

# 煎、炸、烤对横山羊肉食用品质的影响

## Effects of pan-frying, frying, broiling on eating quality of Hengshan mutton

李林强 高天丽 张 兰 刘永峰

LI Lin-qiang GAO Tian-li ZHANG Lan LIU Yong-feng

(陕西师范大学食品工程与营养科学学院, 陕西 西安 710062)

(College of Food Engineering and Nutritional Science, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062, China)

**摘要:**以横山羊肉为研究对象,通过调控处理时间和温度,进行煎、炸、烤三种工艺处理,采用质构仪测定肉样的全质构和剪切力,用测色仪测定肉色,进而对肉样的食用品质进行综合评价。结果表明:对于煎制处理,2 min 和 3 min 处理的肉样硬度、咀嚼性及回复性显著小于 4 min( $P<0.05$ );2 min 和 3 min 处理的肉样剪切力显著小于 4 min( $P<0.05$ );肉样  $L^*$  值随处理时间的延长逐渐减小( $P<0.05$ ),2 min 和 3 min 处理的肉样  $a^*$  值小于 4 min( $P<0.05$ ),而  $b^*$ 、 $c^*$  及  $h^*$  值大于 4 min( $P<0.05$ )。对于炸制处理,3 min 处理的肉样硬度和内聚性显著小于 4 min 和 5 min( $P<0.05$ ),咀嚼性、弹性及回复性显著小于 5 min( $P<0.05$ );3 min 处理的肉样剪切力显著小于 4 min 和 5 min( $P<0.05$ );3 min 处理的肉样  $a^*$  值小于 5 min( $P<0.05$ ),其他肉色指标对不同的处理时间差异不显著( $P>0.05$ )。对于烤制处理,160 °C 处理的肉样硬度、内聚性和回复性小于 180 °C ( $P<0.05$ ),弹性小于 200 °C ( $P<0.05$ );160 °C 处理的肉样剪切力显著小于 200 °C ( $P<0.05$ );160 °C 处理的肉样  $L^*$  值小于 180 °C 和 200 °C ( $P<0.05$ ), $a^*$  和  $c^*$  值小于 200 °C ( $P<0.05$ ), $h^*$  值大于 200 °C ( $P<0.05$ ), $b^*$  值对不同的烤制温度无显著差异( $P>0.05$ )。综合分析表明:煎、炸、烤三种高温处理对横山羊肉食用品质有较大影响,肉样在 226~228 °C 的温度下煎制处理 3 min 和炸制处理 3 min、在 160 °C 的温度下烤制处理 40 min,均具有较高的食用品质。该研究结果对于人们选择合理的羊肉高温处理方式及工艺条件具有一定的指导意义。

**关键词:**横山羊肉;高温处理;食用品质

**Abstract:** The objective of this study was to evaluate the effects of pan-frying, frying and broiling on eating quality of Hengshan mutton

**基金项目:** 陕西省科技统筹创新工程计划项目(编号:2015KTTSNY04-07);中央高校基本科研业务费专项(编号:GK201502008);农业部农产品加工重点实验室开放课题项目(编号:2015002)

**作者简介:** 李林强,男,陕西师范大学副教授,博士。

**通讯作者:** 刘永峰(1981-),男,陕西师范大学副教授,博士。

E-mail: yongfeng200@126.com

**收稿日期:** 2016-02-08

by regulating the cooking time and temperature. Texture analyzer was used to measure the texture profile analysis and shear force, meanwhile color measurement instrument was used to measure meat color. Results showed, for Pan-frying, Pan-fried mutton samples 2 min and 3 min treatments, the hardness, chewiness and resilience significantly were less than that of 4 min treatment ( $P<0.05$ ), and the shear force was significantly less than 4 min treatment ( $P<0.05$ ). With the extension of treatment time, the  $L^*$  value decreased gradually ( $P<0.05$ ), processed for 2 min and 3 min, the  $a^*$  value of mutton sample was less than that of 4 min treatment ( $P<0.05$ ), while  $b^*$ 、 $c^*$  and  $h^*$  value significantly were greater than that of 4 min treatment ( $P<0.05$ ). For frying, the result of 3 min treatment processing showed that the hardness and cohesiveness significantly were less than those of 4 min and 5 min treatments ( $P<0.05$ ), and the chewiness, springiness and resilience were significantly less than 5 min treatment ( $P<0.05$ ), the shear force was significantly less than those of 4 min and 5 min treatments ( $P<0.05$ ). The result of 3 min treatment processing showed that  $a^*$  value was significantly less than those of 5 min treatment ( $P<0.05$ ), while other color parameters have no significant difference for different processing time ( $P>0.05$ ). For broiling, processing at 160 °C, the hardness, cohesiveness and resilience significantly were less than those at 180 °C ( $P<0.05$ ), and springiness was less than that at 200 °C ( $P<0.05$ ). 160 °C processing temperature the shear force significantly less than that at 200 °C ( $P<0.05$ ). Under the 160 °C processing temperature the  $L^*$  value was less than those at 180 °C and 200 °C ( $P<0.05$ ),  $a^*$  and  $c^*$  values were less than those at 200 °C ( $P<0.05$ ), while  $h^*$  value was greater than that at 200 °C ( $P<0.05$ ), there were no significant differences for  $b^*$  value among the different processing temperature ( $P>0.05$ ). Comprehensive analyses showed that Pan-frying, frying and broiling had a great influence on the eating quality of Hengshan mutton. At the temperature of 226~228 °C, the mutton sample were Pan-fried 3 min and fried 3 min, broiled 40 min at the temperature of 160 °C, which had higher eating quality. These results provided a theoretical basis and guidance significance for choosing the reasonable high-temperature treatment methods and processing conditions of mutton.

