

全二维气相色谱-飞行时间质谱解析红烧乳鸽的挥发性组分

钱敏^{1,2}, 赵文红^{1,2}, 周冠峰¹, 董浩^{1,2}, 白卫东^{1,2}, 曾晓房^{1,2}

(1. 仲恺农业工程学院轻工食品学院, 广东广州 510225)

(2. 广东省岭南特色食品工程技术研究中心, 广东广州 510225)

摘要: 以癸酸乙酯为内标物, 采用全二维气相色谱-飞行时间质谱(GC×GC-TOFMS)对市售红烧乳鸽中的香气成分进行了半定量测定和分析。结果共鉴定出111种化合物, 分别为醇类21种、酯类15种、醛类14种、酮类12种、酸类3种、硫类10种、烷烃类8种、烯类8种、吡嗪类8种、呋喃类2种、其它10种。总相对百分含量最大的是硫类物质, 其次是醛类和醇类物质。硫类物质中含量比较高的有二烯丙基二硫、烯丙基甲基二硫和1-烯丙基-2-异丙基二硫烷, 其含量分别为: 20653.10 μg/kg、2338.33 μg/kg、1006.57 μg/kg。醛类里己醛、戊醛和苯甲醛的含量是最高的三种, 分别为4836.47 μg/kg、469.91 μg/kg、442.10 μg/kg。醇类化合物中1-辛烯-3-醇、2-乙基-1-己醇、1-戊醇含量较高, 分别为1204.27、1134.45、422.35 μg/kg。酯类、酮类、吡嗪类等其他物质也构成了红烧乳鸽丰富的肉香味。鉴定出的化合物中含量最高的是二烯丙基二硫, 其次是己醛和烯丙基甲基二硫, 这三种化合物的OAV值也比较高, 对红烧乳鸽的香气贡献比较大, 是红烧乳鸽的主要特征香气成分。

关键词: 红烧乳鸽; 香气成分; 全二维气相色谱-飞行时间质谱

文章编号: 1673-9078(2020)05-243-251

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.5.033

Analysis of Volatile Compounds of Roast Pigeon by Comprehensive Two Dimensional Gas Chromatography-time of Flight Mass Spectrometry

QIAN Min^{1,2}, ZHAO Wen-hong^{1,2}, ZHOU Guan-feng¹, DONG Hao^{1,2}, BAI Wei-dong^{1,2}, ZENG Xiao-fang^{1,2}

(1. College of Light Industry and Food, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225, China)

(2. Guangdong Lingnan Special Food Engineering Research Center, Guangzhou 510225, China)

Abstract: The volatile flavor compounds of roast pigeon were identified and quantified by comprehensive two-dimensional gas chromatography/time-of-flight mass spectrometry (GC×GC-TOF MS) using ethyl decanoate as internal standard. A total of 111 compounds were detected which including 21 alcohols, 15 esters, 14 aldehydes, 12 ketones and 3 acids, 10 sulfur compounds, 8 alkanes, 8 alkenes, 8 pyrazines, 2 furans and 10 other compounds. The highest relative percentage of volatile flavor compounds was sulfur compounds, followed by aldehydes and alcohols. The contents of diallyl disulfide, allylmethyl disulfide and 1-allyl-2-isopropyl disulfide were 20653.10 μg/kg, 2338.33 μg/kg and 1006.57 μg/kg, respectively. The contents of hexanal, glutaraldehyde and benzaldehyde in aldehydes were the highest, which were 4836.47 μg/kg, 469.91 μg/kg and 442.10 μg/kg, respectively. The contents of 1-octene-3-ol, 2-ethyl-1-hexanol and 1-pentanol in alcohols were 1204.27, 1134.45 and 422.35 μg/kg, respectively. Esters, ketones, pyrazines and other substances also constituted the flavor characteristics of roast pigeon. The highest content of the identified compounds was diallyl disulfide, followed by hexanal and allylmethyl disulfide. The OAV values of these three compounds were also relatively high, which significantly contributed to the aroma of roast pigeon. Therefore, these three compounds were the main characteristic aroma substances of roast pigeon.

引文格式:

钱敏, 赵文红, 周冠峰, 等. 全二维气相色谱-飞行时间质谱解析红烧乳鸽的挥发性组分[J]. 现代食品科技, 2020, 36(5): 243-251

QIAN Min, ZHAO Wen-hong, ZHOU Guan-feng, et al. Analysis of volatile compounds of roast pigeon by comprehensive two dimensional gas chromatography-time of flight mass spectrometry [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(5): 243-251

收稿日期: 2019-09-06

基金项目: 广州市科技计划项目(201704020029; 201704020028; 201604020050); 广东省工程中心项目(2016B090920097)

作者简介: 钱敏(1983-), 女, 高级实验师, 研究方向: 食品化学与分析

通讯作者: 赵文红(1966-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 食品微生物

Key words: roast pigeon; volatile compounds; two-dimensional gas chromatography/time-of-flight mass spectrometry

