

不同解冻方式对猪肉品质特性的影响

常海军¹, 唐 翠², 唐春红¹

(1.重庆工商大学 催化与功能有机分子重庆市重点实验室, 重庆 400067;

2.西南大学食品科学学院, 重庆 400715)

摘要: 研究自然空气解冻、静水解冻、微波解冻和低温解冻4种不同解冻方式对猪背最长肌肉品质特性的影响, 分析猪肉解冻过程中食用品质特性、全质构特性、肌浆蛋白和全蛋白含量的变化。结果表明: 冻结猪肉经静水解冻后, 肌肉pH值接近6.0, 解冻损失率和蒸煮损失率较低, 静水解冻使猪肉的保水性维持较好。冻结猪肉解冻过程中肌浆蛋白和肌肉全蛋白浓度的变化对肉质构特性有显著或极显著影响。微波解冻有利于保持猪肉的嫩度和色泽, 且通过微波解冻的冷冻猪肉其肌肉全蛋白含量较高, 肉品的全质构特性较好。4种解冻方法中, 静水解冻和微波解冻能较好地保持解冻猪肉的品质。

关键词: 解冻方式; 猪肉; 品质特性

Effects of Different Thawing Methods on Pork Quality

CHANG Hai-jun¹, TANG Cui², TANG Chun-hong¹

(1. Chongqing Key Laboratory of Catalysis and Functional Organic Molecules, Chongqing Technology and Business University,

Chongqing 400067, China; 2. College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract: The effects of four different thawing methods, i.e. natural air thawing, thawing in water, microwave thawing and low-temperature thawing, on quality characteristics of pork *Longissimus dorsi* muscle were studied. The changes of eating quality, textural properties, sarcoplasmic proteins and total protein content of thawed pork were analyzed. The results showed that after thawing of frozen pork in water, the pH approached to 6.0, thawing and cooking losses were lower, and water-holding capacity was maintained at higher levels. Changes in sarcoplasmic proteins and total protein contents of frozen pork during thawing affected significantly or extremely significantly textual characteristics. Microwave thawing was conducive to maintaining meat tenderness and color, and resulted in higher total protein levels and superior textural properties. Among the four thawing methods, thawing in water and microwave provided better maintenance of pork quality.

Key words: thawing methods; pork; quality characteristics

中图分类号: TS251.51

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2014)10-0001-05

doi:10.7506/spkx1002-6630-201410001

冷冻技术在食品贮藏、运输和加工过程中都起着非常重要的作用, 冷冻作为一种方便且有效的食品贮藏方式, 已得到广泛应用。现代肉与肉制品加工业中, 畜禽冷冻肉是国家调节肉食品市场的重要产品, 也是肉类产品在国内地区间流通和进出口贸易的主要形态^[1]。冷冻食品在加工或消费前都必须经过解冻处理, 解冻是影响冻肉品最终品质的重要因素之一^[2]。目前常见的解冻方式主要有: 水解冻、空气解冻、高静水压解冻、电解冻(低频、高频、微波和高压静电场等)以及几种方式的组合解冻^[3]。

冻结肉解冻过程中可能产生蛋白质变性、质量损失、色泽变化、脂肪氧化、质地变化和气味恶化等问题^[4], 会因为蛋白质流失, 色泽退化和质量降低等问题造成品质下降^[5], 同时解冻过程对肌肉组织的理化特性起着重要的作用^[6]。解冻方式的选择对评估产品质量变化以及加工特性等起着重要的作用。

本实验选取4种不同的解冻方式, 分析猪肉解冻过程中食用品质特性、全质构特性、肌浆蛋白和全蛋白含量的变化, 旨在对不同解冻方式进行比较选择, 可为实际生产提供理论参考。

收稿日期: 2013-07-12

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(31101313); 重庆市科委基础与前沿研究计划项目(cstc2013jcyjA80017); 重庆市教委科学技术研究项目(KJ110714)