**Keywords:** Hengshan mutton; high temperature treatment; eating quality

山羊肉是食药两用肉类,蛋白质含量高、脂肪及胆固醇含量低,在世界各国有着悠久的食用历史<sup>[1-2]</sup>。横山羊肉,系陕北白绒山羊生产的肉,是2010年中国国家地理标志产品,具有肉质鲜嫩、香味浓郁、风味独特等特点,因羊所食植被中富含中药材,使羊肉香味十足、细腻无膻,在羊肉中独具特色,被誉为“肉中人参”<sup>[3]</sup>。肉品质主要包括食用品质、营养品质、加工品质和安全品质4个方面,其中食用品质是衡量肉类商品价值最重要的因素,对消费者而言也是最重要的,评价肉类食用品质的指标主要有嫩度、色泽和风味等<sup>[4]</sup>。众所周知,不同的加工处理工艺对羊肉食用品质有一定影响,尤其是深受人们喜爱的煎制、炸制和烤制。目前,已有关于不同品种烤羊肉食用品质的研究,薛丹丹等<sup>[5]</sup>以市售羊肉为原料,烤制之后,采用感官评定结合M值、主成分分析和相关性分析的方法对烤制羊肉的食用品质评价指标进行筛选,结果表明,韧性、多汁性和肉香味可作为烤制羊肉食用品质的评价指标。杨远剑等<sup>[6]</sup>研究表明膻味、嫩度和多汁性作为羊肉食用品质的评价指标。张同刚等<sup>[7]</sup>通过对膻味、香味、弹性及口感进行感官评价,用响应面法优化手抓羊肉的最佳工艺参数为浸泡时间17 min,煮制时间70 min,食盐3.5%,香辛料0.2%。虽然,煎制、炸制与烤制同属于较高温度的处理工艺,但鲜有相关报道;此外,横山羊肉作为陕西特色羊肉产品,关于煎、炸、烤三种高温处理对其肉品质食用的影响目前还没有报道。

鉴于此,本试验拟选用陕西地方特色横山羊肉,分别经煎、炸、烤三种高温处理后,采用质构仪测定其全质构和剪切力,用测色仪测定肉色,克服了主观评价方式结果不准确、重复性较差等缺点,揭示了不同处理的不同时间或温度梯度条件下,羊肉食用品质的差异,系统地评价高温处理对横山羊肉食用品质的影响,旨在为人们选择较合理肉制品的热处理方法提供理论依据,为横山羊肉产品多元化开发和大力发展高品质地方特色羊肉产品提供相应参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 原料选择

陕北白绒山羊腿部肉:榆林洋洗农牧业有限公司, -20℃冷冻储藏;

食盐、料酒、花椒、八角、小茴香、桂皮、植物油、姜、大葱等辅料:西安华润万家超市。

### 1.2 主要仪器设备

质构仪:TA.XT.Plus型,英国stable micro system公司;

分光测色仪:NS800型,深圳市三恩驰科技有限公司;

多功能电磁炉:RT2135型,广东美的生活电器制造有限公司;

远红外食品烤箱:HL-3-6DW型,广州市番禺成功烘焙设备制造有限公司;

电热鼓风干燥箱:GDX-9073B-1型,上海福玛实验设备

有限公司;

电子天平:JA2003N型,上海精密科学仪器有限公司;

水浴锅:HH-S4型,北京科伟永兴仪器有限公司。

### 1.3 处理方式

将冷冻横山羊肉在4℃冰箱中缓慢解冻24 h,剔除表面筋膜、脂肪及结缔组织,分割为1 cm×1 cm×3 cm的块状,取分割好的肉样2 000 g,平均分为10组,每组200 g,每组约15~20块。随机选取其中1组为对照组(不经任何处理),另外9组为试验组。本试验在参考已报道<sup>[8-9]</sup>方法的基础上,结合家庭烹饪的实际条件并经过多次预试验,确定了时间和温度梯度及最终的高温处理工艺。9个试验组分别按如下方式处理:

取分割好的肉样200 g→清洗→浸泡15 min(拔出血水)→再次清洗、沥干→放入盆中,加水50 mL,添加辅料(食盐2%、花椒1.25%、姜0.75%、八角1.5%、小茴香0.5%、葱白1%、料酒1%、桂皮1%),搅拌均匀→浸渍60 min→分别进行煎制、炸制、烤制处理→取出冷却→成品

