

舟山市地方标准

《贻贝养殖海域碳汇核算方法》

编 制 说 明

（征求意见稿）

浙江大学舟山海洋研究中心

二〇二五年五月

《贻贝养殖海域碳汇核算方法》

编制说明

一、工作简况

（一）标准制定背景

海洋作为全球碳循环的重要组成部分，在减缓和适应气候变化方面发挥着关键作用。随着全球气候变化问题的日益严峻，海洋碳汇能力的评估与核算成为研究气候变化的基础工作，也是实现“双碳”目标的重要支撑。开展海洋碳汇评估不仅有助于摸清海洋碳汇家底，还为开展海洋碳汇交易、推进海洋增汇项目发展、优化海洋资源配置提供了科学依据，不仅有利于推动中国“双碳”目标的实现和海洋强国的建设，同时可形成新的经济增长点。

海水养殖是我国海洋经济的重要组成部分，并且养殖生态系统也具有重要的碳汇功能。浙江省毗邻东海，东海陆架丰富的营养支撑了东海成为强碳汇吸收大气二氧化碳，也是浙江省作为我国海水养殖重点区域的主要原因。浙江省海产品养殖的重点区域，嵊泗县贻贝养殖产量占到舟山海水养殖产量的 70%以上，其中枸杞乡的贻贝产量占嵊泗产量的 60%以上。枸杞岛海域贻贝的养殖方式为浮筏养殖，养殖规模和密度均较高，盛产厚壳贻贝（*Mytilus coruscus*），年养殖面积已达 2.5 万亩，产量近 8 万吨。贻贝养殖不仅为当地经济提供了重要支撑，其碳汇功能也为应对气候变化提供了潜在解决方案。

目前除大型海藻外，养殖生态系统的碳汇作用还未得到国际认可，其主要原因是目前养殖海域的碳通量的观测数据不足，对养殖海域碳循环过程和调控机制的认识不足。此外，现有基础缺乏国际认可的准确量化养殖活动对海洋碳汇影响的评估体系，目前双壳贝类碳汇核算方法主要针对海洋碳储库的吸收量，缺乏对大气碳储库的核算，未能全面反映养殖活动的复杂固碳效应。以贻贝为例，贻贝养殖对于海域固碳效应的影响是复杂的，一方面贻贝作为滤食动物，可大量移除海水中的浮游藻类，贻贝肉的生长可以固定有机碳，在营养盐充足的情况下可以加快有机碳泵的周转速率，加速颗粒有机碳的垂直输送和埋藏，壳体可通过吸收海水中的钙离子和碳酸氢根离子以碳酸钙的形式固定碳。另一方面，从海洋化学角度出发，贻贝的碳酸钙质壳的形成是典型的“碳酸盐反向泵”过程，会降低海水碱度并增加海水 CO_2 分压量，是一个促进海水向大气释放 CO_2 的过程。这些

复杂的生物地球化学过程使得贻贝养殖海域的碳汇核算面临特殊挑战，使得贻贝养殖的碳汇功能难以得到国际社会的普遍认可，也制约了相关碳汇交易的发展。

因此，科学准确地核算贻贝养殖海域碳汇的储量和增值，评估其对海洋环境和碳循环的重要性，是实现海洋碳汇交易的基础性工作。然而，当前海洋碳汇技术领域的技术标准和规范尚未完善统一，不同技术之间的不兼容性和数据的不可比性降低了贻贝碳汇交易的效率和可信度。对于舟山市而言，目前尚缺乏国际认可的准确量化贻贝养殖活动对海洋碳汇影响的评估体系，难以达到养殖碳汇资源“可量化、可报告、可核查”的要求。

综上，我们亟须加强对贻贝养殖海域碳通量观测和碳循环机制的认识，形成科学、系统、可操作的贻贝养殖碳汇核算方法。本标准的制定对实现贻贝养殖海域碳汇估算和大区域贻贝养殖海域碳汇交易具有重要的意义。

（二）任务来源

鉴于贻贝养殖碳汇标准的重要性和紧迫性，浙江大学舟山海洋研究中心于2023年10月提出制定《贻贝养殖海域碳汇核算方法》地方标准的建议。舟山市市场监管局于2024年4月下达了“关于2024年第一批舟山市地方标准制修订计划的通知”（舟市监标准〔2024〕3号）文件，将《贻贝养殖海域碳汇核算方法》列入舟山市2024年第一批舟山市地方标准制修订计划项目。

此项工作由浙江大学舟山海洋研究中心等单位承担并成立了标准起草小组。

（三）主要工作过程

标准编制工作自启动以来，组建了由浙江大学舟山海洋研究中心、浙江大学、自然资源部第二海洋研究所、嵊泗县景晟贻贝产业发展有限公司、舟山市生态环境局等单位专家组成的跨学科研究团队。团队依托舟山市院士专家合作项目《贻贝生态养殖碳通量评估研究》等科研项目的基础数据，开展了系统性的研究工作。

在前期准备阶段，编制组系统梳理了相关国际标准、国家标准、农业行业标准、地方标准，查阅了国内外相关的科研论文、学术著作，并在初步调研的基础上，拟定《贻贝养殖海域碳汇核算方法》的工作方案和框架。标准编制工作组先后赴省、市、县（市、区）市场监督管理部门、海洋渔业和生态环境行政管理部门，并对嵊泗贻贝养殖模式和海域现状进行了充分调研，在总结现有国内外关于

养殖碳汇核算、贻贝养殖及相关生态系统服务的经验做法、存在问题、制约因素的基础上明确了核算标准的基本原理和方法。通过在嵊泗贻贝养殖海域进行实地调查，在取得大量翔实基础数据基础上，起草小组按照 GB 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，参考了相关标准，引用了 HY/T 0349-2022《海洋碳汇核算方法》、HY/T 0343.4-2022《海-气二氧化碳交换通量监测与评估技术规程》、HY/T 0305-2021《养殖大型藻类和双壳贝类碳汇核算方法碳储量变化法》等文件，进行编写并形成讨论稿。同时，起草小组针对贻贝养殖海域碳汇核算的取样、测定方法和核算方法等方面的技术要素和计算模型进行了初步验证，研讨本标准确定的技术参数适宜性等，广泛征求来自相关科研院所、行业协会、贻贝养殖企业、监管部门等单位的专家意见，并采纳了 2024 年 4 月由市场监管部门组织的立项评估审查会上专家提出的建议和意见，经充分讨论、多次修改完善，于 2025 年 5 月完成了《贻贝养殖海域碳汇核算方法》征求意见稿和编制说明。目前，标准编制工作已进入完善阶段，将根据征求意见尽快完成该标准的送审稿。

