

团 体 标 准

T/FSF XXX—XXX

养殖海带净碳汇调查与评估技术规程

Code of practice for investigation and evaluation of net carbon sink
from cultivated *Saccharina japonica*

(报批稿)

20XX – XX – XX 发布

20XX – XX – XX 实施

福建省水产学会 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 调查与评估原理	2
5 调查与评估流程	2
6 养殖海带碳足迹调查与评估	3
6.1 碳足迹调查内容	3
6.2 养殖海带碳足迹评估	4
7 养殖海带碳汇调查与评估	4
7.1 碳汇调查	4
7.2 碳汇评估	5
8 养殖海带净碳汇评估	7
9 质控要求	8
附 录 A （规范性） 养殖海带净碳汇数据调查表示例	9
附 录 B （资料性） 常见化石燃料、电力及其他消耗品的 CO ₂ 排放因子参考值	15
附 录 C （资料性） 常用数值、比率参考值	16
参考文献	17

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、中国科学院青岛生物能源与过程研究所、中国水产科学研究院黄海水产研究所、福建省连江县官坞海产开发有限公司、中国水产科学研究院东海水产研究所。

本文件主要起草人：张飞、汤坤贤、张永雨、张继红、李和阳、林哲龙、汤朴毅、陈佩慈、马勇、金艳。

养殖海带净碳汇调查与评估技术规程

1 范围

本文件规定了养殖海带净碳汇调查与评估原理、调查与评估流程、碳足迹调查与评估、碳汇调查与评估、净碳汇评估和质控要求。

本文件适用于养殖海带净碳汇调查与评估。

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 12763.1 海洋调查规范 第1部分：总则

GB/T 12763.2 海洋调查规范 第2部分：海洋水文观测

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

HY/T 0305—2021 养殖大型藻类和贝类碳汇计量方法 碳储量变化法

HY/T 0436—2024 海洋生物资源碳库贡献调查与评估技术规程 大型藻类(筏式养殖)

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

生命周期评价 life cycle assessment

对一个产品系统的生命周期中输入、输出及其潜在环境影响的汇编和评价。

[来源：GB/T 24040—2008，3.2]

3.2

养殖海带碳足迹 carbon footprint of cultivated *Saccharina japonica*

海带养殖周期中，从苗种培育、暂养、分苗到海带养殖、收获等阶段，海带产品养殖生产过程排放温室气体的总和。

注：以二氧化碳当量表示。

3.3

移出碳 removed carbon

养殖海带中储存的因捕捞、收获被移出养殖环境的有机碳。

3.4

沉积碳 deposited carbon

养殖海带产生的可沉积到养殖区中的有机碳。

3.5

输运碳 exported carbon

养殖海带产生的被输运到深远海的有机碳。

3.6

惰性溶解有机碳 recalcitrant dissolved organic carbon; RDOC

存在于水体中不易分解并且生物难以利用的溶解有机碳。

[来源： HY/T 0439—2024, 3.6]

3.7

养殖海带碳汇 carbon sink of cultivated *Saccharina japonica*

利用养殖海带通过光合作用从空气或海水中吸收固定大气中二氧化碳并将其转化为有机碳的过程、活动和机制。

3.8

养殖海带净碳汇 net carbon sink of cultivated *Saccharina japonica*

养殖海带过程中产生的碳汇与养殖海带碳足迹的差值。

4 调查与评估原理

采用生命周期评价法，调查养殖海带从海带苗培育、暂养、分苗到海带养殖、收获等阶段的二氧化碳排放量，计算出养殖单位重量海带的碳足迹。测定海带养殖过程中产生的移出碳、沉积碳、输运碳、惰性溶解有机碳，计算单位重量养殖海带碳汇。移出碳、沉积碳和惰性溶解有机碳采用现场调查法，输运碳采用评估法。根据养殖海带碳汇与碳足迹的差值，核算养殖海带产生的净碳汇。

