

团 体 标 准

T/FSF 002—2026

鲍养殖过程碳收支监测与核算技术指南

Technical guidelines for monitoring and evaluation of carbon budget for abalone
aquaculture

福建省水产学会

2026 - 01 - 31 发布

2026 - 01 - 31 实施

福建省水产学会 发布

福建省水产学会

目 次

前 言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 原理与工作流程 1

 4.1 原理 1

5 试剂材料与仪器设备 2

 5.1 试剂和材料 2

 5.2 仪器及设备 2

6 现场数据收集 3

7 模拟培养实验 3

 7.1 实验用鲍预备 3

 7.2 模拟培养 3

 7.3 鲍含碳量测定 3

 7.4 溶解总无机碳 3

 7.4 水气二氧化碳通量监测 3

 7.5 有机碳测定 3

8 核算方法 3

 8.1 培养实验结果核算 4

 8.2 养殖过程总碳收支量核算 5

9 质量控制 7

 9.1 质量保证 7

 9.2 数据处理 7

附 录 A （资料性） 养殖鲍碳收支数据收集表样式 9

参 考 文 献 12

福建省水产学会

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

本文件由福建省水产学会归口。

本文件起草单位：自然资源部第三海洋研究所、厦门大学、福建农林大学、福建海峡资源环境交易中心有限公司。

本文件主要起草人：詹力扬、游伟伟、李健、黄雄伟。

福建省水产学会

福建省水产学会

鲍养殖过程碳收支监测与核算技术指南

1 范围

本文件提供了鲍养殖过程中碳收支监测的程序、核算方法和质量控制等要求。
本文件适用于鲍养殖过程碳收支的监测与核算。

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 8170-2008 数值修约规则与极限数值的表示和判定

GB/T 12763.4-2007 海洋调查规范 第4部分：海水化学要素调查

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

GB/T 24044-2008 环境管理 生命周期评价 要求与指南

HY/T 150-2013 海水中有有机碳的测定 非色散红外吸收法

HY/T 196-2015 海水总溶解无机碳的测定 非色散红外吸收法

HY/T 197-2015 海水总碱度的测定 敞口式电位滴定法

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

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

水气界面二氧化碳（CO₂）通量 water-air carbon dioxide flux

单位时间内，通过单位养殖水体面积的二氧化碳垂直输送量。

3.2

钙化排碳的速率 calcification-driven carbon emission rate

鲍壳形成过程中排放二氧化碳的速率。

3.3

有效碳储量 effective carbon storage

鲍养殖过程中净留存于系统的碳量。

4 原理与工作流程

4.1 原理

开展现场调查，收集养殖区域面积、养殖鲍鱼类型及年产量等信息；为了避免复杂的现场环境影响，通过实验室模拟实验，获得不同龄段鲍单位重量软体部分和壳体部分含碳量、养殖水体中溶解总无机碳和有机碳的释放率以及水气界面碳通量。结合鲍鱼养殖区域产量信息，量化鲍的软体和壳体含碳量增加总量，排出的溶解无机碳、溶解有机碳和颗粒有机碳总量，上述几项之和扣除呼吸作用和钙化过程排出碳量，即为鲍养殖过程的有效碳储量。核算原理见图1。

