

锤打工艺对牛肉糜凝胶特性影响的机理

Effect of hammering process on gel properties of beef gel

孙路^{1,2,3} 黄群¹ 唐道邦^{2,3}

SUN Lu^{1,2,3} HUANG Qun¹ TANG Dao-bang^{2,3}

陈树鹏⁴ 程镜蓉^{2,3}

CHEN Shu-peng⁴ CHENG Jing-rong^{2,3}

(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, 广东 广州 510610; 3. 广东省农产品加工重点实验室, 广东 广州 510610; 4. 广东佳宝集团有限公司, 广东 潮州 515638)

(1. College of Food Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002, China; 2. Sericultural & Agri-food Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou, Guangdong 510610, China; 3. Guangdong Key Laboratory of Agricultural Products Processing, Guangzhou, Guangdong 510610, China; 4. Guangdong Jiabao Group Co., Ltd., Chaozhou, Guangdong 515638, China)

摘要:以不同捶打时间为参照、打浆工艺为对照,通过测定流变特性、蒸煮损失率、质构特性、盐溶性蛋白质含量、蛋白质氧化程度等指标,分析牛肉糜凝胶品质差异,阐明捶打对牛肉糜凝胶特性的影响。结果表明,捶打可使肉糜在动态频率变化过程中有更小的相位角($\tan\delta$),在升温过程中拥有更高的储能模量(G');捶打时间越长的肉糜在动态频率变化过程中 G' 相对更低, $\tan\delta$ 相对更大;升温过程中 G' 在55~75℃迅速上升,降温过程中除60 min的样品外, G' 升高趋势明显。随着捶打时间的延长,盐溶性蛋白质含量增加,蛋白质氧化程度增加,凝胶的蒸煮损失率先下降后上升,凝胶的硬度和咀嚼性先下降后上升,弹性先上升后下降,内聚性与回复性不断下降。相关性分析表明,蛋白质氧化程度与凝胶硬度呈显著负相关,与其他指标无显著相关性。捶打30 min以内可提高凝胶品质,捶打超过30 min对凝胶特性产生不利影响;一定时间内的捶打能增加盐溶性蛋白质含量,改善肉糜流变特性、质构特性。

关键词:牛肉糜;凝胶特性;打浆;捶打

Abstract: Based on different hammering time, contrasted with the beating sample, the effects of hammering on the quality of beef gel were analyzed by measuring rheological properties, cooking loss rate, texture properties, salt soluble protein content, protein oxidation. In the process of dynamic frequency change, the hammering sample had a smaller phase angle ($\tan\delta$) than the beating sample; In the process of heating up, the hammering sample had higher storage modulus (G') than the beating sample; In the process of dynamic frequency change, the longer the hammering time was, the lower the G' and the bigger $\tan\delta$ was, and G' gradually rose at 55~75℃ during the heating process. G' gradually rose during the cooling process except for the sample of hammering 60 min. As the hammering time of the beef batter was prolonged, the salt soluble protein content increased, protein oxidation increased, the cooking loss rate of gel reduced first and then increased; the hardness and chewiness of gel reduced firstly and then increased, the springiness of gel increased firstly and then reduced, and the cohesiveness and recovery of gel were reduced. The correlation analysis showed that the degree of protein oxidation was negatively correlated with the gel hardness, but not with other indexes. The quality of gel will be improved as hammering time in 30 mins, and hammering for more than 30 mins would have an adverse effect on the gel properties. In a certain time, hammering process can increase the content of salt soluble protein, improve the rheological properties and texture properties of gel, this conclusion means the traditional hammering process has certain rationality and theoretical basis.

Keywords: beef batter; gel properties; hammering; beating

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

作者简介:孙路,男,福建农林大学在读硕士研究生。

通信作者:唐道邦(1973—),男,广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所研究员,硕士。E-mail: tdbang@163.com

