不同冻结和解冻方式对猪肉品质的影响

胡　新[1],姚亚明[1],王　鹏[1,2],屠　康[1,2,*]
(1.南京农业大学食品科技学院,江苏南京 210095;
2.江苏省肉类生产与加工质量安全控制协同创新中心,江苏南京 210095)

摘　要:为探究冻结和解冻方式对猪肉品质的影响,以解冻汁液流失率,pH,脂类氧化(TBARS)值,蛋白质溶解度,滋味及微观结构的变化作为猪肉品质的评定指标。采用-18、-27、-70 ℃三种冻结温度进行冻结,冻结后-18 ℃冻藏3 d,每个冻结组解冻时均分别采用4 ℃低温空气、25 ℃静水、25 ℃空气三种方式进行解冻。结果表明:冻结方式与解冻方式对猪肉品质均有不同程度的影响。通过多因素方差分析可以得出,解冻汁液流失、蛋白质溶解度同时受冻结、解冻方式影响显著($p<0.05$)。pH受冻结、解冻方式影响不显著($p>0.05$);TBARS受解冻方式影响显著($p<0.05$),受冻结方式影响不显著($p>0.05$);解冻方式是影响滋味变化主要因素;-70 ℃冻结和4 ℃低温解冻能够较好地保持猪肉品质。
关键词:冻结,解冻,肉制品,猪肉,品质

Effects of different freezing and thawing methods on pork quality

HU Xin[1],YAO Ya-ming[1],WANG Peng[1,2],TU Kang[1,2,*]
(1.College of Food Science and Technology,Nanjing Agriculture University,Nanjing 210095,China;
2.Jiangsu Collaborative Innovation Center of Meat Production
and Processing,Quality and Safety Control,Nanjing 210095,China)

Abstract:To explore the effects of different freezing and thawing methods on the quality of pork.The thawing loss rate,pH,TBARS value,protein solubility,microstructure and the taste were measured to evaluate the quality of pork.Pork was frozen at -18,-27,-70 ℃ respectively,and each freeze group of the frozen meat was thawed at 4 ℃,25 ℃(in water),25 ℃(in air) after 3 days storage.The results showed that the effect of freezing and thawing methods had different influence on pork quality. By multi-factor variance analysis,thawing loss and protein solubility were significantly($p<0.05$)influenced by freezing and thawing methods.The pH value was not influenced by freezing and the thawing methods,TBARS values were significantly($p<0.05$)influenced by thawing methods.For the taste,the effects of thawing methods were greater than that of freezing methods. Freezing at -70 ℃ and thawing at 4 ℃ could keep the quality of pork meat.
Key words:freezing;thawing;meat products;pork;quality
中图分类号:TS251.5　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1002-0306(2017)19-0278-06
doi:10.13386/j.issn1002-0306.2017.19.051

肉品的保藏方法很多,其中低温冻结处理能抑制酶的活性、微生物生长繁殖,是目前最好的肉类食品保鲜的方法[1]。冻结肉品质变化由许多因素决定,包括冻结、解冻速率、冻藏温度和冻藏过程中温度的波动,运输零售和消费过程中的冻融循环等[2-3]。为了获得高质量的原料肉,保证冻结肉在解冻后仍然保持良好的品质,就需要选择适当的冻结和解冻方法。工业生产追求快速冻结和解冻,而家庭主要以低温解冻,静水,空气解冻,流水解冻等方式为主[4]。邓敏[5]采用浸渍冻结方式研究不同冻结速率对草鱼品质研究,发现随着冻结速率的增加草鱼汁液流失率减小,蛋白质冷冻变性减小;Xiong[6]等研究发现20 ℃下解冻牛肉肌纤维发生强烈收缩(51%),造成保水性降低。张春晖[7]等将空气解冻与低温高湿变温相比,低温高湿变温解冻方法对羊肉进行解冻能够显著降低羊肉解冻过程中的品质劣变。

现有的研究大多只将冻结、解冻分开单独进行研究,分别考虑冻结、解冻对肉品质的影响。无法判断不同方式冻结的猪肉在短暂冻藏后解冻方式对其品质具体的影响。本研究将-18、-27、-70 ℃三种冻

