

DB23

黑龙江省地方标准

DB23/T ××××—××××

黑龙江省落叶松天然林碳储量估算技术指南

(征求意见稿)

起草单位：东北林业大学

联系人：董利虎

联系电话：15663526673

邮箱：lihudong@nefu.edu.cn

××××-××-×× 发布

××××-××-×× 实施

黑龙江省质量技术监督局 发布

目 次

1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
3.1 立木生物量.....	1
3.2 林分生物量.....	1
3.3 可加性生物量模型.....	1
3.4 含碳系数 (CF)	1
3.5 碳密度 (CD)	1
3.6 碳储量 (C)	1
3.7 模型评价指标.....	1
4 林分生物量模型.....	2
4.1 生物量-林分变量模型模型	2
4.2 生物量-蓄积量模型	3
4.3 生物量换算系数连续函数模型.....	3
5 含碳系数.....	4
6 碳密度计量方法.....	4
7 碳储量计量方法.....	5
8 应用.....	5
8.1 数据范围.....	5
8.2 林分生物量模型.....	5
8.3 区域条件.....	5
附表 A.....	6
(数据性附录)	6
落叶松天然林林分生物量建模样本统计表	6

前 言

本文件按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则第 1 部分:标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由黑龙江省林业和草原局提出并归口。

本标准起草单位:东北林业大学、黑龙江省林业和草原调查规划设计院、国家林业和草原局国有林监测中心

本标准主要起草人:董利虎、郝元朔、李凤日、金星姬、单琳、彭雨欣

黑龙江省落叶松天然林碳储量估算技术指南

1 范围

本标准规定了黑龙江省落叶松天然林碳储量计量方法的术语与定义、林分生物量模型、含碳系数、碳密度计量方法和碳储量计量方法及应用。

本标准适用于黑龙江省大兴安岭地区落叶松天然林林分碳储量的计量。

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。

GB/T 26424-2010 森林资源规划设计调查技术规程

LY/T 2259-2014 立木生物量建模样本采集技术规程

3 术语和定义

GB/T 26424-2010、LY/T 2259-2014 界定的及下列术语和定义适用于本标准。

3.1 立木生物量

某一时刻存在于活立木中的有机物质总干重，分地上生物量和地下（树根）生物量，分别用 w_a 和 w_r 表示。其中，地上生物量包括树干（带皮） w_s 、树枝 w_b 、树叶 w_f 3 个组分；地下（树根）生物量包括大根 $\geq 5\text{cm}$ 、中根 $2\text{-}5\text{cm}$ 和小根 $\leq 2\text{cm}$ ，直径 0.2cm 以下须根不计入根系生物量。

3.2 林分生物量

森林群落在其生命过程中所产干物质的积累量，分地上生物量和地下（树根）生物量，分别用 W_a 和 W_r 表示，其中，地上生物量包括树干（带皮） W_s 、树枝 W_b 、树叶 W_f 3 个组分。分别为立木生物量在林分空间内的总和。

3.3 可加性生物量模型

在建模过程中，立木（林分）总生物量分为树根、树干、树枝和树叶，在建模过程中考虑了不同组分的相关性，保证了建立的生物量模型中各组份生物量预测值之和等于立木（林分）总生物量。

3.4 含碳系数（CF）

林木生物量中有机碳占有机质总量的比值，也叫含碳因子或含碳率。依据该参数可由生物量推算碳密度和碳储量。

3.5 碳密度（CD）

利用立木生物量及其含碳系数，测算出某一森林类型单位面积的含碳量。

3.6 碳储量（C）

利用某一森林类型的碳密度，乘以该森林类型的面积，得到该森林类型的碳现存量，即为碳储量。

3.7 模型评价指标

主要包括调整后确定系数（ R_a^2 ）、均方根误差（RMSE）、平均预测误差（MPE）、平均预测误差百分比（MPE%）、平均绝对误差（MAE）、平均绝对误差百分比（MAE%）和预测精度（P%）。

具体计算公式为：

$$R_a^2 = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2} \right) \left(\frac{N-1}{N-p} \right) \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{N-p}} \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{MPE} = \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - \hat{Y}_{i-i})}{N} \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{MPE}\% = \frac{\sum_{i=1}^N \left(\frac{Y_i - \hat{Y}_{i-i}}{\bar{Y}} \right) \times 100}{N} \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{MAE} = \frac{\sum_{i=1}^N |Y_i - \hat{Y}_{i-i}|}{N} \dots\dots\dots (5)$$

$$\text{MAE}\% = \frac{\sum_{i=1}^N \left(\frac{|Y_i - \hat{Y}_{i-i}|}{Y_i} \right) \times 100}{N} \dots\dots\dots (6)$$

$$\text{P}\% = 1 - \frac{t_\alpha \cdot \sqrt{\frac{(Y_i - \hat{Y}_{i-i})^2}{N-p}}}{\bar{Y} \cdot \sqrt{N}} \times 100 \dots\dots\dots (7)$$

