

## 捶打时间对牛肉凝胶品质的影响研究

孙路, 邹金浩, 黄群, 杨怀谷, 唐道邦, 王旭苹

### Effect of Beating Time on the Quality of Beef Gel

SUN Lu, ZOU Jinhao, HUANG Qun, YANG Huaigu, TANG Daobang, and WANG Xuping

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020100158>

## 您可能感兴趣的其他文章

### Articles you may be interested in

#### 鹰嘴豆分离蛋白对黄河鲤鱼鱼丸凝胶品质的影响

Effect of Chickpea Protein Isolate on the Gel Quality of Yellow River Carp (*Cyprinus carpio*) Fish Balls

食品工业科技. 2020, 41(22): 8-13

#### 滚揉工艺对牛肉品质的影响

Effects of Rolling Process on Quality of Beef

食品工业科技. 2020, 41(8): 177-182

#### 过热蒸汽预处理对牛肉品质的影响

Effect of Superheated Steam Pretreatment on the Quality of Beef

食品工业科技. 2020, 41(13): 79-84

#### 洋葱皮乙醇提取物对冷却牛肉颜色、脂质和蛋白质氧化稳定性的影响

Effect of Ethanol Extract from Onion Skin on Color, Lipid and Protein Oxidative Stability of Fresh Beef

食品工业科技. 2021, 42(18): 342-349

#### 鸡蛋蛋白质凝胶特性影响因素的研究进展

Research Progress on the Factors Affecting the Characteristics of Egg Protein Gel

食品工业科技. 2021, 42(6): 343-347, 356

#### 干燥温度对风干牛肉贮藏期间品质及蛋白质降解的影响

Effect of Drying Temperature on Quality and Protein Degradation of Dried Beef During Storage

食品工业科技. 2018, 39(22): 63-69



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

孙路, 邹金浩, 黄群, 等. 捶打时间对牛肉凝胶品质的影响研究 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(2): 27-34. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020100158

SUN Lu, ZOU Jinhao, HUANG Qun, et al. Effect of Beating Time on the Quality of Beef Gel[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(2): 27-34. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020100158

· 研究与探讨 ·

# 捶打时间对牛肉凝胶品质的影响研究

孙路<sup>1,2</sup>, 邹金浩<sup>2</sup>, 黄群<sup>1</sup>, 杨怀谷<sup>2</sup>, 唐道邦<sup>2,\*</sup>, 王旭苹<sup>2</sup>

(1. 福建农林大学食品科学学院, 福建福州 350002;

2. 广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所, 农业部功能食品重点实验室,  
广东省农产品加工重点实验室, 广东广州 510610)

**摘要:** 为探究捶打工艺对牛肉凝胶品质的影响, 以打浆工艺制作的牛肉凝胶为对照组, 通过测定不同捶打时间的牛肉凝胶色差、肌原纤维蛋白氧化程度、蒸煮损失率、脂肪渗出率、质构特性, 并测定牛肉凝胶的肉糜粒径、蛋白质二级结构及微观结构的变化, 了解捶打时间对牛肉凝胶品质的影响机理。结果表明, 捶打时间在 15~40 min 之间时, 随着捶打时间延长, 肉糜  $L^*$  值与 W 值先降后升,  $a^*$  值和  $b^*$  值先升后降; 肌原纤维蛋白氧化程度不断增加, 总巯基不断减少, 羰基值及溴酚蓝结合量不断增加; 蒸煮损失率与脂肪渗出率先减少后增加; 凝胶质构中硬度、咀嚼性逐渐增加, 弹性、内聚性与回复性先增加后减少, 以 30 min 为分界点, 捶打 30 min 以内凝胶品质呈上升趋势, 超过 30 min 呈下降趋势。30 min 前凝胶品质上升原因为肉糜粒径减小及蛋白质二级结构  $\beta$ -折叠增多; 30 min 后凝胶品质下降原因为蛋白质氧化程度加深及凝胶微观结构的改变。试验结果表明传统捶打方式能提高肉糜品质, 但过度捶打会引起肉糜品质劣变。

**关键词:** 牛肉, 捶打加工, 凝胶品质, 蛋白质

中图分类号: TS251.5<sup>+</sup>2

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)02-0027-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2020100158

本文网刊:



## Effect of Beating Time on the Quality of Beef Gel

SUN Lu<sup>1,2</sup>, ZOU Jinhao<sup>2</sup>, HUANG Qun<sup>1</sup>, YANG Huaigu<sup>2</sup>, TANG Daobang<sup>2,\*</sup>, WANG Xuping<sup>2</sup>

(1. College of Food Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China;

2. Sericultural & Sericultural and Agri-Food Research Institute Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Functional Foods, Ministry of Agriculture, Guangdong Key Laboratory of Agricultural Products Processing, Guangzhou 510610, China)

**Abstract:** In order to explore the effect of hammering time on the quality of beef gel, beef gel prepared by beating process was used as control group, the color difference, myofibrillar protein oxidation degree, cooking loss rate, fat exudation rate and texture characteristics of beef gel with different beating time were determined, and the mechanism of the impact of beat time on beef gel quality was studied through observing the changes of meat size, protein two level structure and microstructure of beef gel. The results showed that with the extension of beating time, the  $L^*$  value and W value first decreased and then increased, and the  $a^*$  value and  $b^*$  value increased first and then decreased. The oxidation degree of myofibrillar protein increased, total thiol decreased, the carbonyl value and bromphenol blue binding capacity increased, cooking loss rate decreased and then increased with fat exudation, and the hardness and chewiness of gel texture increased gradually. Resilience, cohesion and resilience increased first and then decreased. 30 min was the cut-off point, and the gel quality of 30 min was on the rise, which was more than 30 min. The increasing of gel quality was due to the decreasing of meat particle size and the increasing of protein two level structure beta fold. The degradation of gel quality after 30 min was due to the deepening of protein oxidation and the change of gel microstructure. The results showed that the hammering process could improve the quality of minced meat, but excessive hammering could cause the quality deterioration of minced meat.

