

## 解冻方式对乌鳢品质的影响

杨明远, 姜晶丹, 谢晶, 卢瑛

### Effects of thawing methods on the quality of *Ophiocephalus argus*

YANG Mingyuan, JIANG Jingdan, XIE Jing, LU Ying

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12024/jsou.20200503055>

#### 您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

##### 不同解冻方法对冻藏罗非鱼片理化性能的影响

Effects of various thawing methods on the physicochemical characteristics of frozen tilapia fillets

渔业现代化. 2016, 43(4): 38 <https://doi.org/10.3969/j.issn.1007-9580.2016.04.008>

##### 不同解冻方式反复冻融对金乌贼蛋白质分子间作用力的影响

Effects of different thawing ways and multiple freezethaw cycles on myofibrillar protein intermolecular force of *Sepia esculenta*

水产学报. 2019, 43(8): 1839 <https://doi.org/10.11964/jfc.20180711383>

##### 不同冻结方式对小黄鱼冻藏品质的影响

Effects of different freezing methods on the quality of *Larimichthys polyactis* during frozen storage

中国渔业质量与标准. 2018, 8(6): 1 <https://doi.org/10.3969/j.issn.2095-1833.2018.06.001>

##### 不同致死方式对罗非鱼鱼片品质的影响

Effect of different slaughter methods on quality of *Oreochromis* sp. fillets

南方水产科学. 2013, 9(5): 13 <https://doi.org/10.3969/j.issn.2095-0780.2013.05.003>

##### 乌鳢微卫星DNA分子标记的分离及筛选

Isolation and screening of microsatellite markers from Argus snakehead fish *Ophiocephalus argus*

大连海洋大学学报. 2010, 25(3): 260 <https://doi.org/10.16535/j.cnki.dlhyxb.2010-03-001>

##### 升温方式对二段加热鲢鱼糜水分分布和品质的影响

Effects of heating methods on water distribution and quality of silver carp surimi during two stage heating

大连海洋大学学报. 2021, 36(4): 646 <https://doi.org/10.16535/j.cnki.dlhyxb.2020-221>

文章编号: 1674-5566(2021)05-0913-09

DOI:10.12024/j.sou.20200503055

## 解冻方式对乌鳢品质的影响

杨明远<sup>1,2,3</sup>, 姜晶丹<sup>1,2,3</sup>, 谢晶<sup>1,2,3</sup>, 卢瑛<sup>1,2,3</sup>

(1. 上海海洋大学 食品学院, 上海 201306; 2. 农业农村部水产品贮藏保鲜质量安全风险评估实验室, 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)

**摘要:** 为探究解冻方式(微波解冻、流水解冻、常温解冻和低温解冻)对乌鳢(*Ophiocephalus argus*)品质的影响,分析不同解冻方式的解冻时间、解冻损失率、持水力、肌原纤维蛋白浓度、挥发性盐基氮(total volatile basic nitrogen, TVB-N)、硫代巴比妥酸(thiobarbituric acid, TBA)和质构的变化情况,结合傅里叶红外光谱及感官评价,确定对乌鳢品质影响最小的解冻方式。结果发现:微波解冻耗时最短,其次是流水解冻,但微波解冻后汁液损失率最大,持水力最弱;常温解冻后的各项指标的结果都比较差;低温解冻的汁液损失率最小,持水力最好,TVB-N值和TBA值最小。此外,低温解冻后鱼肉咀嚼性和硬度较好,感官评价最好,但是低温解冻耗时最长;而流水解冻后的鱼肉品质仅次于低温解冻,解冻时间约为低温解冻的1/3。综合实际生产情况和经济效益,流水解冻较适合作为乌鳢的工业化解冻方式。

**关键词:** 乌鳢; 解冻方式; 品质; 流水解冻

**中图分类号:** S 983      **文献标志码:** A

乌鳢(*Ophiocephalus argus*), 俗名黑鱼, 是中国常见的淡水鱼之一。乌鳢营养丰富、骨刺少, 肉质细嫩, 深受消费者的喜爱。另外, 其还具有较高的药理作用, 可作为主治湿痹、面目浮肿的药物或用于产妇术后的生肌补血、加速伤口愈合等<sup>[1-3]</sup>。随着人们生活品质的提高, 生产者和消费者对鱼肉的质量品质要求也随之变高。因此, 保证乌鳢的肉质品质具有重要现实意义。

目前, 冷冻保藏是乌鳢常用的保鲜手段之一, 但在解冻过程中, 不同的解冻方式会对鱼体中的蛋白质、水分、脂肪和肌肉质构等产生影响, 造成鱼肉品质的下降<sup>[4-5]</sup>。关于不同解冻方式对鱼类品质的影响已有很多报道: 王凤玉等<sup>[6]</sup>比较了流水、静水、室温空气和低温空气4种解冻方法发现, 低温空气解冻能减少解冻损失率和蒸煮损失率, 延缓脂肪氧化, 解冻后肌肉组织状态较好。余文晖等<sup>[7]</sup>采用空气、静止水、流水和微波解

冻方式对金枪鱼进行解冻, 结果表明, 静止水解冻后的金枪鱼保水性最好, 红度值最高, 蛋白质变性不明显。谭明堂等<sup>[8]</sup>研究了空气、静水、流水、微波和超声波解冻对鲑鱼品质的影响, 发现流水解冻对鲑鱼的水分含量、肌肉组织结构、色泽变化、蛋白质和脂质氧化的影响程度最小。

