

中华人民共和国海洋行业标准

HY/T ××××—××××

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）

Technical code of practice for investigation and assessment of marine resources biological carbon pool—Bivalve (suspended culture)

（报批稿）

202×-××-××发布

××××-××-××实施

中华人民共和国自然资源部 发布

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 碳储量调查..... 2

 4.1 生物质碳库的碳储量调查..... 2

 4.2 沉积物碳库的碳储量调查..... 3

5 二氧化碳（CO₂）释放通量调查 5

 5.1 海-气界面 CO₂ 交换速率的调查法 5

 5.2 基于贝类呼吸率、钙化率的 CO₂ 放速率的测定方法 6

 5.3 一个养殖周期 CO₂ 释放通量 8

6 筏式养殖贝类碳库贡献评估..... 8

7 质量控制..... 9

 7.1 调查人员..... 9

 7.2 外业调查及实验分析..... 9

 7.3 单位面积产量..... 9

 7.4 数据管理..... 9

附录 A（规范性）碳库贡献调查与评估通用记录格式 10

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。

本文件由中华人民共和国自然资源部提出。

本文件由全国海洋标准化技术委员会（SAC/TC 283）归口。

本文件起草单位：中国水产科学研究院黄海水产研究所。

本文件主要起草人：张继红、吴文广、刘毅、仲毅。

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）

1 范围

本文件规定了海水筏式养殖贝类碳库贡献的调查、测定和评估方法及质量控制等要求。
本文件适用于我国管辖海域范围内海水筏式养殖贝类的碳库贡献调查与评估。

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 海洋调查规范 第4部分：海水化学要素调查
GB/T 12763.8 海洋调查规范 第8部分：海洋地质地球物理调查
GB 17378.3 海洋监测规范 第3部分：样品采集、贮存与运输
GB 17378.4 海洋监测规范 第4部分：海水分析
GB 17378.5 海洋监测规范 第5部分：沉积物分析
GB 17378.6 海洋监测规范 第6部分：生物体分析
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 XXXX—XXXX 蓝碳生态系统碳储量调查与评估技术规程 海草床
LY/T 1237 森林土壤有机质的测定及碳氮比的计算

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

筏式养殖 *suspended culture*

在海域中设置筏架，其上挂养海洋经济动植物的生产方式。

[来源：GB/T 22213—2008，2.8]

3.2

碳库 *carbon pool*

沉积物、生物、水体和大气中储存二氧化碳或其前体的一个或多个组成部分。

注：本文件所指的碳库包括筏式养殖区贝类生物质碳库、沉积物碳库和大气碳库。

[来源：HY/T XXXX—XXXX，3.2]（蓝碳生态系统碳储量调查与评估技术规程 海草床）

3.3

碳储量 carbon stock

在特定时间和空间内，碳库内所包含有机碳的绝对数量。

[来源：HY/T XXXX—XXXX，3.3]（蓝碳生态系统碳储量调查与评估技术规程 海草床）

3.4

碳库贡献 carbon pool contribution

由于贝类养殖活动而使碳库中的碳储量发生的变化量。

注：本文件所指碳库贡献包括生长过程中固定在贝类体内的碳、养殖区沉积物中埋藏的碳、养殖过程中贝类呼吸和钙化过程释放到大气中的二氧化碳。

4 碳储量调查

4.1 生物质碳库的碳储量调查

4.1.1 调查工具

按照 GB 17378.6 的规定执行。

4.1.2 调查方法

4.1.2.1 调查范围

根据调查目的和调查对象确定调查范围，可通过以下方法确定：

- a) 海图法：基于养殖海域确权图；
- b) 遥感影像法：确定调查坐标，划定调查范围边界；
- c) 实地调查法：按照 HY/T XXXX—XXXX 中 4.2 的规定执行。

