

同位素内标法-高效液相色谱-串联质谱法测定海产品中的甲醛含量

廖艳华, 周劭桓*, 林文斯

(广西壮族自治区疾病预防控制中心, 南宁 530028)

摘要: **目的** 建立同位素内标-高效液相色谱-串联质谱法测定海产品中甲醛的分析方法。**方法** 样品经水超声处理, 10%三氯乙酸(V/V)溶液沉淀蛋白, 正己烷除脂肪净化后, 下清液通过 2,4-二硝基苯肼衍生, 衍生产物经电喷雾离子源电离, 多反应监测(multiple reaction monitoring, MRM)模式检测和内标法定量。**结果** 甲醛衍生物的检测线性范围为 1.0~50.0 ng/mL, 相关系数为 0.9996, 方法检出限为 1.0 µg/kg。平均加标回收率在 71.4%~94.0%之间, 相对标准偏差<15.0%。**结论** 该方法前处理简单、快速、有效、准确灵敏, 适合于海产品中甲醛的定性、定量检测。

关键词: 同位素内标法; 衍生; 高效液相色谱-串联质谱法; 海产品; 甲醛

Determination of formaldehyde content in seafood by isotope internal standard method-high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry

LIAO Yan-Hua, ZHOU Shao-Huan*, LIN Wen-Si

(Guangxi Center for Disease Control and Prevention, Nanning 530028, China)

ABSTRACT: Objective To establish a method for determination of formaldehyde content in seafood by isotope internal standard method-high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry (HPLC-MS/MS). **Methods** The sample were pretreated by ultrasonic treatment with water, with precipitation of protein by 10% trichloroacetic acid (V/V), and then purified with hexane. Supernatant was derived with 2,4-dinitrobenzenehydrazin, the derivative product was detected by MS/MS using negative electrospray ionization under the multiple reaction monitoring(MRM) and analyzed by internal standard method. **Results** The linear ranges for formaldehyde derivatives were 1.0–50.0 ng/mL, with the correlation coefficient 0.9996. The limits of detection were 1.0 µg/kg. The average recoveries were in the range of 71.4%–94.0%, with the relative standard deviations (RSDs) <15.0%. **Conclusion** This method is simple, rapid, effective, accurate and sensitive. It is suitable for the qualitative and quantitative determination of formaldehyde in marine products.

KEY WORDS: isotope internal standard; derivatization; high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry; seafood; formaldehyde

基金项目: 广西壮族自治区卫生厅科研课题(Z2014166)、广西医疗卫生适宜技术与推广应用项目(S2019066)

Fund: Supported by Scientific Research Project of Health Department of Guangxi Zhuang Autonomous Region(Z2014166), and the Guangxi Medical and Health Appropriate Technology and Promotion and Application Project(S2019066)

*通讯作者: 周劭桓, 博士, 副主任医师, 主要研究方向为食品理化检验与食品安全风险监测检测。E-mail: 88389778@qq.com

*Corresponding author: ZHOU Shao-Huan, Ph.D, Associate Chief Physician, Guangxi Center for Disease Control and Prevention, Nanning 530028, China. E-mail: 88389778@qq.com

1 引言

甲醛是无色,有强烈刺激性气味,易溶于水、醇和醚的挥发性气体。其 30%~40%的水溶液为福尔马林溶液,工业上常用作消毒和防腐剂,已经被世界卫生组织确认为致癌和致畸物质^[1]。美国环境保护局建议每日容许摄入量不超过 0.2 mg/kg^[2]。

基于甲醛对人体的危害,我国相关部门先后对食品中甲醛的添加限量作了相应规定,食品整治办[2008]3 号《食品中可能违法添加的非食用物质和易滥用的食品添加剂品种名单(第一批)》^[3]规定,工业用甲醛不能在海参、鱿鱼等干水产品中使用;农业部曾在 2002 年颁布 NY 5172-2002《无公害食品 水发水产品》^[4]规定的甲醛限量为 10 mg/kg。这些标准或法规制定的原则是在基于水产品自身不含甲醛的前提下制定的,但后续在样品监测和研究中发现,不同种类食品中存在不同含量范围的甲醛本底含量,因此在水产品中检出甲醛并超过限量标准值时,无法判断检出值是样品本身带来的还是人为添加的,这给相关部门执法造成了很大程度的争议。2014 年 1 月 1 日 NY 5172-2002 标准公布作废。目前,水发产品中的甲醛无相关限值标准。干制水产品中的甲醛限量按 NY/T 1712-2018《绿色食品 干制水产品》^[5]执行,为 10 mg/kg。

