

ICS 65.020.01
CCS Z 06

DB15

内 蒙 古 自 治 区 地 方 标 准

DB15/T 3768—2024

草原区矿山生态修复工程碳汇监测与核算
技术规程

Code of practice for carbon sink monitoring and accounting of
grassland mine ecological restoration projects

2024-12-18 发布

2025-01-18 实施

内蒙古自治区市场监督管理局 发 布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 项目边界判别与修复单元划分	2
5 基线情景与项目情景确定	2
5.1 基线情景	2
5.2 项目情景	2
6 监测内容与方法	3
6.1 监测内容	3
6.2 监测时间与频次	3
6.3 监测方法	3
6.4 样方布设	3
7 植被取样	4
7.1 草本	4
7.2 灌木	4
7.3 乔木	4
7.4 枯落物	4
8 土壤取样	4
8.1 采样深度	4
8.2 土壤容重	4
9 样品测定分析	5
9.1 样品制备	5
9.2 碳含量测定	5
10 碳储量核算	5
10.1 碳密度计算	5
10.2 碳储量核算	6
10.3 矿山生态修复工程碳汇量核算	6
附录 A (资料性) 草原矿区生态修复适用乔木、灌木生物量模型	7
参考文献	11

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。

本文件由内蒙古自治区林业和草原局提出并归口。

本文件起草单位：蒙草生态环境（集团）股份有限公司、内蒙古农业大学、中国科学院植物研究所、内蒙古自治区地质调查研究院、内蒙古草业技术创新中心有限公司、国能准能集团有限责任公司、内蒙古蒙草碳汇科技有限公司。

本文件主要起草人：王君芳、王召明、韩国栋、乔文光、白永飞、邢旗、王明君、王瑜、王扬、王忠武、李治国、高翠萍、武倩、王媛媛、于玲玲、付强、李若玮、陈壮玲、王瑞峰、闫志勇、田磊、杨智博、周颖、巩青。

草原区矿山生态修复工程碳汇监测与核算技术规程

1 范围

本文件规定了草原区矿山生态修复工程碳汇监测与核算的术语和定义、项目边界判别与修复单元划分、基线情景与项目情景确定、监测内容与方法、植被取样、土壤取样、样品测定分析、碳储量核算等。

本文件适用于草原区矿山生态修复工程碳汇监测与核算。矿山生态修复工程范围包括排土场、矸石场、尾矿库、地面塌陷区等。

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 42490 土壤质量 土壤与生物样品中有机碳含量与碳同位素比值、全氮含量与氮同位素比值的测定 稳定同位素比值质谱法

CCER—14—001—V01 温室气体自愿减排项目方法学 造林碳汇

LY/T 2259—2014 立木生物量建模样本采集技术规程

NY/T 1121.4 土壤检测 第4部分：土壤容重的测定

TD/T 1092 矿山生态修复工程验收规范

DB15/T 3683 草地碳汇计量与监测术语

3 术语和定义

TD/T 1092、DB15/T 3683界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

矿山生态修复工程 mine ecological restoration project

在矿产资源开采活动造成破坏的区域及影响区，依靠自然力量或通过人工干预措施干预，对矿山地质环境破坏、土地损毁和植被破坏等问题进行系统修复与综合治理，使矿山地质环境达到稳定、损毁土地得到复垦利用、生态系统功能得到恢复和改善的过程及活动。

[来源：TD/T 1092—2024，3.1]

3.2

矿区土地生态修复单元 land ecological restoration unit in mining area

依据矿区土地利用的地域分异规律、土地用途、土地利用方式等因素，将一个矿区的土地利用情况划分为若干不同的土地利用类别，并开展了相应的生态修复活动。

3. 3

基线情景 baseline scenario

在矿山生态修复工程实施前，项目区地形整理结束后，植被建植前的状态。

[来源：DB15/T 3683—2024，3.2.3.12，有修改]

