



沟帮子烧鸡加工过程中的滋味及风味物质变化

张风雪, 贾娜, 刘登勇*

(渤海大学食品科学与工程学院, 辽宁省食品安全重点实验室,
生鲜农产品贮藏加工及安全控制技术国家地方联合工程研究中心, 辽宁 锦州 121013)

摘要: 为探究沟帮子烧鸡加工过程中主要呈味物质及主体风味物质的变化规律, 采用高效液相色谱、氨基酸分析仪以及顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用技术检测沟帮子烧鸡油炸及煮制过程中滋味及风味物质的含量变化。结果表明: 沟帮子烧鸡加工过程中的主要滋味来源为游离氨基酸中的谷氨酸和风味核苷酸5'-肌苷酸; 主体风味物质为正己醛、庚醛、癸醛、壬醛和苯甲醛; 煮制工艺是形成烧鸡风味的主要过程。

关键词: 沟帮子烧鸡; 滋味; 风味

Changes in Taste and Flavor Substances during the Processing of Goubangzi Roast Chicken

ZHANG Fengxue, JIA Na, LIU Dengyong*

(National and Local Joint Engineering Research Center of Storage, Processing and Safety Control Technology for Fresh Agricultural and Aquatic Products, Food Safety Key Laboratory of Liaoning Province, College of Food Science and Technology, Bohai University, Jinzhou 121013, China)

Abstract: In order to explore the changes in the main taste and flavor substances during the processing of Goubangzi roast chicken, high performance liquid chromatography, an amino acid analyzer and solid-phase microextraction combined with gas chromatography-mass spectrometry were used to quantify the taste and flavor substances of Gongbangzi roast chicken during frying and boiling. The results showed that glutamic acid and flavor nucleotide 5'-inosine acid were the main taste substances during the processing of roast chicken; the main flavor substances were *n*-hexanal, heptaldehyde, furfural, furfural and benzaldehyde. The flavor of roast chicken was formed mainly during the boiling process.

Keywords: Goubangzi roast chicken; taste; flavor

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-201809005

中图分类号: TS251.6

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2018) 09-0023-06

引文格式:

张风雪, 贾娜, 刘登勇. 沟帮子烧鸡加工过程中的滋味及风味物质变化[J]. 肉类研究, 2018, 32(9): 23-28. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-201809005. <http://www.rlyj.pub>

ZHANG Fengxue, JIA Na, LIU Dengyong. Changes in taste and flavor substances during the processing of Goubangzi roast chicken[J]. Meat Research, 2018, 32(9): 23-28. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-201809005. <http://www.rlyj.pub>

烧鸡是我国传统加工肉制品, 历史悠久, 产品具有香味浓郁、酥香软烂、肥而不腻等特点, 深受广大消费者的青睐^[1]。各地的烧鸡品种数不胜数, 其中沟帮子烧鸡是锦州地区的特色美食, 具有造型美观、色泽鲜艳、风味独特、肉嫩易嚼、营养丰富等特点^[2]。风味是肉品最重要的食用品质之一, 它包括滋味和香味^[3-4]。滋味是指味

觉方面的效应, 其呈味物质是可溶于水的小分子物质, 因为只有溶于水且能进入味蕾孔并刺激味蕾细胞的物质才能产生滋味^[5]。许多游离氨基酸、肽、有机酸、盐和核苷酸是肉制品的滋味呈味物^[6]。香味主要依靠挥发性风味物质体系来体现。挥发性风味物质是一类小分子, 是食品最重要的感官质量指标之一^[7]。产生挥发性风味的物质主

收稿日期: 2018-05-11

基金项目: “十三五”国家重点研发计划重点专项 (2017YFD0400106, 2016YFD0401505);

辽宁省高等学校产业技术研究院重大应用研究项目 (041804)

第一作者简介: 张风雪 (1994—), 女, 硕士研究生, 研究方向为肉品加工及质量控制。E-mail: zfx2295441192@163.com

*通信作者简介: 刘登勇 (1979—), 男, 教授, 博士, 研究方向为肉品加工及质量安全控制、食品风味与感官科学。

E-mail: jz_dyliu@126.com

要有醛类、醇类、酸类及酯类等, 呈味性能取决于其分子结构及所含官能团^[8]。目前, 顶空固相微萃取-气相色谱-质谱 (solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectroscopy, SPME-GC-MS) 技术是食品挥发性风味研究的重要方法^[9-10]。长期以来, 有关烧鸡的研究大多集中于对传统工艺的改进, 或者是对成品烧鸡的基础研究, 对烧鸡加工过程中风味物质变化的研究较少。基于此, 本研究从风味角度入手, 分析沟帮子烧鸡在油炸和煮制不同时间时游离氨基酸、核苷酸及挥发性风味物质的变化, 探讨影响沟帮子烧鸡风味形成的主要风味物质, 为进一步改进沟帮子烧鸡加工工艺以及开发新产品提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

1 000~1 300 g健壮小公鸡30只, 购于当地农贸市场。

5'-鸟苷酸 (5'-guanylic acid, 5'-GMP)、5'-腺苷二磷酸 (5'-adenosine diphosphate, 5'-ADP)、5'-腺苷-磷酸 (5'-adenosine monophosphate, 5'-AMP)、5'-肌苷酸 (5'-inosine acid, 5'-IMP)、次黄嘌呤 (hypoxanthine, HX)、肌苷 (inosine, I) (均为色谱纯) 美国Sigma公司; 三乙胺、甲醇、氨基酸混合物标准溶液均为国产色谱纯; 氢氧化钠、乙醇、氯化钠、盐酸等均为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

