海产品中氚的测定 管式燃烧法（征求意见稿）

编制说明

1 工作简况

1.1 任务来源

2023 年 1 月 13 日，北京预防医学会发出了关于开展 2023 年团体标准编制工作的通知，公开征集公共卫生与预防医学及相关专业领域的标准，旨在发挥学会的学术引领作用，完善北京卫生健康标准体系。

2021 起北京市疾病预防控制中心承担着北京市科学技术委员会课题“海产品中放射性元素的检测技术及风险评估研究”（Z211100007021010），建立海产品中氚的测量方法是课题的研究目的之一。基于承担相关课题前期研究的基础上，2023 年 2 月北京市疾病预防控制中心牵头向北京预防医学会申请《海产品中氚的测定 管式燃烧法》团体标准立项，2023 年 3 月 23 日经北京预防医学会团体标准立项论证会专家组协商一致同意立项，立项编号“202323”。

1.2 起草单位

本文件起草单位分别为北京市疾病预防控制中心，福建省职业病与化学中毒预防控制中心和核工业北京地质研究院。

1.3 工作过程

表 1.1 工作过程进度表

时间	工作内容
2023 年 3-4 月	调研国内外海产品中氚现状，包括限值标准、前处理方法、仪器设备、测量方法、活度水平和探测下限等
2023 年 4-5 月	在调研资料的基础上和各合作单位讨论目前海产品中氚测定中主要存在的问题，实施管式燃烧法测定海产品中氚可能面对的困难，确定海产品中氚的测定的技术路线
2023 年 5 月 5 日	参加“北京预防医学会团体标准”培训会
2023 年 5 月	测定实际样品，形成方法文本及撰写方法研制报告
2023 年 6-7 月	方法验证方案设计，组织进行方法验证
2023 年 8 月	汇总验证单位的方法验证报告，征求意见稿和编制说明撰

	写。

1.4 标准编制组成员及其所做的主要工作

本标准主要起草人：王欢，马永忠，孙亚茹，姚美男，白斌，张燕，郑琪珊，王铁健，田飞。

表 1.2 标准制定任务分工

人员（单位）	承担工作
王欢（北京市疾病预防控制中心）	全面负责海产品中氚的测定管式燃烧法的研制工作：包括方法研制技术的调研和方案制定，撰写方法文本，组织方法验证，进行方法研制实验，撰写征求意见稿和编制说明。
马永忠（北京市疾病预防控制中心）	协调项目的实施、开展、上报以及材料的审核工作。
孙亚茹（北京市疾病预防控制中心）	参与方法研制实验，负责对方法文本的文字、公式的校准编辑。
姚美男（北京市疾病预防控制中心）	参与方法研制实验，验证单位实验数据汇总。
白斌（北京市疾病预防控制中心）	协调项目的实施、开展、上报以及材料的审核工作。
张燕，郑琪珊（福建省职业病与化学中毒预防控制中心）	参加方案的制定和标准起草过程的研讨，并提出修改意见。参与验证工作，包括验证实验、验证报告的撰写工作。
王铁健，田飞（核工业北京地质研究院）	参加方案的制定和标准起草过程的研讨，并提出修改意见。参与验证工作，包括验证实验、验证报告的撰写工作。

2 标准编制的必要性和预期效果

2.1 标准编制的必要性

2.1.1 氚的基本性质

氚是氢的放射性同位素，通过β粒子衰变为稳定的 ^{3}He，物理半衰期为 12.3 年，β射线最大能量为 18.6 keV，平均能量为 5.7 keV，在空气中的平均射程为 0.56 μm。

在自然界中，氚是由高能宇宙射线与上层大气中的氧原子和氮原子相互作用自然形成。然而，自核能问世以来，其主要的生产和释放来源一直来自核设施，特别是重水反应堆(HWR)。

2.1.2 氚对人体的危害

氚由于射程短，不易对人体产生外照射危害，但由于较长的半衰期及较高的同位素交换率和氧化率，进入机体后会对人体组织和器官造成内照射危害。可能引起细胞损伤效应、染色体畸变和急性损伤效应等。

海产品中的氚以组织自由水氚（TFWT, tissue free water tritium）和有机结合氚(OBT, organically bound tritium)的形态存在。人体食入的组织自由水氚进入血液后迅速与全身的水完全混合，氚水中的一部分（1%～5%，平均 3%）转变为有机结合氚。人体食入的有机结合氚以不同的化合物形态（如蛋白质、碳水化合物、脂肪、氨基酸等）存在，吸附在氧、硫、氮、磷原子上的氚和容易与身体水代谢库中的氢进行交换，然而结合到碳上的氚代谢很慢，有机结合氚的生物半排期是 40 天。

