

熟制方式对裹糊猪排品质及挥发性香气成分的影响

刘树萍, 方伟佳, 石长波

(哈尔滨商业大学 旅游烹饪学院, 黑龙江哈尔滨 150000)

摘要:为探讨熟制方式对裹糊猪排品质和风味影响,采用常规物化测定方法,研究不同熟制方式(煎、炸、烤)对裹糊猪排猪排质构、水分含量、最大形变量、烹饪损失率、风味影响。结果表明:3种熟制方式比较分析显示煎制与烤制对猪排的剪切力影响显著($P < 0.05$),而炸制温度对裹糊猪排咀嚼性影响显著($P < 0.05$)。煎制较炸制与烤制而言,烹饪损失率较小且水分流失较少。电子鼻结果显示主成分分析和线性判别分析可以量化主成分贡献率和样品间风味的区分。风味成分结果进一步表明:这三种熟制方式得到的风味化合物主要包括:醇类、醛类、酯类、酸类、杂环类共5大类。煎制形成的风味种类最高(44),烤制次之(37),炸制最少(35);煎制和炸制中均为醇类相对含量较高,而烤制中烃类相对含量较高,3种熟制方式共有挥发性物质12种,煎、炸、烤独有成分分别为7、3、9种。结果表明从食用品质和风味角度分析,煎制裹糊猪排色泽金黄、口感软嫩、风味突出、品质更佳,本文为裹糊猪排熟制提供一定理论依据。

关键词:裹糊猪排,熟制方式,品质,香气,气相色谱-质谱法(GC-MS),电子鼻

Effects of Different Cooking Methods on the Quality and Volatile Aroma Components of Wrapped Pork Chops

LIU Shu-ping, FANG Wei-jia, SHI Chang-bo

(College of Tourism and Culinary Science, Harbin University of Commerce, Harbin 150000, China)

Abstract: In order to explore the effect of different cooking methods on the quality and flavor of wrapped pork chops, the effects of different cooking methods (decocting, frying, and baking) on the texture, water content, maximum shape variables, cooking loss rate and flavor of fried pork chops were studied by conventional physicochemical methods. The results showed that the effect of decocting and baking on the shear strength of pork chops was significant ($P < 0.05$), while frying temperature had a significant effect on the mastication of wrapped pork chops ($P < 0.05$). Compared with frying and baking samples, cooking loss rate and water diversion loss was less in decocting samples. In terms of electronic nose result, the principal component analysis and linear discriminant analysis could quantify the contribution rate of principal components and the difference of flavor among samples. Furthermore, the flavor results showed that the flavor compounds obtained by the three cooking methods mainly included five categories: alcohols, aldehydes, esters, acids, and heterocycles. The highest flavor types were decocting (44), followed by baking (37), and frying (35). The relative content of alcohol was higher in decocting and frying, while the relative content of hydrocarbon was higher in baking. There were 12 kinds of sane volatile substances in the three cooking methods, and 7, 3, 9 kinds of unique components in decocting, frying, and baking. In general, from the perspective of food quality and flavor, fried pork chops were golden in color, soft and tender in taste, outstanding in flavor and better in quality.

Key words: wrapped pork chop; cooking method; quality; aroma; gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS); electronic nose

中图分类号: TS251.6

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2021)01-0257-10

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2019120288

引文格式: 刘树萍, 方伟佳, 石长波. 熟制方式对裹糊猪排品质及挥发性香气成分的影响[J]. 食品工业科技, 2021, 42(1): 257-265, 270.

LIU Shu-ping, FANG Wei-jia, SHI Chang-bo, et al. Effects of Different Cooking Methods on the Quality and Volatile Aroma Components of Wrapped Pork Chops[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(1): 257-265, 270. (in Chinese with English abstract) <http://www.spvj.com>

收稿日期: 2019-12-27

作者简介: 刘树萍(1982-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 传统烹饪工业化, E-mail: liusp201@163.com。

基金项目: 烹饪科学四川省高等学校重点实验室资助项目(PRKX201906); 黑龙江省博士后科研启动金(LBH-Q15072); 2016年哈尔滨商业大学青年创新人才支持项目(2016QN059); 哈尔滨商业大学博士科研启动(12DW030); 2016年度哈尔滨商业大学校内课题团队项目(2016TD003); 2019年度黑龙江省高等教育教学改革一般研究项目(SJGY20190336)。

外裹糊食品是将肉类、蔬菜和奶酪等裹上外裹糊和面包糠后熟制的一类风味食品,因外酥里嫩的特性深受消费者喜欢。猪肉富含蛋白质、脂肪及各种微量元素,熟制后营养丰富,滋味诱人,在中国有着巨大的销售市场^[1]。

目前学者对不同熟制方式对肉制品品质及风味影响研究较多,Elisa 等^[2]研究低温慢煮对肉品质与微生物的影响,Wang 等^[3]通过微波与传统水浴比对,研究不同低温慢煮方式对草鱼肉品质的影响,研究发现熟制方式对鱼肉感官品质及营养成分影响显著。沈铭聪等^[4]比较不同加热方式对盐水鹅品质影响,得出结论煮制的盐水鹅具有更高的感官评价和更好的营养价值。前人在熟制方式上做了很多研究,但对裹糊肉制品品质研究较少,而糊与肉的交联作用会在不同熟制方式下呈现较大差异^[5]。本文以裹糊猪排为研究对象,研究熟制方式及熟制温度对裹糊猪排食用品质及风味影响,为裹糊猪排的熟制工艺提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

猪里脊肉、鸡蛋、生姜、面包糠、盐、黑胡椒、白胡椒、料酒、一级大豆油 购于家乐福超市。

TA-XT PLUS 型物性测定仪 英国 SMS 公司; JD200-3 电子天平 福州华志科学仪器有限公司; MC-DY28Easy101 电饼铛 广东美的有限公司; YZ-1531 自动控温油炸锅 广东友田家用电器有限公司; Inose 型智鼻 上海瑞玢国际贸易有限公司; 电热鼓风干燥箱 上海一恒科学仪器有限公司; 7890A-5975C GC-MS 联用仪 美国安捷伦公司。

1.2 实验方法

1.2.1 工艺流程 猪里脊修整剔去筋膜→切片→腌制→裹糊→熟制→冷却→成品

1.2.2 工艺操作要点 预处理:将里脊肉去筋膜,切成 6 cm×4 cm×0.5 cm 的猪肉片,肉片重量 20 g,每个处理设 3 组平行。

腌制:准确称取盐 5.0%、料酒 15.0%、黑胡椒 0.5%、白胡椒 0.5%,将腌制液均匀涂抹于猪肉片表面,于 4℃ 冰箱腌制 40 min。

裹糊:面粉层-浸蛋液-面包屑-浸蛋液-面包屑

熟制:(1)煎制:肉样在 160、170、180、190℃ 下煎制 5 min 处理时间一半时翻面(油 50 mL);(2)炸制:肉样在 160、170、180、190℃ 下油炸 5 min,处理一半时翻面(油 200 mL);(3)烤制:肉样分别在 160、170、180、190℃ 下烤制 30 min,处理一半时翻面。

1.2.3 裹糊猪排的品质及风味成分测定

1.2.3.1 感官评价测定 以 10 位经过培训的烹饪专业人士为感官评定小组,对裹糊猪排的色泽、气味、组织状态、口感和滋味 5 个感官特性进行评定,评价标准如表 1 所示。

1.2.3.2 TPA 测定 参照马菲等^[6]方法并稍作修改,顺着肌纤维方向选取长×宽×高为 3 cm×1 cm×1 cm 裹糊猪排进行 TPA 与剪切力测定。采用 P50 探

表 1 感官评价评分细则

Table 1 Criteria for sensory evaluation of wrapped pork chops

指标	评分标准	分值
色泽	外壳呈金黄色、色泽均匀	7~9
	外壳呈黄色,边沿略带焦黄色	4~6
	外壳呈黄白色或黄黑色,色泽不均匀	0~3
气味	浓郁油炸食品香气,无异味	7~9
	有油炸食品香味,无异味	4~6
	无油炸食品香味并带有异味(焦糊或夹生)	0~3
组织状态	块型完整,无裂痕,组织紧密	7~9
	块型较完整,稍有裂痕,组织部分疏松	4~6
	块型不完整,有断面,组织疏松酥脆,硬度口感	0~3
口感	酥脆,软硬适中,不粘牙	7~9
	较酥脆,硬度较大或较小,不粘牙	4~6
	不酥脆,硬度不适,较硬或粘牙	0~3
滋味	肉香浓郁,咸淡适中,滋味丰满	7~9
	肉香较淡,略咸或略淡	4~6
	肉腥味或异味,很咸或无咸味,无肉香	0~3

