

《滨海蓝碳碳汇能力调查与核算技术指南》编制说明

《滨海蓝碳碳汇能力调查与核算技术指南》编制组

二〇二四年一月

目 录

第 1 章 项目背景.....	1
1.1 任务来源.....	1
1.2 重要性和必要性.....	1
1.3 工作过程.....	2
第 2 章 标准制定的原则与思路.....	3
2.1 标准制定的原则.....	3
2.2 标准定位.....	4
2.3 总体思路.....	4
第 3 章 标准的主要技术内容.....	5
3.1 通则.....	5
3.2 红树林碳汇技术指南.....	5
3.3 海草床碳汇技术指南.....	5
3.4 盐沼碳汇技术指南.....	5
3.5 贝藻类碳汇技术指南.....	5
第 4 章 关键问题说明.....	6
4.1 测算边界.....	6
4.2 广东省蓝碳生态系统碳汇野外调查方法.....	8
4.3 本土参数的选取与确定.....	8
4.4 核算方法的选择.....	11
第 5 章 应用案例.....	11
5.1 红树林碳汇技术指南实践 - 湛江红树林碳汇监测与核算.....	11
5.2 海草床碳汇核技术指南实践 - 湛江海草床碳汇调查与核算.....	14
5.3 盐沼碳汇技术指南实践 - 湛江盐沼碳汇监测与核算.....	17
5.4 贝藻类碳汇技术指南实践 - 湛江贝藻类碳汇监测与核算.....	20
第 6 章 与国家相关法律法规及标准协调性.....	23
第 7 章 标准实施建议.....	25
参考文献.....	26

第1章 项目背景

1.1 任务来源

《滨海蓝碳碳汇能力调查与核算技术指南》（下称《技术指南》）编制任务来源于湛江市生态环境局发起的《湛江市海洋碳汇核算试点及相关技术支持服务项目》和广东省自然资源厅2023年省级促进经济高质量发展（海洋经济发展）海洋六大产业专项项目《典型蓝碳生态系统碳汇核算及负碳技术评估应用》。

本指南由广东省自然资源厅、湛江市生态环境局提出，归口广东省生态环境厅。本指南起草单位主要包括广东工业大学、中国科学院南海海洋研究所、南方海洋科学与工程广东省实验室（广州）、生态环境部华南环境科学研究所、广州大学。

1.2 重要性和必要性

海洋碳汇，也称“蓝色碳汇”或“蓝碳”，指利用海洋活动及海洋生物吸收大气中的二氧化碳，并将其固定、储存在海洋中的过程、活动和机制。海洋碳汇相较于陆地生态系统碳汇，具有固碳量巨大、固碳效率高、碳存储周期长等特点，是减少温室气体排放的有效方式之一，是海洋自然系统减缓气候变化的主要途径。滨海蓝碳生态系统中的红树林、潮汐盐沼、海草床可以抵挡风暴潮，减缓海平面上升和海岸侵蚀，还可以调节滨海区域的水质和养分循环，捕获沉积物。此外，它们还能固定和储存来自大气和海洋的碳，减少全球气候变化的负面影响。当前，海洋碳汇被纳入国家部署规划的重要环节，是我国实现“双碳”目标的重要保障。

广东省是我国少数同时拥有红树林、海草床和盐沼三大海洋碳汇生态系统的地区之一，广阔的滨海湿地为发展海洋碳汇提供了发展空间。同时，广东省也是是全国重要的水产品生产和加工基地，贝类和藻类养殖是广东省海水养殖主要对象之一，也是重要的蓝碳碳汇。然而，由于高强度人类活动干扰，蓝碳生态系统生态空间持续受到挤压，分布面积大幅萎缩。近年来，气候变化、海平面上升、物种入侵等新挑战进一步威胁蓝碳生态系统的健康和存续，生态环境的持续退化威胁海岸带固碳潜力。

当前，关于蓝碳碳汇核算的标准主要有《HY/T 0349-2022 海洋碳汇核算方法》、《DB45/T 1230-2015 红树林湿地生态系统固碳能力评估技术规程》和《HY/T 0305-2021 养殖大型藻类和双壳贝类碳汇计量方法 碳储量变化法》。其中，《HY/T 0349-2022 海洋碳汇核算方法》的主要内容包括红树林碳汇能力核算、盐沼碳汇能力核算、海草床碳汇能力核算、浮游植物碳汇能力核算、大型藻类碳汇能力核算和贝类碳汇能力核算。《DB45/T 1230-2015 红树林湿地生态系统固碳能力评估技术规程》对红树林沉积物固碳能力计算、红树植物固碳能力计算、底栖动物固碳能力计算和红树林湿地生态系统总固碳能力评估等进行了规定。《HY/T 0305-2021 养殖大型藻类和双壳贝类碳汇计量方法 碳储量变化法》通过成体与幼体之间的碳储量变化，计算养殖大型藻类和双壳贝类的碳汇。这些核算方法存在的普遍问题是：（1）未包括蓝碳碳汇调查内容，未能为蓝碳碳汇的系统监测调查提供统一的方法学指导；（2）未能兼顾不同区域蓝碳生态系统的自身特性，未能形成蓝碳碳汇核算的本土化参数，未能为碳汇科学评估提供方法学指导。

本标准结合广东省红树林、海草床、盐沼和贝藻类等蓝碳生态系统的特点，基于对蓝碳碳汇的系统调查监测，系统提出符合广东省蓝碳生态系统特点的碳汇调查方法、碳储量评估方法和碳汇核算方法，形成广东省蓝碳碳汇核算的方法体系和本土参数，可为广东省红树林、海草床、盐沼和贝藻类等四类滨海蓝碳碳汇的系统调查与评估提供科学的方法学指导，为推广广东省海洋碳汇核算和碳普惠工作提供参考。

1.3 工作过程

(1) 2022 年 4 月，《技术指南》预研。编制单位于 4 月底研究制定了湛江市红树林、海草床和盐沼野外监测方案以及贝藻类碳汇调查方案。

(2) 2022 年 5 月，编制单位前往湛江市码头、农贸市场等地对双壳贝类及大型藻类的品类进行调研，获得 12 种常见双壳贝类产品及一种大型藻类。样品带回实验室后进行品种的鉴定，测定样品的干湿比、质量比。同时，编制单位前往湛江市农业农村局、统计局开展座谈，获得湛江市 2021 年海水养殖规模及养殖贝藻类的产量数据。

(3) 2022 年 6 月-9 月，编制单位开展了湛江红树林、海草床和盐沼野外监测与调查。编制单位共在湛江市东西海岸 10 个样区开展了野外监测与调查。红树林植被碳汇方面，共设置 33 个样方：10 m×10 m (31 个)、5 m×5 m (2 个)，调查了乔木、灌木、呼吸根、枯木、倒木等碳储量；设置了 22 个凋落物收集网，主要植被类型包括桐花树、白骨壤、秋茄、无瓣海桑、红海榄等红树物种及其混合群落。红树林土壤碳汇方面，共设 29 个样方，采集了 84 根 1 m 深的土柱，8 个土层/根，共 672 个土样，用于测量土壤容重、土壤有机碳、土壤碳储量等；另外，采集了 20 根 1 m 深的土柱，22 层/根，共 440 个土样，用于放射性同位素 (^{210}Pb 和 ^{238}Cs) 测定土壤沉积速率。同时，通过遥感解译结合无人机观测 33 个样地，在 175 个现场进行验证。在海草床植被碳汇方面，共设置 38 个 0.5 m×0.5 m 样方，调查植被类型包括卵叶喜盐草、贝克喜盐草和二药藻及其混合群落；土壤碳储量核算方面，设置 38 个采样点，采集了 38 根土柱，共 266 个土样，用于测量土壤容重、土壤有机碳、土壤碳储量等；另外，针对湛江市海草床土壤碳汇核算，设置了 1 个样方，采集了 1 根土柱，共 22 个土样，用于放射性同位素 (^{210}Pb 和 ^{238}Cs) 测定土壤沉积速率。在盐沼植被碳储量核算方面，设置了 2 个 10 m×10 m 的大样方，大样方内各设置 5 个 0.5 m×0.5 m 小样方；土壤碳储量核算方面，共设置 2 个样方，6 根土柱，48 个土样。盐沼土壤碳汇核算方面，共设置 2 个样方，2 根土柱，44 个土样。共计 96 个土壤样品。此外，编制单位运用元素分析仪测定了双壳贝类及藻类产品的含碳率，对 2021 年湛江市的海水养殖贝藻类碳汇进行核算。

(4) 2022 年 10 月，编制单位测试完成了蓝碳碳汇核算所需的基础数据。编制单位对红树、海草床和盐沼植被与土壤样品的有机碳含量进行了测定，运用放射性同位素 (^{210}Pb 和 ^{238}Cs) 定年技术预测土壤沉积速率，核算了湛江市红树林、盐沼和海草床植被和土壤的碳储量、碳汇量，并初步编制了《红树林碳汇调查监测与核算技术指南》、《湛江市红树林碳汇核算报告》、《盐沼碳汇调查监测与核算技术指南》、《湛江市盐沼碳汇核算报告》、《海草床碳汇调查监测与

核算技术指南》、《湛江市海草床碳汇核算报告》、《养殖藻类和贝类碳汇调查监测与核技术指南》和《湛江市水产养殖碳汇核算报告》，为《技术指南》的正式编制提供了数据支撑。

(5) 2022 年 11 月-12 月，编制单位正式起草《技术指南》。编制单位以《湛江市海洋碳汇核算试点及相关技术支持服务项目》研究成果、2023 年省级促进经济高质量发展（海洋经济发展）海洋六大产业专项项目《典型蓝碳生态系统碳汇核算及负碳技术评估应用》研究成果及全省红树林调查数据（文献调研）为编制基础，多次研讨确定了《滨海蓝碳碳汇能力调查与核算技术指南》的框架和思路，其中包括适用范围、碳库的选择、野外调查方法、核算方法等核心内容，编制完成初稿，确保方法学具有适用性、可靠性、一致性、有效性和实操性。

(6) 2023 年 5 月 17 日，《技术指南》编制工作入选广东省市场监督管理局 2023 年度第一批地方标准制修订计划项目名录；

(7) 2023 年 6 月-7 月，编制单位第二次开展了湛江红树林、海草床和盐沼野外监测与调查。编制单位共在湛江市东西海岸 7 个样区开展野外监测与调查。红树植被方面，共设置 30 个 10 m×10 m 样方，主要植被类型包括白骨壤、红海榄、秋茄、无瓣海桑、桐花树、木榄 6 种。土壤方面，共设 27 个样方，采集了 81 根 1 m 深的土柱，8 个土层/根，共 648 个土样，用于测量土壤容重、土壤有机碳、土壤碳储量等；另外，采集了 2 根 1 m 深的土柱，22 层/根，共 44 个土样，用于放射性同位素（ ^{210}Pb 和 ^{238}Cs ）测定土壤沉积速率。

