

解冻方式对冷冻秋刀鱼品质的影响

王凤玉^{1,2}, 曹荣¹, 赵玲¹, 任丹丹², 刘淇^{1*}

(1. 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 青岛 266071; 2. 大连海洋大学食品工程学院, 大连 116071)

摘要: **目的** 比较流水解冻、静水解冻、室温空气解冻和低温空气解冻4种解冻方式对秋刀鱼鱼肉品质的影响。**方法** 采用智能温度芯片系统对秋刀鱼解冻过程温度变化进行测定,以感官评分、解冻损失率、蒸煮损失率、硬度值、挥发性盐基氮(TVB-N)值、肌原纤维蛋白含量、活性巯基含量、硫代巴比妥酸反应物(TBARS)值为指标评定秋刀鱼解冻后的品质,并对肌肉组织结构进行观察。**结果** 4种解冻方式将冻结秋刀鱼完全解冻耗时依次为低温空气解冻>室温空气解冻>静水解冻>流水解冻;低温空气解冻对应的解冻损失率和蒸煮损失率最低,而静水解冻和室温空气解冻之间解冻损失率和蒸煮损失率均无显著差异($P>0.05$);低温空气解冻的硬度值显著高于其他解冻方式($P<0.05$);4种解冻方式对应的TVB-N值和肌原纤维蛋白含量无显著差异($P>0.05$),而低温空气解冻对应的活性巯基含量最低;流水解冻和静水解冻对应的TBARS值较高,低温空气解冻可有效延缓脂肪氧化;从肌肉组织结构看,秋刀鱼经低温空气解冻后肌肉纤维紧密、空隙小,而室温空气解冻造成秋刀鱼肌纤维变得松散并出现了轻微断裂现象。**结论** 从品质保持效果和经济效能考虑,低温空气解冻适宜作为实际生产中秋刀鱼的解冻方式。

关键词: 秋刀鱼;解冻方式;品质特性

Effects of thawing methods on quality of *Coloabis saira*

WANG Feng-Yu^{1,2}, CAO Rong¹, ZHAO Ling¹, REN Dan-Dan², LIU Qi^{1*}

(1. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China;
2. Department of Food Engineering, Dalian Ocean University, Dalian 116071, China)

ABSTRACT: Objective To analyze the effect of thawing methods on quality of frozen *Coloabis saira* including running water thawing, static water thawing, room temperature air thawing and low-temperature air thawing. **Methods** The changes of temperature were measured by intelligent temperature chip system. The sensory evaluation, thawing loss, cooking loss, hardness value, total volatile basic nitrogen (TVB-N) value, myofibrillar protein content, sulfhydryl content, thiobarbituric acid reactive substance (TBARS) value and muscular tissue were determined. **Results** The thawing time of frozen *Coloabis saira* were as the following: running water way, static water way, room temperature air thawing way and low-temperature air way. The thawing loss and cooking loss of *Coloabis saira* thawed by low-temperature air way were the lowest, while those thawed by room temperature air way and static water way had no significant difference ($P>0.05$). The hardness value of *Coloabis saira* thawed by low-temperature air way was significantly higher than those

基金项目: 工业和信息化部高技术船舶科研项目([2012]534)

Fund: Supported by the High Technology of Marine Scientific Research Project from Ministry of Industry and Information Technology ([2012]534)

*通讯作者: 刘淇, 研究员, 主要研究方向为水产品加工与综合利用。E-mail: liuqi@ysfri.ac.cn

*Corresponding author: LIU Qi, Researcher, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China. E-mail: liuqi@ysfri.ac.cn

thawed by the other ways ($P < 0.05$). There were no significant differences on the TVB-N value and myofibrillar protein content of *Coloabis saira* among the four thawing ways, while the sulfhydryl content of *Coloabis saira* thawed by low-temperature air way was lowest. The TBARS values of *Coloabis saira* thawed by running water way and static water way were higher, and low-temperature air thawing could slow down the rate of fat oxidation. Furthermore, room temperature thawing induced obvious gap between muscle fibers and broken more muscle fiber bundles. **Conclusion** Considering the quality control and economic benefits, low-temperature air way is suitable for the thawing of frozen *Coloabis saira*.

