

## 恩施土家烟熏腊肉挥发性成分提取

刘双双<sup>1,2</sup>, 冯亮<sup>1,2</sup>, 谢雅婷<sup>1,2</sup>, 张路晗<sup>1,2</sup>, 杨艳<sup>1,2\*</sup>, 余爱农<sup>1,2</sup>

(1. 湖北民族大学 化学与环境工程学院, 湖北 恩施 445000; 2. 生物资源保护与利用湖北省重点实验室湖北民族大学, 湖北 恩施 445000)

**摘要:** 采用索氏提取法 (SE)、水蒸气蒸馏法 (SD)、同时蒸馏萃取法 (SDE) 和顶空固相微萃取法 (HS-SPME) 提取恩施土家烟熏腊肉挥发性物质。结合 GC-MS 技术对挥发性物质进行了分析, 并对比了各提取方法对挥发性物质分布与含量的影响; 此外, 对挥发性物质进行了风味总结和嗅闻分析。结果表明, 4 种提取方法提取的挥发性物质种类分别为 83、53、79 和 62 种, 其中相同的挥发性物质有 22 种。挥发性物质分别为烃类、醇类、酚类、醛类、酮类、酸类、酯类、醚类及其他含硫含氮杂环化合物; 各挥发性物质含量较大的为 HS-SPME 提取得到的苯酚, 为 42016.73 ng/g。通过各挥发性物质的香气活度值 (OAV) 分析发现, 对恩施土家烟熏腊肉风味有贡献的主要风味物质有 59 种, 其中 OAV 较突出的为经 HS-SPME 提取得到的愈创木酚, 高达 10934。尽管不同提取方法各有优缺点, 可以相互补充, 但 HS-SPME 得到的大部分挥发性物质的相对含量比其他方法要高。

**关键词:** 烟熏腊肉; 挥发性物质; 香气活度值; 提取; 嗅闻分析; 气质联用

**中图分类号:** O657.63; R284.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-5214(2022)09-1881-13

## Extraction of volatile components from Enshi Tujia smoked bacon

LIU Shuangshuang<sup>1,2</sup>, FENG Liang<sup>1,2</sup>, XIE Yating<sup>1,2</sup>, ZHANG Luhan<sup>1,2</sup>,  
YANG Yan<sup>1,2\*</sup>, YU Ainong<sup>1,2</sup>

(1. School of Chemistry and Environmental Engineering, Hubei Minzu University, Enshi 445000, Hubei, China; 2. Key Laboratory of Biological Resources Protection and Utilization of Hubei Province, Hubei Minzu University, Enshi 445000, Hubei, China)

**Abstract:** Volatile substances of Enshi Tujia smoked bacon (ETSB) were extracted by Soxhlet extraction, steam distillation, simultaneous distillation-extraction and headspace solid-phase microextraction, respectively. The effects of different extraction methods on the distribution and content of volatile substances extracted were then compared following GC-MS analysis, and the flavor and odor profiles were summarized. The results showed that the number of components in volatile substances extracted by the four different methods were 83, 53, 79 and 62, respectively, with 22 in common. The main components were hydrocarbons, alcohols, phenols, aldehydes, ketones, acids, esters, ethers and other sulfur-containing nitrogen-containing heterocyclic compounds with the content of phenol extracted by headspace solid phase microextraction the highest (42016.73 ng/g). Furthermore, odor activity value (OAV) analysis demonstrated that roughly 59 compounds contributed to the flavor of ETSB, among which guaiacol extracted by headspace solid phase microextraction exhibited the most prominent OAV of 10934. Although different extraction methods had advantages and disadvantages and could complement each other, the relative content of most volatile substances obtained by headspace solid phase microextraction was higher in comparison to those extracted by other methods.

**Key words:** smoked bacon; volatile substances; odor activity value; extraction; olfactory analysis; GC-MS

收稿日期: 2022-03-12; 定用日期: 2022-05-18; DOI: 10.13550/j.jxhg.20220219

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31960512); 湖北省自然科学基金项目 (2018CFB650); 生物资源保护与利用湖北省重点实验室 (湖北民族大学) 基金项目 (PT012010)

作者简介: 刘双双 (1992—), 女, 硕士生, E-mail: 1527580460@qq.com。联系人: 杨艳 (1980—), 女, 副教授, 电话: 0718-8437531, E-mail: yangyan8069@163.com。

中国传统烟熏制品的制作和食用已有上千年的历史, 由于其风味独特、便于贮藏, 具有广阔的消费市场<sup>[1-3]</sup>。烟熏工艺可使食品脱水、赋予食品特殊的香味<sup>[4-5]</sup>。肉制品的风味受多方面因素的影响, 研究及评价过程涉及物理、化学、生物等领域<sup>[6]</sup>。恩施土家烟熏腊肉 (ETSB) 风味独特, 是一个具有烟熏、鲜味、肉香、咸味等多种口味的复杂、丰富而全面的呈味体系<sup>[7]</sup>。

关于烟熏腊肉的研究有部分学者进行了报道。粟桂蓉等<sup>[8]</sup>以湖南湘西土家族农家腊肉为研究对象, 采用水蒸气蒸馏法 (SD) 提取到 71 种少量挥发性物质; 文献<sup>[9-10]</sup>中采用固相微萃取法对烟熏腊肉香气成分进行了研究, 对得到的 29 种挥发性物质进行了定性和定量分析; 蒲丹丹等<sup>[11]</sup>采用同时蒸馏萃取法 (SDE) 对比分析了熟湖南腊肉和熟广东腊肉的挥发性物质, 发现两种腊肉中的挥发性物质各有差别。已有研究几乎都是单一方法对烟熏腊肉中挥发性物质进行了提取, 且鲜有对提取得到的挥发性物质进行系统风味描述及香气活度分析的报道。

采用索氏提取 (SE)、SD、SDE 和顶空固相微萃取 (HS-SPME) 法, 对恩施土家烟熏腊肉中挥发性物质进行提取, 采用气相色谱-质谱联用 (GC-MS) 技术<sup>[12]</sup>对提取物进行分离及检测。对腊肉中特征风味化合物进行了气味描述、香气活度分析和嗅闻实验; 同时对实验结果进行了主成分分析和聚类分析, 从而比较不同提取方法的差异性。本研究采用不同提取方法对烟熏腊肉中挥发性物质进行分析, 不仅可以对比各方法提取风味的优劣性还能为后续定向提取腊肉中风味物质提供参考, 同时可为肉类香味料和烟熏香味料的开发和应用<sup>[13]</sup>提供基础实验依据。

## 1 实验部分

### 1.1 材料与试剂

恩施市土家烟熏腊肉, 市售; 乙醚 (AR)、无水乙醇 (色谱纯), 国药集团化学试剂有限公司; 2-庚醇 (质量分数 ≥ 98%), C<sub>7</sub>~C<sub>30</sub> 正构烷烃 (GR), 美国 Sigma-Aldrich 公司; 实验用水均为二次蒸馏水。

### 1.2 仪器与设备

RE-52AA 型旋转蒸发器, 上海亚荣生化仪器厂; 6890N/5975MSD 型气质联用仪、20 mL 带隔垫 (1.5 mm) 顶空螺纹口样品瓶和纺锤型磁力搅拌子、DB-5MS 毛细管色谱柱 (30 m×0.25 mm×0.25 μm), 美国安捷伦公司; 固相微萃取头 (50/30 μm DVB/CAR/PDMS), 美国 Supelco 公司; SHZ-III 循环水式多用真空泵, 临海谭式真空泵设备有限公司; CONCEPT 型多功能前处理系统 (HS-SPME 模块),

德国 PAS 公司; 同时蒸馏萃取装置, 上海方畦仪器有限公司。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 HS-SPME 法提取挥发性物质

参考潘见等<sup>[14]</sup>的方法提取腊肉中的挥发性物质, 并略作修改。称取烟熏腊肉 4.0 g 并切碎置于 20 mL 顶空螺纹口样品瓶中, 在 100 °C 加热 40 min 后, 将其置于 60 °C 水浴中进行平衡 40 min, 萃取 40 min, 得油状液体, 待分析。挥发性物质得率为 0.016%。

