

杀菌和复热工艺对黄焖鸡挥发性风味物质的影响

常思盎¹, 惠 腾¹, 刘 毅¹, 邱保文², 戴瑞彤^{1,*}

(1. 中国农业大学食品科学与营养工程学院, 北京 100083; 2. 河南立达老汤食品有限公司, 河南 焦作 454850)

摘 要: 为探究杀菌和复热工艺对黄焖鸡产品风味品质的影响, 采用固相微萃取-气相色谱-质谱法对产品杀菌和复热前后的挥发性风味物质进行分析, 并比较产品中特征风味物质的变化情况。结果表明: 杀菌和复热前后的黄焖鸡产品中检出的挥发性风味物质主要包括醇类、醛类、酮类、酯类、酸类、烃类和杂环化合物, 其中醛类化合物是主要的挥发性风味物质, 尤以己醛的含量最高; 杀菌和复热工艺均可使产品本身的鸡肉风味有所增强, 其中杀菌后产品中烃类化合物和乳酸乙酯的含量显著降低, 鸡肉产品的特征风味物质1-辛烯-3-醇和2-正戊基呋喃的含量显著增加, 复热后产品中由短链脂肪酸生成的酯含量显著降低, 鸡肉产品的特征风味物质烯醛、二烯醛和6-甲基-5-庚烯-2-酮的含量显著增加。

关键词: 黄焖鸡产品; 杀菌; 复热; 气相色谱-质谱; 挥发性风味物质

Effect of Pasteurization and Reheating on the Volatile Compounds of Braised Chicken Product

CHANG Siang¹, HUI Teng¹, LIU Yi¹, QIU Baowen², DAI Ruitong^{1,*}

(1. College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

2. Henan Leader Flavour Food Co.Ltd., Jiaozuo 454850, China)

Abstract: The objective of our present study was to evaluate the effect of pasteurization and reheating processing on the flavor properties of braised chicken. The changes of volatile compounds in braised chicken before and after pasteurization and reheating were analyzed using solid phase microextraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry (SPME-GC-MS). The results showed that the volatile compounds in the braised chicken before and after pasteurization and re-heating mainly included aldehydes, ketones, alcohols, esters, acids, hydrocarbons and heterocyclics and aldehydes especially hexanal were the major volatiles. Both pasteurization and re-heating processing enhanced the chicken flavor of the product. After pasteurization, the contents of hydrocarbons and ethyl acetate reduced significantly, while the contents of 1-octen-3-ol and 2-pentylfuran, two characteristic volatiles of braised chicken, remarkably increased. On the other hand, after re-heating the content of esters containing short chain fatty acids obviously decreased, whereas the contents of the other characteristic volatiles olefine aldehyde, dienal and 6-methyl-5-hepten-2-one increased considerably.

Keywords: braised chicken product; pasteurization; re-heating; gas chromatography-mass spectrometry; volatile compounds

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-201804004

中图分类号: TS251.6

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2018) 04-0020-07

引文格式:

常思盎, 惠腾, 刘毅, 等. 杀菌和复热工艺对黄焖鸡挥发性风味物质的影响[J]. 肉类研究, 2018, 32(4): 20-26.

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-201804004. <http://www.rlyj.pub>

CHANG Siang, HUI Teng, LIU Yi, et al. Effect of pasteurization and reheating on the volatile compounds of braised chicken product[J]. Meat Research, 2018, 32(4): 20-26. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-201804004. <http://www.rlyj.pub>

黄焖鸡起源于济南名店“吉玲园”, 属于鲁菜系家常菜, 主要食材为鸡腿肉, 配以青椒、香菇等焖制而成, 具有味道鲜美、肉质嫩滑的特点。近几年来, 黄焖鸡以惊人的速度席卷全国, 其商业价值和市场需求不断攀升; 同

时, 鸡肉具有脂肪和胆固醇含量低、蛋白质含量高及易消化等优点, 使得黄焖鸡深受广大消费者的喜爱^[1]。

挥发性物质的变化是评价鸡肉产品风味品质的重要指标, 它可以清晰地反映产品的嗅感特性, 同时有助于

收稿日期: 2018-01-07

基金项目: “十三五”国家重点研发计划项目(2016YFD0400403)

第一作者简介: 常思盎(1995—), 女, 硕士研究生, 研究方向为农产品加工及贮藏工程。E-mail: chanceon521@163.com

*通信作者简介: 戴瑞彤(1966—), 女, 教授, 博士, 研究方向为畜产品加工。E-mail: dairuitong@hotmail.com



产品的工艺选择和优化。国内外已有许多相关研究,例如:Sohaib等^[2]分析鸡肉冻藏期间的脂肪氧化和挥发性风味物质变化情况,确定了能够有效抑制脂肪氧化同时改善鸡肉风味的抗氧化剂;Wei Xiuli等^[3]通过研究2-戊基呋喃等鸡肉特征风味物质的变化情况,发现将腌制工艺和美拉德反应相结合可以改善腌制鸡肉的风味。