头以“二次压缩”模式进行质地剖面分析,参数设置为 TPA 250 N,回程距离为 30 mm,起始力为 0.4 N,测试速度为 60 mm/s,形变量 25%。剪切力用单刀剪切复合探头测定,探头型号为 HDP/BS(W 型无豁口刀具),参数设置为力量感应元 250 N,起始力 2 N,测试速度为 30 mm/s,回程速度为 50 mm/s,回程距离为 20 mm。

1.2.3.3 水分含量测定 参照杜云豪等^[7]方法并稍作修改,样品切碎,称取 2.000 g 样品记为 m_1 ,放置于温度为 105℃ 的鼓风干燥箱中,直到质量不再发生变化(质量差小于 2 mg)停止干燥(约 6~7 h),称量样品质量记为 m_2 ,每组样品重复 4 次,水分含量(w)计算公式为:

$$w(\%) = (m_1 - m_2) / m_1 \times 100$$

1.2.3.4 最大形变量和烹饪损失率测定 最大形变率(Deformation Rate, DR)的计算公式为:

$$DR(\%) = (L_0 - L_1) / L_0 \times 100$$

式中: L_0 为烹饪前的最短边长,cm; L_1 为烹煮后的最短边长,cm(去壳后)。

烹饪损失率(Cooking Loss Rate, CLR)的计算公式为:

$$CLR(\%) = (m_1 - m_2) / m_1 \times 100$$

式中: m_1 为烹饪前质量,mg; m_2 为烹饪后质量,mg。

1.2.3.5 电子鼻传感器检测 参照刘树萍等^[8]方法并稍作修改,称取 2.0 g 裹糊猪排样品,将样品装入 40 mL 样品瓶中,加盖密封,平衡后直接将进样针头插入样品瓶,采用顶空吸气法进行电子鼻分析实验。测定条件:传感器清洗时间 120 s,样品准备时间 10 s,进样流量 500 mL/min,检测时间 60 s。采用主

表2 熟制方式与熟制温度对裹糊猪排感官评价影响

Table 2 Effect of cooking method and cooking temperature on sensory evaluation of wrapped pork chops

熟制方式	熟制温度 (℃)	色泽	组织状态	口感	滋味	气味	整体可接受性
煎制	160	8.7 ± 0.5 ^{bAB}	7.5 ± 0.1 ^{cD}	7.8 ± 0.7 ^{cE}	8.5 ± 0.2 ^{cD}	8.5 ± 0.1 ^{cCD}	8.4 ± 0.2 ^{bcCD}
	170	8.8 ± 0.1 ^{aA}	8.9 ± 0.1 ^{aA}	8.9 ± 0.1 ^{aA}	8.8 ± 0.3 ^{aA}	8.6 ± 0.4 ^{bBC}	8.8 ± 0.2 ^{aA}
	180	8.8 ± 0.2 ^{aA}	8.2 ± 0.4 ^{bBC}	8.1 ± 0.2 ^{bD}	8.6 ± 0.7 ^{bC}	8.7 ± 0.2 ^{aB}	8.5 ± 1.2 ^{bBC}
	190	8.7 ± 0.3 ^{bAB}	8.1 ± 0.4 ^{bBC}	7.2 ± 0.7 ^{dF}	8.6 ± 0.1 ^{bC}	8.6 ± 0.2 ^{bBCD}	8.3 ± 0.4 ^{cDE}
炸制	160	8.6 ± 0.2 ^{bB}	7.6 ± 0.1 ^{cD}	7.7 ± 0.3 ^{cE}	8.5 ± 0.2 ^{bD}	8.4 ± 0.1 ^{bE}	8.1 ± 0.5 ^{cF}
	170	8.6 ± 0.4 ^{bB}	8.8 ± 0.4 ^{aA}	8.7 ± 0.7 ^{aAB}	8.6 ± 0.4 ^{aC}	8.8 ± 0.1 ^{aA}	8.6 ± 0.7 ^{aAB}
	180	8.7 ± 0.1 ^{aAB}	8.3 ± 0.5 ^{bB}	8.4 ± 0.3 ^{bC}	8.6 ± 0.4 ^{aC}	8.5 ± 0.2 ^{bCD}	8.5 ± 0.8 ^{bC}
	190	8.6 ± 0.3 ^{bB}	8.0 ± 0.4 ^{bcC}	7.2 ± 0.9 ^{dF}	8.5 ± 0.5 ^{bD}	8.5 ± 0.7 ^{bCD}	8.3 ± 0.7 ^{cE}
烤制	160	8.7 ± 0.2 ^{bAB}	7.5 ± 0.1 ^{cD}	7.8 ± 0.7 ^{bE}	8.5 ± 0.2 ^{bCD}	8.6 ± 0.1 ^{bBC}	8.1 ± 0.2 ^{bF}
	170	8.8 ± 0.2 ^{aA}	8.8 ± 0.4 ^{aA}	8.6 ± 0.3 ^{aB}	8.7 ± 0.7 ^{aB}	8.7 ± 0.3 ^{aB}	8.5 ± 0.7 ^{aBC}
	180	8.7 ± 0.3 ^{bAB}	8.2 ± 0.5 ^{bBC}	8.4 ± 0.2 ^{aC}	8.6 ± 0.4 ^{bCD}	8.6 ± 0.2 ^{bBC}	8.4 ± 0.3 ^{aCD}
	190	8.7 ± 0.4 ^{bAB}	8.1 ± 0.4 ^{bBC}	7.2 ± 0.1 ^{bF}	8.5 ± 0.5 ^{cD}	8.5 ± 0.2 ^{cD}	8.1 ± 0.5 ^{bF}

注:同列不同字母代表显著差异($P < 0.05$),其中小写字母不同代表某一熟制方式不同温度组内差异性显著($P < 0.05$),大写字母不同代表同一列差异性显著($P < 0.05$);表3、表4同。

成分分析(principal component analysis, PCA)和线性判别式分析(linear discriminant analysis, LDA),对获得的数据进行综合分析。

1.2.3.6 风味物质测定 HS-SPME 条件:准确称取5 g粉碎后的样品于固相微萃取仪采样瓶中,旋紧瓶盖,65 μm PDMS/DVB 萃取头置 GC-MS 进样口于250 ℃老化10 min 插入瓶中,在65 ℃顶空萃取30 min取出,快速移出萃取头,并立即插入气相色谱仪进样口(温度250 ℃)中,热解析10 min 进样。

GC 条件:安捷伦 19091S-433 毛细管柱(30 m × 250 μm,0.25 μm);载气为高纯氦气(纯度 > 99.999%);流速1 mL/min;进样口温度250 ℃,分流比为20:1。程序升温步骤:起始温度40 ℃,保留3 min;以5 ℃/min升至130 ℃,保留3 min;再以8 ℃/min升至200 ℃,保持2 min;最后以2 ℃ min⁻¹升至250 ℃,保留2 min。

MS 条件:电子电离源,电子轰击能量70 eV,离子源温度230 ℃,4级杆温度150 ℃,质谱扫描范围35~400 amu,溶剂延迟4 min,辅助温度280 ℃。调谐文件为标准调谐,扫描模式为全扫描。

定性和定量分析:运用 NIST08.LIB 和 NIST08s.LIB 标准谱库对 GC-MS 质谱数据进行检索,保留匹配度大于800(最大值为1000)的化合物,采用面积归一法计算各物质峰面积百分含量。

1.3 数据处理

实验数据采用电子鼻配套软件对裹糊猪排挥发性成分数据进行主成分分析(principal component analysis, PCA)和线性判别式分析(linear Discriminant Analysis, LDA);Excel 和 Origin 8.0 软件进行数据分析和绘制图表,SPSS19.0 软件进行主成分分析,每个实验重复3次,数据采用平均值 ± 标准差表示。

