

## 川味麻辣香肠的理化和微生物特性及挥发性风味物质分析

何济坤, 牛茵, 吴双慧, 蔡自建, 陈娟\*  
(西南民族大学食品科学与技术学院 成都 610041)

**摘要** 以成都地区的香肠为研究对象,采用顶空固相微萃取-气相色谱/质谱联用等方法,分析川味麻辣香肠的理化和微生物特性以及挥发性风味物质组成与含量。结果显示,川味麻辣香肠的水分含量为(10.69±0.51)%,pH 值为 5.66±0.04,亚硝酸盐含量为(2.31±0.21)mg/kg,硫代巴比妥酸反应物(TBARS)含量为(1.04±0.12)mg/kg,亮度值( $L^*$ )、红度值( $a^*$ )、黄度值( $b^*$ )分别为 40.97±1.02,20.68±0.59,26.44±0.79,细菌总数为(7.68±0.21)lg(CFU/g),葡萄球菌数为(6.49±0.2)lg(CFU/g),疑似乳酸菌数为(7.93±0.18)lg(CFU/g),疑似肠杆菌数为(4.54±0.2)lg(CFU/g)。从挥发性物质检测结果以及气味活度值(OAV)法分析可知,样品中 OAV 值大于 1 的共有挥发性物质有 20 种,是川味麻辣香肠的主要挥发性风味物质,其中芳樟醇、4-烯丙基苯甲醚、癸酸乙酯、对丙烯基茴香醚、辛酸乙酯、 $\beta$ -石竹烯、 $\beta$ -蒎烯、 $\beta$ -水芹烯、苯乙烯、 $\alpha$ -水芹烯等对香肠风味的影响较大。对主要挥发性风味物质进行主成分载荷图分析,得出(1*R*,5*R*)-rel-香芹醇、苯乙醇、乙酸橙花酯、4-烯丙基苯甲醚、4-萜烯醇、萜品油烯等物质赋予香肠香芹、水果、花香、甘草、茴香、松节油、肉豆蔻、木头等气味特征。研究结果揭示了川味麻辣香肠的理化和微生物特性、主要挥发性风味物质及风味特征,为川味麻辣香肠的深入研究奠定了基础,同时对其生产和新技术等的应用推广提供了参考。

**关键词** 川味麻辣香肠; 理化和微生物特性; 挥发性风味物质; 香辛料

**文章编号** 1009-7848(2024)05-0393-12 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2024.05.033

发酵香肠是将搅碎的鲜肉(猪、牛、羊肉等)、动物脂肪、盐、糖、发酵剂和香辛料等灌进肠衣,由微生物进行发酵而成的香肠制品<sup>[1]</sup>。其中川味麻辣香肠是我国知名的传统发酵香肠,有着味重麻辣的特点,在制作中常添加花椒、胡椒、辣椒等香辛料,这些香辛料在香肠中可以起到调色、调香、增味、抗菌、防腐以及抗氧化等作用<sup>[2]</sup>。

川味麻辣香肠作为四川地区传统腌腊制品的典型代表之一,其市场需求量在不断扩大,对其的研究也不断增多。余静等<sup>[3]</sup>对四川地区市售香肠的品质特性进行了研究,测定了香肠的水分含量、水分活度、pH 值、NaCl 含量、亚硝酸盐含量、硫代巴比妥酸反应物(Thiobarbituric acid reactive substances, TBARS)含量等指标,揭示了四川地区香肠产品的基本理化特性。常海军等<sup>[4]</sup>对重庆城口市的香肠进行挥发性风味物质测定,确定了烯烃类、醇类、酯类、芳香类化合物、醛类等物质是该市香肠的主体风味物质。伍勇等<sup>[5]</sup>在川味香肠加工中添加发酵蔬菜粉,提高了川味香肠的安全性和感官

品质。此外,还有许多关于通过添加不同发酵剂<sup>[6]</sup>、改善配方<sup>[7]</sup>等方式提高香肠品质的研究。

川味麻辣香肠的制作没有明确的配方,且大多未添加发酵剂,产品品质差异较大。目前对于川味麻辣香肠的研究主要集中在实验室自制香肠上,对市售川味麻辣香肠的研究较少,这可能导致一些新技术、新配方的应用推广受限。本研究以成都地区市售的川味麻辣香肠为研究对象,采用顶空固相微萃取-气相色谱质谱联用技术(Headspace solid-phase microextraction/gas chromatography-mass spectrometer, HSSPME-GC/MS)等方法检测川味麻辣香肠的理化和微生物特性及挥发性风味物质组成与含量。结合气味活度值(Odor activity value, OAV)和主成分分析方法(Principal component analysis, PCA)分析香肠中主要挥发性风味物质和风味特征,为此类香肠的生产提供技术依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 材料与试剂

##### 1.1.1 材料

1.1.1.1 香肠样品 购自成都市 4 个城区 12 个

收稿日期: 2023-05-22

基金项目: 四川省自然科学基金面上项目(2022NSFSC0118)

第一作者: 何济坤,男,硕士生

通信作者: 陈娟 E-mail: chenj1221@126.com

农贸市场的商户自制川味麻辣香肠。分别为成华区(S1、S2、S3)、武侯区(S4、S5、S6)、锦江区(S7、S8、S9)、青羊区(S10、S11、S12)。

1.1.1.2 试剂 环己酮(分析纯级),成都化夏化学试剂有限公司;氯化钠(分析纯级)、2-硫代巴比妥酸(含量 $\geq 98.5\%$ ),北京索莱宝(Solarbio)科技有限公司;乙酸、氢氧化钾、三氯乙酸、三氯甲烷、硝酸钠、亚硝酸钠(以上试剂均为分析纯级)、丙酮(色谱纯级),成都科隆试剂有限公司;C7~C40正构烷烃混合标准品,上海安谱实验科技股份有限公司。

1.1.1.3 培养基 PCA培养基、VRBGA培养基、MSA培养基、MRSA培养基,青岛海博生物有限公司。

1.1.2 仪器与设备 MLS-3030CH高温高压灭菌锅,日本三洋电器股份有限公司;HR83水分含量测定仪,瑞士梅特勒托利多公司;XHF-D高速分散器,宁波新芝生物有限公司;pH-star,德国Matthaus公司;UV1810S紫外分光光度计,上海佑科仪器有限公司;色差仪CR-400,柯尼卡美能达控股公司;ZWY-240恒温培养振荡器,上海智城分析仪器制造有限公司;Trace DSQ II型气相色谱-质谱联用仪(配Triplus自动进样器),美国赛默飞世尔科技公司,萃取头(DVB/CAR/PEMS),美国色谱科公司。

## 1.2 方法

1.2.1 理化指标的测定 将香肠样品去皮并搅碎后,分别使用pH-star和HR83对样品进行pH值和水分含量的测定,每个样品重复测定3次,结果取平均值;亚硝酸盐含量和TBARS值参照牛菌等<sup>[8]</sup>的方法进行测定;色度值使用CR-400色差仪对平铺于平板并压成薄片(高约1cm)的样品进行测定,选择6个不同位置测定,结果取平均值。