杀菌和复热是肉制品加工和食用过程中的重要工艺。肉制品最常用的杀菌方式是热杀菌,按照杀菌温度的不同一般可以分为巴氏杀菌和高温灭菌。巴氏杀菌的杀菌温度较低,一般不超过85℃,而高温灭菌的杀菌温度在100℃以上,经过一定强度的杀菌处理可以保证产品的食用安全。市面上销售的许多肉制品在食用前均需再次加热,经过加热处理后产品的食用口感更佳,这种食用前再加热的处理过程通常称为复热。肉制品常用的复热方法主要包括水浴复热、微波复热和红外复热,其中微波复热和红外复热的传热速率快,而水浴复热的传热更均匀。杀菌和复热工艺会影响肉类产品中挥发性风味物质的变化,从而影响产品风味。李星等^[4]对卤鹅进行微波杀菌,发现杀菌处理对产品中挥发性风味物质的种类和含量均有影响,经杀菌处理后,卤鹅肉中特征风味成分的种类显著增加;苏里阳等^[5]研究红外电烤箱复热对冷藏烤全羊风味品质的影响,结果表明,复热后产品中挥发性风味物质的种类和含量均显著增加,其中酯类、酮类、醇类和芳香烃类化合物共同参与构成烤全羊的特征香气。但是,目前关于杀菌和复热工艺对鸡肉产品风味品质影响的相关研究较少,对黄焖鸡产品风味品质影响的研究未见报道。

本研究利用固相微萃取-气相色谱-质谱(solid phase microextraction-gas chromatograph-mass spectrometry, SPME-GC-MS)法对黄焖鸡产品杀菌和复热前后挥发性风味物质的变化情况进行分析,探究杀菌和复热工艺对产品风味品质的影响,以为黄焖鸡产品的品质评价和工艺优化提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

20只新鲜黄羽肉鸡琵琶腿。黄羽肉鸡来自于集中饲养,屠宰平均日龄49d,体质量(2.00±0.14)kg。黄焖鸡加工制作过程中所用的材料均为食品级。

1.2 仪器与设备

PB2002-N电子天平 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;DF-6L专用油炸锅(额定功率2.3kW) 广州杰冠西厨设备厂;HHS11-1电热恒温水浴锅 上海博讯实业有限公司;BCD-251 WBCY冰箱 青岛海尔股份有限公司;57300-U顶空固相微萃取器、75 μm碳分

子筛/聚二甲基硅氧烷(carboxen/polydimethylsiloxane, CAR/PDMS)萃取头 美国Supelco公司;7890气相色谱仪、5975质谱仪 美国Agilent公司。

1.3 方法

1.3.1 样品制备

在4℃条件下将琵琶腿切段,称取3.00 kg琵琶腿段用于制备黄焖鸡。

将约1.00 kg带骨琵琶腿段切成3 cm×4 cm的肉块,添加2.50%(占鸡肉块的质量分数,下同)的食盐和0.20%的白酒(酒精度38%),于4℃条件下腌制30 min;按照油料比4:1(m/m)向锅内加入新鲜橄榄油,将腌制好的鸡肉块下锅,180℃油炸30 s,沥油备用;向炒锅内加入6.00%的新鲜橄榄油,加热至油温150℃,依次加入0.35%姜片 and 0.50%冰糖炒香;向锅内加入30.00%的水,再依次加入0.15%干辣椒段、1.00%老抽、5.00%黄豆酱和炸鸡肉块,焖制10 min(锅内实际温度约为100℃)。

制备完成后,将黄焖鸡产品冷却至常温,采用真空包装,每袋质量(150.00±10.00)g,共4袋。重复上述加工过程3次,一共制备12袋产品。将包装好的鸡肉块立即进行杀菌处理。

1.3.2 实验设计

将12袋样品等分为4组,使每组均含3次加工所得产品各1袋。第1组:不作处理,作为杀菌空白对照;第2组:采用高温巴氏杀菌,杀菌温度95℃,杀菌时间15 min;第3组和第4组:均采用与第2组相同的巴氏杀菌条件,杀菌样品用流水快速冷却至室温,于4℃条件下冷藏14 d,取出样品后,第3组采用水浴复热,水浴温度80℃,复热时间10 min,第4组不作处理,作为复热空白对照。处理完成后,对4组样品进行挥发性风味物质测定。

1.3.3 样品的SPME

取5 g样品置于20 mL顶空瓶中,将老化后的50/30 μm CAR/PDMS萃取头插入样品瓶的顶空部分,50℃吸附30 min;取出吸附后的萃取头,插入GC仪进样口,250℃解吸3 min,同时启动仪器采集数据。

1.3.4 GC-MS条件

GC条件:DB-WAX毛细管柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm);进样口温度250℃,以恒定流速进样;升温程序:40℃加热3 min,然后以5℃/min的速率升温至90℃,保持1 min,再以10℃/min的速率升温至230℃,保持7 min;载气(He)流速0.8 mL/min。

MS条件:电子轰击离子源;电子能量70 eV;电压1 000 V,电流80 μA;GC-MS仪的接口温度250℃;离子源温度200℃;质量扫描范围(*m/z*)35~500。

以相似指数(similar index, SI)和反相似指数



(reverse similar index, RSI) 均大于800作为定性依据, 通过比较NIST 2011和WILLEY 7 Library化合物系统和保留指数(kovats index, KI) (以C₈~C₂₆的烷烃为标准) 来鉴定化合物的种类和类别。利用峰面积进行风味成分的定量分析。

1.4 数据处理

利用SPSS Statistics 20软件中的单因素方差分析对数据进行分析, 显著性水平 $P < 0.05$ 。数据均以“平均值±标准差”的形式表示。

2 结果与分析

2.1 杀菌前后黄焖鸡产品中挥发性风味物质的变化情况

表1 杀菌前后黄焖鸡产品中的挥发性风味物质
Table 1 Volatile compounds in braised chicken before and after pasteurization