KEY WORDS: *Coloabis saira*; thawing method; quality characteristics

1 引言

秋刀鱼(*Cololabis saira*)是一种生活在北太平洋中部及西北太平洋水域的中上层洄游鱼类,具有资源量大、生长较快、生命周期短等特点,是重要的远洋经济鱼类之一^[1]。秋刀鱼含有丰富的蛋白质,其必需氨基酸/总氨基酸(EAA/TAA)及必需氨基酸/非必需氨基酸(EAA/NEAA)比值符合FAO/WHO规定的理想模式,营养价值较高^[2]。另外,秋刀鱼单不饱和脂肪酸、多不饱和脂肪酸含量较高,维生素与矿物质组成比例均衡,在食品、保健品、水产饲料及医药领域具有较高的利用价值和开发前景。

秋刀鱼捕获后需在船上进行冻结、冻藏处理,运输到陆地后再经解冻处理进行加工利用。在解冻过程中,蛋白质变性、脂肪氧化以及微生物作用都会造成原料品质的劣变^[3]。许多因素决定了解冻对原料品质的影响,包括解冻实际有效时间、解冻温度等^[4]。如Tokur等^[5]发现解冻过程会导致鱼肉蛋白溶解性显著降低,且不同解冻方式对鱼肉蛋白溶解性影响也不同。

目前有关秋刀鱼贮藏、产品加工等方面的研究正逐步开展,但关于秋刀鱼解冻方面还鲜有报道。本文采用温度芯片记录系统分析了秋刀鱼解冻过程中温度的变化,从感官指标、理化指标以及肌肉组织结构的角度对比了秋刀鱼经不同解冻方式后的品质情况,以期秋刀鱼资源的高效利用提供依据。

2 材料与方法

2.1 试验材料与仪器

秋刀鱼:由京鲁渔业远洋捕捞船于2014年10月在北太平洋海域捕捞,捕捞后 $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 快速冻结保存,运抵实验室后,选取重量为 $150\text{ g} \pm 10\text{ g}$ 秋刀鱼保存

在 $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 超低温冰箱中备用。

UV-2802型紫外/可见分光光度计(尤尼柯仪器有限公司);DS1921G型智能芯片温度记录系统(海尔医疗科研仪器);HH-4型数显恒温水浴锅(国华电器有限公司);TA-XT plus型质构分析仪(英国Stable Micro Systems公司);5804型冷冻离心机(德国Eppendorf公司);KD-202切片机(科迪仪器设备有限公司)。

2.2 试验方法

2.2.1 秋刀鱼解冻方法

将秋刀鱼从 $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 超低温冰箱中取出,随机分为4组,采用如下4种方式进行解冻,以秋刀鱼中心温度 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 作为解冻终点,解冻后进行各项指标的测定。

流水解冻:将秋刀鱼放入真空袋中,抽真空,采用流速为 70 mL/s 的自来水(约 $18\text{ }^{\circ}\text{C}$)进行解冻。

静水解冻:将秋刀鱼放入真空袋中,抽真空,完全浸没于 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 恒温水浴锅中进行解冻。

室温空气解冻:将冻结秋刀鱼置于塑料托盘中,放入 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 恒温培养箱中,相对湿度 $50\% \sim 55\%$,模拟室温解冻。

低温空气解冻:将冻结秋刀鱼置于塑料托盘中,相对湿度 $85\% \sim 90\%$,放入 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 恒温培养箱中解冻。

2.2.2 秋刀鱼解冻过程温度测定

取预先解冻的秋刀鱼分为4组,将秋刀鱼腹部剖开,将智能温度芯片置于腹部中心位置,并放入塑料盒中, $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱冻结至中心温度为 $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 后取出,采用2.2.1中的4种不同方式解冻,随后取出芯片,读取数据,绘制温度变化曲线图。

2.2.3 感官评定方法

参考胡亚芹等的方法^[6],略作修改。依据表1对解冻后秋刀鱼进行感官评价。由6名专业感官评定人员对秋刀鱼样品进行打分,其中满分8分为新鲜度良好,0分则为腐败。

表1 秋刀鱼感官评价标准
Table 1 Sensory evaluation standard for *Cololabis saira*

指标	评分		
	2	1	0
外观	外表有银色光泽, 无粘性, 鱼眼透明	外表略有银色光泽, 稍有粘性, 鱼眼稍浑浊	外表无银色光泽, 粘性大, 鱼眼浑浊凹陷
气味	鱼腥味很弱, 无酸败气味	鱼腥味轻, 无明显酸败气味	鱼腥味很重, 有明显酸败气味
色泽	肌肉切面鲜亮, 具有光泽	色泽稍暗淡, 肌肉切面略有光泽	色泽暗淡, 肌肉切面无光泽
质地	弹性好, 指压后可较快恢复, 肌肉组织坚实致密	比较有弹性, 指压后恢复速度较慢, 肌肉组织稍松散	无弹性, 指压后变形凹陷, 无恢复, 肌肉组织松散

