

三穗特色卤香鸭卤制过程中挥发性风味物质的变化

许九红, 王修俊*, 杨丽平, 李佳敏, 包欢欢, 何春霞
(贵州大学酿酒与食品工程学院 贵州省发酵工程与生物制药重点实验室 贵阳 550025)

摘要 为探究贵州三穗特色卤香鸭卤制过程中风味物质的变化规律, 采用固相微萃取-气相色谱质谱联用分析技术 (SPME-GC-MS), 结合相对气味活度值 (ROAV)、聚类分析 (CA) 和主成分分析 (PCA) 等方法对卤制 0, 60, 120 min 的样品进行分析, 确定卤制过程中卤香鸭的关键挥发性风味物质。结果表明: 卤制 0, 60, 120 min 时分别检出 67, 94, 100 种挥发性风味化合物, 包括烃类、醛类、醇类、酯类、醚类和含硫杂环等化合物, 风味的丰富度在卤制过程中显著增加 ($P < 0.05$)。经 ROAV 分析得出卤制过程中共有 28 种关键性风味物质 (ROAV > 1), 采用主成分分析得出芳樟醇、己醛、壬醛、辛醛、正庚醛、*D*-柠檬烯、 α -蒎烯、 γ -丁内酯、1-辛烯-3-醇是不同卤制阶段共有的关键性风味物质。表征卤制 0 min 样品的关键性风味物质是苯甲醛、苯乙醛, 表征卤制 60 min 样品的关键性风味物质是反-2-辛烯醛, 表征卤制 120 min 样品的关键性风味物质是十二醛、癸醛、3-羟基-2-丁酮、松油烯、 α -石竹烯、月桂烯、 α -松油醇、6-甲基-5-庚烯-2-酮、蒎品油烯、反式-罗勒烯。随着卤制时间的延长, 三穗特色卤香鸭的关键风味物质种类更加丰富, 增加了烃类、酮类、醇类等主体风味物质, 使卤香鸭总体风味得以改善。

关键词 三穗特色卤香鸭; 挥发性风味; 固相微萃取-气相色谱质谱联用; 相对气味活度值; 主成分分析
文章编号 1009-7848(2023)12-0289-13 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2023.12.030

三穗鸭是我国地方优良名鸭之一^[1], 具有生长能力强, 产蛋量高, 肉质细嫩鲜香, 高蛋白、低胆固醇^[2], 富含人体必需的多种氨基酸、维生素等特点。三穗鸭产业是贵州省的特色优势产业。三穗特色卤香鸭是以三穗鸭为主要原料, 以香辛料、卤汁、食盐等为辅料, 经清洗、分割、配料、腌制、卤制、包装、杀菌等工序加工制成的特色鸭制品, 是当地的特色鸭肉产品。

肉制品中的挥发性风味物质对其整体风味起决定性作用, 是评价肉制品风味品质的重要指标, 通常人们对肉制品的选择和爱好主要取决于挥发性风味^[3], 因此对卤香鸭中挥发性风味化合物进行研究十分重要^[4]。卤制加工是肉制品形成风味的主要途径, 鸭肉中的脂肪、氨基酸、糖类及蛋白质等风味前体物质在卤制加热条件下可发生热降解反

应、美拉德反应等一系列复杂反应, 形成不同的风味物质, 对产品的风味品质产生影响。SPME-GC-MS 技术因灵敏度高、简单、环保等优点而被广泛应用于食品中挥发性化合物的检测中, 是目前研究肉制品风味物质的主要方法之一^[5]。黄珊等^[6]对贵州三穗鸭骨酶解液及美拉德反应产物的香气物质进行分析, 分别检出 26, 49 种挥发性成分, 主要是醛类、酯类、烃类、呋喃和酸类。张芹等^[7]采用(手动)顶空固相微萃取-气质联用法对贵州三穗血浆鸭各加工环节中的挥发性风味成分进行检测, 主体风味物质是醛类、烃类、萜类等化合物。目前的研究大多集中于水煮、油炸等加工方式对三穗鸭风味的影响, 而针对三穗鸭卤制过程中风味物质的变化鲜有研究报道, 尤其不明确卤制加工对鸭肉风味的影响。

本文以贵州三穗鸭为原料, 按三穗特色卤香鸭的加工工艺制备样品, 采用 SPME-GC-MS 技术分析卤制过程中卤香鸭的挥发性风味化合物组成, 结合 ROAV 和聚类分析探讨其关键性风味物质。对筛选出的关键风味物质进行主成分分析, 对卤香鸭的风味品质进行分析, 为探究贵州三穗特色卤香鸭卤制过程中风味物质形成机理提供理论依据。

收稿日期: 2022-12-23

基金项目: 贵州省科技计划项目 (黔科合支撑[2022]010号); 中央引导地方科技发展专项(黔科中引地[2018]4020); 贵州省朝天椒产业集群建设项目 (黔农函 [2020]43 号); 贵州省科技计划项目 ([2017]2555)

第一作者: 许九红, 女, 硕士

通信作者: 王修俊 E-mail: 775298123@qq.com

1 材料与方法

1.1 材料

三穗鸭白条鸭,购于贵州三穗翼宇鸭业有限公司;食盐(食用级),四川久大制盐有限公司;卤水汁,海天食品有限公司;香辛料、酿造酱油,市售。

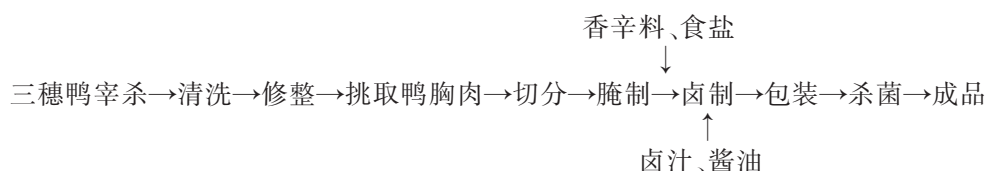
1.2 仪器与设备

FA2002B型电子精密天平,上海越平科学仪器有限公司;DK-98-HA型电热恒温水浴锅,天津

市泰斯特仪器有限公司;MC-SP1915型美的多功能电磁炉,广东美的电器制造有限公司;50/30 μm CAR/PDMS/DVB型手动固相微萃取装置,美国Supelco公司;Pegasus BT型气相色谱飞行时间质谱仪,美国LECO公司;2 cm-50/30/30 μmDVB/CAR/PDMS型萃取纤维头,美国Supelco公司;ZB-5MSI型气相色谱柱,美国Supelco公司。

1.3 方法

1.3.1 三穗特色卤香鸭制作工艺



1.3.2 样品预处理 取相同养殖批次的三穗鸭进行宰杀、清洗,选取鸭胸肉,去骨去筋,切分成 50 mm×50 mm×30 mm 大小形状的肉块,保存备用。

1.3.3 腌制处理 取经过同一批预处理的鸭肉腌制 6 min,相对预处理后鸭肉食盐添加量为 4.6%,卤汁用量为 16%,香辛粉用量为 0.5%,在 4℃环境下进行腌制,保存备用。

