

# 超低温双螺旋速冻对猪背最长肌加工品质的影响

王艺娇<sup>1</sup>, David S. Casey<sup>2</sup>, 沈婷<sup>2</sup>, 张万刚<sup>1\*</sup>

(1. 南京农业大学食品科学技术学院, 江苏省肉类生产与加工质量安全控制协同创新中心, 肉品加工与质量控制教育部重点实验室, 江苏南京 210095) (2. 皮埃西(上海)农业科技有限公司, 上海 200233)

**摘要:** 为研究超低温双螺旋速冻(Ultra-low Temperature Double Spiral Quick Freezing, UTDSQF)对原料猪肉加工品质的影响, 该研究以宰后24 h且pH值在正常范围内的猪背最长肌为研究对象, 分别采用常规空气冻结(Air-blast Freezing, AF)和超低温双螺旋速冻两种方式对猪背最长肌进行冻结, 随后在-20℃冷库中冻藏90 d后于4℃解冻, 加工制成乳化香肠, 测定两种冻结方式对其理化、质构和感官品质的影响。研究表明: 原料肉不同冻结方式对乳化肠pH值没有显著影响( $P>0.05$ ); 与AF组相比, UTDSQF组的TBARS值和蒸煮损失分别降低26.67%、31.25% ( $P<0.05$ );  $L^*$ 值和 $a^*$ 值显著升高( $P<0.05$ ), 但 $b^*$ 值显著降低( $P<0.05$ ); UTDSQF组的硬度、咀嚼性、回复性和内聚性显著升高( $P<0.05$ ), 而弹性没有显著性差异( $P>0.05$ ); 同时, UTDSQF处理原料肉显著提升了乳化肠的感官评分( $P<0.05$ )。因此超低温双螺旋速冻处理能够整体提升原料肉的加工品质。

**关键词:** 超低温双螺旋速冻; 常规空气冻结; 原料猪肉加工品质; 乳化肠

文章编号: 1673-9078(2023)02-264-271

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.2.0324

## Effect of Ultra-low Temperature Double Spiral Quick Freezing on the Processing Quality of Pork Longissimus Dorsi Muscle

WANG Yijiao<sup>1</sup>, David S. Casey<sup>2</sup>, SHEN Ting<sup>2</sup>, ZHANG Wangang<sup>1\*</sup>

(1. Key Laboratory of Meat Processing and Quality Control, Ministry of Education, Jiangsu Collaborative Innovation Center of Meat Production and Processing, Quality and Safety Control, College of Food Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

(2. PIC (Shanghai) Agricultural Science and Technology, Shanghai 200233, China)

**Abstract:** The effects of ultra-low temperature double spiral quick freezing (UTDSQF) on the processing quality of raw pork were investigated. The longissimus dorsi muscles of pigs with a pH value within the normal range at 24 h after slaughter were used as the research object. The muscle samples were subjected to UTDSQF or conventional air-blast freezing (AF). After freezing at -20℃ for 90 days, the samples were thawed at 4℃ and processed into emulsified sausages to determine the effects of both freezing methods on the physicochemical, textural, and sensory qualities. The different freezing methods of raw pork did not significantly affect the pH of emulsified sausages ( $P>0.05$ ). Compared with AF, UTDSQF reduced the TBARS value and cooking loss by respectively 26.67% and 31.25% ( $P<0.05$ ). The  $L^*$  and  $a^*$  values increased significantly ( $P<0.05$ ), but the  $b^*$  value decreased significantly ( $P<0.05$ ). Hardness, chewiness, resilience, and cohesiveness of the UTDSQF-treated sausages were significantly improved ( $P<0.05$ ), although there was no significant effect on elasticity ( $P>0.05$ ). Furthermore, the UTDSQF treatment of raw pork significantly improved the sensory score of emulsified sausages ( $P<0.05$ ). Therefore, UTDSQF can improve the overall processing quality of raw meat.

**Key words:** ultra-low temperature double spiral quick freezing; air-blast freezing; raw pork processing quality; emulsified sausage

引文格式:

王艺娇, David S. Casey, 沈婷, 等. 超低温双螺旋速冻对猪背最长肌加工品质的影响[J]. 现代食品科技, 2023, 39(2): 264-271

WANG Yijiao, David S. Casey, SHEN Ting, et al. Effect of ultra-low temperature double spiral quick freezing on the processing quality of pork longissimus dorsi muscle [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(2): 264-271

收稿日期: 2022-03-22

基金项目: 国家现代农业产业技术体系(CARS-35); 江苏现代农业产业技术体系(JATS[2021]476)

作者简介: 王艺娇(1998-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 肉品加工与质量安全控制, E-mail: 19903734569@163.com

通讯作者: 张万刚(1977-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 肉品加工与质量安全控制, E-mail: wangang.zhang@njau.edu.cn

