

解冻方式对鱿鱼品质的影响

谭明堂^{1,2}, 谢晶^{1,2,3,4}, 王金锋^{1,2,3,*}

(1.上海海洋大学食品学院, 上海 201306; 2.上海冷链装备性能与节能评价专业技术服务平台, 上海 201306;

3.上海水产品加工及贮藏工程技术研究中心, 上海 201306;

4.食品科学与工程国家级实验教学示范中心(上海海洋大学), 上海 201306)

摘要:用5种不同的解冻方式(空气解冻、静水解冻、流水解冻、微波解冻及超声波解冻)对鱿鱼进行解冻处理, 研究各组解冻时间、保水性、色泽、pH值、丙二醛含量、总巯基含量、质构等指标的差异, 并利用低场核磁共振仪测定鱼肉的水分弛豫时间 T_2 和核磁共振成像图, 用生物显微镜观察解冻后的鱿鱼肌肉组织。结果表明:微波解冻用时最短, 其次是流水解冻;流水解冻后的鱿鱼保水性最好, 肌束排列紧密, 肌内膜完整, 肌肉组织结构保持最好, 而且色泽、pH值以及蛋白质和脂质氧化的测定结果都显示流水解冻最好;鱿鱼经超声波解冻后虽然质构特性最好, 但是解冻过程水分子的振荡会使肌纤维束局部间隙变大。因此, 综合考虑5种解冻方式, 认为流水解冻是理想的鱿鱼解冻方式。

关键词:鱿鱼; 解冻方式; 流水解冻; 中心温度; 品质

Effects of Different Thawing Methods on Quality of Squid

TAN Mingtang^{1,2}, XIE Jing^{1,2,3,4}, WANG Jinfeng^{1,2,3,*}

(1. College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. Shanghai Professional Technology Service Platform on Cold Chain Equipment Performance and Energy Saving Evaluation, Shanghai 201306, China; 3. Shanghai Engineering Research Center of Aquatic Product Processing and Preservation, Shanghai 201306, China; 4. National Experimental Teaching Demonstration Center for Food Science and Engineering

(Shanghai Ocean University), Shanghai 201306, China)

Abstract: Five different thawing methods including natural air thawing, water soaking thawing, flowing water thawing, microwave thawing and ultrasonic thawing were individually used to thaw frozen squid. The differences in thawing time, and the water-holding capacity, color, pH, malondialdehyde (MDA) content, sufhidryl content and texture properties of thawed squid were analyzed. Meanwhile, low-field nuclear magnetic resonance (LF-NMR) was used to determine the transverse relaxation time T_2 , and nuclear magnetic resonance imaging (MRI) and optical microstructure observation of thawed squid were conducted. The results indicated that the thawing time of microwave thawing was the shortest, followed by flowing water thawing. Flowing water-thawed squid had higher water-holding capacity as compared to the other thawing methods, and maintained its compact microstructure with intramuscular membranes remaining intact. With respect to color, pH and the oxidation degree of protein and fat, flowing water thawing were the best of the five thawing methods. Although ultrasonic-thawed squid had the best texture properties, the spacing between muscle fiber bundles was locally enlarged because of the concussion of water during the thawing process. Overall, flowing water thawing is an ideal thawing method for frozen squid.

Keywords: squid; thawing methods; flowing water thawing; central temperature; quality

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20181022-246

中图分类号: TS254.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2019)13-0094-08

收稿日期: 2018-10-22

基金项目: “十三五”国家重点研发计划项目(2018YFD0400605); 现代农业产业技术体系建设专项(CARS-47); 2016年上海市科技兴农重点攻关项目[沪农科攻字(2016)第1-1号]; 上海市科委能力建设项目(16DZ2280300); 上海市科委公共服务平台建设项目(17DZ2293400)

第一作者简介: 谭明堂(1996—)(ORCID: 0000-0002-3968-2868), 男, 硕士研究生, 研究方向为制冷工程。

E-mail: 478941685@qq.com

*通信作者简介: 王金锋(1976—)(ORCID: 0000-0002-0572-0395), 女, 副教授, 博士, 研究方向为制冷工程。

E-mail: jfwang@shou.edu.cn

引文格式:

谭明堂, 谢晶, 王金锋. 解冻方式对鱿鱼品质的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(13): 94-101. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20181022-246. <http://www.spkx.net.cn>

TAN Mingtang, XIE Jing, WANG Jinfeng. Effects of different thawing methods on quality of squid[J]. Food Science, 2019, 40(13): 94-101. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-20181022-246. <http://www.spkx.net.cn>

鱿鱼也被称为枪乌贼、柔鱼。鱿鱼富含多种人体所需的营养成分, 比如牛磺酸、VB₁、钙等, 可食用部分达到体质量的80%左右, 其中粗蛋白质质量分数18%~20%、粗脂肪质量分数1.6%~2.0%^[1]。我国的鱿鱼业在鱿鱼国际贸易中占据着重要地位, 同时我国远洋鱿钓业的快速发展也在推动着我国鱿鱼业在世界鱿鱼市场的地位^[2]。目前鱿鱼从海上捕捞后大多采用冻结、冻藏方式处理, 鱿鱼在食用前往往都要进行解冻处理, 但是解冻会造成鱿鱼体内的汁液流失和营养成分减少, 从而导致鱿鱼品质的下降^[3]。因此, 研究不同的解冻方式对鱿鱼品质的影响有着重大的现实意义。

