

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20250208002

引用格式: 廖和菁, 梁娜娜, 胡礼渊, 等. 基于矿物元素分析对龙利鱼和巴沙鱼真伪鉴定研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(15): 11–15.

LIAO HJ, LIANG NN, HU LY, *et al.* Research on authenticity identification of sole fish and basa fish based on mineral element analysis [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(15): 11–15. (in Chinese with English abstract).

# 基于矿物元素分析对龙利鱼和巴沙鱼 真伪鉴定研究

廖和菁<sup>1\*</sup>, 梁娜娜<sup>2</sup>, 胡礼渊<sup>1</sup>, 黄素萍<sup>1</sup>, 边勇<sup>2</sup>, 刘慧<sup>3</sup>, 钟勇<sup>4</sup>, 郑娟<sup>3\*</sup>

(1. 东兴海关综合技术服务中心, 东兴 538100; 2. 中国海关科学技术研究中心, 北京 100026;  
3. 北京海关, 北京 100026; 4. 南宁海关技术中心, 南宁 530021)

**摘要:** **目的** 探讨龙利鱼和巴沙鱼矿物元素含量差异, 并对其真伪鉴定。**方法** 以电感耦合等离子体质谱法测定 29 份龙利鱼和 24 份巴沙鱼中 25 种矿物元素含量, 对测定结果采用 SPSS 25.0 软件进行主成分分析, 并对 3 种不同属的龙利鱼矿物元素含量进行比较分析。**结果** 龙利鱼中矿物元素总含量明显高于巴沙鱼, Na、K 和 Ca 是两类鱼中主要的矿物元素, 次要元素主要有 5 种 Sr、As、Mn、Fe、Zn, 其中 Sr、As、Mn、Fe 在龙利鱼中均有检出, 在巴沙鱼中均未检出, Mg、Ti、Zn、As、K、Ca、Na、Mn、Fe 9 种元素上存在显著差异; 相同属间龙利鱼主成分相对集中, V、Mn、B、Ba、Fe、As、Sr 7 种元素存在显著差异。**结论** 通过矿物元素分析可以有效用于龙利鱼和巴沙鱼的真伪鉴定。

**关键词:** 矿物元素; 电感耦合等离子体质谱法; 龙利鱼; 巴沙鱼; 主成分分析

## Research on authenticity identification of sole fish and basa fish based on mineral element analysis

LIAO He-Jing<sup>1\*</sup>, LIANG Na-Na<sup>2</sup>, HU Li-Yuan<sup>1</sup>, HUANG Su-Ping<sup>1</sup>, BIAN Yong<sup>2</sup>,  
LIU Hui<sup>3</sup>, ZHONG Yong<sup>4</sup>, ZHENG-Juan<sup>3\*</sup>

(1. Dongxing Customs Comprehensive Technical Service Center, Dongxing 538100, China;  
2. Science and Technology Research Center of China Customs, Beijing 100026, China; 3. Beijing Customs, Beijing 100026, China; 4. Technical Center of Nanning Customs District, Nanning 530021, China)

**ABSTRACT: Objective** To investigate the differences in mineral element content between sole fish and basa fish and establish an authenticity identification method. **Methods** Inductively coupled plasma mass spectrometry were employed to determine 25 kinds of mineral elements in 29 sole fish samples and 24 basa fish samples. Principal component analysis were performed using SPSS 25.0 software on the measurement results, and comparative analysis were conducted on mineral element contents among 3 kinds of different genera of sole fish. **Results** The total

收稿日期: 2024-02-08

基金项目: 海关总署科研项目(2023HK131)

第一作者/\*通信作者: 廖和菁(1986—), 女, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为食品安全检测。E-mail: 363985487@qq.com

\*通信作者: 郑娟(1980—), 女, 主要研究方向为食品安全监管。E-mail: jamie\_zheng001@qq.com

mineral element content in sole fish were significantly higher than that in basa fish. Na, K and Ca were identified as the primary mineral elements in both species, with Sr, As, Mn, Fe and Zn serving as secondary elements. Notably, Sr, As, Mn and Fe were detected exclusively in sole fish but absent in basa fish. Significant differences were observed in 9 kinds of elements: Mg, Ti, Zn, As, K, Ca, Na, Mn, and Fe. Principal components of sole fish within the same genus exhibited relative clustering, with marked differences in 7 kinds of elements: V, Mn, B, Ba, Fe, As and Sr.

