



陕西特色臊子肉特征香气物质解析

齐李歌, 杨宪东, 高振鹏, 岳田利, 王周利*

(西北农林科技大学食品科学与工程学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 采用固相微萃取 (solid-phase microextraction, SPME) 结合气相色谱-质谱联用 (gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS) 技术分析陕西地区市售11种臊子肉挥发性成分, 通过对重要香气成分进行定性及定量分析, 并结合香气活度值 (odor activity value, OAV) 分析市售臊子肉的特征香气成分。结果表明: 通过SPME-GC-MS方法分析得到11份臊子肉样品中挥发性香气物质包括醇类、醛类、酸类、酮类、酯类、醚类、萜烯类和杂环类化合物; 选取18种OAV大于10的挥发性香气成分和乙酸作为臊子肉产品特征香气组分, 其中醛类有9种, 分别为乙醛、戊醛、己醛、庚醛、壬醛、癸醛、2-甲基丙醛、2-甲基丁醛和3-甲基丁醛; 酸类物质和醇类物质均为2种, 分别为乙酸、丁酸和1-庚醇、芳樟醇; 杂环类物质1种, 为2-戊基呋喃; 5种萜烯类化合物分别为 α -蒎烯、 β -蒎烯、月桂烯、3-蒎烯和柠檬烯; 醚类化合物为草蒿脑。

关键词: 臊子肉; 香气成分分析; 气相色谱-质谱法; 香气活度值; 特征香气成分

Analysis of Characteristic Aroma Substances of Shaanxi Featured Diced Meat

QI Lige, YANG Xiandong, GAO Zhenpeng, YUE Tianli, WANG Zhouli*

(College of Food Science and Engineering, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

Abstract: The volatile components of 11 samples of diced meat available on the market in Shaanxi province were detected by solid phase microextraction (SPME) combined with gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) and the major aroma components were qualified and quantitated. The characteristic aroma components were identified by odor activity values (OAVs). The results showed that the volatile aroma substances identified were alcohols, aldehydes, acids, ketones, esters, ethers, terpenes and heterocyclic compounds. A total of 18 volatile aroma components with OAVs greater than 10 and acetic acid were selected as the characteristic aroma components, including nine aldehydes, namely acetaldehyde, valeraldehyde, hexanal, heptanal, nonanal, decanal, 2-methylpropanal, 2-methylbutanal and 3-methylbutanal; two acids, acetic acid and butyric acid; two alcohols, 1-heptanol and linalool; one heterocyclic substance, 2-pentyl furan; five terpene compounds, α -pinene and β -pinene, myrcene, 3-carene and limonene; and one ether compound, estragole.

Keywords: diced meat; aroma component analysis; gas chromatography-mass spectrometry; odor activity value; characteristic aroma components

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20210118-012

中图分类号: TS251.6

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2021) 02-0025-06

引文格式:

齐李歌, 杨宪东, 高振鹏, 等. 陕西特色臊子肉特征香气物质解析[J]. 肉类研究, 2021, 35(2): 25-30. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20210118-012. <http://www.rlyj.net.cn>

QI Lige, YANG Xiandong, GAO Zhenpeng, et al. Analysis of characteristic aroma substances of Shaanxi featured diced meat[J]. Meat Research, 2021, 35(2): 25-30. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20210118-012. <http://www.rlyj.net.cn>

猪肉在我国肉类生产、消费中长期占据主要组成部分。如今, 人民生活水平日益提高, 食品安全意识也逐

渐增强, 消费者对猪肉产品提出了更高的要求^[1]。人们使用油炸制作腊肉, 逐渐形成了臊子肉成熟的制作工艺。

收稿日期: 2021-01-18

基金项目: “十三五”国家重点研发计划重点专项 (2017YFD0400105)

第一作者简介: 齐李歌 (1999—) (ORCID: 0000-0002-7320-9118), 女, 硕士研究生, 研究方向为农产品加工与质量安全检测控制。E-mail: 2015787900@qq.com

*通信作者简介: 王周利 (1984—) (ORCID: 0000-0003-4970-5338), 男, 副教授, 博士, 研究方向为农产品加工与质量安全检测控制。E-mail: wzl1014@nwsuaf.edu