#### 1.3.2 SDE 法提取挥发性物质

参考蒲丹丹等<sup>[11]</sup>的方法提取腊肉中的挥发性物质。取 100.0 g 原料置于 SDE 原料端, 加热至 100 °C, 同时 100 mL 乙醚置于溶剂端加热至 (43 ± 2) °C, 萃取 3.5 h, 再经旋转蒸发器浓缩得到 1~2 mL 油状液体, 待分析。挥发性物质得率为 0.0080%。

#### 1.3.3 SD 法提取挥发性物质

将 100.0 g 切碎的 ETSB 用水蒸气蒸馏法以 100 °C 提取<sup>[15]</sup>3.5 h, 得蒸馏液。蒸馏液用无水乙醚多次萃取, 合并萃取液, 旋蒸后得 1~2 mL 油状液体, 待分析。挥发性物质得率为 0.0061%。

#### 1.3.4 SE 法提取挥发性物质

将 100.0 g 切碎的 ETSB 用纱布包裹后置于索氏提取器中。以乙醚为提取剂, 在 (43 ± 2) °C 水浴条件下连续提取 3.5 h, 旋蒸后得 1~2 mL 油状液体, 待分析。挥发性物质得率为 0.015%。

### 1.4 GC-MS 检测条件

对 SE、SD 和 SDE 法得到的化合物采用直接进样法, 利用 GC-MS 仪进行检测<sup>[16]</sup>。而 HS-SPME 参考文献<sup>[17]</sup>的相应检测条件, 利用 CONCEPT 多功能前处理系统结合 GC-MS 对样品进行分析。

### 1.5 数据处理

#### 1.5.1 定性分析

提取所得化合物经 GC-MS 联用仪检测, 将检测结果与 NIST 20 数据库对比匹配, 结合以 C<sub>7</sub>~C<sub>30</sub> 正构烷烃混合物测定的保留指数 (RI), 再与文献报道的保留指数进行比对以辅助定性<sup>[18]</sup>, 再结合 MS 图谱确认检测到的挥发性物质成分。

#### 1.5.2 定量分析

采用内标法进行半定量分析, 选取 2-庚醇为内标物质。当用 HS-SPME 法萃取时, 内标物质量浓度为 0.5880 g/L (以无水乙醇为溶剂); 其余方法的内标物质量浓度为 0.04356 g/L, 进样量为 1 μL。根据化合物及内标物峰面积比计算各挥发性物质的相对含量 (ng/g)。

$$c_i = \frac{A_i}{A_{is}} \times \frac{m_{is}}{m_i} \quad (1)$$

式中:  $c_i$  为各挥发性物质的相对含量, ng/g;  $A_i$  为各物质峰面积;  $A_{is}$  为内标物的峰面积;  $m_i$  为样品质量, g;  $m_{is}$  为内标物质量, ng。

### 1.5.3 香气活度值 (OAV) 的计算

化合物的 OAV 由其浓度和香气阈值决定。为研究挥发性物质对风味的贡献度, 结合各挥发性物质阈值, 进行 OAV<sup>[19]</sup> 分析。用各物质浓度的平均值和水中对应物质的气味阈值来计算各风味物质的 OAV<sup>[20-21]</sup>, 计算式如下所示:

$$OAV = \frac{c_i}{OT_i} \quad (2)$$

式中:  $c_i$  为风味物质的相对含量, ng/g;  $OT_i$  为该物质在水中的气味阈值, ng/g, 通过查阅工具书得到<sup>[22]</sup>。

### 1.5.4 风味物质整体评价

OAV 是评价食品风味贡献值的一个重要参数, 为从不同香气特征方向<sup>[23]</sup> 描述各风味物质的特点, 以 OAV 为自然对数, 并以其为坐标建立了恩施土家腊肉香气特征雷达图<sup>[24]</sup>。同时为了与 OAV 实验数据进行对比分析, 采用感官嗅闻方法对恩施土家腊肉香气特征进行了感官评价。按照 GB/T 16291.1—2012<sup>[25]</sup> 对 16 位 (8 男 8 女) 评价员进行了感官评定培训, 建立了感官评价小组。采用 10 点线性标度法对恩施土家腊肉香气特征强度进行了评价, 感官评价设计方案见表 1。

表 1 风味强度感官评价设计表

Table 1 Table of sensory scoring criteria for flavor intensity		参考标准 <sup>[26-29]</sup>
香型特征	肉香味	煮熟五花肉
	烟熏味	木屑、茶叶、白糖隔锡纸加热产生的烟雾
	辛香味	芥末
	香脂味	液态热猪油
	木香味	带壳花生
	甜香味	红糖水 (100 g/L)

注: 香气强度嗅闻赋分标准: 察觉 0~1; 轻微 2~3; 中等 4~6; 较强 7~8; 强烈 9~10。

### 1.5.5 挥发性物质的主成分分析及聚类分析

为了更好地了解不同提取方法得到挥发性物质的相似性与差异性, 选择  $OAV \geq 1$ <sup>[24,30]</sup> 的挥发性物质进行主成分分析 (PCA)<sup>[31]</sup>。为进一步阐明不同提取方法得到挥发性物质之间的关联性, 对所有鉴定出的化合物进行了层次聚类分析。

### 1.5.6 数据分析

实验数据采用 Microsoft Excel 2016 软件建立数据库, 并采用 Origin 2018 软件、SPSS 22.0 软件及 TBtools 软件完成。每种样品平行提取 3 次, 最终结果以 3 次的平均值±标准偏差表示, 文中分析直接用平均值数据。

## 2 结果与讨论

### 2.1 4 种提取方法挥发性物质分布及含量

经 4 种方法提取检出挥发性物质种类及含量如表 2 所示。

分析表 2 可知, 用 SE、SD、SDE 以及 HS-SPME 提取 ETSB 中挥发性物质, 经 GC-MS 检测后分别得到 83 种、53 种、79 种、62 种挥发性物质, 其中相同的挥发性物质有 22 种。用 SE 法得到的化合物中, 含量较高的为苯酚 (15737.83 ng/g)、4-甲基苯酚 (8930.06 ng/g)、月桂酸 (14428.13 ng/g) 等; 用 SD 法得到的化合物中, 含量较高的有苯酚 (19576.31 ng/g)、4-甲基苯酚 (8004.71 ng/g) 等; 用 SDE 法得到的化合物中, 含量较高的为苯酚 (13825.64 ng/g)、4-甲基苯酚 (6034.25 ng/g) 和十六醛 (6780.20 ng/g), 该结果与文献[11]的报道相似; 用 HS-SPME 法得到的化合物中, 含量较高为苯酚 (42016.73 ng/g)、4-甲基苯酚 (9755.93 ng/g)、愈创木酚 (9184.68 ng/g) 等。可以看出, 采用 4 种提取方法得到苯酚及 4-甲基苯酚的相对含量都较高。

表 2 不同提取方法得到的挥发性物质种类及含量

Table 2 Kinds and concentration of volatile substances from different extraction methods

序号	名称	RI <sup>a</sup> /RI <sup>b</sup>	含量/(ng/g)			
			SE (83)	SD (53)	SDE (79)	HS-SPME (62)
<b>烃类(8)</b>			<b>3671.91 (6)</b>	<b>0 (0)</b>	<b>1321.15 (2)</b>	<b>3601.80 (4)</b>
1	1-甲基环辛烯	973/~	304.83±35.04	—	—	—
2	萘	1180/1178	—	—	—	346.08±19.08
3	2-甲基萘	1312/1291	370.04±16.81	—	578.34±17.55	—
4	长叶烯	1416/1403	—	—	742.81±42.83	—
5	$\alpha$ -柏木烯	1420/1407	1401.19±35.07	—	—	1387.92±21.04
6	萘烯	1453/1454	1321.56±96.62	—	—	1267.74±110.03
7	1,4-二甲基萘	1426/~	121.96±25.17	—	—	—
8	2-乙烯基萘	1433/~	152.33±15.36	—	—	600.06±43.09
<b>醇类 (10)</b>			<b>5015.69 (7)</b>	<b>740.81 (2)</b>	<b>1586.62 (4)</b>	<b>5363.08 (2)</b>
9	糠醇	858/845	958.17±15.84	646.30±81.43	1206.63±321.37	1051.79±271.49

