

温室气体自愿减排项目方法学 红树林植被修复

（征求意见稿）

1 引言

红树林湿地是我国重要的海岸带生态系统，具有防风消浪、促淤护岸、固碳储碳和维持生物多样性等生态功能。红树林植被修复项目可以通过人工种植红树林植被，增加红树林生物物质和土壤有机碳的碳储量，实现二氧化碳的清除，是我国国土空间生态保护修复和生态系统碳汇能力提升的重要内容。本方法学属于林业领域方法学，符合条件的造林碳汇项目可以按照本方法学要求设计、审定温室气体自愿减排项目，以及核算、核查温室气体自愿减排项目减排量。

2 适用条件

使用本方法学的红树林植被修复项目必须满足以下条件：

（1）在生境适宜或者通过生境修复后适宜红树林生长的无植被滩涂和退养的养殖塘开展人工种植红树林植被的项目；

（2）项目边界内的海域权属明确，具有县（含）级以上人民政府或者海洋行政管理部门核发或者出具的海域权属证明文件；

（3）红树林人工种植连续面积不小于 400 m²；

（4）项目不得改变项目边界内地块的潮间带属性，即在实施填土、堆高或平整后的滩面在平均大潮高潮时仍全部有海水覆盖；

（5）项目不进行施肥。

3 引用文件

本方法学内容引用了下列文件或者其中的条款。凡是不注明日期的引用文件，其有效版本适用于本方法学。

GB 17378.2 海洋监测规范 第 2 部分：数据处理与分析质量控制

GB/T 15918 海洋学综合术语

GB/T 15919 海洋学术语 海洋生物学

GB/T 15920 海洋学术语 物理海洋学

GB/T 18190 海洋学术语 海洋地质学

TD/T 1055 第三次全国国土调查技术规程

HY/T 081 红树林生态监测技术规程

HY/T 214 红树林植被恢复技术指南

4 术语与定义

下列术语和定义适用于本方法学。

4.1

红树林 mangroves

分布在热带、亚热带地区潮间带的木本植物群落，不包括红树林中卤蕨、尖叶卤蕨等非木本植物。

[来源：GB/T 15919 海洋学术语 海洋生物学，有修改。]

4.2

红树林植被修复 mangrove vegetation restoration

在红树林生长的海域人工种植红树植物繁殖体或幼苗，构建红树林并使其可以形成稳定的植被群落和生态系统，并提供与原生红树林生态系统相似的生态功能。

[来源：HY/T 214 红树林植被恢复技术指南，有修改。]

4.3

潮间带 intertidal zone

位于平均大潮高、低潮之间海水覆盖的区域。

[来源：GB/T 15918 海洋学综合术语]

4.4

大潮 spring tide

为朔（初一）、望（十五）后一至三天，由月球与太阳引起的潮汐相加而形成的潮差大的潮。

[来源：GB/T 15920 海洋学术语 物理海洋学]

4.5

高潮 high water

潮汐涨落一周期内最高潮位。

[来源：GB/T 15920 海洋学术语 物理海洋学]

4.6

滩涂（潮滩）tidal flat

随潮汐涨落而交替淹没和出露的细颗粒堆积体。

[来源：GB/T 18190 海洋学术语 海洋地质学]

4.7

无植被滩涂 non-vegetated tidal flat

高等植被覆盖度小于 5%的滩涂区域，包括互花米草治理后的滩涂。

4.8

碳库 carbon pool

生态系统中碳储存的形式或场所，包括地上生物质、地下生物质、枯落物、枯死木和土壤有机碳。

4.9

地上生物质 aboveground living matter

地表以上所有活体植物的生物质，包括茎干、气生根、枝、皮、叶、花、果和繁殖体（果实或胚轴）等。

4.10

地下生物质 belowground living matter

地表以下所有植物活根的生物质。

4.11

碳储量 carbon stock

储存在生态系统不同碳库的碳元素的总质量。

4.12

基径 basal diameter

植株贴近地面并平行于地面的茎秆直径。

5 项目边界及排放源

5.1 项目边界

一个红树林植被修复项目边界可包括若干个不连续的修复地块，但每个地块应有特定的地理边界。项目边界不包含宽度大于 3 m 的潮沟、道路和其他非项目的线状地形和地物，也不包含项目实施前已经存在并且覆盖度大于 5% 的红树林地块。

在项目设计阶段，项目业主须明确项目计划开展红树林植被修复的地块边界，提供所有地块边界的矢量数据文件。

在项目监测阶段，项目业主须测量实际修复红树林地块边界，并且由审定和核查机构对项目实际边界进行核实。

项目边界可采用下述方法之一确定：

(1) 利用全球导航卫星系统（GNSS）或其它卫星定位系统，直接测定项目地块边界的拐点坐标，单点定位误差不超过 1 m。

(2) 利用空间分辨率不低于 2 m 的地理空间数据（如卫星遥感影像、航拍影像等）、林草湿资源一张图、造林作业设计，在地理信息系统辅助下直接读取项目地块的边界坐标。

5.2 项目开工日期、寿命期限和计入期

项目开工日期为在项目边界内首次实施生境修复、整地、播种或者种植日期。

项目寿命期限须根据项目业主对项目边界内土地的所有权（或者使用权）的有效期限进行确定。

项目计入期不低于 20 年，最长不超过 40 年。计入期须在项目寿命期限范围之内。

5.3 碳库和温室气体排放源的选择

项目边界内选择或者不选择的碳库如表 1 所示。

表 1 碳库的选择

情景	碳库	是否选择	理由
基准线情景	地上生物质	否	无植被生物质
	地下生物质	否	无植被生物质
	枯死木	否	无植被枯死木
	枯落物	否	无植被枯落物
	土壤有机碳	否	忽略基准线情景土壤有机碳库储量的变化
项目情景	地上生物质	是	主要碳库
	地下生物质	是	主要碳库
	枯死木	否	该碳库的清除量所占比例小，保守忽略不计
	枯落物	否	该碳库的清除量所占比例小，保守忽略不计
	土壤有机碳	是	主要碳库

项目边界内选择或者不选择的温室气体排放源如表 2 所示。

表 2 温室气体排放源的选择

情景	温室气体排放源	温室气体种类	是否选择	理由
基准线情景	土壤微生物代谢	CO ₂	否	保守忽略不计
		CH ₄	否	保守忽略不计
		N ₂ O	否	保守忽略不计
项目情景	土壤微生物代谢	CO ₂	否	已在计算土壤碳储量变化中考虑
		CH ₄	是	主要排放源
		N ₂ O	是	主要排放源
	项目交通工具使用化石能源产生的排放	CO ₂	否	排放量小，忽略不计
		CH ₄	否	排放量小，忽略不计
		N ₂ O	否	排放量小，忽略不计

6 减排量核算方法学

6.1 基准线情景识别

项目基准线情景为：在实施红树林植被修复项目前，项目边界内的海域利用和管理方式为无植被滩涂或者退养的养殖塘。

6.2 额外性论证

由于红树林易受极端气候事件和人为活动干扰，通常红树林植被修复和后期管护项目成本高。使用本方法学的项目，其额外性免于论证。

6.3 基准线清除量计算

第 t 年项目基准线清除量 $\Delta C_{BSL,t} = 0$ 。

6.4 项目清除量计算

6.4.1 项目碳层划分

为提高碳储量变化计算的精度，并且在一定精度要求下精简监测样地数量，应将项目边界内的红树林植被进行分层，即碳层划分，包括采用不同的分层因子将项目地块划分为不同的层次（类型、亚总体）。项目碳层划分包括项目设计阶段的碳层划分和项目实施阶段的碳层划分。项目业主可以根据实际情况，选择碳层划分的数量。

项目设计阶段划分的碳层用于项目设计阶段的碳储量变化预估，综合红树林植被修复的树种、修复时间、修复地块所处的地理位置、土壤质地、滩涂高程等因素，将无显著差别的植被划分为同一碳层。

项目实施阶段的碳层用于项目实施阶段碳储量变化的监测，主要基于项目设计阶段碳层的划分，结合红树林植被修复活动的实际情况进行调整确定。在每次监测前，需考虑是否存在自然因素（如病虫害、风暴潮、寒潮等）或者人为干扰，导致原有碳层的异质性增加，如确有影响需对碳层进行更新和调整，具体要求见 7.3.6.3。