猪肉在我国居民肉类消费中占据重要地位,但其丰富的营养物质为微生物的生长繁殖提供了适宜的条件,极易造成产品腐败变质。目前,冷冻贮藏被认为是延长食品尤其是生鲜肉及肉制品保质期最有效的方式。随着冷冻温度的不断降低,特别是在冻藏过程中,肉类中的酶活性降低,同时低温环境抑制了绝大多数微生物的生长和繁殖,进而降低了肉类内部整体的生化反应速率,从而达到保鲜的效果<sup>[1]</sup>。研究表明,冷冻肉的品质受冷冻设备、冷冻条件(温度、湿度和时间)、贮藏温度以及贮藏时间的影响<sup>[2]</sup>。传统的空气冻结是肉类工业中最常用的冷冻方法,然而其冻结效率低且能耗大,同时冻结过程中食品内部会形成大体积冰晶,不仅破坏细胞膜结构,对肌肉组织造成不可逆的机械损伤,加速蛋白质变性,冰晶的分布不均匀还会使肉类在解冻时汁液大量流失,导致肉类嫩度降低、脂肪氧化增加、蛋白质形成凝胶的能力下降等,最终造成产品品质的劣变<sup>[3,4]</sup>。

新型的冷冻方式超低温双螺旋速冻(Ultra-Low Temperature Double Spiral Quick Freezing, UTDSQF)具有冻结效率高、冻结食品种类丰富、适应性强等优点,同时,快速冷冻使产品中水分经过最大冰晶生成带的时间变短,有助于在肌原纤维的纤丝中形成更细小、分布更均匀、密度更高的冰晶,从而减小其对肌肉组织的破坏<sup>[5]</sup>。王奋芬<sup>[6]</sup>分别采用普通冰箱和双螺旋速冻机对由虾仁、鱿鱼丁等加工制成的海鲜制品进行冻结,结果表明,采用双螺旋冻结装置冻结的海鲜制品具有更优良的持水能力,且油炸过后海鲜制品凝胶强度以及感官指标等明显优于普通冰箱冻结。刘燕<sup>[7]</sup>通过对比不同冻结方式对鱼丸表面结构的影响,指出-40℃冰箱冻结时鱼丸表面的孔洞大于螺旋速冻时的孔洞,因此螺旋速冻能形成更好的鱼丸组织结构。Chu等<sup>[8]</sup>研究冰箱冻结(-20℃)、平板冻结(-30℃)、螺旋冻结(-40℃)、浸渍冻结(-40℃)和液氮冻结(-196℃)对大黄鱼冷冻贮藏(-18℃)期间品质的影响,结果表明螺旋冻结、浸渍冻结和液氮冻结在贮藏期90d的品质维持较好,但浸渍冻结使鱼肉组织水分流失过多,液氮冻结由于极低的冷冻温度引起的膨胀压力使鱼肉肌纤维断裂严重,而螺旋冻结既能维持鱼肉保水性,又能够保持其较为完整的肌纤维结构,是一种在冷冻贮藏过程中保持大黄鱼品质的有效方法。目前,关于超低温双螺旋速冻装置的前期研究主要集中在鱼片、海鲜等水产品,研究结果显示其能够明显提升冻结速率并较大程度维持产品品质,而关于超低温双螺旋速冻对猪肉冻结后的加工品质研究还未见报道。因此,本试验将超低温双螺旋速冻技术应用在乳

化肠原料肉的加工中,以超低温双螺旋速冻和常规空气冻结后的猪背最长肌为原料加工制成乳化肠,研究两种冻结方式对其食用品质以及脂肪氧化情况的影响,为超低温双螺旋速冻技术在猪肉制品中的应用提供理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

试验材料选用12头活体重接近(115±10)kg的6月龄三元杂交猪的背最长肌,所取样品经过严格的屠宰程序,取样地为江苏淮安苏食肉品有限公司。常规屠宰程序包括致晕、放血、脱毛、掏膛、预冷排酸(胴体在0~4℃冷库中放置24h)、分割。

2-巯代巴比妥酸(Thiobarbituric acid, TBA)、丙二醛(Malondialdehyde, MDA)、乙二胺四乙酸(Ethylene Diamine Tetraacetic acid, EDTA)均购于国药集团化学试剂有限公司;三氯乙酸(Trichloroacetic Acid, TCA)购于南京迈博生物科技有限公司。

### 1.2 主要仪器设备

SLD308118-500螺旋速冻装置,南通四方冷链装备股份有限公司;RC-4温度记录仪,江苏精创股份有限公司;DZ-1000滚动真空包装机,山东小康机械有限公司;AUY120型电子分析天平,日本SHIMADZU公司;Testo 205-PH1便携式pH计,德国Testo Fisher公司;CR-400便携式色差仪,日本Konica Minolta公司;TA-XT2i质构仪,英国Stable Micro System公司;TW20通用水浴锅,德国JULABO公司;BZBI-15斩拌机,嘉兴艾博不锈钢机械有限公司。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 样品处理

选取12条宰后24h且pH值在5.55~5.65之间的猪背最长肌,剔除可见的脂肪和筋膜,分割成12×10×4cm且重量约为400g的长方体,真空包装后随机分为两组。第一组样品放入超低温双螺旋速冻装置,设定库内温度-40℃,运行时间为2h;第二组样品直接放入-20℃冷库中开始冻结,监测其中心温度至(-20±1)℃时完成冻结。随后将两组样品放入-20℃环境下贮藏90d,贮藏期满后于4℃环境中解冻,监测样品中心温度至4℃时完成解冻,用于后续乳化肠的制作。