种类	挥发性风味物质 名称	KI	峰面积 (×10 ⁷ AU)	
			杀菌前	杀菌后
醇类	桉叶油醇	1 199	3.42±0.30 ^a	0.00±0.00 ^b
	戊醇	1 249	3.24±0.18 ^a	0.00±0.00 ^b
	己醇	1 351	0.00±0.00 ^a	1.03±0.08 ^b
	庚醇	1 353	1.06±0.12 ^a	2.55±0.25 ^b
	1-辛烯-3-醇	1 446	0.00±0.00 ^a	12.34±1.29 ^b
	2,4-二甲基环己醇	1 462	0.07±0.01 ^a	0.00±0.00 ^b
	芳樟醇	1 540	0.00±0.00 ^a	0.40±0.03 ^b
	辛醇	1 553	2.37±0.27	1.61±0.18
	反式-2-辛烯-1-醇	1 608	1.32±0.21	1.43±0.31
	2-萘醇	1 700	0.23±0.07 ^a	0.00±0.00 ^b
	2-乙基-1-己醇	1 766	0.00±0.00 ^a	0.10±0.04 ^b
	苯乙醇	1 909	0.00±0.00 ^a	0.17±0.01 ^b
	总计		11.72±1.15	19.65±2.18
醛类	戊醛	972	3.81±1.07	8.77±0.62
	己醛	1 085	57.39±3.35	70.56±1.38
	庚醛	1 178	9.78±1.68	10.31±0.34
	辛醛	1 282	11.99±1.54	13.55±0.30
	壬醛	1 387	22.25±1.41	22.32±1.94
	E-2-辛烯醛	1 422	0.75±0.14	1.28±0.19
	癸醛	1 493	1.73±0.38	2.37±0.70
	苯甲醛	1 514	2.21±0.27	2.77±0.06
	柠檬醛	1 678	0.00±0.00 ^a	0.51±0.05 ^b
	十二醛	1 707	0.00±0.00 ^a	0.16±0.02 ^b
	E-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛	1 728	0.56±0.24	0.97±0.04
	E,E-2,4-十二烯醛	1 808	0.31±0.05	0.38±0.08
	十四醛	2 134	0.00±0.00 ^a	0.36±0.01 ^b
	总计		110.78±7.99	134.30±2.98
酮类	仲辛酮	1 278	0.16±0.04 ^a	0.00±0.00 ^b
	6-甲基-5-庚烯-2-酮	1 331	0.99±0.24	1.81±0.01
	2-壬酮	1 383	0.06±0.03 ^a	0.00±0.00 ^b
	总计		1.20±0.25	1.81±0.01
酸类	己酸	1 841	0.18±0.03	0.35±0.00
酯类	乙酸乙酯	887	0.84±0.26 ^a	0.00±0.00 ^b
	乳酸乙酯	933	10.90±0.31 ^a	0.00±0.00 ^b
	乙酸冰片酯	1 580	0.00±0.00 ^a	0.22±0.02 ^b
	总计		12.00±0.55 ^a	0.22±0.02 ^b

续表1

种类	挥发性风味物质 名称	KI	峰面积 (×10 ⁷ AU)	
			杀菌前	杀菌后
烷烃	正辛烷	803	0.64±0.13 ^a	0.00±0.00 ^b
	2,2,4,6,6-五甲基庚烷	957	1.13±0.26 ^a	2.40±0.08 ^b
	2,2,4,4-四甲基辛烷	1 012	0.20±0.03 ^a	0.00±0.00 ^b
	癸烷	1 098	0.16±0.05 ^a	0.00±0.00 ^b
	环氧庚烷	1 140	0.17±0.09 ^a	0.00±0.00 ^b
	十甲基环五硅氧烷	1 165	0.45±0.06 ^a	0.00±0.00 ^b
	十二烷	1 191	0.81±0.18 ^a	0.00±0.00 ^b
	十四烷	1 297	0.00±0.00 ^a	0.16±0.09 ^b
	3-甲基十三烷	1 365	0.16±0.01 ^a	0.00±0.00 ^b
	环氧辛烷	1 446	17.17±0.28 ^a	0.00±0.00 ^b
	1,2-环氧十六烷	1 599	0.17±0.02	0.11±0.02
	总计		21.07±0.01 ^a	2.68±0.14 ^b
烯烃	β-蒎烯	1 017	0.51±0.01	0.73±0.05
	蒎烯	1 062	1.47±0.10 ^a	0.00±0.00 ^b
	月桂烯	1 157	0.45±0.25 ^a	5.10±0.24 ^b
	2-甲基-3-乙基-1,3-己二烯	1 408	0.40±0.07	0.00±0.00 ^b
	总计		2.84±0.24 ^a	5.83±0.29 ^b
芳香烃	甲苯	1 036	3.58±0.81	1.38±0.08
	对二甲苯	1 128	1.50±0.69 ^a	0.00±0.00 ^b
	间二甲苯	1 133	3.67±1.39 ^a	0.00±0.00 ^b
	邻二甲苯	1 173	2.86±1.57 ^a	0.00±0.00 ^b
	总计		11.60±4.45 ^a	1.38±0.08 ^b
萜类	薑萜	1 721	0.00±0.00 ^a	1.03±0.02 ^b
杂环化合物	2-正戊基呋喃	1 226	0.00±0.00 ^a	2.89±0.01 ^b
	合计		171.13±14.59	170.13±4.61