3. 4

项目情景 project scenario

在矿山生态修复工程实施后，项目边界内发生的生态修复活动和管理情景。

[来源：DB15/T 3683—2024，3.2.3.10，有修改]

3. 5

碳储量 carbon storage

生态系统中各碳库碳元素的储备量，常用单位为t C。

[来源：DB15/T 3683—2024，3.1.4，有修改]

3. 6

库差法 stock difference approach

用来评估草地生态系统碳储量变化的方法，通过计算两个时间点之间碳库的储量变化来估算碳的净吸收或释放量。

[来源：DB15/T 3683—2024，3.2.3.7]

4 项目边界判别与修复单元划分

根据《矿区生态修复方案》结合现场调查和影像判别，对矿区土地生态修复单元进行划分按照CCER-14-001-V01规定执行，项目边界可采用下述方法确定：

- a) 根据矿山开采单元或《矿区生态修复方案》确定分类；
- b) 利用北斗卫星导航系统（BDS）、全球定位系统（GPS）等卫星定位系统，直接测定项目地块边界的拐点坐标；
- c) 利用地理空间数据（如卫星遥感影像、航拍影像等）、造林作业设计、2000国家大地坐标系，在地理信息系统（GIS）辅助下直接读取项目地块的边界坐标。

5 基线情景与项目情景确定

5. 1 基线情景

将矿山生态修复工程地形整理结束后，植被建植前确定为基线情景。对于移栽苗木建植的方式，需把移栽苗木的生物量作为植物碳储量的基线。

5. 2 项目情景

将矿山生态修复工程实施后，项目边界内发生的所有生态修复活动和养护管理过程确定为项目情景。

6 监测内容与方法

6.1 监测内容

矿山生态修复工程实施前、实施后植被碳储量和土壤碳储量：

——植被碳储量：植被地上生物量、枯落物生物量和地下生物量，以及相应的有机碳含量；

——土壤碳储量：不同深度土层的土壤容重、土壤砾石含量、有机碳含量。

6.2 监测时间与频次

在矿山生态修复工程实施前、实施后各进行一次监测。如需长期评估矿山生态修复工程的碳汇功能，建议每隔3~5年进行一次碳储量监测。应选在生物量高峰时期，宜在7~9月。

6.3 监测方法

采用样方法进行监测。

6.4 样方布设

6.4.1 布设原则

样方布设应反映生态修复项目区地形、土壤和植被等环境特征，需要遵循以下原则：

——系统性：样方布设应涵盖整个矿区修复单元，包括排土场、矸石场、尾矿库、地面塌陷区等；

——一致性：应选择植物生长均一的区域布设样方；

——异质性：应按照平台、边坡，阳坡、阴坡分别布设样方；

——长期性：应设置固定监测样地，以保证监测工作的长期性。

6.4.2 布设数量

依据矿山生态修复工程单元布设固定样方，样方数量设置要求见表1。

表1 样方布设数量要求

生态修复单元范围		位置选择	布设点位	灌木和草本样方数量	乔木样方数量
排土场	边坡	1、顶平台；2、在排土场、	沿已选择台阶不同方位坡面(阳坡、阴坡)中心等高线的两端和中间布设	不同方位坡面设置 灌木样方≥3个，草本样方≥3个	
	平台	矸石场、尾矿库的中部，选择植被生长均匀的一个台阶。	1、顶平台的两端和中间布设 2、在已选择台阶的平台两端和中间布设	顶平台，不同方位平台设置 灌木样方≥3个，草本样方≥3个	乔木样方≥3个
矸石场	边坡		沿已选择台阶不同方位坡面(阳坡、阴坡)中心等高线的两端和中间布设	不同方位坡面设置 灌木样方≥3个，草本样方≥3个	
	平台		1、顶平台的两端和中间布设 2、在已选择台阶的平台两端和中间布设	顶平台，不同方位平台设置 灌木样方≥3个，草本样方≥3个	乔木样方≥3个
尾矿库	边坡		沿已选择台阶不同方位坡面(阳坡、阴坡)中心等高线的两端和中间布设	不同方位坡面设置 灌木样方≥3个，草本样方≥3个	
	平台		1、顶平台的两端和中间布设 2、在已选择台阶的平台两端和中间布设	顶平台，不同方位平台设置 灌木样方≥3个，草本样方≥3个	乔木样方≥3个
地面塌陷区			塌陷治理区内	灌木样方≥3个，草本样方≥3个	乔木样方≥3个