收稿日期:2017-03-24
作者简介:胡新(1991-),男,硕士研究生,研究方向:农产品贮藏与加工,E-mail:2015808104@njau.edu.cn。
*通讯作者:屠康(1968-),男,博士,教授,研究方向:农产品无损检测、贮藏与加工,E-mail:kangtu@njau.edu.cn。
基金项目:国家自然科学基金面上项目(31571769);安徽省科技攻关项目(1604a0702031)。

结方式冻结的猪肉在短暂的冻藏之后,每个冻结组解冻时均分别以 4 ℃低温、25 ℃静水、25 ℃空气下解冻,通过多因素方差分析,确定猪肉不同的品质指标受冻结和解冻的影响程度,确定在冻结和解冻过程中主要的影响因素。为实际肉品的冻结,解冻提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

猪背最长肌 南京卫岗菜市场雨润肉制品专卖店;氢氧化钠、酒石酸钾钠、磷酸氢二钾、磷酸二氢钾 西陇化工;三氯乙酸、2-硫代巴比妥酸、乙二胺四乙酸(EDTA)、五水合硫酸铜 国药集团化学试剂有限公司。

RC-4 温度记录仪 杭州美控自动化技术有限公司;HLC002 型电子分析天平 华驰电子有限公司;FCD-215SEA 柜式冰箱 青岛海尔特种冰箱有限公司;DW-86L729 超低温冰箱 海尔生物医疗设备;CTHI-250B 恒温恒湿箱 美国施都凯(STIK)上海有限公司;HH-4 型数显恒温水浴锅 常州国华电器有限公司;SA402B 味觉分析系统(电子舌) 日本 insent 公司;UV1800 紫外可见分光分度计 日本岛津;3K15 型高速冷冻离心机 德国 Sigma 公司;S-3000N 型扫描电镜 日本日立。

1.2 实验方法

1.2.1 猪肉处理 实验材料为猪背最长肌,购买后半小时内运回实验室。实验前除去猪肉表面脂肪及筋腱组织,切分为(100 ± 5) g 的肉块,大小约为 5 cm × 4 cm × 3 cm。

1.2.2 冻结方式 切分后猪肉随机分为 4 组,每组 12 块。对照组(新鲜肉样)不进行处理;冻结处理组分别置于-18、-27、-70 ℃条件下进行冻结,待各组肉块中心温度达到-18 ℃时取出,置于-18 ℃条件下冻藏 3 d。

1.2.3 解冻方法 实验时每个冻结组分别采用 4 ℃低温,25 ℃静水,25 ℃空气进行解冻。

1.2.3.1 4 ℃解冻 取出冻结后的肉样置于(4 ± 1) ℃的冰箱内进行解冻,以肉块中心温度达 4 ℃为解冻终点。

1.2.3.2 25 ℃静水解冻 取出冻结后的肉样置于水量一定(25 ± 1) ℃的恒温水浴锅中完全浸没,以肉块中心温度达到 4 ℃为解冻终点。

1.2.3.3 25 ℃空气解冻 取出冻结后的肉样置于塑料托盘中,于(25 ± 1) ℃,湿度 85% 的恒温恒湿箱内,以肉块中心温度达到 4 ℃为解冻终点。

1.2.4 指标测定

1.2.4.1 冻结曲线 采用探针式温度记录仪进行记录,将探针插入肉块中心,每隔 1 min 记录一次温度值。

1.2.4.2 解冻汁液流失率 参考 Utrera[8] 方法,记录解冻前猪肉块质量 m_1,解冻后用吸水纸擦干肉块表面的水分,记录质量 m_2,汁液流失率表示为:

$$汁液流失率(\%) = (m_1 - m_2)/m_1 \times 100 \quad 式(1)$$

1.2.4.3 pH 参照余小领[9] 方法,取 5 g 肉样剪碎,加入 45 mL 超纯水摇匀后测定。每个样品重复测定 3 次取平均值。

1.2.4.4 TBARS 值 参考 Mousakhani[10] 方法,取 10 g 肉样剪碎,加入 50 mL 7.5% 的三氯乙酸(含 0.1% EDTA),振荡 30 min,滤纸过滤。取上清液 5 mL,加入 5 mL 0.02 mol/L 2-硫代巴比妥酸溶液,沸水浴保温 40 min,取出冷却至室温,向其中加入 5 mL 氯仿摇匀,静置分层后取上清液分别在 532 nm 和 600 nm 处比色,记录吸光度值并用以下公式计算 TBARS 值:以每 100 g 肉中丙二醛的毫克数来表示。

$$TBARS 值 = (A_{532\,nm} - A_{600\,nm})/155 \times (1/10) \times 72.6 \times 100 \quad 式(2)$$

