

### 滨海蓝碳碳汇调查与核算技术指南 第4部分：盐沼

Technical Guide for the Survey and Accounting of Coastal Blue Carbon Sink,  
Part 4: Salt Marsh

2025 - 01 - 23 发布

2025 - 04 - 23 实施



## 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 盐沼碳汇野外调查方法 .....	2
5 盐沼碳储量核算方法 .....	6
6 盐沼碳汇核算方法 .....	12
附录 A（资料性） 用互花米草地上生物量估算地下生物量的方程 .....	14
附录 B（规范性） 生态系统状况的数据记录表 .....	15
附录 C（规范性） 植被和土壤样品数据记录表 .....	16
附录 D（规范性） 植被和土壤样品核算指标记录表 .....	17
附录 E（资料性） 盐沼土壤有机碳含量数据 .....	18
附录 F（资料性） 盐沼土壤有机碳累积速率数据 .....	19
附录 G（资料性） 盐沼植物净初级生产力数据 .....	20
附录 H（资料性） 广东省盐沼分布图 .....	21
参考文献 .....	22

## 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。

本文件由广东省生态环境厅提出、归口，并组织实施。

本文件是《滨海蓝碳碳汇能力调查与核算技术指南》的第4部分：

- 第1部分：通则；
- 第2部分：红树林；
- 第3部分：海草床；
- 第4部分：盐沼。

本文件起草单位：广东工业大学、湛江市生态环境局。

本文件主要起草人：欧阳晓光、沈小梅、张远、郭芬、王宗阳、曾雪兰、祝振昌、罗丽娟、聂思琦、邢万里、冼献波、伍复胜。

## 滨海蓝碳碳汇调查与核算技术指南 第4部分：盐沼

### 1 范围

本文件规定了盐沼生态系统碳汇调查与核算的术语和定义、调查方法、核算方法等技术要求。本文件适用于广东省行政管辖范围内盐沼生态系统碳汇调查与核算。

### 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 15919 海洋学术语

HY/T 0349—2022 海洋碳汇核算方法

LY/T 2253—2014 造林项目碳汇计量监测指南

### 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1

##### **盐沼 salt marsh**

分布在河口或海滨浅滩含有大量盐分的湿地。

[来源：HY/T 0349—2022, 3.3]

#### 3.2

##### **碳库 carbon pool**

碳的储存库，通常包括地上生物量、地下生物量、枯落物、附生物和土壤有机质。

[来源：LY/T 2253—2014, 有修改]

#### 3.3

##### **碳储量 carbon stocks**

一定体积的蓝碳生态系统中存储的有机碳总量。碳储量包含一个或者多个碳库的碳总量。

[来源：ISBN: 9787561570968-2018]

#### 3.4

##### **土壤有机碳 soil organic carbon**

一定深度内（通常为1.0 m）矿质土和有机土（包括泥炭土）中的有机碳，包括难以从地下生物量中区分出来的细根（小于2 mm）。

[来源：LY/T 2253—2014, 3.17]

#### 3.5

##### **土壤无机碳 soil inorganic carbon**

碳酸盐中的碳组分（如CaCO<sub>3</sub>）和在滨海土壤中的贝壳和珊瑚块。

[来源：ISBN: 9787561570968-2018]

### 3.6

#### 异速生长方程 **anisotropic growth equation**

建立容易测定的特征参数（如茎高和直径）和难以测定的特征参数（如生物量）之间的数量关系。

[来源：ISBN: 9787561570968-2018]

## 4 盐沼碳汇野外调查方法

### 4.1 调查方案制定

#### 4.1.1 盐沼的碳库

盐沼碳库分为植被碳库和土壤碳库。其中，植被碳库包括地上活生物量、地上死生物量和地下活生物量，土壤碳库即为地下死生物量。

#### 4.1.2 面积的确定

盐沼的边界宜通过地图、海图、地形图、航空或卫星遥感影像以及文献、历史调查资料确定。对于缺乏资料的调查对象，须在实地踏勘和预调查的基础上确定边界。调查边界须精确绘制并标明经纬度，从盐沼碳汇调查与计算的可操作性出发，仅调查面积0.5公顷以上的盐沼。

#### 4.1.3 样方位置

盐沼常用的样方设置方法可分为以下三步：

- a) 依据生态特征聚类对盐沼进行分区（相对的分區），这些分区通常平行于岸线或潮沟。
- b) 由于盐沼的固有结构，分区后的样地常常垂直于主要潮沟和岸线，涵盖所有的植被和其他结构梯度。
- c) 需要在每个分区中设定足够的样方来测定生物量，每个分区的样方大小约为 20 m×50 m。在这些样方内随机设置五六个小样方（0.25 m×0.25 m），使其能描述生物量的特征。

#### 4.1.4 样方数量

异质性较高的区域会造成碳汇核算具有很大的不确定性。在理想状态下，须预先估测研究地点现存碳储量和测量方法带来的误差。在资源（预算和时间）允许的条件下，第一次测量时宜多选择样方，后续的测量中可利用这些原始数据来决定是否增加或减少样方，至少在近岸-中部-近海梯度上设置3个分区和15个小样方。

#### 4.1.5 测定频率的确定

测定频率须考虑当地法规、管理或资金的需求，资源的可用性；也取决于被测定的碳库。对于生物量碳的测定，宜每年在地上生物量达到峰值的时候（每年7月-9月）进行测量；重复测定宜在每年的同一时间进行，以保证结果的可比性。

### 4.2 盐沼植被碳汇调查

#### 4.2.1 野外采样工具

野外采样工具包括：

- a) 卫星定位仪：用于确定样地位置；
- b) 卷尺，50 m 和 2 m 玻璃纤维卷尺：用于确定样地；

- c) 剪刀或镰刀：用于采集草本植物等地表生物量；
- d) 塑料样品袋：存放样品；
- e) 标桩：长 1.5 m，粗 50 mm 的 PVC 或其他材质的管材；
- f) 印制好的现场记录表：记录调查数据；
- g) 防水文具及胶带：标记样品。

