

加工工艺对芷江鸭挥发性风味成分的影响

Effect of processing technology on the volatile flavor components of Zhijiang duck

龚姚谦^{1,2}刘红梅³罗凤莲^{1,2}刘焱^{1,2}GONG Yao-qian^{1,2} LIU Hong-mei³ LUO Feng-lian^{1,2} LIU Yan^{1,2}

(1. 湖南农业大学食品科学技术学院, 湖南 长沙 410128; 2. 湖南省发酵食品工程技术研究中心, 湖南 长沙 410128; 3. 芷江侗族自治县农业农村局, 湖南 芷江 419100)

(1. College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China; 2. Hunan Provincial Research Center of Engineering and Technology for Fermented Food, Changsha, Hunan 410128, China; 3. Zhijiang Dong Autonomous County Bureau of Agriculture and Rural Areas, Zhijiang, Hunan 419100, China)

摘要:采用固相微萃取结合气质联用技术检测了芷江鸭生肉、油炸后、炒制后、灭菌后4个阶段挥发性风味物质的种类及相对含量。结果表明,生肉、油炸、炒制、灭菌4个阶段的挥发性风味成分分别为44,19,39,39种。其中醛类、萜烯类、醇类和酮类是主要的风味物质,酯类、烷烃类和其他杂环化合物次之。主成分分析显示,对芷江鸭风味影响较大的物质有甲基庚烯酮、芳樟醇、苯甲醛、2-庚醇、桉叶油醇、正辛醛、壬醛、溴代环戊烷、1-壬醇和萜烯类等,各工艺中灭菌工艺对挥发性风味物质的影响最大。

关键词:芷江鸭;挥发性风味物质;气质联用;主成分分析

Abstract: In order to study the effect of processing technology on the volatile flavor components of Zhijiang duck, SPME combined with GC-MS spectrometry was used to detect the types and types of volatile flavor substances in the four stages of raw meat, fried, fried, and sterilized. Relative content. The results showed that the number of volatile flavor components after the four processing stages of raw meat, deep-fried, fried, and sterilized were 44, 19, 39, and 39, respectively. Among them, aldehydes, terpenes, alcohols, and ketones are the main flavor substances, followed by esters, alkanes, and other heterocyclic compounds. Principal component analysis showed that the substances that had a greater effect on the flavor of the Zhijiang duck were methylheptanone, linalool, benzaldehyde, 2-heptanol, eucalyptol, *n*-octaldehyde,

nonanal, and bromocyclopentyl Alkane, 1-nonanol and terpenes, etc... The sterilization process had the greatest influence on volatile flavor substances in each process.

Keywords: Zhijiang duck; volatile flavor substances; GC-MS; principal component analysis

芷江鸭是湖南省芷江县的一道传统名菜^[1]。为了将芷江炒鸭的独特风味更加方便地提供给消费者,“芷江鸭”袋装熟食产品应运而生,但在生产中经过杀菌处理的“芷江鸭”风味与即炒即食的有较大差别。挥发性风味物质是影响肉制品风味的重要因素,主要包括醛类、酮类、酯类、醇类、酸类、含硫化合物等物质,其中醛类、酮类羧基化合物是重要香气成分^[2]。目前,关于芷江鸭风味及其在加工过程变化的研究还未见报道。试验拟以芷江鸭袋装熟食产品为研究对象,采用固相微萃取(SPME)结合GC-MS技术对芷江鸭加工过程中挥发性风味物质的变化进行研究,并分析加工工艺对芷江鸭风味的影响。以期对芷江鸭风味品质评价、风味品质控制与改进等提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

芷江麻鸭:芷民丰农牧科技有限公司;
精制碘盐、味精、糖、植物油、螺丝椒、老姜、米酒、生抽、甜面酱:市售;

气质联用仪:GCMS-QP2010型,岛津企业管理(中国)有限公司。

1.2 方法

1.2.1 芷江鸭的加工 将新鲜芷江鸭切成小块,加入

基金项目:湖南省创新平台与人才计划项目(编号:2019NK4033)

作者简介:龚姚谦,男,湖南农业大学在读硕士研究生。

通信作者:刘焱(1970—),女,湖南农业大学教授,硕士生导师,博士。E-mail:1356130766@qq.com

收稿日期:2020-03-14

1.5%盐、1%糖、0.5%味精于室温腌制 3 h,沥干血水。放入 160 ℃菜籽油中油炸 20 min,加入 10%青椒、10%姜、3%米酒、3%生抽、1.5%甜面酱,翻炒 3 min。将炒制后的鸭肉真空包装,121 ℃灭菌 20 min。

