

不同解冻方式对金枪鱼肉品质的影响

曹珠¹, 沈鑫杰², 施文正^{2*}

(1.上海长兴岛渔港有限公司, 上海 201903; 2.上海海洋大学 食品学院, 上海 201306)

摘要: **目的** 探究不同解冻方式(盐水解冻、水浴解冻、流水解冻、超声解冻、低温解冻)对金枪鱼品质的影响。**方法** 通过分析金枪鱼肉不同解冻方式的解冻时间、保水性(蒸煮损失率、解冻损失率、持水力)、pH、菌落总数、TVB-N和感官评定。**结果** 低温解冻的鱼肉有着较好的保水性和色泽,但是解冻时间最长。超声解冻和流水相较于其他解冻方式,解冻时间有着显著减少($P < 0.05$)。其中超声解冻后鱼肉品质明显优于流水解冻后鱼肉品质,解冻后的鱼肉菌落总数(3.73 lg(CFU/g))和挥发性盐基氮含量(6.18 mg/100 g)显著低于流水解冻。**结论** 超声解冻是一种较好的金枪鱼肉解冻方式。

关键词: 金枪鱼; 解冻方式; 超声解冻; 品质特性

中图分类号: TS254.4 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2023)21-0169-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.21.021

Effects of Different Thawing Methods on Quality of Tuna Meat

CAO Zhu¹, SHEN Xin-jie², SHI Wen-zheng^{2*}

(1. Shanghai Changxing Island Fishing Port Co., Ltd., Shanghai 201903, China;

2. College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

ABSTRACT: The work aims to explore the effects of different thawing methods (salt thawing, hydrostatic thawing, flowing water thawing, ultrasonic thawing, and low temperature thawing) on the quality of tuna. The thawing time, water retention (cooking loss, thawing loss, water retention capacity), pH, total number of colonies, TVB-N and sensory evaluation of tuna meat were analyzed by different thawing methods. The results showed that the fish thawed at low temperature had good water retention and color, but its thawing time was the longest. Compared with other thawing methods, the time of ultrasonic thawing and flowing water thawing was significantly decreased ($P < 0.05$). The quality of ultrasonic thawing was significantly better than that of flowing water thawing. The total number of colonies (3.73 lg(CFU/g)) and the content of volatile basic nitrogen (6.18 mg/100 g) in the thawed fish were significantly lower than that of flowing water thawing. Ultrasonic thawing is a better way to thaw tuna meat.

KEY WORDS: tuna; thawing method; ultrasonic thawing; quality characteristics

金枪鱼是一种非常重要的鱼类,富含多种不饱和脂肪酸,商业价值较高^[1-3]。冷冻是海产品保鲜和品质保证的重要方法,在食品工业中得到广泛应用。冷冻在确保水产品的安全性和延长其保质期方面起着至关重要的作用。它还可以避免季节性和区域性的变化,随时提供高质量的产品^[4]。金枪鱼肉保质期短,

如果不及时处理,极易发生腐败变质。因此市面上通过超低温速冻来保证金枪鱼的鲜度^[5]。

解冻是水产品加工中较为重要的一个过程,但解冻过程比冷冻过程慢,导致冷冻海产品的物理化学和微生物学特性进一步受损。因此,选择一种合适金枪鱼的解冻方式很重要。目前,比较常见的解冻方式有

收稿日期: 2023-03-14

基金项目: “十三五”国家重点研发计划(2019YFD0902003)

*通信作者

流水解冻、盐水解冻、低温解冻和水浴解冻等。朱文慧等^[6]通过对秘鲁鱿鱼肌肉在不同的解冻方式后鱼肉品质的研究发现,低温解冻能维持稳定的 pH 值,红度和亮度值较高,但是其解冻时间较长。又有研究表明,盐水解冻则可以通过提高水的渗透率来缩短解冻时间,并且降低细菌的滋生^[7-10]。近年来新型解冻方式也备受关注。如超声解冻稳定快速且受热均匀^[11],微波解冻所需时间短^[12]。这些解冻方式都有着各自的优点,也有各自的局限性^[13]。因此,本文通过对盐水解冻、水浴解冻、流水解冻、超声解冻和低温解冻进行比较,分析金枪鱼肉不同解冻方式下的解冻时间、保水性(蒸煮损失、解冻损失、持水力)、pH、菌落总数、TVB-N 和感官评定,以寻求一种较好的金枪鱼肉解冻方式。