2 结果与分析

2.1 熟制方式与熟制温度对裹糊猪排感官评价影响

由表2可知,不同熟制方式组间分析显示感官

评价指标均随着熟制温度的增加均呈现先上升后下降的趋势,当熟制温度为170 ℃时,煎制和炸制的整体可接受性均显著高于其他各温度组($P < 0.05$),而烤制170 ℃与180 ℃温度组间差异不显著,且三种熟制方式均在170 ℃时得分最高,说明过低或过高的温度都会对猪排风味和质地产生影响。纵向比较3种烹饪方式感官评分显示,煎制170 ℃的裹糊猪排滋味和整体可接受性均显著高于其它各组($P < 0.05$),且组织状态评分与170 ℃烤制和炸制组无显著差异,而口感评分与170 ℃炸制无显著差异,均高于其他各组评分。煎制在赋予表面金黄色泽的同时,很好的保留了肉的水分和组织结构,使得猪排滋味丰富,外酥里嫩。炸制经历了中间水分不断向外输送的过程,使得猪排质地较硬,口感油腻,色泽偏深,整体接受性较差。烤制经过长时间的高温烘烤,水分散失较严重,使猪排口感较柴,滋味较淡,不易被接受。从气味来看,煎制与炸制的保留了猪排的香气,烤制气味损失严重。

2.2 熟制方式与熟制温度对裹糊猪排质构影响

由表3可知,3种熟制方式纵向比较分析显示煎制与烤制对猪排的剪切力影响显著($P < 0.05$)。3种熟制方式组内结果显示,随着熟制温度的增加,剪切力均呈现先下降后增加的趋势,且均在170 ℃时,剪切力均达到最小值,显著小于190 ℃组($P < 0.05$)。适当的熟制温度可以使肉的剪切力呈现短暂下降的原因是由胶原蛋白收缩溶解导致,而随着温度升高剪切力的增加可能是肌动球蛋白收缩和脱水所致^[9]。

弹性结果显示,3种熟制方式纵向比较结果显示烤制弹性显著小于煎制和炸制($P < 0.05$)。随着熟制温度的增加,三种熟制方式下的弹性均呈现先下降后增加的趋势,在180 ℃时,弹性均达到最小值。随着加热温度的升高,裹糊猪排的肌原纤维结构断裂,弹性下降,但随着温度的持续升高,猪排内部疏水集团暴露,形成二硫键,疏基与二硫键的大量存

表3 熟制方式与熟制温度对裹糊猪排质构影响

Table 3 Effect of cooking method and cooking temperature on texture of wrapped pork chops

熟制方式	熟制温度 (℃)	剪切力(N)	弹性(mm)	胶粘性(N)	咀嚼性	硬度(N)
煎制	160	32.63 ± 1.34 ^{bG}	1.67 ± 0.04 ^{aBC}	19.60 ± 1.49 ^{bE}	11.12 ± 2.60 ^{bG}	20.03 ± 2.05 ^{aF}
	170	24.60 ± 1.57 ^{cI}	1.66 ± 0.17 ^{aBC}	10.21 ± 0.52 ^{cF}	8.61 ± 0.56 ^{cH}	15.31 ± 1.59 ^{bH}
	180	28.20 ± 0.91 ^{cH}	1.28 ± 0.14 ^{cD}	20.18 ± 2.69 ^{bE}	12.42 ± 1.65 ^{bG}	17.32 ± 2.50 ^{bG}
	190	43.08 ± 1.07 ^{aDE}	1.47 ± 0.14 ^{bC}	23.03 ± 0.80 ^{aD}	14.77 ± 2.34 ^{aFG}	24.10 ± 2.37 ^{aE}
炸制	160	34.90 ± 0.34 ^{cG}	1.82 ± 0.04 ^{abB}	28.67 ± 0.90 ^{aC}	26.78 ± 2.56 ^{bD}	26.94 ± 2.25 ^{cE}
	170	33.56 ± 1.24 ^{cG}	1.77 ± 0.02 ^{bB}	23.90 ± 0.49 ^{bD}	15.95 ± 2.06 ^{dF}	26.20 ± 0.59 ^{cE}
	180	39.43 ± 0.83 ^{bF}	1.69 ± 0.08 ^{bB}	22.49 ± 0.72 ^{bD}	20.48 ± 2.57 ^{cE}	33.13 ± 1.03 ^{bD}
	190	47.53 ± 1.05 ^{aD}	1.99 ± 0.02 ^{aA}	26.81 ± 0.43 ^{aC}	30.81 ± 2.82 ^{aC}	40.27 ± 0.63 ^{aB}
烤制	160	58.08 ± 1.06 ^{cC}	0.94 ± 0.08 ^{b^aE}	30.49 ± 2.19 ^{bB}	27.65 ± 0.92 ^{cCD}	48.66 ± 2.65 ^{aA}
	170	41.22 ± 0.94 ^{dEF}	0.82 ± 0.18 ^{b^aEF}	19.18 ± 2.11 ^{dE}	29.38 ± 1.35 ^{cCD}	39.20 ± 2.35 ^{b^aBC}
	180	62.68 ± 1.27 ^{bB}	0.71 ± 0.11 ^{c^aF}	23.01 ± 2.65 ^{cD}	37.08 ± 1.00 ^{b^aB}	37.58 ± 2.40 ^{b^aC}
	190	71.19 ± 1.81 ^{aA}	0.85 ± 0.15 ^{b^aEF}	34.76 ± 2.52 ^{aA}	40.57 ± 0.65 ^{aA}	49.90 ± 2.77 ^{aA}

在使得分子交联作用加强而形成凝胶，弹性增大^[10]。

3种熟制方式组内分析显示烤制温度对胶黏性影响显著($P < 0.05$)，而炸制温度对咀嚼性影响显著($P < 0.05$)，且3种熟制方式胶黏性和咀嚼性均随着熟制温度升高，呈现先下降后上升的趋势，仅烤制方式下的咀嚼性呈现不断上升趋势。随着熟制温度升高，蛋白变性加剧，刚性变大而胶粘性减弱，同时伴随着肌原纤维蛋白凝胶的结构的变化，影响咀嚼性值^[11]。

硬度结果显示，3种熟制方式纵向比较分析发现煎制对裹糊猪排硬度影响显著($P < 0.05$)。随着熟制温度的增加，3种熟制方式下的硬度均呈现先下降后增加的趋势。煎制、炸制于170℃时硬度达到最小值，而烤制在180℃时达到最小，且显著小于190℃组($P < 0.05$)。钟华珍等^[12]研究发现，硬度的变化与水分含量相关，当水分含量 $< 21.5\%$ 时，猪排的硬度与水分含量呈现负相关趋势。

2.3 熟制方式与熟制温度对裹糊猪排水分含量、最大形变量和烹饪损失率影响

由表4可知，随着熟制温度的增加，3种熟制方式的水分含量均呈现不断下降趋势，不同熟制方式组内结果显示煎制下降趋势显著($P < 0.05$)。与160℃相比，190℃下煎炸烤水分含量下降率分别为40.5%、42.4%、46.5%。水分的流失主要是高温下样品的水分蒸发所致。随着熟制温度的增加，不同熟制方式组内结果显示最大形变量均呈显著性增加趋势($P < 0.05$)，且190℃组显著高于其它温度组($P < 0.05$)。不同的肌纤维结构决定着猪排收缩后的不同形状，而不同的熟制温度决定着不同的收缩范围^[13]。随着熟制温度的升高，烹饪损失率呈现不断上升趋势，不同熟制方式组内结果显示煎制温度对烹饪损失率影响显著($P < 0.05$)，纵向比较不同熟制方式结果显示煎制的烹饪损失率显著小于烤制($P < 0.05$)。烹饪加工过程中，肉类菜肴的损失主要包括水和可溶性物质的流失^[14]，所以水分含量的流失一定程度

表4 熟制方式与熟制温度对裹糊猪排水分含量、最大形变量和烹饪损失率影响

Table 4 Effect of cooking method and cooking temperature on moisture content, maximum deformation and cooking loss rate of wrapped pork chops

熟制方式	熟制温度(℃)	水分含量(%)	最大形变量(%)	烹饪损失率(%)
煎制	160	30.27 ± 1.35 ^{aA}	2.13 ± 0.23 ^{dB}	2.75 ± 0.74 ^{dG}
	170	27.91 ± 0.73 ^{bABC}	4.56 ± 0.51 ^{cB}	4.24 ± 0.05 ^{cFG}
	180	22.71 ± 0.54 ^{cABC}	7.46 ± 0.50 ^{bAB}	6.72 ± 0.39 ^{bEFG}
	190	18.00 ± 0.32 ^{dBC}	13.50 ± 0.31 ^{aAB}	8.77 ± 0.55 ^{aDEFG}
炸制	160	26.91 ± 0.56 ^{aABC}	2.96 ± 0.15 ^{dB}	11.38 ± 0.89 ^{cDEFG}
	170	24.14 ± 0.15 ^{aABC}	4.83 ± 0.25 ^{cB}	14.42 ± 0.51 ^{bBCDE}
	180	18.90 ± 0.85 ^{bBC}	8.76 ± 0.20 ^{bAB}	14.09 ± 0.85 ^{bABCD}
	190	15.50 ± 0.50 ^{cBC}	15.83 ± 0.15 ^{aAB}	22.90 ± 1.67 ^{aABC}
烤制	160	28.39 ± 0.67 ^{aAB}	1.37 ± 0.30 ^{dB}	14.90 ± 1.67 ^{cAB}
	170	26.70 ± 0.93 ^{aABC}	4.86 ± 0.41 ^{cAB}	20.02 ± 1.50 ^{bAB}
	180	23.10 ± 1.01 ^{bABC}	10.01 ± 0.18 ^{bAB}	20.02 ± 1.65 ^{bAB}
	190	15.72 ± 0.9 ^{cC}	19.40 ± 0.52 ^{aA}	24.49 ± 1.18 ^{aA}

