

HS-SPME-GC-MS分析不同腌制方式处理的 伊拉兔肉中挥发性风味物质

黄 瀚¹, 贺稚非^{1,2}, 李洪军^{1,2,*}, 王兆明¹, 余 力¹,

(1.西南大学食品科学学院, 重庆 400715; 2.重庆市特色食品工程技术研究中心, 重庆 400716)

摘 要: 以伊拉兔为研究对象, 采用顶空固相微萃取法分别对超声腌制、滚揉腌制、静置腌制后的兔肉和鲜兔后腿肉的挥发性成分进行提取, 并用气相色谱-质谱联用仪对提取出来的物质进行定性和相对含量分析。结果表明: 总共测得挥发性成分67种, 4种处理方式后的样品挥发性成分的种类分别为44、32、42种和43种。4种处理后的主要成分风味物质都以醛类、烃类、酯类、酮类和醇类为主, 醛类为最多。超声腌制和滚揉腌制兔肉风味成分的总峰面积要显著低于鲜兔肉, 有助于兔肉的脱腥进而改善兔肉的风味。

关键词: 兔肉; 挥发性风味物质; 腌制方式; 顶空固相微萃取-气相色谱-质谱

Analysis of Volatile Flavor Compounds in Ira Rabbit Meat Cured by Different Techniques by HS-SPME-GC-MS

HUANG Han¹, HE Zhifei^{1,2}, LI Hongjun^{1,2,*}, WANG Zhaoming¹, YU Li¹

(1. College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. Chongqing Special Food Programme and Technology Research Center, Chongqing 400716, China)

Abstract: The volatile compounds of hindquarter meat of Ira rabbit cured by ultrasonic-assisted curing, tumbling curing and standing curing, respectively and fresh rabbit meat were extracted by headspace solid-phase micro-extraction (HS-SPME) and identified and quantified by gas chromatograph-mass spectrometry (GC-MS). A total of 67 volatile compounds were identified and 44, 32, 42 and 43 volatile compounds were detected in cured rabbit meat from the above three techniques and the fresh sample, respectively. The volatile composition of all four samples was dominated by aldehydes, hydrocarbons, esters, ketones and alcohols, and aldehydes were the most predominant. The total peak area of volatile compounds of cured rabbit meat from ultrasonic and tumbling treatments were significantly lower than that of the fresh rabbit meat, suggesting both treatments can improve the flavor profile of rabbit meat.

Key words: rabbit; volatile flavor compound; curing; HS-SPME-GC-MS

中图分类号: TS251.54

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2015)20-0130-05

doi:10.7506/spkx1002-6630-201520024

随着人们对肉品的高营养要求, 兔肉这种具有保健功能的肉品越来越受到青睐。我国是全球兔肉生产和销售大国, 兔肉总产量在近几年也平稳上升, 在2012年达到73.5万 t, 分别占了亚洲兔肉总生产量的82%和世界兔肉总生产量的39%^[1], 在我国肉类总产量占的比例也有所提升。虽然我国兔肉产品种类较多, 但是都以初级加工产品和传统兔肉制品为主, 加工方式单一, 深加工产品较少^[2], 对加工过程的基础研究相对缺乏。目前国内对外对肉品的挥发性风味物质的研究报道主要集中在兔肉^[3]、牛肉^[4]、猪肉^[5]和一些酱卤肉产品^[6]等, 而对兔肉加工过程中的挥发性风味物质研究较少。

腌制是肉品加工中普遍使用的一种技术, 具有防腐、改善肉的颜色和风味的作用, 以达到提高肉品质的目的。常用的腌制方式分为: 干腌法、湿腌法、注射腌制法和混合腌制法^[7]。本研究采用湿腌法中的超声波辅助^[8]、滚揉腌制^[9]和静置腌制处理新鲜兔后腿肉, 通过对处理后的兔肉进行风味物质比较, 旨在找到一种能改善兔肉风味的腌制方式, 并为兔肉加工中的风味变化提供一定的理论参考。

本研究采用了顶空固相微萃取(solid-phase micro-extraction, HS-SPME)对样品的风味物质进行提取, 固相微萃取具有所需样品量少、不消耗溶剂、灵敏度高和

收稿日期: 2014-12-10

基金项目: 国家兔产业技术体系肉加工与综合利用项目(CARS-44-D-1); 农业部公益性行业(农业)科研专项(201303144)

