

解冻方式对船载超低温鱿鱼肌肉 保水性及品质的影响

Effect of thawing methods on water retention and quality of ship-borne ultra-low-temperature squid muscle

王 晋¹ 高学慧¹ 陈云云²

WANG Jin¹ GAO Xue-hui¹ CHEN Yun-yun²

余海霞³ 高 飞¹ 张小军^{1,4}

YU Hai-xia³ GAO Fei¹ ZHANG Xiao-jun^{1,4}

(1. 浙江海洋大学食品与医药学院, 浙江 舟山 316022; 2. 中国水产舟山海洋渔业有限公司, 浙江 舟山 316021;

3. 浙江大学舟山海洋研究中心, 浙江 舟山 316021; 4. 浙江省海洋水产研究所, 浙江 舟山 316021)

(1. Food and Medicine School of Zhejiang Ocean University, Zhoushan, Zhejiang 316022, China;

2. China Aquatic Products Zhoushan Market Fisheries Corporation, Zhoushan, Zhejiang 316021, China;

3. Ocean Research Center of Zhoushan, Zhejiang University, Zhoushan, Zhejiang 316021, China;

4. Marine Fisheries Research Institute of Zhejiang Province, Zhoushan, Zhejiang 316021, China)

摘要:目的:探索鱿鱼在贮藏和加工中最佳解冻方式。方法:以低温解冻、超声波解冻、流水解冻以及静水解冻4种解冻方式对3种鱿鱼进行解冻处理,研究解冻过程中鱿鱼感官品质、质构特性、解冻损失率、蒸煮损失率、挥发性盐基总氮(TVB-N值)、硫代巴比妥酸值(TBARS值)及盐溶性蛋白含量(SSP值)等指标的变化。结果:超声波解冻所用时间最短,但解冻损失率高,汁液流失严重;低温解冻时间过长,TBARS值较高,但品质较差;静水解冻蒸煮损失率较高,蛋白质降解和脂肪氧化现象严重;流水解冻下鱿鱼咀嚼性较好,解冻损失率相对较低,肌肉结构特性保持较好。结论:流水解冻为鱿鱼最适宜的解冻方式。

关键词:鱿鱼;解冻方式;保水性;船载;超低温

Abstract: Objective: This study aimed to explore the best thawing method of squid in storage and processing. Methods: Three kinds of squid were thawed by four thawing methods: low temperature thawing, ultrasonic thawing, flowing water thawing and hydrostatic thawing. The changes of sensory quality, texture characteristics, thawing loss rate, cooking loss rate, volatile base

total nitrogen (TVB-N value), thiobarbituric acid value (TBARS value) and salt-soluble protein content (SSP value) of different squid were investigated during the thawing process. Results: Ultrasonic thawing took the shortest time, but thawing loss rate was high and the juice loss was serious; The low temperature thawing time was too long, with high TBARS value but poor quality; The loss rates of hydrostatic thawing and cooking were high, and the phenomena of protein degradation and fat oxidation were serious; The mastication of squid was better under flowing water thawing, and the loss rate of thawing was relatively low, and the characteristics of muscle structure were maintained well. Conclusion: Flow water thawing is the most suitable thawing method for squid.

Keywords: squid; thawing methods; water retention; ship-borne; ultra-low-temperature

基金项目:舟山市科技计划项目(编号:2021C51004, 2022C12028);舟山市定海区远洋渔业产业创新揭榜挂帅项目(编号:YY-2021C1008)

作者简介:王晋,女,浙江海洋大学在读硕士研究生。

通信作者:余海霞(1981—),女,浙江大学舟山海洋研究中心高级工程师,硕士。E-mail:haixiahome@163.com

收稿日期:2022-03-01 **改回日期:**2022-06-05

鱿鱼肉质鲜美,营养价值高,深受消费者喜爱。经远洋捕捞后在运输过程中通常采用超低温冻藏来保持鱿鱼鲜度。但冻结后鱿鱼的肌肉冰晶体中某些可溶性物质浓度增加,使肌肉系统失去平衡^{[1]43-59}。如果解冻方式不当,会造成产品保水性降低、脂肪氧化等问题,从而导致产品质量严重下降^[2]。

目前已有大量研究发现不同解冻过程对鱼类理化性质有不同影响。李天翔等^[3]研究了自然空气解冻、静水解冻、流水解冻和低温解冻4种解冻方式下鲢鱼鱼肉蛋

白质和组胺的含量变化,结果发现低温解冻显著抑制了组胺的生成和氧结合血红蛋白的氧化,肌原纤维蛋白的结构和功能特性保持良好,因此,冷藏库低温解冻适合作为鲭鱼罐头生产的解冻方式。万海伦等^[4]研究了不同解冻方式对生鱼片品质的影响,结果显示水浴解冻的损失率最低,该解冻方法能较好地保持生鱼片水分,有效地避免解冻中的不良变化,从而保证生鱼片的解冻品质。因此,选择恰当的解冻方式对鲭鱼加工产品品质至关重要。

