

# 水产品冻藏品质变化及镀冰衣技术的研究进展

储渊明<sup>1</sup>, 谢晶<sup>1,2,3</sup>

(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.食品科学与工程国家级实验教学示范中心(上海海洋大学), 上海 201306)

**摘要:** **目的** 为研究与开发新型镀冰衣技术提供理论参考。**方法** 冻藏保鲜是水产品的贮藏手段之一,也是迄今最常采用的一种方法,能较好地保持水产品的品质。以镀冰衣保鲜技术为切入点,综述冻藏过程中水产品品质的变化,以及国内外防龟裂型、抗氧化型、抑菌型等3种镀冰衣技术的研究进展,并对未来镀冰衣技术的发展进行展望。**结论** 目前将镀冰衣技术应用在水产品冻藏保鲜中的研究思路和方法已较为成熟,对于高效合理的镀冰衣复配配方还有待深入研究。从发展趋势看,新型镀冰衣技术具有广阔的发展前景,寻找具有良好保鲜性能的冰衣液配方是未来发展的方向。

**关键词:** 水产品; 品质变化; 冻藏保鲜; 镀冰衣; 食品添加剂

中图分类号: S983 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2020)17-0031-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.17.005

## Research Progress on Quality Change of Frozen Storage of Aquatic Products and Application of Glazing Technology

CHU Yuan-ming<sup>1</sup>, XIE Jing<sup>1,2,3</sup>

(1.College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;  
2.Shanghai Engineering Research Center of Aquatic Product Processing & Preservation, Shanghai 201306, China;  
3.National Experimental Teaching Demonstration Center for Food Science and Engineering  
(Shanghai Ocean University), Shanghai 201306, China)

**ABSTRACT:** This paper aims to provide theoretical reference for future research and development of new glazing technology. Freezing technology is one of the preservation methods of aquatic products, and it is also the most commonly used method at present. It can maintain the quality of aquatic products effectively. Based on related researches on changes of quality of aquatic products in the process of frozen storage, and the three glazing technology technologies such as anti-cracking, bacteriostatic and anti-oxidation glazing at home and abroad were summarized from the perspective of fresh-keeping technology of glazing. The author also provided an outlook of the future development of glazing technology. At present, the research ideas and methods of applying glazing technology to aquatic products in fresh storage are relatively mature. Some more efficient and reasonable formulas of glazing need further research. New glazing technology has broad development prospects from the perspective of development trend. Looking for formulas with good fresh-keeping performance is the future development direction.

**KEY WORDS:** aquatic products; change of quality; frozen storage; glazing; food additives

收稿日期: 2020-03-12

基金项目: 国家“十三五”重点研发项目(2019YFD0901604); 上海市科委科技创新行动计划(19DZ1207503); 上海市科委能力建设项目(19DZ2284000)

作者简介: 储渊明(1996—), 男, 上海海洋大学硕士生, 主攻食品科学与工程。

通信作者: 谢晶(1968—), 女, 上海海洋大学教授, 主要研究方向为制冷工程。

水产品富含蛋白质、氨基酸和不饱和脂肪酸等营养物质,但是在加工、贮藏过程中易受到微生物侵蚀、体内酶活性的影响,导致异味产生以及营养价值降低<sup>[1]</sup>。冷冻保藏是水产品长期贮藏保鲜的主要方法<sup>[2]</sup>,但水产品在冻藏过程中容易发生干耗、脂质氧化、蛋白质降解等品质劣变现象。为了缓解上述情况,冻藏水产品一般会采用镀冰衣技术,即将冻结后的水产品外包一层纯水冻结而成的冰衣。从目前的应用情况看,传统的镀冰衣技术存在一些不足,如易龟裂脱落、抗氧化性差等。为减少水产品在冻藏过程中发生的品质劣变,可以优化冻藏工艺,文中基于对水产品冻藏过程中品质变化的回顾,重点关注近期有关新型镀冰衣技术的研究进展。

## 1 冻藏过程中水产品品质变化

根据温度不同,水产品低温保鲜可分为冷藏保鲜<sup>[3]</sup>、冰藏保鲜<sup>[4]</sup>、微冻保鲜<sup>[5]</sup>以及冷冻保鲜<sup>[6]</sup>。目前,冷冻是人们最常采用的水产品贮藏方式,研究表明<sup>[7]</sup>,约21%的海产品、51%的加工海产品均是以冷冻的形式贮运、售卖,冷冻可抑制水产品中大多数微生物和酶活性,降低其体内生化反应速率,减缓水产品冻藏过程中发生的生化变化<sup>[8]</sup>。由于水产品在冷冻保藏期间,会发生干耗、蛋白质变性、脂肪氧化等各种变化,导致水产品品质下降,因此深入了解这些变化对保障冻藏水产品质量起到至关重要的作用。

