

## 实验技术与方法

## 陇西腊羊肉卤制过程中挥发性成分分析

田越<sup>1</sup>,常铭元<sup>1</sup>,梁晓琳<sup>1</sup>,范丽萍<sup>1</sup>,刘红娜<sup>1,2</sup>,丁波<sup>1</sup>

(1. 西北民族大学生命科学与工程学院,甘肃兰州 730030;

2. 西北民族大学生物医学研究中心,中国-马来西亚国家联合实验室,甘肃兰州 730030)

**摘要:**目的 研究陇西腊羊肉在原料期、腌制期、卤煮期和高温灭菌期4个阶段挥发性风味物质的变化。方法 以陇西腊羊肉为研究对象,通过电子鼻和固相微萃取-气相色谱-质谱(SPME-GC-MS)联用技术,用相对气味活度值(ROAV)进行表征。结果 陇西腊羊肉在不同加工阶段中共检出74种挥发性风味物质,各阶段种类数分别为34、26、37、38种,峰面积占比先增大后减小。腌制期和卤煮期是影响腊羊肉风味的重要加工阶段。ROAV分析得出23种关键性风味物质,其中醛类对腊羊肉风味形成的贡献最大,烃类和醇类次之。1-辛烯-3-醇、己醛、壬醛为腊羊肉的特征性风味物质。总体来看,陇西腊羊肉加工过程中的挥发性风味物质在腌制期和卤煮期变化明显,且醛类、烃类、醇类是主要挥发物种类。结论 陇西腊羊肉在加工过程中的挥发性风味物质的变化,可促进陇西腊羊肉在现代化工业中关于风味控制技术的研发,加快其品质改良与工业进程。

**关键词:** 陇西腊羊肉;挥发性风味物质;电子鼻;固相微萃取-气相色谱-质谱

中图分类号:R155 文献标识码:A 文章编号:1004-8456(2022)06-1193-09

DOI:10.13590/j.cjfh.2022.06.011

## Volatile components of Longxi cured mutton in the marinating process

TIAN Yue<sup>1</sup>, CHANG Mingyuan<sup>1</sup>, LIANG Xiaolin<sup>1</sup>, FAN Liping<sup>1</sup>, LIU Hongna<sup>1,2</sup>, DING Bo<sup>1</sup>

(1. College of Life Science and Engineering, Northwest Minzu University, Gansu Lanzhou 730030, China;

2. China-Malaysia National Joint Laboratory, Biomedical Research Center, Northwest Minzu University, Gansu Lanzhou 730030, China)

**Abstract: Objective** To investigate the changes of volatile flavor components in Longxi cured mutton during the four stages of raw material, curing, cooking and autoclaving. **Methods** Longxi cured mutton was studied by electronic nose and solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry (SPME-GC-MS) combined with relative odor activity value (ROAV) method. **Results** A total of 74 volatile flavor components were detected in Longxi cured mutton at different processing stages, with the number of species at each stage being 34, 26, 37 and 38 respectively, and the peak area ratio increased and then decreased. The curing and cooking stages were important processing stages affecting the flavor of cured mutton. ROAV analysis yielded 23 key flavor substances, with aldehydes contributing the most to the flavor formation of cured mutton, followed by hydrocarbons. 1-octen-3-ol, hexanal and nonanal were the characteristic flavor components of cured mutton. Overall, the volatile flavor components in the processing of Longxi cured mutton varied significantly during the curing and cooking periods, and aldehydes, hydrocarbons and alcohols were the main volatile species. **Conclusion** The experiment yielded changes in the volatile flavor components of Longxi cured mutton during processing, which could promote the development of Longxi cured mutton in modern industry regarding flavor control technology and accelerate its quality improvement and industrialization process.

**Key words:** Longxi cured mutton; volatile flavor substances; electronic nose technology; solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry

收稿日期:2022-03-20

基金项目:甘肃省高等学校创新基金项目(2021B-069);中央高校基本科研业务费专项资金项目(31920220045);西北民族大学2021年本科生物科研创新项目(XBMU21142);教育部创新团队发展计划(IRT\_17R88)

作者简介:田越 女 本科生 研究内容为食品科学与工程 E-mail:tiyk702@163.com

通信作者:刘红娜 女 副教授 研究内容为畜产品加工 E-mail:284142468@xbmu.edu.cn

丁波 男 实验师 研究内容为食品科学 E-mail:kelpbo@163.com

刘红娜和丁波为共同通信作者

陇西腊羊肉被誉为“陇原三绝”之一,是以新鲜羊肉为原料,经着色、腌制、卤煮等传统工艺制作而成的一种酱卤肉制品,因其较高的营养价值、鲜美的色泽、醇香的口感和独特的风味而深受消费者喜爱<sup>[1]</sup>。挥发性风味物质是影响酱卤肉制品品质特性的一项重要指标,一般与加工过程中前体、中间及降解产物间的化学反应有关<sup>[2]</sup>。

近年来,酱卤肉制品的风味成分受到了研究者的广泛关注<sup>[3-6]</sup>。但是目前对酱卤肉制品的风味研究主要集中在对成品的不同加工方式<sup>[7-8]</sup>、不同品类间的差别分析<sup>[9-10]</sup>。如朱文政等<sup>[11]</sup>研究了烹制时间对红烧肉挥发性风味的影响,其中共检出93种挥发性风味物质,得出醛类、酯类、呋喃类是红烧肉烹制过程中的主要风味物质;张哲奇等<sup>[12]</sup>揭示了粉蒸肉从熟制到使用前的不同处理中风味特征的变化,得出微波复热对产品风味的不良影响小;李娟等<sup>[13]</sup>研究了北京地区不同品牌中酱卤牛肉中挥发性风味物质的贡献度,最终鉴定出78种挥发性风味物质和12种气味活性物质。而对加工过程中挥发性风味物质的变化规律的研究鲜见报道。

陇西腊羊肉是我国传统的酱卤肉制品,在生产中对其加工过程的风味物质变化规律并不明确,缺乏对风味控制方面的理论指导,这极大地限制了其品质改良与工业化进程。固相微萃取(Solid phase microextraction, SPME)被广泛应用于食品中挥发性物质的萃取,气相色谱-质谱(Gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)是肉制品风味物质分类鉴定的主要方法之一,结合相对气味活度值(Relative odor activity value, ROAV)分析可精确判断肉制品中有主要贡献的物质,电子鼻能对样品中挥发性成分的整体信息进行综合分析<sup>[5,14]</sup>。

