

滨海蓝碳碳汇调查与核算技术指南
第3部分：海草床

Technical Guide for the Survey and Accounting of Coastal Blue Carbon Sink,
Part 3: Seagrass Bed

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 海草床碳汇野外调查方法	2
5 海草床碳储量核算方法	6
6 海草床碳汇核算方法	10
附录 A（规范性） 海草床生态系统状况的数据记录表	13
附录 B（规范性） 植被和土壤样品数据记录表	14
附录 C（规范性） 植被和土壤样品核算指标记录表	15
附录 D（资料性） 广东省小型海草有机碳和有机物燃烧的经验关系	16
附录 E（资料性） 广东省海草物种及海草床分布位置	17
附录 F（资料性） 广东省沿海海草床位置、面积分布及物种表	18
参考文献	19

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3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：沈小梅、张远、曾雪兰、郭芬、祝振昌、欧阳晓光、罗丽娟、王宗阳、冼献波、伍复胜。

滨海蓝碳碳汇调查与核算技术指南 第3部分：海草床

1 范围

本文件规定了海草床生态系统碳汇调查与核算的术语和定义、调查方法和核算方法的技术要求。本文件适用于广东省行政管辖范围内海草床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 41339.4—2023 海洋生态修复技术指南 第4部分：海草床生态修复
HY/T 083—2005 海草床生态监测技术规程 第5部分：监测方法
LY/T 2252—2014 碳汇造林技术规程 第3部分：术语与定义

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

海草 **seagrass**

可完全生活在海水或河口水域咸水中的单子叶被子植物。

注：海草隶属于泽泻目（*Alismatales*）。我国分布的海草包括四科，分别是鳗草科（*Zosteraceae*）、丝粉草科（*Cymodoceaceae*）、水鳖科（*Hydrocharitaceae*）和川蔓草科（*Ruppiales*）

[来源：GB/T 41339.4—2023，3.1]

3.2

海草床 **seagrass bed**

具有一定面积的海草群落。

注：一般认为，海草群落的面积超过100 m²时被称为海草床。

[来源：GB/T 41339.4—2023，3.2]

3.3

碳库 **carbon pool**

碳的储存库，通常包括地上生物量、地下生物量、凋落物、附生物和土壤有机质。

[来源：LY/T 2252—2014，3.2，有修改]

3.4

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，关键词]

3.5

土壤有机碳 **soil organic carbon**

土壤有机质的碳含量组成。

[来源：ISBN：9787561570968-2018，关键词，有修改]

3.6

土壤无机碳 **soil inorganic carbon**

碳酸盐中的碳组分（如 CaCO_3 ）和在滨海土壤中的贝壳和珊瑚块。

[来源：ISBN：9787561570968-2018，关键词]

4 海草床碳汇野外调查方法

4.1 调查方案制定

4.1.1 碳库组成

海草床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

海草床的边界宜通过地图、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。调查边界应精确绘制并标明经纬度。

对于水深较浅的海草床，采用卫星定位仪和无人机，结合人工踏查验证。对于分布在水深大于2 m的海草，采用船载水声声呐技术监测面积与生物量。同时，结合锚刀采集水下海草、潜水员下潜采集、水下摄像技术进行验证。调查结束后，利用地理信息系统进行空间分析，勾绘海草分布范围图，计算海草床分布面积，并记录该区域发现的所有海草物种。

4.1.3 样方设置

常用的样方设置方法有以下三种：

- a) 样线取样法：对整个海草床进行分区，分区过程中，当样方的性质随着离某一地点（河流、海岸或槽沟）的距离变化而发生规律性变化时，宜采用这种方法。不能依据样方之间距离进行随机取样时，亦可采用该方法，但不一定能真实反映生态系统的异质性。
- b) 随机取样法：根据已知深度的间隔对整个海草床进行分区，获得生物量随水深变化的可靠结果，在每个分区中随机选择样方，捕获不同分区之间和各小区内的真实异质性。
- c) 基于概率的栅格取样法：用正方形或六边形的栅格覆盖被定义小区，从每一个栅格内随机选取一个点作为样方，保证取样的随机性，又使取样的位置平均分布到整个小区中。