收稿日期:2020-04-07

牛肉丸、牛肉脯、牛肉肠等牛肉凝胶制品具有广阔的市场前景,年消费总量呈不断增加的趋势^[1],但牛肉肌肉纤维粗,因此其凝胶存在流变性差、蒸煮损失率大、凝胶特性差的问题^[2]。改善凝胶品质的方法有物理和化学两种方式,物理方式包括利用机械震荡、低温加热、高压处理等物理手段对蛋白质进行改性处理^[3-4],化学方式通过不同类型的添加物^[5-8]影响凝胶的加工特性和品质,但这些方法存在增加生产工序、提高生产成本的问题。牛肉凝胶生产过程中有多个环节^[9],其中对肌肉进行粉碎,制备肉糜是牛肉凝胶制品加工过程中的重要环节,该环节通过机械力作用对肌内膜、肌束膜和肌原纤维等肌肉组织进行破坏、粉碎,有利于肌原纤维蛋白的水解和溶胀,加速盐溶性蛋白质的溶出,提高牛肉肉糜的品质。通过物理手段使肌原纤维蛋白结构变化、蛋白质改性^[10]可以减少生产工序和添加剂的使用,降低生产成本。

捶打工艺是中国广东和福建地区制作牛肉丸的传统工艺,该工艺使用特制铁锤或棍棒捶打牛肉,利用敲击力破坏牛肉的肌肉组织使其肌肉纤维断裂形成肉糜,工业生产时利用电动捶打机不但可以节省人力、提高生产效率,且更大敲击力造成的压力可能改变蛋白质结构,改善凝胶特性^[11],但目前缺乏可以证明捶打工艺改善牛肉凝胶品质的研究。试验拟以不同捶打时间为参照,以肉丸打浆机的打浆工艺为对照组,研究不同捶打时间对牛肉肉糜及凝胶品质变化的影响,为捶打工艺生产牛肉凝胶的品质变化规律和内在机理提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

黄牛牛霖肉:广州潼粤食品有限公司;

磷酸氢二钠、磷酸二氢钠、乙二胺四乙酸(EDTA)、尿素、5,5'-二硫代双(2-硝基苯甲酸)(DTNB)、氯化钾、氯化钠、三氯乙酸(TCA)、无水乙醇、乙酸乙酯、盐酸胍、2,4-二硝基苯肼(DNPH)、考马斯亮蓝 G250 等:分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

电动捶打机:CD09 型,长沙昌合机械有限公司;

打浆机:YF-RW 18 型,顺德元芳食品机械有限公司;

紫外分光光度计:UV-1780 型,岛津仪器(苏州)有限公司;

质构仪:TA-XT. PLUS 型,英国 Stable Micro Systems 公司;

流变仪:AR1500EX 型,美国 TA 仪器公司。

1.3 样品处理

1.3.1 捶打工艺制作肉糜 将冷冻牛霖肉解冻,去除可见筋膜,切成边长为 2 cm 的立方体,加入 3%氯化钠,20%去离子水(以肉重计),利用电动捶打机捶打(功率

2.2 kW,每分钟捶打 120 次),自捶打 15 min 起每间隔 15 min 取样一次,直至捶打 60 min 止。取样后的肉糜一部分用于测定盐溶性蛋白质含量、蛋白质氧化程度和流变特性,另一部分灌装至直径为 22 mm 的塑料肠衣中,80 °C 水浴 20 min,流水冷却至室温并于 4 °C 冰箱过夜,测定蒸煮损失率和凝胶质构。

1.3.2 打浆工艺制作肉糜 将冷冻牛霖肉解冻,去除可见筋膜,切成边长为 2 cm 的立方体,加入 3%氯化钠,20%去离子水(以肉重计),利用打浆机打浆 5 min 制成肉糜。与捶打工艺相同,部分肉糜于 4 °C 密封冷藏,部分肉糜灌入塑料肠衣中制成热诱导凝胶。

1.4 试验方法

1.4.1 盐溶性蛋白质含量测定 取 0.5 g 肉糜样品各 2 份,分别加入 20 mL 含 0.5 mol/L KCl 的 0.05 mol/L 磷酸盐缓冲液(pH 7.2),均质 90 s,4 °C、10 000 r/min 离心 10 min,取上清液,使用考马斯亮蓝法检测盐溶性蛋白质含量,每个处理组重复 3 次^[12]。

