

# 锅具传热特性对中式烹饪操作控制的影响

## Effect of heat transfer characteristics of cookware on the control of Chinese cooking operation

彭 静<sup>1</sup> 邓 力<sup>1</sup> 王 磊<sup>1</sup> 何聪颖<sup>1</sup>

PENG Jing<sup>1</sup> DENG Li<sup>1</sup> WANG Lei<sup>1</sup> HE Cong-ying<sup>1</sup>

余冰妍<sup>1</sup> 林 锦<sup>2</sup> 崔 杰<sup>2</sup>

YU Bing-yan<sup>1</sup> LIN Jin<sup>2</sup> CUI Jie<sup>2</sup>

(1. 贵州大学酿酒与食品工程学院, 贵州 贵阳 550025; 2. 无限极〔中国〕有限公司, 广东 广州 510000)

(1. College of Liquor and Food, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025, China;

2. Infinitus〔China〕Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000, China)

**摘要:**选取 3 种中式炒锅,以猪里脊肉为烹饪原料,在不同预热油温及搅拌频率下,测定分析炒锅的热阻系数对油炒猪里脊肉的成熟时间和开始焦糊时间的影响,获得炒锅传热特性与中式烹饪操作控制之间的规律,建立一种中式炒锅性能评价的方法。结果表明,猪里脊肉油炒至成熟和焦糊时颜色、水分含量、剪切力变化明显,颜色可作为烹饪成熟终点和焦糊开始的直观判断指标;使用热阻系数大的炒锅进行烹饪时,猪里脊肉成熟时间、开始焦糊时间及间隔时间长,烹饪操作相对容易控制;而热阻系数小的炒锅,保持较高的搅拌频率或较低的预热油温有利于烹饪过程的控制。

**关键词:**中式炒锅;热阻系数;烹饪操作控制;成熟时间;开始焦糊时间

**Abstract:** To obtain the regularity between the heat transfer characteristics of wok and the control of Chinese cooking operation and establish a Chinese wok performance evaluation method, three kinds of Chinese woks were selected to study the influence of the thermal resistance coefficient on the maturation time and the initial scorching

**基金项目:**国家自然科学基金项目(编号:31660449);贵州省科技计划项目(编号:黔科合农 G 字[2013]4016 号);贵州省重大科技专项计划项目(编号:黔科合重大专项字[2015]6004);贵阳市科学计划项目(编号:生物重大专项[2010]筑农合同字第 8-1 号);无限极(中国)有限公司研究项目(编号:HPG/2017/02/0321);贵州省科技计划项目(编号:黔科合支撑[2017]2707);研究生卓越人才(编号:黔教教合 ZYRC 字[204]003);贵州省研究生工作站项目(编号:黔教教合 JYSZ 子[2015]009)

**作者简介:**彭静,女,贵州大学在读硕士研究生。

**通信作者:**邓力(1966—),男,贵州大学教授,博士。

E-mail: denglifood@foxmail.com

**收稿日期:**2018-01-08

time of pork tenderloin at different preheating temperature and mixing frequency. The results showed that the quality characteristics of pork tenderloin, such as color, moisture content and shear force, were obviously changed when it was fry to matured and scorched, and the color could be used as an intuitive judgment indicator of the culinary end point and scorch in oil frying.

**Keywords:** Chinese wok; thermal resistance coefficient; cooking operation control; maturity time; start scorching time

锅具是家庭必备的烹饪工具<sup>[1]</sup>。锅具种类繁多,其中炒锅占据中国锅具主要市场,并且家庭炒锅拥有率超过 150%<sup>[2-3]</sup>。同时,中式烹饪的现代化、标准化、自动化的发展,对炒锅的研究设计也提出新要求<sup>[4]</sup>。因此,炒锅性能的好坏不仅影响烹饪效果、自动化烹饪发展,也直接关系到每个家庭的营养健康生活。