1.2.2 取样 分别在油炸后、炒制后、灭菌后取样。准确称量 1 g 样品于 15 mL 顶空萃取瓶中,用聚四氟乙烯垫密封,供 HS-SPME 使用。

1.2.3 气质联用(GC-MS) 色谱柱为 DB-WAX 毛细管柱(30 m × 0.25 mm × 0.25 μm);载气为 He;流速 1 mL/min;进样量 1 μL;不分流方式进样;进样口温度 250 ℃。升温程序:起始温度 40 ℃,保持 5 min,以 5 ℃/min 上升至 70 ℃,保持 5 min;然后以 2 ℃/min 上升至 90 ℃,保持 3 min,再以 3 ℃/min 上升至 180 ℃,保持 3 min;最后以 5 ℃/min 上升至 240 ℃,保持 10 min。离子源温度 200 ℃;电离方式:EI;电子能量 70 eV;扫描质量范围 40~400。

1.2.4 数据分析 质谱图采用 NIST 08 和 Wiley 09 数据库进行检索,人工谱图解析,确定化合物成分,仅保留相似度>80 的结果,相对含量按峰面积归一化计算。采用 Origin PRO 2019 软件对样品进行主成分分析并作图。

2 结果与分析

2.1 加工工艺对挥发性风味物质的影响

由表 1 可知,不同加工阶段的挥发性风味物质主要有烃类、醇类、醛类、酯类、酮类 5 种。生肉、油炸后、炒制后、灭菌后 4 阶段的挥发性风味物质分别为 44,19,39,39 种,其种类和相对含量都发生了变化。生肉的挥发性风味物质中烃类最多,为 22 种,相对含量最高的是醛类,为 41.97%。油炸后挥发性风味物质种类变少,烃类和醇类的相对含量急剧降低,从 29.03%和 26.59%降低至 2.88%和 4.71%,醛类的相对含量从 41.97%升至 83.88%,酯类相对含量略有升高。炒制后挥发性风味物质种类又开始增加,烃类增加至 14 种,相对含量升至 18.33%,醇类和酮类的相对含量略有升高,醛类的相对含量则降低至 65.29%。灭菌后,烃类、醇类和酮类的相对

含量再次上升,而醛类的相对含量降低至 23.51%。

2.2 不同种类的风味物质的变化

2.2.1 烃类 如表 2 所示,加工过程中芷江鸭烃类呈先减少后增加的趋势,甲苯在 4 个阶段均有检出,一般认为甲苯对风味没有显著贡献^[3]。生肉中检出的烃类多为长链烷烃,其风味阈值较高,对食品风味的贡献较小^[4]。油炸后,烃类物质种类和相对含量大量减少,只有少量正辛烷、3,7-二甲基壬烷、甲苯和 2,2-二甲基戊烷检出,可能是因为油炸对烃类会产生破坏作用^[5]。炒制后检出的烃类种类和相对含量有所增加,包括 4 种烷烃和 10 种烯烃,其中溴代环戊烷具有类似樟脑的香气;月桂烯具有令人愉快的甜香脂气味^[6];β-倍半水芹烯、姜烯、水芹烯、α-姜黄烯等倍半萜类化合物具有浓烈的芳香气味,是姜味的主要活性成分^[7];蒎烯有干木香、树脂香、松香,似松脂的味道^[8];苧烯有樟脑香气^[9],直链烷烃主要来自于原料肉中脂肪酸烷氧自由基的断裂^[10],烯烃和萜烯类物质则主要来源于炒制过程中加入的老姜、青椒等香辛料,对芷江鸭风味有一定的贡献。灭菌后烃类的相对含量进一步增加,直链烷烃增加了两种,可能是因为高温高压的条件导致脂肪酸烷氧自由基的进一步断裂。β-倍半水芹烯、姜烯、α-姜黄烯和蒎烯的相对含量降低,苧烯和水芹烯的相对含量升高,(一)-β-蒎烯、4,7,7-三甲基双环[4.1.0]庚-2-烯、α-法呢烯和 3-亚甲基-6-(1-甲基乙基)环己烯 4 种萜烯为新检出,可能是由于萜烯的化学性质不稳定,易受高温高压的外在条件胁迫作用,刺激和诱导不同萜烯类代谢产生香气代谢产物。同时,罗玉龙等^[11]研究表明,不同的烷烃和烯烃之间会产生协同作用,对肉制品风味有一定的贡献。

2.2.2 醇类 如表 3 所示,加工过程中芷江鸭醇类物质呈先减少后增加的趋势,正己醇和 1-辛烯-3-醇在 4 个阶段均有检出,正己醇具有水果香和椰香^[12],1-辛烯-3-醇具有蘑菇和泥土香味^[13],其风味阈值较低,对鸭肉风味的形成有重要作用。生肉中检出 9 种醇类。油炸后,所有醇类物质含量均大幅下降,1-壬醇、3-甲基-1,5-戊二醇、十三

表 1 加工过程中芷江鸭挥发性风味物质种类及相对含量
Table 1 The types and relative contents of volatile flavor substances in the processing of Zhijiang duck