#### 1.3.2 乳化肠的制作

乳化肠的基本配方:经AF、UTDSQF冻结的猪

背最长肌各 700 g, 分别加入下述配料: 猪背膘 300 g, 盐 18.2 g, 三聚磷酸盐 6.5 g, 白胡椒粉 5.2 g, 味精 5.2 g, 冰水 300 g。

具体操作过程如下: 选取筛孔直径 0.4 cm 的绞肉机分别将瘦肉和猪背膘绞碎, 按照瘦肉: 肥肉为 3:1 的比例称取原料肉, 并严格按照上述配方比例称取配料, 备用。将瘦肉均匀放入斩拌机后, 向其中分散倒入调料和 1/3 冰水, 设置斩拌机刀速为 1 400 r/min, 锅速为 10 r/min, 斩拌时间为 90 s。斩拌结束后继续分散加入背膘肉和 1/3 冰水斩拌 90 s, 最后倒入剩下的 1/3 冰水再斩拌 90 s。斩拌完成后进行灌肠, 称重并放入 80 ℃ 水浴锅内水浴 40 min, 待乳化肠冷却至室温后进行各项品质和氧化指标的测定。

### 1.3.3 pH 值的测定

参考 Chen 等<sup>[9]</sup>的方法, 在 4 ℃ 环境下将便携式 pH 计直接插入乳化肠中进行测量, 电极插入深度为 1 cm, 测量前用 pH 值 4.01 和 pH 值 7.01 标准缓冲液校准便携式 pH 计。每根乳化肠取 3 个不同区域进行测定, 取平均值进行统计分析。

### 1.3.4 TBARS 值的测定

根据 Zhang<sup>[10]</sup>的方法并略作改动。准确称取 1 g 乳化肠样品放入 80 mL 离心管中, 加入 7.5% (含有 0.1% EDTA) 的 TCA 溶液 5 mL 后匀浆, 控制低温匀浆环境 (冰浴) 匀浆 3 次 (转速为 8 000 r/min, 匀浆时间 10 s, 间隔时间 5 s)。将匀浆液在 4 ℃ 下以 12 000 r/min 的转速离心 5 min。取上清液 2 mL 与 2 mL 0.02 mol/L 的 TBA 混合, 涡旋混匀后置于 95 ℃ 水浴环境中反应 30 min。待冷却至室温, 使用酶标仪在波长为 532 nm 条件下测量溶液吸光度, 同时以 2 mL TCA 溶液和 2 mL TBA 溶液的混合液作为空白对照。以不同浓度梯度的 1,1,3,3-四乙氧基丙烷标准溶液绘制标准曲线。以 1 kg 肉样中所含丙二醛的量 (mg/kg) 来表征样品硫代巴比妥酸值 (Thiobarbituric Acid Reactive Substances, TBARS)。

### 1.3.5 色差的测定

参考 Guo 等<sup>[11]</sup>的方法, 乳化肠的色泽使用 CR-400 色差仪进行测定。待测样品需使用双面切刀沿其横截面切成高 1 cm 的圆柱体, 并在空气中暴露 10 min。色差仪在使用前需用标准白板校准 ( $Y=85.5, x=0.3173, y=0.3246$ ), 校准结束后对乳化肠样品进行随机区域测定 (光源为 D65, 测量直径范围为 8 mm, 视角 2°), 其中  $L^*$  值代表亮度、 $a^*$  值代表红度、 $b^*$  值代表黄度。每个乳化肠样品测定 3 个点, 记录试验数据, 以平均

值作为肉色测定结果。

### 1.3.6 蒸煮损失的测定

乳化肠在进行灌装时控制每根长度为 10 cm 左右, 重量约为 45 g, 同时灌装时每根乳化肠之间间隔一定距离以保证乳化肠完整, 无切面。灌装完成后记录每根乳化肠的质量, 并将其单独放入蒸煮袋中, 于 80 ℃ 水浴锅中水浴 40 min 后冷却至室温, 擦去每根乳化肠表面水分, 再次称重记录其质量。蒸煮损失由乳化肠蒸煮前后的质量差占蒸煮前质量的百分比来表示, 公式如下:

$$A = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

$A$ ——蒸煮损失, %;

$M_1$ ——蒸煮前乳化肠的质量, g;

$M_2$ ——蒸煮后乳化肠的质量, g。

### 1.3.7 质构的测定

参考 Wu 等<sup>[12]</sup>的方法并稍作修改。将乳化肠剥除肠衣, 用 1 cm 厚双面切刀和圆柱形取样器制成高 1 cm、直径为 1 cm 的圆柱体, 选取硬度 (Hardness)、弹性 (Springiness)、咀嚼性 (Chewiness)、回复性 (Resilience) 和内聚性 (Cohesiveness) 5 个质构特性指标来表征乳化肠的质构特性。选取 P 50 探头, 按压时应将肉样放置于探头正下方。测定参数如表 1 所示, 运用仪器中自带软件对测定完成的数据进行分析。

