

ICS 65.150  
CCS B 50

# 团 体 标 准

T/FSF 00X—202X

## 养殖牡蛎碳汇调查与核算技术规程

Technical guidelines for investigation and accounting of carbon sink in cultured oysters

(报批稿)

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

福建省水产学会 发布

# 目 次

前言 .....	I
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 总体要求 .....	2
4.1 评估周期 .....	2
4.2 评估方法 .....	2
4.3 工作流程 .....	2
5 调查与分析方法 .....	3
5.1 调查内容 .....	3
5.2 调查时间和频次 .....	4
5.3 调查点位布设 .....	4
5.4 调查与采样方法 .....	4
5.5 测试分析方法 .....	4
6 浮游植物协同固碳量测定实验 .....	4
6.1 实验设置 .....	4
6.2 测试分析 .....	5
7 呼吸与钙化作用碳释放测定实验 .....	5
7.1 实验设置 .....	5
7.2 测试分析 .....	5
8 核算方法 .....	5
8.1 评估区域养殖牡蛎可移除生物碳量 .....	5
8.2 评估牡蛎养殖区域附着生物碳量 .....	6
8.3 牡蛎养殖区水体环境浮游植物协同固碳量 .....	6
8.4 牡蛎养殖区沉积碳库 .....	7
8.5 评估区域养殖牡蛎呼吸、钙化作用碳释放 .....	8
8.6 养殖牡蛎碳库核算 .....	9
8.7 养殖牡蛎碳汇量核算 .....	9
9 质量要求 .....	9
9.1 质量保证 .....	9
9.2 数据处理 .....	9
附录 A (资料性) 养殖牡蛎碳汇调查评估通用记录格式 .....	11
附录 B (资料性) 牡蛎干湿比及含碳率参考值 .....	15

## 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。

本文件由福建省水产学会提出并归口。

本文件起草单位：闽江学院、福建省渔业资源监测中心、自然资源部第一海洋研究所、福建省海洋与渔业局、中国水产科学研究院东海水产研究所、福建省聚福源水产有限公司。

本文件主要起草人：张智、穆景利、黄春秀、刘超、刘元刚、李荣茂、王萱、王飞鹏、金艳、雷灵逸、王柳清、肖洁、林哲同。

# 养殖牡蛎碳汇调查与核算技术规程

## 1 范围

本文件规定了养殖牡蛎碳汇调查与核算的评估要求、工作流程、调查与分析方法、核算方法和质量保证等要求。

本文件适用于养殖牡蛎碳汇的调查与核算。

## 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 12763.4-2007 海洋调查规范 第4部分:海水化学要素调查

GB/T 12763.6-2007 海洋调查规范 第6部分:海洋生物调查

GB 17378.3-2007 海洋监测规范 第3部分:样品采集、贮存与运输

GB 17378.4-2007 海洋监测规范 第4部分:海水分析

GB/T 30891-2014 水产品抽样规范

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

HY/T 0349-2022 海洋碳汇核算方法

HY/T 0435-2024 海洋资源生物碳库贡献调查与评估技术规程贝类(筏式养殖)

SC/T 2005.2-2000 扇贝筏式养殖产量验收方法

DB35/T 2238-2024 养殖海带碳汇评估技术规程

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**养殖牡蛎碳汇** carbon sink in cultured oyster

