

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.  
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2021.04.026

## 天然香辛料对卤煮羊肉挥发性风味物质的影响

刘 颜<sup>1</sup>, 张兴国<sup>2</sup>, 谢 飞<sup>2</sup>, 李景军<sup>1</sup>, 熊国远<sup>2</sup>

(1. 安徽科技学院食品工程学院, 安徽 凤阳 233100; 2. 安徽农业大学茶与食品科技学院/安徽省农产品加工工程实验室, 安徽 合肥 230036)

**摘要:** 选取 3 种天然香辛料和羊肉煮制, 采取单因素试验和正交试验, 通过感官评价、电子鼻以及顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用 (HS-SPME-GC-MS), 评价 3 种天然香辛料添加量对羊肉 (汤) 卤煮风味的改善效果以及对羊肉 (汤) 风味物质组成的影响, 并对最佳香辛料配方卤煮前后羊肉 (汤) 中风味物质进行分析。结果表明, 香汁中大茴香、月桂、丁香的最佳添加量分别为 0.15%、0.20%、0.07% (质量分数)。卤煮过后的羊肉和羊肉汤相比于纯羊肉与纯羊肉汤的茴香脑、乙酸松油酯、丁香酚等挥发性风味物质含量显著增加, 其中改变最为显著的是丁香酚 ( $P < 0.05$ )。感官评价结果显示, 香辛料的添加显著改善了羊肉的风味, 提高了羊肉风味的可接受度。

**关键词:** 羊肉; 天然香辛料; 挥发性风味物质; 电子鼻; 气相色谱-质谱联用

中图分类号: TS251.5<sup>+</sup>3 文献标识码: A 文章编号: 1000-4440(2021)04-1016-09

## Effect of natural spices on the volatile flavor of stewed mutton

LIU Yan<sup>1</sup>, ZHANG Xing-guo<sup>2</sup>, XIE Fei<sup>2</sup>, LI Jing-jun<sup>1</sup>, XIONG Guo-yuan<sup>2</sup>

(1. College of Food Engineering, Anhui Science and Technology University, Fengyang 233100, China; 2. School of Tea and Food Science & Technology/Anhui Engineering Laboratory for Agro-products Processing, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China)

**Abstract:** Three kinds of natural spices were selected and added to the mutton during cooking process. Single factor test and orthogonal test were designed to evaluate the effect of additive amount of three natural spices on the improvement of stewed mutton (mutton soup) flavor and its flavor substances by sensory evaluation, electronic nose and headspace solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS). Then flavor substances in the mutton before and after stewed with the best formula were also analyzed. The results showed that the optimal additive amount of the mixed spices was 0.15% anise, 0.20% laurel and 0.07% clove (spices weight : water volume). Contents of volatile flavor substances such as anethole, terpinyl acetate and eugenol in the stewed mutton and mutton soup increased significantly compared with pure mutton and mutton soup, among which eugenol changed the most significantly ( $P < 0.05$ ). According to sensory evaluation results, the added spices significantly improved the flavor and the overall acceptability of mutton.

**Key words:** mutton; natural spices; volatile flavor substance; electronic nose; gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS)

收稿日期: 2020-12-08

基金项目: 安徽省科技重大专项 (18030701212、17030701021、1703070-1036); 2020 年度烹饪科学四川省高等学校重点实验室开放基金项目 (PRKX2020Z25)

作者简介: 刘 颜 (1987-), 女, 江西萍乡人, 硕士, 讲师, 主要从事肉品加工与质量安全控制研究。(E-mail) 04penghen@163.com

通讯作者: 熊国远, (E-mail) guoyuanx@ahau.edu.cn

羊肉肉质细嫩, 味道鲜美, 但羊肉特有的膻味影响了消费者对它的接受度。羊肉的膻味主要来源于脂肪组织的脂溶性物质, 其中游离脂肪酸是膻味物质的主要成分<sup>[1]</sup>。应铁进<sup>[2]</sup>研究发现中草药 (白芷、砂仁、绿豆等) 可暂时遮掩羊肉的膻味, 王振东<sup>[3]</sup>研究指出胡萝卜、白萝卜、绿豆和板栗打成汁后添加到羊肉中进行腌制、煮制处理, 再测定羊肉的

游离脂肪酸含量,发现食材汁对羊肉膻味的去除有明显效果。刘彩凤等<sup>[4]</sup>、罗燕<sup>[5]</sup>用百里香和中草药方剂对羊进行饲喂,发现百里香可以降低滩羊肌肉中烷类、炔类、醇类、醛类化合物的百分含量,进而改善羊肉风味,方剂Ⅲ(含苍术、肉桂、茴香、陈皮、山楂等成分)可以改善羊肉的膻味。

香辛料是具有特殊香味的植物制品,有强烈的呈味和呈香功能,能在一定程度上改善食品的风味,同时还具有抗氧化和杀菌防腐等功能<sup>[6]</sup>。在肉制品加工中,用香辛料改善肉品的风味是最常用的方法<sup>[7]</sup>。目前的研究主要集中在天然香辛料的抗菌防腐功能,但香辛料对肉品风味改善机理的研究较少。Qin等<sup>[8]</sup>在八角对肉汤风味影响的研究中发现,重复使用1次和3次的肉汤在香气方面存在显著差异,而在肉汤中添加八角有助于确保炖肉制品风味的一致性。Olmedo等<sup>[9]</sup>研究发现,月桂、牛至和迷迭香精油调味的烤花生可以抑制脂质氧化,并且可以改变消费者的味觉和感官感受。Hardina等<sup>[10]</sup>在研究中发现,在腌制鸭蛋的过程中改变丁香提取物添加量和腌制时间对脂肪酸的含量有显著影响,并且经过电子鼻的测定发现,丁香提取物使腌制鸭蛋的风味成分发生显著变化。袁军等<sup>[11]</sup>研究发现,大葱、生姜、八角可显著提升牛肉特征风味。张同刚等<sup>[12]</sup>采用顶空固相微萃取与气质联用(HS-SPME-GC-MS)测定香辛料对手抓羊肉挥发性成分的影响,发现添加天然香辛料对手抓羊肉的挥发性成分有显著影响。目前关于天然香辛料对肉品影响的研究主要集中在香辛料的抗氧化活性和抗菌活性<sup>[13]</sup>,关于大茴香、月桂、丁香3种香辛料复配对肉风味影响的研究还未见报道。