6.4.2 项目清除量

项目年清除量是指项目边界内各碳库碳储量的年变化之和，减去项目边界内温室气体的年排放量，即：

$$\Delta C_{PROJ,t} = \frac{44}{12} \times (\Delta C_{Biomass_PROJ,t} + \Delta C_{SOC_PROJ,t}) - \Delta GHG_{PROJ,t} \quad \text{公式 (1)}$$

式中：

$\Delta C_{PROJ,t}$ 第 t 年时，项目年清除量 ($t \text{ CO}_2\text{e} \cdot \text{a}^{-1}$)；

$\Delta C_{Biomass_PROJ,t}$ 第 t 年时，项目边界内生物质（包括地上生物质和地下生物质）碳储量的年变化量 ($t \text{ C} \cdot \text{a}^{-1}$)；

$\Delta C_{SOC_PROJ,t}$ 第 t 年时，项目边界内土壤有机碳储量的年变化量 ($t \text{ C} \cdot \text{a}^{-1}$)；

$\Delta GHG_{PROJ,t}$ 第 t 年时，项目边界内温室气体年排放量的 CO_2 当量排放量 ($t \text{ CO}_2\text{e} \cdot \text{a}^{-1}$)；

44/12= CO_2 与 C 的分子量比，将 C 转化为 CO_2e 的系数，无量纲。

6.4.2.1 项目植被生物质碳储量变化

假定一定时间内（第 t_1 至 t_2 年）项目边界内各碳层生物质碳储量的变化是线性的，项目的生物质碳储量年变化量 ($\Delta C_{Biomass_PROJ,t}$) 计算如下：

$$\Delta C_{Biomass_PROJ,t} = \frac{\sum_{i=1}^{t_2} C_{Biomass,i,t_2} - \sum_{i=1}^{t_1} C_{Biomass,i,t_1}}{t_2 - t_1} \quad \text{公式 (2)}$$

式中：

$\Delta C_{\text{Biomass_PROJ},t}$ = 第 t 年时, 生物质碳储量的年变化量 ($\text{tC}\cdot\text{a}^{-1}$);

$C_{\text{Biomass},i,t}$ = 第 t 年时, 第 i 碳层生物质碳储量 (tC);

$i=1,2,3, \dots$, 项目碳层;

$t=1,2,3, \dots$, 自项目开始以来的年数;

t_1, t_2 = 项目开始以后的第 t_1 年和第 t_2 年, 且 $t_1 \leq t_2$ 。

利用生物质含碳率将生物量 (生物质的干重) 转化为生物质碳储量:

$$C_{\text{Biomass},i,t} = A_{i,t} \times c_{\text{Biomass},i,t} \quad \text{公式 (3)}$$

$$c_{\text{Biomass},i,t} = \frac{\sum_{q=1}^{n_i} c_{\text{Biomass},i,q,t}}{n_i} \quad \text{公式 (4)}$$

$$c_{\text{Biomass},i,q,t} = \sum_{j=1} (B_{i,q,j,t} \times CF_j) \quad \text{公式 (5)}$$

式中:

$C_{\text{Biomass},i,t}$ = 第 t 年时, 第 i 碳层生物质碳储量 (tC);

$A_{i,t}$ = 第 t 年时, 第 i 碳层面积 (ha);

$c_{\text{Biomass},i,t}$ = 第 t 年时, 第 i 碳层单位面积生物质碳储量 ($\text{tC}\cdot\text{ha}^{-1}$);

$c_{\text{Biomass},i,q,t}$ = 第 t 年时, 第 i 碳层样地 q 的单位面积生物质碳储量 ($\text{tC}\cdot\text{ha}^{-1}$);

n_i = 第 i 碳层的样地数量;

$B_{i,q,j,t}$ = 第 t 年时, 第 i 碳层样地 q 的树种 j 的生物量 ($\text{t d.m.}\cdot\text{ha}^{-1}$);

CF_j = 树种 j 生物质含碳率 ($\text{tC}\cdot(\text{t d.m.})^{-1}$);

$i=1,2,3, \dots$, 项目碳层;

$t=1,2,3, \dots$, 自项目开始以来的年数;

$q=1,2,3, \dots$, 监测样地;

$j=1,2,3, \dots$, 红树植物树种。

在设计阶段和监测阶段, 分别选择相应方法进行植被生物量计算:

(1) 设计阶段

根据植被的生物量与林龄相关方程进行估算:

$$B_{q,j} = 391.521 \times \frac{y_{q,j}^{1.6816}}{y_{q,j}^{1.6816} + 170.546} \quad \text{公式 (6)}^1$$

式中:

$B_{q,j}$ = 样地 q 的生物量 ($\text{t d.m.}\cdot\text{ha}^{-1}$);

$y_{q,j}$ = 样地 q 优势树种² j 的林龄;

$q=1,2,3, \dots$, 监测样地;

$j=1,2,3, \dots$, 红树林树种。

(2) 监测阶段

利用测树因子的监测数据, 采用生物量方程计算植被的生物量:

¹ 根据文献报道^{[1]-[32]}及编制组实测的中国不同林龄的红树林生物量与林龄数据拟合得到的方程, 样本量 $n=30$

² 样地中生物量最多的树种为优势种

$$B_{q,j} = \frac{\sum_{m=1} f_j(x_{1,q,m}, x_{2,q,m}, x_{3,q,m})}{A_s} \times 10^{-3} \quad \text{公式 (7)}$$

式中:

$B_{q,j}$ =样地 q 树种 j 的生物量 ($\text{t d.m.} \cdot \text{ha}^{-1}$);

$f_j(x_{1,q,m}, x_{2,q,m}, x_{3,q,m}, \dots)$ =样地 q 树种 j 的第 m 株测树因子 (x_1, x_2, x_3, \dots) 转化为植株生物量的方程, 生物量方程按 7.1 节或附录一确定, 测树因子 (x_1, x_2, x_3, \dots) 可以是胸径、基径、株高等 (kg d.m.);

A_s =监测样地面积 (ha);

$q=1, 2, 3, \dots$, 监测样地;

$j=1, 2, 3, \dots$, 样地植物树种;

$m=1, 2, 3, \dots$, 样地植物树种 j 的第 m 植株;

10^{-3} =单位换算系数, 无量纲。

在红树林生长的初期阶段, 如红树植株的生长情况无法满足 7.1 节或附录一确定的测树因子的适用条件时 (无法测定胸径或未达到生物量方程中测树因子的最低下限), 采用以下公式计算植被单位面积生物量:

$$B_{q,j} = \frac{\sum_m (0.0245 \times D_{0,q,j,m}^{2.47789})}{A_s} \times 10^{-3} \quad \text{公式 (8)}^3$$

式中:

$B_{q,j}$ =样地 q 树种 j 的单位面积生物量 ($\text{t d.m.} \cdot \text{ha}^{-1}$);

$D_{0,q,j,m}$ =样地 q 树种 j 第 m 植株的基径 (cm);

A_s =监测样地面积 (ha);

$q=1, 2, 3, \dots$, 监测样地;

$j=1, 2, 3, \dots$, 样地植物树种;

$m=1, 2, 3, \dots$, 样地植物树种 j 的第 m 植株;

10^{-3} =单位换算系数, 无量纲。

6.4.2.2 项目土壤有机碳储量变化

假定红树林植被修复后, 各碳层土壤有机碳储量的增加是线性的。项目边界内土壤有机碳储量年变化计算方法如下:

$$\Delta C_{\text{SOC_PROJ},t} = \sum_{i=1} (d_{\text{SOC_PROJ}} \times A_{i,t}) \quad \text{公式 (9)}$$

式中:

$\Delta C_{\text{SOC_PROJ},t}$ =项目边界内土壤有机碳储量年变化量 ($\text{t C} \cdot \text{a}^{-1}$);

$d_{\text{SOC_PROJ}}$ =单位面积土壤有机碳储量年变化率, 按 7.1 节确定 ($\text{t C ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$);

$A_{i,t}$ =第 t 年时, 第 i 碳层的面积 (ha);