目前, 对乌鳢及其副产品的加工和保鲜工艺研究较多, 对乌鳢的解冻方式研究鲜有报道。因此, 本文比较微波解冻、流水解冻、常温解冻和低温解冻4种解冻方式下乌鳢的保水性(解冻损失率和持水力)、肌原纤维蛋白含量、TVB-N值、TBA值和质构等指标, 结合傅里叶红外光谱和感官评价, 以期探究不同解冻方式对乌鳢品质的影响作用, 明确对乌鳢品质影响最小的解冻方式, 为乌鳢的原料处理与加工、高品质产品开发提供理论依据。

收稿日期: 2020-05-23      修回日期: 2020-07-21

基金项目: 2019年上海市科技兴农重点攻关项目(2019-02-08-00-10-F01143); 南太湖精英计划领军型创新项目(201709)

作者简介: 杨明远(1993—), 男, 硕士研究生, 研究方向为水产品检测技术。E-mail: 979696195@qq.com

通信作者: 卢瑛, E-mail: y-lu@shou.edu.cn

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

实验用乌鳢购自于上海浦东新区古棕路菜市场,规格为1.5~2.0 kg/条,无明显外伤。样品经敲击致死,快速去鳞、去头、去骨、去内脏,流水洗净,切成宽2 cm左右的鱼块,真空包装后,放入-20℃冰箱冻藏。

浓硫酸、盐酸,国药集团化学试剂有限公司;硫酸钾、硫酸铜、石油醚、 $\beta$ -巯基乙醇,麦克林生化科技有限公司;蛋白浓度测定试剂盒,上海生物工程生物工程有限公司。

### 1.2 仪器与设备

主要仪器与设备:HSCOL-180 鼓风干燥箱,上海和呈仪器制造有限公司;BSA224S 分析天平,广州深化生物技术有限公司;IKA T10 匀浆机,上海楚柏实验室设备有限公司;YB-HY001-00 温度记录仪,青岛海尔医疗;NE-C1475 型微波炉,日本松下(上海)有限公司;Allegra X-64R 高速台式冷冻离心机,贝克曼库尔特商贸(中国)有限公司;TA.XT plus 物性测试仪,超技仪器有限公司;福斯 8400 全自动凯氏定氮仪,福斯华(北京)科贸有限公司;Spotlight 400 傅立叶变换红外光谱仪,珀金埃尔默仪器(上海)有限公司。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 乌鳢的解冻方法

将真空包装的乌鳢样品从-20℃冰箱中取出,采用微波、流水、常温和低温4种解冻方式进行解冻,用温度记录仪测定样品中心温度变化,当样品中心温度为4℃时,解冻停止。

微波解冻:将乌鳢样品置于功率为500 W的微波炉内解冻;流水解冻:采用均匀水流对真空袋内的样品进行解冻,水流速度为0.95 m/s,温度为18℃;常温解冻:将真空包装的样品,置于25℃恒温箱内进行解冻;低温解冻:将真空包装的样品,置于4℃恒温箱内进行解冻。

#### 1.3.2 保水性测定

(1)解冻损失率:参考XIA等<sup>[9]</sup>方法,首先称量解冻前乌鳢样品的质量(精确到0.01 g),样品解冻后,用吸水纸擦干样品表面液体,记录解冻后乌鳢样品的质量,解冻损失率计算公式为

$$L = 100 \times (M_1 - M_2) / M_1 \quad (1)$$

式中: $L$ 表示解冻损失率,%; $M_1$ 为解冻前乌鳢样

品的质量,g; $M_2$ 为解冻后乌鳢样品的质量,g。

(2)持水力:根据JIANG等<sup>[10]</sup>的方法,稍作修改。乌鳢样品解冻后,用吸水纸吸干样品的表面水分,称取2.00 g左右的乌鳢样品,用双层吸水纸包裹后,4℃、5 000 r/min离心10 min,取下吸水纸,精确称量离心后样品的质量,持水力计算公式为:

$$C = M_4 / M_3 \times 100 \quad (2)$$

式中: $C$ 表示持水力,%; $M_3$ 为解冻后去除表面水分的乌鳢样品的质量,g; $M_4$ 为离心后样品的质量,g。

#### 1.3.3 肌原纤维蛋白的测定

参考EYMARD等<sup>[11]</sup>的方法,略有修改。称取2.00 g背肉,加入10 mL 0.1 mol/L氯化钾,20 mmol/L Tris 盐酸缓冲液,匀浆后4℃离心,保留沉淀,再重复1次,4℃离心后保留上清液。双缩脲法测定其含量。

#### 1.3.4 挥发性盐基氮(TVB-N)的测定

根据张楠楠等<sup>[12]</sup>的方法,利用全自动凯氏定氮仪测定样品的TVB-N值,平行测定3次,结果表示为mgN/100g。

#### 1.3.5 硫代巴比妥酸(TBA)的测定

参考PAOLA等<sup>[13]</sup>的方法,略有修改。取5.00 g样品,加入50 mL 5%三氯乙酸溶液,匀浆。离心后取上清液5 mL,加入0.02 mol/L硫代巴比妥酸溶液5 mL,沸水浴15 min。冷却至室温后,在532 nm下测定吸光度。

#### 1.3.6 质构的测定

根据刘妙<sup>[14]</sup>的方法,稍作修改。取样品背肉切成2 cm×2 cm×1 cm块状,使用TAXT Plus质构仪进行TPA测试,记录硬度、弹性和咀嚼。设定参数:探头型号P50,触发力5 g,测试速率为1 mm/s,最后结果为6次平行试验的平均值。