续表 2

序号	名称	RI <sup>a</sup> /RI <sup>b</sup>	含量/(ng/g)			
			SE (83)	SD (53)	SDE (79)	HS-SPME (62)
10	1-乙炔基环庚-1-醇	1003/~	450.49±109.22	—	—	—
11	3-甲基环戊醇	857/836	660.48±91.31	—	—	—
12	1,2-环己二醇	1073/~	1016.58±148.11	—	—	4311.29±304.13
13	$\alpha$ -松油醇	1198/1192	—	94.51±13.25	139.43±17.77	—
14	2-羟基桉叶素	1230/1228	—	—	84.43±1.76	—
15	3-苯基-2-丙炔-1-醇	1328/~	99.45±7.32	—	—	—
16	4-羟基-3-甲氧基苯乙醇	1521/1542	1460.81±177.11	—	—	—
17	13-十七炔-1-醇	1675/~	—	—	156.13±19.11	—
18	柏木脑	1617/1596	369.71±33.60	—	—	—
	<b>酚类 (46)</b>		<b>89015.54 (30)</b>	<b>46235.97 (17)</b>	<b>46836.04 (31)</b>	<b>123425.89 (27)</b>
19	苯酚	995/974	15737.83±1852.86	19576.31±34.61	13825.64±105.53	42016.73±122.60
20	2-甲基苯酚	1065/1068	3368.04±987.35	2755.98±290.92	1895.69±18.00	8059.49±126.83
21	4-甲基苯酚	1074/1085	8930.06±608.19	8004.71±320.30	6034.52±76.96	9755.93±490.69
22	3-甲基苯酚	1082/1067	2667.81±302.86	—	—	—
23	愈创木酚	1101/1096	2695.07±316.96	3030.51±46.64	3754.28±29.59	9184.68±133.41
24	2,6-二甲基苯酚	1109/1130	—	1078.72±18.47	—	—
25	甲基麦芽酚	1111/1133	1799.82±271.35	—	—	—
26	2-乙基苯酚	1144/1148	658.55±68.94	2546.62±111.51	539.23±29.37	616.93±67.69
27	4-乙基间苯二酚	1135/1314	—	—	23.57±2.79	—
28	2,4-二甲基苯酚	1146/1181	750.07±149.80	—	994.91±14.16	2487.91±367.13
29	2,5-二甲基苯酚	1146/1109	365.77±23.65	366.74±14.30	250.97±43.12	1897.95±261.81
30	2,3-二甲基苯酚	1180/1184	188.44±53.47	253.09±40.85	356.02±61.19	574.21±34.77
31	4-乙基苯酚	1165/1161	2571.07±569.90	165.17±18.51	647.27±23.78	2775.31±496.54
32	3-乙基苯酚	1168/1176	—	478.88±83.73	414.34±106.14	509.03±65.95
33	4-甲基愈创木酚	1187/1192	2937.88±243.79	3153.27±70.81	4757.16±206.52	9054.50±358.29
34	3,5-二甲基苯酚	1188/1181	1028.00±20.90	812.21±11.41	—	2049.35±108.01
35	3,4-二甲基苯酚	1190/1182	304.51±8.43	—	597.20±59.35	691.32±29.00
36	2-甲氧基-5-甲基苯酚	1189/1191	—	—	197.93±17.41	5012.79±421.88
37	1,2-苯二酚	1204/1219	4679.93±290.80	—	—	—
38	3,4,5-三甲基苯酚	1304/1331	—	—	—	163.38±6.82
39	2-乙基-4-甲基苯酚	1223/~	—	—	—	378.90±71.77
40	2-乙基-6-甲基苯酚	1232/1236	363.46±9.48	—	—	—
41	2-正丙基苯酚	1220/1244	—	—	60.22±1.36	—
42	2-乙基-5-甲基苯酚	1237/~	—	—	593.05±4.10	626.96±31.94
43	3-乙基-5-甲基苯酚	1254/~	469.68±10.17	140.38±2.83	194.70±0.84	583.44±22.23
44	2,4,6-三甲酚	1243/1229	214.29±44.04	—	176.46±3.91	190.42±2.51
45	2,4,5-三甲酚	1270/~	785.29±85.62	—	230.64±62.22	—
46	4-乙基愈创木酚	1277/1268	5695.09±442.17	1304.00±293.69	1782.17±167.28	6339.57±247.45
47	麝香草酚	1292/1292	—	—	136.04±41.31	—
48	4-乙烯基愈创木酚	1306/1301	3012.32±137.61	—	732.68±69.87	2806.80±31.23
49	1,2,3-三甲氧基苯	1308/1317	—	139.77±3.14	—	—
50	4-仲丁基苯酚	1284/1279	—	—	165.84±42.76	—
51	4-烯丙基苯酚	1337/1258	1085.36±34.47	—	—	—
52	2,6-二叔丁基-4-甲基苯酚	1501/1513	5690.18±1258.94	—	1406.96±274.80	—
53	4-(2-甲基-2-丙烯基)苯酚	1341/~	—	—	418.36±41.45	—
54	2,6-二甲氧基苯酚	1342/1319	10382.60±545.84	1405.93±15.46	1592.45±478.91	9009.97±62.93
55	4-烯丙基-2,6-二甲氧基苯酚	1591/1615	1469.42±158.16	—	—	—

续表 2

序号	名称	RI <sup>a</sup> /RI <sup>b</sup>	含量/(ng/g)			
			SE (83)	SD (53)	SDE (79)	HS-SPME (62)
56	丁香酚	1349/1363	888.13±197.92	—	519.52±36.09	931.71±28.30
57	2-甲氧基-5-丙基-2-烯基苯酚	1354/1362	—	—	1237.36±69.52	—
58	2-甲氧基-4-丙基-苯酚	1364/1352	—	—	1165.51±389.75	1132.33±116.07
59	2-甲氧基-5-[(E)-1-丙烯基]苯酚	1400/~	1813.20±38.09	—	—	—
60	异丁香酚	1445/1428	3392.64±104.51	—	—	2772.66±194.87
61	(E)-2-甲氧基-4-(1-丙烯基)苯酚	1405/1453	—	—	890.12±300.95	—
62	3-烯丙基-6-甲氧基苯酚	1404/1362	—	—	—	201.09±20.66
63	对叔丁基邻苯二酚	1480/1493	1984.47±131.63	—	—	—
64	5-叔丁基焦酚	1515/~	3086.56±231.70	1023.68±27.11	1245.23±294.44	3602.53±648.19
	<b>醛类 (23)</b>		<b>7013.92 (8)</b>	<b>1390.50 (6)</b>	<b>14880.51 (11)</b>	<b>13006.49 (12)</b>
65	己醛	833/812	—	846.28±27.59	1925.99±102.48	2920.89±365.23
66	辛醛	1022/1005	189.28±45.13	—	—	810.53±190.62
67	壬醛	1104/1101	437.49±20.88	—	—	594.05±42.99
68	糠醛	860/835	—	—	477.67±58.12	1036.83±205.24
69	苯乙醛	1050/1051	—	144.49±19.51	680.88±10.74	241.81±17.05
70	异香兰素	1393/1401	935.70±65.38	—	—	—
71	5-甲基呋喃醛	970/969	—	262.66±34.03	—	—
72	2-吡咯甲醛	1021/1015	—	53.54±7.27	—	—
73	(E)-2-辛烯醛	1065/1058	—	—	55.17±3.26	384.75±44.07
74	(E)-2-癸烯醛	1260/1234	442.34±38.97	—	—	518.70±62.67
75	(E)-2-壬醛	1164/1164	—	—	63.41±1.26	135.36±13.39
76	2,3,4,5-四甲基苯甲醛	1430/~	—	—	199.19±50.40	—
77	N-甲基-2-吡咯甲醛	1122/1016	—	19.96±1.49	—	—
78	3-甲基苯甲醛	1159/1086	80.17±2.41	—	—	—
79	3,7-二甲基-7-烯醛	1156/~	—	—	67.21±2.74	—
80	肉桂醛	1231/1258	1216.28±79.25	—	—	—
81	(E)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛	1270/1273	—	—	2603.46±127.26	—
82	(E)-3-苯基丁-2-烯醛	1288/~	442.94±18.08	—	—	—
83	(E)-2,4-癸二烯醛	1320/1340	—	—	289.25±93.99	610.15±81.06
84	2,4-二羟基-6-甲基苯甲醛	1396/~	—	63.57±3.14	—	—
85	十四醛	1816/1613	3269.72±46.14	—	—	3087.62±405.61
86	十六醛	1822/1813	—	—	6780.20±1884.46	863.28±48.26
87	十八醛	2010/2024	—	—	1738.08±420.64	1802.52±305.18
	<b>酮类 (22)</b>		<b>4892.96 (10)</b>	<b>5268.25 (14)</b>	<b>3113.32 (10)</b>	<b>4017.96 (5)</b>
88	2-环戊烯酮	852/835	—	24.88±1.96	—	100.74±9.64
89	3-甲基-2-环戊烯-1-酮	965/969	59.98±10.36	—	—	321.47±26.01
90	3-甲基环戊烷-1,2-二酮	1032/969	—	543.52±8.09	—	—
91	4-甲基-2(5H)-呋喃酮	1043/~	146.04±16.74	94.20±3.30	110.74±36.21	—
92	2,3-二甲基-2-环戊烯-1-酮	1041/1052	—	478.21±78.44	342.12±25.87	—
93	甲基环戊烯醇酮	1036/1034	1783.91±251.30	785.50±19.93	975.80±6.64	1916.57±177.56
94	2,2-二甲基-3-庚酮	1052/~	124.40±18.11	—	—	—
95	3-乙基环戊-2-烯-1-酮	1082/~	—	—	110.74±36.21	—
96	4,4-二甲基-2-环己基-1-酮	1098/~	—	182.28±1.20	107.60±37.77	—
97	乙基环戊烯醇酮	1132/1140	485.56±61.82	129.12±14.24	269.31±2.47	630.01±3.26
98	2,3,4-三甲基环戊-2-烯-1-酮	1128/~	—	48.94±3.04	61.87±7.41	—
99	(S)-5-羟甲基二氢呋喃-2-酮	1184/~	117.05±2.69	—	—	—