海产品或水发水产品中甲醛标准限值的制定一是基于推荐健康指导值并结合人均消费量进行综合风险评估;二是对其样品本底甲醛含量系统和有针对性的研究情况制定,三是建立可靠的分析检测方法。目前,现行的标准检测方法中明确表示可用于水产品中甲醛的标准方法是 SC/T 3025-2006《水产品中甲醛的测定》^[6];其他相关的检测标准有:NY/T 1283-2007《香菇中甲醛含量的测定》^[7];NY/T 3292-2018《蔬菜中甲醛含量的测定 高效液相色谱法》^[8];DB12/T 883-2019《食用菌中甲醛的测定 高效液相色谱法》^[9];GB/T 21126-2007《小麦粉与大米粉及其制品中甲醛次硫酸氢钠含量的测定》^[10]。以上标准中涉及的检测方法主要有分光光度法和高效液相色谱法,分光光度法主要是通过水蒸气蒸馏出甲醛后用乙酰丙酮作为显示剂比色测定。液相色谱法主要采用 2,4-二硝基苯肼作为衍生剂,把甲醛衍生成具有紫外吸收的甲醛-2,4-二硝基苯腙,从而定性定量。本研究采用同位素内标-高效液相色谱-串联质谱法,对海产品中甲醛含量进行检测,并对衍生剂的选择和衍生条件进行优化,以期水产品质量安全的保障提供参考。

2 材料与方法

2.1 仪器与设备

4000 QTAP 超高性能液相色谱串联质谱联用仪(新加

坡 AB SCIEX 公司); 3-18K 台式高速离心机(美国 Sigma 公司); GL-888 涡旋混合器(海门市其林贝尔仪器制造有限公司); HH-4 恒温水浴锅(国华电器有限公司); XA205DU 电子分析天平(瑞士梅特勒公司)。

甲醛标准溶液(9.69 mg/L, 深圳市时得佳科技有限公司); 甲醛 2,4 二硝基苯腙标准品(纯度 99.0%, 德国默克公司); 肟代甲醛 DNPH-3,5,6-d3 标准品(纯度 98.6%, 加拿大 TRC 公司); 乙腈(色谱纯, 上海安谱实验科技股份有限公司); 2,4-二硝基苯肼(分析纯, 上海试剂三厂); 无水乙醇(分析纯, 天津市福辰化学试剂厂); 正己烷(色谱纯, 上海安谱实验科技股份有限公司); 氨水(分析纯, 纯度 25%, 广东省化学试剂工程技术研究中心); 色谱柱(Phenomenex kinetex, XB-C₁₈ 100A 100 mm×3.0 mm, 1.7 μm); 水为超纯水仪制备的超纯水(电阻率 0.025 ms/cm)。

2.2 样品来源

样品为市售水产品,包含车螺(贝类产品)、马鲛鱼和鲳鱼(海产鱼类)、花蟹(蟹类)和明虾(虾类)。

2.3 溶液的配制

衍生剂的纯化:称取约 20 g 2,4-二硝基苯肼于烧杯中,加入 167 mL 乙腈和 500 mL 水,搅拌至完全溶解,放置过夜,用定性滤纸过滤后分别用水和无水乙醇反复洗涤 5~6 次至于干燥器中备用。