4.1.4 样方数量

海草床的分布状况调查数据，布设断面及样方数量根据海草床的面积大小而定。针对分布于潮间带的海草床，垂直于海岸带方向布设调查断面，在每个断面上，沿水深（由浅到深）布设不少于3个样方。站位用卫星定位仪定位或者永久性标志物标记。海草床面积 >500 ha，布设不少于4个断面； 100 ha $<$ 面积 ≤ 500 ha，布设不少于3个断面； 20 ha $<$ 面积 ≤ 100 ha，布设不少于2个断面；面积 ≤ 20 ha，布设不少于1个断面。在允许的条件下，第一次测量时多选择样方，后续测量中可利用这些原始数据来决定是否增加或减少样方。

4.1.5 测定频率的确定

海草床碳储量变化较缓慢，在没有特殊事件干扰的前提下，一般采样间隔可以较长（可达10年，甚至20年）。但如果有自然或人为干扰的突发或偶发事件发生时，如强热带风暴、快速海平面上升或土地利用方式改变等，可以在原计划的基础上增大测定频率。

4.2 海草床植被碳汇调查

4.2.1 野外监测采样工具

- a) 50 cm×50 cm的样方格子：设定取样位置；
- b) 直径10 cm~25 cm的柱状采样器：采集生物样品；
- c) 密封袋：存放样品；
- d) 滤网袋：清洗海草样品；
- e) 直尺或卷尺：现场测量海草长宽高；
- f) 卫星定位仪：记录采集采样点位置；
- g) 箱子：运输样品；
- h) 拖车：运输样品；
- i) 相机：归档样品外观及编号；
- j) 印制好的现场记录表：现场记录数据。

4.2.2 海草草本调查

一般采用小样方（50 cm×50 cm）取样。在每条样带的样方格子中用直径10 cm~25 cm的柱状采样器，从上往下经过地上植物直接插入沉积物中，取样深度要到达根区沉积物（一般是40 cm）。然后把取样器盖上并垂直取出；再把整个土柱转移到纱网或网格袋中，冲洗掉沉积物，将海草带回临时实验室，刮除叶片上的附生植物，计算海草的枝干数量。把活的地上和地下生物量分开（地上部分是茎枝，包含地上茎、叶鞘和叶片；地下部分是根状茎和根），放入铝箔中低温冷藏保存。

4.2.3 附生植物和凋落物调查

采用手工刮除或酸洗将附生物从海草叶片上分离。海草床的凋落物只占碳库非常小的部分，其矿化速率很高，而且容易随水动力输出到其他系统中。如果需要测定，可以采用小样方（50 cm×50 cm）收集凋落物，把样方内所有表层的有机质装入样品袋，清洗后放入恒温干燥箱中（60 °C~80 °C）烘72 h至恒重，测量凋落物生物量。为节约样品运输和所占烘箱的空间，建议在野外称取所有样方中凋落物样品的鲜重，然后取出混合均匀，取具有代表性的一部分样品带回实验室烘干，最后测定这部分样品的干湿质量比，再获得整个样方的凋落物生物量。

4.2.4 生物样品分析方法

4.2.4.1 海草活生物量碳含量的测定

在实验室中，将已经分离好的活生物烘干至恒重（60 °C大约烘72 h，具体时间视样品大小而定），即为活海草生物量。在测定碳含量时，用元素分析仪直接测定得到，事先移除或计算无机碳含量。如果条件不具备，可以用0.34作为碳转换系数进行计算，将采样面积内的活体海草生物量乘碳转换系数，再计算给定区域内的单位面积碳含量，如公式（1）所示：

$$C_{\text{活海草生物量}} = (B_{\text{海草}} \times CF_{\text{海草}}) / A_{\text{样方}} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$C_{\text{活海草生物量}}$ ——活海草生物量的碳含量，单位为千克碳每平方米（kg C/m²）；

$B_{\text{海草}}$ ——样方面积内活海草植物的生物量，单位为千克（kg）；

$CF_{\text{海草}}$ ——海草生物量碳转换系数，取0.34；

$A_{\text{样方}}$ ——样方面积，单位为平方米（m²）。

4.2.4.2 附生植物和凋落物碳含量的测定

一些附生生物的CaCO₃含量很高，须测定它们的无机碳含量，步骤为：

- a) 用直边缘刀片刮去样品两面的附生生物；
- b) 将附生生物在 60℃烘干到恒重；
- c) 烘干后，混匀样品并称量；
- d) 从以下两种方法中选其一测定无机碳含量。