(8) 2023 年 10 月，结合第二次野外原位监测与室内检测数据，编制单位对红树林、海草床和盐沼植被与土壤碳储量和碳汇进行了二次评估与核算，进一步对《技术指南》中的蓝碳碳汇核算技术流程和方法进行了优化。

(9) 2023 年 11 月 16 日，编制单位组织召开了《技术指南》专家评审会，会议邀请了来自广东省标准化研究院、中国质量认证中心、广东省林业科学研究院、中国林业科学院热带林业研究所、生态环境部华南环境科学研究所的五位专家，专家组高度评价了《技术指南》，同意该《技术指南》通过初审。

第2章 标准制定的原则与思路

2.1 标准制定的原则

《技术指南》是针对滨海湿地蓝碳碳汇能力调查和核算而制定的指南，其主要原则包括滨海蓝碳碳汇监测原则和滨海蓝碳碳汇核算原则两部分。

(1) 滨海蓝碳碳汇监测原则

- a) 科学性：设定相对客观的、具备普遍性的监测方案。
- b) 完整性：包括滨海蓝碳生态系统所有相关的碳汇过程。
- c) 相关性：选择适当的碳源、碳汇、碳库、数据和方法，以适应滨海蓝碳生态系统碳汇监测的需求。
- d) 可操作性：监测过程中涉及区域、频次须是目前政府主管部门可提供的、可接受的，若不具备条件，需提出替代方案。
- e) 透明性：有明确的、可核查的数据收集方法和监测过程。

f) 保护性：必须注重滨海湿地生态环境保护和可持续利用，确保调查和核算过程不对生态环境造成负面影响。

（2）滨海蓝碳碳汇核算原则

a) 可操作性：计算方法里涉及的滨海蓝碳生态系统分布区域、类型、核算频次须是目前政府统计体系、运营主管部门可提供的、可接受的，若不具备条件，需提出替代方案。

b) 科学性：在满足可操作性的前提下，兼顾考虑科学性，设定相对客观的、具备普遍性的滨海蓝碳碳汇核算方法。

c) 完整性：包括滨海蓝碳生态系统所有相关的碳汇过程。

d) 准确性：对滨海蓝碳的植被碳汇和土壤碳汇进行准确的计算，尽可能减少偏差和不确定性。

e) 透明性：有明确的、可核查的数据收集方法和计算过程，对计算方法及数据来源给出说明。

2.2 标准定位

本技术指南将为广东省红树林、海草床、盐沼和贝藻类等四类滨海蓝碳碳汇的系统调查与评估提供科学的方法学指导，为广东省海洋碳汇核算和广东碳普惠等自愿减排量核算工作提供支撑，为广东省制订减排增汇政策和发展海洋碳汇交易提供重要科学依据，助力广东省生态文明建设和国家双碳目标实现。

2.3 总体思路

《技术指南》为蓝碳碳汇核算系列标准，内容包括 1 项通则（《滨海蓝碳碳汇能力调查与核算技术指南通则》，下称“通则”）和 4 项具体技术指南（《滨海蓝碳碳汇能力调查与核算技术指南 第 1 部分：红树林》、《滨海蓝碳碳汇能力调查与核算技术指南 第 2 部分：海草床》、《滨海蓝碳碳汇能力调查与核算技术指南 第 3 部分：盐沼》和《滨海蓝碳碳汇能力调查与核算技术指南 第 4 部分：贝藻类》，下称“红树林碳汇技术指南”、“海草床碳汇技术指南”、“盐沼碳汇技术指南”和“贝藻类碳汇技术指南”）。

《滨海蓝碳碳汇能力调查与核算技术指南通则》从总体上对广东省滨海蓝碳碳汇核算的总体思路、实施原则、关键技术问题和共性技术问题进行了系统规定。

四个具体技术指南主要基于广东省红树林、海草床、盐沼和贝藻类等各生态系统的不同特征，分别从碳汇调查方法、碳储量评估方法和碳汇核算方法三个方面，系统规定了每种类型碳汇的核算方法和关键技术要点。

随着未来对蓝碳碳汇认识的不断加深和拓展，将有更多具体技术指南加入《技术指南》。

第3章 标准的主要技术内容

3.1 通则

通则主要包括九个部分：范围、规范性引用文件、术语和定义、基本原则、滨海蓝碳碳汇能力调查与核算的工作流程、滨海蓝碳碳汇调查与核算边界、滨海蓝碳碳汇调查与核算步骤与方法、核算工作的质量保证和附录 A-B。其中，滨海蓝碳碳汇能力调查与核算的工作流程主要包括野外原位监测、碳储量评估和碳汇核算。

3.2 红树林碳汇技术指南

红树林碳汇技术指南主要包括七个部分：范围、规范性引用文件、术语和定义、红树林碳汇野外调查方法、红树林碳储量核算方法、红树林碳汇核算方法和附录 A-D。其中，红树林碳汇野外调查方法主要包括调查方案制定、红树林植被碳汇调查方法和红树林土壤碳汇调查方法；红树林碳储量核算方法主要包括红树林植被碳储量核算和红树林土壤碳储量核算；红树林碳汇核算方法主要包括红树林植被碳汇核算方法和红树林土壤碳汇核算方法。

3.3 海草床碳汇技术指南

海草床碳汇技术指南主要包括七个部分：范围、规范性引用文件、术语和定义、海草床碳汇野外调查方法、海草床碳储量核算方法、海草床碳汇核算方法和附录 A-C。其中，海草床碳汇野外调查方法主要包括调查方案制定、海草床植被碳汇调查方法和海草床土壤碳汇调查方法；海草床碳储量核算方法主要包括海草床植被碳储量核算和海草床土壤碳储量核算；海草床碳汇核算方法主要包括海草床植被碳汇速率核算和海草床沉积物碳汇速率核算。

3.4 盐沼碳汇技术指南

盐沼碳汇技术指南主要包括九个部分：范围、规范性引用文件、术语和定义、盐沼样方的确定、盐沼植被碳库野外采样、盐沼土壤碳库野外采样、盐沼碳储量核算方法、盐沼碳汇核算方法和附录 A-D。其中，盐沼碳汇野外调查方法主要包括调查方案制定、盐沼植被碳汇调查方法和盐沼土壤碳汇调查方法；盐沼碳储量核算方法主要包括盐沼植被碳储量核算和盐沼土壤碳储量核算；盐沼碳汇核算方法主要包括盐沼植被碳汇核算方法和盐沼土壤碳汇核算方法。

3.5 贝藻类碳汇技术指南

养殖藻类和贝类碳汇技术指南主要包括六个部分：范围、规范性引用文件、术语与定义、取样与测定方法、藻类和贝类的碳汇计算方法和附录 A-C。取样与测定方法主要包括藻类的取样、贝类的取样、水产养殖样品的采集与储存、产量的获取、藻类干湿比和含碳率的测定和贝类干湿比、质量比和含碳率的测定；藻类和贝类的碳汇计算方法主要包括藻类的碳汇计算和双壳贝类的碳汇计算。

第4章 关键问题说明

4.1 测算边界

红树林、海草床和盐沼是海岸带最具固碳效率的三大生态系统，是 IPCC 认可的海洋蓝碳生态系统，其碳库选择如下：

（1）红树林碳库

- a) 地上活生物量（乔木、灌木、藤本和呼吸根）；
- b) 地上死生物量（凋落物、倒木和枯木）；
- c) 地下活生物量（根系和根状茎）；
- d) 地下死生物量（土壤碳库）。

（2）海草床碳库

- a) 地上活生物量（草本、附生物）；
- b) 地下活生物量（根系和根状茎）；
- c) 凋落物碳库（脱落死亡的叶片、叶鞘、根茎、根、花和果实等）
- d) 土壤碳库。

（3）盐沼碳库

- a) 地上活生物量（禾草、莎草和其他草本植物等、灌木和矮灌丛）；
- b) 地上死生物量（凋落物）；
- c) 地下活生物量（根系和根状茎）；
- d) 土壤碳库。

其中，地上活生物量、地上死生物量和地下活生物量构成植被碳库。地下活生物量（根系和根状茎）是红树林、盐沼和海草床植被碳库的重要组成部分，是碳储量评估和碳汇核算不可或缺的部分（见图 1、图 2）。红树林地下活生物量部分的碳储量是地上部分的接近 2 倍（图 1），海草床和盐沼的地下活生物量的碳储量也远远高于地上部分（图 2）。

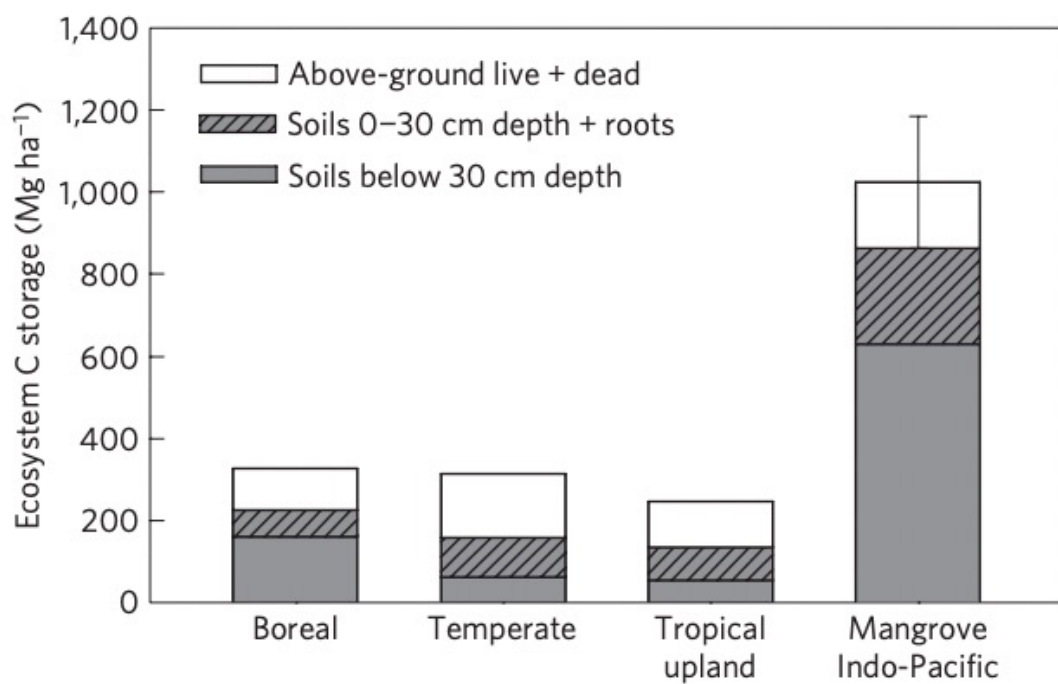


图 1 全球红树林土壤碳储量与森林生态系统对比图。来源：Donato, et al 2011. Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. Nat. Geosci. 4, 293-297.