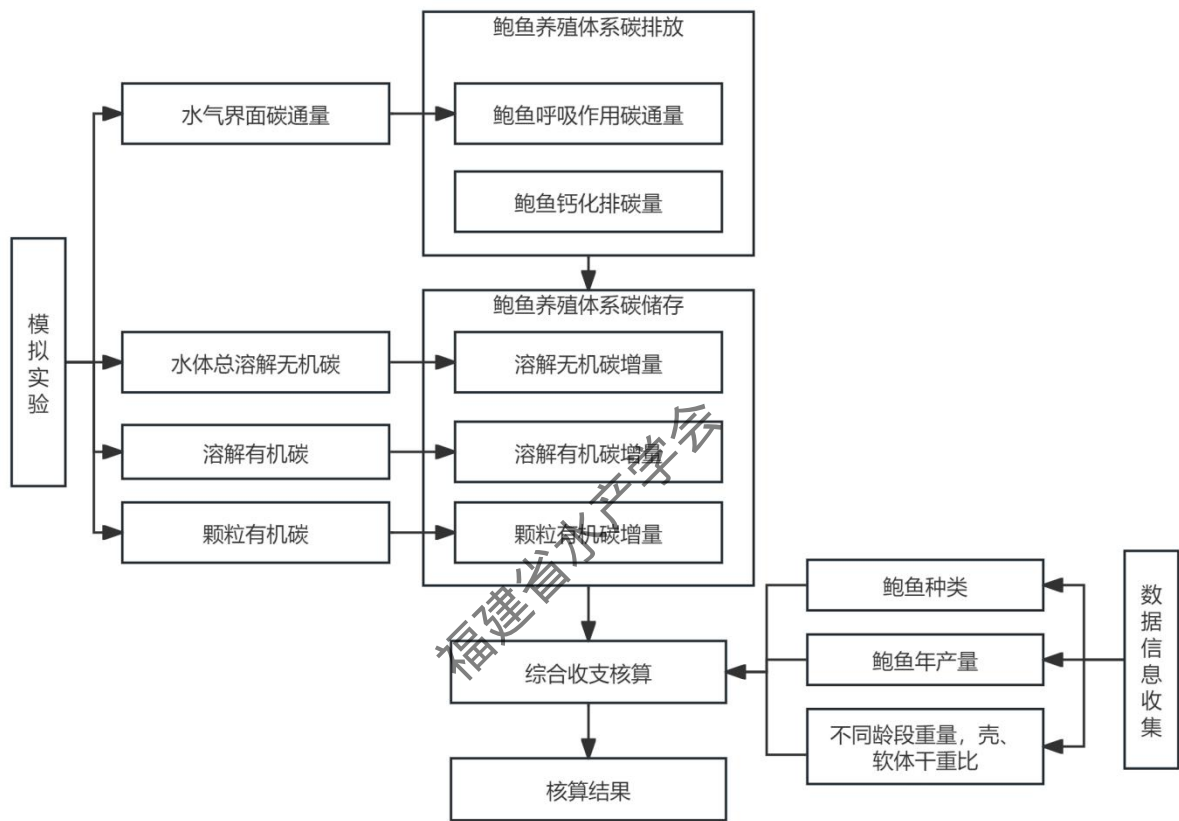


图1 鲍养殖过程碳收支监测核算原理图

5 试剂材料与仪器设备

警示——氯化汞（ HgCl_2 ）剧毒，应小心操作，避免直接接触，废液加硫处理！

5.1 试剂和材料

5.1.1 实验用鲍：均来自于养殖现场。

5.1.2 实验海水：在鲍养殖场采集养殖用海水，经过 $0.22\ \mu\text{m}$ 聚碳酸酯过滤除去大部分生物。

5.1.3 饱和氯化汞溶液：用于保存总溶解无机碳样品。将 $8.0\ \text{g}$ 氯化汞溶解于 $100\ \text{mL}$ 去离子水水中，充分搅拌，静置后溶液中有少量氯化汞晶体存在。

5.2 仪器及设备

选用以下仪器及设备：

- a) 广口高硼硅酸盐玻璃试剂瓶，试剂瓶瓶盖有进出气路接口；
- b) 总溶解无机碳分析仪；
- c) 总有机碳分析仪；
- d) 二氧化碳分析仪；
- e) 硅橡胶管。

6 现场数据收集

对核算区域鲍鱼进行现场数据收集，包括养殖区域面积、养殖鲍鱼种类、鲍鱼年产量等信息。数据记录表见附录A。

7 模拟培养实验

7.1 实验用鲍预备

模拟实验用鲍鱼从养殖场取回后在实验室中，适量投放饵料，恒温暂养。

7.2 模拟培养

在3 L广口高硼硅酸盐玻璃试剂瓶装入培养用海水至2 L刻度线，称得加入海水总重量。将0.5、1.5和2.5龄不同龄段鲍称重记录后（重量约为200-250 g），放入试剂瓶，移出部分培养海水至水位在2 L刻度线，对移除海水进行称重。培养过程不投喂。瓶中剩余水重量为加入水重量和移除水重量差值。实验温度和盐度以养殖区域温度和盐度作基准，波动控制在 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 温度单位和 ± 1 个盐度单位范围内。实验过程中不投饵料。