1.3.4 卤制成品 取同一批经过腌制处理的鸭肉卤制 120 min,酿造酱油用量为 0.74%,肉液比为 1:1.74,肉料比 1:0.05,保存备用。

1.4 挥发性风味物质含量的测定

1.4.1 样品处理(固相微萃取法):取 5.0 g 样品置于 20 mL 顶空瓶中,将老化后的 50/30 μm CAR/PDMS/DVB 萃取头插入样品瓶顶空部分,于 60℃ 吸附 30 min,吸附后的萃取头取出后插入气相色谱进样口,于 250℃ 解吸 3 min,同时启动仪器采集数据。

1.4.2 质谱条件 电离方式为 EI;发射电流 1 mA;电子能量 70 eV;界面温度 250℃;离子源温度 200℃;检测电压 2 000 V。

1.4.3 色谱条件 柱温初始温度 40℃,DB-Wax 毛细管柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm);载气为氦气(He),流速恒定为 1 mL/min;升温程序:柱温起始温度为 40℃,保持 3 min,然后再以 10℃/min 升温至 230℃,保持 6 min。

1.4.4 定性及定量方法 对总离子流图中的各峰

经质谱计算机数据系统检索及核对 Nist14 和 Wiley275 标准质谱图,以相似指数大于 800 为定性依据,确定挥发性化学成分的种类;各种化合物的相对含量采用峰面积归一化法计算。

1.5 主体风味评价方法

采用刘登勇等^[8]的 ROAV 法对三穗特色卤香鸭的主体风味成分进行评价,各化合物的 ROAV 按下式计算:

$$ROAV_i \approx 100 \times C_i \times \frac{T_{\max}}{C_{\max} \times T_i}$$

式中:ROAV_i 为某挥发性风味物质的相对气味活度值;C_i、T_i 分别为某挥发性成分的相对含量和感觉阈值;C_{max}、T_{max} 分别为气味贡献最大挥发性风味物质的相对含量和感觉阈值。

1.6 数据处理

采用 Excel 和 SPSS 21.0 软件进行数据分析,所有样品均设置 3 个重复,数据用均值±标准差表示;聚类分析热图利用 TBtools 作图;利用 Origin 2021 软件进行主成分分析。

2 结果与分析

2.1 卤香鸭卤制期间挥发性风味物质变化规律

采用 SPME-GC-MS 技术检测分析三穗特色卤香鸭卤制过程中的挥发性风味物质。由表 1 可知各类挥发性风味物质在卤制过程中存在显著变化(P<0.05),卤制过程中共检测出烃类、醛类、酮

类、醇类、醚类、酸类、酯类、酚类、呋喃类、吡嗪类和其它风味物质 11 类, 共计 131 种。由表 2 可知在卤制 0, 60, 120 min 3 个样品中分别检测到 67, 94, 100 种挥发性风味物质, 卤制过程中生成 33

种挥发性风味化合物, 其中烃类、酯类、醛类和酚类的种类和相对含量增加最为明显, 说明卤制过程中这些物质的变化反映卤香鸭风味的形成过程。

表 1 卤制过程中卤香鸭挥发性风味变化

Table 1 Changes of volatile flavor of marinated duck during the marinating process

类别	保留时间	化合物	卤制 0 min	卤制 60 min	卤制 120 min	
醇类	14.72	α -松油醇	-	1.10 \pm 0.35	4.01 \pm 0.03	
	12.86	芳樟醇	4.26 \pm 0.12	2.89 \pm 0.05	2.00 \pm 0.26	
	3.60	乙醇	0.55 \pm 0.03	0.12 \pm 0.03	-	
	11.92	顺- α , α -5-三甲基-5-乙烯基四氢化呋喃-2-甲醇	-	-	0.33 \pm 0.04	
	19.00	对异丙基苯甲醇	-	0.09 \pm 0.01	0.07 \pm 0.00	
	14.72	β -苯甲醇	1.07 \pm 0.05	-	-	
	11.59	1-辛烯-3-醇	0.71 \pm 0.34	1.69 \pm 0.13	0.50 \pm 0.01	
	13.71	2-辛烯-1-醇	-	0.20 \pm 0.01	-	
	19.43	2-苯氧基乙醇	-	0.03 \pm 0.01	0.03 \pm 0.01	
	12.98	正辛醇	0.33 \pm 0.41	-	-	
	10.25	1-己醇	0.14 \pm 0.08	0.18 \pm 0.01	0.09 \pm 0.02	
	12.12	异辛醇	0.37 \pm 0.02	0.07 \pm 0.01	0.06 \pm 0.01	
	20.72	肉桂醇	0.17 \pm 0.02	0.07 \pm 0.07	0.08 \pm 0.01	
	18.81	苯甲醇	-	0.06 \pm 0.01	-	
	醛类	22.16	2-邻甲氧基肉桂醛	0.27 \pm 0.02	0.09 \pm 0.02	-
		5.94	己醛	9.42 \pm 0.06	3.74 \pm 0.21	0.75 \pm 0.02
		21.23	硬脂烷醛(十八烷醛)	0.14 \pm 0.01	0.04 \pm 0.01	0.03 \pm 0.01
		19.31	十六醛	4.78 \pm 0.03	0.74 \pm 0.01	0.60 \pm 0.02
		13.36	5-甲基呋喃醛	0.11 \pm 0.02	-	-
		23.27	(E)-3-(3-甲氧基苯基)-2-丙烯醛	-	-	0.12 \pm 0.02
14.00		2-甲基苯甲醛	-	-	0.24 \pm 0.01	
11.43		反-2-辛烯醛	-	0.08 \pm 0.01	0.03 \pm 0.02	
18.54		反式肉桂醛	14.92 \pm 0.43	3.03 \pm 0.02	1.10 \pm 0.02	
17.76		2-甲氧基苯甲醛	-	0.15 \pm 0.03	0.13 \pm 0.01	
17.21		肉豆蔻醛	-	0.04 \pm 0.01	0.02 \pm 0.01	
10.91		壬醛	2.49 \pm 0.04	2.27 \pm 0.11	1.19 \pm 0.03	
9.38		辛醛	0.98 \pm 0.01	0.94 \pm 0.01	0.40 \pm 0.02	
18.40		对甲氧基苯醛	2.92 \pm 0.02	1.13 \pm 0.06	0.98 \pm 0.01	
14.20		苯乙醛	0.39 \pm 0.03	-	-	
14.90		十二醛	-	0.04 \pm 0.01	0.04 \pm 0.01	
12.33		癸醛	-	-	0.19 \pm 0.03	
7.72		正庚醛	0.43 \pm 0.02	0.58 \pm 0.01	0.28 \pm 0.03	
17.04		肉桂醛	0.13 \pm 0.04	0.03 \pm 0.01	0.01 \pm 0.01	
12.74		苯甲醛	10.81 \pm 0.13	-	-	
酮类	22.38	香豆素(邻氧萘酮)	0.33 \pm 0.02	-	-	
	23.80	2-羟基-4,6-二甲氧基苯乙酮	1.38 \pm 0.05	4.23 \pm 0.01	3.60 \pm 0.21	
	15.18	3-甲基-6-(1-甲基乙基)-2-环己烯-1-酮(胡椒酮)	1.05 \pm 0.02	3.23 \pm 0.01	1.21 \pm 0.02	
	19.50	3-甲氧基苯乙酮	-	-	0.32 \pm 0.01	

(续表 1)