6.4.3 样方面积

草本样方 $1\text{ m}\times 1\text{ m}$, 灌木样方 $3\text{ m}\times 3\text{ m}$ 或 $5\text{ m}\times 5\text{ m}$, 乔木样方 $20\text{ m}\times 20\text{ m}$ 。

7 植被取样

7.1 草本

植被地上生物量: 齐地面收割地面以上的所有绿色植物部分。

植被地下生物量: 在每个草本样方内用 7 cm 内径的根钻, 钻取 $3\sim 5$ 钻同层混合; 在根系量较少的草地或下层土壤, 适量增加钻数。按一定距离逐层取样, 如: $0\text{ cm}\sim 10\text{ cm}$ 、 $10\text{ cm}\sim 20\text{ cm}$ 、 $20\text{ cm}\sim 30\text{ cm}$ 、 $30\text{ cm}\sim 50\text{ cm}$ 、 $50\text{ cm}\sim 70\text{ cm}$ 、 $70\text{ cm}\sim 100\text{ cm}$ 。土层不足 100 cm 时, 根据土层实际深度确定采样层次。无法采用根钻取样的, 可通过挖取一定体积土柱的方法进行逐层切块取样。

7.2 灌木

通过构建灌木林单株全株生物量、地上(或地上部各器官)或地下生物量与灌木测树因子(如基径、灌高、冠幅等)的相关方程, 再结合单位面积灌木株数进行计算。在选择生物量方程时, 优先选择全株生物量方程。见附录A中表A.1、表A.2。

实测法: 测定样方内的每丛(株)灌木地径(D)、冠幅(L)、丛(株)高(H), 并计算相应的平均值; 根据平均值, 选出 $3\sim 5$ 株标准丛(株), 采用收割法分别测定丛(株)干、枝、叶及根的鲜重。

7.3 乔木

对样地内所有活立木进行每木检尺, 记录胸径(DBH)、树高(H)等指标, 优先选用经检验合格的当地数学模型和参数, 按照CCER-14-001-V014, 见附录A中A.3~A.5; 缺乏适用的生物量方程, 可采用实测法测算林木生物量。

实测法: 计算平均胸径和平均高, 并根据平均胸径和平均树高选取标准木 $1\sim 3$ 株, 伐倒后分别称取各组分干、枝、根等的鲜重。采集标准木各组分新鲜样品 $100\text{ g}\sim 500\text{ g}$, 各组分3个重复, 称其鲜重。按照LY/T 2259-2014中的6相关要求执行。

7.4 枯落物

乔木样方: 在样方四角和中心点设置5个样方, 样方面积应 $\geq 2\text{ m}\times 2\text{ m}$, 收集立枯物; 在5个样方内部再分别设置5个 $1\text{ m}\times 1\text{ m}$ 样方, 收集凋落物。

灌木样方: 在样方四个角和中心点设置5个 $1\text{ m}\times 1\text{ m}$ 样方, 收集样方内所有的凋落物和立枯物。

草本样方: 收集样方内所有的凋落物和立枯物。

8 土壤取样

8.1 采样深度

土壤取样点在植被调查样方内, 采样深度的分层方案同本文件7.1, 根据覆土深度确定, 超过 1 m 取至 1 m 。

8.2 土壤容重

8.2.1 采用环刀法进行土壤容重样品的分层取样, 每层 $3\sim 5$ 个重复。取样方法按NY/T 1121.4执行。

计算见公式(1)。

$$BD = \frac{W_1 - W_2}{V_1 - V_2} \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