**Conclusion** Mineral element analysis can effectively distinguish sole fish from basa fish for authenticity verification.

**KEY WORDS:** mineral elements; inductively coupled plasma mass spectrometry; sole fish; basa fish; principal component analysis

## 0 引言

龙利鱼通常指鲷亚目(Pleuronectoidei)舌鳎科(Cynoglossidae)或鳎科(Soleidae)物种的统称<sup>[1]</sup>,其共同特征为身体扁平,呈舌状,双眼位于身体同一侧(类似比目鱼),属海水鱼类,栖息于近海底层。巴沙鱼通常指鲶亚目(Siluroidei)芒鲶科(Pangasiidae)的低眼无齿芒(Pangasianodon hypophthalmus)或博氏巨鲶(Pangasius bocourti)<sup>[2]</sup>,其特征为体型类似普通鲶鱼,无鳞,有须,属淡水鱼类,原产于东南亚湄公河流域,多为人工养殖。

龙利鱼和巴沙鱼作为两种常见的食用鱼类,在居民消费结构中占有一席之地。龙利鱼,作为一种海水鱼类,质细腻、无刺,不仅蛋白质含量高,而且含有丰富的多不饱和脂肪酸,这些脂肪酸对于降低人体胆固醇含量、预防心血管疾病等方面具有重要作用<sup>[3-4]</sup>。相比之下,巴沙鱼作为一种淡水养殖品种,同样具有生长迅速、个体大、产量高、易饲养、刺少、易加工等诸多优点<sup>[5]</sup>,但其营养价值和市场价格相对较低。由于外观和口感的相似性,消费者对巴沙鱼和龙利鱼认知混淆,水产市场、餐饮行业将“巴沙鱼”冠名为“龙利鱼”进行销售<sup>[6]</sup>。在进出口申报和消费环节容易出现高值低报和以次充好的可能。

为了追逐更高经济效益,冒牌、贴标等虚假销售现象时有发生,迫切需要完善的监管体系和适宜的检测技术对食品真伪进行甄别,以保障食品的真实性。水产品产地溯源与真伪鉴别技术一直是食品安全领域关注的热点问题<sup>[7]</sup>。目前对水产品真实性和溯源的研究还处于起步阶段,其主要原因是此前我国进口水产品尚处于量增阶段,主要关注点放在水产品的兽药残留等问题方面,而对产品本身真实性的关注度相对不高,技术热度较低。因此,开发广泛、快速、廉价和可靠的水产品溯源方法极为重要。目前水产品的溯源技术发展迅速,如稳定同位素分析法<sup>[7-12]</sup>、矿物元素分析法<sup>[13-16]</sup>、光谱分析法<sup>[17-20]</sup>、核磁共振法<sup>[21]</sup>、核酸检测法<sup>[22-25]</sup>和代谢组学<sup>[26-29]</sup>等,正逐渐成为水产品质量安全方向的研究热点。其中,矿

物元素分析技术其原理基于生物体无法自身合成矿物元素,必须从周围环境中摄取,因能够反映水产品产地环境特征和自身饮食特征,且具有灵敏度高、可靠性强等优点在水产品溯源研究中应用广泛、效果突出。目前矿物元素溯源技术主要运用于不同区域土壤种植的植物源性产品,水产品因水域变化性较大,真伪鉴别案例相对较少。本研究通过测定巴沙鱼和龙利鱼中 25 种矿物元素(B、Mg、Al、Ti、V、Cr、Mn、Fe 等)含量,并对测定结果进行主成分分析,筛选出具有显著差异的元素作为鉴别因子,建立进行巴沙鱼和龙利鱼水真伪鉴别模式,能够为龙利鱼和巴沙鱼真伪鉴别提供一种快速的鉴定方法,满足消费者真实的购物需求。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品采集

龙利鱼和巴沙鱼购自广西东兴市国贸市场,龙利鱼(编号 1~29, 共计 29 个样本)、巴沙鱼(编号 1~24, 共计 24 个样本)。每份样本约 500 g。其中龙利鱼共 3 种不同属(条鳎属 1 个、宽箬鳎属 1 个、舌鳎属 27 个)。

