

养殖海带碳汇评估技术规程

Code of practice for assessment of carbon sink in cultured *Saccharina japonica*

地方标准信息服务平台

2024 - 12 - 24 发布

2025 - 03 - 24 实施

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 评估方法	2
5 工作流程	2
6 调查与分析方法	4
6.1 现场调查法	4
6.2 估算法	5
7 评估方法	5
7.1 评估区域养殖海带碳库储量	5
7.2 评估区域可移除生物碳量	6
7.3 评估区域养殖海带碳汇量	6
7.4 评估区域养殖海带惰性有机碳量	9
8 质量控制	10
8.1 人员要求	10
8.2 调查与分析	11
8.3 评估过程	11
8.4 资料管理	11
9 评估报告编制	11
附录 A（资料性） 采样与分析记录表	12
附录 B（资料性） 养殖海带产生的惰性溶解有机碳采样与分析方法	13
附录 C（资料性） 养殖海带产生的惰性颗粒有机碳采样与分析方法	15
附录 D（资料性） 养殖海带产生的惰性沉积物有机碳采样与分析方法	17
附录 E（资料性） 沉积物密度和沉积速率采样与分析方法	19
附录 F（资料性） 养殖海带碳汇评估报告格式与内容	22
参考文献	24

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。

本文件由福建省海洋与渔业局提出并归口。

本文件起草单位：福建省渔业资源监测中心、厦门大学、闽江学院。

本文件主要起草人：李荣茂、刘涛、黄春秀、董书航、张友权、穆景利、陈火荣、王萱、李聪、王双辉、肖洁、张智、林华、刘义峰、潘非斐、吴镇、陈逍遥。

地方标准信息服务平台

养殖海带碳汇评估技术规程

1 范围

本文件规定了养殖海带碳汇评估的基本要求、工作流程、调查与分析方法、评估方法、质量控制和评估报告编制等内容。

本文件适用于养殖海带碳储量变化的碳汇评估工作。

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 12763.2—2007 海洋调查规范 第2部分：海洋水文观测
- 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 12763.9—2007 海洋调查规范 第9部分：海洋生态调查指南
- GB 17378.2—2007 海洋监测规范 第2部分：数据处理与分析质量控制
- 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
- 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

养殖海带碳汇 carbon sink in cultured *Saccharina japonica*

一个养殖周期内海带从海水中吸收并固定二氧化碳的过程、活动、机制和能力。

注：本文件是指由养殖海带产生并留存在海洋水体和沉积物中的有机碳。

[来源：HY/T 0305—2021，3.1，有修改]

3.2

养殖海带碳库 carbon reservoir in cultured *Saccharina japonica*

养殖海带固定的碳，包括可移除生物碳，留存在海洋环境中的溶解有机碳、颗粒有机碳和沉积物有机碳。

3.3

养殖海带可移除生物碳 removable biomass carbon in cultured *Saccharina japonica*

采收移除的养殖海带藻体中储存的碳。

3.4

溶解有机碳 dissolved organic carbon

海水中以溶解态形式存在的有机碳。

注：本文件是指使用孔径0.7 μm的玻璃纤维（GF/F）滤膜过滤后保留在海水中的有机碳。

3.5

颗粒有机碳 particulate organic carbon

海水中以颗粒态形式存在的有机碳。

注：本文件是指使用孔径0.7 μm的玻璃纤维（GF/F）滤膜过滤被截留在滤膜上的有机碳。

3.6

沉积物有机碳 sedimentary organic carbon

沉积物样品经酸化处理去除无机碳后的有机碳。

3.7

惰性有机碳 refractory organic carbon

海洋环境中难以被化学和生物过程降解而在一定时间内稳定存在的有机碳，包括惰性溶解有机碳、惰性颗粒有机碳和惰性沉积物有机碳。

4 基本要求

4.1 评估周期

养殖海带碳汇评估应涵盖从分苗到采收的一个完整养殖周期。

4.2 评估区域

根据评估需求，可按行政区域、地理边界、养殖主体生产区域或其他需求自行确定评估区域。

4.3 评估方法

4.3.1 现场调查法

适用于应对养殖海带碳汇进行准确评估的养殖区域。现场调查内容应包括养殖初期和收获期的溶解有机碳、颗粒有机碳和沉积物有机碳，同时调查养殖面积和产量、投苗量、沉积速率等数据，基于有机碳的增量评估养殖海带碳汇量。

4.3.2 估算法

适用于特定评估需求条件下，养殖海带碳汇快速和简易的评估；也适用于现场调查法中缺失部分碳汇分析数据的情况下，采用估算值补全数据。估算法采用海带养殖过程中释放的溶解有机碳、颗粒和沉积物有机碳量占可移除生物碳的比例系数，进行碳汇计算。

5 工作流程

养殖海带碳汇评估工作流程见图1。



图1 养殖海带碳汇评估工作流程

6 调查与分析方法

6.1 现场调查法

6.1.1 调查内容

养殖面积与产量、投苗量；干湿比和含碳率；水深、溶解有机碳、颗粒有机碳；沉积物有机碳；惰性有机碳；沉积物密度和沉积速率等。

6.1.2 调查时间和频次

在海带养殖初期（分苗后）和收获期分别开展1次现场调查。

6.1.3 调查站位布设

按照GB 17378.3—2007中4.5的原则要求布设调查断面和站位，采用“网格式”布设，均匀分布在养殖区内部。按照GB 17378.3—2007中4.5.3的要求设置采样层次。