收稿日期: 2020-10-21

基金项目: 广东省现代农业产业技术体系创新团队 (2019KJ114); 广东省科技计划项目 (2017A040405036)。

作者简介: 孙路 (1994-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 农产品加工与贮藏, E-mail: 2646372684@qq.com。

\* 通信作者: 唐道邦 (1973-), 男, 硕士, 研究员, 研究方向: 畜禽加工, E-mail: tdbang@163.com。

**Key words:** beef; beating process; gel quality; protein

捶打牛肉丸是一种传统的牛肉凝胶制品,拥有广阔的市场前景<sup>[1]</sup>,其制作方法是人工利用特制铁锤或棍棒长时间捶打牛肉以破坏牛肉的肌肉组织,这类牛肉凝胶制品往往拥有优良的弹性和咀嚼口感,在市场上很受欢迎。但人工生产的产量低,品质不稳定使得其相比其他牛肉凝胶制品生产成本更高,利用电动捶打机可显著提高产品产量、稳定产品品质、降低生产成本,是一种良好的工业化生产模式。

牛肉凝胶制品在生产过程中有多个环节<sup>[2]</sup>,其中利用电动捶打机粉碎牛肉制备肉糜是捶打牛肉丸最重要的环节,在此环节中可能使肌原纤维蛋白结构变化、蛋白质改性<sup>[3]</sup>,康庄莉等在研究打浆工艺对肉丸的影响时发现打浆过程会使得蛋白质的 $\beta$ -折叠占比增加<sup>[4]</sup>,较高的 $\beta$ -折叠占比可改善肉丸的凝胶品质<sup>[5]</sup>。生产商也将捶打牛肉丸相比其他牛肉凝胶更吸引消费者的咀嚼口感归功于一定时间的捶打加工,但目前关于捶打时间与牛肉凝胶品质关联性的研究较少。

本文利用新鲜黄牛牛后腿肉为原料,以工业化加工肉丸打浆机制备的打浆工艺牛肉凝胶为对照(CK),用电动捶打机捶打不同时间制备捶打工艺为研究方法,分析不同捶打时间对牛肉凝胶品质变化的影响;并利用肉糜粒径、拉曼光谱变化及扫描电镜展示的凝胶微观结构变化,解释捶打时间影响凝胶品质的机理,以期揭示传统捶打工艺加工牛肉丸时捶打对牛肉凝胶的品质变化影响规律提供理论参考和依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

黄牛牛后腿肉 广州潼粤食品有限公司;磷酸氢二钠、磷酸二氢钠、氯化钾、氯化钠、2,4-二硝基苯肼(DNPH)、乙二胺四乙酸(EDTA)、尿素、三氯乙酸(TCA)、5,5'-二硫代双(2-硝基苯甲酸)(DTNB)、无水乙醇、乙酸乙酯、盐酸胍等 均为分析纯,购于国药集团化学试剂有限公司。

CD 09 型电动捶打机 长沙昌合机械有限公司;YF-RW 18 型打浆机 顺德元芳食品机械有限公司;UV-1780 紫外分光光度计 岛津仪器(苏州)有限公司;TA-XT. PLUS 质构仪 英国 Stable Micro Systems 有限公司;WJL-628 型激光粒度仪 上海仪电物理光学仪器有限公司;S-3400N- II 型扫描电子显微镜 日立(中国)有限公司;Renishaw inVia 显微共焦拉曼光谱仪 英国 Renishaw 公司。

### 1.2 牛肉糜及牛肉凝胶制备

将黄牛牛后腿肉去除可见筋膜,切为边长为 2 cm 的立方体,加入 3% 氯化钠,20% 去离子水(以肉重计),取部分牛后腿肉利用打浆机以 3000 r/min 打浆 5 min 作为对照组,其余利用电动捶打机捶打(机器功率 2.2 kW,捶打力 200 kg,每分钟捶打 120 次),自

捶打 15 min 起每间隔 5 min 取一次样,直到捶打 40 min 止,整个过程中若肉糜中心温度超过 26 °C 则加入冰块降温。取一部分肉糜用于测定色差、蛋白质氧化指标、粒径和拉曼光谱,另一部分灌装入直径为 20 mm 的塑料肠衣中于 80 °C 恒温水浴 20 min,流水冷却至室温并置于 4 °C 冰箱过夜,用于测定蒸煮损失率与脂肪渗出率、凝胶质构和扫描电镜。

### 1.3 指标测定

1.3.1 色差变化 用色差仪对 10 mm 厚度的生肉糜样品测定  $L^*$ (亮度)值和  $a^*$ (红度)值和  $b^*$ (黄度)值,对每组至少 6 次重复测试,并用以下公式计算 W(白度)。

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

式中:W 表示肉糜白度; $L^*$ 表示肉糜亮度; $a^*$ 表示肉糜红度; $b^*$ 表示肉糜黄度。

1.3.2 肌原纤维蛋白氧化程度 肌原纤维蛋白提取:称取 25 g 肉糜加入 100 mL 的僵直液(10 mmol/L 磷酸钠,0.1 mol/L NaCl,2 mmol/L  $MgCl_2$ ,1 mmol/L EDTA,pH7.0),以 10000 r/min 均质 30 s,重复 3 次;然后以 4000 r/min 离心,5 min 后倾去上清液,所得沉淀再次加入 100 mL 僵直液,重复上述步骤 3 次。所得沉淀再加入 100 mL 0.1 mol/L NaCl 溶液,以 10000 r/min 均质 30 s,重复 3 次;然后以 4000 r/min 离心,5 min,再经两层纱布过滤以去除残留结缔组织等,重复操作 3 次,收集所有滤液,用 0.1 mol/L HCl 调节 pH 为 6.25 后,以 10000 r/min 离心,5 min,弃去上清,收集膏状沉淀,即为肌原纤维蛋白,加入 0.6 mol/L PBS 溶液 5~10 mL 溶解沉淀,并于 48 h 内使用。

肌原纤维蛋白羰基含量测定:取 1 mL 蛋白质溶液,加入 800  $\mu$ L 含 2 g/L 2,4-二硝基苯肼(DNPH)的 2 mol/L HCl 溶液,在 25 °C 避光反应 1 h,然后各加入 1 mL 20%TCA,在 4 °C 下以 10000 $\times$ g 离心 5 min,弃上清液。用 1 mL 乙酸乙酯-乙醇溶液(1:1, v/v)洗涤沉淀 3 次,加入 3 mL 含 20 mmol/L 磷酸钠的 6 mol/L 盐酸胍溶液,在 37 °C 避光水浴 30 min,在 4 °C 下以 10000 $\times$ g 离心 5 min。于 370 nm 波长处测定上清液的吸光度值,每个处理组重复 3 次。