化合物类别	生肉		油炸后		炒制后		灭菌后	
	种类	相对含量/%	种类	相对含量/%	种类	相对含量/%	种类	相对含量/%
烃类	22	29.03	4	2.88	14	18.33	14	28.13
醇类	9	26.59	6	4.71	7	9.31	10	24.62
醛类	5	41.97	5	83.88	8	65.29	9	23.51
酯类	3	0.87	1	4.52	3	1.30	1	0.52
酮类	3	1.24	2	2.60	4	5.67	4	18.42
其他	2	0.30	1	1.42	3	0.10	1	4.79

表 2 加工过程中芷江鸭烃类物质的相对含量[†]
Table 2 Changes in the relative content of hydrocarbons during the processing of Zhijiang duck %

化合物名称	生肉	油炸后	炒制后	灭菌后	化合物名称	生肉	油炸后	炒制后	灭菌后
3-甲基十一烷	1.06	—	—	—	3-乙基-3-甲基庚烷	—	—	—	0.48
2,7-二甲基辛烷	2.28	—	—	—	甲苯	0.12	0.19	0.10	0.11
正辛烷	1.24	1.16	0.78	—	3-氨基丙烯	0.15	—	—	—
正十四烷	1.71	—	—	—	双环氧化丁二烯	0.14	—	—	—
3,3,4-三甲基己烷	0.73	—	—	—	3,5,5-三甲基-1-己烯	0.73	—	—	—
4,5-二甲基壬烷	0.62	—	—	—	月桂烯	—	—	2.38	—
3,7-二甲基壬烷	1.71	0.35	—	0.27	β -倍半水芹烯	—	—	0.70	0.30
5,6-二甲基十一烷	2.90	—	—	—	3-侧柏烯	—	—	0.67	—
3,4,5-三甲基庚烷	1.12	—	—	—	姜烯	—	—	2.75	1.12
3-乙基-4-甲基己烷	0.38	—	—	—	3,7,11-三甲基-1,3,6,10-十二碳-四烯	—	—	0.80	—
1-碘壬烷	1.40	—	—	—	3-亚甲基-6-(1-甲基乙基)环己烯	—	—	4.77	—
2,2-二甲基戊烷	0.48	—	—	—	α -姜黄烯	—	—	0.64	0.37
2,5,9-三甲基癸烷	6.58	—	—	—	蒎烯	—	—	0.79	1.16
2,2,4,4-四甲基辛烷	0.75	—	—	—	蒎烯	—	—	2.47	4.02
2,2,6-三甲基癸烷	3.11	—	—	—	水芹烯	—	—	0.17	0.64
2,2-二甲基丁烷	0.18	—	—	—	(-)- β -蒎烯	—	—	—	8.73
2-硝基丙烷	0.05	—	—	—	4,7,7-三甲基双环[4.1.0]	—	—	—	0.25
2,3,4-三甲基正己烷	1.58	—	—	—	庚-2-烯	—	—	—	0.33
2,2-二甲基戊烷	—	1.19	—	—	α -法呢烯	—	—	—	0.33
溴代环戊烷	—	—	0.34	—	3-异丙基-6-亚甲基-1-环己烯	—	—	—	9.70
2,4-二甲基己烷	—	—	0.96	—					
3,8-二甲基十一烷	—	—	—	0.66					

† “—”表示未检出。

表 3 加工过程中芷江鸭醇类物质的相对含量[†]
Table 3 Changes in the relative content of alcohols during the processing of Zhijiang duck %

化合物名称	生肉	油炸后	炒制后	灭菌后
正己醇	10.23	0.20	0.32	0.15
正庚醇	1.44	0.15	—	—
正辛醇	3.28	1.42	0.77	—
1-壬醇	1.84	—	—	—
1-辛烯-3-醇	3.95	1.91	1.48	0.67
3-甲基-1,5-戊二醇	1.06	—	—	—
正戊醇	3.57	0.49	—	—
十三碳-1-炔-4-醇	0.33	—	—	—
4-甲基-1-己醇	0.90	—	—	—
D-氨基丙醇	—	0.53	—	—
2-茨醇	—	—	0.70	1.16
桉叶油醇	—	—	5.51	10.70
异丙醇	—	—	0.01	—
芳樟醇	—	—	0.53	1.61
2-乙基己醇	—	—	—	0.19
橙花醇	—	—	—	0.74
薄荷醇	—	—	—	7.80
2-庚醇	—	—	—	0.53
α -松油醇	—	—	—	1.08