类别	保留时间	化合物	卤制 0 min	卤制 60 min	卤制 120 min
	8.84	5-甲基-3-庚酮	-	-	0.06 ± 0.01
	9.33	3-羟基-2-丁酮	-	-	0.65 ± 0.01
	14.07	5-异丙基双环[3.1.0]己烷-2-酮	-	0.16 ± 0.01	0.03 ± 0.02
	25.80	9-芴酮	-	0.01 ± 0.01	-
	10.96	茴香酮	1.00 ± 0.04	1.14 ± 0.02	-
	12.60	2-茨酮	0.14 ± 0.01	-	-
	19.60	对甲氧基苯基丙酮	0.35 ± 0.02	-	-
	20.12	对甲氧基苯基丙酮	-	-	1.04 ± 0.02
	10.97	1,3,3-三甲基-二环[2.2.1]庚-2-酮	-	-	0.17 ± 0.02
	10.10	6-甲基-5-庚烯-2-酮	0.09 ± 0.01	0.21 ± 0.02	0.64 ± 0.01
	8.83	3-辛酮	-	0.03 ± 0.01	-
烃类	9.08	<i>p</i> -伞花烃	-	1.16 ± 0.11	1.58 ± 0.03
	7.59	松油烯	-	-	3.33 ± 0.14
	8.68	γ -松油烯	0.76 ± 0.03	2.05 ± 0.01	2.94 ± 0.11
	5.54	茨烯	-	0.08 ± 0.01	0.02 ± 0.01
	4.85	(1S)-(-)- α -蒎烯	-	0.87 ± 0.01	-
	10.62	别罗勒烯	-	0.16 ± 0.01	1.01 ± 0.03
	7.58	α -石竹烯	0.44 ± 0.02	1.38 ± 0.04	1.98 ± 0.03
	15.64	<i>A</i> -姜黄烯	0.21 ± 0.02	0.13 ± 0.01	0.03 ± 0.01
	7.90	<i>D</i> -柠檬烯	1.44 ± 0.13	3.26 ± 0.21	5.03 ± 0.07
	9.27	萜品油烯	-	0.64 ± 0.02	4.21 ± 0.01
	12.37	十六烷	0.38 ± 0.01	0.38 ± 0.01	0.03 ± 0.01
	13.51	β -榄香烯	0.18 ± 0.02	0.14 ± 0.02	0.06 ± 0.01
	16.36	去氢白菖烯	0.95 ± 0.02	0.42 ± 0.01	-
	14.37	δ -杜松烯	0.12 ± 0.01	0.11 ± 0.01	-
	16.28	反式-茴香烯	13.20 ± 0.33	-	12.64 ± 0.63
	12.28	α -蒎烯	6.02 ± 0.21	7.29 ± 1.01	2.12 ± 0.01
	8.53	反式- β -罗勒烯	0.28 ± 0.01	0.57 ± 0.01	1.01 ± 0.011
	6.50	香桉烯	-	1.09 ± 0.02	7.74 ± 0.01
	8.79	(<i>Z</i>)-3,7-二甲基-1,3,6-十八烷三烯	-	-	2.32 ± 0.03
	15.11	α -依兰烯	1.41 ± 0.02	0.87 ± 0.11	0.01 ± 0.01
	12.15	(+)-环苜蓿烯	-	0.34 ± 0.01	0.05 ± 0.01
	17.23	α -二去氢菖蒲烯	0.23 ± 0.01	0.02 ± 0.01	0.06 ± 0.01
	14.37	反式-杜松-1(6),4-二烯	-	-	0.03 ± 0.02
	13.23	α -顺-香柠檬烯	0.23 ± 0.01	0.20 ± 0.01	0.11 ± 0.04
	7.35	β -蒎烯	0.16 ± 0.02	1.13 ± 0.22	2.16 ± 0.03
	13.03	3-萜烯	0.28 ± 0.01	0.23 ± 0.01	-
	6.20	β -蒎烯	-	-	0.35 ± 0.02
	4.58	癸烷	0.04 ± 0.01	0.76 ± 0.01	0.32 ± 0.02
	7.35	月桂烯	-	-	3.30 ± 0.02
	16.99	二十烷	-	0.01 ± 0.01	-
	2.63	1-戊烯	-	-	2.30 ± 0.03
	8.91	苯乙烯	0.22 ± 0.01	0.46 ± 0.02	0.28 ± 0.02
	7.47	3-甲基十一烷	-	0.28 ± 0.03	0.25 ± 0.02
醚类	15.30	对苯二甲醚	0.13 ± 0.02	0.08 ± 0.01	0.03 ± 0.01
	14.49	4-烯丙基苯甲醚	10.87 ± 0.35	8.13 ± 0.12	0.13 ± 0.02
	12.60	樟脑	-	0.06 ± 0.01	0.03 ± 0.01

(续表 1)

类别	保留时间	化合物	卤制 0 min	卤制 60 min	卤制 120 min	
酸类	16.28	茴香脑	-	22.55 ± 1.32	10.39 ± 1.04	
	19.66	苯甲酸	0.15 ± 0.01	0.08 ± 0.01	0.07 ± 0.01	
	20.84	2,4,6-三甲基苯甲酸	0.03 ± 0.01	-	0.03 ± 0.01	
	18.15	辛酸	0.39 ± 0.02	0.06 ± 0.01	0.04 ± 0.01	
	21.30	丁酸	-	0.01 ± 0.01	0.01 ± 0.01	
酚类	21.15	丁香酚	-	11.05 ± 0.21	10.66 ± 0.17	
	17.73	2,4-二叔丁基苯酚	0.19 ± 0.01	0.17 ± 0.02	0.15 ± 0.02	
	18.06	甲基丁香酚	-	0.08 ± 0.01	0.06 ± 0.01	
	8.76	(E)-2-甲氧基-4-(1-丙烯基苯酚)	-	0.22 ± 0.03	0.06 ± 0.03	
	19.66	对烯丙基苯酚	-	0.05 ± 0.01	0.05 ± 0.02	
	20.84	甲基麦芽酚	-	0.01 ± 0.01	-	
	18.15	苯酚	-	0.90 ± 0.01	0.02 ± 0.01	
	21.30	3,5-二甲苯酚	-	0.10 ± 0.02	0.03 ± 0.02	
	吡嗪类	11.61	2-乙烷基-3,5-二甲基吡嗪	0.05 ± 0.01	-	0.02 ± 0.01
		9.06	2-甲基吡嗪	-	0.07 ± 0.01	0.04 ± 0.02
9.98		2,6-二甲基吡嗪	-	-	0.03 ± 0.01	
呋喃类	2.87	3-甲基呋喃	-	0.09 ± 0.02	0.30 ± 0.35	
	8.47	2-正戊基呋喃	-	0.20 ± 0.02	0.13 ± 0.03	
	12.48	2-乙酰基呋喃	0.08 ± 0.01	-	0.01 ± 0.01	
酯类	14.09	γ-丁内酯	0.13 ± 0.01	0.07 ± 0.01	0.14 ± 0.02	
	20.47	乙酸丁香酚酯	-	0.37 ± 0.02	0.04 ± 0.01	
	24.70	邻苯二甲酸二丁酯	-	0.09 ± 0.02	0.16 ± 0.01	
	22.98	邻苯二甲酸二异丁酯	0.18 ± 0.02	0.16 ± 0.02	0.27 ± 0.04	
	14.76	乙酸松油酯	-	1.03 ± 0.02	0.09 ± 0.07	
	13.38	乙酸冰片酯	-	-	0.07 ± 0.03	
	16.72	2,2,4-三甲基-1,3-戊二醇二异丁酸酯	0.04 ± 0.01	0.06 ± 0.01	0.09 ± 0.02	
	16.13	己二酸二甲酯	0.11 ± 0.01	-	0.06 ± 0.03	
	9.91	己酸乙烯基酯	-	0.57 ± 0.11	-	
	23.96	对甲氧基肉桂酸乙酯	-	0.07 ± 0.01	0.11 ± 0.03	
	8.50	己酸乙酯	-	0.04 ± 0.01	0.12 ± 0.02	
	24.70	邻苯二甲酸二甲氧乙酯	0.12 ± 0.01	-	-	
	13.03	乙酸芳樟酯	-	-	0.04 ± 0.01	
	20.05	棕榈酸甲酯	0.09 ± 0.02	0.01 ± 0.01	-	
	12.98	甲酸辛酯	-	0.15 ± 0.03	-	
	8.25	丁酸丁酯	-	0.09 ± 0.01	0.13 ± 0.03	
	14.93	α-丙基-γ-丁内酯	-	-	0.02 ± 0.03	
其它类	16.63	2-甲基茶(有毒)	0.12 ± 0.01	0.03 ± 0.01	0.01 ± 0.01	
	6.13	3-甲基噻吩	-	0.09 ± 0.02	0.02 ± 0.02	
	17.78	1,7-二甲基茶	0.15 ± 0.01	-	-	
	15.39	甘菊蓝	0.16 ± 0.01	-	-	
	20.69	二苯并吡喃	-	0.02 ± 0.01	0.01 ± 0.01	
	22.38	二羟基香豆素	-	0.27 ± 0.03	0.07 ± 0.03	
	9.29	1,2,4-三甲基茶	0.30 ± 0.03	-	-	
	17.70	茶并噻唑	0.05 ± 0.01	-	-	
	10.13	1,2,3-三甲基茶	0.04 ± 0.01	-	-	
	5.22	甲苯	0.21 ± 0.01	0.56 ± 0.04	-	