7.3 鲍含碳量测定

鲍软体和壳体含碳量按照HY/T 0305-2021中4.2.5的规定执行。

7.4 溶解总无机碳

分别在培养的第0、24、48小时采集瓶内水样分析溶解总无机碳。DIC样品采集和分析方法按照HY/T 196-2015中的第7和第8章的规定执行。

7.4 水气二氧化碳通量监测

使用二氧化碳分析仪分别测定培养第0、24、48小时培养瓶内顶空 CO_2 浓度变化，计算 CO_2 通量。

7.5 有机碳测定

水体总溶解有机碳、颗粒有机碳测定按照HY/T 150-2013的第7章和第8章规定执行。

模拟实验相关数据记录表均见附录A。

8 核算方法

8.1 培养实验结果核算

8.1.1 培养实验总溶解无机碳释放率

单位重量鲍养殖过程中总溶解无机碳向水体的释放率，按照公式（1）计算。

$$R_{DIC} = \frac{(C_{DIC2} - C_{DIC1}) \times m_c \times W \times 10^{-6}}{M \times T} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

R_{DIC} —— 实验过程中单位质量鲍在单位时间内释放出的总溶解无机碳的释放率，单位为（ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ ）；

C_{DIC1} 和 C_{DIC2} —— 实验前和实验结束时水体总溶解无机碳含量，单位为微摩尔每千克（ $\mu\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ ）；

m_c —— 碳原子量，单位为克每摩尔（ $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ）；

W —— 培养实验水体重量，单位为千克（ kg ）；

M —— 培养实验中鲍的总质量，单位为千克（ kg ）；

T —— 鲍养殖的时间，单位为天（ d ）。

8.1.2 培养实验总溶解有机碳释放率

单位重量的鲍养殖过程中水体中总溶解有机碳的释放率。按照公式（2）计算，

$$R_{DOC} = \frac{(C_{DOC2} - C_{DOC1}) \times W}{T \times M} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

R_{DOC} —— 培养实验过程中单位重量鲍 DOC 的释放率，单位为克每千克每天（ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ ）；

C_{DOC2} 和 C_{DOC1} —— 实验前和实验结束时水体溶解有机碳含量，单位为毫克每千克（ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ）；

W —— 培养实验水体重量，单位为千克（ kg ）；

T —— 鲍养殖的时间，单位为天（ d ）；

M —— 培养鲍总质量，单位为千克（ kg ）。

8.1.3 培养实验颗粒有机碳产生率

单位重量的鲍在养殖过程中水体中颗粒有机碳的产生率。按照公式（3）计算，

$$R_{POC} = \frac{(C_{POC2} - C_{POC1}) \times W}{T \times M} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

R_{POC} —— 培养实验过程中单位重量鲍 POC 的产生率，单位为克每千克每天（ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ ）；

C_{POC1} 和 C_{POC2} —— 实验前和实验结束时水体颗粒有机碳含量，单位为克每千克（ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ）；

W —— 培养实验水体重量，单位为千克（ kg ）；

T —— 鲍养殖的时间，单位为天（ d ）；

M —— 培养实验使用鲍的总质量，单位为千克（ kg ）。

8.1.4 培养实验水气界面二氧化碳排放率

培养实验过程中水汽界面二氧化碳排放率按照公式（4）进行计算，

$$F_{\text{CO}_2\text{i}} = \frac{V \times m_c}{R \times T_s \times M} \cdot \left(\frac{\Delta C}{t} \right) \dots \dots \dots (4)$$

式中:

$F_{\text{CO}_2\text{i}}$ —— 培养实验过程中单位重量鲍培养水体水气界面二氧化碳排放率,单位为克每千克每天($\text{g kg}^{-1} \text{d}^{-1}$);

V —— 鲍养殖实验罐顶空体积,单位为立方米(m^3);

m_c —— 碳原子量,单位为克每摩尔(g mol^{-1});

ΔC —— 鲍养殖实验结束和起始罐顶空 CO_2 浓度差值,单位为无量纲比例(ppm);