#### 4.2.2 禾草、莎草和其他草本植物生物量调查

常用样方法包括样地实测法和异速生长方程法（附录A）。

样地实测法：通过对样地内植物进行收割，估算单位面积的地上生物量，该方法成熟、可靠，适合于小尺度生物量估算。

异速生长方程法是测量样方中出现的每种植物的植株总株高，再根据异速生长方程计算获得。步骤包括：

- a) 设定样方，大小一般为 30 cm×30 cm，如果 30 cm×30 cm 的区域内只有不到 10 株植株，就需要更大的样方。在每个样方内，计数每种植物的茎干数量（盐沼植物通常有比较大的单个茎干，但也有例外），测定样方中出现的每种植物的植株总株高。如果植株顶端已经衰老（立枯物），就测定绿色活体部分的高度；
- b) 建立特定物种和特定区域的异速生长方程来测定盐沼的生物量：每个物种至少需要 50 株植株，且需要涵盖测定区域中所有植株的株高范围，测定每株植株绿色部分的茎高度；
- c) 异速生长方程的获得：将样方中已测量株高的草本植物，在实验室中烘干茎干至恒重（60 °C 大约烘 72 h），以此确定植物生物量，拟合出代表植物生物量和株高的异速生长方程（回归分析法）；
- d) 将 30 cm×30 cm 的样方中所有同种植株的平均高度代入方程中，算出样方内该种植物的总生物量。

#### 4.2.3 灌木生物量调查

可根据灌木异速生长方程法或通过体积转化法计算灌木生物量。

异速生长方程法：可根据离地表 30 cm 高处的主干直径和树冠体积估算单一植物的地上部分生物量，或利用冠幅和支柱根数量构建异速生长方程。步骤包括：

- a) 针对每个树种测定 15 棵~25 棵树（从最小的幼苗到最大的树木）。通常测量其冠幅、树冠体积、树冠面积、树高和离地面 30 cm 处的直径，收获和带回实验室烘干，获得生物量；
- b) 研究生物量与测量参数（树冠直径、树冠面积和体积、主茎离地面 30 cm 处的直径）之间的关系并进行回归分析。

体积转化法：可采用三维激光扫描仪扫描整颗灌木，获得三维点云数据并计算灌木体积，结合灌木的木材密度估算木材生物量。

#### 4.2.4 凋落物生物量调查

在所有研究中，凋落物层（地上死生物量）都是破坏性取样的。在样方内（如 50 cm×50 cm），收集所有容易从土壤表面移除的枯枝落叶，用样品袋或容器带回实验室，将这些样品（或者重新分出的部分样品）烘干到恒重，测定生物量。

#### 4.2.5 地下生物量

##### 4.2.5.1 异速生长方程法

获得盐沼的地上生物量后，可以采用异速生长方程（附录A）计算相对应的地下生物量，估算给定面积内的总地下生物量。

#### 4.2.5.2 直接取样法

直接取样是测定地下生物量最准确的方法。步骤如下：

- a) 用直径为 10 cm 的采样器（根钻）对地下样品进行取样。推荐采集 1 m 深的样品，而且有根据表明盐沼植物也能吸收到这个深度的淡水。上层的柱状样以每层 2.5 cm 进行取样（如在 2.5 cm、5.0 cm、7.5 cm、12.5 cm、15.0 cm、22.5 cm 和 25.0 cm 深度取样）；而在比较深的位置以每层 5 cm 的间隔取样，即分别在 35.0 cm、45.0 cm、55.0 cm 和 65.0 cm 的深度切下 5 cm 宽的土柱。同时，建议增加对 75.0 cm 和 95.0 cm 两层的取样。
- b) 样品用 1 mm 的筛网淘洗，肉眼分出根系、地下茎和死的凋落物。
- c) 通过辨别颜色和质地把活的和死的材料分开。将活根和根状茎在 60 °C 烘干至恒重。
- d) 每个样品的地下生物量 (g) = 样品干重 (g)。
- e) 每个样品的地下生物量(整个根钻, g/cm<sup>2</sup>)=各片段生物量加和/采样面积(根钻表面积, cm<sup>2</sup>)。
- f) 单位面积地下生物量 (g/cm<sup>2</sup>) = n 个样品生物量加和/n。

生态系统状况、植被和土壤样品数据和核算指标记录见附录B、C和D。

#### 4.2.6 室内分析方法

##### 4.2.6.1 干重测定

草本植物、灌木和凋落物等野外收集样品干重的测定，使用烘箱把样品烘干至恒重，推荐温度为 60 °C，一般烘干24 h~72 h（具体时间视样品量而定），期间可多次取出样品称量其干重，直至达到恒重，记录其最终数值。

##### 4.2.6.2 木材密度测定

一般采用文献资料，如实际测量，可采用如下方法：

通过获取木材样品（灌木）体积和干重进行木材密度的计算。采样时，通常是割去一小部分树皮，切下树枝的一小段（约2.5 cm），从主茎（从固定的高度取样）中取木材，取样量0.5 g~50 g，将其带回实验室。木材样品体积可通过排水法获得。木材样品放到通风良好的烘箱中，60 °C烘干至恒重。用公式（1）计算样品木材密度；计算多个样品（3个以上）的平均值可作为每种物种的木材密度。

$$\rho_{\text{木材}} = M/V_{\text{样品}} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$\rho_{\text{木材}}$  ——木材密度，单位为克每立方厘米（g/cm<sup>3</sup>）；