#### 1.3.7 红外光谱数据的采集

原始光谱采集:取5 g鱼肉搅碎成鱼糜状,冷冻干燥24 h除去水分,之后将其与溴化钾碎片按1:100混合研磨充分后,用傅里叶红外光谱仪进行光谱采集,波数范围为4 000~400  $\text{cm}^{-1}$ ,分辨率为4  $\text{cm}^{-1}$ ,光谱累加32次。

二阶导数谱图:将原始光谱图用谱图处理软件Perkin Elmer Spectrum(Version 10.4.3)进行基线校正,13点多项式最小二乘法平滑处理得到样品的二阶导数谱图。

## 1.3.8 感官评价

样品经过煮制后,由 7 名经培训过的食品感

官评定员组成评定小组,从外观、滋味、气味和口感 4 个方面对样品进行评定,评定标准见表 1。

表 1 样品品质感官评定标准

Tab.1 Sensory evaluation criteria of sample quality

评价指标 Evaluating indicators	评分标准 Scoring criteria	分值 Scores
外观 Appearance(20 分)	鱼肉紧密,不松散	16~20
	鱼肉较紧密	11~15
	鱼肉较松散	6~10
	鱼肉很松散	≤5
滋味 Taste(30 分)	鱼肉鲜美	26~30
	鱼肉较鲜美	21~25
	鲜美滋味较淡	16~20
	无鱼肉滋味	≤15
气味 Smell(30 分)	鱼香味浓郁	26~30
	鱼香味较浓郁	21~25
	鱼香味较寡淡	16~20
	完全无鱼香味	≤15
口感 Mouthfeel(20 分)	鱼肉软硬适中,咀嚼性好	16~20
	鱼肉稍硬,咀嚼性较好	11~15
	鱼肉较硬,咀嚼性较差	6~10
	鱼肉很硬,咀嚼性很差	≤5

## 1.3.9 数据处理

实验均为 3 个平行测定,特殊说明的除外。采用 SPSS 22.0 软件进行单因素方差分析,使用 Excel 2010 和 Origin 9.1 软件进行数据处理和绘图。

## 2 结果与分析

## 2.1 不同解冻方式的解冻时间

由图 1 可知,微波解冻、流水解冻、常温解冻和低温解冻 4 种解冻方式的解冻时间分别为 8、35、100 和 200 min,时间差异显著。微波解冻耗时最短,这是因为微波直接作用于食品内部分子,使其相互摩擦碰撞,达到解冻目的<sup>[15]</sup>。流水解冻比常温解冻和低温解冻速度快。这是因为水的比热容比空气大,热量传递速度快<sup>[16]</sup>,所以解冻时间较短。而低温解冻过程中,热量散出较慢,解冻耗时较长。

## 2.2 解冻方式对乌鳢保水性的影响

保水性(解冻损失率和持水力)是衡量乌鳢肌肉品质的重要指标<sup>[17]</sup>。由表 2 可知,4 种不同解冻方式中,微波解冻的解冻损失率最大(4.81%),持水力最弱(72.14%),这是因为微波会使具有极性的水分子振动,而极性分子在鱼肉内的分布是不均匀的,使得微波解冻过程中不同

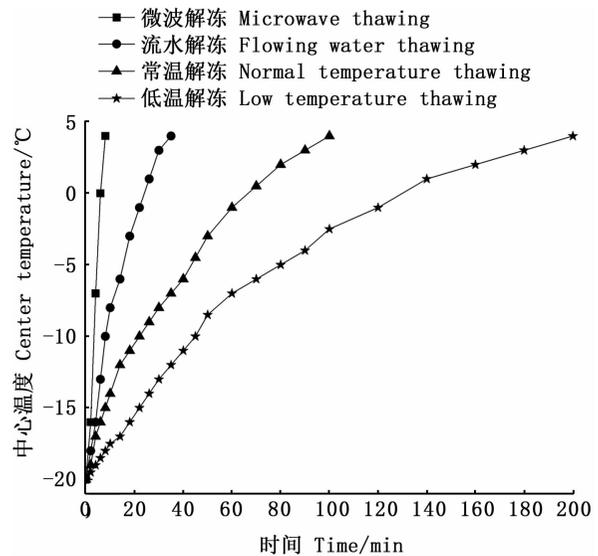


图 1 乌鳢解冻过程中温度变化曲线

Fig.1 Thawing temperature curve of *Ophiocephalus argus*

部位吸收能量差异较大,导致微波解冻不均匀,一些蛋白质结构被破坏甚至熟化<sup>[18]</sup>,导致汁液流失大。常温解冻所需时间(100 min)较长,冷冻形成的形状不规则的冰晶溶解缓慢,会对细胞造成物理损伤,导致蛋白结构改变,而常温下鱼体内的酶活性也会增加,蛋白质会出现降解使得结构松散,导致汁液损失增多。而低温解冻的解冻

损失率最小(1.16%),持水力最强(80.04%),这是因为低温状态下,酶促等生化反应受到抑制,蛋白质的降解非常缓慢。此外,低温状态下,解冻缓慢,解冻过程中肌肉组织可以吸附部分冰晶融合产生的水分子<sup>[19]</sup>。流水解冻的持水力(77.59%)稍低于低温解冻的持水力,二者的解冻损失率无明显差异( $P > 0.05$ ),这是因为蛋白质结

构的改变使得肌肉细胞被破坏,细胞间隔增大,导致水分会在肌肉组织内扩散,而流水解冻温度高于低温解冻,流水解冻过程中鱼体内酶类活跃,蛋白质结构破坏程度高于低温解冻,当离心时水分从肌肉内流出变多,持水力会下降较多<sup>[20]</sup>。综上可知,低温解冻后乌鳢的保水性最佳,流水解冻次之。

表2 解冻方式对保水性的影响

Tab. 2 Effect of thawing methods on water retention

%

保水性 Water retention	微波解冻 Microwave thawing	流水解冻 Flowing water thawing	常温解冻 Normal temperature thawing	低温解冻 Low temperature thawing
解冻损失率 Thawing loss rate	4.81 ± 0.23 <sup>a</sup>	1.85 ± 0.42 <sup>c</sup>	3.54 ± 0.27 <sup>b</sup>	1.16 ± 0.15 <sup>c</sup>
持水力 Water holding capacity	72.14 ± 0.38 <sup>c</sup>	77.59 ± 0.27 <sup>b</sup>	74.32 ± 0.41 <sup>c</sup>	80.04 ± 0.36 <sup>a</sup>

注:表中不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

Notes: Different letters in the table indicate significant differences ( $P < 0.05$ ).

