

樊美琪, 杨芳, 贾洪锋, 等. 基于 GC-MS 探究郫县豆瓣和豆豉对盐煎肉挥发性风味物质的影响 [J]. 食品工业科技, 2021, 42(13): 274-283. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020070199

FAN Meiqi, YANG Fang, JIA Hongfeng, et al. Effects of Pixian Douban and Douchi on the Volatile Flavor Compounds of Fried Pork with Salted Pepper Based on GC-MS[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(13): 274-283. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020070199

· 分析检测 ·

基于 GC-MS 探究郫县豆瓣和豆豉对盐煎肉挥发性风味物质的影响

樊美琪^{1,2,*}, 杨芳^{1,2,*}, 贾洪锋¹, 肖岚¹, 何桂强²

(1. 四川旅游学院食品学院, 四川成都 610100;

2. 四川大学轻工科学与工程学院, 四川成都 610100)

摘要: 利用顶空-固相微萃取-气质连用 (HS-SPME-GC-MS), 采用化学计量学方法探究郫县豆瓣和豆豉对经典川菜盐煎肉挥发性风味成分的影响, 根据气味活度值 (OAV 值) 确定盐煎肉的关键风味物质。结果表明: GC-MS 共检测到 137 种挥发性风味物质, 其中烃类 21 种, 醇类 12 种, 酚类 6 种, 醚类 8 种, 醛类 22 种, 酮类 6 种, 酸类 6 种, 酯类 12 种, 杂环类 40 种, 其他 4 种。未添加郫县豆瓣和豆豉的样品为空白对照组, 即样品 1; 豆瓣和豆豉单独添加时, m (豆瓣)=8 g 为样品 2; m (豆豉)=10 g 为样品 3; 当豆瓣和豆豉混合添加总质量为 18 g, 通过不同混合比例设置样品 4~样品 7, 具体为: 豆瓣:豆豉=3:6 为样品 4; 豆瓣:豆豉=4:5 为样品 5; 豆瓣:豆豉=6:3 为样品 6; 豆瓣:豆豉=7:2 为样品 7。样品 1~样品 7 中含有的挥发性风味化合物种数及浓度依次为: 60、64、63、72、57、66、69 种, 78.08、250.77、71.22、85.62、116.12、44.43、55.77 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。对 OAV 值的分析显示, 7 种样品共有的关键风味物质是: 2-辛醇、桉叶油素、己酸、2,5-二甲基吡嗪、2,5-二甲基-3-乙基吡嗪。主成分分析 (PCA) 显示, 样品 5 的 PCA₁ (99.18%) 和 PCA₂ (0.19%) 与其他实验样品存在明显差异, 与感官轮廓相符, 样品 5 接受度最高。因此, 样品 5 中的郫县豆瓣和豆豉为最佳风味配比。

关键词: 盐煎肉, 挥发性风味成分, 顶空-固相微萃取-气质连用, 郫县豆瓣, 豆豉

中图分类号: TS207.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2021)13-0274-10

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2020070199

Effects of Pixian Douban and Douchi on the Volatile Flavor Compounds of Fried Pork with Salted Pepper Based on GC-MS

FAN Meiqi¹, YANG Fang^{1,2,*}, JIA Hongfeng¹, XIAO Lan¹, HE Guiqiang²

(1. College of Food Science and Technology, Sichuan Tourism University, Chengdu 610100, China;

2. College of Light Industry, Textile and Food Engineering, Sichuan University, Chengdu 610100, China)

Abstract: Head space solid phase microextraction coupled with GC-MS (HS-SPME-GC-MS) was used to study the effects of Pixian Douban and Douchi on the volatile flavor components of fried pork slices with salted pepper, one of the typical Sichuan flavour foods, by chemometrics method. The key flavor substances of fried pork slices with salted pepper were determined according to the odor activity value (OAV). The results showed that, 137 volatile flavor compounds were detected by GC-MS, including 21 hydrocarbons, 12 alcohols, 6 phenols, 8 ethers, 22 aldehydes, 6 ketones, 6 acids, 12 esters, 40 heterocycles and 4 other compounds. The sample without Pixian Douban and Douchi was the blank control, namely sample 1. When Douban and Douchi were added separately, m (Douban)=8 g in sample 2, m (Douchi)=10 g in sample 3. When Douban and Douchi were mixed with a total mass of 18 g, set sample 4~sample 7 through different mixing ratios, as Douban:Douchi=3:6 in sample 4, Douban:Douchi=4:5 in sample 5, Douban:Douchi=6:3 in sample 6,

收稿日期: 2020-07-17

基金项目: 四川省科技厅科研项目 (2019YJ0343); 四川旅游学院自然科学重点项目 (19SCTUZZ06); 四川旅游学院餐饮食品感官品质智能评价科研创新团队项目 (19SCTUTY04); 四川旅游学院大学生科研项目 (2020XKZ02)。

作者简介: 樊美琪 (1998-), 女, 本科, 研究方向: 食品加工和食品风味化学, E-mail: 3139622659@qq.com。

* 通信作者: 杨芳 (1985-), 女, 硕士, 讲师, 研究方向: 食品风味化学, E-mail: sichuanyangf@126.com。

Douban:Douchi=7:2 in sample 7. The number of volatile flavor compounds contained in samples 1 to 7 were: 60, 64, 63, 72, 57, 66, 69. The concentrations of volatile flavor compounds contained in samples 1 to 7 were 78.08, 250.77, 71.22, 85.62, 116.12, 44.43, 55.77 $\mu\text{g}/\text{kg}$, respectively. The analysis of OAV showed that the key flavor substances in common among the seven samples were 2-octanol, cineole, caproic acid, 2-dimethylpyrazine and 2-dimethyl-3-ethyl pyrazine. Principal component analysis (PCA) showed that the PCA_1 (99.18%) and PCA_2 (0.19%) of sample 5 were significantly different from other samples, consistent with the sensory flavor profile, and sample 5 had the highest acceptance. Therefore, the mixture ratio of Pixian Douban and Douchi in sample 5 is the best.

Key words: fried pork slices with salted pepper; volatile flavor compounds; headspace solid phase microextraction coupled with GC-MS; Pixian Douban; Douchi

郫县豆瓣以二荆条红辣椒、蚕豆为主要原料,小麦粉、食用盐等为辅料,通过微生物制曲、前发酵,再经过翻、晒、露等后发酵酿制而成^[1-2]。郫县豆瓣具有色泽红褐油润、瓣粒香脆、酱酯香等特点,是川菜中最经典的调味品之一,有“川菜之魂”的美誉。因郫县豆瓣风味独特,其风味成分受到学者们的广泛关注。目前,对郫县豆瓣挥发性风味成分的研究主要集中在:通过测定对郫县豆瓣的挥发性风味成分的鉴定以判断郫县豆瓣的发酵阶段^[3]、原料二荆条的产地^[4]、郫县豆瓣酱醅的陈酿年份^[5]、郫县豆瓣的级别^[6]、干燥方式^[7-8]、豆瓣产品的识别^[9-10]以及对郫县豆瓣后发酵过程中细菌群落与呈香物质相关性进行研究^[11]等。目前,已有利用 GC-MS 检测技术对不同发酵阶段郫县豆瓣中的挥发性风味物质进行检测分析^[3]、不同产地的二荆条辣椒制备的郫县豆瓣的挥发性风味成分进行分析^[4]、不同陈酿年份的郫县豆瓣酱醅中挥发性风味成分的分离鉴定^[5]、几种一级郫县豆瓣的特征香气成分进行检测对比分析^[6]、不同干燥方式对郫县豆瓣风味的影响^[7-8]、利用柱前衍生化全二维气相色谱-飞行时间质谱技术对特级郫县豆瓣酱中的风味成分组成及其相对含量进行研究^[12]、利用电子鼻通过检测豆瓣挥发性成分,对不同豆瓣产品进行分类识别^[9-10]、以及对郫县豆瓣后发酵过程中细菌群落与呈香物质相关性进行研究^[11]等。