注: AU为总离子色谱图的面积单位; 0.00±0.00表示未检出; 同行小写字母不同, 表示杀菌前后差异显著($P < 0.05$)。下同。

由表1可知: 杀菌前后产品中总挥发性风味物质的色谱峰面积基本相同, 分别为 171.13×10^7 、 170.13×10^7 AU, 没有显著性差异; 杀菌前后产品中检出的挥发性风味物质种类也基本相同, 主要包括醇类、醛类、酮类、酸类、酯类、烃类和杂环化合物, 其中醛类化合物的种类和含量最多, 这与王春青等^[6]关于蒸煮鸡肉的研究结果相似。但是, 杀菌后产品中检出的挥发性风味物质的数量明显减少, 由杀菌前的41种减少至32种, 表明杀菌处理能够导致黄焖鸡产品中挥发性风味物质的数量发生变化。

杀菌前后的黄焖鸡产品中分别检出7、8种醇类化合物, 分别占挥发性风味物质总量的6.84%和11.55%。肉制品中的醇类化合物主要来源于脂肪的氧化^[7], 本研究中黄焖鸡产品中醇类物质的生成可能是调味料和脂肪氧化共同作用的结果。Marušić等^[8]的研究表明, 饱和醇类化合物的阈值较高, 对肉类风味的贡献较小; 不饱和醇类化合物的阈值较低, 对鸡肉风味的形成有一定作用。杀菌后, 黄焖鸡产品中不饱和醇类化合物的含量明显增加, 其中1-辛烯-3-醇的含量变化最为明显, 其色谱峰面积由杀菌前的 $(0.00 \pm 0.00) \times 10^7$ AU增加到 $(12.34 \pm 1.29) \times 10^7$ AU, 与张玉玉等^[9]关于鸡肉炖煮前后挥发性风味物质变化情况

的研究结果一致。1-辛烯-3-醇是蒸煮鸡肉和鸡肉香精的特征风味物质之一,这种不饱和醇含量的增加会使产品本身的鸡肉风味有所增强。

肉制品中醛类化合物也主要由脂肪氧化产生^[10],本研究中黄焖鸡产品中醛类物质的生成可能是调味料和脂肪氧化共同作用的结果。醛类化合物阈值较低,对鸡肉产品特征风味的形成起着不可替代的作用^[11]。在杀菌前后检出的挥发性风味物质中,醛类化合物的种类和含量最为丰富,杀菌前后分别检出10、13种醛类化合物,分别占挥发性物质总量的64.64%和78.94%。国内外其他鸡肉产品中所检出的挥发性风味物质也以醛类化合物为主^[12]。醛类化合物中的烯醛和二烯醛是鸡肉脂肪受热时形成特征香气的主要物质,若除去这些不饱和醛类化合物,鸡肉产品会失去其独特香气,从而产生类似牛肉的气味^[13]。杀菌前后均检出*E*-2-辛烯醛和*E,E*-2,4-癸二烯醛2种不饱和醛,且杀菌后二者的含量有所增加,但均无显著性差异。除了不饱和醛之外,己醛、辛醛、壬醛等饱和醛也参与鸡肉产品的风味构成^[14]。在杀菌前后检出的饱和醛中,己醛的含量最高,分别占挥发性风味物质总量的33.54%和41.47%,这表明己醛是产品中主要的挥发性风味物质,杀菌处理对己醛的含量没有显著影响。

肉制品中的酮类化合物主要来源于脂肪氧化或微生物作用^[10],本研究中黄焖鸡产品中酮类物质的生成可能是调味料和脂肪氧化共同作用的结果,其种类很少,但也对鸡肉风味的形成起着一定作用^[15]。杀菌前产品中检出3种酮类化合物,杀菌后产品中检出1种,分别占挥发性风味物质总量的0.70%和1.06%。其中,6-甲基-5-庚烯-2-酮在杀菌前后均被检出,该物质在德州扒鸡、烧鸡等其他鸡肉产品中也检出,是鸡肉产品的特征风味物质^[16-17]。此外,6-甲基-2-庚酮也是鸡肉特征香味的重要来源^[18],但本研究中没有检出6-甲基-2-庚酮,这可能与实验条件有关。

酯类化合物通常由游离脂肪酸和醇相互作用形成,大多具有芳香气味^[19];酸类化合物主要来源于酯类化合物的加热氧化或酶解,其自身的挥发性较低,对肉类香气的贡献很小^[20]。杀菌前产品中共检出2种酯类化合物和1种酸类化合物,分别占挥发性风味物质总量的7.00%和0.11%,杀菌后产品中共检出1种酯类化合物和1种酸类化合物,分别占挥发性风味物质总量的0.21%和0.13%。可以看出,杀菌后产品中酯类化合物的含量显著下降,这主要是由乳酸乙酯含量的显著降低导致的,而杀菌前后酸类化合物的含量无显著变化。杀菌后,产品中乳酸乙酯的色谱峰面积由杀菌前的 $(10.90 \pm 0.31) \times 10^7$ AU减少至 $(0.00 \pm 0.00) \times 10^7$ AU,乳酸乙酯主要来源于产品制作时加入的白酒,是酒中主要的挥发性风味物质^[21],这表明杀菌处理会使产品的酒香减弱,从而可能使产品的鸡肉风味变得明显。

