

不同类型腊肉挥发性风味成分的比较研究

郭昕, 张春江, 胡宏海, 黄峰, 张泓

(中国农业科学院农产品加工研究所 农业部农产品加工重点实验室, 北京 100193)

摘要: 利用电子鼻和固相微萃取气相色谱-质谱联用技术研究湖南腊肉、四川腊肉和广式腊肉三种类型腊肉挥发性风味成分的差异性。对电子鼻传感器信号数据进行主成分分析发现, 广式腊肉与其他两种类型香气特征差异显著, 湖南腊肉和四川腊肉二者香气特征较为相似。腊肉中分别检测出了 32 种、38 种和 42 种挥发性风味成分, 包括碳氢类、醇类、醛类、酮类、酯类和呋喃类化合物。三类腊肉被鉴定出的共有成分仅包括十一烷、十二烷、十四烷和植烷 4 种挥发性成分。四川腊肉和湖南腊肉被鉴定出的共有成分包括 2-甲基苯酚、愈创木酚、4-乙基愈创木酚、5-甲基愈创木酚、糠醇等 25 种挥发性成分。而在广式腊肉中鉴定出了大部分的醇类、醛类和全部的酯类化合物, 而没有鉴定出酚类和呋喃类化合物。本研究为传统腊肉加工的中特征性风味的形成与调控提供理论依据。

关键词: 腊肉; 风味成分; 电子鼻; 顶空固相微萃取与气相色谱-质谱联用

文章编号: 1673-9078(2014)12-247-254

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2014.12.042

Analysis and Comparison of Volatile Flavor Compounds in Different Styles of Chinese Traditional Bacon

GUO Xin, ZHANG Chun-jiang, HU Hong-hai, HUANG Feng, ZHANG Hong

(Institute of Agro-products Processing Science & Technology, CAAS / Comprehensive Key Laboratory of Agro-products Processing, Ministry of Agriculture, Beijing 100193, China)

Abstract In this work, the discrepancies in the volatile flavor compounds found in Hunan-, Sichuan-, and Cantonese-style bacons were studied using an electronic nose and headspace solid-phase microextraction method combined with gas chromatography-mass spectrometry (SPME-GC-MS). Principal component analysis based on data obtained from the electronic nose showed significant differences in the aromatic characteristics of Cantonese-style bacons and the other two styles of bacons, while the aromatic characteristics of Hunan-style bacons were similar to those of Sichuan-style bacons. For the Hunan-, Sichuan-, and Cantonese-style bacons, 32, 38, and 42 volatile flavor compounds were identified, respectively, including hydrocarbons, alcohols, aldehydes, ketones, esters, and furans. The only volatile components detected in all three styles of bacon were undecane, dodecane, tetradecane, and 2,6,10,14-tetramethylhexadecane. In Sichuan- and Hunan-style bacons, 25 volatile flavor compounds were identified, including 2-methylphenol, 2-methoxyphenol, 2-methoxy-5-methylphenol, and 2-furanmethanol. On the other hand, although most of the aldehydes and alcohols, as well as all the esters were detected in Cantonese-style bacons, phenols and furans were not detected. The results of this study could provide a theoretical reference for the development and control of typical flavor compounds in Chinese traditional bacons during their processing.

Key words: Chinese traditional bacons; volatile flavor compounds; electronic nose; solid-phase microextraction gas chromatography/mass spectrometry

腊肉是我国历史悠久的传统肉制品之一, 它是将原料肉 (一般是猪肉), 加入盐、硝酸盐、糖和调味料等腌制后, 再经晾晒或烘烤、烟熏 (不烟熏) 处理等工艺加工而成的生肉类制品。我国腊肉种类较多, 产品的品质和风味各具特色, 主要产地是广东、湖南、

收稿日期: 2014-06-09

基金项目: 公益性行业 (农业) 科研专项 (201303083-1-3); 中国农业科学院基本科研业务费增量项目 (2013ZL013)

作者简介: 郭昕 (1989-), 女, 硕士研究生, 农产品加工及贮藏工程

通讯作者: 张泓 (1958-), 男, 博士, 研究员, 传统食品加工与装备

江西、四川以及云南等地域, 国内市场中消费量最大的是广式腊肉、湖南腊肉和川味腊肉, 此三种类型腊肉是中国传统腊肉的典型代表。广式腊肉选取猪腰部五花为原料, 在腌制液中加工中加入大量的酒和糖, 再经过烘烤而不经烟熏制成。湖南腊肉是典型的烟熏肉制品, 多采用猪后腿为原料, 经过腌制、烘烤和烟熏等工艺加工而成。四川腊肉采用当地品种猪后腿为原料, 在腌制过程中大多加入较多的调味料, 如辣椒、茴香等, 再经过烘烤和烟熏工艺加工而成。目前, 国内学者大多针对某一种腊肉进行挥发性风味成分的

