

ICS 65.020.20
CCS B66

CSF

团 体 标 准

T/CSF 076—2023

经济林碳计量与监测技术指南

Technical Guideline on Carbon Accounting and Monitoring of Non-wood Product
Forest

2023 - 00 - 00 发布

2023 - 00 - 00 实施

中国林学会

发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 基本原则	1
4.1 保守性	1
4.2 透明性	1
4.3 确定性	1
5 碳计量方法	1
5.1 碳计量和温室气体排放计量内容	2
5.1.1 碳计量内容	2
5.1.2 温室气体排放源计量内容	2
5.2 碳计量边界	2
5.3 碳层划分	2
5.4 乔木经济树种生物质碳储量及变化量的计算方法	2
5.4.1 乔木经济树种生物质碳储量计算方法	2
5.4.2 乔木经济树种生物质碳储量变化量计算方法	3
5.5 灌木经济树种生物质碳储量及变化量的计算方法	4
5.5.1 灌木经济树种生物质碳储量计算方法	4
5.5.2 灌木经济树种生物质碳储量变化量计算方法	4
5.6 土壤有机质碳储量及变化量计算方法	5
5.6.1 土壤有机质碳储量计算方法	5
5.6.2 土壤有机质碳储量变化量计算方法	6
5.7 温室气体排放量计量	6
5.7.1 施肥引起的温室气体排放量计量	6
5.7.2 机械使用引起的温室气体排放量计量	7
5.7.3 森林火灾引起的温室气体排放量计量	8
5.8 碳汇量计量	8
6 监测方法	9
6.1 监测频率	9
6.2 监测样地设置	9
6.2.1 样地数量	9
6.2.2 样地规格	9
6.2.3 样地设置	9
6.2.4 样地调查	9
6.3 经济树种生物质碳储量测算方法	9
6.4 精度控制	9
附录 A (资料性) 参数参考值	11

附录 B (规范性)	需要监测的数据和参数	17
附录 C (资料性)	经济林树种的生物量方程	19
附录 D (资料性)	经济树种生物质碳储量测算方法	22
D.1	乔木经济树种生物质碳储量测算方法	22
D.1.1	计算样地内各树种的乔木经济树种生物量	22
D.1.2	计算 t 时边界范围的乔木经济树种生物质总碳储量	22
D.1.3	计算边界范围内乔木经济树种生物质碳储量的变化量	22
D.2	灌木经济树种生物质碳储量测算方法	22
D.2.1	计算某一样地内灌木经济树种的单位面积生物量	22
D.2.2	计算 t 时边界范围内的灌木经济树种总生物质碳储量	23
D.2.3	计算边界范围内灌木经济树种生物质碳储量的变化量	23
D.3	土壤有机质碳储量测算方法	23
参考文献		24

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。

本文件由中国林学会提出。

本文件由中国林学会归口。

本文件起草单位：红杉天枰科技集团有限公司、北京林业大学、佳木斯市林业和草原局、佳木斯市林业产业服务站、桦川县林业和草原局、鹤岗市林业和草原局、黑龙江科霖环境咨询有限公司。

本文件主要起草人：朴依彤、李哲、王睿、王赛怡、胡玥、张丽、孔凡荣、张梨、陈洁、李海涛、林喜。

经济林碳计量与监测技术指南

1 范围

本标准规定了经济林碳计量和监测方法，包括碳库和温室气体排放源的选择，乔木、灌木经济林和土壤有机质碳储量的变化量和温室气体排放量的核算和监测方法。

本标准适用于中国境内经济林碳计量与碳监测。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 森林资源规划设计调查技术规程
- GB/T 36197 土壤质量土壤采样技术指南
- LY/T 2253 造林项目碳汇计量监测指南
- LY/T 2736 经济林名词术语
- LY/T 2988 森林生态系统碳储量计量指南
- LY/T 3317 竹林低碳经营与碳汇计量监测技术规范
- LY/T 3330 森林土壤碳储量调查技术规程

3 术语和定义

请选择适当的引导语

3.1

经济林 non-wood forests

以生产果品、食用油料、工业原料和药材为主要目的的乔木和灌木。

[来源：LY/T 2736—2016，2.1]

3.2

经济林树种 non-wood forest species

指生产木材以外的林产品的树种。

[来源：LY/T 2736—2016，2.2]

3.3

碳计量 carbon accounting

对经济林栽培活动产生的碳汇量进行核算和监测。

4 基本原则

4.1 保守性

使用保守的假定、数值和程序，以确保不高估项目产生的碳汇量。

4.2 透明性

碳汇量计算中使用的数据、资料有来源且可核查，使目标用户能够在合理的置信度做出决策。

4.3 确定性

选择的核算方法和参数来源可靠，确保计量和监测的准确性与精度。

5 碳计量方法

5.1 碳计量和温室气体排放计量内容

5.1.1 碳计量内容

只选择项目活动边界内地上生物量、地下生物量以及土壤有机质3个主要碳计量内容。枯落物、枯死木的监测和计量较为复杂，根据保守性原则，忽略枯落物、枯死木碳库。

5.1.2 温室气体排放源计量内容

只考虑项目实施过程中，可能发生火灾而引起的N₂O和CH₄排放、施用肥料引起的N₂O排放和使用机械引起的CO₂排放。

5.2 碳计量边界

根据最新的森林资源规划设计调查数据、林地一张图或经营规划图确定经济林栽培活动的地理边界。

5.3 碳层划分

基线情景碳层可根据植被类型、植被冠层盖度和（或）土地利用类型进行划分；项目情景碳层主要根据项目设计的栽培计划（如树种、栽培时间等）和未来经营管理计划（修剪、疏果和施肥等）进行划分。

5.4 乔木经济树种生物质碳储量及变化量的计算方法

5.4.1 乔木经济树种生物质碳储量计算方法

通过乔木经济树种生物量含碳率将乔木经济树种生物量转化为碳含量，再利用CO₂与C的分子量（44/12）比将碳含量（t C）转换为二氧化碳当量（t CO₂-e），由此计算乔木经济树种生物质碳储量：

$$C_{TREE,i,t} = \frac{44}{12} * \sum_{j=1} (B_{TREE,i,j,t} * CF_{TREE,j}) \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$C_{TREE,i,t}$ —— t 时，第 i 层乔木经济树种生物量的碳储量，单位为吨二氧化碳当量每年（t CO₂-e·a⁻¹）；

$B_{TREE,i,j,t}$ —— t 时，第 i 层乔木经济树种 j 的生物量，单位为吨生物量（t d.m.）；

CF_{TREE} —— 树种 j 含碳率，单位为吨碳每吨生物量（t C（t d.m.）⁻¹）；

i —— 1,2,3..., 碳层；

j —— 树种；

$\frac{44}{12}$ —— CO₂与C的分子量之比。

选择采用其中的一个方法来估算乔木经济树种生物量（ $B_{TREE,i,t}$ ）：

方法 I：生物量-树高胸径方程法

$$B_{TREE,i,j,t} = f(x_{1,i,j,t}, x_{2,i,j,t}, x_{3,i,j,t}, \dots) * (1 + R_{TREE,i,j}) * N_{TREE,i,j,t} * A_i \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$B_{TREE,i,j,t}$ —— t 时，第 i 层乔木经济树种 j 的生物量，单位为吨生物量（t d.m.）；

$f(x_{1,i,j,t}, x_{2,i,j,t}, x_{3,i,j,t}, \dots)$ —— 将 t 时第 i 碳层乔木经济树种 j 的测树因子（ x_1, x_2, x_3, \dots ）转化为地上生物量的回归方程。测树因子（ x_1, x_2, x_3, \dots ）可以是胸径、树高等，单位为吨生物量每株（t d.m·株⁻¹）；

$R_{TREE,i,j}$ —— 第 i 碳层乔木经济树种 j 的地下生物量/地上生物量之比；

- $N_{TREE,i,j,t}$ —— t 时, 第 i 碳层乔木经济树种 j 的株数; 单位为株每公顷 (株·ha⁻¹);
- A_i —— 边界范围内第 i 碳层的面积, 单位为公顷 (ha);
- i —— 1,2,3..., 碳层;
- t —— 1,2,3..., 项目开始以来的年数。

方法 II: 生物量扩展因子法

通过乔木经济树种的胸径 (DBH) 和 (或) 树高 (H), 查材积表或运用材积公式转化成乔木树干材积; 利用基本木材密度 (D) 和生物量扩展因子 (BEF) 将乔木经济树种树干材积转化为乔木地上生物量; 再利用地下生物量/地上生物量的比值 (R) 将地下生物量转化为乔木经济树种生物量:

$$B_{TREE,i,j,t} = V_{TREE,i,j,t} * D_{TREE,t} * BEF_{TREE,j} * (1 + R_{TREE,j}) * N_{TREE,i,j,t} * A_i \dots \dots \dots (3)$$

式中:

- $B_{TREE,i,j,t}$ —— t 时, 第 i 碳层乔木经济树种 j 的生物量, 单位为吨生物量 (t d.m.);
- $V_{TREE,i,j,t}$ —— t 时, 第 i 碳层乔木经济树种 j 的材积, 是通过胸径和 (或) 树高数据查材积表或将数据代入材积方程计算得来, 单位为立方米每株 (m³·株⁻¹);
- $D_{TREE,j}$ —— 第 i 碳层乔木经济树种 j 的基本木材密度 (带皮), 单位为吨生物量每立方米 (t d.m·m³);
- $BEF_{TREE,j}$ —— 第 i 碳层乔木经济树种 j 的生物量扩展因子, 用于将树干材积转化为乔木经济树种 j 地上生物量, 无量纲;
- $R_{TREE,j}$ —— 乔木经济树种 j 的地下生物量/地上生物量之比, 无量纲;
- $N_{TREE,i,j,t}$ —— t 时, 第 i 碳层乔木经济树种 j 的株数, 单位为株每公顷 (株·ha⁻¹);
- A_i —— 边界范围内第 i 碳层的面积, 单位为公顷 (ha);
- i —— 1,2,3..., 碳层;
- t —— 1,2,3..., 项目开始以来的年数。

5.4.2 乔木经济树种生物质碳储量变化量计算方法

假定一段时间内 (t_1 至 t_2) 乔木经济树种生物量的变化是线性的, 单位时间内乔木经济树种生物质碳储量的变化量 ($\Delta C_{TREE,t}$) 计算如下:

$$\Delta C_{TREE,t} = \sum_{i=1} \Delta C_{TREE,i,t} = \sum_{i=1} \left(\frac{C_{TREE,i,t_2} - C_{TREE,i,t_1}}{t_2 - t_1} \right) \dots \dots \dots (4)$$

式中:

- $\Delta C_{TREE,t}$ —— t 时, 边界范围内乔木经济树种生物质碳储量的单位时间变化量, 单位为吨二氧化碳当量每年 (t CO₂-e·a⁻¹);
- $\Delta C_{TREE,i,t}$ —— t 时, 第 i 碳层乔木经济树种生物质碳储量的变化量, 单位为吨二氧化碳当量每年 (t CO₂-e·a⁻¹);

- i _____ $1,2,3\dots$, 碳层;
 t _____ $1,2,3\dots$, 项目开始以来的年数。

5.5 灌木经济树种生物质碳储量及变化量的计算方法

5.5.1 灌木经济树种生物质碳储量计算方法

通过乔木经济树种生物量含碳率将灌木经济树种生物量转化为碳含量，再利用CO₂与C的分子量(44/12)比将碳含量(tC)转换为二氧化碳当量(tCO₂-e)，由此计算灌木经济树种生物质碳储量。

$$C_{SHRUB,t} = \frac{44}{12} * \sum_{j=1} (B_{SHRUBi,j,t} * CF_{SHRUB,j}) \dots\dots\dots (5)$$

式中:

- $C_{SHRUB,i,t}$ _____ t 时,第*i*碳层灌木经济树种生物量的碳储量,单位为吨二氧化碳当量每年(tCO₂-e·a⁻¹);
 $B_{SHRUB,i,t}$ _____ t 时,第*i*碳层灌木经济树种*j*的生物量,单位为吨生物量(t d.m.);
 CF_{SHRUB} _____ 灌木经济树种*j*生物量的含碳率,单位为吨碳每吨生物量(tC(t d.m.)⁻¹);
 i _____ $1,2,3\dots$, 碳层;
 j _____ 树种;
 $\frac{44}{12}$ _____ CO₂与C的分子量之比;
 t _____ $1,2,3\dots$, 项目开始以来的年数。

通过利用生物量-测树因子方程法来计量灌木经济树种生物量($B_{SHRUB,i,t}$),计量方法如下:

$$B_{SHRUB,i,j,t} = f(x_{1,i,j,t}, x_{2,i,j,t}, x_{3,i,j,t}, \dots) * (1 + R_{SHRUB,i,j}) * N_{SHRUB,i,j,t} * A_i \dots\dots\dots (6)$$

式中:

- $B_{SHRUB,i,j,t}$ _____ t 时,第*i*碳层灌木经济树种*j*的生物量,单位为吨生物量(t d.m.);
 $f(x_{1,i,j,t}, x_{2,i,j,t}, x_{3,i,j,t}, \dots)$ _____ 将*t*时第*i*碳层灌木经济树种*j*的测树因子(x_1, x_2, x_3, \dots)转化为地上生物量的回归方程。测树因子(x_1, x_2, x_3, \dots)可以是基径、株高等,单位为吨生物量每株(t d.m·株⁻¹);
 $R_{SHRUB,i,j}$ _____ 灌木经济树种*j*的地下生物量/地上生物量之比,单位无量纲;
 $N_{SHRUB,i,j,t}$ _____ t 时,第*i*碳层灌木经济树种*j*的株数,单位为株每公顷(株·ha⁻¹);
 A_i _____ 边界范围内第*i*碳层的面积,公顷(ha);
 i _____ $1,2,3\dots$, 碳层;
 t _____ $1,2,3\dots$, 项目开始以来的年数。

5.5.2 灌木经济树种生物质碳储量变化量计算方法

根据划分的碳层,计算各碳层的灌木经济树种生物质碳储量的变化量之和,假定一段时间内(t_1 至 t_2)灌木经济树种生物量的变化是线性的,单位时间内灌木经济树种生物质碳储量的变化量($\Delta C_{SHRUB,t}$)计算如下:

$$\Delta C_{SHRUB,t} = \sum_{i=1} \left(\frac{C_{SHRUB,i,t_2} - C_{SHRUB,i,t_1}}{t_2 - t_1} \right) \dots\dots\dots (7)$$

式中:

- $\Delta C_{SHRUB,t}$ _____ t 时, 灌木经济树种生物质碳储量的变化量, 单位为吨二氧化碳当量每年 ($tCO_2-e \cdot a^{-1}$);
- $C_{SHRUB,i,t}$ _____ t 时, 第 i 碳层灌木经济树种生物量的碳储量, 单位为吨二氧化碳当量每年 ($tCO_2-e \cdot a^{-1}$);
- i _____ 1,2,3..., 碳层;
- t _____ 1,2,3..., 项目开始以来的年数。

5.6 土壤有机质碳储量及变化量计算方法

5.6.1 土壤有机质碳储量计算方法

根据划分的碳层, 按照下述测量方法计算土壤有机碳储量, 为了测定土壤有机碳储量变化, 需要采用国家标准 (如土壤采样标准) 方法对土壤进行采样、处理和储存、测定和质量控制。

$$C_{SOC,t} = \sum_{i=1}^I P_{SOC,i,t} \times A_i \dots\dots\dots (8)$$

$$P_{SOC,i,t} = (\sum_{s=1}^S P_{SOC,i,s-1,t} + \sum_{s=1}^S P_{SOC,i,s-2,t}) / S \dots\dots\dots (9)$$

$$P_{SOC,i,s-1,t} = SOC_{i,s-1,t} \times BD_{i,s-1,t} \times Depth_1 \times (1 - FC_{i,s-1,t}) \times 100 \dots\dots\dots (10)$$

$$P_{SOC,i,s-2,t} = SOC_{i,s-2,t} \times BD_{i,s-2,t} \times Depth_2 \times (1 - FC_{i,s-2,t}) \times 100 \dots\dots\dots (11)$$

式中:

- $C_{SOC,t}$ _____ t 时, 边界范围内土壤碳库的总碳储量, 单位为吨碳 (tC);
- $P_{SOC,i,s-1,t}$ _____ t 时, 第 i 碳层样地 s 表层 0-20cm 土壤的土壤有机碳密度, 单位为吨碳每公顷 ($tC \cdot ha^{-1}$);
- $P_{SOC,i,s-2,t}$ _____ t 时, 第 i 碳层样地 s 表层 20-40cm 土壤的土壤有机碳密度, 单位为吨碳每公顷 ($tC \cdot ha^{-1}$);
- $SOC_{i,s-1,t}$ _____ t 时, 第 i 碳层样地 s 表层 0-20cm 土壤的平均有机碳含量, 单位为克碳每 1000 克土壤 ($gC/1000g$ 土壤);
- $SOC_{i,s-2,t}$ _____ t 时, 第 i 碳层样地 s 表层 20-40cm 土壤的平均有机碳含量, 单位为克碳每 1000 克土壤 ($gC/1000g$ 土壤);
- $BD_{i,s-1,t}$ _____ t 时, 第 i 碳层样地 s 表层 0-20cm 土壤的土壤容重, 单位为克每立方厘米 ($g \cdot cm^{-3}$);
- $BD_{i,s-2,t}$ _____ t 时, 第 i 碳层样地 s 表层 20-40cm 土壤的土壤容重, 单位为克每立方厘米 ($g \cdot cm^{-3}$);
- $Depth_1$ _____ 土壤深度 (0-20cm), 耕作层, 单位为厘米 (cm);
- $Depth_2$ _____ 表层土壤深度 (20-40cm), 心土层, 单位为厘米 (cm);
- $FC_{i,s-1,t}$ _____ t 时, 第 i 碳层样地 s 表层 0-20cm 土壤的直径大于 2mm 的砾石、根茎和其他枯木残余物所占的百分比, 单位为百分比 (%);
- $FC_{i,s-2,t}$ _____ t 时, 第 i 碳层样地 s 表层 20-40cm 土壤的直径大于 2mm 的砾石、根茎和其他枯木残余物所占的百分比, 单位为百分比 (%);
- i _____ 1,2,3..., 碳层;
- s _____ 代表监测样点;