因此,本试验采用电子鼻和SPME-GC-MS技术联用,并结合ROAV,分析陇西腊羊肉在加工过程中挥发性风味物质的变化,旨在探明整个加工过程中风味品质的变化规律,得出陇西腊羊肉加工过程中的重要阶段和关键性风味物质,为陇西腊羊肉的工艺优化和指导工厂标准化生产提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品制备

#### 1.1.1 腊羊肉加工工艺流程

原料期(选料→清洗修整)→腌制期(着色→腌制)→卤煮期(卤煮→冷却)→高温灭菌期(高温灭菌→冷却)→成品。

### 1.1.2 操作要点

#### 1.1.2.1 原料期

选用新鲜羊腿肉;剔除筋腱、碎骨等,按20 cm×3 cm×2 cm大小切片,置于清水中浸泡漂洗至无血水,沥干水分。

#### 1.1.2.2 腌制期

将红曲放入锅内加少量清水,小火烧开溶解红曲,冷却后均匀涂抹在羊肉表面;加姜、混合香料(桂子、花椒、桂皮、丁香、草果)、香油、食盐和料酒,腌制1 h。

#### 1.1.2.3 卤煮期

将羊肉置于蒸煮锅内,锅中加清水至没过肉,旺火煮沸后用小火焖煮约2 h,期间定时翻动;取出冷却。

#### 1.1.2.4 高温灭菌期

将样品置入杀菌釜中,121 ℃保持30 min;当釜内压力为0时,取出冷却至常温。

### 1.1.3 取样

在腊羊肉原料期、腌制期、卤煮期和高温灭菌期4个加工阶段分别取50 g,依次编号为T0、T1、T2和T3。

## 1.2 主要仪器与试剂

PEN型电子鼻(德国Air sense公司),顶空固相微萃取(HS-SPME, 50/30 μm DVB/CAR/PDMS, 美国SUPELCO),气相色谱-质谱联用仪(Agilent6890 GC-5973MSD, 美国Agilent公司)。

羊肉、姜、混合香料(桂子、花椒、桂皮、丁香、草果)、红曲、食盐、料酒(市售)。

## 1.3 挥发性风味物质分析

### 1.3.1 固相微萃取

称取5 g试样于40 mL顶空瓶,加入磁力搅拌子和5 mL饱和氯化钠,封盖摇匀,置于磁力搅拌仪上加热(60 ℃, 1 600 r/min),60 ℃平衡20 min,将已老化好的萃取头插入顶空瓶中,60 ℃萃取40 min,取出,将萃取头于气相色谱质谱仪解吸5 min。

### 1.3.2 GC条件

参考刘颜等<sup>[3]</sup>的方法并修改,HP-INNOWAX柱(60.0 m×0.25 mm×0.50 μm);进样口温度:200.0 ℃;程序升温:初始温度60 ℃,保持1 min,以2 ℃/min升至180.0 ℃后以20 ℃/min升至230.0 ℃,保持5 min;载气氦气(纯度≥99.999%)。

### 1.3.3 MS条件

电子能量:70 eV;离子源温度:230 ℃,溶剂延迟时间:3 min,质量扫描范围:m/z 35~500。

### 1.3.4 定性及定量

参考刘登勇等<sup>[15]</sup>的方法,样品中的挥发性风味

物质经气相色谱分离、质谱进行分析鉴定后,将质谱图中的峰与计算机谱库(Nist/Wiley)进行检索结果比对,选择匹配度>80的检索结果(总值100),各化合物峰面积由软件系统计算,用峰面积归一化法计算各挥发性成分在腊羊肉挥发性物质中的相对含量。

### 1.4 ROAV 计算

根据文献中各挥发性化合物的感觉阈值<sup>[15-22]</sup>,利用以下公式计算各组分的 ROAV 值<sup>[20]</sup>。

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

式中: $C_i$ :样品中各挥发性物质的相对含量,%; $C_{max}$ :为对样品风味贡献最大组分的相对含量,%; $T_i$ :样品中各挥发性物质在水中的感觉阈值, $\mu\text{g}/\text{kg}$ ; $T_{max}$ :为对样品风味贡献最大组分在水中的感觉阈值, $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。

### 1.5 电子鼻分析

参照王瑞花等<sup>[23]</sup>的方法并修改,取5g肉样于500 mL烧杯中,50℃加热5min。载气为洁净的干燥空气,载气流量为100 mL/min,采用顶空抽样法用电子鼻检测,检测时间为80s,传感器流量为100 mL/min,清洗时间为60s。使用稳态信号进行分析,将70s的信号作为分析电子鼻的时间点,每组样品做6次平行重复测定。电子鼻传感器性能见表1。

### 1.6 统计学分析

通过 Microsoft Excel 2019 和 SPSS 25.0 对数据进行统计学分析;利用 Origin 2018 对试验结果进行主成分分析、线性判别分析和作图;每组试验重

表1 PEN3型便携式电子鼻传感器敏感物质

Table 1 PEN3 portable electronic nose sensor sensitive material

阵列序号	传感器名称	敏感物质
R1	W1C	芳香烃化合物
R2	W5S	氮氧化物
R3	W3C	氨类,对芳香成分敏感
R4	W6S	氢化物
R5	W5C	短链烷烃芳香成分
R6	W1S	烷类
R7	W1W	硫化化合物
R8	W2S	醇、醛酮类
R9	W2W	芳烃化合物,硫的有机化合物
R10	W3S	长链烷烃

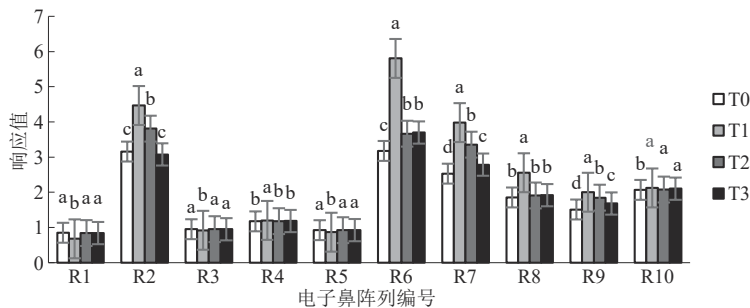
复3次。

## 2 结果

### 2.1 电子鼻检测结果

#### 2.1.1 电子鼻对特征气味的响应

图1可知,腊羊肉在R2、R6的响应值最强,其次为R7、R8、R9、R10,故氮氧化物、烷类、硫化化合物、醇醛酮类、有机硫化物及长链烷烃是其中主要存在的挥发性物质。而R1、R3、R4、R5响应值较低,故芳香烃化合物、氨类、氢化物以及短链烷烃类物质较少。此外,腌制期(T1)在R2、R4、R6、R7、R8和R9的响应值显著高于其余阶段( $P<0.05$ ),卤煮期(T2)在R2、R7和R9的响应值显著高于原料期(T0)和高温灭菌期(T3)( $P<0.05$ ),说明腌制期(T1)和卤煮期(T2)对腊羊肉风味形成具有重要作用。综上,氮化合物、烷类、硫化化合物、醇醛酮类、有机硫化物及长链烷烃是腊羊肉加工过程中的主要风味物质,且腌制期(T1)和卤煮期(T2)是腊羊肉风味形成的重要阶段。