衍生剂溶液的配制(2 g/L):称取以上经过纯化的 2,4-二硝基苯肼 200 mg,用乙腈溶解并定容至 100 mL 容量瓶中,置冰箱保存备用。

2.4 实验方法

2.4.1 样品处理

样品提取:称取均质后的样品 2.5 g 至 50 mL 聚丙烯离心管中,加入 20 mL 水,盖紧盖子,涡旋混匀 30 s,超声提取 10 min,取出,再加入 4 mL 10%三氯乙酸,涡旋充分混匀 1 min,于 4 °C, 10000 r/min 离心 10 min;移取全部上清液于另一干净带刻度离心管中,用氨水(1:1, V:V)调节 pH 为 3~5,用水定容至 25 mL。

样品净化:于上述处理液中加入 5 mL 正己烷,涡旋充分混匀提取脂肪,于 3800 r/min 离心 5 min。取 5.00 mL 下层液至一干净玻璃离心管中。

样品衍生:加入 0.5 mL 衍生剂溶液,混合均匀,于 50 °C 水浴衍生 20 min。取出用水冷却到室温,加入 5.00 mL 色谱纯正己烷萃取衍生物,待萃取平衡后,取上层萃取液过 0.22 μm 滤膜,并取 1.00 mL 加入 100 ng/mL 肟代甲醛 DNPH-3,5,6 标准溶液 100 μL 后上机测定。

2.4.2 标准曲线的绘制

吸取 0.25 mL 甲醛标准溶液于 10 mL 容量瓶中,用超纯水定容至刻度,制成含甲醛浓度 242 ng/mL 的标准使用

溶液。再分别吸取以上标准使用溶液 20、40、100、200、400、1000 μL 于 10 mL 比色管中, 加少量水后, 用氨水(1:1, $V:V$)调节 pH 为 3~5, 补水至 5.00 mL。以下按 2.4.1 样品衍生操作。制成甲醛浓度级别为 1.0、2.0、5.0、10.0、20.0、50.0 ng/mL 的标准溶液(内标浓度均为 10.0 ng/mL)。供样品测定用, UPLC-MS/MS 分析后绘制标准曲线。

2.4.3 仪器测定条件

(1) 色谱条件

色谱柱: Phenomenex C_{18} 柱(100 mm \times 3.0 mm, 1.7 μm); 柱温: 40 $^{\circ}\text{C}$; 流速: 0.5 mL/min; 进样量: 5 μL ; 流动相及洗脱条件见表 1。

表 1 流动相梯度洗脱程序
Table 1 Mobile phase gradient elution procedure

时间/min	流动相体积比/%	
	水	乙腈
0	80	20
5.00	10	90
6.00	10	90
6.10	80	20
10.00	80	20

(2) 质谱条件

离子源: 电喷雾离子源(electrospray ionization, ESI), 负离子方式; 检测模式: 多反应监测(multiple reaction monitoring, MRM); 离子源温度: 550 $^{\circ}\text{C}$; GS1: 55 psi; GS2: 50 psi; 气帘气: 35 psi; 喷雾电压: -4500 V; 碰撞气: 6; 校准方法: 质量轴自动调谐校准。其他条件见表 2。

3 结果与分析

3.1 方法的优化

3.1.1 质谱条件的优化

对于衍生产物甲醛 2,4 二硝基苯胺, 根据化合物分子量及查阅文献^[11,12], 最终以 20 $\mu\text{g/L}$ 为实验浓度, 采用针泵进样, 分别比较其正、负离子模式下离子质谱相应的差别。结果发现负离子模式下其响应值较正离子

化高 10 倍, 这是由于目标物的 α -氢更容易以质子形式电离, 形成 α -氮负离子结构。因此 ESI 选择采用负离子电离模式。根据其分子量为 210.0, 准分子离子峰[M-H]的 m/z 为 209.0。

选择不同碰撞能, 对母离子进行碎裂, 甲醛 2,4 二硝基苯胺呈现丰富的碎片信息, 如 209.0/163.0、209.0/151.0、209.0/179.0、209.0/121.0、209.0/76.0。且这些碎片离子的响应信号都很高, 皆是典型的醛胺碎片离子。通过参考文献^[11,12]并结合碎片离子结构稳定性研究, 甲醛 2,4 二硝基苯胺裂解合理性推导过程如图 1 所示。由于甲醛苯胺的 2,4 位被硝基取代, 因而其碎裂方式符合硝基化合物的碎裂特征, 如 209.0/121.0 为[M-H-HCHO-NO]产生。基于色谱峰基线和样品杂质的干扰, 最终选择响应最高的 209.0/163.0 为定量离子对, 选择 209.0/151.0 为定性离子对, 其他为备用离子对, 可作为基质干扰严重时物质定性的补充证据。