5 调查与评估流程

调查与评估流程见图1。

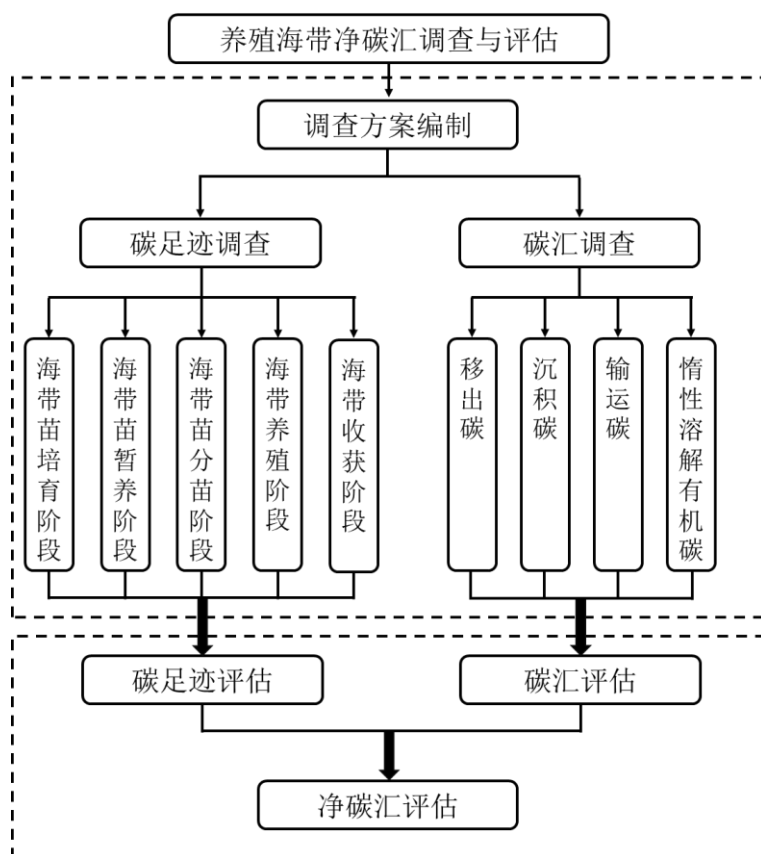


图1 养殖海带净碳汇调查评估流程

6 养殖海带碳足迹调查与评估

6.1 碳足迹调查内容

6.1.1 海带苗培育阶段

调查对象为海带苗培育车间，调查内容包括：

- a) 海带苗年产量；
- b) 用电量；
- c) 苗帘用量；
- d) 营养盐消耗量。

见表A.1海带苗培育阶段碳排放信息采集表。

6.1.2 海带苗暂养阶段

调查对象为海带养殖企业或海带养殖户，调查内容包括：

- a) 运输海带苗化石燃料消耗量；
- b) 暂养期间海上交通的化石燃料消耗量。

见表A.2海带苗暂养阶段碳排放信息采集表。

6.1.3 海带苗分苗阶段

调查对象为海带养殖企业或海带养殖户，调查内容为：运输分苗海带苗海上交通的化石燃料消耗量，见表A.3海带苗分苗阶段碳排放信息采集表。

6.1.4 海带养殖阶段

调查对象为海带养殖企业或海带养殖户，调查内容包括：

- a) 养殖期间海上交通的化石燃料消耗量；
- b) 养殖器材（包括筏架、苗绳、浮球等）使用量。

见表A.4海带养殖阶段碳排放信息采集表。

6.1.5 海带收获阶段

调查对象为海带养殖企业或海带养殖户，调查内容包括：

- a) 机器收割时消耗的化石燃料消耗量；
- b) 收获期间海上交通的化石燃料消耗量；
- c) 收获期间陆上交通的化石燃料消耗量；
- d) 收货后用于海带初加工的化石燃料或电能消耗量。

见表A.5海带收获阶段碳排放信息采集表。

6.2 养殖海带碳足迹评估

养殖海带全生命周期碳足迹，二氧化碳排放量按照公式（1）计算：

$$E = \sum_1^m \sum_1^n Q_{ij} \times C_{ij} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- E ——养殖海带全生命周期碳足迹，单位为吨二氧化碳当量（tCO₂e）；
- m ——养殖海带第 m 个生命周期阶段，（ $m = 1, 2, 3, 4, 5$ ）；
- n ——每个阶段有 n 个排放单位，单位可以表示重量、体积或能耗；
- Q_{ij} ——第 j 阶段产生第 i 个单元的主要活动；
- C_{ij} ——第 j 阶段产生第 i 个单元的排放因子，每个单位的二氧化碳当量的参考值见附录 B。

7 养殖海带碳汇调查与评估

7.1 碳汇调查

7.1.1 养殖海带碳汇调查方法

各参数按照表1方法进行调查。

表1 调查方法

参数	引用依据
海带养殖面积、产量、密度	SC/T 2005.3—2000, 6
海带干湿比、含碳率	HY/T 0305—2021, 4.2.4

水深	GB/T 12763.2
沉积物采样	GB 17378.3
沉积物容量	HY/T 0436—2024, 4.2.3.1
沉积物有机碳含碳量、沉积速率	GB/T 12763.8
海水采样	GB 17378.3

