

水煮或油煎处理对方格星虫肉挥发性风味物质成分变化的影响

游 刚, 牛改改*

(钦州学院食品工程学院, 广西北部湾海洋生物多样性养护重点实验室, 北部湾海洋生物资源开发与保护重点实验室, 广西北部湾特色海产品资源开发与高值化利用高校重点实验室, 广西 钦州 535011)

摘 要: 采用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用分析鉴定新鲜、水煮和油煎加工方格星虫肉挥发性风味成分及相对含量, 并结合气相色谱-嗅闻技术鉴定关键性风味成分。结果表明: 新鲜、水煮和油煎方格星虫肉分别检测出 34、44、46 种挥发性成分。进一步分析发现: 醛、醇、酮类化合物是构成新鲜方格星虫肉风味的主要成分, 高温水煮和油煎加工均减少了醛类、醇类和酮类物质相对含量, 而增加了吡嗪类物质相对含量。比较风味贡献较大的醛类、醇类和酮类成分相对含量: 新鲜肉 (60.48%) > 水煮肉 (46.58%) > 油煎肉 (28.09%), 比较吡嗪类成分相对含量: 油煎肉 (10.70%) > 水煮肉 (1.39%) > 新鲜肉 (0%)。经气相色谱-嗅闻检测确定, 新鲜肉中的 9 种关键性风味成分: 庚醛、辛醛、(E)-2-壬烯醛、(E)-2-辛烯醛、壬醛、2-十一烯醛、 α -蒎烯、3-辛酮、2-丙基-1-庚醇; 水煮肉中的 12 种关键性风味成分: 庚醛、辛醛、壬醛、2-十一烯醛、(E,E)-2,4-十二碳二烯醛、2,3-辛二酮、2-甲基十一烷-2-硫醇、2-丁基-3-甲基吡嗪、 α -蒎烯、长叶烯、甲苯、乙苯; 油煎肉中的 10 种关键性风味成分: 庚醛、辛醛、(Z)-2-癸烯醛、壬醛、2-十一烯醛、2,5-二甲基吡嗪、三甲基吡嗪、2-乙基-3,6-二甲基吡嗪、2-乙基-1-己醇、甲苯。不同加工方式对方格星虫挥发性风味形成有一定的影响, 这为方格星虫食用深加工技术开发提供理论依据。

关键词: 方格星虫; 新鲜; 水煮; 油煎; 挥发性风味物质

Influence of Boiling and Pan-Frying Treatments on the Changes in Volatile Flavor Components of *Sipunculus nudus*

YOU Gang, NIU Gaigai*

(Guangxi Key Laboratory of Beibu Gulf Marine Biodiversity Conservation, Key Laboratory of Exploitation and Protection of Beibu Gulf Marine Biological Resources, Guangxi Key Laboratory of Development and High-value Utilization of Beibu Gulf Seafood Resources, College of Food Engineering, Qinzhou University, Qinzhou 535011, China)

Abstract: Head-space-solid phase micro-extraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS) and gas chromatography-olfactometry (GC-O) were used to analyze and identify variations in the volatile compounds of fresh, boiled and pan-fried *Sipunculus nudus*. The results showed that there were a total of 34, 44 and 46 volatile compounds detected in fresh, boiled and fried *S. nudus*, respectively. A further analysis showed that the most abundant volatile components of fresh *S. nudus* were aldehydes, alcohols and ketones. Boiling and frying processing reduced the relative contents of aldehydes, alcohols and ketones but increased pyrazines. The relative contents of aldehydes, alcohols and ketones, identified as the major flavor compounds in *S. nudus*, followed the descending order of fresh (60.48%) > boiled (46.58%) > fried (28.09%) samples. However, the relative content of pyrazines was in the ascending order of fresh (0%) < boiled (1.39%) < fried (10.70%) *S. nudus*. As detected by GC-O, fresh *S. nudus* had 9 key aroma compounds including heptanal, octanal, (E)-2-nonenal, (E)-2-octene aldehyde, nonanal, 2-undecylene aldehyde, α -pinene, 3-octanone, and 2-propyl-1-heptanol, boiled *S. nudus* had 12 key aroma compounds including heptanal, octanal, nonanal, 2-undecenal, (E,E)-2,4-dodecadialenal, 2,3-octanedione, 2-methyl-2-undecanethiol, 2-butyl-3-methylpyrazine, α -pinene, longifolene, toluene, and

收稿日期: 2016-03-03

基金项目: 广西北部湾海洋生物多样性养护重点实验室、北部湾海洋生物资源开发与保护重点实验室联合资助项目 (2015ZC15; 2015ZC09); 钦州学院大学生创新创业训练计划项目 (201511607166)

作者简介: 游刚 (1989—), 男, 博士研究生, 研究方向为水产品加工与贮藏。E-mail: yougang8901@163.com

*通信作者: 牛改改 (1989—), 女, 助教, 硕士, 研究方向为水产品加工与贮藏。E-mail: gaigainiu@163.com

ethylbenzene, and fried *S. nudus* had 10 key aroma compounds including heptanal, octanal, (Z)-2-decene aldehyde, nonanal, 2-undecenal, 2,5-dimethylpyrazine, trimethylpyrazine, 2-ethyl-3,6-dimethylpyrazine, 2-ethyl-1-hexanol, and toluene. The different processing methods influenced the formation of volatile flavor in *S. nudus*. This finding can provide a theoretical basis for the development of technologies for further processing of *S. nudus*.

