

蒸制对斑点叉尾鲷肉挥发性风味物质的影响^{*}

孙翰昌¹, 游玉明¹, 蔡明成¹, 雷桂生¹, 胡慧蝶¹, 陈启亮²

(1. 重庆文理学院 园林与生命科学学院, 重庆 永川 402160; 2. 重庆师范大学 生命科学学院, 重庆 401331)

摘要:【目的】考察蒸制处理对斑点叉尾鲷(*Ictalurus punctatus*)肉主要挥发性风味物质的变化。【方法】采用固相微萃取-气相色谱质谱(SPME-GC-MS)法分别对新鲜和蒸制的斑点叉尾鲷肉的挥发性成分进行分析。【结果】从新鲜和蒸制的斑点叉尾鲷肉中分别检测出34种和31种挥发性成分,其中相同成分有22种;这些挥发性成分中含量较高的是醇类、酸类和酮类,它们在新鲜斑点叉尾鲷肉中相对含量分别为21.65%,16.80%和3.24%,在蒸制斑点叉尾鲷肉中相对含量分别为19.04%,18.52%和3.03%。【结论】2-氨基丙醇、2-甲氨基乙醇、N'-异丙基脲基乙酸、正棕榈酸、D-氨基丙酸、3,3-二甲基-4-(1-氨基乙基)-2-氮杂环丁酮等物质可能与斑点叉尾鲷鱼肉的风味有关。

关键词:斑点叉尾鲷;气相色谱-质谱;蒸制;风味物质

中图分类号:S917.4;O675.63

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2022)02-0128-07

斑点叉尾鲷(*Ictalurus punctatus*)又称钳鱼,原产于美洲,为杂食性鱼类;因它具有适应能力强、生长迅速、抗性强、肉细味美、营养丰富、经济价值高等特点,故深受池塘养殖者和消费者的青睐^[1]。近些年来,随着斑点叉尾鲷养殖业的规模迅速扩大且集约化程度不断提高,关于这一鱼种的研究也与日俱增。目前学者对斑点叉尾鲷的研究主要聚焦于生长性能、血液指标、疾病防治等方面^[2-3],而有关加工工艺对该鱼肉中风味成分影响的研究鲜见报道。蒸制作为一种传统的斑点叉尾鲷加工方式,它不仅能有效保证斑点叉尾鲷肉原有的风味、避免营养物质流失,且减少了人们对食盐和油脂的摄入,符合现代消费者对食品营养健康的理念。

风味是评价鱼肉品质的一项重要指标。气相色谱-质谱(Gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)法是应用最广泛的挥发性成分鉴定方法,已在草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)^[4]、中华鳖(*Pelodiscus sinensis*)^[5]、池沼公鱼(*Hypomesus olidus*)^[6]、鳙(*Aristichthys nobilis*)^[7]等重要经济鱼类风味评价中得到了应用,但未见有关蒸制处理对斑点叉尾鲷肉挥发性成分影响的报道。为此,本研究以斑点叉尾鲷为实验对象,采用固相微萃取-气相色谱质谱(SPME-GC-MS)法分析了蒸制前后的斑点叉尾鲷肉中主要挥发性风味成分的变化,旨在为斑点叉尾鲷肉的食品加工工艺改进提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料及主要仪器

研究用新鲜斑点叉尾鲷15尾购自重庆市永川区养殖场,体质量为(1 300±700) g。实验室暂养期间采用充分曝气的自来水作为斑点叉尾鲷的饲养水体,并用充气泵每日24 h不间断充氧。正式试验时从中挑选活泼健康、表面无伤的鱼进行分析样品的采集。研究用主要仪器中,GC-MS 2010型气相色谱-质谱联用仪及GC-MS Solution数据处理系统购自日本岛津公司;75 μm聚二甲基硅氧烷涂层萃取头购自美国Supelco公司;20 mL顶空样品瓶购自美国安捷伦公司;DK-98-I电子恒温水浴锅购自天津市泰斯特仪器有限公司。

1.2 方法

1.2.1 样品的制备 参考赵洪雷等人^[8]的方法并略做修改。将鲜活斑点叉尾鲷宰杀后,去头和内脏,用冰水洗

* 收稿日期:2021-08-17 修回日期:2021-12-14 网络出版时间:2022-03-29 11:02

资助项目:国家自然科学基金(No. 31901183);重庆市技术创新与应用发展专项重点项目(No. cstc2019jcsx-gksbX0147);重庆文理学院研究生科研项目(No. M2020 ME29)

