

革胡子鲶鱼皮营养成分和挥发性物质分析

孙慧娟, 李璐, 马凯华, 陈媛媛, 马俪珍, 任小青*

(天津农学院食品科学与生物工程学院 天津 300384)

摘要 为了开发利用革胡子鲶鱼皮,采用常规营养成分分析方法和气相色谱-质谱联用(GC-MS)、气相色谱-离子迁移谱(GC-IMS)技术,测定鱼皮营养成分和挥发性物质。结果表明:鱼皮中水分、粗蛋白、粗脂肪、粗灰分、总糖含量分别为 62.85%,27.50%,5.28%,0.15%,3.84%;鱼皮中必需氨基酸含量为 16.60 g/100 g,鲜味氨基酸含量为 45.72 g/100 g;必须游离氨基酸和鲜味游离氨基酸含量较多,分别为 52.6 mg/100 g,30.54 mg/100 g,游离氨基酸含量最高的为牛磺酸 28.34 mg/100 g;鱼皮中不饱和脂肪酸含量较为丰富,脂肪酸含量最高的为顺油酸(1.18 mg/mL),且富含多种矿物质元素。GC-MS 和 GC-IMS 两种分析方法共同得到的挥发性物质仅反-2-辛烯醛、苯甲醛、正己醛和正己醇。这两种分析方法相结合,可以更好地研究革胡子鲶鱼皮的风味物质。

关键词 鱼皮;营养成分;气相色谱-质谱联用法(GC-MS);气相色谱-离子迁移谱(GC-IMS)

文章编号 1009-7848(2023)02-0341-12 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2023.02.033

随着人们对水产品需求的不断增加,大量水产品被加工利用,而加工也伴随大量副产物的产生。全世界水产品加工产业所余留的副产物已超过其加工总量的 60%^[1]。例如:生产 100 t 冷冻鱼糜约产生 200~250 t 副产物^[2]。鱼皮是加工副产物之一,占鱼体总质量的 4%~8%^[3]。目前许多学者已对南极冰鱼^[4]、河鲀鱼^[5]、刺鲃鱼^[6]等鱼的鱼皮展开大量的营养成分分析,结果表明鱼皮含有丰富的营养物质,胶原蛋白含量最高可占蛋白质总量的 80%左右^[7]。鱼皮可被用来制作动物饲料,生产皮革材料,提取胶原蛋白,生产胶原蛋白肽,在饲料、化妆品、保健品、食品、生物制药等方面都有广泛的应用^[8-10]。

影响鱼皮高值化利用的主要因素之一是其自身的挥发性物质。一般来说,挥发性物质种类多样,主要包括醛类、酸类、醇类、酯类、酮类等,这些风味物质主要来自养殖环境、贮藏加工时脂肪的氧化分解和酶的催化分解^[11]。目前国内学者对鱼皮风味物质的研究还较少。革胡子鲶鱼(*Clarias fuscus*)又名埃及胡子鲶、埃及塘鲶等,因骨刺少、产量高、价格便宜等优点迅速得以推广^[1]。伴随

着革胡子鲶鱼肉加工,产生了大量鱼皮。目前关于其鱼皮营养成分和挥发性物质尚未见研究报道。

本文以革胡子鲶鱼皮为对象,研究其营养成分,利用 GC-MS 和 GC-IMS 技术对鱼皮的挥发性物质进行定量分析,旨在为其精深加工、利用提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

八须革胡子鲶鱼购买于天津仁德农业发展有限公司,30 min 内送回食品车间,宰杀剥皮后将鱼皮立即放入-80 °C 冰箱中贮藏备用。

盐酸、乙醚、氢氧化钠、十七烷酸甲酯、95%乙醇、14%三氟化硼甲醇、焦性没食子酸、苯酚、葡萄糖标准溶液、淀粉酶、碘化钾、硼酸,均为分析纯级,国药集团化学试剂有限公司;正己烷、正庚烷,均为色谱纯级,国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

UDK159 全自动凯氏定氮仪、DKL 消化炉,意大利 Velp 公司;7890B 气相色谱仪,美国安捷伦公司;TU-1800 紫外分光光度计,日本 Hmadzu 公司;S433D 氨基酸自动分析仪,德国 SYKam 公司;GC-IMS Flavour Spec®风味分析仪,德国 G.A.S 公司。

1.3 方法

1.3.1 基本营养成分测定 水分含量参考 GB

收稿日期:2022-02-24

基金项目:天津市淡水养殖产业技术体系创新团队项目
(ITTFRS2021000-012)

第一作者:孙慧娟,女,硕士生

通信作者:任小青 E-mail: 57750008@qq.com

5009.3-2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》中的方法,在 105 °C 下干燥直至恒重;粗蛋白质含量参考 GB 5009.5-2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》中的自动凯氏定氮法进行测定;粗脂肪含量参考 GB 5009.6-2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》中的无水乙醚索氏抽提法;灰分含量参考 GB 5009.4-2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》中的方法,用 550 °C 左右的高温灰化的方法;总糖含量参考 GB/T 9695.31-2008《肉制品 总糖含量测定》中的方法,在波长 470 nm 处用分光光度计测定。

1.3.2 总氨基酸含量的测定 参考 GB 5009.124-2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》中的方法,其中色氨酸采用高效液相色谱法,胱氨酸采用氨基酸分析仪法。

1.3.3 营养品质的评价方法 参考蒋左玉等^[12]的评价方法。氨基酸评分标准参考 FAO/WHO 的提议,鸡蛋蛋白质的化学评分根据中国预防医学科学院的提议^[13],通过氨基酸评分(AAS)、化学评分(CS)评价样品中的营养物质。

$$AAS = \frac{m}{A_{\left(\frac{FAO}{WHO}\right)}} \quad (1)$$

$$CS = \frac{m}{A_{Egg}} \quad (2)$$

式中, m ——样品蛋白质中某种必需氨基酸含量,mg/g; $A_{\left(\frac{FAO}{WHO}\right)}$ ——FAO/WHO 评分基准中同一必需氨基酸的含量,mg/g; A_{Egg} ——鸡蛋蛋白质中同种必需氨基酸含量,mg/g。

1.3.4 游离氨基酸含量测定 称取 5 g 搅碎的鱼皮样品,参考宁云霞等^[14]的方法测定游离氨基酸含量。

1.3.5 滋味活性值(Taste activity value, TAV)测定 参考 Yamaguchi 等^[15]的方法测定 TAV 值,计算方式见式(3)。

$$TAV = \frac{\text{滋味组分含量}(\text{mg}/100\text{ g})}{\text{滋味组分阈值}(\text{mg}/100\text{ g})} \quad (3)$$

1.3.6 矿物质元素测定 钙、铜、铁、钾、镁、锰、钠、锌的含量采用 GB 5009.268-2016 第二法 电感耦合等离子体发射光谱法(ICP-OES)测定,硒的含量采用 GB 5009.93-2017《食品安全国家标准 食品中硒的测定》第一法 氢化物原子荧光光

