

## 基于HS-SPME-GC-MS分析不同卤制条件下卤制液香气差异

吴梓仟, 周劲松, 刘特元, 蒋立文, 刘洋, 尹世鲜, 荣智兴, 陈欢

### Analysis of Differences in Marinade Aroma under Different Brining Conditions Based on HS-SPME-GC-MS

WU Ziqian, ZHOU Jinsong, LIU Teyuan, JIANG Liwen, LIU Yang, YIN Shixian, RONG Zhixing, and CHEN Huan

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023020213>

## 您可能感兴趣的其他文章

### Articles you may be interested in

#### HS-SPME-GC/MS分析3种牡丹花瓣挥发性成分

Analysis of Volatile Components in Three Peony Petals by HS-SPME-GC/MS

食品工业科技. 2021, 42(16): 294-302 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021020153>

#### 基于主成分分析和聚类分析的苹果香气成分比较及品种分类研究

Comparative on Apple Aroma Components and Variety Classification Study based on Principal Component Analysis and Cluster Analysis

食品工业科技. 2018, 39(17): 217-224 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2018.17.036>

#### 不同酵母对脐橙果酒品质的影响

Effect of Different Yeasts on the Quality of Navel Orange Wine

食品工业科技. 2021, 42(5): 1-10,25 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020060075>

#### 气味活度值法评价蓝莓果皮、果肉、果汁挥发性香气成分

Evaluation of Volatile Aroma Components in Blueberry Peel, Pulp and Juice by Odor Activity Value

食品工业科技. 2020, 41(1): 195-200 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.01.031>

#### 新型工业化生产低温腌制大头菜挥发性风味物质分析

Analysis of Volatile Flavor Compounds in Novel Industrial Produced Low-temperature Pickled Mustard Roots

食品工业科技. 2021, 42(22): 268-275 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021020184>

#### 基于主成分分析法综合评价四种干燥方式对茼蒿脆片香气品质的影响

Comprehensive Evaluation of Four Drying Methods on Aroma Quality of Turnip Chips Based on Principal Component Analysis

食品工业科技. 2018, 39(22): 212-218,224 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2018.22.037>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

吴梓仟, 周劲松, 刘特元, 等. 基于 HS-SPME-GC-MS 分析不同卤制条件下卤制液香气差异 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(24): 311-318. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023020213

WU Ziqian, ZHOU Jinsong, LIU Teyuan, et al. Analysis of Differences in Marinade Aroma under Different Brining Conditions Based on HS-SPME-GC-MS[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(24): 311-318. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023020213

· 分析检测 ·

# 基于 HS-SPME-GC-MS 分析不同卤制条件下 卤制液香气差异

吴梓仟<sup>1,2</sup>, 周劲松<sup>3,4</sup>, 刘特元<sup>3,4</sup>, 蒋立文<sup>1,2</sup>, 刘洋<sup>1,2,\*</sup>, 尹世鲜<sup>3,4</sup>, 荣智兴<sup>3,4</sup>, 陈欢<sup>3,4</sup>

(1. 湖南农业大学食品科学技术学院, 湖南长沙 410128;

2. 食品科学与生物技术湖南省重点实验室, 湖南长沙 410128;

3. 劲仔食品集团股份有限公司, 湖南岳阳 414000;

4. 湖南省健康休闲食品工程技术研究中心, 湖南岳阳 414000)

**摘要:** 为探究不同卤制条件下卤制液中香气差异, 采用气相色谱-质谱联用仪 (gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS) 测定常压下不同卤制次数卤制液 (0525-1、0525-4) 及微压卤制卤制液 (0525-H) 中挥发性物质组成, 并结合气味活度值 (odour active value, OAV)、感官排序检验法和主成分分析法 (principal component analysis, PCA) 分析三种卤制液中的香气差异。结果表明, GC-MS 共鉴定出 43 种挥发性化合物, 包括醇类、酚类、酮类、烯类、酯类、醚类、酸类以及其他类化合物。常压条件下卤制液的挥发性化合物种类较微压条件多, 但总含量低于微压条件。通过 OAV 进一步分析得到为卤制液香气做贡献的物质共 15 种, 其中常压条件下卤制液香气更丰富, 而微压条件下卤制液的香气更浓郁。对样品香气浓郁排序结果为 0525-H>0525-1>0525-4, 且差异显著 ( $P<0.05$ )。聚类结果显示常压组两个样品香气更接近, PCA 亦显示 0525-4 和 0525-H 之间香气差异较大, 而 0525-1 和 0525-H 相似度高。综上, 卤制条件的更改能明显影响卤制液的香气, 微压条件更能够激发卤制液中香辛料的气味, 上述结果为深入解析卤制液的风味形成机制提供参考, 为卤制品复卤加工工艺优化奠定理论支持。

**关键词:** 卤制液, 气相色谱质谱联用技术, 气味活度值, 排序检验法, 主成分分析

中图分类号: TS202.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2023)24-0311-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023020213



本文网刊:

## Analysis of Differences in Marinade Aroma under Different Brining Conditions Based on HS-SPME-GC-MS

WU Ziqian<sup>1,2</sup>, ZHOU Jinsong<sup>3,4</sup>, LIU Teyuan<sup>3,4</sup>, JIANG Liwen<sup>1,2</sup>, LIU Yang<sup>1,2,\*</sup>, YIN Shixian<sup>3,4</sup>,  
RONG Zhixing<sup>3,4</sup>, CHEN Huan<sup>3,4</sup>

(1. College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China;

2. Key Laboratory for Food Science and Biotechnology of Hunan Province, Changsha 410128, China;

3. Jin Zai Food Group Co., Ltd., Yueyang 414000, China;

4. Hunan Engineering and Technology Research Center of Healthy Snack Food, Yueyang 414000, China)

**Abstract:** This study aims to investigate the effect of different brining conditions on the aroma of the marinade, gas chromatography-mass spectrometry was used to determine the volatile composition of the marinade samples with different brining times in atmospheric pressure (0525-1 and 0525-4) and micro-pressure (0525-H), combining with sensory ranking test and Principal Component Analysis was used to further analyze the differences in the aroma of the three marinades. The results showed that a total of 43 volatile compounds were detected by GC-MS, including alcohols, phenols, ketones, alkenes,

收稿日期: 2023-02-22

作者简介: 吴梓仟 (1999-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品生物技术, E-mail: 57104033@qq.com。

\* 通信作者: 刘洋 (1990-), 女, 博士, 讲师, 研究方向: 食品生物技术, E-mail: fs\_ly@163.com。

esters, ethers, acids and other compounds. More volatile compounds were founded in the marinade solutions under atmospheric pressure than under micro-pressure conditions, but the total content of marinade solutions under atmospheric pressure was lower than the under micro-pressure conditions. For the OAV, a total of 15 substances that contributed to the aroma of the marinade, of which the aroma of the marinade under atmospheric conditions were richness, while the aroma of the marinade under micro-pressure conditions was stronger. The results of ranking the aroma intensity of the samples were 0525-H>0525-1>0525-4 with significant difference ( $P<0.05$ ). The clustering of OAV results indicated that the aromas of the two samples which in the atmospheric pressure group were closer, and PCA also suggested significant differences in aroma between 0525-4 and 0525-H, while 0525-1 and 0525-H had high similarity. In conclusion, the changes of brine condition showed a significant impact on the aroma of the marinade, and the micro-pressure conditions could promote the release of aroma compounds in the marinade. The above results could provide a theoretical foundation for the optimization of the re-brining process of brine products.