1.4.2 羰基含量测定 取 0.5 g 肉糜样品加入 5 mL 0.15 mol/L 的 KCl 溶液均质,取 100 μ L 匀浆加入 800 μ L 含 2 g/L 2,4-二硝基苯肼(DNPH)的 2 mol/L HCl 溶液,25 °C 避光反应 1 h,然后各加入 20% TCA 溶液 1 mL,4 °C、10 000 r/min 离心 5 min,弃上清液。用 1 mL 乙酸乙酯—乙醇溶液(1:1,体积比)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,37 °C 避光水浴 30 min,4 °C、10 000 r/min 离心 5 min。于 370 nm 处测定上清液吸光度^[13],每个处理组重复 3 次。

1.4.3 总巯基含量测定 取 0.5 g 肉糜样品,加入 10 mL 的 0.05 mol/L 磷酸盐缓冲液(pH 为 7.2)。均质 30 s 后取匀浆 1 mL,加入 9 mL 的 0.05 mol/L 磷酸盐缓冲液(pH 为 7.2 且含有 8 mol/L 尿素、0.6 mol/L NaCl 和 6 mmol/L EDTA),4 °C、10 000 r/min 离心 15 min。取 3 mL 上清液加入 0.04 mL 的 0.01 mol/L DTNB,40 °C 水浴 15 min,于 412 nm 处测定吸光度^[14],每个处理组重复 3 次。

1.4.4 流变性质测定 使用 40 mm 圆形平板探头,将肉糜置于两个平板之间,设定间隔 1 mm,应变 1%,进行动态频率扫描和动态温度扫描。动态频率 0.1~20.0 Hz,记录储能模量(G')和相位角($\tan\delta$)。动态温度扫描时,需用硅油对肉糜暴露的部分进行密封以防止水分蒸发,扫描时先于 20 °C 平衡 10 min,然后以 2 °C/min 的速率升温至 75 °C 并保温 10 min;再以 2 °C/min 的恒定速率降温至 20 °C,此时扫描频率为 0.1 Hz,记录温度变化期间由于肉糜刚性引起的任何储存变化模量(G')。

1.4.5 蒸煮损失率 取约 200 g 肉糜样品,塞入塑料肠衣中,80 °C 加热 20 min,解开包装,冷却晾干,称重,每个处理组重复 3 次。按式(1)计算蒸煮损失率。

$$c = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

c ——蒸煮损失率, %;

W_1 ——肉糜样品重, g;

W_2 ——冷却晾干后样品重, g;

1.4.6 质构测定 将凝胶样品切成长度为 2 cm 的圆柱体, 使用 P/50 型探头, 测前速度 2.0 mm/s, 测中速度 2.0 mm/s, 测后速度 5.0 mm/s, 压缩比 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。

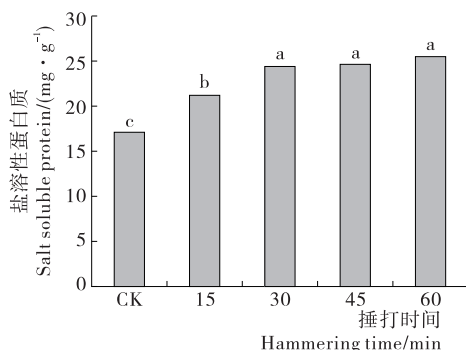
1.5 数据分析及相关性分析

利用 DPS 7.55 软件进行数据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; 利用 SPSS 19.0 软件分别对不同锤打时间样品的总巯基含量、蒸煮损失率、盐溶性蛋白质含量、弹性、硬度指标进行数据相关性分析。

2 结果与讨论

2.1 盐溶性蛋白质含量

由图 1 可知, 锤打工艺样品的盐溶性蛋白质含量在锤打 15~30 min 显著增加, 由 21.20 mg/g 增加至 24.35 mg/g; 而锤打在 30~60 min 无显著差异, 是因为锤打 15 min 时对肌肉组织的破坏没有使盐溶性蛋白质完全析出, 而在锤打 30~60 min 时蛋白质已充分析出, 所以盐溶性蛋白质含量变化不显著; 对照组的盐溶性蛋白质含量为 17.04 mg/g, 与锤打工艺相比含量显著更低。Kang 等^[15]发现对猪肉肌肉组织更加彻底的破坏可以增加蛋白质的溶解度, 锤打工艺样品的盐溶性蛋白质含量显著高于对照组, 说明锤打工艺对肌肉组织的破坏更彻底, 析出的盐溶性蛋白质含量更高。更高的蛋白质含量意味着更好的凝胶持水性和凝胶质构特性^[16], 试验结果也证明了锤打工艺牛肉凝胶的凝胶持水性和凝胶质构特性优于打浆工艺牛肉凝胶。



