

# T/GDSTXF

## 广东省国土空间生态修复协会团体标准

T/GDSTXF 00X—2026

### 大型海藻养殖碳汇效价评估技术规程

Technical Specification for Valuation of Carbon Sink Effects  
in Macroalgae Aquaculture

(征求意见稿)

(2026年5月26日)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

2026 - XX - XX 发布

2026 - XX - XX 实施

广东省国土空间生态修复协会 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 基本要求 .....	2
4.1 评估周期 .....	2
4.2 评估区域 .....	2
4.3 评估流程 .....	2
5 前期准备阶段 .....	4
6 调查阶段 .....	4
6.1 调查内容 .....	4
6.2 调查频率 .....	4
6.3 调查站位 .....	4
6.4 调查和采样方法 .....	4
7 评估阶段 .....	7
7.1 碳汇评估 .....	7
7.2 碳汇经济价值评估 .....	10
7.3 评估报告编制 .....	13
附录 A（资料性）沉积物密度和沉积速率采样与分析方法 .....	14
附录 B（资料性）大型海藻产生的惰性溶解有机碳采样与分析方法 .....	16
附录 C（资料性） .....	17
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。

本文件由自然资源部南海发展研究院提出，旨在规范大型海藻养殖碳汇碳汇效价评估工作，统一评估方法、技术要求与成果标准，提升评估结果的科学性、准确性与可比性，为大型海藻碳汇项目开发、碳交易履约、生态修复成效考核及生态价值核算提供技术支撑。

本文件由广东省国土空间生态修复协会归口。

本文件起草单位：自然资源部南海发展研究院、广东工业大学、中山大学

本文件主要起草人：张翠萍、杨显辉、赵科、黄华梅、陈姗姗、胡平、郑兆勇、陈梓林、孟雪娇、李中恺、刘锋、骆海萍、蔡晓凤

# 大型海藻养殖碳汇效价评估技术规程

## 1 范围

本文件规定了大型海藻养殖碳汇效价评估的评估周期、评估区域、评估流程、评估报告编制及碳汇效价评估方法等要求。

本文件适用于养殖大型海藻的碳汇效价评估。

本文件不适用于野生大型海藻，以及养殖大型海藻加工副产品等的碳汇二次核算。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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/T15919—2010 海洋学术语 海洋生物学

GB/T 28058—2011 海洋生态资本评估技术导则

GB 17378.4—2007 海洋监测规范 第4部分：海水分析

GB/T 12763.8—2007 海洋调查规范 第8部分：海洋地质地球物理调查

GB/T 30891—2014 水产品抽样规范

HY/T0305—2021 大型藻类和双壳贝类碳汇计量方法 碳储量变化法

HY/T0349—2022 海洋碳汇核算方法

HY/T 058—2018 海洋调查观测监测档案业务规范

DB4403/T 401—2023 海洋碳汇核算指南

DB35/T 2238—2024 养殖海带碳汇评估技术规程

T/PSC 15—2023 海带养殖项目碳汇计量与监测指南

SC/T 2005.3—2000 海带筏式养殖产量验收方法

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**大型海藻** macroalgae

由固着器固着在岩石、养殖设施或其他基底上，体长可达 1 m 以上的多细胞，有组织的藻类。

[来源：GB/T15919—2010，5.32，有修改]

### 3.2

**大型海藻养殖碳汇** macroalgae aquaculture carbon sink

利用养殖大型藻类从空气或海水中吸收并固定二氧化碳的过程、活动、机制和能力。

[来源：HY/T0305—2021，3.1，有修改]

### 3.3

**惰性溶解有机碳碳汇 refractory dissolved organic carbon (RDOC) carbon sink**

海水养殖中，通过微生物碳泵、光化学转化等机制产生的、在海水中可稳定存留数十年以上的惰性溶解有机碳所形成的碳汇。

### 3.4

**沉积物埋藏碳汇 sediment burial carbon sink**

大型海藻生长过程中直接或间接产生的颗粒有机碳（POC）通过沉积作用埋藏到海底沉积物中，通过物理过程被输送到深海区域，从而实现长期封存。

### 3.5

**最终批次成藻 the final batch of macroalgae**

在特定养殖周期内，大型藻类从幼苗投放到商品规格成熟后，当年最后一次采收的成体藻类。

### 3.6

**碳汇效价评估 carbon sink valuation assessment**

对大型海藻碳汇项目在特定周期内的碳储存能力与对应经济价值进行量化评估的过程；其中生态价值以碳汇量（固定 CO<sub>2</sub> 总量）衡量，经济价值包括产品价值、储碳价值、释氧价值与净化价值，最终形成可支撑项目决策、碳交易或生态补偿的评估结果。