第一作者简介:孙翰昌,男,教授,研究方向为水产生物技术,E-mail:sunhanchang199@163.com

网络出版地址:https://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1165.n.20220328.1126.008.html

净,手工剔取其中白色肌肉,切成大小均匀的肉片(6 cm×6 cm×1.5 cm),取其中一部分肉片置于带孔不锈钢蒸盘,待水沸腾后蒸制6 min。

1.2.2 挥发成分的萃取 参考孙静等人^[9]的方法并做适当修改。分别取鲜鱼肉片和蒸制鱼肉片用研钵迅速研磨匀浆后,取2 g装入20 mL的样品瓶,再向其中加入4 mL饱和NaCl溶液,并搅拌均匀。用静态顶空固相微萃取技术进行风味物质萃取。将经250℃老化30 min的萃取头插入样品瓶,在60℃水浴条件下,顶空萃取30 min。将萃取后的萃取头取出迅速插入气质联用仪进样口,在250℃条件下解析3 min,同时启动仪器采集数据。

1.2.3 GC-MS条件 1) 气相色谱条件为:DB-5MS石英毛细管色谱柱(长度×内径为30 m×0.25 mm,膜厚0.25 μm);载气(氦气)流速为1.0 mL·min⁻¹,不分流进样模式,进样口温度250℃,压力:49.5 kPa。色谱柱起始温度为40℃,保持1 min,以5℃·min⁻¹升温到230℃,保持5 min;再以20℃·min⁻¹升温到280℃,保持2 min。2) 质谱条件为:电离方式为EI,电离电压为70 eV,灯丝发射电流为200 μA,离子源温度为200℃,接口温度280℃,以质荷比(m/z)值范围45~500作为扫描质量范围。

1.3 数据处理

利用计算机标准谱库(National institute of standards and technology,NIST)进行检索并结合文献进行谱图解析,采用峰面积归一化法计算解析其中各种成分的相对含量,以百分数表示。

2 结果与分析

2.1 斑点叉尾鲷肉中挥发性风味物质分析

新鲜和蒸制的斑点叉尾鲷肉中挥发性风味物质成分的总离子流色谱图分别如图1和图2所示。比较两图可以看出:新鲜和蒸制的斑点叉尾鲷鱼肉中挥发性风味物质成分的总离子流色谱图形态相近,但前者较后者而言许多成分的波峰有所下降,亦有部分成分的波峰增强。

由表1可知,从新鲜斑点叉尾鲷肉中检测出34种成分,从蒸制斑点叉尾鲷肉中检测出31种成分,两者相同成分共22种。检测出的有效挥发性成分主要为烃类、醇类、酮类、醛类、酯类、胺类和环状化合物,其中相对含量较高的是醇类、酸类和酮类化合物;这3类化合物在新鲜鱼肉中相对含量分别为21.65%,16.80%和3.24%,在蒸制鱼肉中相对含量分别为19.04%,18.52%和3.03%。与蒸制鱼肉相比,新鲜鱼肉中胺类物质相对含量较高,为11.16%。