谱法测定。

1.3.7 脂肪酸含量测定 参考朱曦淳等^[16]的方法测定脂肪酸含量。脂肪提取步骤如下:准确称取 5 g 左右的鱼皮并移入 250 mL 的容量瓶中,加入 0.1 g 焦性没食子酸和 3 粒沸石,加 1 mL 十七烷酸甲酯(内标),加 2 mL 95%乙醇及 4 mL 纯水混匀,加 10 mL HCl 溶液,混匀后封口,在 80 °C 水浴锅中水解 40 min,每 10 min 振荡一次,水解后取出冷却至室温,加 10 mL 95%乙醇混匀,转移到分液漏斗用 30 mL 乙醚清洗 3 次,加盖震荡将下层有色溶液倒掉,收集提取液,旋转蒸发浓缩,得到脂肪。

甲酯化步骤如下:在脂肪提取物中加 2% NaOH 甲醇溶液 8 mL,80 °C 水浴锅回流冷凝 30 min,至油滴消失,加 7 mL 14% BF_3 甲醇溶液,回流 2 min,加 2 mL 纯水回流 3 min,取出立即冷却至室温,加 30 mL 正庚烷,振荡 2 min,加 20 mL 饱和 NaCl 溶液静置分层,取 5 mL 上层溶液于离心管中加 5 g 无水硫酸钠,振荡 1 min,静置 5 min,过 0.22 μm 有机相滤膜,注入进样瓶待测。

气相色谱条件如下:DB-WAX 石英毛细管柱(30 m \times 0.25 mm,0.25 μm);进样器温度:270 °C;检测器温度:280 °C。程序升温:初始温度 100 °C,保持 10 min,以 6.5 °C/min,升至 170 °C,以 1 °C/min 升至 200 °C 保持 20 min,以 2.75 °C/min 升至 215 °C 保持 32 min,以 4 °C/min 升至 230 °C 保持 15 min。载气: N_2 ;分流比:50:1。

1.3.8 GC-MS 测定 称取 5 g 剪碎样品,参考陈媛媛等^[17]的方法进行 GC-MS 测定。

1.3.9 气味活度值(Odor activity value, OAV)评价方法 参考陈实等^[18]的方法进行气味活度值评价,OAV 的计算方式见式(4)。

$$OAV = \frac{C}{T} \quad (4)$$

式中, C ——试验测定计算所得挥发性化合物含量, $\mu\text{g}/\text{kg}$; T ——该化合物在水中的感觉阈值, $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。

1.3.10 GC-IMS 测定 自动进样条件如下:准确称取 3.0 g 样品置于 20 mL 顶空瓶中,孵育温度 40 °C,孵化转数 500 r/min,孵育时间 10 min,采用顶空自动进样的方式,进样量为 500 μL ,进样针

温度 85 ℃,不分流模式进样。

GC 条件如下:采用石英毛细管色谱柱 FS-SE-54-CB-1(15 m×0.53 mm,1 μm),柱温 60 ℃,载气为氮气(≥99.999%),载气的流速程序为:IMS 温度 45 ℃,分析时间 30 min,载气/漂移气为 N₂。

1.4 数据统计分析

本试验采用 Excel 2016 进行数据处理,采用 SPSS 19 软件进行统计分析,每个样品重复 3 次,结果用平均值±标准方差表示。

2 结果与分析

2.1 革胡子鲶鱼皮基本营养成分分析

由表 1 可知,革胡子鲶鱼皮基本营养成分较丰富,其中水分、粗蛋白、粗脂肪、粗灰分、总糖含量分别为 62.85%,27.50%,5.28%,0.15%和 3.84%。总糖含量达到 3.84%,可能是由于鱼皮体表分泌了大量的黏液,黏液的主要成分是黏多糖和糖蛋白,而黏多糖作为生物活性物质在抗衰老、抗氧化等方面具有一定的功效^[19]。

表 1 革胡子鲶鱼皮基本营养成分分析(%)

Table 1 Basic components of catfish skin (%)

样品	水分	粗蛋白	粗脂肪	粗灰分	总糖
鱼皮	62.85 ± 0.02	27.50 ± 0.70	5.28 ± 0.01	0.15 ± 0.00	3.84 ± 0.00

2.2 革胡子鲶鱼皮总氨基酸成分及营养评价

由表 2 可知,革胡子鲶鱼皮中共检出 18 种氨基酸,总氨基酸含量为 89.17 g/100 g,革胡子鲶鱼皮鲜味氨基酸含量较高,所以革胡子鲶鱼皮具有浓郁的鲜甜风味。表中甘氨酸含量最高,为 21.6 g/100 g,脯氨酸含量次之,为 14.8 g/100 g,甘氨酸

和脯氨酸总和占革胡子鲶鱼皮氨基酸总量的 40.82%,符合胶原蛋白氨基酸组成的特点。依据 FAO/WHO 提出的理想模式,质量较优的蛋白质氨基酸组成是 $\Sigma \text{EAA}/\Sigma \text{TAA}$ 约为 40%左右^[5],而革胡子鲶鱼皮的氨基酸组成中,EAA/TAA 为 18.62%,低于标准,属于不完全蛋白。

表 2 革胡子鲶鱼皮总氨基酸组成与含量

Table 2 Total amino acid composition and content of of catfish skin

氨基酸	含量	氨基酸	含量
蛋氨酸(Met)* $/g \cdot (100 g)^{-1}$	1.50 ± 0.03	胱氨酸(Cys) $/g \cdot (100 g)^{-1}$	0.35 ± 0.00
缬氨酸(Val)* $/g \cdot (100 g)^{-1}$	2.64 ± 0.05	酪氨酸(Tyr) $/g \cdot (100 g)^{-1}$	0.82 ± 0.01
赖氨酸(Lys)* $/g \cdot (100 g)^{-1}$	3.52 ± 0.01	组氨酸(His) $/g \cdot (100 g)^{-1}$	0.80 ± 0.00
异亮氨酸(Ile)* $/g \cdot (100 g)^{-1}$	1.40 ± 0.01	丝氨酸(Ser) $/g \cdot (100 g)^{-1}$	3.77 ± 0.08
苯丙氨酸(Phe)* $/g \cdot (100 g)^{-1}$	1.65 ± 0.00	精氨酸(Arg) $/g \cdot (100 g)^{-1}$	6.31 ± 0.05
亮氨酸(Leu)* $/g \cdot (100 g)^{-1}$	3.53 ± 0.00	脯氨酸(Pro) $/g \cdot (100 g)^{-1}$	14.80 ± 0.12
色氨酸(Trp)* $/g \cdot (100 g)^{-1}$	0.07 ± 0.00	$\Sigma \text{EAA}/g \cdot (100 g)^{-1}$	16.60
苏氨酸(Thr)* $/g \cdot (100 g)^{-1}$	2.29 ± 0.02	$\Sigma \text{FAA}/g \cdot (100 g)^{-1}$	45.72
谷氨酸(Glu)** $/g \cdot (100 g)^{-1}$	9.69 ± 0.01	$\Sigma \text{NEAA}/g \cdot (100 g)^{-1}$	72.57
天冬氨酸(Asp)** $/g \cdot (100 g)^{-1}$	6.36 ± 0.01	$\Sigma \text{TAA}/g \cdot (100 g)^{-1}$	89.17
甘氨酸(Gly)** $/g \cdot (100 g)^{-1}$	21.60 ± 0.22	$\Sigma \text{EAA}/\Sigma \text{TAA}/\%$	18.62
丙氨酸(ALA)** $/g \cdot (100 g)^{-1}$	8.07 ± 0.11		