7.1.2 养殖海带移出碳调查内容

调查内容包括：养殖面积、产量等，见表A.6海带养殖情况调查表。

7.1.3 养殖海带沉积碳调查内容

调查内容包括：养殖区水深、沉积物容量、沉积物有机碳含碳量、海带养殖面积、沉积速率。

7.1.4 养殖海带输运碳调查内容

调查内容包括：养殖面积。

7.1.5 养殖海带惰性溶解有机碳调查内容与方法

7.1.5.1 调查内容

调查内容包括：养殖面积、密度，以及海带在不同生长阶段产生的溶解有机碳量。海带在不同生长阶段产生的溶解有机碳通过现场围隔实验估算。

7.1.5.2 围隔实验

围隔实验包括以下内容：

- a) 按照GB 17378.3的规定采集海带养殖区的海水，先后经孔径750μm的筛绢和孔径0.7μm的聚碳酸酯膜过滤备用；
- b) 将过滤海水及1株正常生长海带藻体置于密封透明围隔中作为实验组，海带藻体应全部浸没海水中并舒张展开；等量不加海带过滤海水的围隔作为对照组；
- c) 实验组和对照组各设置3个平行，实验应在晴好天气进行，持续24h；
- d) 海水的溶解有机碳，按照GB 17378.4的规定计算；
- e) 分别在海带生长的幼苗期、凹凸期、脆嫩期、厚成期和成熟期各至少调查1次为宜。

7.2 碳汇评估

7.2.1 养殖海带移出碳核算

养殖海带移出碳的计算见公式（2）：

$$C_{removed} = P \times A \times R \times \alpha \times 3.67 \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$C_{removed}$ ——移出碳，单位为吨二氧化碳（t CO₂）；

P ——单位面积海带湿重，单位为吨每公顷（t ha⁻¹）；

A ——养殖面积，单位为公顷（ha）；

R ——海带收获时的干湿比，无量纲；

α ——干海带的碳含量，无量纲，参考值见附录C；

注：3.67为CO₂与C的相对分子质量比（44/12），无量纲，下同。

7.2.2 养殖海带沉积碳核算

养殖海带沉积碳的计算见公式（3）：

$$C_{deposited} = V_y \times A \times \rho \times B \times D \times 3.67 \times 10^{-2} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

$C_{deposited}$ ——沉积碳，单位为吨二氧化碳（t CO₂）；

V_y ——海带养殖区年均的沉积厚度，单位为厘米（cm）；

A ——养殖海带面积，单位为平方米（m²）；

ρ ——沉积物容量，单位为吨每立方米（t m⁻³）；

B ——沉积物中有机碳质量分数，单位为%；

D ——沉积物中海带贡献的有机碳比例，单位为%，参考值见附录C。

7.2.3 养殖海带输运碳核算

养殖海带输运碳的计算见公式（4）：

$$C_{exported} = A \times \beta \times \gamma \times 3.67 \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中：

$C_{exported}$ ——输运碳，单位为吨二氧化碳（t CO₂）；

A ——养殖海带面积，单位为公顷（ha）；

β ——单位养殖面积海带平均一年的光合固碳量，单位为吨碳每平方米（t C ha⁻¹），参考值见附录

C；

γ ——海带输运碳汇占其光合固碳总量的比例，无量纲，参考值见附录C。

7.2.4 养殖海带惰性溶解有机碳核算

养殖海带惰性溶解有机碳的计算见公式（5）：

$$RDOC = \left(\sum_{i=1}^5 DOC_i \times D_i \times \delta_i \times A_i \times p_i \right) \times 3.67 \times 10^{-6} \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中：

$RDOC$ ——惰性溶解有机碳，单位为吨二氧化碳 ($t CO_2$)；

DOC_i ——特定生长阶段单株海带释放的有机碳，单位为克碳每株每天 ($g C plant^{-1} d^{-1}$)；

D_i ——海带特定生长阶段生长时间，单位为天 (d)；

δ_i ——特定生长阶段海带产生的溶解有机碳 (DOC) 转化为惰性溶解有机碳 ($RDOC$) 的比例，无量纲，参考值见附录C；

A_i ——海带特定生长时期的养殖面积，单位为公顷 (ha)；

p_i ——海带特定生长时期的养殖密度，单位为株每公顷 ($plant ha^{-1}$)。

7.2.5 养殖海带碳汇评估

养殖海带碳汇计算见公式 (6)：

$$C_{total} = C_{removed} + C_{deposited} + C_{exported} + RDOC \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中：

