ICS 65.020.01
B 65

LY

中华人民共和国林业行业标准

LY/T 2258—2014

立木生物量建模方法技术规程

Technical regulation on methodology for tree biomass modeling

2014-08-21 发布　　2014-12-01 实施

国 家 林 业 局　发 布

目　　次

前言 …… Ⅰ
1　范围 …… 1
2　规范性引用文件 …… 1
3　术语和定义 …… 1
4　前期工作 …… 1
5　建模总体要求 …… 2
6　地上生物量模型 …… 3
7　分项生物量模型 …… 5
8　地下生物量模型 …… 6
9　质量控制 …… 6
10　提交成果 …… 7

前　言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由国家林业局森林资源管理司提出。

本标准由全国森林资源标准化技术委员会(SAC/TC 370)归口。

本标准起草单位:国家林业局调查规划设计院、中国林业科学研究院资源信息研究所。

本标准主要起草人:曾伟生、李海奎、王雪军、党永峰、程志楚、张敏、白卫国。

学兔兔 www.bzfxw.com

立木生物量建模方法技术规程

1 范围

本标准规定了利用采集的立木生物量建模样本数据，建立符合要求的通用性立木生物量模型的建模过程、技术方法与质量标准。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

LY/T 2259 立木生物量建模样本采集技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

立木生物量 tree biomass

指某一时刻存在于活立木中的有机物质总量(干重)，分地上生物量和地下生物量。其中，地上生物量包括木材、树皮、树枝(含果)、树叶(含花)4 个分量；地下生物量包括根茎、粗根(直径≥10 mm)和细根(2 mm≤直径<10 mm)，直径 2 mm 以下须根不计入根系生物量而计入土壤有机质含量。

3.2

立木生物量模型 tree biomass model

指以立木测定因子(胸径、树高等)为自变量，以立木总生物量或各分项生物量为因变量，利用统计分析原理和方法而建立的回归模型。

3.3

生物量转换因子 biomass conversion factor

指将立木材积转换为地上生物量的换算因子，用 *BCF* 表示，单位为 g/cm^3。如果生物量转换因子随胸径、树高等而变化，则称其为生物量转换因子函数。

3.4

建模异常数据 abnormal data for modeling

指因调查或记录错误，以及样木本身的特异性而明显偏离正常分布范围的数据。可以是立木生物量等推算数据，也可以是胸径、树高、冠幅、冠长等测定数据。

4 前期工作

4.1 异常数据检查

4.1.1 数据准备

从建模样本数据库中提取以下核心信息：胸径、树高、冠幅、冠长、带皮材积、树干密度、木材生物量、

学兔兔 www.bzfxw.com

树皮生物量、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。样本数据采集按 LY/T 2259 执行。

4.1.2 数据检查

可采用统计方法，按 2 倍或 3 倍标准差分别径阶来检查是否存在异常数据。还应通过绘制下述各类散点图，检查是否存在异常数据：

——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。

4.1.3 数据处理

若发现存在异常数据，要查找原始调查或测定记录。若为数据错误，要及时予以改正；数据没有错误的，要认真分析原因。鉴于生物量建模样本资料弥足珍贵、数量有限，且每株样木的数据都是成套匹配的，只要数据客观真实，原则上尽量不要剔除。

4.2 变量相关分析

4.2.1 结合上述异常数据检查，通过绘制散点图，掌握各项生物量及有关比值（因变量）与胸径 D、树高 H、冠幅 Cw、冠长 Cl 等解释变量（自变量）之间的相关规律，同时应进一步分析与自变量的一些常见组合变量 D^2、D^2H、H/D、Cw^2 和 Cw^2Cl 之间的相关规律。

4.2.2 利用双重筛选逐步回归方法，建立各项生物量与全部自变量及其组合变量之间的线性回归关系，分析各项生物量主要与哪些自变量相关，是正相关还是负相关，为构建非线性立木生物量模型提供依据。

