

猪五花肉在三种红烧工艺 加工过程中的脂肪氧化规律

刘登勇^{1,2}, 王冠¹, 白璐¹, 崔晓莹¹

(1.渤海大学食品科学与工程学院, 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;

2.江苏省肉类生产与加工质量安全控制协同创新中心, 江苏南京 210095)

摘要:目的:研究红烧肉在制作过程中工艺对脂肪氧化和脂肪酸含量变化的影响。方法:以上海本帮、湖南毛氏、东北传统三种工艺红烧肉为研究对象,以其烹制过程中的不同时间(原料肉、炖煮0、30、60、90 min)为取样点,分析三种红烧肉脂肪层脂肪含量、过氧化值、硫代巴比妥酸值和脂肪酸组成的变化。结果:三种工艺红烧肉制作过程中,肥肉层脂肪含量均显著下降($p < 0.05$),炖煮温度越高,脂肪含量下降越显著;POV值先增大后减小,在炖煮30 min达到最大值;TBA值在炖煮过程中显著增大($p < 0.05$);亚油酸(C18:2)、油酸(C18:1)、棕榈酸(C16:0)以及硬脂酸(C18:0)是五花肉脂肪中的主要脂肪酸,占总脂肪酸的90%以上,亚油酸(C18:2)含量显著下降,单不饱和脂肪酸含量上升。结论:三种工艺红烧肉制作过程中,脂肪含量下降、脂肪适度氧化、脂肪酸组成改变,红烧工艺对脂肪氧化和脂肪酸含量影响较大。

关键词:红烧肉,加工过程,脂肪氧化,脂肪酸

Changes in Lipid Oxidation during the Processing of Three Braised Processes Red Braised Pork

LIU Deng-yong^{1,2}, WANG Guan¹, BAI Lu¹, CUI Xiao-ying¹

(1.College of Food Science and Technology, Bohai University, National & Local Joint Engineering Research Center of Storage, Processing and Safety Control Technology for Fresh Agricultural and Aquatic Products, Jinzhou 121013, China;

2.Collaborative Innovation Center of Meat Production and Processing, Quality and Safety Control, Nanjing 210095, China)

Abstract: Objective: The effect of the process on the oxidation of fat and the change of fatty acid content in the process of making braised pork was studied. Methods: The three kinds of braised pork meats from Shanghai local, Hunan Mao and Northeast traditional were studied, and the different time in the cooking process (raw meat, stew 0, 30, 60, 90 min) sampling points were used to analyze the changes of fat oxidation and fatty acid content in the fat layers of three braised pork meats. Results: The fat content of the fat layer decreased significantly during the production of three kinds of braised pork ($p < 0.05$). The stewing temperature has a significant effect on the fat content. POV reached the peak level after stewing for 30 min followed by a decline, while TBARS increased gradually ($p < 0.05$). Linoleic acid (C18:2), oleic acid (C18:1), palmitic acid (C16:0), and stearic acid (C18:0) were the primary fatty acids in the pork belly fat, these fatty acids account for more than 90% of total fatty acids, the content of oleic acid (C18:2) significantly decreased, MUFA content rose. Conclusion: The fat content of the three kinds of braised pork production projects, the moderate oxidation of fat and the composition of fatty acid components have changed. The braised process has a great influence on the changes of fat oxidation and fatty acid content.

Key words: stewed pork in brown sauce; processing; lipid oxidation; fatty acids

中图分类号: TS251.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2019)11-0057-06

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2019.11.011

引文格式: 刘登勇, 王冠, 白璐, 等. 猪五花肉在三种红烧工艺加工过程中的脂肪氧化规律[J]. 食品工业科技, 2019, 40(11): 57-62.

红烧肉是我国的传统美食,因其肥而不腻、软烂 适度、香气浓郁等特点为人们所喜爱^[1-2]。由古至今,

收稿日期: 2018-09-21

作者简介: 刘登勇(1979-),男,博士,教授,主要从事肉品加工与质量安全控制、食品风味与感官科学方面的研究, E-mail: jz_dyliu@126.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(PRKX2016Z06);国家自然科学基金面上项目(31571861);辽宁省重点研发计划指导计划项目(2017205003);辽宁省高等学校产业技术研究院重大应用研究项目(041804)。

红烧肉的做法都不尽相同,种类繁多,地域风味各异。调查发现,常见的红烧肉大多以地方命名,较出名的有湖南毛氏红烧肉、苏氏红烧肉和上海本帮红烧肉、东北传统红烧肉等^[3]。上海本帮红烧肉采用白糖、酱油对红烧肉进行上色,辅以黄酒去腥解腻,搭配辅料小火慢炖,大火收汁烹饪而成;毛氏红烧肉选择白糖作为上色剂,中火炖煮使红烧肉上色均匀;东北红烧肉采取传统工艺,在炖煮前,先将五花肉进行油炸,辅以葱、姜、蒜、大料、八角、白糖、酱油、料酒等材料烹饪而成。由于不同地区红烧肉的加工方式均有差异,制作出的红烧肉香气和风味也各不相同^[4]。