臊子肉是陕西关中地区传统特色肉制品,其历史悠久,风味独特,市场需求也日益增加,人们已不单单使用臊子肉进行传统烹调,而是更加追求其营养性^[2]。

杨嗣真等^[2]通过单因素试验和正交试验优化臊子肉加工工艺。郭青雅等^[3]通过固相微萃取(solid phase microextraction, SPME)法提取并鉴定出宁夏特色羊肉臊子的35种挥发性香气物质。柏霜^[4]研究不同加工温度、加工时间对羊肉臊子特征香气、品质的影响。臊子肉在热加工处理过程中主要发生脂质热降解、硫胺素降解、美拉德反应、RNA降解、氨基酸和多肽降解、糖类的焦糖化反应等初级反应^[5],从而形成臊子肉独特的风味。国外有关肉产品香气的研究发现,利用不同的糖和氨基酸相互组合进行美拉德反应,通过控制反应条件能够定向获取含有某种杂环的美拉德反应产物^[6]。Davies等^[7]研究谷胱甘肽-木糖体系的美拉德反应,发现该组合可以产生肉类特征风味。硫胺素在猪肉中广泛存在,其发生水解反应生成的噻唑具有熟猪肉的特征风味^[8]。脂肪酸组成会对猪肉的风味成分产生影响^[9],不饱和脂肪酸发生自动氧化会产生类似酸败的气味。含硫氨基酸可以产生高气味阈值的含硫化合物,如硫醇和噻吩,而影响吡嗪和含氮化合物的形成^[10]。美拉德反应产生的呋喃、二羰基和羟基酮可与脂类降解产物、含硫氨基酸降解产物反应,生成重要的挥发性香气化合物,如噻吩、噻唑、吡嗪和其他杂环化合物^[11]。还原糖和半胱氨酸(Cys)发生反应生成猪肉特征香气^[12],Cys和葡萄糖的相互作用能生成含硫化合物,而Cys和葡萄糖发生氧化反应可以生成更多的吡嗪类物质和含氧杂环类化合物^[13]。以上研究对肉类的香气物质来源和一些肉类的特征香气成分进行了分析,基于已有研究,对陕西特色臊子肉的特征香气成分进行分析。

国内臊子肉的相关研究多侧重于加工工艺优化,关于臊子肉的特征香气成分鲜有报道。香气是食品的重要特征,影响着消费者对食品的选择,通过对香气成分的分析可以了解臊子肉的特征香气成分,为后续研究提供理论基础。

本研究以陕西关中地区不同县市、不同厂家生产的臊子肉产品为研究对象,采用SPME和气相色谱-质谱联用(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)技术分析臊子肉的挥发性成分,利用气味活度值(odor activity value, OAV)分析臊子肉的特征香气成分,明确臊子肉特征风味,系统研究并建立人为定向控制臊子肉特征风味的理论方法,为后期产品品质的提升提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

陕西省关中地区不同厂家生产的臊子肉产品11份,具体信息见表1,采样后冷藏于4℃。

表1 臊子肉样品采集信息

Table 1 Information on diced meat samples collected for this study

样品编号	产地	批号
S1	扶风县	20180118
S2	宝鸡市	20180304
S3	宝鸡市	20180216
S4	咸阳市	20180320
S5	宝鸡市	20171228
S6	宝鸡市	20180301
S7	户县	20180210
S8	宝鸡市	20180319
S9	岐山县	20180302
S10	岐山县	20180319
S11	宝鸡市	20180310

盐酸、石油醚、无水乙醇、氢氧化钠、硼酸、硫酸、硫酸铜、硫酸钠、酚酞、甲醛溶液(质量分数38%)、葡萄糖、乙酸锌、亚铁氰化钾、硫酸锌、氯化钠、邻苯二甲酸氢钾、硼砂(均为分析纯) 西陇科学股份有限公司; 甲醇、乙腈、正己烷、二氯甲烷(均为色谱纯) 安徽天地高纯溶剂有限公司; 2-辛醇标准品 阿拉丁试剂有限公司; 57329-U固相微萃取头 美国Supleco公司; Oasis HLB固相萃取小柱 美国沃特世公司。

1.2 仪器与设备

BSA223S电子天平 赛多利斯科学仪器有限公司; T25DS25高速匀浆机 德国IKA集团; UV2550分光光度计、GCMS-QP2020 GC-MS仪、LC-20A高效液相色谱仪 日本岛津公司; UPH-I-20T超纯水制造系统 四川优普超纯科技有限公司。

1.3 方法

1.3.1 挥发性香气物质提取

根据贡慧等^[14]的方法略加修改, SPME方法提取臊子肉样品中的挥发性香气物质。

1.3.2 挥发性香气物质的检测

采用SPME-GC-MS法检测臊子肉样品的挥发性香气物质。

GC条件: 色谱柱: DB-1 MS石英毛细管柱(60 m×0.25 mm, 0.25 μm); 进样口温度250℃; 升温程序: 起始柱温40℃, 保持3 min, 以4℃/min的速率升至120℃, 再以6℃/min的速率升至240℃, 保持9 min, 程序总时间55 min; 检测器温度250℃; 载气(He)纯度≥99.999%, 流速1.0 mL/min。