字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)

图 1 盐溶性蛋白质含量变化

Figure 1 Changes of salt soluble protein content

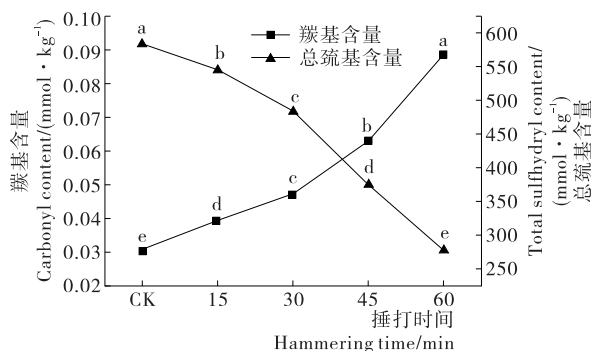
2.2 蛋白质氧化程度

由图 2 可知, 锤打工艺样品在锤打 30 min 时羰基含量开始显著增加, 锤打 60 min 时达 0.089 mmol/kg, 比锤打 15 min 时的样品增加了 122.5%。加工过程中的高压、机械剪切以及暴露于空气或油水界面可能会改变蛋白质的三级结构, 使巯基和胱氨酸基团暴露于溶剂中并发生化学反应^[17], 半胱氨酸和蛋氨酸均含有硫原子且十分敏感, 易被氧化生成二硫键。锤打工艺的总巯基含量显著低于对照组, 且随锤打时间的延长显著下降 ($P < 0.05$), 锤打 60 min 时样品的总巯基含量从锤打 15 min 时的 545.47 mmol/kg 减少至 277.59 mmol/kg, 减少了 49.11%, 与袁凯等^[18]的结果类似。羰基的增加与总巯基的减少都证明了蛋白质氧化程度不断加深, 且蛋白质氧化程度加深的同时牛肉肉糜流变学性质与牛肉凝胶的持水性、质构特性显著下降, 因此加工时间延长导致的蛋白质氧化可能是对牛肉凝胶品质产生影响的原因之一。

2.3 牛肉肉糜的流变学性质

随着肉糜弹性组分变化而发生的趋势称为储能模量 (G')。由图 3 可知, 肉糜的储能模量 (G') 随振荡频率的上升均存在不同程度的上升, 相同频率下的储能模量 (G') 随锤打时间的延长而降低, 可能是因为延长锤打时间会改变肌原纤维蛋白的初级结构和分子间的交联与相互作用, 因此导致凝胶结构的聚集度降低^[19]。损耗模量 (G'') 与储能模量 (G') 的比值称为相位角 ($\tan \delta$), 可体现不同凝胶三维网状结构的优劣^[20]。锤打工艺凝胶的三维网络结构优于打浆工艺凝胶, 但 $\tan \delta$ 随锤打时间的延长而增高, 表明锤打时间越长对凝胶的三维网络结构破坏越显著。

由图 4 可知, 升温过程中, 储能模量 (G') 的变化趋势基本趋同, 其曲线相似; 在 55~75 °C 期间 G' 值迅速上升, 凝胶强度持续增加, 说明升温过程使具有黏性的肉糜溶胶转变成弹性凝胶^[21], 锤打 15, 30, 45 min 样品的 G' 值高于打浆工艺的样品, 说明锤打工艺凝胶的结构优于打浆



字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)