红烧肉的香气和风味主要来自脂肪和脂肪酸。脂肪在加热过程中发生氧化,释放出与脂质相关的挥发性物质,赋予红烧肉特有的香味。脂肪酸通过降解形成游离脂肪酸等香味前体物质,影响脂肪氧化,进而影响肉与肉制品氧化稳定性及风味物质的形成^[5]。目前,关于红烧肉的风味形成^[6]等方面已有相关报道,比如顾伟钢等^[7]和刘玲玲^[8]研究了红烧肉炖煮过程中猪肉脂肪氧化和脂肪酸组成的变化情况。但是关于不同工艺红烧肉在加工过程中脂肪氧化和脂肪酸组成的变化还缺乏系统研究。

本文以上海本帮、湖南毛氏、东北传统三种特色红烧肉为研究对象,根据三种工艺红烧肉的加工方法,在制作过程选取原料肉以及炖煮过程中4个关键工艺点,以红烧肉的脂肪层作为研究对象,旨在研究红烧肉加工过程中脂肪氧化和脂肪酸组成的变化规律,探究红烧工艺对脂肪变化的影响,为明确红烧肉加工过程中的脂肪及风味物质的变化规律提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

猪五花肉(猪种选择粮食猪,出栏周期为6个月,取猪腹部带皮五花肉)、姜、葱、食盐、白糖、酱油、大豆油、八角、黄酒、大料 皆购于锦州某超市;甲醇(色谱纯) DIKMA 公司;苯、石油醚、三氯甲烷、硫氰酸钾、氯化钠、氯化亚铁、三氯乙酸、乙二胺四乙酸(EDTA)、硫代巴比妥酸(TBA)、1,1,3,3-四乙氧基丙烷(1,1,3,3-tetrathoxypropane, TEP) 国药集团化学试剂有限公司,均为分析纯。

AL104 型电子天平 瑞士 Mettler Toledo 公司;T25 数显型均质机 德国 IKA 集团;SER148/6 脂肪测定仪 意大利 VELP 公司;UV2550 型紫外-可见分光光度计 日本 Shimadzu 公司;RE-52AA 型真空旋转蒸发器 上海亚荣生化仪器厂;Allegra 64R 型冷冻离心机 美国 Beckman 公司;Agilent7890A 型气相色谱-5975C 型质谱联用仪 美国安捷伦公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品制备 上海本帮红烧肉烹饪过程:将 500 g 五花肉洗净后切成 3 cm × 3 cm × 3 cm 的方块,在锅中倒入清水,烧开后放入切好的肉块,5 min 后捞出。在锅底倒入适量油,待油微热后,加入 25 g 白糖,待白糖溶化后放入肉块快速翻炒,小火炒至肉块泛微

黄。将配料(葱 10 g、姜 5 g、八角 3 g)一起倒入翻炒 1 min,倒入 20 g 黄酒翻炒 1 min 后,倒入 40 g 酱油翻炒 2 min。在锅中倒入 500 mL 清水,煮沸后将电磁炉功率调为 300 W 炖煮 60 min,调成大火炖煮 30 min 后关火装盘。

东北传统红烧肉烹饪过程:将 500 g 五花肉洗净后切成 3 cm × 3 cm × 3 cm 的方块,锅中倒入油,待油温升至 150 °C 油炸 3 min。在锅底倒入适量油,待油微热后,加入 15 g 白糖倒入油锅,待白糖溶化后,将炸好的肉块直接倒入锅中翻炒 1 min,加入配料(葱 10 g、姜 4 g、桂皮 6 g、八角 3 g)继续翻炒 1 min 后将 20 g 料酒、30 g 酱油倒入继续翻炒 2 min。在锅中加入 500 mL 清水,煮沸后将电磁炉功率调为 300 W 炖煮 60 min,调成大火炖煮 30 min 后关火装盘。

湖南毛氏红烧肉烹饪过程:将 500 g 五花肉洗净后切成 3 cm × 3 cm × 3 cm 的方块,在锅中倒入清水,烧开后放入切好的肉块,5 min 后捞出。锅中加入 40 g 白糖,待溶解后,放入五花肉翻炒至肉块表面糖液均匀,放入配料(葱 10 g、蒜 10 g、香叶 0.5 g、八角 3 g、姜 3 g)继续翻炒 1 min,再将 10 g 料酒倒入翻炒 2 min。倒入 500 mL 清水,大火煮沸后,将电磁炉功率调为 500 W 炖煮 60 min,调成大火炖煮 30 min 后关火装盘。

取样时间点:原料肉、炖煮 0 min(炖煮时大火烧开后开始计时)、30、60、90 min,分别用 A、B、C、D、E 表示。

取样部位:将肉块取出,去除红烧肉表面杂物,切去红烧肉的瘦肉层和皮层,取脂肪层进行分析。

1.2.2 粗脂肪含量测定 参考 GB/T 5009.6-2016《食品中脂肪的测定》^[9],用脂肪测定仪测定样品中粗脂肪的含量。

1.2.3 过氧化值(POV)测定 根据李暮春等^[10]的方法。取 2 g 肉样放置在 50 mL 具塞试管中,加入 15 mL 氯仿:甲醇(2:1, V/V)混合溶液,高速均质(11000 r/min, 30 s),加入 3 mL 0.5% NaCl 溶液,然后在 4 °C 下 3000 × g 离心 10 min,样品分成两相。在下层液相中取 5 mL 样液,转移至试管,在试管中滴加 5 mL 氯仿:甲醇(2:1, V/V)混合溶液,滴加 25 μL 硫氰酸铵溶液,振荡摇匀,再滴加 25 μL 二价铁离子溶液,混匀。将样品在室温下静置 5 min,然后放置于 500 nm 处测定吸光度。