目前,锅具研究集中于锅具自身传热规律<sup>[5-6]</sup>、传热影响因素<sup>[7-9]</sup>、锅具与热源间的热效率<sup>[10-11]</sup>等方面,缺乏对锅具传热特性对烹饪成熟和烹饪操作影响的研究,并且研究对象主要为西式平底锅,用于煮、煎<sup>[12-13]</sup>。而中式烹饪以圆底凹面炒锅或电磁炉用平底凹面炒锅为主,用于过程激烈复杂的油炒工艺<sup>[3,14]</sup>,因而难以直接引用现有成果来研究中式炒锅传热特性对油炒烹饪的影响。

锅具制作最主要目的是获得快速升温及均匀锅底温度分布,以使食品颗粒受热均匀和快速烹饪<sup>[5-7]</sup>。然而,烹饪过程中锅具底部受非稳态加热,导致与食物接触的锅壁面很难获得均匀的温度<sup>[11,15]</sup>。文献[16~18]中研究发现锅具制作材料均会产生热阻,热阻较大的不锈钢升温慢、温度分布不均匀,热阻较小的铜和铝升温快、温度分布较均匀,所以锅

具的热阻系数可作为反映锅具传热特性的关键参数。

烹饪的最终目的是通过加热使食物成熟,文献[1,19]中建立了中式烹饪过程中锅具及液体-食品颗粒的传热控制方程,提出了烹饪成熟值理论,指出油炒烹饪过程中食品颗粒表面至中心的传热为非稳态过程,当颗粒中心达到成熟时表面已被过度加热,导致品质不均匀,如肉类表面发生焦糊褐变,如何使烹饪食品达到成熟值的同时过热值最小是烹饪操作控制的关键。文献[20]通过数值模拟分析了油脂预热温度、搅拌频率、炒锅传热面积等油炒工艺控制参数对烹饪品质的影响,但未进行实验验证。文献[21]中指出单层锅厚度薄,热量沿厚度方向上传递快,易形成热点导致食物焦糊;多层复合锅厚度大,热量沿直径方向上传递快,锅底温度分布均匀,但未分析锅具热阻系数对烹饪操作的影响,也未进行锅具烹饪品质变化的实验验证。因此,有必要研究炒锅传热特性与烹饪操作控制之间的规律,以获得较好的烹饪品质。

肉类烹饪研究中常通过检测肉的中心温度<sup>[22-23]</sup>、表面颜色变化<sup>[24-25]</sup>等指标判断烹饪终点。但油炒过程伴随着强烈搅拌,很难获得肉的中心温度,因此选择表面颜色变化作为猪里脊肉烹饪终点的判断指标,进一步研究炒锅传热特性与烹饪操作对猪里脊肉烹饪终点的影响。

综上,本试验选用3种中式炒锅,以猪里脊肉为烹饪原料,以不同预热油温及搅拌频率为试验条件,测定分析炒锅热阻系数与油炒猪里脊肉成熟及焦糊时间的关系,探究锅具传热特性对中式烹饪操作控制的影响,以期中式烹饪的研究积累基础数据,为锅具的生产加工和使用提供技术指导。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

猪里脊肉:贵阳花溪区星力超市;

食用调和油:广西惠禹粮油工业有限公司;

炒锅 A、炒锅 B、炒锅 C、炒锅 D、炒锅 E:市售,炒锅结构示意图及基本物理参数见图1和表1。

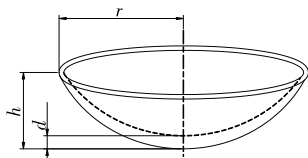


图1 中式炒锅基本结构图

Figure 1 Chinese wok basic structure

表1 炒锅基本物理参数

Table 1 Wok basic physical parameters

炒锅	材质	锅底厚度 $d/cm$
A	不锈钢复合锅	0.298
B	铸铁锅(单层锅)	0.158
C	铁皮锅(单层锅)	0.090
D	不锈钢复合锅	0.290
E	不锈钢复合锅	0.216