注：“-”表示未检出。

表2 卤制过程中卤香鸭挥发性风味化合物的种类及相对含量

Table 2 Types and relative contents of volatile flavor compounds in duck during the marinating process

序号	化合物类别	卤制 0 min		卤制 60 min		卤制 120 min	
		种类	相对含量/%	种类	相对含量/%	种类	相对含量/%
1	醇类	8	7.58	11	6.50	9	7.15
2	醛类	13	47.50	14	12.87	16	6.12
3	酮类	7	4.32	7	9.01	9	7.72
4	烃类	18	26.81	26	24.02	28	54.69
6	醚类	2	11.00	4	30.82	4	10.57
7	酸类	3	0.57	3	0.15	4	0.15
8	酚类	1	0.39	8	12.58	7	11.03
9	吡嗪类	1	0.05	1	0.07	3	0.09
10	呋喃类	1	0.08	2	0.29	3	0.21
11	酯类	6	0.66	12	2.71	13	2.16
12	其它	7	1.24	6	0.99	4	0.11
13	合计	67	100.00	94	100.00	100	100.00

醛类风味物质是脂肪降解的主要产物^[9], 阈值一般较低, 具有脂肪香味, 对卤香鸭的风味形成有较大贡献, 属于鸭肉的特征风味物质^[10]。在卤制过程中分别检测出 13, 14, 16 种醛类物质。卤制 0 min 时样品中己醛、壬醛、苯甲醛等物质的相对含量较高, 其中己醛是亚油酸氧化的基本产物^[11], 被认为是不愉快的气味, 其含量随卤制时间的延长而减少, 这有利于卤香鸭良好风味的形成。低含量的饱和直链醛(如己醛、辛醛、壬醛)可赋予卤香鸭清香、叶香气味, 具有油香的反-2-辛烯醛可使卤香鸭具有脂肪香气, 长链的脂肪醛如十二醛、十六醛可以增强卤香鸭的脂肪香。随卤制时间的延长, 醛类物质的相对含量呈降低趋势, 可能是在卤制过程中醛类作为中间产物氧化生成了其它物质。

烃类主要来源于鸭肉中脂肪酸氧化的产物烷氧自由基均裂^[12], 不饱和烃类的阈值较低, 气味浓烈, 对改善卤香鸭风味有积极作用。卤制过程中样品分别检出 18, 26, 28 种风味烃类化合物, 其中在卤制过程中生成的月桂烯、 γ -松油烯等对卤香鸭风味的形成有贡献作用, 部分烯烃类化合物在卤制过程中未能全部检测到, 可能是由于双键不稳定发生了氧化反应^[13], 使其含量低于检出限。烃类物质的相对含量呈先降后升趋势, 并在卤制 120 min 时高达 54.69%, 主要是在卤制过程中不断吸收香辛料、调味料中的烃类物质, 使得卤香鸭风味

更加丰富。

酮类是脂肪氧化的产物, 一般会有清香味、果香味或者油香味, 其中不饱和酮是动物特征味, 是产品风味的重要组成部分^[14]。酮类物质总含量呈先升后降趋势, 6-甲基-5-庚烯-2-酮是在卤制加热期间不断增加的脂质氧化产物, 具有植物芳香的气味特征^[15]。卤制过程中检测出的酮类化合物虽然总量较低, 但是种类有所增加, 主要通过不饱和脂肪酸的热氧化降解和氨基酸降解产生^[16], 风味阈值相对较高, 对卤香鸭风味贡献不大, 但其性质稳定、香气持久, 可以对卤香鸭中其他风味物质起辅助作用, 使卤香鸭的风味更加圆润醇厚, 具有层次感^[17-18]。

醇类的风味随碳链的增长而增强, 产生清香、木香、脂肪香^[19], 部分醇类阈值较低, 能够提供卤香鸭中特有的风味。比如 1-辛烯-3-醇在卤制 60 min 样品中的相对含量显著高于其它处理组, 具有蘑菇香和蔬菜香, 对鸭肉风味的形成有积极影响^[20], 但其味觉特性要达到 10 mg/kg 才可以表达^[21]。醇类物质主要来源于脂肪的氧化降解或者羰基化合物的还原, 卤制过程中样品分别检出 8, 11, 9 种醇类化合物, 其中 α -松油醇、对异丙基苯甲醇、2-苯氧基乙醇等是在卤制过程中检测出的, 这与卤香鸭制作过程中加入的桂皮、花椒等香辛料密切相关^[22]。

酯类化合物即使在很低的浓度条件下也能对食品的香味起到非常重要的作用^[23],大部分酯类能产生令人愉快的香味。酯类化合物的种类和含量在卤制过程中均呈现上升趋势,可能是随时间的延长温度持续升高,挥发量大于生成量所致。卤制 120 min 样品中茴香脑的相对含量最高,其次是 4-烯丙基苯甲醚,具有类似茴香、甘草的气味,可赋予肉制品愉悦的香气,主要是来源于八角、小茴香等香辛料的作用^[24],阈值虽高达 73 $\mu\text{g}/\text{kg}$,但由于相对含量较高,对卤香鸭整体风味提高有促进作用。