豆豉是以大豆为主要原料,经过浸泡、蒸煮、摊凉、制曲、发酵等一系列工艺而制成的一种传统发酵调味食品^[13],豆豉的风味物质含量较低,但豆豉风味很独特^[14]。目前,已有利用 GC-MS 技术对毛霉型和曲霉型豆豉的挥发性组分特征进行分析^[14]、不同干燥方式对豆豉风味的影响^[15]以及对豆豉产品和霉菌性豆豉风味的对比研究^[16]等。

目前,利用 GC-MS 检测技术,通过分析特色川菜的挥发性风味成分,以确定郫县豆瓣和豆豉的比例对特色川菜风味的影响尚未有报道。因此,本文采用简单、无溶剂、快速浓缩样品中挥发性组分的方法—顶空固相微萃取(HS-SPME),结合气相色谱-质谱(GC-MS)联用技术,研究郫县豆瓣和豆豉对特色川菜盐煎肉挥发性风味成分的影响,并利用 OAV 值确定样品中的关键风味成分,结合主成分分析(PCA)和感官香气轮廓分析,确定出接受度最高的样品,以筛选出郫县豆瓣和豆豉在盐煎肉中最适宜的风味添

加比例。本研究结果为特色川菜盐煎肉的标准、工业化生产及进一步研究风味物质形成的机理提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

新鲜青辣椒、新鲜蒜苗、姜、蒜、猪二刀后腿肉 购于永辉超市,即买即用;食用花生油 山东鲁花集团有限公司;料酒 成都天府宴食品有限责任公司;酱油 千和味业食品股份有限公司;白糖 山东雅汇糖业有限公司;郫县豆瓣 四川省红九久调味品有限公司;豆豉 重庆市永川豆豉食品有限公司。

TRACE GC DSQ II 气相色谱-质谱联用仪 美国 Thermo 公司;SPME 手动进样装置:包括 SPME 手柄、20 mL 样品瓶、聚四氟乙烯瓶垫、75 μm PA 萃取头 美国 Supelco 公司;HJ-3 控温磁力搅拌器 江苏金坛市金城国胜实验仪器厂;万分之一分析天平 上海西塘生物科技有限公司;TP101 电子数显食品温度计 广东东莞万创电子制品有限公司;220 V/2 KW 电子万用炉(功率可调) 泸兴电热电器厂。

1.2 实验方法

1.2.1 基础配方 根据前期预实验和参考文献 [17-18],拟定盐煎肉的基础配方如下:

主料:猪二刀后腿肉 100 g;辅料:花生油 30 g、料酒 4 g、酱油 3 g、白糖 2 g、姜 3 g、蒜 3 g、青辣椒 32 g、蒜叶 24.5 g(蒜白:蒜叶=2:5)、郫县豆瓣 8 g、豆豉 10 g。

1.2.2 工艺流程及操作要点 经预实验确定盐煎肉的基本工艺如下:

主料(猪二刀后腿肉) → 洗净 → 晾干	} → 炒制 → 成品
→ 切片 → 称重	
辅料 → 洗净 → 晾干 → 切片(切节)	
→ 称重;或辅料 → 称重	

待所有原辅料备齐后,开火,将已称重的花生油倒入锅中,用电子数显食品温度计测量油的温度在 180~220 $^{\circ}\text{C}$ 之间时,倒入已称重的姜、蒜、豆瓣、豆豉,边加边翻炒,避免焦糊,待油炒红出香后,加入已称重的猪二刀后腿肉片,待肉片变色后加入已称重的料酒、酱油、白糖,炒至肉片呈卷曲状时,倒入切好的青辣椒(大小约 2 cm×3 cm)、蒜叶(长约 3 cm),再炒

至青椒、蒜叶断生(约 60 s)即得成品。待成品冷至室温后,将主料肉片切碎(大小约为 1 mm×1 mm×1 mm)、装样、密封、编号(未添加郫县豆瓣和豆豉的样品为空白对照组,标为样品 1; m(豆瓣)=8 g 为样品 2; m(豆豉)=10 g 为样品 3; 豆瓣和豆豉总质量为 18 g,依据比例的不同,设置样品 4~样品 7,具体为:豆瓣:豆豉=3:6 为样品 4; 豆瓣:豆豉=4:5 为样品 5; 豆瓣:豆豉=6:3 为样品 6; 豆瓣:豆豉=7:2 为样品 7。

1.2.3 检测方法

1.2.3.1 顶空固相微萃取(HS-SPME) 准确称取待测样品 3.0 g 于 20 mL 样品瓶中,加入辛酸甲酯内标(0.0067 g/100 mL, 0.5 μL),于(60±0.5) °C 水浴恒温平衡 15 min,将三相萃取头插入样品瓶中顶空萃取 50 min 后,取出萃取头,再插入 GC-MS 进样口解析 3 min,检测其挥发性组分。

1.2.3.2 气相色谱-质谱(GC-MS)分析 色谱条件为进样口温度 250 °C;色谱柱为 TR-5MS(30 m×0.32 mm×0.25 μm 膜厚)石英毛细管柱;升温程序为初始温度 40 °C,保持 2 min,以 5 °C/min 升到 240 °C 保持 10 min;载气为高纯氮气,不分流模式,流速为 1 mL/min。质谱条件为连接口温度为 250 °C, EI 离子源,电子能量 70 eV,离子源温度 200 °C;质谱扫描范围(m/z)为 45~400 amu。

1.2.3.3 感官香气轮廓分析 根据前期预实验和参考文献 [18],拟定盐煎肉的感官香气评分细则和标准如表 1。由 10 名食品专业从业人员组成感官评定小组,通过培训后,对盐煎肉分别从肉香、豆瓣香、豆豉香、蒜苗香、整体香气 5 项感官指标进行单独打分。结果以平均值表示。

表 1 盐煎肉的感官香气评分细则和标准

Table 1 The sensory aroma scoring rules and standards of fried pork with salted pepper

项目	标准	分值(分)
肉香(10分)	盐煎肉香气浓郁,肉香味浓	7~10
	肉香味较浓,但不突出	3~6
	香气微弱,难以察觉	0~2
豆瓣香(10分)	盐煎肉豆瓣香气浓郁	7~10
	豆瓣香较浓,但不突出	3~6
	豆瓣香微弱,难以察觉	0~2
豆豉香(10分)	盐煎肉豆豉香气浓郁突出	7~10
	豆豉香较浓,但不突出	3~6
	豆豉香气微弱,难以察觉	0~2
蒜苗香(10分)	盐煎肉香气浓郁,肉香味更浓	7~10
	肉香味较浓,但不突出	3~6
	香气微弱,难以察觉	0~2
整体香气(10分)	整体香气浓郁,各种香气协调	7~10
	整体香气较浓,个别香气突出	3~6
	整体香气微弱,难以察觉	0~2

1.3 数据处理

定性分析:未知化合物与 NIST05 谱图库检索匹配,并结合人工解谱,仅报道匹配度 ≥ 700(最大

1000)的化合物。

半定量分析:以辛酸甲酯为内标,根据内标物的质量浓度和样品中各组分的峰面积与内标峰面积的比值,计算盐煎肉中各挥发性组分的含量。定量分析计算如下所示:

$$\rho_i = \frac{A_i}{A_0} \times \rho_0$$

式中: ρ_i 为待测物质的质量浓度, μg/kg; A_i 为待测物质的峰面积; A_0 为内标物辛酸甲酯的峰面积; ρ_0 为内标溶液的质量浓度, μg/kg。