续表 2

序号	名称	RI <sup>a</sup> /RI <sup>b</sup>	含量/(ng/g)			
			SE (83)	SD (53)	SDE (79)	HS-SPME (62)
100	3,4-二氢-4-亚甲基-1H-2-苯并吡喃-1-酮	1221/~	—	131.72±3.94	—	—
101	1-萘酮	1285/1307	839.78±410.98	937.30±89.16	431.40±2.93	1049.17±73.00
102	2-羟基-5-甲基苯乙酮	1311/1316	—	40.11±5.88	—	—
103	对异丙烯基苯乙酮	1391/~	—	1183.24±77.36	—	—
104	2-环亚戊基环戊酮	1321/~	611.75±31.36	—	—	—
105	3,4-二氢-4-亚甲基-1H-2-苯并吡喃-1-酮	1502/~	—	632.20±147.50	—	—
106	4-甲氧基-3-羟基苯乙酮	1480/~	351.92±12.14	—	—	—
107	2-十五烷酮	1701/1703	—	—	422.27±105.85	—
108	2-十七烷酮	1696/1899	372.57±28.94	—	—	—
109	7-甲基-1-萘酮	1409/~	—	57.03±5.96	281.47±76.77	—
	<b>酸类 (19)</b>		<b>33775.82 (13)</b>	<b>1465.85 (4)</b>	<b>9431.02 (10)</b>	<b>2133.72 (4)</b>
110	丁酸	814/822	472.62±99.40	—	—	505.34±38.72
111	辛酸	1172/1170	5561.82±370.68	784.71±76.83	327.74±35.89	573.45±47.91
112	壬酸	1267/1280	244.08±30.99	—	—	261.71±31.07
113	癸酸	1359/1357	899.31±521.39	458.91±11.47	117.69±13.45	—
114	3-丁烯酸	821/~	484.52±51.78	—	—	—
115	(E)-2-戊烯酸	965/~	242.32±35.39	—	—	—
116	苯甲酸	1161/1193	6507.42±779.56	—	—	—
117	对甲氧基苯甲酸	1414/1451	289.77±40.38	—	—	—
118	香草酸	1443/1566	—	—	1416.51±14.50	—
119	9-十六烯酸	1857/1898	798.55±68.59	—	—	—
120	月桂酸	1556/1567	14428.13±915.32	—	—	—
121	芥酸	1698/~	—	—	218.12±59.89	—
122	肉豆蔻酸	1761/1760	2346.10±127.40	—	509.02±103.97	—
123	十五烷酸	1854/1845	1295.17±175.57	—	—	—
124	棕榈油酸	1934/1911	—	—	456.16±66.83	—
125	棕榈酸	1965/1962	206.01± 30.18	93.71±4.92	468.90±60.29	793.22±50.73
126	亚油酸	2104/2104	—	128.52±24.31	2430.01±745.66	—
127	十八烷酸	2109/~	—	—	3405.99±731.66	—
128	油酸	2237/2141	—	—	80.88±1.64	—
	<b>酯类 (7)</b>		<b>2079.78 (3)</b>	<b>2175.08 (6)</b>	<b>1058.22 (4)</b>	<b>1884.01 (3)</b>
129	苯氨基甲酸甲酯	974/~	—	153.00±27.08	—	—
130	水杨酸甲酯	1194/1191	—	86.30±4.60	204.30±14.02	—
131	苯乙酸乙酯	1245/1229	—	69.37±3.50	103.69±13.70	—
132	乙酸丁香酚酯	1506/1520	803.20±72.98	617.19±55.79	660.28±72.01	823.35±43.34
133	(E)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醇 3-甲基丁酸酯	1570/1597	1181.96±103.32	—	—	—
134	邻苯二甲酸二甲酯	1449/1454	—	1189.67±172.73	—	947.93±48.83
135	棕榈酸甲酯	1923/1926	94.62±10.58	59.55±3.20	89.95±17.13	112.73±18.82
	<b>醚类 (3)</b>		<b>543.30 (2)</b>	<b>289.18 (2)</b>	<b>192.84 (2)</b>	<b>237.87 (1)</b>
136	苯基乙烯基醚	1208/~	—	135.68±3.95	92.37±13.68	—
137	3-甲氧基茴香硫醚	1242/~	184.25±40.29	153.50±3.43	100.47±11.50	237.87±31.50
138	2,4,6-三甲基苯甲醚	1190/1170	359.05±24.98	—	—	—
	<b>其他类 (9)</b>		<b>5096.97 (4)</b>	<b>3538.55 (2)</b>	<b>1303.62 (5)</b>	<b>1921.90 (4)</b>
139	2-乙酰基呋喃	925/916	—	—	160.72±13.83	236.56±31.97
140	1-甲氧基-1,3-环己二烯	1043/~	—	3203.54±118.37	—	—
141	2,3-二氢苯并呋喃	1215/1219	355.03±37.82	—	—	370.35±29.75
142	5-甲氧基-1,4-环己二烯-1-丁胺	1237/~	153.10±18.54	—	158.12±42.77	—

续表 2

序号	名称	RI <sup>a</sup> /RI <sup>b</sup>	含量/(ng/g)			
			SE (83)	SD (53)	SDE (79)	HS-SPME (62)
143	烟酰胺	1382/1426	4331.18±201.05	—	—	—
144	2-甲基-5-叔丁基噻吩	1456/~	257.66±31.56	—	—	405.81±34.72
145	二苯并呋喃	1520/1521	—	335.01±72.58	515.87±39.66	909.18±43.33
146	8-丙氧基柏木烷	1617/~	—	—	383.21±86.06	—
147	油酸酰胺	2284/2375	—	—	85.70±21.38	—