1.2.2 微生物指标的测定 样品中菌落总数、乳酸菌数、葡萄球菌数和肠杆菌数的测定参考牛菌等<sup>[8]</sup>的方法。

### 1.2.3 挥发性物质测定方法

1.2.3.1 样品前处理 准确称取5g搅碎后的香肠样品,加入10 $\mu$ L内标溶液后使用聚四氟乙烯(PTFE)密封盖密封于顶空瓶中,于80 $^{\circ}$ C下恒温平衡10min后,用50/30 $\mu$ m DVB/CAR/PEMS萃

头于80 $^{\circ}$ C下萃取30min,结束后于进样口解析2min。每份香肠样品重复测定3次。

### 1.2.3.2 GC-MS条件

1) GC条件 使用TG-WAXMS B色谱柱(30m $\times$ 0.25mm,0.25 $\mu$ m),采用不分流模式进样,进样口温度为230 $^{\circ}$ C,载气为氦气(纯度 $> 99.99\%$ ),流速1.0mL/min,升温程序:40 $^{\circ}$ C保持3min,再以5 $^{\circ}$ C/min的升温速率升温至210 $^{\circ}$ C,保持5min。

2) MS条件 电子轰击电离源(EI),温度250 $^{\circ}$ C,电子能量70eV,传输线温度230 $^{\circ}$ C,接口温度210 $^{\circ}$ C,溶剂延迟:2.80min,质量扫描范围40~500  $m/z$ 。

### 1.2.3.3 物质定性定量分析

1) 物质定性 测定结果经NIST 14谱库自动检索,要求物质正反向匹配因子均大于800;同时根据正构烷烃混合标准品(C7~C40)中不同正构烷烃的保留时间,以及未知组分的保留时间计算物质的保留指数(Retention index, RI),计算方法见式(1)<sup>[8]</sup>,并与数据库(webbook.nist.gov/chemistry)中的保留指数进行比较,选择偏差在10%内的物质进行后续分析。

$$RI = \frac{T_x - T_n}{T_{n+1} - T_n} \times 100 + n \times 100 \quad (1)$$

式中,RI——测定成分的计算保留指数; $T_x$ ——未知组分的保留时间,min。 $n$ ——正构烷烃的碳原子数, $T_n$ ——正构烷烃 $C_n$ 的保留时间,min; $T_{n+1}$ ——正构烷烃 $C_{n+1}$ 的保留时间,min。

2) 物质定量 采用内标法对定性后的物质进行定量分析,选择环己酮为内标物,丙酮为内标溶剂,配制质量浓度为0.475 $\mu$ g/ $\mu$ L内标溶液,进行加标测量。采用式(2)计算出未知组分的含量。

$$C(\text{mg/kg}) = \frac{S_1 \times m_1}{S_2 \times m_2} \quad (2)$$

式中, $C$ ——未知组分的含量,mg/kg; $S_1$ ——未知组分的色谱峰面积,AU $\cdot$ min; $S_2$ ——内标物的色谱峰面积,AU $\cdot$ min; $m_1$ ——内标化合物的加标质量, $\mu$ g; $m_2$ ——样品质量,g。

1.2.3.4 风味物质评定方法 风味物质的评定采用OAV法<sup>[9]</sup>。查阅经定性、定量后的挥发性物质在水中的嗅觉觉察阈值,再根据物质含量计算物质

的 OAV 值, 评估物质对香肠总体风味的贡献, OAV 计算方法见式(3)。

$$OAV = \frac{C}{T} \quad (3)$$

式中,  $C$ ——物质的含量, mg/kg;  $T$ ——物质对应的阈值, mg/kg。

### 1.3 数据处理

数据使用 Office 2016 软件进行分析制表, 所有数据均表示为平均值±标准误差。使用联川生物云平台 (www.omicstudio.cn/tool) 绘制 UpSet 图, IBM SPSS Statistics 26.0 和 Origin 2022 软件进行主成分分析和相关图的绘制。

## 2 结果与分析

### 2.1 川味麻辣香肠的常规指标分析

对 12 份川味麻辣香肠样品的常规理化指标和微生物指标进行测定, 结果见表 1。

2.1.1 理化指标分析 由表 1 可知, 川味麻辣香肠的水分含量在 6.03%~14.74% 范围, 平均值为 10.69%, 满足国家标准《中式香肠》(GB/T 23493-2009) 中规定的特级香肠水平 ( $\leq 25\%$ )。余静等<sup>[3]</sup>的报道称成都市中心的香肠样品水分含量为 20% 左右, 而本试验中香肠的平均水分含量仅为 10.69%, 差异较大, 可能是因为香肠的制作时间、制作工艺和环境条件等不同所致。

川味麻辣香肠的 pH 值范围为 5.06~5.98, 平均值为 5.66。pH 值的变化主要和样品中乳酸菌产酸以及物质代谢产胺、氨等碱性物质有关<sup>[10]</sup>。川味麻辣香肠在制作中会添加胡椒等香辛料, 这些香辛料除了含有的酸碱物质可以直接影响香肠的 pH 值外, 一些香辛料还可以通过影响乳酸菌的生长来影响香肠的 pH 值<sup>[11-12]</sup>; 川味麻辣香肠的 pH 值较低, 这有利于改善香肠色泽、口感和抑制有害微生物的生长, 提高香肠的品质和安全性<sup>[13]</sup>。

亚硝酸盐含量范围为 1.08~6.50 mg/kg, 均值为 2.31 mg/kg, 亚硝酸盐除了可以作为肉制品护色剂外, 还可以起到一定的防腐和增香作用。然而, 如果肉中亚硝酸盐的残留量过大, 食用后可能会出现血压降低、呼吸困难等不良症状, 严重时会导致癌甚至导致死亡<sup>[14]</sup>。本试验中测得川味麻辣香肠的亚硝酸盐(亚硝酸钠)含量最大值为 6.50 mg/kg,

表 1 川味麻辣香肠的理化和微生物指标

Table 1 Physicochemical and microbiological characteristics of Sichuan spicy sausages

指标	范围	平均值±标准误差
水分含量/%	6.03~14.74	10.69 ± 0.51
pH 值	5.06~5.98	5.66 ± 0.04
亚硝酸盐含量/mg·kg <sup>-1</sup>	1.08~6.50	2.31 ± 0.21
TBARS/mg·kg <sup>-1</sup>	0.17~2.95	1.04 ± 0.12
$L^*$	34.08~54.40	40.97 ± 1.02
$a^*$	16.72~25.72	20.68 ± 0.59
$b^*$	19.48~32.17	26.44 ± 0.79
PCA/Ig(CFU·g <sup>-1</sup> )	5.94~8.58	7.68 ± 0.21
MRSA/Ig(CFU·g <sup>-1</sup> )	5.94~9.56	7.93 ± 0.18
MSA/Ig(CFU·g <sup>-1</sup> )	4.60~7.27	6.49 ± 0.20
VRBGA/Ig(CFU·g <sup>-1</sup> )	3.00~6.52	4.54 ± 0.24

