

水产品产地溯源技术研究进展

郭小溪, 刘 源, 许长华, 王锡昌*, 郭燕茹
(上海海洋大学食品学院, 上海 201306)

摘 要: 水产品产地溯源技术是监管水产品质量安全的重要工具, 不仅有利于保护消费者的合法权益, 而且为保护地方特色产品提供了保障。近年来, 质谱技术、光谱技术以及分子生物学技术等迅速发展, 突显了其在水产品产地溯源中的重要作用, 通过检测水产品的矿物元素组成与含量、同位素含量与比率、有机物组成、DNA图谱等信息, 结合统计学分析手段, 可建立水产品产地溯源指纹图谱。本文综述近年来常用的水产品产地溯源技术的应用研究进展, 并对水产品产地溯源技术研究的发展趋势进行展望。

关键词: 水产品; 产地溯源; 质谱; 光谱; 分子生物技术

Progress in Techniques for Geographical Origin Traceability of Aquatic Products

GUO Xiaoxi, LIU Yuan, XU Changhua, WANG Xichang*, GUO Yanru
(College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Geographical origin traceability of aquatic products is an important tool that is not only beneficial to safeguarding consumers' legal rights, but also provides a guarantee for protecting local specialty products. In recent years, mass spectrometry, spectroscopy and molecular biological technology have played important roles in geographical origin traceability of aquatic products by fingerprint profiling based on mineral element composition and contents, isotope contents and ratios, organic compound constituents and DNA mapping using chemometrics. Recent progress in the application of common analytical techniques for determining the geographical origin of aquatic products is reviewed in this paper. Furthermore, future trends are also discussed.

Key words: aquatic product; geographical origin traceability; mass spectrometry; spectroscopy; molecular biotechnology

中图分类号: TS254.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2015) 13-0294-05

doi:10.7506/spkx1002-6630-201513054

水产品以其所富含的丰富营养物质和大量呈鲜物质深受大众喜爱, 其消费量也在逐年提高。水产品的品质直接影响着消费者的生活质量和健康状况, 然而近年来国内外水产品安全事件时有发生, 如干海参掺假、银鱼甲醛超标、养殖虾药物残留等^[1]。水产品安全事件不仅会导致消费者对水产品市场产生信任危机, 甚至会影响国际贸易关系。因此, 在贸易全球化和国际标准欠缺的现状下, 如何鉴别水产品来源以及对销售过程中水产品质量的监管成为保证水产品质量安全的当务之急^[2]。为此许多国家提出建立食品的可追溯体系, 即利用现代化信息管理技术使每件商品拥有独特的标码, 从而做到“从原料到餐桌”的全程可追溯性^[3]。但是, 可追溯体系要求在生产、运输以及销售的每个环节都要做到准确记录, 任何一个环节的失误都将导致整体可追溯性的失败。为了弥补可追溯体系的不足以及建立健全水产品的安全保障

体系, 水产品产地溯源技术日益受到广泛关注。因此, 本文重点介绍近年来常用水产品产地溯源技术的应用研究进展, 并对水产品产地溯源技术研究的发展趋势进行展望。

1 质谱 (mass spectrometry, MS) 技术

1.1 稳定同位素比率质谱 (isotope ratio mass spectrometry, IRMS)

IRMS技术主要用来测定样品的同位素比率,¹³C/¹²C、¹⁸O/¹⁶O、²H/¹H、¹⁵N/¹⁴N、³⁴S/³²S这些稳定同位素的比率受到了地理、气候和环境条件等各种因素的影响, 因此生物体内同位素的丰度差异能为判断水产品的产地来源提供可靠依据。由于直接观察水生生物的摄食习惯以及迁徙行为难度较大, 因此稳定同位素分析技术

收稿日期: 2014-08-13

基金项目: 上海市食品科学与工程一流学科项目 (B-5005-12-0002-4)

作者简介: 郭小溪 (1991—), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品营养与品质评价。E-mail: stream_brook@sina.com