M ——木材干重，单位为克（g）；

$V_{\text{样品}}$  ——新鲜木材样品的体积，单位为立方厘米（cm<sup>3</sup>）。

##### 4.2.6.3 碳转换系数测定

草本植物、灌木和凋落物等碳库的碳转换系数，可采集样品带回实验室，并用元素分析仪测定其有机碳含量（%），该数值即为碳转换系数。

盐沼草本植物的碳转换系数也可以直接采用0.45。



灌木的碳转换系数可以采用校正的灌木红树植物的碳转换系数计算，为0.46~0.50。

### 4.3 盐沼土壤碳汇调查

#### 4.3.1 野外采样工具

野外采样工具包括：

- a) 土壤深度探测器（选用）：测定土壤深度；
- b) 卷尺：测定土样的厚度及土柱的深度；
- c) 土柱采样器：采集土柱样品（也可测定土壤深度）；
- d) 卫星定位仪：记录采集土柱样品的位置；
- e) 塑料样品袋：存放样品；
- f) 防水文具及胶带：标记样品；
- g) 相机：归档样品外观及编号。

#### 4.3.2 土柱采集深度

取样深度取决于土壤性质（矿质土或有机土）和设备能到达的土壤深度这两个因素。盐沼土壤碳储量评估推荐土壤采集深度为1 m的土样。

#### 4.3.3 土柱的采样步骤

土柱的采样包括以下步骤：

- a) 去除采样土壤表面凋落物层和活体组织。
- b) 稳稳地将采样器垂直插入土壤中，直至采样器的顶部与土壤表面齐平。采样器插进土壤时须稳而慢（轻敲锤子），采样器尽量不挤压土壤。遇见大的根系或者珊瑚礁碎片，采样器无法深入时，不要用蛮力推压，另选一个位置采样或者更换采样工具切断阻碍物。
- c) 到达所需深度后，扭转采样器将残留的细根切断，顶部端口密封（真空可以防止样品丢失）。然后，缓慢拔出采样器，拔出同时注意继续扭转采样器，完整取得土壤样品。

#### 4.3.4 土柱分层采样

土柱分层采样依深度范围划分为0 cm~15 cm、15 cm~30 cm、30 cm~50 cm、50 cm~100 cm和超过100 cm。当土壤深度超过100 cm时，以不超过2 m的间隔进行土柱采样。深层土壤碳含量随深度的变化通常趋于缓慢。

采集样品时，样品单独放置在有编号的塑料容器或袋子中，记录包括采样地点、样方编号、土柱识别号、土壤深度、日期、采样装置及其他相关信息。

#### 4.3.5 样品存储与运输

为了减少有机物分解和微生物生长，样品须低温（4 ℃）保存，尽可能在收集后24 h内进行冷冻或干燥。干燥后样品分解速率降到最低，可储存多年。

#### 4.3.6 室内分析方法

为了准确测定土壤碳密度，先量化两个参数：容重和有机碳含量（C<sub>org</sub>）。土壤样品须被烘干直至恒重，一旦样品达到恒重，就可用样品的质量和体积来确定容重。分析容重前，不去除无机碳（如碳酸钙质地的贝壳）。

##### 4.3.6.1 容重测定

容重 (DBD) 由完全干燥的样品质量和原始体积来确定, 如公式 (2) 所示:

$$DBD = M / V \dots\dots\dots (2)$$

式中:

DBD ——土壤容重, 单位为克每立方厘米 (g/cm<sup>3</sup>);

M ——土壤干重, 单位为克 (g);

V ——子样品原始体积, 单位为立方厘米 (cm<sup>3</sup>);

测定原始体积时, 需确定所使用土柱采样器的类型和内径 (如封闭式土壤采样管或注射器)、样品的厚度 (如果是从较大的土柱上切割下来的) 或样品的长度 (如果用注射器取样)。如果容重样品取自完整的土柱, 采用圆柱体积的数学公式计算土壤样品的体积, 如公式 (3) 所示:

$$V = \pi \times R^2 \times H \dots\dots\dots (3)$$

式中:

R ——圆柱体采样器的半径, 单位为厘米 (cm);

H ——子样品的厚度, 单位为厘米 (cm);

如果样品取自对半劈开的土柱, 使用相同的方程来确定完整土柱体积时, 体积减半。

#### 4.3.6.2 土壤有机碳含量测定方法

土壤有机碳含量的测定主要采用元素分析法 and 灼烧失重法。盐沼土壤有机碳含量参考数据见附录E。

### 5 盐沼碳储量核算方法

#### 5.1 盐沼植被碳储量核算

##### 5.1.1 禾草、莎草和其他草本植物

草本植物的碳含量通过物种的单株生物量 (可通过异速生长方程计算得到) 乘该物种的碳转换系数获得。草本植物碳含量和总生物量成正比, 通过乘以碳转换系数估算样方中所有草本植被碳含量。转换公式如下:

$$C_{\text{草本}} = W_{\text{草本}} \times N_{\text{草本}} \dots\dots\dots (4)$$

式中:

C<sub>草本</sub> ——草本碳含量, 单位为千克 (kg);

W<sub>草本</sub> ——草本总生物量, 单位为千克 (kg);

N<sub>草本</sub> ——碳转换系数。

##### 5.1.2 灌木

基于样方中所有灌木生物量之和, 乘以碳转换系数核算样方中灌木植被碳含量, 如公式 (5) 所示:

$$C_{\text{灌木}} = W_{\text{灌木}} \times N_{\text{灌木}} \dots\dots\dots (5)$$

式中：

$C_{\text{灌木}}$  ——灌木碳含量，单位为千克（kg）；

$W_{\text{灌木}}$  ——灌木总生物量（地上+地下），单位为千克（kg）；

$N_{\text{灌木}}$  ——碳转换系数。

### 5.1.3 凋落物层

基于小样方调查以及室内测定结果，通过生物量和碳转换系数乘积得到相应碳含量。

### 5.1.4 地下生物量

地下生物量碳含量的测定（kg C/m<sup>2</sup>）：将生物量（kg）乘该区域草本植物特定物种的碳转换系数。其中，生物量既可使用根钻取样得到的结果，也可以采用异速生长方程的计算结果。如果通过异速生长方程计算整个样方的生物量，则将生物量乘碳转换系数得到样方内所有地下生物量的碳含量，如公式(6)所示：