式中：

BD——土壤 (≤ 2 mm 细土部分) 容重, 单位为克每立方厘米 (g/cm^3) ;

W_i ——环刀内土块烘干重，单位为克(g)；

W_2 ——环刀内土块中 $>2\text{ mm}$ 砾石重，单位为克(g)；

V_l ——环刀容积 (cm^3)，单位为立方厘米 (cm^3)；

V_2 —环刀内土块中 $>2\text{ mm}$ 石砾的体积, 单位为立方厘米 (cm^3)。

针对面积较小的区域，为减小剖面挖掘对取样地的破坏，可以采用容重钻进行取样。

9 样品测定分析

9.1 样品制备

9.1.1 植物样品

草本和灌木: 将植物地上生物量样品和枯落物样品带回实验室, 将根系样品带回室内漂洗, 去除非根系物质, 65 °C烘干(一般为24 h~48 h)至恒重后称重。

乔木：具体按照LY/T 2259-2014中的6相关要求执行。

9.1.2 土壤样品

室内阴干，去掉粗根和砂石，颗粒较大土粒碾碎后再过筛。

用于土壤碳含量测定的样品，须采用静电吸附法去除土壤中的毛细根，减少测定误差。

9.2 碳含量测定

碳含量测定与分析按照GB/T 42490中的8和9规定执行，或采用重铬酸钾-硫酸溶液氧化法。

主要乔木林树种的生物量含碳率见附录A.6。

10 碳储量核算

10.1 碳密度计算

矿山生态系统碳密度包括植被碳密度和土壤有机碳密度计算见公式(2) (3) (4)。

$$CD = CD_{veg} + SOCD \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

式中：

CD ——矿山生态系统碳密度，单位为吨碳每公顷 ($t\text{ C}/\text{hm}^2$)；

CD_{veg} —植被碳密度, 单位为吨碳每公顷 ($t\text{ C}/\text{hm}^2$) ;

SOC_D —土壤有机碳密度, 单位为吨碳每公顷 ($t\text{ C}/\text{hm}^2$)。

$$CD_{veg} = Bio_{AB} \times C_{vegAB} + Bio_{LB} \times C_{vegLB} + \sum_{i=1}^d Bio_{BRI_i} \times C_{vegBR_i} \quad \dots \dots \dots \quad (3)$$

式中.

CD_{veg} ——植被碳密度，单位为吨碳每公顷 ($t \text{ C}/\text{hm}^2$)；

Bio_{air} —植被地上生物量, 单位为吨每公顷 (t/hm^2) ;

C_{vegAB} ——植被地上生物量的有机碳含量（%）；
 Bi_{OLB} ——枯落物生物量，单位为吨每公顷（t/hm²）；
 C_{vegLB} ——枯落物生物量的有机碳含量（%）；
 Bi_{OLBj} —— j 层深度的植被地下生物量，单位为吨每公顷（t/hm²）；
 C_{vegBB} ——植被地下生物量的有机碳含量（%）；
 j ——植被地下生物量分层数量。

$$SOC_D = \sum_{j=1}^d [T_j \times BD_j \times SOC_j \times (1 - C_j)] \quad \dots \dots \dots (4)$$

SOC_D ——土壤有机碳密度，单位为吨碳每公顷（t C/hm²）；
 T_j —— j 层土体的深度，单位为厘米（cm）；
 BD_j —— j 层土体的土壤容重，单位为克每立方厘米(g/cm³)；
 SOC_j —— j 层土体的土壤有机碳含量（%）；
 C_j —— j 层土体的直径大于2mm砾石含量所占体积百分比（%）；
 j ——土体分层数量。

10.2 碳储量核算

用监测样地的生态系统碳密度乘以其代表的相应生态修复单元的面积，累加后获得监测区域的碳储量计算见公式（5）。

$$CS = \sum_{i=1}^n CD_i \times Area_i \quad \dots \dots \dots (5)$$

式中：

CS ——矿山生态系统总碳储量，单位为吨碳（t C）；
 CD_i ——第*i*个生态修复单元的生态系统碳密度，单位为吨碳每公顷（t C/hm²）；
 $Area_i$ ——第*i*个生态修复单元的面积，单位为公顷（hm²）；
 i ——生态修复单元数量。