相比于组织自由水氚，海产品中的有机结合氚所致内照射剂量更高。因此，建立海产品中氚的测定方法，分别测定食品中组织自由水氚和有机结合氚的含量，进行氚致居民受照剂量估算，对保护公众健康具有重要意义。

2.1.3 海产品中氚测定的必要性

2021 年 4 月 13 日，日本政府正式决定，将福岛第一核电站经过处理的核污水排放入海。排放行动预计于 2023 年启动，将持续数十年，本次排放 125 万吨核污水主要涉及氚（排放浓度 60 000 Bq/L）、碳-14（排放浓度不详）及其他放射性核素（浓度较低）。2023 年 8 月 24 日，日本政府宣布福岛第一核电站核污水开始排入海洋，计划排放 30 年。福岛核电站核污水排入大海后，将对海洋环境、海洋生物、近海的农产品造成放射性污染。海洋生物可以通过新陈代谢从环境中吸收和积累放射性物质，成为放射性物质的携带者与传播者，还可以经由食物链在高营养级生物中富集和传递。通过食用被污染的海产品，间接摄取了被污染海水中的各种放射性核素，有可能影响人类的饮食安全。

我国海洋渔业资源丰富，鉴于我国海产品存在被核污水污染的风险，因此建立海产品中氚的测定方法，为海产品中氚的常规监测和应急监测提供技术支撑，

具有重要的经济效益和社会效益。

2.2 预期效果

建立海产品中氚的测定方法，实现分别测定海产品中组织自由水氚和有机结合氚的含量，使本方法在海产品中氚的常规监测和应急监测中得到推广使用。

三、标准编制的原则和依据

本标准的编制结合国内相关的标准、文献，为保护人类健康，对海产品中氚的测定进行了实验优化，建立检测方法，同时选择 3 个单位开展方法验证，进一步确认方法的有效性和适用性。通过前期调研，本标准既参考了国外最新和应用较广的检测技术，同时又考虑国内现有检测机构的检测能力和实际情况。

四、主要技术内容的论据

4.1 方法原理

本方法拟采用冷冻干燥法收集海产品中组织自由水氚，管式燃烧法收集海产品有机结合氚，经纯化后制样，通过液体闪烁计数器分别测定组织自由水氚和有机结合氚含量。

组织自由水氚：海产品鲜样经真空冷冻后，存在于组织、细胞和细胞间隙中游离态的水结冰，利用升华原理，固态冰升华为水蒸气，再经过冷冻和解冻后，成为自由水，经纯化后与闪烁液混匀，用液体闪烁计数器测定样品中组织自由水氚的含量。

有机结合氚：干燥后的海产品样品放入管式氧化燃烧装置中，通入设定比例的氧气/氮气混合气体，预设升温程序，加热氧化燃烧，海产品中有机结合氚转化成水蒸汽后通过冷凝收集形成冷凝水。冷凝水中加入高锰酸钾和碳酸钠后常压蒸馏，纯化所得水样品与闪烁液混匀，用液体闪烁计数器测定样品中有机结合氚的含量。

4.2 主要技术依据

4.2.1 组织自由水氚收集后纯化实验

海产品中收集的组织自由氚水中阳离子浓度较高，导致电导率较高。如果氚活度较低，使用固体聚合物电解质电解浓集装置对氚进行电解浓集时，需要降低电导率再进行电解浓集，再使用液体闪烁计数器测量。利用阳离子交换树脂可以起到纯化组织自由氚水降低电导率的作用。本研究利用阳离子交换树脂装柱，柱