1.2.4 硫代巴比妥酸(TBARS)值测定 TBARS 值的测定参照 Mielnik 等^[11]的方法。取 10 g 肉样研细,加 50 mL 7.5 g/100 mL 的三氯乙酸(含 0.1% EDTA),用高速均质(15000 r/min, 30 s),将样液过滤后吸取滤液 5 mL,再滴加 5 mL 0.02 mol/L TBA 溶液,于 100 °C 条件下水浴 30 min,再用流动自来水将其冷却 10 min,设置紫外-可见分光光度计波长为 532 nm,于此处检测反应溶液的吸光度。TBARS 值的计算表示为每千克肉样品中所含的丙二醛的毫克数,计算公式如下:

$$TBARS(\text{mg/kg}) = \frac{A \times V \times M}{\varepsilon \times l \times m}$$

式中: A 为溶液的吸光值; V 为样品液体积(10 mL); M 为丙二醛的分子质量(72.063 g/mol);

m 为称量样品的质量 (0.01 kg); I 为光程 (1 cm); ϵ 为摩尔消光系数 ($156,000 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$)。

1.2.5 脂肪酸组成测定

1.2.5.1 脂肪提取 按照 Folch 等^[12]的方法提取样品的脂肪。取 5 g 肉样, 加入 100 mL 氯仿: 甲醇溶液 (2:1, V/V), 低速匀浆两次 (6000 r/min, 每次 20 s), 静置 60 min 后过滤, 将 20 mL 生理盐水加入滤液后振荡混匀, 待样液静置分层后, 取下层清液, 加入无水硫酸钠去除水分, 通过使用真空旋转蒸发仪在 44 °C 水浴条件下蒸干获得脂质样品。

1.2.5.2 脂肪酸甲酯化 参考 AOAC^[13] 和 Indrasti^[14] 等的方法, 取 50 mg 提取的脂肪于试管中, 加入 2 mL 苯: 石油醚混合溶液 (1:1, V/V), 待样品混匀后, 加入 2 mL 0.4 mol/L KOH-甲醇溶液, 静置分层后沿试管壁加入饱和 NaCl 溶液使有机相层上升, 澄清后, 取上清液过 0.22 μm 滤膜, 滤液装于样品瓶中待检测。

1.2.5.3 脂肪酸组分分析 参考王毅等^[15]方法, 并作适当调整。

检测条件: 气相色谱 (Gas chromatography, GC) 条件参数: INNOWax 毛细管柱 (30 m $\times$ 0.32 mm, 0.25 μm), 进样口温度 250 °C; 检测器温度 280 °C; 载气为氮气, 柱流量 1.0 mL/min; 进样量 1 μL , 分流比 20:1; 柱箱升温程序: 起始温度 140 °C, 保持 2 min, 以 6 °C/min 升到 200 °C, 保持 2 min, 再以 2 °C/min 升到 230 °C, 保持 2 min, 最后以 4 °C/min 升到 250 °C, 保持 2 min。质谱 (Mass spectrometry, MS) 条件参数: 接口温度 250 °C; 离子源温度 230 °C; 溶剂延迟 4 min; 质量扫描范围 m/z : 全扫描。脂肪酸采用质谱库匹配度检索定性, 采用峰面积归一化法定量。

1.3 数据分析

采用软件 IBM SPSS 19.0 对试验数据进行显著性差异分析, 结果均以平均值 $\pm$ 标准差表示; 采用 Origin 8.6 软件对数据进行处理。试验独立重复 3 次。

2 结果与讨论

2.1 红烧肉制作过程中粗脂肪含量变化

由图 1 可知, 通过本帮、毛氏、传统三种红烧肉工艺将五花肉加工成红烧肉后粗脂肪含量显著下降 ($p < 0.05$), 三种工艺成品红烧肉脂肪含量分别为 78.65%、64.70%、78.95%, 比原料肉脂肪含量分别下降了 6.86%、19.04%、8.93%。红烧肉制作过程中脂肪含量逐渐降低, 传统红烧肉和毛氏红烧肉在炖煮 0 min 时脂肪含量下降不显著 ($p > 0.05$), 本帮红烧肉炖煮 0 min 时脂肪含量下降较显著 ($p < 0.05$)。传统红烧肉采用了油炸工艺, 但脂肪含量的变化却并不显著 ($p > 0.05$), 可能原因是油炸过程中肉块的脂肪和水分同时流失, 二者流失程度比较接近, 所以相对比例变化不大。本帮红烧肉从炖煮 30 min (81.21%) 到炖煮 60 min (79.42%) 脂肪含量变化较显著 ($p < 0.05$), 炖煮 60 min 到炖煮 90 min 脂肪含量变化不显著 ($p > 0.05$); 传统红烧肉从炖煮 30 min

(82.21%) 到炖煮 60 min (81.39%) 脂肪含量变化不显著 ($p > 0.05$), 炖煮 60 min 到炖煮 90 min 脂肪含量变化略微减小但不显著 ($p > 0.05$); 毛氏红烧肉从炖煮 30 min (81.10%) 到炖煮 60 min (72.52%) 脂肪含量显著下降 ($p < 0.05$), 炖煮 60 min 到炖煮 90 min 脂肪含量仍然显著下降 ($p < 0.05$), 可能是由于毛氏红烧肉加工时不加酱油, 在炖煮过程中, 为了使红烧肉上色明显, 炖煮温度选择较高, 导致脂肪流失情况明显。由此可得出, 炖煮时温度大小影响脂肪分解的速率。在炖煮过程中, 脂肪含量迅速下降, 原因可能是红烧肉在加热过程中, 结缔组织受热收缩, 导致其包裹的脂肪细胞破碎, 脂肪流入汤汁中^[16], 同时可能与脂肪在长时间炖煮过程中降解成挥发性物质有关^[17]。