MS条件: 电子轰击离子源, 电子能量70 eV, 接口温度230℃, 离子源温度230℃, 溶剂延迟3 min, 检测器电压1.2 kV, 质量扫描范围 m/z 40~600, 质谱信号设置为3 min后出峰。



1.3.3 定性定量分析

定性定量分析参考Wang Zhouli等^[15]的方法。所得数据经过岛津GC-MS工作站进行总离子流图积分,求得各色谱峰的峰面积,通过NIST17质谱数据库进行香气成分的检索和初步定性,通过保留指数进行二次定性^[16]。OAV按下式计算。

$$OAV = \frac{C_i}{OT_i}$$

式中: C_i 为化合物的含量/($\mu\text{g/kg}$); OT_i 为该化合物在水中的阈值/($\mu\text{g/kg}$)。

1.4 数据处理

采用Excel 2016软件进行数据处理。

2 结果与分析

2.1 臊子肉香气成分分析

表2 11份臊子肉产品挥发性香气成分定性及定量测定结果
Table 2 Qualitative and quantitative results of volatile aroma components in diced meat products

类别	名称	含量/($\mu\text{g/g}$)										
		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11
醇类	1-庚醇	0.04	0.01	0.03	—	0.02	0.02	0.04	0.02	—	—	—
	乙醇	2.46	—	0.76	0.17	4.45	5.17	0.56	4.78	0.36	0.60	0.75
	芳樟醇	1.32	0.86	1.48	1.15	1.32	1.89	1.66	2.11	1.37	1.62	0.91
醛类	2-甲基丙醛	0.03	0.03	0.12	0.13	0.05	0.09	0.07	0.07	—	—	0.05
	3-甲基丁醛	—	0.20	0.52	0.58	7.46	—	6.13	0.27	—	—	18.76
	2-甲基丁醛	0.08	0.28	0.39	0.60	0.12	0.34	0.24	0.38	—	0.16	—
	戊醛	0.47	0.02	0.12	0.07	0.09	—	0.75	0.06	—	0.09	0.08
	己醛	3.25	0.40	0.87	0.64	0.59	0.75	5.32	0.53	—	0.65	0.36
	庚醛	0.16	0.05	0.10	0.06	0.05	0.12	0.24	0.08	0.06	0.09	0.08
	壬醛	0.02	0.01	0.02	—	0.01	0.01	0.03	0.01	—	—	—
	癸醛	1.70	1.96	1.64	1.35	1.50	3.44	1.86	3.79	2.38	1.82	0.99
	乙醛	0.04	0.03	0.06	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.02	0.04	0.02
	乙酸	14.94	14.14	14.81	23.48	10.99	5.30	4.53	2.81	29.14	14.93	13.31
	丁酸	0.22	0.21	0.42	—	0.32	—	—	0.11	0.10	0.30	0.05
	2-甲基丁酸	0.06	0.08	0.07	—	0.06	0.09	0.03	—	—	0.11	0.07
酮类	2-丁酮	0.04	0.03	0.14	0.10	0.67	0.08	0.12	0.04	—	0.23	0.08
	苊酮	0.43	0.31	0.23	0.56	0.11	0.47	0.14	0.59	0.17	0.36	0.12
酯类	乙酸乙酯	2.72	3.11	—	—	1.72	1.27	2.69	2.28	1.42	—	0.12
	乳酸乙酯	2.03	0.93	0.84	—	0.67	0.92	—	0.39	0.40	—	1.18
醚类	茴香脑	4.56	2.72	4.87	4.13	4.25	6.43	5.69	6.76	5.71	5.50	2.63
	草蒿脑	0.06	0.02	0.06	0.04	0.02	0.13	0.10	0.05	—	0.12	0.04
萜烯类	α -蒎烯	2.01	2.10	2.26	1.94	2.02	2.78	2.64	3.11	1.98	2.50	1.48
	蒎烯	0.68	0.49	0.36	0.88	0.18	0.74	0.22	0.92	0.27	0.57	0.19
	β -蒎烯	2.07	1.34	2.31	1.80	2.07	2.96	2.59	3.31	2.15	2.54	1.42
	月桂烯	2.66	3.07	2.56	2.10	2.35	5.38	2.90	5.92	3.73	2.84	1.55
	3-蒎烯	7.12	4.25	7.62	6.45	6.64	10.05	8.90	10.56	8.93	8.60	4.11
	柠檬烯	8.05	10.29	7.99	7.28	7.58	10.89	9.87	12.38	9.25	8.68	6.02
	β -罗勒烯	0.30	0.98	0.28	0.12	0.29	0.38	0.30	0.24	0.17	0.27	0.12
	松油烯	0.10	0.03	0.07	0.04	0.03	0.08	0.15	0.05	0.04	0.06	0.05
	2-戊基呋喃	0.09	0.04	0.09	0.06	0.04	0.20	0.15	0.08	—	0.19	0.06
	四甲基吡嗪	1.28	1.34	1.44	1.24	1.29	1.78	1.69	1.99	1.27	1.60	0.94