作者简介: 黄瀚(1992—), 男, 硕士研究生, 研究方向为肉类科学与酶工程。E-mail: 515232838@qq.com

*通信作者: 李洪军(1961—), 男, 教授, 博士, 研究方向为肉类科学与酶工程。E-mail: 983362225@qq.com

重复性及线性好等优点,并且能将采样、萃取、浓缩、进样集为一体,操作方便快捷,结合气相色谱-质谱联用可以萃取和分析鉴定含有多种物质的挥发性化合物^[10-12]。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

伊拉兔,取自重庆北碚区西南大学肉兔养殖场,伊拉配套系商品代75日龄的公兔,体质量相近,同一批次,屠宰后立即用低温保温箱运回实验室, -18℃冷藏,使用前在4℃条件下解冻24h,取腿部肌肉作为实验材料。

1.2 仪器与设备

QP2010气相色谱-质谱联用仪 日本岛津公司;手动SPME进样器、75 μm碳分子筛/聚二甲基硅氧烷涂层萃取头 美国Supelco公司;20 mL顶空钳口样品瓶 美国Perkinelmer公司;BVRJ-30真空滚揉机 嘉兴艾博实业有限公司;KQ3200超声波清洗机 昆山超声仪器有限公司;BM254搅拌机 广东美的精品电器制造有限公司;HH-2数显恒温水浴锅 常州澳华仪器有限公司;冰箱 三星(中国)投资有限公司。

1.3 方法

1.3.1 腌制液配制

盐2%、复合磷酸盐0.25%、亚硝酸盐0.01%的腌制液于4℃的条件下过夜。

1.3.2 实验设计

将解冻好的兔后腿肉剔骨,取50g大腿肌肌肉放入蒸煮袋中,以液肉比1:2的比例入配制好的腌制液,分别放入4℃冰箱、超声波清洗机(加冰控温4℃左右,功率100W)和真空滚揉机(低温4℃)中腌制1h,取对照组50g兔肉加入腌制液放入4℃冰箱中静置1h。

1.3.3 顶空固相微萃取

将兔后腿肌肉绞碎,准确称取4g肉样(精确到0.001g),放于20mL萃取瓶中,加入4mL饱和NaCl溶液,盖上盖子然后在漩涡振荡器上振荡1min使其混合均匀,放在90℃水浴锅中平衡15min,再将固相微萃取萃取头插入瓶中,90℃的水浴锅中萃取30min,然后在气相质谱进样口解吸5min,采用气相色谱-质谱联用法分析挥发性成分。

1.3.4 气相色谱-质谱联用条件

气相色谱条件:色谱柱:JWDB-5MS石英毛细柱(30m×0.25mm,0.25μm);升温程序:40℃保持1min,以7℃/min升至200℃,保持3min,再以10℃/min升至250℃,保持2min;载气(He)流速11.8mL/min,压力33.4kPa。

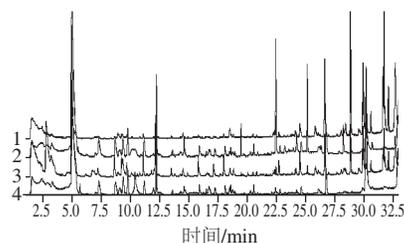
质谱条件:电子电离源;电子能量70eV;传输线温度250℃;离子源温度250℃;激活电压350V;进样口温度250℃;质量扫描范围m/z 40~400。

1.3.5 定性及定量分析

根据各化合物保留时间,通过质谱库谱(NIST 08和NIST 08S)进行匹配,仅报道相似度不低于80%的化合物,用峰面积归一化进行定量分析。

2 结果与分析

2.1 不同腌制方式的伊拉兔后腿肌肉挥发性化合物的比较分析



1.滚揉腌制;2.超声腌制;3.静置腌制;4.鲜兔肉。

图1 不同腌制方式和鲜兔肉中的风味物质的总离子流图

Fig.1 Total ion GC-MS of flavor compounds in cured rabbit meat from different processing techniques and fresh rabbit meat