5 建模总体要求

5.1 基本原则

5.1.1 坚持地上生物量与材积的相容性原则；

5.1.2 坚持分项生物量与总量的可加性原则；

5.1.3 坚持地下与地上生物量的协调性原则。

5.2 精度要求

5.2.1 全树和地上生物量的平均预估误差应小于 10%；

5.2.2 地下生物量的平均预估误差应小于 15%。

5.3 模型结构

非线性立木生物量模型的一般结构形式见式(1)：

$$y=\beta_0 x_1^{\beta_1} x_2^{\beta_2} \cdots x_j^{\beta_j} \qquad \cdots\cdots(1)$$

式中：

y ——立木总生物量或分项生物量；

x_j ——自变量（D、H、Cw、Cl 等）；

学兔兔 www.bzfxw.com

β_j ——模型参数。

5.4 模型估计

5.4.1 生物量数据都存在异方差，模型的求解应当采取消除异方差的措施，本规程统一采用加权回归估计方法。

5.4.2 加权回归估计的权函数，宜采用通用权函数 $w=1/f(x)$[其中 $f(x)$是回归模型的表达式]；若效果欠佳，应采用特定权函数 $w=1/g(x)$，它根据普通回归估计的残差平方拟合方程 $e^2=g(x)^2$ 得到。

5.5 模型评价

5.5.1 综合考虑各种因素，在评价立木生物量模型时，将确定系数(R^2)、估计值的标准差(SEE)、总相对误差(TRE)、平均系统误差(ASE)、平均预估误差(MPE)和平均百分标准误差($MPSE$)等 6 项指标作为基本评价指标，见式(2)～式(7)：

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

$$SEE=\sqrt{\sum(y_i-\hat{y}_i)^2/(n-p)} \quad \cdots\cdots(3)$$

$$TRE=\sum(y_i-\hat{y}_i)/\sum\hat{y}_i\times 100 \quad \cdots\cdots(4)$$

$$ASE=\sum(y_i-\hat{y}_i)/\hat{y}_i/n\times 100 \quad \cdots\cdots(5)$$

$$MPE=t_\alpha\cdot(SEE/\bar{y})/n\times 100 \quad \cdots\cdots(6)$$

$$MPSE=\sum|(y_i-\hat{y}_i)/\hat{y}_i|/n\times 100 \quad \cdots\cdots(7)$$

式中：

y_i ——实际观测值；

$\hat{y}_i$ ——模型预估值；

$\bar{y}$ ——样本平均值；

n ——样本单元数；

p ——参数个数；

t_α ——置信水平 α 时的 t 值。

评价模型是否达到预定精度要求的重要统计指标是平均预估误差(MPE)。当平均预估误差超出规定的误差限时，要分析原因，必要时应适当增加样本数量，以提高模型的预估精度。

5.5.2 利用建模样本的生物量实测值和模型预估值，按式(2)～式(7)计算各项统计指标，并分析模型参数是否稳定(t 值大于 2 或变动系数小于 50%)，观察残差分布是否随机，以综合评价模型是否达到预定要求。同时，将建模样本按径阶组分别计算总相对误差和平均系统误差，分析是否存在系统偏差。

5.6 模型拓展

5.6.1 胸径 5 cm 以上林木和 5 cm 以下幼树宜一起建模。若用同一个模型难以保证各个径阶(尤其是小径阶)的立木生物量估计精度，可采用哑变量模型方法或分段建模方法改进建模效果。