† “—”表示未检出。

碳-1-炔-4-醇和 4-甲基-1-己醇含量降为零,可能是由于醇类物质属于极易挥发的组分,高温油炸条件下,一部分醇类物质被氧化成醛类,另一部分则挥发了,正己醇和 1-辛烯-3-醇含量虽有降低,但仍是油炸后的主要风味物质。炒制后,醇类的种类和含量均增加,正庚醇、正戊醇和 D-氨基丙醇未检出,正辛醇和 1-辛烯-3-醇含量持续降低,正己醇含量升高,同时还新检出 4 种醇类,其可能来自于炒制过程中加入的香辛料,对芷江鸭的风味有关键贡献。其中 2-茨醇具有类似樟脑的气味;桉叶油醇有樟脑和清凉的草药气息;芳樟醇有君影草香^[14];异丙醇有似乙醇和丙酮混合物的气味,气味强烈^[15],灭菌后,醇类的种类和含量进一步增加,2-乙基己醇、橙花醇、薄荷醇、2-庚醇和 α -松油醇 5 种醇类为新检出,其中,2-乙基己醇具有特殊刺激性异味,对芷江鸭风味有不良影响^[16],可能是高温灭菌条件下由乙醛缩合而产生;橙花醇具有玫瑰、橙花、微带柠檬样的果香^[17];薄荷醇有清凉的薄荷香气^[18];2-庚醇具有柠檬样的香气^[19]; α -松油醇具有紫丁香味。2-茨醇、桉叶油醇、芳樟醇含量均升高,正己醇和 1-辛烯-3-醇含量略有降低,正辛醇和异丙醇未检出,可能是因为高温高压条件下这些醇类转化为其他物质。正己醇、正辛醇、2-庚醇等饱和醇的风味阈值较高,对风味贡献较小,1-辛

烯-3-醇、2-茨醇、桉叶油醇、薄荷醇等不饱和醇的风味阈值较低,对风味有一定的贡献^[20]。

2.2.3 醛类 如表 4 所示,加工过程中芷江鸭醛类物质含量呈先增加后减少的趋势。生肉中检出 5 种醛类,其中正庚醛有水果香气味;癸醛具有甜香、柑橘香、蜡香、花香;壬醛具有油炸香、烤焦香和强烈的油脂气息^[21];正己醛具有果香味、叶香味、青草香味^[22]。油炸后,正庚醛未检出,癸醛含量降低,壬醛和正己醛含量升高,庚醛和正辛醛新检出,可能是因为长时间的高温油炸使得脂肪进一步氧化降解,醛类物质自身也发生了变化。庚醛有甜杏和坚果香气^[23],正辛醛高浓度时具有粗油脂气息,低浓度时具有似甜橙、轻微油脂、蜂蜜样香气,味道甜,似杏子^[24]。炒制后,醛类物质含量进一步减少,有具有柠檬香气的柠檬醛检出^[25]。灭菌后,醛类物质含量继续减少,十六醛、十八醛和苯甲醛为新检出,十六醛有花和蜡的弱香气,十八醛高浓度时有椰子香味,稀释时有杏仁味或桃花香,苯甲醛具有令人愉快的杏仁香并略带水果香,主要来源于香辛料,但其风味阈值较高,对芷江鸭风味的贡献远低于其他醛类。醛类物质含量不断降低会造成产品的油脂香味和清香减弱。总体而言,芷江鸭中醛类物质对整体风味贡献较大,且主要来源于不饱和脂肪酸氧化和香辛料。

2.2.4 酯类 一般而言,除了内酯和硫酯以外的酯,其风味阈值均较高,C₁~C₁₀的酯类会赋予肉类一种甘甜的果香^[26]。由表 5 可知,生肉中有 3 种酯类,含量为 0.87%。油炸后只有正己酸乙酯,含量为 4.52%。炒制后检出的 3 种酯类中,己酸乙酯和乳酸乙酯都有酒香味,是浓香型白酒的主要香气成分^[27],其来自于炒制时加入的白酒。灭菌后只有 L-乳酸乙酯检出,具有乳汁、水果等香气^[28]。高温灭菌使己酸乙酯和乳酸乙酯消失,说明产品酒香减弱。

表 4 加工过程中芷江鸭醛类物质的相对含量[†]

Table 4 Changes in the relative content of aldehydes during the processing of Zhijiang duck %

化合物名称	生肉	油炸后	炒制后	灭菌后
癸醛	2.27	0.53	0.41	0.36
壬醛	9.97	30.97	19.67	8.25
正己醛	28.66	37.11	25.57	4.22
2-甲基丙烯醛	0.13	—	—	—
庚醛	0.94	4.29	2.71	0.63
正辛醛	—	10.98	7.79	—
(Z)-柠檬醛	—	—	2.76	2.67
(E)-柠檬醛	—	—	2.65	—
柠檬醛	—	—	3.74	3.25
苯甲醛	—	—	—	0.24
十六醛	—	—	—	2.27
十八醛	—	—	—	1.62

† “—”表示未检出。

表 5 加工过程中芷江鸭酯类物质的相对含量[†]

Table 5 Changes in the relative content of esters during the processing of Zhijiang duck %

化合物名称	生肉	油炸后	炒制后	灭菌后
戊酸,1,1-二甲基丙酯	0.35	—	—	—
丙烯酸乙酯	0.18	—	—	—
丙烯酸四氢糠基酯	0.34	—	—	—
正己酸乙酯	—	4.52	—	—
己酸乙酯	—	—	0.35	—
甲基丙烯酸乙酯	—	—	0.06	—
乳酸乙酯	—	—	0.89	—
L-乳酸乙酯	—	—	—	0.52