目前已经有大量关于解冻过程对鱼类品质变化影响的研究报道, Cai Luyun等^[4]研究解冻方式对红鲷鱼片品质的影响, 结果发现与冷藏解冻、微波解冻、超声波解冻、真空解冻相比较, 超声波真空解冻和微波真空解冻后的红鲷鱼片的肌动球蛋白有更好的热稳定性, 保留有更稳定的三级结构, 而且微波真空解冻后黏弹性更接近新鲜鱼片。刘欢等^[5]研究发现, 不同的解冻方式对鲈鱼水分损失和蛋白质变性程度等方面都有不同的影响。朱文慧^[6]、宦海珍^[7]等研究鱿鱼在解冻过程中肌肉保水性的变化和蛋白质氧化之间的关系, 发现解冻过程中鱿鱼会出现保水性下降和蛋白质氧化现象, 且500 W微波解冻能维持鱿鱼肌肉更好的品质。有关超声波解冻对鱼类影响的研究较少, 而且不同的解冻方式对鱿鱼质构和肌原纤维等方面影响的研究并不深入。因此, 本实验采用空气解冻、静水解冻、流水解冻、微波解冻及超声波解冻来处理冷冻的鱿鱼, 研究不同解冻方法对解冻后鱿鱼品质的影响, 从而为鱿鱼加工业提供解冻方式选择的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

冷冻的秘鲁鱿鱼购于上海市浦东新区芦潮港水产批发市场, 选取同一批冻结且单体质量为(500±50) g的冷冻鱿鱼, 用3~5 cm厚的片状冰包裹装入泡沫箱, 在1 h内运至实验室的-18℃冰箱中备用。

改良型Bradford法蛋白浓度测定试剂盒 上海生工生物工程有限公司; 微量总巯基测试盒、丙二醛(malondialdehyde, MDA)测试盒 南京建成生物工程研究所。

1.2 仪器与设备

H-2050R型台式高速冷冻离心机 湖南湘怡实验室仪器开发有限公司; Kjelttec8400型凯氏定氮仪 丹麦FOSS公司; CR-400型彩色色差计 日本柯尼卡美能达公司; TMS-Pro型质构仪 美国FTC公司; UV-1102型紫外-可见分光光度计 上海天美仪器有限公司; KK25F55TI型冰箱 德国西门子股份公司; BPS-100CL型恒温恒湿箱 上海一恒科学仪器有限公司; SK5200HP型超声波清洗器 上海科导超声仪器有限公司; JDP-Q SERIES型水泵 浙江森森集团股份有限公司; NN-GD568 2 450 Hz型微波炉 上海松下微波炉有限公司; 2640A网络型多点温度采集仪 美国福禄克电子仪器仪表公司; PQ001台式脉冲核磁共振分析仪 上海纽迈公司; Eclipse E200生物显微镜 日本尼康仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 原料的预处理

将贮藏在-18℃的鱿鱼取出, 然后分别按照表1的5种方法进行解冻, 其中流水解冻装置为自制, 具体见图1。在解冻过程中用测温仪监测鱿鱼的中心温度变化, 待中心温度达到5℃时停止解冻, 记录解冻曲线并且检测各项品质指标。

表1 鱿鱼的5种解冻方式

Table 1 Experimental conditions of five thawing methods for squid

解冻方式	实验方法
空气解冻	样品放入不锈钢盘中, 置于(20±1)℃恒温恒湿箱中进行解冻
静水解冻	样品放在水浴锅中解冻, 温度控制为(20±1)℃
流水解冻	样品放在图1自制装置中进行解冻, 水温(20±1)℃
微波解冻	样品放入微波炉中解冻, 功率选择500 W
超声波解冻	样品放在超声波清洗仪中进行静水解冻, 水温(20±1)℃、工作频率43 kHz、功率200 W

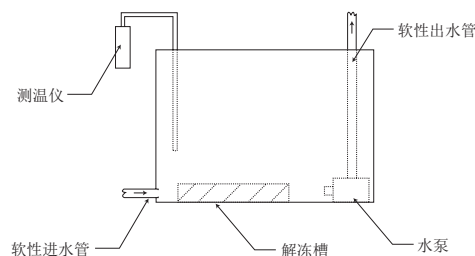


图1 流水解冻装置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the thawing device with flowing water

1.3.2 解冻曲线的测定

空气解冻、静水解冻、流水解冻和超声波解冻时

分别把热电偶的探头插入鱿鱼样品中心,通过多点温度采集仪实时记录样品温度的变化,而微波解冻时则将温度传感光纤插入鱿鱼样品中心,样品温度变化利用Microwave Workstation Commander软件在线实时监测和储存。5种解冻方式均解冻至5℃,解冻完之后取鱿鱼胴体上的肉测定各项指标,解冻曲线用Origin软件处理。