3.1.2 色谱条件的优化

实验以 10 $\mu\text{g/L}$ 甲醛 2,4 二硝基苯胺标准溶液为研究对象, 比较了乙腈-水体系、乙腈-0.1%甲酸水体系和乙腈-4 mmol 乙酸铵体系下目标产物色谱行为的优异, 结果表明乙腈-水和乙腈-4 mmol 乙酸铵 2 种色谱体系下, 目标物的基线和灵敏度差别不大, 而乙腈-0.1%甲酸水体系目标物响应值只有它们响应值的 1/5。基于实验操作的快速方便及对色谱柱的保护, 选择乙腈-水作为色谱流动相。甲醛-2,4 二硝基苯胺多反应监测离子色谱图模式下的色谱图见图 2, 由图 2 可知, 209.0/163.0 较 209.0/151.0 离子对表现出稍强的灵敏度, 因此本研究选择 209.0/163.0 为定量离子对, 209.0/151.0 定性离子对。

3.1.3 衍生剂的选择

甲醛为低分子量物质, 本身无紫外荧光特性, 在色谱检测器上无响应, 为了获得较好的色谱行为, 先将甲醛衍生化, 衍生成含紫外吸收功能团。本研究以 2.00 mL 超纯水为研究对象, 添加浓度水平 500 ng/mL 的甲醛标准溶液 0.50 mL, 选用 2 种衍生剂(2-胍基吡啶、2,4 二硝基苯胺)按 2.4.1 操作对甲醛衍生效果进行考察比较, 结果表明以 2,4 二硝基苯胺为衍生剂时, 衍生产物的效应值高, 而以 2-胍基吡啶为衍生剂时, 衍生产物的响应值非常低, 响应值稍高于噪音值。因此选择 2,4 二硝基苯胺为甲醛衍生剂。

表 2 质谱参数
Table 2 Mass spectrum parameters

化合物	母离子 Q1 (m/z)	子离子 Q3 (m/z)	驻留时间/ms	去簇电压 DP/V	入口电压 EP/V	碰撞电压 CE/V	出口电压 CXP/V
甲醛 2,4 二硝基苯胺	209.0	163.0*	100	80	10	-35	15
	209.0	151.0	100	80	10	-38	15
氘代甲醛 DNPH-3,5,6	212.0	166.0	100	80	10	-35	15