† “—”表示未检出。

2.2.5 酮类 酮类一般源于脂肪氧化、酯类降解和氨基酸的 Strecker 降解^[29],作为羧基化合物的一种,酮类对风味的贡献小于醛类,由于其在芷江鸭风味物质中的相对含量低于醛类,风味阈值高于同分异构体的醛类^[30],但对芷江鸭的风味可以起到增强作用。由表 6 可知,生肉中检出 3 种酮类,含量为 1.24%。油炸后检出两种酮类,含量为 2.6%,其中仲辛酮具有典型的酮香、牛奶和蘑菇的气味^[31]。炒制后检出 4 种酮类,含量为 5.67%,其中甲基庚烯酮具有柠檬草和柑橘香气;2,3-辛二酮,2,5-辛二酮具有强烈的奶油香和宜人的香味^[32]。灭菌后检出 4 种酮类,含量为 18.42%,其中 2-甲基四氢呋喃-3-酮具有老姆酒及面包香味^[33];2-茨酮具有樟脑气味。酮类的相对含量在芷江鸭加工过程中持续升高,可能是加工过程中,特别是高温灭菌条件下,脂肪持续氧化,醛类进一步氧化生成酮类。

表 6 加工过程中芷江鸭酮类物质的相对含量[†]

Table 6 Changes in the relative content of ketones during the processing of Zhijiang duck %

化合物名称	生肉	油炸后	炒制后	灭菌后
橙花基丙酮	0.59	—	—	—
2,2-二甲基己酮	0.26	—	—	—
2-甲基-4-庚酮	0.39	—	—	0.18
仲辛酮	—	0.20	—	—
正戊基异丙基甲酮	—	2.40	—	—
甲基庚烯酮	—	—	0.65	16.06
2,4-二甲基-1-戊烯-3-酮	—	—	0.09	—
2,5-辛二酮	—	—	1.72	—
2,3-辛二酮	—	—	3.21	—
2-甲基四氢呋喃-3-酮	—	—	—	0.05
2-茨酮	—	—	—	2.14

† “—”表示未检出。

2.2.6 其他物质 由表 7 可知,生肉中有 1-丙烷磺酰基乙腈(0.17%)和 4,8-二乙酰基-二(1,2,5-恶二唑)[3,4-b:3,4-E]吡嗪(0.12%)检出,油炸后和灭菌后均有 2-正戊基呋喃检出,2-正戊基呋喃是亚油酸的一种氧化产物,具有类火腿香味^[34]。炒制后有氰乙酰胺、丙酸酐和甲基丙烯酸酐检出,是由氨基酸降解所产生的^[35]。

2.3 主成分分析

由图 1 可知,PC1 和 PC2 的方差贡献率分别为 36.7%,

表 7 加工过程中芷江鸭其他物质的相对含量[†]

Table 7 Changes in the relative content of other substances during the processing of Zhijiang duck

化合物名称	生肉	油炸后	炒制后	灭菌后
1-丙烷磺酰基乙腈	0.17	—	—	—
4,8-二乙酰基-二(1,2,5-恶二唑)[3,4-b:3,4-E]吡嗪	0.12	—	—	—
2-正戊基呋喃	—	1.42	—	4.79
氰乙酰胺	—	—	0.01	—
丙酸酐	—	—	0.02	—
甲基丙烯酸酐	—	—	0.06	—

† “—”表示未检出。

22.7%,累计为 59.4%,可以反映各样品的大部分信息,故选取 PC1、PC2 进行 PCA 分析。4 个样品间各有距离,灭菌后的样品离其他 3 个工艺相距较远,说明风味物质在加工过程中逐步发生变化,灭菌后发生的变化较大。

由表 8 可知,影响第一主成分的物质是在炒制和灭菌过程中产生的甲基庚烯酮、芳樟醇、苯甲醛、2-庚醇、桉叶油醇和萜烯类等。影响第二主成分的物质主要是油炸和炒制过程中产生的正辛醛、壬醛、溴代环戊烷、月桂烯、1-壬醇等。

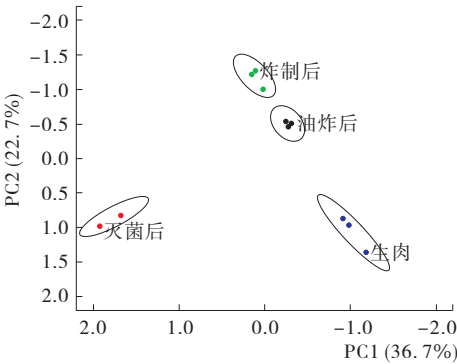


图 1 不同工艺阶段的主成分分析散点图

Figure 1 Scatter plots of principal component analysis at different process stages