这与王新惠等<sup>[10]</sup>的研究结果(最大值为 5.63 mg/kg)相近, 且符合国家标准《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》(GB 2760-2014) 中低于 30 mg/kg 的规定<sup>[15]</sup>。

硫代巴比妥酸值(TBARS)反映的是脂肪氧化产物丙二醛的含量<sup>[16]</sup>, 其可以评价香肠的氧化成熟程度, 值越高, 氧化程度就越高。适当的脂质氧化会产生醛、醇、酯类等风味物质, 而过量的脂质氧化则可能带来异味, 通常认为香肠的 TBARS 值在 0.5~2.0 mg/kg 的范围内无异味<sup>[17]</sup>。本试验中川味麻辣香肠样品的 TBARS 值范围为 0.17~2.95 mg/kg, 均值为 1.04 mg/kg, 其中有部分样品的 TBARS 值超过了 2.0 mg/kg, 可能是香肠的储存温度<sup>[18]</sup>、制作时间<sup>[19]</sup>等不同导致的, 而且丙二醛不是脂肪氧化形成的唯一终产物, 也不是完全通过脂质过氧化产生的物质, 其不稳定的性质, 导致它还可能与基质中其它化合物发生反应<sup>[20]</sup>。

色泽是发酵肉制品质量和价值的重要指标之一, 也是消费者对肉品质评价最主要也是最直观的依据之一。为客观的评级香肠的色泽, 使用色差仪对香肠的色度值进行测量, 结果中  $L^*$  表示亮度值,  $a^*$  表示红度值,  $b^*$  表示黄度值。由表 1 可知, 川味麻辣香肠有着较高的红度值, 范围为 16.72~25.72, 均值为 20.68, 可能和红色香辛料的添加以及葡萄球菌的发色作用有关<sup>[21]</sup>, 亮度值的范围为

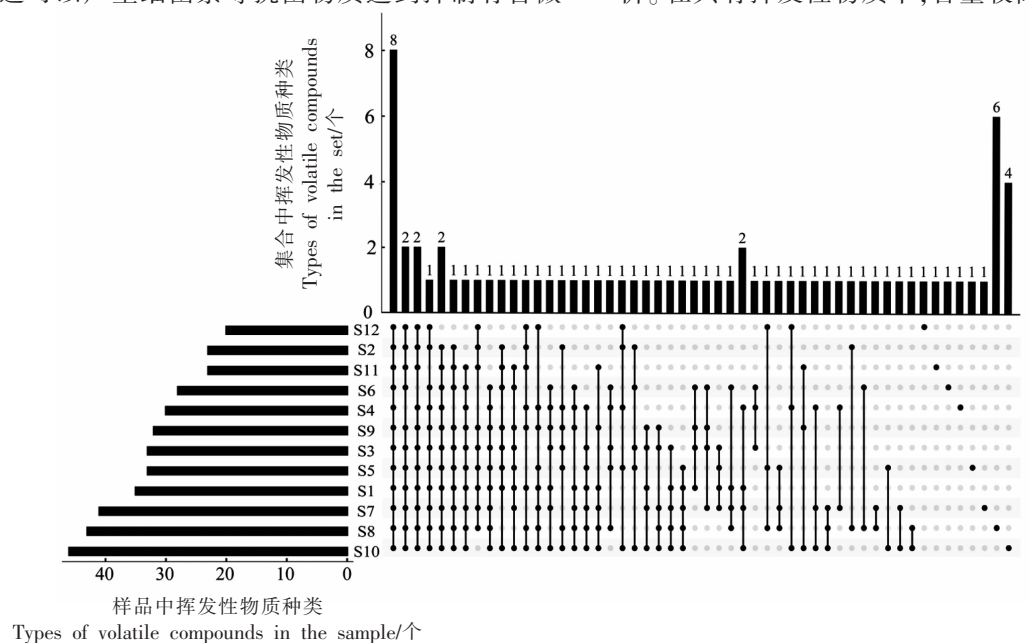
34.08~54.40,均值为40.97,红度值、亮度值更高的产品一般更具有商品价值。黄度值的范围为19.48~32.17,均值为26.44,主要和香肠中脂肪氧化和香辛料有关。香肠的颜色形成较为复杂,会受到pH值、氧化还原电位、温度和水分等的影响<sup>[22]</sup>。因香肠的制作配方、制作工艺和环境不同,导致香肠样品的色度值范围较大。

2.1.2 微生物分析 香肠的微生物以乳酸菌和葡萄球菌为主<sup>[6]</sup>。由表1可知,川味麻辣香肠的细菌总数(PCA)范围为5.94~8.58 lg(CFU/g),均值为7.68 lg(CFU/g);疑似乳酸菌数(MRSA)范围为5.94~9.56 lg(CFU/g),均值为7.93 lg(CFU/g);葡萄球菌数(MSA)范围为4.60~7.27 lg(CFU/g),均值为6.49 lg(CFU/g);疑似肠杆菌数(VRBGA)范围为3.00~6.52 lg(CFU/g),均值为4.54 lg(CFU/g)。由于川味麻辣香肠样品为商户自制,未添加发酵剂,所以香肠中的微生物主要来自原材料和加工环境<sup>[23]</sup>。香肠中乳酸菌主要起到降低产品的pH值,抑制有害菌的生长的作用,部分乳酸菌还可以产生细菌素等抗菌物质达到抑制有害微

生物生长的效果<sup>[24]</sup>,此外也有报道称乳酸菌可以改善产品的风味和质地<sup>[25]</sup>。葡萄球菌的作用主要集中在对风味的贡献<sup>[6]</sup>。肠杆菌可以反映出产品的安全性,香肠中肠杆菌主要来自肠衣和加工环境<sup>[26]</sup>。

## 2.2 川味麻辣香肠的挥发性风味物质结果分析

2.2.1 挥发性风味物质分析 在12份样品中共检测出70种挥发性物质,包括烯烃、酯、醇、醛、醚、酚、酮类以及其它,图1为样品与挥发性物质的UpSet图,可以反映各样品和风味物质种类信息。如图1所示,S10样品的挥发性物质种类最多,且有4种物质只在该样品中检出。同样地,有6种物质仅在S8样品中检出。这种样品中出现次数较低(<6)的物质有43种,在本试验中将这部分物质定义为非共有挥发性物质,由于这些物质不能作为川味麻辣香肠典型风味特征的代表性物质,所以不做详细分析。将样品中出现次数较高( $\geq 6$ )的物质定义为川味麻辣香肠的共有挥发性物质,共有27种,重点对这部分物质进行后续分析。在共有挥发性物质中,含量较高的化合物为烯



注:图中实心点表示根据在样品中物质的分布不同划分出的物质集合,横轴表示各样品中检出的挥发性物质种类数量,纵轴表示不同集合中的挥发性物质种类数量,连线表示与纵轴相对应的集合在样品中(横轴)的分布情况;柱状图从左至右依次为集合1~52,其中集合1包含所有样品均检出的8种物质,集合2包含除S4外样品中检出的2种物质,集合3包含除S6外样品中检出的2种物质,其它集合以此类推。