分析与检测, 龙卓珊等对广式腊肉的活性风味成分进行了检测^[1], 赵冰等对土家腊肉的挥发性风味成分进行检测与鉴定^[2], 成波对湘西腊肉的风味物质进行了检测^[3], 而对于不同类型腊肉例如市场消费量较大湖南腊肉、四川腊肉和广式腊肉的挥发性风味成分进行比较分析, 探索导致差异的原因的研究还较少。

电子鼻是近些年来发展起来的测定食品风味的快速检测技术, 其能够客观、快捷的对样品的气味进行评价, 广泛用于不同食品气味的比较研究。固相微萃取技术具有操作简单、灵敏度高, 成本低等特点, 已经被广泛应用于食品挥发性风味成分的分析, 国内外许多学者都应用此技术对肉制品的风味进行分析与检测, 检测结果较好。本文应用电子鼻技术和固相微萃取气相色谱-质谱联用技术对消费者青睐的湖南腊肉、四川腊肉和广式腊肉的风味进行比较研究, 找出三种类型腊肉挥发性风味的共性特征和差异性, 并分析引起差异的原因, 了解中国传统腊肉的主要风味成分。

1 材料与方法

1.1 原料

市售松桂坊、福来临、湖南乡村农家精腊肉三个品牌湖南腊肉; 市售松枝川香、凌峰、四川年友三个品牌川味腊肉; 市售利昌、金荣、金麒麟三个品牌广式腊肉, 以上样品分别标号: A1~A3、B1~B3、C1~C3, 货架期均在一个月以内, 采集后-18℃冷冻待检。

1.2 设备与仪器

气相色谱-质谱联用仪 QP2010, 日本岛津公司; SPME 自动进样器、萃取头 (100 μm PDMS、50/30 μm DVB/CAR/PDMS、75 μm CAR/PDMS), 美国 Supelco 公司制造; 电子鼻 PEN3.5, 德国 AIRSENSE 公司; BS110s 电子分析天平, 德国 Sartorius 制造。

1.3 传感器响应值测定

应用电子鼻获取 9 个腊肉 (3 种类型) 样品的响应值, 所用电子鼻传感器阵列包括 10 个高灵敏加热型金属氧化物检测器传感器, 电子鼻载气为干燥空气, 流速为 300 mL/min, 样品密封, 通过顶空抽样方式检测, 检测时间为 60 s, 传感器清洗时间为 100 s, 每个样品重复 3 次。

1.4 顶空固相微萃取萃取条件

萃取头老化: 初次使用时, 100 μm PDMS 萃取头在气相色谱进样口 250℃老化 30 min, 50/30 μm

DVB/CAR/PDMS 萃取头在气相色谱进样口 270℃老化 1 h, 75 μm CAR/PDMS 萃取头在气相色谱进样口 300℃老化 1 h。

将腊肉样品绞碎, 称取 2 g 放入 15 mL 萃取瓶中, 放入 SPME 装置中, 60℃下平衡 15 min, 采用上述萃取头顶空萃取, 60℃ 30 min, 随即插入 GC-MS 进样器中。

1.5 气相色谱-质谱条件

气相色谱条件: 色谱柱为 HP-5MS 毛细管柱 (30 m×0.25 mm×0.25 μm), 解吸 5.0 min (100 μm PDMS 萃取头和 50/30 μm DVB/CAR/PDMS 萃取头解析温度为 260℃; 75 μm CAR/PDMS 萃取头解析温度为 280℃), 以不分流模式进样。

升温程序: 柱子初温 40℃, 等温保持 10 min, 以 5℃/min 升温至 200℃, 然后以 20℃/min 升温至 250℃, 保持 5 min, 载气为氦气, 流速 1.0 mL/min。

质谱条件: 电离方式为电子轰击(EI)源, 电子能量 70 eV, 电子倍增电压 1753 V; 质量扫描范围 30~550 amu; 扫描速率 1 scan/s^[4]。

定性方法: 通过计算机检索并根据 Wiley710 和 NISTDEMO 标准谱库进行数据对比, 仅匹配度>800 的才保留。

定量方法: 挥发性化合物的相对百分含量按峰面积归一法进行计算^[5]。

2 数据处理

应用 SPSS17.0 软件进行 ANOVA 方差分析, WINMUSTER 软件进行主成分分析 (PCA)。

3 结果与讨论

3.1 不同类型腊肉样品的电子鼻检测结果

3.1.1 样品的传感器信号分析结果

通过电子鼻检测得到三种类型腊肉传感器的响应值, 建立各类型的指纹图谱, 又称雷达图。10 个传感器分别为: W1C (S1: 对芳香性化合物敏感)、W5S (S2: 对氮氧化合物, 如吡嗪、呋喃酮等典型的烤香味物质较为灵敏)、W3C (S3: 对氨基类和芳香性化合物敏感)、W6S (S4: 对氢气敏感)、W5C (S5: 对烯烃和芳香性化合物敏感)、W1S (S6: 对烃类物质敏感)、W1W (S7: 对硫化氢敏感)、W2S (S8: 对醇类物质敏感)、W2W (S9: 对芳香化合物和有机硫化物敏感)、W3S (S10: 对碳氢化合物敏感), 如图 1 所示, 图中显示了三种类型腊肉对 10 个传感器响应信