表 1 质地剖面分析参数设置

Table 1 Parameter setting for texture profile analysis

项目	参数
探头类型	P50
测前速度/(mm/s)	5
测中速度/(mm/s)	1
测后速度/(mm/s)	5
压缩百分比/%	50
两次下压间隔时间/s	5

### 1.3.8 感官评定

参考王锐<sup>[13]</sup>的感官评价标准并加以修改, 评价标准分为外观、口感、风味、组织结构、整体可接受度五个方面, 每项 0~20 分, 总分 100 分, 具体评价标准表如表 2。将乳化肠切成高约 1 cm 的圆柱体, 将样品密码编号并顺序随机化, 由 10 位经过事先培训的肉品专业研究人员组成感官评定小组, 对乳化肠各感官指标打分。

表 2 乳化肠感官评定标准

Table 2 Sensory evaluation criteria for the emulsified sausage

指标	描述	分数/分
外观 (20分)	肠衣干燥, 与肉馅贴合紧密, 不易撕裂, 表面干净有光泽, 无发软且有韧性	16~20
	肠衣稍有湿润或发黏, 稍易与肉馅分离, 但不易撕裂, 表面略有平整, 稍有发软和韧性不足的现象	6~15
	肠衣湿润或发黏, 易与肉馅分离, 易撕裂, 表面不平整, 发软且无韧性	1~5
口感 (20分)	口感爽滑, 有弹性有嚼劲	16~20
	口感较嫩, 弹性和嚼劲较弱	6~15
	口感粗糙, 有刮喉感	1~5
风味 (20分)	有乳化肠独特香味, 无不良气味, 无酸味	16~20
	乳化肠香味稍弱, 伴有些许肉馅酸味	6~15
	乳化肠没有肉香味, 肉馅酸味重	1~5
组织结构 (20分)	切面平整, 无气孔或气孔少, 无裂痕	16~20
	切面较平整, 气孔稍多, 有些许裂痕, 有软化现象	6~15
	切面不平整, 气孔大且多, 有明显裂痕, 周缘软化严重	1~5
整体 可接受度 (20分)	满意	16~20
	一般	6~15
	不满意	1~5

## 1.4 统计方法

所有试验重复 6 次, 所得数据均以平均值±标准差 (Mean±SD) 表示, 采用 SAS 9.1.3 对数据进行统计分析, 并使用 *t* 检验比较两组间差异, 上述各统计检验性差异均以  $P < 0.05$  作为显著水平, 作图用 OriginPro 2021。

## 2 结果与讨论

### 2.1 原料猪肉不同冻结方式对乳化肠 pH 值的影响

表 3 原料猪肉不同冻结方式对乳化肠 pH 值的影响

Table 3 Effects of different freezing methods of rump pork on the pH of the emulsified sausage

指标	冻结方式	
	UTDSQF	AF
pH 值	6.28±0.01 <sup>A</sup>	6.29±0.02 <sup>A</sup>

注: 每一行相同大写字母表示差异不显著 ( $P > 0.05$ )。

pH 值通常与肉制品肌原纤维结构中电荷的稳定、酶活性以及蛋白质的氧化程度有关<sup>[14]</sup>。一般来说, 肉类冻结后 pH 值的变化主要由氨、有机硫化物和胺的含量决定, 这些物质是在微生物和内源性酶降解肉蛋白后产生的<sup>[15]</sup>。如表 3 所示, AF 组和 UTDSQF 组的 pH 值分别为 6.29 和 6.28, 原料肉不同冻结方式对乳化肠的 pH 值无显著影响 ( $P > 0.05$ )。这可能是因

为低温环境中, 各种微生物和内源酶活性得到有效抑制, 并且解冻过程中电解质并未出现大量流失, 同时本试验冻结时间较短, 以上因素导致 pH 值未发生改变<sup>[16]</sup>。惠庆玲等<sup>[17]</sup>研究表明-35 °C 浸渍冻结和空气冻结对解冻后猪肉样品的 pH 值影响不显著, 这与本研究结果相一致。

### 2.2 原料猪肉不同冻结方式对乳化肠脂肪氧化的影响

通常采用 TBARS 值衡量肉制品中的脂肪氧化情况。研究表明, 猪肉中含有大量的不饱和脂肪酸, 即使在温度较低的环境中也会发生氧化反应<sup>[18,19]</sup>。氧化不仅会带来腐臭、油腻、辛辣和其他不良气味, 影响产品感官品质, 还会产生大量酮类和醛类物质危害人类身体健康<sup>[20,21]</sup>。由图 1 可知, UTDSQF 组的 TBARS 值为 0.11 mg/kg, 显著低于 AF 组的 0.15 mg/kg ( $P < 0.05$ )。冷冻过程中肌肉内的水分逐渐结晶, 脂肪表面水膜消失, 使其暴露在空气中发生氧化反应。在之后的贮藏过程中, 小体积冰晶表面的水分子因较高的自由能而不能被牢固地束缚, 因此, 这部分水分子会扩散至大冰晶表面, 即发生重结晶现象<sup>[22,23]</sup>, 小冰晶逐渐消失而大冰晶越来越大, 肌肉组织开始出现细微孔洞并且肌原纤维间出现间隙<sup>[19]</sup>, UTDSQF 组脂肪氧化程度低于 AF 组, 这可能是因为 UTDSQF 组的冻结温度低且冻结效率更高<sup>[24]</sup>, 其冰晶体积以及肌原纤维间隙小, 肌肉暴露在空气中的面积也更小。同时,