作者简介: 常海军(1980—), 男, 副教授, 博士, 研究方向为畜产品加工理论与技术。E-mail: changhj909@163.com

1 材料与amp;方法

1.1 材料及处理

实验所用原料为猪背最长肌肉：从3头不同个体上选择按照常规屠宰工艺屠宰的且肉品经常规成熟处理后的3条背最长肌肉。除去表面脂肪和结缔组织，沿垂直肌纤维方向将原料肉切割成10 cm×10 cm×5 cm大小的肉块，随机分成5组，每组3份肉样。第一组为对照组（新鲜），不进行冷冻，测定肉样的各项指标值；其余各组经真空包装后放入-18℃的低温环境中冻藏备用，实验时分别采用不同的解冻方法将其解冻后测定各项指标。

1.2 试剂与仪器

结晶牛血清蛋白为生化试剂，其他所用化学试剂均为分析纯。

TA-XT2i物性测试仪 英国Stable Micro Systems公司；C-LM3B数显式肌肉嫩度仪 东北农业大学工程学院；YYW-2型应变控制式无侧限压力仪 江苏南京土壤仪器有限公司；CR400色差仪 日本美能达公司；Ultra-Turrax T25 BASIC高速匀浆器 德国Ika-Werke公司；7230G可见分光光度计 上海美谱达有限公司；H2050R-1高速冷冻离心机 长沙湘仪离心机有限公司；G80F23CLS-Q6H微波炉 广东格兰仕集团有限公司；Shimadzu AUY120电子天平 日本岛津公司；pH3-3C+pH计 成都世纪方舟科技公司；HH-S数显恒温水浴锅 江苏正基仪器有限公司；BCD-215KHN冰箱 青岛海尔股份有限公司；TM-9202C长探头数显温度计 华福有限公司。

1.3 方法

1.3.1 解冻方法

1.3.1.1 自然空气解冻

将冻品放在室温的环境下进行解冻，依靠空气为介质，把热量传递给冻品，使冻品升温、解冻^[7]。将样品从-18℃的冰箱中取出，放在塑料托盘中，置于周围无热源的实验台上解冻（室温20℃），以肉块中心温度达到5℃为解冻终点。

1.3.1.2 静水解冻

将样品从-18℃的冰箱中取出，用聚乙烯密实包装，置于水浴中将其完全浸泡。静水温度控制为（15±0.5）℃，以肉块中心温度达到5℃为解冻终点。

1.3.1.3 微波解冻

将样品从-18℃的冰箱中取出，置于塑料托盘中，放入微波炉，调至“按质量解冻”解冻10 min后取出进行指标测定。

1.3.1.4 低温解冻

将肉样从-18℃冷冻室取出，放入5℃的冷藏室解冻10 h后取出进行指标测定。

1.3.2 指标测定

1.3.2.1 解冻损失率

将肉样在解冻前进行称质量（ m_1 ），解冻后用滤纸吸干肉块表面水分称量，记为 m_2 ，按公式（1）计算解冻损失率^[1]：

$$\text{解冻损失率}/\% = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (1)$$

1.3.2.2 pH值

按照GB/T 9695.5—2008《肉与肉制品pH测定》进行^[8]。

1.3.2.3 加压失水率

肉块失水率测定采用Farouk等^[9]方法。准确称取大小为10 mm×10 mm×10 mm肉样1.0~1.5 g（ m_1 ），将肉样上下各垫8层滤纸，然后置于无侧限压力仪平台上，加压35 kg并保持此压力5 min，撤去压力后，立即称量压后的肉样质量（ m_2 ），按公式（2）计算失水率：

$$\text{失水率}/\% = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (2)$$

1.3.2.4 蒸煮损失率

参照Li Chunbao等^[10]的方法，肉块去除表面的皮下脂肪和结缔组织，切成厚度为2.54 cm左右后称质量（ m_1 ），将数显温度计的温度探头插入肉的中心位置，扎紧袋口，然后置于80℃恒温水浴中加热，用温度计记录肉块中心温度的变化。当肉中心温度达70℃时，立即取出，在流水中冷却至中心温度为室温，用吸水纸吸干肉块表面汁液，称质量（ m_2 ），按公式（3）计算蒸煮损失率：

$$\text{蒸煮损失率}/\% = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (3)$$

1.3.2.5 剪切力值

测定完蒸煮损失率的肉样可用于剪切力的测定。用直径为1.27 cm的圆柱形空心取样器沿肌纤维方向取5个直径1.27 cm肉柱（无筋腱、肌膜、明显脂肪），用肌肉嫩度仪沿肌纤维垂直方向剪切肉柱，记录剪切力，每个肉样剪切5次，记录读数，最终结果取5个测定值的平均值为1个肉样的嫩度^[11]。