### 1.1 干耗

干耗是水产品冻藏时,由于温差造成的蒸气压差使得产品表面和内部的冰晶升华,而导致水产品出现失水和质量降低的现象。同时,由于水产品表面或者内部的细小冰晶升华后留下空间,使空气进入,促进了氧化反应,这会影响到水产品的风味和营养,造成经济损失。干耗是水产品冻藏保鲜时最易发生的劣变现象。王爱芹等<sup>[9]</sup>发现,减缓食品在冻藏过程中发生干耗现象的方法,主要有缩短贮藏时间、提高环境相对湿度、减少与空气接触面积等。张小利等<sup>[10]</sup>研究发现用木糖醇等抗冻剂对南美对虾虾仁作浸泡处理,可以显著降低干耗。赵启蒙<sup>[11]</sup>等发现鲶鱼在-50℃下快速冻结比-25℃慢速冻结有更低的干耗率。除了针对水产品本身来研究防止干耗的措施外,另一方面也需要关注的是冻藏环境即冷库的管理,如维持合理的贮藏温度、减少温度波动、保持合理的相对湿度、合适的包装等,都可以从操作管理上降低冻藏水产品的干耗。

### 1.2 蛋白质的变化

蛋白质是水产品重要的营养组成部分,水产品在冻藏过程中常发生蛋白质的变性和降解。冻藏期间,蛋白质的变性会带来蛋白质的溶解性、持水力及相关

化学键等的变化<sup>[12]</sup>。其变性程度通常由蛋白质的空间结构、Ca<sup>2+</sup>-ATPase活性、巯基等指标进行判定。于亚文等<sup>[13]</sup>研究发现,水产品贮藏期间肌球蛋白变性会导致内部活性巯基暴露,使其易于氧化。BENJAKUL等<sup>[14]</sup>研究发现5种热带鱼的鱼肉在-18℃贮藏条件下, Ca<sup>2+</sup>-ATPase活性均显著降低, Mg<sup>2+</sup>-EGTA-ATP酶活性增加,且在5种鱼肉中都发现了巯基减少以及二硫键的形成,说明冷冻贮藏会造成蛋白质变性。GUTHRIE等<sup>[15]</sup>研究条纹鲈鱼时发现, pH值越低, Ca<sup>2+</sup>-ATPase活性下降越快,蛋白质的变性速度也就越快。另外,蛋白质变性也有可能是由于脂肪氧化、冰晶形成等原因引起的。水产品在冷冻保藏期间,随着冰晶的生长会破坏水产品的内部结构,使肌肉细胞发生机械损伤,造成蛋白质溶解度下降<sup>[16]</sup>,另外蛋白质与脂质降解的产物相互反应也会在一定程度上降低盐溶蛋白的溶解度<sup>[17]</sup>。目前国内外的研究者们为解决因蛋白质变性而引起的食品品质劣化问题,选择在水产品中加入藻类多糖<sup>[18]</sup>,绿色抗冻剂如糖醇<sup>[19]</sup>等添加剂,同时也有研究表明<sup>[20]</sup>,优化冻结工艺也可明显改善品质劣化问题。今后还可以从蛋白质组学技术方面开展研究,以更深入地了解蛋白质冷冻变性的机理,从而找到更有效的解决方案。

目前关于蛋白质降解的相关研究主要集中在水产品的冰藏或微冻保鲜中的内源酶和微生物作用上<sup>[8]</sup>,在冻藏期间的研究相对较少,主要通过pH值、挥发性盐基氮值(Total Volatile Base-nitrogen, TVB-N)等的变化来判断蛋白质的降解情况。JIANG等<sup>[21]</sup>研究发现,乌鳢肉片在冻藏期间pH值、TVB-N值均有所增加,其中蛋白质被降解产生了氨及胺类等碱性物质。沈春蕾<sup>[22]</sup>发现,虾仁和虾糜在冻藏的120d内,pH值、TVB-N值发生了显著的变化,且SDS-PAGE凝胶电泳结果显示,冻藏120d后的虾仁、虾糜的蛋白质条带发生了明显的降解。由此可见,即使在冻藏条件下,蛋白质也会发生不同程度的降解。

目前,关于这方面的研究还主要集中在贮藏过程中的蛋白质降解情况,对引起一些蛋白质结构变化机理的研究较少,今后可以结合质谱技术、生物信息技术等新技术进行更加深入的研究,为研究更加合理的贮藏方法提供理论基础。

### 1.3 脂质的变化

水产品中含有丰富的多不饱和脂肪酸,在贮藏过程中易发生氧化反应,从而形成酸败产物,最终导致水产品变质。目前判断脂质氧化程度的指标主要有过氧化值(Peroxide Value, PV)、硫代巴比妥酸反应物(Thiobarbituric Acid Reactive Substance Assay, TBARS)和荧光化合物等<sup>[23]</sup>。BONO等<sup>[24]</sup>研究发现使用无氧气调包装能显著延缓挪威龙虾在冻藏过程中的脂质氧化现象。胡亚芹等<sup>[25]</sup>发现利用液氮冻结的