Key words: *Sipunculus nudus*; fresh; boiling treatment; frying treatment; volatile flavor compounds

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201618020

中图分类号: TS254.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2016) 18-0120-06

引文格式:

游刚, 牛改改. 水煮或油煎处理对方格星虫肉挥发性风味物质成分变化的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(18): 120-125.

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201618020. <http://www.spkx.net.cn>

YOU Gang, NIU Gaigai. Influence of boiling and pan-frying treatments on the changes in volatile flavor components of *Sipunculus nudus*[J]. Food Science, 2016, 37(18): 120-125. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201618020. <http://www.spkx.net.cn>

方格星虫 (*Sipunculus nudus*) 又称光裸星虫, 俗称沙虫, 是无节、蠕虫状的暖水性体腔动物, 广布我国南北沿海, 其中广西北部湾海域资源较为丰富^[1]。方格星虫因其食用和药用价值高^[2-4]、味道鲜美、风味独特而深受广大消费者的喜爱。广西消费者常采用水煮或油煎处理新鲜方格星虫后食用, 2 种方法处理后的方格星虫肉呈现出不同的风味。目前, 国内学者对方格星虫的研究主要集中在繁殖育种^[5-6]、营养成分^[7-8]和药用价值^[9-10]分析等方面, 国外学者对其研究主要集中在基因调控^[11]、免疫活性^[12-13]和形态特征^[14]等方面, 然而, 对不同食用加工方式对方格星虫挥发性风味成分变化的研究鲜有报道。本实验采用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱 (head-space-solid phase micro-extraction-gas chromatography-mass spectrometry, HS-SPME-GC-MS) 联用法并结合气相色谱-嗅闻 (GC-olfactometry, GC-O) 技术, 分别对新鲜、水煮和油煎加工的方格星虫肉挥发性风味成分进行分离鉴定, 比较分析不同处理方式对方格星虫肉的挥发性风味成分变化的影响, 为方格星虫食用深加工技术开发提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

新鲜方格星虫 (体长 (10±3) cm, 体宽 (1±0.5) cm, 体质量 (10±3) g) 广西钦州市东风市场。

1.2 仪器与设备

65 μm 二甲基苯/聚二甲基硅氧烷 (divinylbenzene/polydimethylsiloxane, DVB/PDMS) SPME 装置 美国 Supelco 公司; QP2010 GC-MS 联用仪 日本岛津公司;

7980N GC 仪 美国 Agilent 公司; ODP 嗅闻仪 德国 Gerstel 公司。

1.3 方法

1.3.1 样品处理

新鲜方格星虫: 摘除鲜活方格星虫内脏, 洗净、沥干待测。水煮方格星虫: 将处理过的新鲜方格星虫, 加入沸水中煮 5 min, 沥干待测。油煎方格星虫: 食用油经电磁炉 (1 200 W) 预热后, 加入处理过的新鲜方格星虫, 煎至金黄色即可, 沥干待测。

1.3.2 挥发性风味物质富集

参考文献[15-17], 称取待测样品 15.0 g, 按料液比 1:4 (g/g) 加入生理盐水, 均质完全。HS-SPME 条件: 萃取温度 60 °C、萃取时间 40 min。

1.3.3 GC 条件

参考文献[15-17]。进样口温度 250 °C; 升温程序: 35 °C 保持 1 min, 以 5 °C/min 的速率升温到 60 °C 保持 1 min, 再以 6 °C/min 上升到 140 °C 保持 1 min, 最后以 8 °C/min 升温到 230 °C, 保持 5 min; 氦气流量 1.0 mL/min; 采用恒线速率, 分流比为 1:20。萃取头解吸 15 min 后取出。

1.3.4 MS 条件

参考文献[15-17]。离子源温度 200 °C; 电子能量 70 eV; 质量扫描范围 m/z 35~350; 采集方式设定为全扫描。

1.3.5 GC-O 分析

与 GC-MS 条件相同, GC-O 实验由 8 位培训合格的感官评价人员进行嗅觉分析, 记录气味特征和强度。

1.4 数据处理

采用 NIST 05a.L 谱库数据库检索, 与标准谱图对比进行定性分析, 取相似度大于 80% 的挥发性风味成分, 采用面积归一化法进行定量分析。每组实验重复 3 次, 显著性水平设为 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 水煮和油煎处理对方格星虫肉的挥发性成分及种类分析

表 1 新鲜、水煮和油煎方格星虫肉的挥发性风味成分及其相对含量
Table 1 Volatile compounds and their relative percentages of *Sipunculus nudus*