高 10 cm，柱直径 1.5 cm。

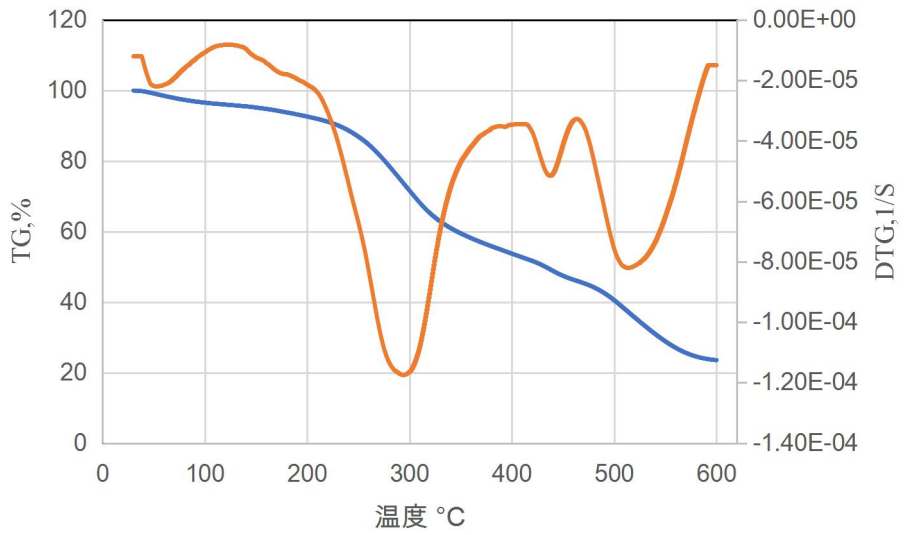
表 4.1 组织自由氚水纯化实验

样品名称	初始电导率 μS/cm	第一次过柱后电导率μS/cm	第二次过柱后电导率μS/cm
黄花鱼	12.8	1.357	0.981
海白虾	9.62	1.287	0.996
黄蚬子	14.3	2.06	0.934
海鲈鱼	10.1	1.294	0.978
皮皮虾	13.5	3.15	1.221
淡菜	11.5	1.257	0.833

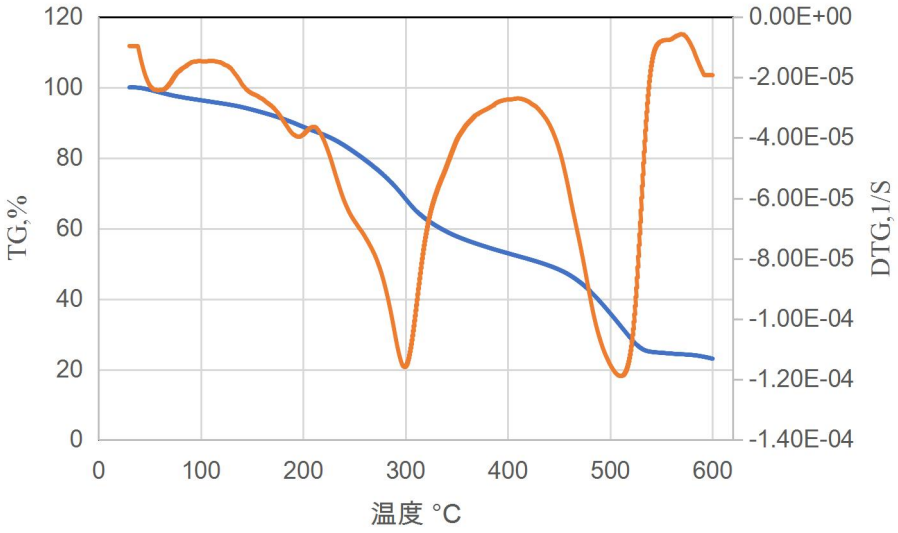
从表 4.1 可以看出，通过冷冻干燥设备收集海产品中组织自由氚水电导率较高，经阳离子交换柱 2 次后，电导率大部分均能达到 1 μS/cm 以下。

4.2.3 氧化燃烧条件优化实验

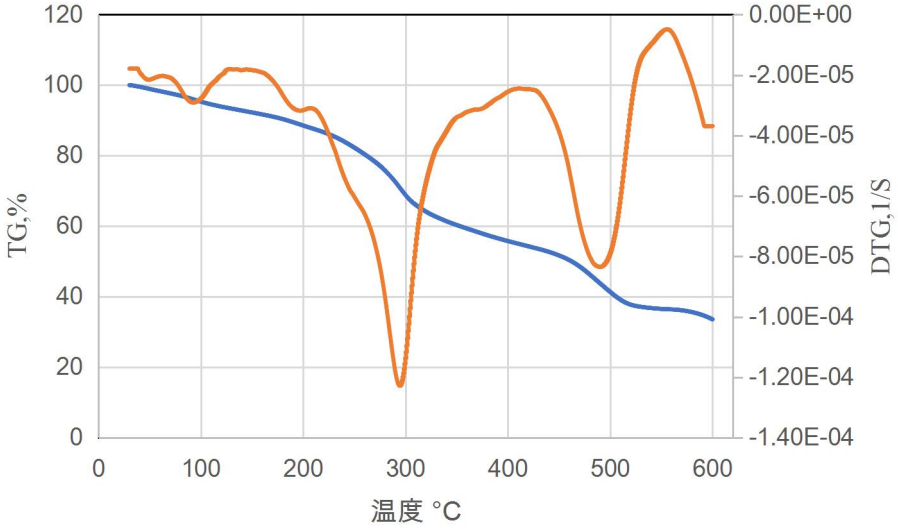
为确定海产品氧化燃烧升温程序，保证海产品在氧化燃烧装置中燃烧完全，对海鲈鱼、皮皮虾、梭子蟹、蛏子和海藻进行热重分析。