利用气味活度值(OAV 值)对各香气成分的贡献进行评价, OAV 值的计算方法如下:

$$OAV_i = \frac{\rho_i}{\rho_T}$$

式中: OAV_i 为待测物的气味活度值; ρ_i 为待测物质的质量浓度, μg/kg; ρ_T 为该待测物的感觉阈值质量浓度, μg/kg。

用 Excel 和 Origin 软件对数据进行统计和绘图; SPSS 22 软件对香气成分进行主成分分析(PCA)分析。

2 结果与讨论

2.1 盐煎肉中挥发性成分的 GC-MS 分析结果

2.1.1 7 个盐煎肉样品挥发性风味成分的 GC-MS 分析 由表 2 可知, GC-MS 鉴定出的 7 个盐煎肉样品中挥发性风味成分共 137 种,其中烃类 21 种,醇类 12 种,酚类 6 种,醚类 8 种,醛类 22 种,酮类 6 种,酸类 6 种,酯类 12 种,杂环类 40 种,其他 4 种。其中样品 1 鉴定出的挥发性风味成分共有 60 种,共计 78.08 μg/kg; 样品 2 有 64 种,共计 250.77 μg/kg; 样品 3 有 63 种,共计 71.22 μg/kg; 样品 4 有 72 种,共计 85.62 μg/kg; 样品 5 有 57 种,共计 116.12 μg/kg; 样品 6 有 66 种,共计 44.43 μg/kg; 样品 7 有 69 种,共计 55.77 μg/kg。7 种样品共有的挥发性风味物质有 24 种,分别为:长叶烯、 α -姜烯、2-辛醇、芳樟醇、(-)-4-萜品醇、 α -萜品醇、2-茨醇、桉叶油素、二烯丙基二硫醚、辛醛、正癸醛、苯甲醛、苯乙醛、柠檬醛、2-十一烯醛、1,3-二硫酸-2-硫酮、己酸、辛酸、3,4-二甲基噻吩、2,5-二甲基吡嗪、2,5-二甲基-3-乙基吡嗪、5-甲基-6,7-二氢-5H-环戊并吡嗪、2-乙酰基吡咯、2,5-咪喃二甲醛,这些共有的挥发性风味物质为盐煎肉样品提供肉香、蒜香、青香、甜香、果香等,赋予了盐煎肉基本的风味特征。

烃类化合物阈值较高,烯炔类化合物主要来源于脂肪氧化或氨基酸氧化^[19],对风味的贡献较小^[20]。共同检出 2 种,为长叶烯和 α -姜烯。7 种样品检出的烃类差异较大,差异化检出含量较高的有 1-十一炔、1-癸炔、 β -倍半水芹烯。烯炔类化合物中 α -姜烯、 β -倍半水芹烯等为姜油的成分^[21],可能来源于盐煎肉的辅料姜。

醇类物质中不饱和醇类的阈值较低,对风味有

表 2 盐煎肉挥发性风味成分的 GC-MS 检测结果

Table 2 GC-MS detection results of volatile flavor components in fried pork with salted pepper

序号	保留时间 (min)	化合物名称	含量(μg/kg)						
			样品1	样品2	样品3	样品4	样品5	样品6	样品7
A1	6.75	邻二甲苯	—	0.82	—	—	—	0.03	0.06
A2	8.64	α -水芹烯	—	0.68	—	—	—	—	—
A3	9.12	β -蒎烯	—	1.82	0.12	0.84	—	—	—
A4	10.20	D-柠檬烯	—	2.70	—	—	—	—	—
A5	11.70	1-十一炔	1.64	13.53	—	—	—	0.50	0.43
A6	12.12	1-癸炔	—	—	1.68	—	2.85	—	0.26
A7	13.39	2-异丙基甲苯	—	0.23	—	—	—	—	—
A8	13.49	3-异丙基甲苯	—	—	—	0.45	—	—	—
A9	13.96	松油烯	—	—	—	0.87	—	—	—
A10	19.64	2-异丙烯基甲苯	—	0.53	0.14	—	—	—	0.13
A11	19.69	4-异丙烯基甲苯	—	—	—	0.85	0.16	0.07	—
A12	21.48	十五烷	—	—	0.33	0.19	0.26	0.09	0.10
A13	23.18	长叶烯	0.38	0.56	0.34	0.28	0.38	0.11	0.12
A14	23.29	1-环丙基戊烷	—	—	—	—	0.63	—	—
A15	26.77	(E)-8-十五烯	—	—	0.41	—	—	—	—
A16	26.78	(E)-8-十七烯	0.45	—	—	—	0.37	—	0.22
A17	26.78	(Z)-3-十七烯	—	—	—	—	—	0.12	—
A18	26.92	α -姜烯	0.24	0.91	0.33	0.89	0.43	0.07	0.15
A19	27.05	β -甜没药烯	—	—	0.23	0.42	—	—	—
A20	27.31	萘	—	—	—	0.03	—	—	—
A21	27.91	β -倍半水芹烯	—	—	—	1.08	—	—	—
合计			2.71	21.78	3.58	5.90	5.08	0.99	1.47
B1	12.86	1-戊醇	—	1.40	—	—	—	—	0.35
B2	16.88	1-己醇	0.40	—	—	—	—	—	—
B3	19.20	2-辛醇	9.74	10.12	10.75	9.80	13.18	10.38	12.50
B4	20.27	1-辛烯-3-醇	2.20	2.61	1.31	0.99	—	—	0.55
B5	21.47	2-乙基己醇	0.49	—	—	—	—	—	—
B6	23.06	芳樟醇	0.87	1.00	0.57	1.27	1.09	0.34	0.71
B7	23.28	1-辛醇	1.13	—	—	—	—	—	0.21
B8	24.27	(-)-4-萜品醇	0.20	0.43	0.28	0.46	0.24	0.12	0.12
B9	24.79	2-(4-甲基苯基)乙醇	—	0.41	—	0.39	0.35	0.25	—
B10	25.68	十一醇	0.03	—	—	—	—	—	—
B11	26.45	α -萜品醇	0.74	1.47	0.84	1.31	1.15	0.47	0.43
B12	26.51	2-茨醇	1.51	4.57	2.48	2.36	3.86	1.45	1.39
合计			17.31	22.01	16.23	16.58	19.87	13.01	16.26
C1	29.74	对甲氧基苯酚	—	—	0.16	0.20	0.17	—	—
C2	29.75	邻甲氧基苯酚	—	—	—	—	—	0.06	0.02
C3	30.88	4-仲丁基-2,6-二叔丁基苯酚	0.04	—	0.02	0.01	0.05	0.02	0.02
C4	33.62	对甲基苯酚	0.14	—	0.09	0.07	0.16	0.05	0.04
C5	35.09	对乙基苯酚	—	0.17	—	0.13	0.16	0.03	0.10
C6	37.13	2,4-二叔丁基苯酚	0.07	—	0.04	0.03	0.07	0.02	0.02
合计			0.25	0.17	0.31	0.44	0.61	0.18	0.20
D1	8.01	二烯丙基硫醚	—	2.88	—	0.43	0.45	0.28	0.16
D2	10.42	桉叶油素	1.79	23.27	4.00	7.35	5.37	2.28	3.72
D3	13.67	甲基烯丙基二硫醚	—	4.63	0.34	—	0.95	0.58	0.51
D4	14.15	甲基丙烯基二硫醚	—	1.51	—	—	—	—	—
D5	17.49	二丙基二硫醚	—	1.06	0.42	0.22	0.45	—	—
D6	17.53	二异丙基二硫醚	0.83	—	—	—	—	—	—
D7	21.08	二烯丙基二硫醚	2.13	67.71	3.38	9.91	10.45	3.78	3.69
D8	28.32	二烯丙基三硫醚	—	2.71	—	—	—	—	—
合计			4.75	103.77	8.14	17.91	17.67	6.92	8.08