注: a 为 RI 计算值; b 为文献 RI 值, 来源于 NIST 20 谱库; “~” 为无文献 RI 值; “—” 为未检出。

SE、SDE 和 HS-SPME 3 种提取方法均提取得到烃类化合物, 仅有 SD 法未得到此类物质。这可能是由于利用 SD 法提取过程中温度较高导致烃类物质的损失。提取得到的烃类化合物含量较高的有柏木烯、萜烯。郑月等<sup>[32]</sup>在普通猪肉中并未检测出柏木烯及萜烯, 而其中柏木烯主要存在于柏木中。烟熏腊肉中的柏木烯、萜烯可能是在腊肉独特的烟熏过程中从植物中获取。另外, 经 SD 得到的其他挥发性物质种类相对较少, 这为定向提取研究腊肉中特定物质提供了较好的实验支撑。SE 与 SDE 法对酸类物的提取更具优势, 4 种方法共提取到 19 种酸类物质, SE 法提取到 13 种, SDE 法提取到 10 种, 而其他两种方法均只提取到 4 种酸类物质。对腊肉中酸类物质的提取更适合采用 SE 或 SDE 法。SE 和 HS-SPME 法得到的挥发性物质均比另外两种方法得到的挥发性物质种类丰富且含量高, 并且 HS-SPME 法得到的大部分化合物相对含量比 SE 法高。特别是 HS-SPME 法提取得到 ETSB 中典型化合物烃类物质含量比酚类和醛类少, 与文献<sup>[8]</sup>报道的结果相似。通过对比分析各提取方法得到的挥发性物质发现, 4 种提取方法各有优缺点, 但是整体看来 HS-SPME 提取烟熏腊肉风味物质的种类及含量均较高, 这对提取研究腊肉中总体风味物质优势更大; SD 提取方式提取物质种类较少, 故此法更有利于腊肉中某单一物质的提取研究; SE 和 SDE 则更有利于酸类物质的提取。

## 2.2 挥发性物质的 OAV 分析

ETSB 中挥发性物质的 OAV 及香气特征见表 3。

分析表 3 发现, 对烟熏腊肉风味有贡献的风味物质有 59 种, 各提取方法得到风味物质 OAV ≥ 1 的香气成分有 2-甲基萘、苯酚、2-甲基苯酚等 44 种, 其中大部分是酚类化合物, OAV 较突出的为经 HS-SPME 提取得到的愈创木酚, 高达 10934。ETSB 的风味主要表现为烟熏味、肉香、辛香味、木香味等, 其中独特的烟熏味来自愈创木酚及愈创木酚衍生物等<sup>[33]</sup>; 肉香味主要来自愈创木酚、(E)-2-癸烯醛、(E)-2,4-癸二烯醛等; 辛香味主要来自愈创木酚、4-

乙基苯酚、4-乙基愈创木酚等; 香脂味主要来自 4-甲基苯酚、4-甲基愈创木酚、辛醛等; 木香味主要来自愈创木酚、4-乙基愈创木酚、丁香酚等; 甜香味主要来自丁香酚、十四醛、甲基环戊烯醇酮等。虽然酚类物质阈值较低, 但对 ETSB 特殊风味形成至关重要。而(E)-2-癸烯醛、肉桂醛、(E)-2,4-癸二烯等醛类物质对 ETSB 风味的贡献程度仅次于酚类物质。其他物质, 如醇类、酮类、酯类等对腊肉风味的形成也有一定贡献。

## 2.3 风味物质整体风味评价

根据 ETSB 中挥发性物质的含量及 OAV, 将烟熏腊肉的香气分为烟熏味、肉香味、辛香味、香脂味、木香味、甜香味 6 种特征香气, 如图 1 所示。

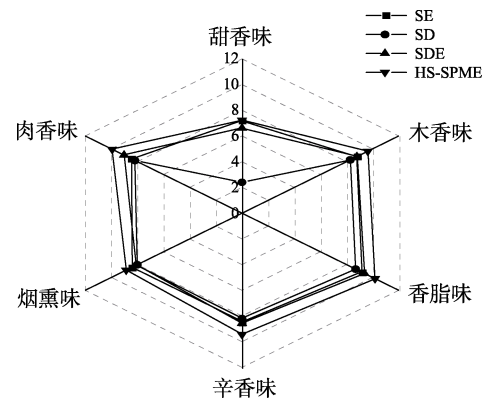


图 1 4 种提取方法得到挥发性物质的香气特征雷达图  
Fig. 1 Odor characteristic radar chart of volatile compounds obtained by four extraction methods

分析图 1 发现, SE、SDE、HS-SPME 3 种方法提取得到化合物的风味特征较一致, HS-SPME 法得到的化合物风味最浓郁, 而 SD 法得到的甜香味最不明显。综合分析, ETSB 中的肉香味和香脂味较强烈, 其次是烟熏味、木香味和辛香味, 此 5 种气味对 ETSB 风味贡献程度较高。

对恩施土家烟熏腊肉 6 种特征香气进行了风味特性嗅闻实验分析, 根据实验结果绘制得到香气强度与提取方法图, 如图 2 所示。

对比不同提取方法得到的 ETSB 特征香气强度得分发现, 嗅闻实验中评论员对不同提取方法中

表 3 挥发性物质的香气特征及 OAV  
Table 3 Odor characteristics and odor activity values of volatile substances

序号	名称	CAS	风味描述	风味类型	OT 值/ (ng/g)	OAV			
						SE	SD	SDE	HS-SPME
1	萘	91-20-3	香樟木气味	木香味	6.00	—	—	—	58
2	2-甲基萘	91-57-6	花香, 木香, 油性芳香	木香味, 香脂味	3.00	123	—	193	—
3	糠醇	98-00-0	酒精味, 霉味, 甜香, 焦糖味, 面包香, 咖啡味	甜香味, 烟熏味	300.00	3	2	4	4
4	$\alpha$ -松油醇	10482-56-1	松节油香、木香、果香、花香	香脂味, 木香味, 烟熏味	9180.00	—	<1	<1	—
5	苯酚	108-95-2	酚香, 醛香, 塑料味, 橡胶味	烟熏味	58585.25	<1	<1	<1	1
6	2-甲基苯酚	95-48-7	皮革味, 草本味, 酚香, 醛香, 塑料味, 芳香味	烟熏味, 香脂味	1400.00	2	2	1	6
7	4-甲基苯酚	106-44-5	酚香, 水仙味, 含羞草味	烟熏味, 香脂味	3.90	2290	2052	1547	2502
8	3-甲基苯酚	108-39-4	木香, 酚香, 醛香	木香味, 烟熏味	15.00	178	—	—	—
9	愈创木酚	90-05-1	烟熏香, 辛香, 药香, 香夹兰香, 肉香, 木香	烟熏味, 辛香味, 香脂味, 肉香味, 木香味	0.84	3208	3608	4469	10934
10	2,6-二甲基苯酚	576-26-1	甜香, 咖啡味, 烟熏香	甜香味, 烟熏味	400.00	3	—	—	—
11	甲基麦芽酚	118-71-8	甜味, 焦糖味, 果酱, 烤面包香	甜香味, 烟熏味	1240.00	1	—	—	—
12	2-乙基苯酚	90-00-6	酚醛树脂味	烟熏味	300.00	2	8	2	2
13	2,4-二甲基苯酚	105-67-9	淡烟味, 熏肉香, 烤香	烟熏味	400.00	2	—	2	6
14	2,5-二甲基苯酚	95-87-4	甜香, 酚香, 烟香, 熏肉香	甜香味, 烟熏味	400.00	1	1	1	5
15	4-乙基苯酚	123-07-9	酚香, 烟熏香, 辛香, 药香, 香夹兰香, 肉香, 木香	木香味, 辛香味, 肉香味	13.00	198	13	50	213
16	3-乙基苯酚	620-17-7	霉味	烟熏味	0.85	—	563	487	599
17	4-甲基愈创木酚	93-51-6	香草味, 酚醛味, 木本味	香脂味, 木香味, 烟熏味	21.00	140	150	227	431
18	3,5-二甲基苯酚	108-68-9	咖啡味	烟熏味	5000.00	<1	<1	—	<1
19	3,4-二甲基苯酚	95-65-8	烟味, 甜味, 土味	甜香味, 烟熏味	1200.00	<1	—	<1	1
20	邻苯二酚	120-80-9	有腐蚀性气味	烟熏味	8000.00	1	—	—	—
21	3,4,5-三甲基苯酚	527-54-8	木香	木香味	> 10000	—	—	—	<1
22	2-正丙基苯酚	644-35-9	药香, 辛香, 酚香, 烟熏香	烟熏味	39.00	—	—	2	—
23	2,4,6-三甲酚	527-60-6	低酚醛味, 咖啡味	烟熏味	500.00	<1	—	<1	<1
24	2,4,5-三甲酚	496-78-6	酚香	烟熏味	2300.00	<1	—	<1	—