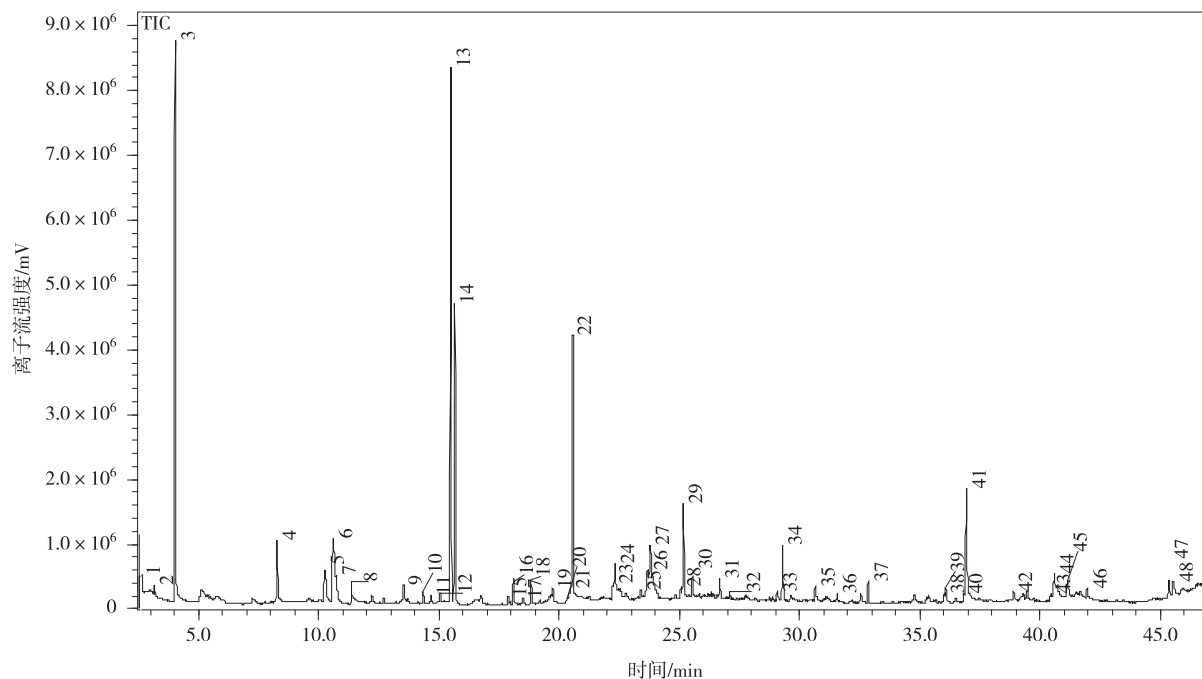


图1 新鲜斑点叉尾鲷肉 SPME-GC-MS 色谱图

Fig. 1 Chromatogram of SPME-GC-MS on the fresh *I. punctatus* flesh

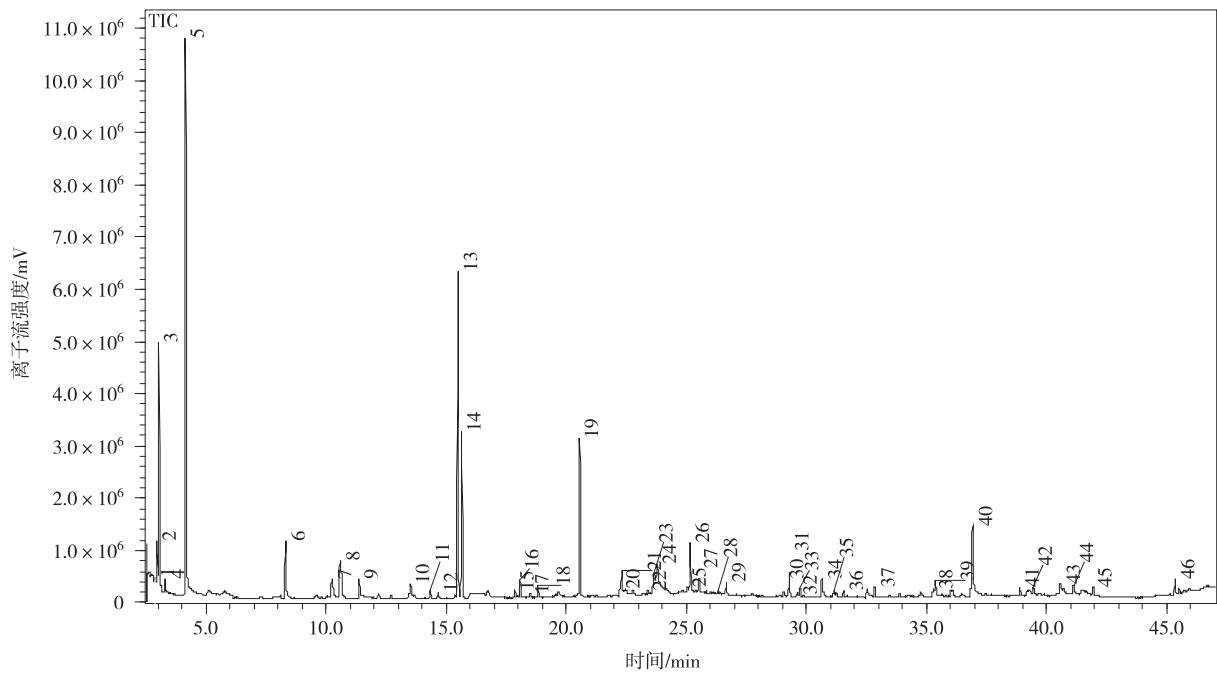


图 2 蒸制斑点叉尾鮰肉 SPME-GC-MS 色谱图

Fig. 2 Chromatogram of SPME-GC-MS on the steamed *I. punctatus* flesh

表 1 新鲜和蒸制的斑点叉尾鮰肉挥发性风味成分分析

Tab. 1 Analysis of volatile flavor compounds of fresh and steamed *I. punctatus* flesh