## 4 基本要求

### 4.1 评估周期

评估周期应与大型海藻养殖周期一致，且需覆盖完整生长周期（从幼苗投放至当年最终批次成藻收获）。

### 4.2 评估区域

评估区域的划定可依据行政管辖范围、自然地理边界、养殖区分布或其他特定要求来界定。

### 4.3 评估流程

大型海藻碳汇效价评估划分为前期准备阶段、调查阶段和评估阶段。

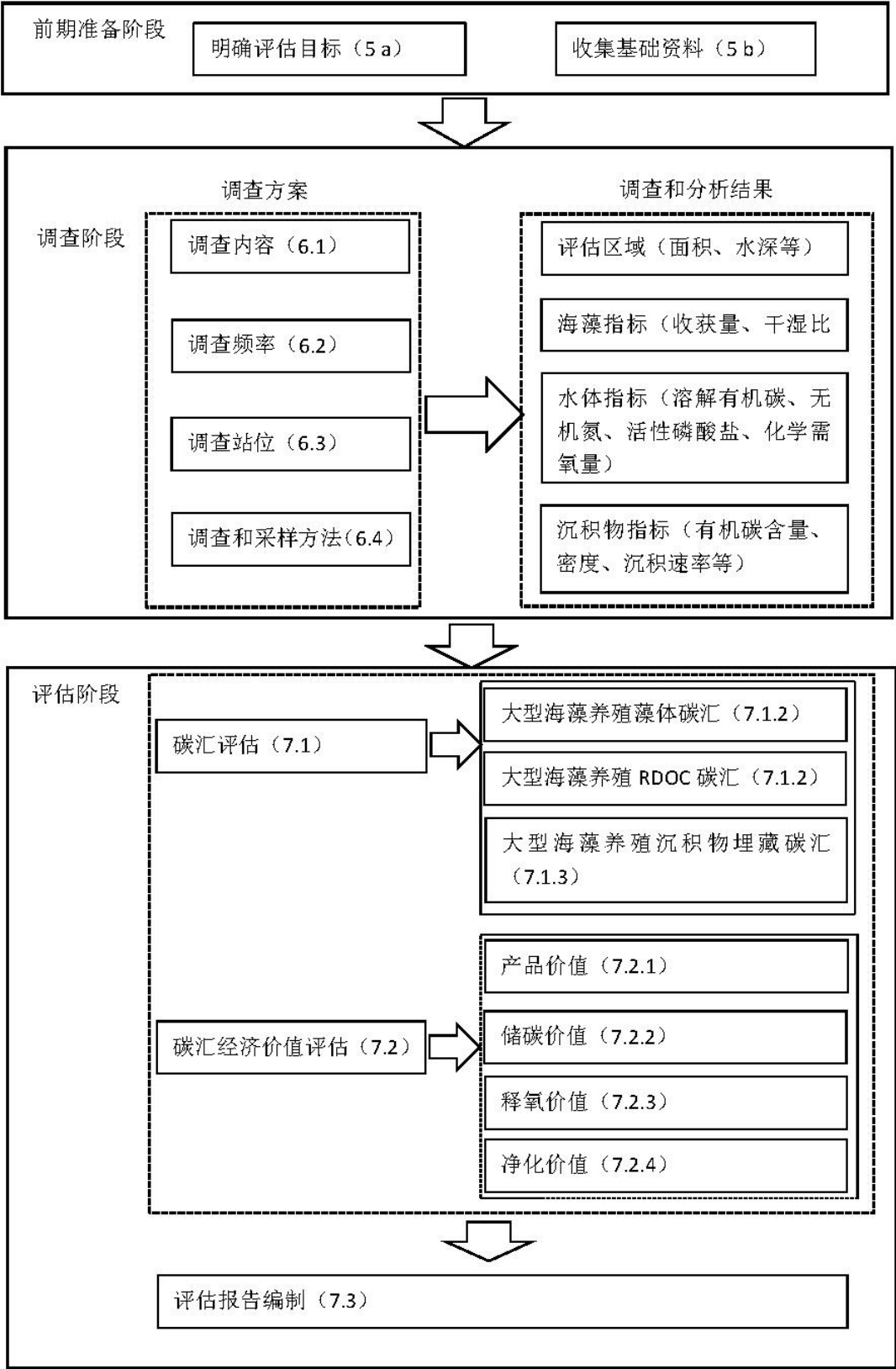


图 1 工作流程

## 5 前期准备阶段

大型海藻碳汇评估的前期准备阶段需完成以下关键任务。

a) 明确评估目标：明确具体的评估范围与目的，包括目标养殖品种、评估的预期用途等。

b) 收集基础资料：系统性地搜集三类关键资料：

权属与备案文件：包括项目海域使用权证、海籍调查报告、养殖备案文件等。

生态环境数据：包括项目区域的历史与现状海水水质监测数据、沉积物类型调查报告等。

核心参数：目标海藻的含碳率、工业制氧成本、当前碳交易价格等关键计算参数。

## 6 调查阶段

### 6.1 调查内容

评估区域（面积、水深等）、海藻指标（收获量、干湿比等）、水体指标（溶解有机碳、无机氮、活性磷酸盐、化学需氧量），以及沉积物指标（有机碳含量、密度、沉积速率等）等。

### 6.2 调查频率

在大型海藻养殖初期和当年所有批次海藻收获期分别开展1次现场调查。

### 6.3 调查站位

按照GB 17378.3—2007的原则要求布设调查断面和站位，采用“网格式”布设，均匀分布在评估区内部，同时在邻近的非养殖水域布设平行断面与站位作为对照区域，具体站位数量可以根据评估区实际进行调整。

### 6.4 调查和采样方法

#### 6.4.1 海藻取样和测定

##### 6.4.1.1 幼苗和成藻的取样

针对苗种规格参差不齐的问题，取样时应涵盖不同批次样品。幼苗和成藻的取样方法按照GB/T30891—2014中5.3.2.2规定的抽样方案执行。表1给出了藻类幼苗和成藻的取样方法。取符合样本量要求的样品去除砂石等杂质后，均质，再从所取样品中随机称取不少于400g（幼苗为200g）的待检测样品。海藻取样和生长量计算相关数据记录表见表2。