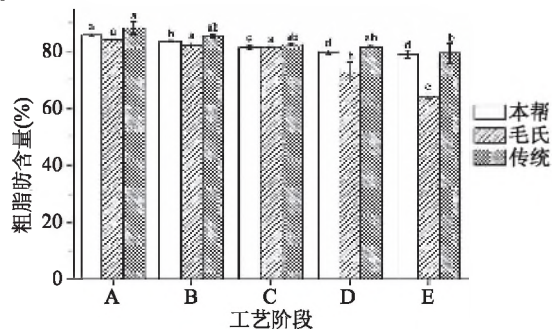


图 1 不同工艺红烧肉制作过程中粗脂肪含量变化

Fig.1 Change in crude fat content during processing of stewed pork belly in different processes braised pork

注: 不同小写字母表示差异显著 ($p < 0.05$); 图 2、图 3 同。

2.2 红烧肉制作过程中脂肪氧化分析

2.2.1 红烧肉制作过程中 POV 变化 过氧化物是脂肪氧化的初级产物, 具有较强的氧化能力, POV 值测定的是过氧化氢的含量, 可以反映出肉中不饱和脂肪酸的氧化程度。由图 2 可知, 在红烧肉的烹制过程中, POV 值由原料肉在经过油炸或焯水后显著增加 ($p < 0.05$), 在炖煮过程中呈现先增加后减小的趋势, 炖煮 30 min 时 POV 值达到最大, 说明此阶段五花肉经高温炖煮, 脂肪氧化程度加剧, 生成的初级产物迅速增多 ($p < 0.05$)。随着炖煮过程的延长, POV 值又显著减小 ($p < 0.05$), 这表明先前生成的初级氧化产物在持续加热过程中不断分解, 初级氧化产物的分解速率大于其生成速率, 次级产物逐渐累积。

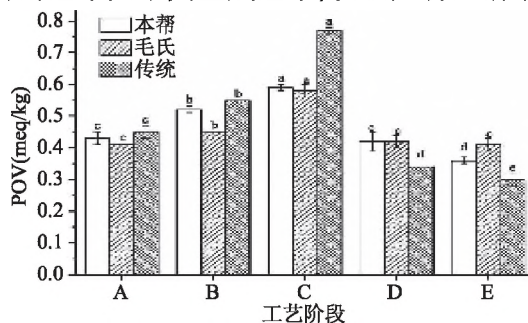


图 2 不同工艺红烧肉制作过程中 POV 值变化

Fig.2 Change in peroxide value (POV) during processing of stewed pork belly in different processes braised pork

刘登勇等^[18]研究了五花肉在红烧过程中 POV 值的动态变化,得到的结果与本实验相同,POV 值增加后减小。

2.2.2 红烧肉制作过程中 TBARS 值变化 TBARS 值是指油脂中不饱和脂肪酸氧化分解所产生的次级产物如丙二醛等与 TBA 反应的结果,是检测含脂肪产品在加工中脂肪氧化变化的重要指标^[19]。由图 3 可知,红烧肉制作过程中 TBARS 值逐渐上升,表明了加工过程中脂肪氧化程度在逐渐增加。传统红烧肉前期的油炸处理对五花肉 TBARS 值几乎没有影响($p > 0.05$),是由于加工过程中加热时间较短,肉块仅有表面受热,脂肪主要发生初级氧化,次级氧化程度较低。本帮红烧肉和毛氏红烧肉经过前期水焯处理时 TBARS 值变化较显著($p < 0.05$)。随着炖煮过程的延长,TBARS 值显著上升($p < 0.05$),这可能是由于丙二醛是脂肪氧化的中间产物,小火炖煮后使丙二醛含量积累,引起 TBARS 值升高。然后在大火收汁阶段,脂肪氧化在持续的进行,更多的氧化中间产物进一步反应成丙二醛浓度,这导致 TBARS 值的继续上升。