$i=1, 2, 3, \dots$, 项目碳层;

$t=1, 2, 3, \dots$, 自项目开始以来的年数。

³ 编制组实测幼苗单株生物量与基径数据拟合的关系方程, 样本量 $n=418$

6.4.2.3 项目土壤非 CO₂ 温室气体排放

项目土壤温室气体年排放量 ($\Delta GHG_{PROJ,t}$) 为各碳层土壤 CH₄ 和 N₂O 排放量之和 (以 CO₂ 当量通量表示):

$$\Delta GHG_{PROJ,t} = \sum_{i=1} (\Delta GHG_{CH_4_PROJ,i,t} + \Delta GHG_{N_2O_PROJ,i,t}) \quad \text{公式 (10)}$$

$$\Delta GHG_{CH_4_PROJ,i,t} = A_{i,t} \times F_{CH_4_PROJ,i,t} \times \left(GWP_{CH_4} - \frac{44}{16} \right) \quad \text{公式 (11)}$$

$$\Delta GHG_{N_2O_PROJ,i,t} = A_{i,t} \times F_{N_2O_PROJ,i,t} \times GWP_{N_2O} \quad \text{公式 (12)}$$

式中:

$\Delta GHG_{PROJ,i,t}$ = 第 t 年时, 项目边界内土壤 CH₄ 和 N₂O 的总排放量, 以 CO₂ 当量通量表示 (t CO₂e·a⁻¹);

$\Delta GHG_{CH_4_PROJ,i,t}$ = 第 t 年时, 第 i 碳层土壤 CH₄ 排放量, 以 CO₂ 当量通量表示 (t CO₂e·a⁻¹);

$\Delta GHG_{N_2O_PROJ,i,t}$ = 第 t 年时, 第 i 碳层土壤 N₂O 排放量, 以 CO₂ 当量通量表示 (t CO₂e·a⁻¹);

$F_{CH_4_PROJ,i,t}$ = 第 t 年时, 单位面积红树林土壤 CH₄ 排放量, 按 7.1 参数选择确定 (t CH₄·ha⁻¹·a⁻¹);

$F_{N_2O_PROJ,i,t}$ = 第 t 年时, 单位面积红树林土壤 N₂O 排放量, 按 7.1 参数选择确定 (t N₂O·ha⁻¹·a⁻¹);

GWP_{CH_4} = CH₄ 的全球增温潜势, 按 7.1 节确定;

GWP_{N_2O} = N₂O 的全球增温潜势, 按 7.1 节确定;

$A_{i,t}$ = 第 t 年时, 第 i 碳层的面积 (ha);

$\frac{44}{16}$ = CH₄ 分子转换为 CO₂ 分子的量, 以扣除 CH₄ 排放造成的土壤碳损失的二次计算;

$i = 1, 2, 3, \dots$, 项目碳层;

$t = 1, 2, 3, \dots$, 自项目开始以来的年数。

6.5 项目泄漏计算

根据方法学适用条件, 项目不会造成项目边界内原有农/渔业活动的转移, 不存在潜在泄漏, 即 $LK_t = 0$ 。

6.6 项目减排量核算

综合项目基准线清除量、项目清除量、项目泄漏及项目非持久性影响风险因素, 计算项目减排量:

$$CDR_t = (\Delta C_{PROJ,t} - \Delta C_{BSL,t} - LK_t) \times (1 - K_{RISK,t}) \quad \text{公式 (13)}$$

式中:

CDR_t = 第 t 年时, 项目减排量 (t CO₂e·a⁻¹);

$\Delta C_{PROJ,t}$ = 第 t 年时, 项目清除量 (t CO₂e·a⁻¹);

$\Delta C_{BSL,t}$ = 第 t 年时, 基准线清除量 (t CO₂e·a⁻¹);

LK_t = 第 t 年时，项目泄漏 ($t \text{ CO}_2\text{e} \cdot \text{a}^{-1}$)；

$K_{\text{RISK},t}$ = 项目的风险值 (%)，按 7.1 节确定；

$t = 1, 2, 3, \dots$ ，项目开始以来的年数。

7 监测方法学

7.1 项目设计阶段确定的参数和数据

数据/参数名称	CF_j																								
应用的公式编号	公式 (3)																								
数据描述	树种 j 的生物物质含碳率																								
数据单位	$t \text{ C (t.d.m.)}^{-1}$																								
数据来源	本表缺省值																								
数据选用的合理性	根据编制组对我国部分红树植物生物物质含碳率的实测数据与文献数据 [33-35] 统计整理。																								
数值	<p>红树林植被修复主要树种的生物物质含碳率</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>树种</th> <th>CF</th> <th>树种</th> <th>CF</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>秋茄</td> <td>0.47</td> <td>木榄</td> <td>0.47</td> </tr> <tr> <td>桐花树</td> <td>0.42</td> <td>正红树</td> <td>0.46</td> </tr> <tr> <td>白骨壤</td> <td>0.41</td> <td>海漆</td> <td>0.43</td> </tr> <tr> <td>红海榄</td> <td>0.48</td> <td>其他树种</td> <td>0.46</td> </tr> <tr> <td>海桑</td> <td>0.43</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	树种	CF	树种	CF	秋茄	0.47	木榄	0.47	桐花树	0.42	正红树	0.46	白骨壤	0.41	海漆	0.43	红海榄	0.48	其他树种	0.46	海桑	0.43		
树种	CF	树种	CF																						
秋茄	0.47	木榄	0.47																						
桐花树	0.42	正红树	0.46																						
白骨壤	0.41	海漆	0.43																						
红海榄	0.48	其他树种	0.46																						
海桑	0.43																								
数据用途	将生物量转换成单位面积生物物质碳储量																								
备注																									

数据/参数名称	$f_j(x_{1,q,m}, x_{2,q,m}, x_{3,q,m}, \dots)$
应用的公式编号	公式 (7)
数据描述	红树植株生物量与测树因子的相关方程
数据单位	kg d.m.
数据来源	<p>数据源优先顺序：</p> <p>(a) 从附录一中选择；</p> <p>(b) 现有的、公开发表的相似生态条件下的生物量方程；</p>
数据选用的合理性	根据公开发表的文献整理 [16, 18, 25, 36-44]
数值	从附录一中选择合适的生物量方程
数据用途	将样地 q 树种 j 的第 m 株测树因子 (x_1, x_2, x_3, \dots) (如胸径、株高等) 转换为植株生物量的方程
备注	若采用现有的、公开发表的相似生态条件下的生物量方程，须基于国内外核心期刊发表的拟合方程

数据/参数名称	A_s
应用的公式编号	公式 (7)
数据描述	植物调查样地面积
数据单位	ha
数据来源	NA
数据选用的合理性	根据植被生长密度、形态确定
数值	NA
数据用途	植物生物量调查与计算
备注	

数据/参数名称	$dsoc_{PROI,t}$
应用的公式编号	公式 (9)
数据描述	第 t 年时, 单位面积土壤的有机碳储量年变化率
数据单位	$t C ha^{-1} \cdot a^{-1}$
数据来源	本表缺省值
数据选用的合理性	根据编制组实测的与文献报道 ^[2,7,12,13,45] 的我国修复红树林中土壤有机碳储量年变化率的数据统计的均值, 只采用明确说明在土壤碳储量调查时剔除土壤中红树植物根系的文献数据
数值	1.73 (n=42)
数据用途	用于土壤有机碳储量年变化量估算
备注	

数据/参数名称	$F_{CH_4_{PROI,t}}$
应用的公式编号	公式 (11)
数据描述	第 t 年时, 单位面积红树林土壤 CH_4 排放量
数据单位	$t CH_4 \cdot ha^{-1} \cdot a^{-1}$
数据来源	本表缺省值
数据选用的合理性	根据编制组对我国红树林土壤 CH_4 排放实测数据统计均值
数值	12.00×10^{-3} (n=10, 为我国 10 个典型红树林研究区数据)
数据用途	用于计算土壤 CH_4 排放当量
备注	