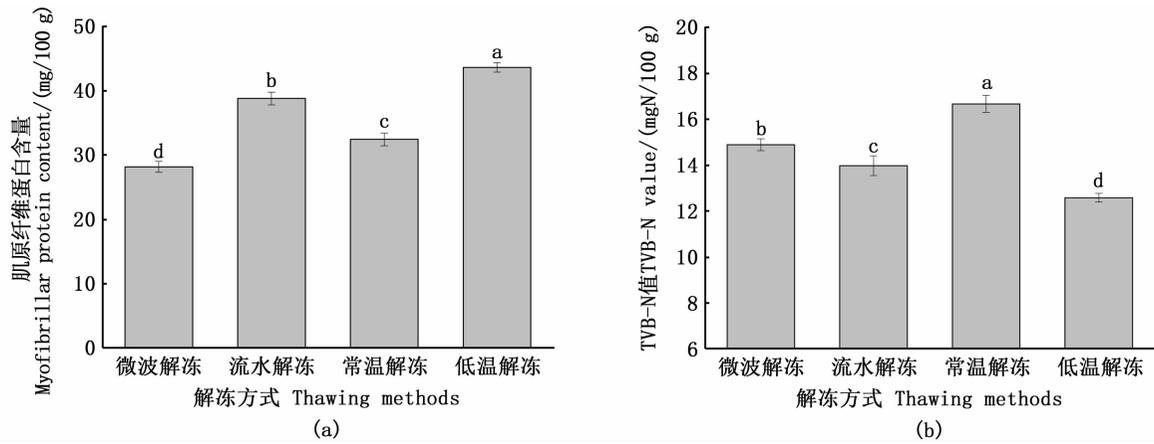
### 2.3 解冻方式对乌鳢蛋白质的影响

肌原纤维蛋白是鱼体肌肉蛋白的重要组成部分,其含量在一定程度上反映肌肉蛋白的氧化变性程度,与鱼肉的品质紧密相关<sup>[21]</sup>。在解冻过程中,鱼肉中蛋白质受到不同因素影响,其含量和状态也会发生变化。如图2a所示,微波解冻后肌原纤维蛋白含量最低(28.19 mg/100 g),这是因为肌肉蛋白中的极性分子在微波条件下受热较快,导致蛋白质受热变性,含量下降。此外,解冻过程中不饱和脂肪酸生成的自由基会结合蛋白质,导致蛋白质含量下降<sup>[22]</sup>。流水解冻后的肌原纤维蛋白含量(38.82 mg/100 g)稍高于常温解冻(32.47 mg/100 g)后的含量,这可能是因为流水解冻温度低于常温解冻,鱼体内氧化酶的活性稍低,肌原纤维蛋白的羰基化反应速度较慢,所以蛋白质氧化变性程度低于常温解冻。低温解冻过程,温度低,鱼体内酶促反应缓慢,蛋白破坏较少,肌原纤维蛋白含量最高,这与保水性分析结果一致。TVB-N值是反映水产品腐败程度的重要指标之一,其值的大小反映水产品腐败程度的深浅。如图2b所示,4种解冻方式的TVB-N值均在12~18 mgN/100 g,没有超过国标规定的腐败(30 mgN/100 g)标准。但是,不同解冻条件下TVB-N值差异性显著( $P < 0.05$ )。常温解冻

后TVB-N值(17.46 mgN/100 g)最大,其次是微波解冻和流水解冻,而低温解冻的TVB-N值最小(12.58 mgN/100 g)。这是因为常温解冻至鱼块内部中心温度达到4℃所需时间(100 min)较长,因此,常温解冻过程中酶类对蛋白质的作用时间较长,蛋白质分解多,因而TVB-N值高。微波解冻虽然解冻时间最短,但是升温速度快且鱼块表面和内部温度存在差异<sup>[18]</sup>,不同部位的蛋白质分解程度也不相同,因而TVB-N值也较高。低温解冻对蛋白质的破坏最少,因而TVB-N值最小,与前面的保水性结果相一致。

### 2.4 解冻方式对乌鳢脂肪氧化的影响

鱼肉脂肪中不饱和脂肪酸含量丰富,其发生氧化后产生的丙二醛可以与TBA反应生成粉色物质,TBA值的大小可用来评价脂肪的氧化程度。由图3可知,常温解冻后的TBA值最大(0.86 mg/kg),这是因为常温解冻耗时长且外部温度高,解冻过程中脂肪氧化酶比较活跃,所以脂肪氧化程度大。与常温解冻相比,虽然微波解冻过程中,脂肪受热温度升高,发生脂肪氧化,但是解冻耗时短,所以脂肪氧化程度低于常温解冻方式。与流水解冻相比,低温解冻后的TBA值最小(0.43 mg/kg),表明低温可以减缓脂肪氧化,这与姜晴晴<sup>[23]</sup>研究结果相一致。