从图1可以看出,4种处理后的兔肉共鉴定出67种挥发性风味物质,包括有醛类22种、烃类20种、酮类9种、醇类11种、酯类2种、醚类1种以及2种其他类物质,4种处理后兔肉的风味物质有18种,以醛类为主,达12种。本研究从鲜兔肉以及腌制后的兔肉中检出的风味物质以脂肪氧化产物中的醛类、烃类、酯类、酮类和醇类为主,与陈康等^[13]研究一致,其总量分别占了超声腌制、滚揉腌制、静置腌制后的兔肉和鲜兔肉风味物质总面积的95.26%、98.54%、95.27%、92.28%。

由图1和表1可得,超声腌制后的兔肉共检测出44种挥发性风味物质,其中醛类化合物17种,烃类化合物12种,酮类化合物7种,醇类化合物4种,酯类化合物1种,酸类化合物1种,醚类1种和呋喃类化合物1种,其中相对含量较大的有己醛(25.90%)、壬醛(6.65%)、反式-2-癸烯醛(5.55%)、3-甲基-2-戊酮(4.89%)、2,3-辛二酮(3.70%)、苯甲醛(3.70%)。

滚揉腌制后的兔肉共测出32种挥发性风味物质,其中醛类化合物14种,烃类化合物5种,酸类化合物7种,酮类化合物2种,醇类化合物3种和呋喃类化合物1种,其中相对含量较大的有己醛(34.96%)、十三醛(10.90%)、壬醛(7.45%)、十六烷(7.25%)、苯甲醛(5.43%)、1,1-二甲氧基癸烷(3.86%)。

静置腌制后的兔肉共测出42种挥发性风味物质,其中醛类化合物18种,烃类化合物11种,酮类化合物6种,醇类化合物4种,酯类化合物1种,醚类化合物1种和呋喃类化合物1种,其中相对含量较大的有己醛

(40.69%)、4-甲基-2-戊酮(7.36%)、4-甲基-2-戊酮(5.57%)、丙醛(5.81%)、壬醛(4.84%)、反式-2-癸烯醛油酸(4.27%)、2-戊基呋喃(3.23%)等。

鲜兔肉共测出43种挥发性风味物质。其中醛类化合物20种、烃类化合物11种、酮类化合物3种、醇类化合物4种、酯类化合物2种、酸类化合物1种、醚类化合物1种和呋喃类化合物1种,其中相对含量较大的有己醛(36.22%)、壬醛(7.00%)、3-甲基-2-丁酮(4.50%)、十八醛(4.14%)、反,反-2,4-壬二烯醛(3.87%)、辛醛(3.72%)。

2.2 不同处理方式的风味物质总峰面积

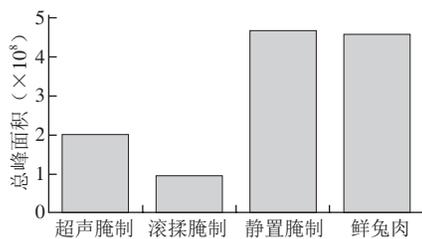


图2 不同腌制方式和鲜兔肉的挥发性成分总峰面积

Fig.2 Total peak areas of volatiles compounds in cured rabbit meat from different processing techniques and fresh rabbit meat

由图2可知,超声腌制和滚揉腌制后兔肉的风味物质总峰面积与鲜兔肉相比显著降低,尤其是滚揉腌制的总峰面积只有鲜兔肉的20.79%,而静置腌制与鲜兔肉基本保持一致。蛋白质是肉类最主要的营养成分,尤其是兔肉这种高蛋白肉类,兔肉在腌制过程中肌肉因为组织蛋白酶作用水解形成了小分子的多肽,在一些酶的作用下进一步降解成游离氨基酸和小肽^[14],由于超声腌制和滚揉腌制通过物理的机械作用使兔肉中的肌纤维断裂,虽然加大了盐分的渗透效率,但是有大量的游离氨基酸和小肽流失到腌制液中,而游离氨基酸和肽类等是兔肉风味形成的重要前体物质,其进一步的变化对兔肉的滋味和风味的形成能产生很大作用^[15],所以超声腌制和滚揉腌制后的兔肉风味物质总面积较低。静置腌制后的兔肉与鲜兔肉风味物质总峰面积保持一致,可能是因为腌制时间较短,腌制效果较低一些风味物质渗入腌制液较少。兔肉虽然营养价值高,但是有种难以去除的兔腥臭味^[16],尤其是煮制后的兔肉,而相比鲜兔肉,经过超声腌制和滚揉腌制后兔肉的风味物质总峰面积显著降低,所以风味强度减少,推测这两种腌制方式能够减少兔肉的腥味,并改善兔肉的风味。