1.2.4.5 肌肉蛋白质溶解度 参考 Lan[11] 方法,将 1 g 肉样加 20 mL 冰预冷的 1.1 mol/L 碘化钾的 0.1 mol/L磷酸钾缓冲液(pH = 7.3),冰水浴匀浆 20 s × 3 次,4 ℃振荡抽提 5 h。8000 r/min 离心 10 min,上清液用双缩脲法测定蛋白浓度,溶解度表示为 mg/g。

1.2.4.6 滋味测定 参考顾伟钢[12] 方法改进,将肉块解冻之后,取 50 g 肉样,加入 3 倍质量的水,沸水煮制 30 min,煮制过程保持水量稳定。冷却后将肉块与汤汁一起匀浆 20 s × 2 次,静置 5 min 保证滋味物质溶出,5000 r/min 离心 10 min。取上清液滤纸过滤,除去油脂后使用电子舌进行测定。

1.2.4.7 扫描电镜微观结构观察 参照冯宪超[13] 方法进行处理。

1.3 数据处理

实验数据为 3 次重复实验结果的平均值,测定结果用 SPSS Statistic 20.0 软件对数据进行处理分析。使用多因素方差分析、单因素方差分析、主成分分析对数据进行分析,以均值 ± 标准差(mean ± SD)表示。利用 Excel(Office 2013,Microsoft)作图。

2 结果与分析

2.1 冻结曲线

不同冻结温度下猪肉的冻结曲线如图 1 所示。冻结过程中冰晶的形态主要由通过最大冰晶生成带的时间决定[14]。Leygonie[15] 研究表明冻结时较快的通过最大冰晶生成带形成冰晶体积小数量多分布较均匀,对组织结构破坏较小。由图 1 知,三种冻结温度下的猪肉冻结曲线符合典型冻结温度曲线且存在明显冻结三阶段。-70、-27、-18 ℃冻结时猪肉通过冰晶生成带(-5 ~ 0 ℃)用时分别为 103、190、

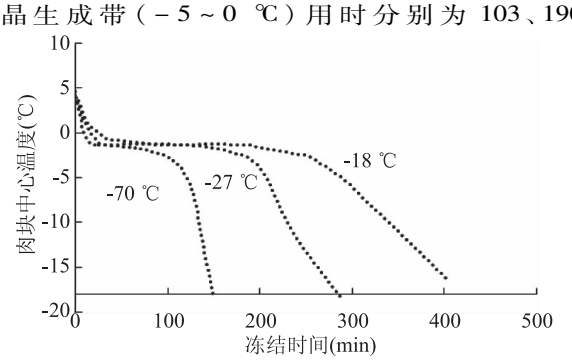

图 1 不同冻结温度下猪肉的冻结曲线

Fig.1 Frozen curve of pork at different freezing temperatures

214 min，-70 ℃条件下冻结所用时间最短、-18 ℃所用时间最长。

2.2 解冻时间

猪肉解冻时间如表1所示。比较三种解冻方式的解冻时间：4 ℃低温解冻耗时最长，达到14.50 h；25 ℃静水解冻用时最短为0.33 h。不同解冻方式因解冻环境温度及解冻机制存在差异，故达到解冻终点所需要时间不同，这与余力[16]对兔肉解冻研究结果相似。

表1 冻结猪肉解冻所需时间(h)

Table 1 Time required for thawing frozen pork

解冻方式	4 ℃低温解冻	25 ℃静水解冻	25 ℃空气解冻
解冻时间	14.50	0.33	4.00

2.3 解冻汁液流失率

如表2所示，冻结方式与解冻方式对猪肉解冻汁液流失率均有影响。在三种冻结温度下，-18 ℃冻结汁液流失均最多(4 ℃低温，25 ℃静水，25 ℃空气解冻汁液流失分别为5.74%、6.60%、6.00%)；猪肉在-70 ℃冻结条件下解冻汁液流失率均为最小(4 ℃低温，25 ℃静水，25 ℃空气解冻汁液流失分别为4.80%、5.28%、5.11%)。由表3多因素方差分析知，冻结方式对汁液流失率影响极显著($p<0.01$)并且随着冻结温度降低逐渐下降。其原因可能是由于较低的冻结温度下猪肉能较快通过冰晶生成带，形成的冰晶对细胞结构破坏较小。