2.2.4 品质指标测定

1) 解冻损失率

参考 Xia 等^[3]的方法, 公式为:

$$\text{解冻损失率}(\%) = \frac{\text{冻结时样品质量} - \text{解冻后样品质量}}{\text{冻结时样品质量}} \times 100$$

2) 蒸煮损失率

参考 Kılıç 等^[7]的方法, 略作修改。取秋刀鱼背脊肉, 放入保鲜袋中, 置于 85 °C 水浴锅中进行蒸煮, 25 min 后取出, 冷却至室温, 公式为:

$$\text{蒸煮损失率}(\%) = \frac{\text{蒸煮前样品质量} - \text{蒸煮后样品质量}}{\text{蒸煮前样品质量}} \times 100$$

3) 硬度值

采用 TA-XTplus 型质构仪进行测定。取鱼背脊中部肉片, 大小为 3 cm×3 cm×0.5 cm。具体参数为: 探头 P/2N(针形); 测前速度 1 mm/s; 测试速度 5 mm/s; 测后速度 5 mm/s; 穿刺距离 10 mm; 触发力 5.0 g; 数据采集速率 200 pps。

4) 挥发性盐基氮(TVB-N)

参照 GB/T 5009.44-2003《肉与肉制品卫生标准分析方法》, 采用微量扩散法^[8]。

5) 肌原纤维蛋白含量

参考 Eymard 等^[9]的方法, 略作修改。取 3.00 g 秋刀鱼背脊肉, 加入 5 倍质量 0.1 mol/L KCl-20 mmol/L Tris-HCl 缓冲液, 匀浆后 4 °C 离心, 弃上清液。再加入 5 倍质量 0.5 mol/L KCl-20 mmol/L Tris-HCl 缓冲液, 4 °C 离心。上清液即为肌原纤维蛋白液。双缩脲法测定其含量。

6) 活性巯基含量

参考 Sriket 等^[10]的方法, 取 1 mL 肌原纤维蛋白液, 加入 8 mol/L 尿素 4 mL, 混匀。再取 3 mL 混合液加入 0.02 mL DTNB 溶液, 反应 15 min, 412 nm 下

测吸光度。公式为:

$$C_0 = \frac{A}{\varepsilon} \times \frac{D}{C_1}$$

C_0 —活性巯基的摩尔浓度/(mol/g)

A —412 nm 处吸光度

ε —分子吸光系数 13600/(mol·cm/L)

D —稀释倍数

C_1 —肌原纤维蛋白含量/(mg/mL)

7) 硫代巴比妥酸反应物(TBARS)含量

参考 Paola 等的方法^[11], 取 5.00 g 样品, 加入 50 mL 5% TCA 溶液匀浆。离心后取上清液 5 mL, 加入 0.02 mol/L TBA 溶液 5 mL, 水浴加热 95 °C、45 min。冷却至室温, 532 nm 下测定吸光度。

2.2.5 肌肉组织结构观察

参照黄鸿兵等^[12]的方法, 略作修改。取秋刀鱼背脊中部肉片, 大小为 3 mm×3 mm×2 mm。浸泡在 4% 甲醛溶液中固定 24 h。然后流水冲洗、乙醇梯度脱水、二甲苯透明、浸蜡包埋。制成蜡块后, 切片机切片, 伊红染色。光学显微镜下观察肌肉组织形态。

2.2.6 数据处理

采用 SPSS 17.0 软件对数据进行处理, 每项试验重复 2 次, 设 3 个平行, 结果以平均值±标准偏差表示, 组间采用 t -检验进行显著性分析, $P < 0.01$ 为差异极显著, $P < 0.05$ 为差异显著, $P > 0.05$ 为差异不显著。

3 结果与讨论

3.1 秋刀鱼解冻过程中温度变化

秋刀鱼在解冻过程中温度变化见图 1。冻结秋刀鱼中心温度从 -18 °C 升至 0 °C 时, 流水、静水、室温和低温 4 种解冻方式所需时间分别为 36、64、110

