

## 气相色谱-离子迁移谱在水产领域的应用

姜鹏飞<sup>1</sup>, 柳杨<sup>1</sup>, 张浩<sup>2</sup>, 尚珊<sup>1</sup>, 启航<sup>1</sup>, 董秀萍<sup>1</sup>, 金文刚<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>大连工业大学食品学院 国家海洋食品工程技术研究中心 辽宁大连 116034

<sup>2</sup>山东海能科学仪器有限公司 山东德州 251500

<sup>3</sup>陕西理工大学生物科学与工程学院 陕西省资源生物重点实验室 陕西汉中 723001)

**摘要** 气相色谱-离子迁移谱(GC-IMS)是近年来快速发展起来的挥发性成分检测新技术之一,在食品挥发性成分分析方面应用范围逐渐扩大。为了解该技术在水产品加工及贮藏领域的研究现状,本文通过分析国内外相关文献报道,阐述 GC-IMS 技术原理及特点,重点聚焦在水产品加工领域的应用情况与发展趋势。GC-IMS 是通过检测挥发物质的变化来判断产品新鲜度,确定产品货架期、品种品质、等级区分、加工工艺优化以及产地鉴别等。GC-IMS 技术在水产品加工领域的应用由单一技术向与电子鼻、GC-MS、嗅闻仪联合应用方向发展,可以多角度、较全面表征水产品挥发性物质的轮廓信息,为水产品加工贮藏及质量控制提供技术参考。

**关键词** 气相色谱-离子迁移谱;水产领域;应用

**文章编号** 1009-7848(2023)06-0431-10 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2023.06.042

### 1 气相色谱-离子迁移谱技术的原理和特点

#### 1.1 气相色谱-离子迁移谱技术的原理

离子迁移谱(IMS)是一种检测不同基质中痕量挥发性和半挥发性有机化合物的分析方法<sup>[1]</sup>。IMS 在常压下具有极高的灵敏度和快速的响应速度,可以根据样品分子在中性缓冲气体中迁移率的不同进行分离。

IMS 的原理如图 1 所示。漂移管是 IMS 系统的最核心部分,由电离区和漂移区组成。待测样品在载气的作用下,以分子的形式进入离子迁移管的电离区,并在那里被离子源电离,形成带正、负电荷的产物离子。这些离子在电场力的作用下,通过间歇式开启的离子门进入漂移区。在与逆流的中性漂移气体分子不断碰撞的过程中,由于这些离子的分子质量和一维碰撞截面不同,它们最终会先后不同时间到达检测电极,从而达到分离和检测的目的<sup>[2]</sup>。

离子迁移谱产品普遍具有体积小,质量轻,易于携行,检测速度快,生产成本低等显著的特点。

然而,对于复杂的样品基质,也可能存在基质干扰严重,反应离子竞争,仪器分辨率不能满足多种组分分离需求,进而导致在检测复杂样品时灵敏度下降等问题<sup>[3]</sup>。

气相色谱-离子迁移谱技术(GC-IMS)是一种结合气相色谱(GC)和离子迁移谱(IMS)的技术。前端采用气相色谱对目标物进行预分离,之后利用离子迁移谱对物质进行二次分离和检测,有效解决了复杂物质分析领域的难点。

#### 1.2 气相色谱-离子迁移谱技术的特点

GC 和 IMS 都在常压下工作,GC-IMS 接口简单且成本低,设备可以更加小型化。GC-IMS 是近年来兴起的气相分离检测技术,与 GC-MS 技术相比,具有操作简单、分离能力强、检测时间短、灵敏度高、保留样品的原有风味等优点<sup>[4]</sup>。与其它传统分析技术相比,GC-IMS 具有很多优势,如不需要对样品进行预处理、二次分离、提高分离效果、形成三维谱图、用插件直观比较谱图等<sup>[5]</sup>。样品无需富集浓缩,可直接检测,而且样品检出限达到 ppb 级别。此检测技术克服了离子迁移谱技术分离度差的局限性,使离子迁移谱信号响应经气相预分离后质量得到显著改善,而离子迁移谱通过漂移时间信息使气相色谱分离后得到的化学信息更加丰富<sup>[6]</sup>。仪器可在 5~30 min 内快速捕捉检测样品最真实的风味。GC-IMS 经两次分离得到三维

收稿日期: 2023-03-27

基金项目: 国家重点研发计划项目(2021YFD2100100);辽宁省海洋经济发展项目(辽自然资发[2022]47号)