续表 2

序号	保留时间 (min)	化合物名称	含量(μg/kg)						
			样品1	样品2	样品3	样品4	样品5	样品6	样品7
E1	4.90	己醛	—	9.03	0.52	—	—	0.37	—
E2	5.36	(E)-2-甲基-2-丁烯醛	—	0.60	—	—	—	—	—
E3	9.92	庚醛	0.23	2.09	0.10	—	—	0.04	—
E4	14.30	辛醛	2.09	3.79	0.96	0.72	1.15	0.43	0.65
E5	15.53	(Z)-2-庚烯醛	—	3.87	—	—	—	—	—
E6	16.89	可可醛	—	—	—	0.16	—	—	—
E7	18.76	5-乙基环戊烯基-1-甲醛	—	0.37	—	—	—	—	—
E8	18.80	4-甲基-3-环己烯基-1-甲醛	0.27	—	—	—	—	—	—
E9	18.80	5-乙基-1-环戊烯基-1-甲醛	—	—	—	0.15	0.22	—	—
E10	19.33	(E)-2-辛烯醛	—	2.45	—	—	—	—	—
E11	21.64	正癸醛	0.47	0.51	0.36	0.17	0.29	0.13	0.11
E12	22.27	苯甲醛	5.53	9.86	6.09	5.60	8.82	2.46	2.83
E13	24.37	十一醛	0.25	—	0.25	—	—	—	—
E14	25.30	苯乙醛	5.12	10.27	6.54	5.45	16.98	3.21	3.34
E15	26.11	(Z)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛	—	4.61	—	3.92	2.41	0.98	0.73
E16	27.19	柠檬醛	4.92	7.18	6.07	6.63	3.58	1.52	1.19
E17	27.57	2-十一烯醛	0.99	1.49	1.08	1.69	1.62	0.41	0.37
E18	28.73	(E,E)-2,4-癸二烯醛	—	1.90	—	0.53	2.42	—	—
E19	28.73	(E,E)-2,4-十二碳二烯醛	—	—	0.92	—	—	—	—
E20	28.85	3-(2-氧代环己基)丙醛	—	—	—	0.14	—	—	—
E21	33.43	5-甲基-2-苯基-2-己烯醛	—	—	—	0.51	—	—	—
E22	34.33	十五碳醛	0.08	—	—	0.03	—	—	0.01
合计			19.95	58.02	22.89	25.70	37.49	9.55	9.23
F1	14.08	3-羟基-2-丁酮	0.57	2.03	0.28	—	—	—	—
F2	16.28	6-甲基-5-庚烯-2-酮	—	0.73	—	0.45	—	—	—
F3	20.88	乙酰氧基-2-丙酮	0.09	—	—	—	—	0.02	—
F4	21.76	L-(-)-樟脑	—	0.52	—	0.24	—	—	0.10
F5	31.57	3-乙基-2-羟基环戊-2-烯酮	—	—	—	0.20	0.32	—	—
F6	39.77	1,3-二硫酸-2-硫酮	0.35	1.01	0.39	0.32	0.54	0.23	0.17
合计			1.01	4.29	0.67	1.21	0.86	0.25	0.27
G1	25.11	丁酸	0.40	—	0.42	0.18	0.62	0.18	0.18
G2	29.51	己酸	2.28	1.60	1.58	0.90	2.10	0.63	0.80
G3	33.23	辛酸	0.34	0.07	0.24	0.18	0.31	0.12	0.11
G4	34.70	(E,E)-2,4-己二烯酸	—	—	0.08	0.07	0.14	0.02	0.03
G5	36.55	癸酸	0.20	—	0.13	—	0.20	0.08	0.07
G6	46.40	棕榈酸	—	—	—	0.13	0.43	—	0.08
合计			3.22	1.67	2.45	1.46	3.80	1.03	1.27
H1	21.88	山梨酸乙酯	—	3.27	—	2.44	1.96	0.69	1.07
H2	23.29	甲酸辛酯	—	—	—	0.52	—	0.24	—
H3	24.77	苯甲酸甲酯	—	—	—	—	—	—	0.19
H4	25.79	苯甲酸乙酯	—	7.08	—	5.19	4.41	—	2.93
H5	29.34	十二酸乙酯	—	—	—	—	—	—	0.16
H6	32.37	4-羟基磷酸苯酯	—	—	0.13	0.08	—	—	—
H7	32.94	十四酸乙酯	—	—	—	0.03	0.04	0.01	0.08
H8	35.61	软脂酸甲酯	—	—	—	—	—	—	0.02
H9	36.16	软脂酸乙酯	—	—	—	0.11	—	—	0.23
H10	40.30	邻苯二甲酸异丁基-4-辛基二酯	0.09	—	—	—	—	—	—
H11	42.40	邻苯二甲酸丁基-2-戊基二酯	0.20	—	—	—	—	—	—
H12	42.40	邻苯二甲酸丁基环己酯	—	—	—	0.02	—	—	—
合计			0.29	10.35	0.13	8.39	6.41	0.94	4.68
I1	12.75	3,4-二甲基噻吩	2.81	6.20	1.93	1.73	2.42	0.66	0.37
I2	13.29	2-甲基吡嗪	0.87	2.19	0.96	—	—	0.75	0.26
I3	13.30	2-甲基噻啶	—	—	—	0.07	1.34	—	—

续表 2

序号	保留时间 (min)	化合物名称	含量(μg/kg)						
			样品1	样品2	样品3	样品4	样品5	样品6	样品7
I4	15.41	2,5-二甲基吡嗪	0.83	1.79	0.69	0.38	1.25	0.63	0.39
I5	15.57	4,6-二甲基嘧啶	1.04	—	0.82	0.54	—	—	0.32
I6	15.67	2,6-二甲基吡嗪	—	—	—	—	—	0.48	—
I7	16.31	2,3-二甲基吡嗪	0.77	0.60	0.55	—	0.80	0.39	0.09
I8	17.37	3-乙基吡啶	—	0.36	—	—	—	—	—
I9	17.70	6-甲基-2-乙基吡嗪	0.47	0.56	0.34	0.22	—	0.31	0.14
I10	17.76	5-甲基-2-乙基吡嗪	—	—	0.19	0.10	0.91	0.15	0.04
I11	18.42	3-甲基-2-乙基吡嗪	0.01	1.12	0.04	—	0.12	0.02	0.01
I12	18.31	2,3,5-三甲基吡嗪	—	0.80	—	—	—	—	—
I13	18.56	5-甲基-2-乙基吡啶	—	—	—	—	—	0.05	0.02
I14	18.52	2-甲基-5-乙基吡啶	—	0.37	—	—	—	—	—
I15	19.81	2,5-二甲基-3-乙基吡嗪	1.12	1.15	1.20	0.91	1.54	0.79	0.43
I16	20.71	3-呋喃甲醛	—	4.76	—	—	—	—	—
I17	20.73	糠醛	3.72	—	2.04	—	—	—	0.67
I18	20.73	2-呋喃甲醛	—	—	—	0.68	4.22	2.63	—
I19	21.36	5-甲基-2,3-二乙基吡嗪	—	—	—	—	—	0.04	—
I20	21.37	2-甲基-3,5-二乙基吡嗪	—	—	0.03	—	—	—	—
I21	21.86	2-乙酰呋喃	0.75	—	0.59	—	—	—	—
I22	22.85	乙酸-2-呋喃甲醇酯	—	—	—	—	—	0.07	—
I23	23.68	5-甲基糠醛	4.57	—	—	1.17	3.78	2.17	0.78
I24	23.68	5-甲基-2-呋喃甲醛	—	4.29	2.54	—	—	—	—
I25	24.61	5-甲基-6,7-二氢-5H-环戊并吡嗪	0.56	0.46	0.39	0.15	0.41	0.19	0.08
I26	25.52	2,5-二甲基-3-(3-甲基丁基)吡嗪	0.02	—	0.15	0.14	0.09	0.07	0.01
I27	25.80	3-呋喃甲醇	1.35	—	0.84	—	—	—	—
I28	26.31	2-甲基-6-乙酰吡嗪	0.24	—	—	—	—	—	—
I29	26.31	1-(6-甲基-2-吡嗪基)乙酮	—	—	—	—	—	0.21	—
I30	26.65	环己烷并吡嗪	—	—	—	—	—	0.05	—
I31	26.66	5,6,7,8-四氢喹啉	—	—	0.08	—	—	—	—
I32	27.70	2-乙酰基-2-噻唑啉	0.21	0.28	0.16	—	0.29	0.13	0.04
I33	29.63	3-苯基呋喃	—	—	—	0.19	—	—	—
I34	30.99	2,3-二氢-1H-茛-4-羧醛	—	—	—	0.08	—	0.03	0.02
I35	31.41	2-甲基-3-甲氧基-4H-吡喃-4-酮	—	—	—	0.17	—	—	—
I36	31.73	2-乙酰基吡咯	0.49	0.60	1.24	1.31	2.26	0.39	0.37
I37	31.91	2,5-呋喃二甲醛	0.17	0.42	0.10	0.02	0.10	0.07	0.04
I38	33.96	N-甲基-2-吡咯甲醛	—	—	0.12	—	—	—	—
I39	38.34	2,3-二氢苯并呋喃	—	—	—	—	—	0.04	0.04
I40	39.08	吡嗪	0.09	—	0.10	—	—	—	—
合计			20.09	25.95	15.10	7.86	19.53	10.32	4.12
J1	20.54	乙酸铵	0.63	—	—	—	—	—	—
J2	27.92	甲氧基苯胺	7.87	2.76	1.72	—	4.37	1.13	10.06
J3	39.12	苯甲酸甲酰胺	—	—	—	0.17	—	0.11	—
J4	39.12	N,N'-二苯甲酰氧基庚二酰胺	—	—	—	—	0.43	—	0.13
合计			8.50	2.76	1.72	0.17	4.80	1.24	10.19

