

# 不同熟制方式下调理鸡排蛋白质结构及水相分布的变化

李美莹<sup>1</sup>, 高慎阳<sup>1</sup>, 李琳<sup>1</sup>, 代媛媛<sup>1</sup>, 王柳岑<sup>1</sup>, 郭焯<sup>2</sup>, 查恩辉<sup>1\*</sup>

(1. 锦州医科大学食品与健康学院, 辽宁锦州 121000)

(2. 陕西科仪阳光检测技术服务有限公司, 陕西西安 710000)

**摘要:** 为了探究熟制方式对调理鸡排蛋白质结构和水相分布的变化影响, 以预制的调理鸡排为研究对象, 用三种不同的熟制方式(香煎熟制、鼓风烤制、普通烤制)进行熟制(生鸡排为对照), 测定蛋白质二级结构, 观察肌纤维微观结构并分析水分迁移情况。结果表明: 蛋白质二级结构中酰胺 I 带变化量为 9.64  $\text{cm}^{-1}$  (普通烤制)、11.579  $\text{cm}^{-1}$  (鼓风烤制)、13.49  $\text{cm}^{-1}$  (香煎熟制); 呈凝胶网状的蛋白质微观结构由疏松到紧密的大小为: 普通烤制>鼓风烤制>香煎熟制; 各组自由水峰面积  $P_{23}$  分别为 0.31% (生鸡排)、1.85% (普通烤制)、2.97% (鼓风烤制)、3.56% (香煎熟制); 系水力大小为: 普通烤制>鼓风烤制>香煎熟制。以上结果为明确不同熟制方式对调理鸡排食用品质的影响提供理论指导依据。

**关键词:** 调理鸡排; 熟制; 蛋白质二级结构; 水相分布

文章编号: 1673-9078(2022)11-234-239

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.11.1411

## Changes of Protein Structure and Water Phase Distribution of Prepared Chicken Steak under Different Cooking Methods

LI Meiyang<sup>1</sup>, GAO Shenyang<sup>1</sup>, LI Lin<sup>1</sup>, DAI Yuanyuan<sup>1</sup>, WANG Liucen<sup>1</sup>, GUO Ye<sup>2</sup>, ZHA Enhui<sup>1\*</sup>

(1. College of Food and Health Sciences, Jinzhou Medical University, Jinzhou 121000, China)

(2. Shaanxi Keyi Sunshine Test Technology Services Co. Ltd., Xi'an 710000, China)

**Abstract:** In order to investigate the effect of cooking methods on protein structure and water phase distribution of prepared chicken steak, the prepared chicken steak was taken as the research object, and three different cooking methods (pan-frying, air blast roasting and ordinary grilling) were used for cooking (raw chicken steak as the control). The secondary structures of protein were determined, the microstructure of muscle fiber was examined and water migration was analyzed. The results showed that the changes in amide I bands of protein secondary structure were 9.64  $\text{cm}^{-1}$  (ordinary grilling), 11.579  $\text{cm}^{-1}$  (air blast roasting) and 13.49  $\text{cm}^{-1}$  (pan-frying). The protein microstructures appeared as gel-like networks, from loose to tight: ordinary grilling > air blast roasting > pan-frying. The free water peak area ( $P_{23}$ ) of each group was 0.31% (raw chicken steak), 1.85% (ordinary grilling), 2.97% (air blast roasting) and 3.56% (pan-frying), respectively. The hydraulic power was in this order: ordinary grilling > air blast roasting > pan-frying. The above results provide theoretical guidance for clarifying the influences of different cooking methods on the quality of prepared chicken steaks.

**Key words:** prepared chicken steak; cooked; protein secondary structure; water distribution

引文格式:

李美莹,高慎阳,李琳,等.不同熟制方式下调理鸡排蛋白质结构及水相分布的变化[J].现代食品科技,2022,38(11):234-239

LI Meiyang, GAO Shenyang, LI Lin, et al. Changes of protein structure and water phase distribution of prepared chicken steak under different cooking methods [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(11): 234-239

收稿日期: 2021-12-15

基金项目: 辽宁省自然科学基金指导计划 (2019-ZD-0605; 2019-ZD-0826)

