

超声波在五花猪肉炖煮工艺中的应用

雷 辰, 夏延斌*, 车再全, 任 美

(湖南农业大学食品科技学院, 湖南 长沙 410128)

摘 要: 以五花猪肉为原料, 研究传统工艺与超声工艺的走油与增香效果, 通过测定加工材料脂肪层脂肪含量、过氧化值(peroxide value, POV)、硫代巴比妥酸反应物值(thiobarbituric acid reactive substances, TBARs)和脂肪酸组成为指标加以比较。结果表明: 超声炖煮使原料中的脂肪含量下降13.32%, 显著低于传统组($P < 0.05$); 在超声炖煮过程中, POV先增大后减少, 超声促进了TBARs的上升($P < 0.05$); 超声炖煮120 min会使多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acid, PUFA)显著下降, 饱和脂肪酸(saturated fatty acid, SFA)值显著上升($P < 0.05$); 30 min会使单不饱和脂肪酸(monounsaturated fatty acid, MUFA)含量显著上升($P < 0.05$)。超声可以促进炖煮中脂肪含量的下降、加速脂肪的氧化、促进猪肉炖煮香味的形成。

关键词: 猪肉五花肉; 脂肪含量; 脂肪酸组成; 超声波

Ultrasonic Application for Stewing Pork Belly

LEI Chen, XIA Yanbing*, CHE Zaiquan, REN Mei

(College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

Abstract: A comparison of the conventional stewing method and ultrasonic-assisted stewing was made for their efficacy in reducing the fat content and enhancing the aroma of stewed pork belly. For this purpose, we measured the fat content, peroxide value (POV), thiobarbituric acid reactive substances (TBARs) value and fatty acid composition of the fatty layer. The results showed that fat content of pork belly was reduced by 13.32% after ultrasonic-assisted stewing, while a significantly smaller decrease in fat content was observed when comparing conventionally stewed pork belly with the raw meat ($P < 0.05$). The POV value rose at first and then fell during the ultrasonic-assisted stewing process, and the TBARs value increased ($P < 0.05$). In addition, a significant decrease in polyunsaturated fatty acid (PUFA) content and a significant elevation in saturated fatty acid (SFA) content at 120 min were observed along with a significant increase in monounsaturated fatty acid (MUFA) content at 30 min ($P < 0.05$). This study conclusively demonstrates that ultrasonic-assisted stewing facilitates the reduction of fat content, speeds up fat oxidation and promotes the formation of aroma in stewed pork belly.

Key words: pork belly; fat content; fatty acid composition; ultrasonic

DOI: 10.15922/j.cnki.rlyj.2016.06.006

中图分类号: TS251.1

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2016) 06-0025-04

引文格式:

雷辰, 夏延斌, 车再全, 等. 超声波在五花猪肉炖煮工艺中的应用[J]. 肉类研究, 2016, 30(6): 25-28. DOI: 10.15922/j.cnki.rlyj.2016.06.006. <http://rlyj.cbpt.cnki.net>

LEI Chen, XIA Yanbing, CHE Zaiquan, et al. Ultrasonic application for stewing pork belly[J]. Meat Research, 2016, 30(6): 25-28. (in Chinese with English abstract) DOI: 10.15922/j.cnki.rlyj.2016.06.006. <http://rlyj.cbpt.cnki.net>

五花肉是扣肉、红烧肉等著名菜品的主要原料, 其制成的典型菜品是东坡肉和毛氏红烧肉, 其脂肪特殊的油香味、嫩度、多汁性等丰富了菜肴的风味^[1]。五花肉水煮不光有脱脂效果, 还有明显的增香效果。脱脂俗称走油, 热加工走油的效果是消费者十分关注的问题, 脂肪

含量过高, 不仅口感过于油腻, 而且不利于身体健康。目前, 加工中常采用长时间的炖煮来降低脂肪含量^[2-4], 但炖煮时间与方式对脂肪含量的影响研究很少。肉中脂肪的氧化具有双重作用, 过度氧化会导致肉制品风味劣变, 适度氧化则具有明显的增香效果。鲜肉按传统方式