本研究以羊肉为原料,研究大茴香、月桂、丁香对羊肉与羊肉汤中挥发性风味组分的影响,采用电子鼻和顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用(HS-SPME-GC-MS)结合感官评价对羊肉和羊肉汤中的挥发性风味物质进行分析,并对风味物质进行主成分分析,对大茴香、月桂、丁香添加量配比进行优化,确定最佳配方,评估配方中对羊肉和羊肉汤中挥发性成分影响较大的组分,从而优化羊肉调味基料,以期对卤制羊肉调味基料风味的改进和工业化生产提供理论依据和技术参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

食用盐(氯化钠含量大于99%)。安徽白山羊后腿

肉(4~5 kg),由安徽至诚和信食品科技有限公司提供。大茴香、月桂、丁香均购自合肥周谷堆农贸市场。

### 1.2 试验仪器

MS1160 真空包装机,义马市乐亿佳商贸有限公司产品;WT2121 电磁炉,广东美的环境电器制造有限公司产品;HH09 型数显恒温水浴锅,江苏金坛市金城国胜实验仪器厂产品;JA503 分析电子天平,常州幸运电子设备有限公司产品;DHG-9140A 电热恒温鼓风干燥箱,上海一恒科学仪器有限公司产品;PEN3 电子鼻,德国 AIRSENSE 公司产品;7890B-7000B 三重四极杆气质联用仪,美国安捷伦科技有限公司产品;50  $\mu\text{m}$  CAR/PDMS 黑色萃取头,美国安捷伦科技有限公司产品。

### 1.3 试验设计

1.3.1 工艺流程 香辛料→预处理→加水浸泡 1 h→熬制香汁 1 h→卤汤→加入新鲜羊肉→大火烧开 10 min→小火熬制 1 h→制得卤羊肉汤和卤羊肉→冷却→真空包装。

操作要点:将香辛料去除杂质并破碎,用纱布包裹,在 400 g 纯净水中浸泡 1 h,煮沸 1 h,熬制成香汁。将羊肉去除筋膜后切成 2 cm×2 cm×2 cm 方块,清洗后捞起,沥干水,按照肉:香汁=1:2(质量比)加入羊肉和香汁卤汤,再按照香汁卤汤的 2% 准确称取食盐加入;100  $^{\circ}\text{C}$  下烧开 10 min 后,调整温度,控制中心温度在 85  $^{\circ}\text{C}$  煮制 60 min。成品冷却后,真空包装。

#### 1.3.2 单因素试验

1.3.2.1 大茴香添加量对羊肉卤煮风味的影响 羊肉 200.0 g 和食用盐 8.0 g 固定不变,分别加入大茴香添加量为 0.05%、0.10%、0.15%、0.20%、0.25%(质量分数)制作的大茴香香汁,按方法 1.3.1 的工艺卤煮。

1.3.2.2 月桂添加量对羊肉卤煮风味的影响 羊肉 200.0 g 和食用盐 8.0 g 固定不变,分别加入月桂添加量为 0.05%、0.10%、0.15%、0.20%、0.25%(质量分数)制作的月桂香汁,按方法 1.3.1 的工艺卤煮。

1.3.2.3 丁香添加量对羊肉卤煮风味的影响 羊肉 200.0 g 和食用盐 8.0 g 固定不变,分别加入丁香添加量为 0.01%、0.03%、0.05%、0.07%、0.09%(质量分数)制作的丁香香汁,按方法 1.3.1 的工艺卤煮。

1.3.3 正交试验 根据 1.3.2 单因素试验结果,进

行正交试验,卤煮过程中的温度和时间不变,通过对添加不同配比的大茴香、月桂、丁香香汁卤汤制备的卤制羊肉进行感官评价,对感官评价结果进行回归分析,确定大茴香、月桂、丁香最佳配比。按照单因素试验中确定的配方,对大茴香、月桂、丁香添加量进行正交试验,优化添加量。

#### 1.4 试验方法

1.4.1 感官评价 感官评价参考顾赛麒等<sup>[14]</sup>的方法,并略作修改,感官评价标准见表1。评定小组由本专业训练有素的10名食品系同学(5男5女)组成。评价员分别从气味、口感、质地状态、颜色及总体可接受度5个方面对羊肉进行感官评定。本次感官评定采取的方法是评分法(10分制),规定1分为食品风味完全不能接受,喜好度低;10分为风味完全可以接受,喜好度高<sup>[15]</sup>,最终结果取所有评分的平均值。