2.2.3 红烧肉制作过程中脂肪酸组成变化 脂肪酸是人体重要营养素之一,其组成和含量对肉品的营养价值具有重要作用。是评价肉制品的重要指标^[20]。

由表 1~表 3 可知,红烧肉脂肪中单不饱和脂肪酸(MUFA)含量较高,多不饱和脂肪酸(PUFA)含量较低。其中亚油酸(C18:2)、油酸(C18:1)、棕榈酸

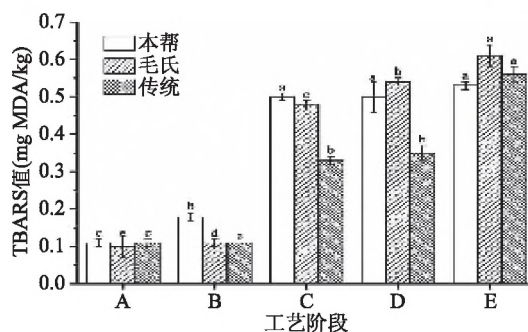


图 3 不同工艺红烧肉制作过程中 TBARS 值变化

Fig.3 Change in thiobarbituric acid (TBARS) value during processing of stewed pork belly in different processes braised pork (C16:0)以及硬脂酸(C18:0)是主要脂肪酸,占总脂肪酸的 90% 以上。此结论与史笑娜等^[21]研究红烧肉加工过程中脂肪酸变化研究结果相似。毛氏红烧肉红烧过程中棕榈酸含量变化不显著($p > 0.05$),亚油酸和硬脂酸含量显著降低($p < 0.05$),油酸含量变化不明显($p > 0.05$),PUFA 呈明显下降趋势($p < 0.05$)。传统红烧肉红烧过程中油酸含量变化显著上升($p < 0.05$),棕榈酸和亚油酸含量在加工过程中显著下降($p < 0.05$),油酸(C18:1)在红烧过程中显著增加($p < 0.05$),PUFA 呈下降趋势($p > 0.05$)。本帮红烧肉红烧过程中棕榈酸含量变化不大($p > 0.05$),油酸及硬脂酸含量在加工成成品后显著上升($p < 0.05$),亚油酸含量在红烧过程中出现波动,总体呈显著下降趋势($p < 0.05$),PUFA 呈明显下降趋势($p < 0.05$)。

表 1 毛氏红烧肉制作过程中脂肪酸组分的变化(%)

Table 1 Change in fatty acid composition during processing of stewed pork belly in Mao red braised pork (%)

脂肪酸	A	B	C	D	E
C12:0	0.09 ± 0.00 ^a	0.08 ± 0.00 ^a	0.09 ± 0.01 ^a	0.09 ± 0.01 ^a	0.09 ± 0.00 ^a
C14:0	1.54 ± 0.05 ^b	1.60 ± 0.02 ^b	1.63 ± 0.11 ^{ab}	1.56 ± 0.05 ^b	1.72 ± 0.01 ^a
C15:0	0.04 ± 0.01 ^a	0.03 ± 0.00 ^b	0.04 ± 0.00 ^{ab}	0.04 ± 0.00 ^{ab}	0.03 ± 0.00 ^b
C16:1	2.69 ± 0.11 ^b	2.68 ± 0.05 ^b	2.63 ± 0.10 ^b	2.40 ± 0.14 ^c	3.00 ± 0.21 ^a
C16:0	22.88 ± 0.29 ^a	23.19 ± 0.12 ^a	22.83 ± 0.57 ^a	22.99 ± 0.43 ^a	22.53 ± 0.06 ^a
C17:0	0.44 ± 0.02 ^a	0.39 ± 0.00 ^b	0.43 ± 0.01 ^a	0.43 ± 0.01 ^a	0.44 ± 0.00 ^a
C18:3	0.04 ± 0.01 ^a	0.03 ± 0.00 ^{ab}	0.03 ± 0.00 ^{ab}	0.02 ± 0.00 ^b	0.03 ± 0.00 ^{ab}
C18:2	7.46 ± 1.08 ^a	7.12 ± 0.18 ^{ab}	7.66 ± 0.89 ^a	8.58 ± 1.60 ^a	5.50 ± 0.40 ^b
C18:1	47.70 ± 1.11 ^{ab}	47.73 ± 0.38 ^{ab}	47.43 ± 0.76 ^b	46.64 ± 2.41 ^b	50.00 ± 0.17 ^a
C18:0	13.97 ± 0.05 ^a	14.15 ± 0.20 ^a	13.77 ± 0.09 ^{ab}	14.05 ± 0.55 ^a	13.32 ± 0.10 ^b
C19:1	0.03 ± 0.00 ^c	0.03 ± 0.00 ^c	0.11 ± 0.01 ^a	0.09 ± 0.02 ^b	0.10 ± 0.00 ^{ab}
C19:0	0.09 ± 0.00 ^a	0.08 ± 0.01 ^b	0.03 ± 0.01 ^c	0.03 ± 0.01 ^{cd}	0.02 ± 0.00 ^d
C20:4	0.32 ± 0.03 ^a	0.27 ± 0.01 ^{bc}	0.30 ± 0.02 ^{ab}	0.25 ± 0.01 ^c	0.33 ± 0.00 ^a
C20:3	0.22 ± 0.01 ^a	0.18 ± 0.01 ^b	0.19 ± 0.01 ^b	0.18 ± 0.01 ^b	0.19 ± 0.00 ^b
C20:2	0.82 ± 0.04 ^c	0.69 ± 0.01 ^b	0.91 ± 0.06 ^a	0.83 ± 0.01 ^b	0.87 ± 0.04 ^{ab}
C20:1	1.34 ± 0.03 ^d	1.43 ± 0.03 ^{cd}	1.59 ± 0.09 ^a	1.48 ± 0.04 ^{bc}	1.54 ± 0.06 ^{ab}
C20:0	0.33 ± 0.01 ^a	0.32 ± 0.01 ^a	0.33 ± 0.03 ^{ab}	0.34 ± 0.01 ^a	0.29 ± 0.01 ^b
SFA	39.38 ± 0.17 ^{ab}	39.84 ± 0.30 ^a	39.15 ± 0.72 ^{ab}	39.53 ± 0.94 ^a	38.44 ± 0.06 ^b
MUFA	51.76 ± 1.24 ^b	51.87 ± 0.48 ^b	51.76 ± 0.82 ^b	50.61 ± 2.50 ^b	54.64 ± 0.29 ^a
PUFA	8.86 ± 1.08 ^a	8.29 ± 0.17 ^{ab}	9.09 ± 0.79 ^a	9.86 ± 1.57 ^a	6.92 ± 0.35 ^b
UFA/SFA	1.54	1.51	1.55	1.53	1.60