红烧乳鸽是广东的一款名菜,属于粤菜菜系。红烧乳鸽所需材料为乳鸽及各种酱料,成品特点为皮脆、肉滑、多汁。因其做法特别,红烧乳鸽经卤煮油炸后香气独特,且香气可渗透至骨头里,并且营养非常丰富^[1-3]。而目前关于红烧乳鸽香气成分的研究较少,市售红烧乳鸽的做法各不一样,出品的红烧乳鸽质量更是参差不齐。因为红烧乳鸽的香气是衡量红烧乳鸽品质的重要参考指标,所以研究红烧乳鸽的香气成分尤为重要。

目前对于红烧乳鸽香气成分的研究文献较少,考虑到乳鸽属于家禽一类,鸽肉与鸡肉相似度较高,故以检测鸡肉香气成分的文献作为参考^[4]。对于肉中挥发性风味的检测有多种方法,目前文献里报道最多的是气质联用仪。全二维气相色谱(GC×GC)是20世纪90年代初由Liu等提出的新型分离系统,相比传统一维气相色谱,GC×GC具有峰容量大、结构色谱行为明显、分离速度快和灵敏度高等优点^[5]。使用全二维气相色谱法分析禽肉中风味物质的文献尚较少报道。

本论文以市售红烧乳鸽为原料,利用癸酸乙酯作为内标物,采用固相微萃取(SPME)结合全二维气相色谱-飞行时间质谱(GC×GC-TOF MS)对市售风味较好的红烧乳鸽的香气成分进行半定量测定,同时研究红烧乳鸽的特征香气成分,其结果可为各酒家或

企业了解与调控红烧乳鸽的风味提供一些参考,以提高红烧乳鸽的风味质量,同时对于明确红烧乳鸽的香气成分,推广红烧乳鸽菜式,打造广东粤菜品牌,推动广式食品的发展均具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

本实验共选取了广州知名度较高的5个不同酒家的红烧乳鸽样品,编号分别为A、B、C、D、E。

癸酸乙酯,色谱纯:SIGMA-ALORICH。

碎肉机:MD-510A,小熊厨房电器;同时蒸馏萃取装置:康玻,东宏实验仪器;萃取手柄:57330-U,Superlco公司;CAR/PDMS萃取头:SAAB-57318,Superlco公司;飞行时间质谱仪:PegasusIII Leco Corporation, St. Joseph, MI, USA。

1.2 感官评价

首先筛选和培训感官评价人员。根据GB/T 10220-2012,选用定量描述分析作为本次红烧乳鸽感官评价的一种描述分析方法。筛选和培训8人组成评定小组(男女各半)进行感官评价,采用双盲法进行检验。评价标准见表1。最后的评分取8人的平均分。

表1 感官评价评分表

Table 1 Sensory evaluation score

项目	色泽 (20分)	香气 (20分)	口感 (35分)	滋味 (25分)	总分
好	酱红色,颜色均匀,富有光泽 (16~20分)	香气浓郁,宜人 (16~20分)	肉质细腻,皮质香脆可口,多汁,肥而不腻 (31~35分)	搭配协调,咸、鲜、甜味适宜,回味无穷 (21~25分)	84~100
较好	浅红色,颜色均匀,有光泽 (11~15分)	香气不足,无不愉快气味 (11~15分)	肉质细腻,皮质有弹性,少汁,不腻 (26~30分)	搭配不协调,个别味道稍突出或弱化 (16~20分)	64~80
一般	浅黄色或有别的颜色,颜色不均匀 (6~10分)	香气不足,有不愉快气味 (6~10分)	肉质略粗糙,皮质有韧性,少汁,油腻 (21~25分)	搭配不协调,整体味道较差,咸、甜味稍重/轻 (11~15分)	44~60
差	暗红色或焦褐色,颜色不均匀 (<5分)	香气不可以接受,不良气味重 (<5分)	肉质粗糙,皮质松弛,无汁,油腻 (<20分)	味道怪异,咸、鲜、甜味重/轻,有余味/后感 (<10分)	<40

1.3 SPME-GC×GC-TOF MS 法分析红烧乳鸽

香气成分

1.3.1 SPME

恒温磁力搅拌器温度设为50℃,称取经过粉碎机粉碎混匀的4g(精确到0.001g)红烧乳鸽肉样品置

于15 mL透明顶空瓶,并加入1 μL癸酸乙酯内标物溶液。当恒温磁力搅拌器升温至50℃并稳定时,把装有样品的顶空瓶置于仪器上,加热10 min。将SPME针管穿过隔垫,使萃取头伸出针管。萃取头应距离红烧乳鸽子肉样品面1~2 cm,萃取40 min后,插进GC×GC-TOF MS进样口。在250℃下,解析5 min^[6,7]。

1.3.2 GC×GC-TOF MS 条件

DB-5MS (30 m×250 μm×0.25 μm) 为一维柱色谱柱, 另外选取 DB-17HT (1.9 m×100 μm×0.10 μm) 作为二维柱色谱柱, 设置进样口的温度为 280 °C, 再设置传输线温度为 270 °C, 选用氦气作为载气, 不分流进样, 调制解调时间间隔 4.0 s。