号强度的不同, 3种传感器(W5S、W2S、W1W)的响应值差异比较明显, 湖南腊肉和四川腊肉含有较多的呋喃类化合物, W5S的响应值高, 广式腊肉含有较多醇类化合物, 因此W2S的响应值较高, 与GC-MS分析结果一致, 其他7种传感器的响应值接近, 说明芳香气味有接近之处。因此, 对于风味成分组成复杂的腊肉, 应用电子鼻传感器反应信号的强弱只能粗略区分不同类型的腊肉, 而其挥发性风味成分的差异还需进一步研究。

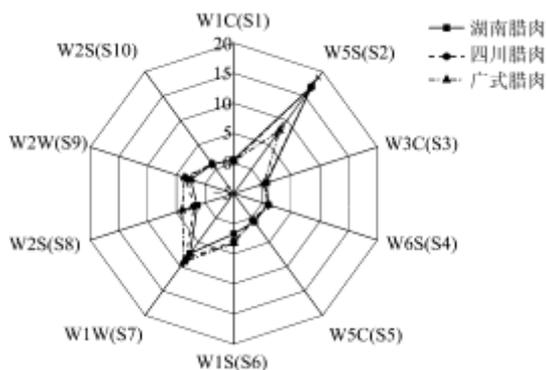


图1 不同类型腊肉样品的雷达图

Fig.1 Radar chart of different styles of Chinese traditional bacon

3.1.2 不同类型腊肉样品的主成分分析结果

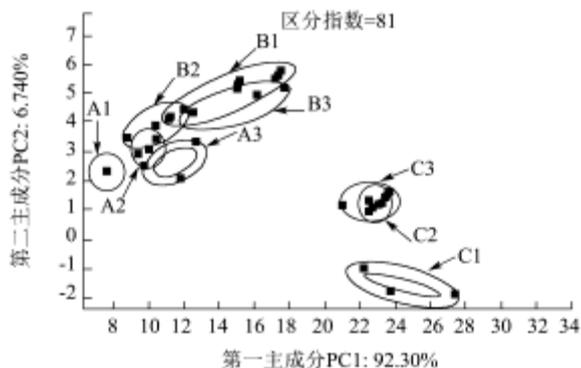


图2 三同类型腊肉电子鼻检测结果的第一主成分和第二主成分得分图

Fig.2 Score plots of PC1 and PC2, with the data obtained from the electronic nose for the three styles (Hunan, Sichuan, and Cantonese) of Chinese traditional bacon

注: A1~A3: 三个品牌湖南腊肉, B1~B3: 三个品牌四川腊肉, C1~C3: 三个品牌广式腊肉。

利用电子鼻所获得的3种类型腊肉的9个样品的信息数据进行主成分分析, 得到2个主成分得分图, 如图2所示。从图2可知, 同一样品3个平行检测的数据构成一个独立的组群, 电子鼻分析检测具有良好的重现性。主成分分析结果显示, 所有样品的第一主成分(PC1)和第二主成分(PC2)的累计贡献率达99.04%, 大于85.00%, 说明PC1和PC2包含了大量

的信息, 能够反映样品的大部分信息。图2显示的电子鼻的区分指数为81, 区分指数最大值为100, 其值越大表明不同组之间区分度越大, 一般大于80表示能够有效区分。由图2进一步可以看出, 广式腊肉与湖南腊肉和四川腊肉数据点相距较远, 且差异主要体现在PC1上(贡献率达92.30%), 说明广式腊肉与其他两种类型香气特征差异显著。湖南腊肉和四川腊肉数据点相对集中, 且其差异主要体现在PC2上(累计贡献率仅为6.74%), 说明二者香气特征较为相似。

3.2 顶空固相微萃取萃取头的选择

本实验从三种类型腊肉中选取样品A1、B1、C1, 分别选用100 μm PDMS、50/30 μm DVB/CAR/PDMS、75 μm CAR/PDMS 3种萃取头对其进行挥发性成分的检测, 结果见图3、图4和图5。

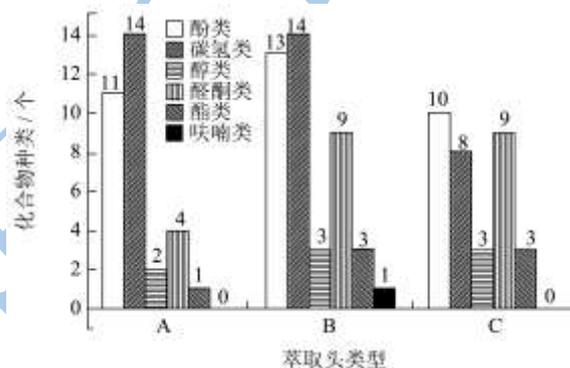


图3 样品A1不同萃取头比较

Fig.3 Comparison of the types of volatile compounds in sample A1 using three different extraction fibers