6.1.4 调查与采样方法

6.1.4.1 养殖面积调查

采用现场调查获取或采用渔业部门提供的海带养殖面积数据。现场调查按照SC/T 2005.3—2000中6.3的规定执行。

6.1.4.2 养殖产量调查

采用现场调查获取或采用渔业部门提供的海带养殖产量和投苗量的鲜重数据。现场调查按照SC/T 2005.3—2000中第6章的规定执行。

6.1.4.3 养殖海带藻体采样

按照GB/T 30891—2014中第5章的规定进行养殖海带藻体样品的采集，每个站位至少取3个平行样，样品信息记录表见附录A。

6.1.4.4 溶解有机碳采样

按照GB 17378.4—2007中第34章的要求进行水样采集，使用孔径0.7 μm的玻璃纤维（GF/F）滤膜过滤获得溶解有机碳样品，每份样品至少取3个平行样，样品信息记录表见附录A。

6.1.4.5 颗粒有机碳采样

按照GB/T 12763.9—2007中6.4.5的规定进行水样采集，使用孔径0.7 μm的玻璃纤维（GF/F）滤膜过滤获得颗粒有机碳样品，每份样品至少取3个平行样，样品信息记录表见附录A。

6.1.4.6 沉积物有机碳采样

按照GB/T 12763.8—2007中第6章的规定进行表层沉积物样品采集。每个站位至少取3个平行样，样品信息记录表见附录A。

6.1.4.7 惰性有机碳采样

惰性溶解有机碳的水样采集方法见附录B；惰性颗粒有机碳的水样采集方法见附录C；惰性沉积物有机碳采样方法见附录D。

6.1.4.8 沉积物密度和沉积速率采样

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。

沉积速率可采用沉积物捕集器法或²¹⁰Pb法。沉积物捕集器采样方法见附录E。²¹⁰Pb法按照GB/T 12763.8—2007中第6章的规定采集沉积物柱状样并分层。

沉积物密度和沉积速率样品信息记录表见附录E。

6.1.5 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。

6.1.6 分析方法

各参数按照表1分析方法进行分析。

表1 分析方法

参数	分析方法	引用依据
海带干湿比和含碳率	元素分析仪法	HY/T 0305—2021
水深	回声测深仪法	GB/T 12763.2—2007
溶解有机碳	总有机碳分析仪法	GB 17378.4—2007
颗粒有机碳	元素分析仪法	GB/T 12763.9—2007
沉积物有机碳	元素分析仪法	GB/T 12763.8—2007
惰性有机碳	降解法或化学氧化法	附录 B、附录 C、附录 D，参考文献
沉积物密度和沉积速率	沉积物捕集器法或 ²¹⁰ Pb法	附录 E，GB/T 12763.8—2007，参考文献

6.2 估算法

6.2.1 调查内容

养殖产量和投苗量。

6.2.2 调查方法

通过现场调查获取或采用渔业主管部门提供的海带养殖产量和投苗量的鲜重数据。现场调查按照SC/T 2005.3—2000中第6章的规定执行。

7 评估方法

7.1 评估区域养殖海带碳库储量

评估区域养殖海带碳库储量由养殖海带可移除生物碳量和养殖海带碳汇量组成，按公式(1)计算：

$$C_{Re} = C_{RC} \times r + C_{SC} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

- C_{re} ——养殖海带碳库储量,以二氧化碳当量计,单位为吨每年 ($t \cdot a^{-1}$);
- C_{rc} ——养殖海带可移除生物碳量,以碳当量计,单位为吨每年 ($t \cdot a^{-1}$);
- r ——二氧化碳与碳转换系数,即二氧化碳与碳摩尔质量之比44/12;
- C_{sc} ——养殖海带碳汇量,以二氧化碳当量计,单位为吨每年 ($t \cdot a^{-1}$)。

7.2 评估区域可移除生物碳量

养殖海带可移除生物碳为养殖周期内海带藻体碳储量的增量,使用收获海带的碳量与投放苗种的碳量差值进行评估。海带干湿比、海带含碳率、海带苗种干湿比和海带苗种含碳率按照HY/T 0305—2021中4.2.4的规定进行测定;若无实测数据,则采用以下相应的比例系数。评估区域可移除生物碳量按公式(2)计算:

$$C_{RC} = W_{TP} \times R_{DMC} \times C_H - W_{TPS} \times R_{DMCS} \times C_S \dots\dots\dots (2)$$

式中:

- C_{rc} ——养殖海带可移除生物碳量,以碳当量计,单位为吨每年 ($t \cdot a^{-1}$);
- W_{TP} ——养殖海带产量,单位为吨每年 ($t \cdot a^{-1}$);
- R_{DMC} ——海带干湿比,若无实测数据则采用比例系数13%;
- C_H ——海带含碳率,若无实测数据则采用比例系数24%;
- W_{TPS} ——养殖海带投苗量,单位为吨每年 ($t \cdot a^{-1}$);
- R_{DMCS} ——海带苗种干湿比,若无实测数据则采用比例系数13%;
- C_S ——海带苗种含碳率,若无实测数据则采用比例系数24%。

7.3 评估区域养殖海带碳汇量

7.3.1 现场调查法

7.3.1.1 养殖海带碳汇量

养殖海带碳汇量由养殖海带产生的水体溶解有机碳量、颗粒有机碳量和沉积物有机碳量组成,按公式(3)计算:

$$C_{SC} = (C_{DOC} + C_{POC} + C_{SOC}) \times r \dots\dots\dots (3)$$

式中:

- C_{sc} ——养殖海带碳汇量,以二氧化碳当量计,单位为吨每年 ($t \cdot a^{-1}$);
- C_{DOC} ——养殖海带产生的水体溶解有机碳量,以碳当量计,单位为吨每年 ($t \cdot a^{-1}$);
- C_{POC} ——养殖海带产生的颗粒有机碳量,以碳当量计,单位为吨每年 ($t \cdot a^{-1}$);
- C_{SOC} ——养殖海带产生的沉积物有机碳量,以碳当量计,单位为吨每年 ($t \cdot a^{-1}$);
- r ——二氧化碳与碳转换系数,即二氧化碳与碳摩尔质量之比44/12。

7.3.1.2 养殖海带产生的溶解有机碳量

养殖海带产生的水体溶解有机碳量按公式(4)计算,其中海带养殖区水体总体积按公式(5)计算:

$$C_{DOC} = V_W \times \Delta C_{DOC} \times T_1^{-1} \dots\dots\dots (4)$$

式中:

- C_{DOC} ——养殖海带产生的水体溶解有机碳量,以碳当量计,单位为吨每年 ($t \cdot a^{-1}$);

V_w ——海带养殖区水体总体积，单位为立方米（ m^3 ）；

ΔC_{DOC} ——海带收获期和养殖初期水体溶解有机碳平均含量的差值，单位为吨每立方米（ $t \cdot m^{-3}$ ）；

T_1 ——海带养殖周期，单位为年（a），不足1年按1年处理。

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

$$V_w = S \times D \dots\dots\dots (5)$$

式中：

V_w ——海带养殖区水体总体积，单位为立方米（ m^3 ）；

S ——海带养殖面积，单位为平方米（ m^2 ）；

D ——海带养殖区平均水深，单位为米（m）。

7.3.1.3 养殖海带产生的颗粒有机碳量

养殖海带产生的颗粒有机碳量按公式（6）计算：

$$C_{POC} = V_w \times \Delta C_{POC} \times T_1^{-1} \dots\dots\dots (6)$$

式中：

C_{POC} ——养殖海带产生的颗粒有机碳量，以碳当量计，单位为吨每年（ $t \cdot a^{-1}$ ）；

V_w ——海带养殖区水体总体积，单位为立方米（ m^3 ），测算方法按照7.3.1.2中的规定执行；

ΔC_{POC} ——海带收获期和养殖初期颗粒有机碳平均含量的差值，单位为吨每立方米（ $t \cdot m^{-3}$ ）；

T_1 ——海带养殖周期，单位为年（a），不足1年按1年处理。

注：将海带收获期和养殖初期水体颗粒有机碳平均含量的差值 ΔC_{POC} ，近似作为海带养殖产生的颗粒有机碳在单位水体中的含量。

7.3.1.4 养殖海带产生的沉积物有机碳量

养殖海带产生的沉积物有机碳量按公式（7）计算，其中海带养殖周期内沉积物累积质量按公式（8）计算：

$$C_{SOC} = W_S \times CP_{SOC} \dots\dots\dots (7)$$

式中：

C_{SOC} ——养殖海带产生的沉积物有机碳量，以碳当量计，单位为吨每年（ $t \cdot a^{-1}$ ）；

W_S ——海带养殖周期内沉积物累积质量，单位为吨每年（ $t \cdot a^{-1}$ ）；

CP_{SOC} ——海带养殖区沉积物有机碳含量。

$$W_S = S \times v \times \rho \times T_2 \dots\dots\dots (8)$$

式中：

W_S ——海带养殖周期内沉积物累积质量，单位为吨每年（ $t \cdot a^{-1}$ ）；

S ——海带养殖面积，单位为平方米（ m^2 ）；

v ——平均沉积速率，单位为米每天（ $m \cdot d^{-1}$ ），实测数据参照附录B的要求进行分析；若无实测数据，则三沙湾、莆田、漳州海带养殖区沉积速率 v 分别采用 5.3×10^{-5} 米每天（ $m \cdot d^{-1}$ ）、 2.7×10^{-5} 米每天（ $m \cdot d^{-1}$ ）、 1.4×10^{-5} 米每天（ $m \cdot d^{-1}$ ）；

ρ ——沉积物干密度，单位为吨每立方米 ($t \cdot m^{-3}$)，实测数据参照附录E的要求进行分析；若无实测数据，则三沙湾、莆田、漳州海带养殖区沉积物干密度 ρ 分别采用1.43吨每立方米 ($t \cdot m^{-3}$)、1.19吨每立方米 ($t \cdot m^{-3}$)、1.09吨每立方米 ($t \cdot m^{-3}$)；