1.3.2.6 色泽 L^* 、 a^* 和 b^* 值

参照Chang Haijun等^[12]方法，处理后的肉样，开袋后用吸水纸除去表面的水分，用色差仪测定 L^* 、 a^* 和 b^* 值。

1.3.2.7 肉样质构特性分析

样品切成1.5 cm³的方块状，应用TA-XT2i物性构分析仪，并在电脑上应用Texture Expert V1.0软件加以控制。采用质构剖面分析方法测定样品的硬度、黏着性、弹性、凝聚性、胶黏性、咀嚼性和回弹性，每个肉样重复测定3次，测试完成后，用仪器自带软件内部宏TPA.MAC对测试结果进行处理^[13]。质构分析参数设定如下：测前速率2.00 mm/s；测中速率1.00 mm/s；测后速率

1.00 mm/s; 压缩比50%; 2次下压间隔时间5.0 s; 负载力5.0 g; 探头类型P/36R; 数据收集率200 pps; 测定环境温度20 ℃。

1.3.2.8 肌浆蛋白和肌肉全蛋白含量测定

参照Joo等^[14]的方法提取蛋白质, 并作部分改进, 具体如下:

肌浆蛋白的提取: 称取2.0 g剪碎肉样, 加入20 mL 0.02 mol/L pH值为6.5的PBS, 高速分散器匀浆(6 000 r/min, 3 min), 冷冻离心(10 000×g, 4 ℃, 20 min), 吸取上清液即为肌浆蛋白。

肌肉全蛋白的提取: 将4.0 g肉样绞碎, 加入10 mL提取液(2 g/100 mL SDS, 10 mmol/L Na₂HPO₄-NaH₂PO₄, pH 7.0), 匀浆30 s, 1 500×g离心15 min, 除去少量不溶成分, 离心后的上清液即为含有全肌肉蛋白的溶液。

蛋白含量测定采用双缩脲方法^[15]。

1.4 数据分析处理

每个指标重复测定3次, 运用SPSS 16.0一般线性模型(generalized linear model, GLM)对实验所得数据进行单因素方差(analysis of variance, ANOVA)分析、最小显著差数法(least significant difference, LSD)多重比较以及相关分析。

2 结果与分析

2.1 不同解冻方式对猪肉食用品质影响

表1 不同解冻方式对猪肉食用品质影响
Table 1 Effects of different thawing methods on pork eating quality

指标	对照	自然空气解冻	静水解冻	微波解冻	低温解冻
解冻损失率/%		2.75±0.46 ^{Cc}	1.72±0.10 ^{Bb}	4.71±0.55 ^{Dd}	6.17±0.08 ^{Ee}
pH	5.89±0.06	5.78±0.03	5.94±0.07	5.88±0.02	5.79±0.07
加压失水率/%	35.22±1.12 ^{Bb}	18.12±0.74 ^{Aa}	38.06±1.64 ^{Bcc}	39.24±0.57 ^{Ccd}	41.00±1.28 ^{Cd}
蒸煮损失率/%	18.12±0.74 ^{Bb}	16.28±0.53 ^{Aa}	15.88±0.26 ^{Aa}	20.83±0.77 ^{Cc}	23.57±0.92 ^{Cc}
剪切力值/N	24.11±0.06 ^{Cc}	36.55±0.07 ^{Dd}	39.79±0.05 ^{Ee}	22.34±0.06 ^{Bb}	20.68±0.05 ^{Aa}
L* (亮度)	56.71±2.84 ^{Aa}	62.51±1.60 ^{Bb}	58.56±3.72 ^{Aab}	56.93±1.48 ^{Aa}	57.06±1.42 ^{Aa}
a* (红度)	13.74±0.61 ^{ABab}	12.75±0.12 ^{Aa}	12.73±1.23 ^{Aa}	14.77±0.45 ^{Bbc}	15.05±0.18 ^{Bc}
b* (黄度)	9.42±0.88 ^{Aa}	11.53±0.41 ^{BCbc}	11.19±0.37 ^{ABCc}	10.60±1.04 ^{ABab}	12.44±0.18 ^{Cc}