图 2 羰基和总巯基含量的变化

Figure 2 Change in carbonyl and total sulfhydryl content

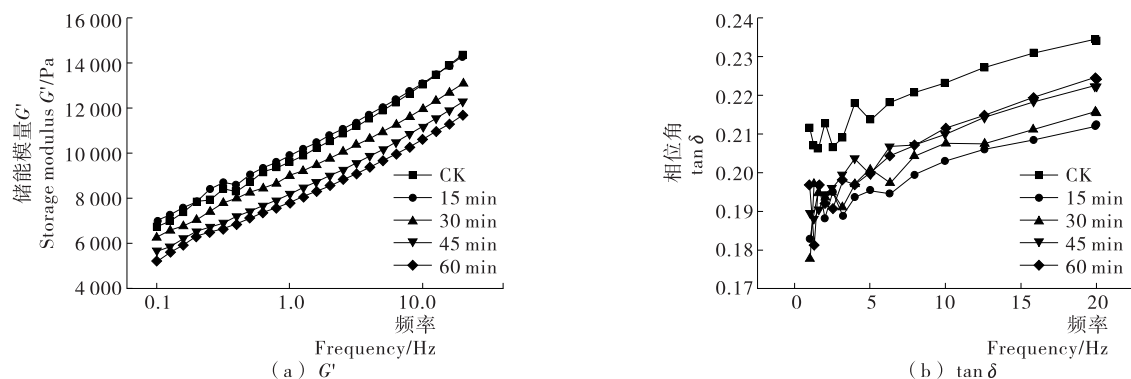
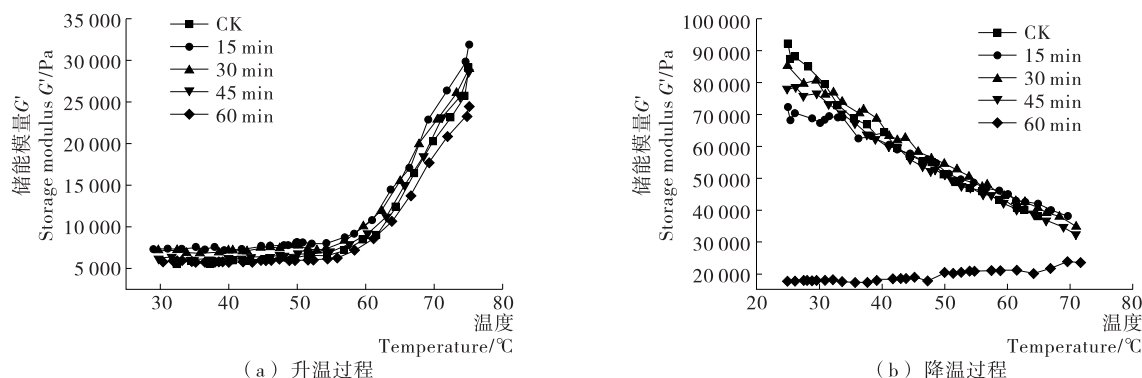


图 3 牛肉糜在不同频率下的流变学性质

Figure 3 Rheological properties of beef batters at different frequencies

图 4 牛肉糜在不同温度下的储能模量(G')Figure 4 Storage modulus (G') of beef batters at different temperatures

工艺凝胶;但捶打时间越长,样品的最终 G' 值越低,捶打 60 min 样品的 G' 值低于对照组,说明捶打时间越长对肉糜结构的破坏越严重。降温过程中,大部分凝胶的 G' 值在降温过程中呈上升趋势,是因为随着温度的降低凝胶之间通过氢键等相互作用形成的三维网状结构更加稳固,表现为 G' 值升高^[22]。但捶打 60 min 凝胶无此趋势且 G' 值低于其他组,表明凝胶的三维网状结构遭到严重破坏,同样也证明了捶打时间过长会破坏凝胶的三维网状结构。

2.4 蒸煮损失率

蒸煮损失率可以反映凝胶的持水性。由图 5 可知,捶打 15 min 时样品的蒸煮损失率最大,为 25.825%,可能是因捶打 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的。捶打 30 min 时样品的蒸煮损失率最小,为 5.63%;捶打 30~60 min 时凝胶的蒸煮损失率随加工时间的延长而增大,捶打 60 min 时达到 9.015%,但始终低于对照组(12.020%),可能是由于捶打加工时间的延长导致蛋白质结构变化,而蛋白质结构变化导致的蛋白质交联与聚集使得凝胶持水性下降^[23]。

2.5 质构变化

由表 1 可知,随着捶打时间的延长,样品硬度、咀嚼性先下降后上升;弹性先上升后下降;内聚性、回复性逐渐下降,可能是因为捶打 15 min 无法充分破坏牛肉的肌

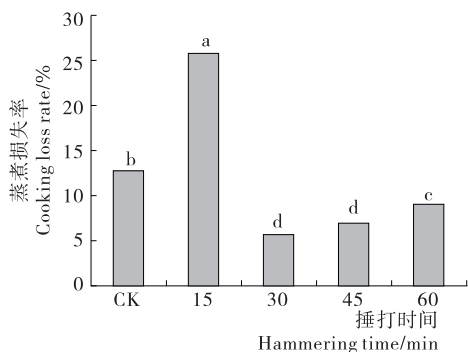
字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)