T_2 ——每个养殖周期内海带养殖天数，单位为天每年 ($d \cdot a^{-1}$)。

7.3.2 估算法

7.3.2.1 养殖海带碳汇量

养殖海带碳汇量由养殖过程中海带产生的水体溶解有机碳量、颗粒和沉积物有机碳量组成，按公式(9)计算：

$$C_{SC} = (C_{DOC} + C_{PSOC}) \times r \dots\dots\dots (9)$$

式中：

C_{SC} ——养殖海带碳汇量，以二氧化碳当量计，单位为吨每年 ($t \cdot a^{-1}$)；

C_{DOC} ——养殖海带产生的水体溶解有机碳量，以碳当量计，单位为吨每年 ($t \cdot a^{-1}$)；

C_{PSOC} ——养殖海带产生的颗粒和沉积物有机碳量，以碳当量计，单位为吨每年 ($t \cdot a^{-1}$)；

r ——二氧化碳与碳转换系数，即二氧化碳与碳摩尔质量之比44/12。

7.3.2.2 养殖海带产生的溶解有机碳量

根据海带的养殖过程中释放水体溶解有机碳量占可移除生物碳量的比例，估算养殖海带产生的水体溶解有机碳量，按公式(10)计算：

$$C_{DOC} = C_{RC} \times r_{DOC} \dots\dots\dots (10)$$

式中：

C_{DOC} ——养殖海带产生的水体溶解有机碳量，以碳当量计，单位为吨每年 ($t \cdot a^{-1}$)；

C_{RC} ——养殖海带可移除生物碳量，以碳当量计，单位为吨每年 ($t \cdot a^{-1}$)；

r_{DOC} ——溶解有机碳释放比例，采用比例系数30%。

7.3.2.3 养殖海带产生的颗粒和沉积物有机碳量

根据海带的养殖过程中释放颗粒和沉积物有机碳量占可移除生物碳量的比例，估算养殖海带产生的颗粒和沉积物有机碳量，按公式(11)计算：

$$C_{PSOC} = C_{RC} \times r_{PSOC} \dots\dots\dots (11)$$

式中：

C_{PSOC} ——养殖海带产生的颗粒和沉积物有机碳量，以碳当量计，单位为吨每年 ($t \cdot a^{-1}$)；

C_{RC} ——养殖海带可移除生物碳量，以碳当量计，单位为吨每年 ($t \cdot a^{-1}$)；

r_{PSOC} ——颗粒和沉积物有机碳释放比例，采用比例系数7%。

注：海带养殖过程中，向周围水体中释放的颗粒态有机碳，一部分形成水体悬浮颗粒碳，一部分沉降到沉积物中埋藏成为沉积物有机碳，这两部分的总量可通过比例系数 r_{PSOC} 估算。

7.4 评估区域养殖海带惰性有机碳量

7.4.1 现场调查法

7.4.1.1 养殖海带惰性有机碳量

养殖海带惰性有机碳量按公式（12）计算：

$$C_{RSC} = (C_{RDOC} + C_{RPOC} + C_{RSOC}) \times r \dots\dots\dots (12)$$

式中：

- C_{RSC} ——养殖海带惰性有机碳量，以二氧化碳当量计，单位为吨每年（ $t \cdot a^{-1}$ ）；
- C_{RDOC} ——养殖海带产生的惰性溶解有机碳量，以碳当量计，单位为吨每年（ $t \cdot a^{-1}$ ）；
- C_{RPOC} ——养殖海带产生的惰性颗粒有机碳量，以碳当量计，单位为吨每年（ $t \cdot a^{-1}$ ）；
- C_{RSOC} ——养殖海带产生的惰性沉积物有机碳量，以碳当量计，单位为吨每年（ $t \cdot a^{-1}$ ）；
- r ——二氧化碳与碳转换系数，即二氧化碳与碳摩尔质量之比44/12。

7.4.1.2 养殖海带产生的惰性溶解有机碳量

养殖海带产生的惰性溶解有机碳量按公式（13）计算：

$$C_{RDOC} = C_{DOC} \times r_{RDOC} \dots\dots\dots (13)$$

式中：

- C_{RDOC} ——养殖海带产生的惰性溶解有机碳量，以碳当量计，单位为吨每年（ $t \cdot a^{-1}$ ）；
- C_{DOC} ——养殖海带产生的水体溶解有机碳量，以碳当量计，单位为吨每年（ $t \cdot a^{-1}$ ）；
- 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；若无实测数据则采用比例系数30%。

7.4.1.3 养殖海带产生的惰性颗粒有机碳量

养殖海带产生的惰性颗粒有机碳量按公式（14）计算：

$$C_{RPOC} = C_{POC} \times r_{RPOC} \dots\dots\dots (14)$$

式中：

- C_{RPOC} ——养殖海带产生的惰性颗粒有机碳量，以碳当量计，单位为吨每年（ $t \cdot a^{-1}$ ）；
- C_{POC} ——养殖海带产生的颗粒有机碳量，以碳当量计，单位为吨每年（ $t \cdot a^{-1}$ ）；
- r_{RPOC} ——惰性颗粒有机碳占颗粒有机碳量的比例，实测数据参照附录C的规定进行分析；若无实测数据则采用比例系数22%。

7.4.1.4 养殖海带产生的惰性沉积物有机碳量

养殖海带产生的惰性沉积物有机碳量按公式（15）计算：

$$C_{RSOC} = C_{SOC} \times r_{RSOC} \dots\dots\dots (15)$$

式中：

- C_{RSOC} ——养殖海带产生的惰性沉积物有机碳量，以碳当量计，单位为吨每年（ $t \cdot a^{-1}$ ）；
- C_{SOC} ——养殖海带产生的沉积物有机碳量，以碳当量计，单位为吨每年（ $t \cdot a^{-1}$ ）；
- r_{RSOC} ——惰性沉积物有机碳占沉积物有机碳量的比例，实测数据参照附录D的要求进行分析；若无实测数据则采用比例系数16%。

7.4.2 估算法

7.4.2.1 养殖海带惰性有机碳量

养殖海带惰性有机碳量按公式（16）计算：

$$C_{RSC} = (C_{RDOC} + C_{RPSOC}) \times r \dots\dots\dots (16)$$

式中:

C_{RSC} ——养殖海带惰性有机碳量,以二氧化碳当量计,单位为吨每年($t \cdot a^{-1}$);

C_{RDOC} ——养殖海带产生的惰性溶解有机碳量,以碳当量计,单位为吨每年($t \cdot a^{-1}$);