2.3 不同腌制方式对兔肉风味化合物的影响

表1 不同腌制方式和鲜兔肉的风味物质比较分析

Table 1 Volatile compounds identified from cured rabbit meat from different processing techniques and fresh rabbit meat

类别	保留时间/min	化合物名称	分子式	相似度	不同处理兔肉风味物质相对含量/%			
					超声腌制	滚揉腌制	静置腌制	鲜兔肉
醛类	1.73	丙醛批 propanal	C ₃ H ₆ O	90	—	—	5.81	—
	3.22	戊醛 pentanal	C ₅ H ₁₀ O	94	2.23	—	—	2.43
	4.94	己醛 hexanal	C ₆ H ₁₂ O	96	25.90	34.96	40.69	36.22
	5.05	反式-2-己烯醛 trans-2-hexenal	C ₆ H ₁₀ O	82	—	—	0.43	0.15
	7.19	庚醛 heptanal	C ₇ H ₁₄ O	95	3.28	1.99	1.89	3.21
	8.96	苯甲醛 benzaldehyde	C ₇ H ₆ O	95	3.70	5.43	1.13	1.53
	9.67	辛醛 octanal	C ₈ H ₁₆ O	97	2.85	1.69	1.87	3.72
	11.08	反-2-辛烯醛 2-octenal, (E)-	C ₈ H ₁₄ O	95	3.48	1.74	2.96	1.60
	12.12	壬醛 nonanal	C ₉ H ₁₈ O	97	6.65	7.45	4.84	7.00
	13.49	反式-2-壬烯醛 2-nonenal, (E)-	C ₉ H ₁₆ O	95	0.99	0.98	1.04	0.56
	13.87	对乙基苯甲醛 4-ethylbenzaldehyde	C ₉ H ₁₀ O	88	—	—	0.37	0.21
	14.26	顺-4-癸烯醛 cis-4-decenal	C ₁₀ H ₁₈ O	88	0.33	—	1.89	0.79
	14.47	癸醛 decanal	C ₁₀ H ₂₀ O	93	2.96	2.25	1.00	0.77
	14.89	反,反-2,4-壬二烯醛 2,4-nonadienal, (E,E)-	C ₉ H ₁₆ O	92	0.35	—	0.39	3.87
	16.69	十一醛 undecanal	C ₁₁ H ₂₂ O	94	0.46	0.57	0.39	0.26
	17.11	反式-2,4-癸二烯醛 2,4-decadienal, (E,E)-	C ₁₀ H ₁₈ O	91	2.96	1.01	2.04	1.38
	17.95	反式-2-癸烯醛 2-decenal, (E)-	C ₁₀ H ₁₈ O	90	5.55	2.95	4.27	3.10
	18.79	十二醛 dodecanal	C ₁₂ H ₂₄ O	93	0.81	1.24	0.00	0.67
	20.78	十三醛 tridecanal	C ₁₃ H ₂₆ O	94	0.54	10.90	0.35	0.52
	22.756	十六醛 hexadecanal	C ₁₆ H ₃₂ O	96	—	—	—	0.45
26.716	十八醛 octadecanal	C ₁₈ H ₃₆ O	96	—	—	—	4.14	
		总计		63.03	73.15	71.35	72.59	
烃类	10.78	1-十二烯 1-dodecene	C ₁₂ H ₂₄	85	1.09	—	—	—
	11.96	正丁基环戊烷 cyclopentane, butyl-	C ₉ H ₁₈	80	1.74	—	—	—
	12.01	戊基苯 1-phenylpentane	C ₁₁ H ₁₆	94	—	—	1.17	—
	16.42	十三烷 tridecane	C ₁₃ H ₂₈	90	2.92	3.04	0.97	1.25
	18.35	1-十四烯 1-tetradecene	C ₁₄ H ₂₈	90	—	—	0.39	—
	18.54	氯代十四烷 1-chlorotetradecane	C ₁₄ H ₂₈ Cl	80	—	—	—	0.31
	18.88	1-十八烷烯 1-octadecene	C ₁₈ H ₃₆	95	—	0.57	—	0.16
	24.00	1-氯癸烷 decane, 1-chloro-	C ₁₀ H ₂₁ Cl	85	0.33	—	0.39	0.38
	20.32	十五烯 1-pentadecene	C ₁₅ H ₃₀	94	—	—	0.78	0.53
	20.33	1-十六烯 1-hexadecene	C ₁₆ H ₃₂	94	1.74	—	—	—
	20.46	十五烷 pentadecane	C ₁₅ H ₃₂	93	0.43	1.69	0.43	—
	21.97	二十烷基苯 benzene, eicosyl-	C ₂₀ H ₄₆	85	0.81	0.00	0.78	—
	22.31	十六烷 hexadecane	C ₁₆ H ₃₄	95	0.57	7.25	2.02	2.82
	24.08	十七烷 heptadecane	C ₁₇ H ₃₆	91	0.40	—	—	—
25.30	十八烷 octadecane	C ₁₈ H ₃₈	86	—	—	—	0.53	
26.05	十九烷 nonadecane	C ₁₉ H ₄₀	88	0.43	—	0.54	1.34	
27.01	二十四烷 tetracosane	C ₂₄ H ₅₀	72	—	—	—	0.25	
29.02	1-十九烯 1-nonadecene	C ₁₉ H ₃₈	85	2.92	—	0.65	—	
29.63	1,1-二甲氧基癸烷 decanal dimethyl acetal	C ₁₁ H ₂₂ O ₂	83	0.33	3.86	0.32	1.53	
31.54	二十八烷 octacosane	C ₂₈ H ₅₈	93	—	—	—	0.42	
		总计		13.71	16.40	8.43	9.51	
酮类	1.64	3-甲基-2-丁酮 methyl isopropyl ketone	C ₆ H ₁₂ O	91	—	—	—	4.50
	2.23	3-甲基-2-戊酮 2-pentanone, 3-methyl-	C ₆ H ₁₂ O	91	4.89	—	—	—
	3.20	4-甲基-2-戊酮 methyl isobutyl ketone	C ₆ H ₁₂ O	86	—	—	7.36	—
	6.90	2-庚酮 2-heptanone	C ₇ H ₁₄ O	92	0.86	1.13	1.01	0.21
	9.24	2,3-辛二酮 2,3-octanedione	C ₈ H ₁₄ O ₂	94	3.70	1.91	2.15	1.49
	10.58	3-辛烯-2-酮 3-octen-2-one	C ₈ H ₁₄ O	88	1.09	—	0.30	—
11.78	2-壬酮 2-nonanone	C ₉ H ₁₈ O	94	0.54	—	0.62	—	