酸化：用1 mol/L HCl浸泡样品约18 h去除无机碳，随后用蒸馏水洗样品3次，烘干至恒重，用元素分析仪或灼烧失重法测定碳含量，即为有机碳或有机物含量。注意：酸化可能会溶解部分有机物。

元素分析：用元素分析仪测定一部分烘干样品的总碳含量；另一部分样品在500℃灰化，之后称量灰分并用元素分析仪测定灰分的无机碳含量；用总碳含量减去无机碳含量即得到有机碳含量。

注意在整个过程的所有步骤中都应该称量样品质量，以便计算有机碳和无机碳的百分比。经过校正的损失的无机碳含量，可以作为碳转换系数。附生植物生物量乘校正过的碳转换系数，得到附生植物生物量的碳含量；再用碳含量的平均值计算给定面积的附生植物碳库。如公式（2）所示：

$$C_{\text{附生植物或凋落物}} = (B_{\text{附生植物或凋落物}} \times CF_{\text{附生植物或凋落物}}) / A_{\text{样方}} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$C_{\text{附生植物或凋落物}}$ ——附生植物或凋落物的碳含量，单位为千克碳每平方米（kg C/m²）；

$B_{\text{附生植物或凋落物}}$ ——样方面积内附生植物或凋落物的生物量，单位为千克（kg）；

$CF_{\text{附生植物或凋落物}}$ ——附生植物或凋落物生物量的碳转换系数。

4.3 海草床土壤碳汇调查

4.3.1 野外采样工具

- a) 50 cm 或 1 m 长的俄罗斯泥炭采样器（Russian Peat Corer）：采集沉积物样品（如果海草床土壤较硬挖不动，亦可采用其他土壤采样器，确保采集样品的完整性并尽量减少土柱的压缩即可）；
- b) 10 mL~20 mL 注射器：沉积物的二次采样；
- c) 10 kg~30 kg 大锤：协助土壤采样器取样；
- d) 1 m 钢尺：沉积物二次取样分层与切割样品；
- e) 密封袋：存放样品；

- f) 土壤深度探测器（选用）：测定土壤深度；
- g) 卫星定位仪：记录采样点位置；
- h) 箱子：运输样品；
- i) 拖车：运输样品；
- j) 相机：归档样品外观及编号；
- k) 印制好的现场记录表：现场记录数据。

4.3.2 土柱采集深度

海草床土壤碳储量评估的采集标准深度通常为1 m。

4.3.3 土柱采集步骤

- a) 在选取沉积物采样点时，避开蟹洞，去除采样土壤表面凋落物层和活体组织。
- b) 将半圆柱形箱体垂直推入土壤、旋转，然后拉出，保证最小限度的挤压。50 cm 或 50 cm 以内不能继续推进时，可采用大锤缓慢锤击到设定的深度后，再缓慢拉出。遇见珊瑚礁碎片，采样器无法深入时，不要用蛮力推压，宜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，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 土柱分层取样

土柱分层取样包括计算土壤碳储量的分层方法和测量土壤²¹⁰Pb和¹³⁷Cs的放射性比活度计算土壤碳汇量的分层方法。具体如下：

- a) 计算土壤碳储量的分层方法：每个样方采集1根深度为1 m的土柱，依深度范围为0 cm~15 cm、15 m~30 m、30 m~50 m、50 m~100 cm和超过100 cm分层采样。
当土壤深度超过1 m时，宜以不超过2 m的间隔进行土柱采样。
- b) 测土壤²¹⁰Pb和¹³⁷Cs的比活度计算土壤碳汇量的分层方法：在进行土壤碳汇采样时，对土壤取样采用高密度集的采样技术，深度范围为0 cm~100 cm。将其细分为在0 cm~30 cm范围内，每2 cm取一个样；在30 cm~100 cm范围内，每10 cm取一个样，共22个样。其中，在测定²¹⁰Pb和¹³⁷Cs的比活度时可根据实际情况酌情减少样品数，但测定²¹⁰Pb和¹³⁷Cs的比活度最少不少于15个样。