注: *为定量离子对。

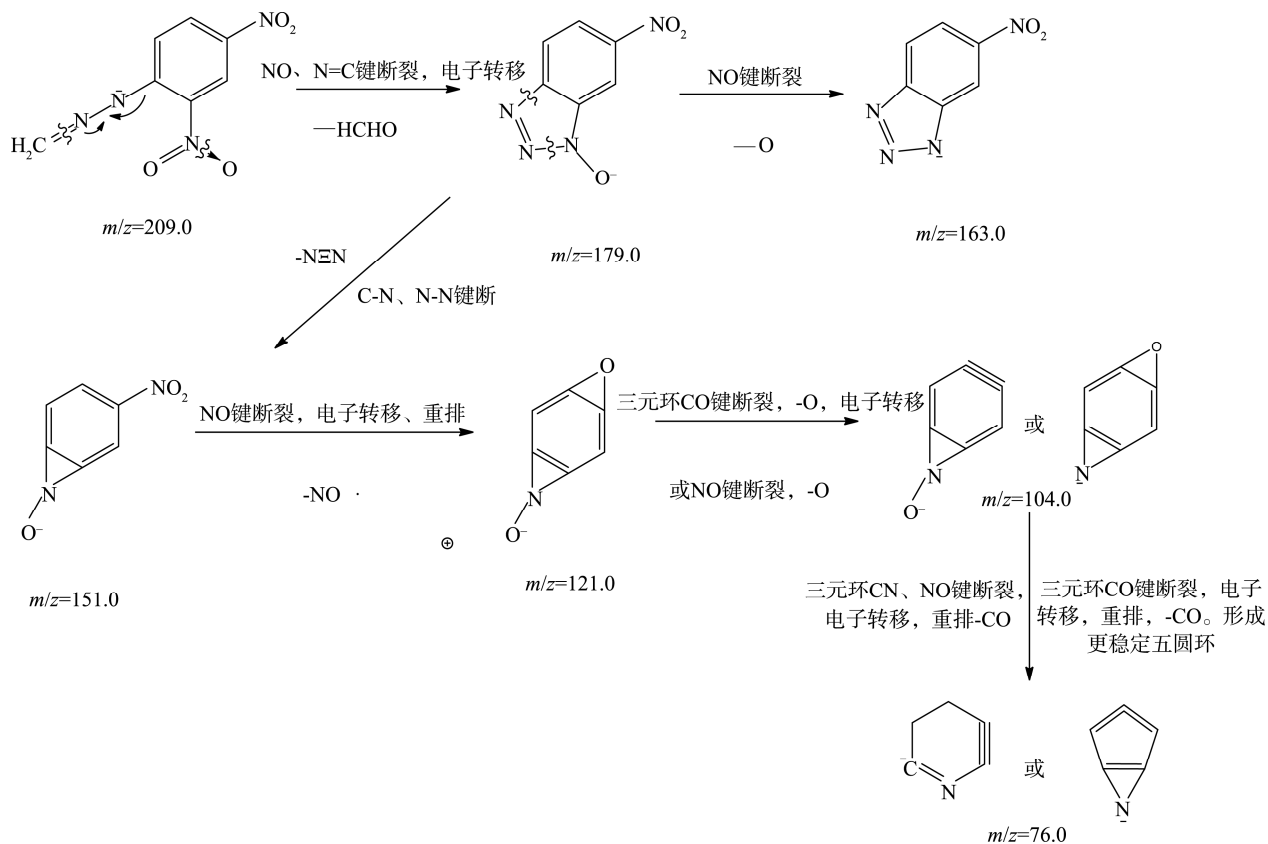
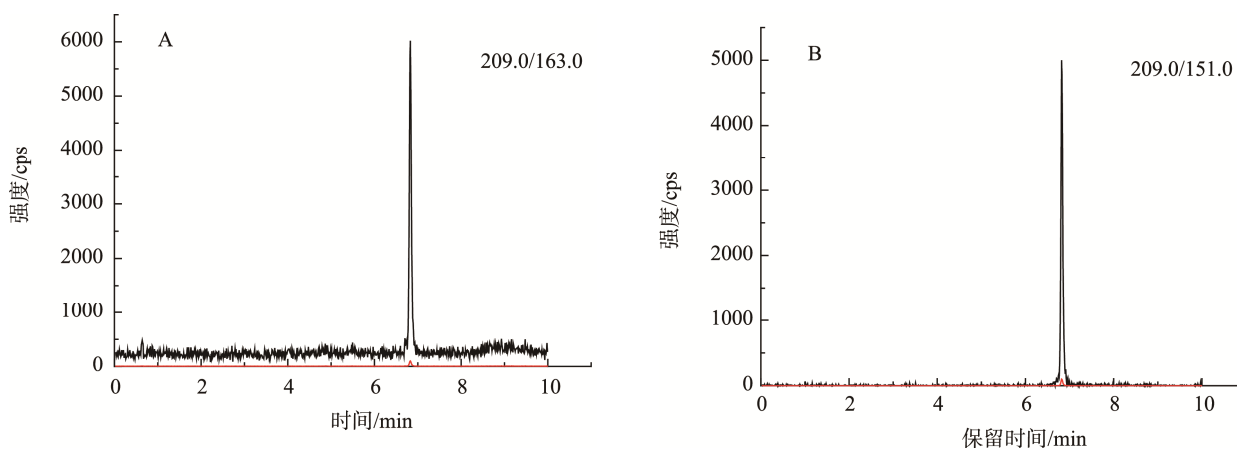