肌原纤维蛋白巯基含量测定:取 1 mL 蛋白质溶液,加入 9 mL 0.05 mol/L、pH7.2 的磷酸盐缓冲液(含有 0.6 mol/L NaCl、6 mmol/L EDTA 和 8 mol/L 尿素),在 4 °C 下以 10000 $\times$ g 离心 15 min;取上清液 3 mL,加入 0.04 mL 0.01 mol/L DTNB,在 40 °C 水浴 15 min。用 0.05 mol/L、pH7.2 的磷酸盐缓冲液(含有 0.6 mol/L NaCl、6 mmol/L EDTA 和 8 mol/L 尿素)作为空白,在 412 nm 波长处测定吸光度,每个处理组重复 3 次。

肌原纤维蛋白表面疏水性测定: 制备浓度为 5 mg/mL 的肌原纤维蛋白溶液, 取 1 mL 的蛋白溶液与 200  $\mu$ L 浓度为 1 mg/mL 的溴酚蓝于室温下搅拌 10 min, 然后离心 15 min(4  $^{\circ}$ C, 6000 r/min), 取上清液稀释 10 倍后用紫外分光光度计在 595 nm 波长处测量吸光值, 重复 3 次。溴酚蓝结合量用以下公式计算。

$$\text{溴酚蓝}(\mu\text{g}) = \frac{200 \mu\text{g} \times (\text{A}_{\text{对照}} - \text{A}_{\text{样品}})}{\text{A}_{\text{对照}}}$$

式中:  $\text{A}_{\text{对照}}$  表示空白组吸光度, Abs;  $\text{A}_{\text{样品}}$  表示样品组吸光度, Abs。

1.3.3 蒸煮损失率与脂肪渗出率 取约 200 g 的肉糜样品, 精确称重记作  $W_1$ , 塞入塑料肠衣中, 80  $^{\circ}$ C 水浴加热 30 min, 解开包装, 待冷却晾干后, 称重记作  $W_2$ , 每个处理组重复 3 次, 用以下公式计算。

$$c = \frac{(W_1 - W_2)}{W_1} \times 100$$

式中: c 表示蒸煮损失率, %;  $W_1$  表示肉糜样品重, g;  $W_2$  表示冷却晾干后样品重, g。

取 25 g 肉糜放入 50 ml 离心管中, 在 4  $^{\circ}$ C 下 500 $\times$ g 离心 5 min 去除肉糜中的气泡。封闭离心管, 放入 80  $^{\circ}$ C 水浴加热 30 min。取出后使用纸巾擦干外面的水分, 立即打开试管盖, 在室温下放置 50 min, 利于汁液的吸收和释放。采用将渗出液在 105  $^{\circ}$ C 烘干 16 h 的方法进行测定。烘干后剩余的物质为脂肪渗出物, 即释放的脂肪重量和样品初始重量的百分比。每个处理组重复 3 次。

1.3.4 凝胶质构 测试前速度为 2.0 mm/s, 测试中速度为 2.0 mm/s, 测试后速度为 5.0 mm/s, 压缩比为 50%, 两次下压间隔时间 5 s, 触发类型为自动; 每个处理组重复 6 次。

1.3.5 肉糜粒径 取 10 g 肉糜放入 2~4  $^{\circ}$ C 的 100 mL 双蒸水中, 使用 T 25 高速匀浆器 3000 r/min 匀浆 15 s。使用粒径仪测定粒径, 在测定的过程中使用粒径仪自带循环系统保证肉糜颗粒在双蒸水中分散均匀, 每次测定将获得 4 个准确的测量值。结果使用  $D_{10}$ 、 $D_{50}$ 、 $D_{90}$ 、 $D_{av}$  进行分析。

1.3.6 拉曼光谱 使用单晶硅对拉曼光谱仪进行频

率校正后, 取适量生肉糜均匀的涂抹在载玻片中央, 用 50 倍长焦距镜头将激光聚焦到样品上, 功率 100 mW, 获取的拉曼光谱波段在 400~3600  $\text{cm}^{-1}$ 。测定条件: 光栅 600  $\text{g}\cdot\text{mm}^{-1}$ , 狭缝 200  $\mu\text{m}$ , 获取速度为 120  $\text{cm}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ , 分辨率为 2  $\text{cm}^{-1}$ , 积分时间为 60 s。

1.3.7 扫描电镜 凝胶样品取厚度 1 mm 薄片, 在 2.5% 的戊二醛溶液中固定 24 h, 使用 pH 为 7.0 的 0.1 mol/L 磷酸盐缓冲液浸泡 10 min, 再用 pH 为 7.0, 含有 1.0% 四氧化锇的 0.1 mol/L 磷酸盐缓冲液清洗 5 h, 再用 pH 为 7.0 的 0.1 mol/L 磷酸盐缓冲液清洗 10 min, 使用 50%、70%、90%、95%、100% 乙醇各浸泡 10 min 梯度脱水。临界点干燥后喷 10 nm 厚度的金, 通过扫描电镜观察并拍照。

1.4 数据处理

利用 DPS 7.55 软件分析数据, 进行方差分析和显著性检验, 由  $P<0.05$  判定存在显著性差异; 利用 Origin 9.0 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 色差变化

色差变化可以较直观地反映出肉类的品质变化。如表 1 所示, CK 的  $L^*$  值和 W 值最高,  $a^*$  值较低, 这表明打浆工艺样品相比捶打工艺样品更加发白; 捶打工艺样品的  $L^*$  值和 W 值随加工时间延长呈明显上升的趋势, 40 min 时达到最高。 $a^*$  值和  $b^*$  值随加工时间延长呈先上升后下降的趋势, 25 min 时最高。这说明捶打工艺相比打浆工艺可使肉糜更加红润; 捶打时间低于 25 min 时, 捶打时间越长生肉糜色泽更加红润; 捶打时间超过 25 min 后捶打时间越长, 生肉糜就越显苍白, 这与蛋白质的逐渐氧化有关。Nishad 等研究亦表明, 羊肉的蛋白质氧化会使得  $L^*$  值升高,  $a^*$  值下降<sup>[6]</sup>。随着牛肉肌肉组织被逐渐粉碎, 肌红蛋白与充足的氧发生氧合反应, 生成氧合肌红蛋白使得肉糜颜色更加红润<sup>[7]</sup>, 在 25 min 内  $a^*$  值和  $b^*$  值开始上升。在 25 min 后  $a^*$  值和  $b^*$  值上升的原因与肌红蛋白铁离子的化学状态相关, 当铁离子以二价状态存在时, 肉糜呈鲜红色, 当蛋白质构象改变、变性时二价铁离子被氧化为三价铁离子时, 肉色变暗呈褐色失去红润的色泽<sup>[8]</sup>; 以上结果表明, 捶打加工会加剧生肉糜与空气中氧气的反应, 引起肌红

