

ICS 65.150
CCS B 51

团 体 标 准

T/FSF 005-2026

筏式养殖紫菜碳汇调查和核算技术 规程

Code of practice for the investigation and accounting
of the carbon sink of raft-cultured laver

(报批稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

福建省水产学会 发布

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 总体要求.....	2
5 工作流程.....	2
6 调查方案.....	3
6.1 调查内容.....	3
6.2 调查方案编制.....	3
7 调查方法.....	3
7.1 采样区域和采样点设置.....	3
7.2 采样频率.....	4
7.3 取样与保存.....	4
8 养殖紫菜碳库中有机碳含量的分析.....	4
8.1 紫菜生物质碳.....	4
8.2 养殖紫菜水体溶解惰性有机碳.....	5
8.3 养殖紫菜沉积物埋藏碳及 ^{210}Pb 、 ^{226}Ra 的放射性比活度	5
9 养殖紫菜碳储量的核算.....	5
9.1 养殖紫菜产量.....	5
9.2 生物质碳储量.....	5
9.3 惰性溶解有机碳储量.....	6
9.4 沉积物埋藏碳储量.....	7
9.5 养殖紫菜碳汇总量.....	7
10 质量保证和质量控制.....	7
10.1 质量保证.....	7
10.2 数据处理.....	7
附录 A（资料性）样本取样和处理记录表	9
附录 B（资料性）常用参数经验值	13
附录 C（规范性）沉积物质量累积速率的计算	14
C.1 过剩铅-210（ $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ ）比活度的计算	14
C.2 质量累积速率的计算	14
参考文献.....	16

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：厦门大学、福州大学、福建省水产研究所、福建一嘉海带苗业有限公司。

本文件主要起草人：蔡毅华、林旭聪、姜双城、董志安、曹清、丁睿、叶凯云。

筏式养殖紫菜碳汇调查和核算技术规程

1 范围

本文件规定了筏式养殖紫菜碳储量调查的术语和定义、总体要求、工作流程、调查方案、调查方法、养殖紫菜碳库中有机碳含量的分析、养殖紫菜碳储量的核算、质量保证和质量控制等内容。

本文件适用于海水筏式养殖紫菜碳汇的调查与核算。

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 17378.1 海洋监测规范 第1部分：总则

GB 17378.2 海洋监测规范 第2部分：数据处理与分析质量控制

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/T 30738 海洋沉积物中放射性核素的测定 γ 能谱法

GB/T 30740 海洋沉积物中总有机碳的测定 非色散红外吸收法

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

筏式养殖紫菜 raft-cultured laver

在海域中设置筏架挂养栽培所收获的紫菜。

3.2

紫菜养殖周期 culture cycle of laver

紫菜从幼苗投放海中到网帘全部收回的全过程。

3.3

养殖紫菜碳库 carbon pool of cultured laver

养殖紫菜在一个养殖周期内形成的存储碳的系统，包括紫菜生物质碳库、惰性溶解有机碳库和沉积物埋藏碳库三个部分。

注：养殖紫菜主要包括条斑紫菜（*Pyropia yezoensis*）和坛紫菜（*Pyropia haitanensis*）。福建省养殖的紫菜品种以坛紫菜为主。

3.4

生物质碳 biomass carbon

生物体内所含的有机碳。

3.5

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

可长期存在于水体中不易分解且生物难以利用的溶解有机碳。

[来源: HY/T 0436-2024, 3.5]

3.6

沉积物埋藏碳 sediment organic carbon

来源于紫菜养殖活动, 且长期稳定埋藏于沉积物中的有机碳。

3.7

养殖紫菜碳储量 cultured laver carbon stock

在一个养殖周期内保留在养殖紫菜碳库中的碳量, 以碳计。

3.8

碳汇核算 carbon sink accounting

通过综合观测、数值测量、统计分析等监测技术和方法获取所研究系统的碳汇量, 并收集和归档相关数据的过程。

4 总体要求

筏式养殖紫菜碳汇调查和核算遵循以下要求:

a) 调查工作开始之前, 应进行技术方案设计。调查过程中, 应根据任务书或调查方案要求, 遵循有限目标、提高效益、先进性与可行性相结合的原则, 并与历史调查计划相衔接。

