

## 常规冷冻冻藏对猪肉保水性和组织结构的影响

余小领<sup>1</sup>, 李学斌<sup>3</sup>, 赵良<sup>1</sup>, 田孟超<sup>4</sup>, 马汉军<sup>1</sup>, 徐幸莲<sup>2</sup>, 周光宏<sup>2\*</sup>

(1. 河南科技学院食品学院, 新乡 453003; 2. 南京农业大学食品科技学院, 教育部肉品加工和质量控制重点实验室, 南京 210095; 3. 河南科技学院动物科学学院, 新乡 453003; 4. 中原工学院纺织学院, 郑州 450007)

**摘要:** 调查了在生产中常规冷冻工艺条件下冻结的肉块, 经-18℃冷库冻藏一定时间之后, 在固定解冻条件下解冻后, 肉的保水性、蛋白溶解度和组织结构的变化规律。结果表明: 随着冻藏时间的延长, 冷冻猪肉的保水性逐渐降低, 主要表现为: 解冻汁液流失率、蒸煮损失率和加压失水率等逐渐升高。肉样的蛋白溶解度逐渐降低, 主要是全蛋白和肌原纤维蛋白的溶解度降低。随着冻藏时间的延长, 冰晶在冻结肉样中逐渐长大, 导致肌束受压聚集。这可能是肉的保水性降低的一个重要原因。冻藏1个月对于肉样的各种品质特性影响不大, 2个月后指标的变化比较明显, 5个月后指标的变化非常明显。

**关键词:** 冷冻, 冻藏, 组织结构, 猪肉, 保水性

**中图分类号:** TS251.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-6819(2008)-12-0264-05

余小领, 李学斌, 赵良, 等. 常规冷冻冻藏对猪肉保水性和组织结构的影响[J]. 农业工程学报, 2008, 24(12): 264-268.

Yu Xiaoling, Li Xuebin, Zhao Liang, et al. Effects of conventional freezing processing and frozen storage on pork water-holding capacity and structure[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(12): 264-268.(in Chinese with English abstract)

## 0 引言

冷冻畜禽肉在现代肉及肉制品加工工业中起着很重要的作用, 是国家储备和调节肉食品市场的重要手段之一, 也是肉类产品在进出口贸易和国内地区间流通的主要产品形态。当前中国冷冻肉品生产中存在汁液流失严重等产品质量问题, 有的汁液流失高达10%, 甚至更高<sup>[1]</sup>, 严重影响了食品加工企业的效益和消费者的健康。因此搞清楚产生这种状况的原因, 对提高中国冻肉制品的质量, 为国家宏观管理和企业制定科学的生产规程和产品标准等, 都将会具有重要的意义。

目前关于冷冻或者冻藏对肉的品质影响方面的研究甚多<sup>[2-15]</sup>, 但是大多关注的是冷冻速率<sup>[4-6]</sup>、冷冻温度<sup>[3,8]</sup>、新的冷冻方法<sup>[7]</sup>等, 也有关于冻藏对肉的品质影响方面的研究<sup>[5,10-14]</sup>, 但多数是关于牛肉方面的研究, 对猪肉的品质影响方面的研究极少。且关于常规生产条件下的冷冻冻藏对于猪肉品质的影响的系统研究未见报道。

本试验的目的是要弄清常规的冷冻工艺条件下冻结的肉块, 在-18℃冷库中冻藏一定时间之后, 在固定解冻条件下解冻后肉的保水性、蛋白溶解度和组织结构的变化规律, 为在实际生产中合理控制冷冻肉的质量提供技术依据。

收稿日期: 2008-01-09 修订日期: 2008-10-27

基金项目: 十一五国家支撑计划项目(2006BAD05A03); 江苏省成果转化专项基金资助项目(BA2005009); 河南科技学院博士启动基金

作者简介: 余小领(1973-), 女, 河南省修武县人, 副教授, 博士, 主要研究方向: 肉品质量控制。河南省新乡市 河南科技学院食品学院, 453003。

Email: yuxiaoling73@yahoo.com.cn

\*通讯作者: 周光宏(1960-), 教授, 博士生导师, 主要研究方向: 肉品质量控制与加工。南京 南京农业大学食品学院, 210095。

Email: Ghzhou@njau.edu.cn

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料和处理方法

选择在同一饲养条件下, 活质量(97±5) kg的同品种杂交猪(约克夏×长白猪×淮南猪)12头, 按常规屠宰工艺屠宰, 在屠宰后45 min之内从胴体上将整条背最长肌分割下来作为试验材料(试验材料来源于江苏省食品公司屠宰厂), 分割时做好标记。