表 1 捶打时间对牛肉糜色差影响

Table 1 Effect of beating time on color difference of minced beef

捶打时间(min)	$L^*$	$a^*$	$b^*$	W
CK	38.94 $\pm$ 0.76 <sup>a</sup>	16.8 $\pm$ 0.44 <sup>c</sup>	13.51 $\pm$ 0.59 <sup>c</sup>	35.25 $\pm$ 0.67 <sup>a</sup>
15	26.04 $\pm$ 1.17 <sup>e</sup>	16.81 $\pm$ 2.10 <sup>c</sup>	14.74 $\pm$ 1.80 <sup>d</sup>	22.73 $\pm$ 1.17 <sup>e</sup>
20	25.70 $\pm$ 1.46 <sup>e</sup>	20.79 $\pm$ 1.52 <sup>b</sup>	17.73 $\pm$ 1.59 <sup>b</sup>	20.84 $\pm$ 1.53 <sup>f</sup>
25	25.02 $\pm$ 2.13 <sup>e</sup>	22.63 $\pm$ 3.05 <sup>a</sup>	20.03 $\pm$ 2.05 <sup>a</sup>	19.16 $\pm$ 2.21 <sup>g</sup>
30	27.22 $\pm$ 0.44 <sup>d</sup>	16.89 $\pm$ 0.63 <sup>c</sup>	15.99 $\pm$ 0.42 <sup>c</sup>	23.59 $\pm$ 0.51 <sup>d</sup>
35	30.24 $\pm$ 1.23 <sup>c</sup>	16.95 $\pm$ 1.45 <sup>c</sup>	15.46 $\pm$ 1.15 <sup>d</sup>	26.56 $\pm$ 1.21 <sup>c</sup>
40	31.73 $\pm$ 1.58 <sup>b</sup>	14.98 $\pm$ 1.29 <sup>d</sup>	12.88 $\pm$ 1.33 <sup>f</sup>	28.93 $\pm$ 1.33 <sup>b</sup>

注: 同列中不同字母表示差异显著( $P<0.05$ ); 表2~表3同。



蛋白颜色的改变。

## 2.2 肌原纤维蛋白质氧化程度

巯基与总巯基含量是反映蛋白质的氧化程度的标志<sup>[9]</sup>,蛋白质氧化程度与巯基含量呈正相关,与总巯基含量呈负相关<sup>[10]</sup>。由图1可知,除捶打15 min外,其他捶打时间总巯基含量低于CK组,超过25 min后,随加工时间的延长,总巯基含量显著下降( $P<0.05$ ),至40 min时,捶打工艺肌原纤维蛋白的总巯基含量从15 min时的48.53 nmol/mg蛋白减少至41.74 nmol/mg蛋白,下降了13.99%;同时除捶打15 min外,捶打工艺的巯基含量显著高于CK组( $P<0.05$ ),巯基含量在15 min时为0.1 nmol/mg蛋白,至40 min时增加至0.2 nmol/mg蛋白,增加了95.65%。巯基的增加与总巯基的减少都证明蛋白质氧化程度不断加深,符合原料肉在加工过程中氧化程度上升的趋势<sup>[11]</sup>。

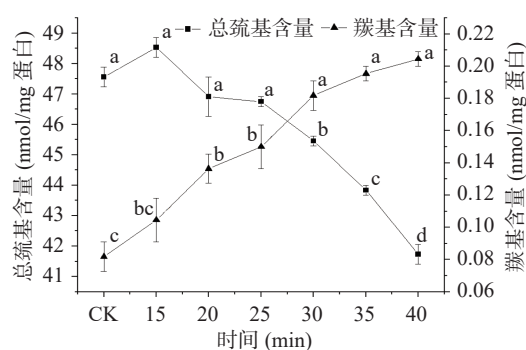


图1 捶打时间对肌原纤维蛋白巯基与总巯基含量的影响

Fig.1 Effects of beating time on carbonyl and total sulfhydryl content of myofibrillar protein

注:同一指标不同小写字母表示数据差异显著,  $P<0.05$ ; 图2~图4同。

氧化能够引起蛋白质天然构象的改变,蛋白质构象与蛋白质的功能特性密切相关,表面疏水性的变化表明了蛋白质的构象变化<sup>[12]</sup>。如图2所示,15 min样品的溴酚蓝结合量最低,为60.56  $\mu\text{mol/g}$ ,低于对照组,但差异不显著( $P>0.05$ ),之后随着加工时间延长,溴酚蓝结合量升高,在超过30 min后有显著差异( $P<0.05$ ),至40 min时为88.92  $\mu\text{mol/g}$ 。溴酚蓝结

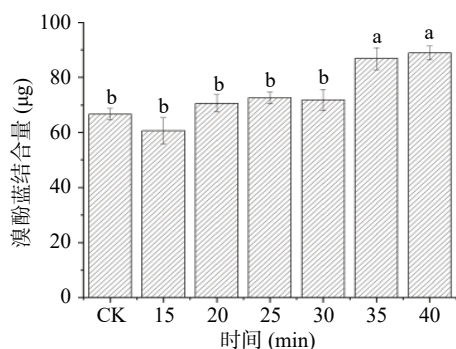


图2 捶打时间对肌原纤维蛋白与溴酚蓝结合量的影响

Fig.2 Effect of beating time on binding capacity of myofibrillar protein with bromophenol blue

合量的升高与肌原纤维蛋白氧化有关,捶打加工时间的延长造成肌原纤维蛋白氧化程度加深,使得肌原纤维蛋白构象改变,包埋在内部的疏水性残基暴露在表面与溴酚蓝结合,从而使溴酚蓝结合量升高。叶凤凌等<sup>[13]</sup>证明氧化可以改变蛋白质的构象结构,从而影响其表面疏水性。

## 2.3 蒸煮损失率与脂肪渗出率

蒸煮损失率可以反映肉制品的持水性<sup>[14]</sup>。如图3所示,捶打工艺样品从20 min起蒸煮损失率显著( $P<0.05$ )低于打浆工艺对照组(CK),捶打样品在15 min时蒸煮损失率最大,为16.97%,这可能是因为15 min时肌肉纤维组织未被充分破坏,盐溶性蛋白质含量较低导致。在30 min时损失率最小,为11.34%;30~40 min时凝胶的蒸煮损失率随加工时间延长而增大,在40 min时达到12.99%,但始终低于对照组的17.77%。蒸煮损失率的变化可以反映凝胶的品质变化,蒸煮损失率越高,表明凝胶的结构越松散,这对凝胶的质构特性越不利<sup>[15]</sup>。