图1 样品挥发性物质种类 UpSet 图

Fig.1 UpSet graph of volatile compounds species in samples

烃类、醚类、醇类和酯类,分别为 16.65, 14.00, 12.49, 8.67 mg/kg。香肠中挥发性物质主要来自脂肪、蛋白的水解氧化,脂肪酸、氨基酸和碳水化合物的代谢以及香肠制作添加的酒和各种香辛料

等。Meynier 等<sup>[2]</sup>对 Salami 香肠的研究结果表明,60.5%的风味物质来源于各种香料,剩下的部分才是来自脂肪氧化、氨基酸分解代谢等方式。

表2 川味麻辣香肠挥发性物质分析结果

Table 2 Volatile compounds analysis results of Sichuan spicy sausage

挥发性物质		RT/min	RI <sub>实测</sub>	RI <sub>查询</sub>	含量/mg·kg <sup>-1</sup>	阈值/mg·kg <sup>-1</sup>	OAV 值
共有的	烯烃类(12种)				16.65		
挥发性物质	$\alpha$ -蒎烯	5.69	1 033	1 032	0.39 ± 0.09	0.04100	9.45
	$\beta$ -蒎烯	7.42	1 103	1 116	4.60 ± 0.31	0.14000	32.86
	$\beta$ -水芹烯	7.79	1 116	1 209	0.92 ± 0.22	0.03600	25.51
	3-蒎烯	8.59	1 144	1 148	1.44 ± 0.31	0.77000	1.88
	$\alpha$ -水芹烯	9.09	1 162	1 166	0.67 ± 0.19	0.04000	16.63
	萜品油烯	9.50	1 177	1 284	1.20 ± 0.26	0.20000	6.01
	$\gamma$ -松油烯	11.48	1 248	1 238	1.20 ± 0.08	1.00000	1.20
	苯乙烯	11.92	1 264	1 241	1.47 ± 0.08	0.06500	22.59
	紫苏烯	16.37	1 427	1 295	0.28 ± 0.05		-
	$\beta$ -石竹烯	20.77	1 602	1 594	3.46 ± 0.50	0.06400	54.10
	$\alpha$ -律草烯	22.43	1 673	1 663	0.72 ± 0.06	0.16000	4.48
	毕澄茄烯	23.36	1 713	1 546	0.30 ± 0.03		-
	酯类(6种)				8.67		
	辛酸乙酯	16.71	1 440	1 436	1.10 ± 0.20	0.01930	56.75
	癸酸乙酯	21.77	1 645	1 636	1.81 ± 0.45	0.00500	362.01
	(±)- $\alpha$ -乙酸松油酯	23.17	1 704	1 700	2.66 ± 0.30	2.50000	1.06
乙酸橙花酯	24.46	1 762	1 742	2.41 ± 0.15	2.00000	1.21	
十四酸乙酯	30.50	2 051	2 042	0.31 ± 0.11	2.00000	0.16	
十六酸乙酯	34.36	2 255	2 250	0.38 ± 0.09	2.00000	0.19	
醇类(4种)				12.49			
芳樟醇	19.71	1 559	1 537	9.54 ± 1.00	0.00022	43 353.62	
4-萜烯醇	20.92	1 609	1 591	1.60 ± 0.35	1.20000	1.33	
(1R,5R)-rel-香芹醇	26.93	1 875	1 846	0.75 ± 0.11	0.25000	2.98	
苯乙醇	28	1 926	1 925	0.60 ± 0.06	0.56423	1.06	
醚类(2种)				14.00			
4-烯丙基苯甲醚	22.55	1 678	1 655	3.46 ± 1.33	0.00600	577.08	
对丙烯基茴香醚	26.06	1 835	1 808	10.54 ± 3.64	0.05000	210.81	
醛类(1种)				0.29			
苯甲醛	19.09	1 534	1 495	0.29 ± 0.06	0.75089	0.39	
其它(2种)				6.27			
正十五烷	18.30	1 502	1 500	0.44 ± 0.19		-	
乙基麦芽酚	31.15	2 084	2 050	5.83 ± 1.70		-	
非共有的	烯烃类(13种)				18.58		
挥发性物质	莰烯	6.59	1 069	1 075	0.27		
	双戊烯	10.14	1 200	1 178	9.22 ± 1.51		
	(E)- $\beta$ -罗勒烯	11.76	1 258	1 242	2.02 ± 0.36		
	2,4-二甲基苯乙烯	16.82	1 445	1 414	0.74		
	$\gamma$ -榄香烯	17.64	1 476	1 636	0.29		

(续表 2)

挥发性物质	RT/min	RI <sub>实测</sub>	RI <sub>查询</sub>	含量/mg·kg <sup>-1</sup>	阈值/mg·kg <sup>-1</sup>	OAV 值
(+)-香橙烯	20.27	1 582	1 600	0.21		
榄香烯	20.59	1 595	1 595	0.37		
(-)- $\alpha$ -雪松烯	23.66	1 726	1 620	1.23		
$\alpha$ -法呢烯	24.32	1 756	1 725	0.29 ± 0.04		
$\delta$ -杜松烯	24.52	1 764	1 749	2.81 ± 0.74		
( <i>E</i> )- $\beta$ -金合欢烯	24.75	1 775	1 648	0.38		
$\alpha$ -姜黄烯	24.88	1 780	1 773	0.61 ± 0.22		
(-)-氧化石竹烯	29.16	1 983	1 962	0.14 ± 0.02		
醇类(9种)				5.79		
桉叶油醇	10.30	1 206	1 213	3.60 ± 0.23		
正戊醇	10.91	1 228	1 255	0.17		
( <i>S</i> )-氧化芳樟醇	16.91	1 448	1 420	0.21 ± 0.05		
蘑菇醇	17.27	1 462	1 394	0.37		
橙花醇	25.51	1 809	1 770	0.14 ± 0.01		
香叶醇	26.51	1 856	1 847	0.34 ± 0.15		
苯甲醇	27.34	1 894	1 865	0.42 ± 0.24		
橙花叔醇	30.40	2 046	2 010	0.41 ± 0.06		
桉油烯醇	31.95	2 125	2 129	0.13 ± 0.02		
醛类(7种)				3.57		
正己醛	7.18	1 093	1 084	0.71 ± 0.54		
( <i>E</i> )-2-庚烯醛	13.80	1 332	1 243	0.29 ± 0.06		
壬醛	15.67	1 400	1 385	1.26		
5-甲基呋喃醛	20.38	1 586	1 560	0.58		
苯乙醛	22.04	1 656	1 625	0.16		
4-乙基苯甲醛	24.11	1 746	1 753	0.31		
枯茗醛	25.06	1 788	1 759	0.26 ± 0.10		
酯类(4种)				1.14		
丁酸乙酯	6.09	1 049	1 028	0.26		
异丁酸香茅酯	22.28	1 666	1 705	0.25		
月桂酸乙酯	26.31	1 846	1 842	0.45 ± 0.20		
3-苯丙酸乙酯	27.23	1 889	1 906	0.18		
酚类(4种)				2.83		
愈创木酚	27.27	1 891	1 859	0.90		
2-甲氧基-4-甲基苯酚	29.09	1 980	1 936	1.20		
4-乙基愈创木酚	30.54	2 053	2 031	0.49		
间甲酚	32.32	2 145	2 115	0.24 ± 0.07		
酮类(3种)				1.52		
甲基庚烯酮	14.15	1 344	1 336	0.13		
右旋香芹酮	23.94	1 739	1 639	0.74 ± 0.17		
左旋香芹酮	23.95	1 739	1 751	0.65		
其它(3种)				1.60		
4-异丙基甲苯	12.2	1 274	1 261	0.96 ± 0.01		
十四烷	15.68	1 401	1 400	0.33		
2-乙酰基呋喃	18.66	1 516	1 490	0.31		