- 100 _____ 单位转换系数；
- $P_{SOC,i,t}$ _____ t 时，第 i 碳层的土壤有机碳密度，单位为吨碳每公顷 ($tC\ ha^{-1}$)；
- S _____ 第 i 碳层监测样点总数；
- t _____ 1,2,3..., 项目开始以来的年数。

5.6.2 土壤有机质碳储量变化量计算方法

单位时间内土壤有机质碳储量的变化量 ($\Delta C_{SOC,t}$) 计算如下：

$$\Delta C_{SOC,t} = \frac{(C_{SOC,t} - \sum C_{SOC,i} \times A_i)}{T} \times \frac{44}{12} \dots\dots\dots (12)$$

式中：

- $\Delta C_{SOC,t}$ _____ t 时，边界范围内土壤有机碳储量的变化量，单位为吨二氧化碳当量每年 ($t\ CO_2-e \cdot a^{-1}$)；
- $C_{SOC,t}$ _____ t 时，边界范围内土壤碳库的总碳储量，单位为吨碳 (tC)；
- A_i _____ 第 i 碳层的总面积；
- $C_{SOC,i}$ _____ 上次碳计量时，第 i 碳层的土壤碳储量，单位为吨碳每公顷 ($tC\ ha^{-1}$)；
- T _____ 两次计量之间的时间间隔。

5.7 温室气体排放量计量

温室气体排放量由森林火灾、施肥和机械使用引起的温室气体排放三部分构成，按公式 (13) 计算。

$$GHG_{E,t} = GHG_{FF} + GHG_{N_2O,t} + GHG_{M,t} \dots\dots\dots (13)$$

式中：

- $GHG_{E,t}$ _____ 第 t 年时，温室气体排放的增加量，单位为吨二氧化碳当量每年 ($t\ CO_2-e \cdot a^{-1}$)；
- $GHG_{FF,t}$ _____ 第 t 年时，火灾引起林木和灌木生物质燃烧造成的温室气体排放的增加量，单位为吨二氧化碳当量每年 ($t\ CO_2-e \cdot a^{-1}$)；
- $GHG_{N_2O,t}$ _____ 第 t 年时，由于施肥引起的非 CO_2 温室气体排放的增加量，单位为吨二氧化碳当量 ($t\ CO_2-e \cdot a^{-1}$)；
- $GHG_{M,t}$ _____ 第 t 年时，使用机械导致化石燃料和电力损耗造成的 CO_2 排放量，单位为吨二氧化碳当量 ($t\ CO_2-e \cdot a^{-1}$)；
- t _____ 1,2,3..., 项目开始以来的年数。

5.7.1 施肥引起的温室气体排放量计量

假定施用肥料引起的 N_2O 排放全部发生在施用当年。采用以下公式计算：

$$GHG_{N_2O,t} = (F_{SN,P,t} + F_{ON,P,t}) \times EF_1 \times \frac{44}{28} \times GWP_{N_2O} \dots\dots\dots (14)$$

$$F_{SN,P,t} = \sum_{i=1}^I M_{SFi,P,t} \times NC_{SFi} \times (1 - Frac_{GASF}) \dots\dots\dots (15)$$

$$F_{ON,P,t} = \sum_{j=1}^I M_{OFj,P,t} \times NC_{OFj} \times (1 - Frac_{GASM}) \dots\dots\dots (16)$$

式中：

- $GHG_{N_2O,t}$ _____ 第 t 年时，活动边界内施肥造成的 N_2O 直接排放，单位为吨二氧化碳当量每年 ($t\ CO_2-e \cdot a^{-1}$)；

$F_{SN,P,t}$	—— 扣除以 NH_3 和 NO_x 形式挥发的 N 以外, 第 t 年合成氮肥施用量, t-N;
$F_{ON,P,t}$	—— 扣除以 NH_3 和 NO_x 形式挥发的 N 以外, 第 t 年有机氮肥施用量, t-N;
EF_1	—— 肥料的 N_2O 排放因子, t N_2O -N/施入的 t-N;
$GWP_{\text{N}_2\text{O}}$	—— N_2O 的增温潜势, 298;
$M_{SFi,P,t}$	—— 第 t 年时, 合成氮肥施用量, 单位为吨 (t);
$M_{OFj,P,t}$	—— 第 t 年时, 有机肥施用量, 单位为吨 (t);
NC_{SFi}	—— 合成氮肥类型 i 的含氮量, t-N/t
NC_{OFi}	—— 有机肥类型 i 的含氮量, t-N/t
$Frac_{GASF}$	—— 合成氮肥以 NH_3 和 NO_x 形式挥发的比例, 默认值为 0.1;
$Frac_{GASM}$	—— 有机肥以 NH_3 和 NO_x 形式挥发的比例, 默认值为 0.2;
i	—— 合成氮肥类型;
j	—— 有机肥类型。

5.7.2 机械使用引起的温室气体排放量计量

根据经济林栽培活动中机械设备使用情况, 根据机械设备的类型, 记录各种活动的耗电量、耗油种类和耗油量, 采用公式 (17) ~ (19) 计算机械使用引起的温室气体排放。

$$GHG_{M,t} = GHG_{FC,t} + GHG_{EL,t} \dots\dots\dots (17)$$

$$GHG_{FC,t} = \sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K FC_{k,l} \times EF_{CO_2,k} \times NCV_k \dots\dots\dots (18)$$

$$GHG_{EL,t} = EF_d \times EC_t \times 0.001 \dots\dots\dots (19)$$

式中:

$GHG_{M,t}$	—— 第 t 年, 使用机械产生的温室气体排放量, 单位为吨二氧化碳当量每年(t $\text{CO}_2\text{-e}\cdot\text{a}^{-1}$);
$GHG_{FC,t}$	—— 第 t 年, 使用机械产生的化石燃料燃烧排放量, 单位为吨二氧化碳当量每年(t $\text{CO}_2\text{-e}\cdot\text{a}^{-1}$);
$GHG_{EL,t}$	—— 第 t 年, 使用机械电力使用产生的温室气体排放量, 单位为吨二氧化碳当量每年(t $\text{CO}_2\text{-e}\cdot\text{a}^{-1}$);
$FC_{k,l}$	—— 使用机械类型 l 时消耗的燃料类型 k 的量, 重量或者体积;
$EF_{CO_2,k}$	—— 燃料类型 k 的排放因子, 单位为吨碳每消耗的燃料类型 k 的量 (t CO_2 /GJ);
NCV_k	—— 燃料类型 k 的净热值, GJ/重量或体积;
EF_d	—— 电力排放因子, kg $\text{CO}_2\cdot\text{kWh}^{-1}$
EC_t	—— 第 t 年, 机械使用的耗电量, kWh
0.001	—— 将 kg 转换成 t 的常数
k	—— 燃料类型;
K	—— 使用的燃料类型数量;
l	—— 机械类型;

L —— 机械类型数量。

5.7.3 森林火灾引起的温室气体排放量计量

森林火灾引起的温室气体排放量计算采用公式 (20)。

$$GHG_{FF,t} = 0.001 \times \sum_{i=1} [A_{BURN,i,t} \times b_{TREE,i,t_L} \times COMF_i \times (EF_{CH_4,i} \times GWP_{CH_4} + EF_{N_2O,i} \times GWP_{N_2O})] \dots\dots (20)$$