4.1.2.2 采样点布设

采样点布设按照 GB 17378.3 的规定执行。采样点布设应符合调查的目的及准确度的要求，可采用随机取样法或栅格取样法。

4.1.2.3 监测时间和频率

根据养殖周期，在养殖放苗时和收获时分别进行1次监测；条件允许，可在养殖过程中增加1~2次监测。

4.1.2.4 样地信息记录

将以下样地信息填入样地信息记录表（见附录 A），记录内容包括：

- a) 样地名称或编号；
- b) 样地位置和经纬度（GPS）坐标；
- c) 贝类的种类和规格；
- d) 养殖面积和密度。

4.1.2.5 采样量

采样量按照 HY/T 0305-2021 中 4.2.2 的规定执行。

4.1.2.6 样品储存及运输

样品储存和运输按照 GB 17378.3 的规定执行。

4.1.3 检测方法

检测内容包括筏式养殖贝类的生物量、干湿比、质量比和含碳率，检测方法按照 HY/T 0305-2021 中 4.2.3 和 4.2.5 的规定执行，将以上结果填入数据记录表（见附录 A）。

注：若无条件使用元素分析仪进行检测，含碳率可按照 HY/T 0305-2021 中附录 D 表 D.1 进行取值。

4.1.4 生物质碳库的碳储量计算方法

筏式养殖贝类生物质碳库的碳储量按式（1）计算：

$$CS_{shellfish} = A_s \times B_{shellfish} \times R_{adw} \times (R_{ash} \times C_{ash} + R_{am} \times C_{am}) \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$CS_{shellfish}$ ——养殖海域贝类生物质的碳储量，单位为吨碳（t C）；

A_s ——贝类的养殖面积，单位为公顷（ hm^2 ）；

$B_{shellfish}$ ——贝类的生物量（湿重），单位为吨每公顷（ t/hm^2 ）；

R_{adw} ——贝类的干湿比；

R_{ash} ——贝类的贝壳质量比；

C_{ash} ——贝壳含碳率；

R_{am} ——贝类软体部质量比；

C_{am} ——贝类软体部含碳率。

4.2 沉积物碳库的碳储量调查

4.2.1 调查工具

按照 GB 17378.5 的规定执行。

4.2.2 调查方法

4.2.2.1 采样点布设

养殖区的采样点布设见 4.1.2.2。在非养殖区设置对照采样点 3~4 个，对照采样点与水流方向（余流场）垂直且与养殖区距离大于 1000 m。

4.2.2.2 监测时间和频率

根据养殖种类和养殖周期确定，可在养殖挂苗前一周（记为 t_1 ）和收获后一周内（记为 t_2 ）各监测1次。对于同一种类的长期养殖区可间隔3~5年再进行下一次养殖周期监测。

4.2.2.3 沉积物剖面样品采样、现场处理和保存

沉积物剖面样品采样、现场处理和保存按照GB/T 12763.8规定执行。沉积物样品进行分层，0~50 cm深度的沉积物，以5 cm为间距分层采样；50 cm~100 cm深度的沉积物作为1层；100 cm以深的作为1层，将以上结果填入沉积物样品记录表（见附录A）。

4.2.3 调查检测内容

4.2.3.1 沉积物容重

将采集的沉积物样品称量鲜重后放入65℃烘箱烘干至恒重，沉积物容重按式（2）计算：

$$\rho b = \frac{M}{V} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

ρb ——沉积物容重，单位为克每立方厘米（g/cm³）；

M ——干的沉积物颗粒质量，单位为克（g）；

V ——沉积物总容积，单位为立方厘米（cm³）。

注：沉积物总容积可根据沉积物柱状采样器的内径和样品厚度来计算。

4.2.3.2 沉积物碳含量

4.2.3.2.1 沉积物有机碳含量测定方法包括以下两种：

a) 元素分析仪测定沉积物有机碳（干烧法）：按照 GB/T 12763.8 规定执行；

b) 重铬酸钾容重法（湿烧法）：按照 LY/T 1237 的规定执行。

4.2.3.2.2 沉积物无机碳含量的测定方法：沉积物样品经干燥、研成粉末后，定量称取10-20mg 用元素分析仪法测定沉积物总碳的含量，沉积物无机碳含量为总碳含量扣除有机碳含量的差值。