Agilent 1100系列高效液相色谱仪 美国Agilent公司; 835-50A2-3氨基酸自动分析仪 日本日立公司; DF-101S集热式恒温加热磁力搅拌器 郑州长城科工贸有限公司; Agilent 7890N/5975 GC-MS仪 美国Agilent公司; 固相微萃取装置、20 mL顶空钳口样品瓶、50/30 μ m DVB/CAR/PDMS萃取头 美国Supelco公司。

1.3 方法

1.3.1 烧鸡加工工艺流程及样品制备

烧鸡加工工艺流程: 选料→宰杀→脱毛净膛→造型→涂糖→油炸→配料→煮制→成品→包装

将烧鸡样品共分为5个处理组, 包括原料肉、清水煮制 (不添加任何香辛料煮制1 h)、油炸 (180 $^{\circ}$ C, 2 min)、油炸后煮制0.5 h (添加香辛料煮制0.5 h) 和油炸后煮制1 h (添加香辛料煮制1 h) 组。所有煮制过程中鸡净质量与水的质量比为1:4, 所有煮制组食盐在汤料中的含量为0.015 g/mL。每个处理组随机选取5只烧鸡, 取鸡腿肉真空包装 (真空度0.1 MPa, 抽真空时间30 s, 热封时间40 s) 后放入4 $^{\circ}$ C冰箱中备用。

1.3.2 游离氨基酸的测定

参考陶正清等^[11]的方法, 并作适当修改。称取4 g已

绞碎肉样, 加入20 mL质量浓度为3 g/100 mL的磺基水杨酸溶液, 用高速分散器均质 (7 000 r/min, 2 $\times$ 20 s), 离心 (4 $^{\circ}$ C, 10 000 r/min, 15 min), 取上层清液加入2 mL正己烷, 涡旋 (3 000 r/min, 60 s) 混匀振荡, 用0.02 mol/L的盐酸定容至50 mL, 静置分层后用0.22 μ m滤膜过滤, 用氨基酸自动分析仪检测。

1.3.3 核苷酸的测定

标准品溶液配制: 分别准确称取5'-ADP、5'-AMP、5'-IMP、5'-GMP、HX及I标准品各10 mg, 用超纯水溶解, 定容至2 mL, 得到质量浓度均为5 mg/mL的标准储备液, 放置于4 $^{\circ}$ C冰箱中保存, 备用。

混合标准溶液配制: 分别取上述质量浓度5 mg/mL的5'-ADP、5'-AMP、5'-IMP、5'-GMP、HX、I标准品溶液100 μ L于同一1.5 mL的EP管中, 加入400 μ L的超纯水, 得到6种标准品的质量浓度均为500 μ g/mL的混合标准溶液。然后用超纯水稀释成质量浓度分别为400、200、100、50、25、10、5、2.5 μ g/mL的混合标准溶液。

样品提取: 参照Liu Yuan^[12]、Dai Yan^[13]等的方法, 并稍作修改。取10 g已绞碎的肉样, 加入30 mL 5%的高氯酸溶液 (HClO_4), 在冰浴条件下用高速分散器均质 (10 000 r/min, 2 $\times$ 20 s), 再取10 mL 5%的 HClO_4 洗涤分散器, 洗液与均质液合并, 离心 (4 $^{\circ}$ C, 10 000 r/min, 10 min) 后取上清液, 沉淀物用10 mL同浓度的 HClO_4 洗涤, 并在上述相同条件下再次离心, 合并2次上清液。将上清液用中速滤纸过滤, 用1 mol/L和0.5 mol/L的KOH溶液调节pH值至5.4, 用超纯水定容至100 mL, 过0.22 μ m水相滤膜后于高效液相色谱 (high performance liquid chromatography, HPLC) 仪中进样分析。

HPLC条件: 色谱柱为TSK-gel ODS-80TM (日本Tosoh公司) (4.6 mm $\times$ 250 mm, 5 μ m), 柱温30 $^{\circ}$ C, 紫外检测波长254 nm, 进样量10 μ L, 流速0.8 mL/min。流动相: 洗脱液A为甲醇, 洗脱液B为pH值为5.4的0.05 mol/L磷酸二氢钾缓冲液; 流动相经0.45 μ m滤膜过滤后, 在室温下超声脱气30 min。采用二元流动相进行梯度洗脱分离, 检测时间为23 min, 其中甲醇-0.05 mol/L磷酸二氢钾的体积比为: 0 min, 0:10; 11 min, 1:9; 18 min, 0:10; 23 min, 0:10。

1.3.4 挥发性风味物质的测定

准确称取2 g鸡腿肉, 置于20 mL顶空瓶中, 用聚四氟乙烯盖隔热密封, 放置于55 $^{\circ}$ C磁力搅拌器中加热平衡15 min, 用活化好的萃取头顶空吸附40 min, 然后将萃取头放进GC进样口, 解吸5 min。

SPME条件: 将适量样品转移至20 mL顶空瓶中, 快速用聚四氟乙烯隔垫封口; 在一定温度条件下水浴加热, 用萃取针 (已活化) 顶空吸附后, 将萃取针



(75 μm DVB/CAR/PDMS) 插入GC仪进样口进行解吸。根据不同要求设定萃取条件, 每个样品重复3次。

GC条件: 毛细管柱为HP-5MS (30 m $\times$ 0.25 mm, 0.25 μm); 前进样口温度250 $^{\circ}\text{C}$; 载气(He)流速1.0 mL/min; 不分流模式进样; 程序升温: 初始柱温40 $^{\circ}\text{C}$, 保持3 min, 以3 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至70 $^{\circ}\text{C}$, 以5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至180 $^{\circ}\text{C}$, 再以10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至230 $^{\circ}\text{C}$ 并保持5 min。