酸类化合物是脂肪氧化或水解变为低级脂肪酸而产生的^[25],由于其阈值普遍较高,对卤香鸭的整体风味贡献不大,但可以作为一些风味物质的前体物质,主要有苯甲酸、2,4,6-三甲基苯甲酸、

辛酸和丁酸。另外随着卤制时间的延长,卤香鸭中检测出了丁香酚且含量较高,具有强烈的丁香和辛香气味^[26]。呋喃类、吡嗪类物质是最丰富的美拉德反应的挥发性产物,是各种高档肉味香精中必不可少的关键性香料^[27],这些杂环类化合物虽然占肉香成分较少,但因其阈值低,对肉香的生成贡献显著,是肉风味形成作用最大的化合物^[28]。

2.2 卤香鸭卤制过程中的关键性风味化合物鉴定

挥发性风味物质对样品整体风味的贡献程度需要通过相对含量的高低结合风味物质的阈值共同评定^[29]。ROAV 是目前广泛应用于评判食品关键风味化合物的有效方法^[30],本文仅对能检出及 ROAV>0.1 的挥发性风味化合物进行分析,确定各组分的 ROAV 如表 3 所示。

表 3 卤香鸭卤制过程中风味化合物的阈值及 ROAV 值

Table 3 Threshold and ROAV of volatile flavor compounds in duck during the braising process

编号	保留时间	化合物	阈值/ $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	ROAV		
				卤制 0 min	卤制 60 min	卤制 120 min
1	14.72	α -松油醇	330	-	0.15	1.20
2	12.86	芳樟醇	6	28.51	21.22	28.01
3	11.59	1-辛烯-3-醇	1	28.11	74.45	42.02
4	13.71	2-辛烯-1-醇	40	-	0.22	-
5	5.94	己醛	5	75.67	32.95	12.61
6	11.43	反-2-辛烯醛	3	-	1.17	0.84
7	17.21	肉豆蔻醛	14	-	0.13	0.12
8	10.91	壬醛	1	100	100	100
9	9.38	辛醛	0.7	56.22	59.16	48.02
10	14.20	苯乙醛	4	3.92	-	-
11	14.90	十二醛	2	-	0.88	1.68
12	12.33	癸醛	0.1	-	-	99.66
13	7.72	正庚醛	3	5.76	8.52	7.84
14	12.74	苯甲醛	350	1.24	-	-
15	15.18	3-甲基-6-(1-甲基乙基)-2-环己烯-1-酮(胡椒酮)	680	<0.1	0.21	0.15
16	9.33	3-羟基-2-丁酮	0.55	-	-	99.31
17	10.10	6-甲基-5-庚烯-2-酮	50	<0.1	0.19	1.08
18	7.59	松油烯	200	-	-	1.39
19	8.68	γ -松油烯	85	0.36	1.06	2.91
20	7.58	α -石竹烯	160	0.11	0.38	1.04
21	7.90	D-柠檬烯	10	5.74	14.36	42.27
22	9.27	萜品油烯	200	-	0.14	1.77
23	12.28	α -蒎烯	6	40.23	53.59	29.69
24	8.53	反式- β -罗勒烯	60	0.19	0.42	1.41

(续表 3)

编号	保留时间	化合物	阈值/ $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	ROAV		
				卤制 0 min	卤制 60 min	卤制 120 min
25	13.03	3-萜烯	44	0.26	0.23	—
26	7.35	月桂烯	13	—	—	21.33
27	8.91	苯乙烯	65	0.14	0.31	0.25
28	16.28	茴香脑	73	—	13.61	11.96
29	19.66	丁香酚	6	—	81.13	99.29
30	11.61	2-乙烷基-3,5-二甲基吡嗪	1	2.01	—	1.68
31	8.47	2-正戊基呋喃	6	—	1.47	1.82
32	14.09	γ -丁内酯	0.88	5.93	3.50	13.37
33	24.70	邻苯二甲酸二丁酯	30	—	<0.1	0.45
34	22.98	邻苯二甲酸二异丁酯	30	0.24	0.13	0.76
35	8.50	己酸乙酯	1	—	1.76	24.37

注:—:表示未检出;*:香气物质阈值参考文献[31–32]。

挥发性风味物质的 ROAV 越大说明其对风味的贡献越大,当 $\text{ROAV}>1$,该物质为样品的关键风味化合物, $0.1<\text{ROAV}\leq 1$ 的物质对样品风味具有重要的修饰作用^[8]。由表 4 可知,壬醛在卤制过程中的相对含量较高,感觉阈值较低为 $1\ \mu\text{g}/\text{kg}$,对风味贡献较大,因此定义壬醛为三穗特色卤香鸭的关键性风味物质($\text{ROAV}_{\text{stan}}=100$)。卤制过程中 3 个样品中各个物质的 ROAV 存在一定的差异,其中 α -松油醇、芳樟醇、1-辛烯-3-醇、己醛、反-2-辛烯醛、壬醛、辛醛、苯乙醛、十二醛、癸醛、正庚醛、苯甲醛、3-羟基-2-丁酮、6-甲基-5-庚烯-2-酮、松油烯、 γ -松油烯、 α -石竹烯、*D*-柠檬烯、蒎品油烯、 α -蒎烯、反式- β -罗勒烯、月桂烯、茴香脑、丁香酚、2-乙烷基-3,5-二甲基吡嗪、2-正戊基呋喃、 γ -丁内酯、己酸乙酯等 28 种风味物质的 ROAV 大于 1,因此均可视为卤香鸭的关键挥发性风味物质;另外 2-辛烯-1-醇、肉豆蔻醛、胡椒酮、3-萜烯、苯乙烯、邻苯二甲酸二丁酯、邻苯二甲酸二异丁酯等化合物的 ROAV 大于 0.1,对卤香鸭挥发性总体风味具有重要的修饰作用。

2.3 卤香鸭卤制过程中挥发性风味物质热图聚类分析

为进一步分析挥发性风味物质,将卤制过程中的关键挥发性风味物质($\text{ROAV}>1$)绘制成热图,结果如图 1 所示,可以直观看出卤制过程中卤香鸭的关键挥发性风味物质明显存在差异。