续表 3

序号	名称	CAS	风味描述	风味类型	OT 值/ (ng/g)	OAV			
						SE	SD	SDE	HS-SPME
25	4-乙基愈创木酚	2785-89-9	辛香, 烟熏肉味, 丁香味	辛香味, 香脂味, 烟熏味	89.25	64	15	20	71
26	麝香草酚	89-83-8	草本香, 百里香, 樟脑味	木香味, 烟熏味	1700.00	—	—	<1	—
27	4-乙炔基愈创木酚	7786-61-0	干木香, 新鲜琥珀香, 雪松香, 烤香, 花生味	木香味, 烟熏味	12.02	251	—	61	234
28	2,6-二叔丁基-4-甲基苯酚	128-37-0	低酚味, 樟脑味	烟熏味	1000.00	6	—	1	—
29	丁香酚	97-53-0	木香, 辛辣丁香, 甜味	木香味, 辛香味, 甜香味	0.71	1251	—	732	1312
30	4-丙烯基-2-甲氧基苯酚	97-54-1	香辣, 丁香, 木香, 石竹花香, 甜味香料, 酚香	木香味, 甜香味, 烟熏味	100.00	34	—	—	28
31	4-叔丁基-1,2-苯二酚	98-29-3	酚醛树脂味	烟熏味	1000.00	2	—	—	—
32	己醛	66-25-1	新鲜绿色草香, 木香, 苹果香, 柑橘和橘子香, 酸败气, 醛香	木香味, 香脂味, 烟熏味	5.00	—	169	385	584
33	辛醛	124-13-0	醛香, 柑橘皮香	香脂味, 烟熏味	0.59	322	—	—	1381
34	壬醛	124-19-6	糯香, 醛香, 玫瑰花香, 鲜橙皮香	香脂味, 烟熏味	1.10	398	—	—	540
35	糠醛	98-01-1	甜香, 木香, 杏仁香, 烤面包香	甜香味, 木香味, 烟熏味	9562.00	—	—	<1	<1
36	苯乙醛	122-78-1	青香, 花香, 风信子香, 三叶草香, 蜂蜜味, 可司香	香脂味, 木香味, 烟熏味	6.30	—	23	108	38
37	5-甲基呋喃醛	620-02-0	甜味, 焦糖味, 谷类香, 枫叶味	甜香味, 木香味, 烟熏味	1110.00	—	<1	—	—
38	2-吡咯甲醛	1003-29-8	发霉的浓咖啡味	烟熏味	65000.00	—	<1	—	—
39	(E)-2-辛烯醛	2548-87-0	鲜黄瓜味, 草本香, 香蕉味, 糯香, 绿叶香, 脂香味	木香味, 香脂味	30.00	—	—	2	13
40	(E)-2-癸烯醛	3913-81-3	蜡味, 油腻, 泥土味, 香菜, 蘑菇, 绿色, 猪肉脂肪味	木香味, 肉香味, 香脂味	0.35	1264	—	—	1482
41	(E)-2-壬醛	18829-56-6	绿色黄瓜, 醛酸, 柑橘, 脂肪味	烟熏味, 香脂味	0.19	—	—	334	712
42	N-甲基-2-吡咯甲醛	1192-58-1	烤坚果香	烟熏味	37.00	—	1	—	—
43	肉桂醛	104-55-2	辛辣味, 甜香, 醛香, 蜜粉味, 肉桂脂香	甜香味, 辛香味, 肉香味, 烟熏味, 香脂味	750.00	2	—	—	—
44	(E)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛	141-27-5	柠檬香, 柑橘香	香脂味	32.00	—	—	81	—
45	(E)-2,4-癸二烯醛	25152-84-5	油香, 黄瓜香, 甜瓜香, 柑橘味, 南瓜香, 坚果, 肉味	肉香味, 香脂味	0.08	—	—	3756	7924

续表 3

序号	名称	CAS	风味描述	风味类型	OT 值/ (ng/g)	OAV				
						SE	SD	SDE	HS-SPME	
46	十四醛	124-25-4	脂肪、乳糖、椰子、木本和鱼腥味, 柑橘皮味, 琥珀香, 麝香	甜香味, 香脂味, 木香味, 肉香味	110.00	30	—	—	28	
47	3-甲基环戊烷-1,2-二酮	765-70-8	甜味, 枫味, 焦糖味, 木香, 咖啡味, 面包香	甜香味, 木香味, 烟熏味	300.00	—	2	—	—	
48	甲基环戊烯醇酮	80-71-7	焦糖味, 枫糖浆味	甜香味, 烟熏味	300.00	6	3	3	6	
49	丁酸	107-92-6	酸味, 奶酪味, 奶味, 奶油味, 水果味	香脂味, 甜香味, 烟熏味	7700.00	<1	—	—	<1	
50	辛酸	124-07-2	肥皂味, 干酪, 脂肪, 白兰地味	甜香味, 香脂味, 烟熏味	3000.00	2	<1	<1	<1	
51	壬酸	112-05-0	脂肪, 蜡味, 甜奶油香	甜香味, 香脂味	6800.00	<1	—	—	<1	
52	癸酸	334-48-5	脂肪味, 柑橘味	烟熏味, 香脂味	10000.00	<1	<1	<1	—	
53	香草酸	121-34-6	奶油, 牛奶, 甜和香草	甜香味, 木香味	53000.00	—	—	<1	—	
54	肉豆蔻酸	544-63-8	蜡味, 脂肪香, 肥皂香, 椰子味	香脂味	1.44	1629	—	353	—	
55	十五烷酸	1002-84-2	蜡味	香脂味	10000.00	<1	—	—	—	
56	水杨酸甲酯	119-36-8	冬青叶香, 薄荷香	木香味	40.00	—	2	5	—	
57	苯乙酸乙酯	101-97-3	甜香, 花香, 蜂蜜, 玫瑰花香, 凤仙花香, 可可香	甜香味, 香脂味, 烟熏味	155.55	—	<1	1	—	
58	棕榈酸甲酯	112-39-0	油蜡味, 脂香	香脂味	>2000	<1	<1	<1	<1	
59	2-乙酰基呋喃	1192-62-7	甜香, 凤仙花香, 仁味, 可可香, 焦糖味, 咖啡味	甜香味, 香脂味, 烟熏味	1000.00	—	—	<1	<1	

注: 表中的挥发性物质的香气描述根据 <http://www.Thegoodscentscompany.com> 网站查询; OT 值均为化合物在水中的阈值; “—” 表示未检出。

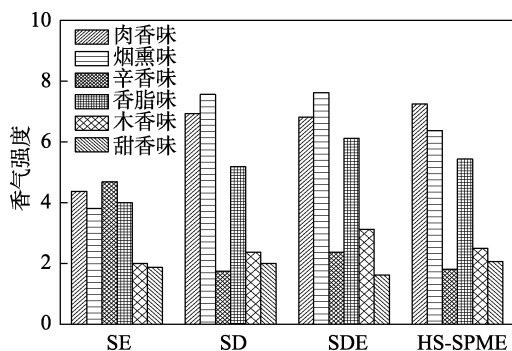


图2 感官评价结果

Fig. 2 Sensory evaluation of flavor characteristics

的肉香味、烟熏味和香脂味香气较为敏感, 也与图1中各提取方法中的香气特征雷达图相符。这可能是由于肉香味、烟熏味和香脂味这3种香气类型为烟熏腊肉最基本的风味属性, 各香气特征较为突出。但辛香味、木香味和甜香味3种香气综合评价得分较低。这可能是由于这3种香气物质在烟熏腊肉中浓度低但它们阈值高, 导致评价员对此3种香气物质辨识度差, 故而评分不高。整体分析6种香气物质的嗅闻结果发现, SD、SDE和HS-SPME的感官评价结果较相似, 而SE的感官评价与其他相差较大。这可能是由于提取方法不同导致的。SD、SDE和HS-SPME是对样品挥发性物质的提取, 而SE是用溶剂直接对样品浸提, 从而导致评论员对挥发性物质的嗅闻产生差异。

综合比较图1和图2, 发现通过OAV绘制的香气雷达结果图和经嗅闻绘制的感官评价结果图有相似之处, 但也有不同。OAV分析是仪器定性定量精密结果的呈现, 而嗅闻感官评价是嗅觉的主观评价, 且缺乏定量依据, 两种评价方法可以相互补充。