注: “—”表示未在对应样品中检测到该物质。

一定贡献。7 种样品的醇类化合物检出含量相近, 相同的物质有: 2-辛醇、芳樟醇、(-)-4-萜品醇、 α -萜品醇、2-茨醇; 其中 2-辛醇的 OAV 值最大, 对盐煎肉样品的风味贡献最大。差异化醇类化合物中含量较高的为 1-辛烯-3-醇、1-辛醇。其中 1-辛烯-3-醇具有蘑菇香味, 1-辛醇具有脂肪味、坚果味。所以样品的蘑

菇香味、脂肪味和坚果味程度不同。

酚类检出较少, 对风味有一定的调整作用^[22]。其中 2,4-二叔丁基苯酚为食品抗氧化剂, 可能来源于花生油。

醚类检出基本为硫醚, 其阈值较低, 具有蒜香、洋葱香气^[23], 在痕量的条件下也会对菜肴的特征风味

产生重要影响^[24]。硫醚类化合物可能是由硫醇类化合物反应而来,检出的硫醚类化合物一般具有大蒜香气,对特色川菜盐煎肉的特征风味具有重要的影响。检出的物质中,7种样品中相同的物质为桉叶油素和二烯丙基二硫醚,其中二烯丙基二硫醚具有强烈葱蒜气味,在7种样品中含量均较高,是大蒜的典型风味物质^[25],由此形成了盐煎肉中典型的蒜香风味。酚类总体含量较小,但由于含苯环的醚大多具有强烈的愉快香气^[26],因此对于风味也有一定的影响。

醛类化合物和醇类化合物主要来自脂肪的氧化分解和氨基酸的降解,其中醛类风味阈值低^[27],对风味贡献大^[28]。且醛类化合物的检出含量在众多种类中较高,有脂肪香气,是肉香味的重要组成^[29-30]。所有样品中相同醛类有辛醛、正癸醛、苯甲醛、苯乙醛、柠檬醛、2-十一烯醛,共同赋予了盐煎肉样品的肉香、甜香和青香,青香和甜香可能来源于盐煎肉的配菜青菜椒和蒜叶,所以盐煎肉样品的基本风味肉香、甜香和青香相同。差异化检出中含量较高的是己醛、庚醛、(Z)-2-庚烯醛、(E)-2-辛烯醛、(Z)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛、(E,E)-2,4-癸二烯醛;其中己醛、(Z)-2-庚烯醛、(E)-2-辛烯醛、(Z)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛具有青香、果香,庚醛、(E,E)-2,4-癸二烯醛具有脂肪味、油味,所以各样品均具有青香、脂肪味,但程度有差异。

酮类化合物多数具有较高的阈值,酮类化合物可能是醇类的氧化物或酯类的分解产物^[31],对风味的贡献不显著,但是有些酮类是形成杂环化合物的重要中间体,对肉香味的形成起着不可忽视的作用^[32]。本

实验共鉴定出6种酮类化合物,差异检出部分含量较大的为3-羟基-2-丁酮,具有奶油香气。

一般C1~C10的酯类具有水果的风味,长链酯类具有更多油脂的味道^[33],但长链脂肪酸风味阈值较高,所以应该是短链酯类在香气构成中发挥作用^[34],对食品风味的贡献较大^[35]。7种样品未检出相同酯类,差异化检出中含量较高的为山梨酸乙酯、苯甲酸乙酯,具有较强冬青油和水果香气^[36]。且样品中主要检出的为甲酯和乙酯,这些酯香物质主要赋予了菜肴果香气。

杂环化合物阈值较低,多具有肉香^[21],在痕量的条件下也会对菜肴的特征风味产生重要影响^[22]。鉴定出40种,共同检出6种:3,4-二甲基噻吩、2,5-二甲基吡嗪、2,5-二甲基-3-乙基吡嗪、5-甲基-6,7-二氢-5H-环戊并吡嗪、2-乙酰基吡咯、2,5-呋喃二甲醛,因此形成了盐煎肉中典型的肉香风味。而在差异化检出中含量较高的物质为2-甲基吡嗪、4,6-二甲基嘧啶、2,3-二甲基吡嗪、6-甲基-2-乙基吡嗪、5-甲基-2-乙基吡嗪、3-甲基-2-乙基吡嗪、3-呋喃甲醛、糠醛、2-呋喃甲醛、2-乙酰呋喃、5-甲基糠醛、5-甲基-2-呋喃甲醛、3-呋喃甲醇。其中2-甲基吡嗪、3-甲基-2-乙基吡嗪具有烤味。因此,盐煎肉样品的肉香风味相似,但烤味和坚果味上有差异。可能与各样品中郫县豆瓣和豆豉的添加量不同有关。

2.1.2 7种盐煎肉的挥发性风味物质的变化 由表3可知,样品1~样品7中,挥发性风味化合物相对含量较高的均为醛类、醇类、杂环类、醚类,但相对含量的比例有差异。同时添加豆瓣和豆豉的样品

表3 7种盐煎肉的挥发性风味物质的变化

Table 3 Changes of volatile flavor compounds in 7 kinds of fried pork with salted pepper