表1 羊肉风味的感官评价标准

Table 1 Sensory evaluation standard of mutton flavor

评分项目	评分标准	得分(分)
气味(10分)	肉香味足,无膻味	8~10
	肉香味较足,无明显膻味	5~7
	无肉香味,膻味明显	1~4
口感(10分)	鲜嫩可口,有良好的咀嚼性	8~10
	肉质较鲜嫩可口,咀嚼性一般	5~7
	肉质粗糙,咀嚼性差	1~4
质地状态(10分)	组织状态均匀紧密,柔韧性较好,内部结构均匀	8~10
	组织状态一般,弹性一般	5~7
	组织状态差,肉质老硬	1~4
颜色(10分)	颜色鲜艳	8~10
	颜色较暗淡	5~7
	颜色呈深色	1~4
总体可接受度(10分)	很容易被接受	8~10
	较易被接受	5~7
	不易被接受	1~4

1.4.2 电子鼻 参考 Yang 等<sup>[16]</sup>的方法,利用电子鼻对样品的加样量和进样气体体积进行优化,每次测定前30 min 打开电子鼻仪器,连接好装置与电脑预热。取准备好的羊肉块,切碎,准确称取(5.00±0.05) g 于电子鼻专用玻璃瓶中,在85℃的水浴锅中加热15 min,电子鼻采用顶空进样方式,载气为洁净空气。进样速度为300 ml/min,采样间隔为1 s,

清洗时间为120 s,归零时间为5 s,预进样时间为5 s,测量时间为120 s,每个样品平行6次。羊肉汤也以同样的方式进行检测。并通过作主成分分析(PCA)图将所提取的传感器多指标的信息进行数据转换和降维,并对降维后的特征向量进行线性分类,最后在PCA的散点图上显示主要的两维散点图。PC1和PC2包含了在PCA转换中得到的第一主成分和第二主成分的贡献率,贡献率越大,说明主要成分可以较好地反映原来多指标的信息。

1.4.3 顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用 准确称取羊肉(3.00±0.05) g 放入15 ml 样品瓶中,羊肉汤则准确吸取4 ml,采用顶空固相微萃取的方法对挥发性物质进行萃取,盖上盖子,采用装有50 μm CAR/PDMS 萃取头的进样器插入顶空瓶中,同时开启仪器采集数据,推出纤维头,在70℃水浴锅水浴加热下准确吸附1 h,吸附完成后快速取出萃取头并立即插入HS-SPME-GC-MS 进样口<sup>[17]</sup>。在250℃下解析5 min 后抽出纤维头,拔出萃取头。

HS-SPME-GC-MS 测定参数条件:色谱柱为HP-INNOWax 60 m×0.25 mm×0.25 μm 弹性石英毛细管柱,载气为高纯氢气(99.999%),载气流量为1.0 ml/min,不分流模式,恒压35 kPa,起始柱温为60℃,按照3℃/min 上升至230℃,保留10 min。进样口与接口温度均设为250℃,检测温度为240℃,离子源温度为230℃,四极杆温度为150℃<sup>[18]</sup>。检测时间为71.67 min。三重四极杆气质联用仪得到的数据经计算机检测,得出化合物的同时与NIST library 相匹配,并参照文献[19],采用匹配度和纯度大于800的鉴定结果。

#### 1.5 数据处理与分析

电子鼻的数据利用 Statistica 7 软件以及 Origin 进行分析和作图。每组试验均采取3次重复。采用软件 SPSS 24.0 进行统计分析,方差分析采用 ANOVA,多重比较采用 Duncan's 法, $P<0.05$  表示差异显著,试验数据以“平均值±标准差(Mean±SD)”表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 香辛料单因素试验结果

由图1可知,随着大茴香、月桂添加量的增加,羊肉感官品质评分升高,但当大茴香添加量大于0.20%、月桂添加量大于0.15%时评分下降,即羊肉

卤煮风味品质下降。根据鲁松涛等<sup>[20]</sup>的研究,大茴香中主要风味物质是茴香脑与反式茴香脑以及茴香醛,这些物质具微甜味,或茴香特殊气味。在香辛料添加量为0.20%时羊肉气味有所改善,可能是因为茴香脑与反式茴香脑、茴香醛充当了矫味剂与矫气味剂的角色,使得羊肉气味更加缓和。评分下降可能是因为过量添加茴香造成的药味过重。月桂中主要成分是芳樟醇、丁香酚等<sup>[21]</sup>,香气浓郁,具有花香气味,能够遮盖羊肉膻味,过量易产生苦味,导致感官评分下降。

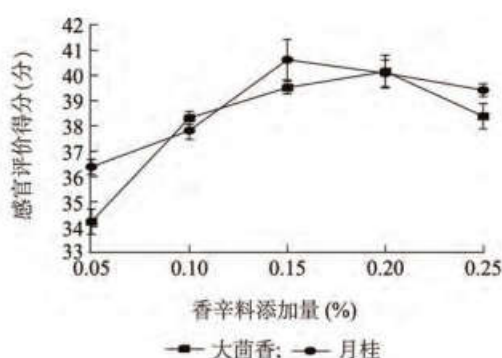


图1 大茴香、月桂添加量对羊肉感官评价的影响

Fig.1 Effect of anise and laurel addition on sensory evaluation of mutton

由图2可知,丁香对羊肉卤煮风味的影响整体处在一个随添加量增大,感官评分呈上下波动状态,当丁香添加量为0.03%时达到最大值。这是因为不同香辛料中主要风味物质不同,阈值也有所不同。