### 1.2 材料与试剂

65%硝酸(优级纯,德国 Merck 公司);多种元素混合标准溶液(B、Mg、Al、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zn、Ga、As、Sr、Cd、Sn、Sb、Ba、Hg、Tl、Pb,质量浓度 1000  $\mu\text{g/mL}$ )、单一元素标准溶液(Na、Mg、Al、K、Ca、Mn、Fe、Cu、Zn、Sr,质量浓度 1000  $\mu\text{g/mL}$ )、内标混标溶液(Bi、Ge、In、Re、Rh、Sc,质量浓度 100  $\mu\text{g/mL}$ )(国家有色金属及电子材料分析测试中心);质谱混合调谐标准溶液(Li、Be、In、U,质量浓度 10  $\mu\text{g/mL}$ )(美国 Agilent 公司)。

### 1.3 仪器与设备

Agilent 7800 电感耦合等离子体质谱仪(美国 Agilent 公司);Exceed-Ad-EDI-16 超纯水机(成都唐氏康宁科技发展有限公司);MARS6 微波消解仪(美国 CEM 公司);

BHW-09C 控温赶酸器(上海博通化学科技有限公司); Puiverisette11 刀式研磨仪(德国飞驰公司)。

## 1.4 实验方法

### 1.4.1 样品制备

将每一份样本中鱼的可食部分, 用刀式混合研磨仪磨碎, 将制备好的试样装入洁净的容器内, 密封并标明标记, 并冷冻保存于 $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱。

### 1.4.2 样品前处理

样品前处理方法以及仪器参数, 主要参照 GB 5009.268—2016《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》的标准执行, 称取鱼肉样品 0.5~1.0 g(精确至 0.001 g), 置于消解内罐中, 加入 5 mL 硝酸, 将消解管置于 $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ 赶酸电热板上预消解 20~30 min<sup>[30]</sup>进行预消解, 将消解内罐加外盖旋紧放入微波消解装置中, 按设定参数进行消解, 微波消解程序见表 1。消解后取出微波消解管, 于通风橱内小心打开内外盖开罐排气, 用少量水冲洗内盖, 将微波消解管放至赶酸仪中, 于 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 加热 30 min, 冷却后, 倒出样液后再用水洗消解管至少 3 次, 合并于刻度准确的 50 mL 塑料离心管中, 用水定容至 50 mL 刻度, 混匀待测, 同时做空白试验。

表 1 微波消解程序  
Table 1 Microwave digestion procedure

步骤	功率/W	温度/ $^{\circ}\text{C}$	升温时间 /min	保持时间 /min
1	1800	130	10	3
2	1800	160	3	5
3	1800	180	4	15

### 1.4.3 电感耦合等离子体质谱法仪器采集条件

使用 He 碰撞模式, 减少干扰。通过测试质谱调谐液优化电感耦合等离子体质谱法的仪器采集方法参数。优化后的采集方法参数为: RF 功率: 1550 W; 等离子体气体: 15.0 L/min; 辅助气流量: 1.0 L/min; 雾化气流量: 1.0 L/min; 雾化室温度:  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; 碰撞模式: He 模式; 碰撞池氦气流量: 3.5 mL/min。采样深度: 8 mm; 采样锥孔径: 1.0 mm, 截取锥孔径: 0.4 mm; 采样时间: 40 s; 重复次数: 3 次。

### 1.4.4 样品测定

对样品中 B、Mg、Al、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zn、Ga、As、Sr、Cd、Sn、Sb、Ba、Hg、Tl、Pb、Na、K、Ca 25 种矿物元素含量按照 1.3.3 样品前处理方法进行测定, 对于高含量的元素 Na、Mg、Al、K、Ca、Mn、Fe、Cu、Zn、Sr 元素还需要根据初测结果稀释 50~100 倍进行检测。

