

四川泡椒对鲢鱼鱼糜凝胶风味特性的影响

杨 峰¹, 巫朝华², 范大明^{1,3}, 黄建联², 赵建新^{1,3,*}, 闫博文¹, 周文果², 张文海², 张 灏¹

(1.江南大学食品学院, 食品科学与技术国家重点实验室, 江苏 无锡 214122;

2.福建安井食品股份有限公司, 福建 厦门 361022;

3.江苏省食品安全与质量控制协同创新中心, 江苏 无锡 214122)

摘 要: 研究3种四川泡椒(泡二荆条、泡墨西哥椒、泡野山椒)对鲢鱼糜凝胶风味特征的影响, 采用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用技术结合主成分分析对鲢鱼糜凝胶的挥发性风味化合物进行鉴定分析, 结合电子舌对其滋味整体评判。未添加泡椒的鱼糜凝胶中醛类(52.98%)相对含量较高, 而3种添加泡椒的鱼糜凝胶样品的醇类(26.30%~39.78%)和酯类(5.63%~17.05%)相对含量较高。戊醛、己醛、1-戊烯-3-醇等对4种样品的总体气味特征均具有主要贡献。相较于添加泡二荆条的鱼糜凝胶样品, 添加泡墨西哥椒和泡野山椒的鱼糜凝胶样品与未添加泡椒的鱼糜凝胶样品的主成分差异更大。3种添加泡椒的鱼糜凝胶样品酸味和咸味值基本相同; 添加泡二荆条的香味值最高为0.82; 鲜味值则是添加泡墨西哥椒最低, 为-0.65。对于涩回味、苦回味、涩味、苦味, 这4种鱼糜凝胶并没有表现出明显的区别。

关键词: 泡椒; 鲢鱼鱼糜; 顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用; 主成分分析; 电子舌

Effect of Sichuan Pickled Peppers on Flavor Characteristics of Silver Carp Surimi Gel

YANG Feng¹, WU Chaohua², FAN Daming^{1,3}, HUANG Jianlian², ZHAO Jianxin^{1,3,*},

YAN Bowen¹, ZHOU Wenguo², ZHANG Wenhai², ZHANG Hao¹

(1. State Key Laboratory of Food Science and Technology, School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. Fujian Anjoy Food share Co. Ltd., Xiamen 361022, China;

3. Collaborative Innovation Center of Food Safety and Quality Control in Jiangsu Province, Wuxi 214122, China)

Abstract: The effect of three kinds of Sichuan pickled peppers (made from Mexican pepper, wild pepper and Erjingtiao pepper) on flavor characteristics of silver carp surimi gel was investigated. The volatile components were identified by headspace solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS) and analyzed by principal component analysis (PCA). The overall taste was discriminated and evaluated by electronic tongue. The relative content of aldehydes (52.98%) was higher in control surimi gel, while the relative contents of alcohols (26.30%–39.78%) and esters (5.63%–17.05%) were higher in surimi gels added respectively with these pickled peppers. Pentanal, hexanal, and 1-penten-3-ol were identified as key odor components contributing to the overall odor of all four surimi gel samples. The principal components of surimi gels with the addition of pickled Mexican pepper and pickled wild pepper varied more significantly from those of the control surimi gel compared to the surimi gel added with pickled Erjingtiao pepper. The sourness and saltiness values of the three surimi gels added with pickled peppers were basically consistent. The umami value of the surimi gel added with pickled Erjingtiao pepper was the highest (0.82). The umami value of the surimi gel added with pickled Mexican pepper was the lowest (-0.65). There were no obvious differences in astringency, bitterness, and astringent and bitter aftertaste among four surimi gels.