注: ΣEAA 表示必需氨基酸总量; ΣNEAA 表示非必需氨基酸总量; ΣTAA 表示氨基酸总量; ΣFAA 表示鲜味氨基酸总量; "*"表示必须氨基酸; "**"表示鲜味氨基酸。

根据 FAO/WHO 的氨基酸评分、鸡蛋蛋白质评分的标准模式,计算并评价革胡子鲶鱼皮的氨基酸评分(AAS)和化学评分(CS),因半胱氨酸和酪氨酸分别由蛋氨酸与苯丙氨酸转变而成,即将

苯丙氨酸和酪氨酸,蛋氨酸和胱氨酸分别合并计算,因限制氨基酸 AAS 或 CS 值小于 1^[20],由表 3 可知,第 1 限制氨基酸均为色氨酸(Trp)。

表3 革胡子鲶鱼皮必须氨基酸营养学评价
Table 3 Catfish skin nutritional evaluation of essential amino acids

氨基酸	鱼皮/mg·g ⁻¹	FAO/WHO 氨基酸模式	鸡蛋蛋白质	氨基酸评分 (AAS)	化学评分 (CS)
缬氨酸(Val)	96.00	50	54	1.92	1.78
赖氨酸(Lys)	128.00	55	66	2.33	1.94
异亮氨酸(ILe)	50.91	40	49	1.27	1.04
亮氨酸(Leu)	128.36	70	81	1.83	1.58
色氨酸(Trp)	2.55	10	10	0.26	0.26
苏氨酸(Thr)	83.27	40	45	2.08	1.85
苯丙氨酸+酪氨酸(Phe+Tyr)	89.82	60	86	1.50	1.04
蛋氨酸+半胱氨酸(Met+Cys)	67.28	35	47	1.92	1.43

2.3 革胡子鲶鱼皮游离氨基酸含量分析

游离氨基酸是主要呈味物质之一,主要有鲜、甜、苦3种味道,游离氨基酸种类和各游离氨基酸含量的不同会使产品呈现出不同的滋味^[21]。由表4可知,共检出27种游离氨基酸,游离氨基酸的总量为195.49 mg/100 g,必须游离氨基酸总量为52.6 mg/100 g,革胡子鲶鱼皮中牛磺酸的含量最高,为28.34 mg/100 g,牛磺酸是人体体内必需的含硫β氨基酸亚磺酸类似物,能够减缓心肌缺血损伤,保护心肌细胞、抗心力衰竭等作用^[22]。鲜

味氨基酸总量为30.54 mg/100 g,分别是天冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸和丙氨酸,这些氨基酸对脑组织生化代谢比较重要^[23],甜味氨基酸含量为29.82 mg/100 g,苦味氨基酸总量为30.67 mg/100 g。因游离氨基酸的滋味阈值各不相同,即单个游离氨基酸对整体滋味的贡献强度可根据TAV得到,若TAV>1,认为对整体滋味贡献较大^[24],由表4可知,所有游离氨基酸的含量均低于其滋味阈值,其中赖氨酸TAV最高,为0.30,其次是酪氨酸,为0.23。

表4 革胡子鲶鱼皮游离氨基酸含量

Table 4 Content of free amino acids in skin of catfish

类别	氨基酸	滋味贡献	含量/mg·(100 g) ⁻¹	滋味 阈值 ^[25]	TAV	占比/%
鲜味氨基酸	甘氨酸**(Gly)	鲜(+)	13.11 ± 0.70	130	0.10	15.62
	丙氨酸**(Ala)	鲜(+)	13.01 ± 0.33	60	0.22	
	天冬氨酸**(Asp)	鲜(+)	2.81 ± 0.15	100	0.03	
	谷氨酸**(Glu)	鲜(+)	1.61 ± 0.06	30	0.05	
甜味氨基酸	丝氨酸(Ser)	甜(+)	19.95 ± 1.08	150	0.13	15.25
	脯氨酸(pro)	甜(+)	4.30 ± 0.08	300	0.01	
	苏氨酸*(Thr)	甜(+)	5.57 ± 0.21	260	0.02	
苦味氨基酸	亮氨酸*(Leu)	苦(-)	7.47 ± 0.18	190	0.04	15.69
	酪氨酸(Tyr)	苦(-)	5.94 ± 0.24	26	0.23	
	组氨酸(His)	苦(-)	2.14 ± 0.10	20	0.11	
	异亮氨酸*(Ile)	苦(-)	5.26 ± 0.05	90	0.06	
	色氨酸*(Trp)	苦(-)	4.08 ± 0.76	-	-	
	苯丙氨酸*(Phe)	苦(-)	5.78 ± 0.12	-	-	

(续表 4)

类别	氨基酸	滋味贡献	含量/mg·(100 g) ⁻¹	滋味 阈值 ^[25]	TAV	占比/%
其它氨基酸	蛋氨酸*(Met)	苦/硫味(-)	2.90 ± 0.15	30	0.10	53.43
	赖氨酸*(Lys)	甜/苦(-)	15.14 ± 0.31	50	0.30	
	精氨酸(Arg)	苦/甜(+)	5.95 ± 0.45	50	0.12	
	缬氨酸*(Val)	甜/苦(-)	6.40 ± 0.15	40	0.16	
	天冬酰胺(Asn)	甜/苦	15.14 ± 0.51	-	-	
	牛磺酸	酸(-)	28.34 ± 0.68	-	-	
	鸟氨酸	酸/甜	1.70 ± 0.49	-	-	
	磷乙醇胺	-	1.41 ± 0.09	-	-	
	磷酸丝氨酸	-	4.37 ± 0.01	-	-	
	β-氨基异丁酸	-	0.56 ± 0.07	-	-	
	γ-氨基丁酸	-	1.27 ± 0.04	-	-	
	尿素	-	16.45 ± 1.54	-	-	
	α-氨基己二酸	-	4.71 ± 0.14	-	-	
	β-丙氨酸	-	0.12 ± 0.01	-	-	