作者简介: 李美莹 (1998-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品加工与安全,

E-mail: 3122198646@qq.com

通讯作者: 查恩辉 (1979-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 畜产品质量与安全,

E-mail: Michelle\_enhui@126.com

调理鸡排因其食用方便、营养美味等特点一直以来都是深受大众喜爱的一款小食<sup>[1]</sup>, 市场上的调理鸡排熟制方式多为高温油炸, 但随着人们对健康饮食的观念提高, 油量更少的香煎熟制、鼓风烤制、普通烤制作为调理鸡排的新兴熟制方式应运而生。然而, 随着新熟制方式的兴起, 其品质调控中不同熟制方式对

调理鸡排系水力的影响方面还有着很大欠缺。

扫描电镜具有视野大、分辨率高、可放大倍数高、制样简便等优点,在食品领域中被广泛应用于蛋白质凝胶特性、蛋白质结构等的观察与研究之中<sup>[2,3]</sup>。

低场核磁共振技术是一种可以通过成像软件可以得到样品选定层面的MRI图像,以直观地观察样品内部结构和水分分布情况,测试结束后,可以通过图像处理软件,分析图像的亮度、均匀度、像素点等,对图像进行数据化客观分析的技术<sup>[4]</sup>。由于其前处理操作简便,无需屏蔽房、无需制冷剂、等无损、快读、准确、无辐射等优点在食品领域中被广泛应用于食品的持水性分析、货架期预测、质构预测等多种研究当中<sup>[5]</sup>。李玫等<sup>[6]</sup>研究证实了鸡肉在热加工过程中仅发生不易流动水与自由水的相互转化,并对应建立了鸡肉的热动力学模型。张骏龙等<sup>[7]</sup>报道了当猪肉糜的蒸煮损失率发生改变时,结合水转移为自由水是降低保水性的机制。张欢等<sup>[8]</sup>发现得到向鸡米花面糊中添加2% HPMC和6%麦芽糊精可以有效抑制内芯肉中水分向外壳的迁移,并且显著提高了鸡米花外壳的脆性。王永瑞等<sup>[9]</sup>研究烤制羊脂时的水分变化规律,发现烤制时间越长,羊脂间水分子与大分子结合越紧密。Chen等<sup>[10]</sup>为不同热加工条件下鱼肉因为蛋白质二级结构的改变而使其中的结合水向自由水方向迁移发生蛋白质-水相互作用。

傅里叶红外变换光谱因具有操作简便、测量速度快等优点<sup>[11]</sup>,在食品领域中被广泛应用于蛋白质二级结构含量及变化研究中,并能对蛋白质的变化机制进行深度分析<sup>[12-16]</sup>。张海璐等<sup>[17]</sup>研究了氧化程度羊肉肌原纤维蛋白分子二级结构被破坏后 $\alpha$ -螺旋含量呈现先高后低的趋势,无规卷曲含量无明显变化, $\beta$ -折叠含量持续降低, $\beta$ -转角含量先低后高,与 $\alpha$ -螺旋的含量成反比的趋势。戴泽川等<sup>[18]</sup>研究了高强度超声对凡尔滨对虾蛋白结构造成破坏 $\beta$ -转角与 $\beta$ -折叠量增加。

然而,目前结合扫描电镜、低场核磁共振和傅里叶红外变换光谱分析不同熟制方式下调理鸡排品质控制的研究鲜有报道。本实验通过扫描电镜和傅里叶红外光谱分析不同熟制方式下肌原纤维蛋白宏观及微观结构变化,结合低场核磁共振技术探究不同熟制方式对蛋白质结构以及水分分布情况的影响,目的是明确香煎熟制、鼓风烤制、普通烤制对鸡肉蛋白质结构和功能的影响,为进一步研究熟制方式对调理鸡排食用品质的影响提供理论指导依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