续表1

类别	保留时间/min	化合物名称	分子式	相似程度	不同处理兔肉风味物质相对含量/%			
					超声腌制	滚揉腌制	静置腌制	鲜兔肉
酮类	19.55	香叶基丙酮 5,9-undecadien-2-one, 6,10-dimethyl-	C ₁₃ H ₂₂ O	87	1.09	—	0.23	—
	24.13	2-十五酮 2-pentadecanone	C ₁₅ H ₃₀ O	90	0.54	—	—	—
		总计			12.70	3.04	11.67	6.20
醇类	4.48	1,3-二氯丙醇 2-propanol, 1,3-dichloro-	C ₃ H ₆ Cl ₂ O	83	0.81	—	—	2.32
	5.58	己醇 2-hexanol	C ₆ H ₁₂ O	94	—	—	1.70	0.45
	10.21	反式-2-癸烯-1-醇 <i>trans</i> -2-decenal	C ₁₀ H ₁₈ O	85	—	—	—	0.41
	11.57	1-辛醇 1-octanol	C ₈ H ₁₆ O	88	0.57	—	—	—
	18.79	2,3-二甲基环己醇 cyclohexanol, 2,3-dimethyl-	C ₈ H ₁₆ O	86	—	—	0.76	—
	21.11	十二醇 1-dodecanol	C ₁₂ H ₂₄ O	83	—	—	0.39	—
	22.09	己基癸醇 2-hexyl-1-decanol	C ₁₆ H ₃₂ O	81	—	—	—	0.79
	23.45	亚麻醇 9,12-octadecadien-1-ol, (Z,Z)-	C ₁₈ H ₃₄ O	83	0.81	—	—	—
	23.68	二十三醇 1-tricosanol	C ₂₃ H ₄₆ O	86	—	3.04	—	—
	23.78	1-二十醇 1-eicosanol	C ₂₀ H ₄₀ O	87	—	0.83	—	—
	23.78	十九醇 <i>n</i> -nonadecanol-1	C ₁₉ H ₃₈ O	88	2.92	2.08	0.19	—
	总计			5.11	5.95	3.05	3.97	
酯类	4.53	亚硫酸二甲酯 sulfurous acid, dimethyl ester	C ₂ H ₆ O ₃ S	80	1.09	—	0.33	0.21
	16.81	己酸己酯 hexyl hexanoate	C ₁₂ H ₂₂ O ₂	82	—	—	—	0.79
		总计			1.09	—	0.33	1.00
酸类	4.76	乙酸 acetic acid	C ₂ H ₄ O ₂	98	0.70	—	0.78	2.32
		总计			0.70	—	0.78	2.32
醚类	19.86	癸醚 di- <i>n</i> -decyl ether	C ₂₀ H ₄₀ O	84	—	—	0.39	1.25
		总计			—	—	0.39	1.25
其他	9.32	2-戊基咪喃 furan, 2-pentyl-	C ₇ H ₁₀ O	84	2.95	1.46	3.23	2.30
	11.93	2,3,5,6-四甲基吡嗪 pyrazine, tetramethyl-	C ₆ H ₁₂ N ₂	91	—	—	—	0.85
	总计			2.95	1.46	3.23	3.15	