通过人工养殖牡蛎的生产活动,促进养殖牡蛎及其生态系统从海水中吸收并固定二氧化碳的过程和机制。

### 3.2

**养殖牡蛎碳库** carbon reservoir of cultured oyster

养殖牡蛎固定的碳。

注:包括养殖牡蛎自身生物质碳库、促进养殖水域浮游植物协同固碳和沉积环境中的有机碳。

### 3.3

**养殖牡蛎可移除生物碳** removable biomass carbon of cultured oyster

收获牡蛎产品中贝壳和软组织中储存的碳。

### 3.4

**附着生物碳** biomass carbon from attached organisms on oyster shells

牡蛎养殖过程中所附着在牡蛎壳上的其他生物储存的碳。

3.5

**沉积物有机碳 sedimentary organic carbon**

牡蛎养殖区沉积物去除无机碳后的总碳量。

3.6

**浮游植物协同固碳 synergistic carbon sequestration by phytoplankton**

牡蛎通过滤食与营养盐再生作用，促进浮游植物生长，从而提升水体初级生产力与有机碳产量的过程。也称为浮游植物初级生产增强效应（enhancement of phytoplankton primary production）。

3.7

**呼吸作用碳释放 carbon emission of respiration**

牡蛎呼吸代谢产生二氧化碳的过程。

3.8

**钙化作用碳释放 carbon emission of calcification**

牡蛎形成壳体时释放二氧化碳的过程。

## 4 总体要求

### 4.1 评估周期

应涵盖从挂苗到收获的一个完整养殖期。

### 4.2 评估方法

采用现场调查结合经验数据进行评估。现场调查内容包括养殖初期（挂苗期）和收获期的生物碳和沉积物有机碳，同时调查养殖面积和产量、投苗量、沉积速率等数据。现场调查中缺失部分碳汇分析数据的情况下，可采用估算值补全数据。