注: A, 100 μm PDMS; B, 50/30 μm DVB/CAR/PDMS; C, 75 μm CAR/PDMS。

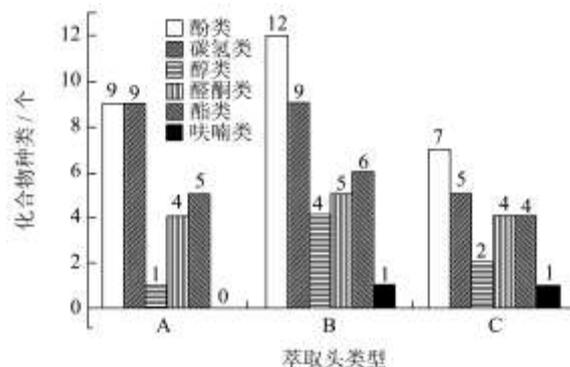


图4 样品B1不同萃取头比较

Fig.4 Comparison of the types of volatile compounds in sample B1 using three different extraction fibers

注: A, 100 μm PDMS; B, 50/30 μm DVB/CAR/PDMS; C, 75 μm CAR/PDMS。

从检测结果来看, 对样品A1, 100 μm PDMS、50/30 μm DVB/CAR/PDMS、75 μm CAR/PDMS 分别

检测出了 32、43、33 种化合物；对样品 B1 分别检测出了 28、37、23 种化合物；对样品 C1 分别检测出了 16、59、29 种化合物。

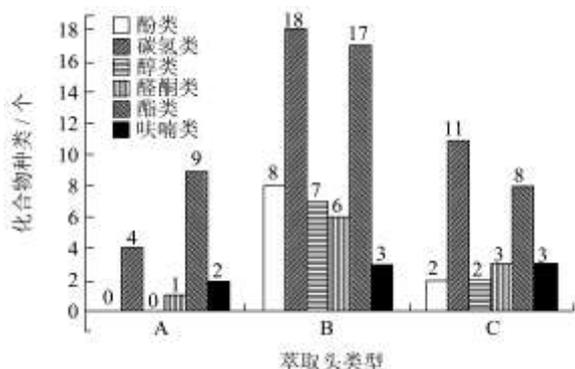


图 5 样品 C1 不同萃取头比较

Fig.5 Comparison of the types of volatile compounds in sample C1 using three different extraction fibers

注：A, 100 μm PDMS; B, 50/30 μm DVB/CAR/PDMS; C, 75 μm CAR/PDMS.

综上，就 3 种萃取头的检测效果来看，50/30 μm DVB/CAR/PDMS 最佳，检测出的化合物最多，色谱分析响应值也较高，因此选取 50/30 μm DVB/CAR/PDMS 作为实验所用萃取头，这与文献报道一致^[6]。

3.3 不同类型腊肉挥发性风味成分的种类及特征

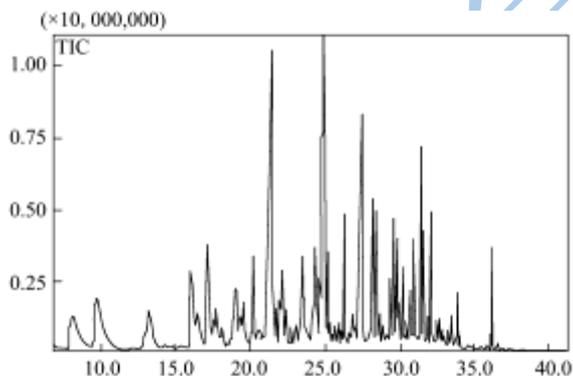


图 6 湖南腊肉挥发性风味成分的总离子流色谱图

Fig.6 Total ion chromatogram of volatile flavor components of Hunan-style bacon

采用固相微萃取-气相色谱质谱联用技术得到三种类型腊肉总离子色谱图，如图 6、图 7 和图 8 所示。已鉴定的挥发性风味成分及相对百分含量见表 1。在三种类型腊肉共鉴定出 84 种挥发性化合物。其中，湖南腊肉共鉴定出 32 种挥发性成分，这些成分包括酚类、碳氢类、醇类、醛类、酮类和呋喃类化合物；四川腊肉共鉴定出 38 种挥发性成分，由酚类、碳氢类、醇类、醛类、酮类和呋喃类化合物组成；广式腊肉共

鉴定出 42 种挥发性成分，包括碳氢类、醇类、醛类、酮类和酯类化合物。各腊肉样品中被鉴定出的共有成分仅包括十一烷、十二烷、十四烷和植烷 4 种挥发性成分。四川腊肉和湖南腊肉被鉴定出的共有成分包括 2-甲基苯酚、愈创木酚、2,4-二甲苯酚、5-甲基愈创木酚、2,3,6-二甲苯酚、4-乙基愈创木酚、2,6-二甲氧基苯酚、4-丙基愈创木酚、十八醛、糠醇等 25 种挥发性成分。而在广式腊肉中鉴定出了大部分的醇类、醛类和全部的酯类化合物，而没有鉴定出酚类和呋喃类化合物。