鸡胸肉、八角、花椒、桂皮、老才臣料酒、海湾海原海盐、玉米淀粉,均购于锦州市大商新玛特超市。高良姜素、槲皮素,均为色谱纯(索莱宝)。

戊二醛、无水乙醇、磷酸二氢钠、磷酸氢二钠、氯化钠、溴化钾、EDTA,所有试剂均为分析纯。

### 1.2 设备与仪器

BCD-258WLDPN冰箱,海尔集团有限公司;电子天平FA2004N,上海精密科学仪器有限公司;6828山本空气炸锅,余姚山本电器有限公司;美的电饼铛JCY30A,广东美的生活电器制造有限公司;KWS1530X-H7R电烤箱,广东格兰仕微波生活电器制造有限公司;HR/T20MM立式冷冻离心机,湖南赫西仪器装备有限公司;PHS-3C pH计,上海仪电科学仪器股份有限公司;85-2A数显恒温磁力搅拌器,金坛市科析仪器有限公司;Great20傅里叶红外光谱仪,中科瑞捷科技有限公司;FD-1A-50立式冷冻干燥机,上海争巧科学仪器有限公司;NMI20核磁共振成像仪,上海纽迈电子科技有限公司;Sigma HD电镜扫描仪,德国卡尔蔡司公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 调理鸡排制备

参考李美莹等<sup>[19]</sup>的工艺配方。

普通烤制:时间:10 min;温度:150℃;档位模式:上下板同时加热。

鼓风烤制:时间:10 min;温度:150℃。

香煎熟制:时间:10 min;温度:(150±5)℃;档位模式:烧烤(每30 s翻面一次)

#### 1.3.2 肌原纤维蛋白提取

参考代媛媛等<sup>[20]</sup>的方法。

#### 1.3.3 傅里叶红外光谱测定

参考代媛媛等<sup>[20]</sup>并稍作修改。熟制后的调理鸡排样品在-20℃下预冷12 h,冻干48 h,取1 mg样品与100 mg溴化钾同时放入研钵并充分研磨成细粉。将研磨后的细粉均匀平铺在圆形压力模具内,将模具水平放置在模座上,加压至8 t/cm<sup>2</sup>,保持1 min,得到的样品用傅里叶红外光谱仪进行分析。

其运行参数为：光谱范围 500~4 000  $\text{cm}^{-1}$ ；分辨率 4  $\text{cm}^{-1}$ ；扫描累计 32 次。

### 1.3.4 扫描电镜微观结构观察

参考孙慧琳<sup>[2]</sup>并稍作修改。将样品切成 1  $\text{cm} \times 1 \text{cm} \times 1 \text{cm}$  的大小，放入 2.5%戊二醛溶液中固定 24 h。固定后用 0.1 mol/L 的磷酸缓冲液反复冲洗浸泡 3 次，每次 20 min。再分别用体积分数 20%、30%、50%、70%、90%的乙醇脱水 20 min，重复 3 次。将脱水后的样品置于冷冻干燥机中 12 h，取出后将样品观察面向上固定在观察台并给样品喷金，随后利用扫描电镜仪观察微观结构（ $\times 5\,000$  倍数）。

### 1.3.5 横向弛豫时间测定

参考孙慧琳<sup>[2]</sup>并稍作修改：将熟制后调理鸡排样品切割成肉块（约为 10 mm $\times$ 10 mm $\times$ 20 mm），放入低场核磁专用管（15 mm $\times$ 200 mm）内，排除管内空气后用保鲜膜封闭包装，将装有肉块的核磁管放入仪器中检测。选择 CPMG 脉冲序列，仪器参数条件：SF1 设定为 22 MHz，O1 设定为 911.887 4 kHz，P<sub>1</sub> 设定为 15  $\mu\text{s}$ ，P<sub>2</sub> 设定为 30  $\mu\text{s}$ ， $\tau$  设定为 150  $\mu\text{s}$ ，NS 设定为 8，RG1 设定为 30，RG2 设定为 3。每组每次重复样品平行做 3 次。

## 1.4 数据分析

每组实验均重复 3 次以上，采用 SPSS 26 进行数据整合处理与单因素方差分析，并用 Origin 2018 进行绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 熟制方式对调理鸡排肌原纤维蛋白二级结构的影响

常见的蛋白质二级结构可分为 $\alpha$ -螺旋、 $\beta$ -折叠、 $\beta$ -转角和无规则卷曲<sup>[21]</sup>。蛋白质二级结构在高温熟制过程中会造成不可逆转的变化，蛋白质红外光谱主要集中在 1 600 $\text{cm}^{-1}$ ~1 700 $\text{cm}^{-1}$  的酰胺 I 带，这是蛋白质二级结构最敏感的区间，常用来分析蛋白质二级结构<sup>[20,22,23]</sup>。利用傅里叶红外光谱仪对不同熟制方式下调理鸡排的蛋白质进行全波段扫描结果如图 1 所示。