带鱼相较于冰柜直接冻结和平板冻结, TBARS 值增长最慢, 品质最佳。

同时在冻藏过程中, 脂肪的氧化与蛋白质的变性往往是相互影响的, 有研究发现<sup>[26]</sup>, 脂质在酶作用下水解产生的游离脂肪酸会降低  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性、蛋白质溶解度等。TIRONI 等<sup>[27]</sup>研究丙二醛对鳕鱼肌球蛋白的结构和功能的影响时, 发现当鱼肉中有丙二醛存在时, 肌球蛋白的溶解度会降低。从这些研究可以看出, 水产品在冻藏过程中脂肪的氧化对蛋白质的变性有影响, 今后还需进一步研究脂肪氧化导致蛋白质变性的机理, 为延长水产品的贮藏期提供理论依据。

## 2 镀冰衣技术

为了延缓水产品冷冻贮藏过程中发生的如干耗、蛋白质和脂肪劣变等降低水产品品质的现象, 将镀冰衣技术应用到水产品的冻藏中。镀冰衣技术是通过将水产品的温度降至冻结点以下后, 快速喷淋或浸渍冰衣液, 在水产品的表面形成一层薄冰的保鲜方法。这种方法可以有效地减少水产品冻藏过程中的不良变化, 避免环境对产品品质和外观造成影响, 从而延长产品货架期<sup>[28]</sup>。江艳华等<sup>[29]</sup>研究发现, 采用 10%, 20%, 30%, 40% 的冰衣量对冻虾的品质影响无显著差异, 冰衣均能够达到保护产品品质的目的。目前, 美国、巴西等国家官方、行业协会对水产品的冰衣量提出明确要求, 通常建议冰衣量在 10% 左右<sup>[30]</sup>。

镀冰衣方法可分为浸渍式和喷淋式, 其中浸渍式镀冰衣是最常见的镀冰衣方法, 即将冻结水产品浸入冰衣液中, 借助产品的低温使周围的冰衣液迅速结冰, 附着在水产品表面形成冰衣。用此种方法制作冰衣时, 要控制好浸渍时间, 时间太长会使冰衣过厚而且造成水产品温度回升, 时间过短则会无法形成完整的冰衣或冰衣过薄容易失效。另外还有一种是喷淋式镀冰衣, 一般用于连续的流水线操作, 利用喷头对水产品反复喷淋, 直至在水产品表面形成冰衣层, 这种方法制作冰衣时, 喷淋时间和水量可以人工控制, 但是由于是喷淋作用, 难以在水产品表面形成均匀全覆盖的冰衣<sup>[11]</sup>。

目前将镀冰衣技术应用到水产品中, 已经是比较广泛的做法, 在减少干耗、预防蛋白质和脂肪劣变、抑制冰晶生长等方面均有良好的表现。李燕等<sup>[31]</sup>研究了在  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  的冷冻条件下, 镀冰衣与无冰衣处理对冻藏南美白对虾品质的影响, 发现镀冰衣组的南美白对虾的 TVB-N、盐溶蛋白含量及肌苷酸 (Inosine-5'-monophosphate, IMP) 关联物等指标都优于无冰衣组。赵启蒙等<sup>[32]</sup>研究发现在相同冻藏温度下, 鲶鱼在经过镀冰衣处理后, TVB-N、pH 值、持水力和质构等指标的变化幅度均小于无冰衣组。由此可见, 镀冰衣保

鲜技术在延缓腐败变质、延长贮藏时间等方面起到了积极的作用。应用镀冰衣技术的水产品, 相较于对照组能表现出良好的保鲜能力, 但还是会发生不同程度的冰衣破裂<sup>[33]</sup>、蛋白质氧化<sup>[34]</sup>、微生物生长<sup>[35]</sup>等问题。

## 3 新型镀冰衣技术及其分类

随着人们对水产品保鲜要求的不断提高, 传统的镀冰衣技术具有易龟裂脱落、抗氧化性能差等缺陷, 无法长期有效地保持冻藏水产品的品质, 人们开始对冰衣技术进行优化, 开发新型的镀冰衣技术, 如在冰衣液中加入添加剂, 以达到更好的冰衣保鲜效果。

### 3.1 防龟裂型冰衣

传统的蒸馏水冰衣在冻藏过程中, 会出现龟裂脱落的现象, 因此防止冰衣龟裂是研究者们首先要克服的问题。聚丙烯酸钠 (Polyacrylic acid sodium salt, PASS) 是一种水溶性的高分子化合物, 可作为一种保水、增稠性的添加剂, 能增强成膜性, 有效地保持冰衣不脱落。ZHOU 等<sup>[36]</sup>研究发现, 在制作冰衣的时候加入聚丙烯酸钠、海藻酸钠等添加剂, 可以有效防止冰衣龟裂脱落。TAN 等<sup>[33]</sup>采用质量分数为 0.1% 的聚丙烯酸钠冰衣处理的鲑鱼在冻藏 6 个月后, 相较于对照组和纯水冰衣组, 可降低冻品的水分损失率、脂质氧化和蛋白质氧化率, 延长货架期。