研究拟将阿根廷滑柔鱼(*Illex argentinus*)、北太平洋褶柔鱼(*Todarodes pacificus*)和东南太平洋茎柔鱼(*Dosidicus gigas*)作为研究对象,分别用不同的方式解冻并分析其感官品质、质构特性、解冻损失率、蒸煮损失率、挥发性盐基总氮(TVB-N 值)、硫代巴比妥酸值(TBARS 值)及盐溶性蛋白含量(SSP 值)等指标的变化确定最佳解冻方式,以期在鲭鱼在贮藏和加工中选择合适解冻方式提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料

船载深冷速冻鲭鱼样品:中国水产舟山海洋渔业有限公司。鲭钓船上捕捞鲭鱼后,选取体表无损伤的阿根廷滑柔鱼(体长约 170 mm,质量约 400 g)、北太平洋褶柔鱼(体长约 250 mm,质量约 500 g)和东南太平洋茎柔鱼(体长约 400 mm,质量约 1 000 g),保证同一品种鲭鱼大小体重差异较小,−60 ℃超低温深冷锁鲜速冻,袋装后同样温度下冻藏,靠岸后随即运回实验室备用。

1.1.2 仪器

质构仪:LDX-CT3 型,美国 Brookfield 公司;
高效液相色谱仪:ACQUITY™型,美国 Waters 公司;
酸度计:EF20K 型,梅特勒—托利多(上海)有限公司;
紫外分光光度计:UV-1800PC 型,上海美谱达仪器有限公司;
凯氏定氮仪:KDN-08A 型,上海昕瑞仪器有限公司;

消化炉:KDN-08 型,上海昕瑞仪器有限公司;
高速冷冻离心机:5810R 型,德国 Eppendorf 公司;
旋转蒸发仪:R-201 型,郑州长征仪器有限公司;
漩涡混合器:lab dancer 型,德国 IKA 公司;
温度记录仪:L93-2L 型,杭州路格科技有限公司;
船载液氮超低温速冻装置(见图 1):自制。

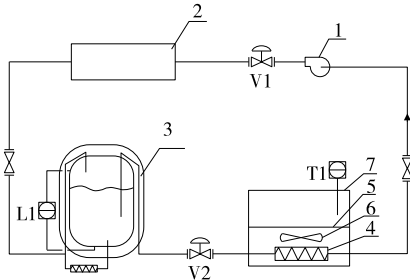
1.2 试验方法

1.2.1 解冻处理 将深冷速冻样品取出,每一品种的鲭鱼样品随机分为 4 组,分别采用流水解冻(水温 20 ℃,水流量 50 mL/s)、静水解冻(浸没在 20 ℃的静水中解冻)、超声波解冻^[4](超声温度 20 ℃、超声频率 40 kHz、超声功率 200 W、超声密度 0.5 W/cm²)和低温解冻(4 ℃冷藏箱)4 种方式来解冻样品,使用多路温度记录仪每隔一定时间记录下鱼体中心温度,从−60 ℃升高至 0 ℃所需的时间即为解冻时间^[5-6]。

1.2.2 感官品质评定标准 参照 SC/T 3122—2014 并稍作修改。评分标准见表 1。

1.2.3 质构特性的测定 参照周逸等^[7]的方法。

1.2.4 解冻损失率的测定 样品解冻前称取质量(m_1),解冻后用滤纸吸干样品表面水分再称质量(m_2),按式(1)计算解冻损失率^[8]。



1. 风机 2. 低温液化机 3. 热泵机组 4. 冷凝器 5. 冷凝机组 6. 膨胀阀 7. 速冻仓

图 1 液氮超低温速冻装置示意图
Figure 1 Schematic diagram of liquid nitrogen ultra-low temperature quick freezing device

表 1 鲭鱼感官评分标准
Table 1 Squid sensory scoring criteria

指标	评价标准
气味 (3 分)	有鲭鱼固有的鲜味和香气,清香无异味(2.4~3.0 分);固有香味清淡,比较清香(1.8~2.4 分);具有轻微的异味,但无腥臭味(1.2~1.8 分);特有气味消失,有腥味(0.6~1.2 分);有强烈腥味和腐败味(0.6 分以下)
色泽 (2 分)	肌肉切面呈白色,富有光泽(1.6~2.0 分);呈灰白色,肌肉表面光泽感明显(1.2~1.6 分);发生变色,肌肉切面光泽感较明显(0.8~1.2 分);发生明显的变色,无光泽感(0.4~0.8 分);变色严重,肌肉无光泽感(0.4 分以下)
肌肉弹性 (3 分)	组织结构紧密均一化,富有较佳弹性,纤维结构较为清晰(2.4~3.0 分);组织较紧密,有一定弹性,纤维结构明显(1.8~2.4 分);组织较紧密,弹性较好,纤维较为清晰(1.2~1.8 分);组织紧密,弹性较差,纤维结构不清晰(0.6~1.2 分);组织不紧密,弹性不明显,纤维结构不显著(0.6 分以下)
蒸煮试验 (2 分)	滋味鲜美,富有鱼肉鲜味(1.6~2.0 分);滋味较鲜美,略带有鱼腥味(1.2~1.6 分);鲭鱼鲜味略有下降(0.8~1.2 分);鲭鱼特有的鲜味消失(0.4~0.8 分);滋味不鲜美,且具有异味(0.6 分以下)