项目	烃类	醇类	酚类	醚类	醛类	酮类	酸类	酯类	杂环类	其他	
样品1	种类	4	10	3	3	10	3	4	2	19	2
	含量(μg/kg)	2.71	17.31	0.25	4.75	19.95	1.01	3.22	0.29	20.09	8.50
	相对含量(%)	3.48	28.61	0.33	6.10	19.03	1.30	4.13	0.37	25.76	10.90
样品2	种类	9	8	1	7	14	4	2	2	16	2
	含量(μg/kg)	21.78	22.01	0.17	103.77	58.02	4.29	1.67	10.35	25.95	3.51
	相对含量(%)	8.66	8.75	0.07	41.25	23.07	1.70	0.67	4.12	10.31	1.40
样品3	种类	8	6	4	4	10	2	5	1	22	2
	含量(μg/kg)	3.58	16.23	0.31	8.14	22.89	0.67	2.45	0.13	15.10	2.36
	相对含量(%)	4.99	31.66	0.44	11.32	22.74	0.94	3.42	0.18	21.02	3.29
样品4	种类	10	7	5	4	13	4	5	7	16	6
	含量(μg/kg)	5.90	16.58	0.44	17.91	25.70	1.21	1.46	8.39	7.86	3.09
	相对含量(%)	6.68	18.72	0.49	20.22	29.03	1.37	1.66	9.47	8.87	3.48
样品5	种类	7	6	5	5	9	2	6	3	14	2
	含量(μg/kg)	5.08	19.87	0.61	17.67	37.49	0.86	3.80	6.41	19.53	4.80
	相对含量(%)	4.37	17.12	0.53	15.23	32.29	0.74	3.27	5.53	16.80	4.13
样品6	种类	7	6	5	4	9	2	5	3	23	3
	含量(μg/kg)	0.99	13.01	0.18	6.92	9.55	0.25	1.03	0.94	10.32	1.26
	相对含量(%)	2.20	29.29	0.36	14.25	21.50	0.56	2.31	2.13	24.55	2.85
样品7	种类	8	8	5	4	8	2	6	7	19	3
	含量(μg/kg)	1.47	16.26	0.20	8.08	9.23	0.27	1.27	4.68	4.12	10.27
	相对含量(%)	2.65	29.10	0.36	14.46	16.52	0.48	2.28	8.39	7.37	18.39

4~7 中, 醇类、酯类物质先减少后增加; 醚类、酮类物质呈减少趋势; 醛类、酸类、杂环类物质先增加后减少。说明在郫县豆瓣和豆豉不同添加量时, 在烹饪的热加工过程中, 主辅料相互作用, 各挥发性风味成分在各样品中的相对含量发生了变化, 即郫县豆瓣和豆豉的总质量一定, 比例不同时, 风味化合物的组成比例结构会发生改变。具体风味成因还有待进一步研究。

2.1.3 7 种盐煎肉样品中挥发性风味成分 OAV>1 的化合物 对盐煎肉样品的挥发性风味成分进行气味活度值(Odor Activity Value, OAV)分析, 结果如表 4 所示。7 种盐煎肉样品共有的 OAV>1 的风味物质有 2-辛醇、桉叶油素、己酸、2,5-二甲基吡嗪、2,5-二甲基-3-乙基吡嗪, 赋予了盐煎肉样品肉香、青香、果香和草药味。其中赋予盐煎肉样品果香、青香的 2-辛醇 OAV 最大, 样品 1~7 分别为 505.44、506.00、537.50、490.00、659.00、519.00、625.00, 说明 2-辛醇对盐煎肉样品的风味贡献最大。

以样品 1 为参照, 只添加郫县豆瓣的样品 2 中 OAV>1 的风味物质新增了二烯丙基二硫醚、二烯丙基硫醚、(E,E)-2,4-癸二烯醛、(E)-2-辛烯醛, 桉叶油素 OAV 为样品 1 的 12.5 倍, 桉叶油素含量的增加, 可能是样品 2 添加了郫县豆瓣的缘故。辛醛、2,5-二甲基吡嗪、3,4-二甲基噻吩的 OAV 约为样品 1 的 2 倍, 结合各物质的香味可得出, 样品 2 可能有更强的蒜香、葱香、油脂香气、青香和草药味。

只添加豆豉的样品 3, OAV>1 的风味物质新增

了 5-甲基-2-乙基吡嗪, 桉叶油素, 苯乙醛的 OAV 增加约 2 倍, 其中豆瓣和豆豉的关键风味成分苯乙醛^[14,39]得到了很好的保留, 1-己醇、1-辛醇、辛醛、己酸、2,5-二甲基吡嗪的 OAV 减少, 结合各物质的香味可得出, 样品 3 的烤香、坚果香气、花香、甜香可能增强, 而果香、青香、脂肪味和油味可能减弱。

样品 4 中二烯丙基二硫醚、二烯丙基硫醚、(E,E)-2,4-癸二烯醛、5-甲基-2-乙基吡嗪、苯乙醛、2-十一烯醛的 OAV 增加。1-己醇、1-辛烯-3-醇、1-辛醇、辛醛、己酸、3,4-二甲基噻吩、2,5-二甲基吡嗪的 OAV 减少。结合各物质的香味可得出, 样品 4 的蒜香、葱香、脂肪香气、坚果香、烤香、花香、甜香可能增强, 而果香、蘑菇香味、草药味可能减弱。

样品 5 中 2-辛醇、二烯丙基硫醚、桉叶油素、二烯丙基二硫醚、苯乙醛、(E,E)-2,4-癸二烯醛、2,5-二甲基吡嗪、5-甲基-2-乙基吡嗪的 OAV 增加。豆瓣和豆豉的关键风味成分苯乙醛^[14,39]的贡献得到体现; 同时, 对比(E,E)-2,4-癸二烯醛在 7 个样品中的 OAV 值, 发现在样品 5 中最高, 由此可知, 由(E,E)-2,4-癸二烯醛提供的油脂香气^[37]在样品 5 中最浓。1-己醇、1-辛烯-3-醇、1-辛醇、辛醛的 OAV 减少, 结合各物质的香味可得出, 样品 5 的蒜香、葱香、果香、青香、草药味、花香、甜香、油脂味、坚果香、烤香可能增强, 而蘑菇香味可能在减弱。

样品 6 中二烯丙基硫醚、5-甲基-2-乙基吡嗪的 OAV 增多, 1-己醇、1-辛烯-3-醇、芳樟醇、1-辛醇、辛醛、苯乙醛、2-十一烯醛、己酸、3,4-二甲基噻吩、

表 4 7 种盐煎肉样品中挥发性风味成分 OAV>1 的化合物列表

Table 4 List of compounds with volatile flavor components OAV>1 in 7 fried pork with salted pepper samples

序号	阈值(μg/kg)	化合物名称	OAV值							风味描述	
			样品1	样品2	样品3	样品4	样品5	样品6	样品7		
B1	0.67	1-戊醇	-	2.09	-	-	-	-	-	-	果香, 花香
B2	0.16	1-己醇	2.5	-	-	-	-	-	-	-	果香
B3	0.02	2-辛醇	505.44	506.00	537.50	490.00	659.00	519.00	625.00	-	果香, 青香
B4	1	1-辛烯-3-醇	2.29	2.61	1.31	-	-	-	-	-	蘑菇香
B6	0.8	芳樟醇	1.09	1.25	-	1.59	1.36	-	-	-	铃兰香
B7	0.042	1-辛醇	1.13	-	-	-	-	-	-	5.00	果香, 脂肪味
D1	0.05	二烯丙基硫醚	-	57.60	-	8.60	9.00	5.60	3.20	-	生蒜味
D2	1.3	桉叶油素	1.43	17.90	3.08	5.65	4.13	1.75	2.86	-	草药味
D7	0.22	二烯丙基二硫醚	-	307.77	-	45.05	47.50	-	-	-	生蒜辛辣味
E1	4.5	己醛	-	2.01	-	-	-	-	-	-	青香
E4	0.5	辛醛	4.34	7.58	1.92	1.44	2.30	-	1.30	-	脂肪味、油味
E10	0.08	(E)-2-辛烯醛	-	30.63	-	-	-	-	-	-	青香、焦甜香
E14	2	苯乙醛	1.29	5.14	3.27	2.73	8.49	-	-	-	花香、甜香
E17	0.78	2-十一烯醛	1.32	1.91	1.38	2.17	2.08	-	-	-	蜡香、青香
E18	0.05	(E,E)-2,4-癸二烯醛	-	38.00	-	10.60	48.40	-	-	-	油脂味
G2	0.42	己酸	5.63	3.81	3.76	2.14	5.00	1.50	1.90	-	奶酪、果香
I1	1.3	3,4-二甲基噻吩	2.24	4.77	1.48	1.33	1.86	-	-	-	青香、嫩叶香
I5	0.02	2,5-二甲基吡嗪	43.22	89.50	34.50	19.00	62.50	31.50	19.50	-	草药味
I11	0.04	5-甲基-2-乙基吡嗪	-	-	4.75	2.50	22.75	3.75	-	-	坚果香、烤香
I16	0.4	2,5-二甲基-3-乙基吡嗪	2.92	2.88	3.00	2.28	3.85	1.98	1.08	-	青香