一维柱升温程序为先由 60 °C 保持 3.0 min, 以 4.0 °C/min 速度升至 280 °C 保持 2.5 min, 二维柱升温程序为先由 65 °C 保持 3.0 min, 以 4.0 °C/min 速度升至 285 °C, 保持 2.5 min, 总分析时间为 60.5 min。质谱条件为质谱电子轰击电离源的电压为 70 eV, 检测器电压为 1600 V, 传输线的温度为 300 °C, 离子源温度为 240 °C, 采集质量数范围为 35~550 u, 采集频率为 200 Spectrum/s^[8,9]。

1.4 数据处理

使用 ChromaTOF 软件对质谱数据进行了峰提取、基线校正、解卷积、峰积分、峰对齐等分析。对物质定性工作中, 使用了 LECO-Fiehn Rtx5 数据库。利用内标法计算含量 (半定量), 即 A 物质的浓度=A 的峰面积/内标物面积×内标浓度计算出物质的浓度含量。

2 结果与讨论

2.1 感官评价结果

通过盲评打分, 经算出每项平均分和总分, 得出 5 个样品的感官评价结果如表 2 所示。由表 2 可以看出, 感官评分都在 66~84 分之间, 根据感官评价标准, A>B>E>D>C, A 样品为好, 其余四个样品均为较好。

表 2 感官评价结果

Table 2 Sensory evaluation results

样品	色泽	香气	口感	滋味	总分	评价
A	16.75	12.25	29.375	20.125	84.5	好
B	17.25	14.5	23.875	17.25	72.875	较好
C	12.875	12.375	25.125	16.5	66.875	较好
D	14.25	14.5	25.25	16.375	70.375	较好
E	12.25	13.25	26.875	18.875	71.25	较好

2.2 红烧乳鸽的内聚性分析

通过质构仪对 5 个样品进行检测质构分析, 得出 5 个样品的内聚性结果如图 1 所示。内聚性越高说明肉质越细腻, 口感越好^[10]。由图 1 可看出 A 样品的内聚性最大, 可见 A 样品的口感最好。结合感官评价 A 样品的评分最高, 选择最佳样品 A 进行风味物质分析。

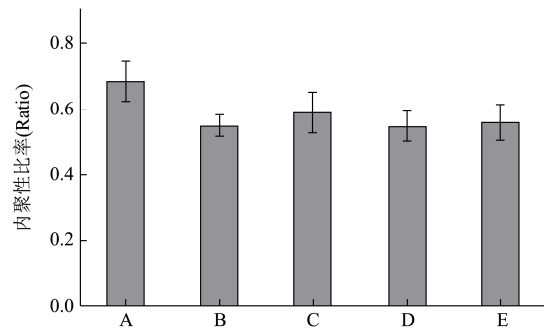


图 1 五个红烧乳鸽样品的内聚性比较

Fig.1 Comparison of cohesiveness of five braised pigeon samples

2.3 SPME-GC×GC-TOF MS 法分析红烧乳鸽

香气成分

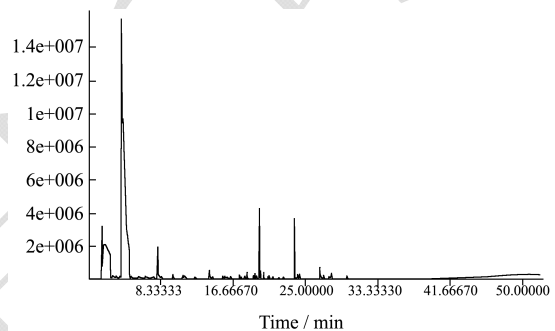


图 2 A 样的总离子流图

Fig.2 Total ion chromatogram current of sample A

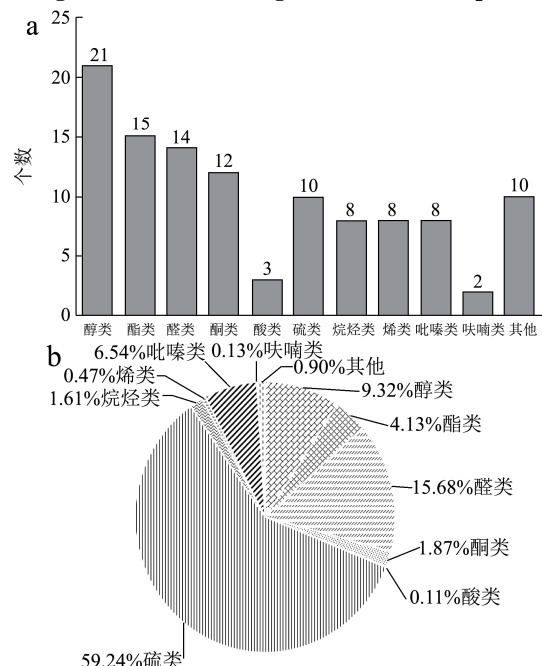


图 3 鉴定出的红烧乳鸽中风味物质种类分布及百分含量

Fig.3 Distribution of relative percentage content of substances identified in roast pigeon