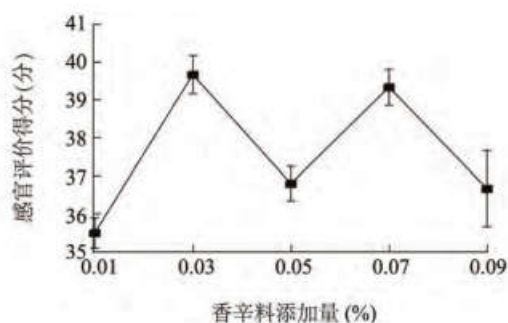


图2 丁香添加量对羊肉感官评价的影响

Fig.2 Effect of clove addition on sensory evaluation of mutton

## 2.2 香辛料添加量正交试验结果

按照单因素试验中确定的配方,对大茴香、月桂、丁香添加量进行正交试验,优化添加量。三因素三水平正交试验设计见表2。

表2 正交试验设计

Table 2 Design for orthogonal test

水平	大茴香添加量 (%)	月桂添加量 (%)	丁香添加量 (%)
1	0.20	0.20	0.03
2	0.15	0.15	0.07
3	0.25	0.25	0.05

正交试验结果如表3所示。对表3数据进行分析,从极差( $R$ )大小可以看出,影响羊肉卤煮风味的主次因素为C、A、B,丁香添加量>大茴香添加量>月桂添加量。正交试验得出的 $\bar{K}$ 值显示, $A_2B_1C_2$ 组是最优组,但 $A_1B_2C_2$ 组得分最高,所以需要进行验证试验。

表3 正交试验结果

Table 3 Results of orthogonal test

组合	A	B	C	感官评分结果
1	1	1	1	38.12
2	1	2	2	40.54
3	1	3	3	36.73
4	2	1	2	40.23
5	2	2	3	38.18
6	2	3	1	37.12
7	3	1	3	36.76
8	3	2	1	36.26
9	3	3	2	37.95
$k_1$	38.46	38.37	37.17	
$k_2$	38.51	38.32	39.57	
$k_3$	36.99	37.27	37.22	
$R$	1.52	1.10	2.40	

A:大茴香添加量;B:月桂添加量;C:丁香添加量。 $R$ :极差。

## 2.3 验证试验结果

为了得出香辛料最佳复配配方,将得到的上述组合与空白组进行验证试验(表4)。

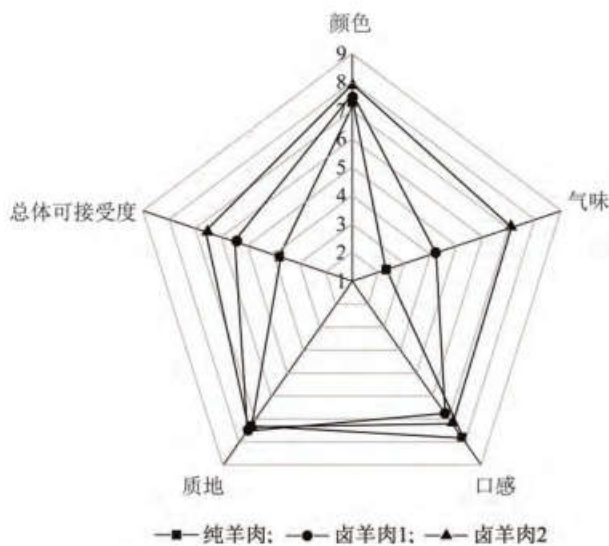
表4 验证试验设计

Table 4 Design for confirmatory experiment

试验分组	试验组别	A (%)	B (%)	C (%)
纯羊肉	对照组	0	0	0
卤羊肉1	$A_1B_2C_2$	0.20	0.15	0.07
卤羊肉2	$A_2B_1C_2$	0.15	0.20	0.07

A:大茴香添加量;B:月桂添加量;C:丁香添加量。

2.3.1 验证试验感官分析 由图3可以看出,添加不同香辛料卤煮后的卤羊肉1和卤羊肉2的气味与纯羊肉有显著差异( $P<0.05$ ),卤羊肉2与纯羊肉在总体可接受度上差异显著( $P<0.05$ ),纯羊肉与卤羊肉1、卤羊肉2之间在颜色、口感和质地上的差异均不显著。邹强等<sup>[22]</sup>研究指出,每种香辛料都有自己独特的香味,当多种香辛料在一起卤煮时,羊肉的香辛料风味逐渐增加,这在一定程度上可增加羊肉的总体可接受度。卤羊肉2总体可接受度优于纯羊肉和卤羊肉1,可能是因为减少了味辛甘的大茴香添加量。由此可以得出,大茴香、月桂、丁香的最佳添加量分别为0.15%、0.20%、0.07%。为进一步分析各处理组风味物质的差异,对各样品组样品进行电子鼻分析。



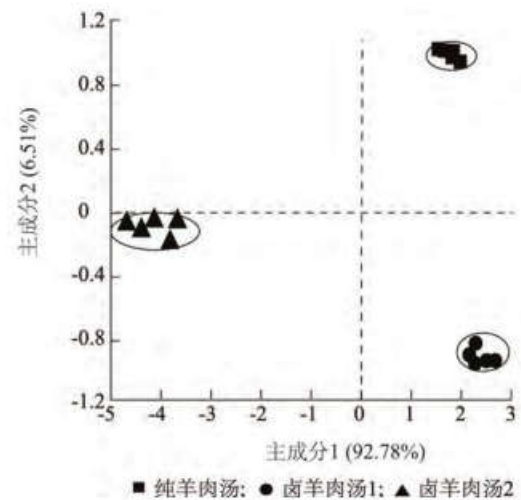
1-9表示感官评价得分;制作纯羊肉、卤羊肉1和卤羊肉2的香辛料配方见表4。

图3 添加香辛料前后羊肉样品的感官分析

Fig.3 Sensory analysis of mutton samples before and after adding spices

2.3.2 电子鼻 由图4可知,主成分1和主成分2方差贡献率之和为99.29%(主成分1方差贡献率为92.78%,主成分2方差的贡献率为6.51%),图5中,主成分1和主成分2的方差贡献率之和为99.39%(主成分1方差贡献率为72.10%,主成分2方差的贡献率为27.29%),所提取的主成分信息能够完全反映样品的主要特征信息。王琼等<sup>[23]</sup>、Forleo等<sup>[24]</sup>研究指出,第1主成分和第2主