采集样品时，样品宜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

将样品装入有样品标号的密封袋中，为尽可能减少有机物分解和微生物生长，样品保持4℃低温保存，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 土壤样品分析

为了准确测定土壤碳密度，需先量化两个参数：土壤容重和有机碳含量。

4.3.6.1 土壤容重测定

容重（DBD）由完全干燥的样品质量和原始体积来确定，按公式（3）计算：

$$DBD = M / V \dots\dots\dots (3)$$

式中:

DBD——土壤容重,单位为克每立方厘米(g/cm³);

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(cm³);

测定原始体积时,要知道所使用的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)。采用圆柱体积公式计算土壤子样品体积:

$$V = \pi \times R^2 \times H \dots\dots\dots (4)$$

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,使用相同的公式来确定完整土柱体积时,体积减半。如果使用注射器进行二次取样,用注射器的刻度直接读取体积。

4.3.6.2 土壤有机碳含量测定

土壤有机碳含量的测定主要采用元素分析仪法和灼烧失重法。广东省不同小型海草有机碳和有机物燃烧的经验关系见附录D。

5 海草床碳储量核算方法

5.1 海草床植被碳储量核算

区域内的植被碳储量可以通过以下步骤获得:

- a) 测定样方面积内各植被组分的碳含量。
- b) 把样方面积内各植被组分碳含量的单位转换成碳储量评估的常用单位(Mg C/ha),转换方法如公式(5)所示:

$$X_{\text{海草、附生生物或凋落物}} = C_{\text{海草、附生生物或凋落物}} \times (1 \text{ Mg}/1000 \text{ kg}) \times 10000 \text{ m}^2/1 \text{ ha} \dots\dots\dots (5)$$

式中:

$X_{\text{海草、附生生物或凋落物}}$ ——海草、附生生物或凋落物的碳储量,单位为兆克碳每公顷(Mg C/ha);

$C_{\text{海草、附生生物或凋落物}}$ ——海草、附生生物或凋落物的碳含量,单位为千克碳每平方米(kg C/m²);

- c) 在单个样方内,对所有植被组分的碳储量求和,如公式(6)所示:

$$X_{\text{总植被}} = X_{\text{海草}} + X_{\text{附生生物}} + X_{\text{凋落物}} \dots\dots\dots (6)$$

式中:

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

$X_{\text{海草}}$ ——样方内海草植被的碳储量,单位为兆克碳每公顷(Mg C/ha);

$X_{\text{附生生物}}$ ——样方内附生生物的碳储量,单位为兆克碳每公顷(Mg C/ha);

$X_{凋落物}$ ——样方内凋落物的碳储量，单位为兆克碳每公顷（Mg C/ha）；

d) 确定样方内平均植被碳储量，如公式（7）所示：

$$\bar{X}_{植被} = [X_1 + X_2 + \dots + X_n]/n \dots\dots\dots (7)$$

式中：

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

X_1 ——#1样方的植被碳储量，单位为兆克碳每公顷（Mg C/ha）；

X_2 ——#2样方的植被碳储量，单位为兆克碳每公顷（Mg C/ha）；以此类推

n ——样方的数量。

计算样方植被碳储量的标准差，来确定变异程度或离散程度，标准差表示决定数据如何密集地聚集在平均值周围，如公式（8）所示：

$$\sigma_A = \sqrt{\frac{(X_1 - \bar{X}_{植被})^2 + (X_2 - \bar{X}_{植被})^2 + \dots + (X_n - \bar{X}_{植被})^2}{(n-1)}} \dots\dots\dots (8)$$