数据/参数名称	GWP_{CH_4}
应用的公式编号	公式 (11)
数据描述	CH_4 的全球增温潜势

数据单位	NA
数据来源	IPCC 评估报告 ^[46]
数据选用的合理性	IPCC 评估报告 ^[46] 发布的数值
数值	27
数据用途	将土壤 CH ₄ 排放量转化为 CO ₂ 当量排放量
备注	如 IPCC 或我国发布新的数值，采用更新的数值

数据/参数名称	$F_{N_2O, PROJ, t}$
应用的公式编号	公式 (12)
数据描述	第 t 年时，单位面积红树林土壤 N ₂ O 排放量
数据单位	t N ₂ O·ha ⁻¹ ·a ⁻¹
数据来源	本表缺省值
数据选用的合理性	根据编制组对我国红树林土壤 N ₂ O 排放实测数据统计均值
数值	1.10×10 ⁻³ (n=10, 为我国 10 个典型红树林研究区数据)
数据用途	用于计算土壤 N ₂ O 排放当量
备注	

数据/参数名称	GWP_{N_2O}
应用的公式编号	公式 (12)
数据描述	N ₂ O 的全球增温潜势
数据单位	NA
数据来源	IPCC 评估报告 ^[46]
数据选用的合理性	IPCC 评估报告 ^[46] 发布的数值
数值	273
数据用途	用于将土壤 N ₂ O 排量转化为 CO ₂ 当量排放量
备注	如 IPCC 或我国发布新的数值，采用更新的数值

数据/参数名称	K_{RISK}
应用的公式编号	公式 (13)
数据描述	项目所在地区历史病虫害、台风风暴潮等灾害损失比例，可以是损失储量或者损失面积的占比
数据单位	%
数据来源	NA
数据选用的合理性	
数值	5%

数据用途	用于计算项目减排量的非持久性风险与扣减
备注	

7.2 项目监测阶段需要监测的参数和数据

数据/参数名称	$A_{i,t}$
应用的公式编号	公式 (3), 公式 (9), 公式 (11), 公式 (12)
数据描述	第 t 年时, 第 i 碳层的面积
数据单位	ha
数据来源	项目边界及碳层空间数据
监测点要求	所有实际实施的项目地块 (海域) 及其拐点坐标
监测仪表要求	手持全球定位导航设备、高分辨率卫星或地面遥感影像和大比例尺地形图
监测程序与方法要求	按 7.3.6.1 项目边界监测及 TD/T 1005-2019 的相关要求执行
监测频次与记录要求	首次核查开始, 每 3-5 年一次。项目及碳层边界坐标的 shp 或 kml 文件
质量保证/质量控制程序要求	采用国家海洋监测 (GB17378.2-2007) 和国土调查 (TD/T 1005-2019) 使用的质量保证和质量控制 (QA/QC) 程序
数据用途	用于各碳层生物质碳储量、土壤碳储量及温室气体排放量计算
备注	

数据/参数名称	x_1, x_2, x_3, \dots
应用的公式编号	公式 (7)
数据描述	测树因子。通常为胸径 (DBH)、基径 (D_0) 和株高 (H) 等, 按 7.1 节中确定的公式参数进行监测
数据单位	DBH 和 D_0 单位为 cm, H 单位为 m
数据来源	野外实测
监测点要求	样地设置符合 7.3.6.5 节的相关要求; 每个碳层监测样地不少于 3 个;
监测仪表要求	DBH 和 D_0 测量需要测树围尺、皮尺或游标卡尺 H 测量需要皮尺、测高仪或塔尺
监测程序与方法要求	按 7.3.6.7 节及 HY/T 081-2005 执行
监测频次与记录要求	首次核查开始, 每 3-5 年一次, 样地每木调查, 实测样地内所有活立木的株 H 、 DBH 和/或 D_0
质量保证/质量控制程序要求	采用国家海洋监测 (GB17378.2-2007) 或滨海湿地监测 (HY/T 081-2005) 使用的质量保证和质量控制 (QA/QC) 程序
数据用途	用于样地植被生物量计算

备注	
----	--

7.3 项目实施及监测的数据管理要求

7.3.1 监测职责分工，项目监测由项目业主负责组织实施，项目业主对监测方案、数据和结果负责，在项目设计阶段制定详细的监测方案。

为确保监测工作能够按照本方法学要求的相应程序开展，项目业主应指定对监测方法、程序、目的和结果评价熟悉的人员作为项目监测技术负责人，并指定专职人员分别负责项目事件、项目边界与地块面积、生物质碳储量等数据的测量、收集、记录和校核，以确保准确获得项目减排量计算所必需的所有信息。

7.3.2 监测设备与安装，项目监测需要手持全球定位系统、无人机、全球定位系统实时动态测量（RTK）系统、空间数据处理平台等，不涉及监测设备安装。

7.3.3 数据记录与存档，监测过程的所有数据均须同时以纸质和电子版方式归档保存，且至少保存至计入期结束后 10 年。

7.3.4 质量保证与质量控制程序，项目业主在监测方案中详细描述采取的质量保证和质量控制程序，包括但不限于可靠的外业测定、外业测定的互检互核、内业数据的输入和核实等，明确负责的部门及其职责、具体工作要求、数据管理程序、工作时间节点等。建立数据内部审核制度，对监测数据进行交叉校验，确保其符合技术规范、内部管理制度和质量保证要求。

7.3.5 基准线清除量的监测，本方法学基准线情景清除量设为 0，不对基准线清除量进行监测。

7.3.6 项目清除量的监测

7.3.6.1 项目边界的监测，在计入期内须对项目边界进行定期监测，检查项目实际边界是否与项目设计文件中描述的边界一致。

(1) 如果实际边界位于项目设计文件描述的边界之外，则边界外的部分不计入项目边界中；

(2) 如果实际边界位于项目设计文件描述的边界之内，应当以实际边界为准，并且提供新的项目边界矢量数据文件；

(3) 若由于发生毁林或病虫害等导致边界内的海域利用方式发生变化（转化为其它土地利用方式），应确定其具体位置和面积，并将发生利用方式变化的地块从项目边界内扣除，并在下次核查中予以说明。扣除出项目边界的地块，在后续核查中不能再纳入项目边界内的面积计算。如扣除出项目边界的地块以前进行过核查，其前期经核查的碳储量应保持不变，纳入碳储量变化的计算中。

任何边界的变化都必须采用 GNSS 或其他卫星定位系统测定项目地块边界的拐点坐标，也可采用适当的空间数据（地面分辨率不低于 2 m 的卫星影像、航片等），辅以地理信息系统界定地块边界坐标。

7.3.6.2 项目的监测，项目参与方需对项目运行期内的所有红树植被修复活动、管护活动以及与温室气体排放有关的活动进行监测，主要包括：

(1) 修复活动：包括确定生境改造、滩涂平整、修复树种、修复时间、修复区域、苗木成活率和保存率、补植措施等；

(2) 管护活动：巡护、补植、互花米草等有害植物的清除、病虫害防治和海漂垃圾清理措施等；

(3) 项目边界内自然因素（台风、风暴潮、极端天气、病虫害等）和人为活动（毁林

等) 发生情况(时间、地点、面积、边界等)。

7.3.6.3 项目分层, 项目实施阶段的碳层划分根据红树林植被修复项目修复地块所处地理位置、修复物种、修复时间、土壤质地、高程等因素进行分层。

如果项目边界内出现下述原因, 导致同一碳层内碳储量的均一性发生明显的变化, 在每次监测前可对上一次的分层进行调整或增加样地数量(如分成 2 个或者多个碳层), 以达到本方法学要求的调查精度。

(1) 项目与项目设计不一致, 如修复时间、树种选择和配置、修复地块的边界等发生变化;

(2) 计入期内项目影响了碳层内部的均一性, 如红树林死亡后补种与设计方案不同的树种;

(3) 不可抗拒的外部因素导致项目边界发生变化, 应详细记录事件类型、发生时间、地点(边界)、面积、强度等;

如果上一次监测发现, 两个或多个碳层具有相近的碳储量及其变化, 则可考虑将这些不同的碳层合并成一个碳层, 以降低监测工作量。

7.3.6.4 抽样设计, 本方法学要求达到 90% 可靠性水平下 90% 的精度要求。项目监测所需的样地数量, 采用如下方法进行计算:

$$n = \left(\frac{t_{VAL}}{E} \right)^2 \times (\sum_i w_i \times S_i)^2 \quad \text{公式 (14)}$$