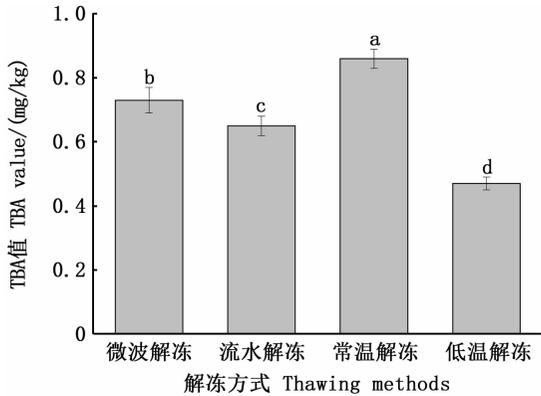


图中不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

Different lowercase letters in the figure indicate significant differences ( $P < 0.05$ ).

图2 解冻方式对肌原纤维蛋白质含量和解冻后 TVB-N 值的影响

Fig. 2 Effects of thawing methods on myofibrillar protein content of myofibril and TVB-N value after thawing



图中不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

Different lowercase letters in the figure indicate significant differences ( $P < 0.05$ ).

图3 解冻方式对 TBA 含量的影响

Fig. 3 Effect of thawing methods on TBA content

## 2.5 解冻方式对乌鳢质构的影响

质构(硬度、弹性和咀嚼性等)是评价食品物理性质的一个重要方法。解冻后鱼肉的质构变化可以直接反映出其品质变化。由表3可知,相

对于其他3种解冻方式,微波解冻后鱼肉的硬度(5 815.38 g)和咀嚼性(1 835.23 mJ)最大,这很可能是因为微波解冻速度快、升温快,鱼肉的肌原纤维蛋白在受热后产生收缩聚集,密度变大,导致胶原纤维的剪切力增加,咀嚼和咬断肌纤维所需力度和吞咽鱼肉过程所需的能量增多<sup>[24]</sup>。低温解冻后肌原纤维蛋白损失少,肌肉组织和蛋白质的有序结构破坏少,因此低温解冻后鱼肉的硬度和咀嚼性仅次于微波解冻。常温解冻与流水解冻后的硬度和咀嚼性无明显差异 ( $P > 0.05$ ),但是由于常温解冻时间较长,蛋白质在酶的作用下分解,其有序结构被破坏成松散状态,因此常温解冻后鱼肉硬度(4 197.89 g)和咀嚼性(1 353.72 mJ)最小。弹性反映的是施加到鱼肉的外力撤掉后鱼肉恢复原状的能力。由表3可以看出,不同解冻方式对鱼肉弹性的影响差异不显著 ( $P > 0.05$ ),与李天翔等<sup>[22]</sup>得出的研究结论类似。

表3 解冻方式对质构的影响

Tab. 3 Effect of thawing methods on texture

指标 Index	微波解冻 Microwave thawing	流水解冻 Flowing water thawing	常温解冻 Normal temperature thawing	低温解冻 Low temperature thawing
硬度 Hardness/g	5815.38 ± 145.75 <sup>a</sup>	4351.18 ± 302.59 <sup>c</sup>	4197.89 ± 236.13 <sup>c</sup>	5176.48 ± 208.09 <sup>b</sup>
弹性 Elasticity	0.57 ± 0.05 <sup>a</sup>	0.53 ± 0.03 <sup>a</sup>	0.52 ± 0.04 <sup>a</sup>	0.64 ± 0.07 <sup>a</sup>
咀嚼性 Chewability/mJ	1835.23 ± 85.76 <sup>a</sup>	1427.46 ± 62.31 <sup>c</sup>	1353.72 ± 59.35 <sup>c</sup>	1627.59 ± 49.96 <sup>b</sup>

注:表中不同字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

Notes: Different letters in the table indicate significant differences ( $P < 0.05$ ).