杀菌前产品中共检出10种烷烃、4种烯烃和4种芳香烃,分别占挥发性风味物质总量的12.29%、1.66%和6.77%,杀菌后产品中共检出3种烷烃、2种烯烃和1种芳香烃,分别占挥发性风味物质总量的1.58%、3.43%和0.81%。可以看出,杀菌后产品中脂肪烃和芳香烃的含量均显著降低。烃类化合物的形成与脂质氧化和热分解关系密切,由于自身的香味阈值很高,烃类化合物一般被认为对鸡肉香气的形成无特殊贡献^[22]。

杂环类化合物主要来源于氨基酸和还原糖之间的美拉德反应及氨基酸的热解等^[22],杂环类化合物多数具有肉香,有的还具有洋葱样香气,这些化合物阈值较低,对鸡肉产品的风味形成至关重要,也是构成鸡汤风味的主要成分^[23]。杀菌后产品中检出1种杂环化合物即2-正戊基呋喃,占挥发性风味物质总量的1.70%,在杀菌前未检出任何杂环化合物。研究表明,2-正戊基呋喃由亚油酸氧化形成,被认为是鸡肉产品中重要的特征风味物质^[24],因此杀菌后产品本身的鸡肉风味有所增强。此外,杀菌后的产品中还检出了少量萜类化合物,占挥发性风味物质总量的0.61%,萜类化合物具有令人愉悦的柠檬、柑橘香气,其主要来源于香辛料,也可能来源于鸡饲料^[25]。

2.2 复热前后黄焖鸡产品中挥发性风味物质的变化情况

表2 水浴复热前后黄焖鸡产品中的挥发性风味物质
Table 2 Volatile compounds in braised chicken before and after reheating

种类	挥发性风味物质 名称	KI	峰面积 ($\times 10^7$ AU)	
			水浴复热前	水浴复热后
醇类	桉叶油醇	1 200	1.78 ± 0.41^a	0.00 ± 0.00^b
	戊醇	1 248	1.48 ± 0.03^a	2.31 ± 0.38^b
	己醇	1 351	0.64 ± 0.03^a	1.27 ± 0.19^b
	1-辛烯-3-醇	1 446	8.60 ± 0.47	9.58 ± 0.63
	庚醇	1 452	0.00 ± 0.00^a	0.66 ± 0.00^b
	2-乙基-1-己醇	1 485	0.63 ± 0.00^a	0.00 ± 0.00^b
	2,4-二甲基环己醇	1 536	0.82 ± 0.03^a	0.00 ± 0.00^b
	芳樟醇	1 600	0.00 ± 0.00^a	1.55 ± 0.12^b
	辛醇	1 553	1.26 ± 0.01^a	1.89 ± 0.16^b
	4-萜烯醇	1 600	0.00 ± 0.00^a	0.69 ± 0.03^b
	<i>E</i> -2-辛烯-1-醇	1 608	0.56 ± 0.02^a	1.03 ± 0.10^b
	糠醇	1 650	0.17 ± 0.01^a	0.28 ± 0.03^b
	2-苄醇	1 700	0.00 ± 0.00^a	1.08 ± 0.10^b
	香叶醇	1 841	0.00 ± 0.00^a	0.39 ± 0.00^b
	苯乙醇	1 908	0.32 ± 0.02	0.18 ± 0.00
	总计		16.25 ± 0.05^a	20.91 ± 1.42^b
	3-甲基丁醛	914	0.00 ± 0.00^a	0.65 ± 0.28^b
醛类	戊醛	972	4.22 ± 0.33	7.52 ± 1.08
	己醛	1 084	60.19 ± 3.54	64.14 ± 5.50
	庚醛	1 179	8.00 ± 1.52	10.00 ± 0.54
	辛醛	1 283	13.67 ± 0.11	16.04 ± 0.07
	壬醛	1 389	25.60 ± 0.56	23.84 ± 0.84
	<i>E</i> -2-辛烯醛	1 423	0.60 ± 0.05^a	1.35 ± 0.14^b
	癸醛	1 493	1.38 ± 0.13	1.74 ± 0.04
	苯甲醛	1 515	3.08 ± 0.18	3.03 ± 0.15
	6-壬烯醛	1 531	0.23 ± 0.01^a	0.00 ± 0.00^b