类别	化合物名称	新鲜		水煮		油煎	
		保留时间/min	相对含量/%	保留时间/min	相对含量/%	保留时间/min	相对含量/%
醛类	庚醛	7.114	3.41	7.104	5.32	7.110	4.99
	辛醛	9.818	3.60	9.809	3.09	9.813	2.10
	(E)-2-辛烯醛	11.344	2.72	11.343	1.55	11.365	1.26
	2,5-二(三甲硅氧基)苯甲醛	7.985	6.90	—	—	—	—
	壬醛	12.474	8.01	12.465	10.77	12.466	9.57
	(E)-2-壬烯醛	13.936	2.08	13.932	1.25	—	—
	十二醛	19.664	0.64	—	—	14.116	0.23
	(Z)-2-癸烯醛	—	—	—	—	16.402	2.85
	(E,E)-2,4-十二碳二烯醛	—	—	17.200	1.77	17.200	0.49
	十一醛	—	—	—	—	17.396	0.56
	2-十一烯醛	18.732	3.20	18.726	2.71	18.725	1.79
	2,4-癸二烯醛	—	—	—	—	17.756	1.72
	二十二碳烯醛	—	—	20.931	0.36	20.931	0.25
	2-十二烯醛	20.942	0.65	—	—	—	—
	十三醛	25.744	0.49	21.798	0.92	—	—
	十四醛	—	—	25.739	0.77	—	—
	十八醛	27.564	0.73	—	—	—	—
	十五醛	—	—	29.338	0.38	—	—
醇类	2-乙基-1-己醇	—	—	—	—	10.562	2.06
	2-甲基十一烷-2-硫醇	—	—	12.203	1.18	—	—
	2-丙基-1-庚醇	16.418	7.88	12.285	0.82	—	—
	(E)-2-癸烯-1-醇	14.124	0.88	14.115	1.08	—	—
	2,6-二甲基-2-辛醇	15.641	1.84	15.632	0.60	—	—
	2-己基-1-辛醇	18.180	0.41	18.178	0.60	—	—
	2,2-二甲基-1-癸醇	—	—	18.510	0.47	—	—
	雪松醇	—	—	24.073	0.56	—	—
	十六醇	—	—	25.031	0.45	—	—
	十二醇	19.167	0.42	—	—	19.162	0.22
	1-辛烯-3-酮	9.144	0.35	—	—	—	—
	2,3-辛二酮	—	—	9.333	8.82	—	—
酮类	3-辛酮	9.340	14.97	—	—	—	—
	苯乙酮	11.667	1.30	11.659	1.21	—	—
	5-(1-甲基乙基)-二环[3.1.0]己烷-2-酮	—	—	14.005	1.01	—	—
烃类	6,6-二甲基-2-亚甲基双环[3.1.1]庚烷	—	—	—	—	7.810	5.36
	4-乙基辛烷	—	—	—	—	8.293	0.68
	三甲基壬烷	—	—	—	—	8.766	2.04
	癸烷	—	—	—	—	9.547	7.13
	2,2,5-三甲基己烷	—	—	—	—	10.089	1.12
	3,5-二甲基辛烷	—	—	—	—	10.423	4.31
	2,6,6-三甲基癸烷	—	—	—	—	10.797	2.67
	3,7-二甲基癸烷	10.962	2.53	—	—	—	—
	3-乙基-3-甲基庚烷	11.100	0.59	—	—	—	—
	2,3,6,7-四甲基辛烷	12.142	3.82	—	—	—	—
	2,4,6-三甲基辛烷	—	—	—	—	12.181	1.77
	6-甲基十三烷	—	—	—	—	13.257	0.87
	4-乙基癸烷	—	—	—	—	13.401	0.51