式中:

n = 所需的监测样地总数量, 无量纲;

t_{VAL} = 可靠性指标, 在一定的可靠性水平下, 自由度为无穷 (∞) 时查 t 分布双侧 t 分位数表的 t 值, 为 1.645;

w_i = 项目第 i 碳层的面积权重, 无量纲, $w_i = \frac{A_i}{A}$, 其中 A 是项目区总面积 (ha), A_i 是第 i 碳层的面积 (ha);

S_i = 项目边界内第 i 碳层单位面积碳储量标准差的估计值 ($t C \cdot ha^{-1}$);

E = 碳储量估计值允许的误差范围, 通过项目边界内单位面积碳储量均值乘以允许精度 (10%) 计算 ($t C \cdot ha^{-1}$);

$i = 1, 2, 3, \dots$, 项目碳层。

分配到各碳层的监测样地数量, 采用最优分配法按下式进行计算:

$$n_i = n \times \frac{w_i \times S_i}{\sum_i (w_i \times S_i)} \quad \text{公式 (15)}$$

式中:

n_i = 第 i 碳层所需的监测样地数量, 无量纲;

n = 所需的监测样地总数量, 无量纲;

w_i = 第 i 碳层的面积权重, 无量纲;

S_i = 第 i 碳层碳储量估计值的标准差 ($t C \cdot ha^{-1}$);

$i = 1, 2, 3, \dots$, 项目碳层;

本方法学要求每个碳层调查样地数不少于 3 个, 如按公式 (15) 计算各碳层调查样地数小于 3, 则相应碳层样地数设置 3 个。如果抽样未达到 90% 可靠性水平下 90% 的精度, 项目

参与方可通过增加样地数量,从而使测定结果达到精度要求,或在不增加样地数量的情况下参照 7.3.7 部分的方法修正清除量。

7.3.6.5 样地设置,项目参与方须基于固定样地的连续监测项目情景下的碳储量的变化,在各项目碳层内,样地设置采用随机起点、系统分布布设方法:

- (1) 将每个碳层网格化,每个网格面积大小与监测样地大小相同;
- (2) 保留各碳层内完整样地,将每个网格按固定顺序编号(各碳层边缘不完整网格不参与编号),确定完整网格的总数 N ;
- (3) $1\sim N$ 之间产生一个随机数,该随机数代表的网格编号即为该碳层的第 1 个监测样地;
- (4) 计算该碳层其他样地所在的网格编号:第 2 个样地的网格编号等于第 1 个样地的网格编号加间隔的网格数,该间隔数等于该碳层的总网格数量(N_i)除以该碳层样地数量(n_i)第 3 个样地的网格编号等于第 2 个样地的网格编号加间隔的网格数,以此类推。若到达最大的网格编号,尚未达到需要的样地数量,可从第 1 个网格接着往下移动。
- (5) 按上述方案设计样地,若出现两个样地边界间最小间距小于 10 m,则将两个样地顺着网格编号顺序各移动 2 个网格,以达到样地边界间最小间距大于 10 m。
- (6) 按上述方案设计样地,若部分样地因环境条件和交通装备的限制难以到达,可在首次调查时将样地调整至碳层内滩涂高程和土壤质地条件相近,且植被覆盖度不高于原样地且方便到达的位置。进行样地调整的数量不能超过项目总样地数量的三分之一。项目参与方应提供调整前后样地滩涂高程、植被树种、种植密度及植被覆盖度等情况资料以证明样地调整的必要性和合理性。

在测定和监测项目边界内的碳储量变化时,采用矩形样地,对样地的四个角或中心位置进行定位。

样地水平面积应根据红树林植被情况而定,乔木型植被设置 10 m×10 m 样地,灌木型设置 5 m×5 m 样地(如植被密度较大时,可设置 2 m×2 m 样地);如乔木型植被群落下生长有桐花树等灌木型植物且生长密度高时,可在设置乔木监测的固定样地内随机设置嵌套的小样方(如 2 m×2 m)进行灌木型植物的调查。

记录每个样地的行政位置(县、乡、村和小地名)、样地名称/编号、经纬度坐标(以度表示的坐标至少保留 6 位小数)、修复树种、修复时间以及其他标准样地情况的信息。

固定样地复位率需达 100%,复位时利用全球导航卫星系统及明显地物标按历次调查记录的方位、距离引线定位找点。

7.3.6.6 监测频率与时间,根据修复树种的生物学特性,在项目设计阶段确定固定样地监测频率,一般为每 3-5 年一次。

项目实施后首次监测时间由项目实施主体根据项目设计自行选择。项目的减排量应当产生于 2020 年 9 月 22 日之后;如项目开始时间早于 2020 年 9 月 22 日,基于项目经核查的首次监测结果,假设项目开始以来生物质储量随时间均匀变化,计算 2020 年 9 月 22 日以来项目产生的清除量。

7.3.6.7 生物质碳储量监测

第一步:于固定样地内开展每木调查,实测样地内所有活立木的胸径(DBH)/或直径(D_0)和株高(H),监测参数根据选择的生物量方程中对应的测树因子决定。

第二步:采用“生物量方程法”计算样地内各树种的生物量,根据公式(7)计算各样地的单位面积生物量。

在红树林生长的初期,红树植株无法满足 7.1 节或附录一确定的测树因子的适用条件,通过公式(8)计算样地单位面积生物量。

第三步:利用生物质含碳率将各碳层单位面积生物量转化为各碳层单位面积生物质碳储

量（公式 4 和公式 5），根据公式（3）利用各碳层单位面积生物质碳储量与碳层面积计算项目生物质碳储量。

第四步：假定一定时间内项目边界内各碳层生物质碳储量的变化是线性的，根据公式（2）计算项目生物质碳储量年变化量。

7.3.7 数据精度控制与矫正，通过项目边界内单位面积生物质碳储量的不确定性来评判抽样精度。不确定性的计算过程如下：

第一步：计算第 i 层平均单位面积生物质碳储量方差：

$$S_{C_{Biomass,t}}^2 = \frac{\sum_{q=1}^{n_i} (c_{Biomass,i,q,t} - c_{Biomass,i,t})^2}{n_i \times (n_i - 1)} \quad \text{公式 (16)}$$

式中：

$S_{C_{Biomass,t}}^2$ = 第 t 年时，第 i 碳层单位面积生物质碳储量的方差 ($\text{tC}\cdot\text{ha}^{-1}$)²；

$c_{Biomass,i,q,t}$ = 第 t 年时，第 i 碳层样地 q 的单位面积生物质碳储量 ($\text{tC}\cdot\text{ha}^{-1}$)；

$c_{Biomass,i,t}$ = 第 t 年时，第 i 碳层单位面积生物质碳储量 ($\text{tC}\cdot\text{ha}^{-1}$)；

$q=1,2,3, \dots$ ，第 i 项目碳层中的样地；

$i=1,2,3, \dots$ ，项目碳层；

n_i = 第 i 碳层的样地数。

第二步：计算项目边界内单位面积生物质碳储量方差：

$$C_{Biomass,t} = \sum_{i=1} (w_i \times c_{Biomass,i,t}) \quad \text{公式 (17)}$$

$$S_{C_{Biomass,t}}^2 = \sum_{i=1} \left(w_i^2 \times \frac{S_{C_{Biomass,i,t}}^2}{n_i} \right) \quad \text{公式 (18)}$$

式中：

$C_{Biomass,t}$ = 第 t 年时，项目边界内单位面积生物质碳储量 ($\text{tC}\cdot\text{ha}^{-1}$)；

w_i = 第 i 碳层的面积权重，无量纲， $w_i = A_i/A$ ，其中 A 是项目区总面积 (ha)， A_i 是第 i 碳层的面积 (ha)；

$S_{C_{Biomass,t}}^2$ = 第 t 年时，项目边界内单位面积生物质碳储量的方差 ($\text{tC}\cdot\text{ha}^{-1}$)²；