注:RT 为物质的保留时间;RI<sub>实测</sub>为物质通过计算得出的保留指数;RI<sub>查询</sub>为数据库中物质的保留指数;“-”表示无法查到该化合物的阈值而未计算 OAV 值;检出样品数 $\leq 2$ 的物质无标准误差。

采用 OAV 法对挥发性物质进行分析,物质的 OAV>1, 说明该物质可能对总体气味有直接影响<sup>[27]</sup>。经计算,样品有 20 种物质的 OAV 值大于 1, 说明这些物质能直接影响川味麻辣香肠的总体气味特征,是川味麻辣香肠的主要挥发性风味物质,包括烯烃、酯、醇、醚、醛和其它类物质。

烯烃类物质主要来自于制作过程中添加的香辛料<sup>[28]</sup>,结果显示,有 12 种烯烃类物质在多个样品( $\geq 6$ )中检出,定义为共有挥发性物质,总含量达到 16.55 mg/kg, 其中 3-萜烯、 $\beta$ -蒎烯、蒎品油烯、 $\gamma$ -松油烯、苯乙烯等的含量较高。在共有的挥发性物质中,烯烃类物质的 OAV 值均大于 1(除部分未查询到阈值外),而这些物质中存在一些常用香辛料中,如茴香<sup>[29]</sup>、辣椒<sup>[30]</sup>、花椒<sup>[31]</sup>等;也有一些烯烃类物质如  $\beta$ -石竹烯可以通过脂肪氧化等途径产生<sup>[28]</sup>。

酯类物质主要来源于酸类与醇类物质在微生物作用下发生的酯化反应,其中乙酯类物质的阈值不高,且具有奶油香和果香等香味,对发酵香肠风味形成有着重要作用<sup>[32]</sup>,在川味麻辣香肠样品中检出辛酸乙酯、癸酸乙酯、十四酸乙酯和十六酸乙酯 4 种乙酯类物质,含量达到了 3.6 mg/kg,并且癸酸乙酯 OAV 值较高,为 362.01,仅次于芳樟醇和 4-烯丙基苯甲醚。于敏<sup>[33]</sup>发现,添加丁香、花椒、胡椒的风干肠中挥发性酯类风味物质均为乙酯类物质,说明香辛料是影响香肠中乙酯类物质含量和种类的主要因素。另外,在川味麻辣香肠样品中,除乙酯类物质外,还有一些其它酯类物质在多个样品中检出,例如( $\pm$ )- $\alpha$ -乙酸松油酯、乙酸橙花酯,含量分别为 2.66 mg/kg 和 2.41 mg/kg。(±)- $\alpha$ -乙酸松油酯是松油醇的酯化产物,乙酸橙花酯则存在于一些植物油中<sup>[34]</sup>。

醇类物质主要来源于香辛料和脂肪氧化<sup>[35-36]</sup>。川味麻辣香肠的醇类物质中芳樟醇的含量最高,达到 9.54 mg/kg,且 OAV 值也最高,达到 43 353.62。芳樟醇是一种单萜类醇,在多种植物中检测到,是多种植物精油中的主要挥发性成分<sup>[37]</sup>。4-萜烯醇和(1*R*,5*R*)-rel-香芹醇也在许多的天然植物里面发现,也有研究发现可以通过微生物转化的方式获得这两种物质<sup>[38]</sup>。苯乙醇则是来自于苯丙氨酸 Strecker 反应<sup>[39]</sup>。

醚类化合物主要来自香辛料。4-烯丙基苯甲醚、对丙烯基茴香醚在多个样品中检出,其含量分别为 3.46 mg/kg 和 10.54 mg/kg,OAV 值分别为 577.08 和 210.81, 推测这两种物质对川味麻辣香肠的风味有突出贡献。对丙烯基茴香醚被称为茴香脑,呈鲜茴香汁的味道,可能来自香肠制作过程中加入的大茴香、八角等茴香类辛香料<sup>[40]</sup>,4-烯丙基苯甲醚也常在茴香等香辛料中检出<sup>[29]</sup>。

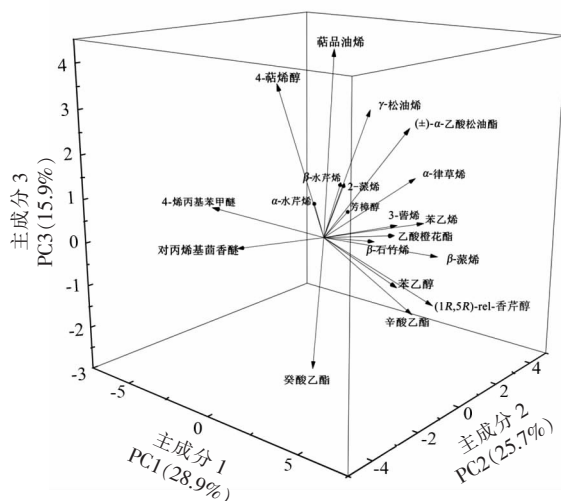
醛类物质的主要来源是脂肪的氧化和微生物对氨基酸的代谢以及氨基酸的 Strecker 降解,许多醛类物质由于阈值很低,对香肠的风味有很大贡献。己醛、壬醛等醛类物质是发酵香肠中的重要风味化合物<sup>[41]</sup>,而在本试验中,只有苯甲醛在多个样品中检出,推测是香肠制作过程中不同香辛料本身抗氧化活性差异所致,且这与 2.1 节中部分样品的 TBARS 值差异较大相符合。苯甲醛主要源于微生物对苯丙氨酸的代谢作用<sup>[42]</sup>,在本试验的多个样品中均检出了该物质。

此外,正十五烷、乙基麦芽酚也在多个样品中检出,其中烷烃类物质来源于脂肪酸烷氧自由基的均裂,其阈值较高,对风味改善作用甚微,故不列入主要风味物质行列。乙基麦芽酚被称为理想食品添加剂,添加到肉制品中能提高香鲜味,本试验中乙基麦芽酚含量达到 5.83 mg/kg。

2.2.2 主要挥发性风味物质主成分分析 对样品的主要挥发性物质(共有且 OAV 值大于 1 的物质)进行主成分载荷图分析。

如图 2 主成分载荷图所示,前 3 个主成分的方差贡献率分别为 28.9%,25.7%和 15.9%,累计方差贡献率达到 70.5%,能够反映香肠样品的主要特征。