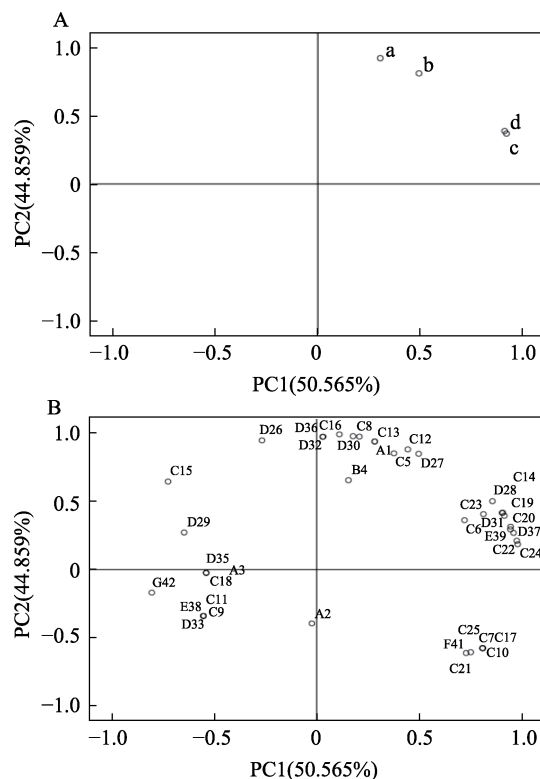
## 2.4 挥发性物质主成分分析及聚类分析

### 2.4.1 主成分分析

4种提取方法得到各挥发性物质的主成分分析见图3(图3A中a、b、c和d依次表示SE、SD、SDE和HS-SPME; 图3B中A、B、C、D、E、F、G分别表示烃类、醇类、酚类、醛类、酮类、酸类、酯类)。

由图3可知, PC1和PC2的贡献率分别为50.565%和44.859%, 累积贡献率达到95.424%, 说明两主成分已经涵盖了所测样品的大部分信息, 可以用来分析不同提取方法中ETSB的总体风味。4种提取方法在PC1和PC2上均有正阈值, 且分布较集中, 这表明4种方法得到的化合物含量较高, 且主要成分相近。图3A中, HS-SPME和SDE的距离很近, 这表明经HS-SPME和SDE提取得到的挥发性物质种类较为接近。图2中的嗅闻结果和图3A

中结果也相近。分析图3B中各挥发性物质的分布, 再结合表3中的数据发现, ETSB中的香味成分与酚类和醛类物质关联性比较大。



A—4种提取方法的差异; B—各风味物质的差异; PC1和PC2分别表示物质主成分分析降维后的第一主成分和第二主成分; 图中的数字代表物质的序号

图3 4种提取方法得到挥发性物质主成分分析

Fig. 3 Principal component analysis of volatile compounds extracted by four extraction methods

### 2.4.2 聚类分析

4种不同提取方法得到挥发性物质的层次聚类分析如图4所示。图中颜色从蓝到红的渐变表明挥发性物质含量由低到高。

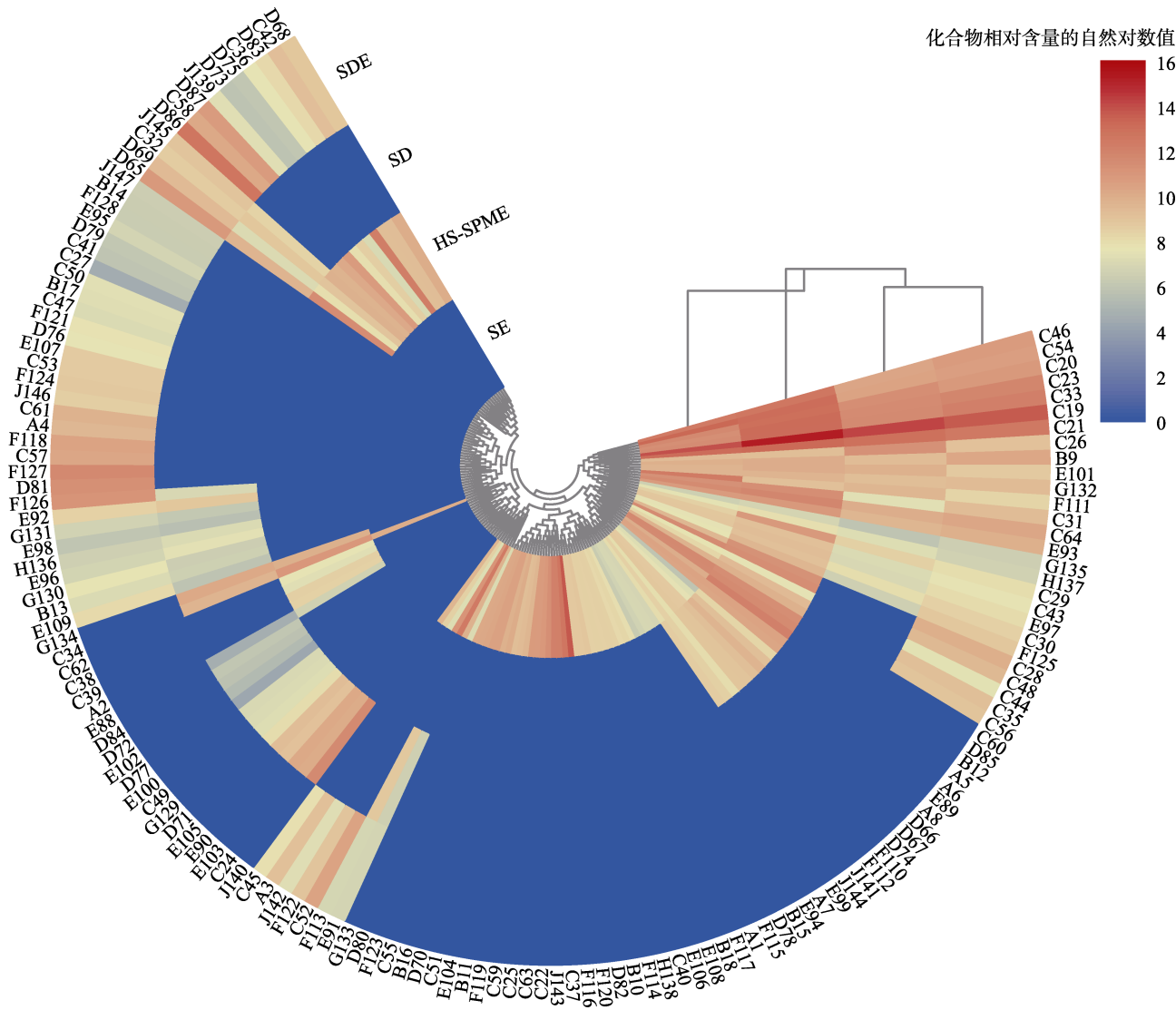
分析图4发现, 4种提取方法提取得到的挥发性物质种类及含量有部分相似, 但也有差别。4种提取方法中得到糠醇、4-甲基苯酚和甲基环戊烯醇酮的含量相近。值得关注的是, SD、SDE和HS-SPME聚为一类, 尤其是己醛、3-乙基苯酚等的含量分布; SE法提取得到不同于其他3种提取方法得到的挥发性化合物, 这也是由于各提取方法各自的特点导致。由于HS-SPME之前给原料进行了加热处理, 因此, 提取得到了大部分挥发性物质, 且含量也较其他3种方法含量高。

## 3 结论

利用4种提取方法对ETSB中的挥发性物质进行了提取, 并用GC-MS联用仪进行了定性和定量分

析。得到 ETSB 挥发性物质有 147 种，具有特征风味的化合物 59 种。通过 4 种方法对比发现，HS-SPME 法得到的挥发性物质种类和含量均较高，是比较适合腊肉风味提取的方法。同时对挥发性物质进行了主成分分析、聚类分析及风味评价。结果发现，ETSB 风味综合表现为烟熏味、肉香味、辛

香味、香脂味、木香味和甜香味 6 种气味的相互共同作用，但其中肉香味和香脂味较强烈。嗅闻实验得到 ETSB 中表现突出的为肉香味和烟熏味，与 OAV 结果分析相似。希望此研究为进一步开发利用恩施本地烟熏腊肉风味物质提供实验思路和理论基础，同时为肉类香精香料的开发提供基础数据。



A~G、H、J 分别代表烃类、醇类、酚类、醛类、酮类、酸类、酯类、醚类及其他类；圆形边的数字代表表 2 中化合物序号

图 4 4 种提取方法得到的 ETSB 挥发性物质聚类分析

Fig. 4 Cluster analysis of volatile substances in ETSB by four extraction methods

参考文献:

[1] ZHAO B (赵冰), REN L (任琳), CHEN W H (陈文华). Effect of different smoking methods on volatile flavor compounds in bacon[J]. Food Science (食品科学), 2013, 34(6): 180-187.

