

不同烹制加工阶段水煮肉片关键挥发性风味物质分析

杨倩¹ 贾洪锋^{1,2,3} 张淼^{1,2,3} 黄佳¹

(1. 四川旅游学院食品学院, 四川 成都 610100; 2. 四川旅游学院川菜工业化四川省高等学校工程研究中心, 四川 成都 610100; 3. 四川旅游学院烹饪科学四川省高等学校重点实验室, 四川 成都 610100)

摘要: [目的] 提升水煮肉片菜品品质, 进行标准化和工业化生产。[方法] 采用气相色谱—质谱法 (GC-MS) 对水煮肉片挥发性风味物质进行分离鉴定, 通过添加内标物计算其主体挥发性风味物质含量, 并结合气味活度值 (OAV) 分析不同烹制加工阶段样品中关键挥发性风味物质的变化。[结果] 水煮肉片中共鉴定出 136 种挥发性风味物质, 其中切片、腌制、煮制和浇油 4 个加工阶段样品中分别为 57, 66, 57, 63 种; 酮类物质是样品中含量最高的挥发性物质, 其中浇油的样品中醇类物质含量最高。根据气味活度值确定 19 种 OAV ≥ 1 的关键风味成分, 其中壬醛、*D*-柠檬烯、(*E*)-2-壬烯醛、(*E, E*)-2,4-癸二烯醛在部分样品中的 OAV > 100 , 蒎烯和芳樟醇在部分样品中的 OAV > 50 , 这 6 种物质对水煮肉片整体风味有较大贡献。煮制和浇油样品的挥发性风味物质与其他样品差异较大, 说明煮制和浇油过程对水煮肉片的挥发性风味影响最大。[结论] 煮制和浇油是影响水煮肉片挥发性风味物质的关键加工环节。

关键词: 气相色谱—质谱法; 水煮肉片; 挥发性风味物质; 气味活度值; 风味成分

Analysis of key volatile flavor substances in boiled spicy pork slices during different cooking and processing stages

YANG Qian¹ JIA Hongfeng^{1,2,3} ZHANG Miao^{1,2,3} HUANG Jia¹

(1. College of Food Science and Technology, Sichuan Tourism University, Chengdu, Sichuan 610100, China; 2. Sichuan Higher Education Engineering Research Center for Industrialization of Sichuan Cuisine, Sichuan Tourism University, Chengdu, Sichuan 610100, China; 3. Cuisine Science Key Laboratory of Sichuan Province, Sichuan Tourism University, Chengdu, Sichuan 610100, China)

Abstract: [Objective] The purpose of this study is to improve the quality of boiled spicy pork slices and promote standardized and industrialized production. [Methods] The changes of volatile flavor substances in boiled spicy pork slices were analyzed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The contents of the main volatile flavor substances were calculated by adding internal standard substances, and the odor activity value (OAV) was used to determine the key volatile flavor substances in samples. [Results] 136 volatile flavor substances were identified in samples. The number of volatile flavor substances in samples during slicing, curing, boiling, and pouring oil was 57, 66, 57 and 63 respectively. Ketones' contents were the highest in all samples (the highest contents of alcohols were detected in the pouring oil sample). 19 key flavor substances were determined according to the odor activity value (OAV ≥ 1). The OAVs of nonanal, *D*-limonene, (*E*)-2-nonenal, and (*E, E*)-2,4-decadienal in some samples were more than 100, and the OAVs of camphene and linalool in some samples were more than 50. These 6 volatile flavor substances had a great contribution to forming the flavor of boiled spicy pork slices. The volatile flavor substances in samples during boiling and pouring oil were significantly different from other samples, indicating that the boiling and pouring oil process had the greatest influence on the volatile flavor of boiled spicy pork slices. [Conclusion] The boiling and pouring oil processes were the key processing stages that affected the volatile flavor substances in boiled spicy pork slices.

基金项目: 四川省科技计划项目 (编号: 2019YJ0343); 四川旅游学院高水平科研项目培育专项 (编号: 2022PY02); 四川旅游学院科研创新团队项目 (编号: 19SCTUTY04); 大学生创新训练计划项目 (编号: 202111552039)

通信作者: 贾洪锋 (1981—), 男, 四川旅游学院教授, 硕士。E-mail: jiahongfeng_cq@163.com

收稿日期: 2023-07-31 **改回日期:** 2023-12-27

Keywords: gas chromatography-mass spectrometry; boiled spicy pork slices; volatile flavor substances; odor activity value; flavor components

水煮肉片是川菜著名的家常菜,其烹制加工要经过切片、腌制、煮制和浇油4个加工阶段。肉片经腌制、煮制和浇油后仍能保持很好的嫩度,并形成“麻、辣、鲜、香”的风味特色。风味物质在烹制过程中的变化规律对于菜品品质控制和改善,以及水煮肉片工业化产品开发具有重要意义。王琳等^[1]分析了烹饪经验及贮藏条件对水煮肉片酸味、甜味、咸味、鲜味、麻味、辣味及脂肪味强度的影响,结果表明,不同经验人员制作的水煮肉片固体部分和液体汤汁部分中的各味感强度虽无显著性差异,但固体部分酸味强度均高于液体汤汁部分($P < 0.05$),而固体部分的脂肪味均低于液体汤汁部分($P < 0.05$);不同贮藏条件下水煮肉片液体汤汁部分麻味和辣味强度均较鲜样有所下降($P < 0.05$);普通人制作的水煮肉片固体部分和液体汤汁部分的酸味、咸味和鲜味强度均具有显著性差异($P < 0.05$),固体部分各味感强度均无显著性差异,液体汤汁部分酸味、甜味、咸味及鲜味强度无显著性差异。王琳等^[2]研究了烹饪及贮藏条件对水煮肉片滋味物质(总酸、蔗糖、NaCl、谷氨酸钠、脂肪)含量的影响,结果表明,2名经验厨师及1名普通人员制作的水煮肉片固体部分中的总酸含量均显著高于液体汤汁部分($P < 0.05$),且不同人员制作的水煮肉片中固体和液体汤汁部位的谷氨酸钠含量和脂肪含量也存在较大差异($P < 0.05$);贮藏条件对水煮肉片中的主要滋味物质存在一定影响。上述研究主要是针对水煮肉片的感官品质和滋味物质,但对于水煮肉片挥发性风味物质,尤其是烹饪加工过程中不同阶段挥发性风味物质变化的研究尚未见报道。近年来,关于炖羊肉^[3]、北京烤鸭^[4]、回锅肉^[5]、红烧肉^[6]、大盘鸡^[7]、盐煎肉^[8]等餐饮菜品挥发性风味物质的研究揭示了菜品风味物质在加工过程中的变化及不同菜品特色风味形成的物质基础;对于研究风味形成的机理及指导菜品的品质提升和工业化生产具有重要意义。研究拟探讨水煮肉片在加工过程中的挥发性风味物质变化,旨在为特色川菜水煮肉片的标准、工业化生产及进一步研究风味物质形成机理提供依据。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与amp;仪器