将来源于同一个体的2条背最长肌在生产车间内(室温, 没有调控措施)分割成大小形状相近, 质量约为(100±5) g的小肉块。按照试验设计要求随机分配编号(表1), 且使每一个体都均匀分布到每批取样中。样品编号后, 做好标记, 放置于0~4℃冷库中预冷, 约在宰后24 h左右送入速冻库冻结(库温为-30℃, 鼓风), 冻结24 h后迅速转入-18℃冷库中冻藏。

表1 冻藏试验设计表  
Table 1 Experimental design for frozen storage

取样时间 /月	样品编号	取样时间 /月	样品编号
0	P0-1, P0-2, …… P0-12	4	P4-1, P4-2, …… P4-12
1	P1-1, P1-2, …… P1-12	5	P5-1, P5-2, …… P5-12
2	P2-1, P2-2, …… P2-12	6	P6-1, P6-2, …… P6-12
3	P3-1, P3-2, …… P3-12	7	P7-1, P7-2, …… P7-12

注: Pn-m, 其中Pn表示在冻藏过程中取样的批次, 共8批, n的值分别为0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7; 其中0表示冻结结束后不经过冻藏, 直接进行解冻处理; 1~7分别表示经过1~7个月的冻藏, 然后再进行解冻处理; m表示不同的动物个体, 共12个, 其值分别为1, 2, 3, …… 12。

### 1.2 指标测定方法

#### 1.2.1 解冻汁液流失率

样品分别在解冻前(W<sub>1</sub>)和解冻后(W<sub>2</sub>)称质量,

然后按照公式（1）计算解冻汁液流失率  $X_t$ 。

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

式中  $X_t$ ——解冻汁液流失率，%； $W_1$ ——解冻前样品质量，g； $W_2$ ——解冻后样品质量，g。

### 1.2.2 pH 值的测定

采用经过标准化的 pH 计（Hanna211, Hanna Co. Ltd, Italy）进行测定。将 5 g 肉样剪碎，加入 45 mL 超纯水摇匀后，将电极直接插入其中，待稳定后读数。每个样品重复测定 3 次，取平均值。

### 1.2.3 加压失水率

采用经 Farouk（2003）<sup>[2]</sup> 改进的加压滤纸法。测定剁碎肉样在 35 kg 压力下保持 5 min 的水分损失量，加压前后分别称质量，记录加压前质量（ $W_b$ ）和加压后质量（ $W_a$ ），加压条件下的保水性可以用加压失水率  $X_p$  表示，用公式（2）计算。

$$X_p = \frac{W_b - W_a}{W_b} \times 100\% \quad (2)$$

式中  $X_p$ ——加压失水率，%； $W_b$ ——加压前样品质量，g； $W_a$ ——加压后样品质量，g。

### 1.2.4 蒸煮损失率

一定大小（约 2 cm×2 cm×3 cm）的肉样在 85℃ 水浴锅中蒸煮 20 min，蒸煮前称质量（ $W_b$ ）。蒸煮后冷却到室温，用吸水纸吸干水分，然后再次称质量（ $W_a$ ）。蒸煮损失率  $X_c$  按照公式（3）进行计算。

$$X_c = \frac{W_b - W_a}{W_b} \times 100\% \quad (3)$$

式中  $X_c$ ——蒸煮损失率，%； $W_b$ ——蒸煮前样品质量，g； $W_a$ ——蒸煮后样品质量，g。

### 1.2.5 肌肉蛋白质的溶解性

参照 Joo 等的方法<sup>[15]</sup>测定肌浆蛋白、肌原纤维蛋白和肌肉全蛋白的溶解性。

### 1.2.6 组织结构观察

分别采用扫描电镜和光镜 2 种方式对肉的组织结构进行观察。为了比较组织结构的变化，对于未冻结的肉样、冻结状态的肉样以及冻藏过程不同时期的肉样都做

了扫描电镜和光镜观察<sup>[16]</sup>。

## 1.3 数据处理

运用一般线性模型对所测定的数据进行方差分析、多重比较和相关及回归分析，所有的统计分析过程均运用 SPSS13.0 统计分析软件进行。

## 2 结果与分析

### 2.1 冻藏过程对解冻肉保水性的影响

冻藏过程中各项测定指标的变化见表 2。从表 2 可以看出，随着冻藏时间的延长，与保水性相关的各项指标都在发生变化。总体趋势是解冻汁液流失率、蒸煮损失率、加压失水率等均逐渐增加。