注:不同小写字母代表差异显著, $P<0.05$

图1 电子鼻传感器对腊羊肉风味的响应值

Figure 1 Response value of electronic nose sensor to flavor of cured mutton

#### 2.1.2 主成分分析和线性判别分析

主成分分析(Principal component analysis, PCA)和线性判别分析(Linear discriminant analysis, LDA)如图2所示。PC1和PC2的总贡献率为92.16%,高于85%,能充分反应腊羊肉的整体风味特征。腌制期(T1)构成独立组群,显著区别于其余阶段;卤煮期

(T2)与高温灭菌期(T3)有部分重叠;原料期(T0)区分不明显。采用LDA进一步分析,LD1和LD2的总贡献率为95.13%,能有效识别不同样品间风味的差异。原料期(T0)区分明显;卤煮期(T2)与高温灭菌期(T3)能被区分,但仍有重叠部分。这表明LDA能够较好地区分4个加工阶段,腌制期(T1)开始风味发生

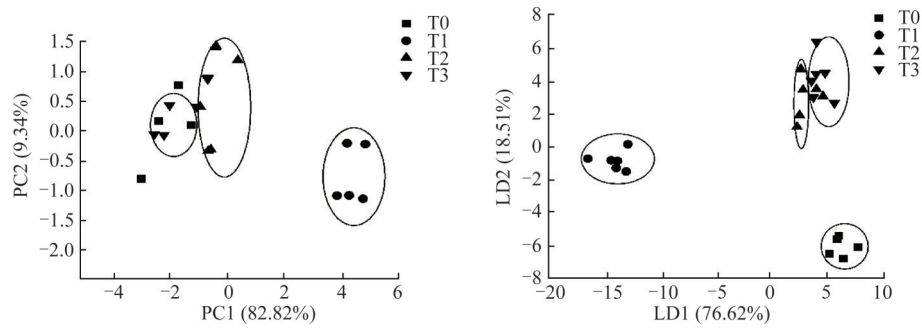


图2 腊羊肉加工过程中电子鼻PCA和LDA分析

Figure 2 PCA and LDA analysis of electronic nose in the stewing process of cured mutton

较大变化,卤煮期(T2)和高温灭菌期(T3)挥发性气味相似。综上,LDA的总贡献率较PCA高,对样品的区分度高,腌制期(T1)对腊羊肉风味形成有重要作用,卤煮期(T2)与高温灭菌期(T3)有部分相似风味。

### 2.2 腊羊肉加工过程中挥发性风味物质的变化分析

由表2可知,腊羊肉的加工中共检出74种挥发性风味物质,分别为34、26、37、38种,峰面积占比为76.40%、84.14%、90.63%、74.23%;包括烃类

21种、醇类17种、醛类10种,酯类、杂环类各5种、酸类、酮类各4种、酚类1种和其他7种。综上,不同加工阶段所检的挥发性风味物质差异大,峰面积占比先增大后减小,在腌制期(T1)与卤煮期(T2)达到最大,与电子鼻检测所得腌制期(T1)和卤煮期(T2)对腊羊肉风味的形成具有重要作用的结果一致;检出烃类种类最多,醇、醛类次之,与电子鼻中烷类、醇醛酮类和长链烷烃这几部分响应值较高的结果相符。

表2 腊羊肉加工过程中风味物质种类和峰面积占比

Table 2 Types and the proportion of peak area of flavor substances in the processing of cured mutton

种类	化合物名称	保留时间/min	峰面积占比/%			
			T0	T1	T2	T3
烃类(21)	正己烷	4.94	0.18±0.02 <sup>a</sup>	-	-	-
	2,4-二甲基乙烷	6.44	0.28±0.01 <sup>a</sup>	-	-	-
	萘烯	12.82	-	-	0.28±0.11 <sup>a</sup>	-
	3-萘烯	12.84	-	-	-	0.09±0.01 <sup>a</sup>
	四氯乙烯	12.93	0.73±0.29 <sup>a</sup>	0.29±0.01 <sup>b</sup>	0.36±0.02 <sup>b</sup>	0.17±0.13 <sup>b</sup>
	茨烯	14.61	-	-	-	0.05±0.05 <sup>a</sup>
	十一烷	14.82	-	0.35±0.25 <sup>a</sup>	-	0.11±0.04 <sup>a</sup>
	左旋-beta-萘烯	16.52	-	-	0.24±0.01 <sup>a</sup>	0.08±0.01 <sup>b</sup>
	香桉烯	17.16	-	-	0.36±0.06 <sup>a</sup>	-
	桉烯	17.31	-	-	0.17±0.01 <sup>a</sup>	0.14±0.02 <sup>a</sup>
	月桂烯	19.47	-	-	0.75±0.03 <sup>a</sup>	0.31±0.02 <sup>b</sup>
	十二烷	20.43	-	1.46±0.02 <sup>a</sup>	-	-
	十三烷	20.53	0.68±0.04 <sup>a</sup>	-	-	-
	γ-松油烯	20.81	-	-	1.37±0.01 <sup>a</sup>	0.19±0.03 <sup>b</sup>
	金刚烷	20.83	-	-	0.43±0.03 <sup>a</sup>	-
	柠檬烯	21.90	-	1.61±0.14 <sup>b</sup>	3.07±0.21 <sup>a</sup>	1.36±0.11 <sup>b</sup>
	正十六烷	26.84	-	0.77±0.05 <sup>a</sup>	-	-
	3-甲基-5-丙基壬烷	26.97	-	-	-	0.11±0.01 <sup>a</sup>
	2-萘烯	27.39	-	-	0.31±0.06 <sup>a</sup>	0.14±0.03 <sup>b</sup>
	烯炔	54.68	-	1.19±0.07 <sup>a</sup>	-	0.27±0.04 <sup>b</sup>
	Alpha-姜黄烯	57.90	-	0.65±0.04 <sup>a</sup>	-	0.10±0.01 <sup>b</sup>
总峰面积占比	/		1.88±0.30 <sup>d</sup>	6.34±0.17 <sup>b</sup>	7.35±0.33 <sup>a</sup>	3.15±0.20 <sup>c</sup>
醇类(17)	乙醇	9.38	0.40±0.03 <sup>b</sup>	4.85±0.21 <sup>a</sup>	0.27±0.02 <sup>b</sup>	-
	异戊醇	22.11	0.90±0.01 <sup>a</sup>	-	-	-
	桉叶油醇	22.71	0.53±0.04 <sup>d</sup>	6.50±0.01 <sup>b</sup>	7.48±0.06 <sup>a</sup>	3.87±0.12 <sup>c</sup>
	1-戊醇	24.75	4.13±0.32 <sup>a</sup>	2.00±0.01 <sup>b</sup>	0.13±0.02 <sup>c</sup>	0.13±0.02 <sup>c</sup>
	正己醇	31.32	1.64±0.07 <sup>a</sup>	-	-	0.07±0.01 <sup>b</sup>
	1-辛烯-3-醇	37.60	2.89±0.23 <sup>b</sup>	11.41±0.04 <sup>a</sup>	1.76±0.05 <sup>c</sup>	0.51±0.01 <sup>d</sup>
	正庚醇	37.93	0.48±0.03 <sup>a</sup>	-	-	-
	2-乙基己醇	40.11	0.75±0.02 <sup>a</sup>	-	-	0.19±0.03 <sup>b</sup>
	芳樟醇	43.78	0.21±0.03 <sup>b</sup>	12.71±1.12 <sup>a</sup>	-	-
	4-侧柏醇	44.27	-	-	-	0.19±0.02 <sup>a</sup>
正辛醇	44.38	0.46±0.09 <sup>b</sup>	2.23±0.35 <sup>a</sup>	-	0.10±0.01 <sup>b</sup>	