1.3.3 保水性的测定

1.3.3.1 解冻损失率

先测量鱿鱼在解冻前的质量(m_1/g),解冻结束后先用吸水纸吸干鱿鱼表面的水分,再测量鱿鱼的质量(m_2/g),解冻损失率按照式(1)计算。

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

1.3.3.2 持水力

持水力的测定参考Jiang Qingqing等^[8]的方法并稍作修改。用滤纸吸干解冻后鱿鱼表面的水分,称2.00 g左右鱿鱼胴体的碎肉块(m_3/g),用两层滤纸包裹好后放置在离心管中,在4℃条件下以5 000 r/min离心10 min,精确称量离心后的鱿鱼质量(m_4/g),按式(2)计算持水力。

$$\text{持水力}/\% = \frac{m_4}{m_3} \times 100 \quad (2)$$

1.3.3.3 蒸煮损失率

取尺寸为2 cm×2 cm×2 cm的鱿鱼样品,称取蒸煮前质量(m_5/g),在85℃的水浴锅中加热20 min后取出冷却至室温,用吸水纸吸干鱿鱼表面的水分,称取蒸煮后质量(m_6/g),按式(3)计算鱿鱼的蒸煮损失率。

$$\text{蒸煮损失率}/\% = \frac{m_5 - m_6}{m_5} \times 100 \quad (3)$$

1.3.4 色泽的测定

解冻后鱿鱼的色差值 L^* 、 a^* 和 b^* 值用色差计测定,在鱼品测定前进行白板校正。根据式(4)计算白度。

$$\text{白度} = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}} \quad (4)$$

1.3.5 pH值的测定

准确称取2 g解冻后的鱿鱼样品,加入18 mL蒸馏水后机械匀浆,然后在1 000 r/min下离心10 min,然后取上清液用pH计测定其pH值。

1.3.6 质构的测定

质构的测定参考刘妙^[9]的方法。取解冻后的鱿鱼肉,切成2.0 cm×2.0 cm×1.0 cm方块,采用TMS-Pro型质构仪测定,使用P/6平底柱形探头,测前速率为3 mm/s,测试速率为1 mm/s,形变量为50%,回程距离为20 mm。每组样品平行测定6次。

1.3.7 肌原纤维蛋白的提取

肌原纤维蛋白的提取参考Benjakul等^[10]的方法。将3 g绞碎的鱿鱼肉加入离心管中后,加入10 mL 0.6 mol/L KCl(4℃),机械匀浆1次后,加入20 mL 0.6 mol/L

KCl,再放入4℃冰箱中提取1.5 h,然后5 000 r/min、0℃(下同)离心30 min,取10 mL上清液加入30 mL去离子水,再离心20 min。向所得沉淀中加入30 mL、4℃的1.2 mol/L KCl溶液,在冰水中振摇30 min,不溶部分再离心20 min,取上清液备用,以测定肌原纤维的蛋白质量浓度和总巯基的含量。

1.3.8 MDA含量的测定

取解冻后鱿鱼2 g,按照1:9(m/V)的比例加入18 mL生理盐水,机械匀浆,以7 500 r/min离心10 min,取上清液用MDA测试盒测定532 nm波长处的吸光度,肌原纤维蛋白质量浓度用改良型Bradford法蛋白浓度测定试剂盒法测,MDA含量以肌原纤维蛋白质量计,单位为nmol/mg。

1.3.9 总巯基含量的测定

用微量总巯基测试盒法测量鱿鱼肉总巯基含量。

1.3.10 低场核磁共振分析

低场核磁共振(low field-nuclear magnetic resonance, LF-NMR)实验参考王硕等^[11]的方法并稍作调整。取2.0 cm×2.0 cm×1.0 cm的鱿鱼块,用保鲜膜包好样品,放入直径为70 mm的核磁检测管中,线圈温度为32℃,调整质子的共振频率21 MHz。使用CPMG序列,设置 T_2 测量参数:SW=100 kHz、RG1=20、P1=18.00 μs、DRG1=5、TD=200 020、PRG=1、TW=4 000 ms、NS=8、P2=37.00 μs、TE=0.400、NECH=5 000。得到CPMG指数衰减曲线图之后进行迭代反演得到横向弛豫时间 T_2 图谱。

样品用保鲜膜包装后放入直径为60 mm的核磁检测管中,用PQ001台式脉冲核磁共振分析仪进行成像,测定参数:TR=500 ms、TE=18.2 ms;得到质子密度图之后对图像进行统一映射和伪彩。

1.3.11 微观结构观察

参考文献[8,12]将鱿鱼切成3 mm×3 mm×2 mm的薄片,在体积分数5%的福尔马林溶液中固定24 h,用乙醇溶液梯度洗脱处理,二甲苯溶液透明处理,石蜡包埋,切片机切成厚度为10 μm的切片,在载玻片上染色后用Eclipse E200生物显微镜观察样品并拍照。

1.4 数据处理与分析

除特殊说明外,实验均设3个平行。使用SPSS 19.0软件进行单因素方差分析,采用Origin 8.5软件进行绘图。

2 结果与分析

2.1 鱿鱼在解冻过程中温度的变化

不同解冻方式下,鱿鱼的中心温度从-18℃到5℃的变化曲线如图2所示。在不同的解冻方式下鱿鱼解冻至终点的时间差异明显,其中微波解冻、流水解冻、超声波解冻、静水解冻和空气解冻分别为5、25、30、

41 min和185 min。水的对流换热系数比空气高,因而空气解冻的时间比静水解冻长,是其4.5倍。流水解冻能够促进冻鱿鱼和水之间的传热,因此解冻时间时间短^[13]。张昕等^[14]认为超声波能够使水相振荡,从而加速冰晶的溶解,而且超声波的解冻效率比一般的水浴解冻要好,与本实验结果一致。微波解冻速度最快,但是由于鱿鱼的厚度和形状不均匀,解冻结束后鱿鱼须和尾部出现烧焦的现象。