表3表明解冻方式对汁液流失率影响差异显著($p<0.05$)，其中25 ℃静水解冻汁液流失率最高，4 ℃低温解冻汁液流失率最低，可能由于水的导热能力大于空气使静水解冻速度大于空气解冻[17]，较慢的解冻有利于水分有充分的时间渗透迁移到组织之中，同时在静水中解冻温度上升较快引起肌纤维收缩使汁液流失增大[18]。Ali[19]指出蛋白质在冻结、解冻中的变性也会导致汁液流失率的增加。

2.4 pH

pH是衡量肉类品质的一个重要指标，它与肉品的色泽，保水性关系相当密切。由图2和表4可知，各冻结、解冻处理组之间、鲜样与处理组之间，pH变化较小，差异均不显著($p>0.05$)，Benjalul[20]研究表明冻藏过程中，随着时间增加pH逐渐降低，这里pH变化差异不显著($p>0.05$)。但与余小领[9]研究结果一致，可能是本实验中猪肉冻藏时间相对于Benjalul冻藏12个月时间较短。pH对猪肉保水性起着重要作用[21]。而本实验中pH变化没有差异，因此pH不是冻结解冻中猪肉品质变化的原因。

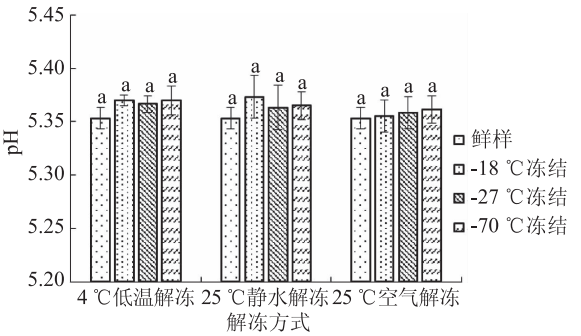

图2 不同冻结和解冻方式对猪肉pH的影响

Fig.2 Effect of different freezing and thawing methods on pork pH

2.5 脂肪氧化

TBARS值是反映脂肪氧化酸败的一个重要指标，其值的大小直接反映猪肉脂肪氧化程度。TBARS值越大猪肉的脂肪氧化越严重[22]。表5反映了不同冻结解冻方式对猪肉TBARS值的影响。相对于新鲜的猪肉，冻结与解冻后猪肉的TBARS值均显著($p<0.05$)增加。在冻结方式上，由表6可以看出冻结方式对脂肪氧化程度影响差异不显著($p>0.05$)，可能是低温环境抑制了脂肪氧化反应，短时间冻藏对脂肪氧化没有明显的影响。

表2 不同冻结方式和解冻方式对猪肉汁液流失率的影响

Table 2 Effects of different freezing and thawing methods on the drip loss values

解冻方式	冻结方式		
	-18 ℃冻结(%)	-27 ℃冻结(%)	-70 ℃冻结(%)
4 ℃低温解冻	5.74 ± 0.23^{Aa}	5.08 ± 0.43^{ABa}	4.80 ± 0.35^{Ba}
25 ℃静水解冻	6.60 ± 0.56^{Aab}	5.65 ± 0.61^{ABa}	5.28 ± 0.68^{Bab}
25 ℃空气解冻	6.00 ± 0.19^{Ab}	5.59 ± 0.33^{ABa}	5.11 ± 0.21^{Bb}

注：数值表示为平均值±标准差，不同的解冻方式纵列用不同的小写字母表明差异显著($p<0.05$)；不同的冻结方式横行用不同的大写字母表示差异显著($p<0.05$)。表5、表7同。

表3 多因素方差分析表(冻结方式/解冻方式)

Table 3 Multivariate analysis of variance(freezing/thawing)

因变量：汁液流失率

DS(不同来源)	SS(平方和)	DF(自由度)	MS(均方)	F值	Sig.
解冻方式	1.826	2	0.913	4.835	0.021
冻结方式	5.054	2	2.527	13.383	0.000
解冻方式·冻结方式	0.273	4	0.068	0.361	0.833
误差	3.398	18	0.189		

注：Sig. <0.01为极显著水平 Sig. <0.05为差异显著。表4、表6、表8同。

表4　多因素方差分析表(冻结方式/解冻方式)

Table 4　Multivariate analysis of variance(freezing/thawing)