续表 1

类别	化合物名称	新鲜		水煮		油煎	
		保留时间/min	相对含量/%	保留时间/min	相对含量/%	保留时间/min	相对含量/%
烃类	3,7-二甲基癸烷	—	—	—	—	13.818	1.01
	3-甲基十一烷	—	—	—	—	13.963	4.06
	3-亚甲基十一烷	—	—	—	—	14.338	0.86
	壬基环丙烷	—	—	—	—	14.514	1.15
	十二烷	—	—	19.660	1.78	14.701	7.57
	十九烷	21.436	2.35	23.433	0.82	14.899	0.70
	3-甲基-5-丙基壬烷	16.629	1.04	—	—	—	—
	十三烷	—	—	17.079	2.37	17.084	0.68
	十六烷	17.084	3.37	—	—	17.823	0.33
	2,6,11-三甲基十二烷	—	—	17.930	0.95	—	—
	4-甲基十二烷	17.932	0.51	—	—	—	—
	3,8-二甲基癸烷	—	—	—	—	18.657	1.04
	十五烷	21.304	0.62	21.432	1.81	19.317	2.08
	十七烷	—	—	21.102	1.75	—	—
	4,6-二甲基十二烷	21.106	3.11	22.043	0.91	—	—
酯类	十四烷	—	—	23.820	0.93	—	—
	α -蒎烯	7.811	10.48	7.806	3.88	—	—
	3,5,5-三甲基-1-己烯	—	—	—	—	12.537	3.49
	2-乙基-1-癸烯	—	—	—	—	18.998	0.24
	长叶烯	—	—	19.784	7.19	—	—
	(E)-5-十八烯	—	—	—	—	24.920	0.20
	(E)-9-十八烯	—	—	24.922	0.35	—	—
	十五烷基己基亚硫酸酯	—	—	16.147	0.38	—	—
	4-乙氧基苯甲酸乙酯	—	—	22.208	0.89	—	—
	十六烷酸甲酯	—	—	29.390	0.53	—	—
	邻苯二甲酸二乙酯	23.490	1.21	23.483	1.44	23.484	0.59
	2-硬脂酸丙酯	—	—	32.735	0.50	32.727	0.22
	十八烷酸,2-羟基-1,3-丙二基酯	—	—	—	—	36.161	0.82
	丙酸	3.115	0.49	—	—	—	—
	2-乙基己基酯异己草酸	—	—	—	—	13.567	0.61
酸类	十五烷酸	—	—	30.364	12.29	—	—
	2,5-二甲基吡嗪	—	—	—	—	7.646	1.48
	三甲基吡嗪	—	—	—	—	9.910	4.74
吡嗪类	2-丁基-3-甲基吡嗪	—	—	19.266	1.39	—	—
	2-乙基-3,6-二甲基吡嗪	—	—	—	—	11.838	4.48
苯类	甲苯	—	—	3.844	4.12	3.866	3.72
	乙苯	5.983	2.43	5.988	2.07	6.003	1.42
	邻二甲苯	6.250	5.69	6.244	5.12	6.251	3.98
	1,1'-(1,1,2,2-四甲基-1,2-乙二基)苯	27.183	0.45	27.179	1.06	—	—

注：—,超出检测阈值，表3同。

表 2 不同方法加工方格星虫肉的挥发性风味种类及其相对含量
Table 2 The types and relative percentages of volatile compounds of fresh and cooked *Sipunculus nudus*

种类	新鲜		水煮		油煎	
	数量	相对含量/%	数量	相对含量/%	数量	相对含量/%
醛类	11	32.43±2.67 ^{2A}	11	28.89±5.17 ^{2B}	11	25.81±5.62 ^{2E}
醇类	5	11.43±2.33 ^{2D}	8	5.76±1.09 ^{2F}	2	2.28±0.21 ^{2H}
酮类	3	16.62±4.15 ^{2C}	3	11.93±2.57 ^{2E}	0	0 ^{2K}
烃类	10	29.24±6.21 ^{2B}	11	22.75±4.24 ^{2C}	23	49.86±8.43 ^{2D}
酯类	1	1.21±0.32 ^{2F}	5	4.64±0.91 ^{2G}	3	1.62±0.08 ^{2F}
酸类	1	0.49±0.08 ^{2G}	1	12.29±2.48 ^{2D}	1	0.61±0.11 ^{2G}
吡嗪类	0	0 ^{2J}	1	1.39±0.69 ^{2H}	3	10.70±2.47 ^{2J}
苯类	3	8.58±1.18 ^{2E}	4	12.35±3.31 ^{2D}	3	9.12±1.94 ^{2J}
总计	34		44		46	

注：同行不同小写字母、同列不同大写字母均表示差异显著 ($P<0.05$)。

采用HS-SPME-GC-MS-GC-O联用分析新鲜、水煮和油煎方格星虫肉的挥发性物质成分。对表1中的新鲜、水煮和油煎方格星虫的挥发性风味成分及其相对含量进行归类统计,如表2所示。文献[16-20]研究表明,对物质风味贡献较大的挥发性成分包括醛类、酮类、醇类、吡嗪类等化合物,这一结论与表2统计结果类似。新鲜方格星虫肉的主要挥发性风味成分种类包括:醛类、醇类、酮类、烃类、酯类、酸类、苯类,水煮和油煎加工方格星虫肉挥发性风味物质成分种类较新鲜肉(34种)分别增加10种和12种(表2)。

由表2可知,与新鲜方格星虫肉贡献较大的醛类、醇类和酮类风味成分及相对含量(19种,60.48%)相比,水煮加工肉主要风味成分增加3种,但相对含量减少13.90%(含量差异显著, $P<0.05$),油煎加工方格星虫主要风味成分总数减少6种,相对含量减少32.39%(含量差异显著, $P<0.05$),然而,水煮和油煎加工后的风味成分在新鲜肉风味成分的基础上增加了吡嗪类,其中油煎加工肉的吡嗪类化合物相对含量增加显著($P<0.05$),加工处理肉中的醛类、醇类和酮类挥发性风味成分相对含量较新鲜肉均显著减少($P<0.05$),特别是油煎加工肉中未检出酮类物质成分。

2.2 水煮和油煎对方格星虫肉主要挥发性物质成分的影响

表3 不同加工方式方格星虫肉中对风味贡献较大的物质成分及鉴定结果
Table 3 The identified main flavor substances in fresh and different processed *Sipunculus nudus*