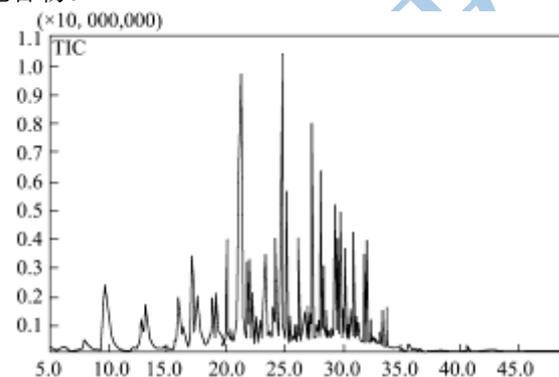


图 7 四川腊肉挥发性风味成分的总离子流色谱图

Fig.7 Total ion chromatogram of volatile flavor components of Sichuan-style bacon

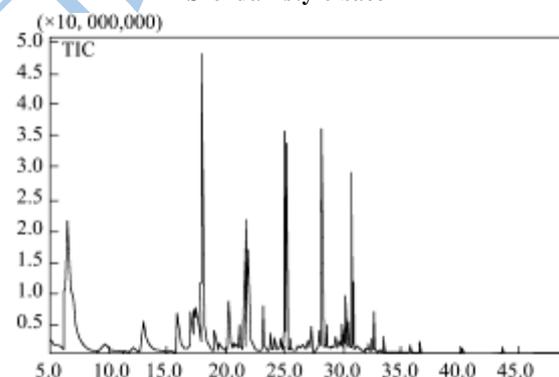


图 8 广式腊肉挥发性风味成分的总离子流色谱图

Fig.8 Total ion chromatogram of volatile flavor components of Cantonese-style bacon

从化合物种类上看，四川腊肉和湖南腊肉的挥发性成分没有明显差异，从各物质的相对百分含量上看，差异性也较小。而就化合物而言，与广式腊肉有明显的不同，这些差异与腊肉的加工工艺相关。酚类化合物是烟熏类腊肉非常重要的风味物质，是烟熏风味的典型香气成分，也是对湖南腊肉和四川腊肉贡献最大，相对百分含量最高的挥发性风味成分^[2,3]。如表 1 所示，愈创木酚在湖南腊肉和四川腊肉中均具有最高的相对百分含量，分别为 14.09% 和 13.33%，其次相对百分含量较高的是 5-甲基愈创木酚、4-乙基愈创木酚、4-丙基愈创木酚。愈创木酚具有木香、辛香、肉香和烟

熏味道, 5-甲基愈创木酚、4-乙基愈创木酚具有烟熏味道, 这些酚类化合物在加工过程中通过烟熏工艺产生, 并赋予湖南腊肉和四川腊肉良好的风味^[7]。酚类

化合物在广式腊肉中未检出, 这与广式腊肉在加工中无烟熏工艺有关, 这也是广式腊肉与湖南腊肉、四川腊肉挥发性风味成分的主要区别之一。

表 1 样品中挥发性化合物组成

Table 1 Volatile compounds in tested samples

序号	保留时间/min	化合物名称	相对百分含量/100%		
			湖南腊肉	四川腊肉	广式腊肉
酚类化合物					
1	20.164	2-甲基苯酚	3.37±1.02	3.87±1.19	-
2	21.035	对甲苯酚	-	4.84±1.61	-
3	21.082	3-甲基苯酚	4.27±0.86	-	-
4	21.415	愈创木酚	14.09±3.21	13.33±2.02	-
5	23.486	2,4-二甲苯酚	3.7±0.79	4.1±1.47	-
6	24.201	3,5-二甲苯酚	-	2.3±0.67	-
7	24.943	5-甲基愈创木酚	12.22±1.23 ^a	10.5±2.83 ^b	-
8	25.897	4-甲基-2-乙基苯酚	-	0.75±0.11	-
9	26.088	2,3,6-二甲基苯酚	0.3±0.14	0.45±0.21	-
10	27.404	4-乙基愈创木酚	4.69±1.61	4.77±0.91	-
11	28.379	2-甲氧基-4-乙烯苯酚	-	1.68±0.60	-
12	29.393	2,6-二甲氧基苯酚	1.18±0.54 ^b	2.45±1.22 ^a	-
13	29.576	丁子香酚	1.98±0.21	2.05±0.92	-
14	29.848	4-丙基愈创木酚	2.32±0.85	2.93±0.55	-
15	30.914	(Z)-2-甲氧基-4-(丙-1-烯基)苯酚	-	1.86±0.34	-
16	32.098	(E)-2-甲氧基-4-(1-丙烯基苯酚)	1.91±0.60	1.64±0.62	-