*通信作者: 王锡昌 (1964—), 男, 教授, 博士, 研究方向为食品营养与品质评价。E-mail: xcwang@shou.edu.com

在分析水生生物的摄食生态和栖息地选择上显得特别有利。为了确保IRMS的高重现性,样品中的被测元素(如C、H、O、N、S)要转化成气体形式进入IRMS的检测系统,通过对 H_2 、 N_2 、 CO_2 、 CO 、 SO_2 的检测,得到 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 、 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 、 $^2\text{H}/^1\text{H}$ 、 $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ 、 $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ 等具有代表性的同位素比率^[4]。并且IRMS技术具有精确度高、运用少量样品即可进行同位素检测和区分的特点。

目前,C($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$)和N($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$)两个稳定同位素比率普遍被用于摄食生态学的研究。Sant'Ana等^[5]运用IRMS技术对人工养殖和野生的巴西淡水鲶鱼进行分季节性的C、N稳定同位素分析,人工养殖的鲶鱼所测出的 $\delta^{13}\text{C}$ 含量在雨季和旱季都很丰富,分别为 $(-24.04 \pm 1.70)\text{‰}$ 、 $(-23.62 \pm 1.18)\text{‰}$,这是由于人工饲料由含有丰富的C元素的鱼类和植物组成。而N同位素的含量在不同的生存条件以及季节下都存在差异。同位素组成的季节性差异可能与鲶鱼食物的改变有关,因为野生鲶鱼能捕获的食物随季节更替而有所改变,而人工养殖的鲶鱼则长期食用池塘中固有生存的小型杂食鱼类、人工饲料以及昆虫。结合多变量方差分析和判别因子分析进行产地追溯,结果显示:随着季节变化, $\delta^{13}\text{C}$ 比 $\delta^{15}\text{N}$ 有更好的溯源效果,通过结合C、N同位素的二维图像分析可提高溯源正确率。此外,Schröder等^[6]利用C、N稳定性同位素对智利巴塔哥尼亚地区的人工养殖和野生的大马哈鱼进行鉴别区分,结果发现人工养殖的鱼体中 $\delta^{15}\text{N}$ 以及脂质标准化后的 $\delta^{13}\text{C}$ 含量高于野生鱼体,运用稳定同位素进行溯源分析准确率达到94%。Turchini等^[7]应用IRMS技术对澳大利亚墨累河地区人工养殖和野生的鳕鱼进行区分,检测发现 $\delta^{15}\text{N}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 可以明确区分不同养殖方式的鳕鱼,此外 $\delta^{18}\text{O}$ 可区分不同水源的鳕鱼产品,也就是可判别区分来自不同养殖地的鳕鱼。此外,H同位素在罗非鱼^[8]的产地溯源中也有成功的应用。

1.2 电感耦合等离子质谱(inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS)

ICP-MS技术是近年来无机微量元素分析研究和应用的重点方向之一^[9],具有干扰少、灵敏度高、超痕量检测限以及可多元素同时分析等诸多优点。水生生物体内的微量元素组成及含量受其生长地理环境尤其水质的影响,因此,对水生生物体中的金属或非金属元素进行定量检测可以达到水产品产地溯源的目的。

基于耳石具有持续吸收生存水域中微量元素并不会再释放的特殊性^[10],Silva等^[11]利用溶液法-电感耦合等离子体质谱(solution-based inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS-SB)技术对葡萄牙北方3个地区条长臀鳕的耳石中的微量元素进行检测分析,发现Sr、Ba、Mg和Li这4种元素的含量在3个不同地区捕捞的鳕鱼中存在显著差异,结合单因素方差分析

(analysis of variance, ANOVA)、多元方差分析(multivariate analysis of variance, MAOV)和线性判别分析(linear discriminant function analysis, LDFA)3种统计学分析手段进行产地判别,结果显示LDFA法所得判别结果相比之下有较高的准确性,3个地区的判别准确率分别达到87%、63%、57%。