### 4.3 工作流程

通过确定评估要求，开展现场调查采样与实验分析，评估养殖牡蛎碳汇量。工作流程见图1。

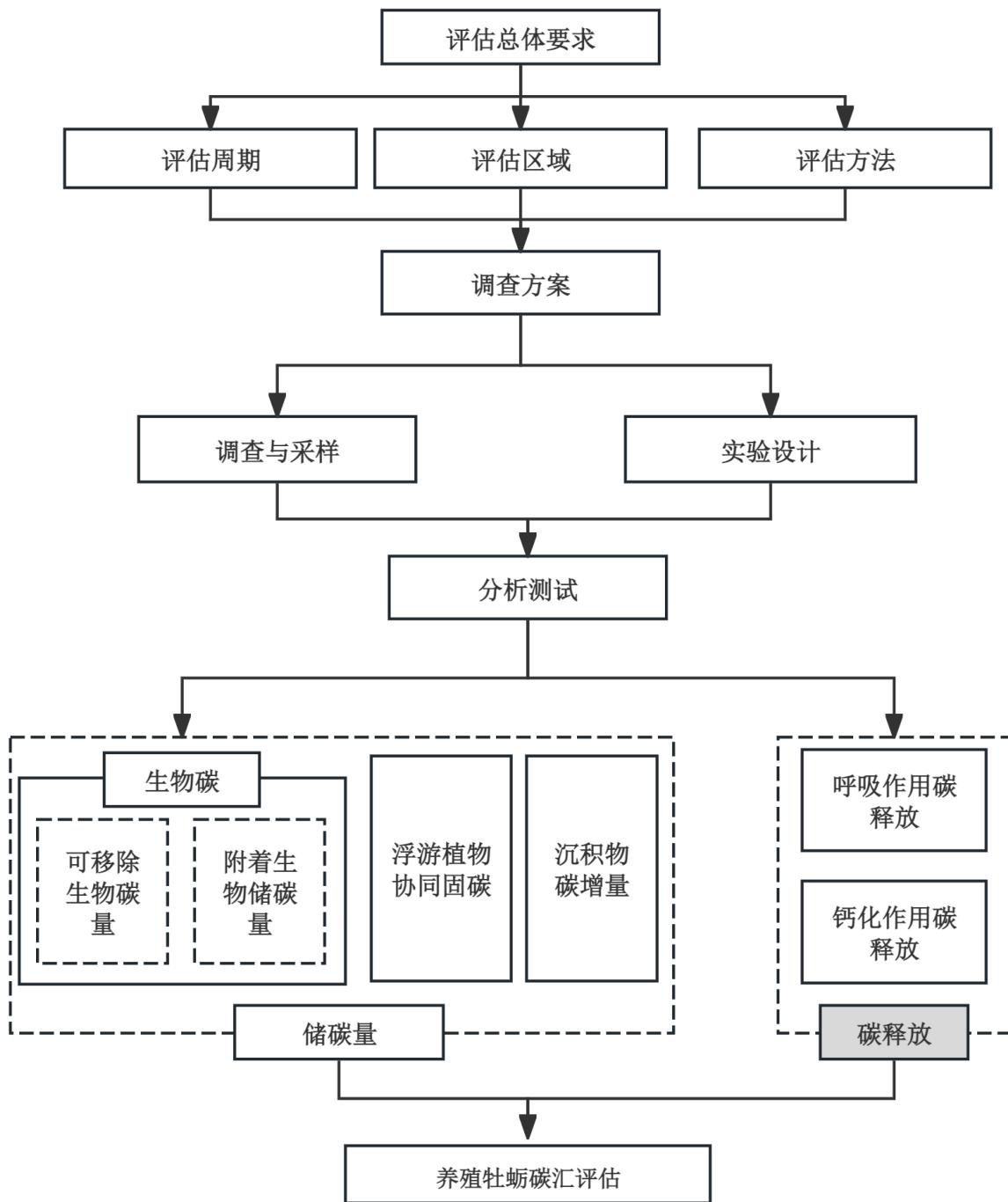


图 1 养殖牡蛎碳汇评估工作流程图

## 5 调查与分析方法

### 5.1 调查内容

调查包含以下内容:

- a) 基本生产要素: 区域养殖面积、养殖产量、投苗量;

- b) 养殖牡蛎碳参数：养殖生物碳干湿比及含碳率（包含壳与软组织）；
- c) 养殖区生态要素：水深、沉积物密度、碳含量及沉降速率、初级生产力、溶解无机碳（DIC）、总碱度（TA）、pH。

## 5.2 调查时间和频次

养殖期间现场调查4次~5次，其中在挂苗后7天内和收获前1个月各进行1次。

## 5.3 调查点位布设

养殖区采样站位及调查断面布设原则按照GB 17378.3要求。在非养殖区域设置对照采样断面，采样站位不少于3个；断面与水流方向垂直，且距离养殖区应大于1000 m。

## 5.4 调查与采样方法

### 5.4.1 养殖面积和产量

采用现场调查获取养殖面积、养殖产量和投苗量等数据，记录于表A.1。现场调查按照SC/T 2005.2规定执行。

### 5.4.2 养殖牡蛎采样

按照GB/T 30891规定进行养殖牡蛎生物体样品的采集，每个养殖区应包含3个~4个生物样品采样站，各站采集样本数不少于30个，规格应基本一致，且壳体完整。数据记录于表A.2。选取5个用于附着生物调查，数据于表A.3