$S_{C_{Biomass,i,t}}^2$ = 第 t 年时，第 i 碳层单位面积生物质碳储量的方差 ($\text{tC}\cdot\text{ha}^{-1}$)²；

n_i = 第 i 项目碳层的样地数；

$i=1,2,3, \dots$ ，项目碳层；

$t=1,2,3, \dots$ ，自项目开始以来的年数。

第三步：计算项目边界内单位面积生物质碳储量的不确定性：

$$u_{C_{Biomass,t}} = \frac{t_{VAL} \times S_{C_{Biomass,t}}}{C_{Biomass,t}} \quad \text{公式 (19)}$$

式中：

$u_{C_{Biomass,t}}$ = 第 t 年，项目边界内单位面积生物质碳储量的不确定性(相对误差限)，要求相对误差不大于 10%，即抽样精度不低于 90%，单位为%；

t_{VAL} = 可靠性指标：自由度等于 $n-M$ （其中 n 是项目边界内样地总数， M 是生物量估算

的分层总数)，置信水平为 90%，查 t 分布双侧分位数表获得。例如：置信水平为 90%，自由度为 45 时，双侧 t 分布的 t 值在 Excel 电子表中输入“=TINV(0.10,45)”可以计算得到 t 值为 1.6794；

$S_{C_{Biomass,t}}$ = 第 t 年时，项目边界内单位面积生物质碳储量方差的平方根 ($t C \cdot ha^{-1}$)；
 $t=1,2,3,\dots$ ，自项目开始以来的年数。

如抽样精度小于 90%（不确定性 > 10%，公式（19）），可通过额外增加样地数量或扣减一定比例的清除量：

（1）对碳储量变异较大的碳层，增加监测样地数量，并按上述方法设置样地进行补测，直到达到要求的监测精度要求；或

（2）采用下述方法，对监测的生物质碳储量进行扣减：

$$\Delta C_{Biomass_PROJ_R,t} = \Delta C_{Biomass_PROJ,t} \times (1 - DR) \quad \text{公式 (20)}$$

式中：

$\Delta C_{Biomass_PROJ_R,t}$ = 第 t 年时，扣减后的生物质碳储量的年变化量 ($t C \cdot a^{-1}$)；

$\Delta C_{Biomass_PROJ,t}$ = 第 t 年时，监测的生物质碳储量的年变化量 ($t C \cdot a^{-1}$)；

DR = 扣减率 (%)；

扣减率 (DR) 根据表 7-1 确定。

表 7-1 扣减率

不确定性 (u)	减扣比例 (DR)
$u \leq 10\%$	0%
$10\% < u \leq 20\%$	6%
$20\% < u \leq 30\%$	11%
$u > 30\%$	须额外增加样地数量，从而使测定结果达到精度要求

8 项目审定与核查要点

除符合《温室气体自愿减排交易管理办法（试行）》《温室气体自愿减排项目设计与实施规范》和《温室气体自愿减排项目审定与减排量核查实施规则》规定的基本要求外，针对造林碳汇项目，须重点审定和核查下列事项。

8.1 项目合格性的审定与核查要点

在项目审定时，核实项目边界内海域所有权或者使用权，以及减排量的归属权。可通过县（含）级以上人民政府核发的海域权属证书、自然资源管理部门提供的证明文件，或者自然保护区管理部门提供的证明文件，如项目涉及红树林自然保护区，需有保护区管理机构出具的支持文件。可通过项目业主与利用相关方（包括县级以上人民政府、海域行政管理部门、海域使用权人，红树林植被修复出资方等）签署的协议等核实项目减排量的归属权。

8.2 方法学适用性的审定与核查要点

通过判断项目设计文件中方法学的适用性论证,以及对适用性条件分析是否合理,确认项目是否选择了适用的方法学。重点确认:

(1) 通过项目前卫星影像资料、现场的调访和项目的相关文件分析确认项目区域在项目开始前是否为无植被滩涂或退养的养殖塘区域;可通过判断修复活动开始前项目边界内的退养和互花米草清除等工作是否已经完成进行核实;

(2) 通过项目前卫星影像资料、现场的调访和项目的相关文件分析确认连续植被修复最小面积不小于 400 m²;

(3) 查阅《中华人民共和国湿地保护法》《中华人民共和国海洋环境保护法》《中华人民共和国海域使用管理法》《中华人民共和国自然保护区条例》及各地市湿地保护条例、红树林保护条例(或规定),确认项目不违反有关法律法规;

(4) 若项目涉及实施滩涂填土、堆高或平整的项目,通过 RTK 系统测定改造后的滩涂高程,确认项目施工设计滩涂高程是否在当地潮间带平均大潮高潮和平均低潮水位之间;项目业主或参与方应在植被修复活动设计文件中明确项目区域平均大潮高潮和平均低潮水位,或提供当地不少于 5 年的历史潮汐水文数据及当地潮汐水位与 85 国家高程基准的转化关系;

(5) 核实选择的树种是否为红树林树种,我国红树林树种名录参考《红树林生态修复手册》(自然资办函(2021)1809 号附件)。通过查阅苗木采购合同、验收记录和现场观察等,确认树种描述是否准确。

(6) 通过植被修复活动设计文件及周边民众调研确认项目期间是否进行施肥管理促进红树植物生长。

8.3 项目边界的审定与核查要点

通过文件评审、现场核实等方式,对项目边界选择的准确性进行审定,在审定时,从每个碳层中以随机方式,选取至少 1 个地块,总选取地块不少于 5 个或选取地块面积不少于项目总面积的三分之一,要求如下:

(1) 利用 GNSS 或其它卫星定位系统,直接测定项目地块边界重要拐点坐标,单点定位误差不超过 1 m;

(2) 通过遥感影响分析,确认是否扣除宽度大于 3 m 的潮沟、道路和其他非项目的线状地形和地物,以及项目植被修复前已生长且覆盖度大于 5% 的红树林地块;

(3) 根据重要拐点坐标定位误差,估算面积测定误差,要求不超过 5%。

(4) 确认项目边界内无其他植被修复、开发等会影响项目碳储量的活动。

(5) 确认项目规模(监测边界内实施红树林植被修复的面积)变化是否超过 10%。若变化超过 10%,项目业主应重新开展项目设计、公示、审定,重新提交项目登记申请;重新提交登记申请的温室气体自愿减排项目,计入期最长不超过项目变化前计入期的剩余时限。

项目参与方须提交地理信息系统(GIS)产出的项目边界矢量数据文件(如 .shp 文件或 .kml 文件)。

通过项目区域遥感影像、植被修复设计图、植被修复验收报告等资料,核查红树林植被修复地块的实际边界与项目设计的边界是否一致,识别项目实施中出现的任何偏移或变更,并且确认偏移或变更是否符合方法学 7.3.6.1 节的要求。

项目设计边界内尚未实际实施的部分地块,如果面积 $\geq 400\text{m}^2$,须单独纳入新的碳层(未发生滩涂利用转化)或移出项目边界外(改变地块用途),并重新测定相关部分的项目边界坐标和面积。通过现场测定,核实并记录复核的相关地块的边界坐标(包括边界拐点坐标)和面积。

8.4 项目开始时间的审定与核查要点

通过对比项目开始前后的卫星遥感影像的方法，验证项目开始时间的真实性。项目业主须提供下列材料之一，说明项目的开始时间：

- (1) 经县级（含）以上行业主管部门批复的作业设计；
- (2) 项目业主与施工方签署的施工合同和相关付款证明；
- (3) 其他具有法律效力的、注明项目开始日期的文件；

如卫星遥感影像无法确认项目开始时间，可通过现场调研的方式确认。

如果一个项目具有多个现场，应当评估每一个现场，确定其实施状态和开始运行日期。

8.5 项目监测的审定与核查要点

确认项目是否按照方法学的要求制定了监测计划并实施，重点审定：

(1) 确认监测计划是否包含了监测计划实施的组织形式和职责分工，监测方法、程序和频次，数据记录与收集程序，数据抽样方案等；

(2) 确认项目分层、抽样设计和样地设计是否满足 90% 可靠性水平下 90% 的精度要求；

(3) 确认项目监测阶段碳层调整与地块生物质碳储量异质性变化的符合性，可使用项目开始时和发生干扰时的卫星影像进行对比，确定项目实施阶段碳层的调整；

(4) 确认固地样地的布设情况：若因两个样地边界间最小间距小于 10 m 的，明确调整前后样地的位置情况，确认是否按要求将两个样地顺着网格编号顺序各移动 2 个网格，以达到样地边界间最小间距大于 10 m；若因部分样方具有安全隐患，进行固地样方位置调整的，需确认调整前后样地滩涂高程、植被树种、种植密度及植被覆盖度等的情况及其样地调整的的必要性和合理性。