和 254 min。解冻的环境温度和解冻介质导致了不同解冻方式到达解冻终点时间的不同。采用水为解冻介质的解冻时间较短。这是因为在相同温度(25 °C)下, 水比热容(4.186 kJ·kg⁻¹·K⁻¹)约是空气比热容(1.012 kJ·kg⁻¹·K⁻¹)的 4 倍, 水的热传递速度远远高于空气^[13]。流水在解冻过程中可以不断将热量传递给冻结秋刀鱼, 因此解冻时间最短。而低温环境下热传递速度慢, 因而低温空气解冻所需时间最长。

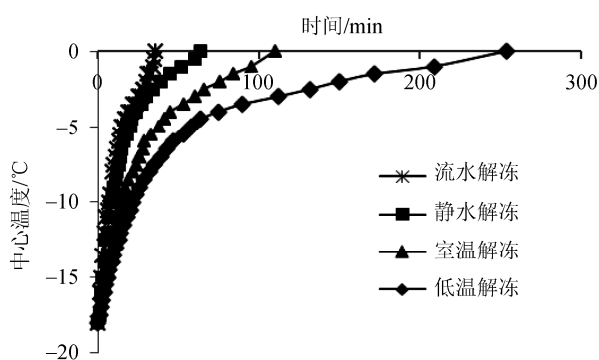


图 1 秋刀鱼解冻过程中温度变化曲线

Fig. 1 Thawing temperature curve of *Cololabis saira*

3.2 解冻方式对秋刀鱼理化指标和感官品质的影响

解冻损失率、蒸煮损失率及肌肉硬度值是衡量秋刀鱼肌肉持水力的重要指标^[14]。4 种解冻方式的解冻损失率依次为: 静水解冻>室温空气解冻>流水解冻>低温空气解冻。其中, 静水解冻和室温空气解冻的解冻损失率无显著性差异($P>0.05$), 而低温空气解冻对应的解冻损失率显著低于其他解冻方式($P<0.05$)。低温条件下解冻速率慢, 肌肉细胞间隙逐渐融化的冰晶可重新被细胞吸收, 而快速解冻会导致这些水分通过汁液流失的形式造成解冻损失率上升^[15]。蒸煮损失率的变化规律与解冻损失率基本一致, 低温空气解冻对应的蒸煮损失率最低。余力等^[16]认为肌肉在解冻过程中, 肌肉蛋白结构发生改变, 破坏了肌肉组织细胞, 在蒸煮过程中更易发生聚合, 降低肌肉持水力, 导致蒸煮损失率上升。鱼肉在解冻过程中由于蛋白质变性、持水力下降等会造成质构特征的变化^[17]。秋刀鱼解冻方式对肌肉质构指标中的硬度值有较大影响。其中, 低温空气解冻的秋刀鱼硬

度值显著高于其他 3 组($P<0.05$), 而室温空气解冻的硬度值最低。

秋刀鱼经 4 种解冻方式后, 其感官评分也有所不同。流水解冻、静水解冻和低温空气解冻的秋刀鱼都具有良好的色泽和坚实的肌肉组织, 感官评分组间无明显差异($P>0.05$), Wang 等^[18]也发现这 3 种解冻过程中对鱼肉感官特性无较大影响。室温空气解冻耗时较长且环境温度较高, 秋刀鱼鱼肉色泽暗淡、肌肉松散、鱼腥味较重, 感官评分较低, 与其他 3 组相比差异显著($P<0.05$)。

3.3 解冻方式对秋刀鱼生化指标的影响

TVB-N 是由于内源酶和微生物作用, 导致水产品蛋白质及非蛋白化合物分解而产生的碱性含氮类物质^[19]。水产品的 TVB-N 值是衡量其腐败程度的重要指标之一, 与鱼肉品质有着很大关系。我国对海鱼 TVB-N 值规定要求小于 30 mg/100 g。秋刀鱼经 4 种方式解冻后的 TVB-N 值均未超过国家标准, 且 4 种方式对应的 TVB-N 值无明显差异($P>0.05$), 说明不同解冻方式对秋刀鱼 TVB-N 值影响较小。这与迟海等^[20]对南极磷虾解冻方式研究结果一致。