海参作为亚洲几千年来传统的滋补食品,具有因生长环境不同而具有不同药性的特点^[12],因此,找到一种能有效鉴别海参产地来源的方法尤为重要。Liu Xiaofang等^[13]应用ICP-MS技术对产自我国的渤海、黄海和东海3个水域的海参体内15种元素(Al、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zn、As、Se、Mo、Cd、Hg、Pb)进行检测分析,并应用主成分分析(principal component analysis, PCA)、聚类分析(cluster analysis, CA)以及线性判别分析3种模式识别技术对所测15种元素进行分析,结果显示3种分析手段对海参产地的识别率交叉验证结果均为100%,证明了ICP-MS技术可成功应用于中国三大海域海参的产地鉴别。

激光溶蚀进样与ICP-MS联机分析技术(laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry, LA-ICP-MS)可直接应用于固体样品的分析,且具有需样量少、无需预处理、灵敏度高以及避免受到水分子分离出的离子干扰等优点^[14]。Zitek等^[15]运用LA-ICP-MS技术检测了野生和人工养殖的鳕鱼耳石中Sr、Na、Ca元素含量以及 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 元素比率,运用统计学分析 $^{88}\text{Sr}/^{43}\text{Ca}$ 、 $^{23}\text{Na}/^{43}\text{Ca}$ 以及 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 元素比率,结果显示该技术可有效区分两种生存环境的鳕鱼,其分类准确度达到100%。

1.3 表面解析常压化学电离质谱(surface desorption atmospheric pressure chemical ionization mass spectrometry, DAPCI-MS)

DAPCI-MS是一种充分结合了电喷雾解吸电离质谱(desorption electrospray ionization mass spectrometry, DESI-MS)无需样品预处理和常压化学电离质谱(atmospheric pressure chemical ionization mass spectrometry, APCI-MS)高灵敏度优点的新型离子质谱。DAPCI-MS技术直接以空气或水蒸气作为载体,无污染且易于小型化、灵敏度高、样品用量少,可直接分析固、液、气、胶态样品中的微量、痕量组分,是一种直接快速分析的非破坏性检测方法。

基于生长环境对海参药用价值影响的特殊性,Wu Zhongchen等^[16]采用DAPCI-MS技术检测分析了产自威海、烟台、大连3个地区同一品种的干海参产品,通过PCA和软独立建模分类法(soft independent modeling of class analogies, SIMCA)进行统计学分析,取得了良好地域区分效果。实验结果还显示,样品表面的粗糙度导致了一定程度上的信号差异,但是并不影响干海参样品的原产地区分效果。

2 光谱 (spectroscopy) 技术

2.1 红外光谱 (infrared spectroscopy, IR)

红外光谱通常按波长划分为近红外区 (NIR, 0.78~2.5 μm)、中红外区 (MIR, 2.5~25 μm) 和远红外区 (FIR, 25~300 μm)。波长不同的红外射线照射到物质的分子上, 分子选择性地吸收某些特定波长的红外射线, 形成该分子的红外吸收光谱^[17]。因此, 红外光谱中振动峰的数目、位置、形状和强度与被测物质分子的组成、结构和性质都有密切的关系。目前, 中红外和近红外光谱技术以其操作简便、分析速度快、测试重现性好以及对样品无损伤等优点, 已在农产品产地鉴别中获得广泛应用^[18], 而在水产品中的应用还属于探索阶段^[19]。

陶琳等^[20]采用近红外漫反射光谱法对来自4个不同产地的干刺参样品进行产地鉴别, 取5 000~4 000 cm^{-1} 波段的光谱数据进行主成分聚类分析 (principal component cluster analysis, PCCA), 成功实现了对其产地的鉴别分析。Ottaviano等^[21]运用近红外光谱技术对饲养和野生的海鲈鱼进行区分, 并对光谱数据进行PCA和偏最小二乘判别分析 (partial least-squares discriminant analysis, PLS-DA), 结果显示具有良好的区分效果, 此外, 该研究还发现海鲈鱼检测中最具预测性的光谱区域为一CH、—CH₂、—CH₃和H₂O的光谱吸收区, 分别在1 700、2 200 nm以及1 900 nm波长附近呈现出与脂肪、脂肪酸和水分相关的光谱数据。

