DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20250819002
引用格式: 陈洁, 邱佩丽, 吴国权, 等. 紫外检测器串联离子色谱法同时测定水产品中 9 种生物胺含量[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(4): 323–330.
CHEN J, QIU PL, WU GQ, *et al*. Determination of 9 kinds of biogenic amines content in aquatic products by tandem ion chromatography-ultraviolet detection [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(4): 323–330. (in Chinese with English abstract).

紫外检测器串联离子色谱法同时测定水产品中 9 种生物胺含量

陈 洁[1#], 邱佩丽[2#*], 吴国权[1], 何宇芬[2], 陈 婷[2]
[1. 赛默飞世尔科技(中国)有限公司, 广州 510000; 2. 广州市食品检验所, 广州 510000]

摘 要: 目的 建立紫外检测器串联离子色谱法(tandem ion chromatography-ultraviolet detection, IC-UV)检测水产品中 9 种生物胺的方法。**方法** 鱼肉样品经 0.2 mmol/L 甲烷磺酸(methanesulfonic acid, MSA)溶液超声提取, 乙腈沉淀蛋白, 过滤膜后进样分析。9 种生物胺与样品中共存离子在 IonPac CS17 (250 mm×4 mm, 7 μm)阳离子交换色谱柱上可分离。实验过程对淋洗液条件, 柱温及检测器波长范围进行优化。**结果** 9 种生物胺均具有较宽线性范围, 章鱼胺、酪胺、色胺在 0.2~20.0 mg/L 质量浓度范围, 腐胺、尸胺、亚精胺、精胺在 0.02~20.00 mg/L 质量浓度范围, 组胺、苯乙胺在 0.10~20.00 mg/L 质量浓度范围均具有良好的线性, 相关系数(r^2)≥0.9960, 样品加标回收率为 83.8%~122.9%。腐胺、尸胺、组胺、苯乙胺、亚精胺、精胺、章鱼胺、酪胺及色胺检出限分别为 0.23、0.30、1.63、1.56、0.21、0.26、1.97、2.50 和 2.88 mg/kg。**结论** 该方法简便、无需复杂衍生前处理、选择性好、灵敏度高, 适用于水产品中 9 种生物胺的检测分析。

关键词: 生物胺; 水产品; 非衍生化; 紫外检测器串联离子色谱法

Determination of 9 kinds of biogenic amines content in aquatic products by tandem ion chromatography-ultraviolet detection

CHEN Jie[1#], QIU Pei-Li[2#*], WU Guo-Quan[1], HE Yu-Fen[2], CHEN Ting[2]
[1. *Thermo Fisher Scientific* (*China*) *Co*., *Ltd.*, *Guangzhou* 510000, *China*;
2. *Guangzhou Institute for Food Inspection*, *Guangzhou* 510000, *China*]

ABSTRACT: Objective To establish a method for determination of 9 kinds of biogenic amines in aquatic products by tandem ion chromatography-ultraviolet detection (IC-UV). **Methods** Fish samples were ultrasonically extracted with 0.2 mmol/L methanesulfonic acid solution then protein was precipitated with acetonitrile, and analyzed after filtration through a membrane. The 9 kinds of biogenic amines and coexisting ions in the samples were separated on

收稿日期: 2025-08-19
基金项目: 广州市市场监督管理局科技项目(2021kj52, 2022kj43)
#陈洁和邱佩丽为共同第一作者
第一作者: 陈洁(1990—), 女, 硕士, 中级工程师, 主要研究方向为环境、化工、食品检测。E-mail: 962248488@qq.com
第一作者/*通信作者: 邱佩丽(1978—), 女, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为食品检测。E-mail: 33421627@qq.com

an IonPac CS17 cation exchange chromatographic column (250 mm×4 mm, 7 μm). The experimental conditions, including eluent condition, column temperature and detector wavelength range, were optimized to achieve optimal performance. **Results** The 9 kinds of biogenic amines exhibited wide linear ranges: Octopamine, tyramine and tryptamine showed good linearity in the mass concentration range of 0.2–20.0 mg/L, putrescine, cadaverine, spermidine and spermine in the mass concentration range of 0.02–20.00 mg/L; and histamine and phenethylamine in the mass concentration range of 0.10–20.00 mg/L; with linear correlation coefficients (r^2)≥0.9960 and satisfactory recoveries (83.8%–122.9%). The limits of detection for putrescine, cadaverine, histamine, phenethylamine, spermidine, spermine, octopamine, tyramine and tryptamine were 0.23, 0.30, 1.63, 1.56, 0.21, 0.26, 1.97, 2.50 and 2.88 mg/kg, respectively. **Conclusion** This method is simple, eliminates the complex derivatization pretreatment, and offers excellent selectivity and high sensitivity, making it suitable for the detection and analysis 9 kinds of biogenic amines in aquatic products.