表 8 旋转后主成分因子的成分矩阵

Table 8 Component matrix of principal component factors after rotation

化合物名称	主成分因子		化合物名称	主成分因子	
	PC1	PC2		PC1	PC2
甲基庚烯酮	0.176 52	0.112 11	3,7-二甲基-2,6-辛二烯-1-醇	0.126 50	0.081 22
芳樟醇	0.176 37	0.111 97	乙酸仲丁酯	0.126 50	0.081 22
4,7,7-三甲基双环[4.1.0]庚-2-烯	0.176 25	0.112 02	十八醛	0.126 50	0.081 22
苯甲醛	0.176 21	0.112 00	环五聚二甲基硅氧烷	0.126 50	0.081 22
3-异丙基-6-亚甲基-1-环己烯	0.176 07	0.111 92	2-茨醇	0.126 50	0.081 22
2-甲基四氢呋喃-3-酮	0.175 79	0.111 54	(-)- β -蒎烯	0.126 50	0.081 22
3-乙基-3-甲基庚烷	0.175 63	0.111 43	3,8-二甲基十一烷	0.126 50	0.081 22
2-庚醇	0.173 57	0.110 47	柠檬醛	0.117 35	-0.077 10
桉烯	0.171 98	0.109 52	2-茨酮	0.115 56	0.072 45
桉叶油醇	0.170 39	-0.033 77	橙花醇	0.109 84	0.068 78
α -法呢烯	0.169 12	0.107 06	2-乙基己醇	0.109 84	0.068 78
水芹烯	0.169 02	0.053 22	十六醛	0.109 84	0.068 78
α -松油醇	0.168 05	0.106 35	2-异丙基-5-甲基环己醇	0.109 84	0.068 78
α -姜黄烯	0.167 76	0.106 16	2-正戊基呋喃	0.095 12	0.035 49
正辛醇	-0.158 57	0.119 99	正己酸乙酯	-0.025 44	-0.061 34
蒎烯	0.157 80	0.003 86	甲基丙烯酸乙酯	0.010 09	-0.120 57
2-甲基-4-庚酮	0.156 68	0.098 94	正辛醛	-0.018 27	-0.235 94
正己醛	-0.154 67	-0.000 62	壬醛	-0.048 97	-0.206 69
1-辛烯-3-醇	-0.149 52	0.090 90	溴代环戊烷	0.013 29	-0.180 90
月桂烯	0.013 02	-0.176 71	正庚醛	-0.047 45	-0.135 75

续表 8

化合物名称	主成分因子		化合物名称	主成分因子	
	PC1	PC2		PC1	PC2
1-壬醇	-0.128 30	0.168 69	丙烯酸四氢糠基酯	-0.096 44	0.135 53
正辛烷	-0.126 97	0.167 82	2-甲基丙烯醛	-0.094 26	0.133 15
正戊醇	-0.137 49	0.167 58	3,7-二甲基壬烷	-0.087 79	0.132 42
十三碳-1-炔-4-醇	-0.121 97	0.163 04	丙烯酸乙酯	-0.092 34	0.131 75
正己醇	-0.126 23	0.162 60	2,5-辛二酮	0.005 09	-0.130 15
正庚醇	-0.131 80	0.161 16	癸醛	-0.091 79	0.124 07
3,5,5-三甲基-1-己烯	-0.117 85	0.160 80	2,2-二甲基己酮	-0.090 60	0.118 13
2,2-二甲基丁烷	-0.121 94	0.158 86	(Z)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛	0.117 22	-0.113 37
β -倍半水芹烯	0.062 20	-0.156 93	1-丙烷磺酰基乙腈	-0.084 56	0.110 32
丙酸酐	0.012 87	-0.153 73	乳酸乙酯	0.053 33	-0.109 32
4,8-二乙酰基-二(1,2,5-恶二唑) [3,4-b;3,4-E]吡嗪	-0.105 54	0.144 35	姜烯	0.062 60	-0.103 51
异丙醇	0.006 57	-0.140 49	2-硝基丙烷	-0.079 30	0.098 59
己酸乙酯	0.007 29	-0.140 49	仲辛酮	-0.026 92	-0.064 53
戊酸,1,1-二甲基丙酯	-0.098 34	0.137 49	2,2-二甲基戊烷	-0.087 83	0.028 67
3,4,5-三甲基庚烷	-0.101 61	0.136 79	甲苯	-0.005 28	-0.021 68

结合表 1~7 可知,油炸后主要的风味成分是醛类、烃类和醇类,如正辛醛、正辛烷、正戊醇等。炒制后主要的风味成分是酮类、醇类、醛类、萜烯类和酯类,如芳樟醇、正己醛、茨烯、乙酸乙酯等,其主要来自炒制前加入的调料。灭菌后主要的风味成分是酮类、醇类、醛类和萜烯类,但其成分与炒制后发生了较大变化。其中醛类物质含量减少,可能是因为高温高压条件下醛类分解,从而导致灭菌后芷江鸭特有的芳香味道减弱。此外,炒制前加入的生姜等调料带来的萜烯类风味物质经高温灭菌后发生了降解,说明产品姜香味减弱与萜烯类的变化有关。