序号	化合物名称	分子式	保留时间/min	新鲜鱼肉	蒸制鱼肉
				相对含量/%	相对含量/%
1	N'-异丙基脲基乙酸	C ₆ H ₁₂ N ₂ O ₃	2. 61	2. 76	7. 36
2	醋酸	C ₂ H ₄ O ₂	3. 16	0. 14	0. 30
3	甲氧基-苯基-肼	C ₈ H ₉ NO ₂	8. 26	2. 14	2. 94
4	2-甲氨基乙醇	C ₃ H ₉ NO	10. 24	2. 05	1. 52
5	D-氨基丙酸	C ₃ H ₇ NO ₂	10. 58	5. 32	3. 79
6	苯酚	C ₆ H ₆ O	10. 72	1. 24	—
7	2-二乙氧基乙醇	C ₆ H ₁₄ O ₃	11. 35	0. 60	0. 81
8	[甲基(腓)氨基]乙酸	C ₄ H ₁₀ NO ₅ P	13. 52	0. 70	0. 90
9	2,5-二[(三甲基硅基)氧基]苯甲醛	C ₁₃ H ₂₃ O ₃ Si ₂	14. 33	0. 42	0. 48
10	壬醛	C ₉ H ₁₈ O	14. 66	0. 25	0. 38
11	2-乙基己酸	C ₈ H ₁₆ O ₂	15. 03	0. 24	—
12	2-氨基丙醇	C ₃ H ₉ NO	15. 48	17. 67	14. 91
13	癸醛	C ₁₀ H ₂₀ O	17. 86	0. 24	0. 30
14	(E)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛	C ₁₀ H ₁₆ O	19. 73	0. 30	—
15	N(ε)-甲基-L-赖氨酸	C ₇ H ₁₆ N ₂ O ₂	20. 30	0. 37	—
16	1-甲氧基-2-丙胺	C ₄ H ₁₁ NO	20. 51	8. 84	0. 21
17	2,4-二异酸甲苯酯	C ₉ H ₆ N ₂ O ₂	22. 22	0. 64	0. 43
18	5-甲酰-2,4-二甲基吡咯-3-腓	C ₈ H ₈ N ₂ O	23. 72	5. 94	4. 72
19	N-异丙基脲基乙酸乙酯	C ₈ H ₁₆ N ₂ O ₃	25. 05	0. 35	—
20	3,3-二甲基-4-(1-氨基乙基)-2-氮杂环丁酮	C ₇ H ₁₄ N ₂ O	25. 16	3. 24	2. 22

续表 1

序号	化合物名称	分子式	保留时间/min	新鲜鱼肉	蒸制鱼肉
				相对含量/%	相对含量/%
21	1-十二醇	C ₁₂ H ₂₆ O	25.53	0.86	0.66
22	2,6-二叔丁基对甲酚	C ₁₅ H ₂₄ O	26.30	—	0.14
23	2-氨基十一烷	C ₁₁ H ₂₅ N	27.09	0.18	—
24	4-丁氧基-1-丁醇	C ₈ H ₁₈ O ₂	29.05	0.47	0.39
25	1,5-二甲基己胺	C ₈ H ₁₉ N	29.28	2.01	1.2
26	二苯甲酮	C ₁₃ H ₁₀ O	29.62	—	0.3
27	3-羟基丙酸-正丁基硼酸酐-环状酯	C ₇ H ₁₃ BO ₃	29.73	—	0.52
28	1-(2-异丙基-5-乙基己氧基)-3-(4-吗啉)-2-丙醇	C ₁₇ H ₃₃ NO ₃	30.62	—	0.75
29	七氟丁酸十五酯	C ₁₉ H ₃₁ F ₇ O ₂	30.64	0.46	—
30	3-甲基-5-丙基壬烷	C ₁₃ H ₂₈	31.15	—	0.16
31	十八碳醛	C ₁₈ H ₃₆ O	31.55	0.30	—
32	十四烷醛	C ₁₄ H ₂₈ O	32.19	—	0.70
33	2,5-二甲基-4-羟基-3-己酮	C ₈ H ₁₆ O ₂	35.28	—	0.51
34	4-十八烷基吗啉	C ₂₂ H ₄₅ NO	35.36	—	0.88
35	仲丁胺	C ₄ H ₁₁ N	36.01	0.31	—
36	13-甲基-2-氧-环十四烷	C ₁₄ H ₂₆ O ₂	36.08	0.58	—
37	邻苯二甲酸二丁酯	C ₁₆ H ₂₂ O ₄	36.83	0.20	—
38	正棕榈酸	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	36.93	5.43	4.98
39	2,2'-[1,4-丁二基二(氧亚甲基)]二-环氧乙烷	C ₁₀ H ₁₈ O ₄	39.44	—	0.32
40	亚油酸乙酯	C ₂₀ H ₃₆ O ₂	40.43	0.12	—
41	油酸	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	40.59	0.87	0.55
42	硬脂酸	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	41.14	0.85	0.64
43	氯乙酸酐	C ₄ H ₄ Cl ₂ O ₃	44.28	1.77	1.25