KEY WORDS: biogenic amine; aquatic products; non derivatization pretreatment; tandem ion chromatography-ultraviolet detection

0 引 言

生物胺是一类具备生物活性、含有氨基结构的低分子量有机化合物集合，其化学结构涵盖脂肪族、芳香族与杂环族 3 大类别，本质上属于低分子量有机碱。在各类食品基质中，水产品因自身富含蛋白质等优质营养成分，成为微生物污染的高敏感载体，极易在储存、运输等环节发生腐败变质现象。从 2000—2014 年我国中毒流行病学相关文献来看，我国沿海地区如浙江、福建、江苏、广东省对水产品食物中毒事件报道最多，生物胺中毒主要为组胺，报道了 441 起，涉及水产品种类有池鱼、马鲛鱼和鲐鱼。研究表明，当水产品受到含氨基酸脱羧酶的微生物污染时，这类微生物会催化水产品体内的游离氨基酸发生脱羧反应，进而生成生物胺[1–3]。水产品中沙丁鱼、秋刀鱼、金枪鱼是生物胺检出概率较高的品类。鉴于生物胺的生成与水产品新鲜度之间存在直接关联，其已被广泛认定为评估水产品新鲜程度的关键指标，相关研究也因此受到全球科研领域的高度关注[4–6]。生物胺适量摄入能调节体内的生理活动，但过度摄入会使人体产生不良副反应，严重的可能危及生命[7–10]。水产品中已生成的生物胺具有较强的稳定性，常规的食品加工与处理手段，如烹饪、腌制、冷冻等，均无法有效将其去除[11]。为保障消费者健康，我国 GB 2733—2015《食品安全国家标准鲜、冻动物性水产品》对水产品中生物胺含量作出了明确限量规定：其中，以组胺为典型代表的高组胺鱼类，其生物胺限量标准为 400 mg/kg；而其他种类的海水鱼类，生物胺限量则设定为 200 mg/kg。

目前，检测水产品中生物胺的方法主要有气相色谱法 (gas chromatography, GC)、液相色谱法 (liquid chromatography, LC)、高效液相色谱-质谱法 (high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry, HPLC-MS/MS)、离子色谱法 (ion chromatography, IC)、分光光度法等。GC 常用于分析挥发性生物胺，非挥发胺需衍生后再进行测定，且部分生物胺在高温下不稳定[12–14]；分光光度法主要用于组胺的测定，但其易受样品中其他生物胺的影响，导致其检测结果偏高[15–16]；LC 一般经过衍生化处理，过程烦琐，检出限高且衍生产物稳定性差[17–21]；HPLC-MS/MS 分析速度快、分离度好、灵敏度高，但购置成本较高，离子源耐受含有大量盐分复杂基质能力有限，且高浓度生物胺会引发离子抑制效应[22–25]。IC 中阳离子交换分离机理与生物胺阳离子特性高度匹配，具有分离选择性高、样品前处理简单、灵敏度高和抗基质干扰能力强等优势，是生物胺分析中一种高效、可靠的检测手段。

IC 中常用的检测器有电导检测器 (conductivity detector, CD)、积分脉冲安培检测器 (integrated pulsed amperometric detection, IPAD) 及紫外检测器 (ultraviolet detector, UV)。CD 可用于检测无机阴阳离子、有机酸和有机胺[26–29]等，但抑制-CD 无法测定两性物质例如章鱼胺及酪胺等。安培检测器可一次性检测所有具有氧化还原特性的生物胺，但稳定性略低于 CD[30–32]。UV 可用于检测芳香族生物胺[33]。紫外检测器串联离子色谱法(tandem ion chromatography-ultraviolet detection, IC-UV)多用于食品中溴酸盐、亚硝酸盐及硝酸盐的检测，其应用于水产品中章鱼胺及酪胺的检测少见报道。

本研究提出 IC-UV 同时测定水产品中 9 种生物胺，扩大了 IC-UV 在食品检测中的应用，为水产品中多种生物胺的同时检测提供方法依据。

1 材料与方法

1.1 试剂与材料

鳕鱼、三文鱼，市售。

超纯水(18.2 MΩ • cm)(美国 Millipore 公司)；98%甲烷

磺酸(methanesulfonic acid, MSA)(色谱纯)、组胺二盐酸盐(纯度 99.7%)、2-苯乙胺(纯度 98.5%, 液体)、色胺(纯度 99.7%)(上海安谱实验科技股份有限公司); 乙腈(色谱纯, 美国 Sigma 公司); 腐胺盐酸盐(纯度 99.9%)、尸胺(1,5-戊二胺盐酸盐, 纯度 98.2%)、亚精胺盐酸盐(纯度 99.9%)、四盐酸精胺/精胺盐酸盐(纯度 99.1%)、酪胺盐酸盐(纯度 98.90%)、章鱼胺盐酸盐(纯度 99.7%)(德国 Dr. Ehrenstorfer GmbH 公司)。

1.2　仪器与设备

Milli-Q 去离子水发生器(美国 Millipore 公司); ICS6000 离子色谱仪(配有抑制型 CD、UV 及变色龙 CDS 7.3 数据处理系统)、IonPac CS17 分析柱(250 mm×4 mm, 7 μm)、IonPac CG17 保护柱(50 mm×4 mm, 7 μm)(美国 Thermo Fisher Scientific 公司)。

1.3　实验方法

1.3.1　标准溶液配制

精确称取 0.01 g 章鱼胺盐酸盐、酪胺盐酸盐、腐胺盐酸盐、尸胺、组胺二盐酸盐、2-苯乙胺、亚精胺盐酸盐、精胺盐酸盐及色胺分别用 2 mmol/L MSA 定容至 10 mL 容量瓶, 混匀。该溶液为 1000 mg/L 9 种生物胺的储备液, –20 ℃冰箱中避光冷冻保存。