也影响着烹饪损失率。此外加热过程中肉的胶原蛋白的收缩及肌原纤维蛋白的变性会引起肌原纤维的短缩和聚集,而这一过程也是裹糊猪排肉汁渗出,产生烹饪损失的主要原因^[15]。

2.4 熟制方式与熟制温度对裹糊猪排风味特性影响

2.4.1 熟制温度对裹糊猪排电子鼻气味特性影响

2.4.1.1 传感器雷达图 为了分析 14 根传感器对裹糊猪排风味成分响应情况,采集数据时分析传感器响应情况并得到最大传感器响应值,将最大响应值均匀排布于圆周上以此绘制雷达图^[16]。结合表 3 和图 1 分析,电子鼻对裹糊猪排的挥发性成分有明显响应,各样品响应值均大于 0.5,满足电子鼻的响应值最低要求。三种熟制方式的样品使传感器响应值不完全相同,但大体趋势基本相同。在传感器 S5、S11(对应的酮类、醛类、醇类、芳香族化合物;烷类、烃类)上,裹糊猪排的挥发性成分引起了较明显响应($P < 0.05$)。样品间无差异组体现在 S1 与 S8(对应的氨气;氮氧化合物、低分子胺类),其他各传感器均体现差异,其中 S12(对应的酒精和有机溶剂)距离较远,差异较大。

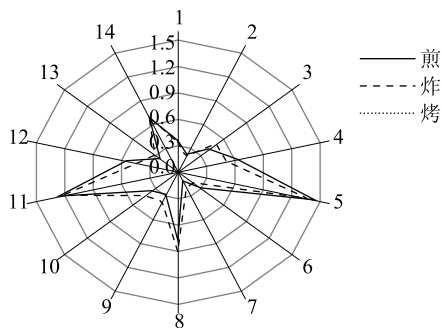


图 1 裹糊猪排样品雷达图

Fig.1 Radar character of wrapped pork chops

2.4.1.2 电子鼻检测结果 判别指数 (discrimination index, DI) 是区分程度的表征值,当 DI 值在 85% ~ 100% 时,样品区分效果显著,PCA1 和 PCA2 表示第一主成分和第二主成分贡献率,贡献率的大小与指标信息的反应率成正比,一般认为贡献率超过 85% 可用^[17]。

由图 2a 可知,不同煎制温度的裹糊猪排样品 PCA1 和 PCA2 分别为 95.8% 与 2.3%,总贡献率为 98.1%,大于 95%,说明这 2 个主成分构成的二维平面可以反映不同烤制温度下的裹糊猪排香气的整体信息。170、180 °C 较接近说明其风味成分类似。四组样品分布较远且能够明显区分开,表明随着煎制温度的升高主成分有明显差异。如图 2b 所示,LD1 和 LD2 的方差贡献率分别为 89.3% 和 10.7%,总贡献率为 100%,不同温度下的三角形互不重叠,区分明显,说明该方法可有效区分不同煎制温度下裹糊猪排的挥发性气味。

由图 3a 可知,不同炸制温度的裹糊猪排样品 PCA1 与 PCA2 分别为 97.9% 与 1.5%,二者总贡献率达 99.4%,说明主成分可以反映整体香气信息。DI 值为 99.3%,说明不同炸制时间的猪排香气具有明显差异。190 °C 与其他样品分布于不同象限且距离

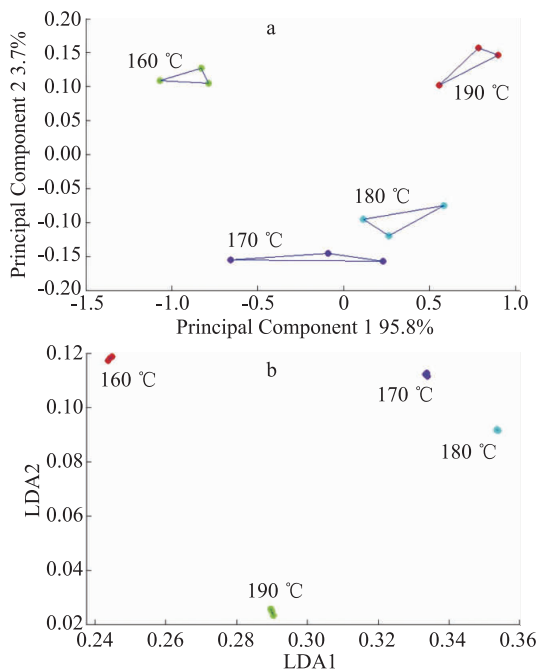


图 2 不同温度下煎制猪排的 PCA(a) 和 LDA(b) 分析图

Fig.2 PCA(a) and LDA(b) diagrams of decocting pork chops at different temperatures

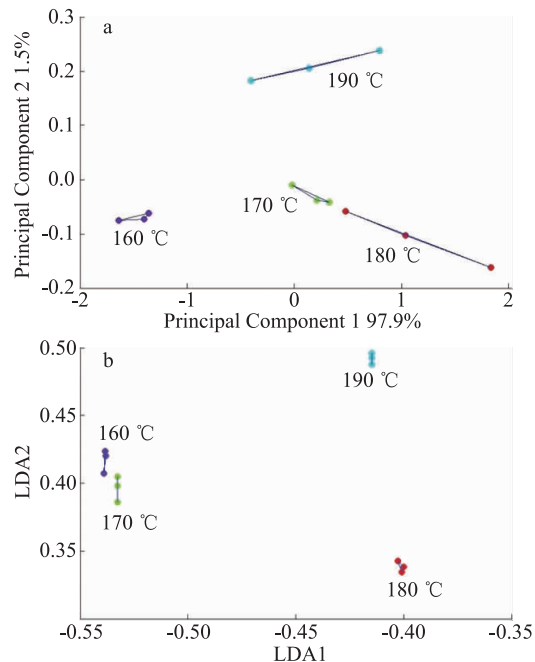


图 3 不同温度下炸制猪排的 PCA(a) 和 LDA(b) 分析图

Fig.3 PCA(a) and LDA(b) diagrams of frying pork chops at different temperatures

较远,这可能是油温过高,产生焦糊气味所致。如图 3b 所示,LD1 和 LD2 的方差贡献率分别为 85.1% 和 14.8%,总贡献率为 99.8%,三角形面积较小,说明电子鼻数据的重复性和稳定性较好。不同温度下的三角形互不重叠,说明该方法可有效区分不同煎制温度下裹糊猪排的挥发性气味。

由图 4a 可知,不同烤制温度的电子鼻 PCA 图中,PCA1 与 PCA2 分别为 97.7% 与 2.0%,二者总贡献率高达 99.7%,说明主成分可反映整体信息。DI

值为 94.2%,说明不同的烤制温度使裹糊猪排香气产生明显差异。如图 4b 所示,LD1 和 LD2 的方差贡献率分别为 72.7% 和 27.2%,总贡献率为 100%,不同温度下的三角形互不重叠,区分明显,说明该方法可有效区分不同煎制温度下裹糊猪排的挥发性气味,且随着温度的升高,170、180、190℃样品香气成分明显区别于 160℃,这种现象的出现可能是较低的温度下气味挥发未完全所致。