$$C_{\text{地下}} = W_{\text{地下}} \times N_{\text{地下}} \dots\dots\dots (6)$$

式中：

$C_{\text{地下}}$  ——地下组分的碳含量，单位为千克（kg）；

$W_{\text{地下}}$  ——估算的地下生物量，单位为千克（kg）；

$N_{\text{地下}}$  ——碳转换系数。

如果生物量通过根钻采样获得，采样面积的地下生物量乘碳转换系数之后，将根钻直径上推到样地面积，获得样地面积内的地下生物量的碳含量。

### 5.1.5 植被总碳储量

区域内每种植被组分（凋落物层、草本植物和灌木等）的碳含量加和得到植被总碳储量，可以通过以下步骤获得：

- a) 测定样方面积内各组分的碳含量。
- b) 把样方面积内各个组分碳含量的单位转换成碳储量评估的常用单位（Mg C/ha），可以用 Mg/1000kg 和 10000 m<sup>2</sup>/ha，单位转换方法如下：

$$CN_{\text{植被组分}} = CN_{\text{植被组分}} \times (\text{Mg}/1000 \text{ kg}) \times 10000 \text{ m}^2/\text{ha} \dots\dots\dots (7)$$

式中：

$CN_{\text{植被组分}}$  ——每种植被组分的生物碳储量，单位为兆克碳每公顷（Mg C/ha）；

$CN_{\text{植被组分}}$  ——每种植被组分的生物碳含量，单位为千克碳每平方米（kg C/m<sup>2</sup>）；

针对每种植被组分算一遍。

c) 在单个样方内，对所有植被组分的碳库求和。

$$CN_{\text{总植被}} = CN_{\#1 \text{ 组分}} + CN_{\#2 \text{ 组分}} + \dots + CN_{\#n \text{ 组分}} \dots\dots\dots (8)$$

式中：

$CN_{\text{总植被}}$ ——样方内总植被碳储量，单位为兆克碳每公顷（Mg C/ha）；

$CN_{\#i \text{ 组分}}$ ——样方内*i*组分的碳储量，单位为兆克碳每公顷（Mg C/ha）；

每个样方都要算一遍。

d) 确定样方内平均植被碳库，计算相关的标准差来确定变异程度或离散程度。

$$\overline{CN}_{\text{植被}} = [CN_1 + CN_2 + \dots + CN_n]/n \dots\dots\dots (9)$$

式中：

$\overline{CN}_{\text{植被}}$ ——样方的平均植被碳储量，单位为兆克碳每公顷（Mg C/ha）；

$CN_i$ ——*i*样方的总植被碳储量，单位为兆克碳每公顷（Mg C/ha）；

*n*——样方数量。

标准差表示数据如何密集地聚集在平均值周围，如公式（10）所示：

$$\sigma_A = \sqrt{\frac{(CN_1 - \overline{CN}_{\text{植被}})^2 + (CN_2 - \overline{CN}_{\text{植被}})^2 + \dots + (CN_n - \overline{CN}_{\text{植被}})^2}{(n-1)}} \dots\dots\dots (10)$$

式中：

$\sigma_A$ ——样方植被碳储量的标准差，单位为兆克碳每公顷（Mg C/ha）；

$\overline{CN}_{\text{植被}}$ ——样方的平均植被碳储量，单位为兆克碳每公顷（Mg C/ha）；

$CN_i$ ——*i*样方的总植被碳储量，单位为兆克碳每公顷（Mg C/ha）；

*n*——样方数量。

e) 根据样方内平均植被碳库及小区面积，获得小区生态系统总碳储量，如公式（11）所示：

$$CN_{\text{小区植被}} = \overline{CN}_{\text{植被}} \times A_{\text{小区}} \dots\dots\dots (11)$$

式中：

$CN_{\text{小区植被}}$ ——小区的植被碳储量，单位为兆克碳（Mg C）；

$\overline{CN}_{\text{植被}}$ ——样方内平均植被碳储量，单位为兆克碳每公顷（Mg C/ha）；

$A_{\text{小区}}$ ——小区面积，单位为公顷（ha）。

将各个小区的植被碳储量加和起来，得到总植被碳储量，如公式（12）所示：

$$CN_{\text{区域植被}} = CN_{\#1 \text{ 小区植被}} + CN_{\#2 \text{ 小区植被}} + \dots + CN_{\#n \text{ 小区植被}} \dots\dots\dots (12)$$

式中：

$CN_{\text{区域植被}}$ ——区域植被的总碳储量，单位为兆克碳（Mg C）；

$CN_{\text{\#i小区植被}}$ ——i小区植被的总碳储量，单位为兆克碳（Mg C）；

f) 要获得这些相关测定值的变异程度或离散程度，还需要计算所有数据的标准差。首先，计算每个小区样方植被碳储量的标准差，在每一小区中，通过公式（10）计算出来的样方植被碳储量的标准差乘每一小区的面积；然后，把每一小区的平均标准差加起来计算所有数据的标准差。

如公式（13）所示：

$$\sigma_{\text{总植被}} = \sqrt{(\sigma_A \times A_{\text{\#i小区}})^2 + (\sigma_B \times B_{\text{\#i小区}})^2 + \dots + (\sigma_A \times C_{\text{\#i小区}})^2} \dots\dots\dots (13)$$

式中：

$\sigma_{\text{总植被}}$ ——区域平均植被碳储量的标准差，单位为兆克碳（Mg C）；

$\sigma_i$ ——i小区植被平均碳储量的标准差，单位为兆克碳（Mg C）；

$A_{\text{i小区}}$ ——i小区的面积，单位为公顷（ha）。

这种方法可以在添加平均值时使用，和组合来自各个小区数据时一样。

g) 最终，植被碳储量将以“平均值±总标准差”来表示， $CN_{\text{区域植被}}$ （从公式 12 计算得到）±  $\sigma_{\text{总植被}}$ （从公式 13 计算得到）。另外，最小和最大总碳储量也可以通过先乘区域面积，再乘最小和最大植被碳储量得到。