Leygonie 等<sup>[18]</sup>研究表明,在冻结过程中,一部分水分冻结为冰晶,还有一部分未被冻结的水分在后续冻藏过程中仍会发生生化反应,这部分水分可能会在解冻过程中引起二次氧化,而未被冻结水分的多少与冻结温度成正比。综上所述,UTDSQF 处理能够显著延缓乳化肠中脂肪的氧化情况。

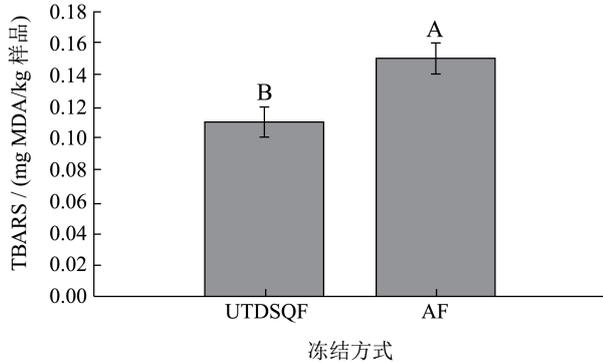


图1 原料猪肉不同冻结方式对乳化肠 TBARS 值的影响

Fig.1 Effects of different freezing methods of raw pork on the TBARS values of the emulsified sausage

注: 图中不同大写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。图2同。

### 2.3 原料猪肉不同冻结方式对乳化肠色差的影响

肉类的色泽是消费者鉴别肉制品品质最直观的指标之一。如表4所示,UTDSQF组的 $L^*$ 值(78.77)和 $a^*$ 值(1.58)显著高于AF组的78.26和0.74 ( $P < 0.05$ ),而 $b^*$ 值(9.60)显著低于AF组(11.35) ( $P < 0.05$ )。AF组 $L^*$ 值较低,这可能是由于原料肉中肌原纤维蛋白冷冻变性程度高,使加工制成的乳化肠中蛋白质凝胶网络结构疏松,当入射光线穿过肌原纤维后即发生光散射现象,导致反射光减少,亮度值降低<sup>[25]</sup>。程玉平<sup>[26]</sup>研究表明AF组的 $L^*$ 值在贮藏61d和91d时显著降低,而浸渍式冻结处理能够明显抑制调理猪肉饼 $L^*$ 值的下降,表明冷冻速率快可以较好维持产品色泽。与UTDSQF组相比,AF组的 $a^*$ 值较低, $b^*$ 值较高,这可能是由于较高的冻结温度加快了肌红蛋白发生氧化,导致褐色的高铁肌红蛋白大量堆积,红度值降低<sup>[27-29]</sup>。同时,脂肪氧化程度也与产品色泽密切相关,氧化形成的羰基等化合物和自由基会与蛋白质中的氨基发生反应形成褐色物质<sup>[30,31]</sup>,使得 $b^*$ 值上升 $a^*$ 值下降,这在很大程度上影响了色泽的稳定性。Wang 等<sup>[32]</sup>研究表明,调理牛排经浸渍冻结处理后,其 $L^*$ 和 $a^*$ 值均显著高于平板冻结以及冰柜冻结,这与

本文的研究结果一致。因此,UTDSQF 可以更好地保持猪肉产品的色泽。

表4 原料猪肉不同冻结方式对乳化肠色差的影响

Table 4 Effects of different freezing methods of raw pork on the color of the emulsified sausage

指标	冻结方式	
	UTDSQF	AF
$L^*$	78.77±0.29 <sup>A</sup>	78.26±0.33 <sup>B</sup>
$a^*$	1.58±0.08 <sup>A</sup>	0.74±0.08 <sup>B</sup>
$b^*$	9.60±0.14 <sup>B</sup>	11.35±0.23 <sup>A</sup>

注: 每一行不同大写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

### 2.4 原料猪肉不同冻结方式对乳化肠蒸煮损失的影响

冷冻会改变肉类组织中水分的含量和分布,而保水性是衡量其品质好坏的重要指标之一<sup>[33,34]</sup>。其中,蒸煮损失是测定保水性的一种方法,它是指肉制品在煮熟前和煮熟后的质量差,可以反应肉制品在蒸煮过程中保持水分的能力<sup>[17]</sup>。如图2所示,UTDSQF组的蒸煮损失为2.31%,显著低于AF组的3.36% ( $P < 0.05$ )。本实验室前期研究结果表明相对AF而言,UTDSQF处理能显著抑制肉类蛋白的冷冻变性。而在肉糜制品中,蛋白质凝胶的保水性与其冷冻变性程度密切相关。AF组的蒸煮损失高于UTDSQF组,可能是因为AF组蛋白质冷冻变性程度较高,使得乳化肠中蛋白质-水的凝胶网络被破坏<sup>[35]</sup>,肌肉蛋白凝胶网络出现孔洞甚至断裂,蛋白质结合水的能力下降,导致保水性降低<sup>[36]</sup>,冻藏温度越高,蛋白质冷冻变性程度越高。因此,UTDSQF处理可以较好维持猪肉的保水性,提高乳化肠的食用品质。