由图 1 可知，鸡肉肌原纤维蛋白的酰胺 A 带由 3 469.34  $\text{cm}^{-1}$  向 3 399.92  $\text{cm}^{-1}$  移动这可能是由于 A 带的 -NH 键与氢键缔合形成的，说明氢键的位置在熟制过程中发生变化<sup>[20,24]</sup>。蛋白酰胺 I 带主要反映的是蛋白质分子结构中羰基的伸缩情况<sup>[18,25]</sup>，调理鸡排的蛋白酰胺 I 带的吸收峰形状相似，但两个波数位置不同，说明不同的熟制方式对于蛋白质二级结构的影响是不同的。酰

胺 I 带左移的大小反映了肌原纤维的 $\alpha$ -螺旋结构转变为无规则卷曲结构和转化为 $\beta$ -折叠的程度大小，左移的变化量越大则反映了蛋白质二级结构变化程度越高<sup>[20]</sup>。

熟制前的调理鸡排酰胺 I 带为 1 646.92  $\text{cm}^{-1}$ ，当熟制方式为普通烤制时，调理鸡排的酰胺 I 带从 1 646.92  $\text{cm}^{-1}$  变为 1 637.28  $\text{cm}^{-1}$ ，变化量为 9.64  $\text{cm}^{-1}$ ；在熟制方式为鼓风烤制时，调理鸡排的酰胺 I 带从 1 646.92  $\text{cm}^{-1}$  变为 1 635.35  $\text{cm}^{-1}$ ，变化量为 11.579  $\text{cm}^{-1}$ ；在熟制方式为香煎熟制时，调理鸡排的酰胺 I 带从 1 646.92  $\text{cm}^{-1}$  变为 1 633.43  $\text{cm}^{-1}$ ，变化量为 13.49  $\text{cm}^{-1}$ 。熟制方式从普通烤制到鼓风烤制再到香煎熟制，熟制后调理鸡排的酰胺 I 带变化量逐渐增大，说明蛋白质分子被破坏得越强烈，从 $\alpha$ -螺旋向无规则卷曲、 $\beta$ -折叠和 $\beta$ -折叠转化程度越高。

所以从图 1 中可以得出蛋白质结构被破坏程度的由高到低为香煎熟制>鼓风烤制>普通烤制。

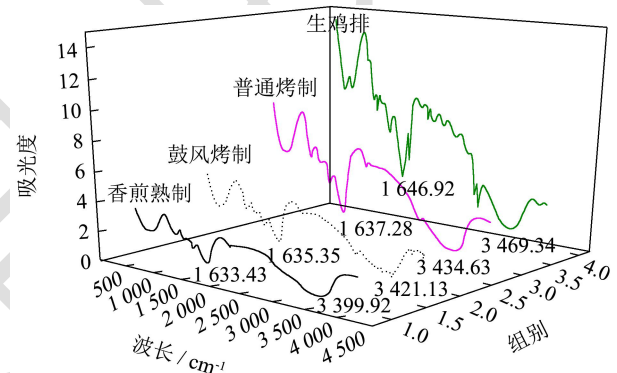


图 1 不同熟制方式对肌原纤维蛋白二级结构的影响

Fig.1 Effects of different cooking methods on secondary structure of myofibrillar protein

### 2.2 熟制方式对调理鸡排肌原纤维微观结构的影响

图 2a 为香煎熟制鸡排的微观纤维结构图，图中肌束、肌纤维排列整齐，结构清楚，形成一个紧密的网状结构。图 2b 为鼓风烤制鸡排微观纤维结构图，肌纤维整体结构排列清晰，相邻肌束间的缝隙较生鸡排缩小<sup>[26]</sup>，其形成的网状结构疏松程度介于普通烤制鸡排与香煎熟制鸡排之间。图 2c 为普通烤制鸡排微观纤维结构图，图中肌纤维四周被肌内膜包裹紧密，肌纤维所构成的网状结构相较于生鸡排的更为紧密，相较于香煎鸡排的要更为松散。图 2d 为调理鸡排熟制前的微观纤维结构图，图中肌纤维排列与肌束膜结构清晰，形成疏松的网状结构。