注:表中物质相似度均大于 70%

2.2 蒸制对斑点叉尾鲷肉中各类挥发性风味物质的影响

2.2.1 对醇类化合物的影响 由表 1 可知:斑点叉尾鲷肉中醇类化合物主要为 2-甲氨基乙醇、2-氨基丙醇、1-十二醇、4-丁氧基-1-丁醇以及 1-(2-异丙基-5-乙基己氧基)-3-(4-吗啉)-2-丙醇。蒸制对斑点叉尾鲷肉醇类化合物影响不明显,但蒸制后产生了 1-(2-异丙基-5-乙基己氧基)-3-(4-吗啉)-2-丙醇这一新的醇类化合物,而其他醇类化合物的种类与蒸制前基本一致。

2.2.2 对醛酮类化合物的影响 表 1 显示:醛类化合物在斑点叉尾鲷肉中相对含量较低,主要为 2,5-二[(三甲基硅基)氧基]苯甲醛、壬醛、癸醛、(E)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛和十八碳醛。在醛类化合物中,新鲜斑点叉尾鲷肉中 2,5-二[(三甲基硅基)氧基]苯甲醛的相对含量最高,而蒸制斑点叉尾鲷肉中相对含量最高的是十四烷醛。部分醛类物质经高温蒸制过后发生了变化:新鲜斑点叉尾鲷肉中含有的十八碳醛和(E)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛在蒸制后消失,但新增了十四烷醛。酮类化合物在斑点叉尾鲷鱼肉中较少,新鲜鱼肉中仅有 3,3-二甲基-4-(1-氨基乙基)-2-氮杂环丁酮存在;在蒸制后,斑点叉尾鲷肉中出现了二苯甲酮和 2,5-二甲基-4-羟基-3-己酮这 2 种新的酮类物质,而它们可能对鱼肉的风味产生一定影响。

2.2.3 对酸类化合物的影响 酸类化合物风味阈值通常较高,对肉制品的总体风味贡献不大。由表 1 可见:斑点叉尾鲷肉中酸类物质种类较多,在新鲜鱼肉中有 10 种,蒸制鱼肉中有 7 种;酸类化合物在新鲜和蒸制鱼肉中的相对含量分别达到 16.80%和 18.52%,仅次于醇类化合物。在酸类化合物中,新鲜斑点叉尾鲷肉中 D-氨基丙酸

相对含量最高,而蒸制斑点叉尾鲴肉中则是 N'-异丙基脲基乙酸的相对含量最高,这可能对鱼肉的风味有比较大的影响。

2.2.4 对酯类化合物的影响 从表 1 可以看出:斑点叉尾鲴肉中的酯类化合物共有 6 种,分别是 2,4-二异酸甲苯酯、N-异丙基脲基乙酸乙酯、七氟丁酸十五酯、邻苯二甲酸二丁酯、亚油酸乙酯以及 3-羟基丙酸-正丁基硼酸酐-环状酯。新鲜和蒸制的斑点叉尾鲴肉中 2,4-二异酸甲苯酯和 3-羟基丙酸-正丁基硼酸酐-环状酯相对含量分别为 0.64%,0.52%,在酯类化合物的相对含量排序中分别为第 1 位和第 2 位。本研究中检出的酯类化合物相对含量较低,它们对鱼肉的风味影响可能较小。