式中：

σ_A ——样方植被碳储量的标准差，单位为兆克碳每公顷（Mg C/ha）；

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

X_1 ——#1样方的植被碳储量，单位为兆克碳每公顷（Mg C/ha）；

X_2 ——#2样方的植被碳储量，单位为兆克碳每公顷（Mg C/ha）；以此类推

n ——样方的数量。

e) 根据样方内平均植被碳储量及小区面积，获得小区生态系统植被碳储量，如公式（9）所示：

$$X_{小区植被} = \bar{X}_{植被} \times A_{小区} \dots\dots\dots (9)$$

式中：

$X_{小区植被}$ ——小区的植被碳储量，单位为兆克碳（Mg C）；

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

$A_{小区}$ ——小区面积，单位为公顷（ha）。

将各个小区的碳储量加和起来，得到总植被碳储量，如公式（10）所示：

$$X_{区域} = X_{\#1 小区} + X_{\#2 小区} + \dots + X_{\#n 小区} \dots\dots\dots (10)$$

式中：

$X_{区域}$ ——区域的植被碳储量，单位为兆克碳（Mg C）；

$X_{\#1 小区}$ ——#1小区的植被碳储量，单位为兆克碳（Mg C）；

$X_{\#2\text{小区}}$ ——#2小区的植被碳储量，单位为兆克碳 (Mg C)；以此类推

n ——小区的数量。

f) 计算各小区植被碳储量的标准差。首先，通过公式 (8) 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 (11) 所示：

$$\sigma_T = \sqrt{(\sigma_A \times A_{\#1\text{小区}})^2 + (\sigma_B \times A_{\#2\text{小区}})^2 + \dots + (\sigma_N \times A_{\#n\text{小区}})^2} \dots\dots\dots (11)$$

式中：

σ_T ——区域平均植被碳储量的标准差，为总变异程度，单位为兆克碳 (Mg C)；

σ_A ——#1小区植被平均碳储量的标准差，单位为兆克碳 (Mg C)；

σ_B ——#2小区植被平均碳储量的标准差，单位为兆克碳 (Mg C)；以此类推

$A_{\#1\text{小区}}$ ——#1小区的面积，单位为公顷 (ha)；

$A_{\#2\text{小区}}$ ——#2小区的面积，单位为公顷 (ha)；以此类推

n ——小区的数量。

g) 最终，植被碳储量将以“平均值±总标准差”来表示， $X_{\text{区域}} \pm \sigma_T$ 。最小和最大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来得到。

5.2 海草床土壤碳储量核算

区域内的土壤碳储量可以通过以下步骤获得：

a) 对于土柱每段取样间隔的子样品，按公式 (12) 计算土壤有机碳密度：

$$\rho = \text{DBD} \times (\%C_{\text{org}} / 100) \dots\dots\dots (12)$$

式中：

ρ ——土壤有机碳密度，单位为克每立方厘米 (g/cm^3)；

DBD ——土壤容重，单位为克每立方厘米 (g/cm^3)；

$\%C_{\text{org}}$ ——有机碳含量；

b) 土柱碳储量由一定区域内的碳含量和土壤深度决定，将步骤 a) 中获得的每个土壤样品的有机碳密度值乘样品间隔的厚度，按公式 (13) 计算土柱各层样品的碳含量：

$$C_{\text{土柱子样品}} = \rho \times D \dots\dots\dots (13)$$

式中：

$C_{\text{土柱子样品}}$ ——土柱各层样品的碳含量，单位为克每平方米 (g/cm^2)；

ρ ——土柱各层土壤有机碳密度，单位为克每立方厘米 (g/cm^3)；

D ——取样间隔厚度，单位为厘米 (cm)；

c) 加和计算取样区域内取样深度的每层样品的碳含量，获得每根土柱碳储量。

d) 使用单位转换因子来计算步骤 c) 的每根土柱碳含量，使之转化为碳储量评估的常用单位 (Mg C/ha) (1000000 g 等于 1 Mg, 100000000 cm^2 等于 1 ha)。

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。

$$\bar{X}_{\text{土柱}} = [X_{\#1\text{土柱}} + X_{\#2\text{土柱}} + X_{\#3\text{土柱}} + \dots + X_{\#n\text{土柱}}] / n \dots\dots\dots (14)$$

式中：

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

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

n ——土柱的数量；

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（15）计算：

$$\sigma = \sqrt{\frac{(X_{\#1\text{土柱}} - \bar{X}_{\text{土柱}})^2 + (X_{\#2\text{土柱}} - \bar{X}_{\text{土柱}})^2 + \dots + (X_{\#n\text{土柱}} - \bar{X}_{\text{土柱}})^2}{(n-1)}} \dots\dots\dots (15)$$