图 5 蒸煮损失率的变化

Figure 5 The change of cooking loss rate

肉纤维组织,无法析出足够的蛋白,因此凝胶持水性差,导致其硬度、内聚性较大且弹性差。捶打 30 min 的凝胶硬度与咀嚼性适中,内聚性与回复性较高,弹性最高,凝胶品质最为优良;捶打时间 > 30 min 会导致硬度与咀嚼性增大,内聚性、回复性、弹性降低,这是由于捶打时间过度严重破坏了凝胶的三维网状结构,造成凝胶紧实感上升、抵抗外力的能力降低。张海璐等^[24]研究发现蛋白质的氧化会造成凝胶弹性、内聚性、咀嚼性和回复性降低,说明随着捶打时间的延长,凝胶品质下降,因此出现这一现象也可能与加工时间的延长使得蛋白质过度氧化造成

表 1 凝胶质构的变化[†]
Table 1 Changes in gel texture

捶打时间/min	硬度/g	弹性	内聚性	咀嚼性	回复性
CK	3 057.49±267.78 ^c	0.80±0.06 ^a	0.69±0.02 ^a	1 684.43±230.16 ^c	0.23±0.02 ^a
15	3 669.66±680.41 ^b	0.79±0.04 ^b	0.72±0.02 ^a	2 102.45±432.56 ^b	0.22±0.02 ^a
30	3 627.72±350.02 ^b	0.85±0.03 ^a	0.66±0.02 ^b	2 003.18±264.16 ^b	0.22±0.02 ^a
45	4 699.41±457.41 ^a	0.84±0.03 ^a	0.65±0.02 ^b	2 618.12±267.13 ^{ab}	0.21±0.01 ^a
60	5 093.68±860.36 ^a	0.81±0.03 ^a	0.65±0.02 ^b	2 730.07±455.79 ^a	0.21±0.02 ^a

[†] 字母不同表示差异显著 (P<0.05)。

表 2 相关性分析[†]
Table 2 Correlation analysis

指标	总巯基含量	蒸煮损失率	盐溶性蛋白含量	弹性	硬度
总巯基含量	1.000				
蒸煮损失率	0.590				
盐溶性蛋白含量	-0.847	-0.922			
弹性	-0.133	-0.868	0.608		
硬度	-0.964 [*]	-0.423	0.702	-0.015	

[†] * 表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

凝胶品质下降有关。

2.6 蛋白氧化程度与其他指标的相关性分析

由表 2 可知,总巯基含量仅与硬度呈显著负相关,证明蛋白氧化程度影响凝胶质构,但蛋白氧化程度与其他指标无显著相关性,因此蛋白氧化程度对牛肉肉糜及凝胶品质的影响较少,影响牛肉肉糜及凝胶品质变化的主要因素为捶打造成的凝胶三维网状结构的变化。

3 结论

捶打处理的样品比打浆处理的在动态频率改变过程中相位角 $\tan\delta$ 更低,在温度改变过程中储能模量 G' 更高,蒸煮损失率更低,凝胶的弹性、内聚性等质构特性更好,盐溶性蛋白质含量更高,表明捶打样品品质优于打浆样品,确证了捶打工艺可以改善凝胶的加工特性,提高凝胶品质。蛋白质的氧化程度对肉糜及凝胶的影响较少,其主要影响是通过捶打加工诱导凝胶的三维网状结构变化,进而改善凝胶的品质。但具体的结构变化与肌原纤维蛋白在这一过程中发生的变化并不清楚,有待进一步研究。不同捶打时间处理的肉糜和凝胶各项指标变化差异显著,捶打 30 min 的凝胶品质较其他处理组更好;当捶打时间>30 min 时,随着捶打时间的延长,样品的肉糜流变性质下降、蒸煮损失率上升、凝胶质构劣化,是由于过度捶打破坏了凝胶的三维网状结构,且捶打时间过长使得蛋白质氧化,两者的共同作用使得凝胶品质下降,因此合理控制捶打时间十分重要,同时也表明传统捶打工艺有一定的合理性和理论依据。