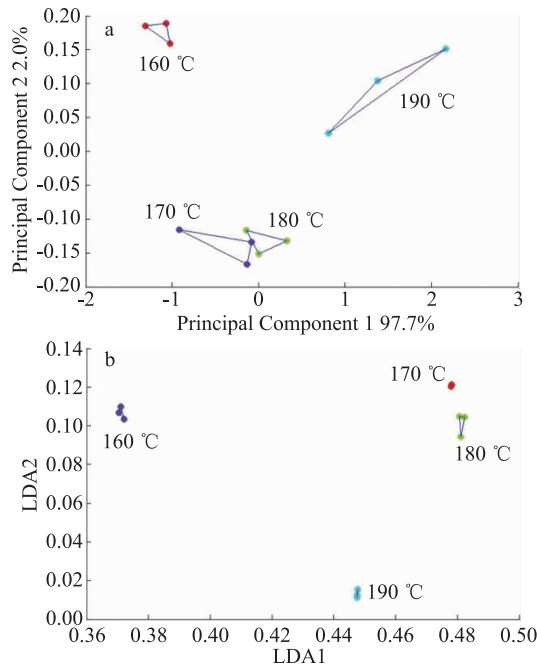


图 4 不同温度下烤制猪排的 PCA(a) 和 LDA(b) 分析图

Fig.4 PCA(a) and LDA(b) diagrams of roasting pork chops at different temperatures

2.4.2 熟制方式对裹糊猪排风味影响 由感官评价结合其它理化指标分析,170℃下的裹糊猪排品质最佳,为进一步探究风味与挥发性成分的关系,采用 GC-MS 法比较 170℃ 三种不同烹饪方式对裹糊猪排挥发性成分变化,图 5 为煎(a)、炸(b)、烤(c)猪排的挥发性成分总离子图,不同的熟制方式会产生不同的图峰,这可能是因为不同烹饪方式下的热效应不同,产生的风味物质也不相同。煎制的热量主要通过传导和对流方式在烹饪介质与猪排间传播,而烤箱烤制始终处于高温密闭环境,较煎制增加了热辐射传热途径,但炸制主要为热传递方式,传热方式较单一。图 6 为不同熟制方式对裹糊猪排风味成分比例的影响,表 5 为挥发性物质名称,保留时间及相对含量。

由图 6 和表 5 可知,煎制的醇类含量为 31.24%,显著高于炸制和烤制 ($P < 0.05$),而烤制中烃类含量为 43.4%,显著高于煎制和炸制 ($P < 0.05$)。三种熟制方式的裹糊猪排样品共检测出 63 种挥发性物质,包括醇类 11 种、醛类 10 种、酸类 5 种、烃类 17 种、酯类 7 种、杂环化合物及其他 13 种,其中烃类含量最高,其次为醇类、醛类、杂环类、酯类、酸类。而郑月等^[18]通过比较不同熟制方式下猪排风味成分差异,不同熟制方式的猪排共检测出 42 种挥发性风味物

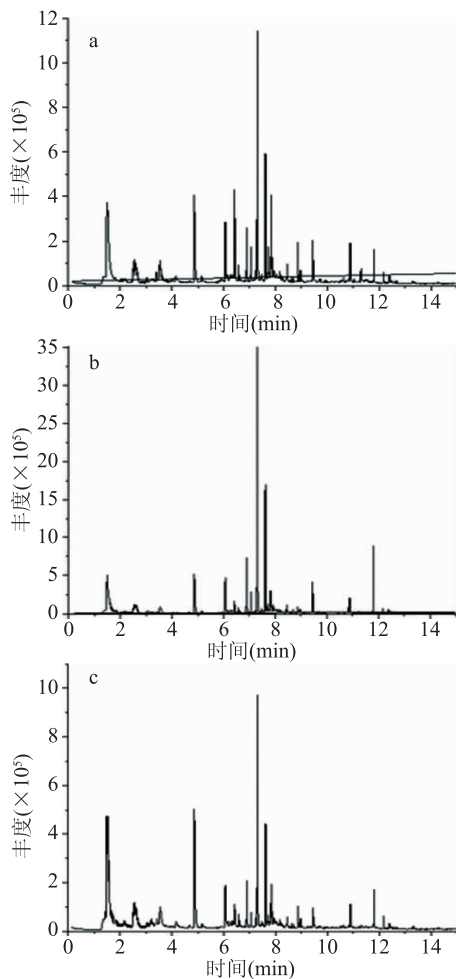


图 5 煎(a)、炸(b)、烤(c)裹糊猪排挥发性成分总离子图

Fig.5 Total ion current chromatograms of volatile components of wrapped pork chops on the decocting(a), frying(b) and baking(c)

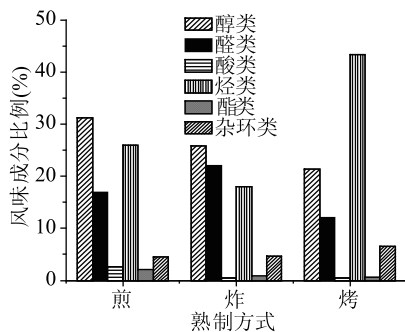


图 6 不同熟制方式对裹糊猪排风味成分比例的影响

Fig.6 Effect of different cooking methods on the proportion of flavor components of wrapped pork chops

质,分别为醛类 16 种、烃类 15 种、醇类 3 种、酮类 2 种、杂环类 6 种,其中醛类含量最高,这与 Meinert 等^[19]实验结果一致,由上可知裹糊与否对猪排的挥发性成分种类及含量有很大影响,裹糊后的熟制猪排风味成分物质在种类上有所增加,可能是外裹糊在熟制过程中增加了猪排的香气成分。但较未裹糊猪排醛类含量下降而烃类含量增加,醛类主要来源于脂质氧化降解,可能是由于裹糊猪排熟制过程中在糊的隔离作用下,猪肉并未与热油直接接触,氧化

程度低于直接接触,醛类含量有所下降。烃类主要来自脂肪酸烷氧自由基的断裂^[20],孟祥忍等^[21]研究发现裹糊猪排风味物质中烃类含量最高,与本实验结果一致。三个样品共有的挥发性成分有12种,其中包括醇类3种、醛类3种、酸类1种、烃类7种,杂环类2种。煎制中含量较高成分为乙醛、桉树醇、2-甲基丁醛、乙酸、 α -品烯、N-己基甲胺、2-甲基-3,5-二乙基吡嗪;炸制中含量较高成分为1-戊醇、环丁醇、3-甲基丁醛、己醛、环己烯;而烤制中含量较高成分为 β -月桂烯、d-柠檬烯、石竹烯、1,3-环己二烯、1,2-乙二胺、2,5-二甲基-3-乙基吡嗪。煎制特有成分为2,3-丁二醇、2-丙醇、2-丁醇、十二醛、乙

酸、 β -蒎烯、羟甲基环丙烷;炸制特有成分为 β -品烯、邻苯二甲酸异丁酯、2-丙酰胺;烤制特油成分为丁醛、戊二醛、1,2-苯二甲酸、3-蒎烯、丁酸乙酯、2-二甲胺基乙酯、2,3-辛二酮、2-羟基丙酰胺、2,3-二甲基苯丙胺。

醇是一类重要的风味物质,脂质氧化和Strecker降解反应可生成醇类^[22]。一般饱和醇的阈值很高,对气味影响不显著。三种烹饪方式下均检测到乙醇、桉树醇、1-辛烯-3-醇的生成,其中乙醇与桉树醇相对含量较高。裹糊猪排中的乙醇主要源于料酒、1-辛烯-3-醇是脂肪氧化酶作用于花生四烯酸的降解产物,具有蘑菇香、蔬菜香以及油腻的味^[23]。桉树

表5 煎、炸、烤猪排挥发性风味成分及相对含量

Table 5 Volatile flavor compositions of wrapped pork chops on decocting, frying and roasting