注：“*”为必须氨基酸，“**”为鲜味氨基酸，“+”表示使人愉悦，“-”表示使人不愉悦。

2.4 革胡子鲶鱼皮矿物质成分分析

矿物质对于提供机体能量、组成机体结构以及生理调节功能都比较重要^[26],适当摄入对于机体生长发育或不可缺,当矿物质元素缺乏或不平衡时,会对人体造成很大的健康隐患。由表 5 可知,含量最高的为 Na(293 mg/kg),其次是 K(282 mg/kg),K 和 Na 是维持人体液体平衡的重要元素,K 还具有参与代谢,维持体内酸碱平衡的作用,摄入钾能够加强血管功能^[27],Ca 含量为(119 mg/kg),Ca 可以降低神经细胞的兴奋性,是一种天然的镇静剂^[28]。微量元素参与蛋白质的合成、转运

以及细胞调节,是生物体的重要组成成分^[29],Zn 的含量最高(13.7 mg/kg),是儿童生长发育所必须的重要微量元素^[30],富锌产品的 Zn 含量应该 ≥ 11 mg/kg,可见革胡子鲶鱼皮是较好的富锌产品,Fe 的含量次之,Fe 在人体中具有造血功能,促进人体生长的作用^[6];富硒水产品中硒含量应在 0.05~1.00 mg/kg 之间,即革胡子鲶鱼皮也是富硒水产品,其具有抗氧化的作用,与肝功能及肌肉代谢等有关^[31];人体的矿物质主要通过饮食来获得,因此,食用革胡子鲶鱼皮是较好的获得矿物质的途径。

表 5 革胡子鲶鱼皮矿物质含量(mg/kg)
Table 5 Mineral content of catfish skin (mg/kg)

矿物质元素	含量	矿物质元素	含量
Ca	119.00 ± 4.50	Cu*	<0.50
K	282.00 ± 9.50	Fe*	5.05 ± 0.04
Mg	41.60 ± 1.90	Mn*	<0.30
Na	293.00 ± 9.00	Zn*	13.70 ± 0.10
Se*	0.06 ± 0.00		

注：“*”表示微量元素。

2.5 革胡子鲶鱼皮脂肪酸成分分析

随着社会的发展,人们逐渐意识到脂肪酸的益处,尤其是其对疾病有明显的预防作用。由表 6

可知,革胡子鲶鱼皮中共检测出 12 中脂肪酸,其中饱和脂肪酸(SFA)有 8 种,占脂肪酸总量的 48%左右,单不饱和脂肪酸(MUFA)有 3 种,占脂

肪酸总量的50%左右,多不饱和脂肪酸(PUFA)有1种,占脂肪酸总量的2.54%左右,饱和脂肪酸中含量最多的是棕榈酸(1.10 mg/mL),不饱和脂肪酸中含量最多的是顺油酸(1.18 mg/mL),棕榈酸对于动脉粥样硬化及心血管疾病有预防的效果,对糖尿病人和高血脂病人起到很好的保健作用^[32],

油酸对于降低血清总胆固醇和低密度脂蛋白胆固醇含量有一定效果,可减少机体内的氧化应激产物,对机体的过度性炎症反应有很好的降低作用^[33],因此,革胡子鲶鱼皮可作为较好的食物来源,提供给需要补充油酸等单不饱和脂肪酸的特殊人群。

表6 革胡子鲶鱼皮脂肪酸种类及含量(mg/mL)

Table 6 Species and content of fatty acids in skin of catfish (mg/mL)

脂肪酸	含量	脂肪酸	含量
十三碳酸 C13:0	0.12 ± 0.10	顺油酸 C18:1n9c	1.18 ± 0.01
肉豆蔻酸 C14:0	0.03 ± 0.00	棕榈油酸 C16:1	0.14 ± 0.00
棕榈酸 C16:0	1.10 ± 0.02	反油酸 C18:1n9t	0.82 ± 0.01
十七碳酸 C17:0	0.15 ± 0.01	顺亚油酸 C18:2n6c	0.11 ± 0.00
硬脂酸 C18:0	0.42 ± 0.00	ΣSFA	2.08
花生酸 C20:0	0.06 ± 0.00	ΣMUFA	2.14
二十一碳酸 C21:0	0.06 ± 0.00	ΣPUFA	0.11
山俞酸 C22:0	0.14 ± 0.00	ΣFA	4.33

注:ΣSFA为饱和脂肪酸总量;ΣMUFA为单不饱和脂肪酸总量;ΣPUFA为多不饱和脂肪酸总量;ΣFA为脂肪酸总量。

2.6 革胡子鲶鱼皮 GC-MS 结果与分析

由表7可知,革胡子鲶鱼皮共检出28种挥发性风味物质,其中醛类11种,相对含量为2112.99 μg/kg,醇类6种,相对含量为805.681 μg/kg,酯类4种,相对含量为1336.41 μg/kg,酸类3种,相对含量为312.92 μg/kg,其它类4种,相对含量为301.36 μg/kg,化合物中相对含量较高的为壬醛、己醛、苯甲醛、异戊酸桂酯、壬酸等。

醛类主要是通过脂肪氧化降解及氨基酸Strecker反应产生,支链、短链醛由氨基酸的脱氨基降解生成,不饱和醛由脂酸降解生成^[34-35],大多呈坚果香和甜香,气味阈值较低,在水产品特征气味中起重要的作用^[3],由表7知,壬醛、正辛醛、苯乙醛、癸醛、(E,E)-2,4-壬二烯醛、(E,E)-2,4-癸二烯醛、己醛等OAV值大于1,对整体风味贡献较大,大多呈清香、水果香;苯甲醛、反-2-辛烯醛OAV在0~1之间,对整体风味具有潜在贡献,多呈脂肪香气、坚果味。

醇类可通过脂肪氧化、糖代谢等途径产生^[36],阈值较高的是饱和醇类物质,对整体风味影响较小,阈值较低的是不饱和醇类物质,对整体风味影响较大,由表7知,庚醇、1-辛醇和1-辛烯-3-醇

OAV大于1,对整体风味贡献较大,多呈脂肪香味;正己醇OAV在0~1之间,对整体风味具有潜在贡献,呈辛辣、鱼腥味。

酸类由脂肪氧化裂解或脂肪水解过程中变为低级脂肪酸而产生^[37],壬酸OAV大于1,对整体风味贡献较大,呈脂肪、奶酪的香味。酮类可能是脂质氧化、美拉德反应、氨基酸降解、微生物氧化和热降解形成的产物^[38],2,3-辛二酮OAV大于1,对整体风味影响较大,呈脂肪香味、辛辣味、并伴有香菜的香气。烷烃类阈值较高,十二烷OAV在0~1之间,对整体风味影响较小,呈清香、甜香味。