(1)煎制处理:加油50 mL,肉样在226~228℃温度下分别煎制2,3,4 min,煎至处理时间一半时翻面一次。

(2)炸制处理:加油200 mL,肉样在226~228℃温度下分别炸制3,4,5 min,炸制过程中不断搅拌。

(3)烤制处理:肉样分别在160,180,200℃的温度下烤制40 min,烤至20 min时翻面一次。

### 1.4 品质评价指标

1.4.1 质地剖面分析(texture profile analysis, TPA) 样品在室温条件下,采用质构仪的TPA模式进行测定。测定参数设置:P/36R探头;测试前探头下降速度、测试速度、测试后探头回程速度均为1.0 mm/s;测试时间间隔为5 s;触发力为5 g;数据采集速率为400 PPs;烤制200℃试验组应变量为50%,其他8个试验组应变量都为75%。通过分析力量-时间曲线,再根据参数定义及计算方法(用探头第一次下压至最大距离时肉样产生的抵抗力表示硬度;用第二次下压时间与第一次下压时间的比值表示肉样的弹性;用探头第二次下压及返回过程中所做功与第一次下压及返回过程中所做功的比值表示肉样的内聚性;用硬度、弹性和内聚性三者的乘积表示肉样的咀嚼性;用第一次压缩循环过程中返回肉样所释放的弹性能与压缩时探头的耗能之比表示回复性)得到硬度(hardness)、弹性(springiness)、内聚性(cohesiveness)、咀嚼性(chewiness)和回复性(resilience)5个TPA参数。每组样品进行5次平行试验,结果取平均值进行数据分析。

1.4.2 剪切力(WBSF)的测定 对照组样品采用 Warner-Bratzler法测定剪切力值。将肉样置于蒸煮袋中以隔绝水,将温度计插入待测肉样中心,在80℃的水浴锅中加热至肉样中心温度达到75℃时取出,冷却至室温,用质构仪垂直肌纤维方向剪切肉块,记录剪切力值;经煎、炸、烤工艺处理后的肉样直接用质构仪沿垂直肌纤维方向剪切,进行剪切力值的测定。测定参数设置:HDP/BSW探头,测前、测试和测后速率均为1.0 mm/s,位移25 mm。每组样品平行测定5次,结果取平均值进行数据分析。

1.4.3 肉色的测定 测色仪用标准黑、白板进行校正,采用

CIE 1976 L\* a\* b\* 表色系统,进行肉色的测定,记录肉样的 L\* 值(亮度)、a\* 值(红度)、b\* 值(黄度)及 c\* (饱和度)、h° (色调角)。每组样品进行 5 次平行试验,结果取平均值进行数据分析。饱和度和色调角分别按式(1)、(2)计算:

$$c^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}, \quad (1)$$

$$h^\circ = \tan^{-1} \frac{b^*}{a^*}. \quad (2)$$

### 1.5 数据分析方法

本试验所有数据均使用 Microsoft Excel 进行计算,采用 SPSS 21.0 中 ANOVA 进行方差分析及 Duncan 进行多重比较,结果以  $\bar{X} \pm SD$  形式表示。

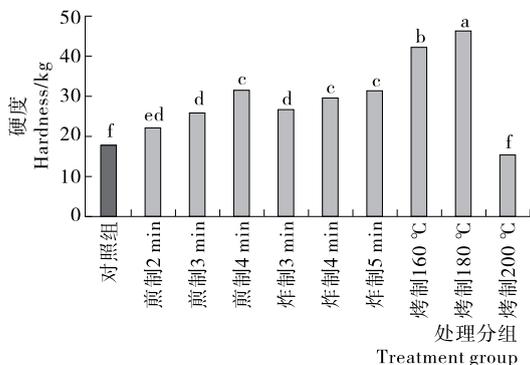
## 2 结果分析与讨论

### 2.1 羊肉的 TPA 测定结果与分析

质构品质的评价方法主要有感官评定和仪器测定两种,其中 TPA 法可将感官品质同力学和几何性质相结合,克服了感官评定结果不准确、重复性差等缺点<sup>[10]</sup>。本研究用 TPA 模式测定了煎、炸、烤高温处理后羊肉的质构特性。

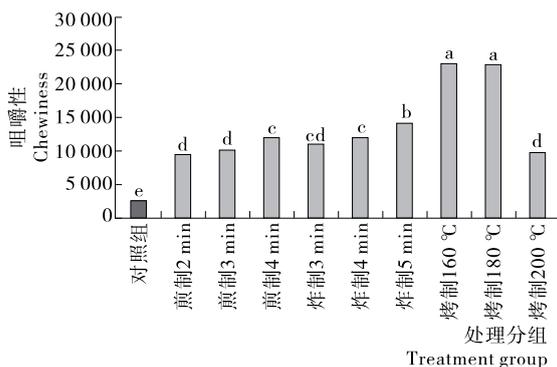
由图 1 可知,与对照组相比,除 200 °C 的烤制处理外,其他试验组均可显著改变肉样硬度( $P < 0.05$ ),可见煎、炸、烤三种处理方式对羊肉硬度有较大影响,且三种处理方式对肉样硬度的影响整体呈现烤制 > 炸制 > 煎制的顺序,说明不同的处理方式对羊肉硬度的影响效果不同,其中烤制处理对肉样硬度影响尤为明显,达到了极显著水平( $P < 0.01$ )。对于煎制处理,2 min 和 3 min 处理的肉样硬度显著低于 4 min ( $P < 0.05$ ),2 min 与 3 min 处理间无明显差异( $P > 0.05$ )。对于炸制处理,3 min 处理的肉样硬度显著小于 4 min 和 5 min ( $P < 0.05$ ),而 4 min 和 5 min 处理间无明显差异( $P > 0.05$ )。对于烤制处理,160 °C 处理的肉样硬度显著小于 180 °C ( $P < 0.05$ ),由于在 75% 的应变变量下,试验组烤制 200 °C 出现过载现象,所以烤制 200 °C 选用了 50% 的应变变量进行测定,因此 200 °C 烤制处理的肉样硬度实质上是最大的,但由于应变量的降低,故而出现在数值上小于 160 °C 和 180 °C 的现象( $P < 0.05$ )。可见,煎、炸、烤三种处理方式对羊肉硬度的影响趋势一致,都是随着处理时间的延长或温度的升高,硬度增大,这可能是处理时间越长或温度越高,肉样中水分损失越严重,肌肉纤维更加紧密,同时蛋白质的高级结构发生变形,而使肌肉组织结构变硬。2 min 和 3 min 煎制处理,3 min 炸制处理、160 °C 烤制处理的肉样硬度较小,与张婷等<sup>[11]</sup>研究的肉样硬度越小而感官评分越高的结果一致,具有较好的适口性。随着处理时间的延长或温度的升高,肉样硬度增大,食用品质下降,这与郎玉苗等<sup>[12]</sup>在牛排中的研究结果一致。