续表2

挥发性风味物质		KI	峰面积 (×10 ⁷ AU)	
种类	名称		水浴复热前	水浴复热后
酮类	6,6-二甲基二环[3.1.1]庚-2-烯-2-甲醛	1 629	0.00±0.00 ^a	0.11±0.02 ^b
	<i>E</i> -2-癸烯醛	1 641	0.00±0.00 ^a	1.61±0.09 ^b
	<i>E</i> -3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛	1 729	0.00±0.00 ^a	3.35±0.42 ^b
	<i>E,E</i> -2,4-十二烯醛	1 809	0.00±0.00 ^a	0.22±0.03 ^b
	总计		116.96±1.70 ^a	130.60±6.06 ^b
	仲辛酮	1 279	1.63±0.08 ^a	0.00±0.00 ^b
	6-甲基-5-庚烯-2-酮	1 332	1.99±1.74 ^a	8.91±0.66 ^b
	2-壬酮	1 384	0.24±0.00 ^a	0.39±0.00 ^b
	2-癸酮	1 489	0.08±0.00 ^a	0.20±0.04 ^b
	2-十一酮	1 554	0.25±0.13 ^a	0.00±0.00 ^b
酸类	己酸	1 841	0.20±0.00 ^a	0.00±0.00 ^b
	乙酸乙酯	901	1.55±0.16 ^a	0.00±0.00 ^b
	乳酸乙酯	933	12.24±0.80	10.83±0.06
酯类	<i>Z</i> -2-甲基-5-(1-甲基乙烯基)-2-环己烯-1-醇乙酸酯	1 148	0.00±0.00 ^a	0.44±0.15 ^b
	乙酸丁酯	1 075	2.89±0.15 ^a	0.00±0.00 ^b
	乳酸丙酯	1 337	0.00±0.00 ^a	0.08±0.00 ^b
	乙酸冰片酯	1 580	0.67±0.10 ^a	0.00±0.10 ^b
	乙酸香茅酯	1 657	0.41±0.03 ^a	0.00±0.10 ^b
	乙酸香叶酯	1 751	0.99±0.03 ^a	0.00±0.10 ^b
	总计		18.75±1.11	11.36±0.04
烷烃	正辛烷	812	5.02±0.67 ^a	0.00±0.00 ^b
	正丁烷	813	0.00±0.00 ^a	3.08±0.40 ^b
	2,2,4,6,6-五甲基庚烷	957	1.62±0.30 ^a	3.77±0.21 ^b
	2,2,4,4-四甲基辛烷	1 012	0.16±0.03 ^a	0.00±0.00 ^b
	十甲基环五硅氧烷	1 165	0.53±0.09 ^a	0.00±0.00 ^b
	3-甲基十三烷	1 367	0.14±0.02	0.25±0.02
	环氧十六烷	1 600	0.16±0.01 ^a	0.00±0.00 ^b
烯烃	总计		7.63±1.11	7.11±0.21
	茨烯	1 062	0.55±0.01 ^a	0.00±0.00 ^b
	β-蒎烯	1 115	0.00±0.00 ^a	0.23±0.01 ^b
	桉烯	1 119	0.00±0.00 ^a	0.45±0.05 ^b
	月桂烯	1 163	20.21±5.34	10.27±1.23
	柠檬烯	1 191	0.00±0.00 ^a	16.51±8.52 ^b
	紫苏烯	1 413	0.00±0.00 ^a	0.30±0.06 ^b
	茴香烯	1 825	0.00±0.00 ^a	0.16±0.13 ^b
	总计		20.76±5.33	27.91±9.89
芳香烃	乙苯	1 123	0.36±0.03 ^a	0.00±0.00 ^b
	2-乙基甲苯	1 252	0.29±0.08	0.20±0.09
	间异丙基甲苯	1 264	0.00±0.00 ^a	1.63±0.28 ^b
	1,2,3-三乙基苯	1 274	0.00±0.00 ^a	0.85±0.07 ^b
	1-甲基-4-(1-甲基乙烯基)苯	1 432	0.00±0.00 ^a	0.28±0.03 ^b
杂环化合物	总计		0.65±0.01 ^a	2.96±0.46 ^b
	2-乙酰基吡咯	1 967	0.13±0.00	0.11±0.01
	2-正戊基咪喃	1 224	2.62±2.76	2.94±0.15
萜类	总计		2.83±0.06	3.06±0.16
	薑萜	1 721	0.00±0.00 ^a	3.06±0.63 ^b
合计			188.08±5.03 ^a	219.44±2.90 ^b

由表2可知:复热后产品中总挥发性风味物质的色谱峰面积显著增加,由复热前的(188.08 $\pm$ 5.03) $\times 10^7$ AU增加至复热后的(219.44 $\pm$ 2.90) $\times 10^7$ AU,这主要是

由醛类化合物色谱峰面积的增加导致的;复热前后产品中检出的挥发性风味物质种类基本相同,主要包括醇类、醛类、酮类、酸类、酯类、烃类和杂环化合物,其中醛类化合物的种类和含量最多。复热后产品中检出的挥发性风味物质数量明显增加,由复热前的43种增加至49种,表明复热处理能够导致黄焖鸡产品中挥发性风味物质种类的变化,这与马文睿等^[26]对于复热前后冷冻预油炸鸡肉挥发性风味物质变化情况的研究结果相符。

复热前后的黄焖鸡产品中分别检出10、12种醇类化合物,分别占挥发性风味物质总量的8.74%和9.44%。复热后,产品中醇类化合物的含量明显增加,但1-辛烯-3-醇等鸡肉特征香气物质的含量无显著变化。与复热前产品相比,复热后产品中己醇和庚醇的含量均显著增加,这2种物质为鸡肉中脂肪的氧化产物,具有油脂味^[27]。

复热前后产品中所检出的挥发性风味物质中,醛类化合物的种类和含量均最为丰富,复热前后分别检出9、13种醛类化合物,分别占挥发性风味物质总量的62.88%和58.96%,复热后,产品中醛类化合物的含量显著增加。在复热前后产品中检出的饱和醛中,己醛的含量均最高,分别占挥发性风味物质总量的32.36%和28.96%,这表明己醛是产品中主要的挥发性风味物质,但复热处理并未对己醛的含量产生显著影响。与复热前产品相比,复热后产品中*E,E*-2,4-癸二烯醛、*E*-2-辛烯醛等不饱和醛的含量显著增加。*E,E*-2,4-癸二烯醛由亚油酸自动氧化形成,具有强烈的鸡油味,是鸡肉香气的特征化合物,并且对鸡汤风味的形成起着决定性作用^[28]; *E*-2-辛烯醛虽然含量很低,但由于其阈值(0.07 $\mu\text{g/kg}$)极低,因此也被认为是鸡肉产品中重要的特征风味物质^[29]。因此,复热处理会使产品本身的鸡肉风味有所增强。