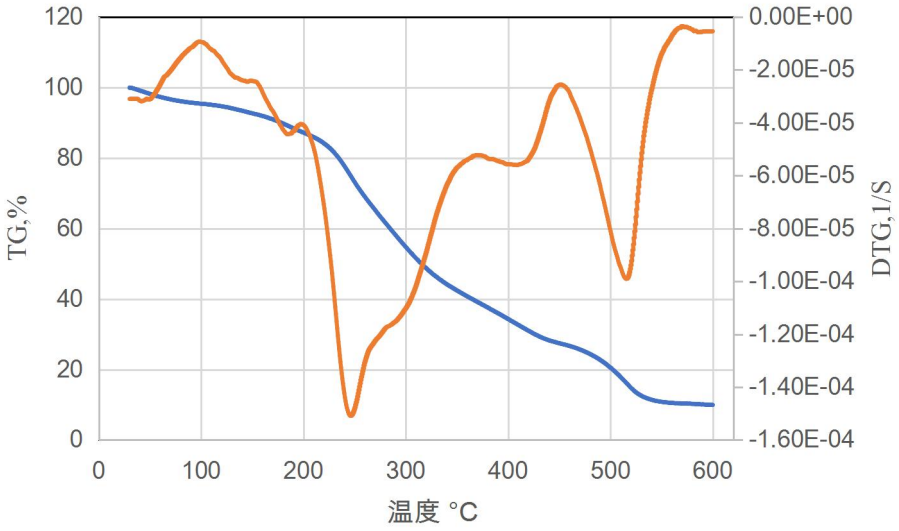
(a) 海鲈鱼热重曲线（TG，蓝色）和热重微分曲线（DTG，棕色）曲线



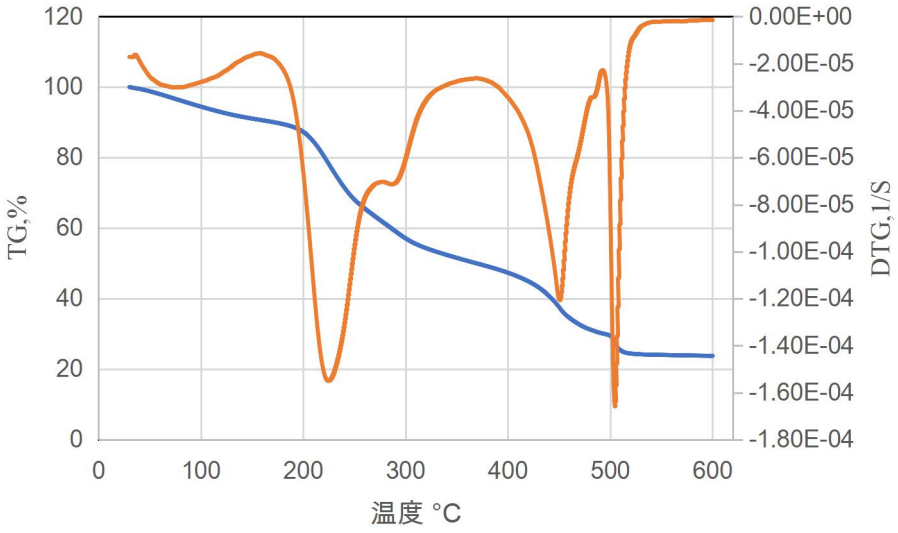
(b) 海白虾热重曲线（TG，蓝色）和热重微分曲线（DTG，棕色）



(c) 梭子蟹热重曲线（TG，蓝色）和热重微分曲线（DTG，棕色）



(d) 蛏子热重曲线（TG，蓝色）和热重微分曲线（DTG，棕色）



(e) 海藻热重曲线（TG，蓝色）和热重微分曲线（DTG，棕色）

图 4.1 不同海产品热重曲线（TG，蓝色）和热重微分曲线（DTG，棕色）

海产品在热解阶段样品分解较快，需要对其缓慢升温保持其不因过快分解而造成不完全氧化。非热解阶段则可以较快升温，减少氧化燃烧总体时间。根据热重分析结果，结合实际氧化燃烧流程的时间，确定了海产品氧化燃烧时升温曲线的节点，见表 4.2。