Key words: pickled peppers; silver carp surimi; headspace solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS); principal component analysis (PCA); electronic tongue

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201716024

中图分类号: TS254.5

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2017)16-0152-06

收稿日期: 2017-02-28

基金项目: 江苏省产学研联合创新资金项目(SBY2015020156); 江苏省“六大人才高峰”高层次人才计划项目(2015-NY-008);

江苏省食品安全与质量控制协同创新中心项目

作者简介: 杨峰(1992—), 男, 硕士研究生, 研究方向为食品生物技术。E-mail: 570083563@qq.com

*通信作者: 赵建新(1970—), 男, 教授, 博士, 研究方向为食品生物技术。E-mail: jxzhao@jiangnan.edu.cn

引文格式:

杨峰, 巫朝华, 范大明, 等. 四川泡椒对鲢鱼鱼糜凝胶风味特性的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(16): 152-157. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201716024. <http://www.spkx.net.cn>

YANG Feng, WU Chaohua, FAN Daming, et al. Effect of Sichuan pickled peppers on flavor characteristics of silver carp surimi gel[J]. Food Science, 2017, 38(16): 152-157. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201716024. <http://www.spkx.net.cn>

鱼糜制品是以冷冻鱼糜为原料, 经解冻、斩拌成稠而富有黏性的鱼浆, 添加辅料并混匀后, 经成型、凝胶、加热而制成的具有一定弹性的水产风味食品^[1]。鱼糜制作的各类鱼糜制品具有悠久的历史 and 庞大的消费群体, 但鱼糜制品传统的鱼肉风味逐渐无法完全满足多元化的消费需求^[2]。目前, 国内外对鱼糜制品的风味研究主要集中在鱼糜自身的风味特性^[3-4], 对添加辅料的鱼糜风味特性相关报道较少, 尤其对泡椒添加鱼糜制品的研究鲜见报道。泡椒作为四川泡菜的一个典型代表, 其风味独特, 具有辣而不燥、辣中微酸的特点^[5-6]。以其作配料制作出的产品鲜酸可口, 是常见的一类休闲食品。因此, 泡椒添加鱼糜成为了增加鱼糜制品风味多样化的途径之一。

风味作为消费者评价食品的重要指标, 主要包括滋味和气味^[7]。电子舌、顶空固相微萃取-气相色谱-质谱(headspace solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry, HS-SPME-GC-MS)联用是目前食品滋味和挥发性风味研究的重要方法^[8-12]。胡玉娇等^[13]以鹅肉为原料, 通过正交试验研究了泡椒鹅肉加工工艺的优化, 并采用SPME和GC-MS技术检测泡椒鹅肉中挥发性风味物质。吴浩等^[14]以5种鱼糜为研究对象, 利用电子鼻和电子舌对其挥发性成分和水溶性成分进行检测, 结合感官评价能有效区分淡水鱼糜和海水鱼糜。

本研究以HS-SPME-GC-MS联用结合主成分分析(principal component analysis, PCA)对未添加泡椒和添加泡椒鱼糜凝胶的挥发性风味化合物进行鉴定分析, 并结合电子舌对其滋味整体评判, 为生产风味优良的泡椒鱼糜制品及改进生产工艺提供理论依据。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

泡椒、食盐 市购; AA级鲢鱼鱼糜 洪湖市宏业水产食品有限公司。

1.2 仪器与设备

VC-8L型小型斩拌机 上海申发机械有限公司; 手动灌肠机 宁波双马机械工业有限公司; 1301型双槽恒温水浴锅 南京先欧仪器制造公司; 5804R冷冻离

心机 德国Eppendorf公司; QP2010 Ultra GC-MS联用仪 日本岛津公司; SA-402B电子舌系统 日本Insent公司。

1.3 方法

1.3.1 样品制备

冷冻鱼糜400 g, 4℃解冻, 空斩2 min, 加入12 g食盐斩拌3 min, 再加入12 g泡椒斩拌2 min(空白样品不添加泡椒), 灌肠后经40℃水浴30 min和90℃水浴20 min两段式加热熟化, 冰水冷却至室温后搅碎作为样品进行分析。

1.3.2 GC-MS联用分析

SPME程序: 参照文献[15]的方法略作修改。称取待测样品6 g于15 mL顶空瓶中, 在GC-MS联用仪加热装置中以60℃平衡15 min。60℃条件下使用75 μm CAR/PDMS萃取头顶空萃取30 min。萃取完成后250℃解吸5 min, 以不分流模式进样。

GC分析条件: 参照文献[15]的方法略作修改。DB-WAX毛细管柱(0.25 mm×30 m, 0.25 μm); 升温程序: 初温40℃保持4 min, 以5℃/min升温至90℃, 再以10℃/min升温至230℃, 保持6 min; 进样口温度250℃; 载气(He)流量1 mL/min。