注: —, 未检出。

本实验测得11份臊子肉样品的挥发性香气成分色谱峰个数为62~87个,对11份臊子肉样品的色谱峰进行共有峰识别,其中12个色谱峰为所有样品共有,6个色谱峰为10份样品所共有,3个色谱峰为9份样品所共有,5个色谱峰为8份样品所共有,3个色谱峰为7份样品所共有,2个色谱峰为6份样品所共有,共有色谱峰面积占总峰面积的80%以上。通过NIST17质谱数据库检索,分析各样品的图谱峰型、峰面积和峰个数,结合各色谱峰的匹配相似度、化学结构式及CAS编号,确定上述31个共有色谱峰为臊子肉香气物质的特征色谱峰,利用内标物2-辛醇的峰面积定量。

由表2可知,臊子肉样品的挥发性香气物质包括醇类、醛类、酸类、酮类、酯类、醚类、萜烯类和杂环类化合物。与周慧敏等^[17]研究结果类似。其中醇类3种、醛类9种、酸类3种、酮类2种、酯类2种、醚类2种、萜烯类8种、杂环类化合物2种。各样品的挥发性香气成分种类和含量不尽相同。

2.2 臊子肉特征香气成分分析

表3 臊子肉挥发性香气物质的嗅觉阈值及气味描述
Table 3 Olfactory threshold and odor description of volatile aroma substances in diced meat

化合物名称	气味描述	嗅觉阈值/($\mu\text{g/kg}$)
乙醛	苹果香	0.041 0
乙醇	醇香	520
2-甲基丙醛	清香、麦芽香	1
2-丁酮	水果香、花香	61
乙酸乙酯	水果香	870
乙酸	尖锐的酸味	22 000
3-甲基丁醛	焦香、清香、肉香和麦芽香	0.200 0
2-甲基丁醛	焦香、可和麦芽香	4
戊醛	坚果香、苦杏仁、辛香	0.034 0
己醛	果香、刚割过的青草香、清香	0.030 0
丁酸	黄油和干酪香	0.190 0
乳酸乙酯	水果香	128 083.800 0
2-甲基丁酸	水果香	5 931.550 0
庚醛	强烈的油脂和清香	0.250 0
α -蒎烯	似松树、茶叶、青草气味	18
蒎烯	刺激性气味	—
1-庚醇	水果香、青草香气	0.500 0
β -蒎烯	刚割过的青草香、似松树和木香	33
2-戊基呋喃	清香、煮过的焦糖香	0.270 0
月桂烯	香脂、草药和金属气味	0.041 0
3-蒎烯	强烈的松木样香气	44
柠檬烯	花香、甜香、柠檬香、柑橘香	38
β -罗勒烯	花香、草香、橙花油气味	34
松油烯	柑橘香	3 260
四甲基吡嗪	焦糖香、牛乳香、轻微的木头香	2 000
苊酮	土腥、樟脑臭	—
壬醛	强烈的脂肪臭和果香	0.005 0
芳樟醇	浓青带甜的本青气息	0.800 0
草蒿脑	类似大茴香香气	0.000 1
癸醛	类似柠檬油的蜡状香气	0.001 0
茴香脑	甜茴香香气	—

注: —, 嗅觉阈值低于0.000 1 $\mu\text{g/kg}$ 。

经GC-MS检测得到的臊子肉挥发性香气成分种类较多, 含量也不尽相同。仅通过对比分析其中香气成分的含量, 并不能完整地描述臊子肉的特征香气。嗅觉阈值较高的物质, 即使其在总挥发性香气物质中含量占比较高, 但对香气的整体贡献也不如含量较少但嗅觉阈值较低的物质。因此, 并非所有挥发性香气成分均构成臊子肉的特征香气。