收稿日期: 2016-01-16

作者简介: 雷辰 (1991—), 男, 硕士研究生, 研究方向为肉制品加工。E-mail: 254574840@qq.com

*通信作者: 夏延斌 (1952—), 男, 教授, 博士, 研究方向为食品化学。E-mail: xy520523@aliyun.com

炖煮产生明显氧化增香的效果。超声是新兴的加工技术,近年来在动物性食品上的应用也越来越多,有着广阔的发展前景^[5-7]。低频率的超声被认为加快加工进程^[8-10]。钟赛意等^[11]发现超声可以促进热量传递、食盐渗透。有研究者^[12]考察了超声炖煮对于鸡肉的蛋白质影响,但是超声炖煮对于脂肪的影响却鲜有报道。

炖煮是扣肉和红烧肉的关键工艺,有利于五花肉产品形成肥而不腻的口感和独特的香味。而脂肪的变化就是其风味形成的重要原因,在炖煮过程中脂肪氧化生成的风味前体物质通过交互反应来形成风味,肉制品的脂肪酸组成也是一个营养热点问题^[13]。本实验通过对比超声炖煮和传统炖煮对五花肉脂肪的影响,为超声在肉制品加工应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

新鲜带皮五花肉 雨润食品有限公司;葱、姜当天于超市购买。

氢氧化钾 天津市风船化学试剂科技有限公司;甲醇、氯仿、异辛烷、硫酸氢钾、三氯乙酸、硫代巴比妥酸 国药集团化学试剂有限公司;石油醚 天津市化学试剂研究所;所用试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

GCMS7890A-5975C气相色谱-质谱联用仪 美国安捷伦公司;KB-250DE数控超声波清洗器 昆山市超声仪器有限公司;RE52CS-1旋转蒸发器 上海亚荣生化仪器厂;UV2450型紫外-可见分光光度计 日本岛津公司。

1.3 方法

1.3.1 样品处理

选择新鲜带皮五花肥肉500 g,将五花肉切成4 cm×3 cm×3 cm的小块,按照五花肉质量比添加200%水、2%葱、2%姜、4%老抽、5%黄酒、4%白砂糖、0.6%盐^[14],分为A、B两组,A组放入炖煮锅用电磁炉加热,控制温度为85℃,B组放入超声清洗器,频率40 kHz、250 W功率进行超声,以85℃炖煮2 h^[15],两组加水量均为1 L。分别于炖煮30、60、90、120 min时取样。取出肉块,用滤纸吸去表面的水分和杂质,冷却后取脂肪层待测。

1.3.2 粗脂肪含量的测定

取脂肪层脂肪用Folch等^[16]的方法提取,旋转蒸发后称质量。

1.3.3 过氧化值的测定

参照GB/T 5538—2005《动植物油脂过氧化值测定》。

1.3.4 硫代巴比妥酸值的测定

参考姜秀杰等^[17]的方法并进行一定优化。取适量样品于高速组织搅拌机搅碎后准确称取10 g置于250 mL锥

形瓶中,再加入7.5%的三氯乙酸(含0.1%乙二胺四乙酸(ethylene diamine tetraacetic acid, EDTA)) 50 mL混合均匀,振摇30 min,用双层定性滤纸连续过滤2次,分别吸取5 mL滤液和0.02 mol/L的硫代巴比妥酸(thiobarbituric acid, TBA)溶液,置于25 mL刻度试管内,盖上塞子混合均匀后在90℃水浴中加热40 min,同时做试剂空白实验。取出后常温冷却至60℃左右再流水冷却,8000 r/min离心5 min,取上清液倾入20 mL刻度试管内,加入5 mL氯仿,摇匀后静置分层,取上清液和空白对照分别在532 nm和600 nm波长处测吸光度。硫代巴比妥酸反应物值(thiobarbituric acid reactive substances, TBARs)计算公式如下:

$$\text{TBARs}/(\text{mg/kg}) = \frac{A_{532\text{ nm}} - A_{600\text{ nm}}}{155} \times \frac{1}{10} \times 72.06 \times 100 \quad (1)$$