对解冻汁液流失率和冻藏时间进行回归分析，得到方程（4）。

$$X_t = 1.842 + 0.629t - 0.045t^2 \quad (R=0.636) \quad (4)$$

式中  $X_t$ ——解冻汁液流失率，%； $t$ ——冻藏时间，月。

可见解冻汁液流失率与冻藏时间的一次方成正相关，而与冻藏时间的二次方成负相关，相关系数虽然很小，但也达到了显著水平（ $P<0.05$ ）。方程的常数项和一次项系数均达到极显著水平（ $P<0.01$ ）。研究结果与 Farouk 等在对于牛肉冻藏方面的研究规律相近<sup>[2]</sup>。Farouk 等的研究表明：在 9 个月的冻藏过程中，解冻后牛肉的保水能力逐渐缓慢降低，其后迅速降低，这表明冻藏 9 个月后蛋白变性程度显著升高，失去了保水能力。

对蒸煮损失率和冻藏时间进行回归分析，得到方程（5）。

$$X_c = 27.919 + 0.626t \quad (R=0.659) \quad (5)$$

式中  $X_c$ ——蒸煮损失率，%； $t$ ——冻藏时间，月。

可见蒸煮损失率与冻藏时间的一次方成正相关。方程的常数项和一次项系数均达到极显著水平（ $P<0.01$ ）。这一变化规律与 Farouk 等<sup>[2]</sup>在对于牛肉冻藏方面的研究结果相近。

对加压失水率和冻藏时间进行回归分析，得到方程（6）。

$$X_p = 27.315 + 1.241t \quad (R=0.708) \quad (6)$$

式中  $X_p$ ——加压失水率，%； $t$ ——冻藏时间，月。

可见加压失水率与冻藏时间的一次方成正相关。方程的常数项和一次项系数均达到极显著水平（ $P<0.01$ ）。

表 2 冻藏不同时期的指标变化

Table 2 Changes of indexes considered during frozen storage

冻藏时间 /月	解冻汁液流失率 /%	蒸煮损失率 /%	加压失水率 /%	全蛋白溶解度 /mg·g <sup>-1</sup>	肌浆蛋白溶解度 /mg·g <sup>-1</sup>	肌原纤维蛋白溶解度 /mg·g <sup>-1</sup>	pH 值
0	1.90±0.93 <sup>a</sup>	27.55±2.03 <sup>a</sup>	28.76±4.19 <sup>a</sup>	237.10±12.12 <sup>c</sup>	60.34±15.17	176.77±16.83 <sup>b</sup>	5.57±0.14
1	2.27±0.72 <sup>ab</sup>	28.15±1.32 <sup>a</sup>	27.35±2.47 <sup>a</sup>	232.39±16.36 <sup>c</sup>	58.00±6.97	174.39±15.49 <sup>b</sup>	5.55±0.12
2	2.91±0.65 <sup>bc</sup>	30.24±1.41 <sup>b</sup>	28.37±2.93 <sup>a</sup>	231.37±22.02 <sup>c</sup>	65.75±5.16	165.61±22.52 <sup>b</sup>	5.53±0.06
3	3.64±0.91 <sup>cd</sup>	29.97±1.48 <sup>b</sup>	31.32±2.95 <sup>b</sup>	222.00±19.87 <sup>bc</sup>	59.38±5.42	162.62±22.33 <sup>b</sup>	5.53±0.05
4	3.45±0.77 <sup>cd</sup>	30.99±1.48 <sup>b</sup>	32.14±1.50 <sup>b</sup>	205.79±8.91 <sup>a</sup>	63.81±4.22	141.97±9.48 <sup>a</sup>	5.48±0.08
5	3.81±0.86 <sup>cd</sup>	29.62±1.61 <sup>b</sup>	35.30±1.51 <sup>c</sup>	209.67±8.48 <sup>ab</sup>	63.98±4.22	145.68±12.06 <sup>a</sup>	5.57±0.06
7	4.08±1.44 <sup>d</sup>	32.67±0.53 <sup>c</sup>	35.27±1.57 <sup>c</sup>	209.51±8.11 <sup>ab</sup>	63.58±4.03	145.93±11.52 <sup>a</sup>	5.58±0.09