表1 藻类幼苗和成藻的取样

样品类别	样本量	检测样湿重
幼苗	≥300 g	≥200 g
成藻	≥3 株或 1 kg	≥400 g

注：表中所列为最少取样量,需根据藻体实际情况,保证抽取样品的最终检测量达到要求。

#### 6.4.1.2 海藻收获量的获取

单位面积的海藻收获量采用现场实际测定并结合当地渔业部门的统计数据进行比较验证,对于无法完全收获需要抽样估算的,藻类抽样方法按照 SC/T2005.3—2000 中第 6 章的规定执行。对于因调查时间与当地生产活动不吻合而无法获取当年单位面积海藻收获量的情况,可参考当地渔业部门的统计数据。

#### 6.4.1.3 藻类干湿比

准备待检测的藻类样品,用蒸馏水将样品冲洗干净,控干表面水分称量湿重后于 60℃烘干 48h 后记录干重,并计算干湿比。

表 2 海藻取样和生长量计算相关数据记录表

藻体类别	取样株数	生物量	检测样品湿重	检测样品干重	干湿比	计算海藻生长量相关数据		
						以数量计	单位面积幼苗数量	平均个体干重
幼苗								
						以生物量计	幼苗总生物量	
成藻						单位面积成藻产量		

#### 6.4.2 水体采样和测定

##### 6.4.2.1 溶解有机碳

水样采集与溶解有机碳 (DOC) 测定均依据 GB 17378.4—2007 第 34 章规范执行。水样经 0.7 μm 玻璃纤维滤膜 (GF/F) 过滤获得溶解有机碳待测样品,每份样品均设置不少于 3 个平行样。

DOC 含量采用总碳 (TC) 减无机碳 (IC) 的差减法测定,核心检测流程为:过滤后水样由进样器自动进样,首先注入装填白金触媒、温度恒定 680℃的 TC 燃烧管,通入高纯空气将样品中含碳有机物完全氧化为 CO<sub>2</sub>,通过非色散红外检测器完成 TC 定量;随后同一水样自动注入盛有 25%磷酸溶液的 IC 反应器,常温下酸化水样中的无机碳酸盐并释放 CO<sub>2</sub>,经非色散红外检测器完成 IC 定量,最终以 DOC=TC-IC 计算样品 DOC 含量。

另可采用酸化吹脱无机碳后直接测定 TC 的方法:向水样中加入 2 mol/L 盐酸酸化,通气鼓泡 5~10 min 去除 IC,此时测定的 TC 值即为 DOC 表观值;该方法因鼓泡过程会造成水样中挥发性有机物损失,测定结果仅代表不可吹出有机碳含量,存在一定系统误差。

也可采用过硫酸钾氧化法辅助测定:水样经酸化、通氮气去除无机碳后,加入过硫酸钾将有机碳氧化为 CO<sub>2</sub>,通过非色散红外二氧化碳气体分析仪完成定量检测。

#### 6.4.2.2 水质指标

水样采集及无机氮、活性磷酸盐、化学需氧量（COD）的测定，均依据 GB 17378.4—2007 中第 32 章、35~39 章规范执行。

化学需氧量（COD）：采用碱性高锰酸钾法测定：在碱性加热条件下，加入过量且定量的高锰酸钾氧化海水中需氧物质；随后调节体系至硫酸酸性，加入碘化钾还原过量的高锰酸钾与反应生成的二氧化锰，将生成的游离碘以硫代硫酸钠标准溶液滴定定量。

无机氮：本测定中无机氮为氨氮、亚硝酸盐氮、硝酸盐氮的总量。水样经有机玻璃/塑料采水器采集，经 0.45 μm 滤膜过滤后，贮存于聚乙烯瓶中待测，各组分测定方法如下：

①氨氮：可采用靛酚蓝分光光度法或次溴酸盐氧化法。a.靛酚蓝分光光度法：弱碱性介质中，以亚硝酰铁氰化钠为催化剂，氨与苯酚、次氯酸盐反应生成靛酚蓝，于 640 nm 波长测定吸光值；b.次溴酸盐氧化法：碱性介质中次溴酸盐将氨氧化为亚硝酸盐，采用重氮-偶氮分光光度法测定亚硝酸盐氮总量，扣除水样中原有的亚硝酸盐氮浓度，即得氨氮浓度。

②亚硝酸盐氮：采用萘乙二胺分光光度法：酸性介质中，亚硝酸盐与磺胺发生重氮化反应，产物再与盐酸萘乙二胺偶合生成红色偶氮染料，于 543 nm 波长测定吸光值。

③硝酸盐氮：采用镉柱还原法：水样通过镉还原柱，硝酸盐被定量还原为亚硝酸盐，采用重氮-偶氮分光光度法测定亚硝酸盐氮总量，扣除水样中原有的亚硝酸盐氮浓度，即得硝酸盐氮浓度。

活性磷酸盐：水样经有机玻璃/塑料采水器采集，经 0.45 μm 滤膜过滤后，贮存于聚乙烯瓶中待测，可采用磷钼蓝分光光度法或磷钼蓝萃取分光光度法测定：

①磷钼蓝分光光度法：酸性介质中，活性磷酸盐与钼酸铵反应生成磷钼黄，经抗坏血酸还原为磷钼蓝后，于 882 nm 波长测定吸光值；

②磷钼蓝萃取分光光度法：酸性介质中，活性磷酸盐与钼酸铵反应生成磷钼黄，经抗坏血酸还原为磷钼蓝后，以醇类有机溶剂萃取，于 700 nm 波长测定吸光值。

#### 6.4.3 沉积物采样和测定

##### 6.4.3.1 沉积物有机碳

表层沉积物样品按 GB/T 12763.8—2007 第 6 章采集，每个站位设不少于 3 个平行样；沉积物有机碳采用元素分析仪法测定，样品干燥研磨成粉后，称取 10~20mg 用 CHN 元素分析仪测总碳（TC）含量，另依据有机碳含量称取同一样品 50~100mg 置于已称重（精确定量至 0.1mg）的 20mL 玻璃瓶中，加入过量 1N HCl（≥2mL），经超声波水浴振荡 5min 后于 50℃烘箱干燥过夜，干燥样品在空气中放置至少 24h 至恒重，称重扣除玻璃瓶重量得最终质量，研磨均质化后称取定量样品，采用 CHN 元素分析仪完成测定。