3 讨论

水产动物肉中风味物质种类及含量与养殖环境、品种、加工方式等均有密切关系。资料显示,鱼肉中挥发性物质有 300 多种^[10]。但并非所有挥发性物质种类及含量均与风味特征有直接关系,挥发性物质对鱼肉风味的贡献程度取决于它们含量的高低和感觉阈值^[11]。张艳霞等人^[12]分别从普通网箱和大围网箱养殖的大黄鱼(*Pseudosciaena crocea*)肉中分析出挥发性风味物质为 48 和 42 种,主体风味物质为醛类、醇类及芳香类化合物。本研究从新鲜斑点叉尾鲴肉中检测出 34 种挥发性风味物质。而负三月等人^[13]采用 GC-MS 从凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)肉中检测出 88 种挥发性物质,其中醛类、酮类和芳香类化合物含量比较多。徐文思等人^[14]从小龙虾(*Procambarus clarkii*)中萃取得到挥发性风味物质 73 种。顾赛麒等人^[11]采用 GC-MS 从松江中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)的 4 个可食部位中检测出风味物质 48 种。由此可见,水产动物品种不同,它们所含有的风味物质种类不同。

鱼肉在蒸制过程会发生美拉德反应、脂类的氧化和裂解,同时一定的热处理可促进鱼肉中挥发性风味化合物释放,从而改变鱼肉风味物质成分的种类与含量。新鲜鱼肉一般具有淡淡的清香味、鱼腥味甚至有土腥味,而采用适宜的加工处理后,土腥味、鱼腥味等不良风味物质逐渐减少,从而产生令人愉悦的风味^[15];且不同的阶段形成的挥发性风味成分不同,它们对鱼肉整体风味的贡献也存在着差异^[16]。本研究采用 SPME-GC-MS 法分析了新鲜及蒸制的斑点叉尾鲴肉中所含挥发性风味物质,分别检测出了 34 种和 31 种有效挥发性成分,两者相同成分有 22 种,这提示蒸制工艺会改变这一鱼种肉中风味物质成分种类。因此,该结果与蔡路昀等人^[17]研究相类似,均显示蒸制对鱼肉风味物质有一定的影响。随新平等人^[18]的研究也显示,油炸等高温处理也会导致水产动物关键性风味物质发生明显变化,特别是吡嗪类物质含量明显增加。

鱼肉风味取决于其中含有的关键性风味物质种类。已有研究表明,鱼肉风味物质的主要成分包括醇类、酮类、醛类、酯类、酚类、烃类、含硫化合物、含氮化合物等^[10]。本研究从新鲜斑点叉尾鲴肉样品中检测出 10 种酸类化合物、5 种醇类化合物、6 种酯类化合物、5 种醛类化合物和 3 种酮类化合物。醇类化合物主要来源于脂肪的氧化、氨基酸和碳水化合物的代谢,其中不饱和醇对鱼肉风味贡献较大。醛类化合物是脂质氧化的降解产物,一般具有青草味、麦芽香味等令人愉快的气味,且它的感受阈值较低,对总体风味具有重要贡献^[19]。在中华鳖肉中,饱和直链醛如己醛、庚醛、辛醛、壬醛等对风味有较大贡献^[5,20]。酮类化合物具有独特的清香和果香风味,烯酮类化合物在加热期间生成的脂质氧化产物具有一种青叶芳香^[21]。另外有些物质呈现一些不愉快的气味,比如一些酸类化合物呈现脂肪腐败气味或汗臭味,但经过熟制后气味有一定程度改善^[11]。

总之,本研究结果表明:蒸制对斑点叉尾鲴肉挥发性风味物质具有一定影响,其中 2-氨基丙醇、2-甲氨基乙醇、N'-异丙基脲基乙酸、正棕榈酸、D-氨基丙酸等成分可能与斑点叉尾鲴肉独特的风味密切相关。

参考文献:

- [1] 程卫东,唐婉琴,张江惠,等. 水体中铬暴露对斑点叉尾鲴血液生理生化指标的影响[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版),2017,34(3):33-37.
- CHENG W D,TANG W Q,ZHANG J H,et al. Effects of exposure to chromium in water on physiological and biochemical indices in blood of *Ictalurus punctatus*[J]. Journal of Chongqing normal University (Natural Science),2017,34(3):33-37.
- [2] 朱耀强,李道友,熊善柏,等. 饲喂蚕豆对斑点叉尾鲴生长性能和肌肉品质的影响[J]. 华中农业大学学报,2012,31(6):771-777.
- ZHU Y Q,LI D Y,XIONG S B,et al. Effect of feeding broad bean on growth and flesh quality of channel catfish[J]. Journal of