## 1.5 数据处理

采用 SPSS 25.0 统计软件对结果进行主成分分析(principal component analysis, PCA)。

## 2 结果与分析

### 2.1 龙利鱼和巴沙鱼中矿物元素含量的差异分析

对 29 种龙利鱼和 24 种巴沙鱼进行了 25 种矿物元素的检测。结果显示龙利鱼的矿质元素总含量为 $(4409.88\pm 1058.83)\text{ mg/kg}$ , 巴沙鱼的矿质元素总含量 $(3088.87\pm 606.22)\text{ mg/kg}$ 。龙利鱼矿物元素的总含量明显高于巴沙鱼的含量。其中 Na、K、Ca 均是两类鱼中主要的矿质元素, 龙利鱼中 Na、K、Ca 含量分别为 $(806.37\pm 387.03)$ 、 $(2040.80\pm 578.75)$ 、 $(1169.92\pm 638.74)\text{ mg/kg}$ ; 巴沙鱼中钠、钾和钙含量分别为 $(2182.92\pm 751.86)$ 、 $(779.12\pm 390.85)$ 、 $(47.21\pm 16.15)\text{ mg/kg}$ 。次要元素主要有 5 种, 分别为 Sr、As、Mn、Fe、Zn, 其中 Sr、As、Mn、Fe 在龙利鱼中有检出, 在巴沙鱼中均未检出, Zn 元素龙利鱼大于巴沙鱼, 见表 2。9 种元素 Pb、Tl、Sb、Ga、Ni、Cr、Cd、Sn、Co 在两种鱼种基本均未检出。

表 2 龙利鱼和巴沙鱼次要元素含量(mg/kg)  
Table 2 Content of minor elements in sole fish and basa fish (mg/kg)

样本	Sr	As	Mn	Fe	Zn
龙利鱼	$33.47\pm 22.84$	$9.70\pm 4.23$	$3.12\pm 1.77$	$3.41\pm 2.93$	$4.21\pm 1.51$
巴沙鱼	$0.00\pm 0.00$	$0.010\pm 0.013$	$0.00\pm 0.00$	$0.00\pm 0.00$	$0.18\pm 0.61$

### 2.2 龙利鱼和巴沙鱼中矿物元素的主成分分析

采用 SPSS 25.0 软件对龙利鱼和巴沙鱼矿物元素含量数据进行 PCA, 结果见图 1, 可看出龙利鱼和巴沙鱼矿物元素含量差异显著, 说明两种鱼能够较好的分离。将 B、Mg、Al、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zn、Ga、As、Sr、Cd、Sn、Sb、Ba、Hg、Tl、Pb、Na、K、Ca 共 25 种元素分别按序号 1~25 编号。通过 VIP scores 分析, 每个矿物元素可以得出一个 VIP 值, 即变量重要性投影, VIP 值大小代表该物质对于区分组间差异的贡献大小, 在判别过程中, 一般认为 VIP 值 $>1$  表示该变量具有重要作用, VIP 值越大, 贡献率越大, 说明该变量在不同处理组间的差异越显著, 通常 VIP $>1$  为常见的差异物质筛选标准<sup>[31]</sup>。从图 1 可以看出 Mg、Ti、Zn、As、K、Ca、Na、Mn、Fe 共 9 种元素 VIP $>1$ , 是龙利鱼和巴沙鱼的主要的差异元素。

### 2.3 龙利鱼不同属间比较

29 种龙利鱼按照水产品分类学可以细分 3 种不同属(A 条鳎属 1 个、B 宽箬鳎属 1 个、C 舌鳎属 27 个), 进行 PCA, 见图 2, 可看出舌鳎属 27 个样本主成分相对比较集中, 说明相同属间龙利鱼矿物元素含量具有比较相似的规律, 因条鳎属和宽箬鳎属样本较少, 不具有统计学意义, 但可以看出不同属的龙利鱼 A、B 与 C 之间还是有一定的差异性, 下一步需要收集更多的条鳎属和宽箬鳎属的龙利鱼样本。从 VIP 得分图可以看出, V、Mn、B、Ba、Fe、As、Sr 共 7 种元素 VIP $>1$ , 是龙利鱼的主要差异元素。