因变量:pH

DS(不同来源)	SS(平方和)	DF(自由度)	MS(均方)	*F* 值	Sig
解冻方式	0.001	2	0.000	1.274	0.304
冻结方式	5.185×10^{-5}	2	2.593×10^{-5}	0.113	0.894
解冻方式·冻结方式	0.000	4	8.704×10^{-5}	0.379	0.821
误差	0.004	18	0.000		

表5　不同冻结方式和解冻方式对猪肉 TBARS 值的影响

Table 5　Effects of different freezing and thawing methods on the TBARS values

解冻方式	冻结方式			
	鲜样(mg/100 g)	-18 ℃冻结(mg/100 g)	-27 ℃冻结(mg/100 g)	-70 ℃冻结(mg/100 g)
鲜样	0.100 ± 0.007			
4 ℃低温解冻		0.107 ± 0.002^{Ab}	0.109 ± 0.008^{Ab}	0.106 ± 0.006^{Ac}
25 ℃静水解冻		0.110 ± 0.006^{Ab}	0.108 ± 0.007^{Ab}	0.112 ± 0.005^{Ab}
25 ℃空气解冻		0.130 ± 0.004^{Aa}	0.135 ± 0.005^{Ba}	0.132 ± 0.010^{Ba}

表6　多因素方差分析表(冻结方式/解冻方式)

Table 6　Multivariate analysis of variance(freezing/thawing)

因变量:TBARS 值

DS	SS	DF	MS	F	Sig.
解冻方式	0.013	2	0.006	163.941	0.000
冻结方式	3.050×10^{-5}	2	1.525×10^{-5}	0.392	0.677
解冻方式·冻结方式	0.000	4	4.563×10^{-5}	1.173	0.328
误差	0.003	89	3.890×10^{-5}		

表7　不同冻结方式和解冻方式对猪肉蛋白质溶解度的影响

Table 7　Effects of different freezing and thawing methods of protein solubility

解冻方式	冻结方式			
	鲜样(mg/g)	-18 ℃冻结(mg/g)	-27 ℃冻结(mg/g)	-70 ℃冻结(mg/g)
鲜样	256.61 ± 4.25			
4 ℃低温解冻		208.86 ± 2.12^{Ca}	230.23 ± 6.14^{Ba}	258.02 ± 3.07^{Aa}
25 ℃静水解冻		181.67 ± 4.13^{Bb}	$188.44\pm5.82A^{Bb}$	193.26 ± 8.63^{Ac}
25 ℃空气解冻		204.85 ± 7.45^{Ba}	221.30 ± 7.99^{ABa}	233.44 ± 5.53^{Ab}

表8　多因素方差分析表(冻结方式/解冻方式)

Table 8　Multivariate analysis of variance(freezing/thawing)

因变量:蛋白质溶解度

DS	SS	DF	MS	F	Sig.
解冻方式	11168.409	2	5584.205	149.071	0.000
冻结方式	4000.372	2	2000.186	53.395	0.000
解冻方式·冻结方式	1243.257	4	310.814	8.297	0.000
误差	749.202	20	37.460		

相对于冻结方式,解冻方式对脂肪氧化影响差异极显著($p<0.01$),其中 4 ℃低温解冻影响最小,4 ℃低温解冻与 25 ℃静水解冻之间差异不大,可能是低温解冻虽然对脂肪氧化有一定的抑制作用,但是时间较长,25 ℃静水解冻时间短,脂肪氧化程度低。25 ℃空气解冻较慢且与空气接触时间较长,使其脂肪氧化程度显著高于前两种解冻方式。冻结过程中的冰晶生成和解冻的温度时间是影响猪肉脂肪氧化程度的两个主要原因。Benjakul[20] 等认为冻结过程中冰晶形成对猪肉肌纤维破坏使一些抗氧化酶失活,同时释放出的 Fe^{2+} 会加速脂肪氧化的速度;而解冻过程由于温度及时间不同,会导致猪肉不同的氧化程度。

2.6　蛋白质溶解度

蛋白质溶解性是肉品重要的性质之一,特别是在肉品加工过程中起到很重要的作用。因为肌肉蛋白质的功能特性只有在蛋白质处于高溶解状态下才能表现出来[23]。由表 7、表 8 知,冻结方式、解冻方式对蛋白质溶解度均产生极显著影响($p<0.01$),-18 ℃冻结蛋白质溶解度下降最多(4 ℃低温,25 ℃