10.3 矿山生态修复工程碳汇量核算

10.3.1 基线情景碳储量

修复前植被和土壤有机碳储量之和。

10.3.2 项目情景碳储量

修复后植被和土壤有机碳储量之和。

10.3.3 矿山生态修复工程碳汇量核算

矿山生态修复工程碳汇量等于项目情景碳储量与基线情景碳储量的差值。采用库差法计算见公式（6）。

$$\Delta CS = CS_{PROJ} - CS_{BSL} \quad \dots \dots \dots (6)$$

式中：

ΔCS ——矿山生态修复工程修复后第*t*年总碳储量较修复前总碳储量的变化量，单位为吨碳（t C）；

CS_{PROJ} ——项目情景碳储量，矿山生态修复工程修复后第*t*年总碳储量，单位为吨碳（t C）；

CS_{BSL} ——基线情景碳储量，矿山生态修复工程修复前总碳储量，单位为吨碳（t C）；

附录 A
(资料性)
草原矿区生态修复适用乔木、灌木生物量模型

A.1 草原矿区生态修复适用乔木、灌木生物量模型

主要灌木林单株生物量模型（基于调查的混合物种建模）见表A.1。

表A.1 主要灌木林单株生物量模型（基于调查的混合物种建模）

植被分区	枝干形态	器官	自变量	模型形式	模型系数			R^2
					a	b	λ	
温带草原区域	类型 b	地上	A_c	$M = a + b \cdot A_c$	0.0249	0.5094		0.6301
		地下	M_a	$M = a \cdot M_a^b \cdot \lambda$	0.7294	0.9674	1.3231	
		整株	A_c	$M = a + b \cdot A_c$	-0.0214	1.3520		0.5550
温带荒漠区域	类型 b	地上	A_c	$M = a + b \cdot A_c$	0.1480	1.1480		0.5435
		地下	A_c	$M = a + b \cdot A_c$	0.0855	0.4036		0.5621
		整株	A_c	$M = a + b \cdot A_c$	0.2306	1.5633		0.6258

注1：类型 b 为分枝不明确、枝干成簇成团的灌木。

注2： M_a 为单株地上生物量，单位为千克每株 ($kg \cdot stem^{-1}$)； M 为对应器官的生物量，单位为千克每株 ($kg \cdot stem^{-1}$)； A_c 为冠幅投影面积，单位为平方米 (m^2)； D 为基径，为地面高度 5 cm 处的树干直径，单位为厘米 (cm)； H 为植株高度，单位为米 (m)； D^2H 为基径平方与株高的乘积； a 、 b 为模型系数， λ 为幂函数模型中由对数单位 ($\ln M$) 转换为测量单位 (M) 时的标准误修正因子； R^2 表示调整后的决定系数 ($adj-R^2$)。

A.2 主要灌木生物量方程

主要灌木生物量方程见表A.2。

表A.2 主要灌木林单株生物量模型

物种	函数形式 (全株)	变量	参数a	参数b	参数c	R^2	P
霸王	$y=ax^b$	V	1.00	1861.57		0.85	<0.001
白刺	$y=ax+b$	V	765.74	278.26		0.93	<0.001
长梗扁桃	$y=ax_1+bx_2+c$	$x_1=H, x_2=C$	879.38	3702.84	174.38	0.72	<0.001
矮脚锦鸡儿	$y=ax+b$	V	3648.38	8.05		0.93	<0.001
红砂	$y=ax_1+bx_2+c$	$x_1=H, x_2=C$	116.15	945.86	10.52	0.64	<0.001
黄刺玫	$y=ax^b$	V	0.87	976.95		0.87	<0.001
荆条	$y=ax^b$	C	1.10	615.53		0.85	<0.001
卷叶锦鸡儿	$y=ax_1+bx_2+c$	$x_1=H, x_2=C$	4229.47	570.12	283.70	0.85	<0.001
耧斗菜叶绣线菊	$y=ax_1+bx_2+c$	$x_1=H, x_2=C$	702.20	288.20	264.48	0.94	<0.001
裸果木	$y=ax^b$	C	1.06	681.60		0.6	<0.001
蒙古扁桃	$y=ax^b$	V	1.08	1424.77		0.88	<0.001
蒙古绣线菊	$y=ax^b$	C	1.44	1532.93		0.82	<0.001