注: 同行肩注不同大写字母表示差异极显著($P < 0.01$); 不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。下同。

由表1可知, 冻结肉经静水解冻后, 解冻损失率最低, 低温解冻后的解冻损失率最高。另外, 静水解冻造成的蒸煮损失率较低, 可以认为静水解冻对猪肉的保水性较好。

解冻肉pH值没有出现显著性变化, 均在5.7~6.0之间。动物肌肉的pH值一般均在7.0左右, 宰后由于氧气供应中断, 肌糖原进行无氧酵解, 在糖酵解酶的作用下, 使肉的pH值下降^[16]。肌肉pH值接近蛋白质等电点(pH 5.0~5.4)时, 肌肉的系水力最低, pH 6.0左右时

系水力最好^[17]。经自然空气解冻和低温解冻的冷冻肉的pH值低于5.8, 而通过静水解冻后的肌肉pH 5.94, 系水力相对更好。静水解冻后猪肉的加压失水率最接近鲜肉的值, 上述分析可知静水解冻后肌肉pH值最接近6.0, 从而可以得出静水解冻对肌肉系水力的保持最好。

解冻肉的蒸煮损失率与鲜肉相比均呈现出极显著变化($P < 0.01$)。静水解冻后肉的蒸煮损失率最低。肉在冻结过程中, 冰晶对肌肉组织造成了损伤, 导致解冻肉蒸煮损失率的显著变化。

解冻肉的剪切力值与鲜肉相比均呈现出极显著变化($P < 0.01$)。而自然空气解冻和静水解冻后猪肉的剪切力值增大。Farg等^[18]认为冷冻过程低于-10 ℃的低温冷冻条件增大了肉中产生的冰晶, 这是影响肌肉纤维的延展性、可拉伸性的一个主要因素, 冰晶的产生减小了肉的可塑性, 从而增大剪切阻力, 因此会造成了剪切力的增大。微波和低温解冻后肉的剪切力值较低, 主要因为微波解冻速率较快, 解冻过程破坏了肌肉维持固有结构等成分的完整性, 所以剪切力值发生了显著变化^[19]。

冻结肉在静水解冻后肉的亮度L*与鲜肉相比变化显著($P < 0.05$), 其余方式解冻后肉的亮度无显著变化。冻结肉的红度a*经过低温解冻后出现显著变化($P < 0.05$)。自然空气解冻和低温解冻后肉的颜色b*出现极显著变化($P < 0.01$), 而静水解冻的猪肉颜色b*出现显著变化($P < 0.05$)。在冻结过程中由于肉中肌红蛋白氧化成红褐色的高铁肌红蛋白, 冻肉表面水分的蒸发, 导致表层有色物质的浓度增加, 因而解冻时, 肉会呈现自然深红色。随着冻结与解冻过程的发生, 肉的红度值减小、黄度值增大, 肉的可接受程度降低^[20]。比较红度和黄度, 发现微波解冻后肉的红度a*和黄度b*最接近鲜肉的色泽。

2.2 不同解冻方式对猪肉质构特性影响

表2 不同解冻方式对猪肉质构特性影响
Table 2 Texture profile analysis (TPA) characteristics of pork with different thawing methods