由图 1 可知,热图中蓝色代表低含量,红色代表高含量,颜色越深代表该成分含量越高^[33]。其中

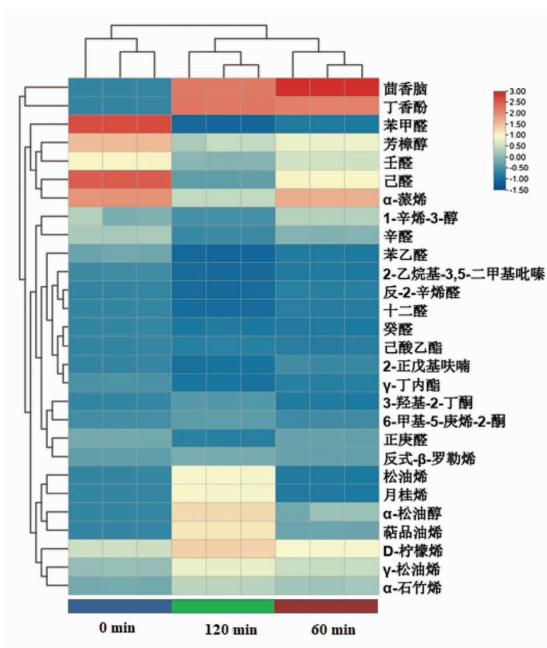
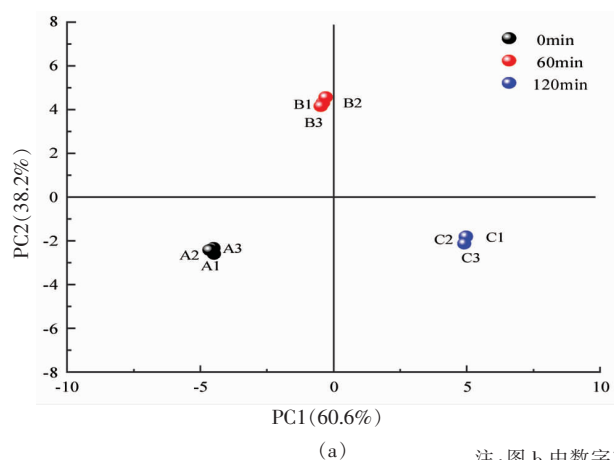


图 1 卤制过程中关键挥发性风味化合物 ($\text{ROAV}>1$) 的热图和聚类分析图

Fig.1 Heat map and cluster analysis of characteristic volatile compounds of $\text{ROAV}>1$ in the marinating process

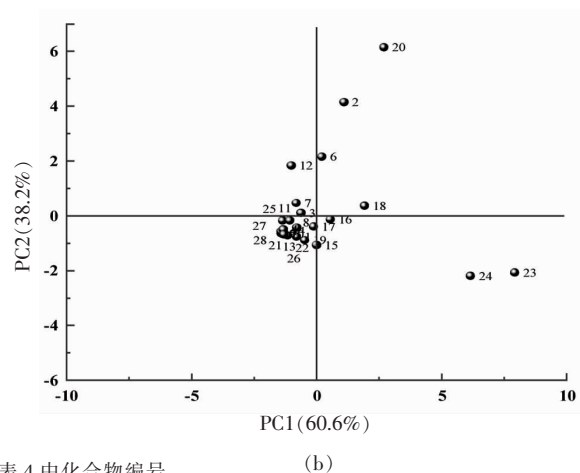
卤制 60 min 和卤制 120 min 的样品被分在同一分支上,说明它们的关键挥发性成分分布没有显著差异^[34],这与两者具有较接近的醛类、烃类和酯类物质有关;而卤制 0 min 与卤制 60 min 和 120 min 样品的挥发性风味标志物聚为一类,说明在卤制过程中卤香鸭在很大程度上保留了鸭肉原有的滋味,同时又生成了多种不同于卤制 0 min 时的关键风味物质。其中芳樟醇、1-辛烯-3-醇、己

醛、壬醛、辛醛、正庚醛、*D*-柠檬烯、 γ -丁内酯、 α -蒎烯等 9 种关键风味物质贯穿整个卤制过程,对卤制过程中卤香鸭的香气贡献率较高; α -松油醇、反-2-辛烯醛、苯乙醛、十二醛、苯甲醛、 α -石竹烯、反式- β -罗勒烯、2-正戊基呋喃等在卤制过程中的 ROAV 值变化不大,对卤香鸭香气贡献较小;茴香脑和丁香酚在卤制过程中 ROAV 值发生明显变化,对卤制 60,120 min 的样品香气贡献率更高。



2.4 基于 PCA 分析卤香鸭卤制过程中的关键挥发性风味化合物

PCA 是通过降维的方法,找出对样品风味贡献最大和最主要的成分,利用 PCA 空间分布可以在最大程度上体现成分因子间的差异性^[35]。本文根据 ROAV 值选取 28 种对卤香鸭挥发性风味有重要贡献(ROAV>1)的化合物进行 PCA 分析,贡献率越高,说明 PC 对原始各指标信息的反映越好^[35-36],结果如图 2 所示。



注:图 b 中数字对应表 4 中化合物编号。

图 2 不同卤制时间样品中关键挥发性风味物质主成分(a)及载荷图(b)

Fig.2 Principal components of key volatile flavor compounds (a) and load diagram (b) in samples with different marinating times

由图 2 可知,提取到的两个主成分的累计方差贡献率为 98.8%,说明 PC1 和 PC2 可以反应卤香鸭中的绝大部分气味信息^[38]。图 2a 表明卤制 0, 60 min 和 120 min 的样品分别能够聚在一起,体现了卤制时间影响卤香鸭产生风味物质的共性,并且卤制 120 min 与其它样品距离较远,说明卤制 120 min 与其它样品风味具有明显差异,即可以通过关键挥发性物质将卤制过程中的样品区分开。由图 2b 可知,卤制过程中卤香鸭生成的挥发性风味物质,如芳樟醇、反-2-辛烯醛、癸醛、 α -石竹烯与 PC1 显示出较强的正相关,苯甲醛、丁香酚、2-乙烷基-3,5-二甲基吡嗪、2-正戊基呋喃、 γ -丁内酯与 PC1 显示出较强的负相关;PC2 与松油烯、反式- β -罗勒烯、月桂烯、*D*-柠檬烯等显示出较强的正相关,与 6-甲基-5-庚烯-2-酮、2-乙烷基-3,5-二甲基吡嗪等显示出较强的负相关,反

映了卤制过程中关键挥发性风味物质的组成及相对含量发生了较大的变化,这可能与卤制时间对风味物质的影响有关。

3 结论

通过 SPME-GC-MS 检测分析卤制过程中三穗特色卤香鸭的挥发性风味物质,在卤制 0,60, 120 min 3 个阶段中分别检测到 67,94,100 种挥发性风味物质。结合 ROAV 和聚类分析发现卤制过程中卤香鸭含有 28 种关键挥发性风味物质,其中醛类、烃类、酯类是主体风味贡献化合物,其次是醇类、酮类及其它类风味化合物。利用主成分分析确定表征卤制 0 min 样品的关键性风味物质(ROAV>1)是苯甲醛和苯乙醛;表征卤制 60 min 样品的关键性风味物质是反-2-辛烯醛;表征卤制 120 min 样品的关键性风味物质是十二醛、癸醛、

3-羟基-2-丁酮、松油烯、 α -石竹烯、月桂烯、 α -松油醇、6-甲基-5-庚烯-2-酮、萜品油烯、反式- β -罗勒烯；其中茴香脑、丁香酚、2-正戊基呋喃和己酸乙酯是在卤制过程中生成的关键挥发性风味物质。随着卤制时间的延长，三穗特色卤香鸭的关键风味物质种类更加丰富，研究结果可为后续深入研究卤香鸭肉制品风味形成机理、指导风味品质精准调控等提供依据。