续表 2

种类	化合物名称	保留时间/min	峰面积占比/%			
			T0	T1	T2	T3
醛类(10)	反式-4-(异丙基)-1-甲基环己-2-烯-1-醇	45.29	-	-	6.57±0.87 <sup>a</sup>	0.07±0.03 <sup>b</sup>
	2,3-丁二醇	45.76	0.03±0.05 <sup>a</sup>	-	-	-
	4-萜品醇	47.93	-	1.61±0.06 <sup>c</sup>	4.1±0.24 <sup>a</sup>	2.27±0.14 <sup>b</sup>
	环辛醇	48.11	0.42±0.01 <sup>a</sup>	-	-	0.07±0.01 <sup>b</sup>
	3-呋喃甲醇	51.28	0.90±0.04 <sup>a</sup>	-	-	-
	α-松油醇	53.40	-	0.85±0.12 <sup>b</sup>	2.32±0.31 <sup>a</sup>	-
	总峰面积占比	/	12.94±0.65 <sup>c</sup>	42.18±1.78 <sup>a</sup>	22.64±1.53 <sup>b</sup>	7.50±0.11 <sup>d</sup>
	戊醛	11.17	1.28±0.01 <sup>a</sup>	-	0.81±0.05 <sup>b</sup>	-
	异戊醛	11.21	-	0.39±0.01 <sup>a</sup>	-	0.14±0.01 <sup>b</sup>
	己醛	15.51	27.94±1.02 <sup>a</sup>	11.8±1.31 <sup>b</sup>	10.07±0.09 <sup>c</sup>	1.72±0.01 <sup>d</sup>
	正庚醛	21.32	0.45±0.04 <sup>b</sup>	-	1.35±0.03 <sup>a</sup>	0.13±0.01 <sup>c</sup>
	辛醛	27.82	-	1.76±0.01 <sup>a</sup>	1.28±0.04 <sup>b</sup>	0.26±0.02 <sup>c</sup>
	(E)-2-庚烯醛	30.33	2.33±0.05 <sup>a</sup>	-	-	-
	壬醛	34.48	1.95±0.12 <sup>c</sup>	6.93±0.05 <sup>a</sup>	3.41±0.26 <sup>b</sup>	1.12±0.07 <sup>d</sup>
	癸醛	41.23	-	-	0.18±0.01 <sup>a</sup>	-
	苯甲醛	43.79	-	-	26.25±1.57 <sup>a</sup>	-
	反式-2-癸烯醛	50.39	0.17±0.02 <sup>a</sup>	-	-	-
总峰面积占比	/	34.12±1.17 <sup>b</sup>	20.88±1.37 <sup>c</sup>	43.36±1.84 <sup>a</sup>	3.37±0.09 <sup>d</sup>	
酯类(5)	正己酸乙酯	29.85	-	3.02±0.03 <sup>a</sup>	2.20±0.10 <sup>b</sup>	-
	乙酸辛酯	37.94	-	1.17±0.05 <sup>a</sup>	-	-
	丙醇酸丙酯	40.12	-	0.98±0.01 <sup>a</sup>	-	-
	乙酸芳樟酯	44.6	-	3.41±0.01 <sup>b</sup>	6.57±1.01 <sup>a</sup>	2.7±0.15 <sup>b</sup>
	乙酸香叶酯	56.51	-	-	0.31±0.25 <sup>a</sup>	0.13±0.08 <sup>a</sup>
	总峰面积占比	/	-	8.58±0.05 <sup>a</sup>	9.12±1.14 <sup>a</sup>	2.83±0.23 <sup>b</sup>
杂环(5)	3-甲基-2-(3-甲基-2-丁烯基)呋喃	34.97	-	-	-	0.05±0.01 <sup>a</sup>
	吡啶	21.48	1.15±0.07 <sup>a</sup>	-	-	-
	2-正戊基呋喃	23.90	0.37±0.02 <sup>a</sup>	-	-	-
	3-甲基噻吩	16.17	-	-	0.13±0.01 <sup>a</sup>	-
	2-甲基吡咯	45.16	0.34±0.01 <sup>a</sup>	-	-	-
	总峰面积占比	/	1.85±0.05 <sup>a</sup>	-	0.13±0.01 <sup>b</sup>	0.05±0.01 <sup>c</sup>
酸类(4)	乙酸	38.97	6.80±1.38 <sup>a</sup>	-	2.28±0.25 <sup>b</sup>	-
	L-酪氨酸	39.86	0.06±0.01 <sup>a</sup>	-	-	-
	甲酸	46.32	-	-	0.33±0.01 <sup>a</sup>	-
	丁酸	49.69	1.95±0.58 <sup>a</sup>	-	-	0.07±0.01 <sup>b</sup>
	总峰面积占比	/	8.82±1.95 <sup>a</sup>	-	2.61±0.25 <sup>b</sup>	0.07±0.01 <sup>c</sup>
酮类(4)	2-庚酮	21.06	-	-	0.29±0.05 <sup>a</sup>	-
	3-羟基-2-丁酮	28.13	0.62±0.19 <sup>a</sup>	-	-	0.14±0.03 <sup>b</sup>
	1-萜烯-3-酮	28.54	0.31±0.03 <sup>a</sup>	-	-	-
	甲基庚烯酮	30.93	-	-	2.82±1.65 <sup>a</sup>	1.40±0.02 <sup>a</sup>
	总峰面积占比	/	0.92±0.22 <sup>b</sup>	-	3.11±1.70 <sup>a</sup>	1.53±0.04 <sup>ab</sup>
酚类(1)	丁香酚	53.25	-	-	-	55.17±1.63 <sup>a</sup>
	总峰面积占比	/	-	-	-	55.17±1.63 <sup>a</sup>
其他(7)	1,2-二甲苯	18.80	-	-	0.13±0.01 <sup>a</sup>	0.04±0.02 <sup>b</sup>
	4-异丙基甲苯	26.70	-	-	0.19±0.01 <sup>a</sup>	0.07±0.01 <sup>b</sup>
	甲苯	13.82	2.08±0.09 <sup>a</sup>	1.21±0.01 <sup>b</sup>	0.84±0.15 <sup>c</sup>	-
	二氧化碳	4.48	-	2.59±0.65 <sup>a</sup>	-	-
	氨基甲酸胺	4.51	6.53±1.21 <sup>a</sup>	-	-	-
	乙腈	12.33	7.25±1.02 <sup>a</sup>	2.37±0.01 <sup>b</sup>	0.95±0.04 <sup>c</sup>	0.45±0.07 <sup>c</sup>
	六氟-2,4-乙酞丙酮钨(III)二水合物	34.93	-	-	0.19±0.02 <sup>a</sup>	-
总峰面积占比	/	15.87±2.28 <sup>a</sup>	6.17±0.64 <sup>b</sup>	2.30±0.17 <sup>c</sup>	0.56±0.08 <sup>c</sup>	