新鲜猪里脊肉、豆芽、凤尾(油麦菜)、小葱、生姜、大蒜、干辣椒、田趣白芝麻、玉米淀粉、金龙鱼黄金比例食用植物调和油、友加胡椒粉、千禾烹料酒、好人家水煮肉片调料包:市售;

2-甲基-3-庚酮:纯度99%,斯坦福分析化学公司;

气相色谱质谱联用仪:GCMS-QP2010 Ultra型,配备SH-Rtx-Wax毛细管柱(30 m×0.32 mm,0.25 μm),日本岛津公司;

固相微萃取头:57328-U型,含50/30 μm DVB/CAR/PDMS StableFlex/SS(1 cm) Gray,美国Supelco公司。

1.2 试验方法

1.2.1 样品制备

(1) 原料:猪里脊肉500 g、豆芽200 g、凤尾(油麦菜)200 g、小葱100 g、生姜20 g、大蒜35 g、干辣椒15 g、白芝麻5 g、玉米淀粉50 g、食用油150 g、胡椒粉4 g、料酒10 g、水煮肉片调料包100 g[含干料包(辣椒、花椒)10 g、腌肉料包10 g、调味包(植物油、豆瓣酱、食用盐、辣椒、蒜、味精、姜、酿造酱油、白砂糖、黄豆、豆豉、香辛料)80 g]、清水600 g。

(2) 样品制备:参考文献[9]并调整。以新鲜猪里脊肉为原料,切成均匀片状后加入腌肉料包、玉米淀粉、料酒拌匀腌制15 min;将豆芽和凤尾(油麦菜)炒至断生后放入盆内垫底;锅内加入100 g食用油,待油温升至180℃,加入调味包,炒至红亮出色,加入清水,煮沸5 min后放入腌制好的肉片,煮制2 min后捞出铺在盆中配菜上,铺上干料包和干辣椒、蒜蓉、姜末、白芝麻、小葱等;锅内加入50 g食用油,加热至200℃,浇上热油即可成菜。分别于猪里脊肉切片、腌制、煮制、浇油4个阶段进行取样。

1.2.2 挥发性风味物质测定

(1) 前处理条件:称取剁碎并混合均匀的样品3 g于10 mL顶空瓶中,加入50 μL 2-甲基-3-庚酮标准内标液(3.868 μg/μL),60℃水浴5 min,选择固相微萃取头^[10],顶空萃取55 min,上机解析5 min。

(2) GC条件:选择SH-Rtx-Wax毛细管柱(30 m×0.32 mm,0.25 μm)^[10];压力19 kPa;流速1.67 mL/min;载气为He气,不分流进样;进样口温度240℃;升温程序:起始温度45℃,保持3 min,以3℃/min速率升温至180℃,保持3 min,以12℃/min速率升温至220℃,保持3 min。

(3) MS条件:电子轰击电离源(EI),接口温度240℃,电子能量70 eV;离子源温度200℃;采集方式:全扫描模式。

1.2.3 定性与定量分析 根据检索库(NIST)进行化合物的质谱分析鉴定,在检出的化合物中筛选出匹配度>80的化合物,按式(1)计算待测样品中挥发性风味物质含量。

$$C = \frac{A_i \times m}{A \times m_1}, \quad (1)$$

式中:

C ——挥发性风味物质含量, $\mu\text{g/g}$;

A_i ——某挥发性风味物质峰面积;

A ——内标物峰面积;

m ——内标物质量, μg ;

m_1 ——样品质量, g 。

1.2.4 气味活性值计算及关键挥发性风味物质确定 气味活性值(OAV)表示挥发性物质含量与其阈值的比值,可以反映挥发性物质对风味的贡献程度。按式(2)计算OAV,并以OAV值确定关键挥发性风味物质^[5]。

$$\text{OAV} = \frac{C_i}{T_i}, \quad (2)$$

式中:

C_i ——某挥发性风味物质的含量, $\mu\text{g/g}$;

T_i ——某挥发性风味成分的感觉阈值, $\mu\text{g/g}$ 。

1.3 数据处理

采用Excel 2019软件进行数据统计,采用IBM SPSS Statistics 26.0软件进行主成分分析,采用Origin 2018软件作图。

2 结果与分析

2.1 挥发性风味物质分析

由表1可知,水煮肉片各样品中共检出136种挥发性

风味物质,包括醛类17种、醇类34种、酯类26种、烯类7种、酮类25种及其他类27种。不同加工阶段,随着加工时间的延长,检出的挥发性物质种类呈先增加后减少再增加的趋势;检出的挥发性物质含量总体呈增加趋势。

加工过程中,醛类物质含量由切片的0.204 00 $\mu\text{g/g}$ 增加至浇油后的1.210 00 $\mu\text{g/g}$ 。醛类物质主要来源于脂肪的氧化降解,也来源于料包中所添加的香辛料,如豆瓣酱等。醛类化合物含量在各类挥发性风味物质中虽然不是很高,但其阈值低^[11],对风味的贡献大,具有脂肪香气,是肉香味的重要组成^[12]。醇类物质含量总体呈增加的趋势,其在切片样品中为0.470 00 $\mu\text{g/g}$,浇油后为5.809 00 $\mu\text{g/g}$ 。醇类物质对风味有一定贡献,呈植脂香等特征风味^[13],主要来源于脂肪的氧化和氨基酸降解。酮类物质从切片样品到浇油样品中均有检出,是大多数样品中含量最高的挥发性物质(浇油的样品中醇类物质含量最高)。多数酮类具有较高的阈值,酮类化合物可能是醇类的氧化物或酯类的分解产物^[14],部分酮类是形成杂环化合物的重要中间体,对肉香味的形成起重要作用。此外,还检测到部分含量较低的酯类、烯类、其他类化合物。酯类具有水果风味,其阈值低,对食品的风味贡献较大^[15]。4个样品中均检出茴香脑,其含量随加工时间的延长逐渐增加,在浇油后的样品中含量为0.390 00 $\mu\text{g/g}$,可能与加工过程中调味料中的成分逐渐渗出有关。

表1 不同加工阶段水煮肉片中的挥发性风味物质

Table 1 Volatile flavor substances detected in boiled spicy pork slices during cooking