2.7 革胡子鲶鱼皮 GC-IMS 结果与分析

利用GC-IMS技术对革胡子鲶鱼皮的挥发性风味物质进行分析鉴定,如图1和图2所示,背景为蓝色,横坐标是离子迁移时间(ms),纵坐标是保留时间(s),图中1.0处红色竖线为反应离子峰(RIP峰),右侧每一个点代表一种挥发性有机物,点的颜色和面积表示物质含量的多少,颜色越深则该化合物的浓度越大^[39],许多挥发性有机物质集中在迁移时间为1.0~1.7 ms,保留时间为100~600 s的区域。

每种挥发性物质的点亮度差异显著,其中异

表 7 革胡子鲶鱼皮挥发性成分的 GC-MS 与 OAV 分析

Table 7 GC-MS and OAV analysis of volatile components in catfish skin

类别	化合物名称	化学式	相对含量/ $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	感觉阈值 [1,14,34-35]	OAV	风味描述
醛类	正辛醛	$\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}$	160.79	6.00	26.80	柑橘橙味
	壬醛	$\text{C}_9\text{H}_{18}\text{O}$	908.91	1.00	160.79	柑橘类、黄瓜、生土豆、油性坚果
	反-2-辛烯醛	$\text{C}_8\text{H}_{14}\text{O}$	82.80	125.00	0.06	香辣、黄瓜、脂肪、香蕉
	癸醛	$\text{C}_{10}\text{H}_{20}\text{O}$	93.39	0.10	9 089.10	甜、橙皮、柑橘
	苯甲醛	$\text{C}_7\text{H}_6\text{O}$	323.51	350.00	0.92	杏仁、果味、坚果、苦味
	苯乙醛	$\text{C}_8\text{H}_8\text{O}$	31.77	0.01	5 042.86	蜂蜜、玫瑰花香、发酵、巧克力、略带泥土气息
	(E,E)-2,4-壬二烯醛	$\text{C}_9\text{H}_{14}\text{O}$	24.07	0.06	401.17	黄瓜、水果、脂肪、薯片、坚果
	(E,E)-2,4-癸二烯醛	$\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{O}$	41.00	0.07	585.71	油、黄瓜、柑橘、南瓜、坚果
	2,4-癸二烯醛	$\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{O}$	80.88	-	-	油炸后有轻微的油脂腐败味
	己醛	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}$	337.95	4.50	75.10	鱼腥味、青草、油脂、果味
	反-2-十二烯醛	$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}$	27.92	-	-	黄瓜、鸡肉香味
	醇类	2-辛烯-4-醇	$\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}$	32.74	-	-
1-辛烯-3-醇		$\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}$	12.30	1.00	12.30	蘑菇、鱼腥味
庚醇		$\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}$	46.22	3.00	15.41	坚果、脂肪味
1-辛醇		$\text{C}_8\text{H}_{18}\text{O}$	656.65	40.00	16.42	柑橘类、花香、脂肪
叔丁醇		$\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$	23.11	-	-	-
正己醇		$\text{C}_6\text{H}_{14}\text{O}$	34.66	250	0.14	辛辣、水果味、鱼腥味
酸类	十八烷酸	$\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2$	100.13	-	-	脂肪
	辛酸	$\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}_2$	83.77	-	-	油脂、腐臭、奶酪
	壬酸	$\text{C}_9\text{H}_{18}\text{O}_2$	129.02	3.00	43.01	脂肪、奶酪
酯类	丙位辛内酯	$\text{C}_8\text{H}_{14}\text{O}_2$	198.34	-	-	-
	月桂酸乳酸酯	$\text{C}_{15}\text{H}_{30}\text{O}_3$	388.02	-	-	-
	癸二酸二异辛酯	$\text{C}_{26}\text{H}_{50}\text{O}_4$	190.64	-	-	-
	异戊酸桂酯	$\text{C}_{14}\text{H}_{18}\text{O}_2$	559.41	-	-	-
其它类	2,3-辛二酮	$\text{C}_8\text{H}_{14}\text{O}_2$	54.88	2.52	21.78	香菜、脂肪、辛辣
	十二烷	$\text{C}_{12}\text{H}_{26}$	14.44	170.00	0.08	-
	1-十一烯	$\text{C}_{11}\text{H}_{22}$	35.62	-	-	-
	甲酰胺	CH_3NO	196.42	-	-	-

注：“-”表示未检出。

戊醇、异戊醛、正己醛、1-戊醇、正己醇、苯甲醛、反-2-辛烯醛、丙酮、2-丙基-1-戊醇、丙醛、戊醛和 2-庚酮在图谱中颜色较深,因此,对整体风味影响较大,异戊醛、呈脂肪、水果的香味,异戊醇、反-2-辛烯醛、1-戊醇、正己醇、2-丙基-1-戊醇多呈水果清香味,苯甲醛呈坚果、苦味,正己醛有鱼腥味,丙醛呈泥土、刺鼻味,戊醛呈发酵、果浆味,2-庚酮呈水果味、辛辣味和奶油味。

通过对比挥发性物质的迁移时间和保留时间,使用外标正酮 $\text{C}_4\sim\text{C}_9$ 作为参考,计算其保留

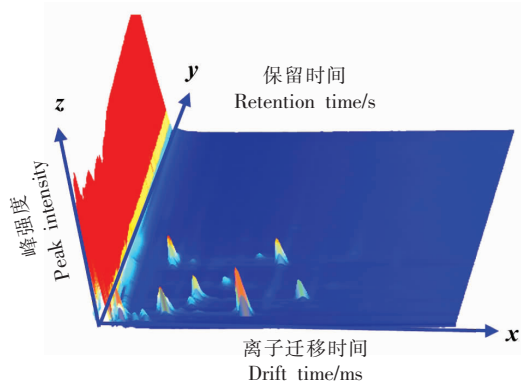
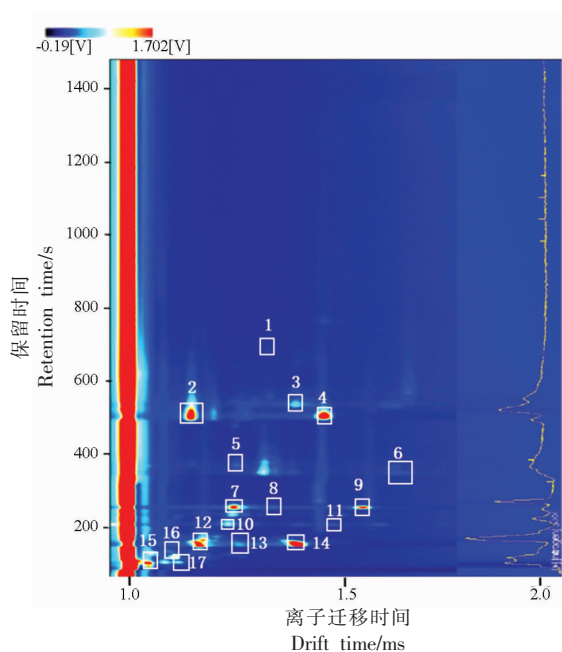


