

常温下不同解冻方法对大口黑鲈鱼品质的影响

郑稳, 赵璐, 庄文静, 李雪艳, 成谦益, 郎诵, 包建强

Effects of Different Thawing Methods on the Quality of *Micropterus salmoides* at Room Temperature

ZHENG Wen, ZHAO Lu, ZHUANG Wenjing, LI Xueyan, CHENG Qianyi, LANG Song, and BAO Jianqiang

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023020162>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

不同中心温度对蒸制大口黑鲈品质的影响

Effect of Different Core Temperatures on the Quality of Steam-cooked *Micropterus salmoides*

食品工业科技. 2019, 40(15): 20-27 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.15.004>

不同解冻方式对速冻蓝莓果实品质的影响

Effect of different thawing methods on quality of frozen blueberries

食品工业科技. 2017(07): 320-324 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2017.07.054>

不同解冻方式对速冻西兰花品质影响

Effect of Different Thawing Methods on Quality of Quick-frozen Broccoli

食品工业科技. 2020, 41(16): 266-270 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.16.042>

不同解冻方式对猪肝理化特性及氧化稳定性的影响

Effects of Different Thawing Methods on Physicochemical Properties and Oxidation Stability of Porcine Liver

食品工业科技. 2021, 42(14): 302-309 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020110059>

微波解冻对秘鲁鱿鱼肌肉品质与蛋白质氧化程度的影响

Effect of microwave thawing on the muscle quality and protein oxidation in *Dosidicus gigas*

食品工业科技. 2018, 39(5): 30-35,40 <https://doi.org/>

池塘工业化养殖与传统池塘养殖模式对大口黑鲈肌肉品质特性的比较研究

Comparative on Muscle Quality Characteristics of *Micropterus Salmoides* between In-pond Raceway System and Traditional Pond System

食品工业科技. 2018, 39(23): 95-98,122 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2018.23.017>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

郑稳, 赵璐, 庄文静, 等. 常温下不同解冻方法对大口黑鲈鱼品质的影响[J]. 食品工业科技, 2023, 44(22): 311-318. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023020162

ZHENG Wen, ZHAO Lu, ZHUANG Wenjing, et al. Effects of Different Thawing Methods on the Quality of *Micropterus salmoides* at Room Temperature[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(22): 311-318. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023020162

· 贮运保鲜 ·

常温下不同解冻方法对大口黑鲈鱼品质的影响

郑 稳¹, 赵 璐¹, 庄文静¹, 李雪艳¹, 成谦益¹, 郎 诵¹, 包建强^{1,2,3,*}

(1.上海海洋大学食品学院, 上海 201306;

2.上海水产品加工及贮藏工程技术研究中心, 上海 201306;

3.农业部水产品贮藏保鲜质量安全风险评估实验室(上海), 上海 201306)

摘 要:为选择一种合适大口黑鲈鱼的解冻方式(常温放置解冻、流水解冻、盐水解冻、超声波静水解冻和超声波流水解冻), 本文以大口黑鲈鱼肉为研究对象, 探究不同解冻方式对大口黑鲈鱼肉的保水性、挥发性盐基氮值(total volatile base nitrogen, TVB-N)、丙二醛含量、过氧化值、总巯基含量及Ca²⁺-ATPase活性等理化指标的影响, 同时对鱼肉硬度、弹性和黏附性等质构特性的变化进行分析。结果表明: 常温解冻耗时 219 min, 耗时最长, 鱼肉保水性、脂质及蛋白质氧化最为严重; 流水解冻与盐水解冻分别耗时 35 与 55 min, 较常温解冻短, 但鱼肉保水性、蛋白质氧化、质构特性等各项品质指标的变化仍较为严重; 超声波静水解冻后的鱼肉具有较好的保水性与质构特性, 并且可以有效的缓解鱼肉蛋白质的氧化, 但脂质氧化较为严重; 超声波流水解冻可 24 min 内完成鱼肉的解冻, 效率更高, 相较于其他解冻方式, 可有效的维持鱼肉的保水性、质构特性, 有效的延缓鱼肉蛋白质及脂质的氧化。因此, 超声波流水解冻对冷冻大口黑鲈鱼肉品质的影响较小, 是最合适的解冻方式。

关键词:大口黑鲈, 解冻方式, 保水性, 质构特性, 氧化, 品质

中图分类号: TS254.5

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2023)22-0311-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023020162



本文网刊:

Effects of Different Thawing Methods on the Quality of *Micropterus salmoides* at Room Temperature

ZHENG Wen¹, ZHAO Lu¹, ZHUANG Wenjing¹, LI Xueyan¹, CHENG Qianyi¹, LANG Song¹,
BAO Jianqiang^{1,2,3,*}

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

2.Shanghai Engineering Research Center for Processing and Storage of Aquatic Products, Shanghai 201306, China;

3.Laboratory of Quality and Safety Risk Assessment of Aquatic Products Storage and Preservation, Ministry of Agriculture (Shanghai), Shanghai 201306, China)

Abstract: In order to choose a suitable thawing method for *Micropterus salmoides* (room temperature thawing, running water thawing, saltwater thawing, ultrasonic static water thawing and ultrasonic running water thawing), this paper took *Micropterus salmoides* as the research subject. To investigate the effects of different thawing methods on water retention, total volatile base nitrogen (TVB-N), malondialdehyde content, peroxide value, total sulfhydryl content and Ca²⁺-ATPase activity of *Micropterus salmoides*. At the same time, the changes of texture properties such as hardness, elasticity and adhesion of fish were analyzed. The results showed that the normal temperature thaw 219 min, longest, fish water retention, lipid and protein oxidation was the most serious. Thawing water and salt water thawing time consuming 35 and 55 min, respectively, was the shorter of the normal temperature thaw, but fish water retention, protein oxidation, quality and structure characteristics of the various quality indexes such as the change was still serious. After ultrasonic static water thawing, the fish had better water retention and texture characteristics, and could effectively alleviate the oxidation of fish protein,

收稿日期: 2023-02-16

作者简介: 郑稳(1998-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 水产品加工与贮藏, E-mail: 15839770220@163.com。

* 通信作者: 包建强(1963-), 男, 硕士, 教授, 研究方向: 水产品加工与贮藏, E-mail: baojq@shou.edu.cn。

but the lipid oxidation was more serious. Ultrasonic flow water thawing could complete the thawing of fish within 24 minutes, which was more efficient. Compared with other thawing methods, it could effectively maintain the water retention and texture characteristics of fish, and effectively delay the oxidation of fish protein and lipid. Ultrasonic thawing of frozen water, therefore, *Micropterus salmoides* had little effect on quality, was the most suitable thawing method.