### 5.4.4 沉积物有机碳采样

按照GB/T 12763.8的规定进行沉积物柱状样品采集并分层，样品数据记录于表A.4。

### 5.4.5 样品保存与运输

按照GB 17378.3的要求进行样品保存和运输。

### 5.4.6 叶绿素 a 与初级生产力采样

按照GB 17378.4规定执行，或利用现场荧光仪、卫星遥感数据辅助评估。

## 5.5 测试分析方法

### 5.5.1 生物质干湿比、质量比和含碳率测定

按照HY/T 0305中4.2.5规定的方法进行样品处理及测定，样品含碳率采用元素分析仪法测定。

### 5.5.2 水环境叶绿素 a 测定

按照GB 17378.7第8章规定的方法测定。

### 5.5.3 沉积物含碳率测定

按照GB 12763.8中6.7.8规定的方法测定。

### 5.5.4 溶解无机碳测定

按照HY/T 196非色散红外吸收法测定海水溶解无机碳（DIC）含量。

### 5.5.5 总碱度测定

按照GB 12763.4第7章总碱度测定法（pH法）规定的方法测定。

## 6 浮游植物协同固碳量测定实验

### 6.1 实验设置

采用现场围隔实验测定牡蛎滤食活动对浮游植物生物量的净消耗及其驱动的初级生产力提升，通过实验组与对照组在叶绿素a浓度及初级生产力上的变化差值进行协同固碳量估算。设置含有牡蛎的实验围隔和不含牡蛎的对照围隔，通过监测叶绿素a浓度与净初级生产力的变化，用于计算单位时间内由牡蛎滤食行为所协同驱动的有机碳生产量。

浮游植物协同固碳量测定现场围隔实验步骤如下：

- a) 在养殖区内或其邻近水域，设置一组（至少3个平行）放置规格大小一致的活体牡蛎的实验围隔（体积 $\geq 1 \text{ m}^3$ ，养殖密度为 $2 \text{ ind. m}^{-2}$ ）。
  - b) 在相同环境下设置一组（至少3个平行）不放置牡蛎的对照围隔。
  - c) 围隔内初始水体条件应一致，实验期间除牡蛎存在与否外，其他环境条件（光照、温度、营养盐本底等）应保持一致。
  - d) 实验持续时间( $T_1$ )通常为48至72小时，以覆盖完整的昼夜周期并观测到净效应。实验开始( $T_0$ )与结束( $T_1$ )时，分别采集各围隔的表层与中层水样，用于后续指标分析。

## 6.2 测试分析

水样中叶绿素a浓度的测定应按照5.4.6执行；净初级生产力(NPP)的测定采用“黑白瓶溶氧差法”，具体操作与计算可参考GB/T 12763.6第5章相关规定执行，实验数据记录于附表A.5。

## 7 呼吸与钙化作用碳释放测定实验

## 7.1 实验设置

采用现场实验测定牡蛎呼吸和钙化作用的溶解无机碳生成率，通过实验组与对照组的DIC和TA变化差值进行估算。设置含有牡蛎的实验组和不含牡蛎的对照组实验瓶，通过监测DIC和TA的变化，用于计算牡蛎呼吸率和钙化率。

呼吸与钙化作用碳释放测定现场实验步骤如下：

- a) 按GB/T 12763.4规定采集呼吸、钙化实验中牡蛎培养海水并过滤。
  - b) 透明实验容器内放入若干规格大小一致的活体实验牡蛎，密封后悬挂于牡蛎养殖区内或其邻近水域，设置一组（至少3个平行）。实验用牡蛎个体需严格筛选，选取规格相近的健康个体。
  - c) 在相同条件下设置一组（至少2个）不包含牡蛎的对照组。对照组应与实验组在位置、设计和环境条件上一致。
  - d) 实验时间（ $T_e$ ）通常持续2至6小时，实验前后分别采集各实验容器内水体样品。

7.2 测试分析

测定指标包括：DIC、TA测定方法按照5.5.4和5.5.5规定的方法执行，同步记录水温、盐度数据于附表A.6。

8 核算方法

## 8.1 评估区域养殖牡蛎可移除生物碳量

#### 8.1.1 评估区域养殖牡蛎可移除生物碳量

养殖牡蛎移除的生物碳量，表示为养殖周期内牡蛎生物碳量的净增量，通过收获期成体总碳量与初始播苗碳量的差值评估。按公式（1）计算：



一个养殖周期内，牡蛎养殖的浮游植物年协同固碳量，即养殖牡蛎通过滤食活动协同驱动的浮游植物有机碳生产量，按公式（5）计算：

式中：

$C_{syn}$ ——牡蛎养殖区浮游生物协同固碳，以碳计，单位为吨每年 ( $t \cdot a^{-1}$ )；

$\Delta POC_{syn}$  —— 单位面积单位时间由牡蛎驱动产生的浮游植物有机碳净增量，以碳计，单位为克碳每平方米每天 ( $\text{g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ )；