精确量取 100 μL 腐胺、尸胺、亚精胺盐酸盐、精胺盐酸盐, 500 μL 组胺二盐酸盐、苯乙胺及 1 mL 章鱼胺盐酸盐、酪胺盐酸盐、色胺储备液, 于 10 mL 容量瓶中, 用 2 mmol/L MSA 稀释至标线, 混匀。该溶液为 10 mg/L 腐胺、尸胺、亚精胺、精胺, 50 mg/L 组胺、苯乙胺及 100 mg/L 的章鱼胺、酪胺、色胺混合储备液, 2~8 ℃冰箱中避光冷藏保存。

1.3.2　样品制备

精确称取 5 g 均质的鱼糜试样, 加入 25 mL 0.2 mmol/L MSA 提取液, 超声 15 min, 5 ℃下 8000 r/min 离心 5 min 后, 取 2 mL 上清液加入 2 mL 乙腈, 涡旋 2 min 后静置 10 min 沉淀蛋白, 5 ℃下 8000 r/min 二次离心 5 min, 取 2 mL 上清液, 用 2 mmol/L MSA 溶液定容至 10 mL, 过 0.22 μm 水相微孔滤膜后进样分析。

1.3.3　色谱条件

保护柱: IonPac CG17 (50 mm×4 mm, 7 μm), 分析柱: IonPac CS17 (250 mm×4 mm, 7 μm); 流速: 1.2 mL/min; 柱温: 40 ℃; 进样量: 50 μL; 淋洗液: MSA 梯度洗脱; 梯度洗脱程序见表 1; IC-UV 检测。

1.4　数据处理

通过美国 Thermo Fisher Scientific 公司的 ICS6000 离子色谱仪配套数据处理软件 Chromeleon 7 工作站系统进行数据采集及定量分析,再利用 WPS Office 2022 软件进行数据分析和参数优化条形图绘制, 利用 Origin 2021 进行色谱图绘制。

表 1　MSA 梯度洗脱程序
Table 1　Gradient elution program of MSA

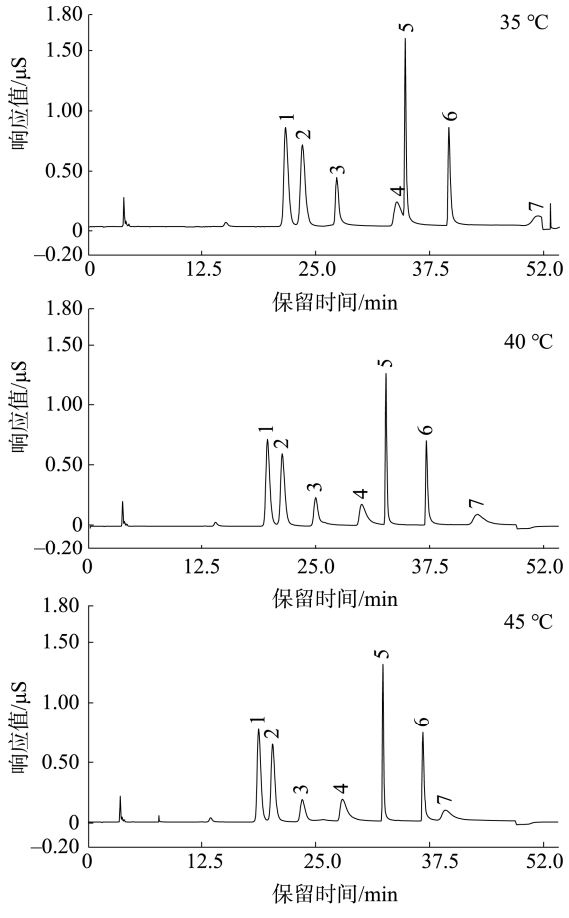
时间/min	MSA 浓度/(mmol/L)
0~24.0	6
24.0~40.0	6~35
40.0~43.0	35~55
43.0~49.0	55
49.1~55.0	6

2　结果与分析

2.1　实验条件优化

2.1.1　柱温的优化

方法灵敏度、选择性和稳定性与色谱柱温度有着密切联系。如图 1 所示, 35 ℃柱温时, 苯乙胺及亚精胺峰型有部分重叠, 无法完全分离, 且色胺出峰较晚。随着温度的升高,



注: 1. 腐胺; 2. 尸胺; 3. 组胺; 4. 苯乙胺; 5. 亚精胺; 6. 精胺; 7. 色胺, 图 2、4 同。

图 1　不同柱温下 7 种生物胺电导色谱图

Fig.1　Conductance chromatogram of 7 kinds of biogenic amines at different column temperature

各组分保留时间均前移。45 ℃柱温时，腐胺与尸胺靠近，整体分析时间缩短。综合考虑方法的分离度、灵敏度、选择性、色谱柱的使用寿命等因素，本研究选取柱温 40 ℃。

2.1.2 淋洗液条件的优化

本方法研究了 4 种模式(不同淋洗液浓度及流速)对目标物分离的影响(表 2)。如图 2 所示，模式 1，采用线性梯度淋洗液浓度从 3 mmol/L 升至 18 mmol/L，腐胺及尸胺均无法分离，故需要采用等度条件分离。模式 4，当 MSA 浓度为 8 mmol/L 时，腐胺与尸胺仍不能实现基线分离；模式 3，MSA 浓度降低至 6 mmol/L 时，腐胺与尸胺的分离度可达到 1.9；模式 2，淋洗液浓度为 5 mmol/L 时，二者分离度可进一步提高到 2.0；1.3 mL/min 流速下色胺保留时间短，出峰更快，但组胺附近的梯度峰会影响低浓度定量。由色谱图结果可知，随着 MSA 浓度及流速逐渐降低，分析时间延长，分析效率降低。考虑分离度、分析时间以及方法的耐用性，选择模式 3，即 6 mmol/L MSA 溶液及 1.2 mL/min 流速为最佳分离条件。