注：同一列内上标完全不同的平均数差异显著（ $P<0.05$ ）， $n=12$ 。

### 2.2 冻藏过程对解冻肉蛋白溶解性的影响

从表 2 可以看出：随着冻藏时间的延长，肉样的全蛋白溶解度和肌原纤维蛋白的溶解度显著降低（ $P<$

0.05），肌浆蛋白溶解度的变化不明显。

对全蛋白溶解度（ $X_c$ ）和肌原纤维蛋白溶解度（ $X_j$ ）分别与冻藏时间进行回归分析，得到方程（7）和（8）。

$$X_z=236.031-4.745t \quad (R=0.575) \quad (7)$$

$$X_j=175.827-5.355t \quad (R=0.578) \quad (8)$$

式中  $X_z$ ——全蛋白溶解度, mg/g;  $X_j$ ——肌原纤维蛋白溶解度, mg/g;  $t$ ——冻藏时间, 月。

全蛋白溶解度和肌原纤维蛋白溶解度均与冻藏时间的一次方成负相关。方程的常数项和一次项系数均达到极显著水平 ( $P<0.01$ )。但与冻藏时间的二次方及以上不相关。在冻藏对于蛋白质的溶解度的影响方面, Farouk 等<sup>[2]</sup>在对于牛肉冻藏方面的研究表明: 随着冻藏时间的延长, 全蛋白溶解度和肌原纤维蛋白溶解度显著降低。溶解度的降低是蛋白质变性的迹象<sup>[11-13]</sup>, 与冻藏过程中的品质降低直接相关。

2.3 冻藏过程对解冻肉 pH 值的影响

在本次试验中冻藏对解冻肉 pH 值没有太大的影响。这与 Farouk 等在对于牛肉冻藏方面的研究规律不大一致<sup>[2]</sup>。Farouk 等的研究表明: 冻藏时间与 pH 值之间的函数关系为二次曲线, 且冻藏 6 个月的 pH 值显著高于其他肉样。

2.4 各测定指标之间的相关性

各测定指标之间的相关性分析, 见表 3。由表中可见:

表 3 各个测定指标和冻藏时间之间的相关性

Table 3 Correlation coefficients between indexes considered and frozen storage time

	蒸煮损失率	加压失水率	全蛋白溶解度	肌浆蛋白溶解度	肌原纤维蛋白溶解度	pH值	解冻汁液流失率
冻藏时间	0.659**	0.708**	-0.575**	0.179	-0.578**	0.049	0.607**
蒸煮损失率		0.384**	-0.269*	-0.023	-0.232*	-0.180	0.463**
加压失水率			-0.452**	-0.012	-0.398**	-0.009	0.401**
全蛋白溶解度				-0.106	0.931**	-0.045	-0.486**
肌浆蛋白溶解度					-0.463**	0.237*	0.137
肌原纤维蛋白溶解度						-0.127	-0.484**
pH值							-0.251*

注:  $n=84$ ; \*\*  $P<0.01$ ; \*  $P<0.05$ 。

2.5 冻藏过程对组织结构的影响

从图 1 和图 2 可以非常直观地看出在冻藏的不同时期, 冰晶在肉中的分布和形态的变化。

从图 1 可以看出, 与新鲜肉样相比 (图 1a), 刚刚冻结的肉样中 (图 1b), 由于组织中冰晶的形成导致原来并无太多间隙的肉样中形成了很多间隙, 肌束间由于有冰晶的阻隔, 相互分隔, 在图中可以看到肌束变小, 且在组织中可以看到明显的较大间隔或空洞, 那是冰晶在固定过程中升华所留下的空间。冻结的肉样经过一定时间