注：—,未检出。

2.3.1 醛类物质

醛类物质是脂肪酸降解的主要产物^[17], 具有脂肪香味。结果显示醛类化合物在超声腌制、滚揉腌制、静置腌制、鲜兔肉中占总挥发性风味物质的比例均为最高, 分别为超声腌制 (63.03%)、滚揉腌制 (73.15%)、静置腌制 (71.35%) 和鲜兔肉 (72.59%), 超声腌制为最低 (63.03%)。鲜兔肉中醛类物质所占比例和王珺等^[3]研究相似, 在检测出来的醛类中以饱和直链醛为主, 如己醛、戊醛、庚醛、壬醛等, 肉类中的直链醛主要来源于油酸、亚油酸、亚麻酸、花生四烯酸^[17]这些不饱和脂肪酸的氧化。己醛具有清香和草香气味, 阈值较低, 仅为 4.5×10^{-3} mg/kg, 在风味物质中占得比例为最高, 尤其是静置腌制后的兔肉达到了40.69%, 己醛是兔肉中的主要风味物质, 和陈红霞等^[19]研究结果相符。辛醛具有生嫩的新香和焦香, 壬醛具有清香及烤焦香、油炸香而庚醛具有不愉快的油脂味道。苯甲醛在4种处理中都存在, 可能由苯丙氨酸代谢产生, 具有干草味。同样检测出了不少不饱和烯醛, 被认为是多不饱和脂肪酸氧化的主要产物, 具有愉快的香气, 并且嗅觉较强烈^[20]。由于醛类阈值低, 相对含量高对鲜兔肉和腌制后兔肉的风味具有重要的贡献作用。

2.3.2 烃类物质

烷烃类物质主要是由脂肪酸烷氧自由基的均裂产生的, 以烯烃和烷烃两类为主。在超声腌制、滚揉腌制、静置腌制和鲜兔肉中分别检出12、6、11种和12种, 占峰面积的比例分别为13.71%、16.40%、8.43%、9.51%。可以看出超声腌制和滚揉腌制要显著高于静置腌制和鲜兔肉, 烷烃由于其香气阈值较高, 加之相对含量低, 因此对兔肉的风味贡献较小; 烯烃的阈值较低并具有特殊香气^[21], 对兔肉的风味有一定贡献。

2.3.3 酮类物质

酮类物质的产生方式主要是不饱和脂肪酸的热降解和氧化以及氨基酸降解。阈值远远高于其同分异构体醛, 一般被认为对风味贡献不大, 酮类挥发性化合物具有奶油味或果香味, 有些酮类是形成杂环化合物的重要中间体, 对香气形成有增强作用^[22]。检测出超声腌制的酮类物质的种类和所占得比例为最多, 而滚揉腌制较少, 仅仅只有2种酮类被检出。静置腌制和超声腌制的酮类物质均高于鲜兔肉中的酮类。