风味特征	化合物名称	新鲜		水煮		油煎	
		相对含量/%	风味强度	相对含量/%	风味强度	相对含量/%	风味强度
腥味	庚醛	3.41	**	5.32	**	4.99	**
	辛醛	3.60	**	3.09	**	2.10	**
	(E)-2-壬烯醛	2.08	**	1.25	*		
	(Z)-2-癸烯醛					2.85	**
	(E,E)-2,4-十二碳二烯醛			1.77	**	0.49	*
果香	2,3-辛二酮			8.82	***		
	3-辛酮	14.97	***				
	苯乙酮	1.30	*	1.21	*		
	2,5-二甲基吡嗪					1.48	***
	三甲基吡嗪					4.74	***
	2-丁基-3-甲基吡嗪			1.39	***		
	2-乙基-3,6-二甲基吡嗪					4.48	***
	(E)-2-辛烯醛	2.72	**	1.55	*	1.26	*
	十二醛	0.64	*			0.23	*
	十一醛					0.56	*
花香	十四醛			0.77	*		
	十八醛	0.73	*				
	2-乙基-1-己醇					2.06	**
	(E)-2-癸烯-1-醇	0.88	*	1.08	*		
	雪松醇			0.56	*		
	十二醇	0.42	*			0.22	*
	α -蒎烯	10.48	***	3.88	**		

续表3

风味特征	化合物名称	新鲜		水煮		油煎	
		相对含量/%	风味强度	相对含量/%	风味强度	相对含量/%	风味强度
花香	长叶烯			7.19	***		
	2,5-二甲基吡嗪					1.48	***
	三甲基吡嗪					4.74	***
	2-丁基-3-甲基吡嗪			1.39	***		
	2-乙基-3,6-二甲基吡嗪					4.48	***
青草-脂肪味	甲苯			4.12	*	3.72	*
	乙苯	2.43	*	2.07	*	1.42	*
	壬醛	8.01	***	10.77	***	9.57	***
	2-十一烯醛	3.20	**	2.71	**	1.79	**
	2,4-癸二烯醛					1.72	*
鲜味	2-十二烯醛	0.65	*				
	2-甲基十一烷-2-硫醇			1.18	***		
	2-丙基-1-庚醇	7.88	***	0.82	*		
蘑菇-泥土味	1-辛烯-3-酮	0.35	*				

注: *.气味强度低; **.气味强度中等; ***.气味很强烈。

相关研究^[21-24]表明,醛类物质成分多是由脂肪氧化和Strecker降解途径生成,这类物质具有强烈的果香、花香味,且风味阈值较低,对风味贡献较大;挥发性醇类、酮类物质多是由不饱和脂肪酸氧化生成,能够产生淡淡的香气味,且酮类的风味阈值较低,两者对风味均有一定贡献值;吡嗪类物质兼具有果香和花香风味,能够赋予食物特有的风味,说明水煮和油煎加工对方格星虫肉风味的形成有一定影响。由表3可知,新鲜方格星虫肉呈现出的主要风味(主要成分)是果香(辛醛、(E)-2-壬烯醛、3-辛酮、苯乙酮)、花香((E)-2-辛烯醛、十二醛、十八醛、(E)-2-癸烯-1-醇、十二醇、 α -蒎烯、乙苯)、青草-脂肪味(壬醛、2-十一烯醛、2-十二烯醛)、鲜味(2-丙基-1-庚醇)、蘑菇-泥土味(1-辛烯-3-酮)、腥味(庚醛);新鲜方格星虫肉经水煮后未检测出呈现蘑菇-泥土味的物质成分,其整体呈现出的主要风味(主要成分)是果香(辛醛、(E)-2-壬烯醛、(E,E)-2,4-十二碳二烯醛、2,3-辛二酮、苯乙酮、2-丁基-3-甲基吡嗪)、花香((E)-2-辛烯醛、十四醛、(E)-2-癸烯-1-醇、雪松醇、 α -蒎烯、长叶烯、2-丁基-3-甲基吡嗪、甲苯、乙苯)、青草-脂肪味(壬醛、2-十一烯醛)、鲜味(2-甲基十一烷-2-硫醇、2-丙基-1-庚醇)、腥味(庚醛),分析发现水煮加工能够增加方格星虫肉鲜味成分,可能是由于高温促使肉中的蛋白质、脂肪酸发生降解转化生成的;新鲜方格星虫肉经油煎后未检测出呈现鲜味和蘑菇-泥土味的物质成分,其整体呈现出的主要风味(主要成分)是果香(辛醛、(Z)-2-癸烯醛、(E,E)-2,4-十二碳二烯醛、2,5-二甲基吡嗪、三甲基吡嗪、2-乙基-3,6-二甲基吡嗪)、花香((E)-2-辛烯醛、十二醛、十一醛、2-乙基-1-己醇、十二醇、2,5-二甲基吡嗪、三甲基