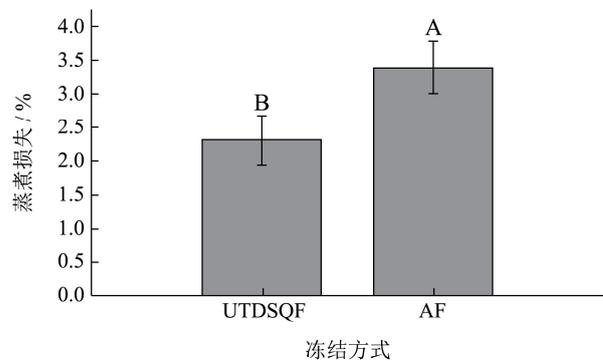


图2 原料猪肉不同冻结方式对乳化肠蒸煮损失的影响

Fig.2 Effects of different freezing methods of raw pork on the cooking loss of the emulsified sausage

## 2.5 原料猪肉不同冻结方式对乳化肠质构的影响

表5 原料猪肉不同冻结方式对乳化肠质构特性的影响

Table 5 Effects of different freezing methods of raw pork on the textural characteristics of the emulsified sausage

指标	冻结方式	
	UTDSQF	AF
硬度/g	10 197.70±431.00 <sup>A</sup>	9 566.32±369.66 <sup>B</sup>
弹性	0.81±0.03 <sup>A</sup>	0.79±0.04 <sup>A</sup>
咀嚼性/g	2 378.52±166.21 <sup>A</sup>	1 936.13±177.53 <sup>B</sup>
回复性	0.08±0.00 <sup>A</sup>	0.07±0.00 <sup>B</sup>
内聚性	0.29±0.01 <sup>A</sup>	0.25±0.01 <sup>B</sup>

注：每一行不同大写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )；相同大写字母表示差异不显著 ( $P > 0.05$ )。

质构是肉类感官品质的量化体现。现有研究表明质构特性劣变的程度受冻结速率的影响<sup>[37-40]</sup>，引起肉类质构特性劣变的因素分为外在和内在两部分，外在因素可能是冰晶形态对肌肉组织造成的不可逆损伤，而内在因素可能是蛋白质发生了降解或聚集现象。硬度是指食物进入口腔内因受到牙齿挤压而导致其形变的程度，而咀嚼性可以反映食物在咀嚼过程中消耗能量的大小，它直接受肉制品硬度大小的影响<sup>[37]</sup>。如表5所示，AF组的硬度和咀嚼性显著低于UTDSQF组 ( $P < 0.05$ )。这可能是与UTDSQF组相比，AF组的肌肉组织被冰晶破坏的程度较深，肌原纤维分离<sup>[41]</sup>，同时，蛋白质空间结构和凝胶三维网状结构破坏较大。弹性是指肉制品在受到外界挤压时产生的抵抗力，而回复性用来表征肉制品因受到外部压力后恢复到原来状态的能力。由结果可知，两组之间的弹性无显著性差异 ( $P > 0.05$ )，而AF组的回复性为0.07，显著低于UTDSQF组的0.08 ( $P < 0.05$ )，这可能是因为UTDSQF组的乳化肠内部蛋白质及其水化层形成的网络结构较为致密，而AF组的乳化肠失水过多，使得细胞发生收缩现象，网络结构被破坏<sup>[40]</sup>。研究表明，肉质的硬度值越大，发生形变恢复的速度越快，回复性越大。UTDSQF组肌原纤维被破坏的程度小，因此受到压力后恢复到原来状态的程度高<sup>[42]</sup>。内聚性是指肉制品内部收缩力的大小，与细胞间的结合力成正比<sup>[43]</sup>。UTDSQF组的内聚性(0.29)显著高于AF组的0.25 ( $P < 0.05$ )，这说明UTDSQF组细胞间结合能力较强。夏杏洲等<sup>[24]</sup>研究表明，相比螺旋速冻处理并冻藏90 d的军曹鱼片，冰柜冻结样品的硬度低6.2%、咀嚼性低6.7%、回复性低13.2%，这表明经螺旋速冻

的样品有更好的质构特性，引起该结果的原因可能是鱼肉蛋白质变性程度较低。因此，与AF相比，UTDSQF处理可以显著提升乳化肠的质构特性。

## 2.6 原料猪肉不同冻结方式对乳化肠感官评分的影响

由表6和图3可知UTDSQF组在口感、风味、组织状态、整体可接受度方面的得分均显著高于AF组 ( $P < 0.05$ )，但外观没有显著性差异 ( $P > 0.05$ )。在口感方面，UTDSQF组乳化肠多汁且富有韧性，而AF组汁水少且存在粗糙感，这与质构中回复性和内聚性结果相一致。通过乳化肠切面观察组织状态，UTDSQF组切面平整光滑，气孔少且没有裂痕。在风味方面，UTDSQF组乳化肠肉香浓郁，没有脂肪氧化产生的不良气味。感官评定小组成员对UTDSQF组整体可接受度为“满意”，而AF组为“一般”。而在外观方面，虽然不同冻结方式对乳化肠色泽的变化有一定的影响，但所产生的视觉差异在可以接受的范围之内，因此感官评分没有显著性差异。综上所述，UTDSQF组乳化肠具有更高的食用品质。