C_{RPSOC} ——养殖海带产生的惰性颗粒和沉积物有机碳量,以碳当量计,单位为吨每年($t \cdot a^{-1}$);

r ——二氧化碳与碳转换系数,即二氧化碳与碳摩尔质量之比44/12。

7.4.2.2 养殖海带产生的惰性溶解有机碳量

养殖海带产生的惰性溶解有机碳量按公式(17)计算:

$$C_{RDOC} = C_{DOC} \times r_{RDOC} \dots\dots\dots (17)$$

式中:

C_{RDOC} ——养殖海带产生的惰性溶解有机碳量,以碳当量计,单位为吨每年($t \cdot a^{-1}$);

C_{DOC} ——养殖海带产生的水体溶解有机碳量,以碳当量计,单位为吨每年($t \cdot a^{-1}$);

r_{RDOC} ——惰性溶解有机碳占水体溶解有机碳量的比例,采用比例系数30%。

7.4.2.3 养殖海带产生的惰性颗粒和沉积物有机碳量

养殖海带产生的惰性颗粒和沉积物有机碳量按公式(18)计算:

$$C_{RPSOC} = C_{PSOC} \times r_{RPSOC} \dots\dots\dots (18)$$

式中:

C_{RPSOC} ——养殖海带产生的惰性颗粒和沉积物有机碳量,以碳当量计,单位为吨每年($t \cdot a^{-1}$);

C_{PSOC} ——养殖海带产生的颗粒和沉积物有机碳量,以碳当量计,单位为吨每年($t \cdot a^{-1}$);

r_{RPSOC} ——惰性颗粒和沉积物有机碳占颗粒和沉积物有机碳量的比例,采用比例系数19%。

8 质量控制

8.1 人员要求

调查与分析人员应掌握相关调查基础知识、专业知识与操作技能,应进行调查技能培训;评估人员应了解评估需求,掌握评估方法,熟悉报告编制基本要求。

8.2 调查与分析

采取以下措施进行调查与分析过程质量控制。

- a) 按照本文件规定的工作流程开展养殖海带碳汇评估工作。工作启动后编制实施方案,明确评估需求、方法和质控措施,必要时开展方案论证或评审。
- b) 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。按照现行有效的标准、规范及本文件有关规定开展样品的采集、运输、保存和分析。按照 GB 17378.2—2007 等相关要求开展数据处理和分析质量控制。
- c) 采用数据收集方式获取的海带养殖面积、产量和投苗量数据,应仔细核实,必要时通过卫星遥感、无人机航摄等技术进行验证,以保证数据的可靠性。

8.3 评估过程

检查评估方法、单位转换、系数采用和计算过程等的正确性。

8.4 资料管理

规范填写记录表，并由调查与分析人员、审核人员等亲笔签名，及时整理、审核和检查调查与分析数据。完好保存原始记录、报告等资料，定期统一归档存档。

9 评估报告编制

报告内容包括概述、工作内容与方法、调查与分析结果、评估结果、结论与建议等，报告格式和大纲见附录F。

地方标准信息服务平台

附 录 A
(资料性)
采样与分析记录表

A.1 养殖海带藻体和表层沉积物采样与分析记录表

养殖海带藻体和表层沉积物采样与分析记录表见表A.1。

表A.1 养殖海带藻体和表层沉积物采样与分析记录表

海 区 _____ 站 位 名 称 _____
 站 位 经 纬 度 _____ 采 样 日 期 _____

藻体样品编号	藻体鲜重 g	藻体干重 g	干湿比 %	藻体含碳率 %	沉积物样品编号	沉积物有机碳含量 %
藻体平行样 1					沉积物平行样 1	
藻体平行样 2					沉积物平行样 2	
藻体平行样 3					沉积物平行样 3	
平均值					平均值	

记录者 _____ 校对者 _____ 审核者 _____

A.2 溶解有机碳（DOC）和颗粒有机碳（POC）采样与分析记录表

溶解有机碳（DOC）和颗粒有机碳（POC）采样与分析记录表见表A.2。

表A.2 溶解有机碳（DOC）和颗粒有机碳（POC）采样与分析记录表

海 区 _____ 站 位 名 称 _____
 站 位 水 深 _____ 站 位 经 纬 度 _____
 采 样 日 期 _____

采样深度 m	DOC 样品编号	DOC 含量 mg/L	POC 样品编号	POC 含量 mg/L
	DOC 平行样 1		POC 平行样 1	
	DOC 平行样 2		POC 平行样 2	
	DOC 平行样 3		POC 平行样 3	
	平均值		平均值	
	DOC 平行样 1		POC 平行样 1	
	DOC 平行样 2		POC 平行样 2	
	DOC 平行样 3		POC 平行样 3	
	平均值		平均值	
	DOC 平行样 1		POC 平行样 1	
	DOC 平行样 2		POC 平行样 2	
	DOC 平行样 3		POC 平行样 3	
	平均值		平均值	

记录者 _____ 校对者 _____ 审核者 _____

附录 B

(资料性)

养殖海带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

在海带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-1ab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 f_{RDOC} 。DOC光化学降解数据记录表见表B.1。

表B.1 DOC 光化学降解数据记录表

海 区 _____ 站位名称 _____
 站位经纬度 _____ 采样深度 _____
 采样日期 _____

日期	实验天数 d	样品标号	DOC 含量 mg/L
		平行样 1	
		平行样 2	
		平行样 3	
		平行样 1	
		平行样 2	
		平行样 3	
		平行样 1	
		平行样 2	
		平行样 3	
		平行样 1	
		平行样 2	
		平行样 3	
		平行样 1	
		平行样 2	
		平行样 3	
		平行样 1	
		平行样 2	
		平行样 3	
初始 DOC 含量 $C_0(\text{DOC})$	_____ mg/L (平均值)		
最终 DOC 含量 $C_f(\text{DOC})$	_____ mg/L (平均值)		
RDOC 占比 $f_{\text{RDOC}}=C_f(\text{DOC})/C_0(\text{DOC})$	_____		