肌原纤维蛋白是肌肉蛋白中最重要的结构蛋白和功能性蛋白, 其含量可以在一定程度上反映肌肉蛋白的变性程度。肌原纤维蛋白的损失会导致鱼肉肌纤维松散、肌肉质地变软, 同时也影响鱼肉的凝胶性能^[21]。不同解冻方式下, 秋刀鱼肌原纤维蛋白含量差异不显著($P>0.05$)。秋刀鱼在反复冻融过程中, 肌原纤维会产生交联, 一定程度上增强了结构稳定性^[22]。

巯基是蛋白质氨基酸残基中最活泼的基团, 其含量可更直观反映肌球蛋白头部结构变化^[23]。流水解冻和静水解冻对应的巯基含量相对较高, 而低温空气解冻对应的活性巯基含量最低, 这表明长时间解冻会导致敏感的肌球蛋白头部结构发生改变, 活性巯基含量的降低很有可能与巯基的降解或二硫键的形成有关, 此外, 巯基氧化也是 ATP 酶活性损失的重要因素之一^[18]。与肌原纤维蛋白含量相比, 巯基含量更适宜作为评价秋刀鱼解冻过程蛋白变性程度的指标。

秋刀鱼属于高脂鱼类, 利用硫代巴比妥酸与丙二醛试剂反应生成粉红色物质, 测定 TBARS 值, 可准确反映鱼肉脂肪氧化程度。在国际上普遍以 TBARS 值 1~2 mg/kg 作为鱼类脂肪氧化限值^[20]。

表2 秋刀鱼经不同方式解冻后的理化指标和感官评分

Table 2 Sensory evaluation and physical indexes of *Cololabis saira* with different thawing treatments

解冻方式	解冻损失率/(%)	蒸煮损失率/(%)	硬度值/(g)	感官评分
流水解冻	2.44±0.24 ^b	17.76±1.11 ^{ab}	14.71±0.49 ^b	7.29±0.32 ^a
静水解冻	4.79±0.35 ^a	18.63±0.89 ^{ab}	16.29±0.59 ^b	6.94±0.18 ^a
室温空气解冻	4.60±0.24 ^a	20.06±1.06 ^a	12.89±0.18 ^c	5.60±0.35 ^b
低温空气解冻	1.70±0.10 ^c	16.97±0.95 ^b	19.22±0.93 ^a	7.04±0.25 ^a

注:表中同一列的不同字母表示差异显著($P<0.05$)

表3 不同解冻方式对秋刀鱼生化指标的影响

Table 4 Effect of thawing methods on the chemical indexes of *Cololabis saira*

解冻方式	TVB-N/(mg/100 g)	肌原纤维蛋白含量/(mg/100 g)	活性巯基含量/(10^{-5} mol/g)	TBARS/(mg/kg)
流水解冻	15.48±0.93	26.66±1.65	2.32±0.19 ^a	0.73±0.04 ^{ab}
静水解冻	16.24±1.13	24.54±1.03	2.44±0.23 ^a	0.76±0.05 ^a
室温空气解冻	17.82±0.80	25.27±1.86	2.01±0.15 ^b	0.66±0.04 ^b
低温空气解冻	15.71±0.99	26.95±1.42	1.53±0.18 ^c	0.48±0.01 ^c

注:表中同一列的不同字母表示差异显著($P<0.05$),无字母标注表示差异不显著($P>0.05$)

4种解冻条件下,秋刀鱼TBARS值均未超过1 mg/kg,但与其他鱼类相比,秋刀鱼TBARS值仍然较高,这是由于秋刀鱼单、多不饱和脂肪酸含量较高,极易发生氧化造成的。其中低温空气解冻对应的TBARS值最低,说明低温可有效延缓脂肪氧化。此外,流水解冻和静水解冻对应的TBARS值显著高于其他2种解冻方式($P<0.05$),这可能与水的热传导效率高、能量传递快有关^[24]。

3.4 解冻方式对秋刀鱼肌肉组织结构的影响

不适当的解冻方式将会造成蛋白质结构改变,细胞破裂及肌肉结构的破坏,肌肉结构的损伤将会影响到肉类熟制品的物理特性,如:汁液和质地。如图2所示,秋刀鱼经低温空气解冻后肌肉纤维紧密、空隙小,表明肌肉持水力较强,汁液损失较少,这与解冻损失率和蒸煮损失率低、硬度值大的测定结果相一致。秋刀鱼经室温空气解冻后,肌纤维束间的距离增大,肌纤维变得松散并出现了轻微断裂现象,表明室温空气解冻对秋刀鱼肌肉组织结构破坏较大,相应的解冻损失率和蒸煮损失率较高、硬度值小。流水解冻和静水解冻也对肌肉纤维结构产生了轻微的破坏,而与室温空气解冻方式相比,这种破坏相对较小。