成分方差贡献率之和超过85%即可反映样品的主要特征。这2个主成分能较好地反映原始高维矩阵的信息,可以反映不同处理过程中样品挥发性成分的差异。羊肉汤和卤羊肉样品没有交叉与重合,说明羊肉汤与卤羊肉两者挥发性成分种类和相对含量存在差异,可能是煮制时间过长,导致卤羊肉中部分风味物质降解。为了进一步了解不同香辛料对羊肉和羊肉汤挥发性成分的影响,下一步采用GC-MS进行相对定量分析。



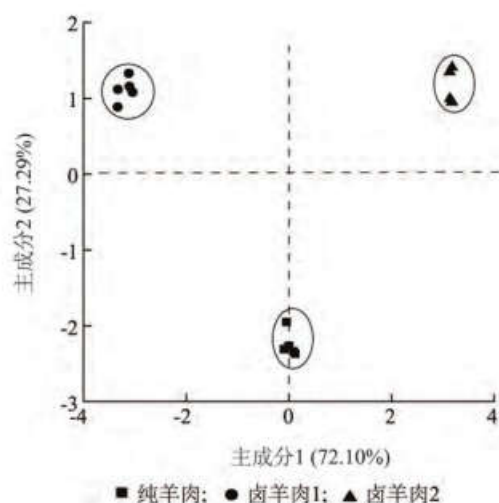
纯羊肉汤:煮制纯羊肉后的汤汁;卤羊肉汤:煮制羊肉后的香汁卤汤。

图4 不同香辛料卤羊肉汤的主成分分析

Fig.4 Principal component analysis of mutton soup with different spices

2.3.3 HS-SPME-GC-MS 结果分析 用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用仪分别对纯羊肉、纯羊肉汤(煮制纯羊肉得到的汤汁)、卤羊肉和卤羊肉汤(煮制羊肉得到的香汁卤汤)等6个样品进行分析,结果如图6、表5所示:共有51种化合物从6种样品中被检测出来,其中包括醛类(20种)、烷烃类(10种)、酮类(5种)、醇类(4种)、酚类(4种)、酯类(3种)和其他类(5种)。

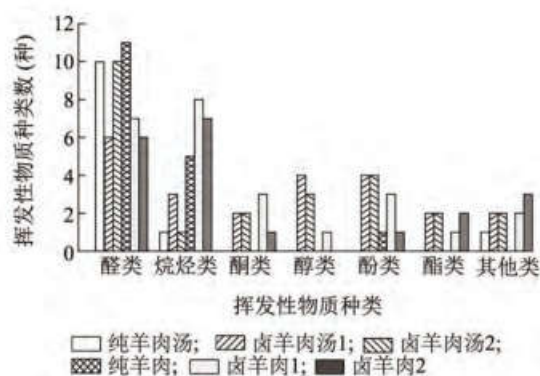
纯羊肉汤和卤羊肉汤中挥发性成分不仅在种类上有差异,在含量上也有显著差异,纯羊肉和卤羊肉中的挥发性物质也存在显著差异。结合图6与表5可以看出,卤羊肉1和卤羊肉2中的挥发性物质均比纯羊肉增加了3-亚甲基十三烷、十七烷、3-十一酮、乙酸松油酯、茴香脑几种成分,但少了十一醛、十



制作纯羊肉、卤羊肉1和卤羊肉2的香辛料配方见表4注。

图5 不同香辛料卤羊肉的主成分分析

Fig.5 Principal component analysis of stewed mutton with different spices



纯羊肉汤、卤羊肉汤1、卤羊肉汤2 见图4注; 制作纯羊肉、卤羊肉1、卤羊肉2的香辛料配方见表4。

图6 不同处理方法下挥发性化合物数量

Fig.6 Number of volatile compounds under different treatments

二醛、反式-2-癸烯醛、2-十一烯醛、5-甲基-2-噻吩甲醛几种成分。相比于纯羊肉汤, 卤羊肉汤1和卤羊肉汤2多了壬醛、对甲氧基苯基丙酮、对异丙基苯甲醇、(-)-4-萜品醇、 $\alpha$ -松油醇、2,6-二叔丁基对甲酚、(E)-2-甲氧基-4-(1-丙烯基苯酚)、丁香酚、甲基丁香酚、乙酸乙酯、乙酸松油酯、榄香素, 同时少了十一醛、十二醛、3-甲硫基丙醛、反, 顺-2,6-壬二烯醛。而纯肉汤中原本不存在的丁香酚在2种卤羊肉汤中的含量分别达到了53.35%和36.39%, 说明影响卤羊肉风味的主要挥发性物质为丁香酚。李儒仁等<sup>[25]</sup>