记录者 _____ 校对者 _____ 审核者 _____

B.2 DOC 微生物降解法

在海带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 r_{RDOC} 。DOC微生物降解数据记录表见表B.2。

表B.2 DOC 微生物降解数据记录表

海 区 _____ 站位名称 _____
 站位经纬度 _____ 采样深度 _____
 采样日期 _____

日期	实验天数 d	样品标号	DOC 含量 mg/L
		平行样 1	
		平行样 2	
		平行样 3	
		平行样 1	
		平行样 2	
		平行样 3	
		平行样 1	
		平行样 2	
		平行样 3	
		平行样 1	
		平行样 2	
		平行样 3	
		平行样 1	
		平行样 2	
		平行样 3	
		平行样 1	
		平行样 2	
		平行样 3	
初始 DOC 含量 $C_0(\text{DOC})$	_____ mg/L (平均值)		
最终 DOC 含量 $C_f(\text{DOC})$	_____ mg/L (平均值)		
RDOC 占比 $r_{\text{RDOC}}=C_f(\text{DOC})/C_0(\text{DOC})$	_____		

记录者 _____ 校对者 _____ 审核者 _____

附录 C

(资料性)

养殖海带产生的惰性颗粒有机碳采样与分析方法

C.1 POC 光化学降解法

在海带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)滤膜过滤海水以得到颗粒物。每份样品取3个平行样。将过滤获得的GF/F滤膜避光冷藏带回实验室，在100 mL无菌人工海水中漩涡15 min使颗粒物重新悬浮，然后用人工海水稀释到5 L。将添加了颗粒物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。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50 mL，参照GB/T 12763.9—2007中6.4.5的规定测定POC含量，至POC含量趋于稳定时实验停止。此时的POC即为惰性颗粒有机碳(RPOC)。RPOC含量与初始POC含量之比，即为惰性颗粒有机碳占颗粒有机碳量的比例 r_{RPOC} 。POC光化学降解数据记录表见表C.1。

表C.1 POC 光化学降解数据记录表

海 区 _____ 站位名称 _____
 站位经纬度 _____ 采样深度 _____
 采样日期 _____

日期	实验天数 d	样品标号	POC 含量 mg/L
		平行样 1	
		平行样 2	
		平行样 3	
		平行样 1	
		平行样 2	
		平行样 3	
		平行样 1	
		平行样 2	
		平行样 3	
		平行样 1	
		平行样 2	
		平行样 3	
		平行样 1	
		平行样 2	
		平行样 3	
		平行样 1	
		平行样 2	
		平行样 3	
初始 POC 含量 $C_0(\text{POC})$	_____ mg/L (平均值)		
最终 POC 含量 $C_f(\text{POC})$	_____ mg/L (平均值)		
RPOC 占比 $r_{\text{RPOC}}=C_f(\text{POC})/C_0(\text{POC})$	_____		

记录者 _____ 校对者 _____ 审核者 _____

C.2 POC 微生物降解法

在海带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）滤膜过滤海水以得到颗粒物，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。每份样品取3个平行样。

将过滤获得的孔径0.2 μm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。将过滤获得的GF/F滤膜避光冷藏带回实验室，在100 mL无菌人工海水中漩涡15 min使颗粒物重新悬浮，然后用人工海水稀释到5 L。人工海水分散后的颗粒物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。以相同颗粒物、人工海水不添加微生物，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50 mL，参照GB/T 12763.9—2007中6.4.5的规定测定POC含量，至POC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50 mL，参照GB/T 12763.9—2007中6.4.5的规定测定POC含量，至POC含量再次趋于稳定时实验停止。此时的POC即为惰性颗粒有机碳（RPOC）。RPOC含量与初始POC含量之比，即为惰性颗粒有机碳占颗粒有机碳量的比例 r_{RPOC} 。POC微生物降解数据记录表见表C.2。

表C.2 POC 微生物降解数据记录表

海 区 _____ 站位名称 _____
 站位经纬度 _____ 采样深度 _____
 采样日期 _____

日期	实验天数 d	样品标号	POC 含量 mg/L
		平行样 1	
		平行样 2	
		平行样 3	
		平行样 1	
		平行样 2	
		平行样 3	
		平行样 1	
		平行样 2	
		平行样 3	
		平行样 1	
		平行样 2	
		平行样 3	
		平行样 1	
		平行样 2	
		平行样 3	
		平行样 1	
		平行样 2	
		平行样 3	
初始 POC 含量 $C_0 (POC)$	_____ mg/L (平均值)		
最终 POC 含量 $C_T (POC)$	_____ mg/L (平均值)		
RPOC 占比 $r_{RPOC} = C_T (POC) / C_0 (POC)$	_____		

记录者 _____ 校对者 _____ 审核者 _____

附录 D

(资料性)