Key words: *Micropterus salmoides*; thawing method; water retention; texture; oxidation; quality

大口黑鲈(*Micropterus salmoides*)又名加州鲈鱼,是我国淡水养殖的主要品种之一^[1]。大口黑鲈外形美观,肉质鲜美细嫩,且具有止咳润肺、健脾益气等多种功效,深受养殖者和消费者欢迎^[2]。大口黑鲈主要利用低温贮藏延长其保质期,其中冷藏(4℃)、冰藏(0±0.2℃)、微冻(-2±0.2℃)及冻藏(-18℃)等是其常用的贮藏方式^[3]。但是在鱼肉的贮藏和解冻过程中都可能会引发肉的品质变化,包括持水性下降、脂肪氧化和蛋白质氧化等^[4]。采用不恰当的解冻方式会对鱼肉的损耗、质地和组织结构等产生恶劣的影响,从而对后续的加工产生负面影响,间接给鱼肉及鱼肉制品的生产加工带来不可估量的经济损失^[5]。因此,研究不同解冻方式对大口黑鲈品质的影响,提高解冻后的产品得率,具有重要的现实意义。

目前研究的解冻方法主要有低温解冻、静水解冻、微波解冻、超声解冻等。近年来,已经有大量关于不同解冻方式对鱼类等水产品品质影响的研究出现。王晋等^[6]对船载超低温鲑鱼采用低温解冻、超声波解冻、流水解冻以及静水解冻4种解冻方式进行研究,结果发现与其他3种方法相比,流水解冻能有效保持鱼肉的组织结构与鲜度,是鲑鱼最适宜的解冻方式。凌盛男等^[7]对鳃鱼采用4种不同解冻方法(微波、超声、盐水和冷藏),并对解冻后鱼肉的鲜度及挥发性风味物质进行比较,结果发现采用超声辅助解冻的鱼肉菌落总数、TVB-N等鲜度指标最佳、挥发性风味物质种类较好,最终确定超声辅助解冻为鳃鱼最佳的解冻方式。万海伦等^[8]探究了虹鳟鱼经冷藏、水浴、微波和常温空气解冻后的品质变化,结果发现水浴解冻能最大程度地避免鱼片在解冻过程的不良变化,是解冻生食虹鳟鱼片的最佳方式。综上所述,超声波解冻和流水解冻可较好的保持鱼肉的解冻品质,是现阶段的研究热点。本研究将超声波解冻和流水解冻结合后引入本实验,多角度探讨经不同解冻方式(常温、流水、盐水、超声静水、超声流水)解冻后大口黑鲈鱼肉品质的变化情况,以期能够确定解冻大口黑鲈的最佳方式,减少解冻对其品质的不良影

响,为冷冻大口黑鲈鱼的生产加工提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 材料与仪器

活体大口黑鲈 上海市浦东新区芦潮港海鲜批发市场,体重(0.5~0.8) kg/条,体长(23~28) cm/条;氯化钠、轻质氧化镁、平板计数琼脂培养基(PCA) 广州天骏生物科技有限公司;总蛋白定量测定试剂盒(BCA法)、丙二醛(MDA)测定试剂盒 南京建成正浩科技有限公司;总巯基测定试剂盒 北京峰格生物技术有限公司;超微量Ca²⁺-ATP酶试剂盒 柏吉生物技术有限公司。

pH计 奥豪斯仪器(上海)有限公司;TMS-Pro 质构仪 美国FTC公司;BS-210型电子天平 德国Sartorius Instruments有限公司;Kjeltec8400全自动凯氏定氮仪 丹麦Foss公司;SPARK型酶标仪 瑞士TECAN仪器公司;H-1850离心机 湖南湘怡实验室仪器开发有限公司;RC-4温度记录仪 上海鹏合电子科技有限公司;舒美KQ-100DB超声波清洗器 杭州微米派科技有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 原料的预处理 活体大口黑鲈鱼敲击致死后立即于-80℃中速冻,待鱼体中心温度达-18℃后,再移入-20℃冰箱中进行冻藏,24 h后取出进行解冻。

取出在-20℃冷冻的大口黑鲈鱼(鱼体中心温度为-16.8±0.3℃),分为5组,每组2条,对整条鱼进行解冻。采用热电偶进行温度的测定,当鱼体中心温度达4℃时视为解冻结束,不同解冻方式如表1所示,超声波流水解冻装置如图1所示。

1.2.2 解冻曲线的绘制 参考张莉等^[9]的方法略加改动,将温度记录仪连接到电脑,测定参数设置:温度上限4℃,温度下限-20℃,记录间隔30 s,开启温度超限报警。参数设定完成后,将温度探头插入到鱼的几何中心,温度达4℃时,视为解冻完全,自动记录的温度随时间变化的曲线即为大口黑鲈的解冻复温曲线。

表1 大口黑鲈鱼的不同解冻方式

Table 1 Different thawing methods of *Micropterus salmoides*

解冻方式	操作方法
常温解冻	将大口黑鲈放在托盘上,置于(20±1)℃恒温箱中解冻
流水解冻	将大口黑鲈置于自来水下,用水匀速(1±0.5) m/s冲刷大口黑鲈鱼表面,水温(20±1)℃
超声波流水解冻	将大口黑鲈放入超声流水装置中进行解冻,超声功率240 W,水温(20±1)℃
超声波静水解冻	将大口黑鲈放入超声清洗装置中进行解冻,超声功率240 W,水温(20±1)℃
盐水平解冻	将大口黑鲈直接浸泡在质量浓度为4%食盐水中,盐水温度(20±1)℃

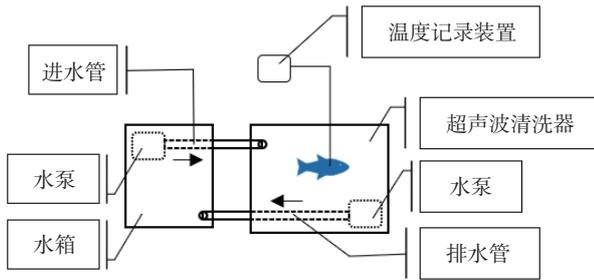


图 1 超声波流水解冻装置简图

Fig.1 Schematic diagram of ultrasonic flow water thawing device

1.2.3 解冻损失率的测定 参考阿依木古丽等^[10]的方法,准确称量解冻前大口黑鲈鱼的质量 m_1 (g),解冻结束后用吸水纸吸干大口黑鲈鱼体表和腹部的水分,再测定其质量,记为 m_2 (g),按照公式(1)计算大口黑鲈鱼的解冻损失率。

