系统偏差。其计算公式^{[4][11]}为:

$$TRE = \sum (y_i - \hat{y}_i) / \sum \hat{y}_i \times 100$$

$$MSE = \sum (y_i - \hat{y}_i) / \hat{y}_i / n \times 100$$

式中 y_i 为实际观测值; \hat{y}_i 为模型预估值; n 为样本单元数。

表4 生物量模型分径阶的两个基本评价指标

| 模型结构 | 径阶 | 总相对误差(TRE) | 平均系统误差(MSE) |
|------|-----|------------|-------------|
| 地上一元 | 小径阶 | 1.55 | 6.93 |
| | 中径阶 | -0.93 | -1.01 |
| | 大径阶 | -2.29 | -1.02 |
| 地上二元 | 小径阶 | 1.43 | 7.30 |
| | 中径阶 | -1.77 | -1.88 |
| | 大径阶 | -1.45 | 0.04 |
| 地下一元 | 小径阶 | -34.63 | -28.40 |
| | 中径阶 | -20.33 | -18.62 |
| | 大径阶 | -1.58 | -2.93 |
| 地下二元 | 小径阶 | -29.97 | -22.71 |
| | 中径阶 | -20.83 | -16.64 |
| | 大径阶 | -5.09 | -4.37 |

从各径阶的总相对误差和平均系统误差来看,

各径阶起伏不算很大,地上生物量的总相对误差和平均系统误差基本上均在5%以内,各径阶之间没有发现有明显系统偏差,说明经过残差平方拟合后模型效果较好;地下生物量由于分布复杂,受自然条件等很多因素的影响,调查难度也大,所以相对于地上生物量而言,总相对误差和平均系统误差都较大,但基本上也在可接受范围之内。

6 结论

通过对所建立的西北地区山杨生物量模型的评价和分析,模型的精度达到技术规定的要求,建立的模型可以用于西北地区山杨生物量的估计;通过对一元和二元模型的综合对比分析,尽管二元模型预估精度要略高于一元模型,但改善不明显,一元模型已经达到95%的精度要求,考虑到工作成本和测量树高肯定会增加相应的工作量,建议在实际应用中采用一元模型即可。本研究建立的立木生物量模型为编制西北地区山杨生物量表奠定了基础,为下一步更多树种立木生物量模型的建立提供了基本方法和实现途径,有较高的科研利用价值和指导意义。

参考文献:

- [1] 国家林业局森林资源管理司. 国家森林资源连续清查森林生物量模型建立暂行办法(试行) [S]. 2010: 1.
- [2] 骆期邦, 曾伟生, 贺东北. 林业数表模型理论方法与实践[M]. 长沙: 湖南科学技术出版社 2001: 382 ~ 397.
- [3] 国家林业局森林资源管理司. 国家森林资源连续清查森林生物量建模样本采集技术规定(试行) [S]. 2010: 12.
- [4] 曾伟生, 张会儒, 唐守正. 立木生物量建模方法[M]. 北京: 中国林业出版社 2011: 10 ~ 13.