MS条件: GC-MS接口温度280 $^{\circ}\text{C}$, 离子源温度230 $^{\circ}\text{C}$, 四极杆温度150 $^{\circ}\text{C}$; 电子轰击离子化; 电子能量70 eV; 质量扫描范围 m/z 30~550。

1.4 数据处理

结果表示为平均值 $\pm$ 标准差。采用Statistix 8.1 (StPaul, MN) 软件包中的Linear Models程序进行数据统计分析, 使用Tukey HSD程序进行差异显著性分析($P<0.05$)。挥发性物质通过计算机检索与Nist和Wiley标准质谱库匹配进行定性分析, 采用峰面积归一法进行定量分析。

2 结果与分析

2.1 烧鸡加工过程中的游离氨基酸含量变化

表1 烧鸡加工过程中鸡腿肉的游离氨基酸相对含量变化
Table 1 Changes in relative contents of free amino acids in chicken drumsticks during roast chicken processing

氨基酸名称	组别				
	原料肉	油炸	油炸后煮制0.5 h	油炸后煮制1 h	清水煮制
天冬氨酸(Asp)	1.62 $\pm$ 0.22 ^{ab}	1.57 $\pm$ 0.36 ^{ab}	1.25 $\pm$ 0.23 ^{ab}	0.97 $\pm$ 0.09 ^b	1.70 $\pm$ 0.30 ^a
苏氨酸(Thr)	15.58 $\pm$ 2.88 ^b	22.53 $\pm$ 2.24 ^a	9.96 $\pm$ 0.92 ^c	5.69 $\pm$ 0.49 ^c	9.55 $\pm$ 0.54 ^c
丝氨酸(Ser)	8.33 $\pm$ 0.55 ^{ab}	7.18 $\pm$ 0.26 ^{bc}	6.50 $\pm$ 0.85 ^c	4.28 $\pm$ 0.37 ^d	9.15 $\pm$ 0.34 ^d
谷氨酸(Glu)	8.62 $\pm$ 0.42 ^c	9.71 $\pm$ 0.56 ^{bc}	18.49 $\pm$ 0.57 ^a	19.55 $\pm$ 0.23 ^a	10.46 $\pm$ 0.56 ^b
甘氨酸(Gly)	7.03 $\pm$ 0.45 ^c	7.12 $\pm$ 0.66 ^c	4.84 $\pm$ 0.66 ^b	4.99 $\pm$ 0.87 ^b	8.65 $\pm$ 0.74 ^d
丙氨酸(Ala)	12.67 $\pm$ 0.99 ^b	15.80 $\pm$ 0.36 ^a	10.34 $\pm$ 0.79 ^c	8.01 $\pm$ 0.74 ^d	13.85 $\pm$ 1.03 ^{ab}
半胱氨酸(Cys)	0.20 $\pm$ 0.02 ^b	0.29 $\pm$ 0.04 ^a	0.18 $\pm$ 0.02 ^b	0.20 $\pm$ 0.03 ^b	0.33 $\pm$ 0.04 ^a
缬氨酸(Val)	1.20 $\pm$ 0.24 ^{abc}	1.66 $\pm$ 0.23 ^a	0.88 $\pm$ 0.12 ^c	1.11 $\pm$ 0.18 ^{bc}	1.52 $\pm$ 0.19 ^{ab}
蛋氨酸(Met)	0.81 $\pm$ 0.09 ^a	0.86 $\pm$ 0.07 ^a	0.50 $\pm$ 0.01 ^b	0.55 $\pm$ 0.04 ^b	0.85 $\pm$ 0.10 ^a
异亮氨酸(Ile)	0.69 $\pm$ 0.09 ^{ab}	0.90 $\pm$ 0.12 ^a	0.65 $\pm$ 0.04 ^{bc}	0.45 $\pm$ 0.02 ^c	0.84 $\pm$ 0.08 ^{ab}
亮氨酸(Leu)	1.54 $\pm$ 0.24 ^{ab}	1.94 $\pm$ 0.33 ^a	1.12 $\pm$ 0.14 ^b	1.46 $\pm$ 0.25 ^{ab}	1.88 $\pm$ 0.28 ^a
酪氨酸(Tyr)	1.44 $\pm$ 0.26 ^a	1.22 $\pm$ 0.15 ^{ab}	1.18 $\pm$ 0.09 ^{ab}	0.98 $\pm$ 0.08 ^b	1.48 $\pm$ 0.18 ^a
苯丙氨酸(Phe)	1.30 $\pm$ 0.17 ^b	1.29 $\pm$ 0.21 ^b	1.05 $\pm$ 0.10 ^b	1.11 $\pm$ 0.14 ^b	1.83 $\pm$ 0.22 ^a
赖氨酸(Lys)	19.55 $\pm$ 1.30 ^a	14.52 $\pm$ 1.98 ^b	9.64 $\pm$ 1.23 ^c	4.78 $\pm$ 0.65 ^d	2.56 $\pm$ 0.43 ^d
组氨酸(His)	1.32 $\pm$ 0.19 ^{ab}	1.77 $\pm$ 0.22 ^a	1.42 $\pm$ 0.13 ^{ab}	1.03 $\pm$ 0.20 ^b	1.63 $\pm$ 0.34 ^{ab}
精氨酸(Arg)	3.90 $\pm$ 0.32 ^{bc}	6.80 $\pm$ 0.13 ^a	3.20 $\pm$ 0.20 ^{cd}	2.88 $\pm$ 0.39 ^d	4.14 $\pm$ 0.43 ^b
脯氨酸(Pro)	14.20 $\pm$ 2.30 ^b	14.94 $\pm$ 3.40 ^b	35.82 $\pm$ 5.10 ^a	36.88 $\pm$ 4.40 ^a	17.62 $\pm$ 1.60 ^b