MS分析条件: 电子电离源; 质量扫描范围 m/z 30~450; 电子能量70 eV; 传输线温度250℃; 离子源温度220℃; 检测器温度250℃。

1.3.3 电子舌分析

参照文献[16]的方法略作修改。取15.0 g样品, 加入100 mL去离子水匀浆, 静置30 min; 10 000 r/min离心10 min, 取上清液过滤; 收集滤液待测。电子舌参数: 传感器每秒采集一个数据, 采集时间共120 s, 选取每根传感器第120秒的响应值进行分析(此时传感器信号已趋于稳定); 每种样品做5个平行。

1.4 数据处理

GC-MS图谱使用NIST 11标准谱库进行未知化合物检索匹配, 取相似度大于80%的物质。采用面积归一化法进行半定量分析。PCA使用XLSTAT 2014软件分析。电子舌数据采用设备系统自带的Taste Analysis System Application软件分析。

2 结果与分析

2.1 挥发性风味成分相对含量

未添加泡椒的鱼糜凝胶(C0)和添加了泡二荆条(A1)、泡墨西哥椒(A2)、泡野山椒(A3)的鱼糜凝胶的挥发性成分总离子流色谱图见图1。挥发性组分的相对含量及部分化合物的气味描述见表1。

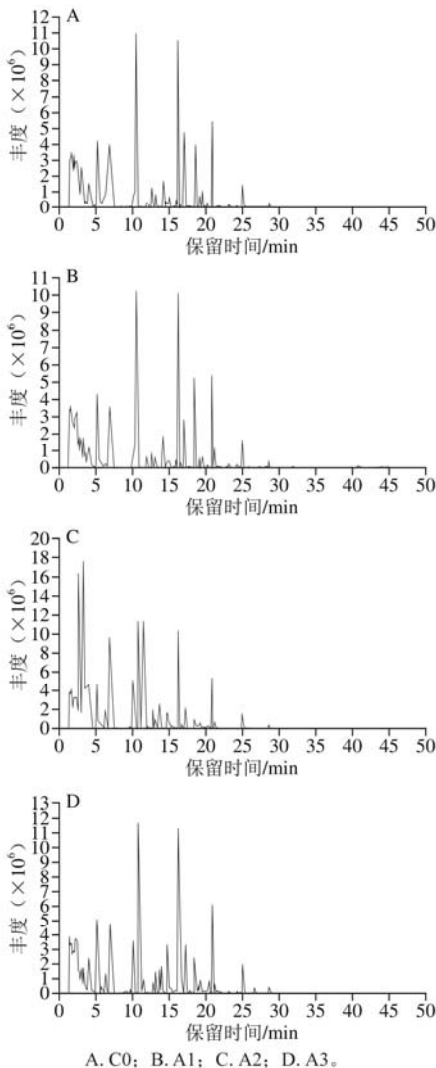


图1 4种鱼糜凝胶的挥发性成分总离子流色谱图
Fig. 1 Total ion current chromatogram of volatile compounds of four surimi gels

由表1可知, 4种鱼糜凝胶分别鉴定出44、49、47、59种挥发性风味成分, 包括醛类、醇类、烃类、酮类、酸类、酯类等。烃类化合物感觉阈值较高, 一般对食品总体风味的贡献较弱, 醛类和酮类化合物能产生嗅感强烈, 由愉悦到刺激的香气, 醇类化合物能产生轻快、柔和的香气^[17]。C0挥发性风味成分中的醛类(52.98%)、醇类(18.15%)和酯类(0.56%)相对含量与添加泡椒