### 1.2 仪器与设备

热成像仪:PI200型,德国欧普力公司;

烹饪传热学及动力学数据采集分析系统:参照文献[26]组装;

切片机:BL658型,深圳市博莱电子电器有限公司;

卤素水分测定仪:MB35型,奥豪斯国际贸易有限公司;

数显式肌肉嫩度仪:C-LM3B型,东北农业大学工程学院;

电子天平:MS12002TS型,梅特勒-托利多国际贸易(上海)有限公司;

电磁炉:C21-HK2103型,广东美的生活电器制造有限公司。

### 1.3 试验方法

1.3.1 炒锅热阻系数的测定 热阻系数是导热系数与物体的几何形状相结合而体现的该形状物体的导热能力,按式(1)计算<sup>[27]</sup>:

$$R = \frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \dots + \frac{L_n}{k_n}, \quad (1)$$

式中:

$R$ ——锅具热阻系数,  $(m^2 \cdot K)/W$ ;

$L_n$ ——锅具各层材料厚度,  $m$ ;

$k_n$ ——锅具各层材料导热系数,  $W/(m \cdot K)$ 。

选取炒锅底面中心部分裁剪出方形样品  $(1\text{ cm} \times 1\text{ cm})$ , 利用导热系数测定仪采用激光闪射法测定炒锅样品导热系数,具体测量原理及方法参见文献[28],然后由式(1)计算得到热阻系数。

1.3.2 烹饪原料预处理 将原料猪里脊肉切分后放置于  $-18\text{ }^\circ\text{C}$  冰箱中冷冻  $4 \sim 5\text{ h}$ ,用切片机将冷冻肉切割成  $2.5\text{ cm} \times 2.5\text{ cm} \times 0.25\text{ cm}$ (长 $\times$ 宽 $\times$ 高)的肉片,静置,恢复至室温以备用。

1.3.3 炒锅传热特性与猪里脊烹饪品质变化速率关系探究

(1)猪里脊肉烹饪成熟到焦糊过程中品质变化终点的判断:选用炒锅A,称取猪里脊肉片  $100\text{ g}$  和食用油  $25\text{ g}$ ,预热油温和搅拌频率分别控制为  $160\text{ }^\circ\text{C}$  和  $1\text{ Hz}$ ,使用电磁炉(开启最大功率  $2.1\text{ kW}$ )炒制猪里脊肉片至表面完全焦糊,炒制过程中间隔  $5\text{ s}$  取样,样品置于冰水混合物中冷却  $1\text{ min}$ ,取出用吸水纸擦干表面水分,按照1.3.4节方法测定肉片的颜色、水分含量、剪切力,对比分析获得猪里脊肉片由成熟到焦糊阶段的烹饪品质变化。同一组试验做3次平行。

(2)炒锅传热特性与烹饪操作对猪里脊肉品质变化速率的影响:选用炒锅A、B、C,使用电磁炉(开启最大功率  $2.1\text{ kW}$ )在不同预热油温( $70, 100, 160\text{ }^\circ\text{C}$ )和搅拌频率( $0.2, 1.0\text{ Hz}$ )两两组合条件下,分别炒制  $100\text{ g}$  猪里脊肉片(猪里脊肉与食用油的质量比为  $4:1$ <sup>[14]</sup>),并用秒表记录猪里脊肉的成熟时间和开始焦糊时间,每个条件设置3个平行。分析获得热阻系数、预热油温及搅拌频率对猪里脊肉成熟时间、开始焦糊时间及间隔时间的影响。

1.3.4 猪里脊肉品质指标的测定

(1)水分含量:采用卤素水分测定仪测定。每组样品进行3次测量并求平均值。

(2) 颜色:参照 Rubio 等<sup>[29]</sup>的方法,根据 CIE  $L^* a^* b^*$  颜色标准采用色差仪于室温条件下测定。按式(2)计算白度<sup>[30]</sup>。

$$W = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}}, \quad (2)$$

式中:

W——白度值;

$L^*$ ——亮度值;

$a^*$ ——红度值;

$b^*$ ——黄度值。

每个样品取上表面均匀分布的 3 处不同位置进行测量并求平均值。

(3) 剪切力:采用肌肉嫩度仪进行测定。每个样品取表面均匀平整的 3 处不同位置,切割成  $1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm} \times 0.25 \text{ cm}$  (长 $\times$ 宽 $\times$ 高)的片状,置于肌肉嫩度仪载样台,记录探头刀片切断样品的剪切力值,每组试验条件设置 3 个平行。

## 2 结果与分析

### 2.1 炒锅热阻系数测定结果

由表 2 可知,炒锅 A、D、B、E、C 的导热系数、热阻系数等总体依次减小,且炒锅 A 和 D、炒锅 B 和 E 的热阻系数接近,5 种炒锅的热阻呈现差异可能与锅底厚度有关<sup>[7]</sup>。同时,初试验使用 5 种测试炒锅炒制猪里脊肉时,发现炒锅 A 和 D、炒锅 B 和 E 的成熟时间及开始焦糊时间相近。因此,后续研究选用炒锅 A、B、C。

表 2 炒锅热阻系数测定结果

Table 2 Measurement results of wok thermal resistance coefficient

炒锅	温度/ °C	导热系数/ ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ )	热阻系数/ ( $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ )
A	25	236.518	5.26E-05
	100	259.514	
	200	255.337	
	300	282.812	
	25	91.797	
B	100	101.925	5.18E-05
	200	99.831	
	300	110.847	
	25	55.510	
	100	56.091	
C	200	52.836	2.90E-05
	300	55.116	
	25	91.315	
	100	108.306	
	200	119.644	
D	300	156.378	3.02E-05
	25	53.200	
	100	52.335	
	200	48.435	
	300	49.585	

### 2.2 猪里脊肉烹饪至焦糊过程中品质变化与时间关系

2.2.1 颜色变化 由图 2 可知,随着烹饪时间的延长,猪里脊肉片先成熟后焦糊,在烹饪成熟过程(0~25 s)中,肉片由红变白,亮度值  $L^*$  和白度值 W 增大,红度值  $a^*$  先增大后减小,黄度值  $b^*$  增大;继续烹饪时,肉片发生焦糊(焦糊过程 50~65 s),表面由于美拉德反应产物的积累形成黄褐色硬壳,肉片的  $L^*$  和 W 减小, $a^*$  和  $b^*$  增大<sup>[31]39-53[32]</sup>。烹饪过程中肉片中心温度升高,导致血红蛋白和肌红蛋白发生变性<sup>[31]65</sup>,使肉的颜色改变,成熟过程中的颜色变化趋势与黄明等<sup>[22]</sup>的研究结果相同。

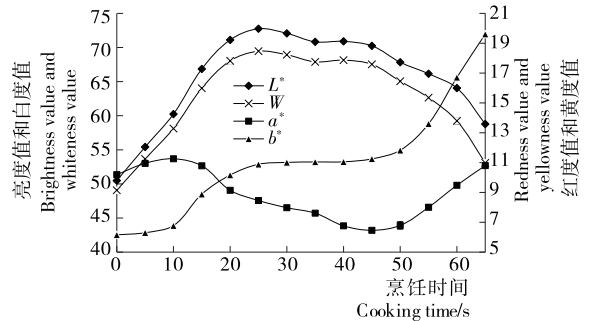


图 2 猪里脊肉烹饪至焦糊过程中颜色变化

Figure 2 Color changes of pork tenderloin during cooking

2.2.2 水分含量变化 由图 3 可知,随着烹饪时间的延长,猪里脊肉的水分含量持续减少,并且在烹饪成熟的过程中水分含量损失速率慢,焦糊的过程中水分含量损失速率加快,原因是高温烹饪过程中肉片表面存在水分蒸发使水分持续损失,焦糊过程中由于肉片中心温度升高,加快了蒸发速率<sup>[20,33]</sup>。