种类	物质名称	保留时间/min	物质含量/ $(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$			
			切片	腌制	煮制	浇油
醛类	辛醛	4.012	0.030 00	—	—	0.020 00
	十五醛	37.182	—	0.050 00	0.030 00	0.010 00
	十四醛	33.704	0.020 00	0.040 00	0.020 00	—
	十三醛	30.048	0.010 00	0.020 00	—	—
	十醛	18.178	0.030 00	—	0.050 00	—
	十六醛	40.528	0.020 00	0.070 00	0.070 00	—
	十二醛	26.251	—	0.010 00	0.010 00	0.010 00
	壬醛	14.026	0.050 00	0.240 00	0.820 00	0.300 00
	己醛	3.906	—	0.090 00	0.210 00	0.050 00
	反-2-十一烯醛	27.429	0.004 21	0.010 00	0.030 00	0.030 00
	苯甲醛	18.349	0.030 00	0.130 00	0.340 00	0.320 00
	3-甲基丁醛	4.077	—	—	0.030 00	—
	2-丙基-2-庚醛	16.929	—	0.010 00	—	—
	2,4-二甲基苯甲醛	25.989	0.010 00	0.030 00	0.060 00	—
	(E,E)-2,4-癸二烯醛	29.297	—	—	0.004 95	0.030 00
	(E)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛	26.570	—	—	—	0.430 00
	(E)-2-壬烯醛	19.278	—	—	0.020 00	0.010 00
小计			0.204 21	0.700 00	1.694 95	1.210 00

续表 1

种类	物质名称	保留时间/min	物质含量/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)			
			切片	腌制	煮制	浇油
醇类	正十五醇	41.927	0.010 00	—	—	—
	异血藤烯醇	43.560	—	0.010 00	—	—
	松油烯-4-醇	21.893	—	—	0.020 00	0.080 00
	十四醇	30.595	—	—	—	0.010 00
	十六醇	47.923	—	0.010 00	—	—
	芳樟醇	20.447	—	—	0.210 00	5.290 00
	反式芳樟醇氧化物(呋喃类)	16.915	—	—	—	0.010 00
	苯乙醇	32.649	—	—	0.020 00	0.020 00
	α -松油醇	25.531	—	—	0.030 00	0.110 00
	Z-11-五癸醇	38.757	0.010 00	—	—	—
	2-壬醇	19.401	—	—	0.030 00	0.010 00
	1-辛烯-3-醇	16.590	—	0.030 00	0.030 00	0.010 00
	1-十四醇	41.919	—	0.010 00	—	—
	1-十二烷醇	35.443	0.020 00	0.030 00	0.010 00	0.040 00
	1-庚醇	16.686	—	0.010 00	—	—
	1,4-丁二醇	33.350	—	0.030 00	—	0.030 00
	2-(2-乙氧基乙氧基)-乙醇	22.575	0.020 00	0.020 00	0.020 00	0.010 00
	2-(十四烷氧基)-乙醇	43.729	—	0.010 00	—	0.004 94
	2,6,6-三甲基-双环(3.1.1)庚烷-2,3-二醇	11.805	—	—	0.070 00	—
	2-甲基-2-丙醇	17.270	0.320 00	0.340 00	—	—
	2-甲基-5-己烯-3-醇	43.396	—	—	—	0.010 00
	2-甲氧基-1-丙醇	17.276	—	0.310 00	—	—
	2-异丙氧基-4-醇	16.587	0.010 00	—	—	—
	3,7-二甲基-(R)-6-辛烯-1-醇	28.470	—	—	—	0.010 00
	3-甲基-1-己烯-3-醇	21.981	0.030 00	0.050 00	—	—
	4-异丙基-1-甲基环己-2-烯醇	19.957	—	—	—	0.030 00
	6,6-二甲基-双环[3.1.1]庚-2-烯-2-乙醇	8.842	—	—	—	0.040 00
	6-乙基-2,6-癸二烯-4,5-二醇	11.811	0.040 00	—	—	—
	(R*,R*)-2-甲基-5-硝基-3-己醇	43.399	0.010 00	0.010 00	—	—
	(E)-3,7,11-三甲基-1,6,10-十二碳三烯-3-醇	37.774	—	—	0.010 00	0.010 00
	顺式-5-乙烯基四氢-. $\alpha,\alpha,5$ -三甲基-2-呋喃甲醇	15.804	—	—	—	0.030 00
	(1. α ,2. α ,5. α)-2-甲基-5-(1-甲基乙基)-双环[3.1.0]己烷-2-醇	16.830	—	—	—	0.040 00
	[1R-(1. α ,4. β ,4. α , β ,8. α , β)]-1,2,3,4,4 α ,7,8,8 α -八氢-1,6-二甲基-4-(1-甲基乙基)-1-萘醇	25.024	—	—	—	0.010 00
(3R,3 α S,6S,7R)-3,6,8,8-四甲基八氢-1H-3 α ,7-甲基亚唑-6-醇	38.940	—	—	—	0.004 51	
小计			0.470 00	0.870 00	0.450 00	5.809 45
酯类	油酸乙酯	51.060	—	0.010 00	—	—
	乙酸芳樟酯	20.663	—	—	—	0.230 00
	乙酸2-苯乙酯	29.523	0.020 00	—	0.020 00	—
	亚油酸乙酯	52.318	—	0.010 00	—	—
	辛酸乙酯	15.927	0.080 00	0.110 00	—	—
	戊酸乙酯	5.140	—	0.010 00	—	—