4.2.4 沉积物碳库的碳储量计算方法

沉积物碳库的碳储量按式（3）计算：

$$CS_{\text{sediment}} = A_s \times C_{\text{sediment-sa}} \times 100 \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

CS_{sediment} ——沉积物碳的碳储量，单位为吨碳（tC）；

A_s ——贝类的养殖面积，单位为公顷（hm²）；

$C_{\text{sediment-sa}}$ ——贝类养殖区沉积物中碳含量，单位为克每平方厘米（g/cm²）。

贝类养殖区沉积物中碳含量（ $C_{\text{sediment-sa}}$ ）按照式（4）计算：

$$C_{\text{sediment-sa}} = \sum_{i=1}^n \omega_i \times \rho b_i \times L_i \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中：

$C_{\text{sediment-sa}}$ ——贝类养殖区沉积物中碳含量，单位为克每平方厘米（g/cm²）；

n ——样地沉积物剖面样分层的数量，无量纲；

ω_i ——第*i*层碳质量分数，单位为百分比（%）；

ρb_i ——第*i*层沉积物容重，单位为克每立方厘米（g/cm³）；

L_i ——第*i*层沉积物厚度，单位为厘米（cm）。

注：本文件对于筏式养殖贝类沉积物碳库的碳储量调查评估仅限于目前的研究成果和技术水平。

5 二氧化碳（CO₂）释放通量调查

5.1 海-气界面 CO₂交换速率的调查法

5.1.1 调查工具

按照 GB/T 12763.4 的规定执行。

5.1.2 调查方法

5.1.2.1 采样点布设

养殖区的采样点布设见 4.1.2.2。

5.1.2.2 监测时间和频率

根据养殖周期来进行监测，分别在养殖初期、中期和收获期分别进行监测 1 次；条件允许，可逐月监测。

5.1.2.3 海水表层二氧化碳分压（ $p\text{CO}_{2-o}$ ）的测定

$p\text{CO}_{2-o}$ 可采用 CO₂走航式自动分析仪测定，也可根据 pH、总碱度、温度和盐度计算海水中无机碳体系各分量的浓度和 $p\text{CO}_{2-o}$ 。水样样品采集按照 GB/T 12763.4 的规定执行。海水温度、盐度和 pH 测定按照 GB 17378.4 的规定执行；总碱度（TA）测定按照 GB/T 12763.4 的规定执行，也可使用自动电位滴定法测定。

5.1.3 CO₂放速率的计算方法

贝类筏式养殖系统 CO₂释放速率（以碳计）按式（5）计算：

$$CS_{\text{CO}_2} = M \times (F_s - F_0) \times A_s \times 10^{-5} \dots\dots\dots (5)$$

式中：

CS_{CO_2} ——贝类筏式养殖系统 CO₂的释放速率，单位为吨碳每天（t C/d）；

M ——碳原子的摩尔质量，单位为克每摩尔（g/mol）；

F_s ——养殖区海-气界面 CO₂释放速率，单位为微摩尔每平方米每天（mmol/（m²·d））；

F_0 ——对照区海-气界面 CO₂释放速率，单位为微摩尔每平方米每天（mmol/（m²·d））；

A_s ——贝类的养殖面积，单位为公顷（hm²）。

养殖区海-气界面 CO_2 释放速率 (F_s) 和对照区海-气界面 CO_2 释放速率 (F_0) 按式 (6) 计算:

$$F = k \times \alpha_s \times (p\text{CO}_{2-o} - p\text{CO}_{2-a}) \cdots \cdots \cdots (6)$$

式中:

F ——海-气界面 CO_2 释放速率, 单位为微摩尔每平方米每天 ($\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$);

k ——海-气界面气体传输速度, 参考取值为 10.3, 也可由当地气象部门数据实测得出, 单位为厘米每小时 (cm/h);

α_s —— CO_2 在海水中的溶解度系数, 单位为摩尔每千克每标准大气 ($\text{mol}/(\text{kg} \cdot \text{atm})$);

$p\text{CO}_{2-o}$ ——海水表层 $p\text{CO}_2$ 值, 单位为 (μatm);