的样品存在显著差异。3种添加泡椒的样品中A2的醇类(39.78%)相对含量最高, A3的酯类(17.05%)相对含量最高, 而醛类相对含量则比较接近, 分别为22.86%、27.92%和27.64%。其中A1的乙酸(8.86%)相对含量较高, 乙酸具有强烈的酸性气味。A2的乙醇(20.10%)和乙酸乙酯(13.55%)相对含量较高, 前者具有独特酒香味, 后者则被描述为香蕉味、菠萝味等^[18]。A3拥有多达15种酯类化合物, 相对含量也高达17.05%, 它们大部分具有特征气味。1-辛烯-3-醇是由亚油酸氢过氧化物降解形成, 且在鲢鱼、草鱼等多种淡水鱼中均有检出, 具有蘑菇味和土腥、土霉味^[19-20]。1-辛烯-3-醇在4种鱼糜凝胶样品挥发性风味成分中所占的相对含量差异较大; 相对含量最高的是C0, 为7.24%; 而A2中则未检出该化合物。王锡昌等^[21]在白鲢鱼肉中检出的1-辛烯-3-醇相对含量为挥发性风味成分的18.95%, 付湘晋等^[22]研究认为1-辛烯-3-醇是新鲜白鲢鱼肉中最具有风味活性的挥发性物质之一。4种样品中戊醛、己醛、1-戊烯-3-醇的相对含量比较接近, 这些被认为是鲢鱼鱼糜特征风味的关键组成部分^[22-25]。

表1 4种鱼糜凝胶的挥发性风味成分及其相对含量
Table 1 Volatile compounds and their relative contents in four surimi gels

编号	化合物名称	相对含量/%				气味描述
		C0	A1	A2	A3	
1	乙醛	—	—	5.47	—	
2	丙醛	8.59	—	2.80	4.98	
3	丁醛	8.61	2.10	1.26	2.16	巧克力、杂醇的香气 ^[24]
4	2-甲基丁醛	5.87	3.39	0.77	1.38	果香、青香、坚果香 ^[24]
5	3-甲基丁醛	5.35	—	—	—	
6	戊醛	7.68	4.42	5.22	5.70	果香、面包香 ^[24]
7	己醛	13.83	11.54	11.63	12.14	鱼腥味、果味、青香 ^[24]
8	庚醛	0.70	—	—	—	鱼腥味、坚果香 ^[24]
9	2-乙基-4-戊烯醛	1.09	—	—	—	
10	(Z)-4-庚烯醛	—	—	0.17	0.12	蔬菜香、亚麻油香 ^[24]
11	辛醛	0.42	0.39	0.21	0.23	脂肪香、橙香、蜜香 ^[24]
12	壬醛	0.35	0.40	0.24	0.55	脂香、花香、蜡香 ^[24]
13	2-呋喃甲醛	—	0.38	—	—	
14	苯甲醛	0.49	0.24	0.15	0.38	焦糖味、草味 ^[19]
15	4-甲基-1-戊烯-3-醇	—	5.84	—	—	
16	乙醇	—	6.68	20.10	3.46	红酒味 ^[18]
17	(R)-2-丁醇	—	—	1.08	—	
18	丙醇	0.79	—	—	—	
19	2-甲基丙醇	—	—	0.15	—	
20	丁醇	—	—	0.16	0.51	
21	1-戊烯-3-醇	3.85	4.02	4.48	6.65	果香、蔬菜香 ^[24]
22	3-甲基丁醇	—	1.50	—	—	
23	3-(1,1-二甲基乙基)-2,2,4,4-四甲基-3-戊醇	2.41	1.49	0.69	1.78	
24	戊醇	1.76	1.07	10.18	2.34	
25	(Z)-2-戊烯-1-醇	1.76	1.20	1.28	0.13	
26	4-甲基-1-戊醇	—	0.78	0.91	9.00	
27	2-甲基-3-戊醇	0.21	0.17	0.13	—	
28	3-甲基-1,3,5-戊三醇	—	—	—	0.48	
29	1-庚烯-3-醇	0.07	0.04	—	—	