在目前的水产品保鲜研究中, 在冰衣液中加入聚丙烯酸钠、海藻酸钠<sup>[36]</sup>等添加剂来防止冰衣脱落已经是比较广泛的做法, 未来可以尝试使用多种保水、增稠性添加剂复配以达到更佳冰衣保持效果。

### 3.2 抗氧化型冰衣

在冰衣液中加入抗氧化剂是一种减少冻藏水产品氧化的有效途径。D-异抗坏血酸钠 (D-sodium erythorbate, DSE)、迷迭香酸 (Rosmarinic acid, RosA) 等是常用的抗氧化食品添加剂, 目前已被用于冰衣液中, 并起到了较好的抗氧化作用。SHI 等<sup>[34]</sup>研究了 RosA 冰衣对冻虾品质的影响, 结果发现, 与蒸馏水冰衣相比, 用质量分数为 0.2% 迷迭香酸冰衣处理冻虾在 TVB-N、过氧化值、滴水损失、游离脂肪酸 (Free Fat Acid, FFA)、感官等方面均表现出比较明显的优势。谭明堂等<sup>[37]</sup>分析了鲑鱼在  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  下冻藏 6 个月的持水力、色泽、pH、质构、丙二醛、巯基含量和游离氨基酸等指标, 发现在冰衣中加入 DSE 比加入 RosA 有更好的保鲜效果。茶多酚化合物是一种天然生物抗氧化剂, 运用到鱼肉中也能起到明显的抗氧化作用。雷雨田等<sup>[38]</sup>将冰衣技术与茶多酚联合运用在南美白对虾的冻藏保鲜中, 将南美白对虾在  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  下冻藏 24 周后, 与蒸馏水冰衣处理过的对虾相比, 采用 8 g/L 茶多酚冰衣液处理后能更有效降低对虾的蛋

白氧化程度。在今后的研究中,也可以尝试将其他的一些抗氧化剂用于冰衣液中,以获得更佳的水产品冻藏过程抗氧化的效果。此外,也有研究者发现,藜麦提取物在食物保鲜中也有一定的抗氧化作用<sup>[39]</sup>,MARCOS等<sup>[40]</sup>研究了无皂基藜提取物镀冰衣对冷冻鲭鱼质量的影响,发现使用无皂基藜提取物冰衣处理的鲭鱼相较于蒸馏水冰衣处理和不作处理的鲭鱼在感官品质和贮藏期上都表现出了优势。目前,将抗氧化剂应用在镀冰衣技术中,除了要考虑抗氧化型冰衣在抗氧化性能方面的表现,还需要考虑抗氧化剂本身对于水产品品质的影响。在今后的研究中,可重点关注生物抗氧化剂或复配抗氧化剂。

### 3.3 抑菌型冰衣

在冻藏保鲜过程中,微生物的生长会导致水产品发生劣变,因此研究者将常规的抑菌方法与镀冰衣技术相结合,制成抑菌型冰衣。

电解水(Electrolyzed Water, EW)是指含有电解质的水电解后取得的液体,具有抗菌能力,是一种新型的杀菌消毒剂,对于金黄色葡萄球菌的杀灭作用比较明显<sup>[41]</sup>。张越扬等<sup>[35]</sup>在-18℃的冻藏条件下,分别用酸性电解水冰衣和蒸馏水冰衣处理金枪鱼肉,发现酸性电解水冰衣处理鱼肉的菌落总数远低于蒸馏水冰衣组,另外,经过320 d的冷冻保藏,酸性电解水冰衣处理鱼肉的TVB-N值明显低于蒸馏水冰衣组,保鲜效果显著。另外还发现,酸性电解水冰衣相较于蒸馏水冰衣组更好地保持了金枪鱼的色泽和质构。由于酸性电解水pH值小于2.7,酸性较高,对于食品尤其是水产品的品质及包装材料影响较大,且由于制作成本高等因素,其应用不广泛<sup>[42]</sup>。郑炜等<sup>[43]</sup>为了避免酸性电解水对水产品品质产生影响,采用弱酸性电解水(Weakly Acidic Electrolyzed Water, WAEW)冰衣和气调处理凡纳滨对虾,结果表明这样处理能明显抑制需氧菌等微生物的生长,而且处理过后的冻虾中TVB-N、三甲胺总量(Trimethylamine, TMA)、TBARS的值均较低,说明使用此种方法处理也能很好地保持虾仁的品质。董天嘉等<sup>[44]</sup>的研究表明,弱酸性电解水冰衣与气调包装协同作用处理的秘鲁鱿鱼,对需氧菌的抑制率达49.80%,对金黄色葡萄球菌的抑制率达59.16%,且这样的处理方法可以有效减缓 $L^*$ 、 $a^*$ 的变化,效果远远优于蒸馏水冰衣组和对照组。上述这些研究证明强酸性电解水冰衣与弱酸性电解水冰衣在水产品的冻藏保鲜中都起到了非常积极的作用,但冰衣液对产品产生的负面影响也是值得关注的因素。壳聚糖是食品涂层中使用的天然抗菌剂之一,具有较好的抗菌优点<sup>[45]</sup>。国内外研究者将镀冰衣技术与壳聚糖涂膜结合起来运用在水产品的冻藏保鲜中。SOARES等<sup>[46]</sup>使用壳聚糖冰衣与蒸馏水冰衣处理冷冻蛙鱼,冻藏6个月后发现,壳聚糖冰衣处理