8.6 非持久性措施的审定与核查要点

确认项目设计文件是否清晰、合理地描述了减少红树林碳汇项目非持久性影响采取的措施。核实项目设计文件是否按本方法学的非持久性逆转风险值对申请登记的减排量进行了扣减计算。

8.7 参数的审定与核查

序号	内容	审定要点及方法	核查要点及方法
1	CF_j	- 确认树种 j 的生物质含碳率是否从 7.1 节提供的缺省值选择。	t
2	$f(x_{1,q,m}, x_{2,q,m}, x_{3,q,m}, \dots)$	- 确认红树植株生物量与测树因子的相关方程选择的合理性； - 若选择现有的、公开发表的相似生态条件下的生物量方程，应从区域、树种及测试因子等方面确认方程的适用范围；项目参与方应提供但不限于从生态学和生物学角度，对其合理性进行论证。	t

3	A_s	<ul style="list-style-type: none"> - 确认植物调查样地面积是否按“乔木型植被设置 10 m×10 m 样地，灌木型设置 5 m×5 m 样地（如植被密度较大时，可设置 2 m×2 m 样地）”； - 若样地内生长有桐花树等灌木型植物且生长密度高时，可在固定样地内随机设置小样方（如 2 m×2 m）进行植被调查。 	/
4	d_{SOC_PROJ}	确认是否按 7.1 节要求选择缺省值。	/
5	$F_{CH_4_PROJ, t}$	确认是否按 7.1 节要求选择缺省值。	/
6	GWP_{CH_4}	确认是否按 7.1 节要求选择缺省值。	/
7	$F_{N_2O_PROJ, t}$	确认是否按 7.1 节要求选择缺省值。	/
8	GWP_{N_2O}	确认是否按 7.1 节要求选择缺省值。	/
9	$A_{L,t}$	<ul style="list-style-type: none"> - 查阅项目设计文件，确认项目碳层划分的准确性； - 查阅项目监测记录，确认项目碳层调整的合理性； - 应确认空间数据分辨率不低于 2 m。 	<ul style="list-style-type: none"> - 若利用全球导航卫星系统（GNSS）或其它卫星定位系统，直接测定项目地块边界的拐点坐标的，应现场核查拐点情况，并确认单点定位误差不超过 1m； - 若利用地理空间数据（如卫星遥感影像、无人机航拍影像），在地理信息系统辅助下直接读取项目地块的边界坐标，应确认空间数据分辨率不低于 2 m，同时现场核查边界坐标的实际情况。
10	x_1, x_2, x_3, \dots	<ul style="list-style-type: none"> - 查阅项目设计文件，根据选择的生物量方程，确认测试因子选择的准确性 	<ul style="list-style-type: none"> - 须从监测样地中，随机选择至少 5 个样地，每个碳层至少 1 个监测样地，进行现场测定，包括样地位置、面积以及株数、胸（基）径和株高，并与项目参与方测定结果进行对比，其中胸（基）径和株高测定误差不超过 5%。

9 方法学编制单位

在本方法学编制工作中，自然资源部第三海洋研究所以及北京市企业家环保基金会、大自然保护协会北京代表处、北京林业大学、厦门大学、海南省环境科学研究院、国家海洋信息中心等单位作出积极贡献。

附录一 我国红树林植被修复常用树种生物量方程

树种	植被类型	适用范围			计算公式	来源
		地区	高度/m	胸(地)径/cm		
秋茄	乔木/小乔木/灌木	福建莆田及其以北	0.35-1.80	/	$B_T = 0.100923 \times D_{0.1H}^{1.446}$	[18]
		福建泉州及其以南	<5.5	<12.6	$B_T = 0.03999 \times (DBH^2 \times H)^{1.053} + 0.02972 \times (DBH^2 \times H)^{0.990}$	[36]
桐花树	灌木	全国	1.4~2.49	2.5~9.2	$B_T = 0.02689 \times D_0^{2.01907}$	[25,37]
白骨壤	乔木/小乔木/灌木	全国	<5.6	<14.3	$B_T = 0.94624 \times (DBH^2 \times H)^{0.529} + 0.07962 \times (DBH^2 \times H)^{0.615}$	[36]
木榄、海莲 尖瓣海莲	乔木/小乔木	全国	/	<25	$B_T = 0.186 \times DBH^{2.31} + 0.4697 \times DBH^{1.5543}$	[38,39]
红海榄	乔木/小乔木	全国	/	<17	$B_T = 0.40179 \times DBH^{2.291}$	[40]
正红树	乔木/小乔木	全国	/	<28	$B_T = 0.235 \times DBH^{2.42} + 0.00698 \times DBH^{2.61}$	[41]
木果楝	乔木	全国	/	<25	$B_T = 0.0823 \times DBH^{2.59} + 0.145 \times DBH^{2.55}$	[38,42]
无瓣海桑	乔木	全国	<15.5	<56.5	$B_T = 0.033 \times (DBH^2 \times H)^{1.002}$	[16]
其他海桑属	/	全国	<13	<7	$B_T = 0.11105 \times (DBH^2 \times H)^{0.807}$	[43]
其他通用	/	全国	/	<45	$B_T = 0.251 \times \rho \times DBH^{2.46} + 0.199 \times \rho^{0.899} \times DBH^{2.22}$	[44]

注 1: 有些红树植物(如秋茄)在不同的地区表现出不同的形态, 根据具体树种在项目所在地区表现出的类型进行确定;

注 2: B_T 表示植株总生物量, 单位为 kg d.m; H 表示株高; DBH 表示胸径; D_0 表示基径; $D_{0.1H}$ 表示十分之一处直径;

注 3: 当无适用生物量方程时, 可选择“其他通用”生物量方程; 其中 ρ 树种木材密度, 可选择文献公开报道的树种木材密度, 若无用密度, 可选择平均默认值 0.6 g m^{-3} 。