（四）协作单位、标准主要起草人及其所做的工作

本标准由浙江大学舟山海洋研究中心作为牵头单位，联合浙江大学、自然资源部第二海洋研究所、嵊泗县景晟贻贝产业发展有限公司、舟山市生态环境局等四家单位共同编制完成。在标准制定过程中，各参与单位充分发挥各自专业优势，形成了产学研用紧密结合的工作机制。起草组主要工作职责是：标准制定工作的组织、协调，相关资料的查阅、收集，标准文本及编制说明的起草、撰写，通过“浙江标准在线”、牵头单位官网和电子邮件、电话等方式征集、整理和归纳相关的意见，完成标准送审、报送工作等。起草负责人在标准制定期间未担任或兼任其他碳汇核算国家标准的主要起草工作。各参与单位及主要起草人员分工见表 1。

表 1 标准起草单位及起草人情况

姓名	工作单位	职务/职称	工作分工
江宗培	浙江大学	副教授	全面负责标准制定
泮红文	浙江大学舟山海洋研究中心	副主任/经济师	负责标准制定协调，参与标准制定工作
俞超超	浙江大学舟山海洋研究中心	工程师	负责调研、标准制定、验证等工作
肖金星	浙江大学舟山海洋研究中心	副所长/高工	负责调研、标准制定、验证等工作
张思琪	自然资源部第二海洋研究所	高工	参与资料收集、标准制定、调研和验证等工作
郑国轴	浙江大学舟山海洋研究中心	高工	参与标准制定、调研、验证等
潘依雯	浙江大学	教授	参与调研、标准制定、验证等工作
陈鹏	自然资源部第二海洋研究所	研究员	参与标准制定、调研、验证等
邓腾	浙江大学	博士后	参与资料收集、调研、意见征求等工作
金友定	嵊泗县景晟贻贝产业发展有限公司	董事长	参与资料收集、调研、意见征求等工作
戴央章	嵊泗县景晟贻贝产业发展有限公司	总经理	参与资料收集、调研、意见征求等工作
王飏	舟山市生态环境局	高工	参与标准制定、调研、意见征求等工作
任芮芮	舟山市生态环境局	工程师	参与标准制定、调研、意见征求等工作

二、标准编制原则和确定主要内容(如技术指标、参数、公式、性能要求、试验方法、检验规则等)的论据(包括试验、统计数据)。

修订标准时，应增列新旧标准水平的对比

(一) 编制原则

- 1、遵循国家有关方针、政策、法规和规章。
- 2、格式上按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准的结构和

编写》的规定进行编写。

3、进行广泛的调查研究和必要的验证工作，明晰贻贝从投苗到收获的养殖模式和贻贝固碳机理，以及海洋双壳贝类碳汇核算存在的问题和影响因素。

4、从完善我国海洋碳汇计量监测体系，实现贻贝养殖海域养殖全过程的碳汇可计量、为贻贝养殖碳汇交易提供核算依据的指导思想出发，对贻贝养殖海域碳汇核算方法的术语和定义、原理、取样和测定方法、核算方法的规定。

5、密切追踪国内外相关海洋碳汇核算方法的研究进展，严格执行国家标准，参考行业标准和国际上通用标准。

（二）确定主要内容的论据

1、标准名称与范围

（1）关于标准名称。

由于贻贝养殖海域的固碳过程十分复杂，进行贻贝碳汇核算时，需分别从贻贝个体和养殖海域的生态系统层面进行计量，且在量化碳汇需要明确所针对的碳储库。考虑到标准的严谨性以及和相关标准的一致性，起草小组将标准名称定位为“贻贝养殖海域碳汇核算方法”。

（2）关于标准范围

本标准规定了贻贝养殖海域碳汇核算方法的术语和定义、原理、取样和测定方法、核算方法等内容。本标准明确了本文件适用于贻贝养殖海域的碳汇测算。

2、术语和定义

根据对国内外相关标准、文献的研究，本标准对贻贝、碳储库、碳汇、贻贝养殖周期、卫星遥感、二氧化碳分压、海-气二氧化碳交换通量作了定义。

3、标准的原理和方法

（1）核算原理

本标准确定了贻贝生物碳储量变化法、海-气界面二氧化碳通量变化法和贻贝长期碳汇评估法的计算原理和方法要求，确定了贻贝生物碳储量变化法、海-气界面二氧化碳通量变化法和贻贝长期碳汇评估法的数据取样、测定和处理方法。本部分技术要素一是参照了相关现行的国家、省级地方和行业标准，二是结合了标准编制单位以往取得的科研成果和实践经验，三是吸收了国内外同行的相关研究成果。

1) 贻贝生物碳储量变化法

本方法通过测定养殖周期始末贻贝生物体碳储量的净变化,量化贻贝作为碳载体对海洋碳库的碳汇量。即在一个养殖周期内,通过养殖海域贻贝成体收获时生物碳储量减去幼苗初始投放时的生物碳储量,量化评估贻贝生物作为碳载体从海洋碳库中移除的碳。

在实际应用中,贻贝生物体碳储量一般采用重量法计算,即将贻贝养殖海域中生长的贻贝通过捕捞、计数、干燥、称重等方式获得其干重和含碳量,再通过养殖海域的面积、养殖的密度,产品月/季产量等参数估算出通过养殖一捕捞从海洋碳库中移除的碳汇。具体核算中,可根据在一个养殖周期内,养殖海域贻贝成体收获碳储量减去幼苗初始投放碳储量来进行计算。

值得注意的是,由于贻贝养殖区往往为贝藻类共生模式,通过此法得出的贻贝碳汇能力无法代表整个养殖生态系统的碳汇能力。此外,可移除生物质碳只能代表贻贝直接从海洋碳库中移除的短期碳汇,其中贝肉部分在被人类消费后以 CO_2 的形式重新释放回大气碳库。

2) 海-气界面二氧化碳通量变化法

生活在海水中的贻贝并不与大气直接接触,而是直接改变海洋中的碳循环过程,再间接通过海洋-大气界面的气体交换影响大气碳储库(图1)。养殖海域对大气碳库的源汇作用可以通过海-气界面二氧化碳通量进行表征。但是,在贻贝养殖海域观测所得的表观海-气二氧化碳交换通量包括海域自然生态系统本底碳通量(无养殖活动)和贻贝养殖对海域吸收大气二氧化碳能力的变化值(即人为养殖活动对大气碳储库的源汇作用)。因此,通过对比养殖海域和邻近自然海域在养殖周期内海-气界面 CO_2 交换通量的差别,可以在生态系统层面上量化贻贝养殖活动对海域吸收大气 CO_2 能力的改变,计算贻贝养殖对大气碳库的碳汇量。