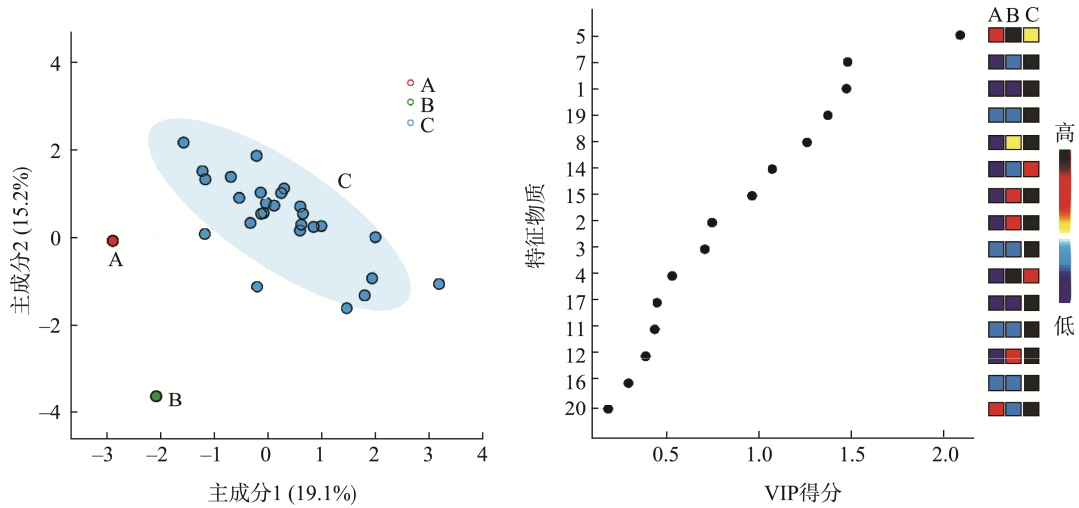


图 1 龙利鱼和巴沙鱼 25 种矿物元素 PCA 得分图和 VIP 得分图

Fig.1 PCA scores and VIP scores of 25 kinds of mineral elements of sole fish and basa

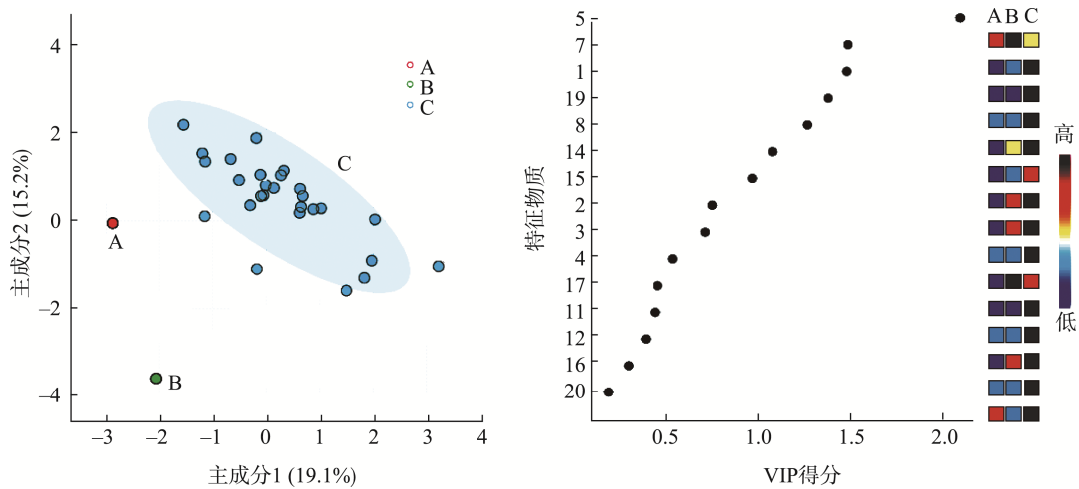


图 2 3 组不同属间龙利鱼 PCA 得分图和 VIP 得分图

Fig.2 PCA scores and VIP scores of 3 different groups of sole fish

### 3 结论

本研究提出了一种通过检测 25 种矿物元素来鉴定龙利鱼和巴沙鱼真伪的方法。通过分析发现,龙利鱼矿物元素总含量高于巴沙鱼,Na、K 和 Ga 是两类鱼中主要的矿物质元素,通过 PCA,发现龙利鱼和巴沙鱼在矿物元素含量差异显著,Mg、Ti、Zn、As、K、Ca、Na、Mn、Fe 共 9 种元素上存在显著差异。次要元素主要有 5 种分别为 Sr、As、Mn、Fe、Zn,其中 Sr、As、Mn、Fe 在龙利鱼中有检出,在巴沙鱼中均未检出,Zn 元素龙利鱼大于巴沙鱼,9 种元素 Pb、Tl、Sb、Ga、Ni、Cr、Cd、Sn、Co 在两种鱼种基本均未检出。相同属间龙利鱼矿物元素含量具有比较相似的规律,因其他 2 种属样本量比较少,不具有统计学意义,但可以看出不同属的龙利鱼之间还是有一定的差异性。矿物元素分析是一种有效的鱼类真伪鉴定手段,能够为食品安全监管和消费者权益保护提供技术支持。