**Key words:** marinade; gas chromatography-mass spectrometry; odour active value; ranking test; principal component analysis

香辛料是指一类具有典型气味和滋味的调味品,使用后不仅可赋予食材特殊色、香、味,还能矫正食材中的不良气味<sup>[1]</sup>,如水产制品中的鱼腥味和肉制品的血腥味<sup>[2]</sup>。因此,香辛料普遍用于食材加工。卤制液多使用卤料包(复合香辛料)熬煮而成,其香气主要来自于香辛料中有效成分的释放与转移,可实现与食材间的香气转换<sup>[3]</sup>。食材经卤制液卤制后风味浓郁且食用方便,深受消费者喜爱<sup>[4]</sup>。然而目前大多数企业在酱卤生产工艺中仍使用传统的老卤汁卤制方式。一定程度上,老卤汤香气更加浓郁,但卤汤的反复利用可导致大量有害物质析出,并富集于卤制食材之上,如杂环胺,脂肪氧化物等,存在安全隐患。此外,老卤汤原辅料利用率低且不同生产批次产品香气差异明显,较难实现产品的工业化。因此,需对卤制液制备进行调整。

研究表明,卤制液的香气因制备条件的改变而改变,如煮制时间、次数、温度及压力等。秦艳秀等<sup>[5]</sup>探究香叶循环煮制对肉汤挥发性风味的影响,发现随煮制次数的增加,肉汤中挥发性化合物的种类和含量总体呈下降趋势。刘悦<sup>[6]</sup>对不同卤制时长的卤烤兔进行感官评价,结果显示过长的卤煮时间会导致香辛料中的苦味物质析出,最终聚集于产品间,造成综合感官评分下降。而在香辛料熬煮过程中施加压力,可以加快挥发性香气物质释放速度,缩短卤制时间,有效减少因长时间卤制而带来的异味<sup>[7]</sup>。基于此,分析不同卤制条件下卤制液香气差异对卤制液制备的调整是很有必要的。

顶空固相微萃取(headspace-solid-phase microextraction, HS-SPME)常与气相色谱-质谱技术(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)联用,广泛应用于食品挥发性成分分析<sup>[8]</sup>,但现阶段该技术多应用于对单一香辛料水煮液的挥发性成分分析,对复合香辛料水煮液的挥发性成分以及关键香气成分分析较少。综上所述,为了改进传统卤制工艺的缺点,现对卤制液的加工条件进行优化,采用 HS-SPME-GC-MS 分析不同卤制方式下卤制液中挥发性组成

成分差异,结合气味活度值(odour active value, OAV)及主成分分析法(principal component analysis, PCA)更加完整的比较不同加工方式对卤料液香气的影响,进一步明确卤制液卤制条件,对提高卤料包的利用率及实现复卤产品风味的工业化统一均具有重要意义。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料与amp;仪器

卤制液样品 由八角、桂皮、小茴香、丁香、肉豆蔻、草果、高良姜、山奈、荜拔、豆蔻、白芷、花椒、砂仁、陈皮、甘草组成的卤料包经不同条件卤制而成 湖南劲仔食品集团股份有限公司提供; 2-甲基-3-庚酮 分析纯,上海阿拉丁生化科技股份有限公司。

7890B5977 型 Agilent 气质联用仪 美国 Agilent 公司; 57330-U 型手动 SPME 进样器、57310-U 型聚二甲基硅氧烷萃取头(50/30  $\mu\text{m}$  DVB/CAR/PDM) 美国 SUPELCO 公司; BSa224S 分析天平 Sartorius 有限公司。

### 1.2 实验方法

1.2.1 不同卤制条件卤汁的制作 第一锅卤制液(0525-1): 3 包新卤料包熬煮; 第二锅卤制液: 第一锅卤制液时用的 3 包卤料包基础上加 1 包新卤料包熬煮; 第三锅卤制液: 第二锅卤制液时用的 4 包卤包基础上加 1 包新卤料包,以此类推第五锅卤制液(0525-4)为第四锅卤制液时用的 6 包卤包卤制基础上再加 1 包新卤料包。

微压卤制液(0525-H)根据现有工艺设备制作。在第一锅中加入 3 个卤包,熬制完成后将第一锅卤制液全部抽出; 无需加新卤包,继续在锅内加入一锅量的水进行熬煮,熬煮后,将第二锅卤制液全部抽出与第一锅抽出的卤制液混合; 然后在锅内再加入一锅量的水进行熬煮,熬煮完成后,将第三锅卤制液抽出与第一锅、第二锅抽出的卤制液混合。所有熬煮操作均在微压条件下进行,即 3 个卤包进行了 3 次微压熬煮,将 3 次熬制后的卤制液混合后使用。

卤制液卤制条件及样品编号见表 1。取样后于

4 ℃ 冰箱中冷藏密封保存。

表 1 卤制液卤制条件

Table 1 Halogenation conditions for brine solution

样品编号	卤制液说明	卤料熬煮时间 (min)	卤料熬制压力及温度
0525-1	第一锅卤制液	100	常压, 微沸
0525-4	第五锅卤制液	100	常压, 微沸
0525-H	微压三锅混合卤制液	85	0.05~0.06 MPa、105 ℃

1.2.2 SPME-GC-MS 分析条件 参考周晓等<sup>[4]</sup>的方法并稍作修改, 采用顶空固相微萃取(HS-SPME)对卤制液香气进行提取: 将 8 mL 样品置于 20 mL 气相小瓶中, 加入 2.5 g NaCl 和 40 μL 内标(2-甲基-3-庚酮 1.7 μg/mL), 置于恒温磁力搅拌机下(转速为 30 r/min), 在 50 ℃ 下预热 5 min。随后将萃取头从垫片穿过并推出纤维头, 吸附 40 min。

挥发性化合物在 HP-5MS 毛细管柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm)上分离。升温程序如下进行: 初温 40 ℃, 保持 3 min 后, 以 4 ℃/min 的速度升温至 150 ℃ 保持 0 min, 再以 10 ℃/min 的速度升温至 250 ℃ 保持 5 min。载气为氦气(1 mL/min), 离子源温度为 250 ℃, 电离能为 70 eV, 质量范围为 45~500 m/z。