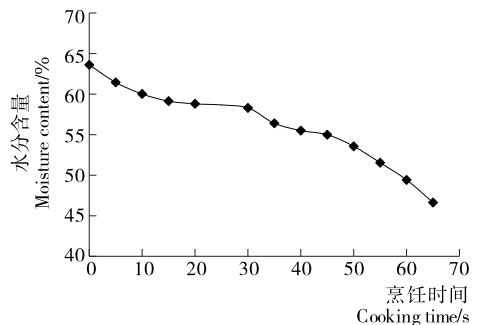


图 3 猪里脊肉烹饪至焦糊过程中水分含量变化

Figure 3 Changes in moisture content of pork tenderloin during cooking

2.2.3 剪切力变化 由图 4 可知,随着烹饪时间的延长,猪里脊肉的剪切力持续增大,肉的嫩度减小,并且在烹饪成熟的过程中剪切力变化速率慢,焦糊的过程中剪切力变化速率加快,成熟过程剪切力变化与黄明等<sup>[22]</sup>的研究结果基本一致。猪里脊肉烹饪至焦糊的过程中肌原纤维蛋白和胶原蛋白发生热变性,且水分含量一直减少,焦糊过程中表面形成硬壳,从而导致剪切力增大<sup>[20,33]</sup>。

油炒过程对烹饪成熟终点的控制非常关键,烹饪时间偏短时猪里脊肉片未完全成熟,肉色偏红,肉质较软,风味不佳;烹饪时间过长会导致品质劣变甚至产生焦糊,肉类焦糊

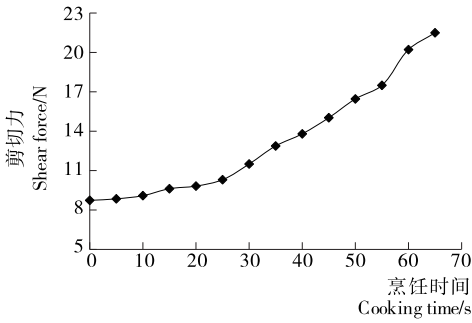


图4 猪里脊肉烹饪至焦糊过程中剪切力变化

Figure 4 Changes of shear force of pork tenderloin during cooking

物质中含有杂环胺致癌成分对人体有极大危害<sup>[25,34]</sup>。由图2~4综合分析得到,猪里脊肉成熟和焦糊时颜色、水分含量、剪切力等变化明显,可作为猪里脊肉成熟终点与焦糊开始的判断,结合实际烹饪选择颜色作为猪里脊肉成熟终点和焦糊开始的直观判断指标。

2.3 炒锅热阻系数对猪里脊肉品质变化速率的影响

由图5可知,当烹饪预热油温及搅拌频率相同时,猪里脊肉的成熟时间、开始焦糊时间及两者间隔时间均随炒锅热

阻系数的增大而增大;当搅拌频率相同时,猪里脊肉的成熟时间、开始焦糊时间及间隔时间随预热油温的升高而减小,原因是油温越高时猪里脊肉中心升温快,使烹饪至成熟的时间缩短<sup>[35]</sup>;当预热油温相同时,猪里脊肉的成熟时间随搅拌频率的增大而减小,而猪里脊肉开始焦糊时间及间隔时间随搅拌频率的增大而增大,搅拌频率越大时油脂与食品颗粒的对流换热强度越大,从而加快食品颗粒升温和品质变化过程<sup>[36]</sup>。