通过计算臊子肉各挥发性香气成分的OAV, 从而筛选出臊子肉的特征香气成分^[18], 选择OAV较大的香气物质作为构成臊子肉特征香气的关键物质^[19]。

通过查阅相关文献^[20-23], 获得臊子肉相关香气物质的嗅觉阈值和气味描述, 如表3所示。

取OAV≥1的香气组分为臊子肉活性香气成分, 取OAV>10的香气组分作为臊子肉的特征香气成分。

由表4可知, 选取18种OAV>10的挥发性香气成分作为臊子肉产品特征香气组分, 分别为乙醛、戊醛、己醛、庚醛、壬醛、癸醛、2-甲基丙醛、2-甲基丁醛、3-甲基丁醛、丁酸、1-庚醇、芳樟醇、2-戊基呋喃、 α -蒎烯、 β -蒎烯、月桂烯、3-萜烯和柠檬烯。乙酸是陕西关中地区臊子肉最突出的香气特征物质, 本研究样品的乙酸OAV

大都小于1, 这与实际的感官体验并不相符, 可能是由于臊子肉在加工中添加了大量的食醋进行炒制, 使得样品中乙酸含量显著升高, SPME萃取头在萃取吸附过程中, 对乙酸的吸附达到饱和状态, 测得的乙酸含量低于样品实际含量。另外, 由于乙酸的嗅觉阈值较高, 实际感官评价中摄取的乙酸含量要远大于SPME所吸附的乙酸含量, 造成其OAV小于1却能被人嗅觉所察觉的现象。因此, 将乙酸也作为臊子肉产品的特征香气组分。

目前, 国外有关肉类香气的挥发性物质主要有醇、醛、酯、酮、醚、呋喃、噻唑、吡啶、噻吩以及一些含硫含氮化合物^[24-25]。本研究选取的19种特征香气组分(18种OAV>10的挥发性香气成分和乙酸)中, 醛类有9种, 分别为乙醛、戊醛、己醛、庚醛、壬醛、癸醛、2-甲基丙醛、2-甲基丁醛和3-甲基丁醛, 与相关研究报道^[26]类似。醛类化合物生成与甘油三酯的自动氧化降解及多不饱和脂肪酸中碳碳双键的氧化降解有关^[25], 臊子肉中检出种类较多, 是猪肉产品的主要挥发性香气成分^[27-29], 醛类的OAV总体较高, 特别是己醛、壬醛和癸醛, 这是由于醛类的嗅觉阈值较低, 含量较低却能被人鼻所察觉。其中己醛可作为评价猪肉风味的重要

表4 11份臊子肉样品主要香气成分OAV分析
Table 4 OAVs of major aroma components in diced meat samples

名称	OAV										
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11
乙醛	935.800	779.900	1 403.000	779.900	1 091.000	935.800	1 092.000	935.800	467.900	1 092.000	467.900
乙醇	4.730	—	1.460	0.330	8.560	9.950	1.080	9.190	0.690	1.160	1.450
2-甲基丙醛	31.970	31.970	115.100	134.300	51.160	89.530	70.340	70.340	—	—	51.160
2-丁酮	0.730	0.420	2.310	1.570	10.900	1.260	1.890	0.630	—	3.770	1.260
乙酸乙酯	3.120	3.570	—	—	1.980	1.460	3.090	2.620	1.630	—	0.140
乙酸	0.680	0.640	0.670	1.070	0.500	0.240	0.210	0.130	1.320	0.680	0.600
3-甲基丁醛	—	1 023.000	2 590.000	2 878.000	37 314.000	—	30 631.000	1 375.000	—	—	93 813.000
2-甲基丁醛	19.180	70.340	97.520	150.280	28.780	84.730	60.750	95.920	—	39.970	—
戊醛	13 918.000	564.000	3 574.000	2 069.000	2 633.000	—	22 006.000	1 881.000	—	2 633.000	2 445.000
己醛	108 287.000	13 429.000	28 990.000	21 316.000	19 611.000	25 153.000	177 351.000	17 693.000	—	21 743.000	11 937.000
丁酸	1 144.000	1 111.000	2 221.000	—	1 683.000	—	—	572.200	538.500	1 582.000	269.300
乳酸乙酯	0.020	0.010	0.010	—	0.010	0.010	—	0.003	0.003	—	0.010
2-甲基丁酸	0.010	0.010	0.010	—	0.010	0.020	0.010	—	—	0.020	0.010
庚醛	639.500	204.600	409.300	230.200	204.600	486.000	946.400	332.500	255.800	358.100	332.500
α -蒎烯	111.600	116.500	125.400	107.700	112.300	154.500	146.700	173.000	110.100	138.900	82.070
1-庚醇	76.740	25.580	63.950	—	38.370	38.370	89.530	38.370	—	—	—
β -蒎烯	62.790	40.690	69.960	54.450	62.790	89.720	78.480	100.190	65.110	76.930	43.020
2-戊基呋喃	331.590	142.110	331.590	213.160	142.110	734.230	568.430	284.220	—	710.540	213.160
月桂烯	64 885.000	74 867.000	62 389.000	51 315.000	57 242.000	131 329.000	70 812.000	144 431.000	90 932.000	69 252.000	37 745.000
3-萜烯	161.910	96.500	173.100	146.650	151.010	228.470	202.170	240.100	202.890	195.480	93.310
柠檬烯	211.870	270.770	210.190	191.510	199.420	286.590	259.670	325.800	243.510	228.360	158.360
β -罗勒烯	8.840	28.970	8.280	3.390	8.460	11.290	8.840	6.960	4.890	8.090	3.390
松油烯	0.030	0.110	0.040	0.030	0.060	0.050	0.030	0.060	0.050	0.030	0.040
四甲基吡嗪	0.010	0.050	0.020	—	—	0.050	—	—	—	0.010	0.030
壬醛	21 316.000	9 948.000	35 527.000	—	17 053.000	29 843.000	21 316.000	38 369.000	—	—	15 632.000
芳樟醇	87.930	199.800	47.960	79.940	87.930	503.600	79.940	215.800	—	—	103.900
草蒿脑	1 033 020.000	1 869 274.000	787 063.000	1 278 977.000	1 869 274.000	2 508 762.000	1 377 360.000	541 106.000	1 918 465.000	393 531.000	1 033 020.000
癸醛	12 790.000	12 790.000	—	—	19 185.000	—	12 790.000	31 974.000	—	—	25 580.000