表6 原料猪肉不同冻结方式对乳化肠感官评分的影响

Table 6 Effects of different freezing methods of raw pork on the sensory evaluation of the emulsified sausage

指标	冻结方式	
	UTDSQF	AF
外观	15.90±1.60 <sup>A</sup>	15.40±1.26 <sup>A</sup>
口感	15.20±1.32 <sup>A</sup>	12.40±1.17 <sup>B</sup>
风味	15.40±1.07 <sup>A</sup>	13.60±1.64 <sup>B</sup>
组织状态	16.60±1.35 <sup>A</sup>	13.20±1.81 <sup>B</sup>
整体可接受度	16.10±0.88 <sup>A</sup>	13.40±1.78 <sup>B</sup>

注：每一行不同大写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )；相同大写字母表示差异不显著 ( $P > 0.05$ )。

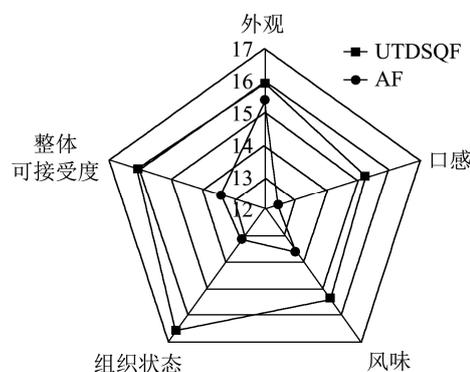


图3 原料肉不同冻结方式对乳化肠感官评分雷达图

Fig.3 Radarchart on sensory score of the emulsified sausage by different freezing methods of raw pork

### 3 结论

本试验将猪背最长肌分别经过 UTDSQF 和 AF 冷冻处理后冻藏 90 d, 取出解冻后加工成乳化肠, 研究两种冻结方式对猪肉加工品质的影响。结果表明与 AF 组相比, UTDSQF 组能够有效抑制乳化肠脂肪氧化情况, 缓解产品色差和质构特性的劣变, 较好地维持了其保水性且食用品质更佳, 但对乳化肠的 pH 值没有显著影响。综合以上结果, 与传统冷冻方式相比, 原料猪肉经超低温双螺旋速冻处理可以提高其加工品质, 显著改善乳化肠的整体可接受度。

### 参考文献

- [1] 文静,梁显菊.食品的冻结及解冻技术研究进展[J].肉类研究,2008,7:76-80
- [2] Tolstorebrov I, Eikevik T M, Bantle M. Effect of low and ultra-low temperature applications during freezing and frozen storage on quality parameters for fish [J]. International Journal of Refrigeration, 2016, 63: 37-47
- [3] Sun Q, Sun F, Xia X, et al. The comparison of ultrasound-assisted immersion freezing, air freezing and immersion freezing on the muscle quality and physicochemical properties of common carp (*Cyprinus carpio*) during freezing storage [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2019, 51: 281-291
- [4] Orłowska M, Havet M, Le-Bail A. Controlled ice nucleation under high voltage DC electrostatic field conditions [J]. Food Research International, 2009, 42(7): 879-884
- [5] 陈聪,杨大章,谢晶.速冻食品的冰晶形态及辅助冻结方法研究进展[J].食品与机械,2019,35(8):220-225
- [6] 王奋芬.仿生海洋食品加工工艺的研究[D].舟山:浙江海洋学院,2013
- [7] 刘燕.液氮沉浸式冻结对鱼丸品质的影响[D].郑州:河南农业大学,2017
- [8] Chu Y, Cheng H, Yu H, et al. Quality enhancement of large yellow croaker (*Pseudosciaenacrocea*) during frozen (-18 °C) storage by spiral freezing [J]. Cyta-Journal of Food, 2021, 19(1): 710-720
- [9] Chen L, Zhou G, Zhang W. Effects of high oxygen packaging on tenderness and water holding capacity of pork through protein oxidation [J]. Food and Bioprocess Technology, 2015, 8(11): 2287-2297
- [10] Zhang W, Xiao S, Lee E J, et al. Consumption of oxidized oil increases oxidative stress in broilers and affects the quality of breast meat [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2011, 59(3): 969-974
- [11] Guo Y, Huang J, Sun X, et al. Effect of normal and modified atmosphere packaging on shelf life of roast chicken meat [J]. Journal of Food Safety, 2018, 38(5): e12493
- [12] Wu J, Guan R, Huang H, et al. Effect of catechin liposomes on the nitrosamines and quality of traditional Chinese bacon [J]. Food & Function, 2019, 10(2): 625-634
- [13] 王锐.鸡皮复配凝胶制备及其在乳化肠中的应用研究[D].成都:成都大学,2020
- [14] 陈军,赵立,郑春华.前处理对 4 °C 贮藏条件下鲢鱼质构的影响[J].食品研究与开发,2013,34(6):108-110
- [15] Muela E, Sanudo A, Campo M, et al. Effect of freezing method and frozen storage duration on instrumental quality of lamb throughout display [J]. Meat Science, 2010, 84(4): 662-669
- [16] Zhang M, Niu H, Chen Q, et al. Influence of ultrasound-assisted immersion freezing on the freezing rate and quality of porcine *longissimus* muscles [J]. Meat Science, 2017, 136: 1-8
- [17] 惠庆玲,邹同华,宋睿琪,等.不同冷冻方式对真空解冻猪肉品质的影响[J].食品与发酵工业,2020,46(24):115-120
- [18] Leygonie C, Britz T J, Hoffman L C. Impact of freezing and thawing on the quality of meat: Review [J]. Meat Science, 2012, 91(2): 93-98
- [19] 杜宇凡,姜晴晴,施文正,等.冷冻水产品脂肪和蛋白质氧化及其控制措施研究进展[J].食品工业科技,2022,43(6):1-11
- [20] Rivas-Canedo A, Juez-Ojeda C, Nunez M, et al. Effects of high-pressure processing on the volatile compounds of sliced cooked pork shoulder during refrigerated storage [J]. Food Chemistry, 2011, 124(3): 749-758
- [21] 李媛媛,韩齐,牛海力,等.高静压加工对肉及肉制品脂肪氧化的影响[J].食品工业,2015,36(12):227-231
- [22] Ndoye F T, Alvarez G. Characterization of ice recrystallization in ice cream during storage using the focused beam reflectance measurement [J]. Journal of Food Engineering, 2015, 148(3): 24-34
- [23] 李苑,王丽平,李钰金,等.水产品冻结贮藏中冰晶的形成及控制研究进展[J].食品科学,2016,37(19):277-282
- [24] 夏杏洲,洪鹏志,钟灿桦,等.不同冻结速率对军曹鱼片品质影响的研究[J].广东海洋大学学报,2010,30(3):67-72
- [25] Farouk M M, Price J F. The effect of post-exsanguination infusion on the composition, exudation, color and post-mortem metabolic changes in lamb [J]. Meat Science, 1994, 38(3): 477-496
- [26] 程玉平.浸渍式冷冻对猪背最长肌品质及其加工特性的影