第一作者: 姜鹏飞,男,硕士,高级工程师

通信作者: 金文刚 E-mail: jinwengang@nwfufu.edu.cn

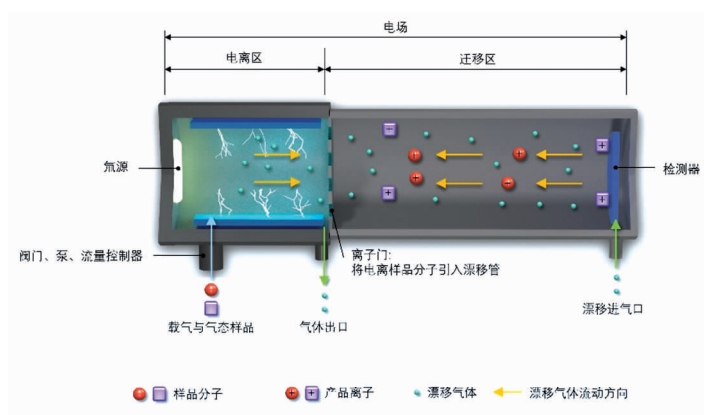


图1 离子迁移谱的原理示意图

Fig.1 Schematic diagram of ion migration spectra

数据,使风味可视化。数据处理省时省力,可快速得到分析结果。检测结果稳定可靠。

## 2 气相色谱-离子迁移谱技术在水产领域的应用

### 2.1 产品货架期

货架期是指食物在建议的储存条件下保存并能保证其安全性、所需的感官、理化和微生物特征等,并在一段时期内保持标签上标明的营养价值。影响水产品的货架期主要有内因、外因两种。在其综合作用下,水产品的蛋白质、脂肪和糖类分解,伴有微生物的大量繁殖,鱼体变得柔软,颜色发生变化,产生腥臭味等现象,最后达到货架寿命的终点。张毅等<sup>[7]</sup>在优化的减菌条件下处理鱼片,即处理组,而无处理的为对照组,探讨酸性电解水对草鱼货架期的影响。在贮藏后期,处理组中各种腐败菌的数量比对照组少很多,表明酸性电解水处理使腐败微生物生长在一定程度上被抑制。近年来,随着人们生活水平的提高,对水产食品的需求量越来越大,人均消费量不断增长。在水产品冷链贮藏过程中对其新鲜度和保质期进行实时监测和预测,可有效降低冷链物流中的水产品损耗,具有重要的经济和社会效益。贾志鑫<sup>[8]</sup>使用 GC-IMS 方法分析样品气相组分的变化,探究酸性电解水对三文鱼品质及货架期的影响,并得出三文鱼片品质货架期上限。

### 2.2 品种、品质等级区分

水产品捕捞后的运输、贮藏、加工等系列过

程中,受外界环境及自身因素(微生物、内源酶等)的影响,很容易出现质量劣化现象。选择合适的监测指标是构建水产品安全品质的基本步骤,这是因为不同品种的水产品品质在发生变化时其特征指标存在差异。水产品及相关制品具有较强的香气特征,且随着新鲜程度的降低,其香气组分发生显著的改变。GC-IMS 适合应用于水产品及相关制品的在线监测。井月欣等<sup>[9]</sup>发现随着冻藏时间的延长,盐渍海参的 TBA(硫代巴比妥酸)和 TVB-N(挥发性盐基氮)逐渐增加,冻藏 2.5 年内盐渍海参感官品质没有明显变化,超过 2.5 年时其品质逐渐下降。从冻藏盐渍海参中定性出 64 种挥发性物质。随着冻藏时间的延长,令人愉快的挥发性物质减少。冻藏使咸海参的质量下降,且随着冷冻时间的延长,它的质量会变得更差。王睿等<sup>[10]</sup>利用 GC-IMS 分析风干金鲳鱼加工过程中挥发性风味物质的变化规律,探究茶多酚对其理化性质的改善作用,结果发现,在腌制及晾晒过程中,加入茶多酚及 EGCG(没食子儿茶素没食子酸酯)能明显降低 TVB-N 及 TABRS(硫代巴比妥酸)的含量( $P<0.05$ )。

### 2.3 加工工艺的优化

通过食品加工工艺的优化和发展,可以满足人民群众多样化的膳食需求,保证食品的安全性。Chen 等<sup>[11]</sup>研究了不同食品的热加工方法对风味的影响,在鲑鱼肌肉的感官特征上,烤与蒸没有明显差异。GC-MS 分析表明,不同的烹饪方法(油炸、烘焙、微波加热、煮沸、蒸煮、真空密封袋煮沸)对

挥发性有机物(VOCs)有显著影响。石月等<sup>[12]</sup>为了分析酶解对鱼骨泥呈味特性的影响,使用电子鼻、GC-IMS 等技术对鱼骨泥气味和滋味特征风味进行分析,结果酶解前、后的鱼骨泥气味和滋味特征发生显著的变化。酶解可使鱼骨泥的苦味和腥味减少,并改变挥发性风味物质的组成。李璐等<sup>[13]</sup>通过 4 种工艺——普通熬煮、超声辅助普通熬煮、酶解和超声辅助酶解处理革胡子鲶鱼鱼头,做出 4 种鱼头汤,采用 GC-IMS 分析,共定性出 33 种物质,以醛类和酮类为主。将普通熬煮与超声辅助普通熬煮之间、酶解与超声辅助酶解之间进行两两比较,其 VOCs 的种类相似,而含量差别较大;壬醛(二聚体)、2-庚酮和壬醛(单体)是 4 组样品之间共性的 VOCs,它们都能改善鱼头汤的风味。