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

W ——解冻损失率,%;

m_1 ——解冻前样品质量,g;

m_2 ——解冻后样品质量,g。

1.2.5 蒸煮损失率的测定 从各组肉样中切取 200 g,放入塑料袋中,水浴加热至中心温度 75 ℃,保持 30 min,然后取出冷却至室温,用纸巾将肉样表面水吸干后称质量,按式(2)计算蒸煮损失率^[9]。

$$H = \frac{m_3 - m_4}{m_3} \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

H ——蒸煮损失率,%;

m_3 ——生肉样品质量,g;

m_4 ——熟肉样品质量,g。

1.2.6 挥发性盐基氮(TVB-N)值的测定 按 GB 5009.228—2016 中自动凯氏定氮仪法执行。

1.2.7 硫代巴比妥酸(TBARS)值的测定 按 GB 5009.181—2016 中高效液相色谱法执行。

1.2.8 盐溶性蛋白(SSP)含量的测定 参照董开成等^[10]的方法。

1.3 数据分析

所有试验平行重复至少 3 次,数据以平均值±标准差表示。使用 Excel 2010、SPSS 22.0 软件以及方差分析(ANOVA)进行数据处理和显著性分析。 $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 解冻方式对解冻时间的影响

由表 2 可知,超声解冻所需时间最短,用时 10~15 min。低温解冻用时最长,需 6~10 h,约为静水和流水解冻时间的 6.5 倍,这是因为水的对流换热系数高于大气。与静水解冻相比,流水解冻下冷冻鱿鱼和水的热交换率高从而加速了肌肉解冻,因此解冻时间较短,用时 40~65 min。在各个解冻方式下阿根廷滑柔鱼解冻用时最短,北太平洋褶柔鱼解冻用时最长,这是鱿鱼的个体差异所导致的。综上,解冻介质的传热性能、流动性和温度差的变化都会改变解冻速度从而影响肌肉品质^[11-12]。

2.2 解冻方式对鱿鱼感官品质的影响

由图 2 可知,流水解冻和静水解冻下 3 种鱿鱼综合评分较高,均在 9 分左右,表明这两种解冻方式对鱿鱼品质的影响不显著($P > 0.05$),可能是由于在流水和静水下解冻蛋白质未发生变性,鱼肉嫩度和弹性变化不大,未对肌肉结构造成破坏。超声波解冻用时虽然最短,但是随解冻温度的上升,肌肉汁液开始流失,外形、气味和肌肉质地等感官评分下降,较其余方式差异性显著($P < 0.05$),因此超声解冻对产品品质影响较大。低温解冻损失率最低,但解冻时间较长,肌肉品质会随蛋白降解而下降^[13]。

2.3 解冻方式对鱿鱼质构特性的影响

质构特性作为评价鱿鱼肌肉品质的重要特性,能够直观反映出肌肉质地和品质的变化,鱿鱼解冻后肌肉中的蛋白质会慢慢分解,弹性、硬度、咀嚼性等会发生不同

表 2 不同解冻方式下鱿鱼解冻时间

鱿鱼品种	超声波解冻	流水解冻	静水解冻	低温解冻
阿根廷滑柔鱼	10.23±1.05	42.12±2.42	53.43±2.55	364.54±3.24
北太平洋褶柔鱼	15.48±1.21	63.38±2.87	84.50±2.69	609.86±4.32
东南太平洋茎柔鱼	12.65±1.14	50.08±2.62	68.52±2.27	553.74±3.45

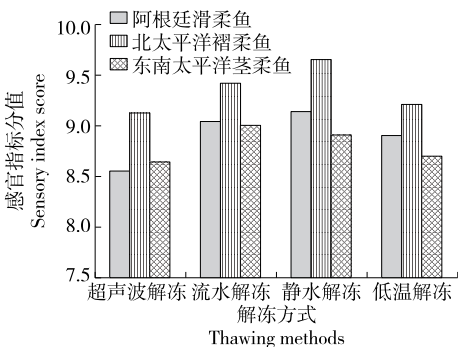


图 2 解冻方式对鱿鱼感官品质的影响

Figure 2 Effects of different thawing methods on the sensory quality of squid

程度的下降,肌肉的口感下降,食用品质也随之变差。由图 3 可知,解冻方式对 3 种鱿鱼的弹性无显著影响($P > 0.05$),北太平洋褶柔鱼弹性最好,均在大于 55%,阿根廷滑柔鱼弹性最差为 42.53%,与李天翔等^[3]的研究结论一致。解冻方式对鱿鱼硬度的影响显著($P < 0.05$),鱿鱼肌肉在低温下解冻可以较好地保持蓄水性,减少汤汁流失,使肌原纤维更加紧密地结合,因此低温解冻下鱿鱼硬度相应较高^{[1]51-53[14]}。超声波解冻下硬度均小于 3.42 N,而流水、静水及低温解冻下硬度均大于 4.56 N,可能是因为解冻时肌肉未能抵御声波对肌原纤维组织的破坏,导致肌肉松散,弹性和咀嚼性变差。低温解冻虽用时长,但咀嚼性保持在较高水平,阿根廷滑柔鱼最高达到 8.42 N,