1.3.5 脂肪酸的测定

甲酯化:称取60 mg试样至具塞试管,用4 mL异辛烷溶解,加入200 μL氢氧化钾-甲醇溶液,盖上玻璃塞猛烈摇振30 s后静置。再向溶液中加入1 g硫酸氢钠,猛烈摇振,中和氢氧化钾,将含有脂肪酸甲酯的上层溶液倒入4 mL玻璃瓶中,取1 mL过0.22 μm孔径有机滤膜过滤,用于气相色谱分析。

气相色谱(gas chromatography, GC)条件:色谱柱为HP-88(100 m×250 μm, 0.25 μm),载气为氦气,流速1 mL/min,分流比为10:1。汽化室温度250℃,检测室温度270℃,升温程序:从140℃开始5 min,然后以4℃/min升温到240℃保持10 min。进样口温度为250℃。

质谱条件:EI离子源;离子源温度230℃,电子能量70 eV,扫描范围45~500 u。

1.4 数据处理

使用SPSS 19和Origin 8.5进行数据分析,所有数据标准化后再进行分析。

2 结果与分析

2.1 五花肉炖煮过程中粗脂肪含量变化

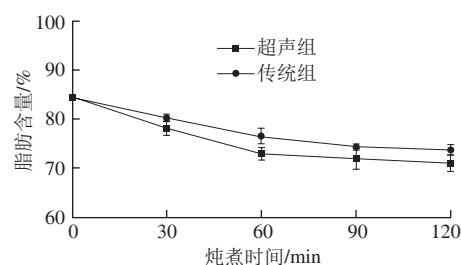


图1 不同炖煮时间对五花肉脂肪含量的影响

Fig. 1 Influence of stewing time on the fat content of pork belly

由图1可知,随着炖煮时间的增加,超声组和对照脂肪含量均呈下降趋势,但超声波处理组比传统加热组脂肪含量降低的速率更快,30 min时超声波处理组脂肪含量显著低于传统加热组($P<0.05$),由此可见,超声波可以加快脂肪含量降低的速率,这可能是因为超声有助于加快热量传递,超声组的五花肉中心温度升温更快^[12]。60 min后超声处理组脂肪含量小幅下降但不显著($P>0.05$),而传统加热组90 min后下降不显著。炖煮0~60 min,脂肪组织中的结缔组织受热收缩,压缩脂肪细胞,协同热能对细胞膜的热损伤作用,从而使得脂肪从脂肪细胞流入汤中,同时脂肪在炖煮过程中受热氧化、分解产生醛、醇、酮类等风味前体物质^[18]。60 min后,汤汁和肉中的脂肪含量交换达到平衡状态。在炖煮结束时,超声处理组的脂肪含量(71.2%)显著低于传统加热组(73.65%)($P<0.05$),可能是因为超声空化作用不仅可以使脂肪细胞破裂^[9],外溢脂肪增加,水分进入脂肪细胞的阻力降低,还可以促进油脂的乳化和分散^[20],有利于脂肪脱离脂肪组织。

2.2 五花肉炖煮过程中脂肪氧化分析

2.2.1 五花肉炖煮过程中过氧化值(peroxide value, POV)变化

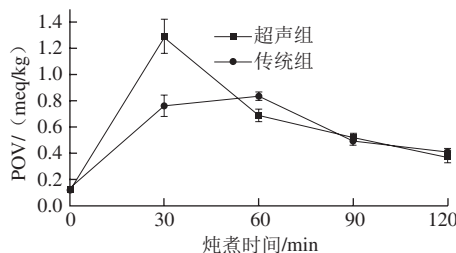


图2 不同炖煮时间对五花肉POV值的影响

Fig. 2 Influence of stewing time on the POV of pork belly

由图2可知,随着炖煮时间的增加,两组的POV均呈先上升后下降的趋势。脂肪在加热条件下氧化分解^[21],导致了POV上升,但随着炖煮时间的延长,生成的过氧化物进一步分解,同时部分脂肪流出导致POV降低。在炖煮期间,五花肉脂肪的POV由0.11 meq/kg分别达到了0.84 meq/kg(传统组)和1.29 meq/kg(超声组)。超声组的POV峰值出现在30 min,在30 min后POV开始下降,而传统组的POV峰值出现在60 min,在60 min后POV也显著下降。超声组的POV峰值比传统组出现更早,这可能是因为超声组能促进热量传递,肉块中心温度升高更快,脂肪氧化的速度更快。超声组POV最大值显著高于对照组($P<0.05$),可能是因为超声的空化作用会产生高温和高压^[22],促进油脂的氧化。120 min时,两组的POV差异并不显著,这可能是因为超声也会加快初级氧化产物分解速度^[23]。