$A$ ——牡蛎养殖区的面积, 单位为公顷 ( $\text{hm}^2$ ) ;

D——一年内牡蛎的养殖周期，单位为天（d）；

单位时间、单位面积内，由牡蛎滤食活动协同驱动的浮游植物有机碳净生产速率，按公式（6）计算：

式中：

$\Delta POC_{syn}$ ——单位时间单位面积协同固碳速率,以碳计,单位为克碳每平方米每天( $g\text{C}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ );

$NPP_c$ ,  $NPP_t$ ——对照围隔和实验围隔内的平均净初级生产力, 以产氧量表示, 单位为克氧每平方米每天 ( $\text{g O}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ) ;

$PQ$  — 光合商，即光合作用中释放氧气与同化二氧化碳的摩尔比，推荐值为1.2；

$R_{O_2:C}$  —— 氧碳质量转换系数，即产生1克氧气所对应的同化碳的克数，为常数，取值为0.375 (g C / g O<sub>2</sub>)；

$CF$  —— 校正因子，用于表征实验围隔观测到的初级生产力增量向实际养殖生态系统协同固碳贡献的转换关系。若无实测数据可采用参考值2.39。

## 8.4 牡蛎养殖区沉积碳库

牡蛎养殖过程产生的沉积物碳量参考HY/T 0435-2024中4.2.3，按公式（7）计算，其中沉积物碳量按公式（8）进行计算：

$$\Delta C_{SC} = \frac{(C_{SC-et} - C_{SC-e0}) - (C_{SC-ct} - C_{SC-co})}{T} \quad \dots \dots \dots \quad (7)$$

式中：

$\Delta C_{SC}$ ——养殖牡蛎产生的沉积物碳量, 以碳计, 单位为吨每年 ( $t \cdot a^{-1}$ ) ;

$C_{SC-et}$ —收获期牡蛎养殖区沉积物碳量, 以碳计, 单位为吨 (t);

$C_{SC-e0}$ ——播苗期牡蛎养殖区沉积物碳量, 以碳计, 单位为吨 (t) ;

$C_{SC-ct}$ ——收获期非养殖区沉积物碳量, 以碳计, 单位为吨 (t) ;

$C_{SC-c0}$ ——播苗期非养殖沉积物碳量, 以碳计, 单位为吨每年 (t) ;

$T$ ——牡蛎的养殖周期,  $T \geq 1$ , 单位为年 (a)。

式中：

$C_{SC}$ ——沉积物碳量, 以碳计, 单位为吨 (t);

$S$ —牡蛎养殖面积, 单位为平方米 ( $m^2$ ) ;

$CP_{SC}$ ——牡蛎养殖区沉积物的有机碳含量, 以碳计, 单位为克每立方厘米 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )。

牡蛎养殖区沉积物的有机碳含量按公式（9）计算，其中沉积物容重按公式（10）计算：



$$R_{Ca} = \frac{24 \times (TA_T - TA_0) \times M \times V}{2 \times W \times T_e \times 10^6} \dots \dots \dots \quad (13)$$

式中：

$R_{Ca}$ ——单位质量牡蛎钙化的溶解无机碳生成率，以碳计，单位为克碳每克碳每天（g C/(g·d)）；

$TA_T$ ——实验结束时实验容器中的TA含量，单位为微摩尔每升（μmol/L）；

$TA_0$ ——实验结束时对照容器中的TA含量，单位为微摩尔每升（μmol/L）；

$M$ ——碳原子摩尔质量，单位为克每摩尔（g/mol）；

$V$ ——代谢容器体积，单位为升（L）；

$W$ ——实验牡蛎软组织的干质量，单位为克（g）；

$T_e$ ——实验时间，单位为小时（h）。

## 8.6 养殖牡蛎碳库核算

养殖牡蛎区域的碳库核算由养殖牡蛎可移除生物碳量、附着生物碳量、浮游植物协同固碳量及沉积物碳量组成，扣除牡蛎钙化、呼吸作用释放碳量。按公式（14）计算：

$$C_T = C_{RC} + C_{TSH} + \Delta C_{SC} + C_{syn} - C_{CO2} \dots \dots \dots \quad (14)$$