注: 同行小写字母不同, 表示差异显著($P<0.05$)。

游离氨基酸的增加和减少取决于其形成和降解量的比率^[14]。由表1可知, 经过油炸后, 鸡肉中的天冬氨酸、丝氨酸、谷氨酸、甘氨酸、缬氨酸、蛋氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、酪氨酸、苯丙氨酸、组氨酸和脯氨酸相对含量无显著变化($P>0.05$), 苏氨酸、丙氨酸、半

胱氨酸和精氨酸相对含量显著升高($P<0.05$), 赖氨酸相对含量显著降低($P<0.05$), 说明油炸对不同氨基酸具有不同的影响。而吴锁连等^[15]在研究烧鸡加工过程中滋味成分的变化时, 发现油炸工艺对游离氨基酸的作用不明显, 与本研究的结果不一致。

油炸后经0.5 h和1 h的煮制使得除谷氨酸和脯氨酸之外的其他氨基酸含量逐渐减少, 说明烧鸡加工过程中的煮制工艺对烧鸡滋味成分游离氨基酸的作用明显。谷氨酸是很重要的鲜味氨基酸^[16], 与原料肉和油炸后相比, 煮制使鸡肉的谷氨酸相对含量显著增加($P<0.05$), 这与章建浩等^[17]研究金华火腿加工过程中谷氨酸含量变化的结果相符。与原料肉相比, 赖氨酸的相对含量随着加工工艺的进行显著减少($P<0.05$), 这是由于其在加工过程中容易被破坏。鸡肉在煮制1 h前的加工过程中, 由于肌肉蛋白酶、氨肽酶的作用会生成游离氨基酸, 使得游离氨基酸含量增加, 但在煮制后期, 游离氨基酸参与反应生成挥发性化合物, 从而使其含量减少^[17]。

此外, 与原料肉相比, 清水煮制使得鸡肉中除苏氨酸和赖氨酸之外的其他游离氨基酸相对含量均明显升高。清水煮制组与油炸后煮制1 h处理组相比, 除谷氨酸、赖氨酸和脯氨酸外, 其他游离氨基酸的相对含量也均升高, 这可能是由游离氨基酸与煮制汤料中的其他物质发生反应所致。综上所述, 烧鸡加工过程中对滋味起主要作用的是谷氨酸, 煮制工艺是形成烧鸡美味滋味的主要过程。

2.2 烧鸡加工过程中的核苷酸含量变化

表2 烧鸡加工过程中鸡腿肉的核苷酸相对含量变化
Table 2 Changes in relative content of nucleotide in chicken drumsticks during roast chicken processing

组别	mg/100 g					
	HX	5'-GMP	5'-IMP	I	5'-AMP	5'-ADP
原料肉	10.89 $\pm$ 0.70 ^{ab}	2.68 $\pm$ 0.65 ^a	103.16 $\pm$ 5.12 ^a	54.74 $\pm$ 1.06 ^b	1.35 $\pm$ 0.34 ^d	20.00 $\pm$ 1.36 ^c
油炸	9.42 $\pm$ 0.32 ^{bc}	1.89 $\pm$ 0.33 ^{ab}	67.60 $\pm$ 3.30 ^b	59.35 $\pm$ 2.09 ^b	7.40 $\pm$ 1.10 ^{bc}	4.65 $\pm$ 0.52 ^c
油炸后煮制0.5 h	11.94 $\pm$ 0.85 ^a	2.06 $\pm$ 0.27 ^{ab}	97.36 $\pm$ 7.04 ^a	55.68 $\pm$ 2.94 ^b	9.82 $\pm$ 1.06 ^{ab}	5.48 $\pm$ 0.84 ^c
油炸后煮制1 h	11.77 $\pm$ 0.64 ^a	2.77 $\pm$ 0.54 ^a	112.33 $\pm$ 10.22 ^a	89.83 $\pm$ 4.23 ^a	4.48 $\pm$ 0.66 ^{cd}	15.34 $\pm$ 2.93 ^b
清水煮制	9.01 $\pm$ 0.46 ^c	1.04 $\pm$ 0.22 ^b	39.91 $\pm$ 2.49 ^c	52.82 $\pm$ 2.32 ^b	12.30 $\pm$ 2.60 ^a	7.57 $\pm$ 0.74 ^c

注: 同列小写字母不同, 表示差异显著($P<0.05$)。

由表2可知, 与原料肉相比, 油炸后鸡肉的HX、5'-GMP、5'-IMP及5'-ADP相对含量均降低, 这是由于较高的温度可能会破坏鸡肉中的核苷酸, 这与叶藻等^[18]研究得出的低温冷藏的鸡肉风味核苷酸含量显著高于常温处理组的结论相一致。IMP为次黄嘌呤核苷酸或肌苷酸, 是三磷酸腺苷(triphosadenine, ATP)的降解产物之一, 是鸡肉鲜味的主要成分, 可能是肉味的决定因素^[19], 已成为评价肉类鲜味的重要指标之一^[20-21]。