将 GC-MS 检测到的挥发性化合物与 NIST20 库数据库进行质谱比较。选择匹配度高于 85% 的物质作为定性结果, 使用内标法计算挥发性化合物的含量作为定量结果, 计算公式参考文献 [9]:

$$X(\mu\text{g/mL}) = \frac{S_2 \times C}{S_1 \times M} \quad \text{式 (1)}$$

其中,  $S_1$  是内标的峰面积;  $S_2$  是挥发性化合物的峰面积;  $C$  是内标的初始浓度;  $M$  是样品的体积。

1.2.3 气味活度值计算公式 气味活度值(OAV)是挥发性化合物的含量(C)与其阈值(T)之比, 计算公

式参考文献 [10]:

$$\text{OAV} = \frac{C}{T} \quad \text{式 (2)}$$

1.2.4 排序检验法 参照《GB/T 12315-2008 感官分析方法学 排序法》, 对卤制液香气浓郁程度进行排序。10 名品评成员(4 男 6 女, 年龄在 28~37 岁之间)来自劲仔食品集团股份有限公司, 感官实验在专业品评室进行, 要求品评员对卤制液样中散发的出卤香气味浓郁程度进行排序。实验完成后, 计算同一样品同一特征的秩次总和(秩和)。

$$F_{\text{test}} = \frac{12}{j \times P(P+1)} \times (R_1^2 + R_2^2 + R_3^2) - 3j(P+1) \quad \text{式 (3)}$$

其中,  $j$  是品评员的数量;  $P$  是样品的数量;  $R$  是样品的秩和。排序检验分析通过 Friedman 检验法计算样品间是否存在显著性差异。

### 1.3 数据处理

数据为三次测定的平均值, 实验结果用平均值±标准差( $\bar{X} \pm \text{SD}$ )方法表示; 利用 Excel、Data-Graph、OmicStudio tools at <https://www.omicstudio.cn/tool>、Chiplot at <https://www.chiplot.online/> 进行绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同卤制方式卤制液挥发性化合物分析

3 种不同卤制方式的卤制液通过 GC-MS 分析, 结果如表 2 所示, 共鉴定出 8 类化合物(43 种物质), 分别为醇类(7 种)、酚类(7 种)、酮类(5 种)、烯类(5 种)、酯类(5 种)、醚类(4 种)、酸类(2 种)、其他化合物(7 种)。由图 1 可知, 不同样品检出的风味物质组成差异明显, 总含量由高至低分别为 0525-H(107.90 μg/mL)、0525-1(37.83 μg/mL)、0525-4(24.16 μg/mL), 其中酚类、醚类为 0525-1 与 0525-H 的主要化合物, 而 0525-4 中以酚类、烯类为主要化合物。

表 2 不同卤制条件卤制液中挥发性成分的组成及含量

Table 2 Composition and content of volatile components in marinade with different brine conditions

序号	挥发性化合物	保留时间 (min)	CAS号	0525-1	0525-4	0525-H	香气描述 <sup>[1,43-44]</sup>
1	对烯丙基苯酚	23.16	501-92-8	0.18±0.03	0.06±0.02	-	药草味
2	丁香酚	27.15	97-53-0	10.93±0.27	10.98±1.83	37.8±6.26	丁香味、烟熏味
3	甲基丁香酚	28.149	93-15-2	0.35±0.09	0.23±0.03	0.73±0.14	丁香味
酚类	(E)-2-甲氧基-4-(1-丙烯基苯酚)	29.559	5932-68-3	0.21±0.06	0.19±0.03	0.17±0.03	-
5	异丁香酚	29.615	97-54-1	-	-	0.35±0.02	丁香味、烟熏味
6	反式甲基异丁香酚	31.026	6379-72-2	0.31±0.02	0.75±0.1	0.4±0.07	-
7	顺式甲基异丁香酚	31.01	6380-24-1	0.23±0.04	-	-	-
总和				12.21	12.21	39.45	
1	乙酸丁香酚酯	31.819	93-28-7	-	-	2.96±0.59	辛甜, 丁香味
2	肉桂酸乙酯	30.039	103-36-6	0.09±0.02	-	1.97±0.49	甜橙味
酯类	甲氧基肉桂酸乙酯	34.454	1929-30-2	3.49±0.23	0.62±0.03	14.57±1.84	-
4	原膜散酯	37.591	118-56-9	-	0.07±0.01	-	甜香味
5	棕榈酸乙酯	38.643	628-97-7	-	0.07±0.01	-	奶油香
总和				3.58	0.76	16.54	

续表 2

序号	挥发性化合物	保留时间 (min)	CAS号	0525-1	0525-4	0525-H	香气描述 <sup>[1,43-44]</sup>
1	肉豆蔻醚	31.704	607-91-0	0.51±0.12	0.63±0.09	3.15±0.06	香膏味
2	对烯丙基苯甲醚	21.101	140-67-0	0.59±0.05	0.64±0.05	0.89±0.1	甘草味
3	甲醚	1.984	115-10-6	-	1.08±0.04	1.79±0.38	茴香味
4	异丁香酚甲醚	31.07	93-16-3	-	-	0.43±0.06	-
5	茴香脑	24.327	104-46-1	9.59±1	-	34.89±1.86	茴香味
总和				10.69	2.34	41.14	
1	二甲基硅烷二醇	5.429	1066-42-8	0.2±0.05	0.21±0.02	0.52±0.05	-
2	桉叶油醇	14.732	470-82-6	0.4±0.03	0.06±0.01	0.61±0.03	草药味
3	芳樟醇	17.415	78-70-6	0.22±0.03	0.08±0.01	0.71±0.03	铃兰香味
4	α-松油醇	20.795	98-55-5	0.11±0.04	0.07±0.01	0.59±0.02	紫丁香味
5	3-苯丙醇	22.268	122-97-4	0.1±0.03	-	-	果香味
6	肉桂醇	25.202	104-54-1	0.64±0.22	-	3±0.22	风信子香
7	5-萜醇	26.424	1470-94-6	0.11±0.04	0.11±0.01	-	果香味
总和				1.79	0.54	5.42	
1	2-丁酮	11.483	78-93-3	0.13±0.02	0.15±0.01	-	清香味
2	4-辛酮	12.531	589-63-9	0.07±0.01	0.08±0	-	果香味
3	3,4-二甲基-2-己酮	11.549	19550-10-8	-	0.19±0.02	-	-
4	2-十一烷酮	24.505	112-12-9	0.07±0.01	-	-	黄油香味
5	2,3,4-三甲氧基苯乙酮	34.985	13909-73-4	2.12±0.6	0.46±0.06	3.27±0.28	-
总和				2.26	0.73	3.27	
1	甲基酒石酸	2.006	595-98-2	0.82±0.64	-	-	-
2	肉豆蔻酸	35.953	544-63-8	0.63±0.03	0.11±0.02	-	奶香味
总和				1.45	0.11	-	
1	茴香烯	24.4	4180-23-8	-	5.1±0.62	-	茴香味
2	4-羟基苯乙烯	21.815	2628-17-3	-	0.06±0.01	-	烟熏味
3	苯乙烯	9.297	100-42-5	0.72±0.04	-	-	香脂味
4	4-甲氧基苯乙烯	19.464	637-69-4	3.19±0.43	1.63±0.14	-	甜食、熟食香
5	1-石竹烯	28.677	87-44-5	0.07±0.01	-	-	淡丁香味
总和				3.98	6.79	-	
1	桂皮醛	23.961	14371-10-9	0.32±0.11	-	0.83±0.07	辛香味
2	香豆素	29.216	91-64-5	0.09±0.03	-	-	干香草味
3	榄香素	32.485	487-11-6	0.73±0.29	0.44±0.1	0.91±0.1	花香味
4	咖啡因	37.166	58-0 8-2	0.46±0.07	-	-	苦香味
5	2,3-二氢苯并呋喃	21.806	496-16-2	-	0.07±0.01	-	-
6	茴香甙	34.725	78259-41-3	0.16±0.05	0.07±0.01	0.34±0.12	辛香味
7	甲氧基苯基肼	10.906	1000222-86-6	0.12±0.01	0.12±0.01	-	-
总和				1.87	0.68	2.08	