- 响研究[D].南京:南京农业大学,2017
- [27] Holman B W B, Coombs C E O, Morris S, et al. Effect of long term chilled (up to 5 weeks) then frozen (up to 12 months) storage at two different sub-zero holding temperatures on beef: 1. Meat quality and microbial loads [J]. *Meat Science*, 2017, 133: 133-142
- [28] Medic H, DjurkinKusec I, Pleadin J, et al. The impact of frozen storage duration on physical, chemical and microbiological properties of pork [J]. *Meat Science*, 2018, 140: 119-127
- [29] 程述震,王志东,张春晖,等.肉及肉制品中蛋白氧化的研究进展[J].*食品工业*,2017,38(1):230-234
- [30] 胡新.不同冻结、解冻方式对猪肉品质的影响[D].南京:南京农业大学,2017
- [31] 邹志武.冷藏因素对肉品质量的影响[J].*肉类工业*,1999,5: 27-29
- [32] Wang Y, Wang X, Wang Z, et al. Effects of different freezing methods on the quality of conditioned beef steaks during storage [J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2020, 44(7): e14496
- [33] 余小颖.冷冻和解冻工艺对猪肉保水性和组织结构的影响研究[D].南京:南京农业大学,2007
- [34] 甄少波.待宰对猪应激及冷却肉品质影响机理研究[D].北京:中国农业大学,2013
- [35] 孙金,陈坤朋,夏强,等.食用菌对鸭肉乳化肠冷藏过程中理化品质与安全特性的影响[J].*食品工业科技*,2021,42(22): 329-335
- [36] 夏秀芳,李芳菲,田佳艺,等.低温冻藏对肌原纤维蛋白凝胶特性的影响[J].*中国食品学报*,2019,19(1):163-170
- [37] Barraza FAA, Leon RAQ, Alvarez PXL. Kinetics of protein and textural changes in Atlantic salmon under frozen storage [J]. *Food Chemistry*, 2015, 182: 120-127
- [38] 廖媛媛,欧昌荣,汤海青,等.三种冻结方式对大黄鱼品质的影响[J].*现代食品科技*,2014,30(7):218-223,186
- [39] 宋敏,许艳顺,夏文水,等.冻结方式对鲷鱼片品质的影响[J].*食品科技*,2017,42(8):154-159
- [40] Badii F, Howell N K. Changes in the texture and structure of cod and haddock fillets during frozen storage [J]. *Food Hydrocolloids*, 2002, 16(4): 313-319
- [41] 贾胜男.骨架蛋白降解对冷鲜草鱼质构影响的研究[D].无锡:江南大学,2019
- [42] Lin W, Zeng Q, Zhu Z. Different changes in mastication between crisp grass carp (*Ctenopharyngodonidellus C. et V*) and grass carp (*Ctenopharyngodonidellus*) after heating: The relationship between texture and ultrastructure in muscle tissue [J]. *Food Research International*, 2009, 42(2): 271-278
- [43] 刘宏影.超声波辅助冷冻与低温速冻对海鲈鱼冰晶形成及品质特性的影响[D].锦州:渤海大学,2020