注: —. OAV<0.001。



指标^[26,28]。 $C_5 \sim C_{10}$ 正构脂肪醛是肉类风味的重要组成部分^[30]。

选取的19种特征香气组分中,酸类物质和醇类物质均为2种,酸类物质包括乙酸和丁酸,酸类物质主要是脂肪在氧化或水解过程中产生的,香气阈值较高^[13]。醇类物质包括1-庚醇和芳樟醇,主要源于脂肪的氧化降解^[31],在肉制品的整体风味中发挥重要作用^[32]。杂环类物质1种,为2-戊基呋喃。呋喃是肉类食品的特征风味,阈值较低^[33],从甲基到辛基取代的呋喃化合物在所有肉类风味中都存在,但最丰富的还是2-位取代化合物,如2-戊基呋喃^[31],主要由亚油酸降解反应产生^[33]。2-戊基呋喃具有清香、煮过的焦糖香,常被用作水果、蔬菜、咖啡、坚果和面包的调香剂。

萜烯类化合物在臊子肉特征香气中有很大的贡献,萜类的前体是活性异戊二烯 C_5 单元二甲基烯丙基二磷酸和异戊烯基二磷酸,由碳水化合物提供的乙酰辅酶A和丙酮酸通过质体和细胞质中的独立途径从头合成^[34]。确定的5种萜烯类化合物分别为 α -蒎烯、 β -蒎烯、月桂烯、3-蒎烯和柠檬烯。蒎烯类化合物又称松萜类,属于单萜类化合物,此类化合物为双环萜烯,在自然界发现的2个异构体分别为 α -蒎烯和 β -蒎烯,二者都具有类似松树与青草香气,是芒果的主要香气成分^[35-36]。 β -蒎烯的嗅觉阈值高于 α -蒎烯。柠檬烯属于不含氧的萜烯类化合物,又称苧烯、苧烯、柠檬油精,属于单萜类,有花香、柠檬或柑橘的甜香,天然存在于多种精油中,是柑橘类水果及其精油的主要香气成分。月桂烯又称香叶烯,具有清淡的香脂、草药和金属气味。3-蒎烯天然存在于胡椒油、松节油等植物精油中,具有类似松木的香气,应用于多种食品香精中。在臊子肉香气物质中,这些萜烯类共同作用,赋予臊子肉浓烈的香辛料风味^[37],与其他化学反应途径产生的肉香味风味物质互相配合,构成了臊子肉独特的风味品质。

在臊子肉香气物质OAV分析中,仍有少数香气物质未能查阅到与其嗅觉阈值相关的报道,无法求出OAV,这些物质缺乏深入研究,难以阐明其对臊子肉产品特征风味的影响,故本研究将这些挥发性成分略去。

3 结论

本研究对臊子肉的香气成分进行全面分析,通过SPME-GC-MS检测11种市售臊子肉的香气成分,确定出31个共有色谱峰为臊子肉香气物质的特征色谱峰。臊子肉的挥发性香气物质包括醇类、醛类、酸类、酮类、酯类、醚类、萜烯类和杂环类化合物,其中醇类3种、醛类9种、酸类3种、酮类2种、酯类2种、醚类2种、萜烯类8种、杂环类化合物2种。结合OAV,选取18种OAV大于10的挥发性香气成分和乙酸作为臊子肉产品特征香