随着油炸后煮制时间的延长, 鸡肉中的2个主要呈

味核苷酸5'-GMP和5'-IMP相对含量逐渐增加,但变化不显著($P>0.05$),在煮制1 h时相对含量达到最大,这可能是由于煮制时间延长,IMP前体物(ATP、ADP、AMP)相关分解酶的活性较大。其中,5'-IMP的相对含量高出其滋味阈值(14 mg/100 g) 8.02 倍之多,说明其对鸡肉的滋味具有重要贡献。此外,除5'-AMP之外,油炸后煮制1 h处理组的其他核苷酸含量均显著高于清水煮制组($P<0.05$),说明利用含香辛料的汤料煮制更利于滋味物质的形成。以上结果说明,在加工工艺过程中影响核苷酸含量变化的主要为煮制工艺。

2.3 烧鸡加工过程中的挥发性风味物质变化

表3 烧鸡加工过程中鸡腿肉的挥发性组分相对含量变化
Table 3 Changes in volatile components in chicken drumsticks at different processing steps

化合物类别	化合物名称	相对含量/%				
		原料肉	油炸	油炸后煮制0.5 h	油炸后煮制1 h	清水煮制
醛类	戊醛 (pentanal)	0.40	0.80	2.70	2.4	2.80
	己醛 (hexanal)	6.70	7.40	—	—	—
	庚醛 (heptanal)	0.80	0.80	2.90	2.70	3.70
	苯甲醛 (benzaldehyde)	0.70	0.20	1.90	2.00	2.70
	反-2-十二烯醛 (E)-2-dodecenal	—	8.90	—	—	—
	壬醛 (nonanal)	5.70	0.10	8.40	11.40	14.60
	癸醛 (decanal)	0.70	0.80	0.60	0.80	0.30
	正己醛 (hexanal)	—	—	31.70	35.40	39.50
	正辛醛 (octanal)	—	—	5.60	6.10	8.40
	(Z)-4-癸烯醛 (cis-4-decenal)	—	—	0.20	—	—
	反-2-癸烯醛 (E)-2-decenal	—	—	0.20	0.10	—
	十三醛 (tridecanal)	—	—	0.30	—	—
	2-十三烯醛 (2-tridecenal)	—	—	0.20	—	—
	十五醛 (pentadecanal)	—	—	0.10	0.60	0.50
	异戊醛 (3-methyl-butanal)	0.70	—	—	—	—
醇类	反-2-辛烯醇 (E)-2-octenal	0.20	—	—	0.60	0.70
	反-2,4-癸二烯醛 (E)-2,4-decadienal	—	—	—	0.20	0.30
	(E,E)-2,4-壬二烯醛 (E,E)-2,4-nonadienal	—	—	—	—	1.00
	十六醛 (hexadecanal)	—	—	—	—	0.40
	十二烷 (dodecane)	0.10	—	0.20	0.30	0.30
	十三烷 (tridecane)	0.30	—	0.20	0.30	0.30
	植烷 (hexadecane,2,6,10,14-tetramethyl-)	5.90	4.40	0.20	0.10	—
	十四烷 (tetradecane)	1.20	0.20	0.20	0.20	0.40
	环十五烷 (cyclopentadecane)	2.00	—	—	—	—
	正十五烷 (pentadecane)	6.90	4.70	0.20	0.40	0.40
	正壬基环己烷 (n-nonylcyclohexane)	1.80	—	—	—	—
	2-溴十二烷 (2-bromo dodecane)	4.10	—	—	—	—
	丙烯基环庚烷 (2-propenyl-cyclohexane)	2.70	—	—	—	—
	正十七烷 (heptadecane)	5.40	4.60	0.30	0.20	0.30
	姥敦烷 (2,6,10,14-tetramethyl-pentadecane)	4.00	5.40	0.20	—	0.10
烷烃类	正十八烷 (octadecane)	3.40	3.30	0.20	0.20	0.10
	1-碘癸烷 (1-iodo-decane)	0.50	—	—	—	—
	正十九烷 (nonadecane)	1.40	1.30	—	0.10	0.20
	正二十烷 (eicosane)	0.80	0.40	0.30	0.10	0.20
	2-氨基戊烷 (2-pentanamine)	0.10	—	—	—	—
	4-甲基辛烷 (4-methyl-octane)	—	0.20	—	—	—
	庚基环己烷 (heptylcyclohexane)	—	0.10	—	—	—
	正三十六烷 (hexatriacontane)	—	0.80	0.10	—	—
	正十一烷 (undecane)	—	—	—	—	—
	正十二烷 (dodecane)	—	—	—	—	—
	正十三烷 (tridecane)	—	—	—	—	—
	正十四烷 (tetradecane)	—	—	—	—	—
	正十五烷 (pentadecane)	—	—	—	—	—
	正十六烷 (hexadecane)	—	—	—	—	—
	正十七烷 (heptadecane)	—	—	—	—	—