由图 2 可知,与对照组相比,9 个试验组均可显著增大肉样的咀嚼性( $P < 0.05$ ),可见煎、炸、烤三种处理方式对羊肉咀嚼性有较大影响,其中以烤制处理影响尤为明显,达到了极显著水平( $P < 0.01$ )。对于煎制处理,2 min 和 3 min 处理的肉样咀嚼性显著小于 4 min ( $P < 0.05$ ),而 2 min 与 3 min 处理间无明显差异( $P > 0.05$ )。对于炸制处理,3 min 和 4 min 处理的肉样咀嚼性显著小于 5 min ( $P < 0.05$ ),而 3 min 和 4 min 处理间差异不显著( $P > 0.05$ )。对于烤制处理,



不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )

图 1 横山羊肉煎、炸、烤三种处理方式下硬度测定结果  
Figure 1 Determination results of Hardness with pan-frying, frying and broiling of Hengshan mutton



不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )

图 2 横山羊肉煎、炸、烤三种处理方式下咀嚼性测定结果  
Figure 2 Determination results of Chewiness with pan-frying, frying and broiling of Hengshan mutton

160 °C 和 180 °C 处理间肉样的咀嚼性没有明显差异( $P > 0.05$ ),同硬度一样,由于试验组烤制 200 °C 是在 50% 的应变变量测定的,因此 200 °C 处理的肉样咀嚼性显著小于 160 °C 和 180 °C ( $P < 0.05$ )。煎、炸、烤三种处理方式下肉样的咀嚼性和硬度结果在一定程度上具有类似性,这其中一部分原因可能是咀嚼性等于硬度、弹性和内聚性三者的乘积,而每种处理后肉样弹性和内聚性在数值上比较接近而导致的。2~3 min 煎制处理、3 min 炸制处理、160~180 °C 烤制处理的肉样咀嚼性较小,与张婷等<sup>[11]</sup>研究的肉样咀嚼性越小感官评分越高的结果一致。处理时间越长,温度越高,肉样咀嚼性越大,与郎玉苗等<sup>[12]</sup>在牛排中的研究结果一致。

由表 1 可知,与对照组相比,9 个试验组都显著增大了肉样的弹性、内聚性及回复性( $P < 0.05$ ),可见煎、炸、烤三种处理方式对羊肉的弹性、内聚性及回复性有较大影响,其中烤制处理肉样的弹性、回复性都达到了极显著水平( $P < 0.01$ ),在 180 °C 和 200 °C 的处理条件下,肉样的内聚性也极显著增大( $P < 0.01$ )。对于煎制处理,不同的处理时长肉样的弹性和内聚性无显著性差异( $P > 0.05$ ),而 2 min 和 3 min 处理的肉样回复性显著小于 4 min ( $P < 0.05$ )。对于炸制处理,3 min 和 4 min 处理的肉样弹性和回复性明显小于 5 min ( $P < 0.05$ ),而 3 min 和 4 min 处理间无明显差异( $P > 0.05$ );

内聚性随着处理时间的延长显著增大( $P < 0.05$ )。对于烤制处理,160 °C和180 °C处理的肉样弹性显著小于200 °C( $P < 0.05$ ),而160 °C和180 °C处理间没有明显差异( $P > 0.05$ );肉样内聚性随着处理温度的升高显著增大( $P < 0.05$ ),160 °C处理的肉样回复性显著小于180 °C( $P < 0.05$ ),同硬度和咀嚼性一样,试验组烤制200 °C是在50%的应变变量测定的,因此200 °C处理的肉样回复性小于160 °C和180 °C( $P < 0.05$ )。适当的高温处理后肉样水分损失及内部组织结构改变较少,弹性、内聚性及回复性等物性指标增加较少,煎制处理2 min和3 min时,肉样回复性较小,炸制处理3 min、烤制处理160 °C时,肉样弹性、内聚性及回复性均较小,食用品质较高。