养殖海带产生的惰性沉积物有机碳采样与分析方法

D.1 化学氧化法

D.1.1 沉积物有机碳测定

沉积物样品冷冻干燥、研磨，取一部分参照GB/T 12763.8—2007中6.7.8的规定测定沉积物有机碳含量 C_{SOC} 。

D.1.2 活性沉积物有机碳测定

称取约含15 mg碳的沉积物样品于30 mL离心管中，加入25 mL高锰酸钾溶液（浓度333 mmol/L），60 °C振荡1 h，同时以不添加沉积物的离心管加高锰酸钾溶液做空白对照。然后在转速2000 rpm下离心5 min，取上清液用高纯水稀释250倍。使用分光光度计测定稀释样品和空白在565 nm波长下的吸光率。分别配制浓度为250 mmol/L、275 mmol/L、300 mmol/L、333 mmol/L、350 mmol/L的高锰酸钾溶液，分别稀释250倍后，用分光光度计测定565 nm波长下的吸光度，绘制吸光度与高锰酸钾浓度的工作曲线。由不加沉积物的空白与沉积物样品的吸光率之差，计算出高锰酸钾含量的变化 Δc （单位mmol），进而计算出被氧化的碳量（氧化过程中1 mmol MnO_4^- 消耗9 mg碳），即为沉积物活性有机碳含量 C_{LSOC} 。

D.1.3 惰性沉积物有机碳测算

使用沉积物总有机碳含量 C_{SOC} 减去活性有机碳含量 C_{LSOC} ，即为惰性有机碳含量 C_{RSOC} 。

惰性有机碳含量与沉积物总有机碳含量之比，即为惰性沉积物有机碳占沉积物有机碳量的比例 r_{RSOC} 。

化学氧化法测定惰性沉积物有机碳数据记录表见表D.1。

表D.1 化学氧化法测定惰性沉积物有机碳数据记录表

编号	沉积物质量 mg	有机碳含量 %	高锰酸钾消耗量 mmol	活性有机碳含量 %	惰性有机碳含量 %
平行样 1					
平行样 2					
平行样 3					
平均值	/		/		
RSOC 占比 $r_{RSOC}=C_{RSOC}/C_{SOC}$					

记录者_____ 校对者_____ 审核者_____

D.2 微生物降解法

使用箱式采泥器采集沉积物，选择未受扰动破坏的沉积物，用5 cm直径、30 cm高的PC管，通过在箱式采泥器内插管的方式采集10 cm深度的沉积物柱状样，每个站位采集不少于15个柱状样，采样管上下两端用胶塞密封。同时采集底层海水20 L并记录水温，海水用孔径0.7 μm 的玻璃纤维（GF/F）滤膜

过滤以除去颗粒物。向沉积物采样管中缓慢注满底层水（沉积物与水的体积比1:2），低温避光尽快带回实验室，稳定12 h后正式进行培养实验。

在恒温培养箱中保持原位温度和黑暗条件进行沉积物培养实验，分别在第0、3、6、12个月取3个管内的表层（0.5 cm以内）沉积物参照GB/T 12763.8—2007中6.7.8的规定测定总有机碳。培养12个月后表层沉积物中剩余的有机碳可视为惰性有机碳。

惰性沉积物有机碳含量与初始沉积物总有机碳含量的比值，即为惰性沉积物有机碳占沉积物有机碳量的比例 r_{RSOC} 。微生物降解法测定惰性沉积物有机碳数据记录表见表D.2。

表D.2 微生物降解法测定惰性沉积物有机碳数据记录表

海 区 _____ 站位名称 _____
 站位经纬度 _____ 采样日期 _____

日期	实验天数 d	样品编号	沉积物碳含量 %
		平行样 1	
		平行样 2	
		平行样 3	
		平行样 1	
		平行样 2	
		平行样 3	
		平行样 1	
		平行样 2	
		平行样 3	
		平行样 1	
		平行样 2	
		平行样 3	
初始 SOC 含量 $CP_{0(SOC)}$		_____ (平均值)	
最终 SOC 含量 $CP_{t(SOC)}$		_____ (平均值)	
RSOC 占比 $r_{RSOC}=CP_{t(SOC)}/CP_{0(SOC)}$		_____	

注：若360天后SOC含量仍未稳定，可延长实验，自行增加表格。

记录者 _____ 校对者 _____ 审核者 _____

附录 E

(资料性)

沉积物密度和沉积速率采样与分析方法

E.1 沉积物密度测定

在海带养殖区站位采集沉积物柱状样，参照GB/T 12763.8—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(E.1)计算：

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

式中：

ω ——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(E.2)和公式(E.3)计算：

$$\rho_w = \left(\frac{m_w}{V} \right) \dots\dots\dots (E.2)$$

式中：

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

m_w ——沉积物质量，单位为克(g)；

V ——环刀容积，单位为立方厘米(cm^3)。

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

式中：

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

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

ω ——含水率，%。

沉积物密度数据记录表见表E.1。

表E.1 沉积物密度数据记录表

海 区		站位名称					
站位经纬度		采样日期					
采样深度	样品标号	沉积物湿重 g	沉积物干重 g	环刀容积 cm^3	含水率 %	沉积物湿密度 $g \cdot cm^{-3}$	沉积物干密度 $g \cdot cm^{-3}$
(-) cm	平行样 1						
	平行样 2						
	平行样 3						
	平均值	/	/	/			
(-) cm	平行样 1						
	平行样 2						

表 E.1 沉积物密度数据记录表（续）

采样深度	样品标号	沉积物湿重 g	沉积物干重 g	环刀容积 cm ³	含水率 %	沉积物湿密度 g·cm ⁻³	沉积物干密度 g·cm ⁻³
(-) cm	平行样 3						
	平均值	/	/	/			

记录者_____校对者_____审核者_____

E.2 沉积速率测定方法

E.2.1 沉积物捕集器法

养殖初期在海带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（cm²）和布放时间t（d），计算沉积速率，沉积速率参照公式（E.4）计算：

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

式中：

- v₁——沉积速率，单位为克每平方厘米每年（g·cm⁻²·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（cm²）；
- t——沉积物捕集器布放时间，单位为天（d）。