续表1

编号	化合物名称	相对含量/%				气味描述
		C0	A1	A2	A3	
30	4-己烯-1-醇	0.06	0.09	—	—	蘑菇味、酮味 ^[10]
31	1-辛烯-3-醇	7.24	5.22	—	0.30	
32	四氢-2,5-二甲基-2H-吡喃甲醇	—	0.63	0.19	0.76	
33	3,7-二甲基-1,6-辛二烯-3-醇	—	1.44	0.43	0.89	
34	戊烷	—	2.47	1.32	3.40	汽油味 ^[20]
35	3-甲基-1-丁烯	—	—	2.68	—	
36	2-(乙烯氧基)-丙烷	—	3.55	1.88	2.78	
37	(Z,Z)-3,5-己二烯	1.26	—	—	—	
38	2,2-二甲基癸烷	0.60	0.69	—	0.37	
39	甲苯	2.01	1.13	0.57	0.07	
40	2,3-二甲基戊烷	—	—	—	0.64	
41	3,4-二甲基己烷	—	—	0.38	—	
42	(Z)-7-甲基-2-癸烯	—	—	—	0.60	
43	9-甲基-1-癸烯	—	—	0.17	—	
44	2,5,5-三甲基-2-己烯	0.46	—	—	—	青香、蜡香、菜香 ^[20]
45	3,5,5-三甲基-2-己烯	2.18	1.40	—	—	
46	十七烷	0.11	0.08	0.04	0.07	
47	4-羟基-5-甲基-3-丙基-2-己酮	4.12	—	—	—	
48	2-丁酮	1.24	1.76	—	1.51	
49	3-丁酮	1.94	—	—	—	
50	3-甲基-2-丁酮	—	—	—	1.25	
51	3-庚烯-2-酮	—	—	—	0.36	
52	2,3-戊二酮	3.11	0.45	1.60	2.27	
53	己酮	—	0.78	—	—	
54	3-辛酮	0.11	0.11	0.04	0.04	菠萝味、香蕉味 ^[10]
55	3,5-二甲基-4-庚酮	—	0.18	—	—	
56	1-辛烯-3-酮	0.08	—	—	—	
57	3-羟基-2-丁酮	3.81	2.84	1.81	—	
58	2,5-辛二酮	0.79	0.29	0.78	—	
59	2,5-己二酮	0.04	—	0.02	0.04	
60	3,5-辛二烯-2-酮	0.15	—	—	0.10	
61	乙酸乙酯	—	5.02	13.55	3.10	
62	2-羟基丁酸乙酯	—	—	—	0.93	
63	3-甲基丁酸-3-甲基丁酯	—	—	—	2.23	
64	3-甲基丁酸丁酯	—	—	—	0.34	果香、苹果味 ^[10]
65	2-甲基丙酸己酯	—	—	—	2.24	
66	2-甲基丙酸甲酯	—	—	—	0.37	
67	2,4-二甲基-3-氧代戊酸甲酯	—	—	0.15	0.06	
68	异戊酸异戊酯	—	—	—	0.11	
69	2-羟基丙酸乙酯	—	0.06	0.26	—	
70	甲酸己酯	0.56	0.48	—	—	
71	正戊酸己酯	—	—	0.17	5.36	
72	己酸异戊酯	—	—	—	0.20	
73	2-甲基丁酸己酯	—	—	—	0.25	青刀豆味、果香味 ^[10] 药草味 ^[10] 辛辣味 ^[10]
74	3-甲基丁酸己酯	—	—	—	0.09	
75	正戊酸-(Z)-3-己烯酯	—	—	—	0.30	
76	己酸己酯	—	—	—	1.04	
77	水杨酸甲酯	—	0.07	—	0.43	
78	乙酸	—	8.86	0.44	2.94	
79	2-甲基丙酸	0.14	0.29	—	—	
80	2,2-二甲基丙酸	0.19	0.21	—	—	
81	4-甲基-3-戊烯酸	0.09	—	0.04	0.12	
82	4-羟基丁酸	—	—	0.08	—	刺激性气味、腐败味 ^[10]
83	丁酸	0.29	0.36	0.04	0.13	
84	2-甲基丁酸	0.22	0.25	0.05	0.16	
85	4-甲基戊酸	—	0.04	—	0.16	
86	己酸	—	0.16	0.04	0.07	油味 ^[10]
87	二甲基硫醚	3.56	9.80	2.66	7.35	
88	2,4,5-三甲基-1,3-二氧戊环	—	—	3.34	—	
89	2-乙基呋喃	1.81	2.48	—	0.94	
90	二甲基二硫醚	—	—	—	0.33	强烈的洋葱气味 ^[20]
91	2,5-二甲基正己烷-2,5-二甲氧基过氧化物	—	3.16	0.91	3.31	