综合分析高温处理羊肉的硬度、咀嚼性、弹性、内聚性和回复性,2~3 min煎制处理、3 min炸制处理、160 °C烤制处理的羊肉的质构特性较好,食用品质较高。

表1 三种处理方式下横山羊肉煎、炸、烤弹性、内聚性和回复性测定结果<sup>†</sup>

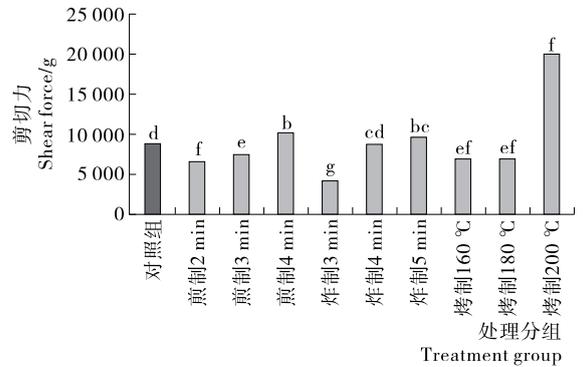
Table 1 Determination results of springiness, cohesiveness and resilience with pan-frying, frying and broiling of Hengshan mutton

处理分组	弹性	内聚性	回复性
对照组	0.40±0.02 <sup>e</sup>	0.40±0.01 <sup>e</sup>	0.24±0.01 <sup>f</sup>
煎制2 min	0.62±0.03 <sup>d</sup>	0.64±0.01 <sup>def</sup>	0.26±0.01 <sup>e</sup>
煎制3 min	0.63±0.02 <sup>cd</sup>	0.63±0.01 <sup>ef</sup>	0.27±0.01 <sup>e</sup>
煎制4 min	0.61±0.04 <sup>d</sup>	0.63±0.01 <sup>ef</sup>	0.28±0.01 <sup>cd</sup>
炸制3 min	0.62±0.01 <sup>d</sup>	0.63±0.01 <sup>f</sup>	0.28±0.01 <sup>cd</sup>
炸制4 min	0.63±0.01 <sup>cd</sup>	0.65±0.00 <sup>d</sup>	0.28±0.01 <sup>cd</sup>
炸制5 min	0.66±0.01 <sup>c</sup>	0.67±0.01 <sup>c</sup>	0.29±0.01 <sup>c</sup>
烤制160 °C	0.76±0.03 <sup>b</sup>	0.64±0.01 <sup>de</sup>	0.32±0.01 <sup>b</sup>
烤制180 °C	0.73±0.01 <sup>b</sup>	0.69±0.01 <sup>b</sup>	0.36±0.01 <sup>a</sup>
烤制200 °C	0.85±0.01 <sup>a</sup>	0.74±0.02 <sup>a</sup>	0.27±0.02 <sup>de</sup>

† 同列中不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

## 2.2 羊肉的剪切力测定结果与分析

嫩度是评判肉质优劣的常用指标,在很大程度上决定着肉品的商业价值,主要由肌原纤维和结缔组织的结构及生化特性所决定<sup>[13-14]</sup>。本研究用剪切力法测定了高温处理后羊肉的嫩度。由图3可知,与对照组相比,除4 min炸制处理外,其他试验组都不同程度地改变肉样剪切力( $P < 0.05$ ),其中4 min煎制处理、5 min炸制处理及200 °C烤制处理的肉样剪切力显著增大( $P < 0.05$ ),其增加量分别为15.79%,9.27%,127.83%,其他处理组剪切力均减小( $P < 0.05$ ),减小范围为13.97%~51.52%,可见煎、炸、烤三种处理方式对肉样剪切力有较大影响,可明显改变羊肉的嫩度,这与烹饪方式对禽肉剪切力有较大影响的报道<sup>[15]</sup>结果一致。对于煎制处理,肉样剪切力随着处理时间的延长逐渐增加( $P < 0.05$ )。对于炸制处理,3 min处理的肉样剪切力最小,为4 289.85 g,当处理时间延长至4 min和5 min时,肉样剪切力显著增大( $P < 0.05$ ),而4 min和5 min处理之间肉样剪切力无明显差异( $P > 0.05$ )。对于烤制处理,160 °C和180 °C处理的肉样之



不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )

图3 三种处理方式下横山羊肉煎、炸、烤剪切力测定结果  
Figure 3 Determination results of shear force with pan-frying, frying and broiling of Hengshan mutton

间剪切力没有显著差异( $P > 0.05$ ),而当处理温度为200 °C时,肉样剪切力极显著增加( $P < 0.01$ ),达到了20 158.98 g。煎、炸、烤对肉样剪切力的影响趋势一致:短时间或低温处理时,剪切力值较小,相反剪切力值增大,嫩度下降,这与李改<sup>[16]</sup>、魏心如<sup>[17]</sup>等在鸡胸肉中及孟祥忍<sup>[18]</sup>、郎玉苗<sup>[12]</sup>等在牛排中的研究的结果一致,其原因主要是高温处理后,肉样中肌原纤维蛋白发生热变形,肌内胶原蛋白紧缩,热处理时间越长,温度越高,蛋白收缩变性越剧烈,持水力及结缔组织张力下降,从而使肉质嫩度大大降低<sup>[19-20]</sup>。综合分析,2~3 min煎制处理、3 min炸制处理、160~180 °C烤制处理的肉样剪切力较小,嫩度增加,有较高的食用品质。