- Huazhong Agricultural University, 2012, 31(6): 771-777.
- [3] 孙翰昌,杨帆,郭玉阳. 斑点叉尾鲷血液学指标及血细胞特点分析[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(4): 128-131.
SUN H C, YANG F, GUO Y Y. Determination of hematological indices and the characteristics of hematocyte for *Ictalurus punctatus*[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2019, 47(4): 128-131.
- [4] 李金林,涂宗财,张露,等. SPME-GC-MS 法分析草鱼汤烹制过程中挥发性成分变化[J]. 食品科学, 2016, 37(22): 149-154.
LI J L, TU Z C, ZHANG L, et al. SPME-GC-MS analysis of changes in volatile compounds during preparation of grass carp soup [J]. Food Science, 2016, 37(22): 149-154.
- [5] 翁丽萍,陈飞东,王宏海,等. SPME-GC-MS 法分析温室甲鱼中的挥发性风味物质[J]. 食品工业, 2014, 35(12): 266-269.
WENG L P, CHEN F D, WANG H H, et al. Investigation on the volatile flavor compounds of *Pelodiscus sinensis* grown in greenhouse by SPME-GC-MS[J]. The Food Industry, 2014, 35(12): 266-269.
- [6] 宫勋,李红今,张莉,等. 池沼公鱼肌肉中脂肪酸成分的 GC-MS 分析[J]. 吉林化工学院学报, 2013, 30(11): 93-95.
GONG X, LI H J, ZHANG L, et al. Fatty acids analysis in *Hypomesus olidus* muscle by GC-MS[J]. Journal of Jilin Institute of Chemical Technology, 2013, 30(11): 93-95.
- [7] 赵亮,马凌云. GC-MS 法分析南湾鳙鱼鱼肉挥发性成分的组成[J]. 食品与机械, 2011, 27(6): 80-82.
ZHAO L, MA L Y. Investigation of chemical volatile compounds of south bay bighead carp by GC/MS[J]. Food & Machinery, 2011, 27(6): 80-82.
- [8] 赵洪雷,冯媛,徐永霞,等. 海鲈鱼肉蒸制过程中品质及风味特性的变化[J]. 食品科学, 2021, 42(20): 145-151.
ZHAO H L, FENG Y, XU Y X, et al. Changes in quality and flavor characteristics of sea bass muscle during steaming[J]. Food Science, 2021, 42(20): 145-151.
- [9] 孙静,黄健,侯云丹,等. 顶空固相微萃取-气质联用分析大眼金枪鱼肉的挥发性成分[J]. 食品科学, 2011, 32(22): 230-233.
SUN J, HUANG J, HOU Y D, et al. Analysis of volatile compounds of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) meat by headspace solid-phase microextraction combined with gas chromatography-mass spectrometry[J]. Food Science, 2011, 32(22): 230-233.
- [10] 刘玉平,陈海涛,孙宝国. 鱼肉中挥发性成分提取与分析的研究进展[J]. 食品科学, 2009, 30(23): 447-451.
LIU Y P, CHEN H T, SUN B G. Recent advances in extraction and analysis of volatile components in fish[J]. Food Science, 2009, 30(23): 447-451.
- [11] 顾赛麒,王锡昌,陶宁萍,等. 顶空固相微萃取-气质联用及电子鼻技术检测中华绒螯蟹不同可食部位中的香气成分[J]. 食品科学, 2013, 34(18): 239-244.
GU S Q, WANG X C, TAO N P, et al. Analysis of aroma compounds from different edible parts of chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) by HS-SPME-GC-MS and E-Nose[J]. Food Science, 2013, 34(18): 239-244.
- [12] 张艳霞,谢成民,周纷,等. 两种养殖模式大黄鱼肌肉营养价值评价及主体风味物质差异性分析[J]. 食品科学, 2020, 41(8): 220-227.
ZHANG Y X, XIE C M, ZHOU F, et al. Evaluation of muscle nutritional value and differences in main flavor substances of *Pseudosciaena crocea* in two cultivation modes[J]. Food Science, 2020, 41(8): 220-227.
- [13] 负三月,邱伟强,蒋晨毓,等. 凡纳滨对虾虾肉和虾头中风味物质的比较[J]. 水产学报, 2017, 41(6): 907-918.
YUN S Y, QIU W Q, JIANG C Y, et al. Comparison of flavor compounds in meat and head of *Litopenaeus vannamei* [J]. Journal of Fisheries of China, 2017, 41(6): 907-918.
- [14] 徐文思,胡诗雨,邓娟丽,等. 小龙虾加工水煮液营养成分与风味物质分析[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(14): 279-286.
XU W S, HU S Y, DENG J L, et al. Analysis of nutrient composition and flavor compounds in boiled crayfish liquid[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(14): 279-286.
- [15] LIU Y, HUANG Y Z, WANG Z M, et al. Recent advances in fishy odour in aquatic fish products, from formation to control[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2021, 56(10): 4959-4965.
- [16] LI J L, TU Z C, ZHANG L, et al. Characterization of volatile compounds in grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) soup cooked using a traditional Chinese method by GC-MS[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2017, 41(4): 95-104.
- [17] 蔡路昀,马帅,曹爱玲,等. 烤制温度对沙丁鱼块挥发性风味物质的影响[J]. 中国食品学报, 2017, 17(6): 195-205.
CAI L Y, MA S, CAO A L, et al. Effect of roasting temperatures on aroma compounds of sardine fillets[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2017, 17(6): 195-205.
- [18] 随新平,王姝苇,李萌,等. 油炸对黑虎虾关键性风味物质的影响[J]. 中国食品添加剂, 2019, 30(3): 106-119.
SUI X P, WANG S W, LI M, et al. The effect of frying on key flavor substances of black tiger shrimp[J]. China Food