主成分载荷矩阵可以反应变量对主成分的贡献大小和贡献方向<sup>[43]</sup>。表 3 为主要挥发性物质风味描述与主成分载荷矩阵,其中(1*R*,5*R*)-rel-香芹醇、苯乙醇、乙酸橙花酯、4-烯丙基苯甲醚、4-萜烯醇、蒎品油烯的载荷系数绝对值大于 0.8,说明这些物质对相应的主成分影响较大;(1*R*,5*R*)-rel-香芹醇、苯乙醇、乙酸橙花酯对第 1 主成分影响较大,这些物质可以赋予香肠香芹、水果、花香等气味;4-烯丙基苯甲醚对第 2 主成分影响较大,赋予香肠甘草、茴香的气味;4-萜烯醇和蒎品油烯



注:图中X、Y、Z轴分别表示物质在主成分1、2、3中的得分。

图2 川味麻辣香肠主要挥发性风味物质的主成分载荷图

Fig.2 Principal components loadings diagram of main volatile flavors compounds in Sichuan spicy sausage

表3 川味麻辣香肠主要挥发性物质风味描述与主成分载荷矩阵

Table 3 Flavor description and principal component loading matrix of main volatile flavors compounds in Sichuan spicy sausages

挥发性物质	风味描述	主成分载荷系数		
		第1主成分	第2主成分	第3主成分
α-蒎烯	松脂味	-0.457	0.745	0.126
β-蒎烯	松脂味、树脂味	0.766	0.396	-0.066
β-水芹烯	薄荷味、松节油味	-0.515	0.765	0.122
3-蒎烯	柠檬味、松脂味	0.274	0.532	0.011
α-水芹烯	松脂味、薄荷味、香料味	-0.655	0.589	0.019
萜品油烯	木头味	0.156	-0.069	0.960
γ-松油烯	汽油味、松节油味	0.029	0.480	0.605
苯乙烯	香油味、汽油味	0.464	0.618	0.032
β-石竹烯	坚果味、胡椒味	0.146	0.415	-0.074
α-律草烯	木头味	0.298	0.713	0.241
辛酸乙酯	水果味、油脂味、蘑菇味	0.545	0.393	-0.409
癸酸乙酯	葡萄味	0.110	-0.237	-0.636
(±)-α-乙酸松油酯	蜡味	0.703	0.107	0.610
乙酸橙花酯	水果味	0.843	-0.212	0.158
芳樟醇	花香味、薰衣草味	-0.454	0.799	-0.039
4-萜烯醇	松节油味、肉豆蔻味	-0.091	-0.384	0.807
(1R,5R)-rel-香芹醇	香芹味	0.873	0.207	-0.268
苯乙醇	香料味、玫瑰味、丁香味	0.849	-0.182	-0.101
4-烯丙基苯甲醚	甘草味、茴香味	-0.236	-0.869	0.263
对丙烯基茴香醚	茴香味、甘草味	-0.770	-0.155	-0.138

注:挥发性物质的风味描述来自 Flavournet 数据库 (www.flavournet.org) 和 The Good Scents Company 数据库 (www.thegoodscentscompany.com/search2.html) 中;正值表示该物质对此主成分有正向影响,负值表示该物质对此主成分有负向影响。



对第3主成分影响较大,赋予香肠松节油、肉豆蔻、草木的气味。综上所述,(1*R*,5*R*)-rel-香芹醇、苯乙醇、乙酸橙花酯、4-烯丙基苯甲醚、4-萜烯醇、萜品油烯6种物质对川味麻辣香肠的挥发性风味影响较大,这些物质赋予香肠香芹、玫瑰、丁香、水果、甘草、茴香、松节油、肉豆蔻、木头等的气味。

### 3 结论

本研究对12份川味麻辣香肠样品的理化指标(水分含量、pH值、亚硝酸盐含量、TBARS值、色度值)和微生物指标(细菌总数、葡萄球菌数量、乳酸菌数量、肠杆菌数量)进行了测定,得出川味麻辣香肠的常规特性。运用HS-SPME/GC-MS技术对川味麻辣香肠的挥发性物质进行分析可知,其挥发性物质包括烯烃、酯、醇、醛、醚、酚、酮类以及其它,共有挥发性物质为27种,含量较高的化合物有烯烃(16.65 mg/kg)、醚(14 mg/kg)、醇(12.49 mg/kg)和酯类(8.67 mg/kg)。OAV值大于1的物质有20种,是川味麻辣香肠的主要挥发性风味物质,其中对风味影响较大的物质有芳樟醇、4-烯丙基苯甲醚、癸酸乙酯、对丙烯基茴香醚、辛酸乙酯、 $\beta$ -石竹烯、 $\beta$ -蒎烯、 $\beta$ -水芹烯、苯乙烯、 $\alpha$ -水芹烯等。主成分载荷图分析进一步得出,(1*R*,5*R*)-rel-香芹醇、苯乙醇、乙酸橙花酯、4-烯丙基苯甲醚、4-萜烯醇、萜品油烯等赋予了香肠香芹、水果、花香、甘草、茴香、松节油、肉豆蔻、木头等的气味特征。川味麻辣香肠中大部分挥发性风味物质在各种香辛料中均有检出,且许多物质是一些香辛料的主要风味物质,可见川味麻辣香肠的制作过程中添加的香辛料的种类、数量对香肠的整体风味有较大影响。

【本文受到西南民族大学研究生创新科研项目(ZD2022892)资助】

### 参 考 文 献

- [1] 国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.肉与肉制品术语:GB/T 19480-2009[S].北京:中国标准出版社,2009:24.  
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Terms of meat and meat products: GB/T 19480-2009[S]. Beijing: Standards Press of China, 2009: 24.
- [2] MEYNIER A, NOVELLI E, CHIZZOLINI R, et al. Volatile compounds of commercial *Milano salami*[J]. Meat Science, 1999, 51(2): 175-183.
- [3] 余静,吉莉莉,何雨芮,等.四川地区香肠品质特性研究[J].中国调味品,2019,44(7):59-64.  
YU J, JI L L, HE Y R, et al. Study on the quality characteristics of sausages in Sichuan area [J]. China Condiment, 2019, 44(7): 59-64.
- [4] 常海军,周文斌,朱建飞.重庆城口香肠挥发性风味成分的分离与鉴定[J].食品科学,2016,37(6):146-152.  
CHANG H J, ZHOU W B, ZHU J F. Isolation and identification of volatile compounds of Chongqing Chengkou sausage[J]. Food Science, 2016, 37(6): 146-152.
- [5] 伍勇,刘松青,徐坤,等.发酵蔬菜粉的添加对川味香肠品质的影响[J].中国调味品,2021,46(12):35-41.  
WU Y, LIU S Q, XU K, et al. Effect of the addition of fermented vegetable powder on the quality of sichuan-style sausage[J]. China Condiment, 2021, 46(12): 35-41.
- [6] XIAO Y Q, LIU Y N, CHEN C G, et al. Effect of *Lactobacillus plantarum* and *Staphylococcus xylosum* on flavour development and bacterial communities in Chinese dry fermented sausages[J]. Food Research International (Ottawa, Ont.), 2020, 135(1): 109247.
- [7] WANG L Y, GUO H Y, LIU X J, et al. Roles of *Lentinula edodes* as the pork lean meat replacer in production of the sausage[J]. Meat Science, 2019, 156(10): 44-51.
- [8] 牛茵,尹礼国,杨梓垚,等.不同加工环境自然发酵羊肉香肠细菌多样性与挥发性风味物质关联分析[J].现代食品科技,2023,39(1):270-280.  
NIU Y, YIN L G, YANG Z Y, et al. Correlation analysis of bacterial communities and volatile flavor compounds of naturally fermented mutton sausages from different processing environments [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(1): 270-280.
- [9] GARCIA-GONZALEZ D L, TENA N, APARICIO-RUIZ R, et al. Relationship between sensory at-