研究扒鸡加工过程中挥发性物质变化规律时, 发现丁香酚、D-柠檬烯与2-戊基呋喃等成分对扒鸡风味形成影响较大, 并且卤制是扒鸡风味物质形成的关键加工阶段。

羊肉中的膻味物质主要有短链脂肪酸、硬脂酸、酚类、吡啶类、含硫化合物、羰基化合物, 除此之外, 与羊肉膻味有关的物质还包括一些醛类、吡啶、吡嗪、内酯、萜类等化合物<sup>[26]</sup>, 如表5中检测到的庚醛、正辛醛、3-甲硫基丙醛、2,6-二叔丁基对甲酚、(E)-2-甲氧基-4-(1-丙烯基苯酚)等。在典型的美拉德反应中, 苯乙醛可以通过Strecker反应降解氨基酸与氧化脂质结合而产生。其他具有直链的脂肪酸如己醛、庚醛、壬醛、2-十一烯醛等由脂肪氧化形成<sup>[27]</sup>。由于不同化合物具有不同的气味阈值或不同的检测灵敏度, 化合物的浓度不一定反映其在样品中的感知气味强度<sup>[28]</sup>。卤羊肉1和卤羊肉2中未检出的挥发性物质大多具有油脂气味或家禽等动物的气味, 这一现象与感官评价中卤羊肉1、卤羊肉2与纯羊肉气味评价分数存在显著差异有一定的联系。卤羊肉汤中的挥发性物质来源为纯羊肉汤、纯羊肉中本身存在的以及添加的天然香辛料经卤煮后产生的, 因此, 结合图6和表5分析可知, 庚醛、正辛醛、反-2-辛烯醛、反式肉桂醛、十六烷、乙酸乙酯、乙酸松油酯、3-壬酮、对甲氧基苯基丙酮、3-十一酮、芳樟醇、(-)-4-萜品醇、 $\alpha$ -松油醇、对异丙基苯甲醇、甲基丁香酚、(E)-2-甲氧基-4-(1-丙烯基苯酚)、2,6-二叔丁基对甲酚、丁香酚、榄香素这些挥发性物质应为天然香辛料卤煮后所得。而卤羊肉中的挥发性成分则可分为羊肉本身就存在的以及部分从香辛料中得到的, 即反式-2-壬烯醛、己醛、2,2,4,6,6-五甲基庚烷、3-异丙基苯甲醛、茴香脑、十五烷、十六烷、3-亚甲基十三烷、十七烷、乙酸松油酯、邻苯二甲酸二丁酯、3-十一酮、香叶基丙酮、3-十三酮、芳樟醇、丁香酚、甲基丁香酚、2,6-二叔丁基对甲酚、萜品烯、1-十二烯为香辛料中产生的挥发性物质。这与张同刚等<sup>[12]</sup>的研究结果有部分相似, 都存在加入香辛料后, 风味物质中的醛类、酯类有所增加的现象。上述增加的挥发性物质差异最为显著的是丁香酚(主要存在于丁香油和月桂叶油中), 这说明香辛料复配配方中虽然丁香加入的量较少, 但它对去除膻味有较大作用, 对卤羊肉的风味影响较大。

表5 羊肉和羊肉汤中的挥发性成分及含量

Table 5 Volatile compounds and content of mutton and mutton soup

类别	挥发性化合物	保留时间 (min)	风味描述	含量(%)					
				纯羊肉汤	卤羊肉汤 1	卤羊肉汤 2	纯羊肉	卤羊肉 1	卤羊肉 2
醛类	己醛	9.5	生的油脂和青草气及苹果香味	-	-	-	-	0.93±0.56	-
	庚醛	13.1	强烈和不愉快脂肪气味	-	-	0.37±0.21	-	-	-
	正辛醛	18.7	带显著油腻气味	-	-	0.38±0.19	-	-	-
	壬醛	23.9	玫瑰、柑橘香	-	1.53±0.21d	2.35±0.18d	17.41±1.22a	7.39±0.23c	9.51±0.26bc
	癸醛	29.0	甜香、柑橘香	0.30±0.08c	0.03±0.01c	0.10±0.03c	1.34±0.44b	2.73±0.16a	2.30±0.02a
	十一醛	33.8	脂蜡气、甜橙玫瑰花香	0.09±0.01a	-	-	0.19±0.01a	-	-
	十二醛	38.4	脂肪香	0.09±0.02a	-	-	0.16±0.02a	-	-
	十三醛	42.69	脂肪香	-	-	-	0.14±0.01a	0.10±0.01a	-
	苯乙醛	21.0	风信子香、果香	0.37±0.01a	0.09±0.01c	0.36±0.01a	0.17±0.01b	-	0.10±0.01c
	3-甲基丙醛	13.9	酱香、洋葱香、红烧肉香	0.45±0.42	-	-	-	-	-
	反,顺-2,6-壬二烯醛	26.4	紫罗兰和黄瓜香气	0.14±0.03	-	-	-	-	-
	反-2-辛烯醛	21.6	脂肪和肉类香气,并有黄瓜和鸡肉香味	-	-	0.35±0.20	-	-	-
	反式-2-壬烯醛	26.7	脂肪和肉类香气,并有黄瓜和鸡肉香味	4.64±0.72a	0.19±0.01b	0.48±0.02b	-	-	0.38±0.04b
	反式-2-癸烯醛	31.7	鸡、家禽和橙子似香味	3.72±0.06a	0.12±0.05c	-	0.53±0.02b	-	-
	2-十一烯醛	36.4	醛香、蜡香、柑橘香、脂肪香、青香	3.12±0.25a	-	0.32±0.06b	0.49±0.04b	-	-
	正十五碳醛	46.8		0.05±0.01b	0.03±0.01b	0.08±0.01b	0.76±0.05a	0.64±0.08a	0.78±0.11a
	反式肉桂醛	32.6	特殊的肉桂芳香气味	-	-	0.02±0.01	-	-	-
	5-甲基-2-噻吩甲醛	23.0	杏仁气味	-	-	-	0.55±0.54	-	-
	3-异丙基苯甲醛	31.0	优雅的花香和轻微的皮革气味	-	-	-	-	0.07±0.07	-
	肉豆蔻醛	46.8	脂肪香、蜡香、牛奶香、奶油香、鱼香、果香	-	-	-	0.28±0.06a	0.40±0.01a	0.66±0.06a
烷烃类	2,2,4,6,6-五甲基庚烷	18.1		-	-	-	-	5.32±2.67	-
	3-甲基十一烷	27.2	淡百合香	-	-	-	1.79±0.02a	-	1.74±0.03a
	十二烷	28.7	柑橘香	-	-	-	1.60±0.10a	1.93±0.04a	2.77±0.27a
	环十二烷	30.9	微弱气味	-	-	-	0.19±0.05b	0.42±0.06ab	0.80±0.06a
	正十三烷	33.5		-	-	-	0.34±0.01a	0.16±0.04a	0.19±0.03a
	3-亚甲基十三烷	37.3		-	-	-	-	0.26±0.02a	0.32±0.01a
	十四烷	38.0		-	0.04±0.01c	-	0.41±0.01b	0.87±0.04a	-
	十五烷	42.2		0.18±0.03a	0.13±0.03a	0.09±0.02a	-	0.19±0.04a	-
	十六烷	46.2		-	0.03±0.01a	-	-	-	0.14±0.03a
	十七烷	50.0		-	-	-	-	0.07±0.01a	0.08±0.01a
酮类	香叶基丙酮	40.0	新鲜、清、淡的花香香气,略带甜蜜-玫瑰香	-	-	-	-	0.38±0.24	-
	对甲氧基苯基丙酮	37.4		-	0.20±0.04a	0.34±0.01a	-	-	-
	3-壬酮	22.9		-	0.06±0.01	-	-	-	-
	3-十一酮	32.8		-	-	0.03±0.03b	-	0.22±0.02a	0.28±0.01a