2.2.2 五花肉炖煮过程中TBARs值变化

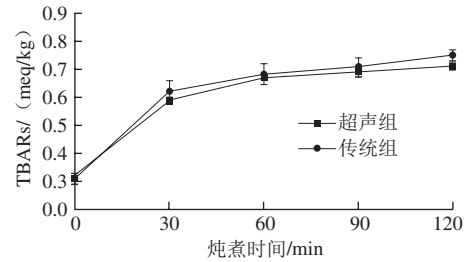


图3 不同炖煮时间对五花肉TBARs值的影响

Fig. 3 Influence of stewing time on the TBARs value of pork belly

由图3可知,在炖煮过程中五花肉的TBARs值不断上升,初级阶段的氧化产物进一步氧化生成丙二醛等次级氧化产物。在炖煮的各个阶段超声组均高于传统加热组,但只有120 min差异显著($P<0.05$),这可能是因为超声组对结缔组织的削弱作用使更多的脂肪氧化中间产物进入了汤汁,在汤汁中更容易与氧接触从而促进了脂肪的氧化,次级氧化产物又在随后的炖煮时间内交换进入脂肪。

在炖煮过程中超声促进了脂肪的氧化速率,提高了脂肪氧化的程度。脂肪的自氧化达到一定程度会产生一种酸败的异味感,但在肉制品加工的初始阶段,适度的脂肪氧化有助于良好的芳香气味的形成^[24]。很多研究者^[25-26]都发现热处理能加快脂类氧化的速率。超声的机械作用会产生热效应,空化作用也会产生局部的高温,这也可能是超声组脂肪氧化程度更高的原因。五花肉氧化测定结果与刘登勇等^[2]研究有一定差异,可能是因为原料的差异和加工工艺不同。葱和姜等辅料中的多酚物质可能也会对五花肉氧化程度有一定影响。