本研究参考相关文献报道的分析条件及依据GC×GC-TOFMS的基本原则,对A样中香气成分的GC×GC-TOFMS分析方法进行了优化,图2为样品风味物质成分的总离子流图。通过质谱库检索,在红烧乳鸽的香气成分中共分离出423个样品峰,选取相似度在800以上的化合物^[11],人工谱图解析,并对有关质谱资料进行定性分析,从而鉴定出了111种物质。根据它们化学结构的差异,可将其分为11类(见图3),分别是醇类、酯类、醛类、酮类、酸类、硫类、烷烃类、烯类、吡嗪类、呋喃类及其它。其中醇类物质的种类最多,其次是酯类物质和醛类物质。由图4可以看出总相对百分含量最大的是硫类物质,占到59%,其次是醛类物质,16%。

鉴定出的111种化合物含量见表3,可以看出11类物质里总含量最高的种类是硫类,25864.91 μg/kg,其次是醛类,6847.21 μg/kg,然后是醇类,4067.21 μg/kg,第四高的是吡嗪类,2855.82 μg/kg,酯类总含量在1804.13 μg/kg。这些都是组成鸽肉风味的重要成分。烷烃类、烯类、呋喃类、酸类及其他成分总含量

相对比较少,丰富了红烧乳鸽的肉香味。目前在鸡肉中检出72种香气成分,其主要包括醛类、酮类、醇类及烷烃类等化合物,不同品种鸡肉中各类挥发性风味物质的种类数和总含量不相同^[4]。

一般认为,硫类物质是肉中的重要香气来源。含硫物质可能有3个来源:第一,半胱氨酸、蛋氨酸的水解或者是Strecker降解;第二,硫胺素降解,第三,蒜。由表3可得,检出的红烧乳鸽中硫类物质有10种,其中含量比较高的有二烯丙基二硫、烯丙基甲基二硫、1-烯丙基-2-异丙基二硫烷和(E)-1-烯丙基-2-(丙-1-烯-1-基)二硫烷,其含量分别为:20653.10 μg/kg,2338.33 μg/kg,1006.57 μg/kg,684.33 μg/kg。其中,所有检出物中含量最高的二烯丙基二硫是一种有机硫化物,具有蒜香味,是大蒜油的主要成分,其香气阈值是0.000005 μg/g,算得的OAV值为412106,远高于香气阈值,说明二烯丙基二硫是红烧乳鸽里最重要的风味成分。所有物质中含量第三高的是烯丙基甲基二硫,香气阈值为0.32 μg/g,其OAV值为7.31,大于1,说明其风味贡献度比较大。

表3 GC×GC-TOFMS 鉴定出的红烧乳鸽挥发性组分含量

Table 3 Content of volatile components of roast pigeon identified by GC×GC-TOFMS

类别	化合物名称	保留时间/min	CAS	含量/(μg/kg)
醇类	1,3-二氧戊环-2-甲醇	20.632	5694-68-8	3.67
	1-丙醇	6.875	71-23-8	19.87
	1-乙醇	16.718	111-27-3	232.47
	1-戊醇	13.915	71-41-0	422.35
	1-戊烯-3-醇	17.211	616-25-1	16.87
	1-辛醇	21.982	111-87-5	68.06
	1-辛烯-3-醇	19.246	3391-86-4	1204.27
	2,3-二甲基-2-丁醇	47.661	594-60-5	1.70
	2-呋喃甲醇	24.354	98-00-0	166.09
	2-乙基-1-乙醇	20.276	104-76-7	1134.45
	3-丁-2-醇	1.780	598-32-3	12.26
	3-甲基-2-丁醇	49.336	598-75-4	4.19
	3-甲基庚-1,6-二烯-3-醇	22.995	34780-69-3	10.19
	3-乙基-3-戊醇	32.514	597-49-9	0.47
	4-丙基-1,6-庚二烯-4-醇	21.684	52939-61-4	28.88
	4-戊烯-2-醇	51.188	625-31-0	2.56
	4-乙基环己醇	21.538	4534-74-1	12.34
	苯乙醇	29.835	1960/12/8	26.01
	甲硫醇	1.922	74-93-1	300.83
	松油醇	25.247	98-55-5	55.66
烯丙基硫醇	3.210	870-23-5	344.26	
合计				4067.47