图 1 革胡子鲶鱼皮特征风味 GC-IMS 三维谱图

Fig.1 Three-dimensional spectrum of characteristic flavor of catfish skin



注:图中用数字代表化合物名称。1. 反-2-辛烯醛 M;2. 苯甲醛 M;3. 2-丙基-1-戊醇;4. 苯甲醛 D;5. 2-庚酮 M;6. 正己醇;7. 正己醛 M;8. 糠醛;9. 正己醛 D;10. 异戊醇 M;11. 异戊醇 D;12. 戊醛;13. 丙酸;14. 异戊醛;15. 丙醛;16. 丙醇 M;17. 丙酮。

图2 革胡子鲶鱼皮特征风味二维 GC-IMS 谱图 (俯视图)

Fig.2 Two-dimensional GC-IMS spectrum of characteristic flavor of catfish skin (Top view)

指数,通过 GC-IMS 数据库匹配后与目前数据库对比,结果见表 8,得出革胡子鲶鱼皮中已知的挥发性物质共有 21 种,包括醛类 8 种、醇类 7 种、酮类 2 种、酸类 2 种、酯类 1 种、胺类 1 种。因 GC-IMS 数据库不完善,有 8 种成分未能定性。对比表 7 的 GC-MS 定性分析结果可知,GC-MS 和 GC-IMS 两种分析手段能够共同分析得到的挥发性物质仅有反-2-辛烯醛、苯甲醛、正己醛和正己醇,可见或许将 GC-MS 和 GC-IMS 两种分析手段结合使用可以更全面地研究革胡子鲶鱼皮的风味物质,这与 Chen 等^[40]的研究结果相一致。

3 结论

通过对革胡子鲶鱼皮的营养成分和挥发性物质进行分析,得出革胡子鲶鱼皮具有高蛋白、低脂肪的特点,革胡子鲶鱼皮中鲜味氨基酸为主要呈味氨基酸,有多种对人体有益的矿物质,不饱和脂肪酸较为丰富;通过 GC-MS 和 GC-IMS 技术发现,革胡子鲶鱼皮中的挥发性物质分别是醛类、酮类、醇类、烷烃类、酯类、酸类等。根据 GC-MS 分析结果可知,正辛醛、壬醛、癸醛、苯乙醛、(E,E)-2,4-壬二烯醛、(E,E)-2,4-癸二烯醛、己醛、庚醇、2,3-辛二酮、1-辛醇 OAV>1,对整体风味影响较大,根据 GC-IMS 分析结果可

表 8 革胡子鲶鱼皮挥发性成分的 GC-IMS 定性分析

Table 8 Qualitative analysis of volatile components in catfish skin by GC-IMS

类别	化合物名称	分子式	保留指数	保留时间/s	迁移时间/ms	风味描述
醛类	反-2-辛烯醛	C ₈ H ₁₄ O	1 065.6	689.747	1.81388	脂肪、黄瓜、香蕉
	(E)-2-庚烯醛	C ₇ H ₁₂ O	957.0	481.380	1.25509	辛辣、绿色蔬菜、脂肪
	异戊醛	C ₅ H ₁₀ O	650.1	156.641	1.40827	巧克力、桃、脂肪
	苯甲醛 M	C ₇ H ₆ O	971.4	506.835	1.15187	杏仁、果味、坚果、苦味
	苯甲醛 D	C ₇ H ₆ O	971.0	506.041	1.46932	
	糠醛	C ₅ H ₄ O ₂	791.7	256.116	1.33725	甜味、坚果味、焦糖味的、涩味
	正己醛 M	C ₆ H ₁₂ O	793.0	257.491	1.25362	鱼腥味、青草、油脂、果味、
	正己醛 D	C ₆ H ₁₂ O	793.0	257.491	1.56428	
	戊醛	C ₅ H ₁₀ O	670.5	164.794	1.18049	发酵、果浆、面包
	丙醛	C ₃ H ₆ O	522.9	105.840	1.05042	泥土、刺鼻
醇类	2-丙醇	C ₃ H ₈ O	516.3	103.186	1.09214	霉味
	2-辛醇	C ₈ H ₁₈ O	956.8	480.917	1.85059	辛辣、泥土味、香蕉、蘑菇
	异戊醇 M	C ₅ H ₁₂ O	738.0	211.153	1.24123	发酵、青草味、面包、甜味
	异戊醇 D	C ₅ H ₁₂ O	736.5	210.014	1.48806	

(续表 8)

类别	化合物名称	分子式	保留指数	保留时间/s	迁移时间/ms	风味描述
	2-丙基-1-戊醇	C ₈ H ₁₈ O	989.2	538.193	1.39872	泥土、蘑菇、果香味、霉味、奶油
	丙醇 M	C ₃ H ₈ O	560.1	120.695	1.1104	发酵、霉味、甜的果味
	1-戊醇	C ₅ H ₁₂ O	769.2	235.954	1.50978	辛辣、发酵、水果味面包
	正己醇	C ₆ H ₁₄ O	880.3	353.602	1.32247	刺鼻、果味、甜味、酒味、青草味
酮类	丙酮	C ₃ H ₆ O	526.3	107.171	1.12162	苹果、梨
	2-庚酮	C ₇ H ₁₄ O	888.7	362.844	1.63059	果味、辛辣、奶油味
酸类	丙酸	C ₃ H ₆ O ₂	651.4	157.128	1.26577	刺鼻、酸味、乳制品
	癸酸	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	1 397.0	1 351.905	1.56322	令人不愉快的酸味、水果
其它类	正己酸乙酯	C ₈ H ₁₆ O ₂	1 004.0	567.029	1.33926	脂肪、菠萝味、水果味、香蕉味
	三甲胺	C ₃ H ₉ N	510.3	100.804	1.14764	鱼腥味、腐臭味

知、异戊醇、异戊醛、正己醛、1-戊醇、正己醇、苯甲醛、反-2-辛烯醛、丙酮、2-丙基-1-戊醇、丙醛、戊醛和 2-庚酮等点亮度较深，对整体风味影响较大。通过对比发现，GC-MS 和 GC-IMS 共同分析得到的挥发性物质仅有反-2-辛烯醛、苯甲醛、正己醛和正己醇，可见结合 GC-MS 和 GC-IMS 两种分析手段可以更好地研究革胡子鲶鱼皮的风味物质。