Wu Zhongchen等^[22]运用漫反射傅里叶变换红外光谱对产自4个不同地区的干海参进行等级鉴别区分, 取波段为1 700~600 cm^{-1} 的光谱数据进行PCA以及SIMCA分析, PCA区分结果与海参产地地理划分相吻合, 该结果也验证了影响海参品质等级的关键因素是生长环境的不同。

2.2 原子光谱 (atomic spectroscopy)

原子光谱是由原子中的电子在能量变化时所发射或吸收的一系列波长的光所组成的光谱。因为每一种原子都有其特征光谱, 所以原子光谱技术可以对所测物质的元素进行定性和定量分析。由于水产品的元素组成及含量受生长环境等因素的影响, 因此运用原子光谱技术测定样品中元素的含量及组成可以对水产品进行产地溯源。

原子光谱技术主要包括原子吸收光谱 (atomic absorption spectrometry, AAS)、原子发射光谱 (atomic emission spectrometry, AES) 和原子荧光光谱 (atomic fluorescence spectrometry, AFS)。由于原子吸收光谱不适合耐高温元素 (B、V、W、Mo) 和碱土金属元素的分析, 而一些非金属元素如P、Se、Te等因激发电位高, 运用原子发射光谱法检测的灵敏度较低, 因此, 测定元素种类较多时, 常采用原子光谱技术与多种测定方法相结合, 比如与电感耦合等离子质谱联用。

Guo Lipan等^[23]运用原子吸收光谱结合电感耦合等离子体质谱检测了4种中国东海商业海鱼品种中

的25种元素, 对检测结果进行多元统计学分析, 结果显示PCA可以鉴别同种海鱼样品的来源产地, 而PLS-DA和概率神经网络 (probabilistic neural networks, PNN) 分析结果显示, 在不需要区分海鱼种类的前提下, 这两者对样品的地域来源进行鉴别的准确率分别达到97.92%和100%。

Custódio等^[24]运用火焰原子吸收光谱法检测野生和人工养殖的海鲈鱼和金头鲷体内Cd、Hg、Pb元素含量, 结果显示野生鱼种的体内有毒元素含量高于同种人工养殖鱼种, 但是未超出最大允许限量。

2.3 核磁共振 (nuclear magnetic resonance, NMR)

NMR主要是由磁矩不为零的原子核受电磁波辐射而发生跃迁所形成的吸收光谱。NMR光谱技术分析方便、光谱稳定性好, 通过较少的前处理即可对水产品特征提取物进行定量和定性分析。

NMR分为低分辨率NMR (low resolution-NMR, LR-NMR) 和高分辨率NMR (high resolution-NMR, HR-NMR) 两种。目前常用的HR-NMR是¹H NMR和¹³C NMR。Aursand等^[25]运用¹³C NMR对产自挪威、苏格兰、加拿大等7个国家的大西洋鲑鱼肌肉中的脂肪进行分析测定, 并结合PNN技术和支持向量机法 (support vector machines, SVM) 进行分析, 在不区分产地来源以及季节的条件下对大西洋鲑鱼是否为野生进行区分, 结果较为理想, 运用两种方法统计分析的结果分别为98.5%和100%, 而对养殖的大西洋鲑鱼进行溯源分析, 结果正确率为82.2%~99.3%, 推测可能是样品量范围不够所致。Masoum等^[26]运用¹H NMR技术对产自加拿大、阿拉斯加、丹麦等8个国家的鲑鱼进行产地区分, 并验证应用SVM统计学方法分析的可行性, 得到的结果较好, 校正集和验证集的准确率分别为93.3%和95.4%, 同时也验证了¹H NMR技术与SVM法结合可以有效应用于鲑鱼的产地溯源中。