1 实验

1.1 材料与试剂

主要材料:切割真空包装好的金枪鱼鱼块,上海长兴岛渔港有限公司。

主要试剂:营养琼脂,海博生物;氯化钠,上海阿拉丁;轻质氧化镁,上海麦克林。

1.2 仪器与设备

主要仪器与设备:H1750R 型冷冻离心机,长沙湘仪;RX6000C 无纸记录仪,杭州美控;CR-400 色差仪,日本 Konicaminolta;Kjeltec2300 凯氏定氮仪,丹麦福斯;FE20 型 pH 计,上海 METTLER TOLEDO;SB-400DTY 型超声多频清洗机,宁波新芝。

1.3 方法

1.3.1 解冻方式

将金枪鱼块从-80℃冰箱中取出去包装后,将无纸记录仪的热电偶探头插入鱼体中心部位。将 0℃设为解冻终点,并记录到达 0℃所需时间,即为解冻时间。

盐水解冻:配置质量浓度为 40 g/L 的盐水,将鱼块放入其中,盐水温度为(20±1)℃。

水浴解冻:将鱼块置于恒温水浴中,水温控制在(20±1)℃。

流水解冻:用均匀的水流冲刷鱼块表面,恒定流速为 0.85 m/s,水温控制在(20±1)℃。

超声解冻:将鱼块放在超声清洗仪中浸泡,温度控制在(20±1)℃,设定超声工作频率为 40 kHz,超声功率为 200 W。

低温解冻:将鱼块置于无菌托盘中,放在 4℃冰箱中,自然解冻。

1.3.2 色泽

参考肖蕾等^[14]的方法并加以修改。将鱼块切成 10 mm×20 mm×20 mm 的块状,使用色差仪测定,肉色的变化情况由红度值(a^*)来作为其评判依据,测定前使用空白 A4 纸进行校准,每组样品测定 6 个平行。

1.3.3 菌落总数

参照凌胜男等^[15]的方法并加以修改,每个稀释度作 6 个平行。

1.3.4 感官评定

参考陈页等^[8]的评分标准,根据金枪鱼的特点,制定了金枪鱼肉感官评分标准,见表 1,满分为 15 分,最低分为-15 分,当总分小于 0 时,则该金枪鱼肉视作不可接受。由 10 位经验丰富的感官评定员组成评定小组,并对解冻后金枪鱼肉打分。

1.3.5 保水性

1.3.5.1 解冻损失率

解冻前用天平称量鱼块的质量,记录为 m_1 。解冻后,用纸擦干,重新称量,记录质量为 m_2 ,平行测定 3 次。其解冻损失率(T_L)按式(1)计算。

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

1.3.5.2 蒸煮损失率

参考程成鹏等^[16]的方法并加以修改。取鱼块,在 100℃下蒸 5 min,冷却,将蒸煮前的样品记为 m_3 ,蒸煮后的样品记为 m_4 ,平行测定 3 次。其蒸煮损失率(C_L)按式(2)计算。

表 1 解冻后金枪鱼肉感官评分标准
Tab.1 Standard for sensory evaluation of thawed tuna

感官描述	较差(-3)	差(-1)	较好(1)	好(3)
颜色	暗红色	红褐色	微红色	鲜红色
外观	无光泽,有较大干耗	表面缺乏油感	表面有油感	有光泽,不存在干耗
气味	腐败臭	腥臭味	无异味	鱼香味
滋味	酸败味	轻微酸味	无异味	鱼香味
口感	较劲差,很松软	有松软感	嚼劲一般无弹性	有嚼劲有弹性

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

1.3.5.3 持水力

参考 Jiang 等^[17]的方法并加以修改。取鱼肉 1 g, 称量记为 m_5 。将双层滤纸置于离心管内, 在 4 °C 下 5 000 r/min 冷冻离心, 时间为 20 min。离心后, 称量记为 m_6 , 平行测定 3 次。其持水力 (W_H) 按式 (3) 计算。

$$W_H = \frac{m_5}{m_6} \times 100\% \quad (3)$$

1.3.6 pH 值

pH 值测定参考许惠雅等^[18]的方法并加以修改。取鱼肉 1 g (精确至 0.01 g), 加入 9 mL 的去离子水于其中。在 10 000 r/min 下均质 1 min, 冷冻离心, 设置离心机温度为 4 °C, 转速为 10 000 r/min, 时间为 10 min。过滤, 取上清液测定。每组样品进行 3 次平行测定。