R —— 气体常数,其值约为 $8.314 (\text{m}^3 \cdot \text{Pa K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1})$;

T_s —— 鲍培养实验环境温度,单位为开尔文(K),等于 273 加现场摄氏温度;

M —— 培养鲍总质量,单位为千克(kg);

t —— 鲍养殖的时间,单位为天(d)。

8.2 养殖过程总碳收支量核算

8.2.1 鲍含碳总量

按照公式(5)计算鲍总碳收支率,根据现场实际养殖情况可以计算所养殖鲍鲍养殖实验过程中单位质量鲍的量。

$$W_c = \frac{W_t}{2} \times [P_f \times C_f + P_s \times C_s] \times 10^{-6} \dots \dots \dots (5)$$

式中:

W_c —— 鲍含碳总量,单位为吨(t);

W_t —— 指定时间内养殖面积鲍总重量,单位为千克(kg),假定鲍重量随时间线性增长,则全过程鲍重量增量为 $W_t/2$;

P_f —— 鲍软体质量干重占鲍总湿质量的百分比,无量纲;

C_f —— 收获鲍软体干重碳含量,单位为克每千克($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$);

P_s —— 鲍壳体质量干重占鲍总湿质量的百分比,无量纲;

C_s —— 收获鲍壳体干重碳含量,单位为克每千克($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)。

8.2.2 养殖过程总溶解无机碳释放量

鲍养殖环境中总溶解无机碳释放量。按照公式(6)计算可以获得鲍养殖过程水体无机碳总累计量:

$$\Delta DIC = \frac{\sum_i^n DIC_i}{n} \times \frac{W_t}{2} \times T \times 10^{-6} \dots \dots \dots (6)$$

式中:

ΔDIC —— 鲍养殖过程中释放出的总溶解无机碳总量,单位为吨(t);

- DIC_i —— 第 i 次培养时鲍总溶解无机碳的变化率, 单位为克每千克每天 ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$);
- n —— 实验总次数, n 大于或等于 3, 无量纲;
- W_t —— 调查范围内鲍总重量, 单位为千克 (kg);
- T —— 鲍养殖的时间, 单位为天 (d)。

8.2.3 养殖过程溶解有机碳总量

按照公式 (7) 计算:

$$\Delta \text{DOC} = \frac{\sum_i^n R_{\text{DOC}_i}}{n} \times \frac{W_t}{2} \times T \times 10^{-6} \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中:

- ΔDOC —— 鲍养殖过程中溶解有机碳总量, 单位为吨 (t);
- R_{DOC_i} —— 第 i 次调查时鲍水气界面碳通量, 单位为克每千克每天 ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$);
- n —— 实验总次数, n 大于或等于 3, 无量纲;
- W_t —— 调查范围内鲍总重量, 单位为千克 (kg);
- T —— 鲍养殖的时间, 单位为天 (d)。

8.2.4 养殖过程颗粒有机碳总量

鲍养殖环境颗粒有机碳积累总量。按照公式 (8) 计算:

$$\Delta \text{POC} = \frac{\sum_i^n R_{\text{POC}_i}}{n} \times \frac{W_t}{2} \times T \times 10^{-6} \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中:

- ΔPOC —— 鲍养殖过程水体颗粒有机碳总量, 单位为吨 (t);
- R_{POC_i} —— 第 i 次调查时水体颗粒有机碳产生率, 单位为克每千克每天 ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$);
- W_t —— 调查范围内鲍总重量, 单位为千克 (kg);
- T —— 鲍养殖的时间, 单位为天 (d);
- n —— 实验总次数, n 大于或等于 3, 无量纲。

8.2.5 养殖过程水气界面二氧化碳排放量

按照公式 (9) 计算:

$$F_{\text{CO}_2} = \frac{\sum_i^n F_{\text{CO}_2 i}}{n} \times \frac{W_t}{2} \times T \times 10^{-6} \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中:

- F_{CO_2} —— 鲍养殖过程中水气界面二氧化碳总排放量, 单位为吨 (t);
- n —— 实验总次数, n 大于或等于 3, 无量纲;
- W_t —— 调查范围内鲍总重量, 单位为千克 (kg);