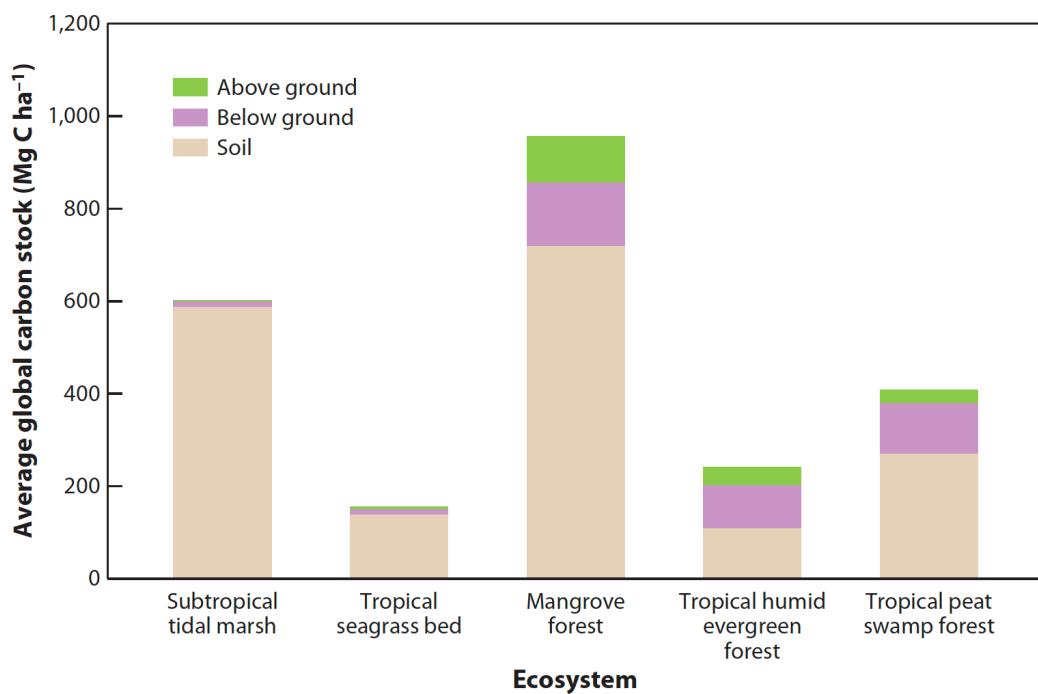


图 2 红树林、潮汐盐沼、海草床全球平均碳储量与常绿森林和泥炭沼泽森林对比图。来源：Alongi, D.M., 2014. Carbon cycling and storage in mangrove forests. Ann. Rev. Mar. Sci. 6, 195 - 219.

4.2 广东省蓝碳生态系统碳汇野外调查方法

野外调查是开展蓝碳碳汇核算的基础，然而，目前关于碳汇野外调查的步骤和调查方案制定尚未形成规范统一的方法学指导。

基于广东省红树林生态系统的特征，红树林碳汇技术指南从以下方面做了界定：

a) 样点设置：广东省红树林呈现出分布分散、斑块变异较大的特点，增加了野外调查和采样工作的难度，样方设置应综合考虑样线取样法、随机取样法和栅格取样法，并根据实际情况调整。

b) 样点数量：在红树多样性较高的地区可多设置样方，如湛江高桥等，而在人工林较多、树种相对单一的地区可少设置样方，如雷州半岛等。

c) 调查频率：鉴于广东省热带风暴频繁爆发，宜每年增加测定频率，可分别在热带风暴登陆前、登陆后进行测定。

基于广东省海草床分布特征，海草床碳汇技术指南规定如下：

a) 针对特有的小型海草物种（如卵叶喜盐草、贝壳喜盐草和二药藻），在海草床碳库评估上，生物碳库强调海草活生物本身的碳储量，可忽略海草附生生物和凋落物碳库；

b) 针对特有的小型海草物种（如卵叶喜盐草、贝壳喜盐草和二药藻），海草床碳汇的评估上，强调沉积物碳汇量，可忽略小型海草植被本身的碳汇量。

基于贝藻类养殖的特点，贝藻类碳汇技术指南规定如下：

由于播种的幼苗数量与收获成体总量并不严格成正比，而且会受到养殖水平、海洋营养状况以及台风、暴雨等极端天气的影响。另外，由于幼苗数量少，相对于成体的碳储量，幼苗可以忽略不计。

4.3 本土参数的选取与确定

（1）红树林碳汇技术指南

红树林土壤碳汇核算需要选取的核心参数有土壤容重、土壤有机碳含量和沉积速率。

a) 土壤容重

土壤容重等于土壤干重与样品原始体积的比值。其中，样品原始体积通过土壤采样管的半径和样品深度确定。土壤样品被烘干直至恒重时的质量即为土壤干重，测定土壤干重时需保证连续称量的质量差小于 4%。本研究共测定了湛江市 672 个红树林土壤样品的容重，涉及白骨壤、红海榄、木榄、秋茄、桐花树、无瓣海桑和混合群落等多个群落类型，获得本土土壤容重参数为 $0.93 \pm 0.35 \text{ g cm}^{-3}$ 。

b) 土壤有机碳

土壤有机碳通过元素分析仪测定。本研究共测定了湛江市 672 个红树林土壤样品的容重，涉及白骨壤、红海榄、木榄、秋茄、桐花树、无瓣海桑和混合群落等多个群落类型，获得本土土壤有机碳含量为 $1.63 \pm 1.24\%$ 。

表 1 目前广东省已开展调查测得的红树林土壤容重和土壤有机碳含量数据

地点	有机碳/%	容重/(g cm ⁻³)	文献来源
潮州	1.55	0.47	(胡懿凯 等, 2019a)
广州	1.65	0.97	(胡懿凯 等, 2019a; Wu et al., 2014)
惠州	3.47	0.85	(胡懿凯 等, 2019a)
江门	2.15±0.20	0.88±0.05	(胡懿凯 等, 2019a; 华国栋 等, 2021; Fu et al., 2020)
茂名	1.15	0.79	(胡懿凯 等, 2019a)
汕头	2.04±0.56	0.74±0.12	(胡懿凯 等, 2019a; He et al., 2018)
深圳	1.4±0.06	0.89	(胡懿凯 等, 2019a; 毛子龙 等, 2011; Lunstrum and Chen, 2014; Fu et al., 2020)
湛江	2.07±0.19	0.93±0.02	(胡懿凯 等, 2019a; 高天伦 等, 2017; 朱耀军 等, 2016; Feng et al., 2019; Fu et al., 2020; Wang et al., 2013; Wang et al., 2019; Gao et al., 2019; Lu et al., 2014)
中山	2.08	0.66	(胡懿凯 等, 2019a)
珠海	1.75±0.11	0.79±0.04	(胡懿凯 等, 2019a; 胡懿凯 等, 2019b; 徐耀文等, 2020; Fu et al., 2020; Yu et al., 2020)

c) 有机碳沉积速率

基于《海洋沉积物中放射性核素的测定 γ 能谱法》(GB/T30738-2014)作为方法指导,使用放射性同位素定年方法确定土壤沉积速率。土壤沉积速率与土壤碳密度的乘积即为有机碳沉积速率。本研究一共测定 1112 个样品,涉及白骨壤、红海榄、木榄、秋茄、桐花树、无瓣海桑和混合群落等多个群落类型,获得的本土有机碳沉积速率参数为 206.81 g C m⁻² yr⁻¹。

表 2 目前广东省已开展调查测得的红树林土壤有机碳沉积速率数据

地点	优势种	有机碳沉积速率 /(g C m ⁻² yr ⁻¹)	文献来源
深圳福田	白骨壤	482	(乔永民 等, 2018; Li et al., 2016; Fu et al., 2020)
淇澳岛	无瓣海桑	539.5	(叶翔 等, 2018)
镇海湾	桐花树	376	(叶翔 等, 2018)
雷州半岛	白骨壤	105.5	(Yang et al., 2014)
雷州湾	无瓣海桑	73	(Fu et al., 2020)
英罗港	桐花树	73.6	(朱耀军 等, 2016)
英罗港	白骨壤	101.3	(朱耀军 等, 2016)
英罗港	n.d.	115	(Gan et al., 2013)

(2) 海草床碳汇技术指南

针对卵叶喜盐草、贝壳喜盐草和二药藻小型海草,提出了本地化的土壤有机碳含量(%Corg)与土壤有机物含量(%LOI)的关系方程为: %Corg=0.1219 %LOI+0.0868, ($R^2=0.6022$)。该

方程与国际上的类似方程相比斜率更低，其原因是小型海草沉积物有机质含量中的有机碳含量更低。

（3）贝藻类碳汇技术指南

贝藻类碳汇核算关键参数是含碳率，本标准中贝类的含碳率采用本地化参数，使双壳贝类碳汇核算方法更精准，同时本标准忽略贝藻幼苗的碳储量，使核算方法更易于操作。增加了《附录 B：常见养殖双壳贝类干湿比、贝壳及软体部分的质量比》和《附录 C：常见养殖双壳贝类含碳率》，包括了广东本地常见的双壳贝类，含碳率使用元素分析仪实际测定，更符合广东本地贝类的实际数值。

表 3 广东省常见养殖双壳贝类干湿比、贝壳及软体部分的质量比（单位为%）

种类	拉丁名	干湿比	软体部分质量比	贝壳部分质量比
华贵栉孔扇贝	<i>Mimachlamys nobilis</i>	65.78	8.36	91.64
丽文蛤	<i>Meretrix lusoria</i>	76.63	6.66	93.34
方形马珂蛤	<i>Macraa veneriformis</i>	63.97	9.13	90.87
尖紫蛤	<i>Hiatula acuta</i>	44.07	32.97	67.03
菲律宾蛤仔	<i>Ruditapes philippinarum</i>	69.86	7.80	92.20
波纹横帘蛤	<i>Paphia undulatu</i>	66.54	11.29	88.71
缢蛏	<i>Sinonovacula constricta</i>	40.73	31.53	68.47
翡翠贻贝	<i>Perna viridis</i>	65.61	8.36	91.64
白贝	<i>Monetaria moneta</i>	81.62	4.02	95.98
文蛤	<i>Meretrix meretrix</i>	84.89	2.41	97.59
中国江珧	<i>Atrina chinensis</i>	53.09	17.57	82.43
近江牡蛎	<i>Magallana ariakensis</i>	78.53	3.83	96.17