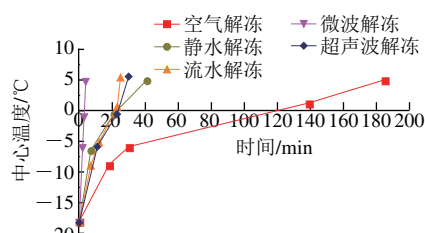


图2 鱿鱼解冻过程中温度变化曲线
Fig. 2 Thawing curves of squid

2.2 解冻方式对鱿鱼保水性的影响

表2 解冻方式对鱿鱼保水性的影响
Table 2 Effects of different thawing methods on water-holding capacity of squid

保水性	解冻方式				
	空气解冻	静水解冻	流水解冻	微波解冻	超声波解冻
解冻损失率/%	2.01±0.35 ^c	2.67±0.24 ^{bc}	1.74±0.56 ^c	4.77±0.31 ^a	3.28±0.80 ^b
持水力/%	62.17±0.45 ^d	64.15±0.77 ^c	80.60±0.83 ^a	75.67±1.14 ^b	77.00±0.44 ^b
蒸煮损失率/%	32.31±0.85 ^{ab}	31.17±0.30 ^{bc}	29.91±0.43 ^d	34.03±0.18 ^a	30.76±0.27 ^{cd}

注:同行肩标小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)。下同。

5种解冻方式对鱿鱼保水性的影响如表2所示。微波解冻对鱿鱼的解冻损失率和蒸煮损失率的影响最大,分别达到了4.77%和34.03%,与朱文慧等^[6]的实验结果一致。超声波解冻对鱿鱼的解冻损失率的影响仅次于微波解冻。解冻损失率和蒸煮损失率对水产品的持水力影响较大^[15]。鱿鱼经过流水解冻后解冻损失率和蒸煮损失率最小,持水力最大。这可能是由于流水解冻相对于静水解冻来说,通过最大冰晶溶解带($-5\sim 0^{\circ}\text{C}$)的时间短,缩短了微生物繁殖的时间,减少了鱼肉的蛋白质降解,能更好地维持鱼肉的持水力^[16]。空气解冻的持水力最低(61.17%),可能是空气解冻时间较长(185 min),微生物滋生导致蛋白质被分解,而不能与回渗的水很好地发生水合反应^[13]。因此,流水解冻对鱿鱼的保水性最好。

2.3 解冻方式对鱿鱼色泽的影响

色泽不仅是肌肉发生生理生化和微生物变化的外部体现,而且也会影响消费者对水产品的接受程度^[17]。由表3可知,5种不同的解冻方式中,静水解冻和流水解冻组鱿鱼的亮度(L^* 值)更高,肌肉更接近白色;经流水解冻后鱿鱼的白度最高(61.73)。这5种解冻方式对鱿

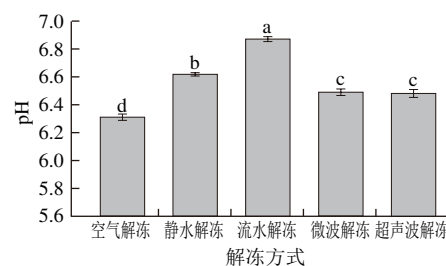
鱼肌肉的红绿度(a^* 值)影响不大,但是对黄蓝度(b^* 值)影响显著,特别是流水解冻组更接近新鲜样品品质。

表3 解冻方式对鱿鱼色泽的影响
Table 3 Effects of different thawing methods on color of squid

指标	空气解冻	静水解冻	流水解冻	微波解冻	超声波解冻
L^*	59.95±1.12 ^b	61.49±1.35 ^c	61.78±1.06 ^c	59.02±0.68 ^{bc}	57.82±2.43 ^c
a^*	-1.60±0.16 ^c	-1.14±0.34 ^d	-2.01±0.24 ^b	-2.56±0.11 ^a	-2.33±0.47 ^{ab}
b^*	6.28±0.37 ^b	8.17±0.41 ^a	0.17±1.07 ^{cd}	-0.68±0.51 ^d	2.25±1.18 ^c
白度	59.43±0.45 ^c	60.62±0.22 ^b	61.73±0.70 ^a	58.93±0.28 ^{cd}	57.70±0.12 ^d

肌肉表面的色泽变化可能与肌肉的保水性变化、肌红蛋白和脂肪的氧化等有关^[18]。姜晴晴等^[19]研究发现蛋白质氧化形成的羰基化合物容易与氨基酸类化合物发生反应生成深色的物质,且微波解冻后带鱼的蛋白氧化严重。所以鱿鱼在微波解冻时可能由于温度升高导致蛋白氧化加速,进而导致色泽 b^* 值变小,越接近纯蓝色。而空气解冻可能是由于解冻时间较长,鱿鱼肌肉中的蛋白质与空气发生氧化的时间长。超声波在振荡加速冰晶溶解的过程中也会促使鱼体温度升高加速蛋白氧化。因此,流水解冻对维持鱿鱼色泽的效果更好。

2.4 解冻方式对鱿鱼pH值的影响



小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)。下同。

图3 解冻方式对鱿鱼pH值的影响
Fig. 3 Effects of different thawing methods on pH of squid

鱼死后由于出现氧气供应中断,鱼体内的肌糖原出现分解和氧化,糖酵解酶使鱼体的pH值发生下降^[20],因此pH值也是评定鱿鱼鲜度的方法之一。由图3可知,鱿鱼经流水解冻后pH值最大。在一定情况下,肌肉的pH值越高,肌肉色泽会越好,持水力越高^[21]。有相关研究证明,肌肉的pH值与其保水性和色泽呈现显著的正相关,与解冻损失率呈现显著的负相关($P<0.05$),肌肉pH值越高,解冻损失率就越低^[22]。常海军等^[23]分别用静水解冻、自然空气解冻、微波解冻和低温解冻4种不同解冻方式对猪肉品质的影响进行研究,结果发现静水解冻的pH值最大,而且持水性最好,解冻损失率最低,色泽上更接近于新鲜猪肉,与本实验的结果一致。