式中：

$X_{\#1\text{土柱}}$ ——#1土柱的碳储量，单位为兆克碳每公顷（Mg C/ha）；

$X_{\#2\text{土柱}}$ ——#2土柱的碳储量，单位为兆克碳每公顷（Mg C/ha）；以此类推

$\bar{X}_{\text{土柱}}$ ——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) 将步骤 e) 中获得的每根土柱的平均碳储量（Mg C/ha）乘以每个小区的面积（ha）来确定每个小区的土壤碳储量（Mg C）。然后累加每个小区的碳储量，得到小区土壤碳储量。如公式（16）所示：

$$X_{\text{小区土壤}} = \bar{X}_{\text{土柱}} \times A_{\text{小区}} \dots\dots\dots (16)$$

式中：

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

$\bar{X}_{\text{土柱}}$ ——样方内平均土柱碳储量，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）。

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（17）所示：

$$X_{\text{区域}} = X_{\#1\text{小区}} + X_{\#2\text{小区}} + \dots + X_{\#n\text{小区}} \dots\dots\dots (17)$$

式中：

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

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

计算区域的土壤碳储量偏差。首先，将步骤e)中计算得到的每根土柱碳储量的标准差 (Mg C/ha) (方程15) 乘每个小区的面积 (ha)，然后将平均碳储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 (18) 计算：

$$\sigma_T = \sqrt{(\sigma_A \times A_{\#1\text{小区}})^2 + (\sigma_B \times A_{\#2\text{小区}})^2 + \dots + (\sigma_N \times A_{\#n\text{小区}})^2} \dots\dots\dots (18)$$

式中：

- σ_T——区域土壤平均碳储量的标准差，单位为兆克碳 (Mg C)；
- σ_A——#1小区土壤平均碳储量的标准差，单位为兆克碳 (Mg C)；
- σ_B——#2小区土壤平均碳储量的标准差，单位为兆克碳 (Mg C)；以此类推

A_{#1小区}——#1小区的面积，单位为公顷 (ha)；

A_{#2小区}——#2小区的面积，单位为公顷 (ha)；以此类推

n——小区的数量。

h) 最终，土壤碳储量将以“平均值±总标准差”来表示，可通过将项目区域的面积分别乘最小和最大碳密度来表示最小和最大碳储量。

5.3 海草床总碳储量核算

海草床的总碳储量为植被碳储量和土壤碳储量之和，按公式 (19) 计算：

$$X_{\text{海草床}} = X_{\text{植被}} + X_{\text{土壤}} \dots\dots\dots (19)$$

式中：

- X_{海草床}——海草床碳储量，单位为兆克碳每年 (Mg C/ha)；
- X_{植被}——海草床植被碳储量，单位为兆克碳每年 (Mg C/ha)；
- X_{土壤}——海草床土壤碳储量，单位为兆克碳每年 (Mg C/ha)；

项目区域的总碳储量以“总碳储量±总标准差”来表示。

6 海草床碳汇核算方法

6.1 海草床植被碳汇核算

6.1.1 碳储量差值法

通过计算某一时段内植被碳储量的差值估算植被碳汇速率，适用于周期较长的碳汇核算项目，按公式 (20) 计算：

$$C_{\text{植被}} = \sum_i (C_{i_tn} \times A_{i_tn} - C_{i_t0} \times A_{i_t0}) / \Delta t \dots\dots\dots (20)$$

式中：

C_{植被}——目标区域内各海草床植被类型碳汇总和，单位为克碳每年 (g C/a)；

- C_{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（g C/m²）；
 C_{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（g C/m²）；
 A_{i_t0} ——第*i*个植被类型分布面积初始值，单位为平方米（m²）；
 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（m²）；
 Δt ——时间差，单位为年（a）。

6.1.2 海草床植物年初级生产力法

海草床植被碳汇采用HY/T 083-2005的5.4.1规定的群落样方调查法测定，按公式（21）计算：

$$C_{\text{植被}} = \sum (A_i^{\text{SGP}} \times P_i^{\text{SGP}} \times CF_i^{\text{SGP}}) \dots\dots\dots (21)$$

式中：

- A_i^{SGP} ——第*i*个植被类型海草床面积，单位为平方米（m²）；
 P_i^{SGP} ——第*i*个植被类型植物年初级生产力，采用扎孔标记法进行估算，单位为克每平方米年（g/m² a）；
 CF_i^{SGP} ——第*i*个植被类型的植物平均含碳比率，无量纲。