通过图 2a 和图 2b~图 2d 的对比可以看出，在调理鸡排由生到熟的过程中部分肌内膜表面出现了更多量

的小分子颗粒，可能是由于热处理使肌浆蛋白变性而凝聚成的颗粒物质[27,28]。

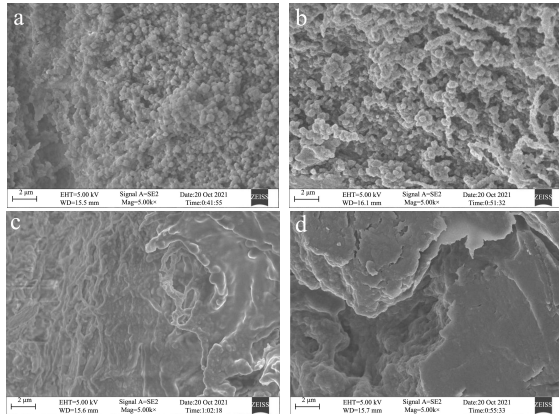


图2 调理鸡排微观纤维结构图 (5 000x)

Fig.2 Microfiber structure of prepared chicken cutlets (5,000x)

注：(a) 香煎熟制；(b) 鼓风烤制；(c) 普通烤制；(d) 生鸡排。

综上所述，鸡排经熟制后微观纤维结构中蛋白质网状结构的松散程度由疏松到紧密为：普通烤制鸡排 > 鼓风烤制鸡排 > 香煎熟制鸡排。

### 2.3 熟制方式对调理鸡排水相分布情况的影响

新鲜鸡肉的含水量为 70%~80%，主要以结合水的形式分布在肌原纤维内、以不易流动水的形式分布在肌细胞间、以自由水的形式分布在肌束之间。结合水是鸡肉中的蛋白质等物质由于静电引力而紧密吸附的水分状态，状态稳定不易发生转移且含量只占总水分质量的 1%~5%；不易流动水使肌纤维内含有水分，存在于肌丝间，含量可超过 90%；自由水是存在于肌纤维束外仅靠毛细力维持的水，容易流失[25]。

肌束膜因其具有一定弹性使得肌纤维之间能够紧密排列，确保肌肉组织的完整，而当肌肉经过熟制处理后，蛋白质二级结构发生变化，进而造成肌纤维的网状结构发生变化，网格空间大，系水力就高，反之处于紧缩状态时，网格空间小，系水力就低。蛋白质结构越疏松，固定的水分越多，反之则固定的越少。

表 1 不同熟制方式下调理鸡排弛豫时间  $T_2$  峰面积比的变化

Table 1 Change of relaxation time  $T_2$  peak area ratio of prepared chicken steaks under different cooking methods

组别	峰面积比/%			
	$P_{2b}$	$P_{21}$	$P_{22}$	$P_{23}$
香煎熟制	1.84±0.87 <sup>b</sup>	0.60±0.03 <sup>c</sup>	92.59±0.22 <sup>b</sup>	3.56±0.04 <sup>a</sup>
鼓风熟制	3.69±0.22 <sup>a</sup>	0.93±0.02 <sup>b</sup>	92.06±0.23 <sup>c</sup>	2.97±0.03 <sup>b</sup>
普通烤制	2.47±0.84 <sup>ab</sup>	0.89±0.02 <sup>b</sup>	93.48±0.71 <sup>a</sup>	1.85±0.05 <sup>c</sup>
生鸡排	3.53±0.11 <sup>a</sup>	1.54±0.04 <sup>a</sup>	94.61±0.44 <sup>a</sup>	0.31±0.01 <sup>d</sup>

注：表格中 a、b、c、d 表示为显著性。

网状结构的改变也直接影响了蛋白质中水分分布情况，调理鸡排经熟制后肌纤维网状结构发生紧缩使网格空间变小，不同熟制方式使肌纤维网状结构的收缩程度不同，其中收缩程度最大且网格空间最小的熟制方式是香煎熟制，收缩程度最小且网格空间最大的是普通烤制。

图 3 中强结合水为  $T_{2b}$  (0.1~1 ms)、弱结合水为  $T_{21}$  (1~10 ms)、不易流动水为  $T_{22}$  (10~100 ms) 和自由水为  $T_{23}$  (100~1 000 ms)。鸡肉中水分存在状态的含量变化会对鸡肉的品质产生影响，弛豫时间  $T_2$  可以灵敏地区分多种形态的氢质子，并且能够反映鸡肉内部氢质子所处环境以及氢质子所受的束缚力和自由度[2]。不同形态的氢质子对应的信号强度不同，对应着鸡肉中水分存在的状态与含量也不尽相同。