但是,由于观测的时空限制和碳汇机制作用的时间尺度,在养殖海域测量的海气界面二氧化碳通量可能并不能完全代表贻贝养殖对大气的碳源汇作用,而是存在一定的空间异质性和时间滞后性。空间尺度上,由于贻贝摄食的浮游植物可能主要通过水平输运来自养殖海域以外,导致养殖区的二氧化碳通量与实际碳汇贡献在空间上发生解耦。时间尺度上,贝类养殖系统通过促进“海洋生物泵”运转效率对惰性有机碳生成和沉积碳封存等长期碳汇机制的影响,可能在贝类养殖

周期结束后延续数年至数百年。因此，海-气界面二氧化碳通量变化法估算的对大气碳库的碳汇量具有明确的时间（一个养殖周期内）和空间（养殖海域）边界。

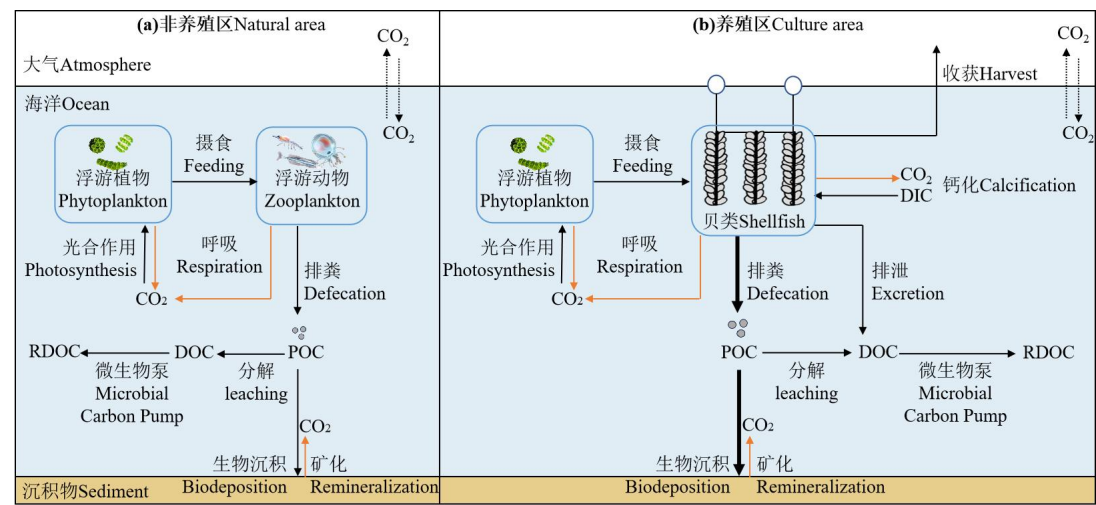


图 1 非养殖天然海域和贝类养殖海域碳循环

3) 贻贝长期碳汇评估法

贻贝养殖的长期碳汇体现在影响沉积碳汇和惰性溶解有机碳生成转化两个方面。贝类通过滤食与排粪加速了颗粒有机碳的沉降和埋藏，该过程可能增加海洋生物碳泵的周转速率，从而提升海洋长期碳汇能力。同时，贝类生理过程形成的溶解有机碳可以通过微生物碳泵转化为惰性有机碳在海洋内部长期存储。在稳态假设的条件下，该海洋长期碳汇的改变会通过海-气界面二氧化碳交换进行平衡，因此该海洋长期碳汇的改变量也等于贻贝养殖对大气碳库的长期碳汇量。长期碳汇可以通过对比养殖海域沉积物和非养殖海域在沉积物碳埋藏和惰性溶解有机碳生成的差异进行计算。

(2) 取样和测定方法

本标准的取样和测定方法结合了国内外相关技术规范 and 行业标准，确保了贻贝养殖海域碳汇量评估的科学性和准确性。贻贝生物碳储量变化法通过规范取样和测定流程，解决了样品规格不统一的问题，并提供了数据验证和参考依据；海一气二氧化碳通量变化法则通过多源数据融合和长期观测，实现了对海域碳汇量的动态评估；贻贝对沉积物的有机碳贡献通过养殖前后以及养殖区和非养殖对照区在养殖周期内的对比差值获得；贻贝贡献的惰性溶解有机碳生成速率可以通过现场培养实验检测与计算。以上方法互为补充，能够全面反映贻贝养殖海域的碳汇效应，为海洋碳汇交易和增汇项目提供可靠的技术支持。

1) 贻贝生物碳储量变化法

在测定贻贝的贝苗和成贝干湿比等各项数值时，针对规格参差不齐的问题，取样应涵盖不同批次样品，取样方法按照 GB/T 30891-2014 中 5.3.2.2 规定的抽样方案执行，并将贝壳和软体部分分离。单位面积的产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，抽样方法按 SC/T 2005.2-2000 中第 6 章规定的验收方法执行；若无法获取的，可参考当地渔业部门的统计数据。贻贝碳汇量评估相关系数按照 HY/T0305-2021 中章节 4.2 规定的方法测定；若无法测定的，可参考 HY/T 0305-2021 表 A.1。

2) 海-气二氧化碳通量变化法

在贻贝养殖海域及其邻近自然海域设置多个监测点，对照自然海域要求与养殖区自然条件（水深、潮流等）相似，且不受养殖活动干扰。通过各监测点的海-气界面二氧化碳分压差（ $\Delta p\text{CO}_2$ ），结合海表温度（SST）、盐度（SSS）和风速，计算出各监测点吸收或释放的瞬时二氧化碳通量（ FCO_2 ），将各监测点的瞬时二氧化碳通量进行空间平均和时间积分，计算得到目标时空尺度的海域海-气二氧化碳通量（参考行业标准 HY/T 0343.4-2022）。通过卫星遥感、原位传感器、船载走航等方法进行定期采样获取海-气二氧化碳通量计算所需参数。其中，海水二氧化碳分压（ $p\text{CO}_{2\text{sea}}$ ）可以通过卫星遥感反演、传感器直接测定或者利用溶解无机碳（DIC）和总碱度（TA）测定结果通过碳酸盐体系计算得到，海表温度、盐度、海面 10 米风速等通过卫星遥感或现场直接测定获得，具体计算流程及数据处理参照 HY/T 0343.7-2022 规定的方法执行。

3) 贻贝养殖长期碳汇评估法

1. 贻贝养殖区沉积物采集与碳含量测定

贻贝类沉积物碳汇量采用 DB45/T1230-2015 中 5.2.1 规定的标志桩法，定期测量养殖区与对照区沉积物高程变化及碳含量，计算贻贝养殖导致的沉积物碳库增量。