冻藏时间与解冻汁液流失率、蒸煮损失率、加压失水率均呈极显著的正相关 ( $P<0.01$ ), 即随着冻藏时间的延长肉的保水性有所降低; 而冻藏时间与全蛋白的溶解度和肌原纤维蛋白的溶解度均呈极显著的负相关 ( $P<0.01$ ), 这可能正是由于冻藏过程中蛋白溶解度的降低导致了肉的保水性的削弱。

另外, 3 种与保水性相关的指标: 解冻汁液流失率、蒸煮损失率和加压失水率之间均呈极显著的正相关 ( $P<0.01$ ), 表明了这 3 种指标在表示冻结解冻肉的保水能力方面的一致性。这 3 种指标均与全蛋白的溶解度和肌原纤维蛋白的溶解度均呈显著的负相关 ( $P<0.05$ ), 进一步说明了冻藏过程中保水性的降低与蛋白的溶解度有密切的关系。

pH 值与解冻汁液流失率成显著的负相关 ( $P<0.05$ ), 表明肉的 pH 值越高, 其解冻的汁液流失率越低, 与前人的研究结果一致。pH 值与肌浆蛋白溶解度成显著的正相关 ( $P<0.05$ ), 表明肌浆蛋白的溶解度受肉中 pH 值的影响, pH 值越高肌浆蛋白的溶解度相对越大。在宰后尸僵过程中同样也观察到 pH 值降低, 肌浆蛋白的溶解度也降低。

的冻藏, 图 1c 可以看出, 经过 7 个月的冻藏, 冰晶的尺寸显著增大, 由于冰晶的生长, 导致肉样中的肌束受压而挤在一起。可能正是由于在冻藏过程中冰晶的生长导致了肌肉保水性的降低。

冰晶在整个冻藏过程中的生长过程从图 2 的石蜡切片图中看到, 在冻藏的前一个月 (图 2c), 与刚刚冻结结束的肉样相比 (图 2b), 冰晶的生长还是比较缓慢的, 原因可能与冷库温度比较恒定有关, 或者这本身就是一个变化规律, 从与保水性相关的指标冻藏 1 个月时的值与

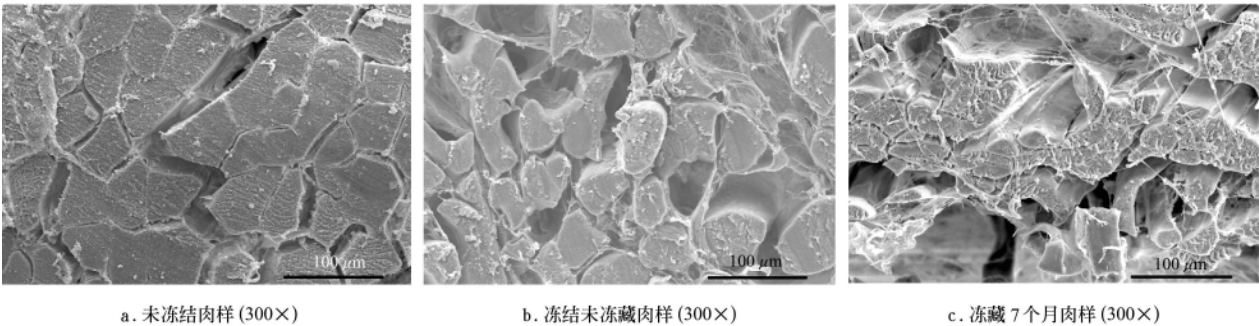


图 1 未冻结肉样及冻藏不同时期肉样的扫描电镜图比较  
Fig.1 Scanning electron micrographs of the fresh pork and frozen pork at different frozen storage time periods