参 考 文 献

- [1] 鲍佳彤, 宁云霞, 杨淇越, 等. TGase 和 Ca⁽²⁺⁾ 联合作用对未经漂洗的革胡子鲶鱼鱼糜凝胶特性的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(14): 50-57.
BAO J T, NING Y X, YANG Q Y, et al. The effect of the combined action of TGase and Ca⁽²⁺⁾ on the gel properties of unrinsed leather clarias catfish surimi[J]. Food Science, 2020, 41(14): 50-57.
- [2] 卢伟, 陆宁. 大麦苗粉中氨基酸组成及含量[J]. 食品与机械, 2018, 34(10): 35-39, 85.
LU W, LU N. The composition and content of amino acids in barley seedling powder[J]. Food and Machinery, 2018, 34(10): 35-39, 85.
- [3] 张彩霞, 奚印慈, 柳泽琢也, 等. 原味沙拉酱的营养评价与关键风味成分分析[J]. 食品科学, 2020, 41(2): 253-258.
ZHANG C X, XI Y C, YANAGISAWA T, et al. Nutritional evaluation and analysis of key flavor components of original salad dressing[J]. Food Science, 2020, 41(2): 253-258.
- [4] 王萍, 张健, 孙利芹, 等. 南极冰鱼不同部位营养成分分析[J]. 水产科学, 2020, 39(6): 928-934.
WANG P, ZHANG J, SUN L Q, et al. Analysis of nutritional components in different parts of Antarctic icefish[J]. Journal of Fishery Sciences, 2020, 39(6): 928-934.
- [5] 陈晓婷, 吴靖娜, 许旻, 等. 四种河鲃鱼皮和鱼肉的营养成分分析与评价[J]. 现代食品科技, 2020, 36(1): 69-77.
CHEN X T, WU J N, XU M, et al. Analysis and evaluation of nutritional components of skin and meat of four kinds of puffer fish[J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(1): 69-77.
- [6] 程小飞, 洪波, 苏东旭, 等. 刺鲃鱼皮和鱼鳞营养成分的分析与评价[J]. 现代食品科技, 2019, 35(5): 259-267.
CHENG X F, HONG B, SU D X, et al. Analysis and evaluation of the nutritional components of spiny barb fish skin and scales[J]. Modern Food Science and Technology, 2019, 35(5): 259-267.
- [7] 张志胜, 齐文聪, 韩晴, 等. 鲑鱼皮胶原蛋白的提取与应用[J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 7(8): 3228-3233.
ZHANG Z S, QI W C, HAN Q, et al. Extraction and application of cod skin collagen[J]. Journal of Food Safety and Quality Inspection, 2016, 7(8): 3228-3233.
- [8] 陈贝, 张鸽, 乔琨, 等. 双斑东方鲀鱼皮胶原多肽的制备及其在化妆品中的功效与刺激性评价[J]. 天然产物研究与开发, 2020, 32(7): 1190-1199.
CHEN B, ZHANG G, QIAO K, et al. Preparation of collagen polypeptide from fugu skin and its efficacy and irritation evaluation in cosmetics[J]. Re-

- search and Development of Natural Products, 2020, 32(7): 1190-1199.
- [9] 董晓泽. 日本黄姑鱼皮活性肽的制备及其免疫作用研究[D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2019.
- DONG X Z. Preparation and immune effect of active peptides from Japanese yellow croaker skin [D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2019.
- [10] 王雅菲, 祁立波, 白帆, 等. 熬胶工艺对鲟鱼鱼皮胶冻品质的影响[J]. 中国食品学报, 2019, 19(9): 137-146.
- WANG Y F, QI L B, BAI F, et al. Effect of processing to the quality of sturgeon's skin edible gelatin products[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2019, 19(9): 137-146.
- [11] WANG F, GAO Y Q, WANG H B, et al. Analysis of volatile compounds and flavor fingerprint in Jingyuan lamb of different ages using gas chromatography-ion mobility spectrometry (GC-IMS)[J]. Meat Science, 2021, 175: 108449.
- [12] 蒋左玉, 李建, 姚俊杰, 等. 山泉水人工养殖金鲢鱼卵及鱼皮营养成分的测定与分析[J]. 食品科学, 2015, 36(1): 234-239.
- JIANG Z Y, LI J, YAO J J, et al. Determination and analysis of nutrients in eggs and skin of cultured golden trout in mountain spring water [J]. Food Science, 2015, 36(1): 234-239.
- [13] 杨月欣, 王光亚, 潘光昌. 中国食物成分表 2002 [M]. 北京: 北京医科大学出版社, 2002: 286-322.
- YANG Y X, WANG G Y, PAN G C. China food composition 2002[M]. Beijing: Peking University Medical Press, 2002: 286-322.
- [14] 宁云霞, 马俪珍, 梁丽雅, 等. 鱼豆腐冻藏过程中的品质变化[J]. 肉类研究, 2020, 34(8): 78-83.
- NING Y X, MA L Z, LIANG L Y, et al. Quality changes of fish tofu during frozen storage[J]. Meat Research, 2020, 34(8): 78-83.
- [15] YAMAGUCHI S, YOSHIKAWA T, IKEDA S, et al. Measurement of the relative taste intensity of some l- α -amino acids and 5'-nucleotides[J]. Journal of Food Science, 2006, 36(6): 846-849.
- [16] 朱曦淳, 张夜路, 康继霞, 等. 5种经济鱼类内脏脂肪含量及组成分析[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(4): 22-27.
- ZHU X C, ZHANG Y L, KANG J X, et al. Analysis of visceral fatty acid content and composition of five economic fish[J]. Food Research and Development, 2021, 42(4): 22-27.
- [17] 陈援援, 于德阳, 秦建鹏, 等. 外源抑制物对风干肠风味变化的影响[J]. 食品工业科技, 2021, 42(4): 215-225, 231.
- CHEN Y Y, YU D Y, QIN J P, et al. Effects of exogenous inhibitors on the flavor changes of air-dried sausage [J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(4): 215-225, 231.
- [18] 陈实, 施文正, 汪之和. 青鱼背肉、腹肉和尾肉不同风味成分的比较[J]. 渔业现代化, 2021, 48(1): 57-66.
- CHEN S, SHI W Z, WANG Z H. Comparison of different flavor components of back meat, belly meat and tail meat of herring[J]. Fishery Modernization, 2021, 48(1): 57-66.
- [19] 肖湘, 陈益纯, 许文浩, 等. 黄鳝粘液多糖的分离纯化与鉴定[J]. 食品工业科技, 2005, 26(10): 75-76, 80.
- XIAO X, CHEN Y C, XU W H, et al. Isolation, purification and identification of mucus polysaccharides from *Monopterus albus* [J]. Science and Technology of Food Industry, 2005, 26(10): 75-76, 80.
- [20] 陈巧玲, 李忠海, 陈素琼. 5种地产食用菌氨基酸组成比较及营养评价[J]. 食品与机械, 2014, 30(6): 43-46, 81.
- CHEN Q L, LI Z H, CHEN S Q. Comparison of amino acid composition and nutritional evaluation of 5 kinds of local edible fungi[J]. Food and Machinery, 2014, 30(6): 43-46, 81.
- [21] 韩昕苑, 樊震宇, 从娇娇, 等. 冻融循环过程中冷冻罗非鱼片呈味物质的变化[J]. 食品科学, 2022, 43(2): 269-275.
- HAN X Y, FAN Z Y, CONG J J, et al. Changes of flavor substances in frozen tilapia fillets during freeze-thaw cycle [J]. Food Science, 2022, 43(2): 269-275.
- [22] 刘晓雪, 张乃文, 任风云. 牛磺酸保护心肌缺血损伤的研究进展[J]. 国际老年医学杂志, 2020, 41(5): 339-341.
- LIU X X, ZHANG N W, REN F Y. Research progress of taurine on myocardial ischemic injury[J]. International Journal of Geriatrics, 2020, 41(5): 339-341.
- [23] 徐丹萍, 过雯婷, 郑振霄, 等. 干贝的营养评价与关键风味成分分析[J]. 中国食品学报, 2016, 16(12): 218-226.