的蛙鱼在控制微生物污染方面明显优于蒸馏水冰衣组。于丽霞<sup>[47]</sup>分别比较了壳聚糖冰衣、茶多酚冰衣、蒸馏水冰衣等对罗氏沼虾在冻藏过程中品质的影响,发现壳聚糖冰衣在保持冻虾新鲜度上起到了更加积极的作用,但是在抑制冻虾发生褐变方面略逊于茶多酚冰衣组。在未来,还需要研究对水产品本身无不良影响的抑菌方法,如利用微生物及其产物类抑菌剂等与镀冰衣技术相结合,寻求更加高效的抑菌型冰衣配方。

今后可研发集防龟裂、抗氧化与抑菌协同增效的冰衣液,最大化保持冻藏期间水产品品质。谭明堂等<sup>[37]</sup>研究发现,PASS与DSE进行复配处理制成的冰衣,可保持冰衣不破裂,同时还能有效延缓鱿鱼冻藏期间的品质下降,延长货架期。余文晖等<sup>[48]</sup>研究发现,迷迭香酸、乳酸钠、竹叶抗氧化物复合镀冰衣能有效地抑制微生物生长,持水力、色差、盐溶性蛋白等指标都表明了这种复配冰衣对于金枪鱼良好的保鲜性能。

## 4 结语

针对不同的水产品,充分考虑各种冻结方式的优缺点,采用合适的冻结方式可以达到良好的保鲜效果。另外还需注意在冻藏过程中水产品品质发生劣变的情况,研究蛋白质、脂肪发生劣变的机理,采取合理有效的方法,如采用镀冰衣技术来减缓冻藏期间发生的干耗及蛋白质结构变化等引起的品质下降。制作镀冰衣时,可在冰衣液中添加抗冻、增稠、抗氧化等不同的添加剂,以达到不同的效果。将不同作用的添加剂复配在一起,应该可以更好地保持水产品的品质。

目前随着国内外研究者在该领域的不断探索,镀冰衣技术在水产品保鲜中已经有了广泛的应用,需要指出的是,随着水产品的市场需求量和品质要求逐年提高,镀冰衣技术在水产品保鲜中的应用还需要进一步优化,在未来的研究中,一方面需要从更深层次的角度研究水产品在冻藏过程品质变化的机理,为镀冰衣技术的应用提供理论依据;另一方面,还可以考虑研发更加高效的镀冰衣复配配方,以及更加合理的贮藏环境的温湿度管理。在寻找开发更优效、更经济的镀冰衣技术的同时,还需继续深入研究水产品捕捞后的贮藏和预处理方式,预防原料、加工等环节对水产品品质产生不利影响。同时可以继续探索其结合真空、气调等包装方法,不断研究更加合理的水产品冻藏保鲜方式。此外,还需进一步研究冷链物流方式、搭建货架期模型,以确保高品质的冻藏水产品送到消费者手中。相信做到这些,我国冻藏水产品市场将会拥有更加广阔的前景,水产品加工行业的发展也会得到更加有力的保障。