式中：

$C_T$ ——养殖牡蛎区域的碳库碳储量，以碳计，单位为吨每年（t·a<sup>-1</sup>）；

$C_{RC}$ ——养殖牡蛎的可移除生物碳量，以碳计，单位为吨每年（t·a<sup>-1</sup>）；

$C_{TSH}$ ——牡蛎养殖区内附着生物碳量，以碳计，单位为吨每年（t·a<sup>-1</sup>）；

$\Delta C_{SC}$ ——养殖牡蛎产生的沉积物碳量，以碳计，单位为吨每年（t·a<sup>-1</sup>）；

$C_{syn}$ ——牡蛎养殖区浮游生物协同固碳量，以碳计，单位为吨每年（t·a<sup>-1</sup>）；

$C_{CO2}$ ——养殖牡蛎呼吸、钙化作用释放的碳量，以碳计，单位为吨每年（t·a<sup>-1</sup>）；

## 8.7 养殖牡蛎碳汇量核算

养殖牡蛎区域的碳汇量通过核算的碳储量乘以养殖年限进行核算。按公式（15）计算：

$$C_S = C_T \times T \times r \dots \dots \dots \quad (15)$$

式中：

$C_S$ ——养殖牡蛎区域的碳汇量，以二氧化碳计，单位为吨（t）；

$C_T$ ——养殖牡蛎区域的碳库碳储量，以碳计，单位为吨每年（t·a<sup>-1</sup>）；

$T$ ——评估时间，单位为年（a）；

$r$ ——二氧化碳与碳的转换系数，即二氧化碳与碳的摩尔质量之比3.67。

## 9 质量要求

### 9.1 质量保证

数据处理过程的质量控制按照GB 17378. 2的规定执行，现场采样、样品运输和保存的质量控制按照GB 17378. 3的规定执行。

调查人员及审核人员应接受必要的培训，能够正确掌握所有调查工作步骤。

所需的仪器设备应按规定定期进行检定、标定、校准或性能测试。

### 9.2 数据处理

监测调查数据应进行核对与校验。

监测调查数据应按本文件规范填写，并由调查人员、审核人员签名归档。

## 附录 A

(资料性)