表A.2 主要灌木林单株生物量模型（续）

物种	函数形式（全株）	变量	参数a	参数b	参数c	R ²	P
绵刺	y=ax+b	V	1612.82	14.92		0.72	<0.001
膜果麻黄	y=ax ₁ +bx ₂ +C	x ₁ =H, x ₂ =C	99.04	1721.51	7.79	0.89	<0.001
柠条锦鸡儿	y=ax ^b	V	0.90	1069.59		0.79	<0.001
泡泡刺	y=ax+b	V	1061.37	41.72		0.65	<0.001
三裂绣线菊	y=ax+b	V	2117.37	11.22		0.88	<0.001
沙冬青	y=ax ^b	C	1.04	1130.10		0.92	<0.001
北沙柳	y=ax ^b	V	0.72	373.16		0.67	<0.001
四合木	y=ax ^b	C	1.11	874.58		0.79	<0.001
梭梭	y=ax ^b	C	1.35	3350.16		0.87	<0.001
土庄绣线菊	y=ax ^b	V	0.84	1542.80		0.73	<0.001
山杏	y=ax+b	V	1102.57	5.99		0.95	<0.001
狭叶锦鸡儿	Y=ax ^b	C	0.90	279.25		0.41	<0.001
小叶锦鸡儿	y=ax+b	V	2319.75	117.36		0.9	<0.001

注：对每株样本测量其株高(H)、长轴冠幅直径(D₁)和垂直长轴冠幅直径(D₂)。并利用以上3个植株易测因子计算冠幅(C)和植株体积(V)，其中冠幅为植株的植冠面积，植株体积为投影体积。冠幅(C)的计算公式为：C = $\pi \times \frac{D_1}{2} \times \frac{D_2}{2}$ ；植株体积(V)的计算公式为：V = H × C；生物量计算公式为：y = ax + b；y = alnx + b；y = bx²；y = ax₁+bx₂+c；式中：y表示预测变量(生物量)；x、x₁、x₂为拟合变量(x为株高、冠幅、植物体积三者之一，x₁为株高、x₂为冠幅)；a、b、c表示拟合参数。