5.6.2 对于分布范围广、涉及多个建模总体的树种(组)，可采用哑变量模型方法或混合模型方法建立适合不同总体的通用性模型。

6 地上生物量模型

6.1 独立模型的建立

6.1.1 单独建立地上生物量模型，分别一元、二元和多元模型进行拟合，其中一元和二元非线性生物量

学兔兔 www.bzfxw.com

模型的常用结构式见式(8)和式(9)：

$$M = a_0 D^{a_1} \quad \cdots\cdots (8)$$

$$M = a_0 D^{a_1} H^{a_2} \quad \cdots\cdots (9)$$

式中：

M ——生物量；

D ——胸径；

H ——树高；

a_0、a_1、a_2——模型参数。

6.1.2 同时分别建立一元和二元立木材积模型及树高-胸径回归模型，见式(10)、式(11)和式(12)：

$$V = b_0 D^{b_1} \quad \cdots\cdots (10)$$

$$V = b_0 D^{b_1} H^{b_2} \quad \cdots\cdots (11)$$

$$H = c_0 D^{c_1} \quad \cdots\cdots (12)$$

式中：

V ——立木材积；

b_0、b_1、b_2、c_1——模型参数。

6.1.3 生物量数据和材积数据均存在异方差，其模型的求解应当采用加权回归估计方法。树高数据异方差不明显，树高-胸径回归模型可采用普通回归估计。

6.2 相容性模型的建立

6.2.1 一元和二元模型的建立

采用误差变量联立方程组方法，建立与立木材积相容的一元和二元地上生物量模型。联立方程组见式(13)：

$$\begin{cases} \hat{H} = c_0 D^{c_1} \\ \hat{V} = b_0 D^{b_1} \hat{H}^{b_2} \\ \hat{M} = a_0 D^{a_1} \hat{H}^{a_2} = d_0 D^{d_1} \hat{H}^{d_2} \cdot \hat{V} \end{cases} \quad \cdots\cdots (13)$$

式中：

$\hat{H}$ ——树高属于误差变量；

$\hat{V}$ ——材积属于误差变量；

$\hat{M}$ ——生物量估计值；

D ——胸径，属于无误差变量；

d_1、d_2——参数。

式(13)同时包含了与立木材积相容的一元和二元地上生物量模型和生物量转换因子函数及树高-胸径回归模型。若用实测值代替式(13)中生物量模型和生物量转换因子函数中的树高，就是二元模型；若用树高-胸径回归模型代替树高并进行化简，就得到相应的一元地上生物量模型及其生物量转换因子函数。

联立方程组式(13)的求解可采用 ForStat 或 SAS 等统计软件。其参数之间存在如下关系，见式(14)：

学兔兔 www.bzfxw.com

$$d_0 = a_0/b_0, d_1 = a_1 - b_1, d_2 = a_2 - b_2 \quad \cdots\cdots(14)$$

6.2.2 多元模型的建立

地上生物量除与胸径 D、树高 H 相关外，还与冠幅 Cw、冠长 Cl 等因子相关。是否建立多元生物量模型，可根据需要而定。

与立木材积相容的多元地上生物量模型，同样采用误差变量联立方程组，其表达式见式(15)：

$$\begin{cases} \hat{M} = a_0 D^{a_1} H^{a_2} Cw^{a_3} Cl^{a_4} = d_0 D^{d_1} H^{d_2} Cw^{a_3} Cl^{a_4} \cdot \hat{V} \\ \hat{V} = b_0 D^{b_1} H^{b_2} \end{cases} \quad \cdots\cdots(15)$$

式中 $\hat{M}$，$\hat{V}$ 为误差变量，D、H、Cw、Cl 为无误差变量。式(15)中的参数 a_3 和 a_4 在统计上是否有意义(即是否与 0 有显著差异)，取决于其估计值的 t 值大小。若某一参数太小、与 0 无显著差异，则去除该项。

7 分项生物量模型

7.1 独立模型的建立

7.1.1 单独建立各个分项的生物量模型，并分别一元、二元和多元模型进行拟合，模型的基本形式与地上生物量相同。

7.1.2 模型的求解应当采用加权回归估计方法。

7.2 可加性模型的建立

7.2.1 采用总量控制方案，把地上生物量直接分为木材、树皮、树枝、树叶 4 个分量，确保各分量之和等于总量。

7.2.2 假设木材占地上生物量的相对比例为 1，树皮、树枝、树叶占地上生物量的相对比例函数分别为 $g_1(x)$、$g_2(x)$和 $g_3(x)$，地上生物量模型为 $f_0(x)$，则可加性生物量模型系统见式(16)：

$$\begin{cases} y_1 = \dfrac{1}{1 + g_1(x) + g_2(x) + g_3(x)} \cdot f_0(x) \\ y_2 = \dfrac{g_1(x)}{1 + g_1(x) + g_2(x) + g_3(x)} \cdot f_0(x) \\ y_3 = \dfrac{g_2(x)}{1 + g_1(x) + g_2(x) + g_3(x)} \cdot f_0(x) \\ y_4 = \dfrac{g_3(x)}{1 + g_1(x) + g_2(x) + g_3(x)} \cdot f_0(x) \end{cases} \quad \cdots\cdots(16)$$