吡嗪、2-乙基-3,6-二甲基吡嗪、甲苯、乙苯)、青草-脂肪味(壬醛、2-十一烯醛、2,4-癸二烯醛)、腥味(庚醛)。进一步分析表3发现,新鲜方格星虫肉经水煮后,风味成分发生变化,在新鲜肉挥发性风味基础上增加了8种成分((*E,E*)-2,4-十二碳二烯醛、2,3-辛二酮、2-丁基-3-甲基吡嗪、十四醛、雪松醇、长叶烯、甲苯、2-甲基十一烷-2-硫醇),减少了6种成分(3-辛酮、十二醛、十八醛、十二醇、2-十二烯醛、1-辛烯-3-酮),表明水煮过程中的温度对方格星虫肉风味成分的形成有一定影响;新鲜方格星虫经油煎加工后,风味成分也发生了变化,表现在新鲜肉挥发性风味基础上增加了10种成分((*Z*)-2-癸烯醛、(*E,E*)-2,4-十二碳二烯醛、2,3-辛二酮、2,5-二甲基吡嗪、三甲基吡嗪、2-乙基-3,6-二甲基吡嗪、十一醛、2-乙基-1-己醇、甲苯、2,4-癸二烯醛),减少了8种成分(3-辛酮、十二醛、十八醛、(*E*)-2-癸烯-1-醇、 α -蒎烯、2-十二烯醛、2-丙基-1-庚醇、1-辛烯-3-酮),表明油煎加工对方格星虫肉风味成分的形成有一定影响。

经GC-O检测确定(表3),新鲜肉中的9种关键性风味成分:庚醛、辛醛、(*E*)-2-壬烯醛、(*E*)-2-辛烯醛、壬醛、2-十一烯醛、 α -蒎烯、3-辛酮、2-丙基-1-庚醇,其中壬醛、 α -蒎烯、3-辛酮、2-丙基-1-庚醇风味强度浓烈,赋予方格星虫特有的风味;水煮肉中的12种关键性风味成分:庚醛、辛醛、壬醛、2-十一烯醛、(*E,E*)-2,4-十二碳二烯醛、2,3-辛二酮、2-甲基十一烷-2-硫醇、2-丁基-3-甲基吡嗪、 α -蒎烯、长叶烯、甲苯、乙苯,其中2,3-辛二酮、壬醛、2-甲基十一烷-2-硫醇、长叶烯、2-丁基-3-甲基吡嗪风味强度大,赋予水煮肉特有的风味;油煎肉中的10种关键性风味成分:庚醛、辛醛、(*Z*)-2-癸烯醛、壬醛、2-十一烯醛、2,5-二甲基吡嗪、三甲基吡嗪、2-乙基-3,6-二甲基吡嗪、2-乙基-1-己醇、甲苯,其中、2,5-二甲基吡嗪、三甲基吡嗪、2-乙基-3,6-二甲基吡嗪、壬醛等风味强度大,赋予油煎肉特有的风味。

2.3 水煮和油煎对方格星虫肉烃类物质成分的影响

水煮和油煎加工方格星虫肉挥发性物质成分中烃类物质种类分别有11种(相对含量为22.75%)和23种(相对含量为49.86%),油煎加工肉的烃类成分较新鲜肉烃类成分(10种,相对含量为29.24%)显著增加($P<0.05$),然而,水煮加工肉的烃类成分相对含量较新鲜肉显著减少($P<0.05$),说明高温油煎过程有利于脂肪的氧化降解反应,生成烃类物质,高温水煮对烃类物质形成的影响较弱。另外,相关研究^[25]表明烃类物质的呈味阈值较高,对风味贡献较小。

2.4 水煮和油煎对方格星虫肉其他挥发性物质成分的影响

除了主要风味贡献物质成分外,3种方格星虫肉(新鲜、水煮和油煎)均检测出对风味贡献较弱的酸

类、酯类和苯类衍生物等成分,其中水煮加工肉中的酸类、酯类和苯类衍生物成分相对含量最高,其次是油煎加工肉,新鲜肉中的这3类物质成分相对含量最少(含量差异显著, $P<0.05$),表明高温水煮和油煎过程有利于这3类成分(酸类、酯类和苯类衍生物)生成。