下一步可以扩大样本类型,包括不同地区、不同生长阶段的龙利鱼和巴沙鱼,以增强研究结果的普适性和代表性,并建立更为全面的矿物元素数据库。同时,根据不同水产品的特点,可以结合形态学鉴定、分子生物学方法等,建立综合鉴定技术,以实现更全面的水产品真伪鉴定,从而更好地保护消费者权益和提升食品安全水平。

### 参考文献

- [1] 伍汉霖,钟俊生. 中国海洋及河口鱼类系统检索[M]. 北京: 中国农业出版社, 2021.
- [2] WU HL, ZHONG JS. Systematic identification of marine and estuarine fishes in China [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2021.
- [3] 陈大刚,张美昭. 中国海洋鱼类[M]. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2016.
- [4] CHEN DG, ZHANG MS. Marine fishes of China [M]. Qingdao: Ocean University of China Press, 2016.
- [5] 肖玫,欧志强. 深海鱼油中两种脂肪酸(EPA 和 DHA)的生理功效及机理的研究进展[J]. 食品科学, 2005, 26(8): 522-526.

- XIAO M, OU ZQ. Research progress of the physiological function and mechanism of two kinds of fatty acid (EPA and DHA) in the fish oil of deep sea [J]. Food Science, 2005, 26(8): 522–526.
- [4] 郭玉华, 李钰金. 水产品中 EPA 和 DHA 的研究进展[J]. 肉类研究, 2011, 25(1): 82–86.
- GUO YH, LI YJ. Research progress of EPA and DHA from aatic [J]. Meat Research, 2011, 25(1): 82–86.
- [5] 沈校, 龚明, 邹峥嵘, 等. 巴沙鱼皮胶原蛋白的提取、组成及变性温度研究[J]. 中国海洋药物, 2017, 36(4): 41–46.
- SHEN X, GONG M, ZOU ZR, *et al.* Study on extraction, composition and denaturation temperature of collagen from *Pangasius haniltoa* skin [J]. Chinese Journal of Marine Drugs, 2017, 36(4): 41–46.
- [6] WANG DN, HSIEH YHP. The use of imported pangasius fish in local restaurants [J]. Food Control, 2016, 65: 136–142.
- [7] 区兑鹏, 张小军. 水产品溯源技术研究进展[J]. 水产科技情报, 2021, 48(6): 342–349.
- OU DP, ZHANG XJ. Research progress on traceability technology of aquatic products [J]. Fisheries Science & Technology Information, 2021, 48(6): 342–349.
- [8] WILKINSON DJ, BROOK MS, SMITH K. Principles of stable isotope research-with special reference to protein metabolism [J]. Clinical Nutrition Open Science, 2021, 36: 111–125.
- [9] CARTER JF, TINGGI U, YANG X, *et al.* Stable isotope and trace metal compositions of Australian prawns as a guide to authenticity and wholesomeness [J]. Food Chemistry, 2015, 170: 241–248.
- [10] CAMIN F, PERINI M, BONTEMPO L, *et al.* Stable isotope ratios of H, C, O, N and S for the geographical traceability of Italian rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Food Chemistry, 2018, 267: 288–295.
- [11] DONG X, HAN C, LI L. Stable isotope ratio analysis for the authentication of sea urchin (*Mesocentrotus nudus*) from different culture areas in the North Yellow Sea, China [J]. Aquaculture, 2022, 561: 738637.
- [12] 洪赫阳, 田秀慧, 温丰功, 等. 利用稳定同位素进行农产品产地溯源和真伪鉴别研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(21): 6889–6897.
- HONG HY, TIAN XH, WEN FG, *et al.* Research progress in origin traceability and authenticity identification of agricultural products using stable isotope [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2022, 13(21): 6889–6897.
- [13] MORRISON L, BENNION M, GILL S, *et al.* Spatio-temporal trace element fingerprinting of king scallops (*Pecten maximus*) reveals harvesting period and location [J]. Science of the Total Environment, 2019, 697: 134121.
- [14] IGUCHI J, ISSHIKI M, TAKASHIMA Y, *et al.* Identifying the origin of corbicula clams using trace element analysis [J]. Fisheries Science Tokyo, 2014, 80(5): 1089–1096.
- [15] DAVIS R, BOYD C, WAKEFIELD J, *et al.* Trace element concentrations in white leg shrimp *Litopenaeus vannamei* from retail stores in the EU, UK, and USA and the ability to discern country of origin with classification models [J]. Current Research in Food Science, 2021, 4: 655–661.
- [16] LUO R, JIANG T, CHEN X, *et al.* Determination of geographic origin of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) using integrated stable isotope and multi-element analyses [J]. Food Chemistry, 2019, 274: 1–7.