注:/:总峰面积占比无保留时间;-:未检出;同行不同肩标小写字母表示差异显著(P<0.05)

### 2.2.1 烃类物质分析

腊羊肉的加工过程中,烃类物质的种类由原料期(T0)的4种增至高温灭菌期(T3)的13种,峰面积占比在腌制期(T1)和卤煮期(T2)显著增至最大(P<0.05)。原料期(T0)的主要烃类物质为有醚样气味的四氯乙烯,在腌制后峰面积占比下降明显,故加工工艺及高温利于掩盖原料的不良风味;柠檬烯是后续过程中的主要烃类物质,在原料期(T0)未

检出,应由香料中的花椒引入<sup>[24]</sup>。此外,十二烷、正十六烷可能由高不饱和脂肪酸降解,并在加工过程中发生进一步分解。烃类物质总体峰面积占比比较低,由于其可形成醛、酮和醇类等风味物质,故对肉类风味形成具有潜在作用<sup>[25]</sup>。

### 2.2.2 醇类物质分析

醇类物质主要源于不饱和脂肪的氧化<sup>[7]</sup>。不同加工阶段中分别鉴定出醇类13、8、7、10种,总峰面

积占比分别为 12.94%、42.18%、22.64%、7.50%，在 4 组样品间差异显著 ( $P < 0.05$ )，这主要受 1-辛烯-3-醇和芳樟醇的影响。1-辛烯-3-醇又称蘑菇醇，是亚油酸氢过氧化物的降解产物，也可以增强肉中的脂肪香味<sup>[19]</sup>，与 MARUŠIĆ 等<sup>[26]</sup>发现 1-辛烯-3-醇在火腿中含量较高，是火腿中重要的风味成分的结果相同。芳樟醇是花椒、生姜等香料中常见的风味物质，贡献花香气味<sup>[14]</sup>。桉叶油醇在腌制期(T1)峰面积占比较大<sup>[27]</sup>，是草果中的主要成分；1-戊醇随加工进行而降低，可能在加工中发生了转化。此外，4-萜品醇、 $\alpha$ -松油醇等也可能是由香料或其他物质转化引入。醇类物质种类和峰面积占比较大，故在肉类整体风味构成中发挥着重要作用。

### 2.2.3 醛类物质分析

醛类物质一般与脂肪氧化有关<sup>[6]</sup>。腊羊肉加工过程中共检出 10 种醛类物质，其种类和峰面积占比呈波动性变化，在卤煮期(T2)达到最大 ( $P < 0.05$ )。研究表明，己醛浓度高时会产生不愉悦的味道，在低浓度时呈现清香和草香味<sup>[25]</sup>，在腊羊肉加工过程中，己醛的峰面积占比在高温灭菌期(T3)最小，说明加工赋予产品更好的风味。辛醛、壬醛在腌制期(T1)峰面积占比较大，主要来自油酸的氧化<sup>[19]</sup>，此外，生姜也是辛醛的一大来源。正庚醛和苯甲醛在卤煮期(T2)占比较大，正庚醛主要来自亚油酸的氧化，苯甲醛的产生与加热条件下的美拉德反应有关<sup>[28]</sup>。醛类物质广泛存在于肉制品中，在腊羊肉的加工中有较大贡献。

### 2.2.4 酯类和杂环类物质分析

新鲜羊肉中未检出酯类物质，可能由料酒带入，故在后续加工中的种类减小。正己酸乙酯、乙酸辛酯、丙醇酸丙酯在腌制期(T1)占比最大 ( $P < 0.05$ )。乙酸芳樟酯是卤煮期(T2)和高温灭菌期酯类中的主要物质，除花椒直接提供的风味外，也与芳樟醇与脂肪氧化产物乙酸的反应有关，与回锅肉中该物质在拌料调味以及包装灭菌阶段中存在的结果相同<sup>[17]</sup>。酯类物质为腊羊肉增加了特殊的酯香味。杂环类物质随加工进行逐渐降低，与吡啶和 2-正戊基咪唑仅存在于原料期(T0)有关。3-甲基噻吩仅存在于卤煮期(T2)的一种含硫化合物，在电子鼻中也检出一定的硫化合物。杂环类物质由于种类及峰面积占比均较低，故整体对腊羊肉风味贡献不大。