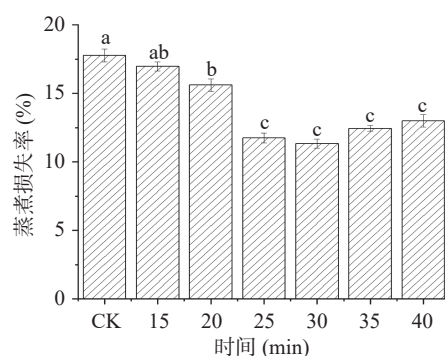


图3 捶打时间对凝胶蒸煮损失率的影响

Fig.3 Effect of beating time on gel cooking loss rate

脂肪渗出率的高低可以反映凝胶的乳化稳定性<sup>[16]</sup>。由图4可知,捶打工艺肉糜的脂肪渗出率明显低于打浆工艺的对照组,且肉糜的脂肪渗出率随着捶打时间的延长先降低后升高。在15~30 min时肉糜的脂肪渗出率不断降低,在30 min时降到最低,为0.63%;30~40 min时脂肪渗出率有显著回升( $P<0.05$ ),但仍显著低于15 min样品( $P<0.05$ )。在所有不同捶打时间的处理组中,捶打30 min的样品具有最好的乳化稳定性,而打浆对照组具有最高的脂

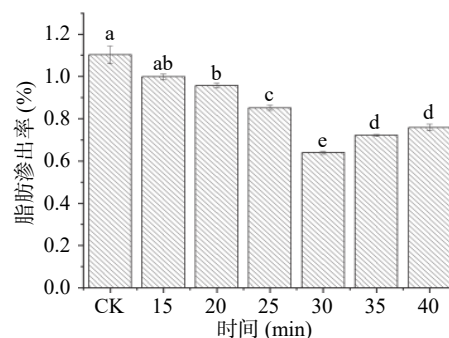


图4 捶打时间对凝胶脂肪渗出率影响

Fig.4 Effect of beating time on gel fat exudation rate

表 2 捶打时间对凝胶质构的影响  
Table 2 Effect of beating time on gel texture

捶打时间(min)	硬度(g)	弹性	内聚性	咀嚼性(g)	回复性
CK	3833.21±70.57 <sup>d</sup>	0.80±0.02 <sup>b</sup>	0.57±0.02 <sup>c</sup>	1731.20±66.80 <sup>c</sup>	0.19±0.02 <sup>c</sup>
15	6329.77±179.88 <sup>c</sup>	0.82±0.02 <sup>b</sup>	0.61±0.02 <sup>c</sup>	3215.94±142.32 <sup>d</sup>	0.21±0.02 <sup>c</sup>
20	6671.13±157.80 <sup>b</sup>	0.82±0.02 <sup>b</sup>	0.67±0.01 <sup>b</sup>	3696.06±152.48 <sup>c</sup>	0.24±0.01 <sup>b</sup>
25	6773.50±217.96 <sup>bc</sup>	0.85±0.03 <sup>a</sup>	0.69±0.03 <sup>ab</sup>	3950.28±287.06 <sup>c</sup>	0.25±0.02 <sup>b</sup>
30	8607.51±192.87 <sup>a</sup>	0.88±0.01 <sup>a</sup>	0.71±0.01 <sup>a</sup>	5065.31±246.11 <sup>a</sup>	0.28±0.01 <sup>a</sup>
35	8507.64±146.72 <sup>a</sup>	0.85±0.03 <sup>a</sup>	0.66±0.01 <sup>b</sup>	4780.03±234.39 <sup>ab</sup>	0.25±0.01 <sup>b</sup>
40	8542.23±226.85 <sup>a</sup>	0.86±0.02 <sup>a</sup>	0.65±0.02 <sup>b</sup>	4888.23±178.39 <sup>b</sup>	0.22±0.01 <sup>bc</sup>

肪渗出率,这说明捶打工艺可明显减少肉糜的脂肪渗出率,提高乳化稳定性。

2.4 凝胶质构

凝胶质构是凝胶品质最直接的体现,不同的捶打时间对凝胶品质影响显著,表 2 反映了捶打工艺牛肉凝胶质构特性的变化。随着捶打时间延长,样品的硬度、咀嚼性呈上升的趋势;弹性、内聚性、回复性呈先上升后下降的趋势,且捶打工艺样品的弹性、内聚性、回复性均优于打浆对照组。这说明捶打工艺生产的牛肉凝胶品质优于打浆工艺,且在 30 min 内捶打时间越长,凝胶品质越好,与 Zhang 等<sup>[17]</sup>发现的轻度氧化提高了肌原纤维蛋白胶凝特性结果类似,捶打时间超过 30 min 凝胶的内聚性与回复性显著( $P<0.05$ )下降。捶打 30 min 的凝胶硬度与咀嚼性适中,弹性、内聚性与回复性最高,凝胶品质最为优良。结合蛋白质氧化程度继续加深、凝胶蒸煮损失率持续上升的结果可知,蛋白质的深度氧化、凝胶持水率的下降引起了凝胶品质的劣化;Xia 等<sup>[18]</sup>在对猪肉凝胶的研究中同样得出了这一结论。

2.5 肉糜粒径

肉糜的粒径变化可以反映肉糜的粉碎程度<sup>[19]</sup>。由表 3 的  $D_{av}$  可知,从 20 min 开始,捶打工艺肉糜的肉糜颗粒显著( $P<0.05$ )小于打浆对照组,且捶打时间越长,肉糜颗粒越小。同时,与打浆工艺肉糜相比,除捶打 15 min 外,捶打工艺肉糜的  $D_{10}$ 、 $D_{50}$ 、 $D_{90}$  数值显著( $P<0.05$ )减小。图 5 反映了打浆对照组和不同捶打时间肉糜的颗粒大小分布规律。其中打浆对照组和 15、20、25 min 组都显示出双峰分布,即一个主峰和一个肩峰。说明肉糜中有两种主要的肉糜颗粒,一种是主导地位,一种是从属地位;30、35、40 min

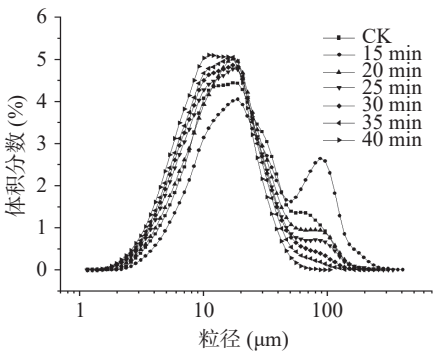


图 5 捶打时间对肉糜粒径大小分布的影响  
Fig.5 Effect of beating time on size distribution of minced meat