Additives, 2019, 30(3):106-119.

- [19] 王悦齐,李春生,李来好,等. 基于 GC-MS 联用技术分析传统鱼露发酵过程中挥发性风味成分和脂肪酸组分变化[J]. 水产学报, 2018, 42(6):984-995.

WANG Y Q, LI C S, LI L H, et al. Analysis of volatile flavor components and fatty acids in fish sauces during fermentation by GC-MS[J]. Journal of Fisheries of China, 2018, 42(6):984-995.

- [20] 叶韬,林琳,张永进,等. 罗非鱼排二段酶解工艺优化及其对酶解液风味物质的影响[J]. 淡水渔业, 2014, 44(5):87-94.

YE T, LIN L, ZHANG Y J, et al. Optimization of two-step enzymatic hydrolysis of tilapia frame and its effect on the flavor compounds of hydrolysates[J]. Freshwater Fisheries, 2014, 44(5):87-94.

- [21] [加]夏海迪. 肉制品与水产品的风味[M]//李洁,朱国斌,译. 北京:中国轻工业出版社有限公司, 2001:117-164.

SHAHIDI F. Flavor of meat and aquatic products[M]//LI J, ZHU G B, translation. Beijing:China Light Industry Press Ltd., 2001:117-164.

Effect of Steaming on Volatile Flavor Compounds of *Ictalurus punctatus* Flesh

SUN Hanchang¹, YOU Yuming¹, CAI Mingcheng¹, LEI Guisheng¹, HU Huidie¹, CHEN Qiliang²

(1. College of Landscape Architecture and Life Science, College of Chongqing University of Arts and Sciences,

Yongchuan Chongqing 402160; 2. College of Life Sciences, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China)

Abstract: [Purposes] In order to investigate the changes of main volatile flavor compounds of *Ictalurus punctatus* flesh dealt with steaming. [Methods] Headspace solid phase microextraction and gas chromatography mass spectrometry (SPME-GC-MS) was used to analyze the volatile components of fresh and steamed *I. punctatus*. [Findings] 34 and 31 effective volatile components were detected in fresh and steamed *I. punctatus*, respectively, and 22 effective volatile components are in common. In addition, the relative content of alcohols, acids, and ketones in fresh flesh was 21.65%, 16.80%, 3.24%, the relative content in dried flesh was 19.04%, 18.52%, and 3.03%, respectively. [Conclusions] 2-Aminopropanol, 2-methylaminoethanol, N'-isopropylureidoacetic acid, n-palmitic acid, D-aminopropionic acid, 3,3-dimethyl-4-(1-aminoethyl)-2-azetidinone may be related to the flavor of *I. punctatus* flesh.

Keywords: *Ictalurus punctatus*; GC-MS; steaming; volatile flavor compounds

(责任编辑 方 兴)