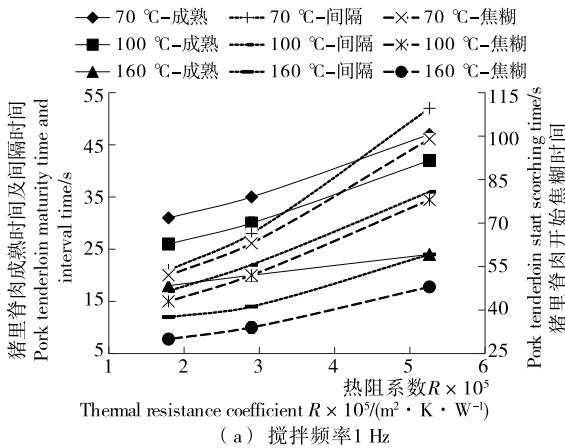
由图5进一步分析得到,使用3种测试炒锅,在不同预热油温及搅拌频率下,油炒猪里脊肉由成熟到表面完全焦糊过程时间为25~99s,成熟时间与开始焦糊的间隔时间为5~52s。对于热阻系数较大的炒锅,猪里脊肉成熟与焦糊两个阶段间隔时间长,烹饪操作相对容易控制;但对于热阻系数较小的炒锅,猪里脊肉成熟与焦糊两个阶段的间隔时间短,且预热油温越高或搅拌频率越小时猪里脊肉品质变化速率越快,焦糊现象发生越早,导致烹饪成熟终点控制困难。由此可见炒锅的传热特性对中式烹饪操作有很大影响。

同时,结合烹饪传热过程分析可知,锅具温度影响食品体系吸热升温,最终影响食品颗粒的烹饪品质<sup>[1,20]</sup>。当加热条件一定时,锅具温度与锅具自身传热性质相关,锅具热阻系数小、传热速率大<sup>[7]</sup>,如铁皮锅,其锅内壁升温快,食品颗粒成熟所需时间短,成熟终点控制困难,对烹饪操作技巧要求高,适合专业厨师使用;反之,烹饪操作相对容易把控的锅具,适合非专业家庭烹饪者使用。不同锅具的烹饪操作控制见表3。

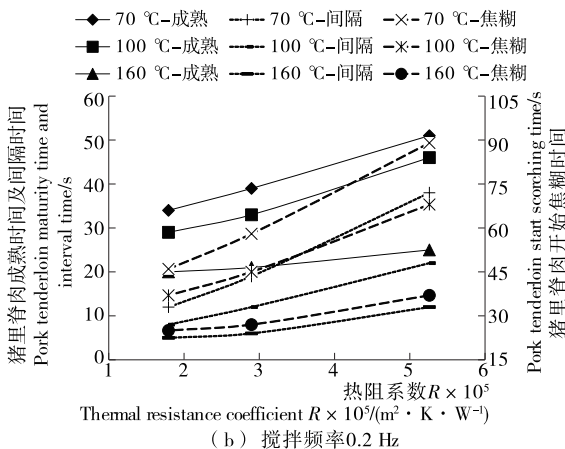
表3 锅具传热特性与烹饪操作控制之间的关系

Table 3 Relationship between heat transfer characteristics of cooking utensils and control of cooking operations

项目	热阻系数	成熟/焦糊时间	烹饪操作控制	适合烹饪人员
锅具传热及烹饪控制程度	大	长	易	非专业家庭烹饪者
	小	短	难	专业厨师



(a) 搅拌频率1 Hz



(b) 搅拌频率0.2 Hz

图5 不同预热油温及搅拌频率条件下猪里脊肉成熟时间、开始焦糊时间及间隔时间与热阻系数间的关系

Figure 5 Relationship between pork tenderloin maturity time, start scorching time and interval time and thermal resistance coefficient at different oil pre-heating temperature and stirring frequency