式中：

- $GHG_{FF,TREE,t}$ —— 第 t 年时, 活动边界内由于森林火灾引起林木地上生物质燃烧造成的非 CO_2 温室气体排放的增加量, 单位为吨二氧化碳当量每年 ($t CO_2\text{-e}\cdot a^{-1}$) ;
- $A_{BURN,i,t}$ —— 第 t 年时, 项目第 i 层发生燃烧的土地面积, 单位为公顷 (ha) ;
- b_{TREE,i,t_L} —— 火灾发生前, 项目最近一次核查时 (第 t_L 年) 第 i 层的林木地上生物量, 如果只是发生地表火, 即林木地上生物量未被燃烧, 则 $B_{TREE,i,t}$ 设定为 0, 单位为吨生物量每公顷 ($t d.m\cdot ha^{-1}$) ;
- b_{SHRUB,i,t_L} —— 火灾发生前, 项目最近一次核查时 (第 t_L 年) 第 i 层的灌木地上生物量, 如果只是发生地表火, 即林木地上生物量未被燃烧, 则 $B_{TREE,i,t}$ 设定为 0, 单位为吨生物量每公顷 ($t d.m\cdot ha^{-1}$) ;
- $COMF_i$ —— 项目第 i 层的燃烧指数 (针对每个植被类型), 单位无量纲 ;
- $EF_{CH_4,i}$ —— 项目第 i 层的 CH_4 排放指数, 单位为 $g CH_4\cdot(kg \text{ 燃烧的干物质 } d.m.)^{-1}$;
- $EF_{N_2O,i}$ —— 项目第 i 层的 N_2O 排放指数, 单位为 $g N_2O\cdot(kg \text{ 燃烧的干物质 } d.m.)^{-1}$;
- GWP_{CH_4} —— CH_4 的全球增温潜势, 用于将 CH_4 转换成 CO_2 当量, 缺省值为 25 ;
- GWP_{N_2O} —— N_2O 的全球增温潜势, 用于将 N_2O 转换成 CO_2 当量, 缺省值为 298 ;
- i —— 1,2,3..., 项目第 i 碳层, 根据第 t_L 年核查时的分层确定 ;
- t —— 1,2,3..., 自项目开始以来的年数 ;
- 0.001 —— 将 kg 转换成 t 的常数。

5.8 碳汇量计量

经济林栽培活动碳汇量计量按公式 (21) 计算。

$$\Delta C_t = \Delta C_{TREE,t} + \Delta C_{SHRUB,t} + \Delta C_{SOC,t} - GHG_{E,t} \dots\dots\dots (21)$$

式中：

- ΔC_t —— 第 t 年时, 活动边界内的碳汇量, 单位为吨二氧化碳当量每年 ($t CO_2\text{-e}\cdot a^{-1}$) ;
- $\Delta C_{TREE,t}$ —— 第 t 年时, 第 i 碳层乔木经济树种生物质碳储量的变化量, 单位为吨二氧化碳当量每年 ($t CO_2\text{-e}\cdot a^{-1}$) ;
- $\Delta C_{SHRUB,t}$ —— 第 t 年时, 灌木经济树种生物质碳储量的变化量, 单位为吨二氧化碳当量每年 ($t CO_2\text{-e}\cdot a^{-1}$) ;
- $\Delta C_{SOC,t}$ —— 第 t 年时, 边界范围内土壤有机碳储量的变化量, 单位为吨二氧化碳当量每年 ($t CO_2\text{-e}\cdot a^{-1}$) ;
- $GHG_{E,t}$ —— 第 t 年时, 温室气体排放的增加量, 单位为吨二氧化碳当量每年 ($t CO_2\text{-e}\cdot a^{-1}$) ;

t —— 1,2,3..., 自项目开始以来的年数。

6 监测方法

6.1 监测频率

监测频率为每3-10年一次，监测应在采伐收获前进行。

6.2 监测样地设置

6.2.1 样地数量

样地数量应满足以下要求：

- a) 样地数量根据分层和各层面积确定，具体参见 LY/T 3317—2022；
- b) 每个碳层的样地数量至少 3 个。

6.2.2 样地规格

样地规格应满足以下要求：

- a) 样地形状为圆形或矩形；
- b) 样地大小为 0.02hm²~0.06hm²。

6.2.3 样地设置

样地设置应满足以下要求：

- a) 在各碳层样地的空间分配采用系统布点的布设方案；
- b) 样地边缘应离地块边界至少 10m 以上；
- c) 样地的四个角采用 GPS 或罗盘仪引线定位，埋设地下标桩；
- d) 固定样地复位率需达 100%，检尺样木复位率≥98%。

6.2.4 样地调查

样地调查应满足以下要求：

- a) 调查样地内每株活立木和灌木的信息，记录胸径、林龄、基径、冠幅等信息。
- b) 每木调查具体方法参见 GB/T 26424。
- c) 通过实地采样，测定并记录样地内土壤容重、含碳量等信息。
- d) 土壤采样调查具体方法参见 GB/T 36197。
- e) 根据不同碳层内各样地计算结果，取平均值得到该碳层林木和土壤的基本信息，以此作为碳计量及后续监测的依据。

6.3 经济树种生物质碳储量测算方法

乔木、灌木经济树种生物质碳储量及土壤有机质碳储量测算方法参见附录D。

6.4 精度控制

本文件仅要求对乔木和灌木生物质碳储量的监测精度进行控制，要求在90%可靠性水平下，达到90%的精度。如果不确定性 $U > 10\%$ ，可增加监测样地数量或估算碳储量变化时予以扣减，扣减方法见公式（22）、公式（23）。

$$\Delta C_{TREE,t} = \Delta C_{TREE(t_1,t_2)} * (1 - DR) \dots \dots \dots (22)$$

$$\Delta C_{TREE,t} = \Delta C_{TREE(t_1,t_2)} * (1 + DR) \dots \dots \dots (23)$$

式中：

$\Delta C_{TREE(t_1,t_2)}$ —— 在前次监测时间 t_1 和后次监测时间 t_2 之间，项目边界内林木生物质碳储量的变化量，单位为吨二氧化碳当量（t CO₂-e）；

DR —— 扣减率，单位为百分比（%）；

t —— 1,2,3..., 自项目活动开始以来的年数。

扣减率 (DR) 见表 1。

表 1 扣减率

相对误差范围	扣减率 (DR)
小于或等于 10%	0%
大于 10%但小于或等于 20%	6%
大于 20%但小于或等于 30%	11%
大于 30%	须额外增加样地数量, 从而使测定结果达到精度要求

附录 A
(资料性)
参数参考值

本标准所需参数参考值见表A.1-A.8。

表 A.1 经济林乔木树种生物量含碳率 (CF)

数据/参数	C_{FTREE}			
单位	$t C (t d.m.)^{-1}$			
应用的公式编号	公式 (1)			
描述	各树种乔木生物量含碳率			
数据源	数据源优先选择次序为： (1) 实际测定的当地相关树种的参数 (需提供透明和可核实的资料来证明) (2) 现有的、当地的或相似生态条件下的基于树种或树种组的数据；			
	树种	全树 CF 值	树种	全树 CF 值
	苹果	0.465	南酸枣	0.456
	杜仲	0.454	碧桃	0.485
	侧柏	0.501	金银木	0.480
	怪柳	0.415	连翘	0.497
	胡桃楸	0.451	荚蒾	0.486
	橡胶树	0.459	野樱桃	0.461
	银杏 (北)	0.466	杜英	0.447
	银杏 (贵)	0.455	珍珠梅	0.498
	蒙古栎	0.481	忍冬	0.479
	注：数据来源见参考文献[1][2][3]。			
	(3) 林业行业标准《立木生物量模型及碳计量参数》中的数据；			
	树种	全树 CF 值	树种	全树 CF 值
	油松	0.5165	栎树	0.4802
	云杉	0.4900	桦树	0.4872
	冷杉	0.4962	木荷	0.4706
	柳杉	0.5137	枫香	0.4668
	数据来源：中华人民共和国林业行业标准《立木生物量模型与碳计量参数》			
	(4) 国家级的数据 (如国家温室气体清单)			
树种 (组)	全树 CF _j	树种 (组)	全树 CF _j	
椴树	0.439	其它杉类	0.510	
枫香	0.497	其它松类	0.511	
红松	0.511	桐类	0.470	
泡桐	0.470	栎类	0.500	
楝树	0.485	硬阔类	0.497	
紫杉	0.510	软阔类	0.485	
木麻黄	0.498	阔叶混	0.490	
油松	0.521	针阔混	0.498	
相思	0.485	针叶混	0.510	
数据来源：《中华人民共和国应对气候变化第二次国家信息通报》“土地利用变化与林业”温室气体清单。				
测定步骤 (如果有)	不适用			
说明				