式中：

N——样本总数；

Y_i ——第 i 个观测值；

\hat{Y}_i ——全部数据拟合回归方程计算的 Y_i 的预测值；

\bar{Y} ——观测值的平均值；

\hat{Y}_{i-i} ——原始数据中删除第 i 个样本观测值后，按 p 个参数模型拟合回归方程计算 Y_i 的预测值；

t_α ——置信水平 α ($\alpha = 0.05$) 时的 t 值。

4 林分生物量模型

4.1 生物量-林分变量模型模型

$$\begin{cases} \ln W_i = a_{i0} + a_{ij} \ln X_j + \varepsilon_i \\ \ln W_c = \ln (W_b + W_f) + \varepsilon_c \\ \ln W_a = \ln (W_s + W_b + W_f) + \varepsilon_a \\ \ln W_t = \ln (W_r + W_s + W_b + W_f) + \varepsilon_a \end{cases} \quad (8)$$

式中, W_i 为第 i 分项生物量 ($\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$), i 为 r 、 s 、 b 和 f 。 t 、 a 、 r 、 s 、 b 、 f 和 c 分别代表总量、地上、地下、树干、树枝、树叶和树冠。 X_j 为林分变量 (如林分断面积 G 、林分平均高 H 等), $a_{i0}\sim a_{ij}$ 为模型参数, \ln 为自然对数, ε_i 为模型误差项。

林分断面积 (G) 与林分平均高 (H) 是预测黑龙江省落叶松天然林林分生物量的最优变量。因此, 以这两个变量为基础构建林分生物量-林分变量生物量模型。黑龙江落叶松天然林林分生物量模型的参数及评价指标见表 1。

表 1 黑龙江落叶松天然林生物量-林分变量模型拟合与检验结果

分项	a_{i0}	$a_{i1}(\ln G)$	$a_{i2}(\ln H)$	R_a^2	$RMSE$	$MPE\%$	$MAE\%$	$P\%$
总量	—	—	—	0.958	0.16	1.05	11.47	99.31
地上	—	—	—	0.963	0.15	1.17	10.63	99.36
树根	-1.1579	1.0676	0.5450	0.940	0.20	0.71	14.30	99.15
树干	0.0928	1.0536	0.4248	0.961	0.15	0.71	10.99	99.35
树枝	-2.0040	1.0918	0.3687	0.944	0.19	4.58	13.30	98.98
树叶	-1.8690	1.0085	-0.0696	0.978	0.10	2.29	6.28	99.51
树冠	—	—	—	0.958	0.16	4.09	10.88	99.14

4.2 生物量-蓄积量模型

$$\begin{cases} \ln W_i = a_i + b_i \ln V + \varepsilon_i \\ \ln W_c = \ln (W_b + W_f) + \varepsilon_c \\ \ln W_a = \ln (W_s + W_b + W_f) + \varepsilon_a \\ \ln W_t = \ln (W_r + W_s + W_b + W_f) + \varepsilon_a \end{cases} \quad (9)$$

式中, W_i 为第 i 分项生物量 ($\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$), i 为 r 、 s 、 b 和 f 。 t 、 a 、 r 、 s 、 b 、 f 和 c 分别代表总量、地上、地下、树干、树枝、树叶和树冠。 V 为林分蓄积 ($\text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$), $a_i\sim b_i$ 为模型参数, \ln 为自然对数, ε_i 为模型误差项。

表 2 黑龙江落叶松天然林生物量-蓄积量模型拟合与检验结果

分项	a_i	b_i	R_a^2	$RMSE$	$MPE\%$	$MAE\%$	$P\%$
总量	—	—	0.991	0.07	1.02	5.61	99.61
地上	—	—	0.993	0.07	1.28	4.87	99.65
树根	-1.8391	1.0858	0.981	0.11	0.30	8.70	99.45
树干	-0.7263	1.0377	0.993	0.07	0.74	4.93	99.66
树枝	-2.9405	1.0531	0.967	0.15	4.82	9.65	99.10
树叶	-3.2806	0.8533	0.940	0.17	4.62	12.61	99.27
树冠	—	—	0.970	0.13	4.77	8.71	99.21

4.3 生物量换算系数连续函数模型

$$\begin{cases} W_i = V \cdot BEF_i(X_j) + \varepsilon_i \\ W_c = W_b + W_f + \varepsilon_c \\ W_a = W_s + W_b + W_f + \varepsilon_a \\ W_t = W_r + W_s + W_b + W_f + \varepsilon_t \end{cases} \quad (10)$$