转下页

接上页

酯类	1,1-乙二醇二乙酸酯	14.151	542-10-9	11.85
	2,4-二硝基苯基巴豆酸酯	25.931	69817-88-5	6.94
	2,4-己二烯丙酯	25.780	88973-62-0	14.76
	2-甲基-2-丙酸辛酯	13.698	21571/19	10.35
	2-羟基丙酸乙酯	16.394	97-64-3	727.37
	2-乙氧基丁酸乙酯	13.360	0-00-0	13.89
	丁内酯	23.492	96-48-0	121.80
	丁酸丙酯	12.152	105-66-8	14.62
	二碳酸二叔丁酯	11.304	24424-99-5	88.95
	羟基乙酸乙酯	3.392	623-50-7	4.55
	碳酸二烯丙酯	6.471	15022-08-9	0.45
	戊酸 2-甲基-甲酯	23.976	2177-77-7	8.98
	乙酸 1-甲氧基-2-丙酯	12.756	108-65-6	5.38
	乙酸异丁酯	7.808	110-19-0	69.12
	正癸酸乙烯基酯	15.523	3050-69-9	705.13
合计			1804.13	
醛类	(E)-2-庚醛	15.506	18829-55-5	30.30
	(E)-2-辛烯醛	18.446	2548-87-0	53.91
	2-甲基-丁醛	3.614	96-17-3	240.22
	2-乙基-己醛	2.504	123-05-7	51.79
	3-甲基-丁醛	3.699	590-86-3	100.40
	5-乙基-2-呋喃醛	18.078	23074-10-4	9.59
	苯甲醛	20.872	100-52-7	442.10
	庚醛	11.090	111-71-7	139.38
	己醛	8.021	66-25-1	4836.47
	壬醛	17.433	124-19-6	139.94
	戊醛	4.947	110-62-3	469.91
	辛醛	14.364	124-13-0	72.25
	乙缩醛	14.822	513-86-0	251.47
	乙酰胺基乙醛	5.231	64790-08-5	9.49
	合计			6847.21
酮类	1-(1H-吡咯-2-基)-乙酮	31.013	1072-83-9	12.27
	1-(2-呋喃基)-乙酮	20.498	1192-62-7	33.79
	2-(1-羟基-1-甲基-2-氧丙基)-2,5-二甲基-3(2H)-呋喃酮	20.503	10410-20-5	13.19
	2,3-戊二酮	7.386	600-14-6	50.69
	2,7-辛二酮	19.637	1626-09-1	4.82
	2-丁酮	3.410	78-93-3	106.25
	2-庚酮	11.152	110-43-0	132.53
	2-辛酮	12.880	111-13-7	9.53
	3-甲基-2-己酮	49.291	2550-21-2	1.57
	6,7-十二烷二酮	24.323	13757-90-9	178.69
	丙酮	2.522	67-64-1	268.35
	茴香酮	17.496	1195-79-5	2.68
合计			814.37	

转下页

接上页				
酸类	2-乙基-庚酸	23.994	3274-29-1	32.22
	3-咪喃羧酸	25.767	488-93-7	5.30
	灵芝酸	26.602	515-30-0	9.74
合计				47.26
硫类	(E)-1-甲基-2-(丙-1-烯-1-基)二硫	14.186	23838-19-9	32.13
	(E)-1-烯丙基-2-(丙-1-烯-1-基)二硫烷	19.885	122156-02-9	684.33
	(Z)-1-烯丙基-2-(丙-1-烯-1-基)二硫烷	19.304	122156-03-0	107.03
	1-烯丙基-2-异丙基二硫烷	18.326	67421-85-6	1006.57
	2-乙基[1,3]二硫	20.929	6007-23-4	7.83
	二烯丙基二硫	19.743	2179-57-9	20653.10
	二烯丙基硫	9.780	592-88-1	423.70
	烯丙基甲基二硫	13.969	2179-58-0	2338.33
	烯丙基甲基三硫	22.511	34135-85-8	175.16
	二烯丙基三硫	27.135	2050-87-5	436.75
	合计			
烷烃类	1-羟基-2-丙烷	15.244	116-09-6	207.83
	2-乙氧基-2-甲基-丁烷	5.249	919-94-8	1.66
	丙烷	2.362	123-38-6	49.05
	十四烷	17.482	629-59-4	197.59
	十一烷	8.421	1120-21-4	164.81
	戊烷	1.695	109-66-0	45.94
	辛烷	2.420	111-65-9	19.43
	新戊烷	21.733	463-82-1	17.33
合计				703.65
烯类	2,4,6-三甲基-1-壬烯	21.236	55771-40-9	5.83
	2-甲基-2-丁烯	1.771	513-35-9	37.15
	3-甲氧基-1-庚烯	28.987	14093-58-4	7.27
	6-乙基-4,5,7-三硫-2,8-癸二烯	25.798	126876-28-6	17.36
	D-柠檬烯	10.993	5989-27-5	62.14
	苯乙烯	13.271	100-42-5	39.85
	丙烯	1.660	115-07-1	9.54
	雌三烯	24.461	140-67-0	25.55
合计				204.69
吡嗪类	2,3-二甲基吡嗪	16.403	5910-89-4	35.85
	2,5-二甲基吡嗪	15.728	123-32-0	1033.79
	2,6-二甲基吡嗪	15.923	108-50-9	35.28
	2,6-二乙基吡嗪	19.526	13067-27-1	27.08
	2-乙基-5-甲基-吡嗪	17.624	13360-64-0	62.77
	3-乙基-2,5-二甲基-吡嗪	19.077	13360-65-1	154.83
	甲基吡嗪	14.080	109-08-0	927.87
	三甲基吡嗪	18.038	14667-55-1	578.34
合计				2855.82

转下页

接上页				
	2-戊基呋喃	12.338	3777-69-3	56.02
呋喃类	2-乙基-5-甲基-呋喃	20.485	1703-52-2	1.46
	合计			57.48
	2-庚基-1,3-二氧戊环	32.834	4359-57-3	40.69
	2-庚基-4-甲基-1,3-二氧戊环	22.955	74094-61-4	0.99
	茴香脑	27.979	104-46-1	204.05
	甲苯	6.635	108-88-3	94.55
	邻二甲苯	9.558	95-47-6	10.96
其它	2,5-二甲基嘧啶	15.821	22868-76-4	17.13
	苯酚	31.666	108-95-2	12.21
	3-氟-2-丙烯腈	26.784	32038-83-8	1.40
	2-己胺	3.619	5329-79-3	3.61
	苯胺	26.477	62-53-3	9.26
	合计			394.86