b) 养殖紫菜碳汇的调查采用紫菜养殖现场调查、取样和室内分析结合的方式, 旨在计算在一个完整的养殖周期内养殖紫菜产生的碳储量, 包括紫菜生物质碳、养殖水体惰性溶解有机碳和沉积物埋藏碳。

c) 核算结果应保证准确性、可靠性, 并进行必要的质量保证与质量控制 (QA/QC)。

5 工作流程

养殖紫菜碳汇调查和核算主要包括紫菜养殖现场调查和养殖紫菜碳汇核算。紫菜养殖现场调查包括现场采样与分析 and 紫菜养殖面积与产量调查, 其中现场采样与分析包括紫菜藻体样品采集、水体样品采集和沉积物样品采集, 以及对上述样品分别开展生物质碳含量、惰性溶解有机碳含量和沉积物有机碳含量及埋藏速率的测定。调查完成后, 再分别进行生物质碳储量、养殖水体惰性溶解有机碳储量和沉积物埋藏碳储量的核算, 最后合计得到筏式养殖紫菜碳汇总量。见图 1。

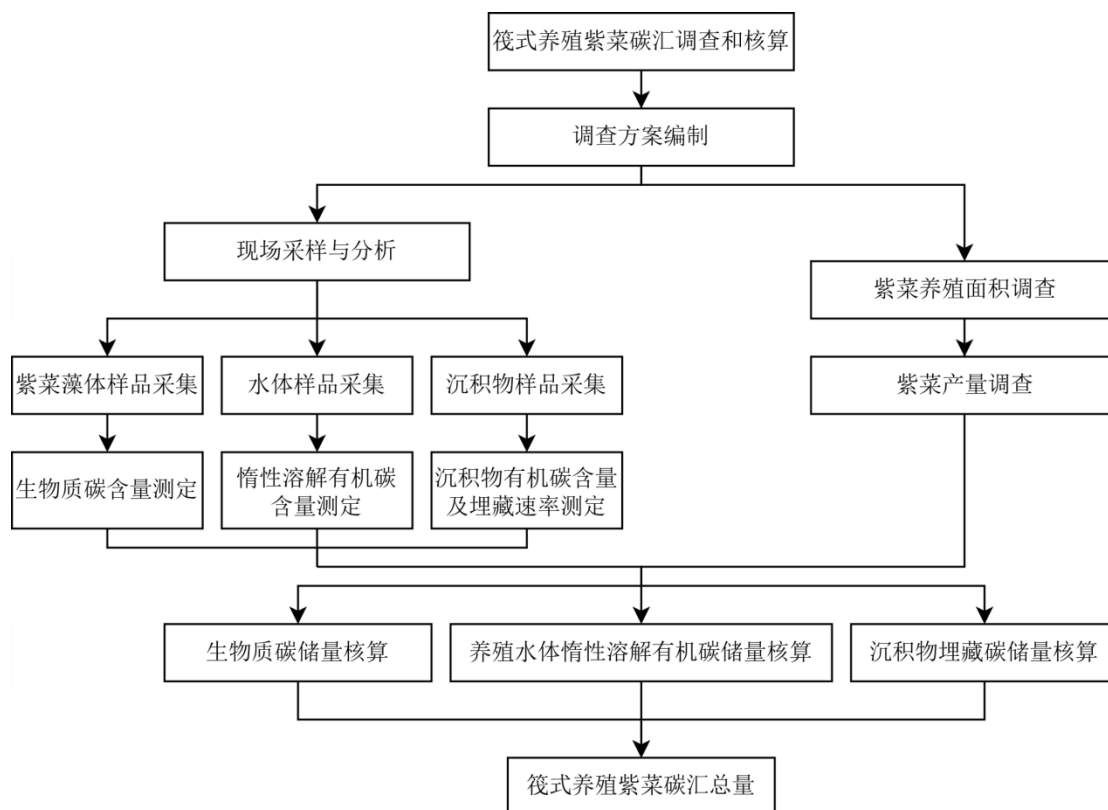


图1 筏式养殖紫菜碳汇调查和核算工作流程

6 调查方案

6.1 调查内容

调查内容包括采样站位、经纬度、取样时间、样品编号、取样水深、水文特征、养殖面积、养殖产量等信息。

6.2 调查方案编制

调查方案由调查工作的负责人结合调查内容以及调查海域的状况进行编制。

调查方案主要包括技术设计、人员组织、时间安排、条件保证、质量保证与控制、安全措施、经费预算等内容，并符合提高效益、减少损耗、充分利用资源的原则。

7 调查方法

7.1 采样区域和采样点设置

采样区域和采样设置应符合以下要求：

a) 采样工作总体上按照 GB 17378.1 的规定执行。采样区域设置后记录采样区域的行政位置、地名以及紫菜品种等信息。

b) 在紫菜养殖区的采样区域以垂直于岸线的方法，每 100 km² 海域设定 3 个 ~ 5 个断面，每个断面布设 3 个 ~ 5 个采样站位。采样站位的数量根据养殖面积等进行适当调整，每 100 km² 数量不少于 9 个。