1.3.7 TVB-N

TVB-N 测定参考 Cheng 等^[19]的方法并加以修改。在 FOSS 管中称 5 g (精确至 0.001 g) 金枪鱼肉, 并且加入约 0.5 g 轻质氧化镁作为反应的催化剂, 将其放入自动凯式定氮仪测定。

1.3.8 数据处理

利用 IBM SPSS Statistics 26.0 软件对数据进行方差分析, 采取 LSD 方法进行显著性分析, 多重比较采取 Duncan 法, 显著水平选择 0.05, 所有图均利用 Origin 2021 软件制作。

2 结果与分析

2.1 不同解冻方式对解冻时间的影响

各种解冻方式所需的解冻时间由快到慢分别是超声解冻 (44 min)、流水解冻 (53 min)、盐水解冻 (53 min)、水浴解冻 (78 min) 和低温解冻 (672 min)。其中低温解冻时间最长, 这可能是因为环境温度较低, 从而较慢的热传递速率导致冰晶融化速率缓慢, 延了解冻时间^[20]。流水解冻、超声解冻和盐水解冻这 3 种解冻方式之间差异不显著 ($P > 0.05$), 但与水浴解冻均有着显著差异 ($P < 0.05$)。其中采用流水解冻时, 流动水使热量的交换加剧, 解冻速率也因此提高, 解冻时间就随之减少。盐水解冻则可能由于 NaCl 的加入, 促进了水的渗透速度, 使得解冻时间减少。超声解冻花费的时间最短, 这是可能因为, 超声产生的空化效应和微射流能显著提高了传热系数^[21], 且超声产生的能量能被鱼肉内部组织吸收转化为热能, 有效地提高了解冻的速率。

2.2 不同解冻方式对金枪鱼色泽的影响

鱼肉的色泽直接反映了鱼肉的质量, 虽然色泽与金枪鱼肉的营养价值本身没有多少联系, 但是通过色泽可以给消费者留下好或者坏的印象^[22]。在金枪鱼肉之中存在着很多肌红蛋白和血红蛋白, 因此金枪鱼肉呈鲜红色。当其进一步氧化后, 则变成了暗红色。因此, 选用红度值 a^* 来评价金枪鱼肉的色泽。

由图 1 可知, 5 种解冻方式的色泽呈显著性差异 ($P < 0.05$)。其中盐水解冻和低温解冻后的红度值较高, 分别为 14.1 和 13.7, 这可能是因为较低的温度和适当的盐浓度能有效抑制氧化的进行。流水解冻的红度值最低, 这是可能由于流水携带着大量气泡冲刷在鱼肉表面, 鱼肉在气泡中氧气的作用下进一步氧化, 导致鱼肉发生褐变。

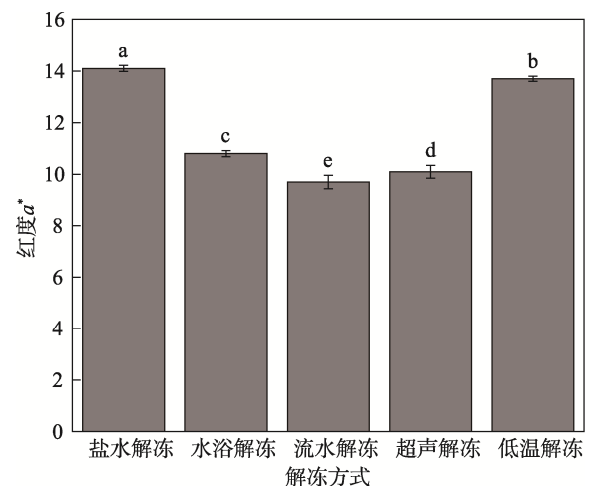


图 1 解冻方式对金枪鱼肉色泽的影响

Fig.1 Effects of different thawing methods on colour of tuna

注: 小写字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$), 下同。

2.3 不同解冻方式对金枪鱼肉菌落总数的影响

在评定水产品的品质时, 一般以菌落总数作为该产品是否被污染的重要指标。由图 2 可知, 低温解冻的菌落总数最低, 这是因为较低的温度不适宜微生物的生长繁殖。水浴解冻和流水解冻的菌落总数分别为 4.44 lg(CFU/g) 和 4.47 lg(CFU/g), 这可能是因为鱼肉在水中解冻为微生物生长提供了有利的条件。虽然同样在水环境中, 但是盐水能抑制微生物的生长^[23], 因此盐水解冻的菌落总数比流水解冻和水浴解冻的低。而超声解冻的菌落总数也与流水解冻和水浴解冻有着显著的差异 ($P < 0.05$), 这可能是超声波破坏了微生物的结构, 且超声解冻产生的过氧化氢有着灭菌的功效^[24]。