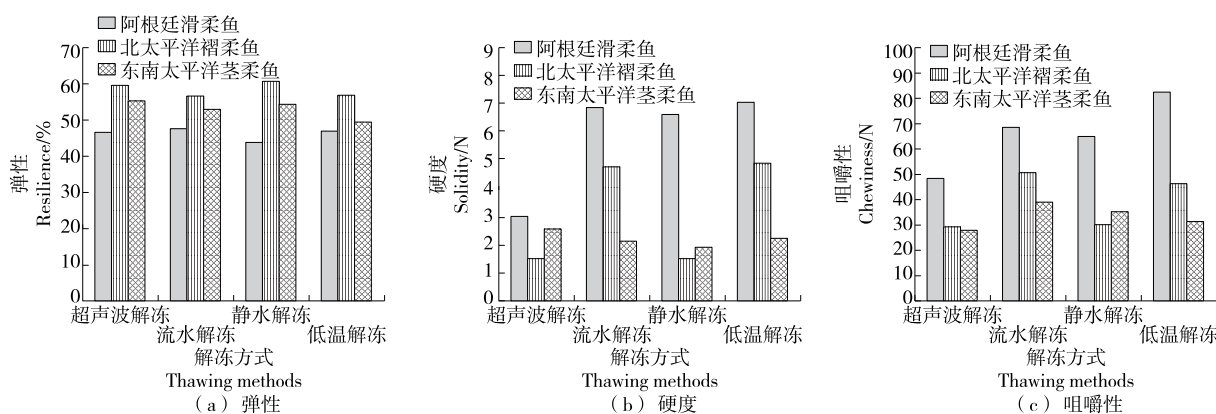


图 3 解冻方式对鱿鱼弹性、硬度和咀嚼性的影响

Figure 3 Effects of different thawing methods on resilience, solidity, and chewiness of squid

可能是由于其受外力作用影响较小,肌肉蛋白质变性作用不明显,因而较好地保持了肉质。

2.4 解冻方式对鱿鱼解冻损失率的影响

由图 4 可知,超声波解冻对鱿鱼解冻损失率的影响最大,北太平洋褶柔鱼解冻损失率高达 4.58%,原因可能是蛋白质结构被超声波引起的极性分子震动所破坏,使得蛋白质与水的结合能力下降,水分因此流失。流水解冻时 3 种鱿鱼解冻损失率差异显著,其中阿根廷滑柔鱼的解冻损失率最低为 1.18%,北太平洋褶柔鱼解冻损失率高达 3.12%,这是因为流水解冻时,一部分可溶性蛋白通过鱼肉的切面直接溶于水中了。低温解冻时 3 种鱿鱼解冻损失率无显著影响($P>0.05$),推测可能原因是解冻过程中环境温度差异小,肌肉生化反应速度较慢,低温解冻损失率最低,与王雪松等^[13]的研究结果一致。

2.5 解冻方式对鱿鱼蒸煮损失率的影响

鱿鱼经蒸煮后,其保水能力降低,蒸煮损失增加。由图 5 可知,超声波解冻后阿根廷滑柔鱼蒸煮损失率最高,为 49.09%,这是由于超声解冻过程中肌肉温度升高加剧了蛋白质的变性,即内部蛋白微观结构受到严重破坏,肌肉保水性下降,与 Yerlikaya 等^[14]的研究结果一致。

北太平洋褶柔鱼的蒸煮损失率在不同解冻方式下差异不明显($P>0.05$),均在 25% 左右。静水解冻下 3 种鱿鱼的蒸煮损失率差异较显著($P<0.05$)。

2.6 解冻方式对鱿鱼挥发性盐基氮含量的影响

挥发性盐基氮(TVB-N)值是用于评价肉质鲜度的理化指标。鱿鱼肌肉中的蛋白质在酶和细菌的作用下发生分解,产生有害的氨和胺类,从而使 TVB-N 值变大。鱿鱼初始 TVB-N 值均为 7.5 mg/100 g,当 TVB-N 值 <25 mg/100 g 时,鱿鱼新鲜度处于“好”的状态;当 TVB-N 值 >35 mg/100 g 时,鱿鱼新鲜度处于“差”的状态^[15]。由图 6 可知,在每种解冻方式下阿根廷滑柔鱼和北太平洋褶柔鱼 TVB-N 值均无明显差异,且 TVB-N 值 <20 mg/100 g,说明二者新鲜度较好。低温解冻后东南太平洋茎柔鱼 TVB-N 值最高,为 37.26 mg/100 g,可能是由于其解冻时间较长,微生物和内源酶对肌肉蛋白质进行微量分解,氨及胺类等含氮物质增多^[16-17]。东南太平洋茎柔鱼 TVB-N 值差异性比较显著($P<0.05$),可能是由于东南太平洋茎柔鱼体积较为庞大,肌原纤维蛋白含量高,肌肉中含有较多的促氧化成分(如自由基等),使更多的蛋白质变性解旋和氧化,从而导致氨和胺类增多,