表 4.2 海产品氧化燃烧节点温度

温度节点 ℃	保温时长 min
160	30
260	60

400	60
600	40

室温至160℃和400℃至600℃间的升温速率设为5℃/min,将160℃升至400℃间的升温速率分别设置为1、1.5和2.5℃，取30g冷冻干燥后的海白虾样品放置在燃烧舟中进行氧化燃烧。升温速率对氧化燃烧的结果见表4.3。

表 4.3 升温速率对氧化燃烧结果的影响

样品重量 g	160～400℃升温速率 ℃/min	实验现象
30	2.5	样品燃烧过程中出现明火，收集水样呈黄色
30	1.5	收集水样澄清
30	1.0	收集水样澄清

综合考虑氧化燃烧效果和燃烧时间，160℃升至400℃间的升温速率设置为1.5℃/min。最后经优化的氧化燃烧升温程序见表4.4。催化区（C）温度设置为750℃，回收区（A）温度设置为400℃，氧化燃烧装置示意图见图4.2，氧化燃烧区（B）升温程序见表4.4。

表 4.4 优化的氧化燃烧程序

阶段	温度	升温速率℃/min或保温时间 min	催化区 O_2 L/min	氧化燃烧区 N_2 L/min	氧化燃烧区 O_2 L/min
1	160	5℃/min	0.2	0.4	0.1
2	160	30 min	0.2	0.4	0.1
3	260	1.5℃/min	0.2	0.4	0.1
4	260	60 min	0.2	0.4	0.1
5	400	1.5℃/min	0.2	0.4	0.1
6	400	60 min	0.2	0.1	0.4
7	600	5℃/min	0.2	0.1	0.4
8	600	40 min	0.2	0.1	0.4

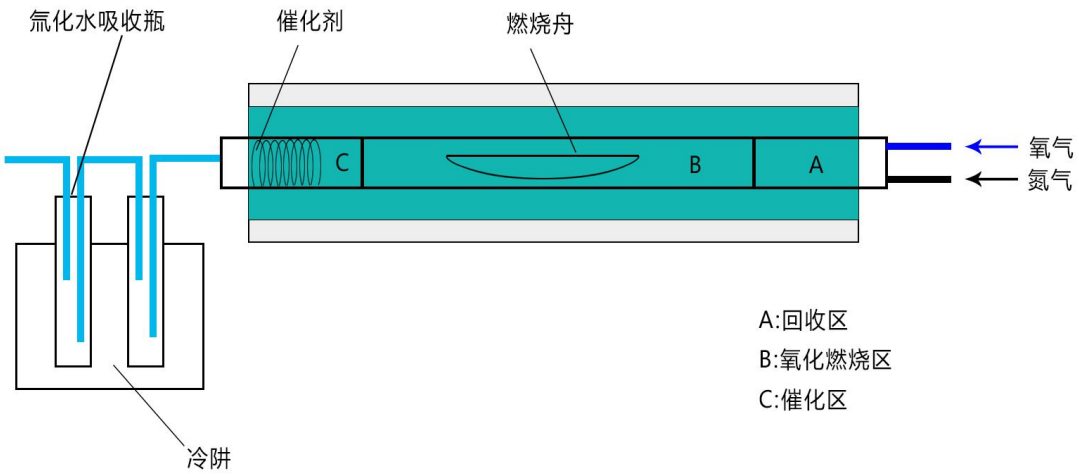


图 4.2 氧化燃烧装置示意图

通过燃烧效率ε评价燃烧升温程序的氧化燃烧效果，见公式 4.1

$$\varepsilon = \frac{m_1p_1 - m_2p_2}{m_1p_1} \qquad (4.1)$$

ε：燃烧效率，%；

m_1：氧化燃烧前样品质量，g；

p_1：氧化燃烧前样品氢含量，%；

m_2：氧化燃烧后样品灰质量，g；

p_2：氧化燃烧后样品灰氢含量，%；

表 4.5 样品氧化燃烧效率

样品名称	样品质量 g	样品氢含量 %	样品灰质量 g	样品灰氢含量 %	燃烧效率%
海鲈鱼	30	6.12	5.208	0.195	99.4
海白虾	30	6.19	3.721	0.279	99.4
梭子蟹	30	5.12	11.250	0.215	98.4
蛏子	30	6.17	4.056	0.145	99.7
海藻	30	4.38	6.765	0.341	98.2
平均值±标准偏差				99.0±0.7	