脂肪族烃、直链饱和醇和烷基酮、除硫酯以外的酯阈值较高，而它们在肉中含量有限，因此对肉风味贡献不大，而醛类物质一般阈值也比较低，却是决定肉风味的关键物质，肉品整体风味是各种风味物质共同作用的结果^[12]。醛类化合物一般由脂肪氧化产生，有研究证实醛类化合物对产品中肉香味的构成起到不可替代的作用^[13]。由表3可知醛类的相对含量在红烧乳鸽的主要香气成分中含量较高，一共检测出14种醛类化合物，其中己醛、戊醛和苯甲醛的含量是最高的三种，分别为4836.47 μg/kg、469.91 μg/kg、442.10 μg/kg，赋予了红烧乳鸽油脂味和特殊杏仁味，同时也是红烧乳鸽主要的挥发性化合物。己醛具有青草香气，其香气阈值为0.0041 μg/g，算得的OAV值为1179.63，OAV值也很高，说明己醛对红烧乳鸽的香气有重要作用。

醇类主要是肉中脂质在脂肪氧合酶和氢过氧化酶作用下通过酶降解亚油酸反应产生亚油酸降解酶作用下氧化产生^[14]。试验中检测出21种醇类化合物，其中1-辛烯-3-醇、2-乙基-1-己醇、1-戊醇、烯丙基硫醇、甲硫醇、1-己醇相对含量较高，分别为1204.27、1134.45、422.35、344.26、300.83、232.47 μg/kg，这些物质赋予了红烧乳鸽以大蒜味，果香和花香以及特殊令人愉悦的气味。其中，1-辛烯-3-醇为脂肪族不饱和醇，具有蘑菇、薰衣草、玫瑰和干草香气，其香气阈值为0.002 μg/g，算得OAV值为602.14，说明1-辛烯-3-醇是红烧乳鸽里的重要香气成分。2-乙基-1-己醇的香气阈值25.48 μg/g，OAV值为0.04，小于1，说明2-乙基-1-己醇的含量虽然比较高，但是其香气阈值也比较高，对红烧乳鸽的风味贡献比较小。但Marušić等通过研究干腌火腿的挥发性风味物质表明醇类化合

物的阈值较醛类高，对肉的风味作用较小^[15]。

吡嗪类物质主要为烷基吡嗪，香味类型主要为坚果香、烤香、土豆香，其主要形成机制是通过Strecker降解，二羰基化合物和氨基酸形成α-氨基酮，α-氨基酮经过缩合、氧化形成吡嗪^[18]。红烧乳鸽中鉴定出来8种吡嗪类化合物，分别为2,5-二甲基吡嗪、甲基吡嗪、三甲基吡嗪、3-乙基-2,5-二甲基-吡嗪、2-乙基-5-甲基-吡嗪、2,3-二甲基吡嗪、2,6-二甲基吡嗪、2,6-二乙基吡嗪。也是形成肉风味的重要成分。贾丽娜^[18]等人的研究中发现回锅肉中的2-乙基-5-甲基吡嗪、2-乙基-6-甲基吡嗪、2,5-二甲基-3-乙基吡嗪、2-甲基-3-乙基吡嗪，对风味影响显著。

酯类通常由游离脂肪酸和脂质氧化所产生的醇之间的相互作用生成^[16]。由表可得酯类化合物共鉴定出15种，相对含量较高的是2-羟基丙酸乙酯、正癸酸乙酯、丁内酯、二碳酸二叔丁酯、乙酸异丁酯，分别是727.37、705.13、121.80、88.95、69.12 μg/kg，为红烧乳鸽提供了香甜味以及菠萝香味。

呋喃类物质主要香味类型为谷物香，甜香。测出呋喃类主要有2种，2-戊基呋喃、2-乙基-5-甲基-呋喃，但是含量都比较低，但是2-戊基呋喃的香气阈值也很低，0.004 μg/g，其OAV值为14，大于1，说明其对风味有重要贡献^[17]。

酮类化合物是脂肪氧化的另一产物，但对肉的特征风味形成起重要作用^[18]。试验中检测出12种酮类物质，其中丙酮、6,7-十二烷二酮、2-庚酮、2-丁酮、2,3-戊二酮含量比较高，分别为268.35、178.69、132.53、106.25、50.69 μg/kg，为红烧乳鸽提供了特殊辛辣味和水果香味。