此外, HR-NMR另一个主要的应用是点特异性天然同位素分馏核磁共振技术 (site-specific natural isotope fractionation, SNIF-NMR)。SNIF-NMR和IRMS为检测同位素比率的两个主要技术手段, 与IRMS相比, SNIF-NMR的主要优势是其对²H的检测在自然丰度上要比IRMS更为精确。Aursand等^[27]采集了来自挪威和苏格兰的人工养殖鲑鱼以及大西洋的野生鲑鱼, 运用SNIF-IRMS、气相色谱 (gas chromatography, GC) 和IRMS技术分别对鲑鱼进行²H、脂肪酸以及¹³C的检测, 当单独运用一种检测方法对鲑鱼进行人工养殖和野生区分时, 正确率为80%~88%, 当将3种检测结果结合起来对鲑鱼的产地进行判别时, 准确率提高至100%。

3 分子生物技术 (molecular biotechnology)

由于生长于不同环境的水产品体内所携带的微生物种类和特性存在很大差异, 因此运用分子生物学技术可

对水产品体内的微生物进行多种种群的鉴定,进而判断水产品的产地来源。目前常用的分子生物技术为聚合酶链式反应-变性梯度凝胶电泳 (polymerase chain reaction-denaturing gradient gel electrophoresis, PCR-DGGE) 技术,具有可重复、快速和操作简便等优点。

由于PCR-DGGE技术是基于检测RNA、DNA片段或蛋白质的核苷酸序列,而核糖体16S rRNA为细胞所共有,其功能同源且最为古老,既含有保守序列又含有可变序列,分子大小适合操作,并且它的序列变化与进化距离相适应,因此常选择16S rRNA作为目标遗传物质鉴定靶序列。

Tatsadjieu等^[28]分季节采集了喀麦隆北部3个湖泊的罗非鱼,并运用PCR-DGGE技术分析了罗非鱼体内以及生长环境中微生物的16S rRNA核苷酸序列,检测发现不同水域的微生物体内16S rRNA的核苷酸序列有显著性差异,可用于区分罗非鱼的原产地,该实验还发现鱼体内微生物DGGE谱带轮廓受季节的影响远大于受鱼的种类的影响。le Nguyen等^[29]采集越南不同产地鲶鱼携带的微生物群落,运用PCR-DGGE对其16S rDNA进行检测,结果显示不同水产养殖场鲶鱼携带微生物的16S rDNA不同,可用于产地区分,并且该方法可应用于同一养殖场的季节性区分。Montet等^[30]分季节采集了越南5个水产养殖场的鲶鱼和罗非鱼,并分别用两种传统方法进行盐腌发酵,然后运用PCR-DGGE技术检测腌制后鱼体内以及生存环境的微生物的16S rRNA序列,结果证明PCR-DGGE技术对加工后的鱼制品也可以实现鱼生存环境的溯源。

4 气相色谱 (gas chromatography, GC) 技术

目前,GC是一种十分成熟的分离分析方法,具有灵敏度好、分辨率高、重复性好等特点。由于水产品的特征成分含量及比例受地理、气候等多种因素影响,因此利用GC或与其他技术相结合的方式分离检测、分析水产品挥发性特征成分,可以有效地识别水产品来源产地。

Busetto等^[31]运用GC结合氢火焰离子化检测器 (hydrogen flame ionization detector, FID) 分析来自西班牙、丹麦、荷兰等地野生和人工养殖大比目鱼的脂肪酸种类及含量,结果发现通过检测亚油酸含量可以区分野生和人工养殖的大比目鱼,将利用IRMS技术检测出的同位素比率结合亚油酸、亚麻酸、花生四烯酸 (arachidonic acid, ARA) 含量进行线性判别分析,可以区分不同地区的野生大比目鱼。

气相色谱-质谱联用 (GC-MS) 技术将气相色谱与质谱相结合,既发挥了气相色谱技术高效的分离能力,又结合了质谱特异性的鉴别能力。董志国等^[32]应用GC-MS技术结合多元分析方法研究我国湛江、大连、连云港、东营、舟山和漳州海区6个地区秋冬季三疣梭子蟹天然群体的脂肪酸含量差异。结果显示,6个群体的蟹中均含有27种脂肪酸,以油酸、二十碳一烯酸、芥酸、ARA和二十碳五烯