### 2.2.5 酸类和酮类物质分析

酸类一般源于脂肪水解和氧化<sup>[13]</sup>。腊羊肉加工过程中的酸类物质主要存在于原料期(T0)，峰面积占比在高温灭菌期(T3)极小，可以忽略，故有利于抑制酸价，延长货架期。在腊羊肉的加工过程

中，酮类物质的种类数较小，峰面积占比呈波动性变化，对产品色泽有一定影响。其中，甲基庚烯酮在卤煮期(T2)和高温灭菌期(T3)的峰面积占比大于其余阶段 ( $P < 0.05$ )，可呈现柠檬草香味和柑橘样气息。3-羟基-2-丁酮在高温灭菌期(T3)存在，也有研究得出该物质是羊肉串在烤制后的特征风味物质<sup>[29]</sup>。

### 2.2.6 酚类和其他物质分析

酚类物质对肉制品的风味和抗氧化均有贡献，在本试验中，仅在高温灭菌期(T3)检出丁香酚一种物质，且是该阶段峰面积占比最大的物质，其对成品风味的影响较大，能遮盖羊肉的膻味，增加肉的醇厚感。腊羊肉加工过程中所检出的其他类物质多为含氮化合物，主要为乙腈和氨基甲酸铵，其中乙腈贯穿整个加工阶段，与电子鼻结果中氮氧化物响应值较高的结果一致。

### 2.3 腊羊肉加工过程中 ROAV 分析

ROAV 以感觉阈值为基础，是一种确定食品关键风味化合物的有效方法。一般认为， $ROAV > 1$  的是关键性风味物质， $0.1 \leq ROAV \leq 1$  的为修饰风味物质， $ROAV < 0.1$  为潜在风味物质<sup>[5]</sup>。

由表 3 可知，腊羊肉加工过程中关键性风味物质共 23 种。不同加工阶段的关键性风味物质分别为 9、8、16 和 8 种。包括醛类 10 种，烃类、醇类 4 种，酯类 2 种，酮类、酚类、杂环类各 1 种。可见，卤煮期(T2)的关键风味种类数与其余阶段区别较大，这与 GC-MS、PCA 和 LDA 的分析相同。醛类物质的贡献最大，烃类与醇类次之。此外，1-辛烯-3-醇、己醛、壬醛在不同加工阶段均存在且  $ROAV > 1$ ，可视为腊羊肉的特征性风味物质。

通过对各加工阶段关键性风味物质进行分析发现，加工中经过添加香料后热处理，较原料期(T0)增加了辛醛、芳樟醇、柠檬烯、乙酸芳樟酯、丁香酚等风味物质，贡献了甜橙样、铃兰、柠檬、水果味、丁香及辛香香气等令人愉悦的气味，说明加工使得吡啶等产生的不良气味以及羊肉原有的膻味等得到改善，促使陇西腊羊肉呈现更丰富更愉悦的味道。

### 3 讨论

本试验采用 SPME-GC-MS 得出陇西腊羊肉在加工过程中共存在 74 种挥发性风味物质，峰面积占比先增大后减小，在腌制期和卤煮期达到最大，和电子鼻检测结果一致。ROAV 分析得出 23 种关键性风味物质，醛类物质的贡献最大，烃类和醇类次之。初步证明己醛、辛醛、壬醛、苯甲醛、柠檬烯、桉叶油醇、1-辛烯-3-醇、芳樟醇等为腊羊肉中的关

表 3 腊羊肉加工过程中挥发性风味物质的 ROAV 值  
Table 3 ROAV values of volatile flavor substances in cured mutton processing

化合物名称	阈值/( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	T0	T1	T2	T3	气味描述
<b>烃类</b>						
蒎烯	6	—	—	1.37	—	*
3-蒎烯	770	—	—	—	<0.01	柠檬、树脂
四氯乙烯	240	0.05	0.01	0.04	0.01	有醚样气味
十一烷	10 000	—	<0.01	—	<0.01	*
香桉烯	7.5	—	—	1.41	—	*
桉烯	37	—	—	0.13	0.04	*
月桂烯	13	—	—	1.69	0.26	香脂味
十二烷	10 000	—	<0.01	—	—	*
十三烷	2 040	0.01	—	—	—	*
$\gamma$ -松油烯	1 000	—	—	0.04	<0.01	柑橘和柠檬香气
柠檬烯	10	—	1.41	9.00	1.48	柠檬香味
<b>醇类</b>						
乙醇	100 000	<0.01	<0.01	<0.01	—	*
异戊醇	4	3.62	—	—	—	酒香、果香
桉叶油醇	12	0.71	4.75	18.28	3.51	樟脑气息
1-戊醇	4 000	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	有杂醇油气味
正己醇	500	0.05	—	—	<0.01	果香和脂肪气息
1-辛烯-3-醇	1	46.55	100.00	51.61	5.55	蘑菇味
正庚醇	425	0.02	—	—	—	有油脂气息,柑橘香气
2-乙基己醇	270 000	<0.01	—	—	<0.01	花香
芳樟醇	6	0.56	18.57	—	—	铃兰香味
正辛醇	110	0.07	0.18	—	0.01	油脂果香,草香味
2,3-丁二醇	100	<0.01	—	—	—	*
4-萘品醇	340	—	0.04	0.35	0.07	胡椒香
$\alpha$ -松油醇	300	—	0.02	0.23	—	丁香香气
<b>醛类</b>						
戊醛	12	1.72	—	1.98	—	杏仁、麦芽、辛辣
异戊醛	0.4	—	8.55	—	3.81	苹果香气
己醛	4.5	100.00	23.14	65.62	4.16	油脂、苹果香味
正庚醛	3	2.42	—	13.20	0.47	*
辛醛	0.70	—	22.04	53.62	4.04	脂蜡香,甜橙样香气
(E)-2-庚烯醛	13	2.89	—	—	—	脂香、果香
壬醛	1	31.41	60.74	100.00	12.18	油脂气味和甜橙气息
癸醛	0.1	—	—	52.79	—	柑橘类
苯甲醛	350	—	—	2.20	—	杏仁气味
反式-2-癸烯醛	0.3	9.13	—	—	—	青草、坚果、脂肪
<b>酯类</b>						
乙酸辛酯	12	—	0.85	—	—	*
乙酸芳樟酯	60	—	0.50	3.21	0.49	橙叶、香柠檬、梨的气息
乙酸香叶酯	9	—	—	1.01	0.16	清凉的甜味
<b>杂环</b>						
吡啶	7.9	2.34	—	—	—	具有令人讨厌的气味
2-正戊基呋喃	6	0.99	—	—	—	青豆、黄油
<b>酸类</b>						
乙酸	22 000	<0.01	—	<0.01	—	食醋酸味
甲酸	450 000	—	—	<0.01	—	*
丁酸	240	0.13	—	—	<0.01	有刺激性及难闻的气味
<b>酮类</b>						
2-庚酮	140	—	—	0.06	—	*
3-羟基-2-丁酮	55	0.18	—	—	0.03	呈奶油香气
甲基庚烯酮	68	—	—	1.22	0.22	水果香气
<b>酚类</b>						
丁香酚	6	—	—	—	100.00	丁香和辛香香气
<b>其他</b>						
甲苯	1 150	0.03	0.01	0.02	—	*