鉴定出的红烧乳鸽中酸类物质3种，烷烃类化合

物 8 种, 烯类化合物 8 种, 其他 10 种, 含量都不是很高, 但是这些化合物的共同协同作用综合组成了红烧乳鸽的丰富味道。

本文鉴定出红烧乳鸽中化合物中含量最高的是二烯丙基二硫, 其次是己醛和烯丙基甲基二硫, 这三种化合物的 OAV 值也比较高。田怀香等^[19]人通过 GC-MS 和 GC-O 对调味品鸡精特征风味物质进行了研究, 得出鸡精中, 二烯丙基二硫和烯丙基甲基二硫的 OAV 值也非常高, 确定了二烯丙基二硫和烯丙基甲基二硫为鸡精样品中特征风味物质, 本试验结果说明这两种物质也是红烧乳鸽的特征风味物质。张晶晶等^[20]人通过白姑鱼和小黄鱼肉中挥发性风味物质的鉴定得出己醛为 2 种鱼中鉴定到主要成分之一, 主要来自亚油酸自动氧化产生的 13-氢过氧化物断裂生成。结果表明己醛对红烧乳鸽的香气也有重要作用。

3 结论

本文用全二维气相色谱/飞行时间质谱对红烧乳鸽中的挥发性香气成分进行分析, 共鉴定 111 种化合物, 分别为醇类 21 种, 酯类 15 种, 醛类 14 种, 酮类 12 种, 酸类 3 种, 硫类 10 种, 烷烃类 8 种, 烯类 8 种, 吡嗪类 8 种, 呋喃类 2 种, 其它 10 种。总相对百分含量最大的是硫类物质, 其次是醛类和醇类物质。醇类化合物中 1-辛烯-3-醇、2-乙基-1-己醇、1-戊醇含量较高, 分别为 1204.27、1134.45、422.35 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 赋予了红烧乳鸽以大蒜味, 果香和花香以及特殊令人愉悦的气味; 醛类里己醛、戊醛和苯甲醛的含量是最高三种, 分别为 4836.47 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 469.91 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 442.10 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 赋予了红烧乳鸽油脂味和特殊杏仁味, 也是红烧乳鸽主要的挥发性化合物; 酯类、酮类、吡嗪类等其他物质也构成了红烧乳鸽丰富的肉香味。研究结果可为红烧乳鸽的风味解析、工艺优化及质量标准等提供科学依据。对于明确红烧乳鸽的香气成分, 推广红烧乳鸽菜式, 打造广东粤菜品牌, 推动广式食品的发展均具有重要意义。

参考文献

- [1] 刘平国. 肉(乳)鸽的营养及其保健作用[N]. 山西经济日报, 2001-6-14 (7)
LIU Ping-guo. Nutrition and Health Function of Meat (Young) Pigeon [N]. Shanxi Economic Daily, 2001-6-14(7)
- [2] 郝丕. 乳鸽的营养药用价值及药膳配制[J]. 药膳食疗研究, 1998,4:12-13
HAO Pi. Nutritional medicinal value and medicated diet of pigeons [J]. Dietotherapy and Herbal Medicinal Diet, 1998, 4:

- 12-13
- [3] 居然. 脆皮红烧乳鸽[EB/OL]. <http://www.chinacaipu.com/menu/qinleishipu/69955.html>, 2013-11-26
JV Ran. Crispy braised pigeon [EB/OL]. <http://www.chinacaipu.com/menu/qinleishipu/69955.html>, 2013-11-26
- [4] 王春青, 李学科. 不同品种鸡肉蒸煮挥发性风味成分比较研究[J]. 现代食品科技, 2015, 31(1): 208-215
WANG Chun-qing, LI Xue-ke. Comparative study on volatile flavor components of different varieties of chicken meat [J]. Modern Food Science and Technology, 2015, 31(1): 208-215
- [5] 马雅杰, 郑福平, 黄明泉, 等. 全二维气相色谱/飞行时间质谱分析传统工艺与机械化工艺老白干原酒的挥发性成分[J]. 中国食品学报, 2019, 19(3): 266-280
MA Ya-jie, ZHENG Fu-ping, HUANG Ming-quan, et al. Analysis of volatile components in traditional and mechanized Laobaigan liquor by two-dimensional gas chromatography/time-of-flight mass spectrometry [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2019, 19(3): 266-280
- [6] 袁华根, 贺生中, 臧大存, 等. 同时蒸馏萃取和固相微萃取对鸡肉汤挥发性风味物质萃取效果的比较[J]. 江西农业学报, 2009, 21(12): 140-142
YUAN Hua-gen, HE Sheng-zhong, ZANG da-cun, et al. Comparison of extraction and volatile flavor extraction of chicken broth by distillation and solid phase microextraction [J]. Jiangxi Agricultural Journal, 2009, 21(12): 140-142
- [7] 袁华根, 高峰, 徐骏, 等. 鸡肉挥发性风味化合物分析[J]. 江西农业学报, 2006, 18(5): 139-141
YUAN Hua-gen, GAO Feng, XU Jun, et al. Analysis of chicken volatile flavor compounds [J]. Jiangxi Agricultural Journal, 2006, 18(5): 139-141
- [8] 高蕾, 陈恺, 周建中, 等. 响应面法优化同时蒸馏法萃取熏马肠中挥发性风味物质的研究[J]. 食品工业科技, 2016, 37(6): 52-57
GAO Lei, CHEN Kai, ZHOU Jian-zhong, et al. Optimization of simultaneous distillation of volatile flavor compounds in smoked horse intestine by response surface methodology [J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(6): 52-57
- [9] 穆兵, 朱荫, 马士成, 等. 六堡茶香气成分的全二维气相色谱-飞行时间质谱分析[J]. 食品科学, 2017, 38(22): 169-177
MU Bing, ZHU Yin, MA Shi-cheng, et al. Analysis of aroma components of Liubao tea by two dimensional gas chromatography-time of flight mass spectrometry [J]. Food