静水，25 ℃空气解冻汁液流失分别为 18.61%、29.20%、20.17%）；猪肉在-70 ℃冻结条件下蛋白质溶解度下降最小（4 ℃低温，25 ℃静水，25 ℃空气解冻汁液流失分别为 0.60%、23.76%、9.03%）。较高的冻结温度加快蛋白质溶解性的下降。降低冻结温度能较好保存了蛋白质性质，-70 ℃冻结下 4 ℃低温解冻的蛋白质溶解度和未冻结之间不存在显著差异；4 ℃低温解冻下蛋白质溶解度较 25 ℃静水解冻、25 ℃空气解冻溶解性好。25 ℃静水解冻条件下溶解性最差，可能是由于较快的解冻方式加速了蛋白质的氧化使蛋白质发生变性降低溶解性。

2.7 猪肉的滋味变化

猪肉的滋味是评价猪肉食用品质的一个重要指标。由图 3 二维主成分得分图知第一、二主成分方差贡献率分别为：57.24% 和 28.11%，总贡献率为 85.35%，此数据已经可以较好的反映原始数据中大部分数据信息，可以反映样品的整体情况。由图 3 可以看出电子舌能够对猪肉样品能够进行有效区分，新鲜样与处理组之间较远，不同冻结方式同种解冻方式的猪肉样本相互聚集，因此解冻方式是影响猪肉滋味变化的主要因素。

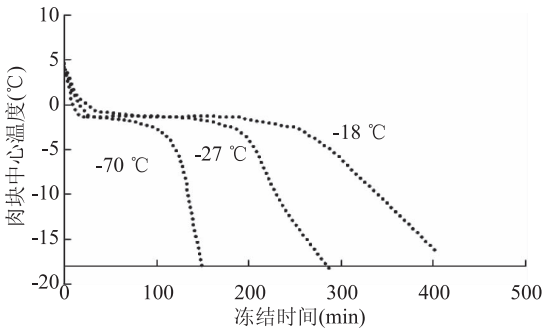

图 3 不同冻结、解冻方式猪肉滋味主成分得分图

Fig.3 Principal component score plot for pork flavor with different freezing and thawing methods

注：1.鲜样；2. -18 ℃冻结 25 ℃静水解冻；3. -27 ℃冻结 25 ℃静水解冻；4. -70 ℃冻结 25 ℃静水解冻；5. -18 ℃冻结 25 ℃空气解冻；6. -70 ℃冻结 25 ℃空气解冻；7. -27 ℃冻结 25 ℃空气解冻；8. -18 ℃冻结低温解冻；9. -27 ℃冻结低温解冻；10. -70 ℃冻结低温解冻。

解冻时间长短，温度高低会影响猪肉中酶的活性，导致风味氨基酸含量的变化，使滋味产生差异，图 4 味觉雷达图可知，在苦味、咸涩、鲜味几种基本味觉和涩味回味、鲜味回味几种回味中，鲜味（Umami）和鲜味的丰富度（richness）的变化最为显著。

2.8 肌纤维微观结构观察

通过扫描电镜可以观察猪肉的微观结构，研究冻结及解冻过程对肌肉微观结构的影响。从 SEM 结果可以看出三种冻结方式对猪肉肌纤维结构均产生明显的破坏，未冻结的猪肉肌纤维束排列紧密，间隙较小。-18 ℃冻结对猪肉肌纤维束的破坏程度较 -27 ℃严重；-70 ℃冻结条件下猪肉组织结构破坏程度最轻，肌纤维结构得到的较好保持。可能是较低的冻结温度下猪肉肌纤维之间形成的冰晶较细