指标	对照	自然空气解冻	静水解冻	微波解冻	低温解冻
硬度/g	18 519.00±302.63 ^{Cc}	10 249.50±374.41 ^{Aa}	12 463.30±224.90 ^{Bbb}	14 999.70±111.47 ^{Bcb}	12 797.10±186.03 ^{ABab}
黏着性	-184.83±87.58 ^{Bb}	-293.91±66.81 ^{Aa}	-202.73±36.05 ^{BBb}	-123.19±2.41 ^{Bb}	-220.84±18.42 ^{ABab}
弹性	0.91±0.06	0.85±0.11	0.87±0.10	0.88±0.01	0.78±0.09
凝聚性	0.75±0.03 ^{Bb}	0.59±0.03 ^{Aa}	0.60±0.03 ^{ABa}	0.66±0.10 ^{ABab}	0.62±0.06 ^{ABa}
胶黏性	13 942.50±32.99 ^{Bc}	6 073.52±40.47 ^{Aa}	7 409.52±18.64 ^{Ab}	8 831.06±24.25 ^{Ab}	7 929.03±11.10 ^{Ab}
咀嚼性	12 638.60±63.37 ^{Bc}	5 240.72±75.24 ^{Aa}	6 538.20±52.00 ^{Ab}	7 692.51±68.84 ^{Ab}	6 110.32±35.56 ^{Ab}
回弹性	0.54±0.04 ^{Cd}	0.32±0.01 ^{Aa}	0.36±0.03 ^{ABab}	0.46±0.07 ^{BCcd}	0.44±0.05 ^{ABCc}

质地多面剖析法测定可全面反映硬度、黏着性、弹性、凝聚性、胶黏性、咀嚼性和回弹性等质构特性, 但食品种类不同, 所侧重表征的质构特性值各不相同。由表2可知, 冻结肉经解冻后, 硬度降低, 且不同解冻方式之间存在显著($P < 0.05$)或极显著变化($P < 0.01$)。

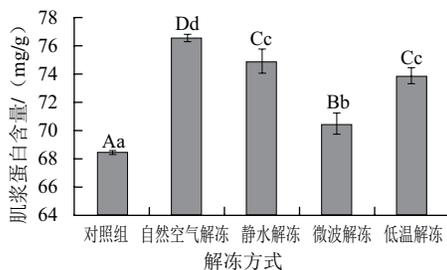
表3 猪肉各品质指标相关性分析
Table 3 Correlation analysis of various pork quality parameters

指标	加压失水率	剪切力值	pH	亮度L*	红度a*	黄度b*	解冻损失率	蒸煮损失率	肌浆蛋白含量	肌肉全蛋白含量	硬度	黏着性	弹性	凝聚性	胶黏性	咀嚼性	回弹性
加压失水率	1	-0.529*	0.338	-0.720**	0.593*	-0.028	0.283	0.576*	-0.488	-0.042	0.461	0.568*	-0.067	0.235	0.346	0.272	0.513
剪切力值		1	0.138	0.529*	-0.822**	0.101	-0.445	-0.861**	0.657**	-0.340	-0.524*	-0.414	0.132	-0.438	-0.475	-0.383	-0.695**
pH			1	-0.270	0.029	-0.175	-0.344	-0.257	-0.295	0.104	0.341	0.309	0.252	0.138	0.268	0.316	0.121
亮度L*				1	-0.689**	0.298	-0.080	-0.442	0.590*	-0.258	-0.717**	-0.384	-0.137	-0.302	-0.573*	-0.518*	-0.520*
红度a*					1	0.185	0.619*	0.832**	-0.448	0.002	0.421	0.305	-0.158	0.236	0.274	0.182	0.473
黄度b*						1	0.680**	0.297	0.670**	-0.758**	-0.653**	-0.254	-0.301	-0.469	-0.668**	-0.679**	-0.465
解冻损失率							1	0.766**	0.267	-0.631*	-0.387	0.078	-0.462	-0.328	-0.501	-0.584*	-0.122
蒸煮损失率								1	-0.277	-0.070	0.157	0.296	-0.349	0.030	0.065	-0.040	0.356
肌浆蛋白含量									1	-0.752**	-0.887**	-0.583*	-0.286	-0.732**	-0.865**	-0.847**	-0.835**
肌肉全蛋白含量										1	0.756**	0.258	0.413	0.605*	0.813**	0.853**	0.591*
硬度											1	0.472	0.387	0.739**	0.940**	0.928**	0.810**
黏着性												1	0.496	0.292	0.318	0.402	0.405
弹性													1	0.151	0.319	0.526*	0.000
凝聚性														1	0.810**	0.755**	0.916**
胶黏性															1	0.972**	0.830**
咀嚼性																1	0.734**
回弹性																	1