是单峰分布,表明肉糜中只有一种主要的肉糜颗粒,这与高菲菲等<sup>[20]</sup>对猪肉糜研究中发现的随着加工时间延长,肉糜平均粒径逐渐变小、粒度分布范围渐变窄的结果类似。以上结果说明捶打时间越长,对肉糜的粉碎越彻底,肉糜颗粒会更加细腻均匀,这对肉糜凝胶品质有重要影响,可以提高肉糜凝胶的口感和均匀性。

2.6 拉曼光谱分析

拉曼光谱的频率与强度变化可以指示蛋白质二级结构发生的变化<sup>[21]</sup>。通过处理 400~3600  $\text{cm}^{-1}$  范围内的拉曼光谱,可以分析出捶打时间对牛肉糜的蛋白质二级结构的影响。图 6 是不同捶打时间牛肉糜在 400~3600  $\text{cm}^{-1}$  范围内的拉曼光谱,不同实验组在 1665  $\text{cm}^{-1}$  附近的拉曼光谱条带为酰胺 I 带的伸缩振动,包含肽键  $\text{C=O}$  和  $\text{C-N}$  的伸缩振动、 $\text{C}\alpha\text{-N}$  的弯曲振动、 $\text{N-H}$  的面内弯曲振动,这些变化能够提供蛋白质二级结构的信息<sup>[22]</sup>。

由图 7 可知,相比 CK,捶打加工牛肉糜的  $\alpha$ -螺

表 3 不同捶打时间肉糜粒径变化  
Table 3 Change of minced meat particle size at different beating time

捶打时间(min)	$D_{10}(\mu\text{m})$	$D_{50}(\mu\text{m})$	$D_{90}(\mu\text{m})$	$D_{av}(\mu\text{m})$
CK	6.18±0.04 <sup>b</sup>	16.15±0.11 <sup>b</sup>	53.49±0.14 <sup>b</sup>	23.91±0.14 <sup>b</sup>
15	7.20±0.14 <sup>a</sup>	20.59±0.14 <sup>a</sup>	90.94±0.33 <sup>a</sup>	36.22±0.24 <sup>a</sup>
20	5.79±0.10 <sup>c</sup>	15.30±0.14 <sup>c</sup>	46.47±0.12 <sup>c</sup>	22.26±0.13 <sup>c</sup>
25	5.32±0.08 <sup>d</sup>	13.97±0.09 <sup>d</sup>	38.88±0.13 <sup>d</sup>	20.19±0.10 <sup>d</sup>
30	5.13±0.10 <sup>dc</sup>	13.15±0.10 <sup>e</sup>	32.97±0.25 <sup>e</sup>	17.49±0.24 <sup>e</sup>
35	4.96±0.09 <sup>e</sup>	12.55±0.10 <sup>f</sup>	29.21±0.13 <sup>f</sup>	15.71±0.12 <sup>f</sup>
40	4.71±0.13 <sup>c</sup>	11.47±0.08 <sup>g</sup>	25.34±0.14 <sup>g</sup>	13.64±0.11 <sup>g</sup>

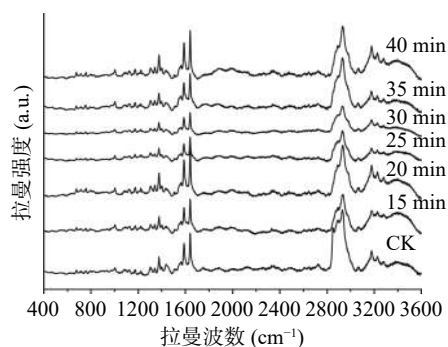


图6 不同捶打时间牛肉糜的拉曼光谱

Fig.6 Raman spectra of minced beef in different beating time

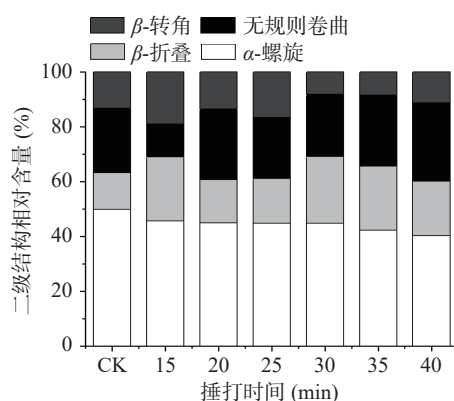


图7 捶打时间对肉糜蛋白质二级结构百分含量的影响

Fig.7 Effect of beating time on the percentage of protein secondary structure in minced meat

旋所占百分比更低、 $\beta$ -折叠所占百分比更高。李鹏等在对鸡肉进行超声辅助变压揉滚后发现鸡肉蛋白质构象发生变化, $\alpha$ -螺旋含量降低, $\beta$ -折叠含量增加<sup>[23]</sup>,说明加工可以促进 $\alpha$ -螺旋结构解折叠形成 $\beta$ -折叠结构。 $\beta$ -折叠的含量与肉的保水性和凝胶性具有正相关性,是蛋白质聚集并形成良好凝胶结构的基础<sup>[24]</sup>;除去15 min因肉糜不够细腻不符合此规律外,其他组均符合此规律。捶打时间越长, $\beta$ -转角占比越低、无规则卷曲占比越高,说明加工时间越长,对蛋

白质二级结构影响越大。以上结果表明,捶打工艺可以改变肉糜中蛋白质的二级结构,在30 min以内,捶打时间越长对凝胶形成有利,超过30 min,捶打时间越长对形成良好凝胶结构不利。

## 2.7 扫描电镜分析

Zhang等<sup>[25]</sup>对鸡肉凝胶的研究表明凝胶微观结构中的凝胶网络变化可以解释凝胶的品质变化,通过对不同捶打时间的牛肉凝胶进行SEM观察可得图8。由图8可知,不同捶打时间的牛肉凝胶微观结构有明显差异。CK显示了牛肉凝胶拥有的蜂窝状结构<sup>[26]</sup>;15 min显示有未粉碎的肌肉组织,证明由于捶打加工时间短牛肉糜粉碎并不彻底,20 min开始不再有未粉碎的肌肉组织,且显示出一定数量空洞的蜂窝状结构,证明捶打加工20 min可以完全粉碎牛肉的肌肉组织;25和30 min样品的空洞较小且分布均匀,证明其凝胶网络结构更加致密、均匀,结合蒸煮损失率和质构指标可知这种结构赋予了牛肉凝胶更加优良的持水性、弹性、内聚性和回复性;35 min和40 min的凝胶孔洞变大,网络结构开始变得松散,同时牛肉凝胶的持水性、弹性、内聚性和回复性都呈现下降趋势。曹云刚等在对苹果纤维对猪肉凝胶影响的研究发现凝胶网络结构疏松、孔隙变大是持水性与质构下降的原因<sup>[27]</sup>,这证明了劣化的凝胶网络结构是凝胶品质下降的直接原因。