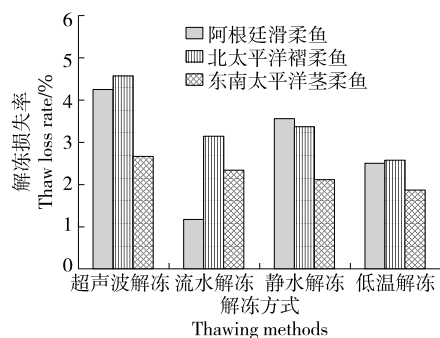


图 4 解冻方式对鱿鱼解冻损失率的影响

Figure 4 Effects of thawing method on the thawing loss rate of squid

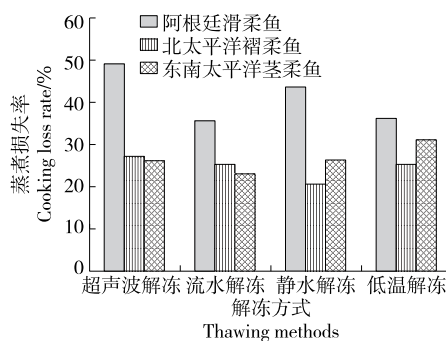


图 5 解冻方式对鱿鱼蒸煮损失率的影响

Figure 5 Effects of thawing method on the cooking loss rate of squid

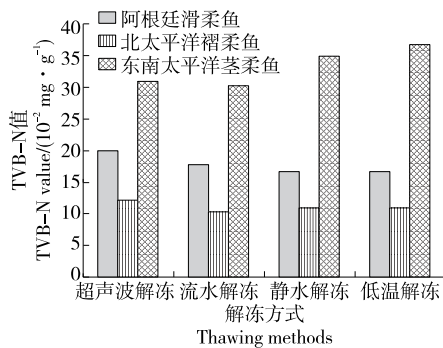


图6 解冻方式对鱿鱼TVB-N值含量的影响

Figure 6 Effects of different thawing methods on the TVB-N content of squid

TVB-N 值较高^[18]。流水解冻时微生物不易存留在鱿鱼表面,故 TVB-N 值较低。

2.7 解冻方式对鱿鱼硫代巴比妥酸值的影响

硫代巴比妥酸值(TBARS 值)的大小可以直接反映出肌肉脂质氧化的程度,其值越高,肌肉脂质氧化程度越高^[19-20]。由图 7 可知,由于超声波解冻温度升高以及流水解冻下微生物较少,相应解冻时间缩短,脂肪氧化现象较少发生,所以超声波解冻和流水解冻条件下 TBARS 值均 <0.875 mg/kg,且差异不明显($P>0.05$)。马翼飞等^[12]研究结果也显示静水解冻对鱼肉脂质氧化程度影响大,这是因为鱼肉通过最大冰晶溶解带($-5\sim 0^{\circ}\text{C}$)的时间相对较长,微生物繁殖时间延长,导致蛋白质降解和脂肪氧化^[21]。低温解冻所用时间较长,解冻过程中肌肉细胞被破坏,氧化剂被释放使微生物开始滋生,导致脂肪水解和氧化^[22-23],故 3 种鱿鱼品质均受到不同程度的损坏,但其 TBARS 值均在安全范围内($0.08\sim 0.13$ mg/kg)^[24]。

2.8 解冻方式对鱿鱼盐溶性蛋白含量的影响

肌原纤维蛋白的变性程度影响着鱼肉的食用质量,盐溶性蛋白含量(SSP 值)的变化可反映肌原纤维蛋白的变性程度^[25-26]。由图 8 可知,超声波解冻、流水解冻、静水解冻和低温解冻 4 种解冻方式解冻鱿鱼时 SSP 值的差

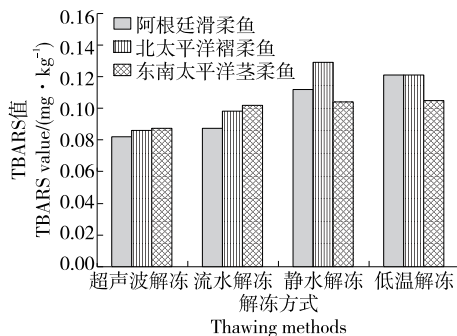


图7 解冻方式对鱿鱼的硫代巴比妥酸值的影响

Figure 7 Effects of different thawing methods on TBARS value in squids

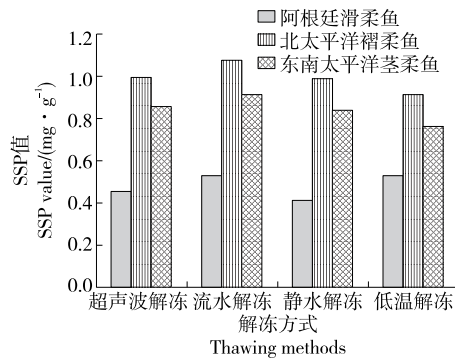


图8 解冻方式对鱿鱼盐溶性蛋白含量的影响

Figure 8 Effects of different thawing methods on the salt-soluble protein content of squid

异性不显著($P>0.05$)。无论在何种方式解冻下,北太平洋褶柔鱼的 SSP 值最高,东南太平洋茎柔鱼的次之,阿根廷滑柔鱼的最低,并且存在显著差异($P<0.05$)。流水解冻下 3 种鱿鱼 SSP 值均比其他方式下的同品种鱿鱼 SSP 值高,可能是由于解冻时间较短,肌肉中的冰晶体较快溶解使细胞破裂,汁液流失,导致蛋白质流失和氧化^[27]。低温解冻虽时间较长,但外部温度处在较低水平,肌肉冰晶体融化较为缓慢,肌肉内外形成较小的浓度差,细胞受到的损伤相对较小。