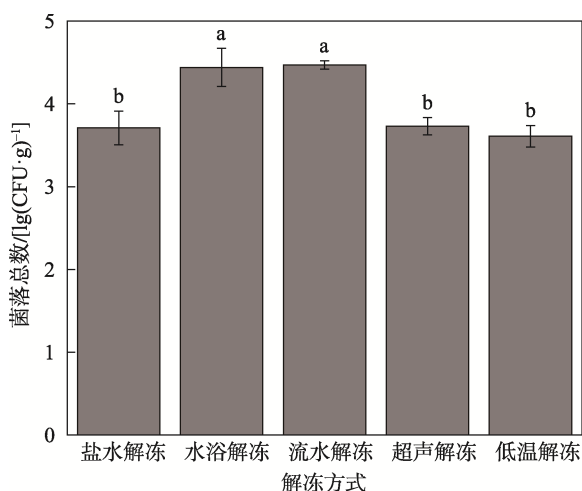


图2 解冻方式对金枪鱼菌落总数的影响
Fig.2 Effects of different thawing methods on total number of colonies of tuna

2.4 感官评定

在解冻过程中,金枪鱼肉会发生一系列的变化,会对金枪鱼的品质造成一定的影响^[25]。如图3所示,金枪鱼肉经过盐水解冻、水浴解冻、流水解冻、超声解冻和低温解冻后的感官评分分别为5.4、2.2、3.0、13.0和3.0。其中,超声解冻的评分最高,显著高于其他4种解冻方式($P < 0.05$)。由于解冻时间短,使鱼肉在色泽外观、气味、滋味口感等方面均优于其他解冻方式。凌胜男等^[15]比较了在不同解冻方式下的鲢鱼的鲜度,发现超声解冻组的感官评分最高,与本研究一致。

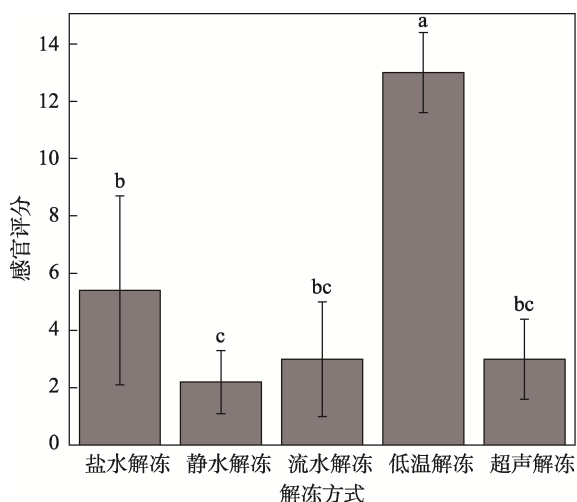


图3 不同解冻方法对金枪鱼肉感官品质的影响
Fig.3 Effects of different thawing methods on sensory quality of tuna

2.5 不同解冻方式对金枪鱼保水性的影响

解冻损失率、蒸煮损失率和持水力是表示鱼肉保

水性的重要指标。金枪鱼的不同解冻方法对金枪鱼解冻损失率、蒸煮损失率和持水力的影响见表2。由表2可以看出,解冻损失率、蒸煮损失率和持水力有着相同的趋势,这与Sun等^[26]所得研究一致。其中低温解冻的解冻损失率、蒸煮损失率最小,持水力最大,不仅很好地维持了鱼肉的水分,并且能够很好地保持鱼肉原有的营养成分。这可能是因为低温解冻过程冰融化缓慢^[27]。水浴解冻与其他解冻方式相比也有着显著的差异($P < 0.05$)。盐水解冻和流水解冻因为加盐和流动水的作用,缩短了冷却时间,从而降低了解冻损失,提高了保水性。超声解冻由于超声波可以减少解冻对肌原纤维结构的破坏,保持了肌纤维的完整性,从而增强了鱼的保水能力^[28]。超声波携带的能量可在解冻过程中被样品吸收,这加速了冰晶的融化并减少了水的损失^[10]。