3 结论

通过研究热阻系数不同的中式炒锅在不同预热油温及搅拌频率条件下油炒猪里脊肉的成熟时间、开始焦糊时间及间隔时间的变化,获得了炒锅传热特性与烹饪操作控制间的关系,从而构建了一种中式炒锅性能评价的方法。研究结果表明,猪里脊肉烹饪至成熟和表面焦糊时颜色、水分含量和剪切力变化明显,其中颜色可作为烹饪成熟终点和焦糊开始的直观判断指标;热阻系数越小的炒锅,当烹饪预热油温越高或搅拌频率越小时猪里脊肉品质变化速率越快,易出现焦糊,烹饪操作困难;而热阻系数越大的炒锅,烹饪成熟时间、焦糊时间及间隔时间越长,烹饪操作容易,有利于非专业人员实施烹饪,对中式炒锅的设计与选择具有重要意义。但中式油炒过程中,烹饪操作还涉及热源功率、食品颗粒传热特征尺寸、油料比等,而且炒锅烹饪操作对食品品质变化的影响如何,仍需要进一步探究,从而获得锅具相适的优化烹饪操作。

## 参考文献

- [1] 邓力. 中式烹饪热/质传递过程数学模型的构建[J]. 农业工程学报, 2013, 29(3): 285-292.
- [2] 王晓东. 炒锅产品发展前景分析[J]. 现代家电, 2008(23): 44-47.
- [3] 王振华. 品质与创新驱动炊具行业稳健发展[J]. 现代家电, 2014(3): 52-54.
- [4] 邓力. 基于时间温度积分器将手工烹饪转变为自动烹饪的方法[J]. 农业工程学报, 2013, 29(6): 287-292.
- [5] SEDIGHI M, BEHNAM N D. A review of thermal and mechanical analysis in single and bi-layer plate[J]. Materials Physics and Mechanics, 2012, 14(1): 37-46.
- [6] DARDASHTI B N, SEDIGHI M R. Numerical solution of heat transfer for single and multi-metal pan[J]. Applied Mechanics and Materials, 2012, 148-149: 227-231.
- [7] AYATA T, YÜCEL Y. Effect of the section geometry of saucepan base on the energy consumption; an experimental study[J]. Heat & Mass Transfer, 2016, 53(4): 1-7.
- [8] VILLACÍS S, MARTÍNEZ J, RIOFRÍO A J, et al. Energy efficiency analysis of different materials for cookware commonly used in induction cookers[J]. Energy Procedia, 2015, 75: 925-930.
- [9] ZHAO Z, WONG T T, LEUNG C W, et al. Wok design; thermal-performance influencing parameters[J]. Applied Energy, 2006, 83(4): 387-400.
- [10] KARUNANITHY C, SHAFER K. Heat transfer characteristics and cooking efficiency of different sauce pans on various cooktops[J]. Applied Thermal Engineering, 2016, 93: 1 202-1 215.
- [11] SANZ-SERRANO F, SAGUES C, LLORENTE S. Inverse modeling of pan heating in domestic cookers[J]. Applied Thermal Engineering, 2016, 92: 137-148.
- [12] LOMOLINO G, CRAPISI A, CAGNIN M. Study of elements concentrations of European seabass (*Dicentrarchus labrax*) filets after cooking on steel, cast iron, teflon, aluminum and ceramic pots[J]. International Journal of Gastronomy & Food Science, 2016, s 5-6: 1-9.
- [13] FABRE R, DALZOTTO G, PERLO F, et al. Cooking method effect on Warner-Bratzler shear force of different beef muscles[J]. Meat Science, 2018, 138(1): 10-14.
- [14] 高海薇. 中西烹调方法的比较[J]. 四川烹饪高等专科学校学报, 2001(4): 20-22.
- [15] SEDIGHI M R, DARDASHTI B N. Heat transfer modeling in multi-layer cookware using finite element method [J]. International Journal of Science and Engineering Investigations, 2012, 1(1): 97-103.
- [16] FEYISSA A H, GERNAEY K V, ASHOKKUMAR S, et al. Modelling of coupled heat and mass transfer during a contact baking process[J]. Journal of Food Engineering, 2011, 106(3): 228-235.
- [17] AYATA T. Temperature distributions in a copper and aluminum layered base of a CrNi steel sauce pan[J]. Applied Energy, 2005, 80(4): 341-347.