酸 (eicosapentaenoic acid, EPA) 作为脂肪酸指纹标记,可有效对6个群体进行产地鉴别,其综合判别准确率达88.46%。Grigorakis等^[33]运用GC-MS技术分析野生和人工饲养的金头鲷肌肉中挥发性芳香族化合物,结果显示野生金头鲷肌肉中检测出51种挥发性香气成分,而人工饲养的金头鲷的肌肉中仅含有45种挥发性香气成分,通过挥发性香气成分分析可以区分野生和人工饲养的金头鲷。

气相色谱-嗅觉测量技术 (gas chromatography-olfactometry, GC-O) 将色谱的分离能力与人类鼻子的灵敏性相结合,通过检测人员的感官检测确定出各个香气组分对香味的贡献大小,即确定被测物香味的关键风味活性成分。le Guen等^[34]对熟制后的野生和人工养殖贻贝进行GC-O检测,结果发现共有33种气味活性成分,其中有5种可以用于区分人工养殖和野生贻贝,并指出由二甲基二硫醚产生^[35]的硫磺味是野生贻贝所特有的气味。

将上文介绍的常用水产品产地溯源技术应用实例进行总结,列于表1。

表1 不同种类水产品产地溯源实例
Table 1 Applications of major techniques to trace the geographical origin of different species of aquatic products

水产品种类	水产品名称	主要技术	检测参数	数据分析方法
淡水鱼类	鳊鱼 ^[5,29]	IRMS	$\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$	MANOVA, DFA
		PCR-DGGE	16S rRNA	CA
		IRMS	$\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$	MANOVA, DFA
	鲢鱼 ^[6,34-36]	^{13}C NMR	脂肪	PNN, SVM
		^1H NMR	脂肪	SVM
		SNIF-NMR+GC+IRMS	$\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^2\text{H}$ 、脂肪酸	ANOVA, LSD, CDA
	罗非鱼 ^[8,28]	IRMS	$\delta^2\text{H}$	DA
		PCR-DGGE	16S rRNA	CA
	鳙鱼 ^[15]	LA-ICP-MS+AAS	Sr, Na, Ca, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	CA, DISCRIM
	条长臀鲃 ^[11]	ICP-MS-SB	Sr, Ba, Mg, Li	ANOVA, MAOV, LDFA
海水鱼类	鲳鱼 ^[7]	IRMS	$\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$	MANOVA, DFA
	海参 ^[13]	ICP-MS	Al, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Mo, Cd, Hg, Pb	PCA, CA
	海鲈鱼 ^[21,24]	NIR	—	PCA, PLS-DA
		FAAS	Cd, Hg, Pb	—
	鲷鱼、带鱼、鲷鱼、黄鱼 ^[25]	ASS+ICP-MS	Mn, Co, Cu, Zn, Se, Rb, Sr, Sn, Ba, Hg, Pb, Bi, Ti, V, Ni, As, I, Mo, Cd, Cr, Fe, K, Na, Ca, Mg	PCA, PLS-DA, PNN
	金头鲷 ^[8,33]	FAAS	Cd, Hg, Pb	—
		GC-MS	挥发性香气成分	—
	大比目鱼 ^[31]	GC+FID+IRMS	$\delta^{15}\text{N}$ 、亚油酸、二十碳一烯酸	LDA
	三疣梭子蟹 ^[22]	GC-MS	油酸、二十碳一烯酸、芥酸、ARA、EPA	CA, PCA, DA
	贻贝 ^[34-35]	GC-O	气味活性成分	GPA
干制品	干海参 ^[16,22]	DAPCI-MS	—	PCA, SIMCA
	干刺参 ^[20]	MIR	—	PCA, SIMCA
		NIR	—	PCCA