## 2.4 产地鉴别

从感官定量描述分析和营养成分分析出发,应用 GC-IMS、电子鼻等对不同产地水产品风味物质进行探究。江津津等<sup>[14]</sup>采用 GC-IMS 方法探究来自不同产地的传统海虾酱的风味特征,共定性出 55 种挥发性风味化合物,细分成 9 类,包括醇、酯、醛、酸、酮、吡嗪及含硫化合物。通过 GC-IMS 方法可以鉴别出相似度大于 88% 的虾酱的气味差异<sup>[15]</sup>。崔保威等<sup>[16]</sup>采用 GC-IMS 分析不同产地秀丽白虾干挥发性风味物质的特征指纹图谱,并结合聚类分析结果,探讨其风味的差异,结果共检测鉴定出 18 种挥发性风味物质单体及其部分物质的二聚体,分别为醛类、吡嗪类、呋喃类、酮类和醇类,其中呼伦湖白虾干的挥发性物质最多,太湖白虾干的最少。

表 1 气相色谱-离子迁移谱技术在水产领域的应用

Table 1 The scope of application of gas chromatography-ion mobility spectrometry in the field of aquaculture

名称	应用	毛细管柱	VOCs 种类/可鉴定的 VOCs 数量/VOCs 的总量	挥发性有机物种类名称	文献
草鱼	产品货架期	-	9/55/	醛类、酮类、醇类、酯类、酸类、含硫化合物、杂环化合物、萜类化合物、呋喃类	[7]
三文鱼	产品货架期	FS-SE-54-CB-1	4/22/-	醛类、酮类、醇类、酯类、	[8]
鲑鱼	产品货架期	SE-54-CB-1	5/37/-	含硫化合物	[17]
高白鲑鱼子酱	产品货架期	MXT-5	4/34/42	醛类、酮类、醇类、酯类	[18]
干腌鱼	产品货架期	FS-SE-54-CB	4/30/32	醛类、酮类、醇类、酯类	[19]
鲈鱼	产品货架期	-	7/32/49	醛类、酮类、醇类、酯类、氨类、含硫化合物、碳氢化合物	[20]
鲑鱼	品种、品质等级区分	FS-SE-54-CB-1	6/29/47	醛类、酮类、醇类、酯类、酸类、酚类	[21]
淡水鱼	品种、品质等级区分	FS-SE-54	4/22/-	醛类、酮类、醇类、酯类	[22]
虾干	品种、品质等级区分	FS-SE-54CB	6/45/-	醛类、酮类、醇类、含硫化合物、吡嗪类、呋喃类	[23]
扇贝	挥发性风味物质差异	MXT-5	7/37/52	醛类、酮类、醇类、酯类、酸类、醚类、烯类	[1]
蓝鳍金枪鱼	品种、品质等级区分	MXT-5	8/39/47	醛类、酮类、醇类、酯类、酸类、烯烃类、含硫化合物、含氮化合物	[24]
大鲛油	品种、品质等级区分	MXT-5	7/41/54	醛类、酮类、醇类、酯类、酸类、含硫化合物、杂环化合物	[25]
克氏原螯虾	品种、品质等级区分	DB-1 m s	6/59/-	醛类、酮类、醇类、酯类、酚类、烃类	[26]
许氏平鲉	品种、品质等级区分	TG-5 MS	5/20/52	醛类、酮类、醇类、酯类、杂环化合物	[27]
高白鲑	加工工艺的优化指导	MXT-5	5/36/42	醛类、酮类、醇类、烯醛类、呋喃类	[28]
鲭鱼	加工工艺的优化指导	MXT-5	6/51/82	醛类、酮类、醇类、酯类、酸类、呋喃类	[29]

(续表 1)

名称	应用	毛细管柱	VOCs 种类/可鉴定的 VOCs 数量/VOCs 的总量	挥发性有机物种类名称	文献
虾酱	加工工艺的优化指导	FS-SE-54-CB-1	6/31/63	醛类、酮类、醇类、酯类、醚类、含硫化合物、吡嗪类	[30]
海参	加工工艺的优化指导	FS-SE-54-CB-1	7/73/-	醛类、酮类、醇类、酯类、碳氢化合物	[31]
大鲵肝	加工工艺的优化指导	MXT-5	6/32/-	醛类、酮类、醇类、酯类、醚类、烯烃类	[32]
鲈鱼	加工工艺的优化指导	GC	6/31/55	醛类、酮类、醇类、酸类、含硫化合物、碳氢化合物、呋喃类	[33]
太平洋牡蛎	加工工艺的优化指导	FS-SE-54-CB	8/65/95	醛类、酮类、醇类、酯类、含硫化合物、碳氢化合物、含氮化合物、呋喃类	[34]
虾酱	加工工艺的优化指导	MXT-WAX	7/46/	醛类、酮类、醇类、酯类、酸类、醚类、酚类	[35]
大鲵	加工工艺的优化指导	MXT-5	7/50/60	醛类、酮类、醇类、酯类、酸类、烯烃类、苯酚	[36]
鱼露	产地鉴别	FS-SE-54-CB-1	6/37/65	醛类、醇类、酯类、酸类、含硫化合物、苯	[14]
白虾干	产地鉴别	FS-SE-54-CB-1	9/18/56	醛类、酮类、醇类、吡嗪类、呋喃类	[16]

### 3 气相色谱-离子迁移谱技术在水产领域的应用方式

风味是食品的关键特征之一,是广大消费者购买食品的主要因素。食品风味包括香气、滋味和感官,其中香气是最重要的,对食品的风味影响巨大。在过去的100年中,许多技术如电子鼻、GC-MS等已在多个科学领域应用,以识别食品中的香气化合物。近年来,GC-IMS作为一种新的联用技术,在风味分析时的可视化应用越来越多。