2. 贻贝贡献的惰性溶解有机碳生成速率测定

可通过现场围隔培养实验模拟贻贝养殖环境测定，通过测定贻贝代谢释放的溶解有机碳（DOC）在长期黑暗培养条件下的降解动态，计算其转化为惰性溶解有机碳（RDOC）的比例及生成速率。现场操作时将砂滤自然海水及贻贝按照

一定比例（可根据养殖密度确定）置于透明现场围隔中，与贻贝养殖区海水环境保持同步，开展为期一周的培养实验。培养实验设置 5 个平行组，3 个空白对照组。7d 后取围隔中海水于 2L 棕色玻璃瓶中，进行恒温黑暗培养，分别在培养的第 0、15、30、60、100、150、200 天等进行溶解有机碳的测定。

（3）关于核算方法

本标准共提供了三种核算贻贝养殖海域碳汇的计量方法，分别为基于贻贝生物碳储量变化的核算方法、基于生态系统海-气界面二氧化碳通量的核算方法和贻贝养殖长期碳汇评估法。所提供的核算方法、数据的获取方法，均易于获得且可以持续更新，核算步骤清晰明了，以便于日后常规化的应用。即各指标数据能够通过一定的技术手段获取，计算简单方便，评价指标比较客观，操作性强。

1) 基于贻贝生物碳储量变化的核算方法

一个养殖周期内，通过贻贝生长和收获将海洋碳库中的碳移出海水，其生物碳储量的变化值即贻贝作为生物载体从海洋碳库中移除的碳汇量，按照公式(1)计算：

$$\Delta C_{\text{贻贝}} = (C_{\text{BH}} - C_{\text{BS}}) \times S \cdots \cdots \cdots (1)$$

式中：

- $\Delta C_{\text{贻贝}}$ ——贻贝作为生物碳载体从海洋中移除的碳量，单位为吨碳（t C）；
- C_{BH} ——收获时期贻贝成体的碳储量，单位为吨碳每公顷（t C/hm²）；
- C_{BS} ——布苗时期贻贝幼苗的碳储量，单位为吨碳每公顷（t C/hm²）；
- S ——贻贝养殖海域的面积，单位为公顷（hm²）。

贻贝生物体总碳储量包括软组织有机碳和贝壳无机碳，布苗时期贻贝幼苗和收获时期贻贝成体的碳储量均遵循以下公式计算：

$$C_{\text{B}} = W \times R_{\text{dw}} \times (R_{\text{sh}} \times C_{\text{sh}} + R_{\text{m}} \times C_{\text{m}}) \cdots \cdots \cdots (2)$$

式中：

- C_{B} ——贻贝的生物碳储量，单位为吨碳每公顷（t C/hm²）；
- W ——贻贝的总生物量，单位为吨每公顷（t /hm²）；
- R_{dw} ——贻贝的干湿比；
- R_{sh} ——贝壳占贻贝的质量比；
- C_{sh} ——贝壳含碳率；

R_m ——贝肉占贻贝的质量比；

C_m ——贝肉含碳率；

注：公式参照 HY/T 0305-2021 中 4.3.2 章节。

2) 基于养殖生态系统海-气界面二氧化碳通量的核算方法

从生态系统层面上量化贻贝养殖活动对海域吸收大气 CO_2 能力的改变，即贻贝养殖活动在养殖海域的一个养殖周期内对大气碳库的碳汇量 ($\Delta FCO_{2\text{ 贻贝}}$ ，单位为 t C)，按照公式 (3) 计算：

$$\Delta FCO_{2\text{ 贻贝}} = \int_{\text{贝苗}}^{\text{成体}} (FCO_{2\text{ 养殖海区}} - FCO_{2\text{ 自然本底}}) \times S \times dt \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

$\Delta FCO_{2\text{ 贻贝}}$ ——一个养殖周期内，贻贝养殖海域海气二氧化碳通量与邻近非养殖自然海域海气二氧化碳通量的差值，单位为 t C ；

$FCO_{2\text{ 养殖海区}}$ ——贻贝养殖海区在单位时间、单位面积的海气二氧化碳交换通量平均值，单位为吨碳每公顷每天 [$\text{t C}/(\text{hm}^2 \cdot \text{d})$]；

$FCO_{2\text{ 自然本底}}$ ——邻近非养殖海域在单位时间、单位面积的自然本底海气二氧化碳交换通量平均值，单位为吨碳每公顷每天 [$\text{t C}/(\text{hm}^2 \cdot \text{d})$]；

t ——一个养殖周期所包括的时间，单位为天 (d)。

其中 $FCO_{2\text{ 养殖海区}}$ 和 $FCO_{2\text{ 自然本底}}$ 采用海-气二氧化碳分压差法（参考行业标准 HY/T 0343.7-2022）计算得到。

3) 贻贝养殖长期碳汇评估法

养殖贻贝通过颗粒有机碳沉积埋藏和惰性溶解有机碳生成转化的方式实现了碳的长期封存，这部分碳汇量按照公式 (4) 核算：

$$C_{LT} = \Delta C_{\text{sed}} + C_{\text{RDOC}} \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中：

C_{LT} ——贻贝养殖在一个养殖周期内相对海洋碳库和大气碳库的长期碳汇量，单位为吨碳 (t C)；

ΔC_{sed} ——贻贝养殖导致的贻贝养殖海域沉积固碳量改变，单位为吨碳 (t C)；

C_{RDOC} ——贻贝养殖贡献的惰性溶解有机碳生成和转化，单位为吨碳 (t C)。

1. 贻贝养殖沉积碳汇量

贻贝养殖对沉积碳库的改变通过测定养殖海域沉积物和非养殖海域沉积物的固碳量差值得到，按照公式（5）计算：

$$\Delta C_{\text{sed}} = S \times (C_{\text{sed-养殖海区}} - C_{\text{sed-自然本底}}) \dots\dots\dots (5)$$

式中：

$C_{\text{sed-养殖海区}}$ ——贻贝养殖海域沉积物有机碳含量，按照公式（6）计算，单位为吨碳每公顷（t C/hm²）；

$C_{\text{sed-自然本底}}$ ——非贻贝养殖海域沉积物有机碳含量，按照公式（6）计算，单位为吨碳每公顷（t C/hm²）；

S ——贻贝养殖海域的面积，单位为公顷（hm²）。

沉积物有机碳含量计算公式如下：

$$C_{\text{sed}} = \rho \times S_{\text{mus}} \times R_{\text{mus}} \times T / 100 \dots\dots\dots (6)$$