表2 不同解冻方法对金枪鱼解冻损失、蒸煮损失和持水力的影响

Tab.2 Effect of different thawing methods on thawing loss, cooking loss and water retention capacity of tuna

解冻方式	解冻损失率/%	蒸煮损失率/%	持水力/%
盐水解冻	2.62±0.44 ^b	22.00±1.71 ^b	79.33±1.69 ^b
水浴解冻	3.86±0.30 ^a	26.13±0.52 ^a	76.82±1.03 ^c
流水解冻	2.86±0.41 ^b	20.58±0.53 ^b	78.71±0.22 ^b
超声解冻	2.52±0.29 ^b	20.04±1.92 ^b	80.43±0.64 ^b
低温解冻	1.28±0.30 ^c	16.60±0.30 ^c	85.71±0.73 ^a

注:数值表示平均值±标准偏差;同一列不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

2.6 不同解冻方式对金枪鱼pH值的影响

pH是判断金枪鱼等水产品鲜度的重要指标之一。随着解冻过程的进行,蛋白质变性导致的 H^+ 的释放^[29],因此解冻后的金枪鱼pH值一般在5.9~6.3。当鱼死亡时,糖原的酵解、乳糖的积累和ATP酶活性的增加导致鱼的pH值降低。当ATP完全分解后,会产生碱性的物质,这也使得鱼肉的pH值再次变高^[30]。因此,当pH值再次超过6.5时,金枪鱼肉可以判定为肉质受损^[31]。

由图4可知,低温解冻后鱼肉pH值为6.43,与其他4种解冻方式有着显著的差异($P < 0.05$),其pH值已经接近肉质受损临界值。这可能是因为解冻时间过长,导致蛋白质变性生成一些碱性的氨类和胺类物质^[32]。接着是盐水解冻。盐水解冻的pH为6.18,在较为新鲜的范围内。流水解冻(pH值为6.07)、超声解冻(pH值为6.11)和水浴解冻(pH值为6.06)之间差异不显著($P > 0.05$),pH值均在6.1左右,维持较好的鲜度。

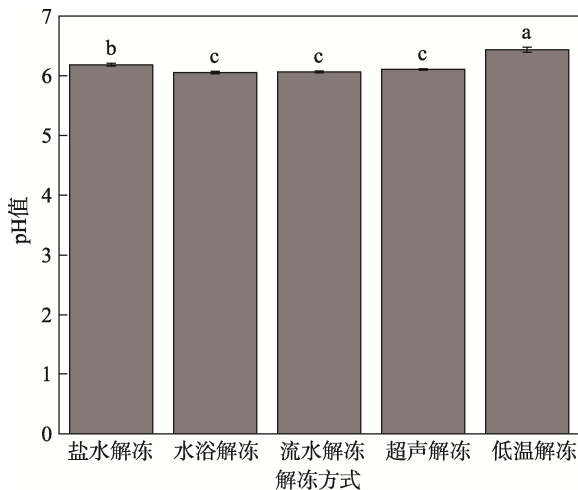


图 4 解冻方式对金枪鱼 pH 值的影响

Fig.4 Effects of thawing methods on pH content of tuna

2.7 不同解冻方式对金枪鱼挥发性盐基氮 (TVB-N) 的影响

TVB-N 含量是用来评价金枪鱼等水产品新鲜度的一个重要指标。TVB-N 值越低, 则鱼肉越新鲜^[33]。由图 5 可得低温解冻的 TVB-N 值最高, 为 10.42 mg/100 g, 这可能是因为解冻的时间过长, 导致了蛋白质降解增加及氨和胺的增加。其次是盐水解冻 (8.50 mg/100 g)、流水解冻 (7.80 mg/100 g) 和水浴解冻 (7.54 mg/100 g)。超声解冻后的 TVB-N 值最小, 为 6.18 mg/100 g。这可能是因为超声解冻所需时间最短, 蛋白质受到蛋白酶及微生物作用而发生的降解程度低, TVB-N 值与另外 4 种解冻方式有着较为显著的差异 ($P < 0.05$)。