表 A.2 乔木经济树种生物量方程

数据/参数	$f(x_{1,t}, x_{2,t}, x_{3,t}, \dots)$						
单位	t d.m						
应用的公式编号	公式(2)、公式(6)						
描述	乔木、灌木地上生物量与胸径、树高、冠幅、基径等测树因子的相关方程						
数据源	数据源优先选择次序为： (1) 现有的、当地的或相似生态条件下的基于树种或树种组的数据（详见附录 C）； (2) 林业行业标准《立木生物量模型与碳计量参数》						
	树种	适用范围	一元模型 $B=a \cdot DBH^b$		二元模型 $B=a \cdot DBH^b \cdot H^c$		
			a	b	a	b	c
	油松	总体	0.086112	2.46157	0.067765	2.18050	0.43610
	湿地松	总体	0.083889	2.44091	0.047440	2.10359	0.63108
	云南松	总体	0.094922	2.35667	0.070231	2.10392	0.41120
	冷杉	黑吉	0.090880	2.41762	0.069450	2.05753	0.50839
	冷杉	甘青和新疆天山林区	0.097510	2.42878	0.074510	2.05753	0.50839
	冷杉	川	0.084860	2.40985	0.064840	2.05753	0.50839
	冷杉	滇	0.080180	2.41049	0.061270	2.05753	0.50839
	冷杉	藏	0.081160	2.42411	0.062020	2.05753	0.50839
	柳杉	总体	0.154830	2.17100	0.093110	1.81174	0.60677
	栎树	黑吉辽与内蒙东部	0.091350	2.48954	0.061490	2.14380	0.58390
	栎树	豫晋冀陕青甘宁	0.093930	2.54608	0.075090	2.32637	0.33015
	栎树	川滇藏	0.115200	2.42424	0.078060	2.06321	0.57393
	栎树	鄂湘赣皖浙渝黔	0.213600	2.30416	0.131880	1.82892	0.71119
	桦树	黑吉和内蒙东部的白桦林	0.102980	2.44022	0.068070	2.10850	0.52019
	桦树	黑吉和内蒙东部的其他桦树	0.095880	2.42564	0.063380	2.10850	0.52019
	桦树	冀蒙晋陕青甘宁新	0.111460	2.42983	0.073670	2.10850	0.52019
	桦树	川滇	0.096150	2.41861	0.063560	2.10850	0.52019
	枫香	总体	0.106150	2.46650	0.089090	2.25564	0.30414
	(3) 省级基于树种的数据（如国家森林资源连续清查、林业规划设计调查或省级温室气体清单编制中的数据）；						
测定步骤（如果有）	不适用						
说明	所选用的方程须证明其适用性。可采用 CDM 造林再造林活动估算乔木生物量所采用的生物量方程的适用性论证工具（V1.0.0, EB65）来进行论证。						

表 A.3 乔木经济树种地下生物量/地上生物量比值 (R) 参数

数据/参数	R_{TREE}			
单位	无量纲			
应用的公式编号	公式 (2)、公式 (3)			
描述	乔木地下生物量/地上生物量之比			
数据源	数据源优先选择次序为： (1) 现有的、当地的或相似生态条件下的基于树种或树种组的数据； (2) 省级基于树种或树种组的数据（如省级温室气体清单编制中的数据）； (3) 从下表中选择缺省值：			
	树种（组）	R	树种（组）	R
	椴树	0.201	泡桐	0.247
	枫香	0.398	桦木	0.248
	红松	0.221	桐类	0.269
	冷杉	0.174	栎类	0.292
	楝树	0.289	其它杉类	0.277
	柳杉	0.267	其它松类	0.206
	云杉	0.224	软阔类	0.289
	木麻黄	0.213	硬阔类	0.261
	紫杉	0.277	阔叶混	0.262
	相思	0.207	针阔混	0.248
	油松	0.251	针叶混	0.267
	数据来源：《中国第二次国家信息通报》土地利用变化与林业温室气体清单。 (1) 若无数据则采用缺省值 0.236			
	测定步骤（如果有）	不适用		
说明				

表 A.4 木材基本密度 (D)

数据/参数	D_{TREE}																																																																										
单位	$t \cdot d \cdot m^{-3}$																																																																										
应用的公式编号	公式 (3)																																																																										
描述	乔木木材密度																																																																										
数据源	<p>数据源优先选择次序为：</p> <p>(1) 现有的、当地的或相似生态条件下的基于树种或树种组的数据；</p> <p>(2) 林业行业标准《立木生物量模型及碳计量参数》中的数据；</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>树种 (组)</th> <th>$D_{TREE,j}$</th> <th>树种 (组)</th> <th>$D_{TREE,j}$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>油松</td> <td>0.4243</td> <td>栎树</td> <td>0.5762</td> </tr> <tr> <td>云杉</td> <td>0.3730</td> <td>桦树</td> <td>0.4848</td> </tr> <tr> <td>冷杉</td> <td>0.3464</td> <td>木荷</td> <td>0.5563</td> </tr> <tr> <td>柳杉</td> <td>0.3493</td> <td>枫香</td> <td>0.5035</td> </tr> </tbody> </table> <p>(3) 从下表中选择缺省值：</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>树种 (组)</th> <th>$D_{TREE,j}$</th> <th>树种 (组)</th> <th>$D_{TREE,j}$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>椴树</td> <td>0.420</td> <td>泡桐</td> <td>0.239</td> </tr> <tr> <td>枫香</td> <td>0.598</td> <td>相思</td> <td>0.443</td> </tr> <tr> <td>红松</td> <td>0.396</td> <td>桐类</td> <td>0.239</td> </tr> <tr> <td>桦木</td> <td>0.541</td> <td>栎类</td> <td>0.676</td> </tr> <tr> <td>冷杉</td> <td>0.366</td> <td>其它杉类</td> <td>0.359</td> </tr> <tr> <td>楝树</td> <td>0.443</td> <td>其它松类</td> <td>0.424</td> </tr> <tr> <td>柳杉</td> <td>0.294</td> <td>硬阔类</td> <td>0.598</td> </tr> <tr> <td>木麻黄</td> <td>0.443</td> <td>软阔类</td> <td>0.443</td> </tr> <tr> <td>水杉</td> <td>0.278</td> <td>阔叶混</td> <td>0.482</td> </tr> <tr> <td>油松</td> <td>0.360</td> <td>针阔混</td> <td>0.486</td> </tr> <tr> <td>云杉</td> <td>0.342</td> <td>针叶混</td> <td>0.405</td> </tr> <tr> <td>紫杉</td> <td>0.359</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>数据来源：《中国第二次国家信息通报》土地利用变化与林业温室气体清单 (1) 若无数据则采用缺省值 0.462</p>			树种 (组)	$D_{TREE,j}$	树种 (组)	$D_{TREE,j}$	油松	0.4243	栎树	0.5762	云杉	0.3730	桦树	0.4848	冷杉	0.3464	木荷	0.5563	柳杉	0.3493	枫香	0.5035	树种 (组)	$D_{TREE,j}$	树种 (组)	$D_{TREE,j}$	椴树	0.420	泡桐	0.239	枫香	0.598	相思	0.443	红松	0.396	桐类	0.239	桦木	0.541	栎类	0.676	冷杉	0.366	其它杉类	0.359	楝树	0.443	其它松类	0.424	柳杉	0.294	硬阔类	0.598	木麻黄	0.443	软阔类	0.443	水杉	0.278	阔叶混	0.482	油松	0.360	针阔混	0.486	云杉	0.342	针叶混	0.405	紫杉	0.359		
树种 (组)	$D_{TREE,j}$	树种 (组)	$D_{TREE,j}$																																																																								
油松	0.4243	栎树	0.5762																																																																								
云杉	0.3730	桦树	0.4848																																																																								
冷杉	0.3464	木荷	0.5563																																																																								
柳杉	0.3493	枫香	0.5035																																																																								
树种 (组)	$D_{TREE,j}$	树种 (组)	$D_{TREE,j}$																																																																								
椴树	0.420	泡桐	0.239																																																																								
枫香	0.598	相思	0.443																																																																								
红松	0.396	桐类	0.239																																																																								
桦木	0.541	栎类	0.676																																																																								
冷杉	0.366	其它杉类	0.359																																																																								
楝树	0.443	其它松类	0.424																																																																								
柳杉	0.294	硬阔类	0.598																																																																								
木麻黄	0.443	软阔类	0.443																																																																								
水杉	0.278	阔叶混	0.482																																																																								
油松	0.360	针阔混	0.486																																																																								
云杉	0.342	针叶混	0.405																																																																								
紫杉	0.359																																																																										
测定步骤 (如果有)	不适用																																																																										
说明																																																																											

表 A.5 生物量扩展因子

数据/参数	BEF_{TREE}					
数据单位	无量纲					
应用的公式编号	公式 (3)					
描述	用于将树干生物量转换为地上生物量					
数据源	数据源优先顺序： (1) 实际测定的当地相关树种的参数（需提供透明和可核实的资料来证明）； (2) 现有的、公开发表的、当地的或相似生态条件下的数据； (3) 省级的数据（如省级温室气体清单）； (4) 从下表中选择缺省值：					
	优势树种 (组)	BEF	优势树种 (组)	BEF	优势树种 (组)	BEF
	椴树	1.4071	楝树	1.586	栎类	1.355
	枫香	1.765	柳杉	2.593	其它杉类	1.667
	红松	1.510	木麻黄	1.505	其它松类	1.631
	桦木	1.424	泡桐	1.833	硬阔类	1.674
	阔叶混	1.514	云杉	1.734	软阔类	1.586
	冷杉	1.316	相思	1.479	针阔混	1.656
	油松	1.589	油松	1.589	针叶混	1.587
	紫杉	1.667	桐类	1.926		
	数据来源：《中华人民共和国气候变化第二次国家信息通报》“土地利用变化与林业温室气体清单”（2013） (5) 若无数据则可使用缺省值 1.451					
测定步骤	采用国家森林资源调查使用的标准操作规程（SOPs）。如果没有，可采用公开出版的相关技术手册或 IPCC GPG LULUCF 2003 中说明的 SOPs 程序。					
说明	BEF 值通常适用于郁闭森林。当用于生长于开阔地带的单木时所选 BEF 值应增 30%（即乘以 1.3 倍）。					