- XU D P, GUO W T, ZHENG Z X, et al. Nutritional evaluation and analysis of key flavor components of scallops[J]. Chinese Journal of Food, 2016, 16(12): 218-226.
- [24] 李婉君. 南极磷虾与南美白对虾营养与滋味成分比较[D]. 上海: 上海海洋大学, 2015.
- LI W J. Comparison of nutritional and taste components between Antarctic krill and *Penaeus vannamei* [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2015.
- [25] 杨树奇, 曾少葵, 周春霞, 等. 3种鱼皮的基本成分及氨基酸组成分析[J]. 广东海洋大学学报, 2010, 30(1): 97-100.
- YANG S Q, ZENG S K, ZHOU C X, et al. Analysis of basic components and amino acid composition of three kinds of fish skin[J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2010, 30(1): 97-100.
- [26] 邓梦雅, 朱丽, 吴东慧, 等. 蔬菜中矿物质含量测定、营养评价及风险评估[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(9): 97-102.
- DENG M Y, ZHU L, WU D H, et al. Determination of mineral content, nutritional evaluation and risk assessment in vegetables[J]. Food Research and Development, 2018, 39(9): 97-102.
- [27] TANG X X, WU B Y, LUO Y T, et al. Effect of potassium supplementation on vascular function: A meta-analysis of randomized controlled trials[J]. International Journal of Cardiology, 2017, 228: 225-232.
- [28] 王丽娟, 刘菊林. 微量元素对人体健康的作用[J]. 临床合理用药杂志, 2013, 6(8): 63.
- WANG L J, LIU J L. Effects of trace elements on human health[J]. Journal of Clinical Rational Drug Use, 2013, 6(8): 63.
- [29] MERAMAT A, RAJAB N, SHAHAR S. Cognitive impairment, genomic instability and trace elements [J]. J Nutr Health Ag, 2015, 19(1): 48-57.
- [30] 李滢妮, 陈青, 林菁, 等. 基于主成分分析的膳食脂肪酸模式与口腔癌的关系[J]. 中华疾病控制杂志, 2021(6): 692-697.
- LI Y N, CHEN Q, LIN J, et al. Relationship between dietary fatty acid patterns and oral cancer based on principal component analysis [J]. Chinese Journal of Disease Control, 2021(6): 692-697.
- [31] 孟佳珩, 侯建鹏. 微量元素对运动员身体健康的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(2): 358-362.
- MENG J H, HOU J P. Effects of trace elements on Athletes' health[J]. Journal of Food Safety and Quality Inspection, 2020, 11(2): 358-362.
- [32] 唐迪, 邹焯, 仰榴青. GC-MS分析木瓜籽油中的脂肪酸组成[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(10): 301-302.
- TANG D, ZOU Y, YANG L Q. Analysis of fatty acid composition in papaya seed oil by GC-MS[J]. Jiangsu Agricultural Science, 2012, 40(10): 301-302.
- [33] 张伟敏, 钟耕, 王炜. 单不饱和脂肪酸营养及其生理功能研究概况[J]. 粮食与油脂, 2005(3): 13-15.
- ZHANG W M, ZHONG G, WANG W. Research overview of monounsaturated fatty acid nutrition and its physiological function[J]. Grain and Oil, 2005 (3): 13-15.
- [34] ZHANG Q, DING Y C, GU S Q, et al. Identification of changes in volatile compounds in dry-cured fish during storage using HS-GC-IMS[J]. Food Research International, 2020, 137(4): 109339.
- [35] ZHOU X X, CHONG Y Q, DING Y T, et al. Determination of the effects of different washing processes on aroma characteristics in silver carp mince by MMSE-GC-MS, e-nose and sensory evaluation [J]. Food Chemistry, 2016, 207(15): 205-213.
- [36] CHUA J Y, LU Y Y, LIU S Q. Evaluation of five commercial non-*Saccharomyces* yeasts in fermentation of soy (tofu) whey into an alcoholic beverage [J]. Food Microbiology, 2018, 76: 533-542.
- [37] 顾赛麒, 唐锦晶, 周绪霞, 等. 腌腊鱼传统日晒干制过程中品质变化与香气形成[J]. 食品科学, 2019, 40(17): 36-44.
- GU S Q, TANG J J, ZHOU X X, et al. Quality change and aroma formation of cured fish during traditional sun drying[J]. Food Science, 2019, 40 (17): 36-44.
- [38] HAU Y C, CHI W Y, JOO-SHIN K, et al. Static headspace analysis-olfactometry (SHA-O) of odor impact components in salted-dried white herring (*Il-isha elongata*) [J]. Food Chemistry, 2006, 104(2): 842-851.
- [39] DUANA Z L, DONGA S L, DONG Y W, 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.

- [40] CHEN J H, TAO L N, 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.

Analysis of Volatile Compounds and Nutrients of *Clarias fuscus* Skin

Sun Huijuan, Li Lu, Ma Kaihua, Chen Yuanyuan, Ma Lizhen, Ren xiaoqing*
(College of Food Science and Bioengineering, Tianjin Agricultural College, Tianjin 300384)

Abstract In order to develop and utilize *Clarias fuscus* skin, conventional nutrient analysis methods, gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS), gas chromatography-ion mobility spectroscopy (GC-IMS) technology were used to analyze the nutrients and volatile substances in fish skin. The results showed that the water content, crude protein, crude fat, crude ash and total sugar content in fish skin were 62.85%, 27.50%, 5.28%, 0.15%, 3.84%, respectively. The essential amino acid content in fish skin was 16.60 g/100 g, the umami amino acid content was 45.72 g/100 g. The content of essential free amino acid and fresh free amino acid were 52.6 mg/100 g and 30.54 mg/100 g, respectively. Taurine had the highest free amino acid content, which was 28.34 mg/100 g. The content of unsaturated fatty acids in the skin was relatively rich and the oleic acid was the highest fatty acid content that was 1.18 mg/mL. Many mineral elements were contained in fish skin. *Trans*-2-octenal, benzaldehyde, n-hexanal and n-hexanol could be obtained by GC-MS and GC-IMS analysis methods. Therefore, the combination of GC-MS and GC-IMS analysis methods could better study the flavor substances of catfish skin.

Keywords fish skin; nutrient composition; gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS); gas chromatography-ion mobility spectrometry (GC-IMS)