注：相对含量以平均值表示 (n=3)；—, 未检出。

2.2 挥发性风味成分PCA

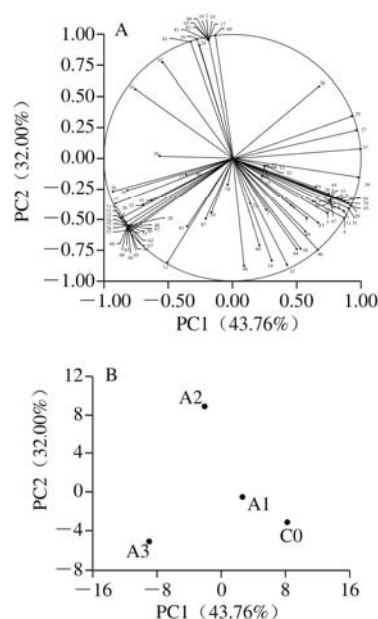


图2 91种风味化合物PCA图(A)和4种鱼糜凝胶的PCA评分(B)
Fig. 2 PCA loadings for 91 volatiles (A) and PCA scores for four surimi gels (B)

如图2A所示, PC1贡献率为43.76%, PC2贡献率为32.00%, 两者之和为75.76%。对PC1起积极贡献的主要成分(因素负荷量大于0.7)有醛类(3、4、5、8、9、11); 醇类(18、25、27、29、30、31); 烃类(37、39、44、45); 酮类(47、49、54、56、57); 酯类如甲酸己酯(70); 酸类如2,2-二甲基丙酸(80)。而在PC1轴负方向的主要成分(因素负荷量小于-0.7)有醛类如(Z)-4-庚烯醛(10); 醇类(20、21、26、28); 烃类(34、40、42); 酮类如3-甲基-2-丁酮(50)、3-庚烯-2-酮(51); 酯类(62~66、68、71~77); 酸类如4-甲基戊酸(85); 其他如二甲基二硫醚(90)。相反, PC2的重要组分则是醛类(1、12、14)、醇类(16、17、19、23、24); 烃类(35、38、41、43、46); 酮类如2-丁酮(48)、3,5-辛二烯-2-酮(60); 酯类如乙酸乙酯(61)、2,4-二甲基-3-氧代戊酸甲酯(67)、2-羟基丙酸乙酯(69); 酸类如4-羟基丁酸(82)、2-甲基丁酸(84); 其他如2,4,5-三甲基-1,3-二氧戊环(88)。

通过PC1和PC2的分数分析各变量的相关性(表1)以确定主要挥发性成分的贡献。如图2B所示, 左下方的A3样品与酯类(62~66、68、71~77)在同一方向, 这些挥发性组分在此样品中相对含量比其他样品都高。同样, A2样品与醇类(16、17、19、24)和酯类(61、69)联系紧密。A1样品则与醇类(15、22)和酮类

(53、55)在同一区域。最后, C0样品位于大多数醛类(3、4、5、8、9、11)附近。综上所述, C0样品与A1样品更为接近, 而与A2和A3样品差异较大。

2.3 电子舌结果分析

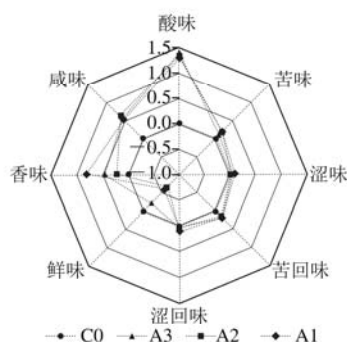


图3 4种鱼糜凝胶的电子舌雷达图
Fig. 3 Radar chart of four surimi gels

电子舌系统可检测酸味、咸味、香味、鲜味、涩回味、苦回味、涩味、苦味8种。选用每根传感器120 s的响应值进行分析。由图3可知, 以C0作为空白对照, 添加了泡椒的鱼糜凝胶在酸味和咸味值上差异不大, 分别比C0平均高出1.33和0.56左右, 这也符合了泡椒本身的高盐、多酸的滋味特征^[27-30]。在香味和鲜味方面3种添加泡椒的鱼糜凝胶有所不同; 香味方面, A1的值最高为0.82, 其次是A3的0.46, 最低的是A2的0.22; 鲜味方面, A2的值最低为-0.65, 其次是A1的-0.60, 最高的是A3的-0.22。对于涩回味和涩味值, A1、A2和A3均比C0略高, 但均在0.10以内。对于苦回味和苦味值, A1、A2和A3也都比C0略高, 但均在0.20以内, 差别比较小。