## 参考文献:

- [1] ALSAGGAF M S, MOUSSA S H, TAYEL A A. Application of Fungal Chitosan Incorporated with Pomegranate Peel Extract as Edible Coating for Microbiological, Chemical and Sensorial Quality Enhancement of Nile Tilapia Fillets[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2017, 99: 499.
- [2] 沈月新. 水产食品学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001: 128—130.
- SHEN Yue-xin. *Aquatic Food Science*[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2001: 128—130.
- [3] 常晶, 李晨辉, 刘尊英, 等. 明胶-壳聚糖-迷迭香提取物复合膜对冷藏鲟鱼品质的影响[J]. *包装工程*, 2019, 40(13): 52—57.
- CHANG Jing, LI Chen-hui, LIU Zun-ying, et al. Effect of G-C-RE Composite Film on Frozen Sturgeon Quality during Cold Storage[J]. *Packaging Engineering*, 2019, 40(13): 52—57.
- [4] XU Y, GE L, JIANG X, et al. Inhibitory Effect of Aqueous Extract of Allium Species on Endogenous Cathepsin Activities and Textural Deterioration of Ice-stored Grass Carp Fillets[J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2015, 8(10): 2171—2175.
- [5] LIU D, LIANG L, XIA W, et al. Biochemical and Physical Changes of Grass Carp (*Ctenopharyngodon Idella*) Fillets Stored At -3 and 0 °C[J]. *Food Chemistry*, 2013, 140(1/2): 105—114.
- [6] CHENG J H, SUN D W, ZHU Z. Effects of Frozen Storage Condition Abuse on the Textural and Chemical Properties of Grass Carp (*Ctenopharyngodon Idella*) Fillets[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2017, 41(1): 1—9.
- [7] NIKOO M, BENJAKUL S, RAHMANIFARAH K. Hydrolysates from Marine Sources as Cryoprotective Substances in Seafoods and Seafood Products[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2016, 57: 40—51.
- [8] WACHIRASIRI K, WANLAPA S, UTTAPAP D, et al. Changing in Processing Yield and Physical Properties of Frozen White Shrimp (*Penaeus Vannamei*) Treated with Lysine and Sodium Bicarbonate[J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2017, 52(3): 763—771.
- [9] 王爱芹, 李建新, 张豪杰. 控制干耗是提高冷藏企业效益的有效途径[J]. *冷藏技术*, 2016(3): 48—51.
- WANG Ai-qin, LI Jian-xin, ZHANG Hao-jie. Control the Dry Consumption is an Effective Way to Improve the Efficiency of the Refrigeration Enterprises[J]. *Journal of Refrigeration Technology*, 2016(3): 48—51.
- [10] 张小利, 沈春蕾, 魏婉莹, 等. 木糖醇、甘露糖醇和异麦芽糖醇对冷冻熟南美白对虾虾仁的抗冻保水作用的研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2019, 10(2): 407—413.
- ZHANG Xiao-li, SHEN Chun-lei, WEI Wan-ying, et al. Cryoprotective and Water Retention Effects of Xylitol, Mannitol and Isomalto oligosaccharide on Cooked Shrimp(*Litopenaeus Vannamei*) during Frozen Storage[J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2019, 10(2): 407—413.
- [11] 赵启蒙. 鲟鱼冻结特性及镀冰衣和腌制处理对其冻藏品质影响的研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2015: 15—22.
- ZHAO Qi-meng. Study on the Freeze Feature and Effects Of Pickled and Ice-coating Process in Frozen-storage on the Quality of Catfish[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2015: 15—22.
- [12] 柳佳彤. 冻藏罗氏沼虾品质劣变现象及其机理研究[D]. 无锡: 江南大学, 2019: 4—6.
- LIU Jia-tong. Study on Quality Deterioration Phenomenon and Its Mechanism of Giant Freshwater Prawn (*Macrobrachium Rosenbergii*) during Frozen Storage[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2019: 4—6.
- [13] 于亚文, 朱新荣, 邱恒恒, 等. 冻藏条件下高白鲑肌肉蛋白质的生化特性[J]. *食品科技*, 2017, 42(11): 163—168.
- YU Ya-wen, ZHU Xin-rong, QIU Heng-heng, et al. Biochemical Properties of Muscle Protein from *Coregonus Peled* during Frozen Storage[J]. *Food Science and Technology*, 2017, 42(11): 163—168.
- [14] BENKAKUL S, VISESSANGUAN W, THONGKAEW C, et al. Comparative Study on Physicochemical Changes of Muscle Proteins from Some Tropical Fish during Frozen Storage[J]. *Food Research International*, 2003, 36(8): 787—795.
- [15] GUTHRIE H D, WELCH G R, WOODS L C. Effects of Frozen and Liquid Hypothermic Storage and Extender Type on Calcium Homeostasis in Relation to Viability and ATP Content in Striped Bass (*Morone Saxatilis*) Sperm[J]. *Theriogenology*, 2014, 81(8): 1085—1091.
- [16] LEYGONIE C, BRITZ T J, HOFFMAN L C. Hoffman Impact of Freezing and Thawing on The Quality of Meat: Review[J]. *Meat Science*, 2012, 91(2): 93—98.
- [17] MATSUOTO J J. Chemical Deterioration of Muscle Proteins during Frozen Storage[J]. *Chemical Deterioration Proteins*, 1980, 123: 95—124.
- [18] JIANG L F. The Polysaccharides from *Porphyra Yezoensis* Suppress the Denaturation of Bighead Carp Myofibrillar Protein[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2014, 68: 18—20.
- [19] 沈春蕾, 张小利, 赵金丽, 等. 糖醇对冻藏南美白对虾的品质保障作用[J]. *包装工程*, 2019, 40(1): 15—23.
- SHEN Chun-lei, ZHANG Xiao-li, ZHAO Jin-li, et al. Effect of Sugar Alcohols on the Quality of Shrimp(*Litopenaeus Vannamei*) during Frozen Storage[J]. *Packaging Engineering*, 2019, 40(1): 15—23.