续表 1

种类	物质名称	保留时间/min	物质含量/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)			
			切片	腌制	煮制	浇油
酯类	十五酸乙酯	38.150	—	—	0.010 00	—
	十四酸乙酯	38.149	0.060 00	0.050 00	—	—
	十六酸乙酯	44.443	0.060 00	0.100 00	—	—
	壬酸乙酯	19.949	0.150 00	0.230 00	—	—
	间甲苯甲酸 2-苯乙酯	29.500		0.010 00	—	—
	甲酸辛酯	20.745	0.030 00	0.060 00	0.040 00	—
	癸酸乙酯	23.886	0.050 00	0.080 00	—	0.010 00
	丙酸 2-甲基-3-羟基-2,2,4-三甲基戊酯	31.656	0.010 00	0.010 00	—	—
	α -乙酸松油酯	25.393	—	—	—	0.020 00
	9-十六烯酸乙酯	45.063	0.010 00	0.020 00	—	—
	9,12-十八碳二烯酸(Z,Z)-甲酯	52.316	0.004 57	—	—	—
	3-壬烯酸乙酯	21.800	0.010 00	0.020 00	—	—
	2-羟基戊酸甲酯	50.395	0.020 00	0.020 00	0.030 00	0.030 00
	2-羟基丙酸乙酯	12.012	0.040 00	0.030 00	—	—
	2-甲氧基丙酸甲酯	17.262	—	—	—	0.310 00
	2-甲基-1,2-二甲基丙基丁酸酯	21.000		0.030 00	—	—
	2,2,4-三甲基-1,3-戊二醇二异丁酸酯	32.140	0.080 00	0.100 00	—	—
	2,2,3,3-四甲基环丙烷羧酸,4-甲基苯基酯	15.190	—	0.010 00	—	—
	(Z)-3,7-二甲基-乙酸酯 2,6-辛二烯-1-醇	31.218	—	—	—	0.060 00
	1,2-苯二甲酸双(2-甲基丙基)酯	52.056	0.060 00	0.100 00	0.010 00	0.030 00
小计			0.684 57	1.010 00	0.110 00	0.690 00
烯类	石竹烯	21.394	—	0.004 75	0.030 00	0.090 00
	菝烯	3.539	0.130 00	—	—	—
	D-柠檬烯	6.901	—	—	0.060 00	0.790 00
	1-甲基-4-(6-甲基庚-5-烯-2-基)环己-1,3-二烯	25.406	—	—	0.010 00	—
	1-丁氧基-2,4-二甲基-2-戊烯	9.846	0.420 00	0.560 00	0.270 00	0.230 00
	[R*,R*-(E)]-4,5-二甲基-2-十一烯	10.743	—	0.020 00	—	—
	2-异丙基-5-甲基-9-亚甲基-双环[4.4.0]十二碳-1-烯	24.195	—	—	—	0.004 81
	小计			0.550 00	0.584 75	0.370 00
酮类	6-十一烷酮	19.312	—	0.010 00	—	—
	6-甲基-5-壬烯-4-酮	13.910	0.010 00	—	—	—
	6-甲基-5-庚烯-2-酮	11.796	—	—	—	0.070 00
	6,10-二甲基-5,9-十一二烯-2-酮	31.252	—	—	0.070 00	—
	5-壬酮	11.432	0.200 00	0.240 00	0.120 00	0.120 00
	5-羟基-4-辛酮	16.805	—	0.010 00	—	—
	4-辛酮	7.848	1.860 00	1.320 00	1.350 00	—
	4,6-壬二酮	22.167	0.030 00	0.040 00	0.020 00	0.020 00
	3-甲基-2-庚酮	7.042	2.950 00	1.580 00	—	2.580 00
	3-庚酮	5.633	0.770 00	0.740 00	0.370 00	0.700 00
	3,4-二甲基-2-己酮	6.991	0.010 00	1.920 00	3.490 00	—
	3,3,6-三甲基-1,5-七烯-4-酮	7.644	—	0.260 00	—	—
	3-(羟基)-2-壬酮	13.815	—	—	—	0.010 00

续表 1

种类	物质名称	保留时间/min	物质含量/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)			
			切片	腌制	煮制	浇油
酮类	2-十一烷酮	22.052	—	—	0.280 00	0.050 00
	2-壬酮	13.829	—	—	0.030 00	—
	2-甲基-6-亚甲基八-2,7-二烯-4-酮	7.698	0.340 00	—	—	0.220 00
	2,5-二甲基-3-己酮	5.560	—	—	0.190 00	—
	2,3-辛二酮	11.565	—	—	0.040 00	—
	2,2,7-三甲基辛烷-3,5-二酮	22.256	0.020 00	—	—	—
	1-环戊基-1-十六酮	10.752	0.020 00	—	—	—
	1-萘基-1-丁酮	28.573	—	0.020 00	—	—
	1-(4-甲基苯基)-乙酮	26.908	—	—	0.010 00	—
	1-(3-甲基苯基)-乙酮	26.903	—	0.010 00	—	—
	1-(1H-吡咯-2-基)-乙酮	34.501	—	—	0.010 00	0.020 00
	[1S-(1 α ,4 β ,5 α)]-4-甲基-1-(1-甲基乙基)-双环[3.1.0]己烷-3-酮	14.505	—	—	—	0.070 00
	小计		6.210 00	6.150 00	5.980 00	3.860 00
	其他	3-甲基-1-乙基苯	8.773	0.030 00	0.010 00	—
3,5-二甲基-1-乙基苯		11.204	0.010 00	—	—	—
甲氧基苯基-脞		29.087	0.080 00	0.130 00	0.100 00	0.060 00
茴香脑		29.820	0.010 00	0.020 00	0.210 00	0.390 00
己酸		30.967	0.020 00	—	—	—
苯酚		35.829	0.010 00	0.030 00	0.020 00	0.020 00
壬酸		41.438	0.030 00	—	0.020 00	—
正癸酸		44.599	0.010 00	—	—	—
5,9,13-三甲基-4,8,12-十四碳三烯		44.817	0.030 00	0.020 00	—	0.010 00
正十六酸		48.777	0.030 00	—	—	—
十二酸		50.922	0.010 00	—	—	—
十四酸		54.353	0.010 00	—	—	—
对二甲苯		5.053	—	0.020 00	0.010 00	—
2-甲基-1-乙基苯		7.473	—	0.010 00	—	—
1,2,3-三甲基苯		8.274	—	1.110 00	—	—
1-(1,5-二甲基-4-己烯基)-4-甲基苯		28.362	—	0.010 00	0.240 00	0.160 00
联萘酚		7.693	—	—	0.210 00	—
2,5-二甲基-3-乙基吡嗪		15.742	—	—	0.010 00	—
二烯丙基二硫醚		17.112	—	—	0.110 00	0.020 00
(1 α ,4 α , β ,8 α , α)-1,2,3,4,4 α ,5,6,8 α -八氢-7-甲基-4-亚甲基-1-(1-甲基乙基)-萘		25.781	—	—	0.050 00	0.030 00
[1S-(1 α ,4 α , β ,8 α , α)]-1,2,4 α ,5,8,8 α -六氢-4,7-二甲基-1-(1-甲基乙基)-萘		27.605	—	—	0.010 00	—
2-甲氧基-4-乙烯基苯酚		41.615	—	—	0.010 00	—
2,6-双(1,1-二甲基乙基)-苯酚		45.949	—	—	0.004 47	—
二丙基二硫醚		13.176	—	—	—	0.020 00
4-甲基-3-乙基吡啶		14.258	—	—	—	0.040 00
1-烯丙基-2-异丙基二硫醚		15.138	—	—	—	0.020 00
1,2,4 α ,5,6,8 α -六氢-4,7-二甲基-1-(1-甲基乙基)-萘		26.408	—	—	—	0.020 00
小计			0.280 00	1.360 00	1.004 47	0.790 00