图 3 中生鸡排组  $T_{2b}$ 、 $T_{21}$  和  $T_{22}$  部分明显高于熟制后鸡排， $T_{23}$  部分生鸡排组几乎是一条直线，而熟制后鸡排组则有很大起伏，所以可以得出在不同的熟制方式条件下，随着弛豫时间的增长，强结合水、弱结合水和不易流动水向自由水方向发生迁移的规律，与张欢等[8] (2018) 研究中的观点相符合。因此从图 3 中可以看出经熟制后，由结合水转移为自由水含量最大的熟制方式为香煎熟制，最小的为普通烤制。

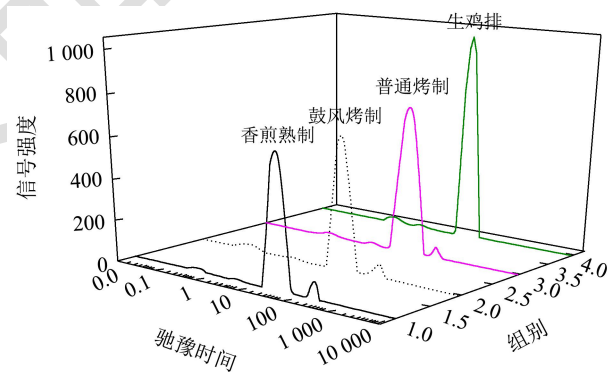


图3 调理鸡排横向弛豫时间  $T_2$  波谱图

Fig.3 Transverse relaxation time  $T_2$  spectrum of conditioned chicken steaks



$P_2$  表示为峰面积, 结合图 3 和表 1 的对应关系可知, 测定过程中一共出现 4 个波峰, 第一个波峰出现在 0.1~1 ms ( $T_{2b}$ ) 之间为强结合水, 其峰面积用  $P_{2b}$  表示; 第二个波峰出现在 1.0~5.0 ms ( $T_{2l}$ ) 之间为弱结合水, 其峰面积用  $P_{2l}$  表示, 结合水与蛋白质紧密相连, 在加热过程中变化并不显著; 第三个波峰在 20~89 ms 之间为不易流动水 ( $T_{22}$ ), 其峰面积用  $P_{23}$  表示且第三个波峰面积占总体达到 90% 以上; 第四个波峰在 150~230 ms 之间为自由水 ( $T_{23}$ ), 其峰面积用  $P_{23}$  表示。

将图 3 和表 1 结合起来可以看出, 在熟制过程中, 随着弛豫时间  $T_{2b}$ 、 $T_{2l}$  弛豫时间的增长, 信号强度所对应的峰面积  $P_{2b}$ 、 $P_{2l}$  呈下降趋势, 其原因可能为由于熟制破坏了原有的蛋白质结构使其中的结合水稳定性降低而导致的含量降低<sup>[8,25]</sup>。与生鸡排组相比, 熟制后鸡排组的  $T_{22}$  弛豫时间与峰面积具有明显下降趋势, 这可能是由于蛋白质结构被高温破坏后, 其原本存在于肌丝、肌原纤维及膜间的不易流动水大量流失使含量呈现出明显降低的变化趋势。与生鸡排组相比, 熟制后鸡排组的  $T_{23}$  的信号强度与峰面积  $P_{23}$  呈现明显上升趋势, 原因可能是由于熟制使原本存在于肌丝、肌原纤维及膜间不易流动水流出到肌束间内使得自由水含量增大, 与张欢等<sup>[8]</sup>研究中的观点相符。

各组鸡排在熟制过程中的自由水峰面积比的大小关系为: 香煎熟制鸡排 > 鼓风烤制鸡排 > 普通烤制鸡排, 即在同一熟制时间、熟制温度条件下, 香煎熟制鸡排的自由水含量最高, 普通烤制鸡排自由水含量最低; 而不易流动水的峰面积大小关系则正好相反, 即普通烤制组不易流动水含量最高, 香煎熟制组不易流动水含量最低。

综上所述, 各组鸡排经过熟制后的肌原纤维蛋白质凝胶网状结构的网格空间大小由大到小为普通烤制 > 鼓风烤制 > 香煎熟制, 系水能力由大到小为: 普通烤制 > 鼓风烤制 > 香煎熟制。