2.1.3 紫外检测器波长选择

生物胺根据其结构可分为 3 类：脂肪族(包括腐胺、尸胺、精胺、亚精胺等)，芳香族(包括酪胺、苯乙胺等)，杂环族(包括组胺、色胺等)。由于腐胺、尸胺、组胺、苯乙胺、亚精胺、精胺及色胺的碱电离常数 p*K*b<4，其为弱碱性(p*K*b<5)，可解离，因而在 CD 上会有响应。章鱼胺和酪胺其结构上含有苯环，并且同时含有氨基及羟基为两性物质，故抑制电导法无法对其进行检测。色胺结构上也含有苯环，故章鱼胺、酪胺及色胺可采用 UV 检测。不同波长下 3 种生物胺的响应值不同，为了获得最佳响应值，对不同波长进行了优化。图 3 色谱图结果显示，276 nm 波长为 3 种生物胺最佳响应波长。

表 2 淋洗液梯度模式参数

Table 2 Mode parameters of gradient elution conditions

模式 1 (流速 1.2 mL/min)		模式 2 (流速 1.3 mL/min)		模式 3 (流速 1.2 mL/min)		模式 4 (流速 1.2 mL/min)	
时间/min	浓度/(mmol/L)	时间/min	浓度/(mmol/L)	时间/min	浓度/(mmol/L)	时间/min	浓度/(mmol/L)
0~10.0	3~18	0~10.0	5	0~24.0	6	0~24.0	8
10.0~40.0	18~55	10.0~40.0	5~35	24.0~40.0	6~35	24.0~40.0	8~35
40.0~48.0	55	40.0~45.0	35~55	40.0~43.0	35~55	40.0~45.0	35~55
48.1	3	45.0~48.0	55	43.0~49.0	55	48.0	55
55.0	3	48.1~55.0	5	49.1~55.0	6	48.1~55.0	8

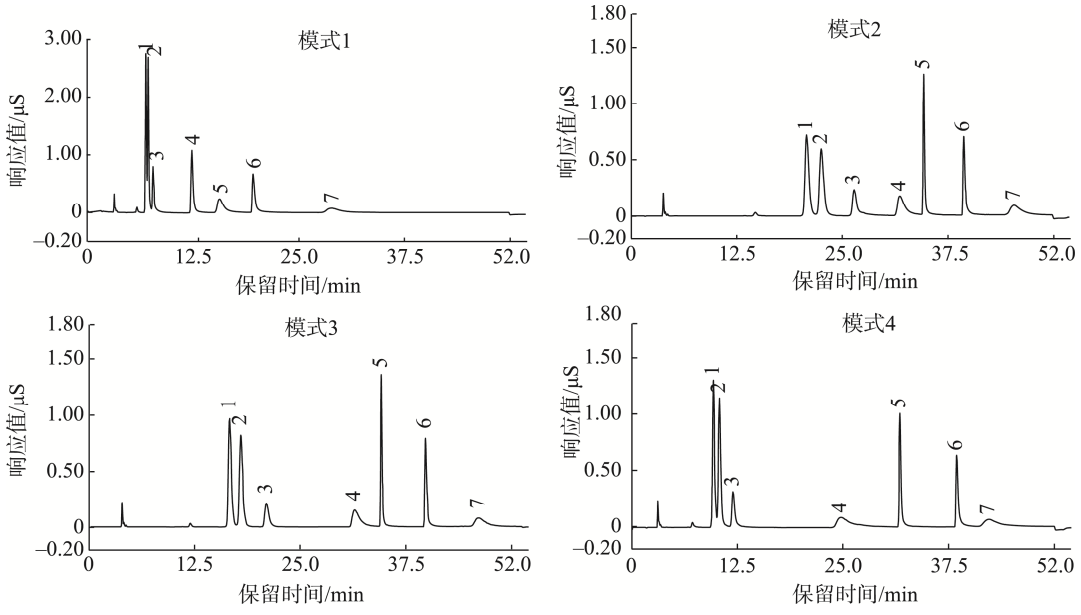
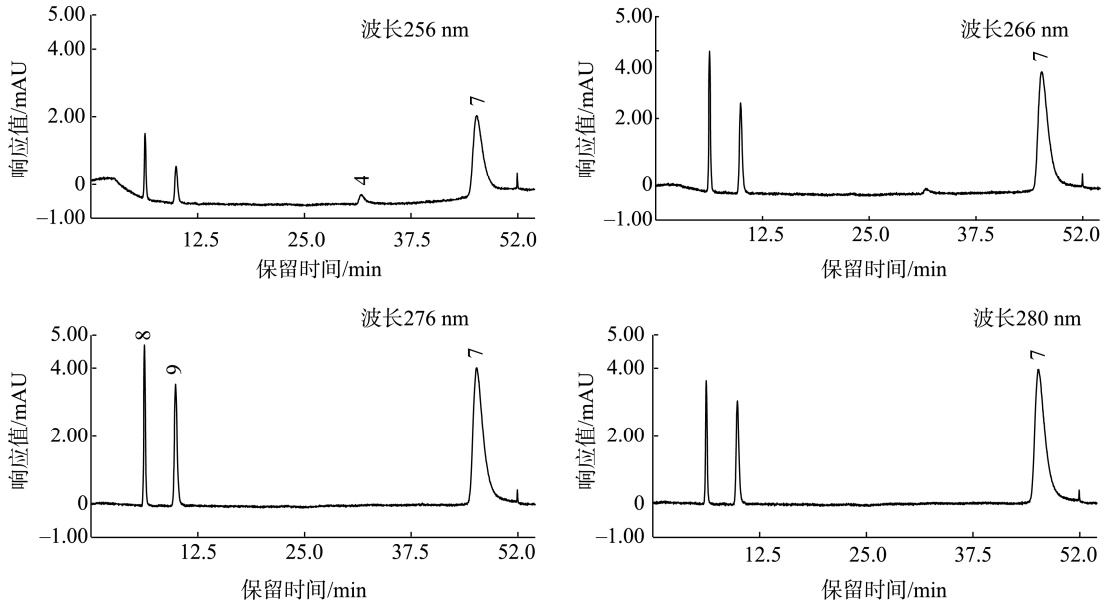