## 5.2 盐沼土壤碳储量核算

项目区域内的土壤总碳储量是由一定区域内的碳含量和土壤深度决定的，总碳储量计算如下：

a) 对于土柱每段取样间隔的子样品，用公式（14）计算土壤有机碳密度：

$$\rho = DBD \times (\%C_{\text{有机碳}}/100) \dots\dots\dots (14)$$

式中：

$\rho$ ——土壤有机碳密度，单位为克每立方厘米（g/cm<sup>3</sup>）；

DBD——土壤容重，单位为克每立方厘米（g/cm<sup>3</sup>）；

$\%C_{\text{有机碳}}$ ——有机碳含量；

b) 将步骤 a)中获得的每个土壤样品的碳密度值乘样品间隔的厚度，按公式（15）计算土柱各层样品的碳含量：

$$C_{\text{各层样品}} = \rho \times D \dots\dots\dots (15)$$

式中：

$C_{\text{各层样品}}$ ——各层样品碳含量，单位为克每平方厘米（g/cm<sup>2</sup>）；

$\rho$ ——土壤碳密度，单位为克每立方厘米（g/cm<sup>3</sup>）；

D——取样间隔厚度，单位为厘米（cm）；

c) 加和每层样品的碳含量，获得每根土柱碳含量，按公式（16）计算：

$$C_{\text{土柱总碳含量}} = C_A + C_B + C_C + \dots + C_N \dots\dots\dots (16)$$

式中：

$C_{\text{土柱总碳含量}}$ ——土柱的总碳含量，单位为克每平方米（g/cm<sup>2</sup>）；

$C_A$ ——A层的碳含量，单位为克每平方米（g/cm<sup>2</sup>）；

$C_B$ ——B层的碳含量，单位为克每平方米（g/cm<sup>2</sup>）；以此类推。

d) 使用以下单位转换因子来计算步骤c)的总土柱碳含量，使之转化为碳储量评估的常用单位(Mg C/ha) (1000000 g 等于 1Mg, 100000000 cm<sup>2</sup> 等于 1 ha)：

$$CN_{\text{土柱}} = C_{\text{土柱总碳含量}} \times \left(\frac{1\text{MgC}}{1000000\text{g}}\right) \times \left(\frac{100000000\text{cm}^2}{1\text{ha}}\right) \dots\dots\dots (17)$$

式中：

$CN_{\text{土柱}}$ ——土柱样品总碳储量，单位为兆克碳每公顷（Mg C/ha）；

$CN_{\text{土柱总碳含量}}$ ——土柱的总碳含量，单位为克每平方米（g/cm<sup>2</sup>）。

e) 确定给定深度土壤中的平均碳储量，计算相关的标准偏差以确定变异性或误差。

$$\overline{CN}_{\text{土柱}} = [CN_{\#1\text{土柱}} + CN_{\#2\text{土柱}} + CN_{\#3\text{土柱}} + \dots + CN_{\#n\text{土柱}}]/n \dots\dots\dots (18)$$

式中：

$\overline{CN}_{\text{土柱}}$ ——土柱平均碳储量，单位为兆克碳每公顷（Mg C/ha）；

$CN_{\#i\text{土柱}}$ ——i土柱的碳储量，单位为兆克碳每公顷（Mg C/ha）；

n——土柱数量。

土柱样品之间的标准差（σ）确定平均值与所有数据的聚集程度，按公式（19）计算：

$$\sigma = \sqrt{\frac{(CN_{\#1\text{土柱}} - \overline{CN}_{\text{土柱}})^2 + (CN_{\#2\text{土柱}} - \overline{CN}_{\text{土柱}})^2 + \dots + (CN_{\#n\text{土柱}} - \overline{CN}_{\text{土柱}})^2}{(n-1)}} \dots\dots\dots (19)$$

式中：

$CN_{\#i\text{土柱}}$ ——i土柱的碳储量，单位为兆克碳每公顷（Mg C/ha）；

$\overline{CN}_{\text{土柱}}$ ——土柱平均碳储量，单位为兆克碳每公顷（Mg C/ha）；

n——土柱数量。

f) 为了获得生态系统的总碳储量，将步骤e)中获得的每个土柱的平均碳储量（Mg C/ha）乘每个小区的面积（ha）来确定每个小区的碳储量（MgC）。然后累加每个小区的碳储量，得到小区总土壤碳储量。

$$CN_{\text{小区土壤}} = (\overline{CN}_{\#1\text{土柱}} \times S_{\#1\text{样方}}) + (\overline{CN}_{\#2\text{土柱}} \times S_{\#2\text{样方}}) + \dots + (\overline{CN}_{\#n\text{土柱}} \times S_{\#n\text{样方}}) \dots\dots\dots (20)$$

式中：

$CN_{\text{小区土壤}}$  ——小区的土壤碳储量总有机碳含量，单位为兆克碳（Mg C）；

$\overline{CN}_{\text{#i土柱}}$  ——i土柱的平均碳储量，单位为兆克碳每公顷（Mg C/ha）；

$S_{\text{#i样方}}$  ——i样方面积，单位为公顷（ha）。

g) 将各个小区的土壤碳储量加和起来，得到区域土壤碳储量，如公式（21）所示：

$$CN_{\text{区域土壤}} = CN_{\text{#1小区土壤}} + CN_{\text{#2小区土壤}} + \dots + CN_{\text{#n小区土壤}} \dots\dots\dots (21)$$

式中：

$CN_{\text{区域土壤}}$  ——区域的土壤碳储量，单位为兆克碳（Mg C）；

$CN_{\text{#i小区土壤}}$  ——i小区的土壤碳储量，单位为兆克碳（Mg C）；

要报告与这些测量相关的可变性和误差值，需计算数据中的总偏差。首先，计算各个小区平均碳含量的标准差，将步骤e)中计算得到的每个土柱碳含量的标准差（Mg C/ha）乘每个小区的面积（ha），然后将平均碳含量的标准差与各小区间的标准差加和起来计算偏差，按公式（22）计算：

$$\sigma_{\text{总土壤}} = \sqrt{(\sigma_A \times A_{\text{#1小区}})^2 + (\sigma_B \times A_{\text{#2小区}})^2 + \dots + (\sigma_A \times A_{\text{#n小区}})^2} \dots\dots\dots (22)$$