- [18] PHAM HN, FUJITA H, OZAKI K, et al. Estimating method of heat distribution using 3-D resistance matrix for zone-control induction heating systems[J]. IEEE Trans Power Electron, 2012, 27(7): 3 374-3 382.
- [19] 邓力. 烹饪过程动力学函数、优化模型及火候定义[J]. 农业工程学报, 2013, 29(4): 278-284.
- [20] 邓力. 炒的烹饪过程数值模拟与优化及其技术特征和参数的分析[J]. 农业工程学报, 2013, 29(5): 282-292.
- [21] SEDIGHI M, SALARIAN H, TAHERIAN H. Material dependence of temperature distribution in multi-layer multi-metal cookware[J]. Journal of Engineering Science & Technology, 2017, 12(9): 2 333-2 345.
- [22] 黄明, 黄峰, 张首玉, 等. 热处理对猪肉食用品质的影响[J]. 食品科学, 2009, 30(23): 189-192.
- [23] SASAKI K, MOTOYAMA M, YASUDA J, et al. Beef texture characterization using internationally established texture vocabularies in ISO 5492: 1992: Differences among four different end-point temperatures in three muscles of Holstein steers [J]. Meat Science, 2010, 86(2): 422-429.
- [24] SINHA R, KNIZE M G, SALMON C P, et al. Heterocyclic amine content of pork products cooked by different methods and to varying degrees of doneness[J]. Food & Chemical Toxicology An International Journal Published for the British Industrial Biological Research Association, 1998, 36(4): 289-297.
- [25] 闫勇, 邓力, 何腊平, 等. 猪里脊肉烹饪终点成熟值的测定[J]. 农业工程学报, 2014, 30(12): 284-292.
- [26] 周杰, 邓力, 闫勇, 等. 烹饪传热学及动力学数据采集分析系统的研制[J]. 农业工程学报, 2013, 29(23): 241-246.
- [27] 王教方, 岳岳军. 多层复合材料导热系数测定方法的研究[J]. 济南大学学报: 自然科学版, 2000, 14(3): 258-260.
- [28] 刘响, 张秀华, 田志宏, 等. 激光闪射法测量碳复合耐火材料导热系数的影响因素[J]. 工程与试验, 2013, 53(4): 37-45.
- [29] RUBIO B, MARTÍNEZ B, GARCÍA-CACHÁN M D, et al. Effect of the packaging method and the storage time on lipid oxidation and colour stability on dry fermented sausage salchichón manufactured with raw material with a high level of mono and polyunsaturated fatty acids[J]. Meat Science, 2008, 80(4): 1 182-1 187.
- [30] RAMIREZ-SUAREZ J C, MORRISSEY M T. Effect of high pressure processing (HPP) on shelf life of albacore tuna (*Thunnus alalunga*) minced muscle [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2006, 7(1/2): 19-27.
- [31] YOUNG O A, WEST J. Meat science and application[M]. New York: Marcel Dekker Inc., 2001.
- [32] 纪有华. 烹饪过程中美拉德反应对菜肴的影响[J]. 美食研究, 2006, 23(4): 32-36.
- [33] DATTA A K. Porous media approaches to studying simultaneous heat and mass transfer in food processes I: Problem formulations[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 80(1): 96-110.
- [34] 廖国周. 烧烤肉制品中杂环胺形成规律研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2008: 5-6.
- [35] 汪孝, 邓力, 李双艳, 等. 油炒温度对猪肉水分的影响[J]. 食品科技, 2017, 42(7): 128-133.
- [36] 崔俊. 爆炒烹饪的 CFD 数值模拟及功率测定研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2017: 56-57.