续表3

化合物类别	化合物名称	相对含量/%				
		原料肉	油炸	油炸后煮制0.5 h	油炸后煮制1 h	清水煮制
醇类	2-甲基十一烷 (2-methyl-undecane)	—	1.20	—	—	—
	正十一烷基环己烷 (undecyl-cyclohexane)	—	1.70	—	—	—
	正丙基环戊烷 (propyl-cyclopentane)	—	—	0.10	0.10	0.10
	3-甲基十三烷 (3-methyl-tridecane)	0.10	—	0.10	—	—
	正三十一烷 (hentriacontane)	—	—	—	0.10	0.10
	正二十一烷 (heneicosane)	—	—	—	0.20	—
	正三十五烷 (pentatriacontane)	—	—	—	0.10	—
	2,6,10,14-四甲基十五烷 (2,6,10,14-tetramethyl-pentadecane)	—	—	—	0.10	—
	正三十二烷 (dotriacontane)	—	—	—	—	0.10
	正二十六烷 (hexacosane)	—	—	—	—	0.10
	十六烷 (hexadecane)	—	—	—	—	0.10
	正己醇 (1-hexanol)	1.00	—	0.70	—	—
	正庚醇 (1-heptanol)	0.50	0.40	—	0.50	0.60
	1-辛烯-3-醇 (1-octen-3-ol)	2.00	2.80	—	6.20	6.90
	2-乙基己醇 (2-ethyl-1-hexanol)	1.40	—	—	—	—
酮类	苯甲醇 (benzyl alcohol)	0.20	0.20	2.50	—	—
	2-苯基-2-丙醇 (benzenemethanol, α,α -dimethyl-)	0.20	0.40	—	—	—
	芳樟醇 (1,6-octadien-3-ol,3,7-dimethyl-)	0.40	0.20	—	1.00	0.20
	1-壬醇 (1-nonanol)	0.30	0.20	—	—	—
	α -松油醇 (α -terpineol)	0.20	0.20	—	0.40	—
	2-己基-1-癸醇 (2-hexyl-1-decanol)	0.60	5.20	2.60	—	0.10
	2-辛基十二醇 (2-octyl-1-dodecanol)	1.30	—	—	—	—
	桉叶油醇 (eucalyptol)	—	0.80	5.50	2.20	—
	反式-2-壬烯-1-醇 (E)-2-nonen-1-ol	—	0.30	—	—	—
	植物醇 (phytol)	—	0.60	—	—	—
	二十七烷醇 (1-heptacosanol)	—	1.30	—	—	—
	二十八烷醇 (octacosanol)	—	—	0.10	—	—
	二十七醇 (heptacosyl acetate)	—	—	0.10	—	0.10
	1-戊醇 (1-pentanol)	—	—	—	1.00	—
	4-乙基环己醇 (4-ethylcyclohexanol)	—	—	—	0.20	—
酯类	4-萜烯醇 (terpinen-4-ol)	—	—	—	1.50	—
	托品醇 (8-azabicyclo[3.2.1]octan-3-ol,8-methyl-endo-)	—	—	—	0.10	—
	二十六碳醇 (1-hexacosanol)	—	—	—	0.30	—
	苯乙酮 (acetophenone)	0.20	0.10	—	0.20	0.10
	异佛尔酮 (isophorone)	0.10	—	—	—	—
	2-莰酮 (2-camphor)	0.10	—	0.10	—	0.10
	橙花基丙酮 (5,9-undecadien-2-one,6,10-dimethyl-, (Z) -)	1.00	—	—	0.20	0.20
	2-庚酮 (2-heptanone)	—	0.30	0.80	0.90	1.00
	3-甲基-2-环戊烯-1-酮 (3-methyl-2-cyclopenten-1-one)	—	0.10	—	—	—
	甲基庚烯酮 (6-methyl-5-hepten-2-one)	—	0.90	—	—	—
	4-甲基-5-壬酮 (4-methyl-5-nonanone)	—	0.10	—	—	—
	4-壬酮 (4-nonanone)	—	—	7.50	10.30	—
	1,3,3-三甲基-二环[2.2.1]庚-2-酮 (1,3,3-trimethyl-bicyclo[2.2.1]heptan-2-one)	—	—	0.90	—	—
	6,10-二甲基-5,9-十一双烯-2-酮 (6,10-dimethyl-5,9-undecadien-2-one)	—	—	0.10	—	—
	2-羟基苯丁酮 (1-(2-hydroxyphenyl)-1-butanone)	—	—	—	0.10	—
	3-甲基-6-(1-甲基乙基)-2-环己烯-1-酮 (3-methyl-6-(1-methylethyl)-2-cyclohexen-1-one)	—	—	—	—	0.20



续表3

化合物类别	化合物名称	相对含量/%				
		原料肉	油炸	油炸后 煮制0.5 h	油炸后 煮制1 h	清水 煮制
酯类	氯甲酸正辛酯 (octyl chloroformate)	2.20	2.70	0.70	0.80	0.90
	邻苯二甲酸二丁酯 (dibutyl phthalate)	0.80	1.00	—	—	—
	甲酸己酯 (hexyl formate)	—	1.00	—	—	—
	甲酸辛酯 (octyl formate)	—	—	—	0.10	—
	巯基乙酸异辛酯 (isooctyl mercaptoacetate)	—	—	—	0.10	—
	四硫双酯 (dixanthogen)	—	—	—	—	0.10
	乙酸三十酯 (triacontyl acetate)	—	—	—	—	0.10

由表3可知,沟帮子烧鸡中共检测出102种化合物,其中醛类19种、烷烃类38种、醇类25种、酮类13种、酯类7种,以下着重从5种不同的处理方法分析沟帮子烧鸡加工过程中主体风味物质的变化。

原料肉中共检测出45种挥发性风味化合物,其中醛类8种、烷烃类20种、醇类11种、酯类2种、酮类4种。醛类是脂肪降解的主要产物,由于其相对含量较高而感觉阈值却很低,显著促进了烧鸡风味的形成^[22]。其中,庚醛具有强烈而不愉快、粗糙刺鼻的油脂气味,辛醛具有明显的脂肪和水果气味,己醛则呈现清香的青草气味^[23]。苯甲醛已被鉴定为烤花生的主要单羰基化合物,具有令人愉快的杏仁香、坚果香和水果香^[24]。烷烃类物质及大分子烯烃类物质阈值很高,除个别物质外,几乎不产生明显嗅感^[25]。由于醇类和酮类物质的阈值相对较高,它们的风味在肉制品中被认为并不十分重要。