c) 采样站位选定后，后续调查原则上采样站位应保持不变，若因不可抗因素无法对原

采样站位进行采样，可就近重设采样站位并做详尽记录。

7.2 采样频率

采样频率应符合以下要求：

- a) 紫菜生物质碳储量调查时间应覆盖整个紫菜养殖周期，每批次收获后均进行一次采样，并详细记录采样时间、经纬度、紫菜收获批次等信息。
- b) 养殖水体惰性溶解有机碳储量调查应在紫菜养殖期的不同生长阶段进行。
- c) 为保证调查结果的可靠性，应选择经历过至少三个完整养殖周期的养殖海区开展沉积物埋藏碳储量调查。

7.3 取样与保存

7.3.1 紫菜藻体取样

按照 GB/T 30891-2014 中 5.3.2.2 规定的抽样方案，采集紫菜成体样品，每个采样站位紫菜成体取样量应不少于 500 g，清洗干净，去除砂石等杂质，控干后称量藻体湿重，用于后续藻体生物质碳含量的分析。取样记录表见表 A.1。

7.3.2 养殖紫菜培养与生物降解实验样品采集

7.3.2.1 现场海水通过 450 °C 下灼烧 4 h、孔径为 0.7 μm 的玻璃纤维滤膜进行过滤后装入透明聚乙烯或聚四氟乙烯培养袋内，记录水体体积 (*V*)，数据记录表见表 A.2。如无特殊说明，本标准文本中使用的所有玻璃纤维滤膜在使用前均需在 450 °C 下灼烧 4 h。

7.3.2.2 取附着有长势较好的紫菜的养殖绳放入培养袋内，养殖绳长一般不短于 60 cm，并将培养袋放置于培养箱中，在培养箱与培养袋之间添加适量现场海水，置培养箱于日光辐照区域进行培养，并记录培养时的光照强度和天气状况。同时，另设一个不含藻体的对照组，处理过程相同。

7.3.2.3 取培养袋内培养前及培养 24 h ~ 72 h 的海水，每次取 3 份平行样，经孔径为 0.7 μm 的玻璃纤维滤膜过滤后 4 °C 冷藏保存。

7.3.2.4 培养实验结束后回收培养袋内藻体，带回实验室测定干湿比。取样记录表见表 A.2。

7.3.2.5 培养实验结束后将剩余水样通过孔径为 0.7 μm 的玻璃纤维滤膜过滤，滤液装入培养瓶，在室温下避光进行降解实验。降解实验持续时间不少于 60 天，并在实验开始和结束时进行取样。

7.3.3 沉积物样品采集

采样应按照 GB 17378.3 的规定进行，采样后将沉积物柱状样分层切割，进行样品性状描述，记录样品的颜色、气味等。沉积物样品贮存于聚乙烯袋中冷冻保存。采样记录表见表 A.3。

8 养殖紫菜碳库中有机碳含量的分析

8.1 紫菜生物质碳

按照 HY/T 0305-2021 中 4.2.4 规定的方法测定紫菜藻体的干湿比和含碳量。数据记录表见表 A.1。若没有条件使用元素分析仪进行含碳量的检测，可选择紫菜藻体的含碳量经验值，该参数见表 B.1。

8.2 养殖紫菜水体溶解惰性有机碳

8.2.1 采集的现场海水及紫菜藻体培养水样使用 0.7 μm 孔径的玻璃纤维滤膜过滤。

8.2.2 按照 GB 17378.4 的要求,采用高温催化氧化法,利用总有机碳分析仪测定紫菜降解实验中所采集水样的溶解有机碳含量,得到溶解有机碳降解为惰性溶解有机碳的转化率 (K_{RDOC}),计算紫菜养殖过程产生的惰性溶解有机碳含量。