续表5 Continued5

类别	挥发性化合物	保留时间 (min)	风味描述	含量 (%)					
				纯羊肉汤	卤羊肉汤 1	卤羊肉汤 2	纯羊肉	卤羊肉 1	卤羊肉 2
	3-十三酮	41.8		-	-	-	-	0.03±0.01	-
醇类	对异丙基苯甲醇	33.3		-	0.14±0.01a	0.13±0.01a	-	-	-
	芳樟醇	23.7	铃兰香气	-	1.27±0.43a	-	-	0.82±0.08a	-
	(-)-4-萜品醇	28.0		-	0.27±0.01a	0.44±0.04a	-	-	-
	α-松油醇	28.6	樟脑气味、辛辣味	-	0.43±0.03a	0.67±0.05a	-	-	-
酚类	2,6-二叔丁基对甲酚	42.4		-	0.30±0.04ab	0.39±0.06a	-	0.05±0.01b	-
	(E)-2-甲氧基-4-(1-丙烯基苯酚)	38.3	甜香、辛香、丁香、青香、花香并带有油脂、木香	-	2.72±0.01a	0.96±0.03b	-	-	-
	丁香酚	36.0	强烈的丁香香气	-	53.35±1.67a	36.39±2.50b	0.20±0.03e	23.86±2.72c	11.29±1.33d
	甲基丁香酚	38.0	较弱而持久的丁香酚香气	-	0.26±0.08a	0.50±0.09a	-	0.21±0.06a	-
酯类	乙酸乙酯	5.5	清灵、微带果香的酒香	-	9.36±0.45b	16.38±0.25a	-	-	-
	邻苯二甲酸二丁酯	58.9	芳香气味	-	-	-	-	-	0.05±0.05
	乙酸松油酯	35.7	清香带甜,似香柠檬、薰衣草气息	-	0.15±0.03c	0.22±0.01c	-	0.90±0.01a	0.45±0.05b
其他类	茴香脑	33.1		0.06±0.01d	0.67±0.07c	0.68±0.02c	-	6.83±1.84a	2.06±0.08b
	榄香素	44.1		-	0.02±0.01a	0.03±0.01a	-	-	-
	萜品烯	21.6	柑橘、柠檬香气	-	-	-	-	0.07±0.03	-
	1-十二烯	28.3		-	-	-	-	-	0.72±0.20
	咖啡因	55.3		-	-	-	-	-	1.81±0.49

表中含量数据为代表挥发性风味成分相对百分含量的峰面积。同一行数据后标有不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ ); “-”表示未检测出。

### 3 结论

本研究通过单因素试验和正交试验,结合感官评价确定香汁中大茴香、月桂、丁香 3 种天然香辛料最佳添加量为 0.15%、0.20%、0.07%,通过顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用仪对验证试验组样品进行检测,共检测出 51 种化合物。挥发性成分较少的是纯羊肉和纯羊肉汤,分别含有 17 种和 12 种挥发性物质。羊肉中原本存在的主要挥发性物质为壬醛,含量为 17.41%,加入香辛料卤煮后,含量显著降低。丁香酚是挥发性成分中变化最显著的物质,该物质一般来源于丁香和月桂。说明 3 种香辛料中对卤羊肉风味影响最大的是丁香,本研究结果为羊肉的卤煮加工和香辛料在羊肉中的应用提供了理论指导和参考。感官评定分析得出,加入天然香辛料卤煮后的羊肉风味有显著提升。采用电子鼻对羊肉和羊肉汤样品进行挥发性物质检测发现,添加香辛料组及未添加香辛料组的挥发性物质成分具有较好的区分度,添加香辛料前后羊肉风味有明显的改变。