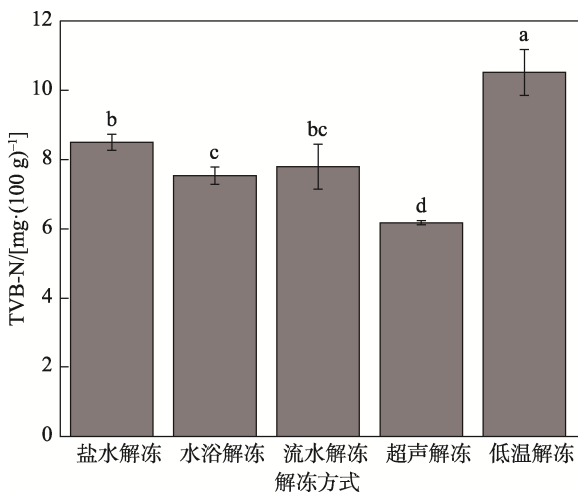


图 5 解冻方式对金枪鱼 TVB-N 含量的影响

Fig.5 Effects of thawing methods on TVB-N value of tuna

3 结语

本文使用了水浴解冻、盐水解冻、流水解冻、低

温解冻和超声解冻 5 种解冻方式分别对金枪鱼块进行了解冻, 测定了色泽、TVB-N、pH 值、菌落总数等指标。结果表明, 低温解冻能够很好地保持解冻后鱼肉的色泽和保水性, 但是其 TVB-N (10.52 mg/100 g) 和 pH 值 (6.44) 较其他解冻方式有显著的提高 ($P < 0.05$), 且解冻时间在 5 种解冻方式中是最长的。超声解冻和流水解冻在解冻时间上显著低于其他解冻方式 ($P < 0.05$), 但流水解冻的红色值 a^* (9.7) 显著低于其他组 ($P < 0.05$), 且菌落总数 (4.47 lg(CFU/g)) 和 TVB-N 值 (7.80 mg/100 g) 显著高于超声解冻 ($P < 0.05$), 不能很好地维持鱼肉的品质。综上所述, 超声解冻是金枪鱼肉的最佳解冻方式, 能够较好地维持鱼肉品质。

参考文献:

- [1] KUNAL S P, KUMAR G, MENEZES M R, et al. Genetic Homogeneity in Longtail Tuna *Thunnus Tonggol* (Bleeker, 1851) from the Northwest Coast of India Inferred from Direct Sequencing Analysis of the Mitochondrial DNA D-Loop Region[J]. *Marine Biology Research*, 2014, 10(7): 738-743
- [2] FERDOSH S, SARKER M Z I, RAHMAN N N N A, et al. Supercritical Carbon Dioxide Extraction of Oil from *Thunnus Tonggol* Head by Optimization of Process Parameters Using Response Surface Methodology[J]. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 2013, 30(7): 1466-1472.
- [3] NAKAMURA Y N, ANDO M, SEOKA M, et al. Changes of Proximate and Fatty Acid Compositions of the Dorsal and Ventral Ordinary Muscles of the Full-Cycle Cultured Pacific Bluefin Tuna *Thunnus Orientalis* with the Growth[J]. *Food Chemistry*, 2006, 103(1): 234-241.
- [4] 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.
- [5] 于刚, 杨少玲, 张慧, 等. 不同冻结方式对黄鳍金枪鱼品质变化的比较研究[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(10): 325-329.
YU Gang, YANG Shao-ling, ZHANG Hui, et al. Comparison of Four Different Freezing Techniques about the Preservation Effects on Yellowfin Tuna[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2015, 36(10): 325-329.
- [6] 朱文慧, 宦海珍, 步营, 等. 不同解冻方式对秘鲁鲉鱼肌肉品质和风味特性的影响[J]. *食品研究与开发*, 2019, 40(18): 84-89.
ZHU Wen-hui, HUAN Hai-zhen, BU Ying, et al. Effects