注：*，相关性显著 (P < 0.05)；**，相关性极显著 (P < 0.01)。

而解冻肉弹性没有显著变化 (P > 0.05)。肌肉的胶黏性和咀嚼性在解冻后都发生了极显著变化 (P < 0.01)。质构是来自人体某些器官与食品接触时产生的生理刺激在触觉上的反映，是源于食品结构的一组物理参数，属于力学和流变学的范围。肌肉的质构是其主要的感官指标之一，质构直接关系到肉的嫩度、口感、可食性和加工出品率^[21-22]。不同解冻方式表现出的肉黏着性、凝聚性、胶黏性、咀嚼性和回弹性大小的差异主要与肌肉中的蛋白质在解冻过程中物化性质有关，与肉的新鲜度变化有关，随着冻结肉从僵硬结束至进入融化和自溶作用，蛋白质逐渐分解成小分子物质，肉的上述质构特性发生变化^[23]。

2.3 不同解冻方式对猪肉肌浆蛋白含量的影响



不同大写字母表示差异极显著 (P < 0.01)；不同小写字母表示差异显著 (P < 0.05)。下同。

图1 不同解冻方式下解冻肉肌浆蛋白含量的变化

Fig.1 Changes in arcoplasmic protein content in pork with different thawing methods

由图1可知，与对照组相比，冻结肉经4种不同方式解冻后，肌浆蛋白含量均出现极显著变化 (P < 0.01)。静水解冻和低温解冻之间肌浆蛋白含量没有显著变化。另

外，微波解冻后猪肉肌浆蛋白含量较接近鲜肉中的含量。

2.4 不同解冻方式对猪肉肌肉全蛋白含量的影响

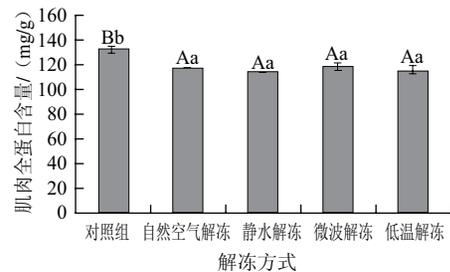


图2 不同解冻方式下解冻肉肌肉全蛋白含量的变化

Fig.2 Changes in total protein content in pork with different thawing methods

由图2可知，冻结猪肉通过4种解冻方式解冻，其肌肉全蛋白含量与对照组相比都有极显著变化 (P < 0.01)，而4种不同解冻方式之间肌肉全蛋白含量没有显著变化。维持肌肉组织结构完整性的蛋白分子作用力主要是疏水作用、氢键、极性键相互作用、静电作用、还包括二硫键。猪肉的冻结-解冻促进了肌纤维的收缩提高了蛋白质的去折叠及变性程度，肌肉蛋白质的溶解性会因冻藏过程中蛋白质的变性而降低，表现在蛋白的可提取性降低^[24]。

2.5 各品质指标相关性分析

由表3反映了经不同方式解冻后，猪肉各品质指标之间的相关性。由表3可知，肌浆蛋白和肌肉全蛋白含量的变化对肉质特性有显著或极显著影响。蒸煮损失率和解冻损失率都是肌肉保水性的表示形式，具有显著的相

关性。肉的色差主要是由于汁液流失所引起的变化^[25], 所以与解冻损失有极显著的相关性, 且经过冻结-解冻后的肉红度下降, 黄度增加。

3 结 论

通过本研究可得出如下结论: 静水解冻和微波解冻有利于确保解冻肉较好的品质。静水解冻肉的解冻损失率和蒸煮损失率相对较低, 有利于保持肉品的系水力。微波解冻有利于保持肉的嫩度和色泽, 且通过微波解冻的冷冻肉其肌肉全蛋白浓度含量较高, 肉品的全质构特性较好。