表 4 广东省常见养殖双壳贝类含碳率（单位为%）

种类	拉丁名	软体部含碳率	贝壳含碳率
华贵栉孔扇贝	<i>Mimachlamys nobilis</i>	39.73	12.20
丽文蛤	<i>Meretrix lusoria</i>	35.50	12.13
方形马珂蛤	<i>Macraa veneriformis</i>	40.53	12.37
尖紫蛤	<i>Hiatula acuta</i>	42.63	12.97
菲律宾蛤仔	<i>Ruditapes philippinarum</i>	38.57	11.33
波纹横帘蛤	<i>Paphia undulatu</i>	35.83	11.33
缢蛏	<i>Sinonovacula constricta</i>	41.47	12.23
翡翠贻贝	<i>Perna viridis</i>	38.17	13.87
白贝	<i>Monetaria moneta</i>	38.77	12.17
文蛤	<i>Meretrix meretrix</i>	36.80	12.17
中国江珧	<i>Atrina chinensis</i>	39.33	12.00

近江牡蛎	<i>Magallana ariakensis</i>	44.00	11.73
平均值		39.28	12.21

4.4 核算方法的选择

4.4.1 红树林碳汇核算

(1) 红树林植被碳汇推荐使用净初级生产力估算法。因红树林野外采样难度较大，且部分区域难以抵达，野外调查存在调查不全面的问题，建议基于野外调查结果，对区域净初级生产力按样方调整，继而估算碳汇。

(2) 红树林土壤碳汇核算推荐采用沉积速率法。沉积速率法是目前国内外广泛使用的红树林土壤碳汇核算方法，但存在成本过高的问题。本研究提供的广东省红树林土壤有机碳沉积速率本土参数可在未来为碳汇核算提供科学依据。

4.4.2 海草床碳汇核算

(1) 针对海草床植被碳汇速率核算，提出了碳储量差值法和海草床植物年初级生产力法，提出海草床植物的初级生产力采用扎孔标记法进行估算。

(2) 针对海草床沉积物碳汇量，提出了碳储量差值法和沉积物速率法。提出沉积速率法包括 ^{210}Pb - ^{137}Cs 同位素测年法、水平标志层法、地表高程-标志层监测体系 (SET-MH 或 SET) 三种方法。

4.4.3 盐沼碳汇核算

(1) 盐沼植被碳储量核算方法，包括碳储量插值法和净初级生产力核算法。提出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。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。

(2) 盐沼土壤碳汇核算方法，包括碳储量差值法和沉积速率法。提出沉积速率法包括 ^{210}Pb - ^{137}Cs 同位素测年法、水平标志层法、地表高程-标志层监测体系 (SET-MH 或 SET) 三种方法。

第5章 应用案例

5.1 红树林碳汇技术指南实践 - 湛江红树林碳汇监测与核算

5.1.1 碳汇监测

5.1.1.1 样点选择

基于《滨海蓝碳碳汇能力调查与核算技术指南 第1部分：红树林》的4.1 野外原位监测，在湛江红树林野外原位监测共选取了10个采样点，其中东海岸6个、西海岸4个。东海岸采样点分别为：S1 太平镇、S2 南田村、S3 东海岛、S4 金鸡村、S5 那板村、S10 特呈岛；西海岸采样点分别为：S6 潭典村、S7 海角村、S8 下斗伦村、S9 高桥。基于样线取样法，每个采样点根据从海到陆三个梯度设立样方。

5.1.1.2 植被监测

基于《滨海蓝碳碳汇能力调查与核算技术指南 第1部分：红树林》的4.2 红树林植被碳汇调查方法，红树林植被碳库由多个组分组成，包括乔木、灌木、呼吸根、凋落物、林下草本、红树林幼苗、枯木、倒木等，不同组分的调查方法有所不同。

(1) 乔木。记录样方内每一棵乔木的基本信息，包括树种、胸径、高度、位置和编号。

(2) 灌木。测量样方内灌木的冠幅、树冠体积、树冠面积、树高和离地面 0.3 m 处的直径。对于灌木红树植物形成很密的群落，宜采用半径 2 m 的半圆形样方作为典型的样方。

(3) 枯立木。样方内所有已经枯死但未倒下的树被称为枯立木。若是乔木，测量树木的树高以及 1.3 m 处的胸围；若是灌木，测量树高、冠层深度、冠幅以及主茎距离地面 0.3 m 处的胸围。

(4) 藤本植物。统计样方内藤本植物数量并进行标记，并测量其离地 1.3 m 处的直径，用于估算其生物量。

(5) 呼吸根和草本植物。统计样方内或邻近样方内呼吸根的数量，计算呼吸根密度。齐地剪下 50~100 根呼吸根（覆盖样方内分布的所有呼吸根大小），带回实验室获得每个呼吸根的干重，并计算平均值。若样方中存在草本植物，可采用类似方法进行草本植物密度的测定。采集 20~50 株草本植物（覆盖不同高度），带回实验室烘干称重，并计算平均值。

(6) 凋落物。收集样方内所有凋落物。

(7) 倒木。应采用样方法取样或样线法取样。若样方内倒木数量较少，可逐一测量其中间部位的直径。若倒木数量较多，可采用样线相交法取样。

5.1.1.3 土壤监测

基于《滨海蓝碳碳汇能力调查与核算技术指南 第1部分：红树林》的4.3 红树林土壤碳汇调查方法，在进行土壤碳储量采样时，在每个样方采集 1 米的土柱，现场将其分割为 0-5 cm、5-10 cm、10-20 cm、20-30 cm、30-45 cm、45-60 cm、60-80 cm、80-100 cm 共 8 层，放入车载冰箱冷藏保存。

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 0~100 cm。将其细分为在 0~30 cm 范围内，每 2 cm 取一个样；在 30~100 cm 范围内，每 10 cm 取一个样，共 22 个样。样品保持低温（4 ℃）保存，在收集后 24 h 内进行冷冻。

5.1.2 碳储量评估

5.1.2.1 植被碳储量

基于《滨海蓝碳碳汇能力调查与核算技术指南 第1部分：红树林》的5.1 红树林植被碳储量核算，本研究核算的湛江市红树林植被平均碳储量为 $65.19 \pm 36.22 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ，湛江市红树林植被总碳储量为 $469165.91 \pm 260671.72 \text{ Mg C}$ 。所核算的湛江红树林植被碳储量与文献报道中的结果数量级一致，具有较强的可比性。

本项目调查显示平均碳储量结果为 $65.19 \pm 36.22 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ，与 Meng 等人（2022）和李翠华等人(2020)在海南东寨港开展的调查以及胡懿凯等人(2019)在广东省红树林的调查结果较为接近，分别为 $44.70 \text{ Mg C ha}^{-1}$ 、 $53.60 \text{ Mg C ha}^{-1}$ 和 $50.81 \text{ Mg C ha}^{-1}$ 。已有报道显示，Rovai 等人(2021)在巴西进行的红树林碳储量核算最高，达 $114.00 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ，其次是王月如(2018)在广东深圳湾进行的红树林碳储量核算，为 $97.56 \text{ Mg C ha}^{-1}$ 。何琴飞等人(2017)在广西钦州湾以及缪绅裕等人(1998)在广东省湛江市高桥镇的调查核算结果分别为 $15.99 \text{ Mg C ha}^{-1}$ 和 $22.20 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ，均低于本项目的调查核算结果。与以往研究相比，本研究范围更广、群落调查更为丰富多样、样方数量更多。因此，本项目的研究结果可以合理地反映出湛江红树林植被的碳储量能力。

5.1.2.2 土壤碳储量

基于《滨海蓝碳碳汇能力调查与核算技术指南 第1部分：红树林》的 5.2 红树林土壤碳储量核算，对湛江市红树林土壤碳储量的研究表明，湛江市红树林 1 米土壤的平均碳储量约为 $108.13 \pm 46.78 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ，总碳储量为 $778220.65 \pm 336647.80 \text{ Mg C ha}^{-1}$ 。

与国内外对广东、海南、广西、美国和巴西等红树林土壤碳储量相关研究对比结果如下所示：本项目研究涉及的红树林植被群落更加丰富多样，涵盖了包括白骨壤、红海榄、互花米草、木榄、秋茄、桐花树和无瓣海桑等 7 种单一植被群落和 4 种混合植被类型，而目前研究主要选择 1-4 种植物群落开展。此外，国内外针对红树林土壤碳汇的研究主要选择的土壤深度范围包括 0-30 cm、0-40 cm、0-50 cm、0-100 cm 及 0-120 cm 等，本次对湛江市红树林土壤碳储量核算选择的土壤深度为 0-100 cm。在此基础之上，本项目结合采样点海陆梯度布设样方，计算结果可以更加科学合理地反映出湛江复杂植被类型红树林土壤的碳储量。

5.1.3 碳汇核算

5.1.3.1 植被碳汇

基于《滨海蓝碳碳汇能力调查与核算技术指南 第1部分：红树林》的 6.1 红树林植被碳汇核算方法，计算得到湛江红树林植被平均净初级生产力为 $611.34 \text{ g C (m}^2 \text{ a)}^{-1}$ 。对比前人核算结果发现，不同植被群落间的净初级生产力差异很大。林鹏等人(1992)在广西调查的红海榄群落净初级生产力为 $537.10 \text{ g C (m}^2 \text{ a)}^{-1}$ ，卢伟志等人（2014）在广东省湛江市调查的桐花树群落净初级生产力 $556.00 \text{ g C (m}^2 \text{ a)}^{-1}$ ，彭聪姣等人（2016）在广东省深圳市调查的秋茄群落净初级生产力为 $767.00 \text{ g C (m}^2 \text{ a)}^{-1}$ ，刘素青等人（2021）在广东省湛江市雷州半岛调查的无瓣海桑群落净初级生产力为 $1696.03 \text{ g C (m}^2 \text{ a)}^{-1}$ ，彭聪姣等人（2016）在广东省深圳市调查的白骨壤群落净初级生产力为 $875.00 \text{ g C (m}^2 \text{ a)}^{-1}$ 。不同植被群落间的净初级生产力的差异对植被碳汇核算可能产生很大影响。因此，在进行植被碳汇核算时，必须考虑不同植被群落净初级生产力差异的影响，以准确评估和测算植被碳汇的总量。本研究综合选取了红海榄、秋茄、白骨壤、桐花树、木榄、无瓣海桑以及多个混合群落。相比于以往研究，本研究范围更广（湛江东西海岸）、群落调查更为丰富多样、样方数量更多（30 个）。因此，本研究结果可以科学合理地反映出湛江红树林植被的碳汇能力。