- [20] 郭园园, 孔保华. 冷冻贮藏引起的鱼肉蛋白质变性及其物理化学特性的变化[J]. 食品科学, 2011, 32(7): 335—340.  
GUO Yuan-yuan, KONG Bao-hua. Advances in the Research of Denaturation and Change in Physico-chemical Properties of Fish Proteins during Frozen Storage[J]. Food Science, 2011, 32(7): 335—340.
- [21] JIANG Q, OKAZAKI E, ZHENG J, et al. Structure of Northern Snakehead (*Channa Argus*) Meat: Effects of Freezing Method and Frozen Storage[J]. International Journal of Food Properties, 2018, 103(2): 1081—1087.
- [22] 沈春蕾. 冻藏南美白对虾虾肉糜品质变化及保障技术研究[D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2019: 6—15.  
SHEN Chun-lei. Study on Quality Change and Guarantee Technology of Frozen Preserved Shrimp Surimi of *Penaeus Vannamei*[D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2019: 6—15.
- [23] LEYGONIE C, BRITZ T J, HOFFMAN L C. Impact of Freezing and Thawing on the Quality of Meat: Review[J]. Meat Science, 2019, 91(2): 93—98.
- [24] BONO G, OKPALA C O R, BADALUCCO C V, et al. Influence of Freezing and Oxygen-Free Packaging Methods on Lipid Oxidation and Other Flesh Quality Parameters of Norway Lobster (*Nephrops Norvegicus*)[J]. European Journal of Lipid Science and Technology, 2017, 119(3): 1—9.
- [25] 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. 现代食品科技, 2014, 30(2): 23—30.  
HU Ya-qin, HU Qing-lan, YANG Shui-bing, et al. Effects of Different Freezing Methods on the Quality of *Trichiurus Haumela*[J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(2): 23—30.
- [26] PEREIRA D E, ABREU D A, PASEIRO L P, et al. Evaluation of the Effectiveness of a New Active Packaging Film Containing Natural Antioxidants (From Barley Husks) that Retard Lipid Damage in Frozen Atlantic Salmon (*Salmo Salar*)[J]. Food Research International, 2010, 43: 1277—1282.
- [27] TIRONI V A, TOMÁS M C, AÑÓN M C. Structural and Functional Changes in Myofibrillar Proteins of Sea Salmon (*Pseudoperca Semifasciata*) by Interaction with Malonaldehyde (RI)[J]. Journal of Food Science, 2002, 27(3): 930—935.
- [28] ALEX Augusto Goncalves, CANDIDO Santiago Guidobono Gindri Junior. The Effect of Glaze Uptake on Storage Quality of Frozen Shrimp[J]. Journal of Food Engineering, 2008, 90(2): 285—290.
- [29] 江艳华, 林才云, 朱文嘉, 等. 不同冰衣量对冻虾品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(16): 4375—4380.  
JIANG Yan-hua, LIN Cai-yun, ZHU Wen-jia, et al. Effects of Different Ice Glaze Content on the Quality of Frozen Shrimp[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2018, 9(16): 4375—4380.
- [30] 麦文伟. 国外对出口水产品“冰衣”有新规[J]. 海洋与渔业, 2017(7): 21.  
MAI Wen-wei. Foreign Countries Have New Regulations on the Export of Glazing[J]. Ocean & Fishery, 2017(7): 21.
- [31] 李燕, 方艺达, 罗永康, 等. 冰衣对冷冻南美白对虾贮藏品质的影响[J]. 肉类研究, 2018, 32(5): 39—44.  
LI Yan, FANG Yi-da, LUO Yong-kang, et al. Effect of Ice Coating on the Quality of Frozen Shrimp (*Litopenaeus Vannamei*)[J]. Meat Research, 2018, 32(5): 39—44.
- [32] 赵启蒙, 许澄, 黄雯, 等. 不同冻藏温度下镀冰衣处理对鲢鱼品质的影响[J]. 食品工业科技, 2015, 36(12): 307—310.  
ZHAO Qi-meng, XU Cheng, HUANG Wen, et al. Effect of Ice-coating during Frozen-storage in Different Temperatures on the Quality of Catfish[J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(12): 307—310.
- [33] TAN Ming-tang, YU Wen-hui, LI Pei-yun, et al. Effects of Glazing with Preservatives on the Quality Changes of Squid during Frozen Storage[J]. Applied Science, 2019, 9(18): 1—14.
- [34] SHI J, LEI Y T, SHEN H X, et al. Effect of Glazing and Rosemary (*Rosmarinus Officinalis*) Extract on Preservation of Mud Shrimp (*Solenocera Melanthero*) during Frozen Storage[J]. Food Chemistry, 2019, 272: 604—612.
- [35] 张越扬, 高萌, 柳佳娜, 等. 酸性电解水冰衣对于冷冻金枪鱼品质的影响研究[J]. 食品工业, 2013, 34(12): 34—37.  
ZHANG Yue-yang, GAO Meng, LIU Jia-na, et al. Effect of Acidic Electrolyzed Water Coating Ice on Quality of Frozen Tuna[J]. The Food Industry, 2013, 34(12): 34—37.
- [36] ZHOU Y G, FU G P. The Character and Applications of Edible Sodium Polyacrylate[J]. China Food Additives, 2009 (1): 114—117.
- [37] 谭明堂, 王金锋, 余文晖, 等. 冰衣结合保鲜剂处理对冻藏鱿鱼品质的影响[J]. 渔业现代化, 2019, 46(4): 73—80.  
TAN Ming-tang, WANG Jin-feng, YU Wen-hui, et al. Effects of Glazing with Preservative Treatment on the Quality of Squid during Frozen Storage[J]. Fishery Modernization, 2019, 46(4): 73—80.
- [38] 雷雨田, 石径, 桂萍, 等. 冰衣结合茶多酚对南美白对虾冻藏中品质变化的影响[J]. 中国农业大学学报, 2018, 23(6): 92—99.  
LEI Yu-tian, SHI Jing, GUI Ping, et al. Effects of Glazing with Tea Polyphenols on the Quality Characteristics for Pacific White Shrimp (*Litopenaeus Vannamei*) during Frozen Storage[J]. Journal of China Agricultural University, 2018, 23(6): 92—99.
- [39] TREMONTE P, SUCCI M, MESSIA M, et al. Towards a Sustainable Use of Quinoa: Antimicrobial Activity of