##### 6.4.3.2 沉积物密度

按照 GB/T 12763.8—2007 中第 6 章的规定进行沉积物密度样品采集和测定，具体方法见附录 A。

#### 6.4.3.3 沉积速率

沉积速率可采用沉积物捕集器法或  $^{210}\text{Pb}$  法，详细信息见附录 A。

#### 6.4.4 评估区养殖面积和水深调查

采用全球定位系统（GPS）、北斗卫星导航系统或其他卫星导航系统，通过单点定位或差分技术直接测定海藻养殖海域的边界坐标；亦可依托高分辨率地理空间数据（如卫星影像、航片），在地理信息系统（GIS）辅助下提取海藻养殖区的边界坐标，进而核算养殖区面积。评估报告中需明确标注所使用的坐标系及仪器设备的精度，同时核对实际养殖边界与前期记录文件的描述是否一致。若养殖边界发生变动，或出现海藻大面积减产等情况，需测定相关区域的地理坐标与面积，并在评估报告中详细说明。

水深调查包为现场调查，参考 GB/T 12763.2—2007 中第 4.8 节规定的内容执行，优先采用回声测深仪测定，若现场条件不具备或养殖区水深较浅，可改用钢丝绳测深法。

#### 6.4.5 样品保存与运输

按照 GB 17378.3—2007 中 4.12 的要求进行样品保存和运输。

### 7 评估阶段

#### 7.1 碳汇评估

##### 7.1.1 总碳汇

大型海藻养殖碳汇为大型海藻藻体碳汇、RDOC 碳汇和沉积物埋藏碳汇之和（固定  $\text{CO}_2$  总量），按公式（1）计算：

$$C_{\text{总}} = C_{\text{藻体}} + C_{\text{RDOC}} + C_{\text{埋藏}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$C_{\text{总}}$  ——大型海藻养殖碳汇，单位为吨每年（t/a）；

$C_{\text{藻体}}$  ——大型海藻养殖藻体碳汇，单位为吨每年（t/a）；

$C_{\text{RDOC}}$  ——大型海藻养殖RDOC碳汇，单位为吨每年（t/a）；

$C_{\text{埋藏}}$  ——大型海藻养殖沉积物埋藏碳汇，单位为吨每年（t/a）。

##### 7.1.2 大型海藻藻体碳汇

大型海藻藻体碳汇  $C_{\text{藻体}}$  采用碳储量变化法，按公式（2）~公式（6）计算。

###### 7.1.2.1 幼苗初始投放碳储量

单位面积幼苗碳储量按“数量计量法”或“生物量计量法”计算，选择与项目实际投放方式匹配的方法：

数量计量法（适用于按“株数”投放的项目，如海带）：

$$C_{\text{幼苗1}} = N_{sq} \times W_{si} \times C_{sa} \times 10^{-6} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$C_{\text{幼苗1}}$  ——单位面积幼苗碳储量，单位为吨每公顷（t/hm<sup>2</sup>）；

$N_{sq}$  ——单位面积幼苗数量，单位为株每公顷（ind/hm<sup>2</sup>）（现场实测，取各站位平均值）；

$W_{si}$  ——幼苗个体干重，单位为克每株（g/ind）（烘干后称重，取各站位平均值）；

$C_{sa}$  ——幼苗含碳率。

生物量计量法（适用于按“鲜重”投放的项目，如江蓠（别名龙须菜））：

$$C_{\text{幼苗2}} = W_t \times R_{dw} \times C_{sa} \times 10^{-3} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

$C_{\text{幼苗2}}$  ——单位面积幼苗碳储量，单位为吨每公顷（t/hm<sup>2</sup>）；

$W_t$  ——单位面积幼苗总生物量（鲜重），单位为千克每公顷（kg/hm<sup>2</sup>）（现场实测）；

$R_{dw}$  ——幼苗的干湿比；

$C_{sa}$  ——幼苗含碳率。

#### 7.1.2.2 成藻收获碳储量

单位面积成藻收获碳储量按公式（4）计算：

$$C_{\text{成藻}} = W_{sy} \times R_{ssdw} \times C_{aa} \times 10^{-3} \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中：

$C_{\text{成藻}}$  ——单位面积所有批次成藻收获碳储量，单位为吨每公顷（t/hm<sup>2</sup>）；

$W_{sy}$  ——单位面积所有批次成藻产量（鲜重），单位为吨每公顷（t/hm<sup>2</sup>）（现场实测或修正后的统计数据）；

$R_{ssdw}$  ——成藻干湿比（现场测定，取各站为平均值）；

$C_{aa}$  ——成藻含碳率（现场取样后实验室测定，取各站为平均值）。

#### 7.1.2.3 单位时间内碳储量变化

养殖周期内单位面积碳储量变化按式（5）计算：

$$\Delta C_s = (C_{\text{成藻}} - C_{\text{幼苗}}) / T_1 \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中：