3 结论

就平均解冻时间而言,阿根廷滑柔鱼平均解冻时间较短,但其硬度较大,蒸煮损失率及解冻损失率较高;北太平洋褶柔鱼由于其个体较大,平均解冻时间稍长,其感官品质、弹性较好,蒸煮损失率和 TVB-N 值均为最低;东南太平洋茎柔鱼解冻时间居中,感官品质及咀嚼性较差,TVB-N 值显著高于其他 2 种鱿鱼的,但其解冻损失率较低。超声波解冻所用时间最短,但温度升高解冻损失率也比较高;低温解冻时间较长,不利于保持鱿鱼肌肉品质;静水解冻下鱿鱼 TBARS 值最高达到 0.12 mg/kg,微生物繁殖和脂肪氧化现象较严重;流水解冻后的鱿鱼咀嚼性及感官品质较好,解冻损失率也相对较低。综上所述,流水解冻为鱿鱼最佳解冻方式,后续可继续探究其他水产品在水解冻下产品品质的变化规律。

参考文献

- [1] 高学慧. 不同解冻方式及冻藏温度对鱿鱼品质变化规律研究[D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2019: 1-59.
- GAO X H. Study of different thawing methods and storage temperature on the variation of quality of squid[D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2019: 1-59.
- [2] 索原杰, 宣晓婷, 崔燕, 等. 超声波辅助冻结在水产品及肉类产品中的应用研究进展及解冻机制[J]. 生物加工过程, 2018, 16 (3): 78-83.

- SUO Y J, XUAN X T, CUI Y, et al. Application of ultrasonic-assisted freezing and thawing technique for aquatic and meat products[J]. Chinese Journal of Bioprocess Engineering, 2018, 16(3): 78-83.
- [3] 李天翔, 包海蓉, 王锡昌, 等. 不同解冻方式对鲮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.
LI T X, BAO H R, WANG X C, et al. Effect of different thawing methods on muscle proteins and histamine variation of skipjack tuna[J]. Food and Fermentation Industry, 2017, 43(3): 180-185.
- [4] 万海伦, 应晓国, 赵波, 等. 不同解冻方式对生食鱼片解冻品质的影响[J]. 食品科学, 2021, 43(15): 227-235.
WAN H L, YING X G, ZHAO B, et al. Effects of different thawing methods on the thawing quality of sashimi fillets[J]. Food Science, 2021, 43(15): 227-235.
- [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(11): 1 291-1 295.
CHI H, YANG F, YANG X S, et al. Effect of different thawing methods on quality of Antarctic Krill (*Euphausia Superba*) [J]. Modern Food Science and Technology, 2011(11): 1 291-1 295.
- [6] 朱文慧, 宦海珍, 步营, 等. 不同解冻方式对秘鲁鲉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.
ZHU W H, HUAN H Z, BU Y, et al. Effect of different thawing methods on water holding capacity and protein oxidation in *Dosidicus gigas*[J]. Food Science, 2017, 38(11): 6-11.
- [7] 周逸, 金森, 徐亦及, 等. 秘鲁鲉鱼肌原纤维蛋白提取和加热条件对其凝胶特性的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(14): 126-130.
ZHOU Y, JIN M, XU Y J, et al. Effects of extraction and heating conditions on gel characteristics of *Dosidicus gigas* Myofibrillar protein[J]. Food Science, 2013, 34(14): 126-130.
- [8] 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.
LIU H, CHEN X, SONG L L, et al. Effect of different thawing methods on freshness and quality of *Scomber japonicus* [J]. Food Science, 2016, 37(10): 259-265.
- [9] 侯晓荣, 米红波, 茅林春. 解冻方式对中国对虾物理性质和化学性质的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(4): 243-247.
HOU X R, MI H B, MAO L C. Influence of thawing methods on physico-chemical changes of Chinese shrimp (*Fenneropenaeus chinensis*) [J]. Food Science, 2014, 35(4): 243-247.
- [10] 董开成, 杨水兵, 余海霞, 等. 不同预冻条件对小黄鱼品质的影响[J]. 现代食品科技, 2015, 31(2): 225-231.
DONG K C, YANG S B, YU H X, et al. Effect of different pre-freeze conditions on the quality of *Larimichthys polyactis*[J]. Modern Food Science and Technology, 2015, 31(2): 225-231.
- [11] 刘宏影, 马莹莹, 李秀霞, 等. 解冻方式对金线鱼肌原纤维蛋白热稳定性和组织结构的影响[J]. 华中农业大学学报, 2019, 38(6): 25-32.