图 1 甲醛 2,4 二硝基苯腙的主要裂解机理
Fig.1 Fragmentation mechanism of formaldehyde 2,4-dinitrophenylhydrazone



注: A 为定量离子; B 为定性离子。

图 2 多离子反应监测模式下甲醛 2,4 二硝基苯腙提取离子流色谱图
Fig.2 Extraction ion chromatogram for formaldehyde 2,4-dinitrophenylhydrazone under multiple reaction monitoring

3.1.4 衍生温度的选择

以 2.50 mL 超纯水为研究对象, 添加浓度水平 500 ng/mL 的甲醛标准溶液 0.50 mL, 按 2.4.1 操作, 分别考察 50 °C 水浴条件下, 衍生 10、20、30、40、50 min, 每个

衍生温度做 3 个平行样以衍生温度为横坐标, 各衍生温度下衍生产物峰面积平均值为纵坐标绘制曲线, 比较衍生产物峰面积随衍生温度的变化, 如图 3 所示。

图 3 表明 50 °C 水浴衍生水浴条件下衍生 20 min 后已

达到平衡, 所以本研究选择 50 °C 水浴 20 min 为衍生最佳条件。

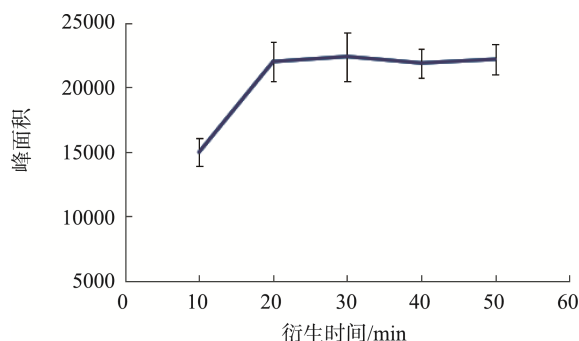


图 3 衍生产物峰面积随衍生水浴温度的变化($n=3$)

Fig.3 Variation of derivative products peak area with temperature of derivative water bath($n=3$)

3.1.5 提取条件的选择

根据文献^[13-16]、国家标准^[6-10], 样品基质中甲醛的提取方法有很多, 主要有水蒸气蒸馏、超纯水超声提取, 10%三氯乙酸沉淀蛋白的方式、4%三氯乙酸直接超声提取等方式, 结合前期实验研究与日常经验, 水蒸气蒸馏前处理方式有诸多缺点, 如蒸馏出来的甲醛又重新溶解回溶液中, 蒸馏装置气密性不好、管路长等因素影响, 造成回收率不稳定, 而且一次不能同时处理多份样品。而直接用 4%三氯乙酸提取样品, 样品容易抱团, 难于分散。基于以上因素考虑, 本实选择超纯水提取, 10%三氯乙酸沉淀蛋白的前处理方式。

3.2 方法线性关系和灵敏度

以甲醛 2,4 二硝基苯腙的质量浓度(ng/mL)与氘代甲醛 DNP-3,5,6 的质量浓度比(X)为横坐标, 以相应外标峰面积与氘代甲醛 DNP-3,5,6 峰面积之比(Y)为纵坐标绘制标准曲线, 目标物在 1.0~50.0 ng/mL 范围下线性良好, 线性方程为 $Y=1.26X+0.381$, 相关系数 0.9996, 方法线性关系好。

由于实验环境、实验用水和研究对象都含有痕量甲醛。本实验选择本底值较低的样品为研究对象, 按照样品分析的全部步骤, 依次平行测试 20 次, 计算测定结果的标准偏差, 以 3 倍标准偏差为方法检出限, 3 倍检出限为方法定量限。测得甲醛检出限为 1.0 $\mu\text{g/kg}$, 定量限为 3.0 $\mu\text{g/kg}$, 方法灵敏度高。