2.3 五花肉炖煮过程中脂肪酸比例变化

表1 炖煮时间对猪肥肉脂肪酸组成的影响

Table 1 Influence of stewing time on the fatty acid composition of pork belly

脂肪酸	原料	传统组				超声组			
		30 min	60 min	90 min	120 min	30 min	60 min	90 min	120 min
C _{16:0}	1.64±0.04 ^a	1.57±0.02 ^a	1.54±0.05 ^a	1.51±0.05 ^a	1.53±0.04 ^a	1.58±0.01 ^a	1.49±0.02 ^a	1.67±0.02 ^a	1.49±0.06 ^a
C _{18:0}	20.66±0.45 ^a	20.89±0.72 ^a	19.91±1.02 ^{ab}	19.76±0.36 ^b	19.84±0.23 ^b	20.41±0.51 ^a	19.04±0.62 ^b	19.27±0.61 ^a	19.36±0.81 ^{ab}
C _{17:0}	0.44±0.02 ^{bc}	0.56±0.02 ^a	0.49±0.05 ^{ab}	0.49±0.02 ^b	0.38±0.01 ^c	0.41±0.02 ^c	0.61±0.01 ^a	0.55±0.02 ^a	0.51±0.02 ^b
C _{18:1}	17.22±0.25 ^a	17.57±0.53 ^a	18.02±0.67 ^a	18.29±0.43 ^a	18.72±0.31 ^a	17.01±0.38 ^a	18.59±0.37 ^a	18.98±0.65 ^a	19.71±1.09 ^a
C _{20:0}	0.41±0.04 ^c	0.37±0.03 ^c	0.38±0.03 ^c	0.48±0.01 ^b	0.34±0.01 ^d	0.43±0.05 ^c	0.46±0.05 ^c	0.39±0.02 ^c	0.53±0.01 ^a
其他	0.67±0.07 ^b	0.53±0.04 ^c	0.47±0.04 ^c	0.58±0.04 ^c	0.56±0.06 ^c	0.71±0.11 ^b	1.08±0.21 ^a	0.96±0.15 ^a	0.81±0.05 ^c
C _{16:1}	2.32±0.12 ^a	2.26±0.09 ^a	1.95±0.01 ^d	2.28±0.31 ^{bc}	2.32±0.12 ^b	2.51±0.021 ^{ab}	2.19±0.14 ^c	2.43±0.08 ^b	2.61±0.12 ^a
C _{17:1}	0.44±0.02 ^c	0.56±0.04 ^c	0.41±0.01 ^c	0.43±0.03 ^c	0.37±0.02 ^c	0.31±0.04 ^d	0.51±0.04 ^c	0.58±0.01 ^b	0.67±0.09 ^a
C _{18:1}	35.43±0.54 ^a	36.96±0.24 ^a	39.19±0.76 ^a	38.99±0.51 ^{ab}	39.51±0.88 ^a	38.44±0.42 ^a	39.85±1.24 ^a	38.79±0.29 ^a	39.14±0.69 ^a
C _{20:1}	1.50±0.05 ^b	1.24±0.02 ^d	1.64±0.18 ^a	1.61±0.08 ^a	1.44±0.02 ^c	1.43±0.11 ^c	1.41±0.07 ^c	1.52±0.06 ^b	1.28±0.03 ^d
其他	0.46±0.03 ^{bc}	0.41±0.05 ^c	0.25±0.01 ^c	0.71±0.15 ^a	0.33±0.02 ^d	0.47±0.06 ^c	0.61±0.07 ^a	0.59±0.05 ^b	0.52±0.03 ^b
C _{18:2}	15.44±0.34 ^a	13.91±0.52 ^b	13.01±0.31 ^c	12.38±0.51 ^c	12.51±0.48 ^c	13.21±0.19 ^a	11.98±0.21 ^{cd}	11.45±0.19 ^{cd}	11.25±0.17 ^d
C _{18:3}	1.79±0.24 ^a	1.61±0.31 ^a	1.24±0.02 ^c	1.27±0.21 ^{bc}	1.08±0.09 ^d	1.43±0.12 ^b	0.91±0.05 ^d	1.39±0.11 ^b	0.98±0.04 ^d
C _{20:2}	1.31±0.12 ^{ab}	1.22±0.09 ^b	1.22±0.12 ^b	1.01±0.04 ^c	0.81±0.05 ^d	1.41±0.21 ^a	1.06±0.08 ^{cd}	1.12±0.09 ^b	0.83±0.04 ^d
其他	0.27±0.01 ^b	0.34±0.02 ^a	0.28±0.03 ^b	0.21±0.02 ^d	0.26±0.01 ^b	0.24±0.01 ^c	0.21±0.01 ^d	0.31±0.02 ^a	0.31±0.03 ^a
SFA	41.04±0.21 ^a	41.49±0.31 ^a	40.81±0.24 ^a	41.11±0.48 ^a	41.37±0.32 ^a	40.55±0.66 ^a	41.27±0.52 ^a	41.82±1.54 ^{ab}	42.41±0.63 ^a
MUFA	40.15±0.19 ^a	41.43±0.39 ^a	43.44±0.11 ^b	44.02±0.58 ^b	43.97±0.65 ^b	43.16±0.91 ^b	44.57±0.98 ^b	43.91±0.71 ^a	44.22±1.02 ^b
PUFA	18.81±0.41 ^a	17.08±0.81 ^b	15.75±0.12 ^c	14.87±0.41 ^{bc}	14.66±0.21 ^c	16.29±0.65 ^a	14.16±0.27 ^c	14.27±0.32 ^c	13.37±0.41 ^d