### 养殖牡蛎碳汇调查评估通用记录格式

牡蛎养殖区碳汇调查与评估通用记录表格式见表A.1~表A.6。

表A.1 调查采样站位信息记录表

调查海区: \_\_\_\_\_

调查期: 播苗期/收获期

调查人员: \_\_\_\_\_

调查时间: \_\_\_\_年\_\_\_\_月\_\_\_\_日

站位编号	站位名称	经度	纬度	水深	养殖面积	投苗量/产量

记录者: \_\_\_\_\_; 校对者: \_\_\_\_\_; 审核者: \_\_\_\_\_。

表A.2 养殖牡蛎生物体数据记录表

调查海区: \_\_\_\_\_

调查期: 播苗期/收获期

调查人员: \_\_\_\_\_

调查时间: \_\_\_\_年\_\_\_\_月\_\_\_\_日

样本 编号	平行 样 编号	样本规 格 cm	湿 重 g	干重 g	软组织 干重 g	贝 壳 干 重 g	含碳率	
							干 湿 比	软 组 织 贝 壳

记录者: \_\_\_\_\_; 校对者: \_\_\_\_\_; 审核者: \_\_\_\_\_。

表A.3 附着生物体数据记录表

海 区: \_\_\_\_\_

经纬度: \_\_\_\_\_

采样人员: \_\_\_\_\_

采样时间: \_\_\_\_ 年 \_\_\_\_ 月 \_\_\_\_ 日

站位编号	站位名称	生物量	湿重	干重	干湿比	含碳率	单位面积附着量

记录者: \_\_\_\_\_; 校对者: \_\_\_\_\_; 审核者: \_\_\_\_\_。

表A.4 牡蛎养殖区沉积物数据记录表

海 区: \_\_\_\_\_

经纬度: \_\_\_\_\_

采样人员: \_\_\_\_\_

采样时间: \_\_\_\_ 年 \_\_\_\_ 月 \_\_\_\_ 日

站位 编号	样品 编号	样品 长度	内径	样品层	干沉积物颗粒 质量	沉积物总 容积	沉积物 厚度	含碳率

记录者: \_\_\_\_\_; 校对者: \_\_\_\_\_; 审核者: \_\_\_\_\_。

表A.5 协同固碳实验数据记录表

围隔编号	围隔类型	初始叶绿素a浓度	结束时叶绿素a浓度	叶绿素a浓度差值	NNP（产氧量）	NNP平均值
1	实验					
2	实验					
3	实验					
4	对照					
5	对照					
6	对照					

表A.6 牡蛎呼吸、钙化实验数据记录表

容器编号	容器类型	温度	盐度	初始DIC浓度	实验结束DIC浓度	初始TA浓度	实验结束TA浓度
1	实验						
2	实验						
3	实验						
4	对照						
5	对照						
6	对照						

附录 B  
(资料性)

**牡蛎干湿比及含碳率参考值**

养殖牡蛎碳汇核算过程若无牡蛎生物体实测数据可参考表B中数据。

**表B 养殖牡蛎碳汇计算参考数据**

名称	干湿比 %	贝壳含碳率 %	贝壳质量占比 %	软组织含碳率 %	软组织质量占比 %
福建牡蛎	67.69	11.06±0.11	79.78	41.12±3.32	20.22

## 参考文献

- [1] 李伟伟, 姜娓娓, 蒋增杰, 等. 夏季高温期三倍体和二倍体长牡蛎生理能量学及碳收支的比较研究[J]. 渔业科学进展, 2024, 45(4): 125-134.
- [2] 任黎华, 张继红, 方建光, 等. 钙化作用对养殖长牡蛎及其附着生物呼吸熵的影响[J]. 应用生态学报, 2014, 25(6): 1785-1790.
- [3] 张继红, 方建光, 唐启升, 等. 桑沟湾不同区域养殖栉孔扇贝的固碳速率[J]. 渔业科学进展, 2013, 34(1): 12-16.
- [4] 张永雨, 张继红, 梁彦韬, 等. 中国近海养殖环境碳汇形成过程与机制[J]. 中国科学: 地球科学, 2017, 47(12): 1414-1424.48-852.
- [5] Chen X, Zhang Z, Pan M, et al. Oyster farming acts as a marine carbon dioxide removal (mCDR) hotspot for climate change mitigation[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2025, 122(36): e2504004122.
- [6] Han A, Kao S J, Lin W, et al. Nutrient budget and biogeochemical dynamics in Sansha Bay, China: A coastal bay affected by intensive mariculture[J]. Journal of Geophysical Research: Biogeosciences, 2021, 126(9): e2020JG006220.
- [7] Koh E, Kim S, Kim M J. Semi-pilot-scale vaterite production, CO<sub>2</sub> storage, and zero-waste processing using oyster shells and seawater: Process and cost assessment[J]. Journal of Cleaner Production, 2025, 518: 145942.
- [8] Sun Y, Zhang H, Xiong D, et al. Oyster aquaculture enhances marine carbon sequestration by driving phytoplankton-derived particulate organic carbon[J]. Journal of Environmental Management, 2025, 396: 128165.