#### 3.1 单一 GC-IMS 技术分析

气相-离子迁移谱技术能对 VOCs 进行快速、准确的分析,在食品领域具有重要的应用价值。GC-IMS 主要应用于成品和商品的质量控制。赵彦珺<sup>[37]</sup>采用 GC-IMS 方法从海参肠卵原液、酶解液、发酵液中定性 49 种挥发性物质,原液和酶解液中以醛酮类物质为主,发酵液以醇类和酸类为主,表现为醇香味,说明发酵法可以明显改善海参肠卵酶解液的风味。邵悦春等<sup>[38]</sup>使用 GCIMS 技术对比分析海带发酵前、后的 VOCs,构建不同条件发酵的海带的指纹图谱,并对其进行鉴别和分类。GC-IMS 在水产领域应用广泛,深受广大研究者的喜爱。

#### 3.2 电子鼻结合 GC-IMS

电子鼻,也叫嗅觉探测仪,是近 20 年才出现的一种食品快速探测设备。该仪器通过特殊的感应器和模式识别系统,迅速给出待测试样的总体信息及潜在特性。陈东杰等<sup>[6]</sup>运用电子鼻和 GC-IMS 联用技术检测样品中的挥发性物质,可以很好地分离、鉴定不同处理方法和不同贮藏时间的挥发性组分及其差异,然后,根据挥发性物质的离子迁移和气相色谱保留时间对挥发性组分进行定性分析。刘胜男等<sup>[39]</sup>运用电子鼻技术及 GC-IMS 方法测定玉筋鱼干中的风味成分,GC-IMS 分析出 68 种挥发性成分,明确了特定组分在玉筋鱼干风味形成中的作用。总之,电子鼻结合 GC-IMS 方法分析食品的风味,电子可以充分发挥仪器的优点,对挥发性物质进行更全面的分析。

#### 3.3 电子鼻、GC-IMS、GC-MS

气相色谱-质谱联用仪(GC-MS)是一种测量离子荷质比(电荷-质量比)的分析仪器。质谱成像能够获得样品的化学组成信息及表面化学组成空间分布信息以图像的形式呈现出来,结果很直观。江津津等<sup>[14]</sup>采用电子鼻、GC-IMS、GC-MS 技术对 5 种不同产地鱼露的风味物质进行比较分析,



结果表明, GC-IMS 能定性样品的特征风味物。用 GC-IMS 鉴定出 37 种特征风味化合物, 用 GC-MS 共鉴定出 47 种主要挥发性化合物。Chen 等<sup>[11]</sup> 采用电子鼻、GC-IMS、GC-MS 技术分析 4 种热处理方法(微波、焙烧、蒸煮和沸腾)对罗非鱼肌肉香气分布的影响。电子鼻系统对可测量范围内的气

味和 VOCs 敏感。采用 GC-MS 和 GC-IMS 分别分析罗非鱼生肌和热加工鱼肌肉中的 VOCs, 分别鉴定出 43 种和 20 种 VOCs。HS-SPME-GC-MS 和 HS-GC-IMS 检测的 VOC 类型与电子鼻结果基本一致, HS-SPME-GC-MS 与 HS-GC-IMS 相结合可以提供更全面的风味图谱。

表 2 气相色谱-离子迁移谱技术在水产领域的应用方式

Table 2 Application of gas chromatography-ion mobility spectrometry in aquatic products