种类	保留时间 (min)	化合物名称	化合物英文名称	相对含量(%)		
				煎制	炸制	烤制
醇类	3.18	乙醇	Ethyl alcohol	23.15 $\pm$ 0.24	21.28 $\pm$ 0.01	18.26 $\pm$ 0.21
	5.14	2,3-丁二醇	2,3-Butanediol	0.43 $\pm$ 0.33	—	—
	7.84	桉树醇	Cineole	4.28 $\pm$ 0.35	2.42 $\pm$ 0.20	1.97 $\pm$ 0.07
	9.66	苯乙醇	Phenethylol	0.29 $\pm$ 0.27	—	0.22 $\pm$ 0.18
	3.06	2-丙醇	2-Propylol	0.17 $\pm$ 0.01	—	—
	5.14	2-丁醇	2-Butylol	0.30 $\pm$ 0.20	—	—
	4.15	1-戊醇	1-Amylol	0.54 $\pm$ 0.23	0.74 $\pm$ 0.03	—
	7.23	1-辛烯-3-醇	1-Octen-3-ol	0.69 $\pm$ 0.21	0.56 $\pm$ 0.07	0.33 $\pm$ 0.21
	20.26	苯甲醇	Benzyl alcohol	0.30 $\pm$ 0.38	—	—
	1.82	环丁醇	Cyclobutano	—	0.80 $\pm$ 0.10	0.60 $\pm$ 0.22
醛类	8.710	1,6-辛二烯-3-醇	1,6-Octadiene-ol	0.158	—	—
	总计	11种		31.24 $\pm$ 0.22 ^a	25.82 $\pm$ 0.11 ^b	21.34 $\pm$ 0.17 ^c
	5.25	2-甲基丁醛	2-Methylbutyraldehyde	2.33 $\pm$ 0.32	0.72 $\pm$ 0.34	0.85 $\pm$ 0.30
	7.67	3-甲基丁醛	3-Methylbutyraldehyde	4.90 $\pm$ 0.84	7.76 $\pm$ 0.30	—
	4.86	己醛	Caproaldehyde	7.54 $\pm$ 1.52	11.65 $\pm$ 0.25	6.02 $\pm$ 0.25
	7.93	苯甲醛	Benzaldehyde	1.35 $\pm$ 0.41	1.46 $\pm$ 0.51	2.01 $\pm$ 0.33
	11.30	反式-2,4-癸二烯醛	Trans-2,4-Decadienal	0.78 $\pm$ 0.25	0.29 $\pm$ 0.42	—
	2.53	丁醛	Butyraldehyde	—	—	2.47 $\pm$ 0.31
	8.86	壬醛	Nonana	—	1.02 $\pm$ 0.38	0.55 $\pm$ 0.21
	2.69	戊二醛	Glutaric dialdehyde	—	—	0.13 $\pm$ 0.28
酸类	3.15	十一醛	Undecanal	0.18 $\pm$ 0.23	0.21 $\pm$ 0.13	—
	3.21	十二醛	Dodecyl aldehyde	0.65 $\pm$ 0.07	—	—
	总计	10种		17.73 $\pm$ 0.83 ^b	23.11 $\pm$ 0.39 ^a	12.04 $\pm$ 0.29 ^c
	9.44	乙酸	Acetic Acid	2.16 $\pm$ 0.17	—	—
	12.17	苯甲酸	Benzoic Acid	0.49 $\pm$ 0.12	0.51 $\pm$ 0.01	0.51 $\pm$ 0.30
	6.341	氨基乙酸	Aminoacetic acid	—	0.55 $\pm$ 0.13	6.34 $\pm$ 0.11
	15.980	1,2-苯二甲酸	Benzene-1,2-dicarboxylic acid	—	—	0.23 $\pm$ 0.07
	3.212	2-丁烯二酸	2-Fumaric acid	0.50 $\pm$ 0.13	—	—
	总计	5种		2.65 $\pm$ 0.15 ^a	0.51 $\pm$ 0.01 ^b	0.51 $\pm$ 0.30 ^b
	6.89	β -蒎烯	β -Pinene	2.91 $\pm$ 0.15	—	—
烃类	6.06	α -品烯	α -Terpinen	4.14 $\pm$ 0.14	3.05 $\pm$ 0.34	—
	6.89	β -品烯	β -Terpinen	—	2.52 $\pm$ 0.12	—
	7.30	3-蒎烯	3-Carene	—	—	22.58 $\pm$ 0.42
	6.41	莰烯	Camphene	5.72 $\pm$ 0.32	1.58 $\pm$ 0.21	1.39 $\pm$ 0.35
	7.06	β -月桂烯	β -Myrcene	—	0.86 $\pm$ 0.02	1.72 $\pm$ 0.11
	7.61	d-柠檬烯	D-Limonene	6.00 $\pm$ 1.14	5.04 $\pm$ 0.78	9.65 $\pm$ 2.12
	7.71	β -水芹烯	β -Phellandrene	2.12 $\pm$ 0.22	—	0.73 $\pm$ 0.06
	8.45	环己烯	Cyclohexene	0.96 $\pm$ 0.36	1.35 $\pm$ 0.23	0.38 $\pm$ 0.03
	11.80	石竹烯	1-Caryophyllene	1.40 $\pm$ 0.39	1.65 $\pm$ 0.21	4.34 $\pm$ 0.11
	12.39	双环[3.1.1]庚-2-烯	Bicyclo3.1.1hept-2-ene	0.38 $\pm$ 0.01	—	0.15 $\pm$ 0.07
	12.39	1,3-环己二烯	1,3-Cyclohexadiene	—	0.17 $\pm$ 0.02	0.96 $\pm$ 0.06
	2.18	辛烷	N-Octane	0.54 $\pm$ 0.03	0.23 $\pm$ 0.03	0.21 $\pm$ 0.07
	6.57	十碳烷	Decane	1.05 $\pm$ 0.02	0.71 $\pm$ 0.12	0.59 $\pm$ 0.09
	7.68	正十二烷	N-Dodecane	0.42 $\pm$ 0.10	0.53 $\pm$ 0.08	0.41 $\pm$ 0.04
	3.18	羟甲基环丙烷	Cyclopropanemethanol	0.24 $\pm$ 0.07	—	—
	6.23	庚烷	Heptane	—	0.36 $\pm$ 0.10	0.29 $\pm$ 0.08
	总计	17种		25.88 $\pm$ 0.21 ^b	18.05 $\pm$ 0.08 ^c	43.4 $\pm$ 0.03 ^a

续表

种类	保留时间 (min)	化合物名称	化合物英文名称	相对含量(%)		
				煎制	炸制	烤制
酯类	4.68	丁酸乙酯	Butyric acid ethyl ester	—	—	0.21 ± 0.03
	5.90	氯甲酸壬酯	Nonyl chloroformate	0.24 ± 0.04	—	—
	15.97	邻苯二甲酸苯丙酯	Phenylpropyl phthalate	0.24 ± 0.03	—	—
	16.67	1,2-苯二甲酸正辛酯	1,2-N-Octyl phthalate	0.27 ± 0.08	0.48 ± 0.10	—
	15.97	邻苯二甲酸异丁酯	Dibutyl phthalate	—	0.43 ± 0.08	—
	6.264	2-二甲氨基乙酯	2-Dmaema	—	—	0.45 ± 0.33
	8.170	2-乙基异己基酯	2-Ethyl isohexyl ester	0.88 ± 0.14	—	—
总计		7 种		2.11 ± 0.08 ^a	0.91 ± 0.09 ^b	0.66 ± 0.03 ^c
杂环化	1.41	N-己基甲胺	N-Hexyl methylamine	248 ± 0.08	0.96 ± 0.13	—
	9.23	2-甲氧基-N-甲基乙胺	2-Methoxy-N-methyl ethylamine	—	0.09 ± 0.12	0.09 ± 0.12
	2.15	2-丁胺	2-Butanamine	—	1.20 ± 0.03	0.74 ± 0.12
	7.68	2-丙酰胺	2-Propionamide	—	0.33 ± 0.05	—
	21.33	3-苯丙胺	3-Amphetamine	0.20 ± 0.12	0.24 ± 0.02	—
	15.15	1,2-乙二胺	1,2-Ethylenediamine	0.10 ± 0.01	—	0.28 ± 0.03
	19.75	1-吡啶-3-乙胺	1-Methyl-3-butenone	0.34 ± 0.04	—	—
	7.46	3-丁烯-2-酮	3-Butene-2-ketone	0.77 ± 0.12	—	—
	7.51	2,3-辛二酮	2,3-Acetyl caproyl	—	—	0.37 ± 0.05
	7.72	2,5-二甲基-3-乙基吡嗪	2,5-Dimethyl-3-ethylpyrazine;	0.15 ± 0.21	1.00 ± 0.12	2.34 ± 0.13
	7.74	2-甲基-3,5-二乙基吡嗪	2-Methyl-3,5-diethylpyrazine	1.11 ± 0.11	0.82 ± 0.01	1.11 ± 0.06
	1.670	2-羟基丙酰胺	2-Hydroxypropionamide	—	—	0.37 ± 0.02
	12.430	2,3-二甲基苯丙胺	2,3-Dimethylamphetamine	—	—	0.15 ± 0.10
总计		13 种		4.47 ± 0.08 ^b	4.64 ± 0.04 ^b	6.53 ± 0.12 ^a