式中：

C_{sed} ——沉积物中的有机碳含量，单位为吨碳每公顷（t C/hm²）；

ρ ——沉积物容量，单位为克/立方厘米（g/cm³）；

S_{mus} ——沉积物有机碳含量质量比（以碳计），单位为%；

R_{mus} ——沉积物沉积速率，单位为厘米/年（cm/a）；

T ——养殖周期时长，单位为年（a）。

2. 贻贝养殖海水惰性溶解有机碳汇量

贻贝养殖贡献的惰性溶解有机碳的碳汇量按照公式（7）计算：

$$C_{\text{RDOC}} = R_{\text{RDOC}} \times S \times W \times t \times 10^{-3} \dots\dots\dots (7)$$

C_{RDOC} ——贻贝养殖贡献的惰性溶解有机碳的碳汇量，单位为吨碳（t C）；

R_{RDOC} ——贻贝养殖的惰性溶解有机碳的生成速率，单位为克碳每千克贻贝每天 [g C/（kg•d）]；

S ——贻贝养殖海域的面积，单位为公顷（hm²）；

W ——贻贝的总生物量，单位为吨每公顷（t /hm²）；

t ——一个养殖周期所包括的时间，单位为天（d）。

贻贝贡献的惰性溶解有机碳生成速率可以通过现场围隔培养实验（4.2.3）测定，按照式（8）计算：

$$R_{\text{RDOC}} = \frac{(C_e - C_0) \times V}{M_f \times t_v} \times 10^{-3} \dots\dots\dots (8)$$

式中：

R_{RDOC} ——贻贝养殖的惰性溶解有机碳的生成速率，单位为克碳每千克贻贝每天[$\text{g C}/(\text{kg}\cdot\text{d})$]；

C_e ——经过长时间培养后，实验组溶解有机碳不随时间变化趋于稳定的浓度，单位为毫克每升（ mg/L ）；

C_0 ——经过长时间培养后，空白对照组溶解有机碳不随时间变化趋于稳定的浓度，单位为毫克每升（ mg/L ）；

V ——围隔实验中海水的体积，单位为升（ L ）；

M_t ——围隔实验中贻贝的湿重，单位为千克（ kg ）；

t_v ——围隔实验所持续的时间，单位为天（ d ）。

三、主要试验（或验证）的分析、综合报告、技术经济论证和预期经济效益（用于实现共同使用、重复使用；用于实现技术上先进，经济上合理；科学、技术和经验的综合成果、技术经济论证）

（一）主要试验（或验证）分析、综述报告

起草小组采用走访应用单位、会议研讨等方法，初步验证了标准技术内容的适用、可操作和可重现的。一是归集、总结、分析前期课题研究成果，适宜地转化为标准的技术内容，二是在前期 4 次碳通量观测实验的基础上，结合 2024 年起开展每月一次的重复观测实验，进行数据耦合修正；三是近期组织了相关专家、管理人员座谈会，研讨本标准确定的技术参数适应性等，征询修改意见。其结果反映基本良好，并根据专家和应用单位提出的意见进行了修改和完善，使本标准在技术上更趋先进，经济上更趋合理。

（二）技术经济论证

起草小组于嵎泗枸杞岛西北部贻贝养殖海域设立采样断面 5 条，采样站位 25 个，遍布贻贝养殖不同密度分布区域，如图 2。从 2024 年 3 月至 2025 年 3 月，起草小组利用 YSI 水质检测仪对嵎泗贻贝养殖区域表层的现场环境参数（温度、盐度、 pH 、溶氧）进行每月定期观测（如表 1）；每月定期采集嵎泗养殖区的海水样品，检测表层海水中的碱度（ TA ）、溶解无机碳（ DIC ）、营养盐浓度（ NH_4^+ 、 PO_4^{3-} 、 NO_3^- 、 NO_2^- 、 SiO_3^{2-} ）、二氧化碳分压（ pCO_2 ）；每月采集嵎泗