[2] LI X (李翔), NIE Q Y (聂青玉), ZHAO F K (赵福奎), et al. Changes of volatile substances and lipid oxidation in traditional[J]. Journal of Southwest University(Natural Science Edition) (西南大学学报:自然科学版), 2021, 43(8): 57-64.

[3] LI L (李林), WU Q (吴倩), SHANG Y B (尚永彪), et al. Variations in major characteristic flavor compounds during pickling and smoking of Chinese traditional bacon[J]. Food Science (食品科学), 2015, 36(16): 175-179.

[4] WANG H W (王洪伟), SUO H Y (索化夷), ZHANG Y (张玉), et al. Analysis of phenolic compounds by sensory evaluation and GC-MS combined with partial least squares regression contribution to smoked flavor of bacon[J]. Food and Fermentation Industries (食品与发酵工业), 2019, 45(21): 244-249.

[5] PENG Z Q (彭增起), LYU H C (吕慧超). Green manufacturing technology: A challenge and opportunity for the meat industry [J]. Food Science (食品科学), 2013, 34(7): 345-348.

[6] XIE C (谢诚), OU C R (欧昌荣), TANG H Q (汤海青), et al. Research progress on extraction technology of volatile flavor

- components in food[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences (核农学报), 2015, 29(12): 2366-2374.
- [7] YU A N (余爱农), SONG X J (宋新建), LIU Y X (刘应焯). Study on smoked Chinese bacon aroma components by solid phase extraction carried out by GC-MS[J]. Food Science (食品科学), 2004, 25(8): 134-137.
- [8] SU G R (粟桂蓉), PENG Y Y (彭钰媛), ZHOU L L (周璐璐). Changes of volatile flavor compounds in the process of traditional Tujia bacon[J]. Food Science and Technology (食品科技), 2017, 42(3): 118-123.
- [9] YU A N (余爱农), WU S Y (吴绍艳). Study on aroma components of smoked bacon[J]. Food Science (食品科学), 2003, 24(10): 135-138.
- [10] YU A N, SUN B G, TIAN D T, *et al.* Analysis of volatile compounds in traditional smoke-cured bacon (CSCB) with different fiber coatings using SPME[J]. Food Chemistry, 2008, 110(1): 233-238.
- [11] PU D D (蒲丹丹), SUN J (孙杰), CHEN H T (陈海涛), *et al.* Comparative analysis of volatile flavor compounds of cooked Hunan and Guangdong bacon by simultaneous distillation and extraction combine with gas chromatography-mass spectrometry (SDE-GC-MS) and gas chromatography-olfactometry (GC-O)[J]. Food Science (食品科学), 2015, 36(24): 131-136.
- [12] RISTICVIC S, NIRI V H, VUCKOVIC D, *et al.* Recent developments in solid-phase microextraction[J]. Analytical and Bioanalytical Chemistry, 2009, 393(3): 781-795.
- [13] DONALD S M. Flavor formation in meat and meat products: A review[J]. Food Chemistry, 1998, 62(4): 415-424.
- [14] PAN J (潘见), YANG J J (杨俊杰), ZOU Y Z (邹英子). Comparative analysis of flavor components in pork from different breeds by SPME with different fiber coatings and GC-MS[J]. Food Science (食品科学), 2012, 33 (12): 169-172.
- [15] ZHOU S X (周世兴), WEI C X (魏彩霞), NIGORA K, *et al.* Chemical composition and phytotoxic activity of the essential oil of *Dracocephalum integrifolium* Bunge (Labiatae) flowers[J]. Fine Chemicals (精细化工), 2019, 36(7): 1352-1356.
- [16] ZHANG Y (张昱). Study on the changes of aroma substances in Musalaisi wine by E-nose and GC-MS[D]. Alar: Tarim University (塔里木大学), 2017.
- [17] LIANG M (梁森), YANG Y (杨艳), SHI J Y (石嘉悦), *et al.* Comparison of enzymatic and acid hydrolysis of bound aroma compounds in *Litsea mollis* Hemsl.[J]. Fine Chemicals (精细化工), 2020, 37(5): 989-996.
- [18] LUO T (罗涛), FANG W (王丹), XU Y (徐岩), *et al.* Aroma components in Chinese rice wines from different regions[J]. China Brewing (中国酿造), 2009, (2): 14-19.
- [19] WANG J (王娟), YI X (易翔), YANG Q (杨强), *et al.* Identification of key odorants in tartary buckwheat extracts[J]. Fine Chemicals (精细化工), 2019, 36(7): 1364-1374.
- [20] YAO W S (姚文生), CAI Y X (蔡莹暄), LIU D Y (刘登勇). Analysis of volatile flavor compounds in smoked chicken thighs by HS-GC-IMS and HS-SPME-GC-MS[J]. Food and Fermentation Industries (食品与发酵工业), 2021, 47(9): 253-261.
- [21] BONNEAU A, BOULANGER R, LEBRUN M, *et al.* Aroma compounds in fresh and dried mango fruit (*Mangifera indica* L. cv. Kent): Impact of drying on volatile composition[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2016, 51(3): 789-800.
- [22] WEN Y Q, HE F, ZHU B Q, *et al.* Free and glycosidically bound aroma compounds in cherry (*Prunus avium* L.)[J]. Food Chemistry, 2014, 152(6): 29-36.
- [23] WANG R F (王瑞芳), LIU B (刘兵), SUN J (孙杰), *et al.* Volatile aroma analysis of tangerine peel[J]. Fine Chemicals (精细化工), 2022, 39(2): 321-329, 410.
- [24] YANG Y N, ZHENG F P, YU A N, *et al.* Changes of the free and bound volatile compounds in *Rubus corchorifolius* L. f. fruit during ripening[J]. Food Chemistry, 2019, 287: 232-240.
- [25] Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Sensory analysis—General guidelines for selection, training and management of evaluators Part 1: Selected evaluators: GB/T 16291.1—2012[S]. Beijing: China Standard Press (中国标准出版社), 2012.
- [26] WANG H W (王洪伟). Smoked odor characteristics of phenol compounds and their contribution to the smoked flavor of Chinese bacon[D]. Chongqing: Southwest University (西南大学), 2019.
- [27] WANG X (王道). Preliminary study on key aroma compounds in sugar-smoked chicken thighs and its formation mechanism[D]. Jinzhou: Bohai University (渤海大学), 2019.
- [28] JEONG S Y, CHUNG S J, SUB D S, *et al.* Developing a descriptive analysis procedure for evaluating the sensory characteristics of soy sauce [J]. Journal of Food Science, 2004, 69(8): 319-325.
- [29] PUJCHAKARN T, SUWONSICHON S, SUWONSICHON T. Development of a sensory lexicon for a specific subcategory of soy sauce: Seasoning soy sauce[J]. Journal of Sensory Studies, 2016, 31(6): 1-10.
- [30] WANG D, DUAN C Q, SHI Y, *et al.* Free and glycosidically bound volatile compounds in sun-dried raisins made from different fragrance intensities grape varieties using a validated HS-SPME with GC-MS method[J]. Food Chemistry, 2017, 228(5): 125-135.
- [31] WANG S (王松), SHI D M (史冬梅), LIU G Y (刘国英), *et al.* Analysis of volatile components of base distillates from different layers of jiupei *via* liquid-liquid microextraction[J]. Fine Chemicals (精细化工), 2020, 37(5): 1010-1017.
- [32] ZHENG Y (郑月), YANG W S (杨文昇), ZHANG Y H (张宇辉), *et al.* Study on differences of pork flavor between different processing methods "Yangguang-pork" and general farming mode[J]. Food and Fermentation Industries (食品与发酵工业), 2020, 46(10): 255-263.
- [33] WANG H W, CHAMBERS E. Sensory characteristics of various concentrations of phenolic compounds potentially associated with smoked aroma in foods[J]. Molecules, 2018, 23(4): 1-9.