C_{total} ——养殖海带碳汇，单位为吨二氧化碳 ($t CO_2$)；

$C_{removed}$ ——移出碳，单位为吨二氧化碳 ($t CO_2$)；

$C_{deposited}$ ——沉积碳，单位为吨二氧化碳 ($t CO_2$)；

$C_{exported}$ ——输运碳，单位为吨二氧化碳 ($t CO_2$)；

$RDOC$ ——惰性溶解有机碳，单位为吨二氧化碳 ($t CO_2$)。

碳汇核算信息填写表A.7养殖海带碳汇核算信息表。

8 养殖海带净碳汇评估

养殖海带净碳汇按照式 (7) 计算：

$$C_{net} = C_{total} - E \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中：

C_{net} ——养殖海带的净碳汇，单位为吨二氧化碳 ($t CO_2$)；

C_{total} ——养殖海带碳汇，单位为吨二氧化碳 ($t CO_2$)；

E ——养殖海带全生命周期碳足迹，单位为吨二氧化碳当量 ($t CO_2 e$)。

9 质控要求

调查与评估过程应建立质量控制工作体系，实施全过程质量控制，满足 GB/T 12763.1 中的相应要求。

数据质量方面，相应数据收集、处理与核算应遵循准确性、完整性、一致性、透明性和可追溯性原则；应尽可能收集原始实测数据或经权威机构认证的运营数据，在无法获取原始数据的情况下，可使用经公开发表或权威数据库提供的次级数据，并应注明来源、年份及适用性说明。数据应经过内部审核，确保其符合本标准的技术要求。所有支撑净碳汇评估的数据及文档应至少保存 5 年，以备后续核查或验证使用。

附 录 A
(规范性)
养殖海带净碳汇数据调查表示例

表A.1 海带苗培育阶段碳排放信息采集表

品种	
产量	
用电量	
苗帘用量	
肥料使用	N肥：
	P肥
	其他：

填写人： 填写时间： 年 月 日

表A.2 海带苗暂养阶段碳排放信息采集表

暂养面积	
暂养开始数量	
暂养结束数量	
海带苗场与暂养海域码头	距离：
	运输方式：
暂养海域距离 码头距离	

海带苗运输船	吨位:
	载重:
	油耗
	油品类型:
暂养期间物料消耗	筏架:
	绳索:
	浮球:
	其他:
暂养期间日常维护船只	次数:
	吨位:
	油耗:
	油品类型:

填写人: 填写时间: 年 月 日

表A.3 海带苗分苗阶段碳排放信息采集表

分苗场所与暂养海域码头	距离:
	运输方式:
海带苗运输船只	吨位:
	载重:

	油耗：
	油品类型：
填写人：	填写时间： 年 月 日

表A.4 海带养殖阶段碳排放信息采集表

养殖面积	
养殖开始数量	
养殖结束数量	
分苗场所距离 养殖海域码头	距离：
	运输方式：
养殖海域与码 头距离	
已分苗海带苗 运输船	吨位：
	载重：
	油耗
	油品类型：
养殖期间物料 消耗	筏架：
	绳索：
	浮球：
	其他：

养殖期间日常 维护船只	次数:
	吨位:
	油耗:
	油品类型:
填写人: _____ 填写时间: _____ 年 月 日	

表A.5 海带收获阶段碳排放信息采集表

收获面积	
收获产量	
收获方式	
初加工场所与 养殖海域码头	距离:
	运输方式:
养殖海域与码 头距离	
收获海带运输 船	吨位:
	载重:
	油耗
	油品类型:
填写人: _____ 填写时间: _____ 年 月 日	

表A.6 海带养殖情况调查表

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	
海带品种	
产量	
产值	
养殖年限	
海带苗获取方式	

填写人：

填写时间： 年 月 日

表A.7 养殖海带碳汇核算信息表

移出碳	碳汇量	
	数据获取方式	
	关键计算参数来源	

沉积碳	碳汇量	
	数据获取方式	
	关键计算参数来源	
输运碳	碳汇量	
	数据获取方式	
	关键计算参数来源	
惰性溶解有机碳	碳汇量	
	数据获取方式	
	关键计算参数来源	

填写人：

填写时间： 年 月 日

附录 B

(资料性)

常见化石燃料、电力及其他消耗品的 CO₂ 排放因子参考值B.1 常见化石燃料的 CO₂ 排放因子参考值

表B.1给出了常见化石燃料的CO₂排放因子参考值。

表B.1 常见化石燃料的CO₂排放因子参考值

化石燃料	CO ₂ 排放因子	CO ₂ 排放因子单位	来源
无烟煤	2.03	tCO ₂ e/t	CPCD
烟煤	1.87	tCO ₂ e/t	CPCD
褐煤	1.50	tCO ₂ e/t	CPCD
汽油	3.85	tCO ₂ e/t	CPCD
柴油	3.82	tCO ₂ e/t	CPCD
天然气	2.80	tCO ₂ e/Nm ³	CPCD