- Aqueous Extract of Quinoa Perling Byproduct[J]. *Industrie Alimentari*, 2017, 56: 5—13.
- [40] MARCOS T, ALICIA R, GRETEL D, et al. The Effect of Glazing Based on Saponin-free Quinoa (*Chenopodium Quinoa*) Extract on the Lipid Quality of Frozen Fatty Fish[J]. *Food Science and Technology*, 2018, 98: 231—236.
- [41] ISSA-ZACHARIA A, KAMITANI Y, TIISEKWA A, et al. In Vitro Inactivation of *Escherichia Coli*, *Staphylococcus Aureus* and *Salmonella Spp.* Using Slightly Acidic Electrolyzed Water[J]. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 2010, 110(3): 308—313.
- [42] 龚泰石. 酸性电解水的制备与消毒[J]. *中国公共卫生*, 2001, 17(3): 283—284.  
GONG Tai-shi, Preparation and Disinfection of Acidic Electrolytic Water[J]. *China Public Health*, 2001, 17(3): 283—284.
- [43] 郑炜, 谢超, 梁佳, 等. 弱酸性电解水冰衣和气调包装对凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)虾仁品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(4): 183—187.  
ZHENG Wei, XIE Chao, LIANG Jia, et al. Effects of Weak Acidic Electrolytic Water Ice and Modified Packaging on Shrimp Quality of *Litopenaeus Vannamei*[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2018, 39(4): 183—187.
- [44] 董天嘉, 李桂芬, 何定芬, 等. WAEW-MAP 协同作用对秘鲁鱿鱼品质保鲜及质构变化的影响[J]. *浙江海洋大学学报(自然科学版)*, 2019, 38(1): 44—50.  
DONG Tian-jia, LI Gui-fen, HE Ding-fen, et al. Study on Effect of Weak Acidic Electrolyzed Water Ice-Air Conditioning Packaging and Joint Freshness Preservation on Quality Preservation and Texture Change of *Dosidius Gigas*[J]. *Journal of Zhejiang Ocean University(Natural Science)*, 2019, 38(1): 44—50.
- [45] FARAJZADEH, F, MOTAMEDZADEGAN, A, SHAHIDI, S. The Effect of Chitosan-gelatin Coating on the Quality of Shrimp (*Litopenaeus Vannamei*) under Refrigerated Condition[J]. *Food Control*, 2016, 67: 163—170.
- [46] SOARES N, SILVA P, BARBOSA C, et al. Comparing the Effects of Glazing and Chitosan-based Coating Applied on Frozen Salmon on Its Organoleptic and Physicochemical Characteristics over Six-months Storage[J]. *Journal of Food Engineering*, 2017, 194: 79—86.
- [47] 于丽霞. 冻结方式和冻藏条件对罗氏沼虾品质的影响研究[D]. 无锡: 江南大学, 2018: 40—44.  
YU Li-xia. Study on the Effects of Freezing Methods and Frozen Conditions on the Quality of *Macrobrachium Rosenbergii*[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2018: 40—44.
- [48] 余文晖, 王金锋, 谢晶. 响应面法优化金枪鱼复合冰衣液配比[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(3): 174—179.  
YU Wen-hui, WANG Jin-feng, XIE Jing. Response Surface Methodology for Optimizing the Proportion of Tuna Compound Ice Coating Solution[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2020, 46(3): 174—179.