注:同行不同字母表示显著性差异($P < 0.05$);—:未检出。

醇可能源于香辛料中。

醛类挥发性强,且阈值低,在肉制品气味特征中起重要作用,影响猪排的整体风味^[24]。本实验中煎、炸、烤产生的醛类物质分别为7、7、6种,种类相差不大,三种熟制方式共有的挥发性物质有3种,分别为2-甲基丁醛、己醛和苯甲醛。三种熟制方式的醛类相对含量大小顺序为油炸>煎制>烤制,这可能与熟制方式中油的用量相关,用油量越大,产生的醛类含量越大,因为醛类与脂质的氧化降解相关联^[25]。三种熟制方式的样品中己醛含量均占醛类含量最高,较高的含量使之成为直链饱和醛中重要香气成分,赋予产品有清香、果香、花香、脂肪香气,而其他不饱和醛往往具有嗅感强烈,具有愉快的香气。相较于其他肉类的熟制,裹糊猪排产生的挥发性物质相对较少,但有一些与Strecker醛相关的醛类如2-甲基丁醛是熟制猪排所特有的醛类产物,本实验三种熟制方式均有这一物质证明挥发成分不仅与熟制方式有关,还与原料本身特性相关。

3种熟制方式均有11种以上烃类物质被检出,相对含量也都高于25%以上。被检测出的烃类可以分为饱和烃与不饱和烃两大类,其中由脂肪酸烷氧基的均裂而来,对风味影响不大的为饱和烃,芳香烃与烯烃类物质,对风味影响较大的称为不饱和烃,由猪肉中的不饱和和脂肪酸通过水解、氧化、分解等一系列反应生成^[26]。本实验中 β -蒎烯、 α -品烯、 β -月桂烯、石竹烯、 α -品烯不饱和烃主要呈松油味及香辛料特殊气味,D-柠檬烯与3-蒎烯则具有柑橘果香气味,主要来源于添加的香辛料,如黑白胡椒等,这些烃类物质含量不高,但对裹糊猪排整体风味有一定的贡献。

具有短链的酯类阈值较低,在常温下有较强的挥发性,通常伴有甜味和典型的水果香气,对风味具

有贡献潜力^[27]。裹糊猪排烹制过程中酯类的主要来源是加热过程中猪肉脂质化产生的醇或腌料中带来的醇与游离脂肪酸的相互作用。三组样品中煎制产生的酯类含量较高,炸和烤含量相近,这可能是煎制这一方式料酒的损失小于炸制和烤制,这也验证了张哲奇实验发现料酒的添加对酯类含量有一定的提升作用^[28]。酯类的温度过高而发生美拉德反应,生成具烤香味的吡嗪类化合物^[29]。

煎炸烤测到杂环类化合物种类分别为7、7、8,成分微量,杂环类化合物对猪排风味有一定的修饰作用。酮类是不饱和脂肪酸受热氧化后降解和美拉德反应的产物,酮类阈值较低,常有清香气味,可赋予裹糊猪排花香和果香味^[30]。煎炸烤检测到酮类物质均为1种,且含量较低。酸类物质在腌制时开始出现,酸类化合物主要来自脂肪水解以及脂质氧化过程中产生的小分子脂肪酸,但随着酯化反应的进行,酸类物质也会被消耗^[31]。本实验从酯类的种类可以判定酸类参与酯类的反应中,相应的由己酸生成己醛等一类反应。氨基酸、多肽等物质热解后,发生美拉德反应,生成杂环化合物,杂环化合物是熟肉的代表性香气组成^[32]。三种熟制方式均检测出吡嗪类化合物,且烤制的相对含量大于煎制和炸制,研究发现吡嗪类是烤肉的特征性风味物质,但三种熟制方式检测出吡嗪类化合物种类较少,这可能是由于猪排表面的裹糊影响了熟制猪肉风味物质的产生^[33]。

3 结论

本实验以裹糊猪排为研究对象,探究熟制方式与熟制温度对裹糊猪排品质影响,结果显示熟制方式与熟制温度均在一定程度上影响裹糊猪排品质。结合感官评价与理化指标分析,170℃煎制的裹糊猪排色泽金黄,外酥里嫩,滋味诱人。气味结果显示170与180℃温度组间气味成分接近,风味结果进一

步表明,3种熟制方式得到的风味化合物共64种,主要包括:醇类、醛类、酯类、酸类、杂环类这5大类,煎制形成的风味种类最高(44),烤制次之(37),炸制最少(35)。

熟制方式与熟制温度对裹糊猪排食品品质有很大影响。本文揭示了裹糊猪排熟制过程中的品质变化规律及其不同熟制方式下的裹糊猪排挥发性成分组成,可为科学生产裹糊肉制品提供实践性指导,也可对裹糊猪排的加工和风味成分组成提供一定的理论依据,最终促进裹糊猪排产品的标准化生产和经济的可持续发展。本文在风味成分上仅做了风味成分的相对含量分析,但由于各种挥发性化合物的阈值不同,一种挥发性化合物对肉制品整体香气的贡献不完全决定于其相对含量,因此需要结合嗅闻技术才能进一步得到不同熟制方式裹糊猪排特征风味。

参考文献

- [1] 牟笛,许静斯,冯佳昊,等.我国猪肉供应风险及对策研究[J].中国科学院院刊,2020,35(3):363-370.
- [2] Elisa D H, Alvija S, Per E. Low-temperature long-time cooking of meat: Eating quality and underlying mechanisms[J]. Meat Science, 2018, 143: 104-113.
- [3] Wang X J, Bertrand M, Wang X W, et al. Comparison between microwave and traditional water bath cooking on saltiness perception, water distribution and microstructure of grass carp meat[J]. Food Research International, 2019, 125: 108-121.
- [4] 沈铭聪,周名洋,孙杨赢,等.不同加热方法对盐水鹅食用品质的影响[J].食品工业科技,2019,40(11):63-69.
- [5] 陈美花,潘佳丽,翁文治.添加成分对外裹糊流变性能及外裹糊鱼块油炸过程油脂渗透的影响[J].食品科学,2019,1-10.
- [6] 马菲,郝延军,刁欣悦.酱制时间对传统酱卤猪肉制品风味及质构变化规律的影响[J].食品与机械,2019,35(9):55-63.
- [7] 杜云豪,刘长虹,王雪青,等.发酵方式对馒头在冷藏过程中品质及其货架期的影响[J].食品工业科技,41(9):264-268.
- [8] 刘树萍,冯爽,方伟佳.电子鼻在辣白菜腌制及发酵工艺中的应用研究[J].中国调味品,2019,44(12):99-103.
- [9] 李超,徐为民,王道营,等.加热过程中肉嫩度变化的研究[J].食品科学,2009,30(11):262-265.
- [10] 王兆明,贺雅非,余力,等.加热后兔肉中心温度的变化对其品质特性的影响[J].食品科学,2015,36(19):67-71.
- [11] 孔保华,王宇,夏秀芳,等.加热温度对猪肉肌原纤维蛋白凝胶特性的影响[J].食品科学,2011,32(5):50-54.
- [12] 钟华珍,刘永峰,甘斐,等.高温加工方式对肉品质的影响[J].食品与机械,2017,33(11):190-194.
- [13] Pathare P B, Roskilly A P. Quality and energy evaluation in meat cooking[J]. Food Engineering Reviews, 2016, 8(4): 435-447.
- [14] 李鸣,邢通,王虎虎,等.加工工艺对白切鸡品质及微生物状况的影响[J].食品科学,2018,39(11):32-38.
- [15] Tornber G E. Effects of heat on meat proteins-implications on structure and quality of meat products[J]. Meat Sci, 2005, 70(3):493-508.
- [16] Jaud M, Rouveure R, Faure P, et al. Method for orthorectification of terrestrial radar maps[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2014, 97: 185-194.
- [17] Wang Q, Li L, Ding W, et al. Adulterant identification in mutton by electronic nose and gas chromatography-mass spectrometer[J]. Food Control, 2018, 98: 431-438.
- [18] 郑月,杨文昇,张宇辉,等.不同加工方式“阳光猪肉”与普通冷鲜猪肉风味差异探究[J].食品与发酵工业, 2020: 1-11. Doi: org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.023179.
- [19] Meinert L, Andersen L T, Bredie W L P, et al. Chemical and sensory characterisation of pan-fried pork flavour: Interactions between raw meat quality, ageing and frying temperature[J]. Meat Science, 2007, 75(2): 229-242.
- [20] LI N, Zheng F P, Chen H T, et al. Identification of volatile components in Chinese Sinkiang fermented camel milk using SAFE, SDE, and HS-SPME-GC/MS[J]. Food Chemistry, 2011, 129(3): 1242-1252.
- [21] 孟祥忍,陈胜姝,陈昌,等.油炸方式对黄金猪排风味品质研究[J].食品科技,2019,44(8):97-103.
- [22] Wojciech W. Dispersive liquid-liquid microextraction combined with gas chromatography-mass spectrometry for in situ determination of biogenic amines in meat: Estimation of meat's freshness[J]. Microchemical journal, 2019, 145: 130-138.
- [23] 张梅超,慕金雨,刘敏,等.姜汁对太平洋牡蛎(*Crassostrea gigas*)酶解液风味改善的研究[J].食品科学,2014,35(17):170-175.
- [24] Enilia F, Magdalena M. Species-specific peptide-based liquid chromatography-mass spectrometry monitoring of three poultry species in processed meat products[J]. Food Chemistry, 2019, 238(15): 489-498.
- [25] Zhang Q, Qin W, Lin D, et al. The changes in the volatile aldehydes formed during the deep-fat frying process[J]. Journal of Food Science and Technology, 2015, 52(12): 7683-7696.
- [26] Berendsen R L, Kalkhove S I C, Lugones L G, et al. Effects of the mushroom-volatile 1-octen-3-ol on dry bubble disease[J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2013, 12: 5535-5543.
- [27] Sun W Z, Zhao Q Z, Zhao H F, et al. Volatile compounds of Cantonese sausage released at different stages of processing and storage[J]. Food Chemistry, 2010, 121(2): 319-325.
- [28] 张哲奇,臧明伍,张凯华,等.蒸制时间对粉蒸肉挥发性风味成分的影响[J].食品科学,2018,39(12):205-211.
- [29] 唐秋实,刘学铭,池建伟,等.不同干燥工艺对杏鲍菇品质和挥发性风味成分的影响[J].食品科学,2016,37(4):25-30.
- [30] Andrés J, Rascón, Evaristo B. Trace level determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in raw and processed meat and fish products from European markets by GC-MS[J]. Food Control, 2019, 101: 198-208.
- [31] 马菲,郝延军,刁欣悦,等.酱制时间对传统酱卤猪肉制品风味及质构变化规律的影响[J].食品科学,2019,35(9):