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

1.2.4 蒸煮损失率的测定 参考 Li 等^[11]的方法稍加改动,准确称取不同解冻方式解冻后的鱼肉质量记为 m_3 (g),体积约 $(3 \times 3 \times 1) \text{cm}^3$,自封袋包装后在 90°C 水浴锅中蒸煮 15 min,后取出冷却至室温,擦干鱼肉表面水分,质量记为 m_4 (g),按照公式(2)计算大口黑鲈鱼的蒸煮损失率。

$$\text{蒸煮损失率}(\%) = \frac{m_3 - m_4}{m_3} \times 100 \quad \text{式(2)}$$

1.2.5 持水力的测定 参照刘欣荣等^[12]的方法。精确称取 10 g 左右鱼肉,记为 m_5 ,擦干鱼肉表面的水分后置于干燥离心管 4°C 、8000 r/min 离心 10 min,再精确称重记为 m_6 。按照公式(3)计算大口黑鲈鱼的持水力。

$$\text{持水力}(\%) = \frac{m_5 - m_6}{m_5} \times 100 \quad \text{式(3)}$$

1.2.6 TVB-N 值的测定 参照刘欣荣等^[12]的方法并稍加改动。准确称取 10 g 搅碎的鱼肉与 1 g 轻质氧化镁,后置于蒸馏管中,采用全自动凯氏定氮仪进行测定。

1.2.7 质构特性的测定 取大口黑鲈头后背部肌肉 $(2 \text{ cm} \times 2 \text{ cm} \times 1 \text{ cm})$,采用质构仪对其硬度、弹性、咀嚼性、黏附性、胶粘性进行测定。测试参数:选用 P50 探头,测量模式为 TPA,重复测量 3 次,测前速度 2 mm/s,测试速度 4 mm/s,形变量 55%,维持 5 s,触发力 5 g,返回速度 5 mm/s,来回 2 次。

1.2.8 过氧化值的测定 参考 GB 5009.227-2016《食品安全国家标准 食品中过氧化值的测定》,对各组大口黑鲈鱼肌肉的过氧化值进行测定。

1.2.9 丙二醛含量的测定 按照丙二醛含量测试盒说明书中的方法测定各组鱼肉中丙二醛的含量,并按照蛋白浓度计算丙二醛含量。蛋白含量的测定参照

南京建成蛋白定量测试盒(BCA 法)说明书,在波长 562 nm 处测定 OD 值。

1.2.10 巯基的测定 以肌动球蛋白为待测样,参照北京峰格总巯基测定试剂盒说明书的方法进行测定,在波长 412 nm 处测定 OD 值。

参考 Zhou 等^[13]的方法提取肌动球蛋白。提取方法:准确称取 5 g 大口黑鲈鱼背部肌肉于烧杯中,剪碎后加入 25 mL 预冷的 KCl 溶液 $(0.6 \text{ mol/L}, \text{pH} 7.0)$,在冰浴条件下均质 5 min,每均质 15 s 停 15 s。均质结束后,15000 r/min、 4°C 条件下离心 15 min,收集上清液。向上清液加入 3 倍体积预冷的蒸馏水,15000 r/min、 4°C 条件下离心 10 min,收集沉淀后加入等体积的预冷 KCl 溶液 $(1.2 \text{ mol/L}, \text{pH} 7.0)$,冰浴条件下搅拌 15 min,再次离心收集上清液,上清液即为肌动球蛋白。

1.2.11 Ca^{2+} -ATPase 活性的测定 以肌动球蛋白为待测样,参考柏吉生物超微量 Ca^{2+} -ATP 酶试剂盒说明书进行测定,在波长 636 nm 处测定 OD 值。

1.3 数据处理

采用 Excel 2019 进行数据记录、整理及差异性显著分析,采用 SPSS 26 和 Excel 2019 进行图表的制作,统计学分析。数据间分析采用单因素方差分析法(One way ANOVA), $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 大口黑鲈鱼的解冻曲线

不同解冻方式下,大口黑鲈鱼肉的温度变化情况如图 2 所示。从解冻复温曲线可看出,0~10 min 解冻速度较快,这是因为在此阶段鱼体中大部分的水以冰晶的形式存在,鱼体温度与解冻介质温差较大且冰的热传导大于水,因此传热效率高、解冻速度快;10 min 后解冻复温曲线逐渐趋于平缓,解冻速度减慢,这是因为此阶段为最大冰晶生成带,此时鱼体中大部分的冰晶融化,鱼肉导热率下降,解冻时间较长^[14]。

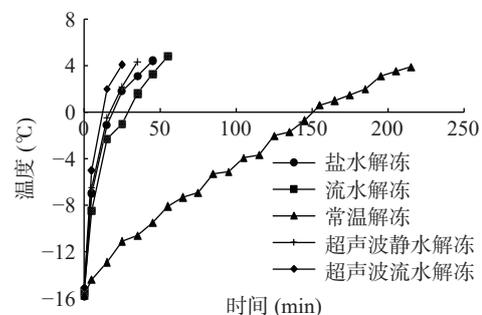


图 2 不同解冻方式下大口黑鲈鱼的解冻复温曲线
Fig.2 Thawing rewarming curve of *Micropterus salmoides* under different thawing methods

经测定,常温解冻、盐水解冻、流水解冻、超声波静水解冻、超声波流水解冻的时间分别是 219、44、55、35、24 min。其中,常温解冻耗时较长,热量

散出较慢。而超声流水解冻耗时最少,通过冰晶最大生成带的时间最短,这是因为流动的水可加快解冻的传热过程,缩短解冻时间;超声波作用于水后产生空化气泡,也会提高传热效率,缩短解冻时间,超声波流水解冻将超声波与水流动的效果叠加,因此其解冻速度最快^[14]。从解冻时间上得出:常温解冻>流水解冻>盐水解冻>超声波静水解冻>超声波流水解冻,超声波流水解冻相对较好。