应用技术	样品	应用成果	参考文献	
单一 GC-IMS 技术分析	鳊鱼	乙酸、5-甲基-2-呋喃甲醇和丙醇等由腌制发酵产生, 这些挥发性物质可用于鉴别新鲜鳊鱼和臭鳊鱼	[40]	
	海参肠卵	采用 GC-IMS 技术检测海参肠卵原液、酶解液、发酵液中的挥发性物质进行分析, 准确定性 49 种风味物质	[26]	
	鲑鱼	为了评价从变质的鲑鱼鱼片中分离出的优势菌的腐败潜力, 在第 0, 8 和 14 天采用 GC-IMS 技术检测到 25 种 VOCs, 主要包括醇类、醛类、酮类、酯类和硫类化合物。确定部分化合物在储存过程中的增加、减少、消失或波动	[17]	
	草鱼鳞片	采用 GC-IMS 技术观察核糖体-fsgh MRPs 挥发性化合物在加热过程中的变化, 从 MRPs 中鉴定出 31 种挥发性化合物(不包括二聚体), 在美拉德反应前, 样品中只检测到 15 种挥发性化合物。	[41]	
	罗非鱼	用 GC-IMS 技术鉴定 3 种鲜鱼的风味物质, 4 °C 下腌制 4 h 后 3 种鱼有共同风味成分, 且鱼肉中的腥味成分含量减少, 表明料酒对鱼肉脱腥具有积极作用	[42]	
	鲈鱼	用 GC-IMS 测定不同干燥方式鲈鱼中的挥发性物质, 从 3 种干燥方式鱼肉中鉴定 28 种挥发性物质	[43]	
	海鲈鱼	采用电子鼻和 GC-IMS 联用研究屠宰方式对黑鲈体内挥发性化合物(VOCs)的影响。共鉴定出 31 种 VOCs, 醛、酮和醇与海鲈鱼的基本风味有关, 而酯类、有机酸和呋喃丰富了海鲈鱼的香气	[33]	
	三文鱼	用 GC-IMS 分析挥发性有机化合物的指纹图谱。用电子鼻可区分不同温度和时间储存的三文鱼片的挥发性气体种类及其浓度	[44]	
	电子鼻、GC-IMS、GC-MS	鱼露	GC-IMS 能定性样品的特征风味物。GC-IMS、电子鼻均可测出 3 种鱼露有着相似的整体风味	[12]
		南美白对虾	电子鼻分析广西 5 种水产原料的气味主要是有机、无机硫化物、甲基类。用 GC-IMS 和 GC-MS 分别检出 37 种和 57 种挥发性化合物	[45]
河豚		电子鼻数据的 PCA 与 GC-IMS 评估一致, 揭示了河豚的香气和味道不同于其它品种	[46]	
罗非鱼肌肉		电子鼻、GC-IMS、GC-MS 技术分析 4 种热处理方法对酸度调节剂处理的罗非鱼肌肉香气分布的影响。用 GC-MS 和 GC-IMS 在罗非鱼生肌和热加工罗非鱼肌肉中鉴定出 43 种和 20 种 VOCs	[11]	
电子鼻、GC-IMS	淡水养殖鱼肉	GC-IMS 和电子鼻能快速区分不同样品, 具有响应快、灵敏度高、定性准确的优点	[47]	
	凡纳滨对虾	用电子鼻检出鲜虾和加工过的虾肉气味特征明显不同, 其中, 微波加热气味变化最大。用 GC-IMS 鉴定出 25 种挥发性物质	[48]	
	紫菜	用电子鼻可以区分不同的紫菜作物。用 GC-IMS 鉴定出 36 种挥发性成分	[49]	

## 4 结语

GC-IMS 广泛应用于食品风味分析领域,具有快速、便捷、可视化等优势。随着越来越多联用技术手段的使用,可为水产品新鲜度、货架期、品种品质、等级区分、加工工艺优化以及产地鉴别等提供重要数据支撑。目前 GC-IMS 技术存在的问题是:挥发性成分数据库需进一步扩充,以满足挥发性成分定性、定量要求。GC-IMS 技术的改进与未来发展方向:1) 采用与其它挥发性风味检测技术联用,相互补充,扬长避短,以提供更全面的水产品挥发性成分信息。2) GC-IMS 技术与代谢组学、蛋白质组学、脂质组学、微生物组学等共同发展,全面表征水产品的营养品质和挥发性风味物质特征。

## 参 考 文 献

- [1] 崔明仙, 李妍, 付晴晴, 等. 三种扇贝挥发性风味物质指纹图谱分析[J]. 海洋与湖沼, 2022, 53(3): 743-758.  
CUI M X, LI Y, FU J J, et al. Fingerprinting analysis of three scallop volatile flavor substances[J]. Oceans and Lakes, 2022, 53(3): 743-758.
- [2] WANG S, CHEN H, SUN B. Recent progress in food flavor analysis using gas chromatography-ion mobility spectrometry (GC-IMS)[J]. Food Chemistry, 2020, 315: 126158.
- [3] 甘国璇, 张馨文, 滕建文, 等. 基于 GC-IMS 技术鉴别超高压杀菌沃柑汁[J]. 食品科技, 2023, 48(2): 303-310.  
GAN G X, ZHANG X W, TENG J W, et al. Identification of ultra-high pressure sterilized orange meal juice based on GC-IMS technology [J]. Food Technology, 2023, 48(2): 303-310.
- [4] 陈丽兰, 陈祖明, 袁灿. GC-IMS 结合化学计量法分析不同炒制时间对郫县豆瓣酱挥发性化合物的影响[J/OL]. 食品科学: 1-13 (2023-01-31). <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20230131.0850.008.html>.  
CHEN L L, CHEN Z M, YUAN C. GC-IMS Combined with stoichiometry, the effects of different frying times on volatile compounds of Pixian bean paste were analyzed [J/OL]. Food Science, 1-13 (2023-01-31). <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20230131.0850.008.html>.
- [5] 方心如, 肖乃勇, 郭全友, 等. 基于顶空-气相色谱-离子迁移谱分析蒸制过程中草鱼肉挥发性成分的变化 [J/OL]. 食品与发酵工业: 1-15 (2023-02-21). <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.034713>.  
FANG X R, XIAO N Y, GUO Q Y, et al. The changes of volatile components of grass carp meat during steaming were analyzed based on headspace-gas chromatography-ion mobility spectroscopy [J/OL]. Food and Fermentation Industry: 1-15 (2023-02-21). <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.034713>.
- [6] 陈东杰, 张明岗, 聂小宝, 等. 基于气相离子迁移谱检测静电场处理的大菱鲆品质[J]. 食品科学, 2019, 40(24): 313-319.  
CHEN D J, ZHANG M G, NIE X B, et al. Detection of turbot quality treated with electrostatic field based on gas phase ion mobility spectroscopy [J]. Food Science, 2019, 40(24): 313-319.
- [7] 张毅, 刘婷婷, 阎雪, 等. 酸性电解水对草鱼品质及挥发性风味物质的影响[J]. 肉类研究, 2021, 35(6): 37-43.  
ZHANG Y, LIU T T, YAN X, et al. Effects of acidic electrolyzed water on quality and volatile flavor substances of grass carp [J]. Meat Research, 2021, 35(6): 37-43.
- [8] 贾志鑫. 三文鱼新鲜度和品质货架期预测模型研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2020.  
JIA Z X. Study on shelf life prediction model of salmon freshness and quality[D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2020.
- [9] 井月欣, 张健, 王茂剑, 等. 盐渍海参在冻藏过程中的品质变化[J]. 食品科技, 2022, 47(3): 149-154.  
JING Y X, ZHANG J, WANG M J, et al. Quality change of salted sea cucumber during freezing process[J]. Food Science and Technology, 2022, 47(3): 149-154.
- [10] 王睿, 王琦, 周敏, 等. 茶多酚和 EGCG 对风干金鲳鱼品质相关理化指标的改善效果比较[J]. 食品科学, 2023, 44(2): 54-63.  
WANG R, WANG Q, ZHOU M, et al. Comparison of the improvement effect of tea polyphenols and EGCG on quality-related physicochemical indexes of air-dried golden pomfret[J]. Food Science, 2023, 44(2): 54-63.
- [11] CHEN J, TAO L, ZHANG T, et al. Effect of four