2.2 挥发性风味物质的 OAV 分析及关键风味物质

感觉阈值和含量共同决定了挥发性物质对水煮肉片总体风味的贡献程度^[16], OAV 值越大, 表明该物质对总体风味贡献程度越大^[3]; $0 \leq \text{OAV} < 1$, 表明该物质对水煮肉片风味有修饰作用; $\text{OAV} \geq 1$, 表明该物质对水煮肉片整体风味贡献较大。由表 2 可知, 水煮肉片加工过程中 OAV 值 ≥ 1 的挥发性风味物质有 19 种。4 个加工阶段的关键风味物质主要为醛类(9 种)、醇类(3 种)、酯类(2 种)、烯类(2 种)、酮类(3 种)。其中, 壬醛、*D*-柠檬烯、(*E*)-2-壬烯醛、(*E,E*)-2,4-癸二烯醛在部分样品中的 OAV > 100, 蒎烯和芳樟醇在部分样品中的 OAV > 50, 这 6 种物质主要存在于煮制和浇油样品中, 对水煮肉片整体风味有较大贡献。

表 2 水煮肉片加工过程中挥发性风味物质的 OAV 值
Table 2 OAVs of key volatile flavor substances detected in boiled spicy pork slices during cooking

物质名称	阈值/ ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) ^[17]	切片	腌制	煮制	浇油
辛醛	0.001	26.91	—	—	17.11
3-庚酮	0.160	4.82	4.63	2.31	4.35
4-辛酮	0.082	22.72	16.09	16.45	—
5-壬酮	0.041	4.90	5.83	2.93	2.99
壬醛	0.001	48.77	216.75	743.49	21.61
辛酸乙酯	0.019	4.27	5.53	—	—
反-2-十一烯醛	0.001	3.01	8.47	24.94	21.89
十三醛	0.010	—	1.60	—	—
己醛	0.005	—	17.65	41.15	9.09
戊酸乙酯	0.006	—	1.52	—	—
1-辛烯-3-醇	0.002	—	19.41	17.51	6.89
1-庚醇	0.005	—	1.96	—	—
十二醛	0.000 29	—	34.62	45.43	29.92
蒎烯	0.002	—	—	84.82	—
3-甲基丁醛	0.001	—	—	28.62	—
<i>D</i> -柠檬烯	0.001	—	—	114.19	1 581.41
(<i>E</i>)-2-壬烯醛	0.000 09	—	—	170.58	55.24
芳樟醇	0.100	—	—	2.09	52.86
(<i>E,E</i>)-2,4-癸二烯醛	0.000 027	—	—	183.32	981.54

切片样品中检出 OAV ≥ 1 的挥发性风味物质有辛醛、3-庚酮、4-辛酮、5-壬酮、壬醛、辛酸乙酯和反-2-十一烯醛。3-庚酮、5-壬酮、壬醛和反-2-十一烯醛 4 种物质在各加工阶段均有检出, 结合表 1 中的物质含量, 3-庚酮呈先降低后增加趋势, 5-壬酮、壬醛和反-2-十一烯醛呈先增加后降低的趋势。醛类化合物和酮类化合物主要来源于脂肪氧化和蛋白质降解, 阈值要比其他化合物低, 小分子的醛类

和支链的醛类对肉类风味影响较大, 这些物质主要由脂肪氧化得到, 并具有一定的脂肪香味、黄油味、青草香、苹果香、甜香味、酯香味、花香味和其他果香味^[18]。煮制后, 壬醛的 OAV 急剧升高(达 743.49); 壬醛是油酸的主要氧化产物^[19], 具有一定的腥味和哈喇味, 是肉类主要的致腥物质之一, 还具有柑橘和其他果香^[20], 对各样品中风味物质的形成起到了促进作用。

与腌制样品相比, 煮制后样品中的 11 种物质的 OAV 值均有升高趋势。(E)-2-壬烯醛的 OAV 达到 170.58, 具有青香、脂香、西瓜香味^[21], 是多不饱和脂肪酸的氧化产物, 说明煮制促进了多不饱和脂肪酸的氧化^[22]; (E)-2-壬烯醛对煮制后水煮肉片风味的贡献较大。

经煮制加工后, 样品中 *D*-柠檬烯、(*E*)-2-壬烯醛和 (*E,E*)-2,4-癸二烯醛的 OAV 值分别为 114.19, 170.58, 183.32, 其中 *D*-柠檬烯和 (*E,E*)-2,4-癸二烯醛的含量高, 阈值低, 浇油后样品中 *D*-柠檬烯的 OAV 值是煮制后样品的 13 倍, (*E,E*)-2,4-癸二烯醛的 OAV 值是煮制后样品的 5 倍, 说明这两种物质在烹制过程中受温度的影响较大。而 (*E*)-2-壬烯醛的 OAV 值在浇油后样品中降至 55.24, 说明这种物质可能在高温下被分解成其他物质或者因受热导致部分挥发而损失。*D*-柠檬烯在浇油后样品中的 OAV 值显著上升, 具有新鲜橙子香气和柠檬样香气^[23], 在浇油后的样品中其含量增加, OAV 值达到最高(1 581.41)。(E,E)-2,4-癸二烯醛为亚油酸氧化产物, 具有脂肪味和新鲜甜橙味^[24], 阈值极低, 在浇油后样品中的 OAV 值为 981.54, 对产品风味的贡献位于第二。

与煮制样品相比, 浇油后样品中挥发性风味物质的 OAV 值大幅增加的有辛醛、3-庚酮、*D*-柠檬烯、芳樟醇和 (*E,E*)-2,4-癸二烯醛。辛醛和 *D*-柠檬烯来源于香料^[25], 具有独特的香味, 能够促进产品风味的形成。*D*-柠檬烯和芳樟醇的 OAV 值较高, 对产品的风味贡献大; 芳樟醇属于链状萜烯醇类, 既有紫丁香、铃兰香与玫瑰的花香, 又有木香、果香气息^[26]; 辛醛具有很强的水果香味和生嫩的新香, 这些物质对水煮肉片浇油阶段风味物质的形成起重要作用。

2.3 关键风味物质(OAV ≥ 1)的主成分分析

将 OAV ≥ 1 的关键风味物质进行主成分分析(PCA), 结果见表 3。由表 3 可知, 第 1 主成分的贡献率为 65.25%, 第 2 主成分的贡献率为 26.48%, 第 3 主成分的贡献率为 7.07%, 累计贡献率达 98.80%, 基本保留了 19 种关键挥发性物质的绝大部分信息。

结合表 4 和图 1 可知, 载荷绝对值可以直观表现该物质对该主成分的贡献, 绝对值越大, 贡献率越大^[27]。3-庚酮、5-壬酮、辛酸乙酯、反-2-十一烯醛、十三醛、己醛、蒎烯、

表3 关键风味物质主成分方差贡献值

Table 3 Variance contribution value of the principal components of key volatile flavor substances detected in samples