8.2.3 若无法开展相关实验,可使用经验参数代替实验测定的 K_{RDOC} ,经验参数见表 B.1。

8.3 养殖紫菜沉积物埋藏碳及 ^{210}Pb 、 ^{226}Ra 的放射性比活度

8.3.1 对沉积物柱状样以 1 cm 为间隔进行分割。将分层切割的沉积物样品冷冻干燥、研磨、100 目过筛后备用。

8.3.2 每个层位的沉积物样品取 500 mg 用于有机碳含量的测定,具体按照 GB/T 30740 执行。

8.3.3 剩余的样品用于 ^{210}Pb 和 ^{226}Ra 放射性比活度的测定,具体按照 GB/T 30738 执行。

9 养殖紫菜碳储量的核算

9.1 养殖紫菜产量

单位面积一个养殖周期的紫菜产量(干重)通过现场调查获取,对于无法完全收获需要抽样估算的,抽样按照 SC/T 2005.3-2000 中 6.2 规定的方法执行。

紫菜总产量 (Y_{ma}) 按照式 (1) 计算:

$$Y_{\text{ma}} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m A_{\text{ma},ij} \times Y_{\text{ma},ij} \times R_{\text{ma},ij} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

Y_{ma} ——调查海域紫菜总产量,以干重计,单位为吨 (t);

n ——调查海域主要紫菜养殖区紫菜收获的总次数,无量纲;

m ——调查海域主要紫菜养殖区个数,无量纲;

$A_{\text{ma},ij}$ ——调查海域第 j 片紫菜养殖区第 i 次收获时的紫菜面积,单位为公顷 (hm^2);

$Y_{\text{ma},ij}$ ——调查海域第 j 片紫菜养殖区第 i 次收获时单位面积紫菜产量,以鲜重计,单位为吨每公顷 (t/hm^2);

$R_{\text{ma},ij}$ ——调查海域第 j 片紫菜养殖区第 i 次收获紫菜成体的干湿比,无量纲。

9.2 生物质碳储量

紫菜生物质碳储量按照 HY/T 0305-2021 中 4.3.1.2 规定的方法计量。具体按照式 (2) 计算:

$$C_{\text{ma},T} = Y_{\text{ma}} \times K_{\text{ma}} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

$C_{\text{ma},T}$ ——一个养殖周期内紫菜生物质碳储量,单位为吨 (t);

Y_{ma} ——调查海域紫菜总产量,以干重计,单位为吨 (t);

K_{ma} ——紫菜成体的含碳量,无量纲。

紫菜成体的含碳量按照式 (3) 计算:

$$K_{\text{ma}} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m K_{\text{ma},ij}}{m \times n} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

K_{ma} ——紫菜成体的含碳量,无量纲;

n ——调查海域主要紫菜养殖区紫菜收获的总次数,无量纲;

m ——调查海域主要紫菜养殖区个数，无量纲；

$K_{ma,ij}$ ——调查海域第 j 片紫菜养殖区第 i 次收获时紫菜成体的含碳量，无量纲。

9.3 惰性溶解有机碳储量

9.3.1 紫菜生长释放的惰性溶解有机碳含量

紫菜养殖过程释放的惰性溶解有机碳含量按照式（4）计算：

$$RDOC = (C_{DOC} - C_{DOC,0}) \times K_{RDOC} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

$RDOC$ ——紫菜养殖过程中释放的惰性溶解有机碳含量，单位为毫克每升（mg/L）；

C_{DOC} ——紫菜培养结束时培养袋中的溶解有机碳浓度，单位为毫克每升（mg/L）；

$C_{DOC,0}$ ——对照组中的溶解有机碳浓度，单位为毫克每升（mg/L）；

K_{RDOC} ——紫菜养殖过程中释放的溶解有机碳转化为惰性溶解有机碳的比例，无量纲。

紫菜养殖过程中释放的溶解有机碳转化为惰性溶解有机碳的比例（ K_{RDOC} ）按照式（5）计算：

$$K_{RDOC} = \frac{C_{DOC,t} - C_{DOC,t0}}{C_{DOC,s} - C_{DOC,s0}} \times 100\% \dots\dots\dots (5)$$