2.2 不同解冻方式对大口黑鲈鱼保水性的影响

保水性(解冻损失率、蒸煮损失率、持水力)的高低与食品的质量密切相关,是衡量水产品中蛋白质变性程度的重要指标^[15]。不同解冻方式下大口黑鲈鱼保水性的变化情况如图3~图5所示,5种不同解冻方式中,常温解冻的解冻损失率与蒸煮损失率均高于盐水解冻、流水解冻、超声波静水解冻和超声波流水解冻,持水力最弱(69.13%),这是由于常温解冻所需时间(219 min)较长,鱼体内形成的冰晶溶解较慢,对鱼肉细胞造成了损伤,导致鱼肉蛋白质构象发生改变,此外,常温下鱼体内源酶活性增加,蛋白质会出现降解,导致汁液流失增多^[16]。超声波流水解冻损失率与蒸煮损失率最小,分别为6.69%、13.77%,持水力最强(74.22%),这是因为在超声波与流动水的共同作用下,鱼体与外界热交换的效率增强,较快的通过了最大冰晶融解带(-5~0℃),从而减少了鱼肉蛋白

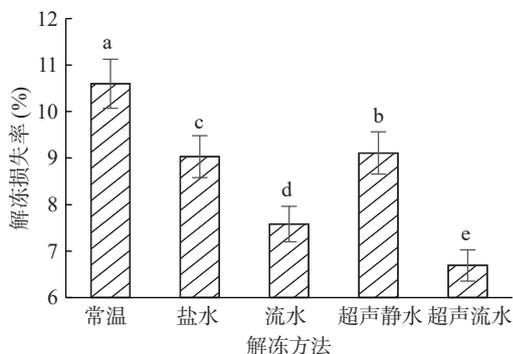


图3 不同解冻方式下大口黑鲈鱼的解冻损失率

Fig.3 Thawing loss rate of *Micropterus salmoides* under different thawing methods

注:不同小写字母表示结果差异显著($P<0.05$),图4~图15同。

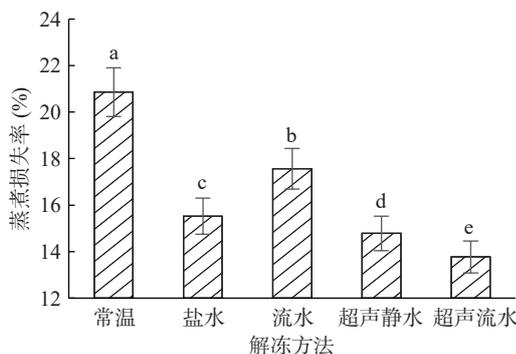


图4 不同解冻方式下大口黑鲈鱼的蒸煮损失率

Fig.4 Cooking loss rate for *Micropterus salmoides* under different thawing methods

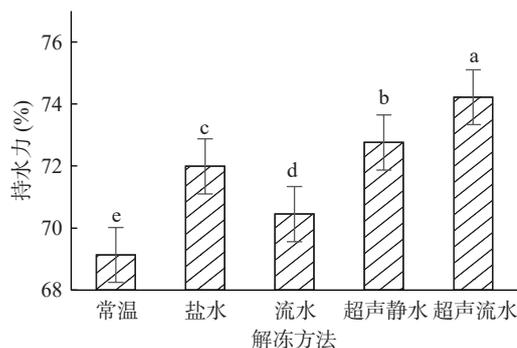


图5 不同解冻方式下大口黑鲈鱼的持水力

Fig.5 Water holding capacity of *Micropterus salmoides* under different thawing

的降解,降低了冰晶对鱼肉肌原纤维结构的破坏,鱼肉的保水率得以维持^[17]。此外,流水对鱼肉具有水封隔氧的作用,使鱼体内外腐败菌的繁殖受到抑制,减少鱼肉蛋白质的降解,对维持鱼肉的保水率具有一定的作用^[18]。综合考虑,大口黑鲈鱼保水性:超声波流水解冻>超声波静水解冻>盐水解冻>流水解冻>常温解冻,在维持大口黑鲈鱼保水性方面,超声波流水解冻为最佳解冻方式。

2.3 不同解冻方式对大口黑鲈鱼 TVB-N 值的影响

TVB-N 值是对水产品质量评估的主要参数之一,TVB-N 值越高表明鱼肉氨基酸被破坏的程度越严重,腐败程度越高^[19]。如图6所示,5种解冻方式TVB-N 值均处于一级鲜度标准,但常温解冻后TVB-N 值(9.81 mgN/100 g)最大,这是因为常温解冻过程中酶类对鱼肉蛋白质的作用时间较长,蛋白质分解多,因此TVB-N 值高^[20]。流水解冻、盐水解冻与超声波静水解冻TVB-N 值次之,超声波流水解冻最小,为5.99 mgN/100 g,这是因为超声波流水解冻相比于其他解冻方式,减少了鱼肉中一些能引发肉质脱氨基、脱羧基等化学反应的酶类,降低了碱性含氮类产物含量,从而提高了新鲜度^[21]。此外,由于水的隔氧作用,腐败微生物的生长繁殖受到抑制,减少了解冻过程中鱼肉蛋白质的降解,从而抑制了TVB-N 值的上升。由图6可知,不同解冻方式下大口黑鲈鱼TVB-N 值的大小为:常温解冻>流水解冻>盐水解冻>

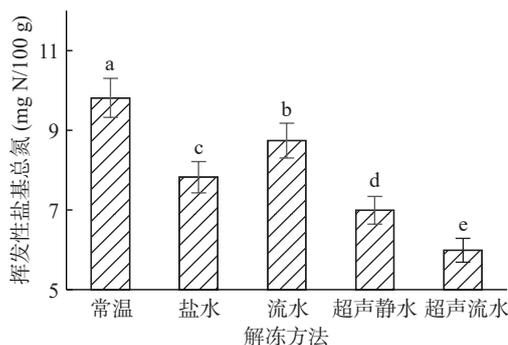


图6 不同解冻方式下大口黑鲈鱼的挥发性盐基总氮值

Fig.6 Total volatile base nitrogen in *Micropterus salmoides* under different thawing methods