## 2.3 羊肉的肉色测定结果与分析

肉色是人们对肉品最直观的印象,是判断肉及肉制品品质的重要指标<sup>[21]</sup>。评价肉色主要有主观和客观两种方法,与主观评定相比,客观评定的结果更准确、应用更广泛<sup>[22]</sup>。本试验使用测色仪对肉色进行了客观评价。由表2可知,与对照组相比,煎、炸、烤三种处理可部分改变肉样的 $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 及 $c^*$ 值( $P < 0.05$ ),同时均可显著增大肉样的 $h^\circ$ ( $P < 0.05$ ),可见这三种处理方式对羊肉肉色影响较大,这主要是由变性后肌红蛋白的组成和未变性肌红蛋白的数量决定的<sup>[23]</sup>。对于煎制处理,2 min处理的肉样 $L^*$ 值最大( $P < 0.05$ ),肉色质量较差,这是因为肉样表面水分渗透使其反射光较多,这与张伟力等<sup>[24]</sup>研究的肉的 $L^*$ 值在一定范围内受光反射作用的影响, $L^*$ 值越低,肉面水分反射光越少,肉色评分越高的结果一致;2 min和3 min处理的肉样 $b^*$ 和 $h^\circ$ 值显著大于4 min( $P < 0.05$ ), $a^*$ 值小于4 min( $P < 0.05$ );2 min处理的肉样 $c^*$ 值显著大于4 min( $P < 0.05$ ),3 min与4 min处理间无明显差异( $P > 0.05$ );2 min和3 min处理之间的肉样 $a^*$ 、 $b^*$ 、 $c^*$ 及 $h^\circ$ 值均无明显差异( $P > 0.05$ )。这些煎制处理结果说明了随着煎制处理时间的延长,肉样色泽逐渐变暗、加深,甚至出现焦红色。对于炸制处理,肉样的 $L^*$ 、 $b^*$ 、 $c^*$ 及 $h^\circ$ 值对不同的处理时间无显著差异( $P > 0.05$ );3 min和4 min处理的肉样 $a^*$ 值显著小于5 min( $P < 0.05$ ),而3 min和4 min处理之间肉样 $a^*$ 值无明显差异( $P > 0.05$ )。这些炸制处理结果说明了3 min和4 min炸制处理均对肉样的色泽影响不明显,而5 min处理使肉样色泽加深。对于烤

表 2 三种处理方式下横山羊肉煎、炸、烤肉色测定结果<sup>†</sup>

Table 2 Determination results of meat color with pan-frying, frying and broiling of Hengshan mutton

处理分组	<i>L</i> * (亮度)	<i>a</i> * (红度)	<i>b</i> * (黄度)	<i>c</i> * (饱和度)	<i>h</i> ° (色调角)
对照组	34.64±1.93 <sup>c</sup>	8.64±0.47 <sup>a</sup>	9.51±0.33 <sup>d</sup>	12.84±0.47 <sup>cd</sup>	47.76±1.50 <sup>e</sup>
煎制 2 min	42.72±3.30 <sup>a</sup>	5.26±0.01 <sup>e</sup>	15.98±1.44 <sup>a</sup>	16.83±1.36 <sup>a</sup>	71.71±1.54 <sup>a</sup>
煎制 3 min	38.75±1.97 <sup>b</sup>	5.49±0.61 <sup>de</sup>	14.30±0.51 <sup>ab</sup>	15.33±0.25 <sup>ab</sup>	68.97±2.85 <sup>a</sup>
煎制 4 min	24.11±1.73 <sup>f</sup>	7.44±0.29 <sup>b</sup>	11.84±1.30 <sup>cd</sup>	14.00±1.02 <sup>bc</sup>	57.69±3.48 <sup>d</sup>
炸制 3 min	28.93±3.71 <sup>de</sup>	7.72±0.73 <sup>b</sup>	13.28±1.82 <sup>bc</sup>	15.39±1.70 <sup>ab</sup>	59.67±3.60 <sup>cd</sup>
炸制 4 min	30.74±2.05 <sup>cde</sup>	6.91±0.54 <sup>bc</sup>	13.71±0.86 <sup>abc</sup>	1.37±0.54 <sup>ab</sup>	63.20±3.20 <sup>bc</sup>
炸制 5 min	27.74±0.80 <sup>def</sup>	7.83±0.02 <sup>a</sup>	13.23±0.28 <sup>bc</sup>	15.37±0.25 <sup>ab</sup>	59.37±0.48 <sup>cd</sup>
烤制 160 °C	31.68±1.60 <sup>cd</sup>	3.61±0.17 <sup>f</sup>	10.33±1.13 <sup>d</sup>	10.95±1.04 <sup>de</sup>	70.59±2.42 <sup>a</sup>
烤制 180 °C	29.62±1.25 <sup>de</sup>	3.90±0.57 <sup>f</sup>	9.70±1.88 <sup>d</sup>	10.46±1.96 <sup>e</sup>	67.95±1.11 <sup>ab</sup>
烤制 200 °C	27.12±2.81 <sup>ef</sup>	6.23±1.00 <sup>cd</sup>	11.60±1.81 <sup>cd</sup>	13.20±1.64 <sup>bc</sup>	61.53±5.26 <sup>cd</sup>