注：“-”代表没有检出或未找到香气描述词。

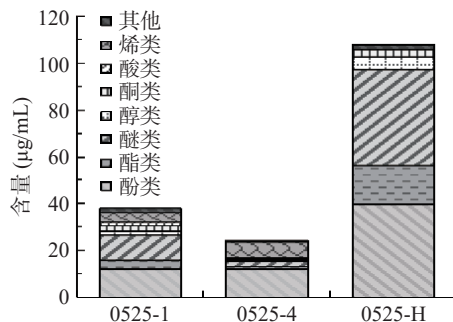


图 1 不同卤制方式卤制液中各挥发性化合物含量图

Fig.1 Volatile compounds diagram in marinade with different brine conditions

3 种样品(0525-1、0525-4、0525-H)中分别检测出 33、28 和 22 种挥发性化合物, 仅有 14 种共有化

合物(图 2), 包括芳樟醇、丁香酚、甲氧基肉桂酸乙酯、肉豆蔻醚、榄香素、茴香甙等, 而 3 种样品的特有成分分别有 8 种、6 种、3 种。表明卤制条件的更改能够进一步影响卤制液中挥发性化合物的形成, 进一步影响卤制液的香气。

整体而言, 卤料包经过反复熬煮之后, 仅烯炔类及酚类物质含量呈现上升状态, 其余皆呈现不同程度降低, 推测原因为高温长时间蒸煮导致部分挥发性成分受热分解或者挥发损失, 这与刘洋等<sup>[11]</sup>对火锅底料气质分析相吻合; 在微压条件下, 只有烯炔类及酸类化合物有不同程度的降低, 其余均呈上升状态, 可知微压有助于促进挥发性化合物的释放<sup>[12]</sup>。

酚类化合物大多数可表现为花果香<sup>[13]</sup>。0525-H

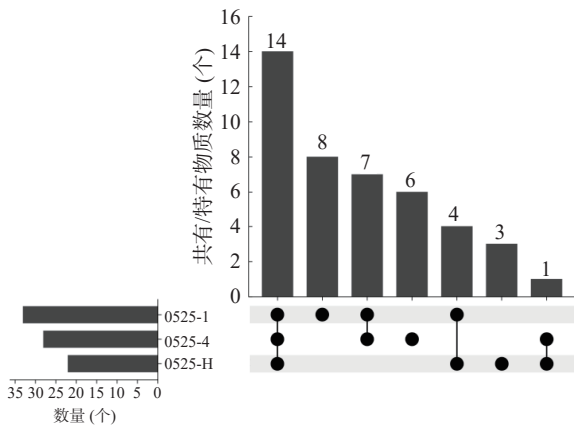


图 2 不同卤制方式卤制液中挥发性化合物数量分析图

Fig.2 Number of volatile compound diagram in marinade with different brine conditions

注: ●-仅某一样品特有; ●●-某两个样品共有; ●●●-三个样品共有。

中酚类化合物含量最高(39.45  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ), 而 0525-1 与 0525-H 均为 12.21  $\mu\text{g}/\text{mL}$ , 微压条件对卤制液中酚类挥发物质影响明显<sup>[14]</sup>, 在压力的作用下, 酚类化合物更易释放出来。丁香酚、甲基丁香酚、(E)-2-甲氧基-4-(1-丙烯基苯酚)、反式甲基异丁香酚在三个样品中均被检出。除丁香酚外, 其余化合物在三个样品中含量较低。0525-H 中丁香酚的含量远远高于 0525-1 与 0525-4, 说明丁香酚在压力作用下更容易被浸出, 此结论与 FROHLICH 等<sup>[15]</sup>一致。丁香酚一般呈现丁香味及烟熏味, 源自桂皮, 除呈香功能外, 还具有良好的抑菌防腐及保鲜作用<sup>[16]</sup>。

酯类化合物与羧酸和醇的酯化作用相关, 多散发香甜气息<sup>[17]</sup>。0525-1、0525-4、0525-H 样品中酯类化合物含量分别为 3.58、0.76 和 16.54  $\mu\text{g}/\text{mL}$ , 据报道, 热处理会加速酯类化合物的降解而损失<sup>[18]</sup>。甲氧基肉桂酸乙酯, 其来源于山奈并具有较强的广谱抑菌性能<sup>[19]</sup>, 是三个样品共有的化合物, 大量存在于 0525-H 样品中。肉桂酸乙酯源自桂皮<sup>[20]</sup>。乙酸丁香酚酯为丁香酚的衍生物<sup>[21]</sup>, 只在 0525-H 中被检出。由上知, 卤制液制备过程中施加压力有助于酯类物质的析出。

醚类化合物主要来源于香辛料中的呈味物质, 其阈值与碳链的组成相关, 多呈辛香味<sup>[22]</sup>。醚类化合物在 0525-H 中含量最高, 0525-1 其次, 0525-4 最低, 循环煮制不利于醚类化合物的累积。三个样品中均检测出肉豆蔻醚和对烯丙基苯甲醚。肉豆蔻醚来源于肉豆蔻, 除能提供香味外, 还可有效治疗心脏疾病<sup>[23]</sup>。肉豆蔻醚在常压下煮制变化并不明显, 而微压条件下含量却明显上升, 原因可能系压力条件下, 肉豆蔻的挥发性化合物更易被提出<sup>[24]</sup>。茴香脑来自于八角茴香、小茴香、大茴香等物, 其含量在醚类中占比最大, 具有浓烈的茴香味<sup>[25]</sup>, 但经过循环煮制后, 茴香脑的含量低于检测线。据郜佳等<sup>[26]</sup>报道, 茴香脑热稳定性较差, 反复多次热处理对茴香脑的损失