由于广东省特有的小型海草物种（如卵叶喜盐草、贝克喜盐草和二药藻）个体较小，植被碳汇量较低，在海草床碳汇的评估上，可忽略小型海草植被本身的碳汇量。

6.2 海草床土壤碳汇核算

6.2.1 碳储量差值法

通过计算某一时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（22）计算：

$$C_{\text{土壤}} = (C_{Tn} - C_{T0}) / \Delta t \dots\dots\dots (22)$$

式中：

- $C_{\text{土壤}}$ ——海草床土壤碳汇速率，单位为兆克碳每年（Mg C/a）；
 C_{Tn} ——*Tn*年估算的目标区域土壤碳储量，单位为兆克碳（Mg C）；
 C_{T0} ——*T0*年估算的目标区域土壤碳储量，单位为兆克碳（Mg C）；
 Δt ——时间差，单位为年（a）。

6.2.2 沉积速率法

采用土壤沉积速率乘以表层土壤的碳密度，可以获得海草床土壤的碳汇速率，按公式（23）计算：

$$C_{\text{土壤}} = \text{DBD} \times S \times R \times A \dots\dots\dots (23)$$

式中：

- $C_{\text{土壤}}$ ——海草床土壤碳汇速率，单位为兆克碳每年（Mg C/a）；
 DBD ——海草床土壤容重，单位为克每立方厘米（g/cm³）；
 S ——海草床土壤有机碳含量，单位为毫克每克（mg/g）；
 R ——海草床土壤沉积速率，单位为厘米每年（cm/a）；
 A ——海草床面积，单位为平方米（m²）。

其中，土壤沉积速率R的测定有三种常见的方法，分别为²¹⁰Pb-¹³⁷Cs同位素测年法、水平标志层法和地表高程-标志层监测体系。

6.3 海草床总碳汇核算

海草床的碳汇总量为植被碳汇和土壤碳汇之和，按公式（24）计算：

$$C_{\text{海草床}} = C_{\text{植被}} + C_{\text{土壤}} \dots\dots\dots (24)$$

式中：

$C_{\text{海草床}}$ ——海草床碳汇速率，单位为兆克碳每年（Mg C/a）。

核算植被碳汇和土壤碳汇时，也应根据样方的碳汇量，分别核算各小区碳汇量，进而将各小区碳汇量加和核算区域的总碳汇量。最后，项目区域的总碳汇量以“总平均碳汇量±总标准差”来表示，可通过将项目区域的面积分别乘最小和最大碳汇量来表示总区域的最小和最大碳汇量。

附录 A

(规范性)

海草床生态系统状况的数据记录表

表A.1 规定了海草床生态系统状况数据的野外用表

表A.1 海草床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
水和沉积物 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(单位)	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 B
(规范性)
植被和土壤样品数据记录表

表B.1 规定了海草床植被和土壤样品数据记录表

表B.1 海草床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(海草种类)	
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	
生物采样点总数	
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)	
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 C

(规范性)

植被和土壤样品核算指标记录表

表C.1 规定了植被和土壤样品核算指标记录表

表C.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^3)	
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, %)	
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 D
(资料性)

广东省小型海草有机碳和有机物燃烧的经验关系

表D.1 给出了广东省小型海草有机碳和有机物燃烧的经验关系函数

表D.1 广东省小型海草有机碳和有机物燃烧的经验关系

广东省地区 (海草物种)	沉积物有机物含量百分比 (%LOI) 与有机碳含量百分比 (%C) 的线性拟合方程
汕头市义丰溪海草床 (贝克喜盐草)	$\%C_{org} = 0.1482 \times \%LOI + 0.0126$ ($R^2=0.60$, $N=48$)
湛江市流沙湾和东海岛海草床 (卵叶喜盐草、贝克喜盐草和二药藻)	$\%C_{org} = 0.1219 \times \%LOI + 0.0868$ ($R^2=0.6022$, $N=105$)

附录 E
(资料性)