- types of thermal processing methods on the aroma profiles of acidity regulator-treated tilapia muscles using E-nose, HS-SPME-GC-MS, and HS-GC-IMS [J]. *Lwt*, 2021, 147: 111585.
- [12] 石月, 王金厢, 李学鹏, 等. 鱼骨泥酶解工艺优化及酶解液呈味特性研究[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(23): 218-227.
- SHI Y, WANG J X, LI X P, et al. Optimization of enzymatic hydrolysis process of fish bone sludge and study on flavor characteristics of enzymatic hydrolysate[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(23): 218-227.
- [13] 李璐, 李鹏, 孙慧娟, 等. 不同工艺制备的鱼头汤营养品质及风味特征比较研究[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(19): 315-325.
- LI L, LI P, SUN H J, et al. Comparative study on nutritional quality and flavor characteristics of fish head soup prepared by different processes[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2022, 43(19): 315-325.
- [14] 江津津, 严静, 郑玉玺, 等. 不同产地传统鱼露风味特征差异分析[J]. *食品科学*, 2021, 42(12): 206-214.
- JIANG J J, YAN J, ZHENG Y X, et al. Analysis of the difference in flavor characteristics of traditional fish sauce in different production areas [J]. *Food Science*, 2021, 42(12): 206-214.
- [15] 江津津, 欧爱芬, 潘光健, 等. 不同产地传统海虾酱的风味特征[J]. *水产学报*, 2021, 45(12): 2072-2082.
- JIANG J J, OU A F, PAN G J, et al. Flavor characteristics of traditional shrimp paste from different origins[J]. *Journal of Fisheries*, 2021, 45(12): 2072-2082.
- [16] 崔保威, 欧阳远鑫, 马杨柳, 等. 不同产地秀丽白虾干风味物质 GC-IMS 指纹图谱分析[J]. *食品工业*, 2022, 43(7): 311-315.
- CUI B W, OUYANG Y X, MA Y L, et al. GC-IMS fingerprint analysis of flavor substances of dried white shrimp from different origins[J]. *Food Industry*, 2022, 43(7): 311-315.
- [17] JIA S, LI Y, ZHUANG S, et al. Biochemical changes induced by dominant bacteria in chill-stored silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) and GC-IMS identification of volatile organic compounds[J]. *Food Microbiology*, 2019, 84: 103248.
- [18] JIANG C, CAI W, SHANG S, et al. Comparative analysis of the flavor profile and microbial diversity of high white salmon (*Coregonus peled*) caviar at different storage temperatures[J]. *LWT*, 2022, 169: 114068.
- [19] ZHANG Q, DING Y, GU S, et al. Identification of changes in volatile compounds in dry-cured fish during storage using HS-GC-IMS[J]. *Food Research International*, 2020, 137: 109339.
- [20] XIAO H, LIAO J, CHEN Y, et al. Effects of konjac glucomannan/ $\epsilon$ -Polylysine hydrochloride/ferulic acid composite coating on the freshness preservation performance and flavor of refrigerated sea bass fillets [J]. *Foods*, 2023, 12(3): 517.
- [21] DUAN Z, DONG S, DONG Y, et al. Geographical origin identification of two salmonid species via flavor compound analysis using headspace-gas chromatography-ion mobility spectrometry combined with electronic nose and tongue[J]. *Food Research International*, 2021, 145: 110385.
- [22] CHEN Y P, CAI D, LI W, et al. Application of gas chromatography-ion mobility spectrometry (GC-IMS) and ultrafast gas chromatography electronic-nose (uf-GC E-nose) to distinguish four Chinese freshwater fishes at both raw and cooked status [J]. *Journal of Food Biochemistry*, 2022, 46(6): e13840.
- [23] HU M, XUE Y, ZHAO L, et al. Comparison of flavor substances in dried shrimp products processed by *Litopenaeus vannamei* from two aquaculture patterns[J]. *Journal of Ocean University of China*, 2022, 21(6): 1682-1690.
- [24] 赵玲, 胡梦月, 曹荣, 等. 蓝鳍金枪鱼不同部位肌肉的营养与主要风味分析[J]. *渔业科学进展*, 2023, 44(1): 219-227.
- ZHAO L, HU M Y, CAO R, et al. Nutrition and main flavor analysis of muscles in different parts of bluefin tuna[J]. *Advances in Fishery Science*, 2023, 44(1): 219-227.
- [25] 金文刚, 刘俊霞, 孙海燕, 等. 基于 GC-IMS 结合化学计量学鉴别大鲵油掺伪不同比例花生油挥发性有机物特征 [J/OL]. *食品科学*: 1-13 (2022-10-20) [2023-03-20]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20221020.1312.024.html>.
- JIN W G, LIU J X, SUN H Y, et al. Identification of volatile organic compounds of peanut oil