超声波静水解冻>超声波流水解冻, 超声波流水解冻效果更好, 这也与保水性的结果一致。

2.4 不同解冻方式对大口黑鲈鱼质构的影响

质构指标包括硬度、弹性、咀嚼性等, 解冻后鱼肉的质构变化可以直接反映出其品质变化, 因此是评价鱼肉品质不可或缺的指标^[22]。由图 7~图 11 可知, 常温解冻后鱼肉的硬度(3337.02 g)、弹性(0.445 g)、咀嚼性(344.72)等指标最低, 这可能是因为常温解冻耗时较长, 蛋白质的有序结构被酶破坏成松散状态, 因此常温解冻后鱼肉硬度、弹性、咀嚼性等指标较低。超声波静水解冻的硬度、弹性、咀嚼度最高, 这也与王雪松等^[23]的研究结果一致, 超声波流水解冻的硬度、弹性、咀嚼度仅次于超声波静水解冻。胶黏性表示将鱼肉破裂成吞咽时的稳定状态所需的能量^[24], 黏附性是指探头脱离样品所需能量大小, 超声波流水解冻的胶黏性和黏附性最好, 这可能是因为超声波流水解冻加快了解冻速率, 减缓了蛋白质的变质, 因此与其他解冻方法相比, 超声波流水解冻后鱼肉细胞流出的水分更少, 起到的润滑作用更低, 从而使鱼肉胶黏性较高^[25]。此外, 超声波流水解冻过程中流动的水削弱了因超声波的空化作用使鱼肉温度上升的影响, 也是导致鱼肉胶黏性较高的原因之一^[26]。超声波流水解冻过程中, 由于蛋白质发生变性的进程较为缓慢, 使得鱼肉持水性下降速率减慢, 细胞间的结合力较其他解冻方法处理的鱼肉更强, 因而鱼肉的

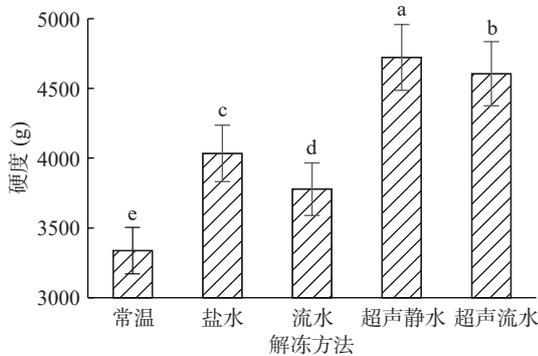


图 7 不同解冻方式下大口黑鲈鱼的硬度

Fig.7 Hardness of *Micropterus salmoides* under different thawing methods

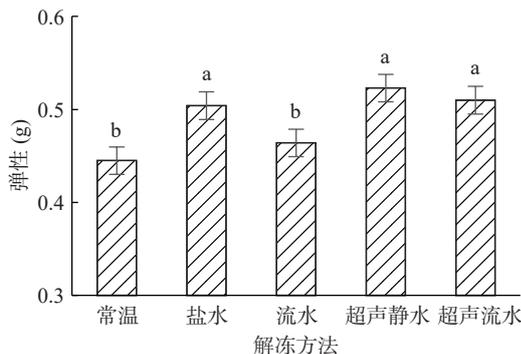


图 8 不同解冻方式下大口黑鲈鱼的弹性

Fig.8 Elasticity of *Micropterus salmoides* under different thawing methods

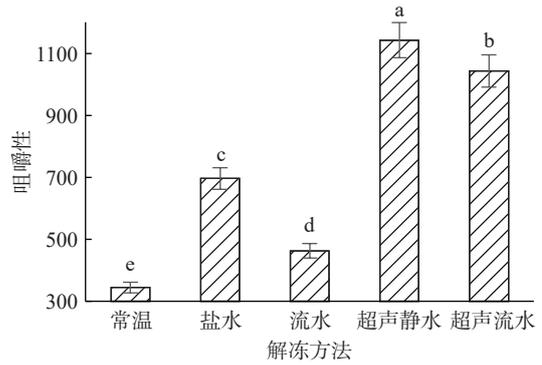


图 9 不同解冻方式下大口黑鲈鱼的咀嚼性

Fig.9 Chewability of *Micropterus salmoides* under different thawing methods

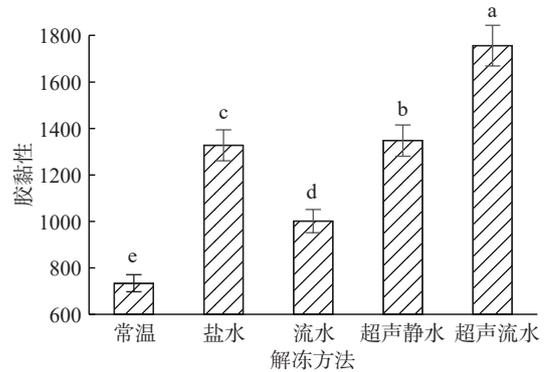


图 10 不同解冻方式下大口黑鲈鱼的胶黏性

Fig.10 Glue properties of *Micropterus salmoides* under different thawing methods

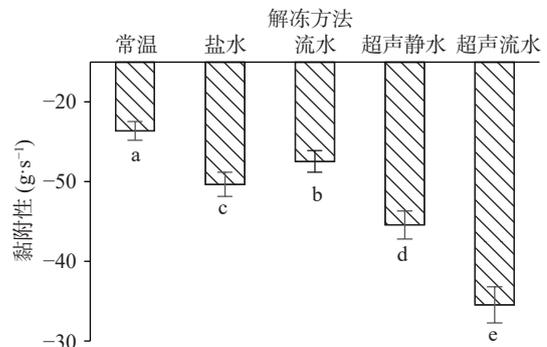


图 11 不同解冻方式下大口黑鲈鱼的黏附性

Fig.11 Adhesion of *Micropterus salmoides* under different thawing methods

黏附性最低^[25]。综上考量后认为, 经超声波流水解冻处理的鱼肉质构品质更高。

2.5 不同解冻方式对大口黑鲈鱼过氧化值的影响

氢过氧化物是脂质氧化的产物, 与解冻后鱼肉风味及色泽存在一定的关系^[27]。不同解冻方式对解冻后大口黑鲈鱼过氧化值的影响如图 12 所示, 超声波静水处理后的鱼肉过氧化值最大, 为 0.0146 g/100 g, 说明超声波静水解冻后鱼肉脂质的氧化程度较其他方式严重, 这可能是因为微波传递热量速度较快, 促进了脂肪氧化的发生^[28]。常温解冻脂质氧化程度次之, 过氧化值为 0.0125 g/100 g, 这是由于常温解冻耗