- Science, 2017, 38(22): 169-177
- [10] 于慧春,李欣,张仲欣,等.采用质构仪分析氯化钙对牛肉品质的影响[J].食品研究与开发,2009,30(5):35-38
YU Hui-chun, LI Xin, ZHANG Zhong-xin, et al. Analysis of the effect of calcium chloride on beef quality by texture analyzer [J]. Food Research and Development, 2009, 30(5): 35-38
- [11] 李伟丽,袁旭,刘玉淑,等.郫县豆瓣酱风味成分的全二维气相色谱-飞行时间质谱分析[J].食品科学,2019,40(6):261-265
LI Wei-li, YUAN Xu, LIU Yu-shu, et al. Analysis of flavor components in Pixian Doubanjiang by two-dimensional gas chromatography-time-of-flight mass spectrometry [J]. Food Science, 2019, 40(6): 261-265
- [12] 马文睿,赵建新,严青,等.可微波冷冻预油炸鸡肉的风味物质研究[J].食品工业科技,2009,30(11):118-120
MA Wen-rui, ZHAO Jian-xin, YAN Qing, et al. Study on flavor compounds of microwave frozen pre-fried chicken [J]. Food Industry Technology, 2009, 30(11): 118-120
- [13] 罗玉龙,赵丽华,王柏辉,等.苏尼特羊不同部位肌肉挥发性风味成分和脂肪酸分析[J].食品科学,2017,38(4):165-169
LUO Yu-long, ZHAO Li-hua, WANG Bai-hui, et al. Analysis of volatile flavor components and fatty acids in different muscle parts of Sunit sheep [J]. Food Science, 2017, 38(4): 165-169
- [14] Ma L Q, Hamid Nbejhiti A E D, Robertson J, et al. Evaluation of pre-rigor injection of beef with proteases on cooked meat volatile profile after 1 day and 21 day post-mortem storage [J]. Meat Science, 2012, 92: 430-439
- [15] Marušić N, Vidaček S, Jančić T, et al. Determination of volatile compounds and quality parameters of traditional istrian dry-cured ham [J]. Meat Science, 2014, 96: 1409-1416
- [16] Ai J Anal. Headspace solid phase microextraction dynamics and quantitative analysis before reaching a partition equilibrium [J]. Food Chemistry, 1997, 69(16): 3260-3266
- [17] 贾丽娜,焦爱权,赵建伟,等.回锅肉加工及冻藏过程中风味物质的变化[J].食品与生物技术学报,2015,34(12):1269-1276
JIA Li-na, JIAO Ai-quan, ZHAO Jian-wei, et al. Study on the changes of volatile flavor components in double-fried pork during the processing and frozen storage [J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2015, 34(12): 1269-1276
- [18] 何香,许时婴.蒸煮鸡肉的挥发性香气成分[J].无锡轻工业大学学报,2001,20(5):497-499
HE Xiang, XU Shi-ying. Volatile aroma components of boiled chicken [J]. Journal of Wuxi University of Light Industry, 2001, 20(5): 497-499
- [19] 田怀香,吴譔,秦蓝,等.基于GC-MS和GC-O的调味品鸡精特征风味物质研究[J].现代食品科技,2016,32(9):287-293
TIAN Huai-xiang, WU Xuan, QIN Lan, et al. Characteristic flavor compounds in chicken bouillon by gas chromatography-mass spectrometry and-olfactometry [J]. Modern Food Science and Technology, 2016, 32(9): 287-293
- [20] 张晶晶,王锡昌,施文正.白姑鱼和小黄鱼肉中挥发性风味物质的鉴定[J].食品科学,2019,40(14):206-213
ZHANG Jing-jing, WANG Xi-chang, SHI Wen-zheng. Identification of volatile compounds in white croaker and small yellow croaker [J]. Food Science, 2019, 40(14): 206-213

(上接第 237 页)

- [23] 袁海波,尹军峰,叶国柱,等.茶叶香型及特征物质研究进展[J].中国茶叶,2009,31(8):11-15.
YUAN Hai-bo, YIN Jun-feng, YE Guo-zhu, et al. Research progress on tea aroma and characteristic components [J]. China Tea, 2009, 31(9): 11-15
- [24] Ghosh A, Tamuly P, Bhattacharyya N, et al. Estimation of theaflavin content in black tea using electronic tongue [J]. Journal of Food Engineering, 2012, 110(1): 71-79
- [25] Dong C, Liang G, Hu B, et al. Prediction of congou black tea fermentation quality indices from color features using non-linear regression methods [J]. Scientific Reports, 2018, 8(1): 10535
- [26] 董春旺,梁高震,安霆,等.红茶感官品质及成分近红外光谱快速检测模型建立[J].农业工程学报,2018,34(24):306-313
DONG Chun-wang, LIANG Gao-zhen, AN Ting, et al. Near-infrared spectroscopy detection model for sensory quality and chemical constituents of black tea [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2018, 34(24): 306-313