根据沉积物湿密度 ρ_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（cm·a⁻¹），沉积速率参照公式（E.5）计算：

$$v = \frac{v_1}{\rho_w} \dots\dots\dots (E.5)$$

式中：

- v——沉积速率，单位为厘米每年（cm·a⁻¹）；
- v₁——沉积速率，单位为克每平方厘米每年（g·cm⁻²·a⁻¹）；
- ρ_w——沉积物湿密度，单位为克每立方厘米（g·cm⁻³）。

沉积速率数据记录表见表E.2。

表E.2 沉积速率数据记录表

海 区 _____ 站位名称 _____
 站位经纬度 _____ 沉积物捕集器开口面积（cm²） _____
 布放日期 _____ 回收日期 _____

样品编号	沉积物质量 g	沉积物密度 g·cm ⁻³	沉积速率 cm·a ⁻¹
平行样 1			
平行样 2			
平行样 3			
平均值			

记录者_____校对者_____审核者_____

E.2.2 ^{210}Pb 法

在海带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}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（E.6）计算：

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

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 ）。

表E.3 沉积速率数据记录表

海 区 _____		站位名称 _____	
站位经纬度 _____		采样日期 _____	
采样深度	样品编号	沉积物年龄 a	沉积速率 $\text{cm} \cdot \text{a}^{-1}$
(-) cm	平行样 1		
	平行样 2		
	平行样 3		
	平均值		
(-) cm	平行样 1		
	平行样 2		
	平行样 3		
	平均值		
(-) cm	平行样 1		
	平行样 2		
	平行样 3		
	平均值		

记录者 _____ 校对者 _____ 审核者 _____

附录 F

(资料性)

养殖海带碳汇评估报告格式与内容

F.1 文本格式

F.1.1 文本规格

文本外形尺寸为A4 (210 mm×297 mm)。

F.1.2 封面格式

养殖海带碳汇评估报告封面格式如下：

- 第一行书写：养殖海带碳汇评估报告（一号宋体，加粗，居中）；
- 第二行书写：编制单位全称（三号宋体，加粗，居中）；
- 第三行书写：编制时间：××××年××月（小三号宋体，加粗，居中）；
- 各行间距适宜。

F.1.3 封里内容

封里中分行写明：养殖海带碳汇评估报告编制单位全称（加盖公章）、项目负责人、编制人、审核人姓名等内容。

F.2 养殖海带碳汇评估报告编写大纲

参照图F.1中的大纲编制养殖海带碳汇评估报告。可根据评估区域特点和调查内容，对有关章节做适当增减。

1 概述
1.1 任务来源
1.2 工作目标
1.3 评估需求分析
2 工作内容与方法
2.1 调查内容与方法
2.2 评估内容与方法
2.3 质量控制
3 调查与分析结果
3.1 养殖情况调查
3.2 碳汇关键参数分析
4 评估结果
4.1 可移除生物碳量
4.2 养殖海带碳汇量

图F.1 养殖海带碳汇评估报告编写大纲

- 4.3 养殖海带碳库储量
- 4.4 养殖海带惰性有机碳量
- 5 结论与建议

图 F.1 养殖海带碳汇评估报告编写大纲（续）

地方标准信息服务平台

参 考 文 献

- [1] 王晓慧, 吴伊婧, 范代读. 福建兴化湾外近海²¹⁰Pb法沉积速率及校正方法[J]. 古地理学报, 2019, 21(03): 527-536.
- [2] BLAIR G J, LEFRO R D B, LISLE L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems[J]. Australian journal of agricultural research, 1995, 46(7): 1459-1466.
- [3] Hu B, Wang P, Wang C, et al. Photogeochemistry of particulate organic matter in aquatic systems: A review[J]. Science of The Total Environment, 2022, 806: 150467.
- [4] Li H, Feng X, Xiong T, et al. Particulate organic carbon released during macroalgal growth has significant carbon sequestration potential in the ocean[J]. Environmental Science & Technology, 2023, 57(48): 19723-19731.
- [5] LI H, ZHANG Z, XIONG T, et al. Carbon sequestration in the form of recalcitrant dissolved organic carbon in a seaweed (kelp) farming environment[J]. Environmental Science & Technology, 2022, 56(12): 9112-9122.
- [6] MOPPER K, ZHOU X, KIEBER R J, et al. Photochemical degradation of dissolved organic carbon and its impact on the oceanic carbon cycle[J]. Nature, 1991, 353(6339): 60-62.
- [7] Silberberger M J, Kozirowska-Makuch K, Borawska Z, et al. Disentangling the drivers of benthic oxygen and dissolved carbon fluxes in the coastal zone of the southern Baltic Sea[J]. Estuaries and Coasts, 2022, 45(8): 2450-2471.
- [8] Szmytkiewicz A, Zalewska T. Sediment deposition and accumulation rates determined by sediment trap and ²¹⁰Pb isotope methods in the Outer Puck Bay (Baltic Sea)[J]. Oceanologia, 2014, 56(1): 85-106.
- [9] Li D, Xu Y, Li Y, et al. Sedimentary records of human activity and natural environmental evolution in sensitive ecosystems: A case study of a coral nature reserve in Dongshan Bay and a mangrove forest nature reserve in Zhangjiang River estuary, Southeast China[J]. Organic Geochemistry, 2018, 121: 22-35.
- [10] Xu Y, Sun Q, Ye X, et al. Geochemical analysis of sediments from a semi-enclosed bay (Dongshan Bay, southeast China) to determine the anthropogenic impact and source[J]. Chemosphere, 2017, 174: 764-773.