参 考 文 献

- [1] 周雯, 王修俊, 刘佳慧, 等. 喷雾干燥法制备三穗鸭固体骨素调味料工艺研究[J]. 中国调味品, 2019, 44(8): 122-126.
ZHOU W, WANG X J, LIU J H, et al. Study on preparation of solid ossesin seasoning from Sansui duck by spray drying method[J]. China Condiment, 2019, 44(8): 122-126.
- [2] 陈颜红, 王修俊, 徐雯, 等. 贵州三穗特色黄皮蛋无铅腌制过程中色泽及蛋黄凝固度变化分析[J]. 现代食品科技, 2021, 37(4): 180-188, 162.
CHEN Y H, WANG X J, XU W, et al. Changes in color and extent of yolk coagulation of characteristic yellow preserved eggs of Sansui in Guizhou during lead-free curing[J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(4): 180-188, 162.
- [3] SHEN C J, ZHU Y Y, MA R H, et al. Effects of roasting level on physicochemical, sensory, and volatile profiles of soybeans using electronic nose and HS-SPME-GC-MS[J]. Food Chemistry, 2021, 340(340): 127-880.
- [4] 王海超. 烤羊腿风味、色泽与质构特性的区域化差异研究[D]. 陕西: 西北农林科技大学, 2018: 16-23.
WANG H C. Study on the flavor, color and texture qualities of roasted legs of lamb in different areas [D]. Shaanxi: Northwest A&F University, 2018: 16-23.
- [5] 柏霜, 王永瑞, 罗瑞明. 传统工业大锅与小锅炒制羊肉臊子挥发性风味物质差异分析[J]. 食品科学, 2021, 42(14): 180-186.
BAI S, WANG Y R, LUO R M. Analysis of differences in volatile flavor compounds between traditional industrial large wok and small wok stir-fried diced mutton[J]. Food Science, 2021, 42(14): 180-186.
- [6] 黄珊, 王修俊, 刘佳慧, 等. 贵州三穗鸭鸭骨酶解液美拉德反应条件优化及挥发性风味物质分析[J]. 中国酿造, 2019, 38(9): 117-123.
HUANG S, WANG X J, LIU J H, et al. Optimization of Maillard reaction conditions of Guizhou Sansui duck bone enzymatic hydrolysate and analysis of its volatile components[J]. China Brewing, 2019, 38(9): 117-123.
- [7] 张芹, 王修俊, 田多. 三穗血浆鸭加工过程中风味成分的变化[J]. 食品与机械, 2018, 34(1): 199-204.
ZHANG Q, WANG X J, TIAN D. Changes of the component of flavor in the processing of Sansui plasma duck[J]. Food and Machinery, 2018, 34(1): 199-204.
- [8] 刘登勇, 赵志南, 吴金城, 等. 基于 SPME-GC-MS 分析熏制材料对熏鸡腿挥发性风味物质的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(24): 220-227.
LIU D Y, ZHAO Z N, WU J C, et al. Analysis of the effects of smoked materials on volatile flavor compounds of smoked chicken legs based on SPME-GC-MS[J]. Food Science, 2019, 40(24): 220-227.
- [9] PAVLIDIS D E, MALLOUCHOSS A, ERCOLINI D, et al. A volatilomics approach for off-line discrimination of minced beef and pork meat and their admixture using HS-SPME GC/MS in tandem with multivariate data analysis[J]. Meat, 2019, 151(5): 43-53.
- [10] SONG J X, SHAO Y, YAN Y M, et al. Characterization of volatile profiles of three colored quinoas based on GC-IMS and PCA[J]. LWT, 2021, 146(1): 111292.
- [11] 袁华根, 高峰, 徐骏, 等. 鸡肉挥发性风味化合物分析[J]. 江西农业学报, 2006, 18(5): 139-141.
YUAN H G, GAO F, XU J, et al. Analysis of volatile flavor compounds of chicken meat[J]. Jiangxi Journal of Agricultural Sciences, 2006, 18(5): 139-141.
- [12] 张宁, 陈海涛, 孙宝国, 等. 固相微萃取和同时蒸馏萃取方法比较传统腊牛肉的风味成分[J]. 中国食品学报, 2016, 16(6): 247-258.
ZHANG N, CHEN H T, SUN B G, et al. Comparison of flavor components of traditional baht beef by solid phase micro-extraction and simultaneous

- distillation extraction methods[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2016, 16(6): 247-258.
- [13] 李钰, 刘成江, 李应彪. 低温贮藏条件下阿勒泰羊尾的脂肪氧化[J]. *肉类研究*, 2017, 31(3): 18-22.
LI Y, LIU C J, LI Y B. Changes in lipid oxidation and fatty acids in altay sheep tail fat during low temperature storage [J]. *Meat Research*, 2017, 31(3): 18-22.
- [14] 王勇勤, 郭新, 黄笠原, 等. 基于电子鼻和气相色谱-质谱联用技术分析不同贮藏时间羊肉火腿香气成分[J]. *食品科学*, 2019, 40(2): 215-221.
WANG Y Q, GUO X, HUANG L Y, et al. Analysis of volatile compounds of mutton ham with different storage times based on electronic nose and gas chromatography-mass spectrometry[J]. *Food Science*, 2019, 40(2): 215-221.
- [15] 张晶晶, 王锡昌, 施文正. 白姑鱼和小黄鱼肉中挥发性风味物质的鉴定[J]. *食品科学*, 2019, 40(14): 206-213.
ZHANG J J, WANG X C, SHI W Z. Identification of volatile compounds in white croaker and small yellow croaker [J]. *Food Science*, 2019, 40(14): 206-213.
- [16] 顾聆琳, 杨瑞金, 陈骞. SPME 和气质联用测定牡蛎中的风味物质[J]. *中国调味品*, 2004, 29(10): 43-46.
GU L L, YANG R J, CHEN Q. Determination of flavor substances in oysters by SPME coupled to gas chromatography[J]. *China Condiment*, 2004, 29(10): 43-46.
- [17] YANG Y, ZHANG X, WANG, Y et al. Study on the volatile compounds generated from lipid oxidation of chinese bacon (unsmoked) during processing[J]. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 2017, 119(10): 1600512.
- [18] 吴晨燕, 马俪珍, 周伟, 等. 发酵时间和发酵剂种类对牛肉调味料风味的影响[J]. *肉类研究*, 2019, 33(9): 42-47.
WU C Y, MA L Z, ZHOU W, et al. Effects of fermentation time and starter cultures on flavor of beef flavorings [J]. *Meat Research*, 2019, 33(9): 42-47.
- [19] 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, 8(4): 160-164.
JIANG X Y, SONG H L, XIA L J. Identification of AromaTic active compounds in peking duck by GC-O/GC-MS method[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2008, 8(4): 160-164.
- [20] LI M Q, YANG R W, ZHANG H, et al. Development of a flavor fingerprint by HS-GC-IMS with PCA for volatile compounds of *Tricholoma matsutake* Singer[J]. *Food Chemistry*, 2019, 290(3): 32-39.
- [21] 吕飞, 沈军, 丁玉庭. 贻贝热泵干制过程中的品质变化研究[J]. *现代食品科技*, 2015, 31(6): 142-149.
LÜ F, SHEN J, DING Y T. Changes in mussel quality during heat-pump drying [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2015, 31(6): 142-149.
- [22] 程小雪, 袁永俊, 胡丽丽, 等. 贮藏条件对花椒调味油中柠檬烯和芳樟醇含量的影响[J]. *食品科学*, 2014, 35(18): 258-261.
CHENG X X, YUAN Y J, HU L L, et al. Effect of storage conditions on limonene and linalool of *zanthoxylum bungeanum* seed oil [J]. *Food Science*, 2014, 35(18): 258-261.
- [23] 郑亚伦, 何莲, 张浩, 等. 一种麻辣烧烤酱的制作工艺及挥发性物质研究[J]. *中国调味品*, 2019, 44(7): 97-103.
ZHENG Y L, HE L, ZHANG H, et al. Study on the production process and volatile components of spicy barbecue sauce [J]. *China Condiment*, 2019, 44(7): 97-103.
- [24] 李素, 周慧敏, 赵冰, 等. 卤汤牛肉贮藏过程中挥发性风味物质分析[J]. *食品科学*, 2020, 41(18): 203-209.
LI S, ZHOU H M, ZHAO B, et al. Analysis of volatile flavor compounds in stewed beef with broth during storage [J]. *Food Science*, 2020, 41(18): 203-209.
- [25] FLORES M, SOLER C, ARISTOY M C, et al. Effect of brine thawing/salting for time reduction in Spanish dry-cured ham manufacturing on proteolysis and lipolysis during salting and post-salting periods [J]. *European Food Research and Technology*, 2006, 222(5/6): 509-515.
- [26] 卢化, 张义生, 黎强, 等. HS-SPME-GC-MS 分析不同产地丁香挥发性成分[J]. *中国医院药学杂志*, 2015, 35(9): 812-817.
LU H, ZHANG Y S, LI Q, et al. Analysis of the