T —— 鲍养殖的时间，单位为天（d）。

8.2.6 鲍钙化排碳量

在养殖过程中单位重量鲍壳体形成过程排放的 CO_2 的量，按照公式（10）计算：

$$F_{\text{CaCO}_3} = 0.7 \times \frac{m_c}{m_{\text{CaCO}_3}} \times \frac{W_t}{2} \times P_s \times 10^{-6} \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中：

- F_{CaCO_3} —— 单位重量鲍壳形成排碳量，单位为吨（t）；
- m_c —— 碳原子量，单位为克每摩尔（ $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ）；
- m_{CaCO_3} —— 碳酸钙分子量，取值 100.09，单位为克每摩尔（ $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ）
- W_t —— 调查范围内鲍总重量，单位为千克（kg）；
- P_s —— 鲍壳体部分质量干重占鲍总重量的百分比，无量纲。

8.2.7 鲍养殖过程中有效碳储量

鲍养殖过程有效碳储量按照公式（11）进行计算：

$$C = W_c + \Delta DIC + \Delta DOC + \Delta POC - F_{\text{CaCO}_3} - F_{\text{CO}_2} \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中：

- C —— 选定养殖边界鲍有效储碳总量，单位为吨（t）；
- W_c —— 鲍含碳总量，单位为吨（t）；
- ΔDIC —— 鲍养殖过程中释放出的总溶解无机碳总量，单位为吨（t）；
- ΔDOC —— 鲍养殖过程中溶解有机碳总量，单位为吨（t）；
- ΔPOC —— 鲍养殖过程水体颗粒有机碳总量，单位为吨（t）；
- F_{CaCO_3} —— 单位重量鲍壳形成排碳量，单位为吨（t）；
- F_{CO_2} —— 单位重量鲍壳形成排碳量，单位为吨（t）。

9 质量控制

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。

福建省水产学会

附 录 A
(资料性)
养殖鲍碳收支数据收集表样式

表A. 1~表A. 5分别给出了养殖鲍基本信息收集表、水气二氧化碳通量测定采样记录表、水体总溶解无机碳变化量采样记录表、水体溶解有机碳采样记录表、水体颗粒有机碳采样记录表样式。

表A. 1养殖鲍基本信息收集表

| | |
|--------|--|
| 养殖单位 | |
| 通信地址 | |
| 联系人/职务 | |
| 联系电话 | |
| 养殖时间 | |
| 养殖位置 | |
| 养殖面积 | |
| 养殖批次 | |
| 产量 | |
| 产值 | |
| 养殖年限 | |

填写人：

填写时间： 年 月 日

表A.2 水气二氧化碳通量测定采样记录表

| 序号 | 采样时间 | 鲍重量（kg） | 水重量（kg） | 起始时间 | 结束时间 | 数据记录 |
|--------------------------------|------|---------|---------|------|------|------|
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| 检测人员 _____ 记录者 _____ 校对者 _____ | | | | | | |

表A.3 水体总溶解无机碳变化量采样记录表

| 序号 | 采样时间 | 鲍重量 kg | 水重量 kg | 起始样品编号 | 结束样品编号 |
|--------------------------------|------|-----------|-----------|--------|--------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| 检测人员 _____ 记录者 _____ 校对者 _____ | | | | | |

表A.4 水体溶解有机碳采样记录表

| 序号 | 采样时间 | 鲍重量 kg | 水重量 kg | 起始样品编号 | 结束样品编号 |
|--------------------------------|------|-----------|-----------|--------|--------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| 检测人员 _____ 记录者 _____ 校对者 _____ | | | | | |

表A. 5 水体颗粒有机碳采样记录表

| 序号 | 采样时间 | 鲍重量 kg | 水重量 kg | 起始样品编号 | 结束样品编号 |
|--------------------------------|------|-----------|-----------|--------|--------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| 检测人员 _____ 记录者 _____ 校对者 _____ | | | | | |

福建省水产学会

参 考 文 献

- [1] 张继红, 刘毅, 吴文广, 王新萌, 等. 海洋渔业碳汇项目方法学探究[J]. 渔业科学进展, 2022, 43(05): 151-159.
 - [2] 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.
-

福建省水产学会