### 3 讨论

综上所述, 调理鸡排在熟制过程中: 从傅里叶红外分析的结果来看, 蛋白质二级结构发生变化, 由  $\alpha$ -螺旋分裂向无规则卷曲和  $\beta$ -折叠转化, 三种不同熟制方式的酰胺 I 带变化量为: 普通烤制  $9.64 \text{ cm}^{-1}$ 、鼓风烤制  $11.579 \text{ cm}^{-1}$ 、香煎熟制  $13.49 \text{ cm}^{-1}$ ; 从肌纤维微观结构上看, 蛋白质凝胶网状结构变得更加紧密, 网格空间缩小; 根据低场核磁共振实验结果来看, 自由水峰面积  $P_{23}$  分别为生鸡排 0.31%、普通烤制 1.85%、鼓风烤制 2.97%、香煎熟制 3.56%, 所以肌丝、肌原纤维及膜间的不易流动水向自由水方向迁移。

结合傅里叶红外光谱实验与电镜扫描图来看, 这种网状结构随着蛋白质二级结构破坏程度的增大, 在微观结构上则表现为肌原纤维蛋白质网状结构越紧实, 再结合水相分布实验来看, 当蛋白质网状结构越紧实时, 造成蛋白质网络结构中的结合水向自由水方向迁移, 结合水大量流失, 系水力减弱。而最终由于蛋白质结构变化和水分迁移, 熟制后调理鸡排的口感也随之改变。系水力最强的普通烤制鸡排具有鲜香弹滑的口感, 系水力最弱的香煎熟制鸡排具有香嫩多汁的口感。通过本实验所得出的结论, 即系水力由大到小为普通烤制 > 鼓风烤制 > 香煎熟制, 在实际生产的过程中可以通过改变熟制方式进而改变调理鸡排的食用品质, 也能为进一步研究熟制方式对调理鸡排食用品质的影响提供理论指导依据。

### 4 结论

结合上述三种实验可以得出由于熟制过程中蛋白质二级结构的改变, 蛋白质凝胶网状结构也随之改变, 表现为网格空间的缩小, 进而使不易流动水向自由水方向发生迁移, 并最终影响系水力的结论。并且网格空间越小, 不易流动水向自由水发生迁移的量越大, 系水力越弱。

不同熟制方式对鸡肉蛋白质破坏程度不同。通过傅里叶变换红外实验中熟制后鸡排酰胺 I 带峰值与生鸡排酰胺 I 带峰值的差值大小可以得出, 蛋白质二级结构的破坏程度为香煎熟制 > 鼓风烤制 > 普通烤制。通过扫描电镜图可以看出熟制后鸡排微观纤维结构中蛋白质网状结构的松散程度由疏松到紧密为: 普通烤制 > 鼓风烤制 > 香煎熟制。蛋白质网状结构的松散即表示为网格空间的大小, 网状结构越疏松则网格空间越大, 反之则越小, 系水力大小与网格空间大小成正比, 则通过水分迁移实验可以看出调理鸡排经过熟制后的系水力大小为普通烤制 > 鼓风烤制 > 香煎熟制。

### 参考文献

- [1] 李凤霞, 胡元庆, 罗雯慧, 等. 感官评价在调理鸡排腌料配方优化中的应用[J]. 中国调味品, 2018, 43(3): 14-17, 27
- [2] 孙慧琳. 贮藏方式对牛肉的品质变化的影响[D]. 锦州: 锦州医科大学, 2021
- [3] 余凌竹, 鲁建. 扫描电镜的基本原理及应用[J]. 实验科学与技术, 2019, 17(5): 85-93
- [4] Torres A M, Price W S. Introduction to nuclear magnetic resonance [J]. Metallointercalators, 2014, 13: 129-141
- [5] 盖圣美, 游佳伟, 张中会, 等. 低场核磁共振技术在肉类品质安全分析检测中的应用[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(20):