按照表 4.4 中的氧化燃烧程序，样品燃烧效率均能达到 98%以上。

4.2.4 回收率的测定

因为氚是氢的同位素，两者的化学性质相似，样品中氢的回收率可认为是氚的回收率。氧化燃烧氢回收率的测定方法有两种。一是使用元素分析仪测定样品中氢元素含量，根据实际收集的水质量与氧化燃烧前样品质量计算出理论产水质量相比，计算回收率。二是通过氧化燃烧葡萄糖，其分子式为 $C_6H_{12}O_6$，氢含量为 6.67%，实际收集的水质量与计算出理论产水质量相比，计算回收率。回收率公式见公式 4.2。

$$\eta = \frac{m_3 p_3}{m_1 p_1} \qquad (4.2)$$

η：氧化燃烧氢（氚）回收率，%；

m_1：氧化燃烧前葡萄糖质量，g；

p_1：葡萄糖氢含量，6.67%；

m_3：实际收集水质量，g；

p_3：水中氢含量，11.1%。

表 4.6 样品氧化燃烧氢（氚）回收率

样品名称	样品质量 g	理论水质量 g	实际水质量 g	回收率 %	回收率均值±标准偏差%
海鲈鱼	30	16.534	15.302	93.1	93.7±1.3
	30	16.534	15.656	95.2	
	30	16.534	15.272	92.9	
葡萄糖	30	18.000	17.198	95.5	94.5±0.9
	30	18.000	16.920	94.0	
	30	18.000	16.893	93.8	

氧化燃烧装置对海产品样品氢（氚）的回收率见表 4.6。由于元素分析仪取样量较少，约 2mg 左右，元素分析的准确性取决于样品混合是否均匀，此外，元素分析仪的价格昂贵，维护繁琐。实验用优级葡萄糖氢元素含量确定，操作简单，价格低廉，推荐选用葡萄糖进行回收率测定。回收率范围为 93.8%～95.5%，均值为 94.5%。

4.2.5 方法探测下限确定

海产品中常压蒸馏组织自由水氚的探测下限按公式 4.3 计算。

$$L_{\mathrm{D}}(TFWT)=\frac{4.65\sqrt{\frac{N_{\mathrm{b}}}{t_{\mathrm{b}}}}\times\omega_{\mathrm{H}}}{60\times m_{\mathrm{H}}\times E_{\mathrm{H}}}\times 1000 \qquad (4.3)$$

L_{D}（$TFWT$）：海产品中组织自由水氚探测下限，Bq/(kg•鲜)；

N_{b}：氚本底样品计数率，cpm；

t_{b}：氚本底样品测量时间，min；

ω_{H}：海产品的含水率;

m_{H}：氚测量所量取的水样质量，g；

E_{H}：仪器对氚的探测效率。

海产品中电解浓集组织自由水氚的探测下限按公式 4.4 计算。

$$L_{\mathrm{D}}(TFWT)=\frac{4.65\sqrt{\frac{N_{\mathrm{b}}}{t_{\mathrm{b}}}}\times\omega_{\mathrm{H}}}{60\times m_{\mathrm{H}}\times E_{\mathrm{H}}\times\eta}\times 1000 \qquad (4.4)$$

η：电解浓集因子;

其余同公式 4.3。

海产品中组有机结合氚的探测下限按公式 4.5 计算。

$$L_{\mathrm{D}}(OBT)=\frac{4.65\sqrt{\frac{N_{\mathrm{b}}}{t_{\mathrm{b}}}}\times m_{\mathrm{OBT}}(1-\omega_{\mathrm{H}})}{60\times m_{\mathrm{H}}\times E_{\mathrm{H}}\times Y_{\mathrm{H}}\times M}\times 1000 \qquad (4.5)$$

L_{D}（OBT）：海产品中有机结合氚探测下限，Bq/(kg•鲜)；

m_{OBT}：海产品氧化燃烧后产生的水样量，g；

Y_{H}：氧化燃烧装置对海产品中氢（氚）的回收率；

M：氧化燃烧时海产品干粉的质量，g；

其余同公式 4.3。

表 4.9 典型条件下海产品中常压蒸馏组织自由水氚和有机结合氚探测下限

样品类别	鲜样含水率%	仪器效率	本底 cpm	回收率%	单位干样出水率%	组织自由水氚 Bq/(kg•鲜)	有机结合氚 Bq/(kg•鲜)
海鲈鱼	74.7	0.313	1.75	94.5	52.0	0.967	0.180
海白虾	74.8	0.313	1.75	94.5	56.7	0.968	0.196
梭子蟹	82.9	0.313	1.75	94.5	67.2	1.073	0.157

蛏子	79.0	0.313	1.75	94.5	55.2	1.023	0.159
海藻	84.1	0.313	1.75	94.5	63.2	1.089	0.138

五、主要试验（或验证）的分析、综述报告

5.1 方法验证

5.1.1 编制组组织了 4 家有资质的实验室进行方法验证，编制验证报告。验证主要内容包括精密度、准确度和实际样品测量。验证单位及使用主要仪器设备见表 5.1.