油炸后鸡肉中共检测出40种挥发性风味化合物,其中醛类7种、烷烃类13种、醇类12种、酮类5种、酯类3种。与原料肉相比,油炸后鸡肉中的醛类物质中多了反-2-十二烯醛,少了异戊醛。其中反-2-十二烯醛含量较高,具有丰富的烤肉香气。Zhang等^[19]在研究不同炖锅的温度模式对鸡汤感官风味的影响时,发现(E)-2-辛烯醛、(Z)-2-癸烯醛和(E)-2-壬烯醛等由不饱和脂肪酸的氧化或食物中脂类的热氧化分解形成的羰基化合物是产生烤肉香气的主要原因。这与本研究结果一致,即这些醛类物质的产生赋予产品独特的烤肉香气。醇类物质中的2-己基-1-癸醇相对含量较高,达5.2%,但是一般认为醇类物质来自于脂肪氧化,虽然一级脂肪醇的相对含量比较高,但由于其风味阈值较高,对肉的风味贡献很小。

油炸后煮制0.5 h鸡肉中共检测出36种挥发性风味化合物,其中醛类12种、烷烃类12种、醇类6种、酮类5种、酯类1种。鸡肉中含有一定量的不饱和脂肪酸,不饱和脂肪酸在加热过程中发生氧化作用,生成挥发性风味物质醛、酮类等化合物。与原料肉相比,油炸后煮制0.5 h鸡肉中的醛类物质多了6种,分别为正辛醛、(Z)-4-癸烯醛、反式-2-癸烯醛、十三醛、2-十三(碳)烯醛和十五醛,少了异戊醛和反-2-辛烯醛。癸烯醛可以与酯类物质联

合作用,使烧鸡产生独特风味^[16]。而刘孟健^[26]研究发现,十三醛和十五醛等长链醛对烧鸡风味的贡献极小。

油炸后煮制1 h鸡肉中共检测出43种挥发性风味化合物,其中醛类11种、烷烃类14种、醇类10种、酮类5种、酯类3种,醛类物质的相对含量最高,占62.4%。鉴定出的醛类物质主要为12个碳原子以下的饱和醛和烯醛,饱和醛类主要包括正己醛(35.40%)、正辛醛(6.10%)、壬醛(11.40%)、庚醛(2.70%)和癸醛(0.80%),烯醛主要为反-2-辛烯醛(0.60%)、反式-2-癸烯醛(0.10%)和反式-2,4-癸二烯醛(0.20%)。这些醛类均为鸡肉中常见的醛类,对鸡肉的挥发性风味起重要作用。烷烃类物质的相对含量有所下降,烃类物质主要来自于脂肪酸烷氧自由基的均裂^[27],其中芳香烃被认为是蒸煮鸡肉的主要风味成分。烃类物质的香味阈值较高,对肉品风味的直接贡献不大,但它们可能有助于提高肉品整体风味。

清水煮制的鸡肉中共检测出39种挥发性风味化合物,其中醛类12种、烷烃类14种、醇类5种、酮类5种、酯类3种。与原料肉中相比,清水煮制鸡肉中的醛类物质多了5种,分别为正辛醛、(E,E)-2,4-壬二烯醛、反式-2,4-癸二烯醛、十五醛和十六醛,少了1种-异戊醛。庚醛、辛醛、壬醛和己醛主要来源于油酸、亚油酸、亚麻酸及花生四烯酸等不饱和脂肪酸的氧化。反式-2,4-癸二烯醛也是亚油酸的氧化降解产物,是鸡肉的主体香味成分^[28]。反式-2,4-癸二烯醛呈强烈的鸡香和鸡油味,是调配鸡肉味香精的重要原料^[29]。正辛醛的相对含量为8.4%,壬醛为14.6%,壬醛具有强烈的油脂气味和甜橙味,也是重要的呈味挥发性物质。反-2-辛烯醛贡献了较高的脂肪味和黄瓜味^[30]。

综上所述,沟帮子烧鸡中共检测出五大类挥发性风味物质:醛类、烷烃类、酮类、酯类和醇类。其中,醛类物质阈值较低,成为起主要贡献作用的风味成分。因此,沟帮子烧鸡的主体风味物质为正己醛、庚醛、癸醛、壬醛和苯甲醛。

3 结论

烧鸡加工过程中的主要游离氨基酸为谷氨酸、赖氨酸和脯氨酸;影响游离氨基酸含量变化的是煮制工艺。烧鸡中风味核苷酸5'-IMP的含量高出其滋味阈值8.02倍之多,是构成烧鸡滋味物质的重要来源之一。采用GC-MS仪共检测出五大类挥发性风味物质:醛类、烷烃类、酮类、酯类和醇类,其中,醛类物质阈值较低,成为起主要贡献作用的风味成分。沟帮子烧鸡的主体风味物质为正己醛、庚醛、癸醛、壬醛和苯甲醛,它们也可以与一些酯类物质共同使烧鸡的风味更丰富。

参考文献:

- [1] 邵斌, 张雅玮, 彭增起, 等. 传统烧鸡加工业面临的挑战和机遇[J]. 肉类研究, 2011, 25(5): 33-36.
- [2] 康怀彬, 徐幸莲, 张敏, 等. 烧鸡综合保鲜技术研究[J]. 食品科学, 2006, 27(10): 556-558.
- [3] 刘源, 徐幸莲, 王锡昌, 等. 不同加工对鸭肉滋味成分的作用研究[J]. 食品科学, 2008, 29(3): 127-130.
- [4] 丁浩宸, 阮东娜, 江银梅, 等. 高值海水鱼糜熟制后挥发性风味的分析及对比[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(8): 163-169. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.201508031.
- [5] 吴锁连. 传统肉制品(烧鸡)加工特性研究[D]. 洛阳: 河南科技大学, 2009: 6-9.
- [6] MACLEOD G. Scientific and technological basis of meat flavours[J]. Developments in Food Flavours, 1986, 128: 191-231.
- [7] NISHIMURA T, KATO H. Taste of free amino acids and peptides[J]. Food Reviews International, 1988, 4(2): 175-194. DOI:10.1080/87559128809540828.
- [8] 党亚丽. 金华火腿和巴马火腿风味研究[D]. 无锡: 江南大学, 2009: 22-44.
- [9] 任西营. 食品风味分析技术研究进展[J]. 中国食品添加剂, 2014(7): 173-178. DOI:10.3969/j.issn.1006-2513.2014.07.023.
- [10] XU Changhua, CHEN Guosheng, XIONG Zhenhai, et al. Applications of solid-phase microextraction in food analysis[J]. Trac-Trends in Analytical Chemistry, 2016, 80: 12-29. DOI:10.1016/S0021-9673(00)00309-5.
- [11] 陶正清, 刘登勇, 周光宏, 等. 盐水鸭工业化加工过程中主要滋味物质的测定及呈味作用评价[J]. 核农学报, 2014(4): 632-639. DOI:10.11869/j.issn.100-8551.2014.04.0632.
- [12] LIU Yuan, XU Xinglian, ZHOU Guanghong. Changes in taste compounds of duck during processing[J]. Food Chemistry, 2007, 102(1): 22-26. DOI:10.1016/j.foodchem.2006.03.034.
- [13] DAI Yan, CHANG Haijun, CAO Shuxia, et al. Nonvolatile taste compounds in cooked Chinese Nanjing duck meat following postproduction heat treatment[J]. Journal of Food Science, 2011, 76(5): C674-C679. DOI:10.1111/j.1750-3841.2011.02162.x.
- [14] MOTTRAM D S. Flavor formation in meat and meat products: a review[J]. Food Chemistry, 1998, 62: 415-424. DOI:10.1016/S0308-8146(98)00076-4.
- [15] 吴锁连, 康怀彬. 烧鸡加工过程中滋味成分变化的研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(19): 109-111. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2012.19.037.
- [16] ZHANG Y, PAN Z, VENKITASAMY C, et al. Umami taste amino acids produced by hydrolyzing extracted protein from tomato seed meal[J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 62(2): 1154-1161. DOI:10.1016/j.lwt.2015.02.003.
- [17] 章建浩, 周光宏, 朱健辉, 等. 金华火腿传统加工过程中游离氨基酸和风味物质的变化及其相关性[J]. 南京农业大学学报, 2004, 27(4): 96-100. DOI:10.13929/j.1003-3289.201702047.
- [18] 叶藻, 谢晶, 邱伟强, 等. 常温与冷藏条件下不同阶段鸡肉呈味核苷酸及游离氨基酸含量的变化[J]. 食品工业科技, 2015, 36(24): 301-305. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2015.24.057.
- [19] ZHANG M, CHEN X, HAYAT K, et al. Characterization of odor-active compounds of chicken broth and improved flavor by thermal modulation in electrical stewpots[J]. Food Research International, 2018, 109(7): 72-81. DOI:10.1016/j.foodres.2018.04.036.
- [20] 罗桂芬, 孙世铎, 陈继兰, 等. 肉类风味物质: 肌苷酸[J]. 中国家禽, 2004, 26(3): 41-43. DOI:10.13929/j.1003-3289.201702047.
- [21] 吴娜, 顾赛麒, 陶宁萍, 等. 鲜味物质间的相互作用研究进展[J]. 食品工业科技, 2014, 35(10): 389-392. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2014.10.077.
- [22] VAN BA H, AMNA T, HWANG I. Significant influence of particular unsaturated fatty acids and pH on the volatile compounds in meat-like model systems[J]. Meat Science, 2013, 94(4): 480-488. DOI:10.1016/j.meatsci.2013.04.029.
- [23] 林翔云. 香料香精辞典[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007: 2-8.
- [24] 刘登勇, 谢伟, 徐幸莲. 盐水鸭卤水中的挥发性物质及其风味特性分析[J]. 食品研究与开发, 2011, 32(4): 118-121. DOI:10.13929/j.1003-3289.201702047.
- [25] 刘登勇, 吴金城, 王继业, 等. 沟帮子熏鸡主体风味成分分析[J]. 食品工业科技, 2018, 39(7): 237-242. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2018.07.042.
- [26] 刘孟健. 香辛料风味成分及微生物群落对烧鸡食用品质的影响[D]. 郑州: 河南工业大学, 2014: 21-35.
- [27] TOLDRÁ F, FLORES M. The role of muscle proteases and lipases in flavor development during the processing of dry-cured ham[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 1998, 38(4): 331-352. DOI:10.1080/10408699891274237.
- [28] 张逸君, 郑福平, 张玉玉, 等. MAE-SAFE-GC-MS法分析道口烧鸡挥发性成分[J]. 食品科学, 2014, 35(22): 130-134. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201422024.
- [29] 刘丽微, 白卫东, 钱敏. 2,4-癸二烯醛在肉味香精中作用机制的研究进展[J]. 香料香精化妆品, 2011(6): 33-36. DOI:10.3969/j.issn.1000-4475.2011.06.009.
- [30] 张红燕, 李晔, 袁贝, 等. 金枪鱼油冬化前后脂肪酸含量和主体风味的解析[J]. 核农学报, 2017, 31(2): 314-324. DOI:10.11869/j.issn.100-8551.2017.02.0314.