养殖区的厚壳贻贝样品，检测贻贝的湿重、干重、软组织干重、贝壳干重、软组织含碳量、贝壳含碳量。

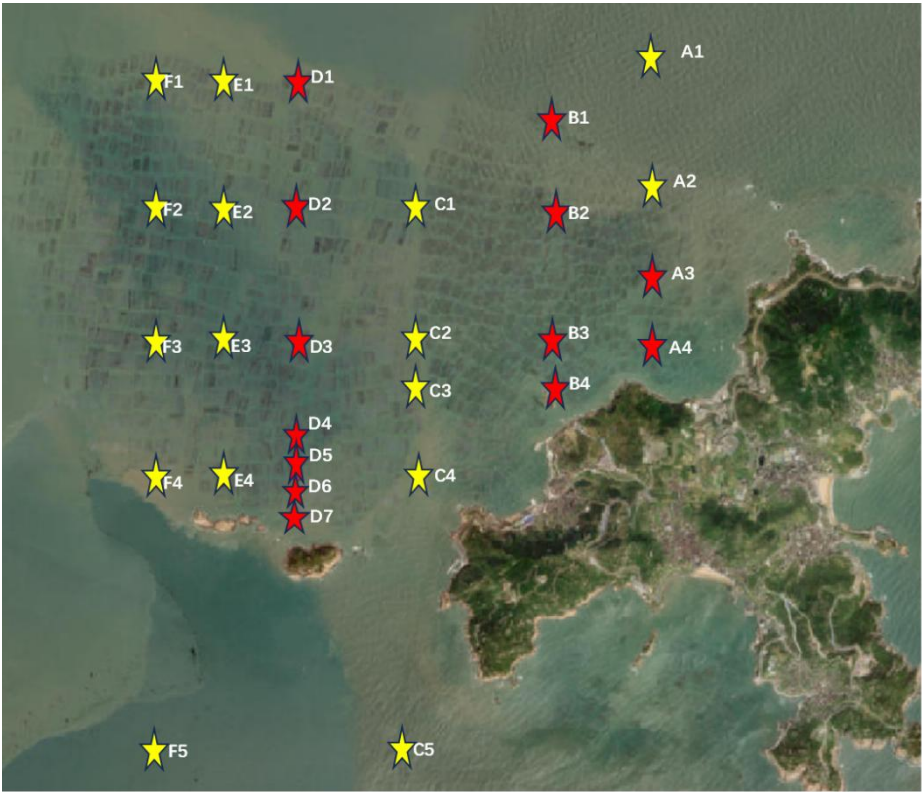


图 2 嵊泗贻贝养殖区域观测站位：红色点位采集贻贝和水样，黄色点采集水样

表 1 嵊泗贻贝养殖区域连续观测记录表

采样时间	站位数量	水样采集	贻贝采集 与否	表层观测	剖面观测	测量参数
2023.11.8	15	表层+底 层	√	YSI	CTD19	DIC/TA/营 养盐
2024.3.29	24	表层+底 层	√	YSI	CTD19	DIC/TA/营 养盐
2024.4.23	21	表层	√	N/A	N/Av	DIC/TA/营 养盐
2024.5.14	22	表层	√	YSI	N/A	DIC/TA/营 养盐
2024.7.04	25	表层	√	YSI	N/A	DIC/TA/营 养盐
2024.7.31	25	表层+底 层	√	YSI	CTD19	DIC/TA/营 养盐
2024.8.31	25	表层	√	YSI	N/A	DIC/TA/营 养盐
2024.9.27	25	表层	√	YSI	N/A	DIC/TA/营 养盐
2024.11.10	25	表层	√	YSI	N/A	DIC/TA/营 养盐
2024.12.3	25	表层+底 层	√	YSI	CTD19	DIC/TA/营 养盐
2024.12.29	25	表层	√	YSI	N/A	DIC/TA/营 养盐
2025.1.11	18	表层	√	YSI	N/A	DIC/TA/营 养盐
2025.3.07	18	表层	√	YSI	N/A	DIC/TA/营 养盐