式中：

$\sigma_{\text{总土壤}}$  ——区域土壤平均碳储量的标准差，单位为兆克碳（Mg C）；

$\sigma_i$  ——i小区土壤平均碳储量的标准差，单位为兆克碳（Mg C）；

$A_{\text{i小区}}$  ——i小区的面积，单位为公顷（ha）。

这种方法可以在加和平均值时使用，和在组合来自各个小区的数据时的算法一样。

h) 最终的土壤碳储量将以“平均值±标准差”来表示。可通过将项目区域的面积分别乘最小和最大区域土壤碳储量来表示总的最小和最大碳储量。

### 5.3 盐沼总碳储量核算

盐沼碳储量即盐沼植被碳储量和盐沼土壤碳储量之和，按公式（23）计算：

$$CN_{\text{总}} = CN_{\text{区域土壤}} + CN_{\text{区域植被}} \dots\dots\dots (23)$$

式中：

$CN_{\text{总}}$  ——盐沼总碳储量，单位为兆克碳（Mg C）；

$CN_{\text{区域土壤}}$  ——土壤碳储量，单位为兆克碳（Mg C）；

$CN_{\text{区域植被}}$  ——植被碳储量，单位为兆克碳（Mg C）。

## 6 盐沼碳汇核算方法

### 6.1 盐沼植被碳汇核算

#### 6.1.1 碳储量差值法

通过计算某一时间区段内植被碳储量的差值估算植被碳汇，适用于周期较长（3年以上）的碳汇核算项目，且需要设定固定的采样点，按公式（24）计算：

$$CS_{\text{植被}} = \sum_i (CN_{i\_tn} \times A_{i\_tn} - CN_{i\_t0} \times A_{i\_t0}) / n \dots\dots\dots (24)$$

式中：

$CS_{\text{植被}}$  ——目标区域内各植被类型碳汇总和，单位为克碳每年（gC/a）；

$CN_{i\_t0}$  ——第*i*个植被类型单位面积碳储量的初始值，单位为克碳每平方米（gC/m<sup>2</sup>）；

$CN_{i\_tn}$  ——*n*年之后第*i*个植被类型单位面积碳储量，单位为克碳每平方米（gC/m<sup>2</sup>）；

$A_{i\_t0}$  ——第*i*个植被类型分布面积初始值，单位为平方米（m<sup>2</sup>）；

$A_{i\_tn}$  ——*n*年之后第*i*个植被类型分布面积初始值，单位为平方米（m<sup>2</sup>）；

*n*——时间差，单位为年（a）。

#### 6.1.2 净初级生产力法

通过计算盐沼年净初级生产力估算植被碳汇，按公式（25）计算：

$$CS_{\text{植被}} = \sum_i A_{i\_植被} \times P_{i\_植被} \times CF_{i\_植被} \dots\dots\dots (25)$$

式中：

$A_{i\_植被}$  ——第*i*个植被类型盐沼面积，单位为平方米（m<sup>2</sup>）；

$P_{i\_植被}$  ——第*i*个植被类型年净初级生产力，单位为克每平方米年（g/m<sup>2</sup>·a）；

$CF_{i\_植被}$  ——第*i*个植被类型含碳比率，无量纲。

植被类型含碳比率可以取0.44。植被净年初级生产力是指植被在单位时间、单位面积通过光合作用固定的CO<sub>2</sub>量减去植物自养呼吸后的剩余部分。由于盐沼草本植物大多属于一年生植物，其净初级生产力约等于其生物量，包括地上、地下和枯落物生物量三部分的生物量，各部分生物量的调查方法可参考4.2。

灌木的净初级生产力变化可参考红树林灌木生物量调查方法。

## 6.2 盐沼土壤碳汇核算

### 6.2.1 碳储量差值法

通过计算某一时间区段内土壤碳储量的差值估算土壤碳汇，适用于周期较长（3年以上）的碳汇核算项目，且需要设定固定的采样点，按公式（26）计算：

$$CS_{\text{土壤}} = (CN_{Tn} - CN_{T0}) / (T_n - T_0) \dots\dots\dots (26)$$



式中：

$CS_{\text{土壤}}$ ——盐沼土壤碳汇，单位为兆克碳每年（Mg C/a）；

$CN_{T_n}$ —— $T_n$ 年估算的目标区域土壤碳储量，单位为兆克碳（Mg C）；

$CN_{T_0}$ —— $T_0$ 年估算的目标区域土壤碳储量，单位为兆克碳（Mg C）；

$T_n$ ——第 $n$ 年；

$T_0$ ——起始年。

### 6.2.2 沉积速率法

$$CS_{\text{土壤}} = DBD \times S \times R \times A \dots\dots\dots (27)$$

式中：

DBD——盐沼土壤容重，单位为克每立方厘米（g/cm<sup>3</sup>）；

S——盐沼土壤有机碳含量，单位为毫克每克（mg/g）；

R——盐沼土壤沉积速率，单位为毫米每年（mm/a）；

A——盐沼面积，单位为平方米（m<sup>2</sup>）。

其中，土壤沉积速率R的测定有三种常见的方法，分别为<sup>10</sup>Pb-<sup>137</sup>Cs同位素测年法、水平标志层法和地表高程-标志层监测体系（surface elevation table-marker horizon，简称SET-MH）。