时长,脂质的氧化程度较高。流水解冻、盐水解冻、超声波流水解冻后鱼肉的过氧化值差异不明显,但超声波流水解冻过氧化值最低,为 0.0103 g/100 g,说明在超声波流水解冻条件下大口黑鲈肌肉不易发生脂肪的氧化,这是由于流水带走了微波产生的热量,同时极大的缩短了解冻时间,因而鱼肉脂质的氧化程度最低。综上可得,超声波流水解冻后的鱼肉脂质氧化程度更小。

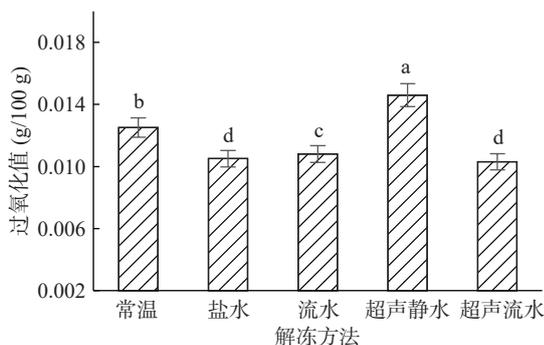


图 12 不同解冻方式下大口黑鲈鱼的过氧化值
Fig.12 Peroxide values of *Micropterus salmoides* under different thawing methods

2.6 不同解冻方式对大口黑鲈鱼丙二醛含量的影响

丙二醛的含量是评价鱼肉脂质氧化程度的重要指标之一,其含量越高,说明脂肪氧化程度越高^[29]。由图 13 可知,超声波静水解冻后的鱼肉丙二醛含量最高,为 5.11 nmol/mg,这可能是因为超声过程中水温升高,鱼肉脂肪中过氧化物的分解加快,从而使丙二醛含量增加。常温解冻后鱼肉的丙二醛含量仅次于超声波静水解冻,达到 4.88 nmol/mg,这可能与常温解冻时间较长,加速了鱼肉脂质氧化的进程,产生较多的醛类化合物有关^[30]。流水解冻、盐水解冻和超声流水解冻后的鱼肉丙二醛含量差异不明显,脂肪氧化程度均相对较低,但超声流水解冻后的鱼肉丙二醛含量最低,为 4.46 nmol/mg,这可能是由于流动的水会加速冰晶的融解,使鱼肉迅速通过-5~0℃这一生化反应最剧烈的阶段。综上可知,超声波流水解冻对抑制鱼肉丙二醛含量的增加效果更好。

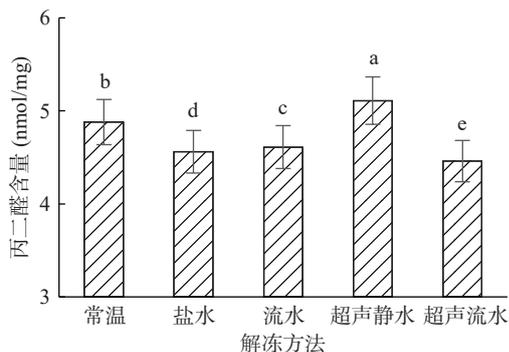


图 13 不同解冻方式下大口黑鲈鱼丙二醛的含量
Fig.13 Malondialdehyde content of *Micropterus salmoides* under different thawing methods

2.7 不同解冻方式对大口黑鲈鱼巯基的影响

巯基是衡量鱼肉蛋白质变性的重要指标,巯基含量越高,蛋白质的氧化程度越低^[31]。大口黑鲈鱼巯基含量的变化情况如图 14 所示,常温解冻后大口黑鲈鱼巯基含量最低,为 4.01×10^{-5} mol/g,说明常温解冻鱼肉蛋白质的氧化程度较其他方法更加严重,这可能是由于常温解冻耗时较长,鱼肉蛋白质在解冻过程中发生氧化的进程加快,从而使巯基含量降低,这也与宦海珍等^[32]的研究结果一致。其次为盐水解冻、流水解冻与超声波静水解冻,巯基含量分别为: 4.58、4.36 与 4.98×10^{-5} mol/g。超声波流水解冻巯基含量最高(5.34×10^{-5} mol/g),这可能是因为超声波和流水的联合作用下,鱼体内的冰晶融化快,对鱼肉组织造成的损伤小,鱼肉蛋白质氧化程度低,因而巯基含量最高。此外,谭明堂等^[33]发现水流有效隔绝了氧气,从而抑制了鱼肉肌原纤维的降解与巯基被氧化成二硫键的进程,进而延缓了巯基含量的降低。

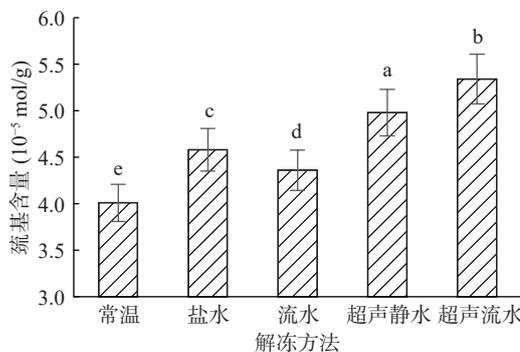


图 14 不同解冻方式下大口黑鲈鱼巯基的含量
Fig.14 Sulfhydryl content in *Micropterus salmoides* under different thawing methods

2.8 不同解冻方式对大口黑鲈鱼 Ca²⁺-ATP 酶活性的影响

Ca²⁺-ATPase 活性表征肌球蛋白头部性质,是反映蛋白质氧化变性的重要指标之一^[34]。如图 15 所示,超声波流水解冻后大口黑鲈鱼肉 Ca²⁺-ATP 酶活性最高,为 3.8 μmol Pi/(mg pro·h),显著(P<0.05)高于其他解冻方式;超声波静水解冻、盐水解冻、流水

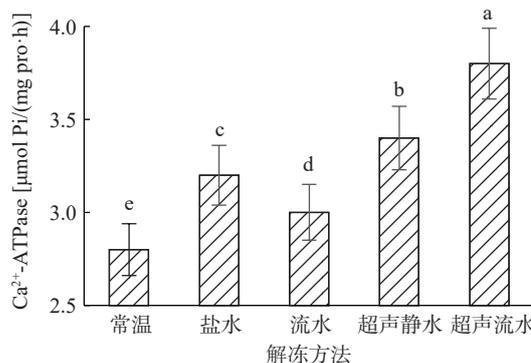


图 15 不同解冻方式下大口黑鲈鱼 Ca²⁺-ATPase 活性
Fig.15 Ca²⁺-ATPase activity in *Micropterus salmoides* under different thawing methods