主成分	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
1	2.61	65.25	65.25
2	1.06	26.48	91.72
3	0.28	7.07	98.80
4	0.05	1.21	100.00

3-甲基丁醛、(E)-2-壬烯醛与PC1高度相关,D-柠檬烯、芳樟醇、(E,E)-2,4-癸二烯醛与PC2高度相关,4-辛酮、戊酸乙酯、1-庚醇与PC3具有较高相关性。切片、腌制和煮制的样品之间比较接近,而浇油的样品与其他3个样品之间的差异较大,说明浇油对样品中的风味物质影响较大。

2.4 关键风味物质(OAV≥1)的聚类分析

由图2可知,不同加工阶段样品中关键风味物质的组成和贡献存在差异。切片样品中辛醛、3-庚酮、4-辛酮、5-壬酮、壬醛、辛酸乙酯与其他样品的差异最为显著。辛醛具有柑橘香和脂肪香,主要来源于脂肪和脂溶性物质以及蛋白质的降解。3-庚酮和4-辛酮的阈值较低,对样品的风味有较大影响。

腌制样品中,有7种挥发性风味物质与其他样品的差异最为显著,分别为1-辛烯-3-醇、3-庚酮、5-壬酮、辛酸乙酯、十三醛、戊酸乙酯和1-庚醇。1-辛烯-3-醇具有蘑菇、薰衣草、玫瑰和甘草香气,是亚油酸氢过氧化物的降解产物^[28];3-庚酮和5-壬酮具有脂肪味、肥皂味,主要由脂肪氧化得到^[29];辛酸乙酯具有水果香气并伴随着菠萝、苹果样的香韵和白兰地的酒香味^[27],其阈值较低,在切片和腌制样品中均有检出,但对腌制样品风味形成的贡献更为显著,说明辛酸乙酯不仅仅在原料中含有,还有一部分来源于腌制的配料。戊酸乙酯具有苹果香气^[30],只在腌制样品中对风味的贡献显著,在其他样品中未检出,说明这种

表4 关键风味物质主成分载荷矩阵

Table 4 Principal component loading matrix of key volatile flavor substances detected in samples

化合物	PC1	PC2	PC3
辛醛	-0.467	-0.714	-0.522
3-庚酮	-0.931	-0.324	0.168
4-辛酮	-0.337	0.683	-0.648
5-壬酮	-0.864	0.491	0.109
壬醛	0.768	0.621	-0.155
辛酸乙酯	-0.881	0.473	0.023
反-2-十一烯醛	0.944	-0.193	0.267
十三醛	-0.811	0.545	0.214
己醛	0.819	0.565	0.101
戊酸乙酯	-0.467	0.608	0.642
1-辛烯-3-醇	0.399	0.715	0.574
1-庚醇	-0.467	0.608	0.642
十二醛	0.734	0.355	0.578
茨烯	0.862	0.418	-0.287
3-甲基丁醛	0.862	0.418	-0.287
D-柠檬烯	0.254	-0.864	0.434
(E)-2-壬烯醛	0.978	0.142	-0.152
芳樟醇	0.223	-0.870	0.439
(E,E)-2,4-癸二烯醛	0.364	-0.836	0.410

物质来源于配料中所添加的香辛料;1-庚醇也是猪肉中脂肪挥发性香味成分之一^[31],在腌制样品中对风味具有一定的贡献。

煮制样品中,与其他样品差异较为明显的挥发性风味物质有壬醛、己醛、茨烯、3-甲基丁醛、(E)-2-壬烯醛、反-2-十一烯醛、1-辛烯-3-醇和十二醛,这些物质具有脂肪味、黄油味和果香味,对于样品的特征香味有较大的贡献^[32]。除反-2-十一烯醛外,其余物质在浇油样品中未被

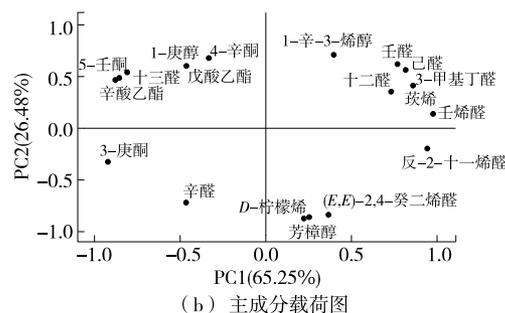
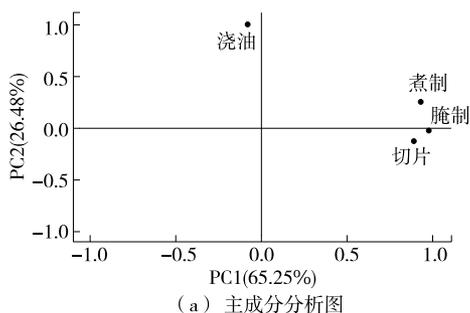