$p\text{CO}_{2-a}$ ——大气中 $p\text{CO}_2$ 值, 当前世界气象组织 (WMO) 全球平均参考取值为 413.2, 单位为 (μatm)。

注: F 代表养殖区海-气界面 CO_2 释放速率 (F_s) 或对照区海-气界面 CO_2 释放速率 (F_0)。

盐度和温度相关的函数 (α_s) 按式 (7) 计算:

$$\ln \alpha_s = -58.0931 + 90.5069 (100/K) + 22.2940 \times \ln (K/100) + S[0.027166 - 0.025888(K/100) + 0.0050578(K/100)^2] \cdots \cdots \cdots (7)$$

式中:

α_s —— CO_2 在海水中的溶解度系数, 单位为摩尔每千克每标准大气 ($\text{mol}/(\text{kg} \cdot \text{atm})$);

K ——热力学温度, 单位为开尔文 (K);

S ——盐度, 无量纲。

5.2 基于贝类呼吸率、钙化率的 CO_2 放速率的测定方法

5.2.1 海水及贝类活体材料制备

按照 GB/T 12763.4 的规定采集筏式贝类养殖水层的海水, 经玻璃纤维滤膜 (Whatman GF-C) 过滤待用。按 4.1.2 的要求选取规格相近、贝体完整无损伤、状态良好的个体用于实验。

5.2.2 实验布置及样品分析

用海水 (见 5.2.1) 装满透明的玻璃代谢瓶, 放入实验贝类, 封口后悬挂于贝类养殖的水层, 实验持续 4~6 h, 同时设置只装海水不放贝类的代谢瓶作为空白对照。实验设 5 个平行组, 3 个空白对照组。按照 GB 12763.4 的规定分别采集实验前后水样, 总碱度 (TA) 测定见 5.1.2.3, 溶解无机碳 (DIC) 含量使用总有机碳分析仪测定。

注：通过预实验确定呼吸瓶容量和实验贝的数量，确保实验结束后溶解氧浓度不低于 5 mg/L。

5.2.3 监测时间和频率

按 5.1.2.2 的规定执行。

5.2.4 贝类钙化的溶解无机碳生成率

贝类钙化的溶解无机碳生成率（以碳计）按式（8）计算：

$$R_{Ca}=24 \times (TA_t - TA_0) \times M \times V / (2 \times W \times T_e \times 10^6) \cdots \cdots (8)$$

式中：

R_{Ca} ——贝类钙化的溶解无机碳生成率，单位为克碳每克碳每天（gC/（g·d））；

TA_t ——实验结束时对照瓶中的 TA 含量，单位为微摩尔每升（ $\mu\text{mol/L}$ ）；

TA_0 ——实验结束时实验瓶中的 TA 含量，单位为微摩尔每升（ $\mu\text{mol/L}$ ）；

M ——碳原子的摩尔质量，单位为克每摩尔（g/mol）；

V ——代谢瓶体积，单位为升（L）；

W ——实验贝类软组织干质量，单位为克（g）；

T_e ——实验时间，单位为小时（h）。

5.2.5 贝类呼吸的溶解无机碳生成率

贝类呼吸的溶解无机碳生成率（以碳计）按式（9）计算：

$$R_r=24 \times (D_t - D_0) \times M \times V / (W \times T_e \times 10^6) \cdots \cdots (9)$$

式中：

R_r ——贝类呼吸的溶解无机碳生成率，单位为克碳每克天（gC/（g·d））；

D_t ——实验结束时实验瓶的溶解无机碳（DIC）含量，单位为微摩尔每升（ $\mu\text{mol/L}$ ）；

D_0 ——实验结束时对照瓶的溶解无机碳（DIC）含量，单位为微摩尔每升（ $\mu\text{mol/L}$ ）；

M ——碳原子的摩尔质量，单位为克每摩尔（g/mol）；

V ——代谢瓶体积，单位为升（L）；

W ——实验贝类软组织干质量，单位为克（g）；

T_e ——实验时间，单位为小时（h）。

5.2.6 贝类钙化和呼吸的 CO_2 释放速率

贝类钙化和呼吸的 CO_2 释放速率（以碳计）按（10）计算：

$$CS_{\text{CO}_2} = \gamma \times (R_{Ca} + R_r) \times A_s \times B_{\text{shellfish}} \times R_{\text{adw}} \times R_{\text{am}} \cdots \cdots (10)$$