- of Different Thawing Methods on Quality and Flavor Characteristics of *Dosidicus Gigas*[J]. *Food Research and Development*, 2019, 40(18): 84-89.
- [7] 赵水榕, 张怡, 李浩楠, 等. 解冻方式对调理猪肉饼品质的影响[J]. *核农学报*, 2020, 34(4): 759-769.
ZHAO Shui-rong, ZHANG Yi, LI Hao-nan, et al. Effects of Thawing Methods on Quality of Prepared Pork Patties[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2020, 34(4): 759-769.
- [8] 陈页, 陈瑜, 何鹏飞. 解冻方式对金枪鱼品质的影响研究[J]. *广东化工*, 2021, 48(22): 11-12.
CHEN Ye, CHEN Yu, HE Peng-fei. Effect of Thawing Methods on the Quality of Tuna[J]. *Guangdong Chemical Industry*, 2021, 48(22): 11-12.
- [9] 凌胜男, 陈雪叶, 王红丽, 等. 解冻方式对鲱鱼理化特性及微观结构的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2022, 48(8): 48-54.
LING Sheng-nan, CHEN Xue-ye, WANG Hong-li, et al. Effect of Thawing Methods on the Physicochemical Properties and Microstructure of Anchovy (*Stolephorus Heterolobus*)[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2022, 48(8): 48-54.
- [10] WEI Hua-mao, TIAN Yuan-yong, YAMASHITA T, et al. Effects of Thawing Methods on the Biochemical Properties and Microstructure of Pre-Rigor Frozen Scallop Striated Adductor Muscle[J]. *Food Chemistry*, 2020, 319: 126559.
- [11] 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.
ZHANG Xin, SONG Lei, GAO Tian, et al. Effect of Ultrasonic Thawing Method on Quality Characteristics of Chicken Breast Meat[J]. *Food Science*, 2018, 39(5): 135-140.
- [12] CAO Min-jie, CAO Ai-ling, WANG Jing, 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.
- [13] 刘磊, 夏强, 曹锦轩, 等. 不同解冻方法对鹅腿肉理化特性和品质的影响[J]. *食品科学*, 2020, 41(15): 256-261.
LIU Lei, XIA Qiang, CAO Jin-xuan, et al. Influence of Different Thawing Methods on Physicochemical Properties and Quality of Goose Thigh Meat[J]. *Food Science*, 2020, 41(15): 256-261.
- [14] 肖蕾. 流通过程中的温度波动对大目金枪鱼品质变化及微生物多样性的影响[D]. 上海: 上海海洋大学, 2018.
- XIAO Lei. Effects of Temperature Fluctuation during Circulation on Quality Change and Microbial Diversity of Bigeye Tuna[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2018.
- [15] 凌胜男, 刘特元, 陈雪叶, 等. 不同解冻方式对鲱鱼鲜度及挥发性风味物质的影响[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(5): 322-330.
LING Sheng-nan, LIU Te-yuan, CHEN Xue-ye, et al. Effect of Different Thawing Methods on the Freshness and Volatile Flavor Compounds of Anchovy (*Engraulis Encrasicolus*)[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2022, 43(5): 322-330.
- [16] 程成鹏, 贺稚非, 唐春, 等. 不同嫩化剂改善猪大肠嫩度的工艺优化[J]. *食品与发酵工业*, 2022, 48(15): 249-256.
CHENG Cheng-peng, HE Zhi-fei, TANG Chun, et al. Process Optimization for the Improvement of Pig Large Intestine Tenderness with Different Tenderizing Agents[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2022, 48(15): 249-256.
- [17] JIANG Qing-qing, 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.
- [18] 许惠雅, 张强, 王逸鑫, 等. 不同乳酸菌对发酵草鱼品质的影响[J]. *水产学报*, 2022, 46(2): 289-297.
XU Hui-ya, ZHANG Qiang, WANG Yi-xin, et al. Effects of Different Lactic Acid Bacteria on the Quality of Fermented Grass Carp (*Ctenopharyngodon Idella*)[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2022, 46(2): 289-297.
- [19] CHENG Hao, BIAN Chu-han, CHU Yuan-ming, et al. Effects of Dual-Frequency Ultrasound-Assisted Thawing Technology on Thawing Rate, Quality Properties, and Microstructure of Large Yellow Croaker (*Pseudosciaena Crocea*)[J]. *Foods*, 2022, 11(2): 226.
- [20] 欧阳杰, 倪锦, 吴锦婷, 等. 解冻方式对大黄鱼解冻效率和品质的影响[J]. *肉类研究*, 2016, 30(8): 30-34.
OUYANG Jie, NI Jin, WU Jin-ting, et al. Influence of Thawing Methods on Thawing Efficiency and Quality of *Pseudosciaena Crocea*[J]. *Meat Research*, 2016, 30(8): 30-34.
- [21] CAI L, ZHANG W, CAO A, et al. Effects of Ultrasonics Combined with Far Infrared or Microwave Thawing on Protein Denaturation and Moisture Migration of *Sciaenops Ocellatus* (Red Drum)[J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2019, 55: 96-104.
- [22] PURSLOW P P, WARNER R D, CLARKE F M, et al.