5.1.3.2 土壤碳汇

基于《滨海蓝碳碳汇能力调查与核算技术指南 第1部分：红树林》的6.2 红树林土壤碳汇核算方法，核算湛江红树林1米土壤平均有机碳累积速率为 $206.81 \pm 120.55 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 。以往研究表明，不同地区的红树林碳汇差异较大，造成这种差异的主要原因可能有：（1）不同研究的土壤深度不同，大多数研究深度均不超过100 cm，而在淇澳岛的研究中达到了1450 cm，这可能是其碳汇能力（ $539.54 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ ）远高于其他研究的主要原因；（2）采集群落样品较为单一，从以往研究中发现，前人研究调查的群落一般为1-2种，范围较小；（3）采样时间也存在一定差异，不同年龄段的红树林群落碳汇能力有着极大的差异。与以往研究相比，本次湛江红树林研究采集的土壤样方数量/土柱数量最多、涉及红树群落类型最多、研究区域相对较广，同时本研究选择的土壤深度为0-100 cm，采用海陆梯度布设样方方式，因此本研究的计算结果可以科学合理地反映出湛江红树林土壤的碳汇能力，可用于计算湛江土壤碳汇。

5.2 海草床碳汇核算技术指南实践 - 湛江海草床碳汇调查与核算

5.2.1 野外采样与监测

5.2.1.1 碳库组成

基于《滨海蓝碳碳汇能力调查与核算技术指南 第2部分：海草床》的4.1.1 碳库组成，湛江海草床碳库主要包括地上活生物量（草本、附生植物）、地下活生物量（根系、根状茎）、凋落物碳库和土壤碳库，土壤碳库是海草生态系统中最大的碳库。死亡的地上生物量通常可以忽略，海草的叶片通常很快被分解，或迅速被潮水带出海草床。附生植物可视为一个碳库，但其规模视种类和位置而显著不同，湛江市海草均为小型海草，因此忽略附生植物和凋落物碳库。

5.2.1.2 采样点设置

基于《滨海蓝碳碳汇能力调查与核算技术指南 第2部分：海草床》的4.1.2 面积的确定，同时结合文献报道及本研究实地踏查，去除已消失的海草床，湛江市海草床总面积约864.18 ha，占全省58%。分布于南三、东参渡口、东海岛、新寮镇、海安、企水及流沙湾七处海岸带，其中流沙湾海草床总面积为852.6 ha，为华南地区面积最大的海草床（Jiang et al., 2020）。海草物种主要包括卵叶喜盐草（*Halophila ovalis*）、贝克喜盐草（*Halophila beccarii*）和二药藻（*Halodule uninervis*）。此外，海安生长有少量川蔓藻（*Ruppia brevipedunculata*）。湛江市海草均为小型海草。

基于《滨海蓝碳碳汇能力调查与核算技术指南 第2部分：海草床》的4.1.3 样方位置，分别于流沙湾、东海岛和东参渡口设置样带，布设样方。所调查的三个区域海草床均位于潮间带，大潮低潮时海草能裸露出水面。其中，流沙湾海草床在近岸带呈斑块状分布，中岸带及远岸带连续成片；海草类型主要由近岸带的多种海草混合生长（贝克、卵叶喜盐草和二药藻）向中岸带和远岸带的卵叶喜盐草为主过渡。最低水深超过0.5 m的潮下带区域无海草生长。对于面积 $\geq 500 \text{ ha}$ 的海草床至少设置五个样带。由于流沙湾海草床面积大于500 ha，因此，垂直于海岸带

方向布设了六个样带，每个样带按照近岸带、中岸带和远岸带各设置 1 个样方，根据海草床的总体宽度，近岸带、中岸带和远岸带之间相隔 200~500 m，尽可能均匀分布。因此，共设置了 18 个样方，采集了 18 个生物样品及 18 根土柱。

其次，考虑流沙湾植被生长的差异，高异质性的区域土壤碳储量会有很大的不确定性。因此，为了比较不同种植被碳储量的差异，根据植被生长的情况，在近岸带增加了 4 个贝克喜盐草样方，6 个卵叶喜盐草和二药藻混合生长样方，在中岸带增加了 3 个卵叶喜盐草样方，在远岸带增加了 1 个卵叶喜盐草样方，该土柱中下段以珊瑚为主。因此，在流沙湾共采集生物样品和土壤样品各 32 个，包括 22 个卵叶喜盐草、4 个贝克喜盐草，6 个卵叶喜盐草与二药藻混合生长的样品。

东海岛海草床面积约 3 ha，为淤泥质海滩，泥质较陷，以卵叶喜盐草为主，采集 3 个生物样品、3 根土柱以及 1 根定年土柱。东参渡口海草床面积较小，约 200 m²，为本研究新发现的海草床，淤泥质海滩，泥质较陷，共采集 3 个生物样品和 3 根土柱。

基于《滨海蓝碳碳汇能力调查与核算技术指南 第 2 部分：海草床》的 4.1.4 样方数量，针对湛江市海草床植被碳储量核算，共 38 个采样点，38 个样方；土壤碳储量核算方面，共 38 个采样点，38 个样方，38 根土柱，266 个土样；针对湛江市海草床土壤碳汇核算，共 1 个采样点，1 个样方，1 根土柱，22 个土样；共计 288 个土壤样品。

5.2.1.3 土壤样品采集

基于《滨海蓝碳碳汇能力调查与核算技术指南 第 2 部分：海草床》的 4.2 海草床植被碳汇调查方法，采用俄罗斯泥炭采样器（Russian Peat Corer）在采集生物的样方格子附近，垂直采集 1 m 深的土柱，在选取沉积物采样点时，应避开蟹洞，去除采样土壤表面凋落物层和活体组织。采样时将半圆柱形箱体推入土壤、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，扭转取样器后缓慢拉出，将采样器水平放置。也可分多次取样，扭转取样器切断细根，缓慢拔出取样器后，将采样器水平放置。在上次取样处重复前述采样步骤，取 50-100 cm 内土壤。用干净的切割工具将土柱按照 50 cm 以上每 10 cm 一层，50-70 cm，70-100 cm 各一层，共分为七层。对每个土壤子样品采用 20 mL 注射器垂直取样 15 mL 沉积物后，将剩余土柱分别装入七个自封袋中，放置在 4°C 以下冷藏或冷冻后带回实验室。按照同样的方法，在流沙湾和东海岛各采集 1 根土柱，分 22 个子样，0-30 cm 内每 2 cm 取一个样，30-100 cm 内每 10 cm 取样，用于测定土柱的沉积速率。

5.2.2 海草床碳储量评估

5.2.2.1 海草床植被碳储量评估

基于《滨海蓝碳碳汇能力调查与核算技术指南 第 2 部分：海草床》的 5.1 海草床植被碳储量核算，在流沙湾的 32 个生物样方中，28 个样方生长有卵叶喜盐草，4 个样方生长有贝克喜盐草，6 个样方中生长有二药藻。流沙湾海草总枝密度为 19717.36 ± 26728.58 枝 m⁻²，地上总生物量与地下总生物量比较接近，分别为 16.58 ± 15.25 g m⁻² 和 14.69 ± 13.87 g m⁻²，比值为 1.29 ± 0.71 。

湛江流沙湾海草床总体覆盖度为 $72.63 \pm 16.74\%$ ，总生物量为 $31.27 \pm 29.03 \text{ g m}^{-2}$ ，变化范围为 1.11 至 118.06 g m^{-2} ，海草有机碳储量为 $0.11 \pm 0.10 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ，流沙湾 852.6 ha 海草生物总储量为 $90.63 \pm 84.15 \text{ Mg C}$ ，波动范围为 3.24~342.23 Mg C。

在东海岛的 3 个生物样方中，东海岛海草地上生物量与地下生物量比较接近，分别为 $0.17 \pm 0.06 \text{ g m}^{-2}$ 和 $0.15 \pm 0.04 \text{ g m}^{-2}$ ；东参渡口海草地上生物量与地下生物量相近，分别为 $0.07 \pm 0.05 \text{ g m}^{-2}$ 和 $0.08 \pm 0.06 \text{ g m}^{-2}$ ；地上与地下生物量的比值分别为 1.11 ± 0.16 和 1.00 ± 0.1 。由于东海岛和东参渡口的海草床面积和生物量均较小，其生物碳储量可忽略不计。结合湛江其他四处海草床的地上与地下生物量以及海草床面积，南三、新寮镇、海安和企水五处 8.55 ha 海草床的生物碳储量为 $0.51 \pm 0.01 \text{ Mg C}$ 。因此，湛江市海草床单位面积生物有机碳含量为 $0.04 \pm 0.01 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ，总生物碳储量为 $91.14 \pm 84.15 \text{ Mg C}$ ，波动范围为 3.75~342.74 Mg C。

5.2.2.2 海草床土壤碳储量评估

基于《滨海蓝碳碳汇能力调查与核算技术指南 第 2 部分：海草床》的 5.2 海草床土壤碳储量核算，流沙湾 1 m 深土壤碳储量为 $64.93 \pm 22.31 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ，变化范围为 39.74~157.12 Mg C ha^{-1} ；东海岛 1 m 深土壤碳储量为 $33.8 \pm 10.65 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ，变化范围为 24.26~45.29 Mg C ha^{-1} ；东参渡口 1 m 深土壤碳储量为 $27.35 \pm 4.15 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ，变化范围为 24.96~32.14 Mg C ha^{-1} 。单位面积土壤碳储量流沙湾>东海岛>东参渡口，三处的平均碳储量为 $42.03 \pm 25.07 \text{ Mg C ha}^{-1}$ 。根据三处海草床的面积，得出流沙湾、东海岛和东参渡口三处海草床的土壤总碳储量为 $55461.265 \pm 19021.53 \text{ Mg C}$ 。

湛江其他四处，南三、新寮镇、海安和企水海草床面积为 8.55 ha，按照流沙湾、东海岛和东参渡口三处土壤碳储量的平均值 $42.03 \pm 25.07 \text{ Mg C ha}^{-1}$ 估算，总储量为 $55821.04 \pm 19022.02 \text{ Mg C}$ ；波动范围按照碳储量 24.26~157.12 Mg C ha^{-1} 估算，864.18 ha 海草床的土壤碳储量波动范围为 20965~135780 Mg C。比较湛江市七处海草床土壤碳储量变化可知，土壤碳储量主要集中在流沙湾，占总储量的 99%以上。

5.2.3 海草床碳汇核算

海草床碳汇速率为植被碳汇速率与沉积物碳汇速率之和，由于湛江市土壤碳储量占总碳储量的 99.83%，生物量占比仅为 0.17%，因此本研究选择忽略海草床植被的碳汇速率，仅考虑沉积物碳汇速率。

根据沉积物柱状样中 ^{210}Pb 、 ^{226}Ra 和 ^{137}Cs 的比活度，计算得到流沙湾海草床 4~26 cm 层段沉积速率为 0.476 cm yr^{-1} ($y = -0.0653x + 3.5736$, $R^2=0.93$)，结合定年土柱的容重和有机碳含量，得出流沙湾海草床的沉积速率为 $29.77 \pm 0.56 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ ，变化范围为 20.11~43.05 $\text{g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ ，远小于以往估算平均的碳埋藏速率 ($367 \sim 646 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$) (李捷等, 2019; Kennedy et al., 2010)。