较大。

大部分醇类化合物具有令人愉快的香气, 通常不饱和醇类的阈值较低, 对风味贡献较大, 一般拥有植物清香<sup>[27]</sup>, 反之饱和醇阈值较高, 但独立存在时, 碳链较长的饱和醇可表现为植物香或花脂香特征<sup>[28]</sup>。醇类化合物总含量由高至低为 0525-H、0525-1、0525-4, 循环煮制致使醇类化合物含量下降。二甲基-硅烷二醇、桉叶油醇、芳樟醇和  $\alpha$ -松油醇为共有化合物, 但在样品中差异明显。桉叶油醇主要来源于肉桂、陈皮、豆蔻和八角茴香等香辛料, 呈现樟脑气息和草药味<sup>[29]</sup>。由于熬煮总时长过高会导致桉叶油醇损失较大<sup>[30]</sup>, 因此其在 0525-H 中含量较高为 0.61  $\mu\text{g}/\text{mL}$ , 0525-1(0.4  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ) 次之, 0525-4 最低, 仅有 0.06  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 。芳樟醇具有铃兰香气和香柠檬香味, 通常由八角、花椒等香辛料析出<sup>[31]</sup>, 经循环煮制后, 其含量出现明显下降, 但在微压条件下含量上升, 与赵旭飞等<sup>[32]</sup>研究结果相吻合。肉桂醇具有风信子的香气, 但未在 0525-4 中检测到, 推测是煮制次数过多其暴露在空气中迅速氧化形成其他物质所致<sup>[33]</sup>。

酮类化合物主要呈现奶油香或清香, 通常由美拉德反应/脂质的降解与氧化等反应产生<sup>[34]</sup>。其在 0525-H 中含量最高(3.27  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ), 0525-1 次之(2.26  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ), 0525-4 最少(0.73  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ), 在压力的作用下, 酮类物质化合物得到提升, 与张栋昊等<sup>[35]</sup>探究不同加工方式对米饭风味影响的结论一致。酸类存在于 0525-1 与 0525-4 两个样品中, 其香味阈值较高, 对卤汁风味贡献不大<sup>[36]</sup>。烯炔多具有辛香/木香/果香等香气<sup>[37]</sup>, 未在 0525-H 中检测出, 这可能是在微压作用下, 长链烷/烯炔会发生裂化作用, 刘振宇等<sup>[18]</sup>研究不同压力下绿豆粉的香气成分变化, 发现经过压力处理后烷烃种类数和含量显著减小, 二十碳以上的烷烃消失, 与本结果相符。具有茴香气息的茴香烯源自茴香、桂皮<sup>[38]</sup>。醛类物质阈值较低, 香气较为浓烈, 可以赋予香辛料水煮液独特风味<sup>[39]</sup>。桂皮醛于 0525-1 和 0525-H 样品中检测出, 是一种很好的植物抗菌剂, 通常来源于肉桂等植物体内, 有特殊的肉桂芳香气味<sup>[40]</sup>。呋喃等杂环类化合物可能源于美拉德/焦糖化反应<sup>[41]</sup>。榄香素、茴香甙为三者共有的化合物, 但差异不大。榄香素主要来源于卤制液中肉豆蔻或花椒等香辛料, 具有令人愉悦的花香气息。茴香甙不但能为卤制液提供辛香味, 还可提供良好的防腐保鲜效果<sup>[42]</sup>。综合来看, 控制卤制液的熬煮次数/压力能够明显影响挥发性化合物的释放, 特别是微压条件促使各类挥发性化合物(酚类、酯类、醚类、醇类及其他类)上升尤为明显。

## 2.2 不同卤制方式卤制液关键香气成分

仅以挥发性化合物的含量判断卤料液的香气具有局限性, 因此需结合气味活度值(OAV)才能更完整的评判卤料液的整体香气。通常  $\text{OAV} \geq 1$  的化合物为关键香气化合物, 并且值越大越说明该化合物对

整体香气影响越大;当  $0.1 < OAV < 1$  时, 尽管并非关键香气, 但同样对整体的气味起一定修饰作用<sup>[45]</sup>。通过查阅相关书籍<sup>[46]</sup> 找到以下 22 种挥发性物质的气味阈值, 并通过公式(2)求出各挥发性气味物质的 OAV 值, 结果如图 3 所示。三个样品中有 15 个挥发性化合物  $OAV > 1$ , 这些挥发性物质的香气对卤制液的整体香气起重要作用。其中丁香酚(丁香味、烟熏味)、桉叶油醇(草药味)、芳樟醇(铃兰香味)、肉豆蔻醚(香膏味)、对烯丙基苯甲醚(甘草味)为共有的关键挥发性化合物, 说明三种样品的基本香气特征为花香味、烟熏味、草木香以及香膏味。尽管这五种化合物在三个样品中均被检出, 但 OAV 值大小差异明显, 无论是单一物质还是总物质, 0525-H 的 OAV 值均远远高于其他两个样品, 可以得知在香气特征相同的条件下, 0525-H 香气会更加浓郁。聚类分析将三个样品分为常压类与微压类, 常压条件的两个样品香气组成更接近。

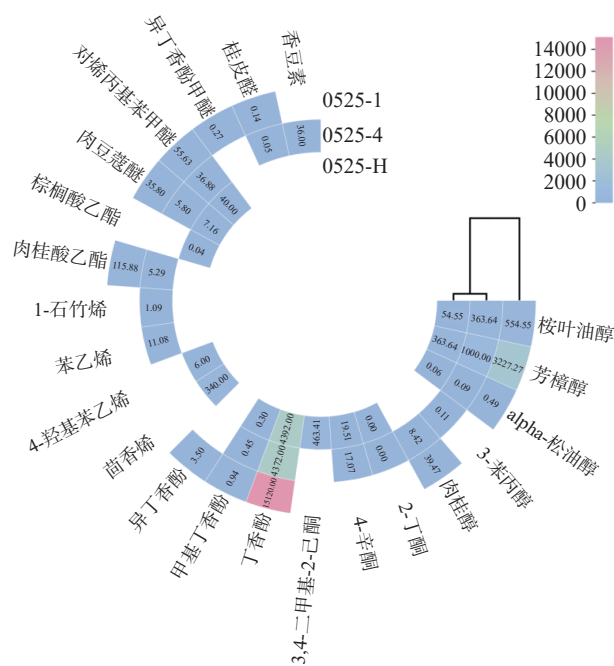


图 3 不同卤制方式卤制液样品气味活度值热图

Fig.3 Heat map of OAV value in marinade with different brine conditions

三个样品中(0525-1、0525-4 与 0525-H)  $OAV \geq 1$  的化合物分别为 11 个、9 个和 8 个。在共有的香气特征基础上, 0525-1 中含有独特的干香草味(香豆素)、淡丁香味(1-石竹烯)、香脂味(苯乙烯), 而烟熏味(4-羟基苯乙炔)及茴香味(茴香烯)为 0525-4 的侧重香气。0525-H 拥有更明显的丁香味、烟熏味(异丁香酚)。散发着果香的 4-辛酮仅存在于常压组中, 推测为压力条件下 4-辛酮稳定性被破坏<sup>[32]</sup>。肉桂酸乙酯与肉桂醇的香气特征分别为甜橙香与风信子香, 存在 0525-H 与 0525-1 两个样品中, 且 0525-H 中香气更为浓郁。综上所述, 0525-1 的香气较为丰富, 而 0525-H 的香味更为浓郁。