3 结论

未添加泡椒的空白鱼糜凝胶挥发性风味成分与添加泡椒的鱼糜凝胶存在显著差异。前者醛类(52.98%)相对含量较高, 醇类(18.15%)和酯类(0.56%)相对含量较低; 3种添加泡椒样品的醇类(26.30%~39.78%)和酯类(5.63%~17.05%)相对含量比较大, 醛类(22.86%~27.92%)相对含量较小。1-辛烯-3-醇在4种鱼糜凝胶挥发性风味成分中所占的相对含量差异较大。戊醛、己醛、1-戊烯-3-醇等对4种样品的总体气味特征均具有主要贡献。相较于添加泡二荆条的鱼糜凝胶, 添加泡墨西哥椒和泡野山椒的鱼糜凝胶与空白鱼糜凝胶的主成分差异更大。3种添加泡椒的鱼糜凝胶酸味和咸味值基本相同, 平均比空白鱼糜凝胶分别高出1.33和0.56左右。香味值是添加泡二荆条的鱼糜凝胶最高, 鲜味值则是空白鱼糜凝胶最高。4种样品的涩回味、苦回味、涩味、苦味都没有表现出明显的区别。

参考文献:

- [1] 农业部渔业局. 中国渔业统计年鉴2014[M]. 北京: 中国农业出版社, 2014.
- [2] 丁浩宸, 李栋芳, 张燕平, 等. 南极磷虾肉糜对海水鱼糜制品挥发性风味成分的影响[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(2): 53-62. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.201502010.
- [3] 吕梁玉, 官爱艳, 张单阳, 等. 电子束辐照对带鱼鱼糜及其热诱导凝胶挥发性风味成分的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(18): 77-83. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201618013.
- [4] ZHANG H, WANG W, WANG H, et al. Effect of e-beam irradiation and microwave heating on the fatty acid composition and volatile compound profile of grass carp surimi[J]. Radiation Physics and Chemistry, 2017, 130: 436-441. DOI:10.1016/j.radphyschem.2016.10.007.
- [5] 孙逸. 泡椒兔肉工艺优化及其理化特性变化研究[D]. 重庆: 西南大学, 2011. DOI:10.7666/d.y1881574.
- [6] 蒋伟, 胡颖, 谭书明. 泡椒硬度测定方法的比较研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(23): 316-319. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2012.23.056.
- [7] 张晓鸣. 食品风味化学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2009.
- [8] 贾洪峰, 邓红, 何江红, 等. 电子舌在食品检测中的应用研究进展[J]. 中国调味品, 2013, 38(8): 12-17. DOI:10.3969/j.issn.1000-9973.2013.08.004.
- [9] WADEHRA A, PATIL P S. Application of electronic tongues in food processing[J]. Analytical Methods, 2016, 8(3): 474-480. DOI:10.1039/C5AY02724A.
- [10] KATAOKA H, LORD H L, PAWLISZYN J. Applications of solid-phase microextraction in food analysis[J]. Journal of Chromatography A, 2000, 880(1): 35-62. DOI:10.1016/S0021-9673(00)00309-5.
- [11] 任西营. 食品风味分析技术研究进展[J]. 中国食品添加剂, 2014(7): 173-178. DOI:10.3969/j.issn.1006-2513.2014.07.023.
- [12] QIU S, WANG J. Application of sensory evaluation, HS-SPME GC-MS, E-nose, and E-tongue for quality detection in citrus fruits[J]. Journal of Food Science, 2015, 80(10): S2296-S2304. DOI:10.1111/1750-3841.13012.
- [13] 胡玉娇, 李诚, 苏超, 等. 泡椒鹅肉工艺优化及挥发性风味物质的构成[J]. 食品工业科技, 2014, 35(4): 261-266.
- [14] 吴浩, 刘源, 顾赛麒, 等. 电子鼻、电子舌分析和感官评价在鱼糜种类区分中的应用[J]. 食品工业科技, 2013, 34(18): 80-82.
- [15] ZHAO D, TANG J, DING X. Analysis of volatile components during potherb mustard (*Brassica juncea*, Coss.) pickle fermentation using SPME-GC-MS[J]. LWT-Food Science and Technology, 2007, 40(3): 439-447. DOI:10.1016/j.lwt.2005.12.002.
- [16] QIU S, WANG J, GAO L. Qualification and quantisation of processed strawberry juice based on electronic nose and tongue[J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 60(1): 115-123. DOI:10.1016/j.lwt.2014.08.041.
- [17] SHAHIDI F. 肉制品与水产品的风味[M]. 2版. 李洁, 朱国斌, 译. 北京: 中国轻工业出版社, 2001, 14(6): 212-219.
- [18] XIAO Z B, ZHU J C, FENG T, et al. Comparison of volatile components in Chinese traditional pickled peppers using HS-SPME-GC-MS, GC-O and multivariate analysis[J]. Natural Product Research, 2010, 24(20): 1939-1953. DOI:10.1080/14786419.2010.506875.
- [19] 杜国伟, 夏文水. 鲢鱼糜脱腥前后及贮藏过程中挥发性成分的变化[J]. 食品工业科技, 2007, 28(9): 76-80. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2007.09.039.
- [20] 杨玉平, 熊光权, 程薇, 等. 鲢鱼体内挥发性成分测定及其产生机理初探[J]. 农产品加工(创新版), 2010, 49(8): 22-25. DOI:10.3969/j.issn.1671-9646(C).2010.08.004.