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.
- [2] 王希希,李康,黄群,等. 刺麒麟菜对鸡胸肉糜凝胶特性和流变特性的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(5): 76-80.
- [3] MAD-ALI S, MASNIYOM P, BENJAKUL S. Character-istics and properties of goat meat gels as affected by setting temperatures[J]. Food Chemistry, 2018, 268: 257-263.
- [4] MARTÍNEZ- MALDONADO M A, VELAZQUEZ G, RAMÍREZ DE LEÓN J A, et al. Effect of high pressure processing on heat-induced gelling capacity of blue crab (*Callinectes sapidus*) meat [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2020, 59: 102253.
- [5] 苏博,聂乾忠,石秀清. 复配亲水胶体对牛肉丸品质特性的影响[J]. 食品与机械, 2015, 31(2): 32-37.
- [6] AHMAD M, RITZOULIS C, PAN W, et al. Molecular interactions between gelatin and mucin: Phase behaviour, thermodynamics and rheological studies[J]. Food Hydrocolloids, 2020, 102: 105585.
- [7] JIANG Shuai, ZHAO Shen-chi, JIA Xi-wen, et al. Thermal gelling properties and structural properties of myofibrillar protein including thermo-reversible and thermo-irreversible curdlan gels[J]. Food Chemistry, 2020, 311: 126018.
- [8] FERNÁNDEZ-LÓPEZ J, LUCAS-GONZÁLEZ R, VIUDAMARTOS M, et al. Chemical and technological properties of bologna-type sausages with added black quinoa wet-milling coproducts as binder replacer[J]. Food Chemistry, 2020, 310: 125936.
- [9] 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.
- [10] QUEVEDO M, KULOZIK U, KARBSTEIN H P, et al. Kinetics of denaturation and aggregation of highly concentrated β -Lactoglobulin under defined thermomechanical treatment [J]. Journal of Food Engineering, 2020, 274: 109825.
- [11] SZERMAN N, FERRARI R, SANCHO A M, et al. Response surface methodology study on the effects of sodium chloride and sodium tripolyphosphate concentrations, pressure level and holding time on beef patties properties[J]. LWT-Food Science and Technology, 2019, 109: 93-100.

(下转第 49 页)