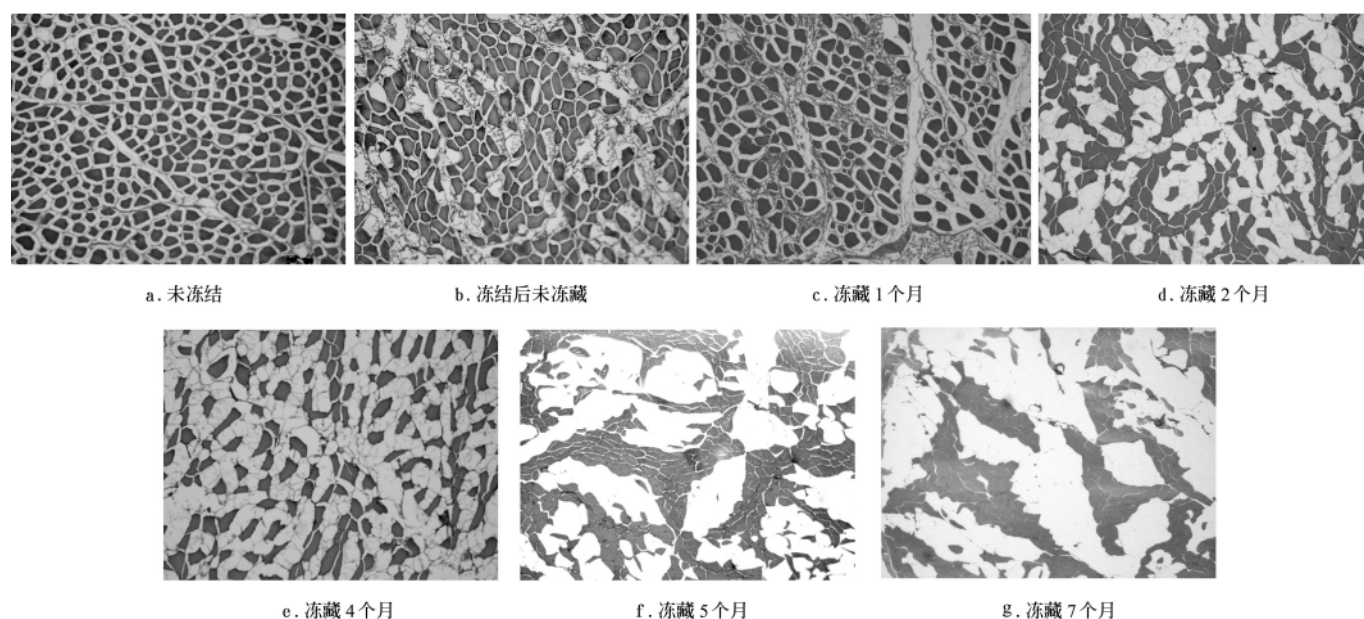


图 2 冻藏不同时期肉样的组织结构比较 (200×)

Fig.2 Structures of frozen pork at different frozen storage time periods (200×)

刚刚冻结的肉样测定值之间无显著差异 ( $P>0.05$ )，也可以得到这一规律。冻藏 2 个月的肉样可以看到明显的冰晶生长，此后每次取样所做的切片中，冰晶随着冻藏时间的延长都有不同程度的生长 (图 2d,e,f,g)。从图 2 可以看出经过 5 个月冻藏后，冰晶的生长速度明显降低，冻藏 5 个月 (图 2f) 的冰晶大小与冻藏 7 个月 (图 2g) 的冰晶大小无显著的差异，从前面测定的与保水性相关的指标的变化情况也可以得到类似的情况。

### 3 讨论

大多数的肉品在冻藏过程中的品质是逐渐变坏的<sup>[17]</sup>。例如，经过冻藏各种各样的肉品都表现出蒸煮损失率增加<sup>[11,18]</sup>，蛋白溶解度降低<sup>[11,19]</sup>和腐臭味增强<sup>[18,20]</sup>。但是也有些研究表明冻藏仅仅导致很小的品质变化<sup>[2,21-23]</sup>，Carroll 等<sup>[24]</sup>观察到薄片状成熟牛半腱肌在 $-18^{\circ}\text{C}$ 的静止空气中冻结，并在此温度下冻藏 26 周，通过扫描电镜观察 (SEM)，肌肉的超微结构没有发现任何本质上的变化。冻结在液氮中的样品，不经冻藏立即解冻却发生了严重的肌纤维的扭曲变形、压紧和蚀损斑。这种品质的恶化随着冻藏时间从 1 周到 26 周的延长而增强。本研究的结论支持前者，在实际生产中的猪肉冻藏，经过 7 个月的冻藏过程确实导致猪肉的品质发生了一定的恶化，且这种恶化过程确实是逐步进行的，随着时间的延长，恶化程度增加。但是最终肉样的状态并没有发生严重的恶化而产生腐臭气味。这好像又支持后者。Carroll 等<sup>[24]</sup>暗示部分的这种不一致可能产生于所采用的原料品质的差别；肉品在没有冻结之前质量已经很差，所以对于冻结所引起的品质恶化会更敏感一些。Carroll 等的这一观点解释了产生上述差别的原因。