参考文献:

- [1] 余小颖, 李学斌, 闫利萍, 等. 不同冻结和解冻速率对猪肉保水性和超微结构的影响[J]. 农业工程学报, 2007, 23(8): 261-265.
- [2] 邵懿, 薛勇, 薛长湖, 等. 解冻方式及漂洗方法对冷冻竹荚鱼鱼糜品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2007, 33(12): 83-87.
- [3] 冯晚平, 胡娟. 冷冻猪肉新型解冻方法对比试验研究[J]. 农产品加工: 学刊, 2011(9): 33-36.
- [4] LI Bing, SUN Dawen. Novel methods for rapid freezing and thawing of foods: a review[J]. Journal of Food Engineering, 2002, 54(3): 175-182.
- [5] 迟海, 杨峰, 杨宪时, 等. 不同解冻方式对南极磷虾品质的影响[J]. 现代食品科技, 2011, 27(11): 1291-1295.
- [6] 迟海, 李学英, 杨宪时, 等. 解冻方式和条件对南极磷虾品质的影响[J]. 食品与机械, 2011, 27(1): 94-97.
- [7] 尚艳丽, 杨金生, 夏松养. 不同解冻方式对金枪鱼色泽的影响研究[J]. 食品科技, 2012, 37(1): 72-75.
- [8] GB/T 9695.5—2008 肉与肉制品pH测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [9] 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, 2003, 66(1): 171-179.
- [10] LI Chunbao, CHEN Yinji, XU Xinglian, et al. Effects of low-voltage electrical stimulation and rapid chilling on meat quality characteristics of Chinese crossbred bulls[J]. Meat Science, 2006, 72(1): 9-17.
- [11] 常海军, 周文斌, 余小颖, 等. 超高压处理对牛肉主要理化品质的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(7): 16-19.
- [12] CHANG Haijun, XU Xinglian, ZHOU Guanghong, et al. Effects of characteristics changes of collagen on meat physicochemical properties of beef Semitendinosus muscle during ultrasonic processing[J]. Food and Bioprocess Technology, 2012, 5(1): 285-297.
- [13] 常海军. 不同加工条件下牛肉肌内胶原蛋白特性变化及其对品质影响研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2010.
- [14] 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: 291-297.
- [15] 谢笔钧, 何慧. 食品分析[M]. 北京: 科学出版社, 2009: 183.
- [16] 周光宏, 徐幸莲. 肉品学[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999: 195-210.
- [17] 周光宏. 畜产品加工学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2004: 69.
- [18] FARAG K W, LYNG J G, MORGAN D J, et al. Effect of low temperatures (-18 °C to 5 °C) on the texture of beef lean[J]. Meat Science, 2009, 81(1): 249-254.
- [19] 李红民, 陈韬, 卢杰, 等. 肉及肉制品持水性测定方法的研究进展[J]. 肉类研究, 2009, 23(3): 54-58.
- [20] 杜江萍. 冻结肉品储藏期间品质的变化和控制措施[J]. 肉类研究, 2009, 23(11): 14-17.
- [21] 钟赛意, 姜梅, 王善荣, 等. 超声波与氯化钙结合处理对牛肉品质的影响[J]. 食品科学, 2007, 28(11): 142-146.
- [22] 张瑞宇. 物理新技术改进肉类肌肉质构的机理与应用[J]. 重庆工商大学学报, 2005(1): 44-47.
- [23] 包海蓉, 奚春蕊, 刘琴, 等. 两种解冻方法对金枪鱼品质影响的比较研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(17): 338-341.
- [24] 施雪, 夏继华, 卢进峰, 等. 冻结、解冻过程对肌肉品质的影响[J]. 食品工业, 2012, 33(7): 21-22.
- [25] 董庆利, 黎园园, 梁娜, 等. 冻结猪肉解冻措施筛选及优化[J]. 生物加工过程, 2011, 3(9): 66-70.