表 A.6 灌木经济树种生物量含碳率

数据/参数	CF_{SHRUB}
数据单位	$t\ C\ (t\ d.m.)^{-1}$
应用的公式编号	公式 (5)
描述	灌木经济树种生物量中的含碳率，用于将灌木经济树种生物量转换为碳含量
数据源	数据源优先顺序： (a) 实施区当地的调查数据； (b) 相邻地区相似条件下的调查数据； (c) 省级或国家水平的适用于实施区的数据； (d) 默认值 0.47。
测定步骤	采用国家森林资源调查使用的标准操作规程 (SOPs)。如果没有，可采用公开出版的相关技术手册或 IPCC GPG LULUCF 2003 中说明的 SOPs 程序。
说明	

表 A.7 灌木经济树种地下生物量/地上生物量比值参数

数据/参数	R_{SHRUB}
数据单位	无量纲
应用的公式编号	公式 (6)
描述	灌木的地下生物量/地上生物量之比，用于将灌木地上生物量转换为全株生物量
数据源	数据源优先顺序： (a) 实施区当地的调查数据； (b) 相邻地区相似条件下的调查数据； (c) 省级或国家水平的适用于实施区的数据； (d) 默认值 0.40。
测定步骤	采用国家森林资源调查使用的标准操作规程 (SOPs)。如果没有，可采用公开出版的相关技术手册或 IPCC GPG LULUCF 2003 中说明的 SOPs 程序。
说明	

表 A.8 土壤有机碳密度

数据/参数	$C_{SOC,i}$
数据单位	$t\ C\ ha^{-1}$
应用的公式编号	公式 (8)
描述	第 i 碳层 30 厘米土壤表层的土壤有机碳密度
数据源	实验室检测
测定步骤	在每个抽样点采集 3 个样品并将样品送至有检验资质的实验室，以分析 $C_{SOC,i}$ 数值。在计量期及之后的 2 年内进行电子存档。
说明	

附 录 B
(规范性)
需要监测的数据和参数

表 B.1 调查测树因子

数据/参数	x_1, x_2, x_3, \dots
单位	以长度为单位 (如 cm)
应用的公式编号	公式 (2)、公式 (6)
描述	测树因子。乔木通常为胸径 (DBH) 和树高 (H)，灌木通常为基径、高、冠幅、灌径等。
数据源	野外测定
测定步骤	采用国家森林资源清查或林业规划设计调查使用的标准操作程序(SOP)。
QA/QC 程序	采用国家森林资源清查或林业规划设计调查使用的质量保证和质量控制 (QA/QC)程序。如果没有，可采用 IPCC GPG LULUCF 2003 中说明的 QA/QC 程序
说明	样地位置应用 GPS 或 Compass 记录且在图上标出。

表 B.2 碳层面积因子

数据/参数	A_i
单位	ha
应用的公式编号	公式 (2)、公式 (3)、公式 (6)、公式 (8)、公式 (12)
描述	第 i 碳层的面积
数据源	野外测定
测定步骤	采用国家森林资源清查或林业规划设计调查使用的标准操作程序(SOP)。
QA/QC 程序	采用国家森林资源清查或林业规划设计调查使用的质量保证和质量控制 (QA/QC)程序。如果没有，可采用 IPCC GPG LULUCF 2003 中说明的 QA/QC 程序
说明	用 A_i 表示

表 B.3 材积因子

数据/参数	$V_{TREE,i,t}$
单位	m^3
应用的公式编号	公式 (3)
描述	使用材积表或材积方程所得出的 t 时第 i 碳层的树干材积
数据源	野外测定如胸径 DBH、树高 H 等
测定步骤	采用国家森林资源清查或林业规划设计调查使用的标准操作程序(SOP)。
QA/QC 程序	采用国家森林资源清查或林业规划设计调查使用的质量保证和质量控制 (QA/QC)程序。如果没有，可采用 IPCC GPG LULUCF 2003 中说明的 QA/QC 程序
说明	采用国家森林资源清查或森林资源规划设计调查使用的质量保证和质量控制(QA/QC)程序。如果没有，可采用 IPCC GPG LULUCF 2003 中说明的 QA/QC 程序保证和质量控制 (QA/QC)程序。

表 B.4 土壤有机碳含量

数据/参数	$SOC_{i,s,t}$
单位	gC/1000g
应用的公式编号	公式 (10)、公式 (11)
描述	t 时, 第 i 碳层样地 s 表层 30cm 土壤的平均有机碳含量
数据源	实验室检测
测定步骤	在每个抽样点采集 3 个样品并将样品送至有检验资质的实验室, 以分析 $SOC_{i,s,t}$ 数值。在计量期及之后的 2 年内进行电子存档。
QA/QC 程序	专家或有经验的技术人员负责采集土壤样品并由有资质的实验室测量有机碳含量。
监测设备	总碳分析仪

表 B.5 土壤容重

数据/参数	$BD_{i,s,t}$
单位	$g\ cm^{-3}$
应用的公式编号	公式 (10)、公式 (11)
描述	t 时, 第 i 碳层样地 s 表层 30cm 土壤的土壤容重
数据源	实验室检测
测定步骤	在每个抽样点采集 3 个样品并将样品送至有检验资质的实验室, 以分析 $BD_{i,s,t}$ 数值。在计量期及之后的 2 年内进行电子存档。
QA/QC 程序	专家或有经验的技术人员负责采集土壤样品并由有资质的实验室测量土壤容重。
监测设备	环刀、烘箱和天平

表 B.6 残余物所占的百分比

数据/参数	第 i 碳层样地 s 表层 30cm 土壤的直径大于 2mm 的砾石、根茎和其他枯木残余物所占的百分比
单位	实验室检测
应用的公式编号	在每个抽样点采集 3 个样品并将样品送至有检验资质的实验室, 以分析 $FC_{i,s,t}$ 数值。在计量期及之后的 2 年内进行电子存档。
描述	专家或有经验的技术人员负责采集土壤样品并由有资质的实验室测量。
数据源	2mm 直径筛网
测定步骤	第 i 碳层样地 s 表层 30cm 土壤的直径大于 2mm 的砾石、根茎和其他枯木残余物所占的百分比
QA/QC 程序	实验室检测
监测设备	在每个抽样点采集 3 个样品并将样品送至有检验资质的实验室, 以分析 $FC_{i,s,t}$ 数值。在计量期及之后的 2 年内进行电子存档。
计算方法	用直径大于 2mm 的岩石、根茎和其他枯木残余物的重量除以总土壤重

附 录 C
(资料性)
经济林树种的生物量方程

表 C.1 经济林树种的生物量方程

乔木生物量模型											
树种	部位	方程形式 ($B=$ 乔木单株生物量, kg d.m.)	参数值			样本数	适用范围			建模地点	文献来源
			a	b	c		胸径 DBH (cm)	树高 H (m)	林龄 (年)		
凹叶厚朴	整株	$Y=a \cdot (D^2H)^b$	0.0380	1.0952		10	2.0~9.0	2.9~7.5	12	湖南	刘焯章和康文星, 1993c
	整株	$Y=a+b \cdot (D^2H)$	0.6870	0.0460							
	地上	$Y=a \cdot (D^2H)^b$	0.282	0.9682							
	地上	$Y=a \cdot D^b$	0.5465	1.4905							
	地下	$Y=a+b \cdot (D^2H)$	0.6230	0.0120							
	地下	$Y=a \cdot (D^2H)^b$	0.123	1.0257							
杜仲	整株	$\lg(Y)=a+b \cdot \lg(D^2H)$	-0.8114	0.8007		40	2.5~13.0	3.9~14.1	27	湖南	周政贤和谢双喜, 1994
	地下	$\lg(Y)=a+b \cdot \lg(D^2H)$	-1.1282	0.6420							
杜仲	整株	$Y=a \cdot (D^2H)^b$	0.7497	0.5411		10	2.0~9.0	2.9~7.5	12	湖南	刘焯章和康文星, 1993c
	地下	$Y=a \cdot (D^2H)^b$	0.1387	0.5802							
	地下	$\ln(Y)=a+b \cdot \ln(D^2H)$	-2.7333	0.8760							
杜仲	干材	$\lg(Y)=a+b \cdot \lg(D^2H)$	-1.3527	0.8979		17	1.0~9.3	1.5~9.2	3~10	四川	潘攀等, 2000
	树皮	$\lg(Y)=a+b \cdot \lg(D^2H)$	-2.2190	0.8252							
	树枝	$\lg(Y)=a+b \cdot \lg(D^2H)$	-2.1076	0.9216							
	树叶	$\lg(Y)=a+b \cdot \lg(D^2H)$	-1.7761	0.6050							
	地下	$\lg(Y)=a+b \cdot \lg(D^2H)$	-1.8241	0.8306							
柑橘	整株	$Y=a \cdot D_0^b$	0.0911	2.3781		23	3.3~23.3	--	4~18	上海	郭雪艳等, 2013
	整株	$Y=a+b \cdot (D^2H)$	0.8250	0.0200							
	地下	$Y=a \cdot D_0^b$	0.0235	2.2906							
	地下	$Y=a+b \cdot (D^2H)$	0.2020	0.0030							
桃树	整株	$Y=a \cdot D_0^b$	0.1824	2.0558		21	3.2~23.1	--	3~15	上海	郭雪艳等, 2013
	地下	$Y=a \cdot D_0^b$	0.0821	1.7652							
	地下	$Y=a \cdot D_{0.2}^b$	0.1590	0.9990							
木姜子	树干	$Y=a+b \cdot (D^2H)$	0.0253	0.9546		10	2.0~15.0	3.1~13.0	2~5	云南	冯志立等, 1999