式中：

K_{RDOC} ——紫菜养殖过程中释放的溶解有机碳转化为惰性溶解有机碳的比例，无量纲，经验参数见附录 B.1；

$C_{DOC,t}$ ——紫菜降解实验结束时培养瓶中溶解有机碳的浓度，单位为毫克每升（mg/L）；

$C_{DOC,t0}$ ——紫菜降解实验结束时对照组中溶解有机碳的浓度，单位为毫克每升（mg/L）；

$C_{DOC,s}$ ——紫菜降解实验开始时培养瓶中溶解有机碳的浓度，单位为毫克每升（mg/L）；

$C_{DOC,s0}$ ——紫菜降解实验开始时对照组中溶解有机碳的浓度，单位为毫克每升（mg/L）。

9.3.2 养殖紫菜惰性溶解有机碳储量

养殖紫菜惰性溶解有机碳储量按照式（6）计算：

$$C_{RDOC,T} = C_{RDOC} \times T \times Y_{ma} \times 0.5 \dots\dots\dots (6)$$

式中：

$C_{RDOC,T}$ ——一个养殖周期内，紫菜养殖水体中的惰性溶解有机碳储量，单位为吨（t）；

C_{RDOC} ——紫菜养殖区单位质量紫菜释放惰性溶解有机碳的速率，单位为克每克干重每天 [g/(g-dry wt · d)]；

T ——紫菜养殖周期，单位为天（d）；

Y_{ma} ——调查海域紫菜（干重）产量，单位为吨（t）；

0.5——一个养殖周期内紫菜生物量的校正系数。

紫菜养殖区单位质量紫菜释放惰性溶解有机碳的速率（ C_{RDOC} ）按照式（7）计算：

$$C_{RDOC} = \frac{RDOC}{t} \times \frac{V}{W} \dots\dots\dots (7)$$

式中：

C_{RDOC} ——紫菜养殖区单位质量紫菜释放惰性溶解有机碳的速率，单位为克每克干重每天 [g/(g-dry wt · d)]；

$RDOC$ ——紫菜养殖过程中释放的惰性溶解有机碳含量，单位为毫克每升（mg/L）；

t ——紫菜藻体在培养袋内培养时间，单位为天（d）；

V ——紫菜藻体培养袋中海水体积，单位为升（L）；

W ——紫菜藻体培养袋中紫菜藻体干重，单位为毫克（mg）。

9.4 沉积物埋藏碳储量

沉积物埋藏碳储量按照式（8）计算：

$$C_{\text{Sed},T} = \sum_{j=1}^m r_j \times A_j \times \Delta T \times \text{OC}_{\text{ma},j} \times 10^{-2} \dots\dots\dots (8)$$

式中：

$C_{\text{Sed},T}$ ——紫菜经过一个养殖周期形成的沉积物有机质碳储量，单位为吨（t）；

r_j ——第 j 片紫菜养殖区沉积物的质量累积速率，单位为克每平方厘米每年 [$\text{g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{yr})$]，计算方法见附录 C，如果没有进行质量累积速率测定，可采用经验参数，见附录 B.1；

A_j ——第 j 片紫菜养殖区的面积，单位为平方米（ m^2 ）；

ΔT ——采样站位中从紫菜养殖周期开始到下一个紫菜养殖周期开始之间的时间间隔，单位为年（yr），通常为 1；

$\text{OC}_{\text{ma},j}$ ——采样站位第 j 片紫菜养殖区沉积物中紫菜来源有机碳的含量，单位为克每克（g/g）。

采样站位第 j 片紫菜养殖区沉积物中紫菜来源有机碳的含量（ $\text{OC}_{\text{ma},j}$ ）按照式（9）计算：

$$\text{OC}_{\text{ma},j} = \text{OC}_j \times f_{\text{ma},j} \dots\dots\dots (9)$$

式中：

$\text{OC}_{\text{ma},j}$ ——采样站位第 j 片紫菜养殖区沉积物中紫菜来源有机碳的含量，单位为克每克（g/g）；

OC_j ——采样站位第 j 片紫菜养殖区沉积物中有机碳的含量，单位为克每克（g/g）；

$f_{\text{ma},j}$ ——采样站位第 j 片紫菜养殖区紫菜形成的沉积物有机质碳埋藏贡献比，无量纲，经验参数见表 B.1。

9.5 养殖紫菜碳汇总量

养殖紫菜碳汇总量（以二氧化碳当量计）按照式（10）计算。

$$C_{\text{total}} = (C_{\text{ma},T} + C_{\text{RDOC},T} + C_{\text{Sed},T}) \times 3.67 \dots\dots\dots (10)$$