<sup>†</sup> 同列中不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ )。

制处理,160 °C 处理的肉样 *L*\* 显著大于 200 °C;160 °C 和 180 °C 处理的肉样 *a*\* 和 *c*\* 值显著小于 200 °C ( $P<0.05$ ),*h*° 值大于 200 °C ( $P<0.05$ );不同的处理温度对 *b*\* 值无显著影响 ( $P>0.05$ )。160 °C 和 180 °C 处理间各项肉色指标差异都不显著 ( $P>0.05$ )。这些烤制处理结果说明了 160 °C 和 180 °C 烤制处理均对肉色影响不明显,而 200 °C 处理使肉样色泽变暗、加深出现焦红色,肉色品质较差,这可能是由于肉样在加热过程中脱氧肌红蛋白、氧合肌红蛋白和高铁肌红蛋白三者之间发生互变引起的<sup>[25]</sup>。综合分析高温处理羊肉的各项色泽参数,3 min 煎制处理、3~4 min 炸制处理、160~180 °C 烤制处理的肉样肉色较好,食用品质较高。

### 3 结论

煎制、炸制和烤制三种高温处理方式会对羊肉的食用品质产生较大影响,不同的处理条件影响各不相同。综合对比分析羊肉的全质构、剪切力及肉色的分析结果,得出 226~228 °C 下煎制处理 3 min、226~228 °C 下炸制处理 3 min、160 °C 下烤制处理 40 min,羊肉具有较好的食用品质。该研究结果对于人们选择合理的羊肉高温处理方式和时间具有一定的理论依据和科学指导意义。

由于试验时间和条件的限制,对于煎、炸、烤高温处理后羊肉的风味及其他品质指标还未展开研究,本实验室后期将继续开展高温处理后羊肉的风味、营养品质及有害物质等指标的系统研究。

### 参考文献

[1] 张进,王卫,郭秀兰,等.羊肉制品加工技术研究进展[J].肉类研究,2011,25(11):50-54.

[2] MUSHI D E, THOMASSEN M S, KIFARO G C, et al. Fatty acid composition of minced meat, longissimus muscle and omental fat from Small East African goats finished on different levels of concentrate supplementation[J]. Meat Science, 2010, 86(2): 337-342.

[3] 薛瑞,朱海舰,王托平,等.横山羊肉的品质特征与历史渊源[J].中国畜禽种业,2010(11):63-66.

[4] 周光宏,李春保,徐幸莲.肉类食用品质评价方法研究进展[J].

中国科技论文在线,2007,2(2):75-82.

[5] 薛丹丹,张德权,陈丽,等.烤制羊肉食用品质评价指标筛选研究[J].食品科技,2012,37(10):114-118.

[6] 杨远剑,张德权,饶伟丽.羊肉食用品质评价指标筛选研究[J].食品科技,2010,35(12):140-144.

[7] 张同刚,刘敦华,周静.手抓羊肉加工工艺优化及挥发性风味物质检测[J].食品与机械,2014,30(2):192-215.

[8] 刘雅娜,巴吐尔·阿不力克木,鞠斌.响应面法优化烤羊肉工艺参数[J].肉类工业,2014(11):18-22.

[9] 薛丹丹.不同品种羊肉烤制特性及烤制适宜性评价研究[D].北京:中国农业科学院,2012:17-25.

[10] 张秋会,李苗云,黄现青,等.肉制品的质构特性及其评价[J].食品与机械,2012,28(3):36-121.

[11] 张婷,吴燕燕,李来好,等.咸鱼品质的质构与感官相关性分析[J].水产学报,2013,37(2):303-310.

[12] 郎玉苗,谢鹏,李敬,等.熟制温度及切割方式对牛排食用品质的影响[J].农业工程学报,2015,31(1):317-325.

[13] BREDAHL L, GRUNERT K G, FERTIN C. Relating consumer Perceptions of Pork quality to Physical Product characteristics[J]. Food Quality and Preference, 1998, 9(4): 273-281.

[14] HUGHES J M, OISETH S K, PURSLOW P P, et al. A structural approach to understanding the interactions between colour, water-holding capacity and tenderness [J]. Meat Science, 2014, 98(3): 520-532.

[15] PETRACCI M, BAEZA E. Harmonization of methodology for the assessment of Poultry meat quality features[J]. World's Poultry Science Journal, 2011, 67(1): 137-151.

[16] 李改,赵改名,李苗云,等.油炸条件对鸡胸肉剪切力的影响[J].江苏农业学报,2011,27(3):648-651.

[17] 魏心如,韩敏义,王鹏,等.热处理对鸡胸肉剪切力与蒸煮损失的影响[J].江苏农业学报,2014,30(3):629-633.

[18] 孟祥忍,王恒鹏,杨章平.不同熟制度牛肉的品质变化研究[J].食品工业科技,2015,36(10):101-109.

[19] JUAREZ M, FAILLA S, FICCO A, et al. Buffalo meat composition as affected by different cooking methods[J]. Food and Bioprocess Technology, 2010, 88(2/3): 145-148.