LIU H Y, MA Y Y, LI X X, et al. Effect of different thawing methods on thermal stability and tissue structure of myofibrin of *Nemipteru virgatus* [J]. Journal of Huazhong Agriculture University, 2019, 38(6): 25-32.
- [12] 马翼飞, 刘欢, 单钱艺, 等. 不同解冻方式对小黄鱼品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(1): 222-228.
MA Y F, LIU H, SHAN Q Y, et al. Effect of different thawing methods on the quality of little yellow croaker[J]. Food and Fermentation Industry, 2021, 47(1): 222-228.
- [13] 王雪松, 谢晶. 不同解冻方式对冷冻竹荚鱼品质的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(23): 137-143.
WANG X S, XIE J. Effects of different thawing methods on the quality of frozen horse mackerel[J]. Food Science, 2020, 41(23): 137-143.
- [14] YERLIKAYA P, GOKOGLU N. Quality changes of blue crab (*calinectes sapidus*) meat during frozen storage[J]. Journal of Food Quality, 2010, 27(1): 83-89.
- [15] QI C, WANG Y X, TANG J H. Effect of squid fin bionic surface and magnetic nanofluids on CPU cooling performance under magnetic field[J]. Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering, 2020, 15(4): 108954.
- [16] SRIKET P, BENJAKUL S, VISESSANGUAN W, et al. Comparative studies on the effect of the freeze-thawing process on the physicochemical properties and microstructure of black tiger shrimp (*Penaeus monodon*) and white shrimp (*Penaeus vannamei*) muscle [J]. Journal of Food Chemistry, 2007, 104(1): 113-121.
- [17] 谭明堂, 谢晶, 王金锋. 解冻方式对鲈鱼品质的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(13): 94-101.
TAN M T, XIE J, WANG J F. Effects of different thawing methods on quality of squid[J]. Food Science, 2019, 40(13): 94-101.
- [18] WANG H, LUO Y K, SHI C, et al. Effect of different thawing methods and multiple freeze-thaw cycles on the quality of common carp (*Cyprinus carpio*) [J]. Journal of Aquatic Food Product Technology, 2015, 24(2): 153-162.
- [19] CHU Y M, TAN M T, BIAN C H, et al. Effect of ultrasonic thawing on the physicochemical properties, freshness, and protein-related properties of frozen large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*) [J]. Journal of Food Science, 2022, 87(1): 52-67.
- [20] 陈俊杰, 陈季旺, 谭廖鄂, 等. 富硒虹鳟鱼冷藏过程中食用和营养品质的变化[J]. 武汉轻工大学学报, 2021, 40(3): 1-9.
CHEN J J, CHEN J W, TAN L E, et al. Change in edible and nutritional qualities of Se-rich rainbow trout during cold storage[J]. Journal of Wuhan Polytechnic University, 2021, 40(3): 1-9.
- [21] 杨欣怡, 雷宝良, 宋涛, 等. 养殖南方大口鲶鱼片贮藏过程中生化特性变化[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(1): 49-58.
YANG X Y, LEI B L, SONG T, et al. Changes of biochemical properties of pond farmed *Silurus meridionalis* Chen fillets during storage[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2020, 11(1): 49-58.
- [22] XIONG Y L. Antioxidations in muscle foods[M]. New York: John Wiley and Sons, 2000: 85-111.
- [23] SUN B, ZHAO Y, LING J, et al. The effects of superchilling with modified atmosphere packaging on the physicochemical properties and shelf life of swimming crab[J]. J Food Sci Technol, 2017, 54(7): 1-9.