广东省海草物种及海草床分布位置

表E.1 给出了广东省海草物种及海草床分布位置

表E.1 广东省海草物种及海草床分布位置

<p>广东省沿海海草床主要分布及物种</p>	<p>根据文献记载和实地踏查，广东沿海已知的海草床分布约在20个区域，共计约1540 ha。相比2006年和2010年所记载的数据，海草床面积至少减少110 ha^{a, b}。广东沿海主要生长五种海草：卵叶喜盐草 (<i>Halophila ovalis</i>)、贝克喜盐草 (<i>Halophila beccarii</i>)、二药藻 (<i>Halodule uninervis</i>)、矮大叶藻 (<i>Zostera japonica</i>) 和短柄川蔓草 (<i>Ruppia brevipedunculata</i>)，其中以卵叶喜盐草和贝克喜盐草为主。</p>
<p>广东省沿海海草床分布图</p>	

附 录 F
(资料性)

广东省沿海海草床位置、面积分布及物种表

表F.1 给出了广东省沿海海草床位置、面积分布及物种信息

表F.1 广东省沿海海草床位置、面积分布及物种表

编号	城市	名称	参考经度	参考纬度	面积 (ha)	物种
1	湛江雷州	流沙湾	109.935109	20.469129	852.6 ^a	卵叶和贝克喜盐草、二药藻 <i>Halophila ovalis, Halophila beccarii</i> and <i>Halodule uninervis</i>
2	汕头	义丰溪	116.904814	23.535211	417.95 ^a	贝克喜盐草 <i>H. beccarii</i>
3	阳江	新丰	111.860947	21.668536	128.82 ^a	卵叶和贝克喜盐草 <i>H. ovalis</i> and <i>H. beccarii</i>
4	湛江	东山	110.180418	20.90378	54.23 ^a	卵叶和贝克喜盐草 <i>H. ovalis</i> and <i>H. beccarii</i>
5	汕头	莲下	116.869297	23.447419	36.85 ^a	贝克喜盐草 <i>H. beccarii</i>
6	珠海	横琴	113.55105	22.085902	25.28 ^a	贝克喜盐草 <i>H. beccarii</i>
7	湛江	新寮镇	110.438483	20.615931	4.62 ^a	卵叶和贝克喜盐草 <i>H. ovalis</i> and <i>H. beccarii</i>
8	惠州	大亚湾	114.552058	22.652414	3.05 ^a	卵叶喜盐草 <i>H. ovalis</i>
9	湛江	东海岛	110.5143408	20.91758283	3 ^b	卵叶喜盐草 <i>H. ovalis</i>
10	珠海	香洲	113.576721	22.303679	2.85 ^a	贝克喜盐草 <i>H. beccarii</i>
11	湛江	南三	110.615562	21.210864	2.3 ^a	贝克喜盐草 <i>H. beccarii</i>
12	阳西	溪头	111.78127	21.641958	2.18 ^a	贝克喜盐草 <i>H. beccarii</i>
13	珠海	三灶	113.405629	22.026061	1.84 ^a	贝克喜盐草 <i>H. beccarii</i>
14	深圳	南澳	114.598747	22.541973	1.77 ^a	卵叶喜盐草和矮大叶藻 <i>H. ovalis</i> and <i>Zostera japonica</i>
15	茂名	水东	111.009674	21.495437	1.66 ^a	贝克喜盐草 <i>H. beccarii</i>
16	湛江	海安	110.2243	20.274165	1.63 ^a	川蔓藻 <i>Ruppia brevipedunculata</i>
17	下川岛	荔枝沟	112.586595	21.617913	0.17 ^a	贝克喜盐草和矮大叶藻 <i>H. beccarii</i> and <i>Z. japonica</i>
18	上川岛	沙塘	112.801844	21.684146	0.11 ^a	矮大叶藻 <i>Z. japonica</i>
19	湛江	东参渡口	110.3898325	21.0934525	0.02 ^b	贝克喜盐草 <i>H. beccarii</i>
20	湛江雷州	企水	109.740886	20.753351	0.01 ^b	卵叶喜盐草 <i>H. ovalis</i>

^a Jiang Z, Cui L, Liu S, et al. Historical changes in seagrass beds in a rapidly urbanizing area of Guangdong Province: Implications for conservation and management [J]. *Global Ecology and Conservation*, 2020. 22: e01035.

^b Shen X, Zhang Y, Hong Y, et al. Spatial variability in blue carbon storage and sequestration of seagrass meadows in southern China [J]. *Science of the Total Environment*, 2024. 951: 175884.

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3部分：海草床

DB44/T 2607.3—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