- Characterization and screening of non-Saccharomyces yeasts used to produce fragrant cider [J]. LWT-Food Science and Technology, 2019, 107: 191-198.
- [16] TONDINI F, LANG T, CHEN Liang, et al. Linking gene expression and oenological traits: Comparison between *Torulaspora delbrueckii* and *Saccharomyces cerevisiae* strains[J]. International Journal of Food Microbiology, 2019(294): 42-49.
- [17] MBUYANE L L, DE KOCK M, BAUER F F, et al. *Torulaspora delbrueckii* produces high levels of C-5 and C-6 polyols during wine fermentations[J]. Fems Yeast Research, 2018, 18(7): 84-88.
- [18] MARÍA L, RAYMOND E, CRISTINA R, et al. Isolation and identification of the indigenous yeast population during spontaneous fermentation of isabella (*Vitis labrusca* L.) grape must[J]. Food Microbiology, 2017, 8: 532.
- [19] FAN Guang-sen, SUN Bao-guo, XU Dai, et al. Isolation and identification of high-yield ethyl acetate-producing yeast from gujinggony Daqu and its fermentation characteristics[J]. Journal of the American Society of Brewing Chemists, 2018, 4(3): 117-124.
- [20] 巴尼特, 佩恩, 亚罗. 酵母菌的特征与鉴定手册[M]. 胡瑞卿, 译. 青岛: 青岛海洋大学出版社, 1991.
- [21] KURTZMAN P, ROBNETT J. Identification and phylogeny of ascomycetous yeasts from analysis of nuclear large subunit (26S) ribosomal DNA partial sequences[J]. Antonie van Leeuwenhoek, 1998, 73: 331-371.
- [22] 李亚东, 汪康游, 樊帅, 等. 海洋来源的 *D*-海因酶产生菌的分离及酶催化通道模拟分析[J]. 农业生物技术学报, 2016, 24(5): 729-737.
- [23] CRONIN D D, SMITH S. A simple and rapid procedure for the analysis of reducing, total and individual sugars in potatoes[J]. Potato Research, 1979, 22(2): 99-105.
- [24] DUBOIS M, GILLES K A, HAMILTON J K, et al. Colorimetric method for determination of sugars and related substances[J]. Analytical Chemistry, 1956, 28(3): 350-356.
- [25] 程雷, 李梓, 王军. 葡萄自然发酵过程中酵母菌的研究[J]. 中国食品学报, 2010, 10(2): 131-137.
- [26] OLIVEIRA I, FERREIRA V. Modulating fermentative, varietal and aging aromas of wine using non-saccharomyces yeasts in a sequential inoculation approach[J]. Microorganisms, 2019, DOI: 10.3390/microorganisms7060164.
- [27] 王鹏昊, 关统伟, 张习超, 等. 小曲中优质产酯酵母分离鉴定及其产酯条件优化[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(2): 62-67.
- [28] 王晖, 蒲叶, 李霁阳, 等. 白酒窖泥中乳酸菌分离鉴定及其发酵产挥发性风味物质比较[J]. 食品科学技术学报, 2020, 38(1): 26-35.
- [29] 李小龙, 吴群, 徐岩. 乙醇与酸度协同作用推动芝麻香型白酒固态发酵过程的微生物群落演替[J]. 微生物学通报, 2019, 46(1): 1-10.
- [30] 阳秀莲, 刘伟, 林树花, 等. 靖州杨梅果酒发酵菌种筛选、鉴定及发酵性能研究[J]. 食品与机械, 2019, 35(3): 41-47, 62.
- (上接第 27 页)
- [12] 贡汉坤, 焦云鹏. 鲟鱼下脚料蛋白质的回收及其凝胶特性研究[J]. 食品与机械, 2012, 28(5): 107-110.
- [13] 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: S98648321.
- [14] JIA Na, ZHANG Feng-xue, LIU Qian, et al. The beneficial effects of rutin on myofibrillar protein gel properties and related changes in protein conformation[J]. Food Chemistry, 2019, 301: 125206.
- [15] KANG Zhuang-li, ZOU Yu-feng, XV Xing-lian, et al. Effect of a beating process, as a means of reducing salt content in Chinese-style meatballs (kung-wan): A physicochemical and textural study[J]. Meat Science, 2014, 96(1): 147-152.
- [16] GAO Xue-qin, HAO Xiu-zhen, XIONG Guo-yuan, et al. Interaction between carrageenan/soy protein isolates and salt-soluble meat protein[J]. Food & Bioprocess Processing, 2016, 100: 47-53.
- [17] VISSCHERS R W, DE JONGH H H J. Disulphide bond formation in food protein aggregation and gelation[J]. Biotechnology Advances, 2005, 23(1): 75-80.
- [18] 袁凯, 张龙, 谷东陈, 等. 基于漂洗工艺探究白鲢鱼糜加工过程中蛋白质氧化规律[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(12): 30-36.
- [19] 计红芳, 李莎莎, 张令文, 等. 豌豆蛋白对鸡肉糜热诱导凝胶品质特性与微观结构的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(4): 74-79.
- [20] 孙皓, 徐幸莲, 王鹏. 鸡肉类 PSE 肉与正常肉流变、质构特性的比较[J]. 食品与发酵工业, 2013, 39(5): 194-199.
- [21] 薛思雯, 衣晓坤, 于小波, 等. 超高压处理僵直前肉肉对其斩拌肉糜流变特性及蛋白二级结构的影响[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(6): 77-82.
- [22] 杨玉玲, 周磊, 游远, 等. 氧化对肌原纤维蛋白热诱导凝胶质构特性及保水性的影响[J]. 中国农业科学, 2018, 51(18): 3 570-3 581.
- [23] BAO Yu-long, BOEREN S, ERTBJERG P. Myofibrillar protein oxidation affects filament charges, aggregation and water-holding[J]. Meat Science, 2018, 135: 102-108.
- [24] 张海璐, 黄翔, 杨燃, 等. 蛋白质氧化对羊肉糜流变与凝胶特性的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(8): 8-13.