- [21] 王锡昌, 陈俊卿. 顶空固相微萃取与气质联用法分析鲢肉中风味成分[J]. 上海海洋大学学报, 2005, 14(2): 176-180. DOI:10.3969/j.issn.1004-7271.2005.02.014.
- [22] 付湘晋, 党亚丽, 许时婴, 等. 采用GC-MS结合嗅闻分析鉴定白鲢鱼风味活性物质[J]. 食品研究与开发, 2010, 31(12): 159-162. DOI:10.3969/j.issn.1005-6521.2010.12.046.
- [23] 陈俊卿, 王锡昌. 顶空固相微萃取-气相色谱-质谱法分析白鲢鱼中的挥发性成分[J]. 质谱学报, 2005, 26(2): 76-76. DOI:10.3969/j.issn.1004-2997.2005.02.003.
- [24] 鞠健, 胡建中, 程薇, 等. 冻藏处理对白鲢鱼挥发性风味化合物与鱼肉肌球蛋白结合能力的影响[J]. 食品科技, 2016, 41(11): 117-123. DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2016.11.028.
- [25] ZHOU X, CHONG Y, DING Y, 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(2): 205-213. DOI:10.1016/j.foodchem.2016.03.026.
- [26] 丁浩宸, 阮东娜, 江银梅, 等. 高值海水鱼糜熟制后挥发性风味的分析及对比[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(8): 163-169. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.201508031.
- [27] FLEMING H P, THOMPSON R L, MCFEETERS R F. Firmness retention in pickled peppers as affected by calcium chloride, acetic acid, and pasteurization[J]. Journal of Food Science, 1993, 58(2): 325-330. DOI:10.1111/j.1365-2621.1993.tb04267.x.
- [28] 欧阳晶, 陶湘林, 李梓铭, 等. 高盐辣椒发酵过程中主要成分及风味的变化[J]. 食品科学, 2014, 35(4): 174-178. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201404036.
- [29] 周晓媛, 夏延斌, 朱薇, 等. 发酵辣椒的风味调配[J]. 中国食品添加剂, 2004(5): 46-49. DOI:10.3969/j.issn.1000-9973.2006.05.012.
- [30] 周晓燕, 陈巧, 朱文政. 智舌在泡椒汁中的应用研究[J]. 中国调味品, 2013, 38(1): 58-59. DOI:10.3969/j.issn.1000-9973.2013.01.016.