2.5 解冻方式对鱿鱼肉质的影响

弹性是反映鱼肉撤掉外力之后,鱼肉恢复形状的程度。由图4A可知,5种不同解冻方式解冻之后的鱿鱼弹性差异不明显,李天翔等^[24]也得到了类似的结

论。与其他解冻方式相比,鱿鱼经过超声波解冻后硬度(16.45×10^3 g)和咀嚼性(11.88×10^3 mJ)最高。余力等^[25]也发现兔肉经超声波解冻后的咀嚼性比自然空气解冻、流水解冻和微波解冻的咀嚼性好。可能是因为超声波解冻速率快,蛋白质的变性少,且鱿鱼的弹性较好,能较好抵御解冻过程中声波对肌纤维的破坏。肉的硬度是咀嚼过程中所需要的能量,咀嚼性是咀嚼到吞咽这个过程中所消耗的能量,这两个指标的变化应该是相一致的,但本实验中空气解冻组的硬度较高,仅次于超声波解冻组,但空气解冻组的咀嚼性最低,可能是鱿鱼在解冻过程中肌肉蛋白质发生交联、变性和降解所导致^[26]。

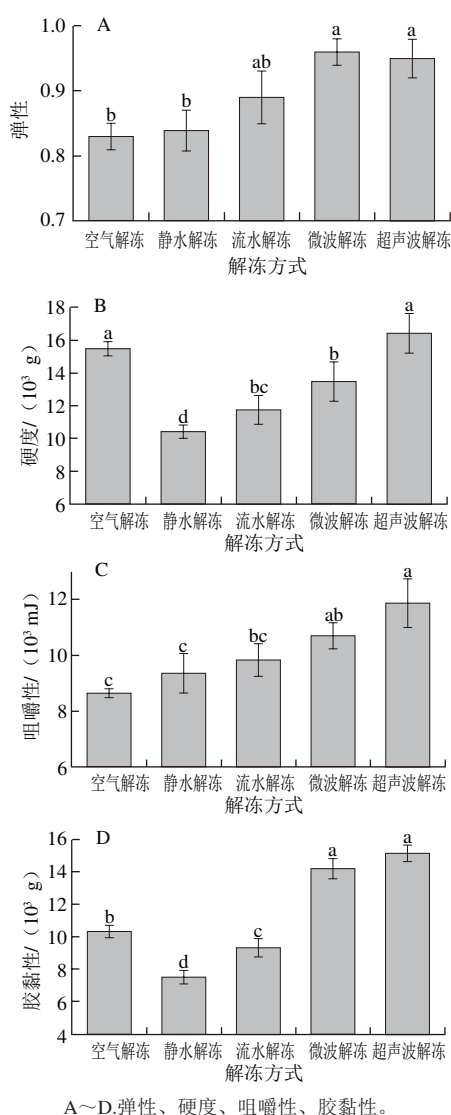


图4 解冻方式对鱿鱼弹性、硬度、咀嚼性及胶黏性的影响

Fig. 4 Effects of different thawing methods on springiness, hardness, chewiness and gumminess of squid

胶黏性可以用来模拟鱿鱼肌肉抵抗牙齿间的压迫时保持完整的能力,反映鱼肉细胞间结合力的大小程度。鱿鱼在超声波解冻下的胶黏性最高(11.89×10^3 g),

可能是因为超声波解冻会加快解冻速率,减少蛋白质的变质,同时超声波解冻过程中控制了水的温度不变,削弱了超声波的空化作用导致的鱿鱼温度上升。余力等^[25]也是得出超声波解冻后兔肉的胶黏性比自然空气解冻、流水解冻和微波解冻好。静水解冻和流水解冻在解冻过程中由于与水直接接触,会降低鱼肉的胶黏性。综合可知,鱿鱼经过超声波解冻后质构效果最好。

2.6 解冻方式对鱿鱼脂质氧化的影响

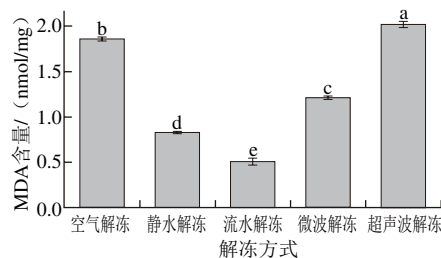


图5 解冻方式对鱿鱼MDA含量的影响

Fig. 5 Effects of different thawing methods on MDA content of squid

鱿鱼是一种高蛋白、低脂肪的鱼类,MDA含量一般用来衡量脂质氧化的程度,其含量越高表明氧化的程度越大。由图5可知,不同解冻方式对鱿鱼MDA含量的影响存在显著性差异($P < 0.05$)。MDA含量最高的是超声波解冻组(2.02 nmol/mg)。微波解冻和超声波解冻在解冻过程会使肌肉温度升高,加速蛋白质与脂质氧化中间产物发生反应,促进脂质发生氧化^[27],但是微波解冻时间(5 min)相对超声波解冻时间(30 min)短,因此脂质氧化程度较小。空气解冻因时间长(185 min),且暴露在空气中,MDA含量达到了 1.83 nmol/mg,仅次于超声波解冻。静水解冻和流水解冻的MDA含量都低于 1.0 nmol/mg,可能是因为水里面的氧气含量低,脂质氧化慢;同时流水解冻会加速冰晶溶解,解冻时间短,因此脂质氧化程度最小,MDA含量最低(0.51 nmol/mg)。