注:—:未检测出该类物质;\*:未查到相对应的气味

键性风味物质。

在肉制品卤制过程中,酱卤肉制品的脂质氧化是其香气形成的主要途径,硫酸素降解和香辛料添加也对肉品风味产生有一定作用,且香辛料的抗氧化、防腐和抑菌等作用可控制肉制品中杂环胺的生成<sup>[30]</sup>。本试验通过电子鼻和固相微萃取-气相色谱-质谱联用技术检测腊羊肉挥发性风味物质的变化,并用 ROAV 表征关键性风味物质。

化、防腐和抑菌等作用可控制肉制品中杂环胺的生成<sup>[30]</sup>。本试验通过电子鼻和固相微萃取-气相色谱-质谱联用技术检测腊羊肉挥发性风味物质的变化,并用 ROAV 表征关键性风味物质。

腊羊肉的不同加工阶段中共鉴定出 74 种挥发性风味物质,腌制期(T1)和卤煮期(T2)是风味形成的重要阶段,峰面积占比最大。高温灭菌期(T3)虽峰面积占比下降,但挥发性风味成分的种类数达到最大,产品的风味更丰富。GC-MS 结果中烃类、醛类、醇类的种类及峰面积占比均较高,但由于部分烃类和醇类物质的阈值较高,故在 ROAV 分析中得到的关键性风味中,醛类物质的贡献最大,烃类与醇类次之,共得到 23 种关键性风味物质;1-辛烯-3-醇、己醛、壬醛可视为腊羊肉的呈味特征物质,具有蘑菇香、油脂、苹果和甜橙香气以及灭菌后丁香酚的丁香和辛香香气,都是陇西腊羊肉风味区别于其他酱卤肉制品的一大特色。该结果与毛永强等<sup>[16]</sup>在陇西腊肉中共鉴定出 81 种挥发性风味物质,22 种关键性风味物质,最大贡献物为醛类的研究结果一致;与孔园园等<sup>[31]</sup>认为,醛类物质是羊肉的特征性风味物质的结果分析相吻合。说明陇西腊羊肉经过加工后风味变化差异明显,整体风味有较大提升,可以从风味角度观测其品质变化采取合理措施,如通过控制香料的添加量和卤制时间,增加愉悦气味物质的产生及预防、去除不良的气味物质产生来获得更好的风味。

本文可为陇西腊羊肉在加工过程中风味物质演变规律及关键风味物质的确定提供理论指导,促进其在现代化工业中关于风味控制技术的研发,加快其品质改良与工业化进程。但本试验并未对关键性风味物质、特征风味物质以及修饰和潜在风味物质进行实际验证对比,今后还需进一步根据风味形成机制对此进行研究。