- Variations in Meat Colour Due to Factors other than Myoglobin Chemistry; A Synthesis of Recent Findings (Invited Review)[J]. *Meat Science*, 2020, 159: 107941.
- [23] 翁梅芬, 郇延军, 樊明明等不同解冻方式对碎虾仁品质特性的影响[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(16): 162-166.
- WENG Mei-fen, XUN Yan-jun, FAN Ming-ming, et al. Effects of Different Thawing Methods on the Quality Characteristics of Crushed Shrimp[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2015, 36(16): 162-166.
- [24] 杜鹏飞, 王维婷, 李孟孟, 等. 超声波解冻对羊肉品质的影响[J]. *肉类研究*, 2020, 34(1): 39-44.
- DU Peng-fei, WANG Wei-ting, LI Meng-meng, et al. Effect of Ultrasonic Thawing on Quality Characteristics of Frozen Mutton[J]. *Meat Research*, 2020, 34(1): 39-44.
- [25] 罗殷, 王锡昌, 刘源. 黄鳍金枪鱼食用品质的研究[J]. *食品科学*, 2008, 29(9): 476-480.
- LUO Yin, WANG Xi-chang, LIU Yuan. Study on Edible Quality of Yellowfin (*Tunathunnus Albacares*) Dorsal Meat[J]. *Food Science*, 2008, 29(9): 476-480.
- [26] SUN Qin-xiu, SUN Fang-da, XIA Xiu-fang, et al. The Comparison of Ultrasound-Assisted Immersion Freezing, Air Freezing and Immersion Freezing on the Muscle Quality and Physicochemical Properties of Common Carp (*Cyprinus Carpio*) during Freezing Storage[J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2019, 51: 281-291.
- [27] 王凤玉. 远洋渔获物(鱿鱼、秋刀鱼)冻藏和解冻过程品质变化规律研究[D]. 大连: 大连海洋大学, 2016.
- WANG Feng-yu. Study on the Variation Of Quality of Distant-Water Catches (Squid, Saury) during Freezing and Thawing[D]. Dalian: Dalian Ocean University, 2016.
- [28] LI Xiu-xia, SUN Pan, MA Ying-ying, et al. Effect of Ultrasonic Thawing on the Water-Holding Capacity, Physicochemical Properties and Structure of Frozen Tuna (*Thunnus Tonggol*) Myofibrillar Proteins[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2019, 99(11): 5083-5091.
- [29] 胡金鑫, 李军生, 徐静等. 水产品鲜度表征与评价方法的研究进展[J]. *食品工业*, 2014, 35(3): 225-228.
- HU Jin-xin, LI Jun-sheng, XU Jing, et al. Research Progress on Freshness Characterization and Evaluation Methods of Aquatic Products[J]. *Food Industry*, 2014, 35(3): 225-228.
- [30] 泮凤, 杨金生, 夏松养. 六偏磷酸钠对秘鲁鱿鱼去酸效果及鲜度的影响[J]. *食品科技*, 2014, 39(2): 255-259.
- PAN Feng, YANG Jin-sheng, XIA Song-yang, et al. Effect of Sodium Hexametaphosphate on Deacidification Effect and Freshness of Peruvian Squid[J]. *Food Science and Technology*, 2014, 39(2): 255-259.
- [31] 刘燕. 金枪鱼块解冻工艺优化的研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2011.
- LIU Yan. Research on Optimization of Thawing Process of Tuna Pieces[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2011.
- [32] 韩洋. 冻藏过程中阿拉斯加鳕鱼品质变化研究[D]. 大连: 大连工业大学, 2016.
- HAN Yang. Study on the Quality Change of Alaskan Cod During Frozen Storage[D]. Dalian: Dalian Polytechnic University, 2016.
- [33] WANG Jin-feng, YU Wen-hui, XIE Jing. Effect of Glazing with Different Materials on the Quality of Tuna During Frozen Storage[J]. *Foods*, 2020, 9(2): 231-231.

责任编辑: 曾钰婵