Ngapo 等<sup>[5,14]</sup>通过低温扫描电镜也进行了冻结状态肉

样组织结构的观察，在他们的试验中发现冻结状态肉样中空腔的横截面积大约是新鲜肉样和解冻肉样的 10 倍左右。在冻结状态，不同冻结速率和冻藏时间的肉样之间的空腔面积无显著差异。不过他们所说的不同冻藏时间冻结状态的肉样空腔面积无显著差异是指经过 1 周与 4 周的冻藏，与本试验中所观察到的冻结结束到冻藏 1 个月时的石蜡切片无显著差异是一致的。更长时间的冻藏对组织形态方面影响的比较研究尚未报道。

### 4 结论

从所测定的各项指标和组织切片的变化情况可以得出如下结论：

- 1) 随着冻藏时间的延长，冷冻猪肉的保水性逐渐降低，表现为：解冻汁液流失率、蒸煮损失率和加压失水率等逐渐升高。
- 2) 随着冻藏时间的延长，冷冻猪肉的蛋白溶解度逐渐降低，主要是全蛋白溶解度和肌原纤维蛋白的溶解度降低。这可能是肉的保水性降低的一个重要原因。
- 3) 从组织结构看，随着冻藏时间的延长，冰晶在冻结肉样中逐渐长大，导致肌束受压聚集。冻藏 1 个月对于肉样的各种品质特性影响不大，2 个月后指标的变化比较明显，5 个月后指标的变化非常明显。

#### [参 考 文 献]

- [1] 余小领, 周光宏, 徐幸莲. 肉品冷冻工艺及冻结方法[J]. 食品工业科技, 2006, (6): 199—202.
- [2] Farouk M M, Wieliczko K J, Merts I. Ultra-fast freezing and low storage temperatures are not necessary to maintain the functional properties of manufacturing beef[J]. Meat Science, 2004, 66(1): 171—179.
- [3] Mortensen M, Andersen H J, Engelsen S B, et al. Effect of freezing temperature, thawing and cooking rate on water distribution in two pork qualities[J]. Meat Science, 2006,