## 参考文献

- [1] 蒿军. 陇西腊羊肉的加工技术[J]. 肉类工业, 2016(4): 4-5.  
LIN J. Processing technology of longxi cured mutton[J]. Meat Industry, 2016(4): 4-5.
- [2] 张根生, 王军茹, 岳晓霞, 等. 酱卤肉制品加工过程中风味物质形成机理和变化研究进展[J]. 中国调味品, 2021, 46(11): 195-200.  
ZHANG G S, WANG J R, YUE X X, et al. Research progress on the formation mechanism and changes of flavor substances in the processing of braised meat products[J]. China Condiment, 2021, 46(11): 195-200.
- [3] 刘颜, 张兴国, 谢飞, 等. 天然香辛料对卤煮羊肉挥发性风味物质的影响[J]. 江苏农业学报, 2021, 37(4): 1016-1024.  
LIU Y, ZHANG X G, XIE F, et al. Effect of natural spices on the volatile flavor of stewed mutton[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2021, 37(4): 1016-1024.
- [4] 薛雁, 周芳伊, 黄峰, 等. 毛氏红烧肉特征风味成分分析[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(11): 153-158.  
XUE Y, ZHOU F Y, HUANG F, et al. Analysis of characteristic flavor components of Mao's braised meat[J]. Food Research and Development, 2019, 40(11): 153-158.
- [5] 单启梅, 罗瑞明, 杨波, 等. 不同贮藏期冷却滩羊肉煮制后挥发性气味物质的变化[J]. 食品科学, 2022, 43(6): 265-271.  
SHAN Q M, LUO R M, YANG B, et al. Changes of volatile odor substances in chilled tan sheep meat stored for different periods and cooked[J]. Food Science, 2022, 43(6): 265-271.
- [6] 廖林, 贺稚非, 刘悦, 等. 基于 HS-SPME-GC-MS 的卤烤兔肉丁加工过程中挥发性风味物质变化分析[J/OL]. 食品与发酵工业: 1-11 [2022-08-02]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1802.TS.20211116.1412.009.html>.  
LIAO L, HE Z F, LIU Y, et al. Analysis of volatile flavor substances during processing of halogen roast rabbit meat based on HS-SPME-GC-MS[J]. Food and Fermentation Industries: 1-11 [2022-08-02]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1802.TS.20211116.1412.009.html>.
- [7] 杜晓兰, 杨文敏, 黄永强, 等. 基于顶空气相离子迁移谱比较 3 种加工方式对番鸭肉挥发性风味物质的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(24): 269-275.  
DU X L, YANG W M, HUANG Y Q, et al. Effects of three processing methods on volatile flavor compounds of Muscovy duck meat as investigated by headspace-gas chromatography-ion mobility spectrometry[J]. Food Science, 2021, 42(24): 269-275.
- [8] 贡慧, 杨震, 史智佳, 等. 不同熬煮时间对北京酱牛肉挥发性风味成分的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(10): 183-190.  
GONG H, YANG Z, SHI Z J, et al. Effect of different cooking times on volatile flavor components in Beijing spiced beef[J]. Food Science, 2017, 38(10): 183-190.
- [9] 李继昊, 黄明远, 王虎虎, 等. 不同类型生鲜鸡对白切鸡风味的影响[J]. 核农学报, 2019, 33(12): 2392-2404.  
LI J H, HUANG M Y, WANG H H, et al. Flavor of soft-boiled chicken made from hot fresh, chilled and frozen chicken[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2019, 33(12): 2392-2404.
- [10] ZANG M W, WANG L, ZHANG Z Q, et al. Comparison of volatile flavor compounds from seven types of spiced beef by headspace solid-phase microextraction combined with gas chromatography-olfactometry-mass spectrometry (HS-SPME-GC-O-MS)[J]. Food Science and Technology Research, 2020, 26(1): 25-37.
- [11] 朱文政, 严顺阳, 徐艳, 等. 顶空固相微萃取-气质联用分析不同烹制时间红烧肉挥发性风味成分[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(2): 247-253.  
ZHU W Z, YAN S Y, XU Y, et al. Analysis of volatile flavor components of braised pork with different cooking time by SPME-GC-MS[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(2): 247-253.
- [12] 张哲奇, 臧明伍, 张凯华, 等. 熟制、高压灭菌和复热对粉蒸肉挥发性风味物质的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(10): 187-192.  
ZHANG Z Q, ZANG M W, ZHANG K H, et al. Effect of cooking, autoclaving and reheating on the volatile components of steamed pork with rice flour[J]. Food Science, 2019, 40(10): 187-192.
- [13] 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.
- [14] 周慧敏, 张顺亮, 郝艳芳, 等. HS-SPME-GC-MS-O 结合电子鼻对坨坨猪肉主体风味评价分析[J]. 食品科学, 2021, 42(2): 218-226.
- ZHOU H M, ZHANG S L, HAO Y F, et al. Analysis of major flavor components of Tuotuo pork, a traditional meat product in Liangshan, southwest China's Sichuan, by HS-SPME-GC-MS-O combined with electronic nose[J]. Food Science, 2021, 42(2): 218-226.
- [15] 刘登勇, 吴金城, 王继业, 等. 沟帮子熏鸡主体风味成分分析[J]. 食品工业科技, 2018, 39(7): 237-242.
- LIU D Y, WU J C, WANG J Y, et al. Analysis of key odor compounds of Goubangzi smoked chicken[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(7): 237-242.
- [16] 毛永强, 李彦虎, 负建民, 等. 传统陇西腊肉制作过程中挥发性风味物质变化分析[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(4): 144-152.
- MAO Y Q, LI Y H, YUN J M, et al. The analysis of the volatile flavor compounds in traditional Longxi bacon production [J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(4): 144-152.
- [17] 白婷, 管博文, 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.
- [18] 顾明月. 香辛料包循环煮制对扒鸡挥发性风味物质的影响[D]. 锦州: 渤海大学, 2019.
- GU M Y. Effects of circulating cooking of spices packet on volatile flavor of braised chicken[D]. Jinzhou: Bohai University, 2019.
- [19] 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. Effects of different smoking materials on volatile flavor compounds in smoked chicken thighs[J]. Food Science, 2019, 40(24): 220-227.
- [20] 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.
- [21] 里奥·范海默特著. 李智宇译. 化合物嗅觉阈值汇编[M]. 北京: 科学出版社, 2018: 242-432.
- VAN GEMERT L J. Compilations of odour threshold values in air, water and other media[M]. Beijing: Science Press, 2018: 242-432.
- [22] 孙宝国, 陈海涛. 食用调香术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- SUN B G, CHEN H T. Flavoring [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2003.
- [23] 王瑞花, 田金虎, 姜万舟, 等. 基于电子鼻和气相质谱联用仪分析葱姜蒜复合对炖煮猪肉风味物质的影响[J]. 中国食品学报, 2017, 17(4): 209-218.
- WANG R H, TIAN J H, JIANG W Z, et al. Effects of the composite of ginger, onion and garlic on the volatile compounds of stewed-pork based on electronic nose and gas chromatography-mass spectrometry [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2017, 17(4): 209-218.
- [24] 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/OL]. 食品科学: 1-10[2022-08-02]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20210820.1555.034.html>.
- WANG H F, GUO M Y, WANG Y J, et al. Research on effects of pungent spices including chili and prickly ash on flavors of meat products[J/OL]. Food Science: 1-10[2022-08-02]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20210820.1555.034.html>.
- [25] 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.
- [26] MARUŠIĆ N, VIDAČEK S, JANČI T, et al. Determination of volatile compounds and quality parameters of traditional Istrian dry-cured ham[J]. Meat Science, 2014, 96(4): 1409-1416.
- [27] 武苏苏, 赵改名, 柳艳霞, 等. 草果对卤制鸡肉挥发性风味物质的影响[J]. 食品科技, 2014, 39(7): 112-117.
- WU S S, ZHAO G M, LIU Y X, et al. Effect of Amomum tsao-ko on the formation of volatile flavor compounds of stewed chicken [J]. Food Science and Technology, 2014, 39(7): 112-117.
- [28] 郭向阳, 霍羽佳, 王本友, 等. 采用气相色谱-离子迁移谱分析黄大茶加工过程挥发性成分[J]. 农业工程学报, 2021, 37(6): 274-281.
- GUO X Y, HUO Y J, WANG B Y, et al. Analysis of volatile compounds in large-leaf yellow tea during manufacturing processes using gas chromatography-ion mobility spectrometry [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2021, 37(6): 274-281.
- [29] 姚文生, 马双玉, 蔡莹暄, 等. 基于气相-离子迁移谱技术分析烤羊肉串的挥发性风味成分[J]. 食品工业科技, 2021, 42(8): 256-263.
- YAO W S, MA S Y, CAI Y X, et al. Analysis of volatile flavor substances in mutton shashlik based on GC-IMS technology[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(8): 256-263.
- [30] 陈敬敬, 韩金花, 张永胜, 等. 肉制品中杂环胺的研究进展[J]. 中国食品卫生杂志, 2022, 34(1): 168-174.
- CHEN J J, HAN J H, ZHANG Y S, et al. Research progress of heterocyclic amines in meat products [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2022, 34(1): 168-174.
- [31] 孔园园, 张雪莹, 李发弟, 等. 羊肉主要风味前体物质与羊肉风味的关系及影响因素的研究进展[J]. 农业生物技术学报, 2021, 29(8): 1612-1621.
- KONG Y Y, ZHANG X Y, LI F D, et al. Research progress on the relationship between mutton flavor precursor substance and mutton flavor and influencing factors[J]. Journal of Agricultural Biotechnology, 2021, 29(8): 1612-1621.