$\Delta C_s$  ——单位面积碳储量变化，单位为吨每公顷每年（t/（hm<sup>2</sup>·a））；

$C_{\text{幼苗}}$  ——单位面积幼苗碳储量，单位为吨每公顷（t/hm<sup>2</sup>）（取 $C_{\text{幼苗1}}$ 或 $C_{\text{幼苗2}}$ ）；

$C_{\text{成藻}}$  ——单位面积成藻收获碳储量，单位为吨每公顷（t/hm<sup>2</sup>）；

$T_1$  ——养殖周期，即从幼苗到最终批次收获成藻的时间，单位为年（a）。

## 7.1.2.4 藻体碳汇

藻体碳汇按公式（6）计算：

$$C_{\text{藻体}}=k_1 \times \Delta C_s \times A \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中：

$C_{\text{藻体}}$  ——在大型藻类养殖周期内CO<sub>2</sub>的碳汇量，单位为吨每年（t/a）；

$\Delta C_s$  ——单位面积碳储量变化，单位为吨每公顷每年（t/（hm<sup>2</sup>·a））；

$A$  ——大型海藻评估区养殖面积，单位为公顷（hm<sup>2</sup>）（现场核查确认的面积）；

$k_1$  ——碳的质量转化成二氧化碳的质量的系数44/12，无量纲。

## 7.1.3 大型海藻养殖 RDOC 碳汇

大型海藻养殖RDOC碳汇 $C_{RDOC}$  采用大型海藻产生的水体溶解有机碳换算（DOC换算法）。

依据 DOC 换算法，大型海藻产生的惰性溶解有机碳量按公式（7）计算：

$$C_{RDOC}=C_{DOC} \times r_{RDOC} \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中：

$C_{RDOC}$ ——大型海藻产生的惰性溶解有机碳量，以碳当量计，单位为吨每年（t/a）；

$C_{DOC}$ ——大型海藻产生的水体溶解有机碳量，以碳当量计，单位为吨每年（t/a）；

$r_{RDOC}$ ——惰性溶解有机碳占水体溶解有机碳量的比例，实测数据参照附录B的规定进行分析。

大型海藻产生的水体溶解有机碳按公式（8）计算，其中评估区水体总体积按公式（9）计算：

$$C_{DOC}=V \times \Delta C_{DOC} \times \frac{1}{T_1} \times 10^{-6} \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中：

$C_{DOC}$  ——大型海藻产生的水体溶解有机碳，单位为吨每年（t/a）；

$V$  ——大型海藻评估区水体总体积，单位为立方米（m<sup>3</sup>）；

$\Delta C_{DOC}$  ——比较对照区，大型海藻最终批次收获期和养殖初期水体溶解有机碳平均含量的差值，单位为克每立方米（g/m<sup>3</sup>）；

$T_1$  ——养殖周期，即从幼苗到最终批次收获成藻的时间，单位为年（a）。

注：将海藻收获期和养殖初期水体溶解有机碳平均含量的差值  $\Delta C_{DOC}$  ，近似作为海藻养殖产生的溶解有机碳在单位水体中的含量。

$$V=A \times D \times 10^{-4} \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中：

$V$  ——大型海藻评估区水体总体积，单位为立方米（m<sup>3</sup>）；

$A$  ——大型海藻评估区养殖面积，单位为公顷（hm<sup>2</sup>）；

$D$  ——大型海藻评估区平均水深，单位为米（m）。

#### 7.1.4 大型海藻沉积物埋藏碳汇

大型海藻产生的沉积物有机碳量按公式（10）计算，其中大型海藻养殖周期内沉积物累积质量按公式（11）计算：

$$C_{\text{埋藏}}=W\times(CP_{\text{SOC}}-CP_{\text{SOC前}}) \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中：

$C_{\text{埋藏}}$  ——大型海藻产生的沉积物有机碳，单位为吨每年（t/a）；

$W$  ——大型海藻养殖周期内沉积物累积质量，单位为吨每年（t/a）；

$CP_{\text{SOC}}$  ——大型海藻评估区养殖结束后沉积物有机碳含量；

$CP_{\text{SOC前}}$  ——大型海藻评估区养殖前沉积物有机碳含量；

$$W=S\times v\times\rho\times T_2 \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中：

$W$  ——大型海藻养殖周期内沉积物累积质量，单位为吨每年（t/a）；

$S$  ——大型海藻评估区养殖面积，单位为平方米（m<sup>2</sup>）；

$v$  ——平均沉积速率，单位为米每天（m/d）（沉积速率可采用沉积物捕集器法或<sup>210</sup>Pb法，具体方法参考DB35/T 2238—2024）；