- 72(1): 34—42.
- [4] Ngapo T M, Babare I H, Reynolds J, et al. Freezing and thawing rate effects on drip loss from samples of pork[J]. Meat Science, 1999, 53(3): 149—158.
  - [5] Ngapo T M, Babare I H, Reynolds J, et al. Freezing rate and frozen storage effects on the ultrastructure of samples of pork [J]. Meat Science, 1999, 53(3): 159—168.
  - [6] Grujic R, Petrovic L, Pikula B, et al. Definition of the optimum freezing rate-1. Investigation of structure and ultrastructure of beef *M. longissimus dorsi* frozen at different freezing rates[J]. Meat Science, 1993, 33: 301—318.
  - [7] Martino M N, Otero L, Sanz P D, et al. Size and location of ice crystals in pork frozen by high-pressure-assisted freezing as compared to classical methods[J]. Meat Science, 1998, 50(3): 303—313.
  - [8] Rahelic S, Gawwad A H, Puac S. Structure of Beef *Longissimus dorsi* muscle frozen at various temperatures part 2—ultrastructure of muscles frozen at -10, -22, -33, -78 and -115℃[J]. Meat Science, 1985, 14: 73—81.
  - [9] Boles J A, Swan J E. Effect of post-slaughter processing and freezing on the functionality of hot-boned meat from young bull [J]. Meat Science, 1996, 44(1): 11—18.
  - [10] Bertram H C, Andersen R H, Andersen H J. Development in myofibrillar water distribution of two pork qualities during 10-month freezer storage [J]. Meat Science, 2007, 75: 128—133.
  - [11] Miller A J, Ackerman S A, Palumbo S A. Effects of frozen storage on functionality of meat for further processing[J]. Journal of Food Science, 1980, 45: 1466—1471.
  - [12] Sebranek J G, Sang P N, Topel D G, et al. Effects of freezing methods and frozen storage on chemical characteristics of ground beef patties[J]. Journal of Animal Science, 1979, 48: 1101—1108.
  - [13] Shenouda S Y K. Theories of protein denaturation during frozen storage of fish flesh[J]. Advances in Food Research, 1980, 26: 275—311.
  - [14] Ngapo T M, Babare I H, Reynolds J, et al. A preliminary investigation of the effects of frozen storage on samples of pork [J]. Meat Science, 1999, 53: 169—177.
  - [15] Joo S T, Kauffman R G, Kim B C, et al. The relationship of sarcoplasmic and myofibrillar protein solubility to color and water-holding capacity in porcine longissimus muscle[J]. Meat Science, 1999, 52(3): 291—297.
  - [16] 余小颖, 白云, 李学斌, 等. 宰后不同时间冻结对猪肉保水性和组织结构的影响[J]. 食品与发酵工业, 2007, 33(3): 18—22.
  - [17] Fennema O. Rates of chemical deterioration in frozen foods [A]. Proceedings of the Meat Industry Research Conference [C]. 1971: 35—44.
  - [18] Jeremiah L E. Effect of frozen storage and protective wrap upon the cooking losses, palatability and rancidity of fresh and cured pork products[J]. Journal Food Science, 1980, 45(2): 187—196.
  - [19] Huber C S, Stadelman W J. Effect of freezing rate and freeze drying on the soluble proteins of muscles. 1. Chicken muscles[J]. Journal of Food Science, 1970, 35: 229—232.
  - [20] Winger R J, Fennema O. Tenderness and water holding properties of beef muscle as influenced by freezing and subsequent storage at -3 or 15℃[J]. Journal of Food Science, 1976, 41: 1433—1438.
  - [21] Baker R C, Darfler J M, Mulnix E J, et al. Palatability and other characteristics of repeatedly refrozen chicken broilers [J]. Journal of Food Science, 1976, 41(2): 443—445.
  - [22] Kingsley G R, Graham P P. Effects of frozen storage and dry-curing on ham triglyceride fatty acids[J]. Journal of Food Science, 1978, 43: 479—498.
  - [23] Suter D A, Marshall W H, Dutson T R, et al. Effect of freezing on the mechanical properties of lamb loin chops[J]. Journal of Food Science, 1976, 41: 1455—1456.
  - [24] Carroll R J, Cavanaugh J R, Rorer F P. Effects of frozen storage on the ultrastructure of bovine muscle[J]. Journal of Food Science, 1981, 46: 1091—1102.

## Effects of conventional freezing processing and frozen storage on pork water-holding capacity and structure

Yu Xiaoling<sup>1</sup>, Li Xuebin<sup>3</sup>, Zhao Liang<sup>1</sup>, Tian Mengchao<sup>4</sup>, Ma Hanjun<sup>1</sup>, Xu Xinglian<sup>2</sup>, Zhou Guanghong<sup>2\*</sup>

(1. Food Science and Technology Department, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang 453003, China; 2. Key Lab of Meat Processing and Quality Control, Ministry of Education; College of Food Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 3. Department of Animal Science and Technology, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang 453003, China; 4. School of Textiles, Zhongyuan University of Technology, Zhengzhou 450007, China)

**Abstract:** Effects of conventional freezing processing and frozen storage at -18℃ on water-holding capacity, protein solubility and structure of pork were investigated. Thaw loss rate, cooking loss rate, pressing loss rate, protein solubility, pH value and structure of the pork were measured. The results showed that water-holding capacity of the frozen pork gradually decreased with the elongation of frozen storage period, which mainly expressed in the increasing of thaw loss rate, cooking loss rate and pressing loss rate. During storage, protein solubility (including total protein solubility and myofibrillar protein solubility) of the pork decreased gradually, and the size of crystals in the samples also grew up slowly, which resulted in the aggregation of muscle bundle. Those might be the reasons for the decreasing in water-holding capacity of the frozen pork. After one month storage, the pork characteristics considered changed a little, but the indexes changed significantly after two months, and changed much significantly after five months.

**Key words:** freezing, frozen storage, structure, pork, water-holding capacity