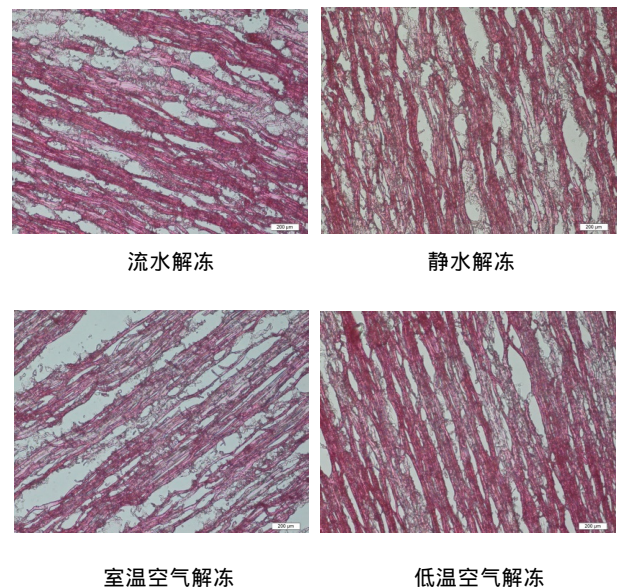


图2 不同解冻方式对肌肉组织结构的影响(显微镜放大倍数×40)

Fig. 2 Influence of different thawing methods on muscular tissue of *Cololabis saira* (Microscope magnification ×40)

4 结论

解冻方式会影响秋刀鱼的感官品质、理化指标、生化指标以及肌肉组织结构。其中,室温空气解冻成

本低, 但对秋刀鱼肌肉组织结构破坏较大, 对应的感官评分最低、解冻损失率和蒸煮损失率较高、硬度值小。低温空气解冻所需时间长, 但肌肉组织结构较为完整, 解冻损失率和蒸煮损失率低, 脂质氧化程度低。静水和流水解冻方式成本相对较高, 且 TBARS 值较高, 不适宜高脂含量的鱼种。综合实际生产的条件与经济效益, 低温空气方式比较适宜用作秋刀鱼的解冻。