3 结论

在芷江鸭加工工艺基础上,采用顶空固相微萃取结合 GC-MS 技术检测芷江鸭加工过程中挥发性风味物质的变化,并进行主成分分析。结果表明,生肉、油炸后、炒制后、灭菌后的挥发性风味物质分别为 44,19,39,39 种。其中醛类、萜烯类、醇类和酮类是主要的风味物质,酯类、烷烃类和其他杂环化合物次之。不同加工过程中,挥发性风味物质种类及其相对含量均发生变化,其中灭菌对芷江鸭风味影响最大,醛类、酯类和萜烯类物质减少,使得芷江鸭风味减弱。为减小灭菌对产品风味的影响,后续可考虑降低高温高压灭菌的时间和温度,或者更换灭菌方式,例如辐照灭菌等。有关芷江鸭加工过程中挥发性风味变化对其总体风味的影响还有待进一步研究。

参考文献

[1] 黄雯娟. 芷江鸭加工产业发展现状分析及对策研究[D]. 长

沙: 湖南农业大学, 2014: 9.
[2] 冯宇隆. 北京鸭风味物质的分离鉴定及其脂类对鸭肉风味的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2014: 14.
[3] 过雯婷. 不同贮藏温度下熟贻贝品质变化[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2018: 41.
[4] 李儒仁, 陈雨, 张庆永, 等. 扒鸡加工过程中挥发性风味物质的变化规律[J]. 肉类研究, 2019, 33(7): 49-55.
[5] 郑兵福, 徐睿烜, 蒋立文. 油炸对臭豆腐中挥发性风味物质的影响[J]. 中国酿造, 2019, 38(3): 14-17.
[6] 王金娥, 朱岳麟, 熊常健. 月桂烯的来源及其在香料化学中的应用[J]. 山东化工, 2011, 40(3): 47-50.
[7] VILMA K, ERICH L, PETRAS R V. Chemical and sensory characterisation of aroma of Viburnum opulus fruits by solid phase microextraction-gas chromatography-olfactometry[J]. Food Chemistry, 2012, 132(2): 717-723.
[8] 黎文炎, 张应团, 周大寨, 等. 野艾与家艾茎叶挥发油的 GC-MS 分析[J]. 食品与机械, 2017, 33(4): 154-157, 189.
[9] 游晴如. 茨烯在合成香料中的应用[J]. 林产化工通讯, 1996(3): 24-28.
[10] 徐欢, 郑娅, 余群力, 等. 腊牛肝加工过程中挥发性风味物质变化分析[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(10): 233-240.
[11] 罗玉龙, 靳志敏, 刘夏炜, 等. 肉制品中香味物质形成原因研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(2): 254-258.
[12] 张艳, 夏杨毅, 何翠, 等. 基于肉鸡性别的鸡汤挥发性物质主成分分析[J]. 食品与机械, 2016, 32(7): 23-28.
[13] 阮鸣, 霍光明, 张李阳, 等. 新型与市售平菇香气成分的 GC-MS 分析与比较[J]. 食品工业科技, 2016, 37(10): 72-76, 81.
[14] 赵越. 红烧肉在加工和储藏过程中的品质变化研究[D]. 无