注:同行小写字母不同表示差异显著($p < 0.05$),SFA:饱和脂肪酸;PUFA:多不饱和脂肪酸;MUFA:单不饱和脂肪酸;UFA:不饱和脂肪酸;表 2、表 3 同。

表2 传统红烧肉制作过程中脂肪酸组分的变化(%)

Table 2 Change in fatty acid composition during processing of stewed pork belly in traditional braised pork(%)

脂肪酸	A	B	C	D	E
C12:0	0.09 ± 0.00 ^b	0.10 ± 0.01 ^{ab}	0.10 ± 0.02 ^{ab}	0.12 ± 0.02 ^a	0.09 ± 0.00 ^{ab}
C14:0	1.50 ± 0.05 ^a	1.65 ± 0.12 ^a	1.60 ± 0.12 ^a	1.52 ± 0.17 ^a	1.62 ± 0.10 ^a
C15:0	0.04 ± 0.00 ^{bc}	0.04 ± 0.00 ^b	0.03 ± 0.00 ^c	0.07 ± 0.00 ^a	0.04 ± 0.00 ^{bc}
C16:1	2.52 ± 0.14 ^b	2.92 ± 0.11 ^{ab}	2.76 ± 0.05 ^{ab}	3.19 ± 0.10 ^a	2.77 ± 0.14 ^{ab}
C16:0	23.14 ± 0.32 ^a	22.90 ± 0.50 ^{ab}	23.26 ± 0.145 ^a	22.25 ± 1.39 ^{ab}	21.66 ± 0.24 ^b
C17:0	0.43 ± 0.00 ^b	0.45 ± 0.02 ^b	0.45 ± 0.02 ^b	0.79 ± 0.09 ^a	0.50 ± 0.03 ^b
C18:3	0.03 ± 0.00 ^a	0.03 ± 0.00 ^b	0.03 ± 0.00 ^b	0.02 ± 0.00 ^c	0.03 ± 0.00 ^b
C18:2	7.70 ± 0.04 ^a	9.04 ± 2.64 ^a	8.37 ± 1.47 ^a	9.08 ± 2.02 ^a	6.28 ± 1.29 ^b
C18:1	46.77 ± 0.10 ^b	46.91 ± 2.48 ^{ab}	46.88 ± 2.18 ^{ab}	48.17 ± 1.19 ^a	49.37 ± 0.14 ^a
C18:0	14.65 ± 0.12 ^a	12.73 ± 0.16 ^{bc}	13.26 ± 1.70 ^{abc}	11.78 ± 1.04 ^c	14.17 ± 0.45 ^{ab}
C19:1	0.09 ± 0.00 ^b	0.10 ± 0.01 ^b	0.09 ± 0.02 ^b	0.15 ± 0.01 ^a	0.10 ± 0.01 ^b
C19:0	0.03 ± 0.00 ^a	0.08 ± 0.09 ^{ab}	0.11 ± 0.04 ^{ab}	0.13 ± 0.04 ^b	0.11 ± 0.02 ^{ab}
C20:4	0.28 ± 0.00 ^{ab}	0.33 ± 0.02 ^a	0.29 ± 0.04 ^{ab}	0.24 ± 0.05 ^b	0.32 ± 0.03 ^a
C20:3	0.18 ± 0.00 ^b	0.18 ± 0.01 ^b	0.17 ± 0.02 ^b	0.18 ± 0.01 ^b	0.21 ± 0.01 ^a
C20:2	0.84 ± 0.02 ^{ab}	0.82 ± 0.03 ^{ab}	0.82 ± 0.10 ^{ab}	0.73 ± 0.08 ^b	0.88 ± 0.06 ^a
C20:1	1.40 ± 0.02 ^a	1.45 ± 0.13 ^a	1.49 ± 0.24 ^a	1.33 ± 0.15 ^a	1.52 ± 0.08 ^a
C20:0	0.31 ± 0.01 ^{ab}	0.27 ± 0.02 ^c	0.29 ± 0.01 ^c	0.25 ± 0.02 ^c	0.33 ± 0.02 ^a
SFA	40.19 ± 0.23 ^a	38.22 ± 0.66 ^{ab}	39.10 ± 1.70 ^{ab}	36.91 ± 2.64 ^b	38.52 ± 0.82 ^b
MUFA	50.78 ± 0.17 ^b	51.38 ± 2.74 ^a	51.22 ± 2.73 ^a	52.84 ± 0.87 ^a	53.76 ± 0.38 ^a
PUFA	9.03 ± 0.40 ^{ab}	10.40 ± 2.59 ^a	9.68 ± 0.03 ^{ab}	10.25 ± 1.93 ^a	7.72 ± 1.19 ^b
UFA/SFA	1.49	1.62	1.56	1.71	1.60

表3 本帮红烧肉制作过程中脂肪酸组分的变化(%)

Table 3 Change in fatty acid composition during processing of stewed pork belly in local red braised pork(%)