	树枝	$Y=a \cdot (D^2H)^b$	0.0013	1.2487							
	树叶	$Y=a \cdot (D^2H)^b$	0.1179	0.0010							
	地下	$Y=a \cdot (D^2H)^b$	0.0089	0.9569							
木油桐	整株	$Y=a \cdot (D^2H)^b$	0.2479	0.7454		19	4.0~20.0	4.6~17.0	2~9	福建	洪滔等, 2012
	地下	$Y=a \cdot (D^2H)^b$	0.0366	0.7264							
油桐	整株	$Y=a \cdot D^b$	0.0202	2.9265		18	1.0~16.0	1.5~5.0	1~20	湖南	何方等, 1990
	地下	$Y=a \cdot D^b$	0.0052	2.6381							
红松	树干	$\lg(Y)=a+b \cdot \lg(D^2H)$	-1.4851	0.8993		25	6.4~8.7	4.8~6.4	21, 22	黑龙江	张治强, 1981
	树枝	$\lg(Y)=a+b \cdot \lg(D)$	-2.1247	2.8083							
	树叶	$\lg(Y)=a+b \cdot \lg(D)$	-2.1650	2.7780							
	地下	$\lg(Y)=a+b \cdot \lg(D^2H)$	-1.8130	0.8901							
红松	整株	$Y=a \cdot (D^2H)^b$	0.1478	0.7776		10	2.8~32.8	2.8~20.7	13~47	黑龙江	贾云和张放等, 1985
	地下	$Y=a \cdot (D^2H)^b$	0.0197	0.7891							
橡胶树	整株	$\ln(Y)=a+b \cdot \ln(D)$	-2.9086	2.4021		50	2.0~22.0	2.5~12.8	≤25	广东	周再知等, 1995
	地上	$\ln(Y)=a+b \cdot \ln(D)$	-2.1851	2.4463							
	地下	$\ln(Y)=a+b \cdot \ln(D)$	-2.9086	2.2174							
橡胶树	整株	$Y=a \cdot D^b$	0.1360	2.4370		30	4.0~38.0	6.0~20.5	7~47	云南	唐建维等, 2009; 庞家平, 2009
	整株	$Y=a \cdot (D^2H)^b$	0.0592	0.9324							
	地下	$Y=a \cdot D^b$	0.1080	1.9480							
	地下	$Y=a \cdot (D^2H)^b$	0.0563	0.7439							
苹果	整株	$Y=a \cdot (D_0^2H)^b$	0.048	0.999		30	1.9-27.1	--	3-25	陕西	吕俊林, 2019
厚朴	整株	$Y=a \cdot (D^2H)^b$	0.0387	0.9589		9	3.5-13.3	4.7-9.9	19	浙江	斯金平等, 1993
	地上	$Y=a \cdot (D^2H)^b$	0.0282	0.9682							
	地下	$Y=a \cdot (D^2H)^b$	0.0083	0.9790							
厚朴	地上	$Y=a \cdot D^b$	0.5465	1.4905		5	4.1-11.4	6.9-9.4	--	福建	张展华等, 1996
	地上	$Y=a \cdot (D^2H)^b$	0.1834	0.6687							
南酸枣	整株	$Y=a+b \cdot (D^2H)$	0.8250	0.0200		10	1.5-4.5	2.1-5.1	5	贵州	贺红早等, 2007
	地下	$Y=a+b \cdot (D^2H)$	0.2020	0.0030							
红豆树	树干	$Y=a \cdot (D^2H)^b \cdot \exp[c \cdot (D^2H)]$	0.0193	1.0345	-7.0E-05	10	6.0-21.6	6.8-16.8	23	福建	廖涵宗等, 1992
	树枝	$Y=a \cdot (D^2H)^b \cdot \exp[c \cdot (D^2H)]$	5.3E-04	1.3851	-1.0E-04						
	树叶	$Y=a \cdot (D^2H)^b \cdot \exp[c \cdot (D^2H)]$	2.1E-04	1.3229	-1.7E-04						
	地下	$Y=a \cdot (D^2H)^b \cdot \exp[c \cdot (D^2H)]$	0.0083	1.0546	-8.0E-05						
蒲桃属	树干	$Y=a \cdot (D^2H)^b$	0.0560	0.9284		12	2.5-19.5	4.5-15.7	5-22	云南	唐建维等, 1998
	树枝	$Y=a \cdot (D^2H)^b$	0.0257	0.8707							
	树叶	$Y=a \cdot (D^2H)^b$	0.0083	0.7953							

	地下	$Y=a \cdot (D^2H)^b$	0.0335	0.8126							
山桐子	地上	$Y=a \cdot D^b$	0.2678	1.8682	5	2.3-29.3	2.8-17.6	--	贵州	赵家梅等, 2012	
	地上	$Y=a \cdot (D^2H)^b$	0.1948	0.6927							
山鸡椒	整株	$Y=a \cdot D^b$	0.1669	2.1346	10	1.0-17.0	--	--	云南	萧自位等, 2012	
	地下	$Y=a \cdot D^b$	0.0359	2.0937							
四川大头茶	树干	$Y=a \cdot (D^2H)^b$	0.0372	0.9541	--	11.5-43.5	8.0-21.0	50	重庆	李旭光, 1988	
	树枝	$Y=a \cdot (D^2H)^b$	0.0052	0.9677							
	树叶	$Y=a \cdot (D^2H)^b$	2.3E-04	1.2309							
	地下	$Y=a \cdot (D^2H)^b$	0.0126	0.9241							
四川大头茶	树干	$Y=a \cdot (D^2H)^b$	0.0550	0.9083	--	6.0-21.5	8.0-21.0	30	重庆	李旭光, 1988	
	树枝	$Y=a \cdot (D^2H)^b$	0.0472	0.6748							
	树叶	$Y=a \cdot (D^2H)^b$	0.0269	0.6381							
	地下	$Y=a \cdot (D^2H)^b$	0.0216	0.8630							
紫果云杉	干材	$Y=a \cdot (D^2H)^b$	3.1660	0.4557	8	6.0-22.0	6.5-12.0	40-51	四川	江洪, 1986	
	树皮	$Y=a \cdot (D^2H)^b$	0.8657	0.4109							
	树枝	$Y=a \cdot (D^2H)^b$	12.4382	0.1928							
	树叶	$Y=a \cdot (D^2H)^b$	2.9259	0.3129							
	地下	$Y=a \cdot (D^2H)^b$	14.8482	0.1960							
香樟	整株	$Y=a \cdot D^b$	0.3090	2.1471	--	6.0-24.0	6.0-14.0	18	湖南	姚迎九等, 2003	
	整株	$Y=a \cdot (D^2H)^b$	0.1754	0.8199							
	地下	$Y=a \cdot D^b$	0.1575	1.7732							
	地下	$Y=a \cdot (D^2H)^b$	0.1847	0.6164							
香樟	整株	$Y=a \cdot D^b$	0.1039	2.5350	5	7.0-17.0	--	9	上海	王哲, 2012	
	地下	$Y=a \cdot D^b$	0.0335	2.4369							

附录 D
(资料性)
经济树种生物质碳储量测算方法

D.1 乔木经济树种生物质碳储量测算方法

D.1.1 计算样地内各树种的乔木经济树种生物量

采用“生物量方程法”（公式（3））计算样地内各树种的乔木经济树种生物量。将样地内各树种的乔木经济树种生物量累加，得到样地水平生物量。根据样地乔木经济树种生物量计算样地水平的乔木经济树种生物质碳储量、各碳层的平均单位面积乔木经济树种生物质碳储量。