- 锡: 江南大学, 2017: 27.
- [15] 谢靛. 南方臭豆腐卤水挥发性风味物质指纹图谱研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2017: 37.
- [16] 周典飞. 冷冻草莓汁异味成分鉴别与控制技术研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2012: 14.
- [17] 庞雪威, 王积武, 吴志莲, 等. 植物性食品原料中单萜类化合物形成机理及生物活性综述[J]. 中国酿造, 2016, 35(6): 24-29.
- [18] DAMBOLENA J S, LÓPEZ A G, CÁNEPA M C, et al. Inhibitory effect of cyclic terpenes (limonene, menthol, menthone and thymol) on *Fusarium verticillioides* MRC 826 growth and fumonisin B₁ biosynthesis[J]. *Toxicon Official Journal of the International Society on Toxinology*, 2008, 51(1): 37-44.
- [19] NÚÑEZ A J, BEMELMANS J M H, MAARSE H. Isolation methods for the volatile components of grapefruit juice: Distillation and solvent extraction methods[J]. *Chromatographia*, 1984, 18(3): 153-158.
- [20] 常思盎, 惠腾, 刘毅, 等. 杀菌和复热工艺对黄焖鸡挥发性风味物质的影响[J]. 肉类研究, 2018, 32(4): 20-26.
- [21] 田怀香, 王璋, 许时婴. GC-O 法鉴别金华火腿中的风味活性物质[J]. 食品与发酵工业, 2004(12): 117-123.
- [22] 常海军, 彭荣, 唐春红. 重庆城口腊肉挥发性风味化合物分析[J]. 食品科学, 2016, 37(4): 120-126.
- [23] 吴幼茹, 刘诗宇, 樊晓璐, 等. GC-O-MS 分析 5 种酿酒原料中蒸煮香气成分[J]. 食品科学, 2016, 37(24): 94-98.
- [24] 李小林, 陈诚, 黄羽佳, 等. 顶空固相微萃取-气质联用分析 4 种野生食用菌干品的挥发性香气成分[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(9): 174-180.
- [25] 冯聂聂. 柠檬醛/一氯三嗪- β -环糊精包合物的制备及其芳香整理应用[D]. 上海: 上海应用技术学院, 2015: 21.
- [26] SHAHIDI F, RUBIN L J, DSOUZA L A. Meat flavor volatiles: A review of the composition, techniques of analysis, and sensory evaluation[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1986, 24(2): 141-243.
- [27] 张杰, 程伟, 潘天全, 等. 浓香型白酒风味成分研究现状及展望[J]. 酿酒, 2019, 46(1): 29-32.
- [28] 王春燕. 九峰山南坡栽培的两种酿酒葡萄及其葡萄酒品质研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2018: 39.
- [29] LIU Yuan, XU Xing-lian, OU-YANG Gang-feng, et al. Changes in volatile compounds of traditional chinese nanjing water-boiled salted duck during processing[J]. *Journal of Food Science*, 2006, 71(4): S371-S377.
- [30] 吴金凤. 重庆农家腊肉风味物质研究及其安全性评价[D]. 重庆: 西南大学, 2008: 25.
- [31] 李佳佳. 秀珍菇水解物美拉德反应制备调味核心基料的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2017: 38.
- [32] 秦晓, 王锡昌, 陶宁萍. 养殖暗纹东方鲀蒸制鱼肝中特征气味物质的鉴定[J]. 食品工业科技, 2015, 36(14): 57-62, 68.
- [33] 刘晓庚, 陈优生. 香料 2-甲基四氢呋喃-3-酮的合成研究[J]. 食品科学, 2005(5): 165-167.
- [34] 江新业, 宋焕禄, 夏玲君. GC-O/GC-MS 法鉴定北京烤鸭中的香味活性化合物[J]. 中国食品学报, 2008(4): 160-164.
- [35] 高韶婷. 基于多指纹图谱技术的我国三大干腌火腿风味品质评价研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2016: 30.

(上接第 166 页)

- [17] PARK W B, JU Y J, HAN S K. Isolation and characterization of beta-galactoside specific lectin from Korean mistletoe (*Viscum album* var. *coloratum*) with lactose-BSA-Sepharose 4B and changes of lectin conformation[J]. *Archives of Pharmacal Research*, 1998, 21(4): 429.
- [18] LAEMMLI B U K. Cleavage of structural proteins during assembly of head of bacteriophage-T4[J]. *Nature*, 1970, 227(5 259): 683.
- [19] LAEMMLI U K, FAVRE M. Gel electrophoresis of proteins[J]. *Journal of Molecular Biology*, 1973, 80(4): 573-599.
- [20] 苏艳玲, 韩红艳, 杨艳君. 杏仁凝集素提取条件的优化及性质[J]. 食品工业, 2016, 37(6): 88-91.
- [21] 张舒, 王长远, 谭朝印, 等. 绿豆清蛋白 Osborne 分级提取工艺优化及亚基组成分析[J]. 食品与机械, 2019, 35(10): 174-178.
- [22] 肖俊琪, 翟爱华, 李嘉庆, 等. 蒸汽爆破预处理辅助提取米糠蛋白的工艺研究[J]. 中国食品添加剂, 2018, 175(9): 137.
- [23] BENILDO S C, ALFA U B, VANIR R P, et al. Purification and partial characterization of a new lectin from *Parkia panurensis* Benth. ex H.C. Hopkins seeds (Leguminosae family; Mimosoideae subfamily) and evaluation of its biological effects[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2020, 145(4): 845-855.
- [24] WELCH C J, TALAGA M L, KADAV P D, et al. A capture and release method based on noncovalent ligand cross-linking and facile filtration for purification of lectins and glycoproteins[J]. *Journal of Biological Chemistry*, 2020, 295(1): 223-236.
- [25] PRADIP K D, PRANAB S B, TAPASH K D. Purification of human erythrocytes specific lectins from rice bean, *Phaseolus calcaratus* syn. *Vigna umbellata*, by high-performance liquid chromatography[J]. *Journal of Chromatography*, 1988, 431(1): 37-44.
- [26] PARGER M J. Differentiation of rennet from other milk-clotting enzymes by polyacrylamide gel electrophoresis[J]. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists*, 1977(60): 6.
- [27] 张家源, 陈舜胜, 张洪才. 暗纹东方鲀鱼精蛋白的纯化及抑菌活性研究[J]. 食品与机械, 2020, 36(1): 171-174.