- adulterated with different proportions of giant salamander oil based on GC-IMS combined with stoichiometry[J/OL]. *Food Science*:1-13 (2022-10-20) [2023-03-20]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20221020.1312.024.html>.
- [26] 周明珠, 熊光权, 乔宇等. 克氏原螯虾不同可食部位风味成分分析[J]. *肉类研究*, 2020, 34(9): 52-58.
- ZHOU M Z, XIONG G Q, QIAO Y, et al. Analysis of flavor components of different edible parts of Protocrayfish cruzi[J]. *Meat Research*, 2020, 34(9): 52-58.
- [27] 赵玲, 王善宇, 刘淇, 等. 野生与养殖许氏平鲈肌肉营养和风味对比分析[J]. *轻工学报*, 2022, 37(5): 32-40.
- ZHAO L, WANG S Y, LIU Q, et al. Comparative analysis of muscle nutrition and flavor in wild and farmed Xu's scorpion[J]. *Journal of Light Industry*, 2022, 37(5): 32-40.
- [28] JIN W, FAN X, JIANG C, et al. Characterization of non-volatile and volatile flavor profiles of *Coregonus peled* meat cooked by different methods[J]. *Food Chemistry: X*, 2023: 100584.
- [29] 杜颖琦, 范丽莉, 欧昌荣, 等. 鲭鱼发酵过程中挥发性风味成分与细菌种群演替的相关性研究[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(20): 152-162.
- DU Y Q, FAN L L, OU C R, et al. Correlation between volatile flavor components and bacterial population succession during mackerel fermentation[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2022, 43(20): 152-162.
- [30] LI Y, YUAN L, LIU H, et al. Analysis of the changes of volatile flavor compounds in a traditional Chinese shrimp paste during fermentation based on electronic nose, SPME-GC-MS and HS-GC-IMS[J]. *Food Science and Human Wellness*, 2023, 12(1): 173-182.
- [31] LI X, DONG Y, JIANG P, et al. Identification of changes in volatile compounds in sea cucumber *Apostichopus japonicus* during seasonings soaking using HS-GC-IMS[J]. *LWT*, 2022, 154: 112695.
- [32] 刘俊霞, 赵萍, 万小辉, 等. 大鲵肝茶叶水提液脱腥过程中挥发性有机物的动态变化[J]. *食品与机械*, 2022, 38(3): 8-17.
- LIU J X, ZHAO P, WAN X H, et al. Dynamic changes of volatile organic compounds during the removal of water extract from tea salamander[J]. *Food and Machinery*, 2022, 38(3): 8-17.
- [33] WANG Y, LI J, WU Y, et al. Analysis of volatile compounds in sea bass (*Lateolabrax japonicus*) resulting from different slaughter methods using electronic-nose (e-nose) and Gas Chromatography-Ion Mobility Spectrometry[J]. *Molecules*, 2021, 26(19): 5889.
- [34] CHEN L, ZHANG H, SHI H, et al. The flavor profile changes of Pacific oysters (*Crassostrea gigas*) in response to salinity during depuration[J]. *Food Chemistry: X*, 2022, 16: 100485.
- [35] LU K, LIU L, ZI J, et al. New insights from flavoromics on different heating methods of traditional fermented shrimp paste: The volatile components and metabolic pathways[J]. *LWT*, 2022, 168: 113880.
- [36] JIN W, PEI J, CHEN X, et al. Influence of frying methods on quality characteristics and volatile flavor compounds of giant salamander (*Andrias Davidianus*) meatballs[J]. *Journal of Food Quality*, 2021, 2021: 1-10.
- [37] 赵彦珺. 基于气相离子迁移谱研究酶解及发酵对海参肠卵挥发性物质的影响[D]. 烟台: 烟台大学, 2020.
- ZHAO Y J. Effects of enzymatic hydrolysis and fermentation on volatile substances of sea cucumber eggs based on gas phase ion mobility spectroscopy[D]. Yantai: Yantai University, 2020.
- [38] 邵悦春, 付晓婷, 许加超, 等. 基于气相离子迁移谱的发酵海带风味分析[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(12): 300-306.
- SHAO Y C, FU X T, XU J C, et al. Flavor analysis of fermented kelp based on vapor ion mobility spectroscopy[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(12): 300-306.
- [39] 刘胜男, 刘云锋, 曹荣, 等. 加工方式对玉筋鱼干风味的影响[J]. *食品科学*, 2021, 42(20): 167-172.
- LIU S N, LIU Y F, CAO R, et al. Effect of processing method on flavor of dried jade gluten[J]. *Food Science*, 2021, 42(20): 167-172.
- [40] 周迎芹, 杨明柳, 殷俊峰, 等. 臭鳊鱼低温发酵过程中品质及挥发性物质的变化[J]. *中国食品学报*, 2020, 20(4): 179-186.
- ZHOU Y Q, YANG M L, YIN J F, et al. Changes of quality and volatile substances during low-tem-