D.1.2 计算t时边界范围的乔木经济树种生物质总碳储量

$$C_{TREE,t} = A * c_{TREE,t} \dots\dots\dots (D.1)$$

式中：

$C_{TREE,t}$ _____ t 时，边界范围内乔木经济树种生物质碳储量的估计值，单位为吨碳（t C）；

A _____ 边界范围内各碳层的面积总和，单位为公顷（ha）；

$c_{TREE,t}$ _____ t 时，边界范围内平均单位面积乔木经济树种生物质碳储量估计值，单位为吨碳每公顷（t C·ha⁻¹）；

t _____ 1,2,3..., 项目开始以来的年数。

D.1.3 计算边界范围内乔木经济树种生物质碳储量的变化量

$$dC_{TREE,(t_1,t_2)} = \frac{C_{TREE,t_2} - C_{TREE,t_1}}{T} \dots\dots\dots (D.2)$$

式中：

$dC_{TREE,(t_1,t_2)}$ _____ t_1 和 t_2 之间边界范围内乔木经济树种生物质碳储量的变化量，单位为吨碳每年（t C·a⁻¹）；

$C_{TREE,t}$ _____ t 时，边界范围内乔木经济树种生物质碳储量的估计值，单位为吨碳（t C）；

T _____ 两次连续监测的时间间隔，单位为年（a）；

t _____ 1,2,3..., 项目开始以来的年数。

D.2 灌木经济树种生物质碳储量测算方法

D.2.1 计算某一样地内灌木经济树种的单位面积生物量

在某一样地p内设置样方k（面积≥2m²），测定样方内灌木经济树种的地径、高、冠幅和枝数等，利用一元或多元生物量方程，计算样地p内灌木经济树种的单位面积生物量：

$$C_{SHRUB,i,p,t} = \frac{\sum_{k=1} [f_{SHRUB}(x_1, x_2, x_3 \dots) * N_{i,p,k,t} * CFS * (1 + RS)]}{\sum_{k=1} A_{SHRUB,i,p,k,t}} * \frac{1}{100} \dots\dots\dots (D.3)$$

式中：

$C_{SHRUB,i,p,t}$ _____ t 时边界范围内第 i 碳层样地 p 内的平均单位面积灌木经济树种碳储量，单位为吨碳每公顷（t C·ha⁻¹）；

$f_{SHRUB}(x_1, x_2, x_3 \dots)$ _____ 灌木经济树种地上生物量与灌木经济树种测树因子（ $x_1, x_2, x_3 \dots$ ）（如

基径、高、冠幅、灌径等)的单枝生物量方程,单位为克生物量每枝 ($\text{g d.m}\cdot\text{枝}^{-1}$);

$N_{i,p,k,t}$	_____	第 i 碳层样地 p 样方 k 内灌木经济树种的枝数;
CF_S	_____	灌木经济树种的生物量含碳率,单位为克碳每克生物量或吨碳每吨生物量 ($\text{gC}(\text{gd.m.})^{-1}$ 或 $\text{tC}(\text{td.m.})^{-1}$);
R_S	_____	灌木经济树种的地下生物量/地上生物量比值,无量纲;
$A_{SHRUB,i,p,k,t}$	_____	t 时第 i 碳层样地 p 内样方 k 的面积,单位为平方米 (m^2);
i	_____	1,2,3..., 碳层;
p	_____	1,2,3..., 第 i 碳层内的样地;
k	_____	1,2,3..., 样地 p 内的样方;
t	_____	1,2,3..., 监测时的时间;
$\frac{1}{100}$	_____	将 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 转换成 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ 的系数。

D. 2. 2 计算 t 时边界范围内的灌木经济树种总生物质碳储量

$$C_{SHRUB,t} = A * C_{SHRUB,i,p,t} \dots \dots \dots (D.4)$$

式中:

$C_{SHRUB,t}$	_____	t 时边界范围内乔木经济树种生物质碳储量的估计值,单位为吨碳 (tC);
A	_____	边界范围内各碳层的面积总和,单位为公顷 (ha);
$C_{SHRUB,i,p,t}$	_____	t 时边界范围内平均单位面积乔木经济树种生物质碳储量估计值,单位为吨碳每公顷 ($\text{tC}\cdot\text{ha}^{-1}$);
t	_____	1,2,3..., 监测时的时间。

D. 2. 3 计算边界范围内灌木经济树种生物质碳储量的变化量

$$dC_{SHRUB(t_1,t_2)} = \frac{C_{SHRUB,t_2} - C_{SHRUB,t_1}}{t} \dots \dots \dots (D.5)$$

式中:

$dC_{SHRUB(t_1,t_2)}$	_____	t_1 和 t_2 之间边界范围内乔木经济树种生物质碳储量的变化量,单位为吨碳每年 ($\text{tC}\cdot\text{a}^{-1}$);
$C_{SHRUB,t}$	_____	t 时边界范围内乔木经济树种生物质碳储量的估计值,单位为吨碳 (tC);
t	_____	1,2,3..., 监测时的时间。

D. 3 土壤有机质碳储量测算方法

根据监测计划,详细记录土壤容重、含碳量等信息,参考5.6的公式进行计算边界范围内的土壤有机碳储量的变化。

参 考 文 献

- [1]吕俊林.陕西省残塬沟壑区苹果经济林生物量及碳吸存研究[D].内蒙古农业大学,2019.
- [2]田勇燕,秦飞,言华,郭伟红,关庆伟.我国常见木本植物的含碳率[J].安徽农业科学,2011,39(26):16166-16169.
- [3]白保勋,焦书道,陈东海.河南中北部38个常见树种的生物量与固碳特征分析[J].西部林业科学,2017,46(01):79-84.
- [4]周政贤,谢双喜.杜仲人工林生物量及生产力研究[J].林业科学研究,1994(6):646-651.
- [5]潘攀,李荣伟等.杜仲人工林生物量和生产力研究[J].长江流域资源与环境,2000(1):71-77.
- [6]郭雪艳,蔡婷等.上海主要经果林生态系统碳储量及其分布格局[J].生态学杂志,2013(11):2881-2885.
- [7]冯志立,唐建维,郑征,宋启示,曹敏,张建侯,解继武.西双版纳热带森林次生演替初期山黄麻先锋群落生物量动态[J].生态学杂志,1999(05):1-6.
- [8]洪滔,吴承祯等.千年桐人工林乔木层的生物量特征[J].生态学杂志,2012(6):648-654.
- [9]何方,王义强等.油桐林生物量和养分循环的研究[J].经济林研究,1990(2):6-20.
- [10]张治强.红松人工林现存量测定的研究[J].东北林学院学报,1981(2):6-20.
- [11]贾云,张放.辽宁草河口林区红松人工纯林生物产量的调查研究[J].辽宁林业科技,1985(5):18-23.
- [12]周再知,郑海水,尹光天,杨曾奖,陈康泰.橡胶树生物量估测的数学模型[J].林业科学研究,1995(6):624-629.
- [13]唐建维,庞家平,陈明勇,郭贤明,曾荣.西双版纳橡胶林的生物量及其模型[J].生态学杂志,2009,28(10):1942-1948.
- [14]庞家平.西双版纳橡胶林的碳储量及其分配格局[D].中国科学院大学,2009.
- [15]吕俊林.陕西省残塬沟壑区苹果经济林生物量及碳吸存研究[D].内蒙古农业大学,2019.
- [16]斯金平,姚荣明,陈德标,吴长辉.厚朴人工林生物量的研究[J].浙江林学院学报,1993(02):162-168.
- [17]张展华,李勇,谢汝根.厚朴、杉木人工混交林生长过程和生物量的调查研究初报[J].福建林业科技,1996(03):28-31.
- [18]贺红早,黄丽华,段旭,贺瑞坤.贵阳二环林带主要树种生物量研究[J].贵州科学,2007(03):33-39.
- [19]廖涵宗,邸道生,张春能.红豆树人工林生态系统生产力的研究[J].林业科技通讯,1992(10):5-9.
- [20]唐建维,张建侯,宋启示,曹敏,冯志立,党承林,吴兆录.西双版纳热带次生林生物量的初步研究[J].植物生态学报,1998(06):10-19.
- [21]赵家梅,吴志文,谢双喜.贵州野生山桐子个体生长及生物量特征研究[J].贵州林业科技,2012,40(04):7-13.
- [22]萧自位,王丽娟,毛加梅,朱兴正,王小李,郑丽,唐建维.西双版纳不同林茶复合生态系统碳储量[J].生态学杂志,2012,31(07):1617-1625.DOI:10.13292/j.1000-4890.2012.0277.
- [23]李旭光.川南野生资源植物的开发利用[J].资源开发与保护,1988(02):49-50.
- [24]江洪.紫果云杉天然中龄林分生物量和生产力的研究[J].植物生态学与地植物学丛刊,1986(02):146-152.
- [25]姚迎九,康文星,田大伦.18年生樟树人工林生物量的结构与分布[J].中南林学院学报,2003(01):1-5.
- [26]王哲,韩玉洁,康宏樟,黄丹,薛春燕,殷杉,刘春江.黄浦江上游主要树种水源涵养林生态系统碳储量[J].生态学杂志,2012,31(08):1930-1935.