$\rho$  ——沉积物干密度，单位为吨每立方米（t/m<sup>3</sup>）；

$T_2$  ——每个养殖周期内海藻养殖天数，单位为天每年（d/a）。

### 7.2 碳汇经济价值评估

#### 7.2.1 碳汇总经济价值

大型海藻碳汇总经济价值为产品价值、储碳价值、释氧价值与净化价值之和，按公式（12）计算。

$$V=V_P+V_C+V_O+V_Q \quad \dots\dots\dots (12)$$

式中：

$V$  ——大型海藻碳汇总经济价值，单位为万元每年（万元/a）；

$V_P$  ——产品价值，单位为万元每年（万元/a）；

$V_C$  ——储碳价值，单位为万元每年（万元/a）；

$V_O$  ——释氧价值，单位为万元每年（万元/a）；

$V_Q$  ——净化价值，单位为万元每年（万元/a）。

#### 7.2.2 产品价值

产品价值核算采用市场价值法，按公式（13）计算：

$$V_P=M\times P \quad \dots\dots\dots (13)$$

式中：

$V_P$  ——产品价值，单位为万元每年（万元/a）。

$M$  ——大型海藻的收获量，单位为吨每年（t/a）；

$P$  ——海藻的市场价格，单位为万元每吨（万元/t）（取评估周期内的平均市场价）。

### 7.2.3 储碳价值

储碳价值为碳汇量对应的碳交易价值，按公式（14）计算：

$$V_C = C_{\text{总}} \times P_C \quad \dots\dots\dots (14)$$

式中：

$V_C$  ——储碳价值，单位为万元每年（万元/a）；

$C_{\text{总}}$  ——大型海藻碳汇，单位为吨每年（t/a）；

$P_C$  ——当地碳交易价格，单位为万元每吨（万元/t）。

### 7.2.4 释氧价值

释氧价值为海藻光合作用释放氧气的替代工业制氧成本，按公式（15）计算：

$$V_O = W_{\text{藻}} \times k_1 \times C_I \times 10^{-6} \quad \dots\dots\dots (15)$$

式中：

$V_O$  ——释氧价值，单位为万元每年（万元/a）；

$W_{\text{藻}}$  ——大型藻类养殖周期内的生长量（以干重计），单位为吨每年（t/a）；

$k_1$  ——单位干重大型海藻换算成氧气的系数，无量纲，取1.19；

$C_I$  ——工业制氧成本，单位为万元每吨（万元/t）。

大型海藻生长量 $W_{\text{藻}}$ 按公式（16）计算：

$$W_{\text{藻}} = \Delta W_{\text{藻}} \times A \quad \dots\dots\dots (16)$$

式中：

$W_{\text{藻}}$  ——大型藻类养殖周期内的生长量（以干重计），单位为吨每年（t/a）；

$\Delta W_{\text{藻}}$  ——单位面积海藻生长量，单位为吨每公顷每年（t/（hm<sup>2</sup>·a））；

$A$  ——大型海藻养殖区养殖面积，单位为公顷（hm<sup>2</sup>）（现场核查确认的面积）；

养殖周期内单位面积海藻生长量按式（17）计算：

$$\Delta W_{\text{藻}} = (W_{\text{成藻}} - W_{\text{幼苗}}) / T_1 \quad \dots\dots\dots (17)$$

式中：

$\Delta W_{\text{藻}}$  ——单位面积海藻生长量，单位为吨每公顷每年（t/（hm<sup>2</sup>·a））；

$W_{\text{幼苗}}$  ——单位面积幼苗重量，单位为吨每公顷（t/hm<sup>2</sup>）（取 $W_{\text{幼苗1}}$ 或 $W_{\text{幼苗2}}$ ）；