脂肪酸	A	B	C	D	E
C12:0	0.11 ± 0.02 ^a	0.09 ± 0.00 ^b	0.09 ± 0.01 ^{ab}	0.08 ± 0.00 ^b	0.09 ± 0.01 ^{ab}
C14:0	1.48 ± 0.03 ^b	1.59 ± 0.03 ^{ab}	1.61 ± 0.12 ^a	1.53 ± 0.02 ^{ab}	1.57 ± 0.02 ^{ab}
C15:0	0.12 ± 0.10 ^a	0.04 ± 0.00 ^a	0.04 ± 0.00 ^a	0.04 ± 0.00 ^a	0.05 ± 0.00 ^a
C16:1	2.48 ± 0.24 ^a	2.87 ± 0.05 ^a	3.53 ± 1.23 ^a	2.61 ± 0.04 ^a	2.65 ± 0.02 ^a
C16:0	23.12 ± 1.24 ^{ab}	22.65 ± 0.30 ^b	22.71 ± 0.26 ^{ab}	24.15 ± 0.48 ^a	23.27 ± 0.07 ^{ab}
C17:0	0.39 ± 0.14 ^a	0.44 ± 0.02 ^a	0.43 ± 0.03 ^a	0.42 ± 0.02 ^a	0.47 ± 0.04 ^a
C18:3	0.03 ± 0.01 ^a	0.03 ± 0.00 ^a	0.03 ± 0.00 ^a	0.03 ± 0.01 ^a	0.03 ± 0.00 ^a
C18:2	10.38 ± 1.07 ^a	8.83 ± 0.23 ^{ab}	7.62 ± 1.85 ^b	8.58 ± 0.10 ^{ab}	7.41 ± 0.44 ^b
C18:1	45.60 ± 0.22 ^b	47.37 ± 0.53 ^a	47.16 ± 2.60 ^a	45.94 ± 0.18 ^b	47.02 ± 0.41 ^a
C18:0	13.11 ± 0.75 ^b	12.77 ± 0.17 ^b	13.43 ± 0.35 ^{ab}	13.40 ± 0.35 ^{ab}	14.17 ± 0.06 ^a
C19:1	0.10 ± 0.02 ^b	0.07 ± 0.00 ^b	0.09 ± 0.03 ^b	0.10 ± 0.01 ^b	0.17 ± 0.06 ^a
C19:0	0.03 ± 0.00 ^b	0.03 ± 0.00 ^b	0.03 ± 0.01 ^b	0.11 ± 0.09 ^a	0.03 ± 0.00 ^b
C20:4	0.37 ± 0.05 ^a	0.32 ± 0.00 ^b	0.30 ± 0.03 ^b	0.24 ± 0.03 ^c	0.30 ± 0.01 ^b
C20:3	0.22 ± 0.05 ^a	0.20 ± 0.01 ^{ab}	0.17 ± 0.02 ^b	0.18 ± 0.01 ^{ab}	0.18 ± 0.01 ^{ab}
C20:2	0.75 ± 0.02 ^b	0.85 ± 0.03 ^{ab}	0.87 ± 0.10 ^a	0.79 ± 0.03 ^{ab}	0.78 ± 0.02 ^{ab}
C20:1	1.43 ± 0.06 ^a	1.57 ± 0.13 ^a	1.55 ± 0.02 ^a	1.49 ± 0.02 ^a	1.48 ± 0.09 ^a
C20:0	0.28 ± 0.04 ^b	0.28 ± 0.01 ^b	0.33 ± 0.02 ^a	0.31 ± 0.02 ^{ab}	0.33 ± 0.00 ^a
SFA	38.64 ± 0.95 ^b	37.89 ± 0.44 ^b	38.67 ± 0.35 ^b	40.04 ± 0.02 ^a	39.98 ± 0.03 ^a
MUFA	49.61 ± 0.09 ^c	51.88 ± 0.63 ^a	52.33 ± 1.42 ^a	50.14 ± 0.14 ^{bc}	51.32 ± 0.41 ^{ab}
PUFA	11.75 ± 1.04 ^a	10.23 ± 0.38 ^{ab}	9.00 ± 1.71 ^a	9.82 ± 0.16 ^a	8.70 ± 0.44 ^b
UFA/SFA	1.59	1.64	1.59	1.50	1.50

可以发现三种工艺红烧肉在制作过程中, MUFA 相对含量显著上升($p < 0.05$), PUFA 相对含量均呈现下降趋势, SFA 相对含量变化有差异, 可能由于红烧工

艺差异引起的脂肪酸变化差异性。顾伟钢等^[7]研究了红烧肉加工过程脂肪酸变化情况, 发现 SFA 和 PUFA 的含量在炖煮过程中下降显著, MUFA 的含量

则显著增加,与本实验结果有所不同,可能是由于采样点、红烧肉的制作工艺等不同造成的^[22]。

肉中脂肪酸相对百分含量代表肉中各脂肪酸在同一取样点的构成比例,对粗脂肪含量的研究中发现随着加工过程的进行,红烧肉中脂肪含量不断减少,肉中脂肪酯化,脂肪酸降解成小分子物质,肉的组织结构在加热过程中被破坏,脂肪流出,更容易发生反应,导致脂肪酸组分发生变化^[18]。成品肉中亚油酸(C18:2)、油酸(C18:1)、棕榈酸(C16:0)和硬脂酸(C18:0)是红烧肉中的主要脂肪酸,且成品中多不饱和脂肪酸相对含量明显下降。Cameron^[23]研究表明,肉品的嫩度和风味与单不饱和脂肪酸和饱和脂肪酸总含量成正相关,所以多不饱和脂肪酸的降低有利于红烧肉良好嫩度和风味的形成。