图 2 不同淋洗液浓度下 7 种生物胺电导色谱图

Fig.2 Conductance chromatogram of 7 kinds of biogenic amines at different eluent concentrations



注: 4. 苯乙胺; 7. 色胺; 8. 章鱼胺; 9. 酪胺, 图 4 同。

图 3　不同紫外波长下章鱼胺、酪胺及色胺的离子色谱图

Fig.3　Ion chromatogram of octopamine, tyramine and tryptamine at different ultraviolet wavelength

2.2　方法学考察

2.2.1　线性和检出限

按照 1.3.1 节方法配制 9 种生物胺混合标准使用液。用 2 mmol/L MSA 逐级稀释为章鱼胺、酪胺和色胺的质量浓度为 0.2、0.5、1.0、5.0、10.0、20.0 mg/L; 腐胺、尸胺、亚精胺和精胺的质量浓度为 0.02、0.05、0.10、0.50、1.00、2.00、20.00 mg/L; 组胺和苯乙胺的质量浓度为 0.10、0.25、0.50、2.50、5.00、10.00、20.00 mg/L 系列的混合标准工作溶液。按照 1.3.3 色谱条件进样分析, 对目标物的峰面积(Y, μS×min)和标准溶液质量浓度(X, mg/L)进行线性回归。

以标准曲线最低浓度点, 逐级稀释和测定信噪比, 按信噪比接近 3 对应的浓度配制基质低浓度混标溶液(本方法将曲线最低浓度点稀释 4 倍), 通过测定该溶液得到的信噪比 S/N 计算仪器检出限, 代入样品生物胺计算公式得到系列生物胺的方法检出限。

由表 3 结果可知, 9 种生物胺回归分析中的相关系数(r^2)均大于等于 0.9960, 说明各质量浓度范围内线性关系均良好。9 种生物胺检出限为 0.21~2.88 mg/kg(腐胺、尸胺、组胺、苯乙胺、亚精胺、精胺、章鱼胺、酪胺及色胺检出限分别为 0.23、0.30、1.63、1.56、0.21、0.26、1.97、2.50 和 2.88 mg/kg)。

2.2.2　回收率和精密度

选取三文鱼及鳕鱼样品, 9 种生物胺依次添加质量浓度为 0.5/2.5、2.5/10.0、10.0/20.0 mg/L 的标准溶液。每个浓度水平进行 3 次平行测定实验, 来验证方法的回收率和精密度。结果表明(表 4), 9 种生物胺 3 水平回收率在

表 3　9 种生物胺线性方程、线性范围、相关系数和检出限

Table 3　Linear equations, linear ranges, correlation coefficients and limits of detection of 9 kinds of biogenic amines

序号	组分	保留时间/min	线性方程	线性范围/(mg/L)	相关系数(r^2)	检出限/(mg/kg)
1	腐胺	16.690	Y=0.0001X^2+0.0907X–0.0054	0.02~20.00	1.0000	0.23
2	尸胺	18.017	Y=0.0008X^2+0.0765X–0.0054	0.02~20.00	1.0000	0.30
3	组胺	21.057	Y=0.0004X^2+0.0282X–0.0073	0.10~20.00	0.9995	1.63
4	苯乙胺	31.997	Y=–0.0002X^2+0.0435X–0.0216	0.10~20.00	0.9960	1.56
5	亚精胺	34.647	Y=–0.0006X^2+0.0717X–0.0029	0.02~20.00	1.0000	0.21
6	精胺	40.087	Y=–0.0001X^2–0.0530X–0.0026	0.02~20.00	1.0000	0.26
7	色胺	46.983	Y=1.175X–0.164	0.2~20.0	0.9999	2.88
8	章鱼胺	5.972	Y=0.225X–0.014	0.2~20.0	0.9999	1.97
9	酪胺	9.338	Y=0.295X–0.009	0.2~20.0	1.0000	2.50

表 4 回收率及精密度(*n*=3)

Table 4 Recoveries and precisions (*n*=3)