$W_{\text{成藻}}$  ——单位面积成藻收获量（干重），单位为吨每公顷（t/hm<sup>2</sup>）；

$T_1$  ——养殖周期，即从幼苗到最终批次收获成藻的时间，单位为年（a）。

单位面积成藻收获碳储量按公式（18）计算：

$$W_{成藻} = W_{sy} \times R \times 10^{-3} \quad \dots\dots\dots (18)$$

式中：

$W_{成藻}$  ——单位面积成藻收获量（干重），单位为吨每公顷（t/hm<sup>2</sup>）；

$W_{sy}$  ——单位面积所有批次成藻收获量（鲜重），单位为吨每公顷（t/hm<sup>2</sup>）（现场实测或修正后的统计数据）；

$R$  ——成藻干湿比（现场测定，取各站为平均值）。

单位面积幼苗碳储量按“数量计量法”或“生物量计量法”计算，选择与项目实际投放方式匹配的方法：

数量计量法（适用于按“株数”投放的项目，如海带）：

$$W_{幼苗1} = N_{sq} \times W_{si} \times 10^{-6} \quad \dots\dots\dots (19)$$

式中：

$W_{幼苗1}$  ——单位面积幼苗重量（干重），单位为吨每公顷（t/hm<sup>2</sup>）；

$N_{sq}$  ——单位面积幼苗数量，单位为株每公顷（ind/hm<sup>2</sup>）（现场实测，取各站位平均值）；

$W_{si}$  ——幼苗个体干重，单位为克每株（g/ind）（烘干后称重，取各站位平均值）。

生物量计量法（适用于按“鲜重”投放的项目，如龙须菜）：

$$W_{幼苗2} = W_t \times R_{dw} \times 10^{-3} \quad \dots\dots\dots (20)$$

式中：

$W_{幼苗2}$  ——单位面积幼苗重量（干重），单位为吨每公顷（t/hm<sup>2</sup>）；

$W_t$  ——单位面积幼苗重量（鲜重），单位为千克每公顷（kg/hm<sup>2</sup>）（现场实测）；

$R_{dw}$  ——幼苗的干湿比。

## 7.2.5 净化价值

净化价值为海藻净化水污染物的替代处理成本，按公式（21）计算：

$$V_Q = \sum_{k=1}^p (E_k \times C_k^W) \quad \dots\dots\dots (21)$$

式中：

$V_Q$  ——净化价值，单位为万元每年（万元/a）；

$E_k$  ——第k类水污染物净化量，单位为吨每年（t/a）；

$C_k^W$  ——第k类水污染物处理费用，单位为万元每吨（万元/t）（参考当地环保部门发布的处理成本）；

$p$  ——水污染物种类数量（如包括无机氮、活性磷酸盐、化学需氧量）。

$$E_k = V \times (Con_{k前} - Con_k) / T_1 \quad \dots\dots\dots (22)$$

式中：

$E_k$  ——第k类水污染物净化量，单位为吨每年（t/a）；

$V$  ——大型海藻评估区水体总体积，单位为立方米（m<sup>3</sup>）；

$Con_{k前}$  ——大型海藻评估区养殖前水体第 $k$ 类水污染物浓度，单位为吨每立方米（ $t/m^3$ ）；

$Con_k$  ——大型海藻评估区养殖结束时水体第 $k$ 类水污染物浓度，单位为吨每立方米（ $t/m^3$ ）；

$T_l$  ——养殖周期，即从幼苗到最终批次收获成藻的时间，单位为年（a）。

### 7.3 评估报告编制

报告内容包括前言、区域概况、碳汇效价评估方案、大型海藻养殖场调查和碳汇效价评估、结论与建议等，报告格式和大纲见附录 C。

## 附录 A (资料性)

## 沉积物密度和沉积速率采样与分析方法

## A.1 沉积物密度测定

在海藻养殖区站位采集沉积物柱状样, 参照 GB/T12763.8—2007 中 6.5.3 的要求, 将柱状样分层后, 每层使用环刀采集一定体积的沉积物, 同时取代表性沉积物样品测定含水率, 含水率参照公式 (A.1) 计算:

$$\omega = \left( \frac{m_w}{m_d} - 1 \right) \times 100\% \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

$\omega$ ——含水率, %;

$m_w$ ——沉积物湿重, 单位为克 (g);

$m_d$ ——沉积物干重, 单位为克 (g)。

将环刀采集的沉积物样品称重, 根据环刀取得的沉积物质量 ( $m_w$ ) 和体积 (即环刀容积  $V$ ) 计算沉积物密度, 沉积物湿密度和干密度分别参照公式 (A.2) 和公式 (A.3) 计算:

$$\rho_w = \frac{m_w}{V} \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

$\rho_w$ ——沉积物湿密度, 单位为克每立方厘米 ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ );

$m_w$ ——沉积物质量, 单位为克 (g);

$V$ ——环刀容积, 单位为立方厘米 ( $\text{cm}^3$ )。

$$\rho = \frac{\rho_w}{1 + 0.01 \times \omega} \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

式中:

$\rho$ ——沉积物干密度, 单位为克每立方厘米 ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ );

$\rho_w$ ——沉积物湿密度, 单位为克每立方厘米 ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ );

$\omega$ ——含水率, %。

## A.2 沉积速率测定法

## A.2.1 沉积物捕集法

养殖初期在海藻养殖区站位布设沉积物捕集器, 距底约 0.5 m, 收获期进行回收。称取收集到的沉积物质量  $m$  (湿重, 单位为 g), 根据捕集器开口面积  $s$  ( $\text{cm}^2$ ) 和布放时间  $t$  (d), 计算沉积速率, 沉积速率参照公式 (A.4) 计算:

$$v_1 = \frac{m}{s \times \frac{t}{365}} \quad \dots\dots\dots (A.4)$$

式中:

$v_l$ ——沉积速率，单位为克每平方厘米每年 ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ );

$m$ ——沉积物质量，单位为克 (g);

$s$ ——沉积物捕集器开口面积，单位为平方厘米 ( $\text{cm}^2$ );

$t$ ——沉积物捕集器布放时间，单位为天 (d)。

根据沉积物湿密度 $\rho_w$  (可近似使用表层沉积物密度，或用环刀取一定体积捕集器内的沉积物参照上文方法测定密度)，可将沉积速率换算为厘米每年 ( $\text{cm}\cdot\text{a}^{-1}$ )，沉积速率参照公式 (A.5) 计算：

$$v = \frac{v_l}{\rho_w} \dots\dots\dots (\text{A.5})$$

式中：

$v$ ——沉积速率，单位为厘米每年 ( $\text{cm}\cdot\text{a}^{-1}$ );

$v_l$ ——沉积速率，单位为克每平方厘米每年 ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ );

$\rho_w$ ——沉积物湿密度，单位为克每立方厘米 ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )。

#### A. 2. 2 $^{210}\text{Pb}$ 法

在海藻养殖区站位采集沉积物柱状样，将柱状样分层 (5 cm 以内每 0.5 cm 一层，5 cm 以深每 1 cm 一层) 切割后密封冷冻保存。参照 GB/T 12763.8—2007 中 6.8.5 的规定，使用  $^{210}\text{Pb}$  法测定每层沉积物的年龄。根据沉积物所在深度 ( $D$ ) 和年龄 ( $Y$ ) 计算沉积速率，沉积速率数据记录表见表 E.3。沉积速率参照公式 (A.6) 计算：

$$v = \frac{D}{Y} \dots\dots\dots (\text{A.6})$$

式中：

$v$ ——沉积速率，单位为厘米每年 ( $\text{cm}\cdot\text{a}^{-1}$ );

$D$ ——沉积物深度，单位为厘米 (cm);

$Y$ ——沉积物年龄，单位为年 (a)。

## 附录 B (资料性)

## 大型海藻产生的惰性溶解有机碳采样与分析方法

## B.1 DOC 光化学降解法

在海藻养殖区站位采集现场海水 5 L, 使用 450 °C 预先灼烧过的孔径 0.7 μm 的玻璃纤维 (GF/F) 滤膜过滤海水去除颗粒物。每份样品取 3 个平行样。