注: OAV值大于1说明对样品风味有贡献;“-”表示不含该物质或者其OAV<1;风味描述参考文献^[37-38]。

2,5-二甲基吡嗪、2,5-二甲基-3-乙基吡嗪的 OAV 减少,结合各物质的香味可得出,样品 6 的蒜香、葱香、烤香、坚果香在可能在增强,而果香、蘑菇香味、铃兰香味、脂肪味、油味、花香、甜香、青香可能在减弱。

样品 7 中 2-辛醇、1-辛醇、二烯丙基硫醚、桉叶油素 OAV 在增加,1-己醇、1-辛烯-3-醇、芳樟醇、辛醛、苯乙醛、2-十一烯醛、己酸、3,4-二甲基噻吩、2,5-二甲基吡嗪、2,5-二甲基-3-乙基吡嗪的 OAV 在减小,结合各物质的香味可得出,样品 7 中蒜香、葱香、草药味可能在增强,蘑菇香味、铃兰香味、花香、甜香可能在减弱。

2.1.4 盐煎肉挥发性风味物质的主成分(PCA)分析

主成分分析(PCA)是一种多元统计分析方法,通过降维,将多个有一定关联的变量进行线性变换成少数几个互不关联的主成分来揭示多个变量间的关系。由图 1 可知,PCA_1(99.18%)和 PCA_2(0.19%)之和大于 85%,说明降维时有效信息得到了很好的保留。样品 2 的 PCA_1 和 PCA_2 与其他样品存在明显的差异,说明郫县豆瓣可显著改变盐煎肉的风味;样品 3 和样品 6 的 PCA_1 和 PCA_2 近乎重叠,说明二者风味近乎相同;样品 4 和样品 7 的 PCA_1 和 PCA_2 均相近,说明二者风味差异较小;同时添加郫县豆瓣和豆豉的样品中仅样品 5 在第一象限,说明样品 5 的风味与其余同时添加郫县豆瓣和豆豉的样品间风味有明显差异。

2.2 盐煎肉感官香气轮廓分析

采用感官香气评鉴方法分析郫县豆瓣和豆豉不同添加量的盐煎肉中主要的 4 种香气风味类型的强度,见图 2。由图 2 可知,各盐煎肉样品的风味轮廓存在差异。空白对照组(样品 1)因未加郫县豆瓣和豆豉,所以无豆瓣和豆豉香,其肉香突出、蒜苗香气较浓,整体香气强度中等;样品 2 中肉香、豆瓣香气浓,整体香气强度较强;样品 3 肉香突出、豆豉香气

浓,整体香气强度偏低;样品 4 肉香较浓,整体香气强度较强;样品 5 肉香最为突出、风味协调浓郁,整体香气强度最强;样品 6 和样品 7 肉香气较淡,整体香气强度偏低。结合半定量分析结果和 OAV 分析可知,香气强度与盐煎肉中呈香物质的含量不成正比,当盐煎肉中关键风味物质相同时,香气强度和呈香特征也不相同,可能与各呈香物质的 OAV 值及比例有关,具体成因待进一步研究。

3 结论

采用顶空固相微萃取-气质连用(HS-SPME-GC-MS)技术分析郫县豆瓣和豆豉对经典川菜盐煎肉挥发性风味成分的影响。结果表明:GC-MS 共检测到 137 种挥发性风味物质,其中烃类 21 种,醇类 12 种,酚类 6 种,醚类 8 种,醛类 22 种,酮类 6 种,酸类 6 种,酯类 12 种,杂环类 40 种,其他类 4 种。样品 1~样品 7 中含有的挥发性风味化合物种数及浓度依次为:60、64、63、72、57、66、69 种,78.08、250.77、71.22、85.62、116.12、44.43、55.77 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。7 种样品共有的挥发性风味物质有 24 种,这些共有的挥发性风味物质大多来源于主料肉、配菜蒜苗和香辛料,主要风味表现为肉香、青香、甜香,因此 7 种样品主体的“盐煎肉”风味相似。

结合 OAV 分析可知,赋予盐煎肉样品果香、青香的 2-辛醇 OAV 最大,分别为 505.44、506.00、537.50、490.00、659.00、519.00、625.00,说明 2-辛醇对盐煎肉样品的风味贡献最大。各样品的关键风味物质种类和贡献度差异较大。

PCA 分析显示,同时添加郫县豆瓣和豆豉的样品中,样品 4 和样品 5 在 OAV 分析中的关键风味物质种类相同,但 OAV 不同,所以 PCA 分析中二者分开分布;结合感官轮廓分析,样品 5 的接受度最高,说明在主料:猪二刀后腿肉 100 g,辅料:花生油 30 g、料酒 4 g、酱油 3 g、白糖 2 g、姜 3 g、蒜 3 g、青菜

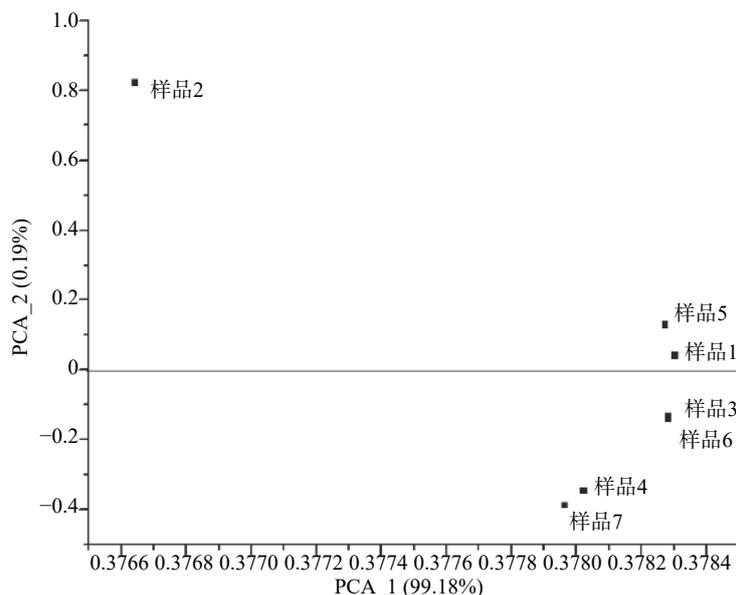


图 1 盐煎肉挥发性风味物质主成分分析图

Fig.1 Principal component analysis diagram of volatile flavor compounds in fried pork with salted pepper