生物胺	加标浓度 1 2.5 mg/kg		加标浓度 2 10.0 mg/kg		加标浓度 3 20.0 mg/kg		加标浓度 4 0.5 mg/kg		加标浓度 5 2.5 mg/kg		加标浓度 6 10.0 mg/kg	
	回收率/%	RSDs/%	回收率/%	RSDs/%	回收率/%	RSDs/%	回收率/%	RSDs/%	回收率/%	RSDs/%	回收率/%	RSDs/%
腐胺	109.4	0.9	106.4	0.5	101.6	0.4	99.9	1.6	101.8	0.3	95.8	0.3
尸胺	101.5	1.3	99.9	0.4	92.5	0.7	108.4	2.7	97.4	2.2	83.8	1.4
组胺	89.7	2.1	98.1	1.6	93.0	1.3	93.6	1.1	98.9	0.4	90.9	1.4
苯乙胺	85.1	2.4	100.2	1.7	116.3	0.9	90.6	2.8	92.7	1.0	122.9	1.0
亚精胺	102.0	1.0	97.3	0.9	95.2	0.9	96.6	0.2	96.7	0.4	91.2	0.2
精胺	99.1	0.5	96.3	0.9	100.2	0.7	88.9	1.3	93.7	1.0	95.1	1.6
色胺	104.3	1.3	101.0	0.9	100.1	0.8	84.1	2.6	96.2	1.2	90.3	0.2
章鱼胺	121.7	1.0	114.6	1.6	108.2	0.8	86.6	2.7	101.4	0.7	98.4	1.2
酪胺	105.8	2.3	102.8	0.7	104.2	0.8	115.3	4.2	100.7	0.8	98.7	0.2

注: 相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)。加标浓度 1~3 为鳕鱼, 4~6 为三文鱼。

83.8%~122.9%之间, 证明该方法的准确度较高; 3 种浓度水平下, 9 种生物胺结果的 RSDs 均在 0.2%~4.2%以内, 证明该方法精密度好。

2.3 样品分析

对附近市场购买的鳕鱼及三文鱼, 进行实际样品中生物胺含量的检测分析。表 5 结果显示样品中可检测到 7 种生物胺。鳕鱼及三文鱼中生物胺含量略有不同, 鳕鱼中生物胺含量高的依次是章鱼胺、腐胺、尸胺, 三文鱼中生物胺含量高的依次是尸胺、章鱼胺、组胺, 而苯乙胺及色胺则未被检测到, 样品色谱图见图 4。

表 5 鱼肉样品中生物胺含量

Table 5 Amines content of fish samples

组分	含量/(mg/kg)								
	腐胺	尸胺	组胺	苯乙胺	亚精胺	精胺	色胺	章鱼胺	酪胺
鳕鱼	19.2	15.4	11.2	ND	1.2	1.5	ND	36.7	8.2
三文鱼	8.4	112.4	44.6	ND	2.8	7.9	ND	77.9	32.1

注: ND 表示未检测到。

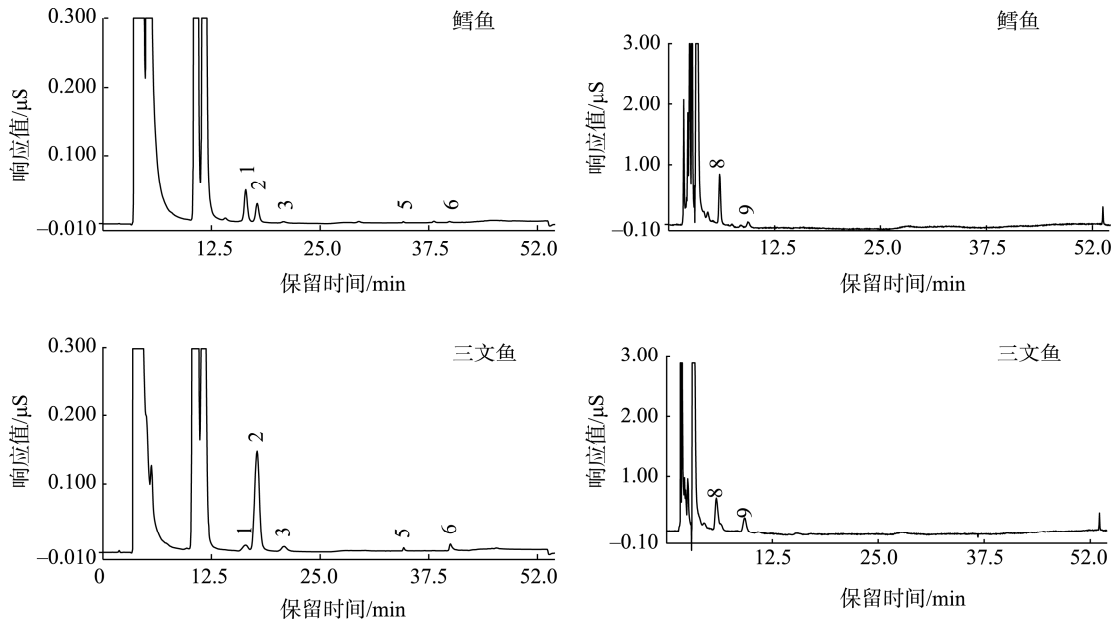


图 4 鱼肉样品离子色谱图

Fig.4 Ion chromatogram of fish samples

3 结　论

本研究建立了 IC-UV 同时检测水产品中 9 种生物胺的方法。对淋洗条件、柱温、紫外检测器最佳测定波长进行了方法优化。该方法扩大了生物胺测定的数量及种类。本方法具有操作简便、无需复杂衍生、宽线性范围、低检出限、高方法稳定性等优势, 适合水产品鱼肉样品中生物胺的分析测定, 可以作为国家标准及行业标准中生物胺测定的补充方法。

参考文献

[1] DING T, LI YL. Biogenic amines are important indices for characterizing the freshness and hygienic quality of aquatic products: A review [J]. LWT-Food Science and Technology, 2024, 194(115793): 1–20.