气组分,其中醛类有9种,分别为乙醛、戊醛、己醛、庚醛、壬醛、癸醛、2-甲基丙醛、2-甲基丁醛和3-甲基丁醛,酸类物质和醇类物质均为2种,分别为乙酸、丁酸和1-庚醇、芳樟醇,杂环类物质1种,为2-戊基呋喃,5种萜烯类化合物分别为 α -蒎烯、 β -蒎烯、月桂烯、3-蒎烯和柠檬烯,醚类化合物为草蒿脑(4-烯丙基苯甲醚)。臊子肉特征香气成分的确定为后续的风味评价提供了一定的理论依据,有助于臊子肉的大规模生产和风味评价。

参考文献:

- [1] 崔艺燕,马现永.猪肉风味研究进展[J].肉类研究,2017,31(6):55-60. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-201706011.
- [2] 杨嗣真,张建新.臊子肉加工工艺优化[J].肉类研究,2011,25(10):19-21. DOI:10.3969/j.issn.1001-8123.2011.10.006.
- [3] 郭青雅,宋焕禄.固相微萃取法分析羊肉臊子中关键风味物质[J].食品科技,2017,42(1):152-156. DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2017.01.033.
- [4] 柏霜.不同加工方式下羊肉臊子品质形成及其动力学研究[D].银川:宁夏大学,2017:37-49.
- [5] 李少颢.肉类风味影响因素研究进展[J].中国调味品,2020,45(2):188-191. DOI:10.3969/j.issn.1000-9973.2020.02.042.
- [6] VAN BOEKEL M A J S. Formation of flavour compounds in the Maillard reaction[J]. Biotechnology Advances, 2006, 24(2): 230-233. DOI:10.1016/j.biotechadv.2005.11.004.
- [7] DAVIES C G A, WEDZICHA B L, GILLARD C. Kinetic model of the glucose-glycine reaction[J]. Food Chemistry, 1997, 60(3): 323-329. DOI:10.1016/S0308-8146(96)00338-X.
- [8] 贾晓旭.猪肉的风味及影响因素[J].猪业科学,2007(8):78-80. DOI:10.3969/j.issn.1673-5358.2007.08.023.
- [9] SONG Shiqing, TANG Qi, FAN Li, et al. Identification of pork flavour precursors from enzyme-treated lard using Maillard model system assessed by GC-MS and partial least squares regression[J]. Meat Science, 2017, 124: 15-24. DOI:10.1016/j.meatsci.2016.10.009.
- [10] LAURIDSEN L, MIKLOS R, SCHÄFER A, et al. Influence of added carbohydrates on the aroma profile of cooked pork[M]//BREDIE W L P, PETERSEN M A. Developments in food science. Elsevier, 2006: 355-358. DOI:10.1016/S0167-4501(06)80084-1.
- [11] 张福娟.甘南藏猪猪肉用品质特性研究[D].兰州:甘肃农业大学,2007:7-9.
- [12] JAYASENA D D, AHN D U, NAM K C, et al. Flavour chemistry of chicken meat: a review[J]. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 2013, 26(5): 732-742. DOI:10.5713/ajas.2012.12619.
- [13] 李铁志,王明,雷激.阿坝州半野血藏猪肉挥发性风味物质的研究[J].食品科技,2015,40(10):124-130. DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2015.10.026.
- [14] 贡慧,史智佳,杨震,等.反复煮制酱牛肉老汤挥发性风味物质的变化趋势[J].肉类研究,2017,31(12):41-49. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-201712008.
- [15] WANG Zhouli, CAI Rui, YANG Xiandong, et al. Changes in aroma components and potential Maillard reaction products during the stir-frying of pork slices[J]. Food Control, 2021, 123: 107855. DOI:10.1016/j.foodcont.2020.107855.
- [16] HINGE V R, PATIL H B, NADAF A B. Aroma volatile analyses and 2AP characterization at various developmental stages in Basmati and Non-Basmati scented rice (*Oryza sativa* L.) cultivars[J]. Rice, 2016, 9(1): 38. DOI:10.1186/s12284-016-0113-6.