2.5 水煮和油煎对方格星虫肉挥发性物质风味的影响

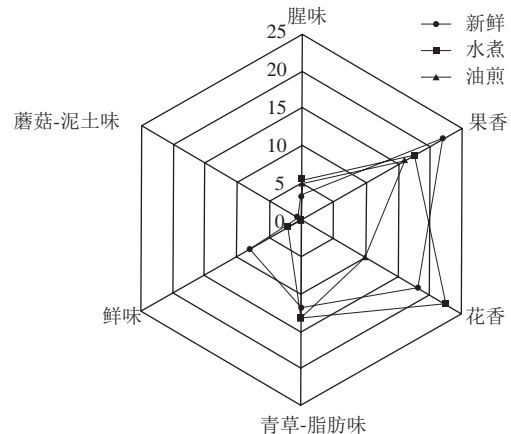


图1 不同方法加工方格星虫肉的风味轮图

Fig. 1 Sensory profiles of fresh and different processed *Sipunculus nudus*

方格星虫肉体风味可用果香、花香、青草-脂肪味、鲜味、蘑菇-泥土味、腥味来表征,这些物质成分相对含量的差异是造成整体风味差异的主因。利用Excel 2010软件,构建水煮和油煎加工肉和新鲜肉呈现的风味轮,如图1所示。新鲜方格星虫肉呈现出果香、花香、青草-脂肪味、鲜味、蘑菇-泥土味、腥味,经水煮加工后,未检测出呈现蘑菇-泥土味物质成分,而经油煎加工后,未检测出呈现鲜味和蘑菇-泥土味物质成分。结合表2、3可知,对风味贡献较大的醛类、醇类和酮类成分总相对含量比较:新鲜肉>水煮肉>油煎肉,吡嗪类成分相对含量比较:油煎肉>水煮肉>新鲜肉。由图1可观察到,新鲜肉呈现出较强的果香味和鲜味,水煮肉呈现出较强的花香和青草-脂肪味,3种肉均呈现出一定的腥味,水煮加工减弱了其蘑菇-泥土味,油煎加工减弱了其蘑菇-泥土味和鲜味。

2.6 水煮和油煎对方格星虫肉挥发性风味物质成分形成的影响机理探讨

结合表2、3发现,水煮和油煎过程对方格星虫肉的醛类、醇类、酮类、吡嗪类风味贡献成分的相对含量影响显著($P<0.05$),在高温水煮和油煎过程中,醛类、醇类和酮类物质成分相对含量均显著减少,其中油煎加工的减少量最显著($P<0.05$),特别是未检出酮类物质成分,而吡嗪类物质成分相对含量显著增加,其中油煎加工的增加量最显著($P<0.05$),同时,水煮加工肉的酸类、酯类和苯类衍生物等挥发性物质成分相对含量显著增加($P<0.05$),而油煎加工的烃类和苯类衍生物等

挥发性物质成分相对含量显著增加 ($P<0.05$), 由此推测: 温度、介质(水、食用油)是影响方格星虫挥发性风味形成的主要因素, 在一定温度条件下, 水在方格星虫肉的蛋白质和脂肪等物质降解过程中起到一定的催化作用, 促进转化或生成酸类、酯类和苯类衍生物等物质成分; 食用油结合肉中的蛋白质、脂肪和酮类等物质转化生成吡嗪类、烃类和苯类衍生物, 其中烃类物质和吡嗪类物质转化生成量较大。

3 结 论

通过HS-SPME-GC-MS联用分析鉴定新鲜、水煮和油煎加工方格星虫肉挥发性风味成分, 结果表明, 醛、醇、酮类化合物是构成新鲜方格星虫肉风味的主要成分, 高温水煮和油煎加工, 显著减少了其醛类、醇类和酮类物质相对含量, 增加了吡嗪类物质相对含量。比较风味贡献较大的醛类、醇类和酮类成分相对含量: 新鲜肉>水煮肉>油煎肉, 比较吡嗪类成分相对含量: 油煎肉>水煮肉>新鲜肉。GC-O实验表明, 3种肉均呈现出一定的腥味, 其中, 新鲜肉呈现较强烈的果香味和鲜味, 水煮加工增加一定的花香味和青草-脂肪味, 减弱了蘑菇-泥土味, 油煎加工减弱了蘑菇-泥土味和鲜味。不同加工方式对方格星虫肉挥发性风味形成的影响不同, 这些理论为方格星虫食用深加工技术开发提供理论依据。

参考文献:

- [1] 董兰芳, 张琴, 许明珠. 方格星虫多糖的分离纯化及单糖组成[J]. 食品科学, 2015, 36(1): 109-112. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201501021.
- [2] 张桂和, 李理, 赵谋明, 等. 方格星虫营养成分分析及抗疲劳作用研究[J]. 营养学报, 2008, 30(3): 318-320. DOI:10.3321/j.issn:0512-7955.2008.03.024.
- [3] ZHANG Q, WANG Q, YU H, et al. Optimal dietary protein to energy ratio for juvenile peanut worm *Sipunculus nudus* Linnaeus[J]. Fisheries Science, 2015, 81(4): 713-722. DOI:10.1007/s12562-015-0885-4.
- [4] 沈先荣, 蒋定文, 贾福星, 等. 方格星虫延缓衰老作用研究[J]. 中国海洋药物, 2004, 23(1): 30-32. DOI:10.3969/j.issn.1002-3461.2004.01.008.
- [5] 李俊伟, 朱长波, 颜晓勇, 等. 方格星虫的繁育、养殖及研究开发进展[J]. 南方水产科学, 2014(5): 94-98. DOI:10.3969/j.issn.2095-0780.2014.05.014.
- [6] 邹杰, 彭慧婧, 童潼, 等. 方格星虫亲体养殖与生殖细胞发育[J]. 水产科学, 2011, 30(8): 467-470. DOI:10.3969/j.issn.1003-1111.2011.08.007.
- [7] 张桂和, 赵谋明, 巫光宏. 方格星虫酶解物成分分析及其抗氧化作用[J]. 食品与生物技术学报, 2007, 26(3): 80-84. DOI:10.3321/j.issn:1673-1689.2007.03.018.
- [8] 董兰芳, 张琴, 童潼, 等. 不同生长发育阶段方格星虫氨基酸组成的研究[J]. 南方水产科学, 2012, 8(5): 60-65. DOI:10.3969/j.issn.2095-0780.2012.05.009.
- [9] 朱银玲, 刘华忠, 李思东, 等. 酶解法制备方格星虫多肽及其抗氧化作用研究[J]. 化学研究与应用, 2012, 24(9): 1397-1401. DOI:10.3969/j.issn.1004-1656.2012.09.014.
- [10] 彭晓娜, 雷晓凌. 方格星虫多糖对小鼠免疫活性的影响[J]. 广东海洋大学学报, 2007, 27(4): 54-57. DOI:10.3969/j.issn.1673-9159.2007.04.012.
- [11] SONG S, DING S, YAN Q, et al. Complete mitochondrial genome of *Sipunculus nudus* (Sipuncula, Sipunculidae)[J]. Mitochondrial Dna, 2016, 27(2): 1022-1023. DOI:10.3109/19401736.2014.926535.
- [12] ZHANG C, DAI Z. Immunomodulatory activities on macrophage of a polysaccharide from *Sipunculus nudus* L.[J]. Food and Chemical Toxicology, 2011, 49(11): 2961-2967. DOI:10.1016/j.fct.2011.07.044.
- [13] ZHANG C, DAI Z, CAI Q. Anti-inflammatory and anti-nociceptive activities of *Sipunculus nudus* L. extract[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2011, 137(3): 1177-1182. DOI:10.1016/j.jep.2011.07.039.
- [14] LI J, ZHU C, GUO Y, et al. Experimental study of bioturbation by *Sipunculus nudus* in a polyculture system[J]. Aquaculture, 2015, 43(7): 175-181. DOI:10.1016/j.aquaculture.2014.12.002.
- [15] 荣建华, 熊诗, 张亮子, 等. 基于电子鼻和SPME-GC-MS联用分析脆肉鲩鱼肉的挥发性风味成分[J]. 食品科学, 2015, 36(10): 124-128. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201510025.
- [16] 游刚, 牛改改. 复合乳酸菌发酵六齿金线鱼肉的挥发性风味成分探究[J]. 食品与发酵工业, 2016, 42(1): 173-179. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.201601031.
- [17] 吴燕燕, 游刚, 李来好, 等. 低盐乳酸菌法与传统法腌干鱼制品的风味比较[J]. 水产学报, 2014, 38(4): 600-611. DOI:10.724 / SP.J.1231.2014.49049.
- [18] WU Z, ZHUANG B, WENG P, et al. Fermentation quality characteristics and flavor formation changes during the process of pickled wax gourd in eastern Zhejiang[J]. International Journal of Food Properties, 2016, 19(2): 409-419. DOI:10.1080/10942912.2015.1027775.
- [19] UBEDA C, CALLEJON R M, TRONCOSO A M, et al. A comparative study on aromatic profiles of strawberry vinegars obtained using different conditions in the production process[J]. Food Chemistry, 2016, 192: 1051-1059. DOI:10.1016/j.foodchem.2015.07.091.
- [20] YAO Y, PAN S, FAN G, et al. Evaluation of volatile profile of Sichuan dongcai, a traditional salted vegetable, by SPME-GC-MS and E-nose[J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 64(2): 528-535. DOI:10.1016/j.lwt.2015.06.063.
- [21] VILLIERE A, LE R S, FILLONNEAU C, et al. Evaluation of aroma profile differences between sué, sautéed, and pan-fried onions using an innovative olfactometric approach[J]. Flavour, 2015, 4(1): 1-19. DOI:10.1186/s13411-015-0034-0.
- [22] 张艳红, 范文来, 徐岩, 等. 顶空固相微萃取与气相色谱-火焰热离子检测器联用测定白酒中吡嗪类化合物[J]. 分析试验室, 2008, 27(6): 39-41. DOI:10.3969/j.issn.1000-0720.2008.06.011.
- [23] 尚永彪, 吴金凤, 夏杨毅, 等. 农家腊肉冷熏加工过程中挥发性风味物质的变化[J]. 食品科学, 2009, 30(17): 79-83. DOI:10.3321/j.issn:1002-6630.2009.17.017.
- [24] 王宇, 宋永清, 乔晓玲. 传统酱牛肉加热过程中挥发性风味化合物研究[J]. 肉类研究, 2009, 23(12): 54-57. DOI:10.3969/j.issn.1001-8123.2009.12.016.
- [25] 王怡娟, 姜永江, 陈梨柯. 养殖美国红鱼鱼肉中挥发性成分的研究[J]. 水产科学, 2009, 28(6): 303-307. DOI:10.3969/j.issn.1003-1111.2009.06.001.