碳氢类化合物					
17	21.869	十一烷	0.05±0.01 ^c	1.6±0.51 ^b	2.88±0.79 ^a
18	24.552	甘菊环	-	-	0.07±0.02
19	25.219	十二烷	1.81±0.18 ^c	2.9±1.06 ^b	4.34±1.74 ^a
20	27.332	4,6-二甲基十二烷	-	-	0.19±0.01
21	28.173	十四烷	1.87±0.42 ^b	2.51±0.21 ^a	2.93±0.92 ^a
22	29.376	庚基环己烷	-	-	0.30±0.13
23	29.908	十七烷	-	-	0.25±0.13
24	30.244	2,6,10-三甲基十二烷	-	1.15±0.45	-
25	30.684	十五烯	-	1.36±0.26	-
26	31.203	长叶烯	-	0.68±0.17	-
27	31.398	α-柏木烯	-	3.25±0.33	-
28	31.602	β-柏木烯	-	1.38±0.19	-
29	32.439	植烷	1.06±0.03 ^a	0.65±0.28 ^b	0.08±0.02 ^c
30	32.466	十六烷	0.44±0.06	-	-
31	33	α-姜黄烯	0.33±0.25	-	-
32	33.45	二十一烷	-	-	0.21±0.07
33	33.471	十九烷	0.68±0.06	0.63±0.02	-
34	34.767	壬基环己烷	0.1±0.06	0.16±0.01	-

醇类化合物

转下页

接上页

35	16.651	1-庚醇	-	-	0.25±0.02
36	17.067	1-辛烯-3-醇	-	-	1.45±0.87
37	19.267	苻醇	-	-	0.14±0.56
38	19.455	3,5-辛二烯-2-醇	-	-	0.22±0.04
39	20.812	辛醇	-	-	0.31±0.06
40	22.161	2-苯基乙醇	-	-	0.69±0.07
41	25.101	α-松油醇	1.14±0.37	-	-
42	31.899	对二甲氧基苯甲醇	0.71±0.18	-	-
43	36.174	柏木脑	1.17±0.13	-	-

醛类化合物					
44	6.479	棕榈醛	-	-	19.04±9.13
45	19.053	己醛	-	-	0.31±0.06
46	19.594	戊醛	-	-	0.57±0.06
47	20.001	苯甲醛	-	6.52±1.80	-
48	21.991	苯乙醛	-	-	2.39±0.78
49	23.838	壬醛	-	-	0.37±0.11
50	27.005	反-2-壬烯醛	-	-	0.17±0.01
51	40.656	2-十一碳烯醛	-	-	0.39±0.07
52	40.668	十八醛	0.05±0.02	0.08±0.01	-

酮类化合物					
53	12.842	2-甲基-2-环戊烯-1-酮	1.29±0.17 ^b	1.73±0.27 ^a	-
54	17.374	2-甲基-3-辛酮	-	-	1.39±0.21
55	19.048	3-甲基-1,2-环戊二酮	3.73±0.90 ^a	2.56±0.35 ^b	-
56	19.251	2,3-二甲基-2-环戊烯-1-酮	2.02±0.58	2.10±0.39	-
57	21.492	2-壬酮	-	-	0.14±0.03
58	22.382	2-羟基-3-乙基-2-环戊烯-1-酮	1.00±0.02 ^b	1.41±0.06 ^a	-
59	28.408	4-羟基-3-甲基苯乙酮	2.04±0.89	-	-
60	32.911	香草乙酮	-	0.44±0.03	-

呋喃类化合物					
61	8.037	糠醛(2-呋喃甲醛)	3.46±1.06	-	-
62	9.709	糠醇(2-呋喃甲醇)	8.77±0.57	8.45±2.21	-
63	13.213	2-乙酰呋喃	3.25±0.56	3.43±0.89	-
64	16.032	5-甲基-2-糠醛	0.35±0.18	0.27±0.24	-
65	16.436	3-甲基-2-(5H)-呋喃酮	-	1.27±0.25	-
66	17.685	5-丙基二氢-2(3H)-呋喃酮	-	2.12±0.63	-

酯类化合物					
67	9.325	2-甲基丁酸乙酯	-	-	0.43±0.01
68	9.702	3-甲基丁酸乙酯	-	-	1.41±0.56
69	12.953	戊酸乙酯	-	-	1.73±0.02
70	18.001	己酸乙酯	-	-	41.03±1.85
71	20.265	丙酸乙酯	-	-	0.81±0.01
72	21.761	庚酸乙酯	-	-	2.03±0.84
73	23.567	己酸异丁酯	-	-	0.11±0.02

转下页

接上页

74	25.044	辛酸乙酯	-	-	6.03±1.55
75	26.387	苯乙酸乙酯	-	-	0.14±0.08
76	26.664	己酸异戊酯	-	-	0.22±0.02
77	27.981	壬酸乙酯	-	-	1.09±0.64
78	30.486	癸烯酸乙酯	-	-	0.88±0.25
79	30.718	癸酸乙酯	-	-	4.64±1.61
80	35.492	9-十六碳烯酸乙酯	-	-	0.04±0.16
81	35.677	月桂酸乙酯	-	-	0.52±0.15
82	40.141	十四酸乙酯	-	-	0.76±0.26
83	43.616	棕榈酸乙酯	-	-	1.03±0.34
84	45.226	油酸乙酯	-	-	0.35±0.12