解冻鱼肉的 Ca^{2+} -ATP 酶活性次之; 常温解冻大口黑鲈鱼肉 Ca^{2+} -ATP 酶活性最低 [$2.8 \mu\text{mol Pi}/(\text{mg pro} \cdot \text{h})$], 显著 ($P < 0.05$) 低于其他解冻方式, 这可能是因为常温解冻过程中, 鱼肉肌球蛋白发生了严重的变性或聚集。大口黑鲈鱼肉 Ca^{2+} -ATPase 活性的变化与巯基的变化情况相似, 说明常温下大口黑鲈鱼肉肌球蛋白氧化程度较大; 超声波流水解冻最不易引发肌球蛋白的氧化, 更有利于维持鱼肉的品质; 超声波静水、盐水和流水解冻次之^[35]。综上可得, 不同解冻方式下, 大口黑鲈鱼肉 Ca^{2+} -ATPase 活性由高至低依次为: 超声波流水解冻>超声波静水解冻>盐水解冻>流水解冻>常温解冻, 超声波流水解冻相对较好。

3 结论

本研究发现, 在室温下, 大口黑鲈鱼采用常温或流水方式解冻后鱼肉品质较差; 超声波静水解冻后鱼肉硬度、弹性、咀嚼性最佳, 但鱼肉脂质氧化严重; 盐水解冻后鱼肉保水性、质构特性、脂肪及蛋白质氧化等各项指标值适中, 但解冻时间相对较长, 实际应用时将严重降低生产效率; 超声波流水解冻后的鱼肉硬度、弹性、咀嚼性仅次于超声波静水解冻, 但解冻时间最短、鱼肉的保水性最佳、脂质及蛋白质的氧化变性程度最低, 且超声波流水解冻的设备操作方便、结构简单、便于制造和检修。因此, 针对生产中需要大批量解冻的大口黑鲈鱼, 超声波流水解冻是一种最佳的解冻方式, 既可以满足工厂生产的需求, 也可较好地保持鱼肉解冻后各方面的品质。本实验还存在不足, 如未探究不同解冻方式对大口黑鲈鱼风味、水分分布、组织结构、色泽等方面的影响, 因此未来可从该方面对不同解冻方式下的大口黑鲈鱼做进一步的探究。

参考文献

[1] 王寿兵, 王心怡, 刘兴国, 等. 基于文献数据的大口黑鲈养殖池水温生态适宜度评价基准初探[J]. 复旦学报(自然科学版), 2022: 1-7. [WANG S B, WANG X Y, LIU X G, et al. A preliminary study on the evaluation benchmark of water temperature ecological suitability of largemouth bass culture pond based on literature data[J]. Fudan Journal (Natural science edition), 2022: 1-7.]

[2] 石钢鹏, 高天麒, 钱晓庆, 等. 不同速冻处理方式对大口黑鲈鱼肉冻藏期间品质变化影响[J]. 肉类研究, 2020, 34(12): 68-74. [SHI G P, GAO T Q, QIAN X Q, et al. Effects of different quick-freezing treatments on quality changes of largemouth black sea bass during freezing and storage[J]. Meat Research, 2020, 34(12): 68-74.]

[3] XIE X, LIU X L, FEI Y. Single and combined effects of tea polyphenols and edible chitosan coating on the shelf life improvement of refrigerated dagger-tooth pike conger (*Muraenesox cinereus*) [J]. International Journal of Food Properties, 2020, 23(1): 2110-2122.

[4] ALVARENGA T, HOPKINS D L, RAMOS E M, et al. Ageing-freezing/thaw process affects blooming time and myoglobin forms of lamb meat during retail display[J]. Meat Science, 2019, 153: 19-25.

[5] JIA Guoliang, SHA Kun, MENG Jin, et al. Effect of high volt-

age electrostatic field treatment on thawing characteristics and post-thawing quality of lightly salted, frozen pork tenderloin-Science Direct[J]. LWT, 2019, 99: 268-275.

[6] 王晋, 高学慧, 陈云云, 等. 解冻方式对船载超低温鱿鱼肌肉保水性及品质的影响[J]. 食品与机械, 2022, 38(9): 159-164. [WANG J, GAO X H, CHEN Y Y, et al. Effect of thawing method on muscle water retention and quality of shipborne ultra-low temperature squid[J]. Food & Machinery, 2022, 38(9): 159-164.]

[7] 凌胜男, 刘特元, 陈雪叶, 等. 不同解冻方式对鳀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 S N, LIU T Y, CHEN X Y, et al. Effects of different thawing methods on freshness and volatile flavor substances of anchovy [J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(5): 322-330.]

[8] 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, 2022, 43(15): 227-235. [WAN H L, YING X G, ZHAO B, et al. Effects of different thawing methods on thawing quality of raw fish fillets[J] Food Science, 2022, 43(15): 227-235.]

[9] 张莉, 孙佳宁, 朱明睿, 等. 解冻方式对羊肉品质及微观结构的影响[J]. 核农学报, 2022, 36(8): 1607-1617. [ZHANG L, SUN J N, ZHU M R, et al. Effect of thawing method on quality and microstructure of mutton[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2022, 36(8): 1607-1617.]

[10] 阿依木古丽, 蔡勇, 陈士恩, 等. 反复冷冻-解冻对牛肉品质及组织结构的影响[J]. 食品科学, 2011(7): 109-112. [AY-IMGULI, CAI Y, CHEN S E, et al. Effects of repeated freezing-thawing on beef quality and microstructure[J]. Food Science, 2011 (7): 109-112.]

[11] LI X P, LIU C K, ZHOU M Y, et al. Effects of hydroxyl radical oxidation on the structure and gel properties of myofibrin in grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) [J]. Food Science, 2017, 38 (21): 30-37.

[12] 刘欣荣, 申亮, 齐凤生, 等. 微冻保鲜对红鳍东方鲀贮藏品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(18): 128-135. [LIU X R, SHEN L, QI F S, et al. Effect of micro-freezing preservation on storage quality of oriental pufferfish redfin[J]. Food and Fermentation Industry, 2020, 46(18): 128-135.]