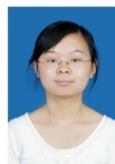
参考文献

- [1] Tseng CT, Sun CL, Belkin IM, *et al.* Sea surface temperature fronts affect distribution of Pacific saury (*Cololabis saira*) in the Northwestern Pacific Ocean [J]. *Deep Sea Res Pt II*, 2014, 107: 15–21.
- [2] 叶彬清, 陶宁萍, 王锡昌. 秋刀鱼肌肉营养成分分析及评价[J]. *营养学报*, 2014, 36(4): 406–408.
Ye BQ, Tao NP, Wang XC. Analysis and evaluation of nutritional composition of *Cololabis saira* muscle [J]. *Acta Nutr Sin*, 2014, 36(4): 406–408.
- [3] Xia X, Kong B, Liu J, *et al.* Influence of different thawing methods on physicochemical changes and protein oxidation of porcine longissimus muscle [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2012, 46(1): 280–286.
- [4] 郑杭娟, 林慧敏. 解冻过程对水产品特性的影响[J]. *食品研究与开发*, 2014, 35(3): 127–129.
Zheng HJ, Lin HM. Thawing process's influence on the characteristics of aquatic products [J]. *Food Res Dev*, 2014, 35(3): 127–129.
- [5] Tokur B, Kandemir S. The effects of different thawing methods on protein quality of frozen fish [J]. *J Fish Sci*, 2008, 2(1): 100–106.
- [6] 胡亚芹, 胡庆兰, 杨水兵, 等. 不同冻结方式对带鱼品质影响的研究[J]. *现代食品科技*, 2014, 30(2): 23–30.
Hu YQ, Hu QL, Yang SB, *et al.* Effects of different freezing methods on the quality of *Trichiurus haumela* [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2014, 30(2): 23–30.
- [7] Kılıç B, Şimşek A, Claus JR, *et al.* Encapsulated phosphates reduce lipid oxidation in both ground chicken and ground beef during raw and cooked meat storage with some influence on color, pH, and cooking loss [J]. *Meat Sci*, 2014, 97(1): 93–103.
- [8] GB/T5009.44-2003 肉与肉制品卫生的标准分析方法[S].
GB/T5009.44-2003 Method for analysis of hygienic standard of meat and meat products [S].
- [9] Eymard S, Baron CP, Jacobsen C. Oxidation of lipid and protein in horse mackerel (*Trachurus trachurus*) mince and washed minces during processing and storage [J]. *Food Chem*, 2009, 114(1): 57–65.
- [10] 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 Chem*, 2007, 104(1): 113–121.
- [11] Paola AS, Isabel YM. Effect of frozen storage on biochemical changes and fatty acid composition of mackerel (*Scomber japonicus*) muscle [J]. *J Food Res*, 2014, 4(1): 135.
- [12] 黄鸿兵, 徐幸莲, 周光宏. 冷冻贮藏对冻猪肉冰晶形态, TVB-N 及 TBARS 的影响[J]. *食品工业科技*, 2008, (2): 117–119.
Huang HB, Xu XL, Zhou GH. Effect of frozen storage on ice crystal, TVB-N and TBARS of pork muscle [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2008, (2): 117–119.
- [13] 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 YY. Comparison of 5 thawing methods on product quality of frozen purple back flying squid *Sthenoteuthis oualaniensis* [J]. *J Food Saf Qual*, 2014, 5(12): 4092–4096.
- [14] Skipnes D, Østby ML, Hendrickx ME. A method for characterising cook loss and water holding capacity in heat treated cod (*Gadus morhua*) muscle [J]. *J Food Eng*, 2007, 80(4): 1078–1085.
- [15] 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 XR, Mi HB, Mao LC. Influence of Thawing Methods on Physico-chemical Changes of Chinese Shrimp (*Fenneropenaeus chinensis*) [J]. *Food Sci*, 2014, 35(4): 243–247.
- [16] 余力, 贺稚非, 李洪军, 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.
Yu L, He ZF, Li HJ, *et al.* Effects of different thawing methods on quality characteristics of hyla rabbit meat [J]. *Food Sci*, 2015, 36(14): 258–264.
- [17] Badii F, Howell NK. Changes in the texture and structure of cod and haddock fillets during frozen storage [J]. *Food Hydrocolloid*, 2002, 16(4): 313–319.
- [18] Wang H, Luo Y, Shi C, *et al.* Effect of different thawing methods and multiple freeze-thaw cycles on the quality of common carp (*Cyprinus carpio*) [J]. *J Aquat Food Prod T*, 2015, 24(2): 153–162.
- [19] Mi H, Qian C, Zhao Y, *et al.* Comparison of superchilling and

- freezing on the microstructure, muscle quality and protein denaturation of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) [J]. J Food Proc Pres, 2013, 37(5): 546–554.
- [20] 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, 27(11): 1291–1295.
Chi H, Yang F, Yang XS, *et al.* Effect of different thawing methods on quality of antarctic krill (*Euphausia Superba*) [J]. Mod Food Sci Technol, 2011, 27(11): 1291–1295.
- [21] Pacheco-Aguilar R, Lugo-Sánchez ME, Robles-Burgueño MR. Postmortem biochemical and functional characteristic of Montorey sardine muscle stored at 0 °C [J]. J Food Sci, 2000, 65(1): 40–47.
- [22] Xia X, Kong B, Liu Q, *et al.* Physicochemical change and protein oxidation in porcine longissimus dorsi as influenced by different freeze-thaw cycles [J]. Meat Sci, 2009, 83(2): 239–245.
- [23] Wedemeyer WJ, Welker E, Narayan M, *et al.* Disulfide bonds and protein folding [J]. Biochem, 2000, 39(15): 4207–4216.
- [24] 曹荣, 陈岩, 赵玉然, 等. 解冻方式对南极磷虾加工品质的影响[J]. 农业工程学报, 2015, 17: 38.
Cao R, Chen Y, Zhao YR, *et al.* Effect of thawing methods on processing quality of Antarctic krill [J]. T Chin Soc Agric Eng, 2015, 17: 38.

(责任编辑: 白洪健)

作者简介



王凤玉, 硕士研究生, 主要研究方向为水产品加工及贮藏。

E-mail: wangfengyu72@163.com



刘淇, 研究员, 主要研究方向为水产品加工与综合利用。

E-mail: liuqi@ysfri.ac.cn