(下转第270页)

析方法。通过探究不同进样体积对色谱的分离效果以及不同流动相比比例下单糖的色谱出峰规律首先发现降低进样体积有利于提高乳果糖和乳糖的色谱分离,其次发现 α -麦芽糖会对乳果糖的色谱峰产生干扰,因而考虑在样品前处理时加入葡萄糖淀粉酶排除 α -麦芽糖的色谱干扰。最终经优化后的方法经方法学验证,乳果糖在50~2500 mg/kg的范围内线性关系良好, $R^2 = 0.9997$,乳果糖检出限与定量限分别为定量限为15和50 mg/kg加标回收率在90.3%~105.6%之间,相对标准偏差在3.0%~3.9%。运用该方法对市场中的27种实际乳样进行分析结果显示,乳果糖的检测含量均在合理范围内。本方法为液态乳中乳果糖的日常检测提供了一种更加简便经济,灵敏准确的途径,有利于业界以对液态乳加工质量准确评价。

参考文献

- [1] Andrews G R. Distinguishing pasteurized, UHT and sterilized milks by their lactulose content[J]. International Journal of Dairy Technology, 1984, 37(3): 92-95.
- [2] 刘璐璐, 张贵斌, 徐春伟, 等. 不同加热条件对牛奶糠氨酸、乳果糖含量的影响[J]. 现代食品, 2019, 25(17): 68-70.
- [3] Imène Felfoul, Jardin J, Gaucheron F, et al. Proteomic profiling of camel and cow milk proteins under heat treatment[J]. Food Chemistry, 2017, 21(6): 161-169.
- [4] 崔婧, 胡建, 刘悦, 等. 液态乳中复原乳检测方法研究[J]. 农产品质量与安全, 2018, 41(5): 80-84.
- [5] Olano, Agustín, Corzo N. Lactulose as a food ingredient[J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2010, 89(12): 1987-1990.
- [6] ISO 11868-2007 热处理牛奶. 乳果糖含量的测定. 高效液相色谱法[S].
- [7] ISO 11285-2004 牛奶. 乳糖含量的测定. 酶催化方法[S].
- [8] NT/T939-2016 巴氏杀菌乳和 UHT 灭菌乳中复原乳的鉴定[S].
- [9] 刘洋, 岳虹, 赵贞, 等. 高效液相色谱-蒸发光散射检测法与酶法检测 UHT 灭菌乳中乳果糖含量的对比研究[J]. 乳业科学与技术, 2017, 40(1): 19-22.
- [10] Sakkas L, Moutafi A, Moschopoulou E, et al. Assessment of heat treatment of various types of milk[J]. Food Chemistry, 2014, 15(9): 293-301.
- [11] 冯昕辉. 液质联用同时测定乳产品中的乳糖和乳果糖[C]//中国化学会质谱分析专业委员会. 第三届全国质谱分析学术报告会摘要集-分会场7: 环境与食品安全分析. 中国化学会质谱分析专业委员会: 中国化学会, 2017: 28.
- [12] Tommaso R I Cataldi, Massimiliano Angelotti, Giuliana Bianco. Determination of mono- and disaccharides in milk and milk products by high-performance anion-exchange chromatography with pulsed amperometric detection[J]. Analytica Chimica Acta, 2003, 485(1): 110-114.
- [13] 田瑶. 牛奶中乳果糖的研究及检测方法的开发[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2017.
- [14] 宋卿. 高效液相色谱新型分离材料研究[D]. 昆明: 云南师范大学, 2009.
- [15] Silveira M F, Pessoa Masson L M, Pereira Martins J F, et al. Simultaneous determination of lactulose and lactose in conserved milk by HPLC-RID[J]. Journal of Chemistry, 2015, 18(6): 59-67.
- [16] Regina Schuster-Wolff-Bühring, Michel R, Hinrichs J. A new liquid chromatography method for the simultaneous and sensitive quantification of lactose and lactulose in milk[J]. Dairy Science & Technology, 2011, 91(1): 27-37.
- [17] 刘萌萌, 宋戈. 高效液相色谱蒸发光散射检测法测定乳制品中乳果糖[J]. 中国乳品工业, 2018, 46(3): 49-51.
- [18] Natalia Gonzaga, Lycio Shinji Watanabe, Juliana Mareze, et al. Green method using water for lactose and lactulose extraction and determination in milk by high-performance liquid chromatography with refractive index detection[J]. LWT, 2019, 113.
- [19] Jiří Pazourek. Rapid HPLC method for monitoring of lactulose production with a high yield[J]. Carbohydrate Research, 2019, 484.
- [20] Manzi P, Pizzoferrato L. HPLC determination of lactulose in heat treated milk[J]. Food and Bioprocess Technology, 2013, 6(3): 851-857.
- [21] 王桂云, 苏庆, 张伟, 等. 氨基色谱柱测定蜂蜜中4种糖方法研究[J]. 蜜蜂杂志, 2019, 39(6): 9-11.
- [22] Jacopo, Gervasoni, Aniello, et al. Validation of UPLC-MS/MS method for determination of urinary lactulose/mannitol[J]. Molecules (Basel, Switzerland), 2018, 23(10).
- [23] Martinez-Castro I, Calvo M M, Olano A. Chromatographic determination of lactulose[J]. Chromatographia, 1987, 23(2): 132-136.
- [24] 姜金斗, 周红, 张丽宏, 等. HPLC法蒸发光散射检测器测定 UHT 灭菌奶中乳果糖方法的研究[J]. 中国乳品工业, 2006(3): 51-53.
- [25] 杨朝辉. 逆流色谱分离过程理论研究及应用[D]. 长沙: 中南大学, 2011.
- [26] 奚海明, 孙梅华. 分离度对色谱定量分析的影响[J]. 污染防治技术, 2006, 45(6): 49-50.
- [27] 黄晓林, 宋戈, 张丽宏, 等. 乳制品中单糖、双糖和低聚果糖的同时测定[J]. 中国乳品工业, 2017, 45(11): 37-39.
- [28] 马红燕, 康怀彬, 李芳, 等. 食品增稠剂在乳制品加工中的应用[J]. 农产品加工, 2016, 22(2): 57-61.
- [29] 孟悦, 王英哲, 田志刚, 等. 玉米粉制备葡萄糖的糖化工艺优化[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(18): 97-101.

(上接第265页)

56-63.

- [32] 王学敬, 李聪, 王玉峰, 等. SPME-GC-MS 法分析德州扒鸡挥发性风味成分的条件优化及成分分析[J]. 南京农业大学

学报, 2016, 39(3): 495-501.

- [33] 李苗苗, 王玉, 薛勇, 等. 南极磷虾虾糜热加工过程中的风味变化[J]. 食品工业科技, 2018, 39(20): 35-40.