式中：

C_{total} ——一个养殖周期内紫菜养殖形成的碳汇总储量，单位为吨二氧化碳当量（ $\text{t CO}_2 \text{e}$ ）；

$C_{\text{ma},T}$ ——一个养殖周期内紫菜（干重）生物质碳储量，单位为吨（t）；

$C_{\text{RDOC},T}$ ——一个养殖周期内，紫菜养殖水体中的惰性溶解有机碳储量，单位为吨（t）；

$C_{\text{Sed},T}$ ——紫菜经过一个养殖周期形成的沉积物有机质碳储量，单位为吨（t）；

3.67——二氧化碳当量转化系数，无量纲。

10 质量保证和质量控制

10.1 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的定期进行检定、标定、校准或性能测试。

10.2 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。

附录 A
(资料性)

样本取样和处理记录表

表 A.1 ~ 表 A.4 给出了紫菜藻体含碳量调查记录表、紫菜养殖水体惰性溶解有机碳调查记录表、沉积物采样记录表和沉积物有机碳含量和 ^{210}Pb 、 ^{226}Ra 比活度数据记录表。

表 A.1 紫菜藻体含碳量调查记录表

共____页第____页

采样区域____ 采样站位____ 采样时间____

采样站位经度____ 采样站位纬度____ 采样批次____

序号	样品 编号	紫菜品种	湿重 g	干重 g	干湿比	含碳量%				备注
						1	2	3	平均	

采样____ 记录____ 校对____

表 A.2 紫菜养殖水样惰性溶解有机碳调查记录表

共____页第____页

采样区域_____采样站位_____采样时间_____

采样站位经度_____采样站位纬度_____天气状况_____光照强度_____

序 号	样品 编号	温度 ℃	盐度	养殖袋 海水体积 L	养殖袋 紫菜湿重 g	养殖袋 紫菜干重 g	紫菜藻体 培养时间 d	培养开始前 溶解有机碳含量 mg/L	培养结束后 溶解有机碳含量 mg/L	降解结束后 溶解有机碳含量 mg/L	对照组水样 溶解有机碳含量 mg/L	备注

分析_____记录_____校对_____

表 A.3 沉积物采样记录表

共____页第____页

采样区域_____ 采样站位_____ 采样时间_____

采样站位经度_____ 采样站位纬度_____ 采样站位水深_____

序号	层位 cm	厚度 cm	颜色	气味	结构、构造 (含生物特征)	其他备注

采样_____ 记录_____ 校对_____

表 A. 4 沉积物有机碳含量和 ²¹⁰Pb、²²⁶Ra 比活度数据记录表

共____页第____页

采样区域_____ 采样站位_____ 采样时间_____

样品编号_____ 分析仪器_____ 分析时间_____

序号	层位 cm	样品量 g	有机碳含量 g/g				比活度 Bq/kg		备注
			1	2	3	平均	²¹⁰ Pb	²²⁶ Ra	

分析_____ 记录_____ 校对_____

附录 B

(资料性)

常用参数经验值

表 B.1 给出了养殖紫菜碳汇调查与核算工作中常用参数的经验值。

表 B.1 常用参数经验值

项目	经验值
紫菜含碳量 (以干重计)	44.14%
沉积物质量累积速率 (r_i)	闽东: $0.76 \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{yr})$ 闽南: $0.70 \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{yr})$
紫菜形成的沉积物有机质碳埋藏贡献比 (f_{ma})	19.31%
紫菜释放的溶解有机碳转化为惰性溶解有机碳的转化率 (K_{RDOC})	12.95%

附录 C

(规范性)

沉积物质量累积速率的计算

C.1 过剩铅-210 ($^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$) 比活度的计算

每一层位样品中 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 的放射性比活度按照式 (C1) 计算:

$$a_i = a_i(^{210}\text{Pb}) - a_i(^{226}\text{Ra}) \dots\dots\dots (\text{C.1})$$

式中:

a_i ——第 i 个层位样品中 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 的放射性比活度, 单位为贝可每千克 (Bq/kg);

$a_i(^{210}\text{Pb})$ ——第 i 个层位样品中 ^{210}Pb 的放射性比活度, 单位为贝可每千克 (Bq/kg);