- volatile constituents of eugenia caryophyllata thunb from various habitats by HS-SPME-GC-MS[J]. Chinese Journal of Hospital Pharmacy, 2015, 35(9): 812-817.
- [27] 蔡文韬, 夏延斌. 肉类香精风味形成机理及其研究进展[J]. 中国酿造, 2010, 29(1): 9-12.
CAI W T, XIA Y B. Mechanism of meat flavor formation and its research progress[J]. Brewing in China, 2010, 29(1): 9-12.
- [28] 刘丹丹, 赵培, 陈金玉, 等. 呼吸式滚揉腌制对中式酱牛肉挥发性物质的影响[J]. 食品与机械, 2022, 38(2): 21-26.
LIU D D, ZHAO P, CHEN J Y, et al. Effects of breathing tumbling on volatile substances of beef in Chinese soy-sauced beef[J]. Food & Machinery, 2022, 38(2): 21-26.
- [29] ZHANG Y R, ZHANG S W, FAN W X, et al. Identification of volatile compounds and odour activity values in Quinoa porridge by gas chromatography-mass spectrometry[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2019, 99(8): 3957-3966.
- [30] 王丹, 丹彤, 孙天松, 等. SPME-GC-MS 结合 ROAV 分析单菌及复配发酵牛乳中关键性风味物质[J]. 食品科学, 2017, 38(8): 145-152.
WANG D, DAN T, SUN T S, et al. Analysis of key volatile compounds in fermented cow milk produced by pure and mixed cultures by SPME-GC-MS combined with ROAV[J]. Food Science, 2017, 38(8): 145-152.
- [31] 孙宝国. 食用调香术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2015.
SUN B G. Edible perfumer[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2015.
- [32] 赵宁, 魏新元, 樊明涛, 等. SPME-GC-MS 结合电子鼻技术分析不同品种猕猴桃酒香气物质[J]. 食品科学, 2019, 40(22): 249-255.
ZHAO N, WEI X Y, FAN M T, et al. Analysis of volatile components of kiwifruit wines made from different cultivars using solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry combined with electronic nose[J]. Food Science, 2019, 40(22): 249-255.
- [33] 杨浣漪. 传统酸面团中酿酒酵母和旧金山乳杆菌的种内多样性及其互作研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2018.
YANG H Y. Intraspecific diversity and interaction of Saccharomyces cerevisiae and Lactobacillus san francisco in traditional acid dough[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2018.
- [34] PADILLA-JIMENEZ S M, ANGOA-PEREZ M V, MENA-VIOLANTE H G, et al. Identification of organic volatile markers associated with aroma during maturation of strawberry fruits[J]. Molecules, 2021, 26(2): 15.
- [35] MELUCCI D, BENDINI A, TESINI F, et al. Rapid direct analysis to discriminate geographic origin of extra virgin olive oils by flash gas chromatography electronic nose and chemometrics[J]. Food Chemistry, 2016, 204(8): 263-273.
- [36] 谭椰子, 周光宏, 刘源, 等. 3 个品牌干腌火腿皮下脂肪挥发性风味比较分析[J]. 食品科学, 2019, 40(16): 185-192.
TAN Y Z, ZHOU G H, LIU Y, et al. Volatile compounds in subcutaneous fat of three brands of dry-cured hams[J]. Food Science, 2019, 40(16): 185-192.
- [37] SHI J, NIAN Y Q, DA D D, et al. Characterization of flavor volatile compounds in sauce spareribs by gas chromatography-mass spectrometry and electronic nose[J]. LWT, 2020, 124: 109182.
- [38] BAI S, WANG Y R, LUO R M, et al. Formation of flavor volatile compounds at different processing stages of household stir-frying mutton saozzi in the northwest of China[J]. LWT, 2021, 139: 110735.

The Changes of Volatile Flavor Compounds of Sansui Characteristic Marinated Duck During Marination

Xu Jiuhong, Wang Xiujun*, Yang Liping, Li Jiamin, Bao Huanhuan, He Chunxia
(*Guizhou Province Key Laboratory of Fermentation Engineering and Biopharmacy,
School of Liquor and Food Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025)

Abstract The effects of marinating on the volatile flavor compounds of Guizhou Sansui characteristic marinated duck was

investigated by solid phase microextraction and gas chromatography–mass spectrometry (SPME–GC–MS), combined with relative odor activity value (ROAV), cluster analysis (CA) and principal component analysis (PCA) were used to analyze the samples marinated for 0 min, 60 min and 120 min in order to determine the key volatile flavor substances of marinated duck in the process of marinating. The results showed that 67, 94 and 100 volatile flavor compounds, including hydrocarbons, aldehydes, alcohols, esters, ethers and sulfur-containing heterocycles were detected at 0 min, 60 min and 120 min, the richness of flavor increased significantly during the marinating process ($P < 0.05$). Relative odor activity value (ROAV) and cluster analysis (CA) found that there are 28 key flavor substances in the marinating process (ROAV > 1). Principal component analysis (PCA) indicated that linalool, hexanal, nonanal, octanal, n-heptanaldehyde, *D*-limonene, α -pinene, γ -butyrolactone and 1-octene-3-alcohol are the key flavor compounds in different marination stages. Benzaldehyde and phenylacetaldehyde were the characteristic aroma compounds of the samples marinated for 0 min. Trans-2-octenaldehyde were the characteristic aroma compounds of the samples marinated for 60 min. Dodecaldehyde, decanal, 3-hydroxy-2-butanone, terpinene, α -caryophyllene, laurene, α -terpineol, 6-methyl-5-heptene-2-one, terpene oleene, trans basilene were the characteristic aroma compounds of the samples marinated for 120 min. With the extension of marinating time, the types of key flavor compounds of Sansui characteristic marinated duck are more abundant, and the main flavor compounds such as hydrocarbons, ketones and alcohols are added to improve the overall flavor of the Sansui characteristic marinated duck.

Keywords Sansui characteristic marinated duck; volatile flavor; solid phase microextraction and gas chromatography–mass spectrometry (SPME–GC–MS); relative odor activity value (ROAV); principal component analysis (PCA)