表 5.1 研制单位和研制单位使用仪器设备

单位编号	单位名称	电解浓缩装置型号/厂家	氧化燃烧装置	液闪测量装置
1	北京市疾病预防控制中心	TE-3 /中国辐射防护研究院	OTCS11/3/上海怡星	3170TR/SL /PE
2	福建省职业病与化学中毒预防控制中心	ECTW-1 /上海怡星	GR-TC0-2 /中检维康	Quantulus1220 /PE
3	核工业北京地质研究院	T3-12 /核工业北京地质研究院	QSK2-5-12 /西尼特电炉有限公司	Quantulus1220 /PE
4	浙江省疾病预防控制中心	SPE TE-2022 /青稻川	OTCS11/3 /上海怡星	Quantulus1220 /PE

5.1.2 方法验证样品的配制和分装

海白虾样品经实验室冷冻干燥后，收集组织自由水氚，混匀后分发给 4 家实验室进行组织自由水氚测量。收集冷冻干燥后海白虾样品，粉碎混匀，分发给 4 家实验室进行有机结合氚测量。

5.1.3 方法验证开展时间

方法验证样品于 2023 年 7 月寄给各验证参加单位，验证开展时间为 2023 年 7 月至 8 月。

5.1.4 精密度

4 家实验室分别测定两种活度浓度加标海白虾自由水样品，每个活度水平三个平行样，取平均值。计算每种活度的相对标准偏差（RSD）。

表 5.2 组织自由水氚方法精密度

单位编号	氚加标值 Bq/L	氚测量值 Bq/L			RSD%
1	50	49.7	47.0	48.3	2.32
	100	92.6	95.5	101.1	3.67
2	50	45.0	45.1	44.9	0.23
	100	94.3	94.1	93.4	0.50
3	50	49.2	47.0	49.1	2.09
	100	102.0	98.5	97.0	2.15
4	50	52.2	52.3	52.2	0.05
	100	101.1	96.9	101.7	2.62

4 家实验室分别测定三种活度加标海白虾粉末样品，每个活度水平三个平行样，取平均值。计算每种活度的相对标准偏差（RSD）

表 5.3 有机结合氚方法精密度

单位编号	氚加标值 Bq/(kg·干样)	氚测量值 Bq/(kg·干样)			RSD%
1	33.3	32.5	31.3	30.3	2.90
	333.3	332.0	303.4	315.7	3.69
	1666.7	1614.5	1576.6	1624.6	1.29
2	33.5	31.2	30.9	32.2	2.20
	333.5	312.8	324.9	332.9	3.14
	1668.8	1543.7	1536.8	1530.8	0.42
3	33.3	31.3	32.9	31.5	2.27
	333.3	333.1	329.4	319.4	1.78
	1666.7	1720.3	1638.9	1633.8	2.38

4	33.3	30.8	31.0	30.1	1.47
	333.3	301.0	311.5	312.6	1.70
	1666.7	1588.7	1598.2	1579.7	0.58

5.1.5 准确度

4 家实验室分别测定两种活度浓度加标海白虾自由水样品，每个活度水平三个平行样，取平均值。计算每种活度的加标回收率。

表 5.4 组织自由水氚方法准确度

单位编号	氚加标值 Bq/L	氚回收率%			不同加标浓度回收率范围%	不同组回收率范围%
1	50	99.5	94.0	96.7	94.0～99.5	92.6～101.1
	100	92.6	95.5	101.1	92.6～101.1	
2	50	90.0	90.2	89.8	89.8～90.2	89.8～94.0
	100	94.0	93.8	93.2	93.2～94.0	
3	50	98.5	94.1	98.2	94.1～98.5	94.1～102.0
	100	102.0	98.5	97.0	97.0～102.0	
4	50	104.5	104.6	104.5	104.5～104.6	96.9～101.7
	100	101.1	96.9	101.7	96.9～101.7	