A.3 主要乔木林树种单株生物量与胸径或树高的相关方程（行业标准汇总）

主要乔木林树种单株生物量与胸径或树高的相关方程（行业标准汇总）见表A.3。

表A.3 主要乔木林树种单株生物量与胸径或树高的相关方程（行业标准汇总）

树种	适用范围	生物量	应用条件	一元模型		二元模型			R ²	
				模型参数		R ²	模型参数			
				a	b		a	b		
油松	内蒙古	AGB	DBH≥5cm	0.08611	2.46157	0.95	0.06777	2.18050	0.4361	0.95
		AGB	DBH<5cm	0.42937	1.46329		0.39835	1.07994	0.4361	
		BGB	DBH≥5cm	0.01093	2.66478	0.87	0.01090	2.66184	0.0046	0.87
		BGB	DBH<5cm	0.10931	1.23382		0.13901	1.07994	0.0046	
落叶松	内蒙古东部	AGB	DBH≥5cm	0.11270	2.39582	0.96	0.06848	2.01549	0.5915	0.97
		AGB	DBH<5cm	0.18254	2.09620		0.14583	1.54581	0.5915	
		BGB	DBH≥5cm	0.04258	2.37053	0.94	0.04441	2.40255	-0.0498	0.94
		BGB	DBH<5cm	0.01671	2.95176		0.01632	3.02446	-0.0498	
	内蒙古中西部	AGB	DBH≥5cm	0.07302	2.47298	0.92	0.06233	2.01549	0.5915	0.92
		AGB	DBH<5cm	0.14214	2.05910		0.17051	1.39024	0.5915	
		BGB	DBH≥5cm	0.02829	2.36403	0.90	0.02867	2.40255	-0.0498	0.90
		BGB	DBH<5cm	0.02275	2.49938		0.03919	2.20824	-0.0498	
栎树	蒙东	AGB	DBH≥5cm	0.09135	2.48954	0.92	0.06149	2.14380	0.5839	0.95
		AGB	DBH<5cm	0.11963	2.32194		0.10918	1.78705	0.5839	
		BGB	DBH≥5cm	0.04588	2.30079	0.81	0.05183	2.40723	-0.1797	0.80
		BGB	DBH<5cm	0.08646	1.90705		0.29352	1.32981	-0.1797	

表A.3 主要乔木林树种单株生物量与胸径或树高的相关方程（行业标准汇总）（续）

树种	适用范围	生物量	应用条件	一元模型		二元模型			R^2	
				模型参数		R^2	模型参数			
				a	b		a	b	c	
白桦	蒙东	AGB	DBH≥5cm	0.10298	2.44022	0.94	0.06807	2.10850	0.5202	0.96
		AGB	DBH<5cm	0.14305	2.23603		0.10408	1.84470	0.5202	
		BGB	DBH≥5cm	0.05511	2.25464	0.81	0.04409	2.07591	0.2803	0.79
		BGB	DBH<5cm	0.05612	2.24334		0.04729	2.03242	0.2803	
樟子松	蒙东	AGB	DBH≥5cm	0.07599	2.42539	0.94	0.05460	2.23412	0.3478	0.94
		AGB	DBH<5cm	0.07599	2.42539	0.94	0.17577	1.50770	0.3478	0.94
		BGB	DBH≥5cm	0.01281	2.50659	0.78	0.01131	2.57232	-0.0398	0.76
榆树	内蒙古	AGB	DBH≥5cm	0.18527	2.17522	0.92	0.10266	1.98520	0.4907	0.95
		BGB	DBH≥5cm	0.07187	2.14011	0.87	0.04323	2.06056	0.3372	0.91
		AGB	DBH<5cm	0.12638	2.16693		0.09585	1.67005	0.5916	
		BGB	DBH≥5cm	0.03389	2.24690	0.67	0.03157	2.19458	0.0852	0.66
		BGB	DBH<5cm	0.03201	2.28221		0.03961	2.05364	0.0852	
杨树	内蒙古（人工杨树）	AGB	DBH≥5cm	0.07685	2.50731	0.92	0.04703	2.12487	0.5916	0.94
		AGB	DBH<5cm	0.10182	2.33251		0.06741	1.90115	0.5916	
		BGB	DBH≥5cm	0.02606	2.36590	0.91	0.02428	2.31085	0.0852	0.91
		BGB	DBH<5cm	0.03539	2.17573		0.03669	2.05421	0.0852	

注1：一元模型方程的表达式为 $M = a \cdot DBH^b$ ，二元模型方程的表达式为 $M = a \cdot DBH^b \cdot H^c$ 。其中，M为单株生物量，单位为千克(kgd.m.)；AGB为地上生物量，单位为千克(kgd.m.)；BGB为地下生物量，单位为千克(kgd.m.)；DBH为胸径，单位为厘米(cm)；H为树高，单位为米(m)；a、b、c为模型参数； R^2 为决定系数。