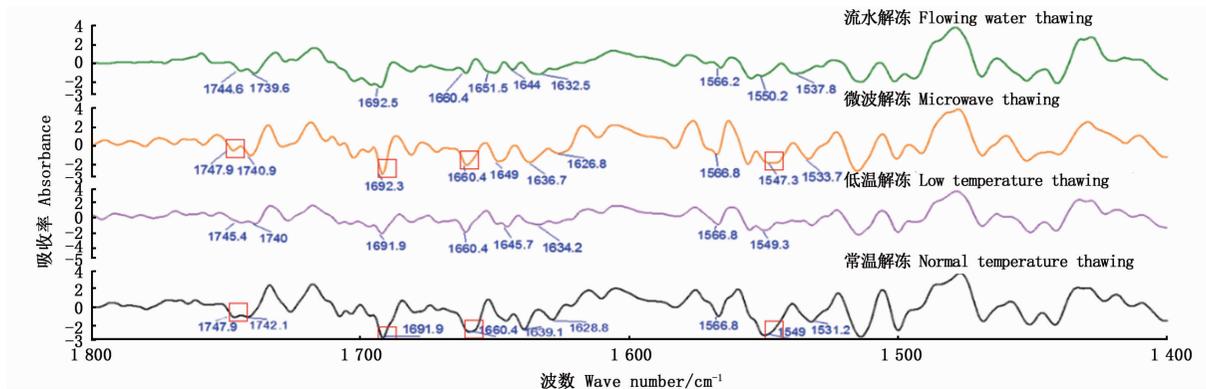
## 2.6 不同解冻方式下乌鳢的红外光谱图分析

任何官能团都有红外吸收,因此红外光谱可

反映样品的化学成分信息<sup>[25]</sup>。二阶导数红外光谱可分离原谱中重叠峰,增强光谱的表观分辨

率,提高图谱的指纹特征性<sup>[26]</sup>。鱼肉蛋白质的酰胺 I 带和 II 带红外光谱特征峰区域分别为 1 612 ~ 1 698  $\text{cm}^{-1}$  和 1 523 ~ 1 553  $\text{cm}^{-1}$ 。由图 4 可以看出,相较于流水解冻和低温解冻,微波解冻和常温解冻后的酰胺 I 带 1 692  $\text{cm}^{-1}$ 、1 660  $\text{cm}^{-1}$  和酰胺 II 带的 1 549  $\text{cm}^{-1}$  峰面积显著增加,表明解冻过程中蛋白质的官能团结构发生了改变,从而导致这些吸收峰的强度发生改变,这种改变很可能是解冻过程中酶的作用导致的。红

外光谱分析结果显示微波解冻和常温解冻的蛋白质结构变化最为显著,而这与 TVB-N 值的结果是相互吻合的。此外,微波解冻和常温解冻后,谱图 1 747  $\text{cm}^{-1}$  处的 C = O 吸收峰的变化也较明显,这表明脂肪氧化使得官能团结构变化,导致吸收峰改变,这与 TBA 值的分析结果相一致。上述结果显示,流水解冻和低温解冻对鱼体的蛋白质和脂肪的破坏少。



图中红框标注的为特征峰。

The red box in the figure is the characteristic peak.

图 4 不同解冻方式下乌鳢的 1 800 ~ 1 400  $\text{cm}^{-1}$  二阶导数光谱图

Fig. 4 1 800 - 1 400  $\text{cm}^{-1}$  second derivative spectrum of *Ophiocephalus argus* using different thawing methods

## 2.7 不同解冻方式下的乌鳢感官评价

不同的解冻方式会影响鱼肉的使用品质。从表 4 的感官评价结果可知:外观和口感上,4 种解冻方式的区别不大 ( $P > 0.05$ ); 对于气味和滋味,低温解冻评价最高,而其他 3 种解冻方式没有显著差别 ( $P > 0.05$ )。总体来说低温解冻后鱼肉的感官评价最高,其次是流水解冻和微波解

冻,常温解冻的感官评价相对是最低的,这可能是因为低温解冻过程中鱼肉蛋白质和脂肪氧化较少,水分流失少,鱼肌肉组织结构完整性较好等因素有关。综上可知,低温解冻后鱼肉的食用品质较佳,而常温解冻后的鱼肉食用品质下降最大。

表 4 不同解冻方式解冻后的感官评价结果

Tab. 4 Sensory evaluation results using different thawing methods

指标 Index	微波解冻 Microwave thawing	流水解冻 Flowing water thawing	常温解冻 Normal temperature thawing	低温解冻 Low temperature thawing
外观 Appearance	17.53 ± 0.91 <sup>a</sup>	17.82 ± 0.45 <sup>a</sup>	17.02 ± 1.40 <sup>a</sup>	17.68 ± 1.28 <sup>a</sup>
滋味 Taste	25.48 ± 0.14 <sup>b</sup>	25.20 ± 0.24 <sup>b</sup>	23.94 ± 0.11 <sup>b</sup>	27.29 ± 1.009 <sup>a</sup>
气味 Smell	24.85 ± 0.24 <sup>b</sup>	25.79 ± 0.59 <sup>b</sup>	25.73 ± 0.36 <sup>b</sup>	27.28 ± 0.25 <sup>a</sup>
口感 Mouthfeel	17.92 ± 0.99 <sup>a</sup>	17.73 ± 1.05 <sup>a</sup>	17.28 ± 1.07 <sup>a</sup>	17.34 ± 0.71 <sup>a</sup>
总分 Total score	85.78 ± 0.85 <sup>b</sup>	86.54 ± 0.43 <sup>b</sup>	83.97 ± 0.83 <sup>c</sup>	89.59 ± 0.58 <sup>a</sup>

注:表中不同字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

Notes: Different letters in the table indicate significant differences ( $P < 0.05$ ).

### 3 讨论

本研究以乌鳢为对象,采用微波解冻、流水解冻、常温解冻和低温解冻 4 种不同解冻方式对真空包装的乌鳢鱼块进行解冻,考察了不同解冻方式的解冻时间、保水性、肌原纤维蛋白浓度、挥发性盐基氮、硫代巴比妥酸、质构等指标对乌鳢品质的影响。

微波解冻是微波直接作用于鱼肉内部分子,所以微波解冻时间最短。有研究<sup>[23]</sup>表明,保水性与肌原纤维蛋白存在相关性。鱼块不同部位在微波解冻过程中受热的不均匀性和升温差异,鱼肉的肌原纤维蛋白会产生收缩聚集,肌原纤维蛋白遭到破坏,导致汁液流失大,肌原纤维蛋白含量降低,微波解冻后鱼肉组织的保水性较差。微波解冻后鱼肉硬度和咀嚼性最大,可能是微波后肌原纤维密度变大的缘故,与张树峰等<sup>[24]</sup>对脆肉鲩鱼的解冻研究结果一致。此外,TVB-N 值和 TBA 值结果表明,微波解冻过程中会有蛋白质降解和脂肪氧化情况。由此可见,微波解冻对乌鳢的食用品质影响较大,综合感官评价较低,不适合于工业化生产。因其解冻速度快,可作为时间紧迫情况下的紧急解冻方式。