$a_i(^{226}\text{Ra})$ ——第 i 个层位样品中 ^{226}Ra 的放射性比活度, 单位为贝可每千克 (Bq/kg)。

C.2 质量累积速率的计算

若柱状样最底层沉积物中 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 的比活度为 0 或接近 0, 应按照 C.2.1 中的方法计算各层位的质量累积速率; 若柱状样最底层沉积物中 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 的比活度仍未降至接近 0, 则按照 C.2.2 中的方法估算柱状样的平均质量累积速率。

C.2.1 柱状样各层位质量累积速率的计算

第 i 个层位样品底部的质量累积速率按照式 (C2) 进行计算:

$$r(i) = \frac{\lambda \times A(i) \times 10^3}{a(i)} \dots\dots\dots (\text{C.2})$$

式中:

$r(i)$ ——第 i 个层位底部沉积物的质量累积速率, 单位为克每平方米每年 [$\text{g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{yr})$];

λ —— ^{210}Pb 的衰变常数, 取 0.03114 yr^{-1} ;

$A(i)$ ——第 i 个层位之下的沉积物中 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 的累计输入量, 单位为贝可每平方米 (Bq/cm^2);

$a(i)$ ——第 i 个层位底部 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 的比活度, 单位为贝可每千克 (Bq/kg)。

$A(i)$ 按照式 (C3) 计算:

$$A(i) = \sum_{j=i+1}^x \frac{a_j \times W_j \times 10^{-3}}{S} \dots\dots\dots (\text{C.3})$$

式中:

$A(i)$ ——第 i 个层位之下的沉积物中 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 的累计输入量, 单位为贝可每平方米 (Bq/cm^2);

x —— $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 的比活度降低至 0 (或接近于 0) 的层位的序号;

a_j ——第 j 个层位中 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 的比活度, 单位为贝可每千克 (Bq/kg);

W_j ——第 j 个层位样品的净干重, 单位为克 (g);

S ——沉积物柱状样的截面积, 单位为平方厘米 (cm^2)。

$a(i)$ 按照式 (C4) 计算:

$$a(i) = \frac{a_i + a_{i+1}}{2} \dots\dots\dots (\text{C.4})$$

式中:

$a(i)$ ——第 i 个层位底部 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 的比活度, 单位为贝可每千克 (Bq/kg);

a_i ——第 i 个层位中 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 的比活度, 单位为贝可每千克 (Bq/kg)。

C.2.2 柱状样平均质量累积速率的估算

按照式 (C5) 计算第 i 个层位中部的质量深度 m_i :

$$m_i = \frac{\sum_{j=0}^{i-1} W_j + \sum_{j=0}^i W_j}{2S} \dots\dots\dots (\text{C.5})$$

式中:

m_i ——第 i 个层位中部的质量深度, 单位为克每平方厘米 (g/cm^2);

W_j ——第 j 个层位样品的干重, 单位为克 (g);

S ——沉积物柱状样的横截面积, 单位为平方厘米 (cm^2)。

以 $\ln(a_i)$ 为纵坐标、 m_i 为横坐标, 求线性拟合方程:

$$\ln a_i = k \times m_i + b \dots\dots\dots (\text{C.6})$$

式中:

a_i ——第 i 个层位中过剩 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 的放射性比活度, 单位为贝克每千克 (Bq/kg);

m_i ——第 i 个层位中部的质量深度, 单位为克每平方厘米 (g/cm^2);

k ——拟合曲线的斜率, 单位为平方厘米每克 (cm^2/g);

b ——拟合曲线的截距。

若拟合效果不佳, 通常可适当去除靠近顶部层位的、偏离拟合曲线程度较大的异常数据, 然后使用余下的数据点进行拟合。

沉积物柱状样的平均质量累积速率 \bar{r} 按照式 (C7) 计算:

$$\bar{r} = -\frac{\lambda}{k} \dots\dots\dots (\text{C.7})$$

式中:

\bar{r} ——沉积物柱状样的平均质量累积速率, 单位为克每平方厘米每年 [$\text{g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{yr})$];

λ —— ^{210}Pb 的衰变常数, 取 0.03114 yr^{-1} ;

k ——拟合曲线的斜率, 单位为立方厘米每克 (cm^2/g)。

参 考 文 献

- [1] 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）
- [2] Sanchez-Cabeza J A, Ruiz-Fernández A C. ^{210}Pb sediment radiochronology: An integrated formulation and classification of dating models[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2012, 82: 183-200.