注：表内数据表示平均值±标准差，不同小写字母代表差异显著 ($p<0.05$)，“-”代表未检出该化合物。

醇类化合物一般阈值较高从而含量低时对风味的贡献较小^[8]。在湖南腊肉中只检测出三种醇类化合物，在四川腊肉中未检出，但在广式腊肉中检测出了6种醇类化合物。 α -松油醇具有木香，辛醇具有玫瑰、柑橘的气味，2-苯基乙醇具有木香、风信子、樟脑和栀子香气。值得关注的是1-辛烯-3-醇，其相对百分含量较高，该化合物阈值较低，是二十碳四烯酸的氢过氧化物的降解产物，具有类似蘑菇的香气^[9]。Nives等人发现1-辛烯-3-醇是一种存在于火腿等肉制品中的挥发性化合物，其具有良好的风味特征^[10]。由于广式腊肉在加工中需要加入大量白酒，因此会产生浓郁的醇香，这也是醇类化合物含量高于湖南腊肉和四川腊肉的主要原因。

醛类化合物主要来源于脂肪的氧化降解，一般阈值很低，具有较强的挥发性和脂肪香味，对肉制品的风味贡献较大^[10]。本试验检测到了9种醛类化合物，其中湖南和四川腊肉中醛类物质种类较少，共同检测到了十八醛，并且相对百分含量也较低，差异不显著。四川腊肉中检测到了较高含量的苯甲醛，苯甲醛由于腌制过程中加入辣椒等调味品产生的。在广式腊肉中检测到了棕榈醛、己醛等7种，其中，相对百分含量最高的是棕榈醛，具有辛辣刺激性气味。其次相对百分含量较高的是苯乙醛，具有令人愉快的坚果香和水果香，由于加工中加入酒类而产生。己醛是亚油酸的氧化产物，是脂肪氧化的重要指标，戊醛具有果香、面包香，壬醛和反-2-壬烯醛具有花香、水果香和脂肪香气，这些化合物阈值较低，对腊肉风味贡献较大^[2]。

酮类化合物大多是多不饱和脂肪酸的受热氧化和降解产物，其阈值较低，常伴有淡淡的花香和果香。在湖南腊肉和四川腊肉检测到2-甲基-2-环戊烯-1-酮、3-甲基-1,2-环戊二酮等四种酮类化合物，其中三种相对百分含量存在显著差异，在湖南腊肉中检测到4-羟

基-3-甲基苯乙酮，在四川腊肉中检测到香草乙酮，在广式腊肉中检测到2-甲基-3-辛酮和2-壬酮。湖南腊肉中酮类化合物的相对百分含量高于四川和广式腊肉。

在三种类型腊肉共检测到6种呋喃类化合物，在湖南腊肉和四川腊肉中检测到糠醇、2-乙酰呋喃和5-甲基-2-糠醛，并且相对百分含量无显著差异，在湖南腊肉中检测到糠醛，四川腊肉检测到的3-甲基-2-(5H)-呋喃酮和5-丙基二氢-2(3H)-呋喃酮。这些呋喃类化合物，分别具有木香、焦糖香、烤香等风味^[4]。广式腊肉中未检测到呋喃类化合物。这些物质是由烟熏和美拉德反应产生，赋予腊肉良好的风味，也是区别广式腊肉和湖南腊肉、四川腊肉的典型特征风味成分。三种类型腊肉样品的挥发性风味成分中有多种碳氢化合物，但由于其芳香阈值较高，对样品的整体的风味贡献较小。

肉制品中酯类化合物主要产生于醇和酸的酯化作用。本试验检测到的酯类化合物全部来自于广式腊肉。酯类化合物对广式腊肉独特风味的形成具有极为重要的作用，己酸乙酯、辛酸乙酯、壬酸乙酯、癸酸乙酯、戊酸乙酯、丁酸乙酯等乙基酯类是广式腊肉主要的挥发性风味成分。由于广式腊肉在加工中需要加入大量酒，并且在腊肉加工过程中，脂肪容易受到温度、湿度和微生物等因素的影响发生氧化和降解，产生游离脂肪酸，醇类与游离脂肪酸反应产生酯类，这些酯类化合物赋予广式腊肉浓郁的醇香特征。其中，己酸乙酯的相对百分含量最高，辛酸乙酯、壬酸乙酯、癸酸乙酯、戊酸乙酯、丁酸乙酯的含量也都比较丰富，己酸乙酯具有酒香和果香，丁酸乙酯具有果香和玫瑰香。因此，酯类化合物是区别广式腊肉与其他类型腊肉的主要成分^[11]。