2.3.4 醇类物质

醇类往往具有植物香、芳香和土气味, 虽然其阈值较高, 但是可以与有机酸形成酯类物质, 饱和醇阈值较高, 在0.5~20 mg/kg左右, 对风味贡献不大, 但不饱和醇阈值相对较低^[23], 在检测结果中醇类物质相对含量明显较低, 且主要以饱和醇为主, 而滚揉腌制后的兔肉相比鲜兔肉具有更多长链醇, 如二十三醇、1-二十醇、十九醇, 长链醇具有清香、木香、脂肪香的特征风味, 对滚揉后的兔肉有一定影响^[24]。总体来说醇类对兔肉和腌制后的兔肉风味贡献不大, 超声腌制和滚揉腌制的醇类比例均大于静置腌制和鲜兔肉, 这可能是因为机械处理使醇类物质发生酯化反应或氧化反应的结果。

2.3.5 酯类物质

酯类一般是通过一种复杂的反应链形成的, 可能与微生物作用下的羧酸类和醇类的酯化反应有关。在结果中酯类物质相对含量较少, 只在超声腌制、静置腌制后的兔肉中检测出硫酸二甲酯, 在鲜兔肉中检测出己酸己酯, 滚揉腌制中未检出, 硫酸二甲酯呈醚味, 己酸己酯呈嫩莢青刀豆香气和生水果香味, 由于己酸己酯属于C₆~C₁₂的酯类, 挥发性较高^[17], 对鲜兔肉风味有一定的影响。

此外, 在实验中还检测出1种酸类、1种醚类、1种咪喃类和1种吡嗪类物质, 乙酸有刺鼻的醋酸味在滚揉腌制中尚未检出, 在超声腌制和静置腌制中也含量较低, 而在鲜兔肉中含量较高。癸醚在超声腌制、滚揉腌制中没有检出, 在静置腌制也含量较少, 可能是腌制过程对癸醚产生了影响。在4种处理方式下均检测出了2-戊基咪喃并且含量较高, 以静置腌制的相对含量为最高达到

3.23%, 滚揉腌制最低为1.46%。2-戊基呋喃具有豆香、果香、泥土、青香及类似蔬菜的香味, 有相关研究^[13]认为2-戊基呋喃是伊拉兔肉的特征风味物质, 并且阈值较低, 对兔肉风味具有较大的贡献。同时在鲜兔肉中检测出了2,3,5,6-四甲基吡嗪相对含量为0.85%, 具有肉脂肪加热时的香气和发酵的大豆味^[6], 由于含量较低对鲜兔肉的风味贡献不大。

3 结论

对3种不同的腌制方式和鲜兔肉中的挥发性成分进行分析, 总共测得挥发性成分67种, 包括有醛类22种、烃类20种、酮类9种、醇类11种、酯类2种、醚类1种以及2种其他类物质, 4种处理方式后的样品中的挥发性成分的种类数量分别为44、32、42种和43种。

对腌制后兔肉及鲜兔肉的风味物质总峰面积进行了比较, 超声腌制和滚揉腌制的风味物质总峰面积要显著低于鲜兔肉, 只占鲜兔肉的43.86%与20.79%, 静置腌制与鲜兔肉基本一致, 超声腌制和滚揉腌制可能有助于兔肉的脱腥并改善兔肉的风味。

4种不同处理方式下兔肉各类风味化合物的相对含量有一定差异, 且主要风味物质均为醛类、烃类、酯类、酮类和醇类, 其中醛类物质相对含量为最高, 在4种处理方式中比例分别为63.03%、73.15%、71.35%、72.59%, 而超声腌制的醛类物质最低。超声腌制和滚揉腌制兔肉中的醇类和烃类均低于静置腌制和鲜兔肉。与鲜兔肉相比, 静置腌制和超声腌制后兔肉中酮类物质相对含量较高。4种处理方式中, 酯类、醚类、酸类相对含量均较小, 对兔肉的风味物质贡献不大。此外, 4种处理方式均检测出伊拉兔的特征风味成分2-戊基呋喃。

参考文献:

[1] Food and Agriculture Organization of the United Nations. Food and Agriculture Organization Statistics[S/OL]. [2014-02-07]. <http://faostat.fao.org/site/569/DesktopDefault.aspx?PageID=569#ancor>.

[2] 杨佳艺, 李洪军. 我国兔肉加工现状分析[J]. 食品科学, 2010, 31(17): 429-432.