## 3 结论

不同捶打时间处理得到的牛肉凝胶品质的差异明显。通过分析不同捶打时间对牛肉凝胶的影响,并以打浆工艺对照组(CK)相比可知,随着捶打时间延长,牛肉肉糜逐渐失去红润的色泽,肌原纤维蛋白的氧化程度逐渐加深;凝胶蒸煮损失率与脂肪渗出率先下降后上升的趋势,质构特性中硬度与咀嚼性明显上升,弹性、内聚性、回复性先上升后下降,捶打时间在30 min以内,捶打时间越长,牛肉凝胶拥有更低的蒸煮损失率、脂肪渗出率与更佳的质构特性,捶打时间超过30 min后,捶打时间越长,凝胶品质下降越

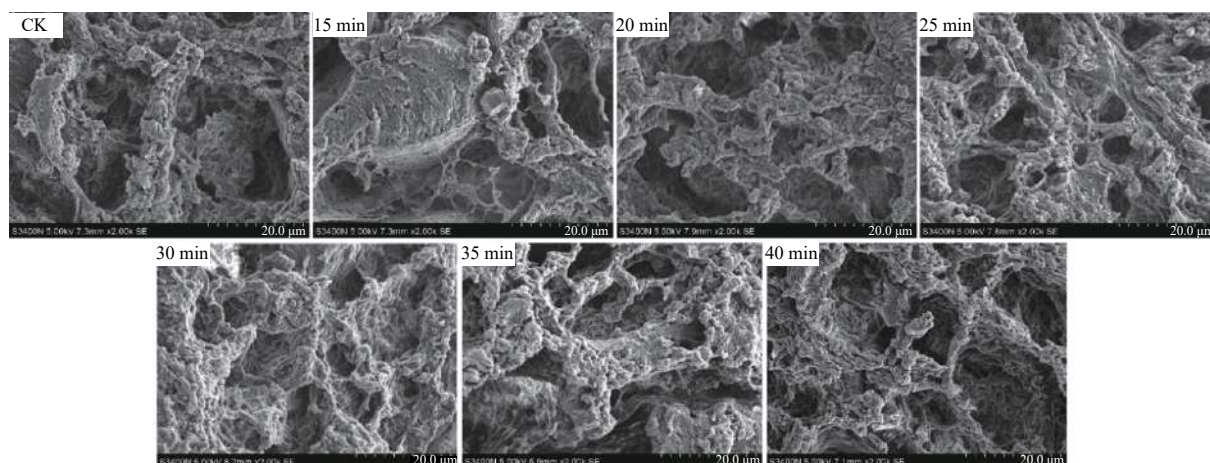


图8 捶打时间对凝胶微观结构的影响

Fig.8 Effect of beating time on the microstructure of gelatin



显著。

通过对捶打牛肉样品的粒径、拉曼光谱和凝胶电镜扫描分析可知,捶打加工时间越长,肉糜平均粒径越小、粒度分布范围越窄,更加细腻的肉糜可形成品质更加优异凝胶,这一趋势随捶打时间延长变化明显;但捶打时间过长,会使肉糜氧化程度加深,改变蛋白质二级结构,导致凝胶品质下降,这一趋势在超过 30 min 时更加明显;电镜扫描图像中发现,随着捶打时间延长,凝胶的三维网状结构从松散变为致密再变为松散,证实了牛肉凝胶品质的变化与捶打时间密不可分。试验结果通过研究不同捶打时间导致的肉糜与凝胶的理化性质差异,解释了凝胶品质变化的规律和原因,表明捶打加工方式中适度捶打能提高肉糜品质,过度捶打反而让肉糜品质劣变。