- perature fermentation of stinky mandarin fish [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2020, 20(4): 179-186.
- [41] CHEN K, YANG X, HUANG Z, et al. Modification of gelatin hydrolysates from grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) scales by Maillard reaction: Antioxidant activity and volatile compounds[J]. Food Chemistry, 2019, 295: 569-578.
- [42] 庞一扬, 余远江, 袁桃静, 等. 腌鱼腌制过程中挥发性成分的变化分析[J]. 现代食品科技, 2020, 36(8): 281-289.
- PANG Y Y, YU Y J, YUAN T J, et al. Analysis of changes of volatile components during curing of preserved fish[J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(8): 281-289.
- [43] 胡梦月, 王爱辉, 曹荣, 等. 干燥方式对咸干鲈鱼品质影响[J]. 食品科技, 2021, 46(4): 121-126.
- HU M Y, WANG A H, CAO R, et al. Effect of drying method on quality of salted dried sea bass[J]. Food Science and Technology, 2021, 46(4): 121-126.
- [44] JIA Z, SHI C, WANG Y, et al. Nondestructive determination of salmon fillet freshness during storage at different temperatures by electronic nose system combined with radial basis function neural networks[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2020, 55(5): 2080-2091.
- [45] 余远江, 庞一扬, 袁桃静, 等. 基于电子鼻、HS-GC-IMS 和 HS-SPME-GC-MS 分析五种水产原料的风味特征[J]. 食品工业科技, 2021, 42(19): 106-117.
- YU Y J, PANG Y Y, YUAN T J, et al. Analysis of flavor characteristics of five aquatic raw materials based on electronic nose, HS-SPME-GC-MS and HS-SPME-GC-MS[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(19): 106-117.
- [46] WU J, CHEN X, CHEN B, et al. Collaborative analysis combining headspace - gas chromatography - ion mobility spectrometry (HS - GC - IMS) and intelligent (electronic) sensory systems to evaluate differences in the flavour of cultured pufferfish[J]. Flavour and Fragrance Journal, 2021, 36(2): 182-189.
- [47] 蔡丹丹. 我国主要淡水养殖鱼肉的风味指纹图谱初探[D]. 上海: 上海海洋大学, 2019.
- CAI D D. Flavor fingerprint of major freshwater farmed fish in China[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2019.
- [48] 王善宇, 赵玲, 孙慧慧, 等. 烹饪方式对凡纳滨对虾 (*Penaeus vannamei*) 脂质及挥发性物质的影响[J]. 食品科学, 2023, 44(6): 344-350.
- WANG S Y, ZHAO L, SUN H H, et al. Effects of cooking methods on lipids and volatile substances of *Penaeus vannamei*[J]. Food Science, 2023, 44(6): 344-350.
- [49] CAO R, HU M, ZHAO L, et al. Flavor characteristics of different crops of laver (*Porphyra yezoensis*) during one harvest cycle[J]. Journal of Ocean University of China, 2021, 20: 213-220.

## Application of Gas Chromatography-Ion Mobility Spectrometry in Aquaculture

Jiang Pengfei<sup>1</sup>, Liu Yang<sup>1</sup>, Zhang Hao<sup>2</sup>, Shang Shan<sup>1</sup>, Qi Hang<sup>1</sup>, Dong Xiuping<sup>1</sup>, Jin Wengang<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>School of Food Science and Technology, Dalian Polytechnic University, National Engineering Research Center of Seafood, Dalian 116034, Liaoning

<sup>2</sup>Shandong Hanon Scientific Instruments Co., Ltd., Dezhou 251500, Shandong

<sup>3</sup>Key Laboratory of Bio-resources of Shaanxi Province, School of Biological Science and Engineering, Shaanxi University of Technology, Hanzhong 723001, Shaanxi)

**Abstract** Gas chromatography-ion migration spectrometry (GC-IMS) is one of the newly developed volatile components detection technologies in recent years, and its application in the analysis of food volatile components is gradually expanding. In order to understand the research status of GC-IMS technology in the field of aquatic product processing and storage, this paper expounds the principle and characteristics of GC-IMS technology by analyzing relevant domestic and foreign literature reports, and focuses on its application progress and development trend in the field of aquatic product

processing. The results showed that GC-IMS could determine product freshness, product shelf life, variety quality, grade classification, processing technology optimization and origin identification by detecting volatile substance changes. The application of GC-IMS technology in aquatic product processing is developing from a single technology to a joint application direction with electronic nose, GC-MS and olfactory instrument, which can represent the profile information of volatile substances in aquatic products from multiple angles and provide technical reference for guiding aquatic product processing and storage as well as quality control.

**Keywords** gas chromatography-ion mobility spectrometry; aquatic field; applications