参考文献

- [1] Chen JH, Gao M, Chen GC, Zhu H, Ye Y, 2022. Biomass accumulation and organic carbon stocks of *Kandelia obovata* mangrove vegetation under different simulated sea levels. *Acta Oceanologica Sinica* 41(8), 78–86.
- [2] Chen SY, Chen B, Chen GC, Ji JF, Yu WW, Liao JJ, Chen GL, 2021. Higher soil organic carbon sequestration potential at a rehabilitated mangrove comprised of *Aegiceras corniculatum* compared to *Kandelia obovata*. *Science of The Total Environment* 752, 142279.
- [3] Feng JX, Cui XW, Zhou J, Wang LM, Zhu XS, Lin GH, 2019. Effects of exotic and native mangrove forests plantation on soil organic carbon, nitrogen, and phosphorus contents and pools in Leizhou, China. *CATENA* 180, 1-7.
- [4] Feng JX, Zhou J, Wang LM, Cui XW, Ning CX, Wu H, Zhu XS, Lin GH, 2017. Effects of short-term invasion of *Spartina alterniflora* and the subsequent restoration of native mangroves on the soil organic carbon, nitrogen and phosphorus stock. *Chemosphere* 184, 774-783.
- [5] He ZY, Peng YS, Guan DS, Hu Z, Chen YJ, Lee SY, 2018. Appearance can be deceptive: shrubby native mangrove species contributes more to soil carbon sequestration than fast-growing exotic species. *Plant and Soil* 432, 425-436.
- [6] Lu WZ, Yang SC, Chen LZ, Wang WQ, Du XN, Wang CM, Ma Y, Lin GX, Lin GH, 2014. Changes in carbon pool and stand structure of a native subtropical mangrove forest after inter-planting with exotic species *Sonneratia apetala*. *PLoS One* 9(3), e91238.
- [7] Lunstrum A, Chen L, 2014. Soil carbon stocks and accumulation in young mangrove forests. *Soil Biology and Biochemistry* 75, 223-232.
- [8] Ratul SB, Gu XX, Qiao PY, Sagala FW, Nan S, Islam N, Chen LZ, 2022. Blue carbon sequestration following mangrove restoration: evidence from a carbon neutral case in China. *Ecosystem Health and Sustainability* 8(1), 2101547.
- [9] Ren H, Chen H, Li ZA, Han WD, 2010. Biomass accumulation and carbon storage of four different aged *Sonneratia apetala* plantations in Southern China. *Plant and Soil* 327, 279-291.
- [10] Wang G, Zhang YS, Guan DS, Xiao L, Singh M, 2021. The potential of mature *Sonneratia apetala* plantations to enhance carbon stocks in the Zhanjiang Mangrove National Nature Reserve. *Ecological Indicators* 133, 108415.
- [11] Xu YW, Liao BW, Jiang ZM, Xin K, Xiong YM, Zhang Y, 2021. Examining the differences between invasive *Sonneratia apetala* and native *Kandelia obovata* for mangrove restoration: Soil organic carbon, nitrogen, and phosphorus content and pools. *Journal of Coastal Research* 37(4), 708-715.
- [12] Yu CX, Feng JX, Liu K, Wang G, Zhu YH, Chen H, Guan DS, 2020. Changes of ecosystem carbon stock following the plantation of exotic mangrove *Sonneratia apetala* in Qi'ao Island, China. *Science of The Total Environment* 717, 137142.
- [13] Yu CX, Guan DS, Wang G, Lou D, Wei L, Zhou Y, Feng JX, 2021. Development of ecosystem carbon stock with the progression of a natural mangrove forest in Yingluo Bay, China. *Plant and Soil* 460, 391-401.
- [14] Zhang YS, Yu CX, Xie JJ, Du ST, Feng JX, Guan DS, 2021. Comparison of fine root biomass and soil organic carbon stock between exotic and native mangrove. *Catena* 204, 105423.
- [15] 高天伦, 管伟, 毛静, 姜仲茂, 廖宝文, 2017. 广东省雷州附城主要红树林群落碳储量及其影响因素. *生态环境学报* 26(6), 985-990.

- [16] 胡懿凯, 徐耀文, 薛春泉, 罗勇, 廖宝文, 朱宁华, 2019. 广东省无瓣海桑和林地土壤碳储量研究. 华南农业大学学报 40(6), 95-103.
- [17] 胡懿凯, 2019. 淇澳岛不同恢复类型红树林碳密度和固碳速率比较研究. 中南林业科技大学.
- [18] 金川, 王金旺, 郑坚, 陈秋夏, 李俊清, 卢翔, 2012. 异速生长法计算秋茄红树林生物量. 生态学报 32(11), 3414-3422.
- [19] 林金顺, 2005. 福建省平潭沿海秋茄人工林群落的生物量研究. 防护林科技 (2), 6-8.
- [20] 林鹏, 卢昌义, 王恭礼, 陈焕雄, 1990. 海莲红树林的生物量和生产力. 厦门大学学报 (自然科学版) 29(2), 209-213.
- [21] 林鹏, 尹毅, 卢昌义, 1992. 广西红海榄群落的生物量和生产力. 厦门大学学报 (自然科学版) 31(2), 200-202.
- [22] 林鹏, 卢昌义, 林光辉, 陈荣华, 苏麟, 1985. 九龙江口红树林研究——I. 秋茄群落的生物量和生产力. 厦门大学学报(自然科学版) 24(4), 508-514.
- [23] 毛子龙, 杨小毛, 赵振业, 赖海东, 杨道运, 吴纯玲, 徐华林, 2012. 深圳福田秋茄红树林生态系统碳循环的初步研究. 生态环境学报 21(7), 1189-1199.
- [24] 缪绅裕, 陈桂珠, 陈正桃, 吴中亨, 1998. 广东湛江保护区红树林种群的生物量及其分布格局. 广西植物 18(1), 11-23.
- [25] 宁世江, 蒋运生, 邓泽龙, 李信贤, 1996. 广西龙门岛群桐花树天然林生物量的初步研究. 植物生态学报 20(1), 57-64.
- [26] 彭聪姣, 钱家炜, 郭旭东, 赵何伟, 胡娜胥, 杨琼, 陈长平, 陈鹭真, 2016. 深圳福田红树林植被碳储量和净初级生产力. 应用生态学报 27(7), 2059-2065.
- [27] 宋建阳, 张汝国, 2000. 珠江口红树群落钾的累积和循环研究. 土壤与环境 9(2), 106-109.
- [28] 王韧, 李晓景, 蔡金标, 张典铨, 何东进, 刘翠, 王其炳, 郑开基, 林峰, 2010. 闽东沿海秋茄天然林与人工林生物量比较. 西南林业大学学报 30(1), 16-20.
- [29] 叶思敏, 2015. 泉州湾河口湿地碳贮量及分布格局. 中国林业科学研究院.
- [30] 尹毅, 范航清, 苏相洁, 1993. 广西白骨壤群落的生物量研究. 广西科学院学报 9(2), 19-24.
- [31] 咎启杰, 王勇军, 廖宝文, 郑德璋, 2001. 无瓣海桑、海桑人工林的生物量及生产力研究. 武汉植物学研究 19(5), 391-396.
- [32] 朱可峰, 廖宝文, 章家恩, 2011. 广州市南沙红树植物无瓣海桑、木榄人工林生物量的研究. 林业科学研究 24(4), 531-536.
- [33] 曹庆先, 2010. 北部湾沿海红树林生物量和碳贮量的遥感估算. 中国林业科学研究院.
- [34] 郑文教, 薛雄志, 林鹏, 1995a. 福建秋茄红树林碳氢氮素的动态研究. 生态学报 15(3), 229-234.
- [35] 郑文教, 林鹏, 薛雄志, 卢昌义, 郑逢中, 尹毅, 1995b. 广西红海榄红树林 C、H、N 的动态研究. 应用海洋学报 6(1), 17-22.
- [36] Tam NFY, Wong YS, Lan CY, Chen GZ, 1995. Community structure and standing crop biomass of a mangrove forest in Futian Nature Reserve, Shenzhen, China. In: Wong YS, Tam NFY (eds) Asia-Pacific Symposium on Mangrove Ecosystems. Developments in Hydrobiology, vol 106. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-011-0289-6_23
- [37] 何琴飞, 郑威, 黄小荣, 刘秀, 申文辉, 何峰, 2017. 广西钦州湾红树林碳储量与分配特征. 中南林业科技大学学报, 37(11): 121-126.
- [38] Clough BF, Scott K, 1989. Allometric relationships for estimating above-ground biomass in

- six mangrove species. *Forest Ecology and Management* 27(2), 117-127.
- [39] 廖宝文, 郑德璋, 郑松发, 1991. 木榄林生物量和生产力的研究. *林业科学研究* 4(1), 22-29.
- [40] Comley BWT, McGuinness KA, 2005. Above-and below-ground biomass, and allometry, of four common northern Australian mangroves. *Australian Journal of Botany* 53, 431-436.
- [41] Ong JE, Gong WK, Wong CH, 2004. Allometry and partitioning of the mangrove, *Rhizophora apiculata*. *Forest Ecology and Management* 188, 395-408.
- [42] Pongpan S, Komiyama A, Jintana V, Piriyaota S, Sangtuan T, Tanapermpool P, Patanaponpaiboon P, Kato S, 2002. A quantitative analysis on the root system of a mangrove, *Xylocarpus granatum* Koenig. *Tropics* 12(1), 35-42.
- [43] 廖宝文, 郑德璋, 郑松发, 1990. 海桑林生物量的研究. *林业科学研究* 3(1), 47-54.
- [44] Komiyama A, Pongpan S, Kato S, 2005. Common allometric equations for estimating the tree weight of mangroves. *Journal of Tropical Ecology* 21, 471-477.
- [45] 徐耀文, 姜仲茂, 武锋, 杨倩梨, 廖宝文, 2020. 翠亨湿地无瓣海桑人工林土壤有机碳分布特征及与土壤理化指标相关性. *林业科学研究* 33(1), 62-68.
- [46] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2021. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*.