式中：

CS_{CO_2} ——贝类钙化和呼吸的 CO_2 释放速率，单位为吨碳每天（t C/d）；

γ ——贝类呼吸钙化作用 CO_2 的释放系数，参考取值 0.67，无量纲；

R_{Ca} ——贝类钙化的溶解无机碳生成率，单位为克碳每克碳每天（gC/（g·d））；

R_r ——贝类呼吸的溶解无机碳生成率，单位为克碳每克天（gC/（g·d））；

A_s ——贝类的养殖面积，单位为公顷（hm²）；

$B_{shellfish}$ ——贝类的生物量（湿重），单位为吨每公顷（t/hm²）；

R_{adw} ——贝类的干湿比；

R_{am} ——贝类软体部质量比。

5.3 一个养殖周期 CO₂ 释放通量

一个养殖周期，贝类养殖系统的 CO₂ 释放通量按式（11）计算：

$$\Delta CS_{CO_2} = \frac{\sum_{i=1}^n CS_{CO_2i} \times (T_i - T_{i-1})}{T} \dots\dots\dots (11)$$

式中：

ΔCS_{CO_2} ——一个养殖周期，贝类养殖系统的 CO₂ 释放通量，单位为吨碳每年（t C/a）；

n ——调查总次数， $n \geq 3$ ，无量纲；

CS_{CO_2i} ——第 i 次调查贝类养殖系统的 CO₂ 释放率，单位为吨碳每天（t C/d）；

T_i ——第 i 次调查时的挂苗天数，单位为天（d）；

T_{i-1} ——第 $i-1$ 次调查时的挂苗天数，当 $i=1$ 时， T_{i-1} 为 0，单位为天（d）；

T ——贝类养殖周期， $T \geq 1$ ，单位为年（a）。

注：本文件对于筏式养殖贝类呼吸、钙化作用的 CO₂ 释放通量调查评估仅限于目前的研究成果和技术水平。

6 筏式养殖贝类碳库贡献评估

筏式养殖贝类在一个养殖周期对碳库的贡献量按式（12）计算：

$$\Delta CS_{total} = \Delta CS_{shellfish} + \Delta CS_{sediment} - \Delta CS_{CO_2} \dots\dots\dots (12)$$

式中：

ΔCS_{total} ——筏式养殖贝类养殖周期的碳库贡献，单位为吨碳每年（t C/a）；

$\Delta CS_{shellfish}$ ——贝类养殖周期物质碳储量变化，单位为吨碳每年（t C/a）；

$\Delta CS_{sediment}$ ——养殖周期贝类对沉积物碳库的贡献，单位为吨碳每年（t C/a）；

ΔCS_{CO_2} ——一个养殖周期，贝类养殖系统的 CO₂ 释放通量，单位为吨碳每年（t C/a）。

贝类养殖周期物质碳储量变化（ $\Delta CS_{shellfish}$ ）按式（13）来计算：

$$\Delta CS_{shellfish} = (CS_{shellfish-h} - CS_{shellfish-s}) / T \dots\dots\dots (13)$$

式中：

$\Delta CS_{shellfish}$ ——贝类养殖周期物质碳储量变化，单位为吨碳每年（t C/a）；

$CS_{shellfish-h}$ ——贝类收获时物质碳储量，单位为吨碳（t C）；

$CS_{shellfish-s}$ ——贝类放苗时物质碳储量，单位为吨碳（t C）；

T ——贝类养殖周期, $T \geq 1$, 单位为年 (a)。

贝类养殖周期对沉积物碳库的贡献 ($\Delta CS_{\text{sediment}}$) 按式 (14) 来计算:

$$\Delta CS_{\text{sediment}} = \frac{[(C_{\text{sediment_sa},t2} - C_{\text{sediment_sa},t1}) - (C_{\text{sediment_con},t2} - C_{\text{sediment_con},t1})]}{T} \dots\dots\dots (14)$$