- [17] OTTAVIAN M, FASCO P, FASOLATO L, *et al.* Use of near-infrared spectroscopy for fast fraud detection in seafood: Application to the authentication of wild European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2011, 60(2): 639–648.
- [18] ALAMPRESE C, CASIRAGHI E. Application of FT-NIR and FT-IR spectroscopy to fish fillet authentication [J]. LWT-Food Science & Technology, 2015, 63(1): 720–725.
- [19] HIKIMA J, ANDO M, HAMAGUCHI H, *et al.* On-site direct detection of astaxanthin from salmon fillet using Raman spectroscopy [J]. Mar Biotechnol (NY), 2017, 19(2): 157–163.
- [20] 李庆波, 毕智棋, 石冬冬. 基于能量色散 X 射线荧光光谱的鱼种产地溯源方法研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2021, 41(3): 745–749.
- LI QB, BI ZQ, SHI DD. The method of fishmeal origin tracing based on EDXRF spectrometry analysis [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis Journal, 2021, 41(3): 745–749.
- [21] AURSAND M, STANDAL IB, PRAEL A, *et al.* <sup>13</sup>C NMR pattern recognition techniques for the classification of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) according to their wild, farmed, and geographical origin [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2009, 57(9): 3444–3451.
- [22] ZHAO X, MU M, LI A, *et al.* Identification of salmon aquatic products sold in Qingdao using DNA barcoding technology [J]. Progress in Fishery Sciences, 2021, 42(4): 184–191.
- [23] NGUYEN DD, NGOC HH, DIJOUX D, *et al.* Determination of fish origin by using 16S rDNA fingerprinting of bacterial communities by PCR-DGGE: An application on pangasius fish from Viet Nam [J]. Food Control, 2008, 19(5): 454–460.
- [24] KOH YH, KIM MS. DNA barcoding reveals cryptic diversity of economic red algae, *Pyropia* (Bangiales, Rhodophyta): Description of novel species from Korea [J]. Journal of Applied Phycology, 2018, 30(6): 3425–3434.
- [25] WILWET L, SHAKILA RJ, SIVARAMAN B, *et al.* Rapid detection of fraudulence in seven commercial shrimp products by species-specific PCR assays [J]. Food Control, 2021, 124: 107871.
- [26] SONG GS, ZHANG M, ZHANG Y, *et al.* In situ method for real-time discriminating salmon and rainbow trout without sample preparation using iKnife and rapid evaporative ionization mass spectrometry-based lipidomics [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2019, 67(16): 4679–4688.
- [27] SONG GS, CHEN K, WANG HX, *et al.* In situ and real-time authentication of thunnus species by iKnife rapid evaporative ionization mass spectrometry based lipidomics without sample pretreatment [J]. Food Chemistry, 2020, 318: 126504.
- [28] ZHONG P, WEI XQ, XU Y, *et al.* Integration of untargeted and pseudotargeted metabolomics for authentication of three shrimp species using UHPLC-Q-Orbitrap [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2021, 69(31): 8861–8873.
- [29] 陈雪, 罗欣, 梁荣蓉, 等. 代谢组学在肉及肉制品品质监测中的应用 [J]. 农业工程学报, 2020, 36(17): 291–300.
- CHEN X, LUO X, LIANG RR, *et al.* Application of metabolomics in monitoring the qualities of meat and meat products [J]. Journal of Agricultural Engineering, 2020, 36(17): 291–300.
- [30] 黄锐敏, 郑云云, 苏德森, 等. 不同前处理方法对 ICP-MS 法测定热带水果中主要重金属元素的影响[J]. 福建农业科技, 2019(5): 39–43.
- HUANG RM, ZHENG YY, SU DS, *et al.* Effects of different pretreatment methods on the determination of major heavy metal elements in tropical fruits by ICP-MS method [J]. Fujian Agricultural Science and Technology, 2019(5): 39–43.
- [31] LIU HC, WEN J, YU YJ, *et al.* Evaluation of dynamic changes and formation regularity in volatile flavor compounds in *Citrus reticulata* ‘Chachi’ peel at different collection periods using gas chromatography-ion mobility spectrometry [J]. LWT Food Science and Technology, 2022, 171: 114126.

(责任编辑: 蔡世佳 韩晓红)