常温解冻主要利用室温空气与样品进行热交换达到解冻目的。由于空气比热容小,所以常温解冻通过最大冰晶溶解带(-5~0℃)的时间长,细胞受到机械损伤增多,肌原纤维结构在解冻过程中被破坏,肌肉组织松散度变大,汁液损失多,保水性变差,这些与谭明堂等<sup>[8]</sup>对鲈鱼的解冻研究得出结果类似。TVB-N 值、TBA 值的增加表明,常温解冻时会产生蛋白质的分解和脂肪的酶解氧化现象,与红外谱图中与之相对应吸收峰的改变验证了此变化。此外,质构结果显示常温解冻后的鱼肉的硬度和咀嚼性下降最大。综上所述可知,常温解冻对乌鳢的食用品质影响最大,综合感官评价最低,不推荐使用。

低温解冻也是利用空气与样品进行热交换达到解冻目的,但是在低温过程中,鱼体内酶活性受到抑制,蛋白质分解少,肌肉组织和蛋白质结构保持较完整,因此解冻损失率最低,持水力最强。乌鳢的这些变化与周俊鹏等<sup>[27]</sup>得出的低温解冻后淡水鱼的保水性最佳的结果相一致,而此结论也适用于秘鲁鲑鱼<sup>[18]</sup>。此外,低温也减缓

了脂肪的氧化,牛改改等<sup>[28]</sup>对牡蛎肉解冻方式的研究也得到相似结果。质构和感官评价结果发现低温解冻后鱼肉的硬度和咀嚼性较好,食用品质最高。但是因为解冻耗时最长,对于体积较大的鱼体一般需要提前进行解冻,推荐样品量小、时间充足的场合采用。

由于水的比热容比空气大,热交换快,因此流水解冻耗时较短,解冻通过形状不一的冰晶溶解带时间短,细胞受到的机械损伤较小,肌肉组织和蛋白质结构破坏较少;流水解冻温度低于室内空气,所以鱼体内酶的活性也随之降低,蛋白质和脂肪氧化减少。因此,流水解冻后鱼肉的保水性、蛋白质和脂肪的降解、鱼肉硬度和咀嚼性、感官评价等指标仅次于低温解冻。但是流水解冻所需时间约为低温解冻时间 1/3,因此,可作为大规模样品的推荐解冻方式使用。

### 4 结论

常温解冻耗时长,解冻后鱼肉品质最差,综合感官评价最低,不推荐使用;微波解冻耗时最短,但是解冻后汁液流失多、保水性较差,而且解冻后食用品质下降显著,适合时间紧迫情况下的解冻方式;低温解冻对鱼肉的品质影响最低,鱼肉的食用品质保持最好,但是低温解冻耗时长,较适合样品量小、时间充足的场合使用;流水解冻后鱼肉的品质稍低于低温解冻,但耗时短,约为低温解冻时间的 1/3。因此,综合实际生产情况和经济效益,流水解冻比较适合作为乌鳢的工业化解冻方式。

### 参考文献:

- [1] 余红有. 鄱阳湖乌鳢生物学及其人工繁殖技术的研究[D]. 南昌:南昌大学,2007.  
YU H Y. Studies on biology and artificial propagation of *Ophiocephalus argus* in Poyang Lake [D]. Nanchang: Nanchang University, 2007.
- [2] LAM T J. Fish culture in southeast Asia[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1982, 39(1): 138-142.
- [3] 聂国兴,傅艳茹,张浩,等. 乌鳢肌肉营养成分分析[J]. 淡水渔业,2002,32(2):46-47.  
NIE G X, FU Y R, ZHANG H, et al. Analysis of nutritional ingredient in *Ophiocephalus argus*'s muscle[J]. Freshwater Fisheries, 2002, 32(2): 46-47.
- [4] ROPODI A I, PANAGOUE E Z, NYCHAS G J E. Rapid detection of frozen-then-thawed minced beef using