盐沼土壤有机碳累积速率和植物净初级生产力参考数据见附录F和G。广东省盐沼分布见附录H。

### 6.3 盐沼总碳汇核算

盐沼总碳汇即盐沼植被碳汇和盐沼土壤碳汇之和，按公式（28）计算：

$$CS_{\text{盐沼碳汇}} = CS_{\text{植被}} + CS_{\text{土壤}} \dots\dots\dots (28)$$

式中：

$CS_{\text{盐沼碳汇}}$ ——盐沼碳汇，单位为兆克碳每年（Mg C/a）；

$CS_{\text{植被}}$ ——盐沼植被碳汇，单位为兆克碳每年（Mg C/a）；

$CS_{\text{土壤}}$ ——盐沼土壤碳汇，单位为兆克碳每年（Mg C/a）。

附 录 A  
(资料性)

用互花米草地上生物量估算地下生物量的方程

表A.1给出了用互花米草地上生物量估算地下根系和根状茎生物量的方程。

表A.1 用互花米草地上生物量估算地下根系和根状茎生物量的方程

方程	地上部分组成 (针对整个样方)	$R^2$
$\ln(\text{活地下生物量, g}) = 0.718 \times \ln(\text{活地上生物量, g}) + 2.646$	活的叶片和茎	0.86
$\ln(\text{活地下生物量, g}) = 0.700 \times \ln(\text{活地上生物量, g}) + 3.051$	活的叶片	0.85
$\ln(\text{活地下生物量, g}) = 0.713 \times \ln(\text{总地上生物量, g}) + 2.235$	所有活的和死的地上生物量	0.85

## 附录 B

(规范性)

## 生态系统状况的数据记录表

表B.1规定了生态系统状况的数据记录内容。

表B.1 生态系统状况的数据记录表

记录人/研究机构 (联系信息)			
日期			
时间和潮汐信息			
	最小	最佳	理想
面积	以ha为单位	覆盖度(%)	详细分布地图
一般情况	受影响的/好的/原始的	影响的类型	等级, 地理位置, 描述影响
基质	泥质/砂石/石灰质		粒径
水和土壤的营养条件	贫营养/ 富营养化/ 人为富营养化	平均值[N] 平均值[P]	平均值[N]和平均值[P]测定 方法、测定时间
海洋测深学	在潮间带的位置低潮带与高潮 带	在纬度上的位置或者平均海 平面的位置(固定点)—— 方法	地点的深度测定-数字高程 模型绘制生态系统高程地图
温度	离测定地点最近的气象站的平 均气温数据		样地水温/气温数据
盐度	河口/海洋	样地盐度的单次测定	样地盐度的多次测定(不同 测定时间)

附 录 C  
(规范性)  
植被和土壤样品数据记录表

表C.1规定了植被和土壤样品数据记录内容。

表C.1 植被和土壤样品数据记录表

记录人/研究机构 (联系信息)	
日期	
时间和潮汐信息	
地点(地市、县区)	
卫星定位仪地点	
生物样品编号	
生态系统(盐沼植被种类)	
水体深度(如果可以测定)	
植被覆盖度	
单种、混种、优势种、物种排名	
生物样点总量	
土柱编号	
土柱采样材料	
土柱采样器内径(cm)	
土柱采样器总长(cm)	
土柱采样器类型	
是否垂直采样(是/否)	
采样器插入土壤之后露在外面的长度(cm)	
土柱样品的总长(cm)	
切成 $x$ cm的片段(切整个柱子或切半个柱子)	
样品的总数量	
是否出现贝壳、碎石、泥、植物碎屑等	
柱状样的描述	

## 附录 D

(规范性)

## 植被和土壤样品核算指标记录表

表D.1规定了植被和土壤样品核算指标记录内容。

表D.1 植被和土壤样品核算指标记录表

记录人/研究机构 (联系信息)	
日期	
样方编号	
样方的总碳储量	
平均植被碳储量 (Mg C)	
土柱编号	
土壤子样品编号	
切片深度 (cm)	
切片厚度 (cm)	
土壤容重 (g/cm <sup>3</sup> )	
是否含有碳酸盐 (是/否)	
测定无机碳含量的方法	
无机碳含量 (%)	
有机碳含量 (用无机碳含量矫正, g)	
土柱样品总碳含量 (Mg C)	
土柱样品数量	
土柱平均碳含量 (Mg C)	
小区的总面积 (ha)	
小区的总土壤碳含量 (表层土壤 $x$ m) (Mg C/ha, 表层土壤 $x$ m)	
小区的总面积 (ha)	
小区的总土壤碳储量 (Mg C/ha)	

附 录 E  
(资料性)  
盐沼土壤有机碳含量数据

表E.1给出了盐沼土壤有机碳含量数据。

表E.1 盐沼土壤有机碳含量数据

地点	有机碳含量 (%)
广东湛江	$1.01 \pm 0.8^a$
广东阳江	$0.95^a$
福建省漳州市	$1.23 \pm 0.23^b$
福建云霄	$0.97 \pm 0.18^c$
浙江乐清湾	$1.15-1.36^d$
江苏射阳县	$12.97^e$
江苏盐城	$1.68^f$
上海崇明岛	$0.353^g$
上海崇明	$0.17-1.42^h$
上海崇明	$0.21-1.32^i$
天津	$1.02 \pm 0.787^j$

<sup>a</sup> 起草单位研究成果。

<sup>b</sup> Sun H, Jiang J, Cui L, et al. (2019). Soil organic carbon stabilization mechanisms in a subtropical mangrove and salt marsh ecosystems[J]. Science of The Total Environment, 673: 502-510.

<sup>c</sup> Wang, F., Lu, Z., Tobias, C. R., Wang, Y., Xiao, K., Yu, Q., Chen, N. (2023). Salt marsh expansion into estuarine mangrove mudflats reduces nitrogen removal capacity. Catena, 232:107459.

<sup>d</sup> 吴雪, 赵鑫, 辜伟芳, 朱科桦, & 葛振鸣. (2024). 浙南海岸带人工秋茄红树林与互花米草盐沼土壤碳汇对比研究. 热带海洋学报. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1500.P.20240508.1512.002.html>.

<sup>e</sup> Xiang J, Liu D, Ding W, et al. (2015). Invasion chronosequence of *Spartina alterniflora* on methane emission and organic carbon sequestration in a coastal salt marsh[J]. Atmospheric Environment, 112: 72-80.