复热前产品中共检出5种酮类化合物,复热后产品中检出3种,分别占挥发性风味物质总量的2.18%和4.29%。复热后,产品中酮类化合物的含量显著增加,这主要是由6-甲基-5-庚烯-2-酮含量的增加造成的,该物质的色谱峰面积由复热处理前的(1.99 $\pm$ 1.74) $\times 10^7$ AU增加至复热后的(8.91 $\pm$ 0.66) $\times 10^7$ AU。6-甲基-5-庚烯-2-酮是许多鸡肉产品中共有的特征挥发性物质,因此复热后该物质含量的增加会使产品本身的鸡肉风味有所增强。

复热前后产品中检出的挥发性风味物质中,酯类化合物和酸类化合物的种类和含量均很少。复热前产品中检出6种酯类化合物和1种酸类化合物,分别占挥发性风味物质总量的8.96%和0.11%;复热后产品中检出6种酯类化合物,占挥发性风味物质总量的6.06%,未检出酸类化合物。复热后,产品中由短链脂肪酸生成的酯类化合物含量显著降低。酯类化合物中由短链脂肪酸生成的酯呈典型的果香味,是许多水果中的特征挥发性成分^[30]。



因此,复热处理后产品中的果香减弱,从而可能使产品中的鸡肉风味变得明显。

复热前产品中共检出6种烷烃化合物、2种烯烃化合物和2种芳香烃化合物,分别占挥发性风味物质总量的3.06%、0.24%和0.64%;复热后产品中共检出3种烷烃化合物、6种烯烃化合物和4种芳香烃化合物,分别占挥发性风味物质总量的3.21%、12.60%和1.34%。复热处理后,产品中脂肪烃和芳香烃的含量均无显著变化。月桂烯是复热前后产品中检出的主要烃类化合物,该物质主要来源于产品制作时加入的辣椒^[31]。

复热前后产品中均检出2种杂环化合物,分别占挥发性风味物质总量的1.52%和1.38%。复热处理后,产品中杂环化合物的含量无显著变化,其中,2-正戊基呋喃是产品的特征风味化合物,而2-乙酰基吡咯则主要来源于产品制作时添加的黄豆酱^[32]。此外,复热后的产品中还检出少量薑萜,该物质占挥发性风味物质总量的1.38%。

3 结论

本研究利用SPME-GC-MS法分析杀菌和复热工艺对黄焖鸡产品中挥发性风味物质的影响,结果表明:杀菌和复热前后的黄焖鸡产品中检出的挥发性风味物质主要包括醇类、醛类、酮类、酯类、酸类、烃类和杂环化合物,其中醛类化合物是主要的挥发性风味物质,尤以己醛的含量最高;杀菌后,黄焖鸡产品中挥发性风味物质的含量变化不显著,挥发性风味物质数量明显减少,其中烃类化合物和乳酸乙酯的含量显著降低,鸡肉产品的特征风味物质1-辛烯-3-醇和2-正戊基呋喃的含量显著增加,表明杀菌工艺能使产品本身的鸡肉风味有所增强;复热后,黄焖鸡产品中挥发性风味物质的种类和含量均显著增加,其中由短链脂肪酸生成的酯含量显著降低,鸡肉产品的特征风味物质烯醛、二烯醛和6-甲基-5-庚烯-2-酮的含量显著增加,表明复热工艺能使产品本身的鸡肉风味有所增强。

参考文献:

- [1] KRUK Z A, YUN H, RUTLEY D L, et al. The effect of high pressure on microbial population, meat quality and sensory characteristics of chicken breast fillet[J]. Food Control, 2011, 22(1): 6-12. DOI:10.1016/j.foodcont.2010.06.003.
- [2] SOHAIB M, ANJUM F M, IMRAN M, et al. Oxidative stability and lipid oxidation flavoring volatiles in antioxidants treated chicken meat patties during storage[J]. Lipids in Health and Disease, 2017, 16(1): 27. DOI:10.1186/s12944-017-0426-5.
- [3] WEI Xiuli, WANG Chunqing, ZHANG Chunhui, et al. A combination of quantitative marinating and Maillard reaction to enhance volatile flavor in Chinese marinated chicken[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2017, 97(3): 823-831. DOI:10.1002/jsfa.7803.
- [4] 李星, 布丽君, 张晓春, 等. 微波杀菌对卤鹅挥发性风味成分的影响研究[J]. 食品工业科技, 2017, 38(14): 97-100; 105. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2017.14.019.
- [5] 苏里阳, 王方定, 刘小菊, 等. 红外电烤箱复热冷藏烤全羊风味物质的分析[J]. 肉类研究, 2017, 31(1): 32-36. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-201701006.
- [6] 王春青, 李学科, 张春晖, 等. 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. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.1.036.
- [7] 唐道邦, 黄彬, 黄金枝, 等. 不同卤制工艺对盐水鸡肉风味物质含量的影响[J]. 中国调味品, 2015, 40(7): 37-42. DOI:10.3969/j.issn.1000-9973.2015.07.007.
- [8] MARUŠIĆ N, VIDAČEK S, JANČI T, et al. Determination of volatile compounds and quality parameters of traditional istrian dry-cured ham[J]. Meat Science, 2014, 96(4): 1409-1416. DOI:10.1016/j.meatsci.2013.12.003.
- [9] 张玉玉, 陈怡颖, 孙颖, 等. 热反应鸡肉香精与水煮鸡肉挥发性风味成分的对比分析[J]. 中国食品学报, 2016, 16(8): 241-247. DOI:10.16429/j.1009-7848.2016.08.033.
- [10] 梁晶晶, 曹长春, 王蒙, 等. 采用SDE结合SAFE分析炖煮鸡胸肉产生的风味物质[J]. 食品工业科技, 2016, 37(4): 57-67. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2016.04.003.
- [11] HUANG Yechuan, LI Hongjun, HE Zhifei, et al. Study on the flavor contribution of phospholipids and triglycerides to pork[J]. Food Science and Biotechnology, 2010, 19(5): 1267-1276. DOI:10.1007/s10068-010-0181-0.
- [12] 李耀. 浅谈鸡肉风味物质呈味机理[J]. 食品工业科技, 2011, 32(3): 446-449; 452. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2011.03.119.
- [13] JAVASENA D D, AHN D U, NAM K C, et al. Flavour chemistry of chicken meat: a review[J]. Food Science and Technology, 2013, 26(5): 732-742. DOI:10.5713/ajas.2012.12619.
- [14] SCHINDLER S, KRINGS U, BERGER R G, et al. Aroma development in high pressure treat beef and chicken meat compared to raw and heat treated[J]. Meat Science, 2010, 86(2): 317-323. DOI:10.1016/j.meatsci.2010.04.036.
- [15] OSÓRIO V M, CARDEAL Z L. Analytical methods to assess carbonyl compounds in foods and beverages[J]. Plating and Surface Finishing, 2013, 24(11): 1711-1718. DOI:10.5935/0103-5053.20130236.
- [16] 田毅峰, 张秀梅, 赵倩, 等. 德州扒鸡风味物质分析及保鲜技术的研究[J]. 食品研究与开发, 2013, 34(22): 46-48. DOI:10.3969/j.issn.1005-6521.2013.22.014.
- [17] 孔宇, 李娜, 薛丽丽, 等. HS-SMPE-GC-MS分析不同烧鸡中的挥发性风味物质[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(14): 164-168. DOI:10.3969/j.issn.1005-6521.2017.14.035.
- [18] 陈建良, 芮汉明, 陈号川. 不同鸡种的鸡肉挥发性风味特性的比较研究[J]. 现代食品科技, 2009, 25(10): 1129-1134. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2009.10.010.
- [19] JAYASENA D D, KIM S H, LEE H J, et al. Comparison of the amounts of taste-related compounds in raw and cooked meats from broilers and Korean native chickens[J]. Poultry Science, 2014, 93(12): 3163-3170. DOI:10.3382/ps.2014-04241.
- [20] HOA V B, KYEONG S R, NGUYEN T K L, et al. Influence of particular breed on meat quality parameters, sensory characteristics and volatile components[J]. Food Science and Biotechnology, 2013, 22(3): 651-658. DOI:10.1007/s10068-013-0127-4.
- [21] 纪南, 廖永红, 丁芳, 等. 市售5种酱香型白酒挥发性风味物质的主成分分析[J]. 酿酒科技, 2016(9): 17-22; 30. DOI:10.13746/j.njki.2016241.



- [22] 唐春红, 陈旭华, 张春晖, 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/spkx1002-6630-201414024.
- [23] MA Q L, HAMID N, BEKHIT A E D, 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(4): 430-439. DOI:10.1016/j.meatsci.2012.05.006.
- [24] MAUGHAN C, MARTINI S. Identification and quantification of flavor attributes present in chicken, lamb, pork, beef, and turkey[J]. Journal of Food Science, 2012, 77(2): 115-121. DOI:10.1111/j.1750-3841.2011.02574.
- [25] 范婷婷, 郑福平, 张逸君, 等. 不同蒸制时间条件下鸡胸肉挥发性成分比较[J]. 食品科学, 2014, 35(22): 115-120. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201422021.
- [26] 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): 118-121. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2009.11.029.
- [27] 何小燕, 田洪磊, 詹萍, 等. 基于PCA模式不同处理方式鸡脂挥发性成分与化学指标相关性研究[J]. 中国油脂, 2016, 41(4): 41-45. DOI:10.3969/j.issn.1003-7969.2016.04.010.
- [28] 蔡宇. 鸡汤中关键香气物质的鉴定及其鸡肉香精的制备[D]. 广州: 华南理工大学, 2016.
- [29] 王胜威, 苏伟, 母应春, 等. 顶空固相微萃取气相色谱-质谱分析黄焖乌骨鸡的挥发性物质[J]. 广东农业科学, 2013, 40(12): 107-110. DOI:10.16768/j.issn.1004-874x.2013.12.005.
- [30] RAVID U, ELKABETZ M, ZAMIR C, et al. Authenticity assessment of natural fruit flavour compounds in foods and beverages by auto-HS-SPME stereoselective GC-MS[J]. Flavour and Fragrance Journal, 2010, 25(1): 20-27. DOI:10.1002/ffj.1953.
- [31] 刘艳敏, 吴拥军, 王亚娟, 等. 贵州油辣椒挥发性风味物质分析[J]. 食品科学, 2013, 34(20): 221-227. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201320047.
- [32] 李治华, 王自鹏, 胡静, 等. 传统与商品郫县豆瓣酱挥发性成分的比较分析[J]. 现代食品科技, 2014, 30(4): 268-273; 219. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2014.04.041.