### 参考文献:

- [1] 李文博,罗玉龙,刘畅,等. 饲养方式对苏尼特羊肉挥发性风味成分和脂肪酸组成的影响 [J]. 食品科学, 2019, 40(24): 207-213.
- [2] 应铁进. 羊肉制品的加工 [J]. 新农村, 2020(1): 34-35.
- [3] 王振东. 羊肉膻味强度评价模型构建及四种食材除膻作用效果研究 [D]. 扬州: 扬州大学, 2017.
- [4] 刘彩凤,康艳梅,李爱华,等. 日粮中添加百里香对滩羊肉中脂肪酸的影响 [J]. 饲料工业, 2014, 35(19): 33-38.
- [5] 罗燕. 中草药添加剂对中国美利奴羊(新疆军垦型)肉质和风味的影响研究 [D]. 石河子: 石河子大学, 2016.
- [6] 曾茂茂,王俊辉,陈静,等. 香辛料的抗氧化活性及对肉制品中杂环胺的影响 [J]. 食品与生物技术学报, 2018, 37(1): 1-6.
- [7] ZENG M M, HE Z Y, ZHENG Z P, et al. Effect of six Chinese spices on heterocyclic amine profiles in roast beef patties by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry and principal component analysis [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2014, 62(40): 9908-9915.
- [8] QIN Y X, CAI D D, ZHANG D N, et al. Characteristics of volatile flavor components in stewed meat and meat broths prepared with repeatedly used broths containing star anise [J]. Journal of Food Measurement and Characterization, 2020, 14(1): 522-572.



- [9] OLMEDO R H, GROSSO N R. Oxidative stability, affective and descriptive sensory properties of roasted peanut flavored with oregano, laurel, and rosemary essential oils as natural preservatives of food lipids [J]. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 2019, 121(5): 1-11.
- [10] HARLINA P W, MA M, SHAHZAD R, et al. Effect of clove extract on lipid oxidation, antioxidant activity, volatile compounds and fatty acid composition of salted duck eggs [J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2018, 55(12): 4719-4734.
- [11] 袁军,郝武斌,杨肖,等.天然香辛料对热反应牛肉调味基料风味的影响[J].*中国食品添加剂*, 2019, 30(9): 140-144.
- [12] 张同刚,刘敦华,周静.香辛料对手抓羊肉挥发性风味成分的影响[J].*中国调味品*, 2014, 39(10): 45-49.
- [13] 罗雨婷,谷大海,徐志强,等.天然香辛料在肉制品中抗氧化活性研究进展[J].*肉类研究*, 2017, 31(10): 53-57.
- [14] 顾赛麒,王锡昌,陶宁萍,等.基于固相微萃取-气质联用法和电子鼻法检测锯缘青蟹挥发性风味物[J].*食品工业科技*, 2012, 33(14): 140-145, 156.
- [15] 张彩霞,奚印慈,柳泽琢也,等.电子鼻结合GC-MS检测沙拉酱对挪威三文鱼风味的影响[J].*食品工业科技*, 2019, 40(17): 257-262, 275.
- [16] YANG W J, YU J, PEI F, et al. Effect of hot air drying on volatile compounds of *Flammulina velutipes* detected by HS-SPME-GC-MS and electronic nose [J]. *Food Chemistry*, 2016, 196: 860-866.
- [17] DEVANTHI P V P, LINFORTH R, EL KADRI H, et al. Water-in-oil-in-water double emulsion for the delivery of starter cultures in reduced-salt moromi fermentation of soy sauce [J]. *Food Chemistry*, 2019, 285: 324-325.
- [18] 熊国远,刘源,高韶婷,等.符离集烧鸡加工过程中挥发性风味成分变化研究[J].*南京农业大学学报*, 2014, 37(6): 103-110.
- [19] OLMO-GARCIA L, POLARI J J, LI X Q, et al. Deep insight into the minor fraction of virgin olive oil by using LC-MS and GC-MS multi-class methodologies [J]. *Food Chemistry*, 2018, 261: 184-193.
- [20] 鲁松涛,赵改名,李苗云,等.丁香对卤制鸡肉风味物质形成的影响[J].*农产品加工·学刊*, 2011(11): 20-25.
- [21] GIANNENAS I, TZORA A, BONOS E, et al. Effects of dietary oregano essential oil, laurel essential oil and attapulgit on chemical composition, oxidative stability, fatty acid profile and mineral content of chicken breast and thigh meat [J]. *European Poultry Science*, 2016, (80): 1-18.
- [22] 邹强,刘琴,王文婷,等.羊肉加工中的连续卤煮工艺研究[J].*食品科技*, 2014, 39(1): 131-134.
- [23] 王琼,徐宝才,于海,等.电子鼻和电子舌结合模糊数学感官评价优化培根烟熏工艺[J].*中国农业科学*, 2017, 50(1): 161-170.
- [24] FORLEO T, ZAPPI A, GOTTARDI F, et al. Rapid discrimination of Italian Prosecco wines by head-space gas-chromatography basing on the volatile profile as a chemometric fingerprint [J]. *European Food Research and Technology*, 2020, 246(9): 1805-1816.
- [25] 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.
- [26] 唐璐,江明锋,王永.羊肉膻味物质的研究进展[J].*动物营养学报*, 2014, 26(8): 2064-2070.
- [27] ZHAN P, TIAN H, ZHANG X, et al. Contribution to aroma characteristics of mutton process flavor from the enzymatic hydrolysate of sheep bone protein assessed by descriptive sensory analysis and gas chromatography olfactometry [J]. *J Chromatogr B Analyt Technol Biomed Life*, 2013, 921/922: 1-8.
- [28] MOON S Y, LI-CHAN E C Y. Changes in aroma characteristics of simulated beef flavour by soy protein isolate assessed by descriptive sensory analysis and gas chromatography [J]. *Food Research International*, 2007, 40(10): 1239-1248.

(责任编辑:陈海霞)