### 2.3 不同卤制方式卤制液排序检验分析

不同卤制条件卤制液感官排序检验结果如表 3 所示。三个样品中, 0525-H 秩和最小, 0525-4 最大, 初步表明 3 个样品的香气浓度顺序为  $0525-H > 0525-1 > 0525-4$ , 与 OAV 结果相吻合。通过公式(3)计算可得  $F_{test} = 13.4$ , 查阅感官表,  $j=10, P=3, \alpha=0.01$  时对应的临界值为 9.60,  $F_{test} > F$ , 认为样品的秩次间存在差异, 即消费者对试验中三个样品的喜好显著差异。

表 3 不同卤制条件卤制液感官排序检验结果  
Table 3 Ranking test in marinade with different brine conditions

品评人编号	样品			合计
	0525-1	0525-4	0525-H	
1	2	3	1	6
2	3	2	1	6
3	2	3	1	6
4	3	2	1	6
5	1	3	2	6
6	3	2	1	6
7	2	3	1	6
8	2	3	1	6
9	2	3	1	6
10	2	3	1	6
秩和(R)	22	27	11	60

### 2.4 不同卤制方式卤制液香气成分主成分分析

对三种不同样品的香气成分进行主成分分析, 由图 4 知 PCA1 和 PCA2 的贡献率分别为 2.93% 和 96.26%, 累计方差贡献率为 99.19%, 表明结果足以区分 3 个样品。PCA1 与 PCA2 方向上, 三个样品之间能良好地区分, 且 3 个样品重复性较好, 并归属于相对独立的区域。0525-1 和 0525-4 间距离最小, 表示二者香气成分较为相似, 而微压处理的卤制液距离常压样品均较远, 与聚类所得结果一致。

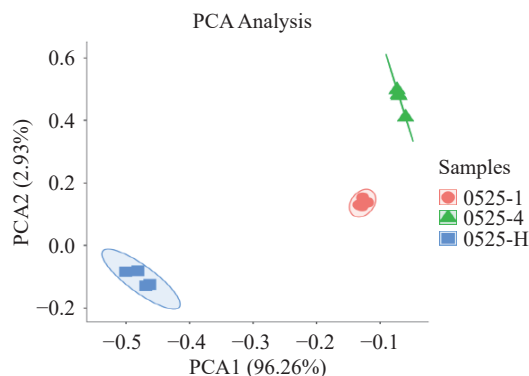


图 4 不同卤制方式卤制液样品 PCA 分析图

Fig.4 PCA analysis chart of marinade with different brine conditions

## 3 结论

为分析不同卤制条件下卤制液中的香气差异, 采用 HS-SPME-GC-MS 结合 OAV、感官排序检验以及 PCA 对不同卤制方式卤制液进行分析。利用

GC-MS 在三个样品中共鉴定出 43 种挥发性化合物, 其中 0525-1 样品中挥发性化合物种类较丰富, 而 0525-H 中的挥发性化合物总含量更高。通过计算 OAV 值可知, 卤制液中的主体风味物质共 15 种, 其中 0525-1、0525-4、0525-H 中分别有 11 个、9 个、8 个, 且花香味(丁香酚、芳樟醇)、草木香(桉叶油醇、对烯丙基苯甲醚)以及香膏味(肉豆蔻醚)为三种样品的主要特征香气。综合分析, 0525-H 样品的香气更为浓郁, 0525-1 的香气更为丰富, 与 GC-MS 结果相吻合, 感官排序结果同样可验证 0525-H 样品香气更浓郁。聚类结果显示常压组两个样品香气更接近, PCA 亦显示 0525-4 和 0525-H 之间香气差异较大, 而 0525-1 和 0525-H 相似度高。综上, 微压卤制能明显提升卤制液的整体香气, 但会导致部分挥发性风味物质的散失。本研究可为后续卤制液的工艺优化和产品风味提升提供理论支持。