非养殖对照海域的海-气界面二氧化碳通量来自于2024年在每个季节对嵊泗枸杞岛养殖海域外圈的4次走航测试，如图3。

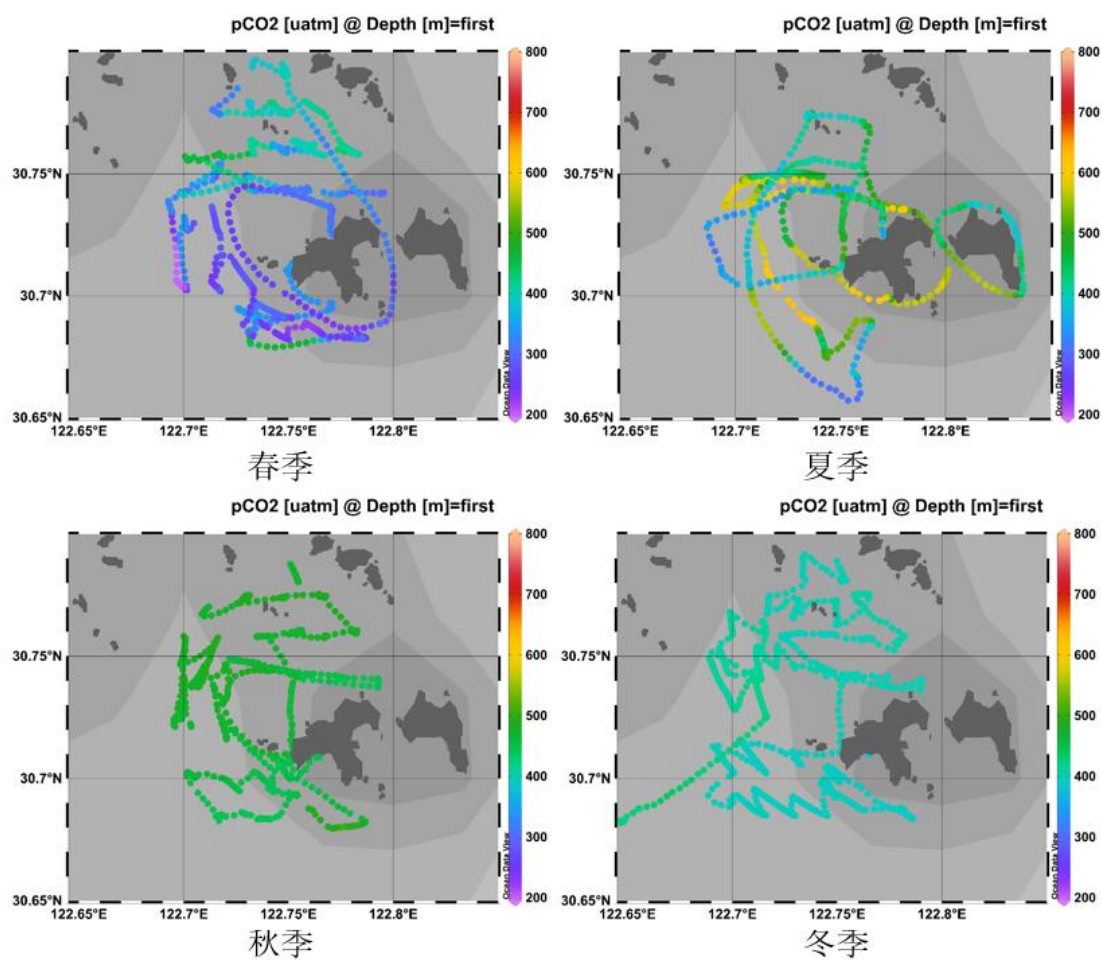


图3 非养殖海域环境本底 pCO₂ 走航调查

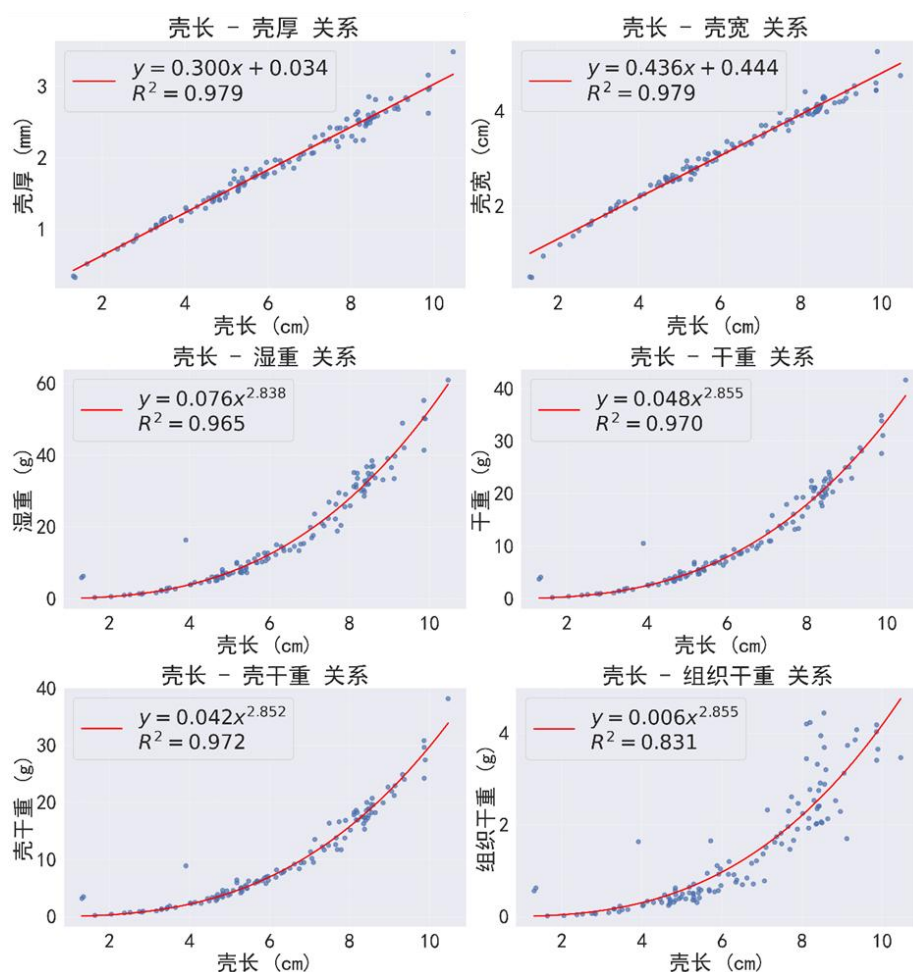


图 4 贻贝生物参数的相关性分析

贻贝生物样品数据显示：1) 壳长与壳宽，壳厚呈现显著的线性关系（图 4）；2) 壳长与湿重，壳湿重，组织湿重，干重，壳干重，组织干重有显著的幂函数关系（图 4）；3) 高龄贻贝生长速率高于低龄贝（图 4）；4) 贻贝个体中的碳含量在 1-2 龄期内随生长时间的增加而显著增加，个体中软组织中的碳含量要高于壳中的碳含量，软组织中的碳含量在 1-2 龄生长周期内变化显著（图 5）；5) 贻贝不同组织在 1-2 龄期生长周期内的碳含量的比例基本一致，在进行软组织碳含量评估中，可不计组织差异（图 6）。

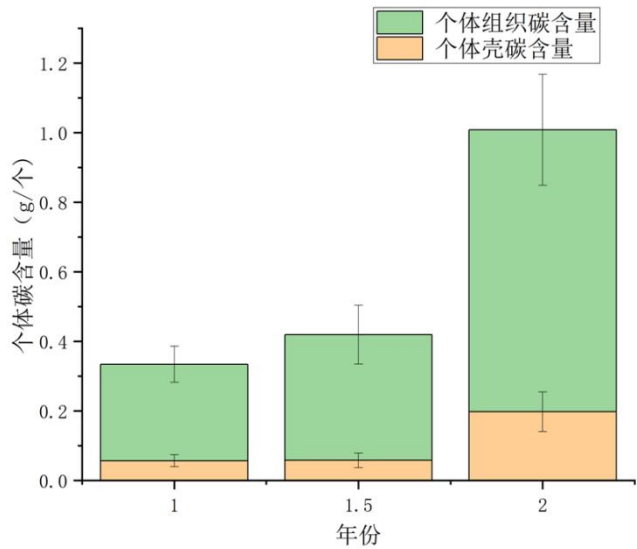


图 5 贻贝个体中的碳含量在 1-2 龄期随生长时间的变化

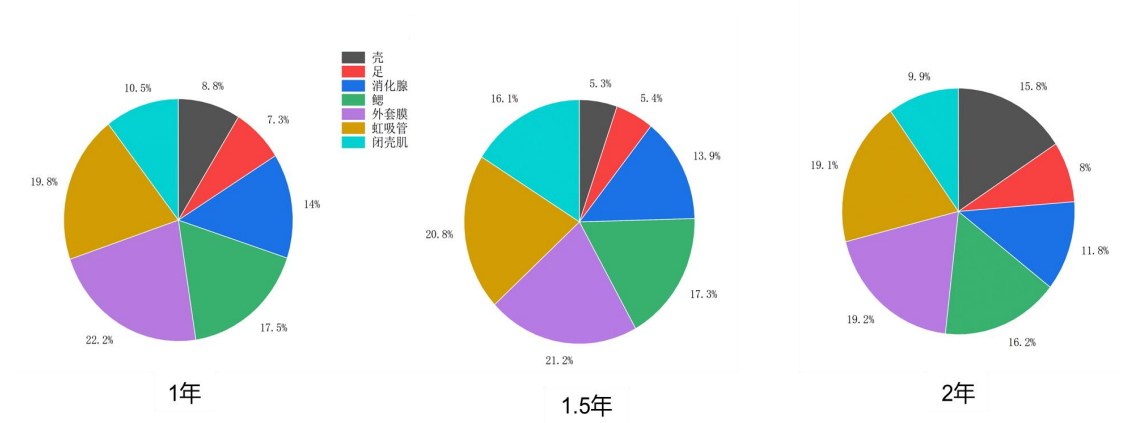


图 6 贻贝不同组织在 1-2 龄期生长周期内的碳含量比例

通过对壳长 8cm 以上的成年厚壳贻贝进行解剖、烘干、称重，获得成年厚壳贻贝生理参数（表 2）。已知 2024 年嵊泗贻贝总产量为 23.28 万吨，可计算获得成年厚壳贻贝碳储量为 25043 万吨（以碳计）。

表 2 嵊泗厚壳贻贝生理参数

贝类种类	贝肉干重比 (%)	贝壳干重比 (%)	贝肉碳含量 (%)	贝壳碳含量 (%)	干湿重比 (%)
厚壳贻贝	8.59	53.59	46.00	12.70	62.54