- [17] 周慧敏, 张顺亮, 郝艳芳, 等. HS-SPME-GC-MS-O结合电子鼻对坨坨猪肉主体风味评价分析[J]. 食品科学, 2021, 42(2): 218-226. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20191024-263.
- [18] PANG Xueli, GUO Xingfeng, QIN Zihan, et al. Identification of aroma-active compounds in Jiashi muskmelon juice by GC-O-MS and OAV calculation[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(17): 4179-4185. DOI:10.1021/jf300149m.
- [19] 张凯华, 臧明伍, 张哲奇, 等. 微波复热时间对预制猪肉饼过熟味、脂肪氧化和水分分布特性的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(9): 50-56. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20190816-173.
- [20] 范刚, 乔宇, 姚晓琳, 等. 柑橘加工制品中香气物质的研究进展[J]. 中国农业科学, 2009, 42(12): 4324-4332. DOI:10.3864/j.issn.0578-1752.2009.12.026.
- [21] 张劲. 芒果香气特征分析研究[D]. 南宁: 广西大学, 2011: 10-19.
- [22] 杨停. 茶叶香气成分中芳樟醇手性异构体的分析[D]. 北京: 中国农业科学院, 2015: 1-15.
- [23] 里奥·范海默特. 化合物香味阈值汇编[M]. 北京: 科学出版社, 2015: 85-126.
- [24] SÁNCHEZ-PEÑA C M, LUNA G, GARCÍA-GONZÁLEZ D L, et al. Characterization of French and Spanish dry-cured hams: influence of the volatiles from the muscles and the subcutaneous fat quantified by SPME-GC[J]. Meat Science, 2005, 69(4): 635-645. DOI:10.1016/j.meatsci.2004.10.015.
- [25] BREWER M S. Irradiation effects on meat flavor: a review[J]. Meat Science, 2009, 81(1): 1-14. DOI:10.1016/j.meatsci.2008.07.011.
- [26] BILLER E, BOSELLI E, OBIEDZINSKI M, et al. The profile of volatile compounds in the outer and inner parts of broiled pork neck is strongly influenced by the acetic-acid marination conditions[J]. Meat Science, 2016, 121: 292-301. DOI:10.1016/j.meatsci.2016.06.029.
- [27] 史笑娜, 黄峰, 张良, 等. 红烧肉加工过程中脂肪降解、氧化和挥发性风味物质的变化研究[J]. 现代食品科技, 2017, 33(3): 257-265. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.3.039.
- [28] 吴宝森, 刘姝韵, 孙玥晖, 等. 固相微萃取法分析宣威火腿挥发性风味成分条件的优化[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(6): 1993-1999. DOI:10.3969/j.issn.2095-0381.2017.06.009.
- [29] 秦艳秀. 香辛料反复使用对猪肉汤挥发性风味成分的影响[D]. 上海: 上海海洋大学, 2019: 22-28.
- [30] 夏延斌, 迟玉杰, 朱旗. 食品风味化学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- [31] 赵梦瑶, 赵健, 谢建春, 等. 白猪肉与黑猪肉热反应香精中香气物质分析鉴定[J]. 食品科学, 2017, 38(20): 40-47. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201720007.
- [32] WANG Yao, SONG Huanlu, ZHANG Yu, et al. Determination of aroma compounds in pork broth produced by different processing methods[J]. Flavour and Fragrance Journal, 2016, 31(4): 319-328. DOI:10.1002/ffj.3320.
- [33] 左上春, 赵兴秀, 吴华昌, 等. SPME-GC-MS联用检测东坡肘子中挥发性风味成分[J]. 食品工业科技, 2016, 37(15): 276-282. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2016.15.045.
- [34] SCHWAB W, DAVIDOVICH-RIKANATI R, LEWINSOHN E. Biosynthesis of plant-derived flavor compounds[J]. The Plant Journal, 2008, 54(4): 712-732. DOI:10.1111/j.1365-3113X.2008.03446.x.
- [35] MA Yuan, LI Shaohua, YIN Xiaohua, et al. Effects of controlled atmosphere on the storage quality and aroma compounds of lemon fruits using the designed automatic control apparatus[J]. BioMed Research International, 2019(3): 1-17. DOI:10.1155/2019/6917147.
- [36] 康专苗, 何凤平, 黄海, 等. 贵州主栽芒果品种果实品质及香气成分分析[J]. 热带作物学报, 2020, 41(11): 2305-2313. DOI:10.3969/j.issn.1000-2561.2020.11.023.
- [37] AN Kejing, ZHAO Dandan, WANG Zhengfu, et al. Comparison of different drying methods on Chinese ginger (*Zingiber officinale* Roscoe): changes in volatiles, chemical profile, antioxidant properties, and microstructure[J]. Food Chemistry, 2016, 197: 1292-1300. DOI:10.1016/j.foodchem.2015.11.033.