式中， $BEF_i(X_j)$ 为生物量换算系数与林分变量函数关系（如幂函数、指数函数、Schumacher方程和其他非线性方程等）。

表 3. 黑龙江落叶松天然林生物量转换系数连续函数模型拟合与检验结果

分项	方程	R_a^2	RMSE	MPE%	MAE%	P%
总量	—	0.982	7.74	-0.39	5.04	99.68
地上	—	0.982	5.69	-0.04	4.96	99.68
树根	$W_r = [D_g / (17.9149 + 2.9956D_g)]V$	0.976	2.45	-1.37	6.24	99.61
树干	$W_s = 0.4215D_q^{0.0834}H^{0.0373}V$	0.986	4.25	-0.66	4.41	99.72
树枝	$W_b = [D_g / (17.3856 + 12.1882D_q)]V$	0.881	1.65	-0.79	13.64	99.12
树叶	$W_f = [D_g / (60.7002 + 41.6949D_g)]V$	0.700	0.59	-14.61	20.24	98.84
树冠	—	0.890	1.92	-3.74	12.41	99.24

注： D_g 为优势树种平均胸径； D_q 为林分平均直径； H 为林分平均高； V 为林分蓄积。

5 含碳系数

对兴安落叶松立木各组份进行取样，采用碳氮分析仪测定其含碳系数。兴安落叶松立木树干、树枝、树叶和树根含碳系数见表 4。

表 4 兴安落叶松立木各组份的含碳系数

统计量	树根含碳率 CF_r	树干含碳率 CF_s	树枝含碳率 CF_b	树叶含碳率 CF_f
平均值	0.4681	0.4694	0.4757	0.4831
标准差	0.0349	0.0317	0.0331	0.0319

6 碳密度计量方法

基于林分生物量模型（公式 8、9 或 10）和含碳系数（表 4），计算林分的每公顷含碳量，即碳密度。计算公式如下：

$$\begin{cases} CD_s = W_s \times CF_s \\ CD_b = W_b \times CF_b \\ CD_f = W_f \times CF_f \\ CD_r = W_r \times CF_r \dots\dots\dots (11) \\ CD_c = CD_b + CD_f \\ CD_a = CD_s + CD_b + CD_f \\ CD_t = CD_s + CD_b + CD_f + CD_r \end{cases}$$

式中 CD 代表各个碳密度 ($t \cdot \text{hm}^{-2}$)， t 、 a 、 r 、 s 、 b 、 f 和 c 分别代表总量、地上、地下、树干、树枝、树叶和树冠。

7 碳储量计量方法

利用标准地或森林资源小班调查数据中的林分调查数据，采用所建立的林分生物量模型（公式 8、9、10），结合含碳系数（表 4）、标准地或小班面积（ A ），计算出落叶松天然林林碳储量。具体计算公式为：

$$\begin{cases} C_s = CD_s \times A \\ C_b = CD_b \times A \\ C_f = CD_f \times A \\ C_r = CD_r \times A \\ C_c = C_b + C_f \\ C_a = C_s + C_b + C_f \\ C_t = C_s + C_b + C_f + C_r \end{cases} \dots\dots\dots (12)$$

式中 C 代表碳储量 (t)， t 、 a 、 r 、 s 、 b 、 f 和 c 分别代表总量、地上、地下、树干、树枝、树叶和树冠， A 代表标准地或者小班面积 (hm^2)。

8 应用

8.1 数据范围

本标准中的落叶松林分生物量模型应在建模样本的变量幅度范围内应用（参见附录 A）。

8.2 林分生物量模型

如已获得林分调查因子（ G 和 H ），采用生物量-林分变量模型计算生物量进而进行碳储量计量；如已获得林分每公顷蓄积（ V ），采用生物量-蓄积量模型计算生物量进而进行碳储量计量；若已获得林分调查因子（ D_g 、 D_q 、 H 、 V ），可采用生物量换算系数连续函数模型中的任意一种计算生物量进而进行碳储量计量。如未获得以上指标，应进行标准地设置（一个林分至少 3 块 0.06 hm^2 的标准地），计算上述林分因子后进行碳储量计量。

8.3 区域条件

估算省、市、县级、林场级区域范围落叶松天然林碳储量时，应统计不同林分条件（林分年龄、立地质量、林分密度等）的落叶松天然林的面积，结合不同林分条件落叶松天然林的碳密度，计算落叶松天然林的总碳储量。

附表 A
(数据性附录)

落叶松天然林林分生物量建模样本统计表

统计量	海拔	坡度	D_g (cm)	D_q (cm)	H (m)	N (株·hm ⁻²)	G (m ² ·hm ⁻²)	V (m ² ·hm ⁻²)
最小值 Min	220	0	6.0	6.0	5.0	200	0.6	2.3
最大值 Max	1190	28	46.3	36.7	58.7	3950	39.6	340.0
平均值 Mean	636	7	16.4	13.9	14.0	1108	15.3	105.6
标准差 Std	210	5	6.6	4.2	4.3	663	7.7	58.4