东海岛海草床 8~30 cm 层段沉积速率为 2.156 cm yr^{-1} ($y = -0.0088x + 3.542$, $R^2=0.85$)。结合定年土柱的容重和有机碳含量, 得出东海岛海草床的沉积速率为 $77.17 \pm 2.71 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$, 变化范围为 $27.49 \sim 171.45 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$, 高于流沙湾海草床沉积速率。

此外, 湛江其他五处, 东参渡口、南三、新寮镇、海安和企水海草床面积为 8.58 ha , 按照流沙湾和东海岛沉积速率的平均值 $53.47 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 估算, 碳汇量为 $4.59 \text{ Mg C yr}^{-1}$; 湛江市 864.18 ha 海草床土壤年碳汇量为 $260.76 \pm 4.86 \text{ Mg C yr}^{-1}$, 变化范围为 $176.86 \sim 376.81 \text{ Mg C yr}^{-1}$ 。其中, 流沙湾 852.6 ha 的碳汇量为 $253.85 \pm 4.79 \text{ Mg C yr}^{-1}$, 变化范围为 $171.45 \sim 367.08 \text{ Mg C yr}^{-1}$, 可以得出湛江市海草床碳汇量主要在流沙湾海草床。

5.3 盐沼碳汇技术指南实践 - 湛江盐沼碳汇监测与核算

5.3.1 野外采样与监测

5.3.1.1 碳库组成

基于《滨海蓝碳碳汇能力调查与核算技术指南 第3部分: 盐沼》的 4.1.1 盐沼的碳库, 湛江盐沼碳库主要包括地上活生物量(灌木、禾本和草本等), 地下活生物量(根系和根状茎), 地上死生物量(凋落物)和土壤碳库。

5.3.1.2 样点设置

结合遥感解译(高质量 Sentinel-2 影像)和实地勘探(50 个样点)对湛江市盐沼分布面积进行了计算。结果显示, 湛江市现有盐沼面积 10.02 km^2 , 主要是互花米草, 其中盐沼分布面积最大的是湛江市区(含特呈岛), 为 5.56 km^2 , 占湛江盐沼总面积的一半以上; 其次是雷州市面积为 2.99 km^2 ; 徐闻、吴川、廉江面积分别为 0.28 km^2 , 0.22 km^2 和 0.14 km^2 。

对湛江市 2 个典型盐沼分布区进行了现场调查取样。基于《滨海蓝碳碳汇能力调查与核算技术指南 第3部分: 盐沼》的 4.1.2 样方位置, 调查样地分别位于雷州市河北港南田村(20.9050 N , 110.1711 E)和遂溪县下斗伦村(21.3694 N , 109.9055 E), 主要盐沼物种为互花米草。在上述 2 个样地各设置一个 $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ 大样方, 大样方内设置 5 个 $50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$ 小样方, 使用小样方生物量估算出大样方生物量(用面积估算), 数出每个小样方内互花米草的数量并记录, 采集具有代表性的互花米草植株(齐根收割小样方内大中小植株各一棵, 共 3 棵), 将采集的互花米草植株带回烘干称重, 称取其干重即生物量。

本次土壤碳储量和碳汇的核算方法主要以采集实地样本, 进行初步估算。基于《滨海蓝碳碳汇能力调查与核算技术指南 第3部分: 盐沼》的 4.1.3 样方数量, 本次针对湛江市盐沼碳储量核算, 共涉及 2 个采样点, 2 个样方, 6 根土柱, 48 个土样。针对湛江市盐沼土壤碳汇核算, 共涉及 2 个采样点, 2 个样方, 2 根土柱, 44 个土样。共计 96 个土壤样品。

5.3.1.3 土壤样品采集

5.3.1.3.1 土壤碳储量土柱采集

基于《滨海蓝碳碳汇能力调查与核算技术指南 第3部分: 盐沼》的 4.3.3 土柱的采样步骤:

步骤一：尽量选取地表无呼吸根、蟹洞、踩踏痕迹的区域，去除采样土壤表面凋落物层和活体组织。

步骤二：将内径为 2.5 cm 的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。采样器插进土壤时应缓慢而平稳(轻敲锤子)，采样器尽量不要挤压土壤。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，应另选一个位置采样或者更换采样工具切断阻碍物。

步骤三：到达所需深度后，缓慢扭转采样器将残留的细跟切断，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，拔出时注意继续扭转采样器，取得完整地土壤样品。若取出后发现土柱中存在明显空缺区域、较多植物根系或珊瑚礁碎片等情况，则需调整采样位置重新采集土壤样品。每个样方需采集 3 根具有代表性的土柱。

基于《滨海蓝碳碳汇能力调查与核算技术指南 第 3 部分：盐沼》的 4.3.4 土柱分层采样和 4.3.5 样品存储与运输，在每个样方采集 3 根深度为 1 米的土柱，现场将其分割为 0-5 cm、5-10 cm、10-20 cm、20-30 cm、30-45 cm、45-60 cm、60-80 cm、80-100 cm 共 8 层，放入车载冰箱冷藏保存。

5.3.1.3.2 土柱采集

基于《滨海蓝碳碳汇能力调查与核算技术指南 通则》的 7.1.6 有机碳沉积速率监测方法：

步骤一：尽量选取地表无呼吸根、蟹洞、踩踏痕迹的区域，去除采样土壤表面凋落物层和活体组织。

步骤二：将内径为 5.1 cm 的采样器垂直插入土壤中，直至采样器的泥斗与土壤表面齐平。采样器插进土壤时应缓慢而平稳(轻敲锤子)，采样器尽量不要挤压土壤。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，应另选一个位置采样或者更换采样工具切断阻碍物。

步骤三：到达所需深度后，扭转采样器将残留的细跟切断，闭合泥斗（防止样品流失。然后缓慢拔出采样器，拔出同时注意不要踩踏采样位置，取得 0-50 cm 土壤样品。

步骤四：分割完 0-50 cm 样品后，打开采样器泥斗，在原位插入采样器至泥斗与土壤表面齐平。旋转闭合泥斗，取出采样器，打开并清理泥斗内采集的土壤（去除 0-50 cm 的土壤淤积）。

步骤五：再次在同样位置插入采样器，直至采样器的顶部与土壤表面齐平。采样器插进土壤时应稳而慢(轻敲锤子)，采样器尽量不要挤压土壤。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，应更换采样工具切断阻碍物。

步骤六：到达所需深度后，扭转采样器将残留的细根切断，闭合泥斗（防止样品流失。然后缓慢拔出采样器，取得 50-100 cm 土壤样品。

基于《滨海蓝碳碳汇能力调查与核算技术指南 通则》的 7.1.6.4 土柱分层取样，在进行沉积速率采样时，对土壤取样采用高密度集的采样技术，深度范围为 0-100 cm。将其细分为 0-2 cm，2-4 cm，4-6 cm，6-8 cm，8-10 cm，10-12 cm，12-14 cm，14-16 cm，16-18 cm，18-20 cm，20-22 cm，22-24 cm，24-26 cm，26-28 cm，28-30 cm，30-40 cm，40-50 cm，50-60 cm，60-70 cm，70-80 cm，80-90 cm，90-100 cm 共 22 层，分割完成后应尽快带回实验室冷冻保存。

5.3.2 盐沼碳储量评估

5.3.2.1 植被碳储量评估

基于《滨海蓝碳碳汇能力调查与核算技术指南 第3部分：盐沼》的5.1盐沼植被碳储量核算，经测得湛江互花米草单位面积碳储量为1.17 Mg C/ha，其中地上为0.77 Mg C/ha，地下为0.41 Mg C/ha，显著低于前人调查结果。于彩芬等人在江苏废黄河口一带研究时发现互花米草的碳储量为10.66 Mg C/ha，根据比例换算得到，地上部分碳储量为6.97 Mg C/ha，地下部分碳储量为3.69 Mg C/ha；覃盈盈等人以分布于广西合浦山口红树林保护区的互花米草为研究对象，碳储量调查结果为1.70 Mg C/ha，通过比例换算得到，地上部分碳储量为1.11 Mg C/ha，地下部分碳储量为0.59 Mg C/ha；刘钰等人得到了长江口九段沙互花米草植被碳储量为6.82 Mg C/ha，其中地上部分碳储量为4.46 Mg C/ha，地下部分碳储量为2.36 Mg C/ha；周婷南核算互花米草的碳储量为5.30 Mg C/ha，地上部分碳储量为3.47 Mg C/ha，地下部分碳储量为1.83 Mg C/ha；陆琳莹得到互花米草的碳储量为21.05 Mg C/ha，地上部分碳储量为13.53 Mg C/ha，地下部分碳储量为7.52 Mg C/ha。

这可能与采样季节有关，本项目调查季节为5-6月，互花米草仍在生长过程中。因此，结合本项目和前人调查结果平均得到互花米草单位面积碳储量为 7.78 ± 3.49 Mg C/ha，其中地上部分碳储量为 5.05 ± 2.55 Mg C/ha，地下部分碳储量为 2.73 ± 2.64 Mg C/ha。

5.3.2.2 土壤碳储量核算

基于《滨海蓝碳碳汇能力调查与核算技术指南 第3部分：盐沼》的5.2盐沼土壤碳储量核算，对湛江市盐沼碳储量的研究表明，湛江市盐沼1米土壤的平均碳储量约为 155.64 ± 74.48 Mg C/ha。本项目计算得出的湛江市盐沼1米土壤的平均碳储量低于闽江河口、长江口九段沙湿地中的盐沼土壤平均碳储量，但高于山东胶州湾、黄河三角洲的盐沼土壤平均碳储量，且高于我国盐沼土壤平均碳储量为 81.1 ± 9.1 Mg C/ha。

5.3.3 盐沼碳汇核算

5.3.3.1 植被碳汇核算

由于互花米草为一年生，其碳汇量等于植被自身生长量，所以其碳汇量可通过碳储量进行核算。基于《滨海蓝碳碳汇能力调查与核算技术指南 第3部分：盐沼》的6.1盐沼植被碳汇核算方法，通过核算得到湛江市总植被碳汇量为7795.56 Mg C/a。

5.3.3.2 土壤碳汇核算

基于《滨海蓝碳碳汇能力调查与核算技术指南 第3部分：盐沼》的6.2.2沉积速率法— ^{210}Pb - ^{137}Cs 同位素测年法，湛江市盐沼1米土壤的有机碳累积速率为 374.48 ± 353.68 g C m⁻² a⁻¹，碳汇为 3752.26 ± 3543.84 Mg C a⁻¹。与国内其他的地区盐沼土壤碳汇相关研究相比，各个地区土

壤有机碳沉积速率差异明显。本次的对湛江市盐沼土壤有机碳累积速率核算结果为 $374.48 \pm 353.68 \text{ g C m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ 。