diagram of key flavor substances in boiled meat slices

图1 水煮肉片中关键风味物质主成分分析及主成分载荷图

Figure 1 Principal component analysis diagram and principal component loading

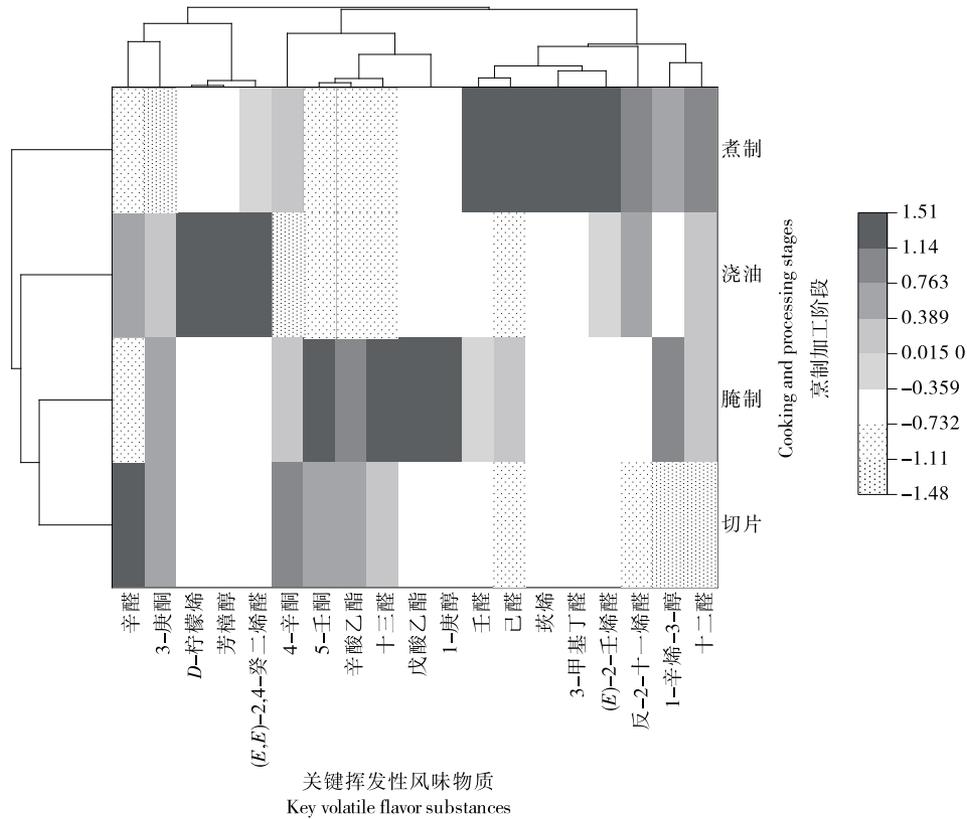


图 2 关键挥发性风味物质的 OAV 热图

Figure 2 Heat map and cluster diagram of key volatile flavor substances

检出或者大幅减少,说明加工过程中,这些物质被氧化或者反应生成了其他物质。

浇油样品中,差异明显的物质有辛醛、D-柠檬烯、芳樟醇、(E,E)-2,4-癸二烯醛和反-2-十一烯醛。其中 D-柠檬烯、芳樟醇和(E,E)-2,4-癸二烯醛对风味的贡献最为显著,芳樟醇具有桂花香和茶香气,是香料中的典型特征物质,浇油后香味强烈。(E,E)-2,4-癸二烯醛的气味阈值极低,对风味的贡献最为突出。

由图 2 可知,4 个加工样品中的关键挥发性风味物质的组成和对风味的贡献不尽相同。腌制和切片样品在最小水平上形成一个子类,表明腌制和切片样品的相似性较大;随着欧式距离的增大,这两个子类聚为一类,与浇油样品聚为一类;随着欧式距离的再一次增大,煮制样品与其他样品聚为一类,表明煮制样品中的关键挥发性风味物质与其他样品的差异是最大的。因此,可将 4 个加工阶段样品中关键挥发性风味物质的变化分为 3 个类别:切片和腌制为第一类,浇油为第二类,煮制为第三类,说明煮制过程对水煮肉片挥发性风味物质影响最大。结合主成分分析,影响水煮肉片挥发性风味物质的关键加工环节为煮制和浇油。

3 结论

采用气相色谱-质谱联用技术分析了水煮肉片在烹制加工过程中挥发性风味成分的变化。结果表明,切片、腌制、煮制和浇油 4 个阶段的样品中共检出 136 种挥发性风味物质,其中醛类 17 种、醇类 34 种、酯类 26 种、烯类 7 种、酮类 25 种、其他类 27 种。4 个加工阶段的关键风味物质(OAV≥1)主要为醛类(9 种)、醇类(3 种)、酯类(2 种)、烯类(2 种)、酮类(3 种)。综合主成分分析及聚类分析结果,煮制和浇油是影响水煮肉片挥发性风味物质的关键加工环节。不同烹制加工阶段对水煮肉片关键挥发性风味物质的影响机制有待进一步研究。

参考文献

[1] 王琳, 赵镭, 范刚, 等. 不同烹饪及储存条件对菜品感官品质的影响[J]. 中国调味品, 2019, 44(11): 6-12, 17.
WANG L, ZHAO L, FAN G, et al. Effects of different cooking and storage conditions on sensory quality of dishes[J]. China Condiment, 2019, 44(11): 6-12, 17.

[2] 王琳, 范刚, 谢定源, 等. 菜品烹饪及储存条件对其滋味物质含量的影响研究[J]. 中国调味品, 2019, 44(8): 27-36.
WANG L, FAN G, XIE D Y, et al. Effects of cooking and

- storage conditions on the flavor substances content of the dishes [J]. *China Condiment*, 2019, 44(8): 27-36.
- [3] QI S S, WANG P, ZHAN P, et al. Characterization of key aroma compounds in stewed mutton (goat meat) added with thyme (*Thymus vulgaris* L.) based on the combination of instrumental analysis and sensory verification[J]. *Food Chemistry*, 2022, 371: 131111.
- [4] LIU H, WANG Z, ZHANG D, et al. Generation of key aroma compounds in Beijing roasted duck induced via maillard reaction and lipid pyrolysis reaction[J]. *Food Research International*, 2020, 136: 109328.
- [5] 白婷, 咎博文, 汪正熙, 等. 回锅肉不同加工阶段的风味特征分析[J]. *现代食品科技*, 2021, 37(8): 244-257.
- BAI T, ZAN B W, WANG Z X, et al. Flavor components in different processing stages of twice-cooked pork[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2021, 37(8): 244-257.
- [6] 姚敏, 谢国芳, 杨蓉, 等. 红烧肉制备过程中关键环节的风味化合物分析[J]. *食品与机械*, 2022, 38(1): 15-23, 43.
- YAO M, XIE G F, YANG R, et al. Analysis of flavor compounds in the process of stewed pork at key stages[J]. *Food & Machinery*, 2022, 38(1): 15-23, 43.
- [7] 沈菲, 罗瑞明, 丁丹, 等. 基于相对气味活度值法的新疆大盘鸡中主要挥发性风味物质分析[J]. *肉类研究*, 2020, 34(8): 46-50.
- SHEN F, LUO R M, DING D, et al. Analysis of main volatile flavor compounds in Xinjiang market chicken based on relative odor activity value[J]. *Meat Research*, 2020, 34(8): 46-50.
- [8] 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.
- FAN M Q, YANG F, JIA H F, 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.
- [9] 史万震, 陈苏华, 葛小琴. 烹饪工艺学[M]. 上海: 复旦大学出版社, 2015: 260.
- SHI W Z, CHEN S H, GE X Q. *Cooking technology*[M]. Shanghai: Fudan Press, 2015: 260.
- [10] 黄佳, 倪呈, 贾洪锋, 等. 煎制成熟度对牛排挥发性风味物质及感官的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2024, 50(5): 305-316.
- HUANG J, NI C, JIA H F, et al. Effects of pan-fried maturity on volatile flavor compounds and sensory quality of beef steaks [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2024, 50(5): 305-316.
- [11] WANG L H, ZHU L, ZHENG F P, et al. Determination and comparison of flavor (retronasal) threshold values of 19 flavor compounds in Baijiu[J]. *Journal of Food Science*, 2021, 86(5): 2 061-2 074.
- [12] MOTTRAM D S. Flavour formation in meat and meat products: a review[J]. *Food Chemistry*, 1998, 62(4): 415-424.
- [13] CHEN X, LUO J, LOU A, et al. Duck breast muscle proteins, free fatty acids and volatile compounds as affected by curing methods[J]. *Food Chemistry*, 2021, 338: 128138.
- [14] LIU D, BAI L, FENG X, et al. Characterization of Jinhua ham aroma profiles in specific to aging time by gas chromatography-ion mobility spectrometry (GC-IMS) [J]. *Meat Science*, 2020, 168: 108178.
- [15] ZHOU Y, WANG X, CHEN Y, et al. Effects of different paprikas on the quality characteristics and volatile flavor components of spiced beef[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2021, 45(4): 15353.
- [16] ZHU Y F, CHEN J, CHEN X J, et al. Use of relative odor activity value (ROAV) to link aroma profiles to volatile compounds: application to fresh and dried eel (*Muraenesoxcinereus*) [J]. *International Journal of Food Properties*, 2020, 23(1): 2 257-2 270.
- [17] 范海默特. 化合物嗅觉阈值汇编[M]. 2版. 李智宇, 王凯, 冒德寿, 等译. 北京: 科学出版社, 2018: 242-430.
- VAN G L. *Compilations of odour threshold values in air, water and other media: second enlarged and revised edition*[M]. 2nd ed. LI Z Y, WANG K, MAO D S, et al trans. Beijing: Science Press, 2018: 242-430.
- [18] 吴江超, 郭玉霞, 赵群. 国内应用 SPME-GC-MS 技术在食品挥发性风味物质检测中的研究进展[J]. *农产品加工*, 2017(22): 62-64.
- WU J C, GUO Y X, ZHAO Q. Domestic research progress on solid phase micro- extraction and gas chromatography- mass spectrometry (GC-MS) determination of volatile components in foods[J]. *Farm Products Processing*, 2017(22): 62-64.
- [19] BA H, RYU K S, LAN N T K, et al. Influence of particular breed on meat quality parameters, sensory characteristics, and volatile components[J]. *Food Science and Biotechnology*, 2013, 22(3): 651-658.
- [20] 王旭. 干法成熟羊肉品质与加工适宜性研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2021: 34.
- WANG X. Study on the quality of dry aged lamb and its processing suitability[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2021: 34.
- [21] 赵泽伟, 丁筑红, 顾苑婷, 等. 基于 SPME-GC-MS 和电子鼻分析葱蒜仁油加速氧化过程挥发性成分变化[J]. *食品科学*, 2019, 40(16): 220-226.
- ZHAO Z W, DING Z H, GU Y T, et al. Changes in volatile components of coix seed oil during accelerated oxidation analyzed by solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry and electronic nose[J]. *Food Science*, 2019,