4 家实验室分别测定三种活度加标海白虾粉末样品，每个活度水平三个平行样，取平均值。计算每种活度的加标回收率。

表 5.5 有机结合氚方法准确度

单位编号	氚加标值 Bq/(kg·干样)	氚回收率%			不同加标浓度回收率范围%	不同组回收率范围%
1	33.3	97.5	93.9	90.8	90.8～97.5	90.8～99.6
	333.3	99.6	91.0	94.7	91.0～99.6	
	1666.7	96.9	94.6	97.5	94.6～97.5	
2	33.5	93.2	92.4	96.3	92.4～96.3	91.7～99.8

	333.5	93.8	97.4	99.8	93.8～99.8	
	1668.8	92.5	92.1	91.7	91.7～92.5	
3	33.3	93.9	98.8	94.6	93.9～98.8	93.9～103.2
	333.3	99.9	98.8	95.8	95.8～99.9	
	1666.7	103.2	98.3	98.0	98.0～103.2	
4	31.2	92.5	93.0	90.5	90.5～93.0	90.3～95.9
	333.3	90.3	93.5	93.8	90.3～93.8	
	1558.3	95.3	95.9	94.8	94.8～95.9	

5.1.6 样品的测定

各实验室分别对海白虾组织自由水和海白虾粉末进行组织自由水氚和有机结合氚的测量，每个样品测三次，分析结果如下。

表 5.6 海白虾组织自由水氚 Bq/(kg•鲜)

实验室编号	测量值			平均值	RSD%
1	1.02	1.05	1.29	1.10	11.0
2	LLD	LLD	LLD	——	——
3	0.939	0.910	0.790	0.88	7.3
4	0.930	1.24	1.31	1.16	17.7

注：LLD 为探测下限，探测下限为 1.803 Bq/(kg•鲜样)，测量时使用低钾玻璃瓶。

表 5.6 海白虾有机结合氚 Bq/(kg•鲜)

实验室编号	测量值			平均值	RSD%
1	0.225	0.217	0.281	0.241	11.8
2	0.288	0.268	0.274	0.276	3.7
3	0.306	0.356	0.331	0.331	7.5
4	0.994	1.314	1.200	1.169	13.9

5.2 主要试验综述报告

本标准通过对海产品冷冻干燥、氧化燃烧处理后分别收集组织自由水氚和有机结合氚，样品经纯化处理后使用液体闪烁计数器进行测量，实现了海产品中组织自由水氚和有机结合氚的测定。本次标准制定过程中，组织自由水氚和有机结

合氚均选定了 4 家单位进行了方法验证。分别进行了组织自由水氚和有机结合氚的精密度和准确度验证，测定了海白虾样品中的组织自由水氚和有机结合氚。目前《食品安全国家标准 食品中放射性物质氢-3 的测定》（GB 14883.2—2016），样品前处理是将食品鲜样经氧化-燃烧，使组织自由水氚和有机结合氚全部转化为水，此方法无法实现分别测定组织自由水氚和有机结合氚。为此，本标准重点展开组织自由水氚和有机结合氚分别测定的研究。对于样品制备方法、回收率、不确定度、探测下限等问题，进行了研究。同时，考虑我国目前国情，部分地区经济条件以及技术条件有所差异，对方法的可行性和适用性均进行了充分考虑。通过制定本标准，希望能够更好地满足各级检验机构的实际应用需求，切实保障海产品中氚的测定的要求。

六、采用国际标准的程度与水平的简要说明

6.1 国际标准化组织

ISO 9698-2019《Water quality-Determination of Tritium Activity Concentration》

ISO 13168-2015 《Water quality-Simultaneous Determination of Tritium and Carbon 14 Activities-Test method using liquid scintillation counting》

6.2 美国测试材料协会

ASTM D4107-2020 《Standard Test Method for Tritium in Drinking Water》

6.3 英国标准

BS EN 9698-2019 《Water quality-Determination of Tritium Activity Concentration》

上述四个标准只适用于水中氚的测量，没有规定海产品中氚的测量方法。

6.4 日本文部科学省 放射能測定法シリーズ 9 トリチウム 分析法（2002）

该标准适用于各种介质中氚的测定，其中生物中氚的测量包括组织自由水氚和有机结合氚，组织自由水氚采用冷冻法收集，有机结合氚的收集采用管式燃烧法。

本标准采取冷冻干燥法收集组织自由水氚，管式燃烧法收集有机结合氚，液体闪烁计数器进行测量。

七、标准涉及的专利及相关知识产权说明

本标准不涉及专利及相关知识产权。

八、重大意见分歧的处理经过和依据

标准在制定过程中未出现重大分歧意见。

九、其他应予说明的事项

无其他说明事项。