[2] 孔媚兰, 袁宝君, 朱谦让, 等. 水产品食物中毒流行病学分析[J]. 江苏预防医学, 2014, 25(1): 22–24.
KONG ML, YUAN BJ, ZHU QR, *et al*. Epidemiological analysis of food poisoning caused by aquatic products [J]. Jiangsu Journal of Preventive Medicine, 2014, 25(1): 22–24.

[3] ABUHLEGA TA, ALI MR. Biogenic amines in fish: Prevention and reduction [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2022, 46(10): 1.

[4] HAN B, HAN XY, DENG H, *et al*. Profiling the occurrence of biogenic amines in wine from Chinese market and during fermentation using an improved chromatography method [J]. Food Control, 2022, 136: 108859.

[5] ZARE D, GHAZALI HM. Assessing the quality of sardine based on biogenic amines using a fuzzy logic model [J]. Food Chemistry, 2017, 221: 936–943.

[6] 何璇, 马盈, 哈斯, 等. 食品中生物胺形成与抑制的研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(18): 25–28.
HE X, MA Y, HA S, *et al*. Research progress on the formation and inhibition of biogenic amines in food [J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(18): 25–28.

[7] 刘亚楠, 李欢, 连仁杰, 等. 水产品生物胺控制技术研究进展[J]. 食品科学, 2022, 43(11): 246–253.
LIU YN, LI H, LIAN RJ, *et al*. Progress in control techniques for biogenic amines in aquatic products [J]. Food Science, 2022, 43(11): 246–253.

[8] LADER V, CALLES-ENRIOUEZ M, FERNANDEZ M, *et al*. Toxicological effects of dietary biogenic amines [J]. Current Nutrition and Food Science, 2010, 6(2): 145–156.

[9] HERNANDEZ-ORTE P, LAPENA AC, PENA-GALLEGOA, *et al*. Biogenic amine determination in wine fermented in oak barrels: Factors affecting formation [J]. Food Research International, 2008, 41(7): 697–706.

[10] SHALABY AR. Significance of biogenic amines to food safety and human health [J]. Food Research International, 1996, 29(7): 675–690.

[11] URADZŃSKI J, WYSOK B, GOMÓŁKA-PAWLICKA M. Biological and chemical hazards occurring in fish and fishery products [J]. Polish Journal of Veterinary Sciences, 2007, 10(3): 83–88.

[12] LI C, JIANG X, HOU X. Dielectric barrier discharge molecular emission spectrometer as gas chromatographic detector for amines [J]. Microchemical Journal, 2015, 119: 108–113.

[13] AWAN MA, FLEET I, THOMAS CLP. Determination of biogenic diamines with a vaporization derivatization approach using solid phase microextraction gas chromatography mass spectrometry [J]. Food Chemistry, 2008, 111(2): 462–468.

[14] BADRUL HA, INAYATULLAH A, MUNIR MA. Fish analysis containing biogenic amines using gas chromatography equipped with flame ionization and mass spectrometer detectors [J]. Science and Technology Indonesia, 2021, 6(1): 1–7.

[15] 邱佩丽, 何宇芬, 曾游, 等. 水产品组胺国标紫外可见分光光度法优化改进[J]. 质量安全与检验检测, 2021, 31(6): 47–52.
QIU PL, HE YF, ZENG Y, *et al*. Research progress on biogenic amines ion chromatography of aquatic products based on different detectors [J]. Quality Safety Inspection and Testing, 2021, 31(6): 47–52.

[16] 丁海燕, 王联珠, 盛晓风, 等. 非挥发性生物胺对组胺的可见分光光度法检测结果的影响[J]. 中国渔业质量与标准, 2015, 5(4): 17–22.
DING HY, WANG LZ, SHENG XF, *et al*. Study on the effects of other non-volatile biogenic amines on the histamine value by visible spectrophotometer detection [J]. China Fishery Quality and Standards, 2015, 5(4): 17–22.

[17] TIRIS G, YANIKOGLU RS, CEYLAN B, *et al*. A review of the currently developed analytical methods for the determination of biogenic amines in food products [J]. Food Chemistry, 2022. DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.133919

[18] 张璠, 王珑. 高效液相色谱法同时测定咸鱼中 8 种生物胺[J]. 中国食品添加剂, 2021, 32(4): 107–111.
ZHANG J, WANG X. Determination of 8 biogenic amines in salted fish by high performance liquid chromatography [J]. China Food Additives, 2021, 32(4): 107–111.

[19] TRIKI M, JIMENEZ-COLMENERO F, HERRERO AM, *et al*. Optimization of a chromatographic procedure for determining biogenic amine concentrations in meat and meat products employing a cation-exchange column with a post-column system [J]. Food Chemistry, 2012, 130(4): 1066–1073.