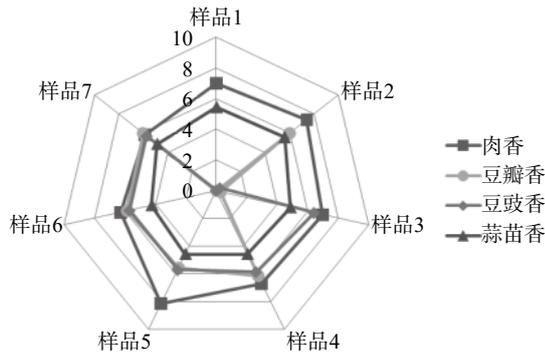


图 2 盐煎肉的感官香气轮廓分析

Fig.2 Analysis of sensory aroma profile of fried pork with salted pepper

椒 32 g、蒜叶 24.5 g(蒜白:蒜叶=2:5)、 m (郫县豆瓣+豆豉)=18 g 且 m (郫县豆瓣): m (豆豉)=4:5 时,盐煎肉咸淡适宜、肉香、蒜香、青香等香气协调浓郁,为最佳风味质量比;同时也说明样品的香气并非呈香物质的简单叠加,具体呈香机理还需进一步研究。本研究结果可为特色川菜盐煎肉的标准、工业化生产及进一步研究风味物质形成的机理提供理论支撑。

参考文献

- [1] 李幼筠.“郫县豆瓣”剖析[J]. *中国酿造*, 2008, 27(6): 19-23.
- [2] 余浪, 阙建全. 传统豆瓣的研究进展[J]. *中国调味品*, 2008, 33(5): 26-31.
- [3] 罗静, 赵红宇, 徐炜桢, 等. 郫县豆瓣后发酵过程中挥发性呈香物质测定及主成分分析[J]. *食品科学*, 2018, 39(18): 209-216.
- [4] 王雪梅, 孙文佳, 李亚隆, 等. 不同产地鲜辣椒发酵郫县豆瓣的品质分析[J]. *食品科学*, 2020, 41(10): 213-221.
- [5] 黄著, 彭熙敏, 刘超兰, 等. 郫县豆瓣挥发性香气成分剖析及其在陈酿过程中的变化研究[J]. *中国调味品*, 2009, 34(3): 106-111.
- [6] 刘平, 翟刚, 陈功, 等. 郫县豆瓣特征香气物质的研究鉴定[J]. *中国酿造*, 2015, 34(1): 27-32.
- [7] 易宇文, 陈刚, 郑亚伦, 等. 基于电子鼻和气质联用分析干燥方式对郫县豆瓣风味的影响[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(23): 261-266.
- [8] 刘燕, 王雪梅, 陶璇, 等. 不同干燥方法对郫县豆瓣挥发性风味成分的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2018, 44(9): 110-116.
- [9] 贾洪峰, 何江红, 袁新宇, 等. 电子鼻在不同豆瓣产品识别中的应用[J]. *食品科学*, 2011, 32(12): 178-182.
- [10] 贾洪峰, 阎红, 辛松林, 等. 电子鼻在低盐调味豆瓣分析中的应用[J]. *中国调味品*, 2015, 40(3): 104-107.
- [11] 徐炜桢, 赵红宇, 杨懿, 等. 郫县豆瓣后发酵过程中细菌群落与呈香物质相关性研究[J]. *食品与发酵工业*, 2018, 44(9): 22-28.
- [12] 李伟丽, 袁旭, 刘玉淑, 等. 郫县豆瓣酱风味成分的全二维气相色谱-飞行时间质谱分析[J]. *食品科学*, 2019, 40(6): 261-265.
- [13] Zhang X, Yun L J, Peng L B, et al. Optimization of Douchi fibrinolytic enzyme production by statistical experimental methods[J]. *Journal of Huazhong University of Science and Technology*, 2013, 33(1): 153-158.
- [14] 何桂强, 梁如, 黄钧, 等. 毛霉型和曲霉型豆豉特征风味的

研究[J]. *食品科技*, 2016, 41(4): 260-265.

- [15] 谢靓, 蒋立文, 涂彬, 等. 电子舌-固相微萃取-气相色谱-质谱联用比较 3 种不同干燥方式对浏阳豆豉品质的影响[J]. *食品科学*, 2016, 37(22): 92-98.
- [16] 秦礼康, 丁霄霖. 传统陈窖豆豉和霉菌型豆豉挥发性风味化合物研究[J]. *食品科学*, 2005, 26(8): 275-280.
- [17] 国内贸易部饮食服务业管理司. 烹调工艺[M]. 北京: 中国商业出版社, 1994: 106, 200.
- [18] 黄本婷, 张佳敏, 王卫, 等. 不同加工工艺对预调理回锅肉的品质影响[J]. *中国调味品*, 2020, 45(3): 11-14.
- [19] Stahnke L H. Dried sausages fermented with *Staphylococcus xylosum* at different temperatures and with different ingredient levels[J]. *Meat Science*, 1995, 41(2): 211-223.
- [20] 孙宝国, 何坚. 香料化学与工艺学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 85-87.
- [21] 孙亚青, 李景明, 李丽梅, 等. 姜精油的 GC-MS 分析研究[J]. *食品发酵工业*, 2004, 30(6): 95-99.
- [22] 贾洪峰, 梁爱华, 秦文, 等. 气质联用法分析鱼香肉丝中的挥发性风味物质[J]. *食品研究与开发*, 2011, 32(3): 121-125.
- [23] Ruiz J, Ventanas J. New device for direct extraction of volatiles in solid samples using SPME[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2001, 49(11): 5115-5121.
- [24] Winter M, Gautschi F, Flament I, et al. Table XIX: US, 3702253[P]. 1972-11-07.
- [25] 周春丽, 陈超, 李玉萍, 等. 固相微萃取-气质联用鉴定新鲜大蒜风味成分[J]. *食品工业*, 2013, 34(6): 210-212.
- [26] 陈海涛, 张宁, 徐晓兰, 等. SPME 和 SDE-GC-MS 分析贾永信腊羊肉挥发性风味成分[J]. *食品科学*, 2013, 34(14): 187-191.
- [27] 罗章, 马美湖, 孙术国, 等. 不同加热处理对牦牛肉风味组成和质构特性的影响[J]. *食品科学*, 2012, 33(15): 148-154.
- [28] 刘源. 鸭肉风味及其在加工过程中的变化研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2006.
- [29] Mottram D S. Flavour formation in meat and meat products: A review[J]. *Food Chemistry*, 1998, 62(4): 415-424.
- [30] Xie Jianchun, Sun Baoguo, Zheng Fuping, et al. Volatile flavor constituents in roasted pork of mini-pig[J]. *Food Chemistry*, 2008, 109(3): 506-514.
- [31] Du M, Alan D U. Volatile substance of Chinese traditional Jinhua hamand Cantonese sausage[J]. *Food Chemistry and Toxicology*, 2001, 66(6): 827-831.
- [32] Wettasinghe M, Vasanthan T, Temelli F, et al. Volatiles from roasted by products of the poultry processing industry[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2000, 48(8): 3485-3492.
- [33] Lund P, Hölmer G. Characterization of volatiles from cultured dairy spreads during storage by dynamic headspace GC/MS[J]. *European Food Research and Technology*, 2001, 212(6): 636-642.
- [34] 索化夷, 赵欣, 霁宇, 等. 永川豆豉发酵过程中香气的变化[J]. *食品科学*, 2015, 36(20): 95-100.
- [35] 苗志伟, 柳金龙, 官伟, 等. 北京产干黄酱中挥发性风味成分分析[J]. *食品科学*, 2011, 32(20): 151-156.
- [36] 李善吉, 黎盛. 食用香料苯甲酸乙酯合成新工艺研究[J]. *食品研究与开发*, 2006, 27(6): 43-45.
- [37] 林翔云. 调香术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2001.
- [38] George A, Burdock, Ph D. Fenaroli's handbook of flavor ingredients[M]. The 6th Edition. London: CRC Press, 2010.
- [39] 黄湛. 郫县豆瓣特征香气的鉴定及其形成规律研究[D]. 成都: 西华大学, 2016.