式中：

y_1——木材；

y_2——树皮；

y_3——树枝；

y_4——树叶。

7.2.3 构建一元、二元和多元系列生物量模型系统，需要先根据生物量数据分析确定 $g_1(x)$、$g_2(x)$、$g_3(x)$ 这 3 个相对比例函数的具体形式——其结构通式为式(1)，并求出各个参数的估计值；然后，再用

学兔兔 www.bzfxw.com

这些估计值作为初值，采用误差变量联立方程组方法求解模型系统式(16)的参数值，其中地上生物量模型 $f_0(x)$ 直接利用按第 6 章所述方法得到的结果。

8 地下生物量模型

8.1 地下生物量模型的建立方法与地上生物量模型类同。由于地下生物量测定难度很大，实测样本量一般较少(通常只占总样本量的 1/3)，应当利用数量较少的地下生物量样本建立根茎比(地下生物量与地上生物量之比)模型，再与利用较大样本建立的地上生物量模型结合起来应用。

8.2 根茎比模型由地下生物量和地上生物量模型按误差变量模型方法联合估计得到。其联立方程组为式(17)：

$$\begin{cases}\hat{M}_B = R_{RS} \cdot \hat{M}_A = e_0 D^{e_1} \hat{H}^{e_2} \cdot \hat{M}_A \\ \hat{M}_A = a_0 D^{a_1} \hat{H}^{a_2}\end{cases} \quad \cdots\cdots(17)$$

式中：

$\hat{M}_B$ ——地下生物量估计值；

$\hat{M}_A$ ——地上生物量估计值；

R_{RS} ——根茎比；

e_1、e_2 ——根茎比模型参数；

$\hat{H}$ ——式(13)中的树高-胸径回归模型。

式(17)包含了与地上生物量协调的一元和二元地下生物量模型及其根茎比模型。若用实测值代替式(17)中生物量模型和根茎比模型中的树高，就是二元模型；若用式(13)中的树高-胸径回归模型代替树高并进行化简，就得到相应的一元地下生物量模型及其根茎比模型。联立方程组式(17)的求解可采用 ForStat 或 SAS 软件，具体方法同前。

8.3 将从式(17)得到的根茎比模型 R_{RS} 乘以按第 6 章所述方法建立的地上生物量模型，就得到最终的地下生物量模型。其平均预估误差可根据地下生物量与地上生物量之间的相关系数，按式(18)计算：

$$MPE_1 = \sqrt{1-(1-1/K) \cdot r^2} \cdot MPE_2 \quad \cdots\cdots(18)$$

式中：

MPE_1 ——综合一重样本后得到的地下生物量模型估计值的平均预估误差；

K ——测定地上生物量和地下生物量的样木数(视为一重样本与二重样本单元数)之比；

r ——相关系数；

MPE_2 ——利用二重样本建立的地下生物量模型估计值的平均预估误差。

8.4 立木总生物量的平均预估误差可根据地上生物量和地下生物量的误差，按和的误差传播公式计算。

9 质量控制

9.1 为加强立木生物量建模的质量管理，确保建模成果准确可靠，生物量建模承担单位和上级林业主管部门均应成立专门的质量管理机构。

9.2 实行分级检查验收制度，建模承担单位要组织专职质量检查组对建模各个工作环节进行检查，确

学兔兔 www.bzfxw.com

保建模方法正确，建模结果可重复；在此基础上，由上级林业主管部门进行检查验收。

10 提交成果

立木生物量建模成果主要包括：

——建模样本数据库（含原始数据库和汇总数据库）；

——立木生物量建模结果（含生物量模型和碳计量参数）；

——生物量建模技术报告；

——生物量建模工作报告。

中华人民共和国林业
行业标准
立木生物量建模方法技术规程
LY/T 2258—2014
*
中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)
北京市西城区三里河北街16号(100045)
网址 www.spc.net.cn
总编室:(010)64275323 发行中心:(010)51780235
读者服务部:(010)68523946
中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销
*
开本 880×1230 1/16 印张 0.75 字数 13 千字
2015年2月第一版 2015年2月第一次印刷
*
书号:155066·2-27727

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68510107

LY/T 2258-2014