[20] 周郎君, 陈钦, 李秀英. 丹磺酰氯柱前衍生-反相高效液相色谱法同时测定水产品中 9 种生物胺[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(5): 24–31.
ZHOU LJ, CHEN Q, LI XY. Simultaneous determination of 9 kinds of biogenic amines in aquatic products by dansyl chloride precolumn derivatization-reverse phase high performance liquid chromatography [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(5): 24–31.

[21] 邵宏宏, 周秀锦, 相兴伟, 等. 4 种海产品冷藏期间挥发性盐基氮和生物胺含量变化[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(9): 2794–2801.
SHAO HH, ZHOU XJ, XIANG XW, *et al.* Changes in total volatile basic nitrogen and biogenic amines in 4 kinds of marine products during refrigerated storage [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2022, 13(9): 2794–2801.

[22] 吴玉田, 王颖怡, 张权, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法测定冷冻水产品中生物胺[J]. 分析科学报, 2023, 399(6): 737–742.
WU YT, WANG YY, ZHANG Q, *et al.* Determination of biogenic amines in frozen aquatic products by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Journal of Analytical Science, 2023, 39(6): 737–742.

[23] 杨文婉, 张婷, 李虹霖, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法测定预制菜中 5 种生物胺[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(16): 254–260.
YANG WW, ZHANG T, LI HL, *et al*. Determination of 5 kinds of biogenic amines in prefabricated food by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(16): 254–260.

[24] 王璐, 孙小杰, 耿岳, 等. 非衍生化-QuEChERS-超高效液相色谱-串联质谱法快速测定鱼肉中 9 种生物胺[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(3): 269–276.
WANG L, SUN XJ, GENG Y, *et al*. Rapid determination of 9 kinds of biogenic amines in fish by non-derivatization-QuEChERS-ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2023, 14(3): 269–276.

[25] 罗娇依, 郑越男, 刘彤彤, 等. 柱前衍生超高效液相色谱-串联质谱法测定三文鱼中 9 种生物胺[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(17): 6909–6917.
LUO JY, ZHENG YN, LIU TT, *et al*. Determination of 9 kinds of biogenic amines in salmon by precolumn derivatization-ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2021, 12(17): 6909–6917.

[26] PALERMO C, MUSCARELLA M, NARDIELLO D, *et al*. A multiresidual method based on ion-exchange chromatography with conductivity detection for the determination of biogenic amines in food and beverages [J]. Analytical and Bioanalytical Chemistry, 2013, 405(2-3): 1015–1023.

[27] 纪凤娣, 夏蓉, 陶汇源, 等. 离子色谱法测定食醋及其制品中有机酸的分析方法[J]. 食品科学, 2020, 41(18): 239–244.
JI FD, XIA R, TAO HY, *et al*. Determination of organic acids in vinegar and related products by ion chromatography [J]. Food Science, 2020, 41(18): 239–244.

[28] 于凯, 高凡钦, 郑洪国. 离子色谱-电导检测法测定左乙拉西坦中四丁基溴化铵残留[J]. 分析试验室, 2021, 40(7): 852–854.
YU K, GAO FQ, ZHENG HG. Determination of tetrabutylammonium bromide residues in levetiracetam by ion chromatography [J]. Chinese Journal of Analysis Laboratory, 2021, 40(7): 852–854.

[29] 戴晨颖, 洪诚毅, 阙茂垚, 等. 离子色谱在食品分析中的应用进展[J]. 食品工业科技, 2022, 43(19): 453–461.
DAI CY, HONG CY, QUE MY, *et al*. Application and progress of ion chromatography in food analysis [J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(19): 453–461.

[30] 刘忠莹, 王小平, 陆阳, 等. 离子色谱-脉冲安培法同时测定蔗糖酶和果聚糖酶活力的方法建立[J]. 食品工业科技, 2022, 43(24): 280–287.
LIU ZY, WANG XP, LU Y, *et al*. Establishment of ion chromatography-pulse amperometric method for simultaneous determination of sucrase and inulinase activity [J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(24): 280–287.

[31] 周勇, 王萍亚, 赵华, 等. 离子色谱法测定冷冻海产品中的生物胺[J]. 食品工业, 2014, 35(5): 238–241.
ZHOU Y, WANG PY, ZHAO H, *et al*. Determination of biogenic amines in frozen meat products by high performance ion-exchange chromatography-electrochemical [J]. The Food Industry, 2014, 35(5): 238–241.

[32] 陈修红, 冀鹏, 何国亮, 等. 离子色谱-脉冲安培法同时测定牛肉水解产物中 6 种糖组分的含量[J]. 食品工业科技, 2022, 43(11): 267–275.
CHEN XH, JI P, HE GL, *et al*. Simultaneous determination of six sugars in beef hydrolysates by ion chromatography with pulsed amperometric detection [J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(11): 267–275.

[33] 朱作艺, 张玉, 王君虹, 等. 离子色谱-抑制电导、紫外串联检测肉类产品中的生物胺[J]. 浙江农业科学, 2017, 58(4): 572–576.
ZHU ZY, ZHANG Y, WANG JH, *et al*. Ion chromatography-inhibition of conductance, ultraviolet tandem detection of biogenic amines in meat products [J]. Journal of Zhejiang Agricultura Sciences, 2017, 58(4): 572–576.

(责任编辑: 安香玉 韩晓红)