注:同行字母不同,表示差异显著($P<0.05$)。



由表1可知, 原料油酸($C_{18:1}$)的含量达到了35.43%, 在各脂肪酸中比例最高; 五花肉脂肪最主要的脂肪酸是饱和脂肪酸硬脂酸($C_{18:0}$)、棕榈酸($C_{16:0}$)和不饱和脂肪酸油酸($C_{18:1}$)、亚油酸($C_{18:2}$), 这4种脂肪酸占到了总脂肪酸含量的88.75%, 结果与熊明民等^[27]所得脂肪酸结果相近。猪的年龄、饲养状况、取样部位都会影响到原料的脂肪酸比例。在整个炖煮过程中, 超声组与传统组的脂肪酸比例都发生一定变化, 趋势大致相同, 多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acid, PUFA)都出现了下降, 单不饱和脂肪酸(monounsaturated fatty acid, MUFA)上升, 饱和脂肪酸(saturated fatty acid, SFA)先下降后上升。超声组炖煮结束后SFA显著高于传统组, 这是因为硬脂酸($C_{18:0}$)的含量显著增加($P<0.05$)。有研究发现硬脂酸($C_{18:0}$)具有降低低密度脂蛋白胆固醇的效果, 有利于预防动脉粥样硬化^[28]。还可以发现, 在30 min时, 超声组MUFA含量显著高于传统组($P<0.05$), 这可能是因为PUFA降低, 有研究者发现在加工过程中, PUFA相比MUFA和SFA更容易氧化降解^[29]。Cameron等^[30]认为若肉中SFA+MUFA的含量高可以提高肉的风味和质构, 高含量的PUFA则会降低肉的风味和质构, 因此PUFA含量越低风味越好。在炖煮结束后超声组的PUFA与传统组相比降低更加显著($P<0.05$), 所以超声炖煮比传统炖煮风味更好。

3 结论

超声波运用到炖煮中是可行的, 与传统方法相比, 超声波辅助炖煮能促进脂肪组织中脂肪含量的降低, 走油的效果更好, 同时加速了脂肪的氧化, 有利于风味的形成, 对五花肉肥而不腻的口感有重要影响。同时超声炖煮能改善五花肉的脂肪酸构成, 促进了炖煮香味的形成。但是, 炖煮温度对于超声炖煮的风味影响则需进一步研究。

参考文献:

- [1] 李文刚, 焦福林, 吴志娟, 等. 猪肉肉质和风味的提高与改善[J]. 食品工程, 2011(4): 19-21.
- [2] 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.
- [3] 张少飞. 响应面法优化红烧肉烹饪工艺研究[J]. 食品工业, 2013(7): 4-7.
- [4] 纪有华, 路新国. 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.
- [5] ARRYO C, CEBRI G, PAGÁN R, et al. Inactivation of *Cronobacter sakazakii* by ultrasonic waves under pressure in buffer and foods[J]. International Journal of Food Microbiology, 2011, 144(3): 446-454. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2010.10.033.
- [6] 周莉. 超声波在食品工业中的应用的研究现状[J]. 肉类研究, 2009, 23(2): 67-71.
- [7] KAI K, JULIANO P, ROUOAS P, et al. Introduction to innovative food processing technologies: background, advantages, issues, and need for multiphysics modeling[C]//Innovative Food Processing Technologies: Advances in Multiphysics Simulation. Blackwell Publishing Ltd., 2011: 3-21.
- [8] OZUNA C, PUIG A, GARCÍA-PÉREZ J V, et al. Influence of high intensity ultrasound application on mass transport, microstructure and textural properties of pork meat (*longissimus dorsi*) brined at different NaCl concentrations[J]. Journal of Food Engineering, 2013, 119(1): 84-93. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2013.05.016.
- [9] SMITH D P. Effect of ultrasonic marination on broiler breast meat quality and salmonella contamination[J]. International Journal of Poultry Science, 2011, 10(10): 757-759.
- [10] XIONG G Y, ZHANG L L, ZHANG W, et al. Influence of ultrasound and proteolytic enzyme inhibitors on muscle degradation, tenderness, and cooking loss of hens during aging[J]. Czech Journal of Food Sciences, 2012, 30(3): 195-205.
- [11] 钟赛意, 姜梅, 王善荣. 超声辅助传统加热方式煮制肉品的可行性研究[J]. 食品工业科技, 2007, 28(11): 114-116.
- [12] 刘功明, 张万刚, 郭光平, 等. 超声波促渗在鸡胸肉蒸煮工艺中的应用[J]. 肉类研究, 2015, 29(4): 1-5.
- [13] SALCEDO-SANDOVAL L, COFRAGE S, RUIZ-CAPILLAS C, et al. Effect of cooking method on the fatty acid content of reduced-fat and PUFA-enriched pork patties formulated with a konjac-based oil bulking system[J]. Meat Science, 2014, 98: 795-803. DOI:10.1016/j.meatsci.2014.07.034.
- [14] 纪有华, 路新国. 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(2): 31-36.
- [15] 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.
- [16] FOLCH B J, LEES M, SLOANE-STABLEY G H. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues[J]. Journal Biological Chemistry, 1957, 226(1): 497-509.
- [17] 姜秀杰, 李淑荣, 张东杰, 等. 辐照调理鸡肉天然抗氧化剂配比优化研究[J]. 食品科技, 2011(7): 120-124.
- [18] THOMS C, MERCIER F, TOURNAYRE P, et al. Effect of nitrite on the odourant volatile fraction of cooked ham[J]. Food Chemistry, 2013, 139(1/4): 432-438. DOI:10.1016/j.foodchem.2013.01.033.
- [19] SIVAKUMAR V, CHANDRASEKARAN F, SWAMINATHAN, et al. Towards cleaner degreasing method in industries: ultrasound-assisted aqueous degreasing process in leathermaking[J]. Journal of Cleaner Production, 2009, 17(1): 101-104.
- [20] SIVAKUMAR V, SWAMINATHAN G, RAO P G. Studies on the application of power ultrasound in fatliquoring process[J]. Journal of the American Leather Chemists Association, 2005, 100(5): 187-95.
- [21] 沈晓玲, 李诚. 脂类物质与肉的风味[J]. 肉类研究, 2008, 22(3): 25-28.
- [22] KASAAI M R. Input power-mechanism relationship for ultrasonic irradiation: food and polymer applications[J]. Natural Science, 2013, 5(8): 14-22. DOI:10.4236/ns.2013.58A2003.
- [23] CHEMAT F, GRONDIN I, SING A S C, et al. Deterioration of edible oils during food processing by ultrasound[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2004, 11(1): 13-15.
- [24] SONG S, ZHANG X, HAVAT K, et al. Formation of the beef flavour precursors and their correlation with chemical parameters during the controlled thermal oxidation of tallow[J]. Food Chemistry, 2011, 124: 203-209. DOI:10.1016/j.foodchem.2010.06.010.
- [25] BRONCANO J M, PETRÓN M J, PARRA V, et al. Effect of different cooking methods on lipid oxidation and formation of free cholesterol oxidation products (COPs) in *latissimus dorsi* muscle of Iberian pigs[J]. Meat Science, 2009, 83: 431-437.
- [26] JUÁREZ M, FAILLA S, FICCO A, et al. Buffalo meat composition as affected by different cooking methods[J]. Food and Bioprocess Technology, 2010, 88: 145-148. DOI:10.1016/j.fbp.2009.05.001.
- [27] 熊明民, 马长伟. 猪肉肌间脂肪组织在蒸煮过程中的脂肪酸组成变化[J]. 食品科学, 2014, 35(7): 64-67.
- [28] EDWARD H J, JUN Z, KRIS-ETHERTON P M. Cardiovascular disease risk of dietary stearic acid compared with trans, other saturated, and unsaturated fatty acids: a systematic review[J]. American Journal of Clinical Nutrition, 2009, 91(1): 46-63.
- [29] ALFAIA C M M, ALVES S P, LOPES A F, et al. Effect of cooking methods on fatty acids, conjugated isomers of linoleic acid and nutritional quality of beef intramuscular fat[J]. Meat Science, 2010, 84(4): 769-777.
- [30] 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.