(下转第 83 页)



图 10 设置控件属性

Figure 10 Define control property

的变量类型(int)和取值范围(1~10 mm),由于  $m$  为标准值,故还需要在数据属性栏中添加齿轮模数的国标值,以方便用户选定所需参数来创建标准齿轮。

依次定义和设计齿轮其它变量参数的控件,如齿数、压力角等,并通过编译和数据链接使这些控件与齿轮参数化 CAD 模型相关联,这样就可借助控件来实现齿轮结构参数的调用、输入与编辑,如图 11 所示的齿轮产品人机交互设计系统界面。通过人机交互设计系统,用户可根据实际需求对齿轮结构进行快速修改和编辑,用户设计齿轮时只要输入想



(a) 开发实例1

(b) 开发实例2

图 11 齿轮产品交互设计系统界面

Figure 11 Interface of interaction design system for gear product

要的变量参数(如齿数、模数、压力角等),系统就会自动对齿轮参数化模型进行重建与更新,直至生成新的齿轮三维 CAD 模型。实践运行表明,这种基于 CREO 后台的人机交互系统,不仅使齿轮产品的设计更为灵活,而且运行过程稳定、响应速度快,有效增强了用户的设计体验和定制化需求。

## 6 结语

利用人机交互设计系统,用户可方便、快捷地实现产品 CAD 模型的修改与重建。通过 CAD 环境下的人机交互设计系统开发,验证了齿轮产品交互设计系统开发的技术流程和可行性,有利于提高食品机械用齿轮的设计效率和可塑性,为实现食品机械装备中的齿轮产品系列化、互换性及定制化设计提供了重要技术支持与参考。

## 参考文献

[1] 刘亚明. 关于人机交互设计界面问题探究[J]. 电子制作, 2015 (2): 66.

[2] 张力, 刘玉德, 王辉. 食品机械用新型复合材料齿轮的研究[J]. 食品科技, 2009, 34(1): 108-110.

[3] 王娟, 李同杰, 姚智华. 行星齿轮减速器均载性能动态的优化设计[J]. 食品与机械, 2016, 32(2): 71-74.

[4] 王书贤, 汪云, 邓利军, 等. 基于 UG 的渐开线斜齿圆柱齿轮参数化设计[J]. 机械传动, 2011, 35(5): 36-38.

[5] 张培彦, 张凯. 基于 Creo2.0 的余弦齿齿轮参数化建模研究[J]. CAD/CAM 与制造业信息化, 2013(10): 52-54.

[6] 王哲, 王红. Creo 二次开发参数化设计技术的应用研究[J]. 制造业信息化, 2014, 27(5): 183-186.

[7] 袁万选, 陈玲, 罗新华. CAD/CAM 中的 Creo 软件快速用户化定制[J]. 机电工程技术, 2014, 43(7): 85-88.

[8] 程相文, 邢树雪. 基于 Pro/Toolkit 的 Creo 2.0 二次开发过程研究[J]. 机械工程与自动化, 2015(5): 70-71.

(上接第 21 页)

[20] BAX M L, AUBRY L, FERREIRA C, et al. Cooking temperature is a key determinant of in vitro meat Protein digestion rate: Investigation of underlying mechanisms[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(10): 2 569-2 576.

[21] 段虎, 王祎娟, 马汉军. 超高压处理对肉及肉制品食用品质的影响[J]. 食品与机械, 2011, 27(1): 151-154.

[22] O'NEILL D J, LYNCH P B, TROY D J, et al. Influence of the time of year on the incidence of PSE and DFD in Irish pigmeat [J]. Meat Science, 2003, 64(2): 105-111.

(上接第 51 页)

[2] 张鑫. 食品安全监管公众参与与法律机制研究[D]. 重庆: 西南政法大学, 2014: 7-8.

[3] 尹春, 唐晓纯. 我国食品安全监管中的公众参与研究[J]. 中国食物与营养, 2013(7): 5-9.

[4] 姜捷. 食品安全监管过程第三方力量的作用及其培育[J]. 食品与机械, 2015, 31(4): 271-273.

[5] 徐丹. 食品安全监管公众参与机制的完善[J]. 黑河学刊, 2012 (4): 26-28.

[6] 周早弘. 我国公众参与食品安全监管的博弈分析[J]. 华东经济

[23] JACOB R H, D'ANTUONO M F, GILMOUR A R, et al. Phenotypic characterization of colour stability of lamb meat[J]. Meat Science, 2014, 96(2): 1 040-1 048.

[24] 张伟力, HUISKES J H. 季节和屠宰日对商品猪胴体和肉质性状的影响[J]. 中国畜牧杂志, 1995, 31(6): 12-14.

[25] KILIC B, ŞİMŞEK A, CLAUS J R, et al. Encapsulated Phosphates reduce lipid oxidation in both ground chicken and ground beef during raw and cooked meat storage with some influence on color, pH, and cooking loss[J]. Meat Science, 2014, 97(1): 93-103.

管理, 2009, 32(9): 105-108.

[7] 王莹. 公众参与食品安全监管的困境及其完善策略[J]. 食品与机械, 2014, 30(6): 261-263.

[8] 魏艳. 公众参与: 中国食品生产监管的创新与表达[J]. 食品与机械, 2015, 31(6): 261-263.

[9] 莫于川. 健康中国视野下的公众参与食品安全治理[J]. 行政管理改革, 2016(2): 34-38.

[10] 毋晓蕾. 美国和日本两国激励公众参与食品安全监管制度及其经验借鉴[J]. 世界农业, 2015(6): 81-85.