- tributes and volatile compounds qualifying dry-cured hams[J]. *Meat Science*, 2008, 80(2): 315-325.
- [10] 王新惠, 潘攀, 孙劲松, 等. 川味香肠发酵和成熟过程中食用安全性分析[J]. *中国调味品*, 2019, 44(2): 14-17.  
WANG X H, PAN P, SUN J S, et al. Analysis of food safety of Sichuan sausage during fermentation and ripening[J]. *China Condiment*, 2019, 44(2): 14-17.
- [11] 徐清萍, 刘杨, 胡丽亚, 等. 十一种香辛料对乳酸菌生长及抑菌性的影响[J]. *中国调味品*, 2020, 45(6): 58-62, 77.  
XU Q P, LIU Y, HU L Y, et al. Effects of eleven spices on the growth and antibacterial activity of lactic acid bacteria[J]. *China Condiment*, 2020, 45(6): 58-62, 77.
- [12] 王海帆, 郭梦嫣, 王玉洁, 等. 辣椒、花椒等辛辣香辛料对肉制品风味影响的研究进展[J]. *食品科学*, 2022, 43(15): 389-395.  
WANG H F, GUO M Y, WANG Y J, et al. A review on the effects of pungent spices including chili and prickly ash on the flavor of meat products [J]. *Food Science*, 2022, 43(15): 389-395.
- [13] 王德宝. 发酵剂对发酵羊肉香肠蛋白质、脂质分解代谢及风味物质生成机制影响的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2020.  
WANG D B. Studies of effect of starter cultures on proteolysis, lipolysis and flavor formation mechanism in fermented mutton sausages [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2020.
- [14] 罗长琴, 吴英, 肖国生, 等. 重庆市肉制品中亚硝酸盐含量分析与评价[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(24): 228-233.  
LUO C Q, WU Y, XIAO G S, et al. Evaluation and analysis of nitrite content in meat products in Chongqing [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2020, 46(24): 228-233.
- [15] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品添加剂使用标准: GB 2760-2014[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.  
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. National standards for food safety, standards for the use of food additives: GB 2760-2014[S]. Beijing: China Standards Press, 2014.
- [16] GANHÃO R, ESTÉVEZ M, MORCUENDE D. Suitability of the TBA method for assessing lipid oxidation in a meat system with added phenolic-rich materials[J]. *Food Chemistry*, 2011, 126(2): 772-778.
- [17] GREENE B E, CUMUZE T H. Relationship between the TBA numbers and in-experienced panelists assessments of oxidized flavor in cooked beef [J]. *Journal of Food Science*, 1981, 47(1): 52-54.
- [18] LI B B, XU Y, LI J, et al. Effect of oxidized lipids stored under different temperatures on muscle protein oxidation in Sichuan-style sausages during ripening[J]. *Meat Science*, 2019, 147(1): 144-154.
- [19] KARLSDOTTIR M G, SVEINSDOTTIR K, KRISTINSSON H G, et al. Effects of temperature during frozen storage on lipid deterioration of saithe (*Pollachius virens*) and hoki (*Macruronus novaezealandiae*) muscles [J]. *Food Chemistry*, 2014, 156(1): 234-242.
- [20] JANERO D R. Malondialdehyde and thio barbituric acid-reactivity as diagnostic indices of lipid peroxidation and peroxidative tissue injury[J]. *Free Radical Biology & Medicine*, 1990, 9(6): 515-540.
- [21] CRUXEN C E DOS S, FUNCK G D, DANNENBERG G DA S, et al. Characterization of *Staphylococcus xylosus* LQ3 and its application in dried cured sausage[J]. *LWT*, 2017, 86: 538-543.
- [22] LIU P X, WANG S W, ZHANG H, et al. Influence of glycated nitrosohaemoglobin prepared from porcine blood cell on physicochemical properties, microbial growth and flavour formation of Harbin dry sausages[J]. *Meat Science*, 2019, 148(2): 96-104.
- [23] WANG Z L, WANG Z X, JI L L, et al. A review: Microbial diversity and function of fermented meat products in China[J]. *Frontiers in Microbiology*, 2021, 12(7): 645435.
- [24] 龙强, 聂乾忠, 刘成国. 发酵香肠研究进展及展望[J]. *食品科学*, 2017, 38(13): 291-298.  
LONG Q, NIE Q Z, LIU C G. Fermented sausage: Recent progress and prospects [J]. *Food Science*, 2017, 38(13): 291-298.
- [25] CHEN Q, LIU Q, SUN Q X, et al. Flavour formation from hydrolysis of pork sarcoplasmic protein extract by a unique LAB culture isolated from Harbin dry sausage[J]. *Meat Science*, 2015, 100(2): 110-117.
- [26] 朱迎春, 杜智慧, 马俪珍, 等. 发酵剂对发酵香肠微生物及理化特性的影响[J]. *现代食品科技*, 2015,