将处理后的海水置于洁净的带盖石英瓶中, 在光照培养箱中使用 Q-lab 氙灯和窗玻璃滤光片模拟太阳光谱, 设置现场温度和光照条件进行光降解实验。以同样样品放置在黑暗环境中作对照。分别在 0 d、1 d、3 d、5 d、9 d、15 d.....取水 40 mL, 参照 GB 17378.4—2007 中第 34 章的要求测定 DOC 含量, 至 DOC 含量趋于稳定时实验停止。此时的 DOC 即为惰性溶解有机碳 (RDOC)。RDOC 含量与初始 DOC 含量之比, 即为惰性溶解有机碳占水体溶解有机碳量的比例 rRDOC。

## B.2 DOC 微生物降解法

在海藻养殖区站位采集现场海水 5 L, 使用 450 °C 预先灼烧过的孔径 0.7 μm 的玻璃纤维 (GF/F) 滤膜过滤海水去除颗粒物, 将过滤后的海水再次使用孔径 0.2 μm 的滤膜过滤以获得原位微生物和海水。每份样品取 3 个平行样。将过滤获得的孔径 0.2 μm 的滤膜装入 15 mL 无菌人工海水中, 4 °C 避光冷藏保存尽快带回实验室, 在 50 mL 无菌人工海水中漩涡 15 min 获得原位微生物。将过滤后的海水避光冷藏带回实验室。

海水在玻璃瓶中用无菌透气膜封口, 添加原位微生物, 放置在室温黑暗环境中进行降解实验。以相同海水不添加微生物, 放置在相同条件下作为对照组。每组 3 个平行。

分别在 0 d、5 d、10 d、30 d、60 d、90 d.....取水 40 mL, 参照 GB 17378.4—2007 中第 34 章的要求测定 DOC 含量, 至 DOC 含量趋于稳定不再下降。然后将此时的海水转移到洁净的带盖石英瓶中放置在阳光下进行光降解。分别在 0 d、1 d、3 d、5 d、7 d.....取水 40 mL, 参照 GB 17378.4—2007 中第 34 章的要求测定 DOC 含量, 至 DOC 含量再次趋于稳定时实验停止。此时的 DOC 即为惰性溶解有机碳 (RDOC)。RDOC 含量与初始 DOC 含量之比, 即为惰性溶解有机碳占水体溶解有机碳量的比例 rRDOC。

## 附录 C（资料性）

## C.1 文本格式

## C.1.1 文本规格

文本外形尺寸为 A4（210mm×297mm）。

## C.1.2 封面格式

第一行书写：××××年××区××（大型海藻名）栽培项目（一号宋体，加粗，居中）；

第二行书写：碳汇效价评估报告（一号宋体，加粗，居中）；

第三行书写：报告编制单位全称（三号宋体，加粗，居中）；

第四行书写：××××年××月（小三号宋体，加粗，居中）；

以上各行间距应适宜，保持整个封面美观。

## C.1.3 封里内容

封里中应分行写明：碳汇效价评估报告编制单位全称（加盖公章）；编制人、审核人姓名等内容。

## C.2 大型海藻养殖项目碳汇效价评估报告编写大纲

按照表 C.1 编制型海藻养殖项目碳汇效价评估报告。可根据评估区域特点和监测内容，对有关章节做适当增减。

表 C.1 大型海藻养殖项目碳汇效价评估报告编写大纲

1	前言
2	区域概况
3	碳汇效价评估方案
3.1	组织实施
3.2	评估方案
3.3	监测方案
3.4	质量控制
4	大型海藻养殖场调查
4.1	大型海藻养殖藻体碳汇参数调查
4.2	大型海藻养殖RDOC碳汇参数调查
4.3	大型海藻养殖沉积物埋藏碳汇参数调查
4.4	大型海藻养殖碳汇经济价值参数调查
5	大型海藻养殖场碳汇效价评估
5.1	大型海藻养殖RDOC碳汇

5.2 大型海藻养殖沉积物埋藏碳汇

5.3 大型海藻养殖碳汇经济价值

6 结论与建议

6.1 结论

6.2 建议

附件：大型海藻养殖项目碳汇效价评估汇总表

## 参考文献

- [1] 丁睿,姜双城,郑敏芳,等.福建省大型海藻的化学组成特征及碳汇核算应用[J].应用海洋学报,1-13
- [2] 白钰.江苏南通海域坛紫菜养殖碳汇潜力评估与碳足迹分析[D].大连海事大学,2024.
- [3] 刘志强,梁桂珠,王皓,等.中国海藻养殖的碳汇及环境效益分析[J].中国生态农业学报(中英文),2024,32(09):1578-1591.
- [4] 李洁,江志兵,朱元励,等.中国近海养殖贝藻类“可移出碳汇量”核算及潜力评估[J].应用海洋学报,2025,44(02):192-199.
- [5] 胡闪闪.广东省海域大型海藻对海洋化学环境变化的响应及其生态服务价值评估[D].华南理工大学,2022.
- [6] 何培民,刘媛媛,张建伟,等.大型海藻碳汇效应研究进展[J].中国水产科学,2015,22(03):588-595.
- [7] 李瑞帆,钟晨辉,郑盛华,等.大型海藻碳汇:固碳机理、评估方法与环境因子影响[J/OL].渔业研究,1-15.
- [8] Vásquez A J ,Zuñiga S ,Tala F , et al.Economic valuation of kelp forests in northern Chile: values of goods and services of the ecosystem[J].Journal of Applied Phycology,2014,26(2):1081-1088.
- [9] Rivas L D J ,Cardenas C J .What is the economic value of coastal and marine ecosystem services? A systematic literature review[J].Marine Policy,2024,161106033-.
- [10] Torres C ,Hanley N .Communicating research on the economic valuation of coastal and marine ecosystem services[J].Marine Policy,2017,7599-107.