(下转第 197 页)

- (9): 109.
- ZHANG S N. Advances in studies on nutritional components and pharmacological effects of *Lycopus lucidus*[J]. Beijing Agriculture, 2015(9): 109.
- [5] 黄小兰, 何旭峰, 周祥德, 等. 地参主要化学成分及生物活性研究进展[J]. 中国野生植物资源, 2021, 40(2): 51-56.
- HUANG X L, HE X F, ZHOU X D, et al. Research progress on main chemical composition and biological activities of *Lycopus lucidus* var. *hirtus* Regel[J]. Chinese Wild Plant Resources, 2021, 40(2): 51-56.
- [6] 孔晓妍, 姚高毅, 王书琪, 等. 不同澄清剂对藜麦酒澄清作用的研究[J]. 食品工程, 2021(3): 46-49.
- KONG X Y, YAO G Y, WANG S Q, et al. Study on the clarifying effect of different clarifying agents on quinoa wine[J]. Food Engineering, 2021(3): 46-49.
- [7] 严汉彬, 韩珍, 卢宇城, 等. 百香果酒澄清技术研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(14): 5 651-5 655.
- YAN H B, HAN Z, LU Y C, et al. Study on clarification technology of passion fruit wine[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2021, 12(14): 5 651-5 655.
- [8] 单成俊, 周剑忠, 王英, 等. 陶瓷复合膜澄清黑莓果酒工艺研究[J]. 食品与机械, 2012, 28(6): 67-69, 137.
- SHAN C J, ZHOU J Z, WANG Y, et al. Clarification of blackberry wine by ceramic membrane[J]. Food & Machinery, 2012, 28(6): 67-69, 137.
- [9] 吴立仁, 贺强. 蓝莓果酒的冷热处理技术[J]. 农业科技与信息, 2010(21): 59.
- WU L R, HE Q. Cold heat treatment technology of blueberry wine[J]. Agricultural Science-Technology and Information, 2010(21): 59.
- [10] 马镡莉, 卢会霞, 苗晓雪. 基于膜技术分离纯化乳清蛋白的研究进展[J]. 化工进展, 2022, 41(6): 2 826-2 838.
- MA J L, LU H X, MIAO X X. Research progress on separation and purification of whey protein based on membrane technology[J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2022, 41(6): 2 826-2 838.
- [11] 李英蕊, 马玉蓉, 赵玲, 等. 不同澄清剂对葡萄小麦复合酒品质的影响[J]. 中国果菜, 2021, 41(5): 42-49.
- LI Y R, MA Y R, ZHAO L, et al. Effect of different clarifiers on the quality of grape-wheat compound wine[J]. China Fruit & Vegetable, 2021, 41(5): 42-49.
- [12] 韩希凤, 李书启, 陈存坤, 等. 石榴果酒澄清剂的筛选及澄清工艺优化[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(18): 65-71.
- HAN X F, LI S Q, CHEN C K, et al. Selection of clarifiers and optimization of clarification conditions for pomegranate wine[J]. Food Research and Development, 2021, 42(18): 65-71.
- [13] 黄小兰, 何旭峰, 杨勤, 等. HPLC-PDA 同时测定地笋中 7 种酚酸的含量[J]. 中国实验方剂学杂志, 2020, 26(15): 156-162.
- HUANG X L, HE X F, YANG Q, et al. Simultaneous determination of 7 phenolic acids in *Lycopus lucidus* var. *hirtus* rhizome by HPLC-PDA[J]. Chinese Journal of Experimental Medical Formulae, 2020, 26(15): 156-162.
- [14] 冉娜, 徐彬, 雷湘兰, 等. 不同澄清剂在龙眼果酒中的澄清效果及稳定性研究[J]. 食品工业科技, 2016, 37(2): 287-290, 295.
- RAN N, XU B, LEI X L, et al. Study on the clarification agent in longyan wine of different clarification and stability[J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(2): 287-290, 295.
- [15] STANKOVIC S, JOVIC S, ZIVKOVIC J, et al. Influence of age on red wine colour during fining with bentonite and gelatin[J]. International Journal of Food Properties, 2012, 15(2): 326-335.
- [16] 赵慧君, 潘婷, 王想, 等. 不同澄清剂对黄酒澄清效果及产品品质影响的研究[J]. 保鲜与加工, 2018, 18(5): 101-106.
- ZHAO H J, PAN T, WANG X, et al. Influences of different clarifying agents on clarification effect and quality of Chinese rice wine[J]. Storage and Process, 2018, 18(5): 101-106.
- [17] 邓星星, 肖志欣, 江英. 不同澄清剂对库尔勒香梨果酒品质的影响[J]. 食品工业, 2021, 42(10): 184-189.
- DENG X X, XIAO Z X, JIANG Y. Effect of different kinds of clarifying agents on the quality characteristics of Korla fragrant pear wine[J]. The Food Industry, 2021, 42(10): 184-189.
- [18] 艾克拜尔·艾海提, 许艳顺, 姜启兴, 等. 红枣汁澄清工艺研究[J]. 食品与机械, 2013, 29(1): 209-212.
- AKBAR A, XU Y S, JIANG Q X, et al. Study on clarification technology of jujube juice[J]. Food & Machinery, 2013, 29(1): 209-212.
- [19] 范兆军, 王永苓. 壳聚糖对苹果酒澄清效果影响的研究[J]. 酿酒, 2015, 42(4): 92-95.
- FAN Z J, WANG Y L. Study on the clarification effects of chitosan to cider[J]. Liquor Making, 2015, 42(4): 92-95.
- [20] BENGÜNÜR Ç, BAYRAM K, EYÜBOĞLU A. The effect of different application methods of sumac (*Rhus coriaria*) and tarragon (*Artemisia dracunculus*) on nutritional composition, fatty acids and TBARS values of marinated sea bream (*Sparus aurata* L. 1758)[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2020, 45(2): e15102.
- [21] MA Y Y, LI X X, SUN P, et al. Effect of ultrasonic thawing on gel properties of tuna myofibrillar proteins[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2022, 46(2): e16268.

(上接第 164 页)

- [24] LAN W Q, ZHAO Y N, GONG T S, et al. Effects of different thawing methods on the physicochemical changes, water migration and protein characteristic of frozen pompano (*Trachinotus ovatus*)[J]. Journal of Food Biochemistry, 2021, 45(8): e13526.
- [25] 姚慧, 祁雪儿, 毛俊龙, 等. 3 种鱿鱼冻藏过程中肌原纤维蛋白功能特性变化[J]. 食品科学, 2021, 42(7): 207-213.
- YAO H, QI X E, MAO J L, et al. Changes in functional properties of myofibrillar proteins in three species of squid during frozen storage[J]. Food Science, 2021, 42(7): 207-213.

- [26] BENGÜNÜR Ç, BAYRAM K, EYÜBOĞLU A. The effect of different application methods of sumac (*Rhus coriaria*) and tarragon (*Artemisia dracunculus*) on nutritional composition, fatty acids and TBARS values of marinated sea bream (*Sparus aurata* L. 1758)[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2020, 45(2): e15102.
- [27] MA Y Y, LI X X, SUN P, et al. Effect of ultrasonic thawing on gel properties of tuna myofibrillar proteins[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2022, 46(2): e16268.