### 参考文献

- [1] 邓蓉, 王伟. 中国牛肉美食与牛肉饮食文化[J]. *中国牛业科学*, 2017, 43(5): 47-52. [DENG Rong, WANG Wei. Chinese beef delicacy and its culture[J]. *China Cattle Science*, 2017, 43(5): 47-52.]
- [2] 王银娜, 安山, 热迪力·阿布拉, 等. 鹰嘴豆牛肉肠的研制[J]. *食品与发酵工业*, 2016, 42(12): 144-149. [WANG Yinna, AN Shan, RADIL·ABLA, et al. Preparation of chickpea beef sausage[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2016, 42(12): 144-149.]
- [3] QUEVEDO M, KULOZIK U, KARBSTEIN H P, et al. Kinetics of denaturation and aggregation of highly concentrated  $\beta$ -lactoglobulin under defined thermomechanical treatment[J]. *Journal of Food Engineering*, 2020, 274: 109825.
- [4] KANG Z L, ZOU Y F, XU X L, et al. Effect of a beating process, as a means of reducing salt content in Chinese-style meatballs (kung-wan): A physico-chemical and textural study[J]. *Meat Science*, 2014, 96(2 Pt A): 669.
- [5] 许帅强, 孙迪, 邵俊花, 等. 不同盐处理对肉糜乳化凝胶水合特性及蛋白质构象变化的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2018, 44(11): 105-110. [XU Shuaiqiang, SUN Di, SHAO Junhua, et al. Effect of salt treatments on protein hydration properties and molecular conformation of emulsified gel[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2018, 44(11): 105-110.]
- [6] NISHAD J, KOLEY T K, VARGHESE E, et al. Synergistic effects of nutmeg and citrus peel extracts in imparting oxidative stability in meat balls[J]. *Food Research International*, 2018, 106: 1026-1036.
- [7] 吴爽, 罗欣, 毛衍伟, 等. 线粒体对肉色及其稳定性影响的研究进展[J]. *食品科学*, 2018, 39(15): 247-253. [WU Shuang, LUO Xin, MAO Yanwei, et al. A review of the effect of mitochondria on meat color and color stability[J]. *Food Science*, 2018, 39(15): 247-253.]
- [8] 李颖, 李保玲, 董新玲, 等. 石榴皮提取物对生猪肉饼品质的影响[J]. *肉类研究*, 2020, 34(1): 45-50. [LI Ying, LI Baoling, MA Wenhui, et al. Effect of pomegranate peel extract on quality and storage stability of raw pork patties[J]. *Meat Research*, 2020, 34(1): 45-50.]
- [9] WEBER D, DAVIES M J, GRUNE T. Determination of protein carbonyls in plasma, cell extracts, tissue homogenates, isolated proteins: Focus on sample preparation and derivatization conditions[J]. *Redox Biology*, 2015, 5: 367-380.
- [10] 曹云刚, 马文慧, 艾娜丝, 等. 氧化强度对肌原纤维蛋白结构及凝胶性能的影响[J]. *食品科学*, 2019, 40(20): 21-27. [CAO Yungang, MA Wenhui, AI Nasi, et al. Effects of different oxidation intensities on the structure and gel properties of myofibrillar protein[J]. *Food Science*, 2019, 40(20): 21-27.]
- [11] 韦诚, 朱丽娟, 谢月英, 等. 蛋白质在肉类加工保藏中的氧化及其不利影响的研究进展[J]. *食品科学*, 2017, 38(9): 314-321. [WEI Cheng, ZHU Lijuan, XIE Yueying, et al. Progress in protein oxidation during meat processing and preservation and its adverse health effects[J]. *Food Science*, 2017, 38(9): 314-321.]
- [12] 王宁, 王晓拓, 丁武, 等. 辐照剂量率对牛肉脂肪和蛋白氧化及蛋白特性的影响[J]. *现代食品科技*, 2015, 31(8): 122-128, 191. [WANG Ning, WANG Xiaotuo, DING Wu, et al. Effect of dose rate on lipid and protein oxidation and the properties of beef proteins[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2015, 31(8): 122-128, 191.]
- [13] 叶凤凌, 池玉闽, 周敏之, 等. 氧化对兔肉肌原纤维蛋白结构、乳化性和凝胶性的影响研究[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(24): 22-30. [YE Fengling, CHI Yumin, ZHOU Minzhi, et al. Effect of oxidation on the structure, emulsification and gelability of rabbit meat myofibrillar protein[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(24): 22-30.]
- [14] 陈春梅, 陆辰燕, 沈银涵, 等. 蒸煮温度对羊肉肌原纤维蛋白特性的影响[J]. *肉类研究*, 2020, 34(7): 40-45. [CHEN Chunmei, LU Chenyan, SHEN Yinhan, et al. Effect of cooking temperature on the characteristics of mutton myofibrillar proteins[J]. *Meat Research*, 2020, 34(7): 40-45.]
- [15] 熊杰, 伯朝英, 常海军. 甘草提取物对冷藏鸡肉糜脂肪和蛋白质氧化及品质特性的影响[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(1): 75-81, 88. [XIONG Jie, BO Zhaoying, CHANG Haijun. Effects of licorice extract on oxidation and quality characteristics of fat and protein in refrigerated chicken meat batter[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(1): 75-81, 88.]
- [16] FERNÁNDEZ-MARTÍN F, LÓPEZ-LÓPEZ I, COFRADES S, et al. Influence of adding Sea Spaghetti seaweed and replacing the animal fat with olive oil or a konjac gel on pork meat batter gelation. Potential protein/alginate association[J]. *Meat Science*, 2009, 83(2): 209-217.
- [17] ZHANG L, GUI P, ZHANG Y, et al. Assessment of structural, textural, and gelation properties of myofibrillar protein of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) modified by stunning and oxidative stress[J]. *LWT*, 2019, 102: 142-149.
- [18] Xia M, Chen Y, Guo J, et al. Effects of oxidative modification on textural properties and gel structure of pork myofibrillar proteins[J]. *Food Research International*, 2019, 121: 678-683.
- [19] 汪张贵, 闫利萍, 彭增起. 剪切时间对脂肪微粒大小和肉糜



- 品质的影响[J]. 食品科技, 2011, 36(9): 127-130, 133. [WANG Zhanggui, YAN Liping, PENG Zengqi. Effect of shearing time on size of fat particles and quality of meat batter[J]. Food Science and Technology, 2011, 36(9): 127-130, 133.]
- [20] 高菲菲, 汪张贵, 彭增起, 等. 剪切时间对肉糜中微粒分散特性的影响[J]. 食品科学, 2012, 33(5): 74-77. [GAO Feifei, WANG Zhanggui, PENG Zengqi, et al. Effect of chopping time on particle size distribution in meat batters[J]. Food Science, 2012, 33(5): 74-77.]
- [21] 贾娜, 刘丹, 宋立, 等. 没食子酸抑制猪肉肌原纤维蛋白氧化及其与蛋白的交联作用[J]. 中国食品学报, 2019, 19(1): 12-19. [JIA Na, LIU Dan, SONG Li, et al. The inhibition effect of gallic acid on oxidation of pork myofibrillar proteins and the crosslinking interaction between gallic acid and proteins[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2019, 19(1): 12-19.]
- [22] ANDERSEN P V, WOLD J P, GJERLAUG-ENGER E, et al. Predicting post-mortem meat quality in porcine longissimus lumborum using Raman, near infrared and fluorescence spectroscopy[J]. Meat Science, 2018, 145: 94-100.
- [23] 李鹏, 王红提, 孙京新, 等. 超声辅助变压滚揉对鸡肉蛋白质结构及含水量的影响[J]. 农业工程学报, 2017, 33(16): 308-314. [LI Peng, WANG Hongti, SUN Jingxin, et al. Effects of pressure-transform tumbling assisted by ultrasound on protein structure and water content of chicken[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2017, 33(16): 308-314.]
- [24] ZHANG Ziye, YANG Yuling, TANG Xiaozhi, et al. Chemical forces and water holding capacity study of heat-induced myofibrillar protein gel as affected by high pressure[J]. Food Chemistry, 2015, 188: 111-118.
- [25] ZHANG X, WANG W, WANG Y, et al. Effects of nanofiber cellulose on functional properties of heat-induced chicken salt-soluble meat protein gel enhanced with microbial transglutaminase[J]. Food Hydrocolloids, 2018, 84: 1-8.
- [26] ZHUANG X, HAN M, BAI Y, et al. Insight into the mechanism of myofibrillar protein gel improved by insoluble dietary fiber[J]. Food Hydrocolloids, 2018, 74: 219-226.
- [27] 曹云刚, 王凡, 艾娜丝, 等. 苹果膳食纤维对猪肉肌原纤维蛋白凝胶性能的影响[J]. 农业机械学报, 2020, 51(7): 365-371. [CAO Yungang, WANG Fan, AI Nasi, et al. Effect of apple dietary fiber on gel properties of porcine myofibrillar protein[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(7): 365-371.]