- multispectral imaging and Fourier transform infrared spectroscopy[J]. *Meat Science*, 2018, 135: 142-147.
- [5] 郭恒, 钱怡, 李颖杰, 等. 解冻温度对冷冻鲱鱼品质、质构及超微结构的影响[J]. *中国食品学报*, 2014, 14(12): 49-56.
- GUO H, QIAN Y, LI Y J, et al. Effects of defrosting temperature on the quality and ultrastructure of frozen mackerel[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2014, 14(12): 49-56.
- [6] 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.
- WANG F Y, CAO R, ZHAO L, et al. Effects of thawing methods on quality of *Coloabis saira* [J]. *Journal of Food Safety and Quality*, 2015, 6(11): 4584-4590.
- [7] 余文晖, 王金锋, 谢晶. 不同解冻方式对金枪鱼品质的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(12): 189-197.
- YU W H, WANG J F, XIE J. Effects of different thawing methods on tuna quality [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2019, 45(12): 189-197.
- [8] 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.
- 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.
- [9] XIA X F, KONG B H, LIU J, et al. Influence of different thawing methods on physicochemical changes and protein oxidation of porcine longissimus muscle [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2012, 46(1): 280-286.
- [10] JIANG Q Q, JIA R, 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.
- [11] EYMARD S, BARON C P, JACOBSEN C. Oxidation of lipid and protein in horse mackerel (*Trachurus trachurus*) mince and washed minces during processing and storage [J]. *Food Chemistry*, 2009, 114(1): 57-65.
- [12] 张楠楠, 蓝蔚青, 黄夏, 等. 迷迭香复配液对大黄鱼冰藏品质及水分迁移的影响[J]. *食品科学*, 2019, 40(7): 247-253.
- ZHANG N N, LAN W Q, HUANG X, et al. Effect of rosemary extract and  $\epsilon$ -Polylysine Blend on the quality and moisture migration of large yellow croaker during ice storage [J]. *Food Science*, 2019, 40(7): 247-253.
- [13] PAOLA A S, ISABEL Y M. Effect of frozen storage on biochemical changes and fatty acid composition of mackerel (*Scomber japonicus*) muscle [J]. *Journal of Food Research*, 2015, 4(1): 135-147.
- [14] 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.
- LIU M. Effects of preservatives on the frozen squid quality [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2016.
- [15] 崔瑾. 冷冻鱼的微波解冻方法研究[D]. 大连: 大连工业大学, 2012.
- CUI J. Study on the method of microwave thawing frozen fish [D]. Dalian: Dalian Polytechnic University, 2012.
- [16] 沈玉, 黄卉, 吴燕燕. 5种鸚乌贼解冻方法对品质影响的比较研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2014, 5(12): 4092-4096.
- SHEN Y, HUANG H, WU Y Y. Comparison of 5 thawing methods on product quality of frozen purpleback flying squid *Sthenoteuthis oualaniensis* [J]. *Journal of Food Safety and Quality*, 2014, 5(12): 4092-4096.
- [17] SKIPNES D, ØSTBY 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*, 2007, 80(4): 1078-1085.
- [18] 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, 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.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] PACHECO-AGUILAR R, LUGO-SÁNCHEZ M E, ROBLES-BURGUEÑO M R. Postmortem biochemical and functional characteristic of Monterey sardine muscle stored at 0 °C [J]. *Journal of Food Science*, 2000, 65(1): 40-47.
- [22] 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 Industries*, 2017, 43(3): 180-185.
- [23] 姜晴晴. 冻融过程中带鱼脂肪和蛋白氧化及其对肌肉品质影响的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2015.
- JIANG Q Q. Studies on the oxidation of lipid and protein as well as muscle quality changes of *Trichiurus haumela* during freezing and thawing [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2015.
- [24] 张树峰, 陈丽丽, 赵利, 等. 不同解冻方法对脆肉鲩鱼肉品质特性的影响[J]. *河南工业大学学报(自然科学*

- 版), 2019, 40(3): 56-62.
- ZHANG S F, CHEN L L, ZHAO L, et al. Effect of different thawing methods on quality characteristics of *Ctenopharyngodon idellus* C. et V [J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2019, 40(3): 56-62.
- [25] XU R, SUN S Q, ZHU W C, et al. Multi-step infrared macro-fingerprint features of ethanol extracts from different *Cistanche* species in China combined with HPLC fingerprint [J]. Journal of Molecular Structure, 2014, 1069: 236-244.
- [26] 马芳, 张方, 汤进, 等. 不同产地茯苓皮药材红外光谱的识别[J]. 光谱学与光谱分析, 2014, 34(2): 376-380.
- MA F, ZHANG F, TANG J, et al. Analysis and identification of *Poria Cocos* peels harvested from different producing areas by FTIR and 2D-IR correlation spectroscopy [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2014, 34(2): 376-380.
- [27] 周俊鹏, 石钢鹏, 章蔚, 等. 两种解冻方式对淡水鱼品质影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(20): 1-6.
- ZHOU J P, SHI G P, ZHANG W, et al. Effects of two kinds of thawing methods on the quality of freshwater fish [J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(20): 1-6.
- [28] 牛改改, 秦成丰, 游刚, 等. 解冻方式对近江牡蛎肉感官特征和理化指标的影响[J]. 食品工业科技, 2020, 41(16): 271-278.
- NIU G G, QIN C F, YOU G, et al. Effects of thawing methods on sensory characteristics and physicochemical indices of oyster (*Ostrea rivularis gould*) meat [J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(16): 271-278.

## Effects of thawing methods on the quality of *Ophiocephalus argus*

YANG Mingyuan<sup>1,2,3</sup>, JIANG Jingdan<sup>1,2,3</sup>, XIE Jing<sup>1,2,3</sup>, LU Ying<sup>1,2,3</sup>

(1. College of Food Sciences and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Laboratory of Quality and Safety Risk Assessment for Aquatic Product on Storage and Preservation, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 201306, China; 3. Shanghai Engineering Research Center of Aquatic Product Processing and Preservation, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** In order to study the effect of thawing methods (microwave thawing, flowing water thawing, normal temperature thawing, and low temperature thawing) on the quality of *Ophiocephalus argus*, the thawing method that has the least influence on the quality of *Ophiocephalus argus* was determined by analysing the change of the loss rate of thawing, water holding capacity, myofibrillar protein concentration, volatile basic nitrogen (TVB-N), thiobarbituric acid (TBA) and texture indicators, combined with Fourier infrared spectroscopy and sensory evaluation. It was found that: microwave thawing consumed the shortest time, followed by flowing water thawing, but the rate of succus loss was the largest and the water holding capacity was the weakest after microwave thawing; The results of various indicators after normal temperature thawing were relatively poor; The rate of succus loss was smallest and the water holding capacity was the strongest after low temperature thawing, and TVB-N value and TBA value were the smallest. In addition, the fish chewiness and hardness were better after low temperature thawing, and the sensory evaluation was the best, but the thawing at low temperature took the longest time. The quality of the fish meat after flowing water thawing was second only to low temperature thawing, but the thawing time was about 1/3 of low temperature thawing. Based on the actual production situation and economic benefits, flowing water thawing is more suitable as an industrial thawing method for *Ophiocephalus argus*. This research can provide a theoretical basis for the raw material processing and processing of *Ophiocephalus argus* and the development of high-quality products.

**Key words:** *Ophiocephalus argus*; thawing method; quality; flowing water thawing