5.4 贝藻类碳汇技术指南实践 - 湛江贝藻类碳汇监测与核算

5.4.1 湛江市水产养殖调查及取样

基于《滨海蓝碳碳汇能力调查与核算技术指南 第4部分：贝藻类》的4.4产量的获取，通过湛江市农业农村局和统计局获得2021年湛江市水产养殖数据。湛江市各地级市、县、区2021年海水养殖贝类和藻类的产量及养殖面积如表5所示。湛江地处热带、亚热带，海藻多为野生藻类，至今没有大规模的海藻养殖。湛江市目前主要养殖的海藻种类包括马尾藻属、江蓠、礁膜等，其中马尾藻和礁膜为试验性栽培，尚未商业化养殖。江蓠，又称龙须菜（*Gracilaria lemaneiformis*），是目前湛江地区商业化栽培规模最大的种类，主要栽培区域为东海岛，2021年产量为507t，养殖面积为16hm²（公顷）。对于贝类来说，遂溪县的海水养殖产量和面积均为最大，雷州市其次之，麻章区的海水养殖面积低于东海岛，但是养殖产量高于东海岛，说明麻章区的海水养殖效率高于东海岛。开发区和赤坎区没有海水贝类养殖产业。

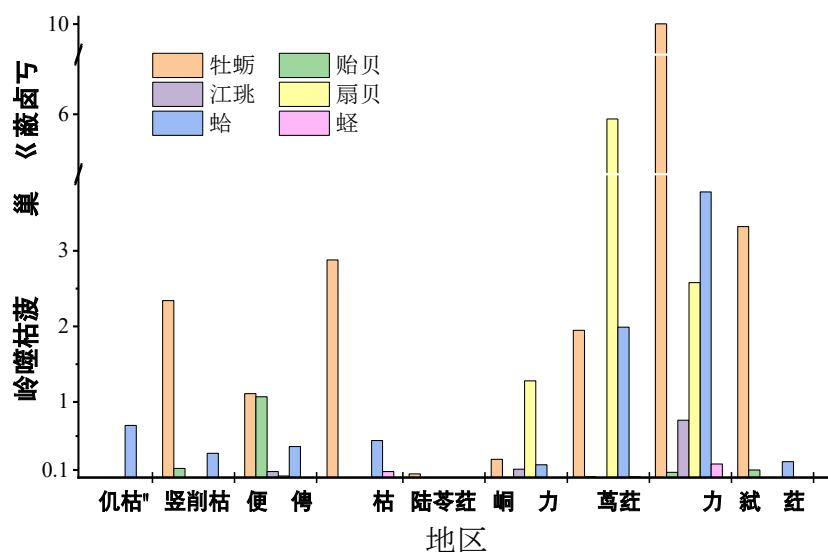
表5 湛江市2021年海水养殖贝类和藻类的产量及养殖面积

地区	海水养殖产量（t）		海水养殖面积（hm ² ）	
	贝类	藻类	贝类	藻类
开发区	0	0	0	0
赤坎区	0	0	0	0
霞山区	6984	0	114	0
坡头区	29013	0	1623	0
东海岛	33568	507	2437	16
麻章区	43782	0	2119	0
吴川市	530	0	30	0
徐闻县	24122	0	2243	0
雷州市	100716	0	5260	0
遂溪县	183109	0	5615	0
廉江市	36350	0	767	0

2021年湛江双壳贝类总产量达43.58万吨，各品种的产量如表6所示。湛江市各地区主要养殖贝类品种及养殖产量见图3。牡蛎作为湛江产量最高的水产品，产量接近22万吨，主要养殖地点为遂溪县、廉江市和麻章区海域。扇贝产量次之，多为吊笼养殖，主要产于雷州流沙湾和遂溪草潭镇。蛤类等多见底播养殖，主要产于遂溪县和雷州市附近滩涂区。贻贝的主要产地为东海岛，江珧的主要产地为遂溪县。蛭是所有贝类中产量最低的，仅2700吨，主要分布于麻章区和遂溪县。

表6 2021年湛江贝类海水养殖产

品种	牡蛎	贻贝	扇贝	蛤	江珧	蛭
产量（t）	218997	13743	98465	80586	9500	2700



5.4.2 养殖贝藻类干湿比及含碳率

基于《滨海蓝碳碳汇能力调查与核算技术指南 第4部分：贝藻类》的4.5藻类干湿比和含碳率的测定方法，经测定，湛江市唯一商业化养殖藻类——江蓠的干湿比为12.55%，含碳率为32.90±0.70%。

基于《滨海蓝碳碳汇能力调查与核算技术指南 第4部分：贝藻类》的4.6贝类干湿比、质量比和含碳率的测定方法，湛江常见双壳贝类的干湿比、贝壳及软体部分的质量比和含碳率如表26所示。不同种类贝类贝壳部分的平均含碳量为12.22%，与碳酸钙的含碳量（11.99%）基本相同，说明贝类的贝壳部分基本为碳酸钙。湛江双壳类贝类软体部分含碳量为35.50~44.00%，平均值为39.26%，与常见贝类含碳率推荐数值不完全一致，原因是不同海域的营养条件不同，导致贝类软体部分成分存在一定差异。

表 7 双壳贝类的干湿比、贝壳及软体部分的质量比和含碳

品种	干湿比 (%)	贝壳部分		软体部分	
		质量比 (%)	含碳率 (%)	质量比 (%)	含碳率 (%)
华贵栉孔扇贝 (<i>Mimachlamys nobilis</i>)	65.78	91.64	12.20 ± 0.17	8.36	39.73 ± 1.26
丽文蛤 (<i>Meretrix lusoria</i>)	76.63	93.34	12.13 ± 0.06	6.66	35.50 ± 1.57
方形马珂蛤 (<i>Macra veneriformis</i>)	63.97	90.87	12.37 ± 0.46	9.13	40.53 ± 0.46
尖紫蛤 (<i>Hiatula acuta</i>)	44.07	67.03	12.97 ± 0.12	32.97	42.63 ± 0.83
菲律宾蛤仔 (<i>Ruditapes philippinarum</i>)	69.86	92.20	11.47 ± 0.68	7.80	38.57 ± 0.21
波纹横帘蛤 (<i>Paphia undulatu</i>)	66.54	88.71	11.33 ± 0.35	11.29	35.83 ± 0.68
缢蛏 (<i>Sinonovacula constricta</i>)	40.73	68.47	12.23 ± 0.49	31.53	41.47 ± 0.25
翡翠贻贝 (<i>Perna viridis</i>)	65.61	91.64	13.87 ± 0.23	8.36	38.17 ± 0.68
白贝 (<i>Monetaria moneta</i>)	81.62	95.98	12.17 ± 0.12	4.02	38.77 ± 1.23
文蛤 (<i>Meretrix meretrix</i>)	84.89	97.59	12.17 ± 0.12	2.41	36.80 ± 1.11
中国江珧 (<i>Atrina chinensis</i>)	53.09	82.43	12.00 ± 0.50	17.57	39.33 ± 0.25
近江牡蛎 (<i>Magallana ariakensis</i>)	78.53	96.17	11.73 ± 0.06	3.83	44.00 ± 2.44

5.4.3 湛江市海洋水产养殖碳汇核算

基于《滨海蓝碳碳汇能力调查与核算技术指南 第4部分：贝藻类》的5藻类和贝类的碳汇计算方法，2021年湛江市海水养殖贝藻碳汇总量为155435.89 t CO₂，藻类的总碳汇为76.76 t CO₂，占总碳汇的0.05%，仅占极小的一部分。贝类总碳汇为155359.14 t CO₂，其中牡蛎占52.60%，其次是扇贝和蛤类，分别占22.16%和19.25%。

第6章 与国家相关法律法规及标准协调性

本标准符合现行的相关法律、法规、规章的规定，与相关国家标准、行业标准、地方标准相兼容。具体说明如下：

《滨海蓝碳碳汇能力调查与核算技术指南 第1部分：红树林》

文件名称	与本指南的一致性说明
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 第3章：滨海生态系统土壤碳库的野外采样	本指南3术语和定义中“土壤有机质”的定义与该文件一致； 本指南“4.2 红树林植被碳汇调查方法”与该文件“第4章滨海生态系统植被碳库的野外采样”一致； 本指南“4.3 红树林土壤碳汇调查方法”与该文件“第3章滨海生态系统土壤碳库的野外采样”一致； 本指南“5.1 红树林植被碳储量核算”和“5.2 红树林土壤碳储量核算”与该文件一致。
HY/T 0349-2022 海洋碳汇核算方法	本指南“6.1 红树林植被碳汇核算方法”与该文件“4.2.3 红树林植物碳汇能力”一致； 本指南“6.2 红树林土壤碳汇核算方法”与该文件“4.2.2 红树林沉积物碳汇能力”一致。
DB45/T 1230-2015 红树林湿地生态系统固碳能力评估技术规程	本指南3术语和定义中“地上部生物量”和“地下部生物量”的定义与该文件一致；
DB37/T 4203.1-2020 林业碳汇计量监测体系建设规范 第1部分：导则	本指南3术语和定义中“碳库”术语基于该文件的“林业碳库”删除“林业”； 本指南3术语和定义中的“碳汇”术语基于该文件的“森林碳汇”删除“森林”； 本指南3术语和定义中“土壤有机碳”的定义与该文件一致。
DB37/T 4203.3-2020 林业碳汇计量监测体系建设规范 第3部分：森林碳储量计算	本指南3术语和定义中的“碳储量”基于该文件的碳储量定义——“特定时间特定范围内在某个监测库中碳的储存数量”，修改为“一定体积的蓝碳生态系统在特定时间内存储的有机碳总量。碳储量包含一个或者多个碳库的碳总量。”
GB/T 15919-2010 海洋学术语	本指南3术语和定义中“红树林”的定义与该文件一致。
HY/T 081-2005 红树林生态监测技术规程	本指南“4.2.1 采样工具”基于该文件“5.4.1.1 设备”选取。
GB 17378.3-2007 海洋监测规范 第3部分：样品采集、储存与运输	本指南“4.1.4 调查时间与频次”基于该文件“4.6 采样时间和采样频率”要求进行设置。
GB 17378.5-2007 海洋监测规范 第5部分：沉积物分析	本指南“4.3.6.3 土壤有机碳含量测定方法”与该文件“18.2 热导法”相一致