- 31(9): 25, 198–204.
- ZHU Y C, DU Z H, MA L Z, et al. Effect of different starters on microbial flora and physicochemical properties of fermented sausages [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2015, 31(9): 25, 198–204.
- [27] 刘登勇, 周光宏, 徐幸莲. 确定食品关键风味化合物的一种新方法: "ROAV"法[J]. *食品科学*, 2008, 29(7): 370–374.
- LIU D Y, ZHOU G H, XU X L. 'ROAV' method: A new method for determining key odor compounds of Rugao ham [J]. *Food Science*, 2008, 29(7): 370–374.
- [28] 罗静. 槐米与香辛料对中式香肠发酵和品质的影响 [D]. 成都: 成都大学, 2019.
- LUO J. Flos sophorae and spices on fermentation and quality of Chinese sausage [D]. Chengdu: Chengdu University, 2019.
- [29] XIAO Z B, CHEN J Y, NIU Y W, et al. Characterization of the key odorants of fennel essential oils of different regions using GC-MS and GC-O combined with partial least squares regression [J]. *Journal of Chromatography B Analytical Technologies in the Biomedical & Life Sciences*, 2017, 1063(15): 226–234.
- [30] RODRIGUEZ-BURRUEZO A, KOLLMANNSBERGER H, GONZALEZ-MAS M C. HS-SPME comparative analysis of genotypic diversity in the volatile fraction and aroma-contributing compounds of capsicum fruits from the annuum-chinense-frutescens Complex [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2013, 58(7): 388–400.
- [31] 杨峥, 公敬欣, 张玲, 等. 汉源红花椒和金阳青花椒香气活性成分研究 [J]. *中国食品学报*, 2014, 14(5): 226–230.
- YANG Z, GONG J X, ZHANG L, et al. Study on aroma-active compounds in Han Yuan red pepper and Jin Yang green pepper [J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2014, 14(5): 226–230.
- [32] 王恺, 慕妮, 李亮, 等. 不同发酵剂对发酵香肠挥发性风味物质的影响 [J]. *食品工业科技*, 2013, 34(14): 177–181, 196.
- WANG K, MU N, LI L, et al. Analysis of aroma components in fermented sausage with different starter cultures [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2013, 34(14): 177–181, 196.
- [33] 于敏. 丁香、花椒、胡椒对风干肠菌系及风味的影响 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨商业大学, 2016.
- YU M. Effects of clove, Chinese prickly ash and black pepper on air dried sausages strains and flavors [D]. Harbin: Harbin University of Commerce, 2016.
- [34] 徐杨斌, 王凯, 朱瑞芝, 等. 香柠檬油挥发性成分的 GC-TOFMS 分析 [J]. *食品研究与开发*, 2015, 36(22): 134–137.
- XU Y B, WANG K, ZHU R Z, et al. Analysis of volatile components of bergamot oil by GC-TOFMS [J]. *Food Research And Development*, 2015, 36(22): 134–137.
- [35] 张香美, 叶翠, 卢涵, 等. 发酵香肠制作过程中菌群演替及挥发性风味成分变化规律 [J]. *中国食品学报*, 2022, 22(5): 282–290.
- ZHANG X M, YE C, LU H, et al. The succession of bacterial flora and the variation of volatile flavor components during the production of fermented sausage [J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2022, 22(5): 282–290.
- [36] 万晓玉, 向昱州, 周莺茹, 等. 冷吃牛肉特征风味物质 [J]. *食品与发酵工业*, 2022, 48(19): 272–279.
- WANG X Y, XIANG Y Z, ZHOU Y R, et al. Analysis of flavor substance in cold eating beef [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2022, 48(19): 272–279.
- [37] 李娟, 韩东, 米思, 等. 北京地区酱卤牛肉中挥发性风味物质剖面分析 [J]. *核农学报*, 2020, 34(1): 94–103.
- LI J, HAN D, MI S, et al. Profile analysis of the volatile flavor compounds from Beijing area of marinated beef [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2020, 34(1): 94–103.
- [38] TAI Y N, XU M, REN J N, et al. Optimisation of  $\alpha$ -terpineol production by limonene biotransformation using *Penicillium digitatum* DSM 62840:  $\alpha$ -Terpineol production by limonene biotransformation [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2016, 96(3): 954–961.
- [39] MACLEOD G, AMES J. Soy flavor and its improvement [J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1988, 27(4): 219–400.
- [40] 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.

- LI R R, CHEN Y, ZHANG Q Y, et al. Changes in volatile flavor compounds of Dezhou braised chicken during processing[J]. *Meat Research*, 2019, 33(7): 49–55.
- [41] 曹辰辰, 冯美琴, 孙健, 等. 功能性发酵剂对发酵香肠氧化稳定性及挥发性风味物质的影响[J]. *食品科学*, 2019, 40(20): 106–113.
- CAO C C, FENG M Q, SUN J, et al. Effect of functional starter culture on antioxidant and volatile compound in fermented sausages[J]. *Food Science*, 2019, 40(20): 106–113.
- [42] 扈莹莹, 王妍, 于晶, 等. 脂肪添加量对发酵香肠脂质和蛋白质氧化及挥发性化合物形成的影响[J]. *食品科学*, 2019, 40(18): 8–14.
- HU Y Y, WANG Y, YU J, et al. Effect of fat addition on lipid and protein oxidation and volatile compound formation in fermented sausages[J]. *Food Science*, 2019, 40(18): 8–14.
- [43] 李素, 周慧敏, 张顺亮, 等. 不同加水量腌制酱牛肉中挥发性风味物质变化[J]. *食品科学*, 2019, 40(10): 199–205.
- LI S, ZHOU H M, ZHANG S L, et al. Changes of volatile flavor compounds in spiced beef marinated with different water contents[J]. *Food Science*, 2019, 40(10): 199–205.

### Physicochemical and Microbiological Properties and Volatile Flavors Analysis of Sichuan Spicy Sausages

He Jikun, Niu Yin, Wu Shuanghui, Cai Zijian, Chen Juan\*

(College of Food Science and Technology, Southwest Minzu University, Chengdu 610041)

**Abstract** In this study, headspace solid-phase microextraction/gas chromatography-mass spectrometer was used to analyze physicochemical and microbiological properties and volatile flavors of Sichuan spicy sausages from Chengdu. The results showed that the moisture content of Sichuan spicy sausage was  $(10.69\pm 0.51)\%$ , pH value was  $5.66\pm 0.04$ , nitrite content was  $(2.31\pm 0.21)$  mg/kg, thiobarbituric acid reactive substance (TBARS) content was  $(1.04\pm 0.12)$  mg/kg, brightness value ( $L^*$ ), redness value ( $a^*$ ), and yellowness value ( $b^*$ ) were  $40.97\pm 1.02$ ,  $20.68\pm 0.59$ ,  $26.44\pm 0.79$ , respectively. The total bacterial count was  $(7.68\pm 0.21)$  lg (CFU/g), the *Staphylococci* count was  $(6.49\pm 0.2)$  lg (CFU/g), the suspectable lactic acid bacteria count was  $(7.93\pm 0.18)$  lg (CFU/g), and the suspectable *Enterobacter* count was  $(4.54\pm 0.2)$  lg (CFU/g). From results of volatile compounds detection and odor activity value (OAV) method analysis, it was found that there were 20 shared volatile compounds with OAV values higher than 1 in the samples, which were the main volatile flavors of Sichuan spicy sausages, among which compounds with relatively high flavor contributions were linalool, 4-allylanisole, ethyl caprate, cis-anethol, ethyl caprylate,  $\beta$ -caryophyllene,  $\beta$ -pinene,  $\beta$ -phellandrene, styrene,  $\alpha$ -phellandrene, etc. Further, loading plot of principal component analysis of the main volatile flavors exhibited that 2-cyclohexen-1-ol, phenethyl alcohol, nerolidol acetate, 4-allylanisole, and terpinen-4-ol, terpinolene, and other compounds imparted the odor of sausage parsley, fruit, floral, licorice, anise, turpentine, nutmeg, and wood. The results of this study revealed that physicochemical and microbiological properties, main volatile compounds and flavor characteristics, which provided references for further research on Sichuan spicy sausages and for the application and promotion of new processing technologies of Sichuan sausages.

**Keywords** Sichuan spicy sausage; physicochemical and microbiological properties; volatile flavors; aromatic spices