3.3 方法回收率和精密度

分别选取 5 种不同种类的代表性水产品, 分别为车螺(贝类产品)、马鲛鱼和鲳鱼(海产鱼类)、花蟹(蟹类)和明虾(虾类), 以这 5 种水产品为研究对象, 按 2.4.1 的方法处理 6 份, 同时另取 6 份不除去样品脂肪(除了不用正己烷除脂肪操作外, 样品提取与衍生按 2.4.1 操作)进行检测, 并添加一定浓度的标准溶液进行回收率实验, 精密度和准确度的结果见表 3。

除脂肪操作的平均加标回收率在 71.4%~94.0%之间, 相对标准偏差 $<15.0\%$ 。结果表明, 除脂肪操作结果的精密度和回收率比不除脂肪结果的回收率整体偏好, 这是因为海产品样品基质较复杂, 如没有除脂肪净化操作, 提取的样品液加衍生剂衍生后, 有机相与无机相易乳化, 影响衍生效率, 从而造成回收率偏低, 精密度不够理想。因此本研究采用样品经水提取, 10%三氯乙酸沉淀蛋白后, 再用正己烷除脂肪的净化方式, 保证了较好的回收率和精密度。

表 3 2 种前处理样品精密度和回收率比较

Table 3 Comparison of precision and recovery of 2 kinds of pretreatment

样品编号		本底含量/(mg/kg)	平均值/(mg/kg)	相对标准偏差/%	加标量/(mg/kg)	测定值/(mg/kg)	回收率/%
车螺	不除脂肪操作	0.75、0.80、0.70、0.82、0.73、0.60	0.73	10.8	1.00	1.48	75.0
	除脂肪操作	0.85、0.88、0.80、0.87、0.85、0.82	0.85	3.7	1.00	1.75	90.0
马鲛鱼	不除脂肪操作	1.01、1.00、0.81、0.75、0.85、0.90	0.89	11.7	1.00	1.65	76.0
	除脂肪操作	1.02、1.05、1.10、1.00、0.98、1.10	1.04	4.9	1.00	1.95	91.0
花蟹	不除脂肪操作	1.49、1.35、1.42、1.60、1.45、1.56	1.48	9.2	1.00	2.29	81.0
	除脂肪操作	1.62、1.55、1.60、1.50、1.59、1.48	1.56	3.6	1.00	2.50	94.0
明虾	不除脂肪操作	0.76、0.72、0.86、0.82、0.90、0.69	0.79	10.4	1.00	1.53	74.0
	除脂肪操作	0.85、0.80、0.86、0.82、0.90、0.91	0.86	5.0	1.00	1.80	94.0
鲳鱼	不除脂肪操作	0.0046、0.0062、0.0053、0.0070、0.0041、0.0092	0.0061	31	0.0050	0.0048	43.2
					0.010	0.0082	51.0
	除脂肪操作	0.0086、0.0073、0.0090、0.0067、0.0079、0.0060	0.0076	15	0.0050	0.0090	71.4
					0.010	0.0132	75.0

4 结论与讨论

本研究以 2,4-二硝基苯肼为衍生剂,以沉淀蛋白、去除脂肪方式净化样品,样品与标准溶液进样前加入氘代甲醛 DNP-3,5,6 内标溶液,较好地消除了基质效应。通过实验研究,缩短了衍生时间,优化了样品前处理方式,探讨了甲醛 2,4-二硝基苯肼的质谱碎裂途径,建立了同位素内标高效液相色谱-串联质谱法检测海产品的中甲醛含量,该方法灵敏度高,满足定性定量准确等要求,可作为现有国家标准甲醛检测方法的定量及定性确证补充。