4 结论

4.1 利用电子鼻和固相微萃取气相色谱-质谱联用技术对湖南腊肉、四川腊肉和广式腊肉三种类型腊肉进行挥发性风味成分的比较分析。对电子鼻传感器信号数据进行主成分分析,结果表明广式腊肉与湖南腊肉和四川腊肉数据点相距较远,且差异主要体现在PC1上(贡献率达92.30%),说明广式腊肉与其他两种类型香气特征差异显著。湖南腊肉和四川腊肉数据点相对集中,且其差异主要体现在PC2上(累计贡献率仅为6.74%),说明二者香气特征较为相似。本研究应用三个不同型号的萃取头对腊肉挥发性化合物进行了萃取,并进行了对比分析。不同萃取头型号可吸附不同极性物质。100 μm PDMS 萃取头应用于吸附小分子挥发性非极性物质,75 μm CAR/PDMS 吸附痕量 VOC,而50/30 μm DVB/CAR/PDMS 用于挥发性和半挥发性的香气物质,对C₃-C₂₀进行大范围吸附分析。结果表明,腊肉中的挥发性风味成分物质种类较多且复杂,因此50/30 μm DVB/CAR/PDMS 应用于腊肉中的挥发性风味成分的萃取较为适宜。四川腊肉和广式腊肉中分别检测出了32种、38种和42种挥发性风味成分,包括碳氢类、醇类、醛类、酮类、酯类和呋喃类化合物。三类腊肉被鉴定出的共有成分仅包括十一烷、十二烷、十四烷和植烷4种挥发性成分。四川腊肉和湖南腊肉被鉴定出的共有成分包括2-甲基苯酚、愈创木酚、2,4-二甲苯酚、5-甲基愈创木酚、2,3,6-二甲苯酚、4-乙基愈创木酚、2,6-二甲氧基苯酚、4-丙基愈创木酚、十八醛、2-甲基-2-环戊烯-1-酮等25种挥发性成分。而在广式腊肉中鉴定出了大部分的醇类、醛类和全部的酯类化合物,而没有鉴定出酚类和呋喃类化合物。

4.2 总之,湖南腊肉和四川腊肉的挥发性风味成分差异不明显,而与广式腊肉差异显著,引起差异的原因主要是加工工艺的差别,湖南腊肉和四川腊肉在烘烤后要进行烟熏,产生大量酚类化合物对其特征风味贡献较大,而对于广式腊肉,加工过程需加入大量的酒,酯类化合物对其风味贡献较大。

参考文献

- [1] 龙卓珊,徐玉娟,潘思轶,等.固相微萃取结合嗅觉检测法鉴定广式腊肠活性风味物质[J].食品科学,2010,31(8):194-198
LONG Zhuo-shan, XU Yu-juan, PAN Si-yi, et al. Solid-phase micro-extraction followed by gas chromatography-olfactometry for identification of volatile flavor compounds in cantonese-style sausage [J]. Food Science, 2010, 31(8): 194-198
- [2] 赵冰,成晓瑜,张顺亮,等.土家腊肉挥发性风味物质的研究[J].肉类研究,2013,27(7):44-47
ZHAO Bing, CHENG Xiao-yu, ZHANG Shun-liang, et al. Volatile flavor compounds of tujia bacon [J]. Meat Research, 2013, 27(7): 44-47
- [3] 成波,刘国成.传统湘西腊肉中风味物质分离及测定方法[J].现代食品科技,2007,23(6):70-72
CHENG Bo, LIU Guo-cheng. Analysis and isolation of flavors in traditional preserved ham of west Hunan province [J]. Modern Food Science and Technology, 2007, 23(6): 70-72
- [4] 王彦蓉,崔春,赵谋明,等.固相微萃取与气质联用法分析沙琪玛储存过程中挥发性风味成分变化[J].现代食品科技,2012,28(2):218-222
WANG Yan-rong, CUI Chun, ZHAO Mou-ming, et al. Profiling flavor compounds of sachima during storage using solid-phase micro-extraction gas chromatograph-mass spectrometry (SPME-GC-MS) [J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 28(2): 218-222
- [5] 赖毅东,彭喜春.GC-MS面积归一法测定食品中的反式脂肪酸[J].现代食品科技,2009,25(2):205-207
LAI Yi-Dong, PENG Xi-chun. Determination of the trans-fatty acids in food with GC-MS [J]. Modern Food Science and Technology, 2009, 25(2):205-207
- [6] Chies L M, Soncin A S, Biondi P A, et al. Different fibers for the analysis of volatile compounds in processed meat products by solid-phase micro-extraction (SPME) [J]. Veterinary Research Communications, 2006, 30(1): 349-351
- [7] YU Ai-nong, SUN Bao-guo, Tian Da-ting, 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
- [8] José M L, Javier C, Daniel F. Effect of the inclusion of chestnut in the finishing diet on volatile compounds of dry-cured ham from celta pig breed [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2013,12(11): 2002-2012
- [9] WANG Jia-mei, JIN Guo-feng, ZHANG Wan-gang, et al. Effect of curing salt content on lipid oxidation and volatile flavor compounds of dry-cured turkey ham [J]. LWT-Food Science and Technology, 2012, 48(1): 102-106
- [10] Nives M, Sanja V, Tibor J. Determination of volatile compounds and quality parameters of traditional Istrian dry-cured ham [J]. Meat Science, 2014, 96: 1409-1416
- [11] Sun Wei-zheng, Zhao Qiang-zhong, Zhao Hai-feng, et al. Volatile compounds of Cantonese sausage released at different stages of processing and storage [J]. Food Chemistry, 2010, 121(3): 319-325

现代食品科技