注: —, 文献中未提及。

5 结 语

随着人们生活水平的提高,水产品安全问题日益受到消费者的关注,建立健全水产品产地溯源体制是保证水产品质量以及增强消费者对水产品市场信任度的重要手段。水产品产地溯源技术不仅有利于保证水产品安全,而且有利于保护地方特色产品,确保公平竞争。随着科学技术的日益发展,水产品产地溯源技术还有以下几个方面需要继续深入完善:1)任何一种产地溯源技术都有其局限性,为了提高水产品产地溯源结果的准确率,应考虑多方法、多参数的结合分析;2)水产品加工过程以及人工养殖中饲料对其产地溯源技术结果的影响规律需继续探索研究;3)水产品产地溯源的抽样量较少,应在全球范围内建立较为全面的溯源数据库;4)水产品产地溯源检测仪器应向便携、快速、无损以及可痕量检测等方向发展;5)在全球范围内建立健全统一的水产品产地溯源技术规范。

参考文献:

- [1] 马兵,穆迎春,宋怿,等.各国药物残留限量标准对比分析及对中国水产品出口贸易的影响[J].中国农学通报,2010,26(17):398-402.
- [2] MALDINI M, NONNIS MARZANO F, FORTES G G, et al. Fish and seafood traceability based on AFLP markers: elaboration of a species database[J]. Aquaculture, 2006, 261(2): 487-494.
- [3] 吕青,王海波,顾绍平.可追溯体系及其在水产品安全控制中的作用[J].渔业现代化,2006(3):7-9.
- [4] 蔡莽劝,黄立新,王小康. IRMS和SNIF-NMR技术在食品检测中的应用及展望[J].标准科学,2012(2):66-70.
- [5] SANT'ANA L S, DUCATTI C, RAMIRES D G. Seasonal variations in chemical composition and stable isotopes of farmed and wild Brazilian freshwater fish[J]. Food Chemistry, 2010, 122(1): 74-77.
- [6] SCHRÖDER V, de LEANIZ C G. Discrimination between farmed and free-living invasive salmonids in Chilean Patagonia using stable isotope analysis[J]. Biological Invasions, 2011, 13(1): 203-213.
- [7] TURCHINI G M, QUINN G P, JONES P L, et al. Traceability and discrimination among differently farmed fish: a case study on Australian Murray cod[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2008, 57(1): 274-281.
- [8] 马冬红,王锡昌,刘利平,等.稳定氢同位素在出口罗非鱼产地溯源中的应用[J].食品与机械,2012,28(1):5-7.
- [9] 李金英,郭冬发,姚继军,等.电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)新进展[J].质谱学报,2002(3):164-179.
- [10] CAMPANA S E, VALENTIN A, SÉVIGNY J M, et al. Tracking seasonal migrations of redfish (*Sebastes* spp.) in and around the Gulf of St. Lawrence using otolith elemental fingerprints[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2007, 64(1): 6-18.
- [11] SILVA D M, SANTOS P, CORREIA A T. Discrimination of *Trisopterus luscus* stocks in northern Portugal using otolith elemental fingerprints[J]. Aquatic Living Resources, 2011, 24(1): 85-91.
- [12] 赵芹,王静凤,薛勇,等.3种海参的主要活性成分和免疫调节作用的比较研究[J].中国水产科学,2008(1):154-159.
- [13] LIU Xiaofang, XUE Changhu, WANG Yuming, et al. The classification of sea cucumber (*Apostichopus japonicus*) according to region of origin using multi-element analysis and pattern recognition techniques[J]. Food Control, 2012, 23(2): 522-527.
- [14] TIBI M, HEUMANN K G. Isotope dilution mass spectrometry as a calibration method for the analysis of trace elements in powder samples by LA-ICP-MS[J]. Journal of Analytical Atomic Spectrometry, 2003, 18(9): 1076-1081.
- [15] ZITEK A, STURM M, WAIDBACHER H, et al. Discrimination of wild and hatchery trout by natural chronological patterns of elements and isotopes in otoliths using LA-ICP-MS[J]. Fisheries Management and Ecology, 2010, 17(5): 435-445.
- [16] WU Zhongchen, CHEN Huanwen, WANG Weiling, et al. Differentiation of dried sea cucumber products from different geographical areas by surface desorption atmospheric pressure chemical ionization mass spectrometry[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2009, 57(20): 9356-9364.
- [17] 刘国庆.傅里叶变换红外光谱仪[J].电子器件,1987(3):3.
- [18] 马冬红,王锡昌,刘利平,等.近红外光谱技术在食品产地溯源中的研究进展[J].光谱学与光谱分析,2011(4):877-881.
- [19] 吴广州,孟娟,时彦民,等.近红外光谱技术在水产品检测中的应用现状[J].中国渔业质量与标准,2013(1):94-99.