[3] 王珺, 贺稚非, 李洪军, 等. 顶空固相微萃取结合气相色谱-质谱法分析兔肉的挥发性风味物质[J]. 食品科学, 2013, 34(14): 212-217. doi: 10.7506/spkx/1002-6630-201314043.

[4] LEGAKO J F, BROOKS J C, O'QUINN T G, et al. Consumer palatability scores and volatile beef flavor compounds of five USDA quality grades and four muscles[J]. Meat Science, 2014, 100(2): 291-300.

[5] DEL-OLMO A, CALZADA J, NUNEZ M. Effect of high-pressure-processing and modified-atmosphere-packaging on the volatile compounds and odour characteristics of sliced ready-to-eat "lacón",

a cured-cooked pork meat product[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2014, 23(6): 25-32.

[6] 唐春红, 陈旭华, 王金枝, 等. 不同卤制方法对鸡腿肉中挥发性风味化合物的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(14): 123-129. doi: 10.7506/spkx/1002-6630-201314024.

[7] ZHENG Jiong, ZHANG Fusheng, ZHOU Chunhong, et al. Comparison of flavor compounds in fresh and pickled bamboo shoots by GC-MS and GC-olfactometry[J]. Food Science and Technology Research, 2014, 20(1): 129-138.

[8] MCDONNELL C K, LING J G, ALLEN P. The use of power ultrasound for accelerating the curing of pork[J]. Meat Science, 2014, 98(2): 142-149.

[9] GUNER A, GONULALAN Z, DOGRUER Y. Effect of tumbling and multi-needle injection of curing agents on quality characteristics of pastirma[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2008, 43(1): 123-129.

[10] SAAID M. Development of sample preparation techniques for the high performance liquid chromatographic determination of biogenic amines in foods[D]. Shah Alam: Universiti Teknologi MARA, 2010.

[11] 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.

[12] DONG Liang, PIAO Yongzhe, ZHANG Xiao, et al. Analysis of volatile compounds from a malting process using headspace solid-phase micro-extraction and GC-MS[J]. Food Research International, 2013, 51(2): 783-789.

[13] 陈康, 李洪军, 贺稚非, 等. 不同性别伊拉兔肉挥发性风味物质的SPME-GC-MS分析[J]. 食品科学, 2014, 35(6): 98-102. doi: 10.7506/spkx/1002-6630-201406020.

[14] 陆应林. 南京板鸭加工过程中蛋白降解及风味物质的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2012.

[15] 杜垒. 盐水鸭老卤腌制特性与传质动力学分析[D]. 南京: 南京农业大学, 2010.

[16] 陈丽清, 韩佳冬, 马良, 等. 兔肉品质及其影响因素研究进展[J]. 食品科学, 2011, 32(19): 298-301.

[17] 夏延斌. 食品风味化学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008: 79-83.

[18] MORALES M L, CALLEJÓN R M, UBEDA C, et al. Effect of storage time at low temperature on the volatile compound composition of Sevillana and Maravilla raspberries[J]. Postharvest Biology and Technology, 2014, 96(10): 128-134.

[19] 陈红霞, 贺稚非, 朱慧敏, 等. 顶空固相微萃取和同时蒸馏萃取用于兔肉挥发性风味成分分析的比较研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(3): 288-291.

[20] MOTTRAM D S. Flavour formation in meat and meat products: a review[J]. Food Chemistry, 1998, 62(4): 415-424.

[21] SHAHIDI F, RUBIN L J, SOUZA D L A. Meat flavor volatiles: a review of the composition, techniques of analysis, and sensory evaluations[J]. CRC Critical Reviews of Food Science and Nutrition, 1986, 24(2): 141-243.

[22] 赵改名. 肉桂添加量对卤鸡腿肉挥发性风味成分的影响[J]. 食品与发酵工业, 2013, 39(6): 34-40.

[23] MOTTRAM D S. The Maillard reaction: source of flavour in thermally processed foods[M]//Flavours and Fragrances. Berlin Heidelberg: Springer, 2007: 269-283.

[24] AYSELI M T, FILIK G, SELLI S. Evaluation of volatile compounds in chicken breast meat using simultaneous distillation and extraction with odour activity value[J]. Journal of Food and Nutrition Research, 2014, 53(2): 137-142.