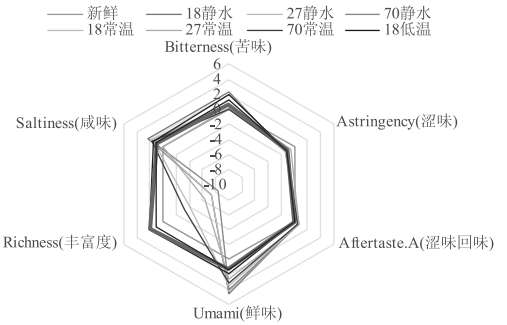

图 4 不同冻结、解冻方式猪肉味觉雷达图

Fig.4 Radar plot for pork taste with different freezing and thawing methods

小，且圆度较大，肌纤维结构受冰晶影响较小破坏程度较小。

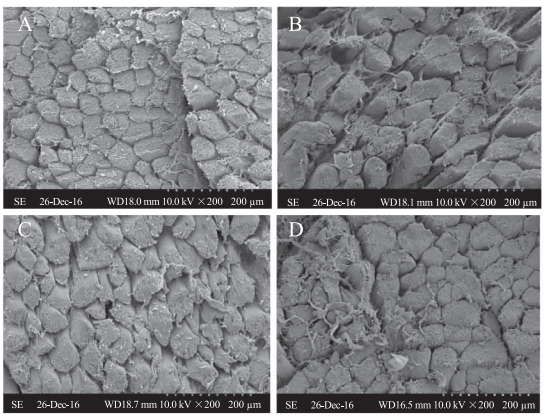

图 5 不同冻结方式下猪肉 SEM 图像（200 ×）

Fig.5 SEM diagram of the pork with different freezing methods（200 ×）

注：A：鲜样；B：-18 ℃冻结；C：-27 ℃冻结；D：-70 ℃冻结；解冻方式为 4 ℃低温解冻。

从图 6 可以看出，解冻方式对猪肉微观结构的影响要比冻结方式影响更明显。解冻方式会导致肌束膜遭到破坏，从而导致肌肉组织丧失完整性，致密结构被破坏，肌纤维束间空隙变大，则使肌肉保水性下降，水分更易渗出而带来严重的汁液流失。25 ℃静水解冻使肌纤维破坏程度最大，这与本实验中 25 ℃静水解冻导致猪肉较大的汁液流失率相一致。

3 结论

冻结和解冻对猪肉品质在不同的方面有着不同的影响。其中猪肉的解冻汁液流失率，蛋白质溶解性同时受冻结和解冻方式的影响显著（$p < 0.05$），快速冻结和慢速解冻均能减小汁液流失和蛋白质溶解性下降速率。冻结方式对猪肉 TBARS 值的影响不显著（$p > 0.05$），可能是由于低温能抑制脂肪氧化；在解冻中由于温度上升，肉块与空气接触时间不同导致不同程度氧化，低温解冻能在一定程度上抑制脂肪氧化，空气解冻时肉块与空气接触时间较长，因此脂肪氧化最大。冻结、解冻过程均对猪肉滋味产生影响，其中解冻方式是影响猪肉滋味变化的主要因素；滋味的变化主要是鲜味和鲜味丰富度的变化。

扫描电镜结果可以看出，冻结处理由于冰晶的

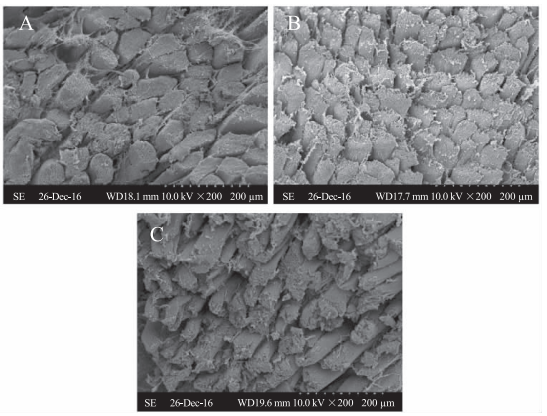

图 6　不同解冻方式下猪肉 SEM 图像(200 ×)

Fig.6　SEM diagram of the pork with different thawing methods(200 ×)

注:A:4 ℃低温解冻;B:25 ℃空气解冻;C:25 ℃静水解冻;冻结方式为-18 ℃冻结。

作用会使肌纤维间隙变大,随着冻结温度降低,肌纤维破坏程度减小。相对于冻结方式,解冻方式对肌纤维影响更大,在 25 ℃静水解冻时,肌纤维束已经出现了明显的破坏。

综上所述:冻结和解冻、解过程对猪肉品质均有着不同程度方面的影响,其中解冻对猪肉的影响大于冻结。-70 ℃冻结和 4 ℃低温解冻对品质影响较小能较好地保持猪肉品质。

参考文献

[1]欧阳杰,谈佳玉,沈建.速冻方式与温度对鲍鱼品质的影响[J].现代食品科技,2014(6):214-218.