- [20] 陶琳,武中臣,张鹏彦,等.近红外光谱法快速鉴定干海参产地[J].农业工程学报,2011(5):364-366.
- [21] OTTAVIAN M, FACCO 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 and Food Chemistry, 2012, 60(2): 639-648.
- [22] WU Zhongchen, TAO Lin, ZHANG Pengyan, et al. Diffuse reflectance mid-infrared Fourier transform spectroscopy (DRIFTS) for rapid identification of dried sea cucumber products from different geographical areas[J]. Vibrational Spectroscopy, 2010, 53(2): 222-226.
- [23] GUO Lipan, GONG Like, YU Yanmei, et al. Multi-element fingerprinting as a tool in origin authentication of four east China marine species[J]. Journal of Food Science, 2013, 78(12): C1852-C1857.
- [24] CUSTÓDIO P J, PESSANHA S, PEREIRA C, et al. Comparative study of elemental content in farmed and wild life Sea Bass and Gilthead Bream from four different sites by FAAS and EDXRF[J]. Food Chemistry, 2011, 124(1): 367-372.
- [25] AURSAND M, STANDAL I B, PRAEL A, et al. ¹³C 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.
- [26] MASOUM S, MALABAT C, JALALI-HERAVI M, et al. Application of support vector machines to ¹H NMR data of fish oils: methodology for the confirmation of wild and farmed salmon and their origins[J]. Analytical and Bioanalytical Chemistry, 2007, 387(4): 1499-1510.
- [27] AURSAND M, MABON F, MARTIN G J. Characterization of farmed and wild salmon (*Salmo salar*) by a combined use of compositional and isotopic analyses[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2000, 77(6): 659-666.
- [28] TATSADJIEU N L, MAÏWORÉ J, HADJIA M B, et al. Study of the microbial diversity of *Oreochromis niloticus* of three lakes of Cameroon by PCR-DGGE: application to the determination of the geographical origin[J]. Food Control, 2010, 21(5): 673-678.
- [29] le NGUYEN D D, NGOC H H, 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.
- [30] MONTET D, le NGUYEN D D, KOUAKOU A C. Determination of fish origin by using 16S rDNA fingerprinting of microbial communities by PCR-DGGE: an application on fish from different tropical origins[M]//MUCHLISIN Z A. Aquaculture, Rijeka: InTech Open Access Publisher, 2012: 93-108.
- [31] Busetto M L, MORETTI V M, MORENO-ROJAS J M, et al. Authentication of farmed and wild turbot (*Psetta maxima*) by fatty acid and isotopic analyses combined with chemometrics[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2008, 56(8): 2742-2750.
- [32] 董志国,沈双辉,李晓英,等.中国沿海三疣梭子蟹脂肪酸指纹标记的多元分析[J].水产学报,2013(2):192-200.
- [33] GRIGORAKIS K, ALEXIS M N, TAYLOR K D, et al. Comparison of wild and cultured gilthead sea bream (*Sparus aurata*); composition, appearance and seasonal variations[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2002, 37(5): 477-484.
- [34] le GUEN S, PROST C, DEMAÏMAY M. Characterization of odorant compounds of mussels (*Mytilus edulis*) according to their origin using gas chromatography-olfactometry and gas chromatography-mass spectrometry[J]. Journal of Chromatography A, 2000, 896(1): 361-371.
- [35] le GUEN S, PROST C, DEMAÏMAY M. Evaluation of the representativeness of the odor of cooked mussel extracts and the relationship between sensory descriptors and potent odorants[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2001, 49(3): 1321-1327.