《滨海蓝碳碳汇能力调查与核算技术指南 第2部分：海草床》

文件名称	与本指南的一致性说明
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	本指南3术语和定义中“海草”、“海草床”的定义与该文件一致。
GB 17378.5-2007 海洋监测规范 第5部分：沉积物分析	本指南“4.3.6.2 土壤有机碳含量测定方法”与该文件“18.2 热导法”相一致。
HY/T 083-2005 海草床生态监测技术规程 第5部分：监测方法	本指南与该文件“5.1 监测断面及站位布设”相一致。
LY/T 2252-2014 碳汇造林技术规程 第3部分：术语与定义	本指南3术语和定义中“碳库”的定义与该文件一致。
DB11/T 953—2013 林业碳汇计量监测技术规程 第3部分：术语与定义	本指南3术语和定义中“碳储量”、“土壤有机碳”、“土壤无机碳”的定义与该文件一致。
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 第3章：滨海生态系统土壤碳库的野外采样	本指南3术语和定义中“土壤有机质”的定义与该文件一致； 本指南土壤调查方法4.3.1-4.3.5部分，与该文件一致。
T/CAOE 20.6-2020 海岸带生态系统现状调查与评估技术导则 第6部分：海草床	本指南3术语和定义中“海草床生态系统”、“茎枝”的定义与该文件一致； 本指南“4.2.1 面积的确定”-4.2.3“样方数量”与该指南“6.1 海草床分布调查”和“6.2 站位布设”相一致； 4.2.3 附生植物与6.5.2 附着生物调查方法相一致。
HY/T 0349-2022 海洋碳汇核算方法	本指南“6 盐沼植被碳汇法”中6.1.2 净初级生产力核算法与该文件4.3.3“盐沼植物碳汇能力”相一致； 本指南“6 盐沼土壤碳汇核算方法”中6.2.2 沉积速率法与该文件4.3.2“盐沼沉积物碳汇能力”相一致。

《滨海蓝碳碳汇能力调查与核算技术指南 第3部分：盐沼》

文件名称	与本指南的一致性说明
GB/T 15919-2010 海洋学术语	本指南3术语和定义中“盐沼”的定义与该文件一致。
T/CAOE 20.6-2020 海岸带生态系统现状调查与评估技术导则 第4部分：盐沼	本指南“4.2.1 面积的确定和4.2.3 样方数量”与该文件“6.1 调查断面站位布设”和“6.2 调查站位的样方和样格布设”相一致。
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 第4部分：滨海生态系统植被碳库的野外采样	本指南3术语和定义中“碳储量”、“土壤有机碳”、“土壤无机碳”、“异速生长方程”的定义与该文件一致。 本指南植被碳汇调查方法4.2.1-4.2.6部分，与该文件一致。
HY/T 080-2005 滨海湿地生态监测技术规程	本指南3术语和定义中“海草床生态系统”、“茎枝”的定义与该文件一致。
HY/T 0349-2022 海洋碳汇核算方法	本指南“6 盐沼植被碳汇法”中6.1.2 净初级生产力核算法与该文件4.3.3“盐沼植物碳汇能力”相一致；
HY/T XXXX-202X 海洋碳汇经济价值核算方法（报批稿）	

DB11/T 953—2013 林业碳汇计量监测技术规范 第3部分：术语与定义	<p>本指南“6 盐沼土壤碳汇核算方法”中 6.2.2 沉积速率法与该文件 4.3.2 “盐沼沉积物碳汇能力”相一致。</p> <p>本指南 3 术语和定义中“土壤有机质”的定义与该文件一致。</p>
---	--

《滨海蓝碳碳汇能力调查与核算技术指南 第4部分：贝藻类》	
文件名称	与本指南的一致性说明
HY/T 0305-2021 养殖大型藻类和双壳贝类碳汇计量方法 碳储量变化法	<p>本指南 3 术语和定义与该文件一致；</p> <p>本指南“4 取样与测定方法”与该文件“4.2 取样与测定方法”一致；</p> <p>本指南“5 藻类和贝类的碳汇计算方法”基于该文件“4.3 计算方法”制定，本指南忽略了藻类和贝类幼苗的碳储量，使核算方法更易于执行；</p> <p>本指南“附录 A：常见养殖藻类成藻含碳率”与该文件“附录 C：常见养殖藻类成藻含碳率”一致，且本指南新增“附录 B：常见养殖双壳贝类干湿比、贝壳及软体部分的质量比”；</p> <p>本指南“附录 C：常见养殖双壳贝类含碳率”与该文件“附录 D：常见养殖双壳贝类成贝的含碳率”相协调，但本指南贝类的品种更多，且为广东本地常见的双壳贝类，含碳率更符合广东本地贝类的实际数值。</p>

第7章 标准实施建议

自然资源部《红树林保护修复专项行动计划（2020-2025 年）》和《广东省红树林生态修复技术指南》中均明确指出红树林生态修复应优先选用本地乡土红树植物，增强红树林湿地生态功能，维护生物多样性，全面提升红树林生态系统健康水平。编制单位依据实际调查监测结果，确定了《技术指南》中红树林优势群落类型。湛江市红树林面积占全省红树林总面积的 78%（官方公布比例），湛江市的优势树种主要为白骨壤、无瓣海桑、秋茄、红海榄、木榄、桐花树，与全省红树林本土优势树种类似，具有较强的代表性。此外，根据《技术指南》的核算办法，在造林情景下，混合群落具有较高的碳汇能力，可有效引导项目主体优先考虑种植混合群落，这与相关政策的导向统一。

根据实地调查监测结果，已确定了《技术指南》中关于海草床和盐沼的优势群落类型。在湛江市，海草优势物种包括卵叶喜盐草、贝克喜盐草和二药藻，这与全省的情况相似，具有很强的代表性。因此，建议加强对海草床生态系统的保护与修复，以防止其继续退化，并避免生态系统从碳源转变为碳汇的不良趋势。根据《技术指南》的计算方法，可通过改善受损的海草床生态系统，提高植被覆盖率，增加沉积物碳汇速率。同时，应当新建海草床湿地，以扩大生态系统范围，进一步提升海草床生态系统的总碳储存量。广东盐沼包括互花米草、芦苇和茳芏等植物。在这些植物中，芦苇和互花米草是优势物种，而互花米草则属于入侵物种，因此在处理时需要谨慎考虑。根据《技术指南》的计算方法，可通过改善受损的芦苇床生态系统，提高

植被覆盖率, 加快沉积物碳汇速率。同时, 应该新建芦苇湿地, 以扩大生态系统面积, 进一步提高芦苇生态系统的总碳储量。

湛江市的渔业碳汇绝大部分都是贝类养殖, 藻类养殖产量占比极低(0.05%), 广东省的整体情况亦如此。从长远来看, 这将限制广东省贝藻类养殖规模, 进而影响未来海水贝藻类养殖碳汇容量。因此, 合理提高藻类的养殖量, 一方面可以改善广东省贝藻养殖结构, 另一方面也有助于保护水生生物多样性, 对广东省未来发展可持续性碳汇具有重要的意义。建议作为推荐性标准, 建议该标准发布实施后, 在开展广东省海水养殖碳汇核算时, 依据该标准。

参考文献

- Alongi, D.M., 2014. Carbon cycling and storage in mangrove forests. *Annual Review of Marine Science*, 6, 195–219.
- Donato, et al 2011. Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature Geoscience*, 4, 293-297.
- Feng J, Cui X, Zhou J, Wang L, Zhu X and Lin G. (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.
- Fu C, Li Y, Zeng L, Zhang H, Tu C, Zhou Q, Xiong K, Wu J, Duarte C M, Christie P and Luo Y. 2020. Stocks and Losses of Soil Organic Carbon from Chinese Vegetated Coastal Habitats. *Global Change Biology*, 27(1):202-214.
- Gao Y, Zhou J, Wang L, Guo J, Feng J, Wu H and Lin G. 2019. Distribution Patterns and Controlling Factors for the Soil Organic Carbon in Four Mangrove Forests of China. *Global Ecology and Conservation*, 17, e00575.
- He Z, Peng Y, Guan D, Hu Z, Chen Y and Lee S. 2018. Appearance Can be Deceptive: Shrubby Native Mangrove Species Contributes More to Soil Carbon Sequestration Than Fast-growing Exotic Species. *Plant and Soil*, 432(1), 425-436.
- 胡懿凯, 徐耀文, 薛春泉, 罗勇, 廖宝文, 朱宁华. 2019a. 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 (06): 95-103.
- 胡懿凯, 朱宁华, 廖宝文, 游奕来, 唐虹. 2019b. 淇澳岛不同恢复类型红树林碳密度及固碳速率研究. *中南林业科技大学学报*, 39 (12): 101-107.
- 华国栋, 庄礼凤, 李家祥, 张雪娜, 王丹枫, 吴林芳. 2021. 广东台山镇海湾红树林国家湿地公园土壤有机碳含量及其影响因素分析. *林业与环境科学*, 37 (06): 118-123.
- Kennedy H, Beggins J, Duarte C M, et al. Seagrass sediments as a global carbon sink: isotopic constraints[J]. *Glob Biogeochem Cycle*, 2010, 24(4):GB4026.
- 李捷, 等. 中国海岸带蓝碳现状分析中国海岸带蓝碳现状分析. 2019. *环境科学与技术*.
- Lunstrum A and Chen L. 2014. Soil Carbon Stocks and Accumulation in Young Mangrove Forests. *Soil Biology and Biochemistry*, 75, 223-233.
- 毛子龙, 赖梅东, 赵振业, 杨小毛. 2011. 薇甘菊入侵对深圳湾红树林生态系统碳储量的影响. *生态环境学报*, 20 (12): 1813-1818.
- 乔永民, 谭键滨, 马舒欣, 赵建刚, 吴苑玲, 杜欢. 2018. 深圳红树林湿地沉积物氮磷分布与来源分析. *环境科学与技术*, 41 (2): 34-40.
- Wang G, Guan D, Peart M R, Chen Y and Peng Y. 2013. Ecosystem Carbon Stocks of Mangrove Forest in Yingluo Bay, Guangdong Province of South China. *Forest Ecology and Management*, 310, 539-550.
- Wang G, Guan D, Xiao L and Peart M R. 2019. Ecosystem Carbon Storage Affected by Intertidal Locations and Climatic Factors in Three Estuarine Mangrove Forests of South China. *Regional Environmental Change*, 19: 1701-1712.
- Wu Q, Leung J Y, Tam N F, Chen S, Mai B, Zhou X, Xia L and Geng X. 2014. Biological Risk and Pollution History of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Nansha Mangrove, South China. *Marine Pollution Bulletin*, 85(1), 92-98.

- 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 (01): 62-68.
- Yang J, Gao J, Liu B and Zhang W. 2014. Sediment Deposits and Organic Carbon Sequestration along Mangrove Coasts of the Leizhou Peninsula, Southern China. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 136, 3-10.
- 叶翔, 李靖, 王爱军. 2018. 珠江口淇澳岛滨海湿地沉积环境演化及其对人类活动的响应. 海洋学报, 40: 79-89.
- 朱耀军, 赵峰, 郭菊兰, 武高洁, 林广旋. 2016. 湛江高桥红树林湿地有机碳分布及埋藏特征. 生态学报, 36 (23): 7841-7849.