式中:

$\Delta CS_{\text{sediment}}$ ——养殖周期贝类对沉积物碳库的贡献, 单位为吨碳每年 (t C/a);

$C_{\text{sediment_sa},t2}$ —— t_2 取样时养殖区沉积物碳库的碳储量, 单位为吨碳 (t C);

$C_{\text{sediment_sa},t1}$ —— t_1 取样时养殖区沉积物碳库的碳储量, 单位为吨碳 (t C);

$C_{\text{sediment_con},t2}$ —— t_2 取样时非养殖区对照点沉积物碳库的碳储量, 单位为吨碳 (t C);

$C_{\text{sediment_con},t1}$ —— t_1 取样时非养殖区对照点沉积物碳库的碳储量, 单位为吨碳 (t C);

T ——贝类养殖周期, $T \geq 1$, 单位为年 (a)。

注: 对于沉积环境变化较慢的区域, 并且监测成本高, 监测结果的不确定性较大, 基于保守性、成本有效性和降低不确定性原则, 非养殖区对照点沉积物碳库的碳储量的变化量可忽略不计。

7 质量控制

7.1 调查人员

调查人员和审核人员应具备相关专业知识和外业调查实践经验, 并具备审核调查所获取的数据是否符合现状实际的能力。

7.2 外业调查及实验分析

严格按照本文件要求布设相关调查站位, 完成规定的调查工作量, 调查前所需仪器设备应按规定定期进行检定/标定/校准和性能测试, 样品的采集、运输、保存和分析测试应符合 GB 17378 的要求。

7.3 单位面积产量

现场实际测定、经仔细核实的当地渔业部门的统计数据或者筏式贝类交易市场的交易量相互验证, 以保证单位面积产量的准确性。

7.4 数据管理

数据管理应符合下列要求:

a) 调查数据的质量检查应满足 GB 17378 的要求, 水质、海洋环境等分析数据应以分析测试报告形式给出;

b) 规范填写相关调查或记录表, 并由调查人员、审核人员等亲笔签名, 完好保存原始数据记录, 定期统一归档存档;

c) 建立全程质量控制程序, 制定相应质量保证、质量控制、核证程序方案。

附录 A

(规范性)

碳库贡献调查与评估通用记录格式

筏式养殖贝类碳库贡献调查与评估通用记录格式见表 A. 1~A. 3。

表 A. 1 样地信息记录表

海区：_____；海况：_____；调查船：_____；						
调查时间：自 年 月 日 时 分至 年 月 日 时 分						
样地名称	站位编号	经纬度	种类	规格 cm	养殖面积 hm ²	养殖密度 t/hm ²
记录者_____校对者_____						

表 A.2 数据记录表

类别	取样总量 ind.	湿重 g/ind	贝壳干重 g/ind	软体部分干重 g/ind	干重 g/ind	质量比	干湿比	含碳率	碳储量相关数据	
贝苗						贝壳:		贝壳	以数量计	单位面积贝苗数量 ind/hm ²
								软体部分		
						软体部分:		平均值:	以生物量计	贝苗总生物量 kg/hm ²
成贝						贝壳:		贝壳	单位面积成贝产量 kg/hm ²	
								软体部分		
						软体部分:		平均值:		
记录者_____校对者_____										

表 A.3 沉积物样品记录表

采样管编号		样品长度/cm		内径/cm	
处理时间		记录者		校对者	
序号	样品层 cm	干的沉积物颗粒 质量 g	沉积物总容积 cm ³	碳质量分数 %	沉积物厚度 cm
1	0~5				
2	6~10				
3	11~15				
4	16~20				
5	21~25				
6	26~30				
7	31~35				
8	36~40				
9	41~45				
10	46~50				

HY/T xxxx—xxxx

11	51~100				
12	>100				