### 参考文献

- [1] 尹含靓, 肖何, 邓高文, 等. 基于 GC-IMS 技术分析不同香辛料水煮液的风味物质组成差异[J]. 食品工业科技, 2021, 42(17): 278–284. [YIN H L, XIAO H, DENG G W, et al. Based on GC-IMS technology, analyze the differences in the composition of flavor substances in different spices and water boiling solutions[J]. Food Industry Technology, 2021, 42(17): 278–284.]
- [2] VÁZQUEZ-ARAÚJO L, CHAMBERS E, ADHIKARI K, et al. Influence of various traditional seasonings on beef flavor: United States, Spanish, and Argentinian practices[J]. Meat Science, 2013, 93(1): 61–66.
- [3] HAN D, ZHANG C H, FAUCONNIER M L. Effect of seasoning addition on volatile composition and sensory properties of stewed pork: 1[J]. Foods, 2021, 10(1): 83.
- [4] 周晓, 周劲松, 刘特元, 等. 基于 HS-SPME-GC-MS 分析循环熬制卤水对风味熬制小咸鱼干风味的影响[J/OL]. 食品工业科技: 1–13 [2023-04-27]. https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022.110245. [ZHOU X, ZHOU J S, LIU T Y, et al. Analysis of the effects in the flavor anchovy during circulating boiling brine based on HS-SPME-GC-MS[J/OL]. Food Industry Technology: 1–13 [2023-04-27]. https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022.110245.]
- [5] 秦艳秀, 蔡丹丹, 樊玉霞, 等. 香叶循环煮制对肉汤挥发性风味的影响研究[J]. 食品工业科技, 2019, 40(20): 271–277, 284. [QIN Y X, CAI D D, FAN Y X, et al. Effect of repeated cooking with bay leaf on volatile flavor meat broth[J]. Food Industry Technology, 2019, 40(20): 271–277, 284.]
- [6] 刘悦. 卤烤兔肉制品的研制及贮藏期品质变化研究[D]. 重庆: 西南大学, 2021. [LIU Y. Study on preparation and storage quality of brine roasted rabbit meat products[D]. Chongqing: Southwest University, 2021.]
- [7] 郭昕, 黄峰, 张春江, 等. 静态变压腌制技术对猪肉品质的影响[J]. 中国农业科学, 2015, 48(11): 2229–2240. [GUO X, HUANG F, ZHANG C J, et al. Effects of pressure varied static brining on pork quality[J]. Chinese Agricultural Science, 2015, 48(11): 2229–2240.]
- [8] VERMA D K, SRIVASTAV P P. A paradigm of volatile aroma compounds in rice and their product with extraction and identification methods: A comprehensive review[J]. Food Research International, 2020, 130: 108924.
- [9] HU Y, ZHANG L, LIU Q, et al. The potential correlation between bacterial diversity and the characteristic volatile flavour of traditional dry sausages from Northeast China[J]. Food Microbiology, 2020, 91: 103505.
- [10] 莫皓然, 黄名正, 张群, 等. 顶空固相微萃取结合溶剂辅助风味蒸发分析无籽梨挥发性成分及其呈香贡献[J/OL]. 食品工业科技: 1–16 [2023-04-27]. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022090300. [MO H R, HUANG M Z, ZHANG Q, et al. Analysis the volatiles and its aroma contribution in rosa sterilis by HS-SPME and LLE-SAFE[J/OL]. Food Industry Technology: 1–16 [2023-04-27]. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022090300.]
- [11] 刘洋, 张宁, 徐晓兰, 等. SDE/GC-MS 分析火锅底料的挥发性风味成分[J]. 中国食品学报, 2014, 14(2): 283–291. [LIU Y, ZHANG N, XU X L, et al. Analysis of volatile compounds in chafngdish by simultaneous distillation extraction with gas chromatography mass spectroscopy[J]. Chinese Journal of Food Science, 2014, 14(2): 283–291.]
- [12] ROSSA G E, ALMEIDA R N, VARGAS R M F, et al. Sequential extraction methods applied to Piper hispidinervum: An improvement in the processing of natural products[J]. The Canadian Journal of Chemical Engineering, 2018, 96(3): 756–762.
- [13] ESCUDERO A, ARIAS I, LACAU B, et al. Effects of vineyard ‘potential’ and grape maturation on the aroma-volatile profile of grenache wines[J]. Oeno One, 2019, 53(4).
- [14] 杨培玉, 张波, 蒋玉梅, 等. 超高压处理对蛇龙珠葡萄中酚类物质的影响[J/OL]. 食品与发酵工业: 1–12 [2023-04-27]. doi: 10.13995/j.cnki.11-1802/ts.032632. [YANG P Y, ZHANG B, JIANG Y M, et al. Effects of ultra-high pressure treatment on phenolic compounds in cabernet gersichet grape[J/OL]. Food and Fermentation Industry: 1–12 [2023-04-27]. doi: 10.13995/j.cnki.11-1802/ts.032632.]
- [15] FROHLICH P C, SANTOS K A, PALÚ F, et al. Evaluation of the effects of temperature and pressure on the extraction of eugenol from clove (*Syzygium aromaticum*) leaves using supercritical CO<sub>2</sub>[J]. The Journal of Supercritical Fluids, 2019, 143: 313–320.
- [16] 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 Agricultural Journal, 2021, 37(4): 1016–1024.]
- [17] LIU H, WANG Z, ZHANG D, et al. Characterization of key aroma compounds in Beijing Roasted Duck by gas chromatography–olfactometry–mass spectrometry, odor-activity values, and aroma-recombination experiments[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2019: 10.
- [18] 刘振宇, 付永霞, 张凡, 等. 不同高静压小米粉和绿豆粉挥发性风味化合物分析[J]. 中国食品学报, 2022, 22(8): 297–307. [LIU Z Y, FU Y X, ZHANG F, et al. Analysis of different high hydrostatic pressure on volatile compound of millet and mung bean flour[J]. Chinese Journal of Food Science, 2022, 22(8): 297–307.]
- [19] 贾智若, 朱小勇, 李兵, 等. 不同产地杜仲叶挥发油成分的 GC-MS 分析[J]. 中国实验方剂学杂志, 2013, 19(19): 118–122. [JIA Z R, ZHU X Y, LI B, et al. Chemical components of volatile oil in eucommia ulmoides leaf from different habitats by GC-MS[J]. Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae, 2013, 19(19): 118–122.]
- [20] 叶俊杰. 盐焗鸡加工过程中风味形成的研究[D]. 广州: 仲恺农业工程学院, 2020. [YE J J. Study on the flavor formation in the process of Salt Baked Chicken[D]. Guangzhou: Zhongkai University of Agriculture and Engineering, 2020.]
- [21] 张礼行. 贵州产青钱柳对 II 型糖尿病大鼠的降糖作用机制及其化学成分研究[D]. 广州: 广东药科大学, 2019. [ZHANG L X. The study for the hypoglycemic mechanism on type 2 diabetes mellitus model rats and chemical constituents of *Cyclocarya paliurus* (Batal.) ijinakaja from Guizhou province[D]. Guangzhou:



- Guangdong Pharmaceutical University, 2019. ]
- [ 22 ] 韦友兵, 吴香, 周辉, 等. 萨拉米发酵成熟过程中微生物菌群变化及对风味的影响[J]. 肉类研究, 2018, 32(12): 48-54. [ WEI Y B, WU X, ZHOU H, et al. Changes of microbial flora during the fermentation of salami and their effect on flavor[J]. Meat Research, 2018, 32(12): 48-54. ]
- [ 23 ] 朱琳, 李永芳, 李向阳. 藏药八味沉香散的有效成分及药理作用研究进展[J]. 中国民族民间医药, 2019, 28(14): 73-76. [ ZHU L, LI Y F, LI X Y. Research progress on the effective ingredients and pharmacological effects of Tibetan medicine bawei chenxiang powder[J]. Chinese Ethnic and Folk Medicine, 2019, 28(14): 73-76. ]
- [ 24 ] 李力, 潘倩雯, 郭偲, 等. 不同方法提取肉豆蔻挥发油成分的气相色谱-质谱法分析[J]. 医药导报, 2019, 38(12): 1630-1634. [ LI L, PAN Q W, GUO S, et al. GC-MS analysis of components of nutmeg volatile oil extracted by different methods[J]. Medical Journal, 2019, 38(12): 1630-1634. ]
- [ 25 ] 李娟, 韩东, 米思, 等. 基于HS-SPME-GC-MS法优化酱牛肉中挥发性风味物质萃取条件[J]. 食品工业科技, 2018, 39(15): 266-273. [ LI J, HAN D, MI S, et al. Optimization of the extraction conditions of volatile flavors in marinated beef based on HS-SPME-GC-MS technique[J]. Food Industry Technology, 2018, 39(15): 266-273. ]
- [ 26 ] 邹佳, 邹俊波, 史亚军, 等. 小茴香挥发油热稳定性研究及其抗氧化剂筛选[J]. 中华中医药杂志, 2019, 34(11): 5379-5383. [ TAI J, ZOU J B, SHI Y J, et al. Study on the thermal stability and thermal stability improvement of volatile oil from foeniculum vulgare mill[J]. Chinese Journal of Traditional Chinese Medicine, 2019, 34(11): 5379-5383. ]
- [ 27 ] 尹乐斌, 杨莹, 陈浩, 等. 固相微萃取-气质联用法测定湘派豆干老卤挥发性风味物质变化[J]. 中国调味品, 2021, 46(8): 147-154. [ YIN L B, YANG Y, CHEN H, et al. Determination of volatile flavor compounds in xiangpai dried tofu brine by solid-phase microextraction and mass spectrometry[J]. Chinese Seasonings, 2021, 46(8): 147-154. ]
- [ 28 ] CAMPBELL S M, SIMS C A, BARTOSHUK L M, et al. Manipulation of sensory characteristics and volatile compounds in strawberry fruit through the use of isolated wavelengths of light[J]. Journal of Food Science, 2020. ]
- [ 29 ] 陈雨. 烧鸡主体风味物质及其主要影响因素[D]. 锦州: 渤海大学, 2019. [ CHEN Y. The key flavor compounds and the main effect factors of stewed chicken[D]. Jinzhou: Bohai University, 2019. ]
- [ 30 ] 邹月, 黄金凤, 魏琴, 等. 不同提取时间的艳山姜挥发油组分分析及其抑菌活性研究[J]. 中国调味品, 2020, 45(3): 62-66, 72. [ ZOU Y, HUANG J F, WEI Q, et al. Analysis of volatile oil components of alpinia zerumbet at different extraction time and study on their antibacterial activity[J]. Chinese Seasonings, 2020, 45(3): 62-66, 72. ]
- [ 31 ] 田梦云, 谢定源, 任婧楠, 等. 固相微萃取条件优化及扣肉风味物质分析[J]. 食品科技, 2019, 44(8): 304-310. [ TIAN M Y, XIE D Y, REN J N, et al. Optimization of solid-phase microextraction conditions and analysis of flavor compounds in braised pork[J]. Food Technology, 2019, 44(8): 304-310. ]
- [ 32 ] 赵旭飞, 胡志和, 薛璐, 等. 超高压处理对脱脂乳感官特性的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(19): 172-184. [ ZHAO X F, HU Z H, XUE L, et al. Effect of ultra-high pressure treatment on sensory quality of skim milk[J]. Food Science, 2019, 40(19): 172-184. ]
- [ 33 ] NIKLASSON I B, DELAINE T, ISLAM M N, et al. Cinnamyl alcohol oxidizes rapidly upon air exposure[J]. Contact Dermatitis, 2013, 68(3): 129-138. ]
- [ 34 ] KOHNO Y, MAKINO T, KANAKUBO M. Effect of phase behavior for ionic liquid catalysts with reactants/products on reactivity of esterification from long-chain fatty alcohols and fatty acids[J]. Fluid Phase Equilibria, 2019, 490: 107-113. ]
- [ 35 ] 张栋昊, 蔡妍培, 劳菲, 等. 大米蛋白质与米饭食味品质关联性研究进展[J/OL]. 食品科学: 1-13 [2023-04-27] <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.ts.20220701.1300.013.html>. [ ZHANG DH, CAI Y P, LAO F, et al. Research progress on the relationship between rice protein and eating quality[J/OL]. Food Science: 1-13 [2023-04-27] <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.ts.20220701.1300.013.html>. ]
- [ 36 ] 赵电波, 栗俊广, 吴萌萌, 等. 不同炒制方式对大盘鸡品质的影响[J]. 中国调味品, 2020, 45(9): 116-121, 138. [ ZHAO D B, LI J G, WU M M, et al. Effect of different frying methods on the quality of saute spicy chicken[J]. Chinese Seasoning, 2020, 45(9): 116-121, 138. ]
- [ 37 ] 王兴波, 饶雷, 王永涛, 等. 9个品种干辣椒的品质分析及评价[J]. 食品工业科技, 2022, 43(18): 300-310. [ WANG X B, RAO L, WANG T Y et al. Quality analysis and evaluation of nine varieties of dried peppers[J]. Food Industry Technology, 2022, 43(18): 300-310. ]
- [ 38 ] 史晓杰, 朱瑞, 祁立波, 等. 砂锅鱼高汤的工艺优化及挥发性风味物质分析[J]. 中国调味品, 2020, 45(4): 5-12. [ SHI X J, ZHU R, QI L B, et al. Process optimization and volatile flavor compounds analysis of casserole fish stock[J]. Chinese Seasonings, 2020, 45(4): 5-12. ]
- [ 39 ] NI R, YAN H, TIAN H, et al. Characterization of key odorants in fried red and green huajiao (*Zanthoxylum bungeanum* maxim. and *Zanthoxylum schinifolium* sieb. et Zucc.) oils[J]. Food Chemistry, 2022, 377: 131984. ]
- [ 40 ] 王楠. 甲基正壬酮对脂多糖诱导奶牛乳腺上皮细胞炎症反应和氧化应激的影响及机制研究[D]. 吉林: 吉林大学, 2022. [ WANG N. Effect and mechanism of 2-methyl nonyl ketone on LPS-induced inflammatory response and oxidative stress in Bovine Mammary Epithelial cells[D]. Jilin: Jilin University, 2022. ]
- [ 41 ] KANTONO K, HAMID N, CHADHA D, et al. Pulsed electric field (PEF) processing of chilled and frozen-thawed lamb meat cuts: relationships between sensory characteristics and chemical composition of meat: 5[J]. Foods, 2021, 10(5): 1148. ]
- [ 42 ] 李庭铂, 袁哲. 微生物技术在果蔬防腐保鲜中的应用[J]. 中国果菜, 2022, 42(1): 34-37. [ LI T B, YUAN Z. Application of microbial technologies in antiseptic and preservation of fruit and vegetables[J]. Chinese Fruit and Vegetable, 2022, 42(1): 34-37. ]
- [ 43 ] 尹含靓, 肖何, 邓高文, 等. 基于HS-SPME-GC-MS分析风味鱼仔加工过程中风味物质的变化[J]. 中国调味品, 2022, 47(3): 8-13. [ YIN H L, XIAO H, DENG G W, et al. Analysis of the changes in volatile flavor components of flavored fish larvae during processing by HS-SPME-GC-MS[J]. Chinese Seasonings, 2022, 47(3): 8-13. ]
- [ 44 ] 徐欣如, 尤梦晨, 宋煥祿, 等. 不同酶对牛骨素热反应香精气味的及滋味的的影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(3): 228-238. [ XU X R, YOU M C, SONG H L, et al. Effect of different enzymes on the flavor and taste of thermal process flavorings made by bovine bone extract[J]. Food Industry Technology, 2019, 40(3): 228-238. ]
- [ 45 ] ZHAO Y, WU Z, MIYAO S, et al. Unraveling the flavor profile and microbial roles during industrial Sichuan radish paocai fermentation by molecular sensory science and metatranscriptomics[J]. Food Bioscience, 2022, 48: 101815. ]
- [ 46 ] 里奥·范海默特. 化合物嗅觉阈值汇编[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2018: 232-432. [ LEO VAN HEMERT. Compilation of compound olfactory thresholds[M]. Version 2 Beijing: China Science and Technology Press, 2018: 232-432. ]