注：碳含量参考值来源于 HY/T 0349-2022。

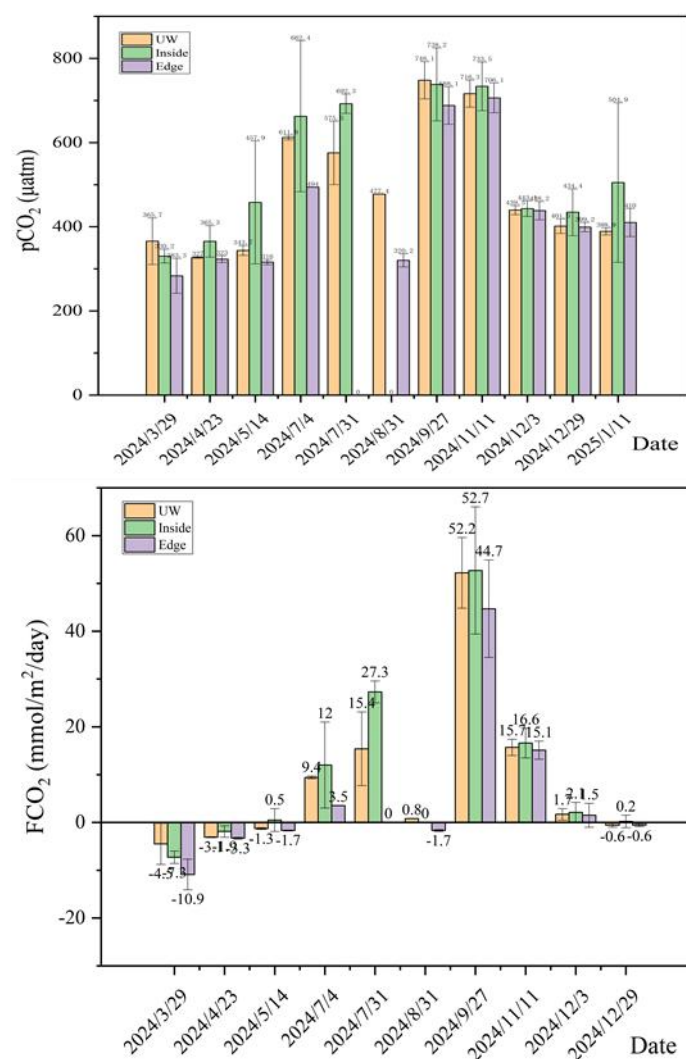


图 7 贻贝养殖海域的 pCO₂ (上图) 和海气二氧化碳通量 (下图) 的季节性变化

在进行嵊泗养殖海域表层海水二氧化碳通量分析时，pCO₂ 采用 CO₂_sys 程序计算获得；每个月的风速数据来源于 NOAA GSOD 数据集 http://eia-data.com/gsod_map/；大气二氧化碳分压数据取自全球平均值 424.5 ppm。经过计算，贻贝养殖海域的 pCO₂ 呈现显著的季节性变化，贻贝养殖海域在春季表现为碳汇，夏秋季节转变为碳源（图 7）。通过和邻近天然海洋本底通量的对比，在一年养殖期内，嵊泗贻贝养殖使养殖海域向大气排放了约 32.33 tC（表 3）。

表 2 2024 年嵊泗贻贝养殖区海-气界面通量数据

海气通量数据项	春季	夏季	秋季	冬季
FCO_2 自然本底 (mmol/m ² /day)	-6.91	3.09	0.41	-2.00
FCO_2 养殖海区 (mmol/m ² /day)	-3.87	5.59	-4.15	-1.57
ΔFCO_2 贻贝 (t C)	69.71	57.33	104.57	9.86
Total ΔFCO_2 贻贝 (t C)	32.33			

注：养殖面积取 2094 公顷，养殖周期取 1 年，计算公式参照公式（3）。

（三）预期的作用和效益

本标准将为贻贝养殖海域的碳汇量评估提供可量化、可报告、可核查的科学方法。通过规范贻贝养殖海域碳汇核算的原理、取样和测定方法、核算方法等技术要求，本标准为准确评估贻贝养殖海域的碳汇潜能奠定了可靠的技术基础，有助于全面摸清养殖海域的碳汇家底。

本标准的实施将为开展大区域贻贝养殖海域碳汇交易提供明确的核算依据，推动渔业领域积极参与碳交易市场，促进生态价值向经济价值的高效转化，为渔业企业开辟了新的经济增长点和发展机遇。

本标准的实施有助于完善我国海洋碳汇计量监测体系，为制定区域性渔业碳汇政策提供量化依据，同时也为政府决策提供了更为科学的依据，助力碳达峰、碳中和等国家环境目标的实现。

四、与国际标准和国外先进标准的比较

本标准与现有国内外标准对比情况如下：

表 4 本标准与国内外标准对比情况

序号	标准名称	标准对比结果
1	GB/T 30891-2014 水产品抽样规范	符合
2	HY/T 0349-2022 海洋碳汇核算方法	符合，细化补充
3	HY/T 0343.4-2022 海-气二氧化碳交换通量监测与评估技术规程	符合

4	HY/T 0305-2021 养殖大型藻类和双壳贝类碳汇核算方法碳储量变化法	符合，细化补充
5	DB33/T 472-2023 贻贝养殖技术规范	符合
6	SC/T 1133-2022 渔业碳汇计量方法	符合，细化补充
7	DB45/T1230-2015 红树林湿地生态系统固碳能力评估技术规程	符合，细化补充

五、与现行法律、法规和强制性标准的关系

本标准符合《中华人民共和国渔业法》《中华人民共和国海洋环境保护法》等国家渔业和养殖业相关法律法规。

六、重大分歧意见的处理经过和依据

本标准起草过程中，无重大分歧意见。

七、标准作为强制性标准或推荐性标准的建议

建议本标准作为推荐性地方标准。

八、贯彻标准的要求和措施建议

在贯彻实施过程中，标准制定部门应与相关职能部门形成合力，养殖企业、科研机构、政府监管部门及环保部门需加强沟通合作，共同推进标准的有效落实，确保碳汇核算过程透明、公开、公正。在各海域养殖贻贝碳汇开发项目中应严格执行制定的碳汇核算标准，确保所有相关企业、科研机构和监管部门遵循一致的核算方法和技术要求，保证核算数据的可比性和一致性。在标准执行时，要建立规范的现场数据采集流程，确保在不同时间节点收集包括贻贝生物量、海—气界面二氧化碳通量、环境参数等信息，并做好数据记录与保存。贻贝养殖海域的生态条件存在显著差异，标准贯彻过程中需要因地制宜，根据不同的海域特点，灵活调整部分核算参数，确保标准的适用性和准确性。为了保证标准的全面贯彻，应建立标准的培训和推广机制。组织对养殖企业、研究机构和相关政府部门的人员进行培训，帮助其熟悉标准要求和核算方法，确保标准在执行中的准确性和操作性。为提高核算效率与精准性，建议结合 GIS、遥感监测等技术手段，实现数

据的实时采集、分析和监控。

标准实施的过渡期建议为发布日期后的半年。

九、废止或替代现行有关标准文件的建议

本标准为首次起草。无废止或替代现行有关标准。

十、其他应予以说明的事项

本标准起草过程中主要引用或参考的技术文献有：

GB/T 30891-2014 水产品抽样规范

DB33/T 472-2023 贻贝养殖技术规范

DB45/T1230-2015 红树林湿地生态系统固碳能力评估技术规程

HY/T 0349-2022 海洋碳汇核算方法

HY/T 0343.4-2022 海-气二氧化碳交换通量监测与评估技术规程

HY/T 0305-2021 养殖大型藻类和双壳贝类碳汇核算方法碳储量变化法

SC/T 1133-2022 渔业碳汇计量方法

《贻贝养殖海域碳汇核算方法》标准起草小组

二〇二五年五月