<sup>f</sup> 彭修强, 闫玉茹, 孙祝友, 王敏京, 梁飞刚, 范海波, 汤倩. (2023). 江苏盐城滨海盐沼湿地沉积物有机碳含量及碳储量研究. 海洋通报, 42(3): 407-417.

<sup>g</sup> Li Y, Wang L, Zhang W, et al. (2010). Variability of soil carbon sequestration capability and microbial activity of different types of salt marsh soils at Chongming Dongtan[J]. Ecological Engineering, 36(12): 1754-1760.

<sup>h</sup> 杨中元, 娄厦, 陈仕哲, Viktorov, I. F., Larisa, D. R., & Nikitina, E. (2024). 长江口滨海湿地有机碳循环过程及影响因素研究进展. 同济大学学报(自然科学版), 52(2): 303-312.

<sup>i</sup> 王栋, 邹维娜, 杨华蕾, 李阳, 刘君恬, 田丰, 袁琳. (2023). 长江口崇明岛周缘盐沼湿地土壤碳储量的空间格局. 生态学报, 43(20): 8465-8475.

<sup>j</sup> Zhao X, Zhang X, Song Z, et al. (2024). The accumulation and carbon sequestration potential of biogenic silica in coastal salt marshes: Implications for relative sea-level rise[J]. Catena, 2024, 235: 107683.

## 附录 F

(资料性)

## 盐沼土壤有机碳累积速率数据

表F.1给出了盐沼土壤有机碳累积速率数据。

表F.1 盐沼土壤有机碳累积速率数据

优势种	地点	有机碳沉积速率 ( $\text{g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ )
互花米草	广东湛江	$374.48 \pm 353.68^a$
互花米草	广东阳江	$176.92^a$
芦苇	辽宁盘锦	$1770^b$
互花米草	江苏省盐城	$242.2 \pm 11.26^c$
互花米草	山东东营	$400^d$
互花米草	浙江乐清	$450.3 \pm 198.4^e$
互花米草	浙江乐清	$318^f$
互花米草	上海崇明	$660 \pm 80^g$
芦苇	上海崇明	$420 \pm 50^g$

<sup>a</sup> 起草单位研究成果。

<sup>b</sup> Suo A N, Zhao D Z, Zhang F S. (2010). Carbon storage and fixation by wet and vegetation at the estuaries in northern China: A case of Panjin area, Liaohe Delta[J]. Journal of Marine Sciences, 28(3): 67-71.

<sup>c</sup> Zhou J, Zhang J, Chen Y, et al. (2023). Blue carbon gain by plant invasion in saltmarsh overcompensated carbon loss by land reclamation[J]. Carbon Research, 2(1): 39.

<sup>d</sup> Zhang G, Bai J, Zhao Q, et al. (2021). Soil carbon storage and carbon sources under different *Spartina alterniflora* invasion periods in a salt marsh ecosystem[J]. Catena, 196: 104831.

<sup>e</sup> Huang R, He J, Wang N, et al. (2023). Carbon sequestration potential of transplanted mangroves and exotic saltmarsh plants in the sediments of subtropical wetlands[J]. Science of The Total Environment, 904: 166185.

<sup>f</sup> Fu, C., Li, Y., Zeng, L., Zhang, H., Tu, C., Zhou, Q., ... & Luo, Y. (2023). Stocks and losses of soil organic carbon from Chinese vegetated coastal habitats. Global change biology, 27(1): 202-214.

<sup>g</sup> 杨中元, 娄厦, 陈仕哲, Viktorov, I. F., Larisa, D. R., & Nikitina, E. (2024). 长江口滨海湿地有机碳循环过程及影响因素研究进展. 同济大学学报(自然科学版), 52(2): 303-312.

## 附录 G

(资料性)

## 盐沼植物净初级生产力数据

表G.1给出了盐沼植物净初级生产力数据。

表G.1 盐沼植物净初级生产力数据

地点	优势种	净初级生产力 ( $\text{g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ )
广东阳江	互花米草	1338.56 <sup>a</sup>
辽宁辽河口	芦苇	616.089 <sup>b</sup>
长江口	芦苇	1079.64±168.34 <sup>c</sup>
辽宁辽河三角洲	芦苇	31.66–2417.22 <sup>d</sup>
长江口	互花米草	5949.5 <sup>e</sup>

<sup>a</sup> 起草单位研究成果。

<sup>b</sup> 高田, 丛丕福, 陈柯欣, 邢庆会, 魏雅雯, 程浩, 韩建波. (2024). 光合作用碳交换耦合遥感模型估算辽河口盐沼湿地净初级生产力. 海洋通报, <http://kns.cnki.net/kcms/detail/12.1076.P.20240516.1009.004.html>.

<sup>c</sup> 原一荃, 薛力铭, & 李秀珍. (2022). 基于 CASA 模型的长江口崇明东滩湿地植被净初级生产力与固碳潜力. 生态学杂志, 41(2): 334–342.

<sup>d</sup> 崔林林, 李国胜, 欧阳宁雷, 陈吉龙, 廖华军, & 赵耕乐. (2020). 滨海盐沼湿地植被净初级生产力变化对土壤因子的响应. 生态学报, 40(19): 7018–7029.

<sup>e</sup> Ge, Z. M., Guo, H. Q., Zhao, B., & Zhang, L. Q. (2015). Plant invasion impacts on the gross and net primary production of the salt marsh on eastern coast of China: Insights from leaf to ecosystem. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 120(1): 169–186.





参 考 文 献

- [1] ISBN: 9787561570968-2018 滨海蓝碳——红树林、盐沼、海草床碳储量和碳排放因子评估方法
-

广东省地方标准

滨海蓝碳碳汇调查与核算技术指南

第4部分：盐沼

DB44/T 2607.4—2025

\*

广东省标准化研究院组织印刷  
广州市海珠区南田路563号1304室  
邮政编码：510220  
电话：020-84250337