2.7 解冻方式对鱿鱼蛋白质氧化的影响

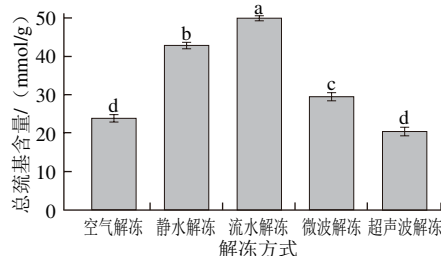


图6 解冻方式对鱿鱼总巯基含量的影响

Fig. 6 Effects of different thawing methods on total protein sulfhydryl content of squid

巯基是组成蛋白质氨基酸残基中重要的功能基团,其含量可以用来判断不同解冻方式对鱿鱼蛋白质氧化程度^[28]。所以总巯基含量越高,鱿鱼蛋白质氧化的程度越

低。解冻方式对鱿鱼总巯基含量的影响如图6所示。经流水解冻和静水解冻后鱿鱼总巯基含量显著高于其他3种解冻方式 ($P < 0.05$), 造成这一现象的原因可能是水隔绝氧气, 使蛋白质氧化程度低, 总巯基损失较小。空气解冻和超声波解冻后鱿鱼的总巯基含量差异性不显著 ($P > 0.05$), 是因为虽然空气解冻的时间较长, 但是超声波解冻后物料的温度升高, 蛋白质变性加速。刘欢等^[13]也发现鼓气流水解冻能够更好地维持鱼肉蛋白质结构, 使营养损失较小。

2.8 解冻方式对鱿鱼水分分布的影响

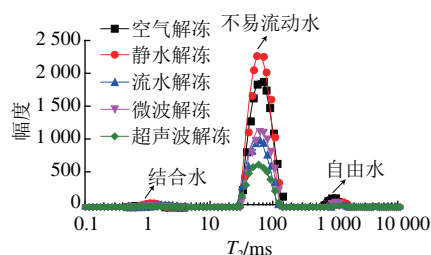


图7 解冻方式对鱿鱼 T_2 弛豫时间的影响

Fig. 7 Effect of different thawing methods on T_2 relaxation time of squid

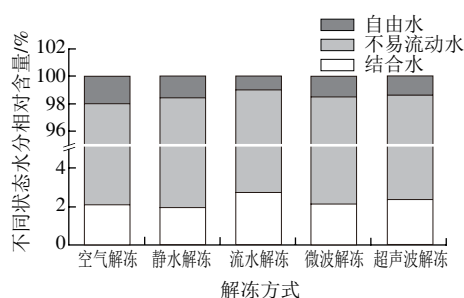


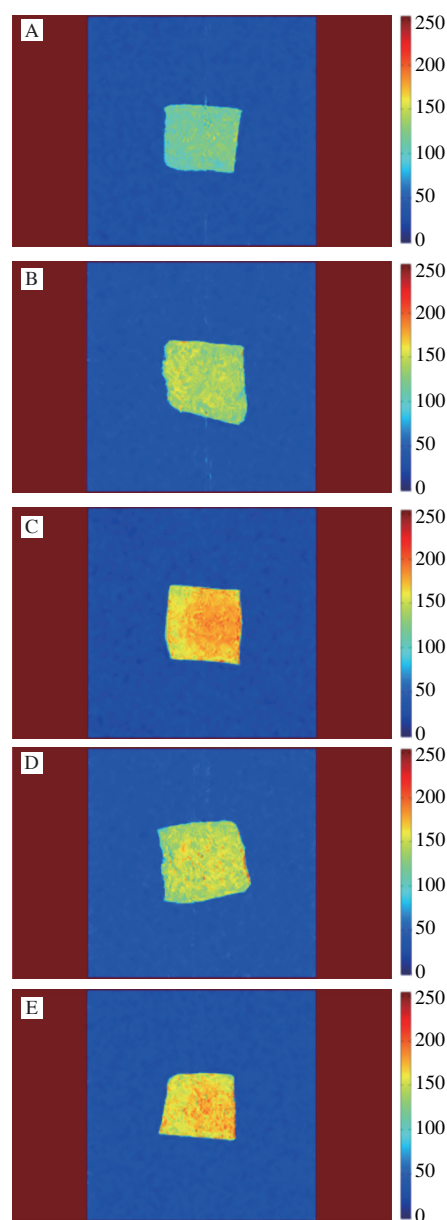
图8 不同解冻方式鱿鱼各状态水分含量的变化

Fig. 8 Changes in water distribution in squid subjected to different thawing methods