- 5294-5300
- [6] 李玫. 处理方式对鸡肉水分迁移及动态力学性质的影响[D]. 郑州:河南农业大学,2013
- [7] 张骏龙,周纷,邵俊花,等. 低场核磁共振技术研究淀粉添加量对肉糜保水性和质构特性的影响[J]. 食品工业科技,2016, 37(21):66-69,75
- [8] 张欢,董福家,陈倩,等. 面糊组分对预油炸微波复热鸡米花品质及水分分布特性的影响[J]. 食品科学,2018,39(6):57-62
- [9] 王永瑞,柏霜,罗瑞明,等. 焙烤对宁夏滩羊脂水分分布和关键性香气成分的影响[J]. 食品科学,2022,43(6):287-294
- [10] Chen Haiqiang, Zhou Aimei, Benjakul Soottawat, et al. The mechanism of low-level pressure coupled with heat treatment on water migration and gel properties of *Nemipterus virgatus* surimi [J]. LWT, 2021, 150(7): 112086
- [11] 孙佳悦,钱方,姜淑娟,等. 基于红外光谱分析热处理对牛乳蛋白质二级结构的影响[J]. 食品科学,2017,38(23):82-86
- [12] 刘斌,马海乐,李树君,等. 应用 FTIR 研究超声对牛血清白蛋白二级结构的影响[J]. 光谱学与光谱分析,2010,30(8):2072-2076
- [13] Ian B O'loughlin, Phil M Kelly, Brian A Murray, et al. Concentrated whey protein ingredients: a Fourier transformed infrared spectroscopy investigation of thermally induced denaturation [J]. International Journal of Dairy Technology, 2015, 68(3): 349-356
- [14] 齐伟杰. 现代近红外光谱分析在食品检测中的应用[J]. 中国食品,2021,16:124-125
- [15] 蓝蔚青,胡潇予,阮东娜,等. 傅里叶红外结合拉曼分析卡拉胶寡糖对南美白对虾蛋白结构影响[J]. 光谱学与光谱分析, 2019,39(8):2507-2514
- [16] Sulhattin Yasar, Ramazan Tosun, Zeynep Sonmez. Fungal fermentation inducing improved nutritional qualities associated with altered secondary protein structure of soybean meal determined by FTIR spectroscopy [J]. Measurement, 2020, 161(prepublish): 107895
- [17] 张海璐,黄翔,杨燃,等. 氧化对羊肉肌原纤维蛋白分子与理化特性的影响[J]. 食品科学,2020,41(23):8-14
- [18] 戴泽川,毛相朝,郝亚楠,等. 高强度超声对凡纳滨对虾蛋白结构和功能特性的影响[J]. 食品科学,2022,43(19):80-87
- [19] 李美莹,李琳,代媛媛,等. 高良姜素、槲皮素对调理鸡排食用品质及杂环胺的影响[J]. 保鲜与加工,2022,22(4):59-66
- [20] 代媛媛,李美莹,李琳,等. 加工方式对牛肉蛋白质氧化的影响[J]. 食品工业科技,2022,43(2):70-76
- [21] 顾小红,孟旭,汤坚. 豆浆凝固过程中大豆蛋白质二级结构的研究[J]. 分析科学学报,2006,6:675-678
- [22] 张洪超,薛张芝,徐晓蓉,等. 羟基自由基氧化对乌贼蛋白分子间作用力及结构的影响[J]. 核农学报,2020,34(1):131-138
- [23] Fangfei Li, Bo Wang, Qian Liu, et al. Changes in myofibrillar protein gel quality of porcine longissimus muscle induced by its structural modification under different thawing methods [J]. Meat Science, 2019, 147: 108-115
- [24] Karine Jean, Marie Renan, Marie-Hélène Famelart, et al. Structure and surface properties of the serum heat-induced protein aggregates isolated from heated skim milk [J]. International Dairy Journal, 2006, 16(4): 303-315
- [25] Barelli S, Canellini G, Thadikaran L, et al. Oxidation of proteins: basic principles and perspectives for blood proteomics [J]. Proteomics-Clinical Applications, 2008, 2(2): 142-157
- [26] 王安琪. 炖煮专用鸡肉预处理原料的工艺研发及其低温贮藏过程中的品质变化[D]. 南京:南京农业大学,2019
- [27] Thierry Astruc, Philippe Gatellier, Roland Labas, et al. Microstructural changes in m. rectus abdominis bovine muscle after heating [J]. Meat Science, 2010, 85(4): 743-751
- [28] 臧大存,周光宏,徐幸莲,等. 加热过程中鸭肉嫩度及超微结构的变化[J]. 江苏农业学报,2007,5:475-480