注2：在造林密度和立地条件等相对一致的情况下，应优先选择基于胸径的一元模型，否则应选择基于胸径和树高的二元模型。

A.4 主要乔木林树种单株生物量与胸径的相关方程（文献混合建模）

主要乔木林树种单株生物量与胸径的相关方程（文献混合建模）见表A.4。

表A.4 主要乔木林树种单株生物量与胸径的相关方程（文献混合建模）

树种(组)	器官	a	b	R^2	胸径范围
针叶树	地上	0.1112	2.3689	0.926	1.0~95.0
	整株	0.1533	2.3377	0.917	1.0~95.0
阔叶树	地上	0.0622	2.5289	0.933	1.0~150.0
	整株	0.0277	2.7518	0.944	1.0~150.0
云冷杉	地上	0.2848	2.1344	0.962	1.0~95.0
	整株	0.3492	2.1103	0.963	1.0~95.0

注：方程表达式为 $Y = a \cdot DBH^b$ 。其中，Y为单株生物量，单位为千克(kgd.m.)；DBH为胸径，单位为厘米(cm)；a、b为模型参数； R^2 为决定系数。

A.5 主要乔木林树种单株生物量与胸径和树高的相关方程（文献混合建模）

主要乔木林树种单株生物量与胸径和树高的相关方程（文献混合建模）见表A.5。

表A.5 主要乔木林树种单株生物量与胸径和树高的相关方程（文献混合建模）

树种（组）	器官	a	b	R ²	胸径范围	树高范围
针叶树	地上	32.6335	0.9472	0.933	1.0~80.0	0.7~36.0
	整株	51.5232	0.9212	0.923	1.0~80.0	0.7~36.0
阔叶树	地上	119.1632	0.8542	0.921	1.0~150.0	0.7~66.8
	整株	102.1363	0.8793	0.931	1.0~150.0	0.7~66.8
云冷杉	地上	227.3627	0.7660	0.853	1.0~46.0	2.3~33.4
	整株	707.3147	0.6703	0.793	1.0~46.0	2.3~23.3
侧柏	地上	270.7737	0.7326	0.861	2.0~20.0	2.4~11.5
	整株	72.5015	0.9334	0.985	2.0~20.0	2.4~9.8
刺槐	地上	56.5556	0.9282	0.976	2.0~34.0	2.1~18.0
	整株	103.8042	0.8764	0.969	2.0~34.0	2.1~18.0

注：方程表达式为 $Y = a \cdot (DBH^2 \cdot H)^b \cdot 10^{-3}$ 。其中，Y 为单株生物量，单位为千克 (kg d.m.)；DBH 为胸径，单位为厘米 (cm)；H 为树高，单位为米 (m)；a、b 为模型参数；R² 为决定系数。

A.6 主要乔木林树种的生物量含碳率（文献整合分析）

主要乔木林树种的生物量含碳率（文献整合分析）见表 A.6。

表A.6 主要乔木林树种的生物量含碳率（文献整合分析）

森林类型	CF _{Total}	CF _{AGB}	CF _{BGB}
云冷杉林	0.4931	0.4931	0.4933
落叶松林	0.4893	0.4895	0.4884
温性针叶林	0.4961	0.4967	0.4955
油松林	0.5165	0.5184	0.5093
杨树林	0.4705	0.4728	0.4644

注：CF_{Total} 为全树生物量含碳率，单位为吨碳每吨 (t C · (t d.m.)⁻¹)；CF_{AGB} 表示地上生物量含碳率，单位为吨碳每吨 (t C · (t d.m.)⁻¹)；CF_{BGB} 表示地下生物量含碳率，单位为吨碳每吨 (t C · (t d.m.)⁻¹)。

参 考 文 献

- [1] 《中华人民共和国矿产资源法》
 - [2] 《中共中央 国务院关于加快经济社会发展全面绿色转型的意见》
 - [3] 《中共中央 国务院关于全面推进美丽中国建设的意见》
 - [4] 《关于进一步加强绿色矿山建设的通知》
 - [5] 赵梦颖, 孙威, 罗永开, 等. 内蒙古26种常见温带灌木的生物量模型. 干旱区研究 [J]. 2019, 36(05):1219–1228.
-