LF-NMR的横向弛豫时间 T_2 已经广泛用于检测肉类在贮藏加工过程中的水分分布及状态^[29]。弛豫时间越长, 说明水分与底物结合越松散, 水分越自由。由图7可知, 0~10 ms (T_{21}) 之间有一个峰, 代表与蛋白质等大分子物质紧密结合的结合水; 10~200 ms (T_{22}) 之间的峰为主峰, 代表存在于肌原纤维及膜之间的不易流动水; 而200~1 000 ms (T_{23}) 间的峰表示肌原纤维外部或者细胞外的自由水, 这一部分水的弛豫时间最长, 而且可参与酶促等食品的生化反应, 对维持食品的品质起着关键性作用。由图8可知, 流水解冻后鱿鱼的结合水 (T_{21}) 相对含量比其他4种解冻方式高, 而5种解冻方式组的不易流动水 (T_{22}) 相对含量差异性不大。流水解冻后鱿鱼的自由水 (T_{23}) 相对含量最低 (1.01%), 说明流水解冻方式下的鱿鱼保水性最好, 和保水性研究结果相一致。

核磁共振成像 (magnetic resonance imaging, MRI) 能够反映水产品加工过程中的水分分布及迁移情况^[30]。

通常情况下, MRI图亮度越强, 颜色越趋于红色, 表明鱼肉内部的水质子信号越强, 即该部分的水分含量越高。由图9可知, 不同解冻方式的MRI图亮度由高到低依次为流水解冻、超声波解冻、微波解冻、静水解冻、空气解冻, 与鱿鱼持水力的研究结果一致。此外, 同一样品的不同位置的亮度, 可以反映在鱿鱼的不同位置水分分布的差异性。



A.空气解冻; B.静水解冻; C.流水解冻; D.微波解冻; E.超声波解冻。下同。

图9 不同解冻方式下鱿鱼的核磁共振成像图

Fig. 9 MRI of squid subjected to different thawing methods

2.9 解冻方式对鱿鱼组织微观结构的影响

解冻不仅会改变鱿鱼的蛋白质结构, 还会对肌肉组织结构造成损伤。由图10可以看出, 不同的解冻方式对鱿鱼的肌肉结构的影响存在差异。流水解冻后的鱿鱼肌

束排列紧密,肌内膜完整,肌肉组织结构保持最好,表明流水解冻鱿鱼肌肉的保水性最好^[31],与上文对保水性的研究结果一致。鱿鱼经过空气解冻后肌纤维束变得松弛的同时还有部分断裂,这可能是由于鱿鱼长时间暴露在空气中,蛋白质变性,肌肉紧密结构产生破坏。微波解冻后鱿鱼的肌原纤维的收缩和断裂可能是由于微波解冻过热,导致肌原纤维过度脱水^[32]。而鱿鱼在超声波解冻过程中鱼体温度会出现上升并同时发生水分子振荡,会使肌纤维束间隙变大。综上所述,解冻对鱿鱼肌肉组织有影响,流水解冻能够较好维持鱿鱼组织结构的紧密性、完整性。

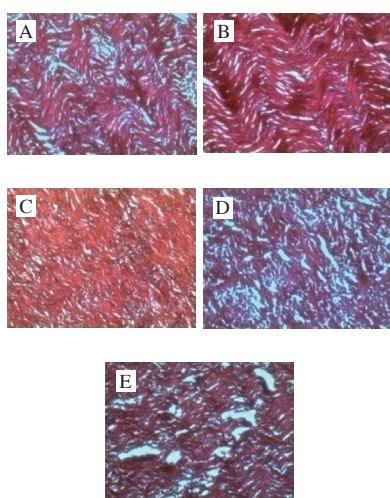


图10 解冻方式对鱿鱼微观结构的影响(×100)

Fig. 10 Effects of different thawing methods on microstructure of squid (×100)

3 结论

空气解冻时间最长,对鱿鱼品质保持不理想;微波解冻速率最快,但是温度过高会使鱿鱼的肌原纤维收缩和断裂,鱿鱼须和尾部会出现烧焦现象,而且解冻损失率和蒸煮损失率最大;超声波解冻对鱿鱼品质的影响也比较大,水分子振荡会使肌纤维束间隙变大,但是质构特性最好;流水解冻后的鱿鱼肌束排列紧密,肌内膜完整,肌肉组织结构保持最好,与静水解冻相比缩短了解冻时间,在保水性、色泽、pH值、水分迁移变化以及蛋白质和脂质氧化方面鱿鱼品质保持最好;综上所述,在这5种解冻方式中,流水解冻是最为理想的鱿鱼解冻方式。

参考文献:

- [1] CHEN X J, LIU B L, CHEN Y. A review of the development of Chinese distant-water squid jigging fisheries[J]. Fisheries Research, 2008, 89(3): 211-221. DOI:10.1016/j.fishres.2007.10.012.
- [2] 岳冬冬,王鲁民,郑汉丰,等. 中国远洋鱿钓渔业发展现状与技术展望[J]. 资源科学, 2014, 36(8): 1686-1694.
- [3] 叶常青,李桂芬,何定芬,等. 解冻方式对阿根廷鱿鱼鲜度品质的影响[J]. 浙江海洋大学学报(自然科学版), 2018, 37(2): 123-128; 171. DOI:10.3969/j.issn.1008-830X.2018.02.005.
- [4] CAI Luyun, CAO Minjie, CAO Ailin, et al. Ultrasound or microwave vacuum thawing of red seabream (*Pagrus major*) fillets[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2018, 47: 122-132. DOI:10.1016/j.ultsonch.2018.05.001.
- [5] 刘欢,陈雪,宋立玲,等. 不同解冻方式对鲈鱼鲜度及品质的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(10): 259-265. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201610044.
- [6] 朱文慧,宦海珍,步营,等. 不同解冻方式对秘鲁鱿鱼肌肉保水性和蛋白质氧化程度的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(11): 6-11. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201711002.
- [7] 宦海珍,朱文慧,步营,等. 微波解冻对秘鲁鱿鱼肌肉品质与蛋白质氧化程度的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(5): 30-35; 40. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2018.05.006.
- [8] JIANG Qingqing, JIA Ru, NAKAZAWA N, et al. Changes in protein properties and tissue histology of tuna meat as affected by salting and subsequent freezing[J]. Food Chemistry, 2019, 271: 550-560. DOI:10.1016/j.foodchem.2018.07.219.
- [9] 刘妙. 保鲜剂对冻藏鱿鱼品质的影响[D]. 上海: 上海海洋大学, 2016: 9-10.
- [10] BENJAKUL S, SEYMOUR T A, MORRISSEY M T, et al. Physicochemical changes in Pacific whiting muscle proteins during iced storage[J]. Journal of Food Science, 2010, 62(4): 729-733. DOI:10.1111/j.1365-2621.2010.tb15445.x.
- [11] 王硕,谢晶,杨凯,等. 三文鱼冷链流通过程中质构、鲜度及感官品质变化规律与水分迁移相关性[J]. 中国食品学报, 2018, 18(5): 173-184. DOI:10.16429/j.1009-7848.2018.05.022.
- [12] 曹荣,王凤玉,赵玲,等. 日本枪乌贼(*Loligo japonica*)不同温度冻藏过程中的品质变化[J]. 渔业科学进展, 2016, 37(4): 97-103.
- [13] 刘欢,陈雪,宋立玲,等. 不同解冻方式对鲈鱼鲜度及品质的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(10): 259-265. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201610044.
- [14] 张昕,宋蕾,高天,等. 超声波解冻对鸡胸肉品质的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(5): 135-140. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201805021.
- [15] YERLIKAYA P, GÖKOĞLU N. Quality changes of blue crab (*Callinectes sapidus*) meat during frozen storage[J]. Journal of Food Quality, 2004, 27(1): 83-89. DOI:10.1111/j.1745-4557.2004.tb00639.x.
- [16] 夏松养. 水产食品加工学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008: 22-36.
- [17] 李银. 蛋白氧化对肌肉保水性的影响机制研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2014: 27.
- [18] THANONKAEW A, BENJAKUL S, VISESSANGUAN W, et al. The effect of metal ions on lipid oxidation, colour and physicochemical properties of cuttlefish (*Sepia pharaonis*) subjected to multiple freeze-thaw cycles[J]. Food Chemistry, 2006, 95(4): 591-599. DOI:10.1016/j.foodchem.2005.01.040.
- [19] 姜晴晴,吴春华,董开成,等. 解冻方式对带鱼蛋白性质及肌肉品质的影响[J]. 中国食品学报, 2016, 16(11): 17-27. DOI:10.16429/j.1009-7848.2016.11.003.
- [20] 周光宏,徐幸莲. 肉品学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999: 195-210.
- [21] MANCINI R A, HUNT M C. Current research in meat color[J]. Meat Science, 2005, 71(1): 100-121. DOI:10.1016/j.meatsci.2005.03.003.

- [22] SRIKET P, BENJAKUL S, VISESSANGUAN W, et al. Comparative studies on the effect of the freeze-thawing process on the physicochemical properties and microstructures of black tiger shrimp (*Penaeus monodon*) and white shrimp (*Penaeus vannamei*) muscle[J]. Food Chemistry, 2007, 104(1): 113-121. DOI:10.1016/j.foodchem.2006.11.004.
- [23] 常海军, 唐翠, 唐春红. 不同解冻方式对猪肉品质特性的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(10): 1-5. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201410001.
- [24] 李天翔, 包海蓉, 王锡昌, 等. 不同解冻方式对鲮鱼鱼肉蛋白及组胺变化的影响[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(3): 180-185. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.201703032.
- [25] 余力, 贺稚非, ENKHMAA B, 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. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201514049.
- [26] 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.
- [27] SOYER A, ÖZALP B, DALMIŞÜ, et al. Effects of freezing temperature and duration of frozen storage on lipid and protein oxidation in chicken meat[J]. Food Chemistry, 2010, 120(4): 1025-1030. DOI:10.1016/j.foodchem.2009.11.042.
- [28] WEDEMEYER W J, WELKER E, NARAYAN M, et al. Disulfide bonds and protein folding[J]. Biochemistry, 2000, 39(15): 4207-4216. DOI:10.1021/bi992922o.
- [29] PEARCE K L, ROSENVOLD K, ANDERSEN H J, et al. Water distribution and mobility in meat during the conversion of muscle to meat and ageing and the impacts on fresh meat quality attributes: a review[J]. Meat Science, 2011, 89(2): 111-124. DOI:10.1016/j.meatsci.2011.04.007.
- [30] MARCONE M F, WANG S N, ALBABISH W, et al. Diverse food-based applications of nuclear magnetic resonance (NMR) technology[J]. Food Research International, 2013, 51(2): 729-747. DOI:10.1016/j.foodres.2012.12.046.
- [31] 王凤玉, 曹荣, 赵玲, 等. 解冻方式对冷冻秋刀鱼品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(11): 4584-4590.
- [32] CAO M J, CAO A L, WANG J, et al. Effect of magnetic nanoparticles plus microwave or far-infrared thawing on protein conformation changes and moisture migration of red seabream (*Pagrus major*) fillets[J]. Food Chemistry, 2018, 266: 498-507. DOI:10.1016/j.foodchem.2018.06.057.