注：CPCD 中国产品全生命周期温室气体排放系数库（2022）。

B.2 电力的 CO₂ 排放因子参考值

表B.2给出了电力的CO₂排放因子参考值。

表B.2 电力的CO₂排放因子参考值

项目	CO ₂ 排放因子	CO ₂ 排放因子单位	来源
光伏发电	0.055	tCO ₂ e/ kWh	CPCD
光热发电	0.031	tCO ₂ e/ kWh	CPCD
核能发电	0.007	tCO ₂ e/ kWh	CPCD
水力发电	0.014	tCO ₂ e/ kWh	CPCD
燃气发电	0.479	tCO ₂ e/ kWh	CPCD
燃煤发电	0.944	tCO ₂ e/ kWh	CPCD
生物质发电	0.046	tCO ₂ e/ kWh	CPCD
风力发电	0.034	tCO ₂ e/ kWh	CPCD
全国电力（平均）	0.621	tCO ₂ e/ kWh	CPCD

注：CPCD为中国产品全生命周期温室气体排放系数库（2025）。

B.3 其他消耗品的 CO₂ 排放因子参考值

表B.3给出了其他消耗品的CO₂排放因子参考值。

表B.3 其他消耗品的CO₂排放因子参考值

项目	CO ₂ 排放因子	CO ₂ 排放因子单位	来源
聚氯乙烯（PVC）	4.79	tCO ₂ e/ t	CPCD

注：CPCD为中国产品全生命周期温室气体排放系数库（2025）。

附 录 C
(资料性)
常用数值、比率参考值

C.1 常用数值参考值

表C.1给出了常用数值参考值。

表C.1 常用数值参考值

项目	参考值	来源
养殖海带碳含量	31.20%	HY/T 0305—2024, 附录D
养殖海带固碳速率	范围：20.8-22.0（推荐：21.0）t C ha ⁻¹ a ⁻¹	毛兴华等，1993；Wu et.al.,1984
海带养殖区沉积速率参考值	福建省三沙湾、莆田、漳州分别约为： 1.91 cm a ⁻¹ 、0.97 cm a ⁻¹ 、0.5 cm a ⁻¹	DB35/T 2238—2024，7.3.1.4

C.2 常用比例参考值

表C.2给出了常用比例参考值。

表C.2 常用比例参考值

项目	参考值	来源
海带输运碳汇占其光合固碳总量的比例	2.3%	Krause-Jensen and Duarte, 2016
沉积物中海带贡献的有机碳比例	50%	田月等，2025

C.3 海带产生RDOC占DOC比例参考值

表C.3给出了海带产生RDOC占DOC比例参考值。

表C.3 海带产生RDOC占DOC比例参考值

生长时期	参考值	来源
幼苗期	28.8%	Feng et.al., 2025
凹凸期	23.4%	
脆嫩期	39.6%	
厚成期	42.8%	
成熟期	48.0%	

参 考 文 献

[1] DB35/T 2238—2024 养殖海带碳汇评估技术规程

[2] GB/T 24040—2008 环境管理 生命周期评价 原则与框架

[3] HY/T 0439—2024 微型生物碳库贡献调查与评估技术规程 海洋细菌

[4] ISO 14067 Greenhouse gases—Carbon footprint of products—Requirements and guidelines for quantification, 2018.

[5] 毛兴华, 朱明远, 杨小龙. 桑沟湾大型底栖植物的光合作用和生产力的初步研究[J]. 生态学报, 1993, 13(1): 25-29.

[6] Wu C Y, Wen Z C, Peng Z S, et al. A preliminary comparative study of the productivity of three economic seaweeds[J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 1984, 2: 97-101.

[7] Krause-Jensen D, Duarte C M. Substantial role of macroalgae in marine carbon sequestration[J]. Nature Geoscience, 2016, 9(10): 737-742.

[8] 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.

[9] Feng X T, Li H M, Zhang J H, et al. Neglecting recalcitrant DOC would lead to serious underestimation of seaweed farming’s contribution to ocean carbon sequestration[J]. Science China Earth Sciences, 2025, 68(5): 1419-1428.

[10] 田月, 肖宜华, 邵伟,等. 不同海带养殖阶段桑沟湾沉积物有机碳来源与组分特征研究[J]. 环境科学学报, 2025, 45(8): 244-254.