参考文献

- [1] Collins JJ. Formaldehyde exposure and leukaemia [J]. *Occup Environ Med*, 2004, 61(11): 875-876.
- [2] WHO. Formaldehyde [R]. *Concise International Chemical Assessment Document 40*, 2002.
- [3] 卫生部. 关于印发《食品中可能违法添加的非食用物质和易滥用的食品添加剂品种名单(第一批)》的通知: 食品整治办[2008]3 号 [EB/OL]. [2008-12-15]. http://www.gov.cn/gzdt/2008-12/15/content_1178408.htm. Ministry of Health. Announcement about printing and distributing *The list of non edible substances that may be illegally added and food additives that are easy to be abused (first batch)*: No.3 of Food Control Office [2008] [EB/OL]. [2008-12-15]. http://www.gov.cn/gzdt/2008-12/15/content_1178408.htm.
- [4] NY 5172-2002 无公害食品 水发水产品[S]. NY 5172-2002 Pollution free food-Aquatic products [S].
- [5] NY/T 1712-2018 绿色食品 干制水产品[S]. NY/T 1712-2018 Green food-Dry aquatic products [S].
- [6] SC/T 3025-2006 水产品中甲醛的测定[S]. SC/T 3025-2006 Determination of formaldehyde in aquatic products [S].
- [7] NY/T 1283-2007 香菇中甲醛含量的测定[S]. NY/T 1283-2007 Determination of formaldehyde in *Lentinus edodes* [S].
- [8] NY/T 3292-2018 蔬菜中甲醛含量的测定 高效液相色谱法[S]. NY/T 3292-2018 Determination of formaldehyde in *Lentinus edodes*-HPLC [S].
- [9] DB12/T 883-2019 食用菌中甲醛的测定 高效液相色谱法[S]. DB12/T 883-2019 Determination of formaldehyde in edible fungi-HPLC [S].
- [10] GB/T 21126-2007 小麦粉与大米粉及其制品中甲醛次硫酸氢钠含量的测定[S]. GB/T 21126-2007 Determination of formaldehyde sodium bisulfite in wheat flour, rice flour and their products [S].
- [11] Stephan KL, Michael O, Leo M. Unusual MS fragmentation patterns of 2,4-dinitro-phenylhydrazine and its prepanone derivative [J]. *Rapid Commun Mass Spectrom*, 2001, (15): 2117-2126.
- [12] 姚骏骅. 2,4-二硝基苯肼的 APCI-MS/MS 研究[C]// 全国青年分析测试学术报告会, 2006. Yao JH. Study on 2,4-dinitrobenzaldehyde hydrazone by APCI-MS/MS [C]// National Symposium on Youth Analysis and Testing, 2006.
- [13] 董靓靓, 朱军莉, 励建荣. 水产品中甲醛 HPLC 测定的前处理方法探讨[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(12): 64-67. Dong LL, Zhu JL, Li JR. Discussion on pretreatment method for determination of formaldehyde in aquatic products by HPLC [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2012, 33(12): 64-67.
- [14] 吕青晏, 滕爽, 陈周耀, 等. 高效液相色谱法检测肉及肉制品中甲醛[J]. *食品安全质量检测学报*, 2019, 10(11): 3298-3303. Lv QQ, Teng S, ChenZY, et al. Determination of formaldehyde in meat and meat products by high performance liquid chromatography [J]. *J Food Saf Qual*, 2019, 10(11): 3298-3303.
- [15] 王志强. 高效液相色谱仪-二级管阵列检测器-柱前衍生法测定水产品中甲醛[J]. *预防医学情报杂志*, 2018, 12(34): 1548-1551. Wang ZQ. Determination of formaldehyde in aquatic products by high performance liquid chromatography with a photo-diode array detector and precolumn derivation [J]. *J Prev Med Inform*, 2018, 12(34): 1548-1551.
- [16] 唐穗平. 柱前衍生高效液相色谱法检测水产品中的甲醛的含量[J]. *食品安全质量检测学报*, 2016, 7(7): 2931-2936. Tang SP. Determination of formaldehyde in aquatic products by high performance liquid chromatography with precolumn derivatization [J]. *J Food Saf Qual*, 2016, 7(7): 2931-2936.

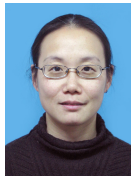
(责任编辑: 李磅礴)

作者简介



廖艳华, 硕士, 副主任技师, 主要研究方向为食品理化检验与食品安全风险监测检测。

E-mail: 1907430702@qq.com



周劲桓, 博士, 副主任医师, 主要研究方向为食品理化检验与食品安全风险监测检测。

E-mail: 88389778@qq.com