[13] ZHOU A M, LIN L Y, LIANG Y, et al. Physicochemical properties of natural actomyosin from threadfin bream (*Nemipterus* spp.) induced by high hydrostatic pressure[J]. Food Chemistry, 2014, 156: 402-407.

[14] 蒋奕, 程天赋, 王吉人, 等. 超声波解冻对猪肉品质的影响[J]. 肉类研究, 2017, 31(11): 14-19. [JIANG Y, CHENG T F, WANG J R, et al. Effect of ultrasonic thawing on pork quality[J]. Meat Research, 2017, 31(11): 14-19.]

[15] SKIPNES D, STBY M L, HENDRICKX M E. A method for characterising cook loss and water holding capacity in heat treated cod (*Gadus morhua*) muscle[J]. Journal of Food Engineering, 2017, 80(4): 1078-1085.

[16] 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. [ZHU W H, GONG H Z, BU Y, et al. Effects of different thawing methods on muscle water retention and protein oxidation degree of Peruvian squid[J]. Food Science, 2017, 38(11): 6-11.]

[17] LIU Z L, XIONG Y L, CHEN J. Protein oxidation enhances hydration but suppresses water-holding capacity in porcine longissimus muscle[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2010, 58(19): 10697-10704.

- [18] 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 Industries*, 2021, 47(1): 222-228.]
- [19] OCAÑO-HIGUERA V M, MAEDA-MARTÍNEZ A N, MARQUEZRÍOS E, et al. Freshness assessment of ray fish stored in ice by biochemical, chemical and physical methods[J]. *Food Chemistry*, 2017, 125(1): 49-54.
- [20] 王红丽. 草鱼死后贮藏过程中品质变化研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2019. [WANG H L. Study on changes in the quality of grass carp in the process of postmortem[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2019.]
- [21] 吴平, 姚芳, 王正云, 等. 超声波处理对畜肉解冻过程品质与解冻后品质影响的研究进展[J]. *现代食品科技*, 2022, 38(8): 361-371, 265. [WU P, YAO F, WANG Z Y, et al. Research progress on the effects of ultrasonic treatment on thawing process and post-thaw quality of livestock meat[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2022, 38(8): 361-371, 265.]
- [22] MOUSAKHANI-GANJEH A, HAMDAMI N, SOLTANI-ZADEH N. Impact of high voltage electric field thawing on the quality of frozen tuna fish (*Thunnus albacares*) [J]. *Journal of Food Engineering*, 2015, 156: 39-44.
- [23] 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.]
- [24] 李学鹏. 中国对虾冷藏过程中品质评价及新鲜度指示蛋白研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2011. [LIX P. Study on quality evaluation and freshness index protein of Chinese shrimp during refrigeration[D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2011.]
- [25] 李立杰, 柴春祥, 鲁晓翔, 等. 微冻对南美白对虾质构的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2013, 39(3): 73-76. [LI L J, CHAI C X, LU X X, et al. Effect of microfreezing on texture of *Penaeus vannamei* Boone[J]. *Food and Fermentation Industry*, 2013, 39(3): 73-76.]
- [26] 谭明堂. 鱿鱼冻藏工艺及解冻方式的研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2020. [TAN M T. Research on squid freezing process and thawing method[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2020.]
- [27] 张莉, 孙佳宁, 朱明睿, 等. 不同解冻方式对哈萨克羊肉脂质及蛋白质氧化的影响[J]. *食品科学技术学报*, 2022, 40(1): 161-171. [ZHANG L, SUN J N, ZHU M R, et al. Effects of different thawing methods on lipid and protein oxidation of Kazakh mutton[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2022, 40(1): 161-171.]
- [28] 王琳琳, 陈炼红, 李璐倩, 等. 解冻方式对牦牛肉蛋白氧化、功能特性及新鲜度的影响[J]. *农业机械学报*, 2021, 52(5): 342-349. [WANG L L, CHEN L H, LI L Q, et al. Effects of thawing on oxidation, functional characteristics and freshness of yak beef protein[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2021, 52(5): 342-349.]
- [29] LEE M A, KIM T K, HWANG K E, et al. Kimchi extracts as inhibitors of color deterioration and lipid oxidation in raw ground pork meat during refrigerated storage[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2019, 99(6): 2735-2742.
- [30] 葛孟甜, 李肖婵, 林琳, 等. 不同解冻方式对早熟蟹蟹肉理化性质及挥发性风味物质的影响[J]. *食品安全质量检测学报*, 2019, 10(8): 2181-2189. [GE M T, LI X C, LIN L, et al. Effects of different thawing methods on physicochemical properties and volatile flavor substances of early maturing crab meat[J]. *Journal of Food Safety and Quality Detection*, 2019, 10(8): 2181-2189.]
- [31] ÖZEN B Ö, SOYER A. Effect of plant extracts on lipid and protein oxidation of mackerel (*Scomber scombrus*) mince during frozen storage[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2018, 55(1): 120-127.
- [32] 宦海珍. 秘鲁鱿鱼解冻过程中蛋白质氧化介导的保水性机制研究[D]. 锦州: 渤海大学, 2019: 67-69. [GONG H Z. Study on protein oxidation-mediated water retention mechanism during thawing of *Peruvian squid*[D]. Jinzhou: Bohai University, 2019: 67-69.]
- [33] 谭明堂, 谢晶, 王金锋. 不同解冻方式对鱿鱼品质的影响[J]. *食品科学*, 2019, 40(13): 94-101. [TAN M T, XIE J, WANG J F. Effects of different thawing methods on squid quality[J]. *Food Science*, 2019, 40(13): 94-101.]
- [34] 郑薇薇. 海藻糖对防止淡水鱼糜蛋白冷冻变性的研究[D]. 吉林: 吉林农业大学, 2011: 23-24. [ZHENG W W. Study on the effect of trehalose on preventing freezing denaturation of freshwater surimi protein[D]. Jilin: Jilin Agricultural University, 2011: 23-24.]
- [35] 李璐倩, 严琪格, 哈玉洁, 等. 不同解冻方法对牦牛肉品质特性的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(23): 124-131. [LI L Q, YAN Q G, HA Y J, et al. Effects of different thawing methods on the quality characteristics of yak meat[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2020, 46(23): 124-131.]