- 40(16): 220-226.
- [22] 李钰芳, 施娅楠, 李祥, 等. 传统工艺下发酵时间对大河乌猪火腿挥发性风味物质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(6): 160-167.
- LI Y F, SHI Y N, LI X, et al. Effect of fermentation time on volatile flavor compounds of Dahe blackpig ham during traditional processing[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(6): 160-167.
- [23] 杨明翰, 骆骄阳, 乔美玲, 等. 多伞阿魏挥发油化学成分 GC-MS 分析及 *D*-柠檬烯抗胃癌活性研究[J]. 中国现代应用药学, 2020, 37(7): 806-813.
- YANG M H, LUO J Y, QIAO M L, et al. GC-MS analysis of volatile oil from ferula ferulaeoides and anti-gastric cancer activity of *D*-limonene *in vitro*[J]. Chinese Journal of Modern Applied Pharmacy, 2020, 37(7): 806-813.
- [24] 刘笑生, 杨政茂, 杜闪, 等. 金华火腿皮下脂肪中气味活性化合物研究[J]. 中国食品学报, 2014, 14(9): 239-246.
- LIU X S, YANG Z M, DU S, et al. Studies on the odor active compounds of subcutaneous fat of Jinhua ham[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2014, 14(9): 239-246.
- [25] 王振东, 王彦清, 周瑞铮, 等. 基于主成分分析法的羊肉特征性风味强度评价模型的构建[J]. 食品科学, 2017, 38(22): 162-168.
- WANG Z D, WANG Y Q, ZHOU R Z, et al. Construction of evaluation model for characteristic flavor intensity of lamb meat based on principal component analysis[J]. Food Science, 2017, 38(22): 162-168.
- [26] 赵凤, 许萍, 曾诗雨, 等. 鲟鱼传统发酵过程中挥发性风味物质的分析评价[J]. 食品科学, 2019, 40(10): 236-242.
- ZHAO F, XU P, ZENG S Y, et al. Analysis of volatile compounds in fermented sturgeon[J]. Food Science, 2019, 40(10): 236-242.
- [27] 莫然, 唐善虎, 李思宁, 等. 低钠盐对不同成熟条件下自然发酵牦牛肉灌肠脂质氧化及挥发性风味物质的影响[J]. 食品科学, 2022, 43(10): 227-235.
- MO R, TANG S H, LI S N, et al. Effect of low sodium salt on lipid oxidation and volatile flavor compounds of naturally fermented yak meat sausage under different ripening conditions [J]. Food Science, 2022, 43(10): 227-235.
- [28] DEEPAK K V, SHAYMA T G A S, ALAA K N, et al. Recent trends in microbial flavour compounds: a review on chemistry, synthesis mechanism and their application in food[J]. Saudi Journal of Biological Sciences, 2022, 29(3): 1 565-1 576.
- [29] 李享, 李迎楠, 贾晓云, 等. 不同品种猪肉加工广式腊肠的色泽和风味分析[J]. 肉类研究, 2017, 31(11): 53-59.
- LI X, LI Y N, JIA X Y, et al. Analysis of color and flavor quality of cantonese sausage made of pork from different breeds[J]. Meat Research, 2017, 31(11): 53-59.
- [30] 钟媛媛, 陈伟, 段雨帆, 等. 固相微萃取—气相色谱—质谱联用法测定传统酸肉发酵过程中特征挥发性成分[J]. 肉类研究, 2021, 35(9): 20-26.
- ZHONG A A, CHEN W, DUAN Y F, et al. Determination of changes in key volatiles during sour meat fermentation by solid-phase microextraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry[J]. Meat Research, 2021, 35(9): 20-26.
- [31] 齐李歌, 杨宪东, 高振鹏, 等. 陕西特色臊子肉特征香气物质解析[J]. 肉类研究, 2021, 35(2): 25-30.
- QI L G, YANG X D, GAO Z P, et al. Analysis of characteristic aroma substances of Shaanxi featured diced meat[J]. Meat Research, 2021, 35(2): 25-30.
- [32] LAURA P S, REBECA M, CARMELA B, et al. Microbial changes and aroma profile of nitrate reduced dry sausages during vacuum storage[J]. Meat Science, 2019, 147: 100-107.