3 结论

三种红烧肉加工过程中脂肪含量均持续下降、POV值呈现先上升后下降的趋势、TBARS值逐渐增大;加工前后红烧肉脂肪层中主要的脂肪酸均为亚油酸、油酸、棕榈酸以及硬脂酸,加工后脂肪酸的构成比例发生了较大改变,其中亚油酸(C18:2)含量下降显著($p < 0.05$),单不饱和脂肪酸含量明显上升。红烧肉在制作过程中脂肪含量下降、脂肪发生了适度氧化、脂肪酸组成发生了改变,红烧工艺对脂肪含量和脂肪酸含量变化影响较大,而脂肪氧化和脂肪酸构成比例的变化主要发生在炖煮过程。

参考文献

- [1] Li JR, Hsieh YH. Traditional Chinese food technology and cuisine[J]. Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition, 2004, 24(1): 617-643.
- [2] 任红涛,程丽英,宋晓燕,等.速冻菜肴红烧肉的工艺研究[J].中国食物与营养,2012,18(6): 62-65.
- [3] 范丽,徐晓东,宋泽,等.自制调味汁烹饪红烧肉中关键香气活性化合物的分析研究[J].现代食品科技,2017,33(7): 245-253.
- [4] 徐艳.红烧肉的技术传承及营养风味研究[J].粮食流通技术,2017,5(9): 66-67.
- [5] 纪有华,王荣兰.红烧肉烹饪工艺及其影响因素研究[J].扬州大学烹饪学报,2010,27(2): 31-36.
- [6] Xie Jian-chun, Sun Bao-guo, Zheng Fu-ping, et al. Volatile flavor constituents in roasted pork of Mini-pig [J]. Food Chemistry, 2008, 109(3): 506-514.
- [7] 顾伟钢,张进杰,姚燕佳,等.红烧肉制作过程中脂肪氧化和脂肪酸组成的变化[J].食品科学,2011,32(17): 76-80.
- [8] 刘玲玲.红烧肉加工过程中营养成分变化及丙烯酰胺抑制研究[D].南昌:南昌大学,2016.
- [9] GB 5009.6-2016 食品安全国家标准食品中脂肪的测定[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [10] 李慕春,孔保华,孙方达,等.肉桂提取物降低哈尔滨风干肠中亚硝胺作用的研究[J].现代食品科技,2015,31(3): 228-234.
- [11] Mielnik M B, Olsen E, Vogt G, et al. Grape seed extract as antioxidant in cooked, cold stored turkey meat [J]. LWT- Food Science and Technology, 2006, 39(3): 191-198.
- [12] Floch J M L, Lees M P, Sloane-Stanley G R A. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues [J]. Journal of Biological Chemistry, 1957, 226(1): 497-509.
- [13] Association of Official Analytical Chemists. AOAC Official method 996.06 fat (total, saturated, and unsaturated) in foods [S]. Gaithersburg: AOAC International, 2001.
- [14] Indrasyi D, Man Y B C, Mustafa S, et al. Lard detection based on fatty acids profile using comprehensive gas chromatography hyphenated with time-of-flight mass spectrometry [J]. Food Chemistry, 2010, 122(4): 1273-1277.
- [15] 王毅,贺雅非,陈红霞,等.不同部位伊拉兔肉脂肪酸组成的对比分析[J].食品科学,2014,35(4): 137-141.
- [16] 黄业传,李洪军,秦刚,等.不同加工方式与时间对猪肉脂肪含量和脂肪酸组成的影响[J].食品工业科技,2012,33(1): 159-163.
- [17] Larsen D, Quek S Y, Eyres L. Effect of cooking method on the fatty acid profile of New Zealand King Salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) [J]. Food Chemistry, 2010, 119(2): 785-790.
- [18] 刘登勇,谭阳,盖圣美,等.猪五花肉红烧过程中脂肪和脂肪酸的变化规律[J].食品科学,2015,36(23): 28-32.
- [19] Weber Jucieli, Bochi Vivian C, Ribeiro Cristiane P, et al. Effect of different cooking methods on the oxidation, proximate and fatty acid composition of silver catfish (*Rhamdia quelen*) fillets [J]. Food Chemistry, 2008, 106(1): 140-146.
- [20] Legako J F, Dinh T T, Miller M F, et al. Effects of USDA beef quality grade and cooking on fatty acid composition of neutral and polar lipid fractions [J]. Meat Science, 2015, 100: 246-255.
- [21] 史笑娜,黄峰,张良,等.红烧肉加工过程中脂肪降解、氧化和挥发性风味物质的变化研究[J].现代食品科技,2017,33(3): 257-265.
- [22] Soladoyep O, Shandp J, Aalhus L, et al. Review: pork belly quality, bacon properties and recent consumer trend [J]. Canadian Journal of Animal Science, 2014, 95(3): 1503-1508.
- [23] Cameron N D, Enser M B. Fatty acid composition of lipid in longissimus dorsi muscle of Duroc and British Landrace pigs and its relationship with eating quality [J]. Meat Science, 1991, 29(4): 295-307.