[2]Boonsumrej S,Chaiwanichsiri S,Tantratian S,et al.Effects of freezing and thawing on the quality changes of tiger shrimp (Penaeus monodon) frozen by air-blast and cryogenic freezing [J].Journal of Food Engineering,2007,80(1):292-299.

[3]Gonçalves A A,Gindri Junior C S G.The effect of glaze uptake on storage quality of frozen shrimp[J].Journal of Food Engineering,2009,90(2):285-290.

[4]郭恒,钱怡,李颖杰,等.解冻温度对冷冻鲐鱼品质、质构及超微结构的影响[J].中国食品学报,2014(12):49-56.

[5]邓敏.浸渍冻结流速及冻藏对草鱼块品质影响的研究[D]. 广州:华南理工大学,2013.

[6]Jiang J,Xiong Y L.Extreme pH treatments enhance the structure-reinforcement role of soy protein isolate and its emulsions in pork myofibrillar protein gels in the presence of microbial transglutaminase[J].Meat Science,2013,93(3):469-476.

[7]张春晖,李侠,李银,等.低温高湿变温解冻提高羊肉的品质[J].农业工程学报,2013(6):267-273.

[8]Utrera M,Morcuende D,Estévez M.Temperature of frozen storage affects the nature and consequences of protein oxidation in beef patties[J].Meat Science,2014,96(3):1250-1257.

[9]余小领.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.

[10]Mousakhani-Ganjeh A,Hamdami N,Soltanizadeh N.Effect of high voltage electrostatic field thawing on the lipid oxidation of frozen tuna fish(Thunnus albacares)[J].Innovative Food Science & Emerging Technologies,2016,36:42-47.

[11]Lan Y,Shang Y,Song Y,et al.Changes in the quality of superchilled rabbit meat stored at different temperatures[J].Meat Science,2016,117:173-181.

[12]顾伟钢.煮制猪肉蛋白降解产物及保鲜方法研究[D].杭州:浙江大学,2012.

[13]冯宪超,周光宏.快速冷冻工艺对牛肉品质和组织结构的影响[J].食品科学,2016,37(19):1-7.

[14]任青.不同类别的食品冻结特性的研究[D].上海:上海海洋大学,2014.

[15]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.

[16]余力,贺稚非,Batjargal Enkhmaa,等.不同解冻方式对伊拉兔肉品质特性的影响[J].食品科学,2015,36(14):258-264.

[17]吕玉,臧明伍,史智佳,等.解冻和加工过程中冷冻猪肉保水性的研究[J].中国食品学报,2012(1):148-152.

[18]Pan B S,Yeh W T.Biochemical and morphological changes in grass shrimp(Penaeus monodon)muscle following freezing by air blast and liquid nitrogen methods[J].Journal of Food Biochemistry,1993,17(3):147-160.

[19]Ali S,Rajput N,Li C,et al.Effec t of Freeze-Thaw Cycles on Lipid Oxidation and Myowater in Broiler Chickens[J].Revista Brasileira de Ciência Avícola,2016,18(1):35-40.

[20]Benjakul S,Bauer F.Biochemical and physicochemical changes in catfish(Silurus glanis Linne)muscle as influenced by different freeze-thaw cycles[J].Food Chemistry,2001,72(2):207-217.

[21]周光宏.畜产品加工学[Z].北京:中国农业出版社,2004.

[22]Wu X,Song X,Qiu Z,et al.Mapping of TBARS distribution in frozen-thawed pork using NIR hyperspectral imaging[J].Meat Science,2015,113:92-96.

[23]姜晴晴,刘文娟,鲁珺,等.冻结与解冻处理对肉类品质影响的研究进展[J].食品工业科技,2015(8):384-389.

(上接第 277 页)

[J].Journal of Animal Health and Production,2015,3(1):6-13.

[50]Huyskens-Keil S,Eichholz I,Kroh LW,et al.UV-B induced changes of phenol composition and antioxidant activity in black currant fruit(*Ribes nigrum* L.)[J].Journal of Applied Botany and Food Quality,2007,81(2):140-144.

[51]Jansen M A K,Gaba V,Greenberg B M.Higher plants and UV-B radiation:Balancing damage,repair and acclimation[J].Trends in Plant Science,1998,3(4):131-135.

[52]Yoo K S,Lee E J,Patil B S.Changes in quercetin glucoside concentrations of onion bulbs by scales,during storage,and in sprouting leaves exposed to UV[J].Postharvest Biology and Technology,2013,83:65-71.