



· 综述 ·

## 日本鲭的保鲜技术研究进展

崔蓬勃<sup>1,2,3,4</sup>, 梁健亲<sup>1</sup>, 程天宇<sup>1</sup>, 吕飞<sup>1,2,3,4\*</sup>, 丁玉庭<sup>1,2,3,4</sup>

(1. 浙江工业大学食品科学与工程学院, 浙江 杭州 310014;

2. 浙江工业大学, 全省深蓝渔业资源绿色低碳高效开发重点实验室, 浙江 杭州 310014;

3. 浙江工业大学, 国家远洋水产品加工技术研发分中心(杭州), 浙江 杭州 310014;

4. 大连工业大学, 海洋食品精深加工关键技术省部共建协同创新中心, 辽宁 大连 116034)

**摘要:** 为解决日本鲭捕捞后极易出现的品质劣化问题, 更好地满足消费者对高品质日本鲭产品的食用需求, 国内外研究者采用微冻、冰温、冻藏、冷海(盐)水和流化冰等低温保鲜技术以及添加保鲜剂、涂膜、电解水、外加电场、低温等离子体和高压处理等辅助技术对日本鲭资源进行质量控制, 并对其致腐因素进行了研究。结果显示, 低温保鲜技术虽然在一定程度上可以达到控制鱼体品质劣化、延长产品货架期的目的, 但单独使用这些技术的保鲜效果并不理想; 将其与低温保鲜辅助技术联用后, 不仅可以有效延长日本鲭产品的货架期, 还可以在在一定程度上维持产品的风味和感官特性。然而, 日本鲭捕获后仍然会受到鱼体中内源酶、体外微生物和氧化作用等致腐因素的多重影响, 进而导致腐败。研究表明, 应充分了解日本鲭的致腐原因, 以便针对性地采取保鲜措施来遏制腐败行为的发生。本文系统综述了日本鲭低温保鲜及其辅助技术的研究进展, 并对鱼体的致腐因素进行了深入总结, 以期日本鲭资源有效的质量控制与高值化利用提供参考依据。

**关键词:** 日本鲭; 低温保鲜; 腐败; 品质控制; 货架期

**中图分类号:** S 983; TS 254.4

**文献标志码:** A

日本鲭 (*Scomber japonicus*) 又称正鲭、白腹鲭, 我国沿海居民称之为鲈鱼、鲈鳗鱼、青占鱼等, 是我国近海捕捞的主要经济鱼种之一, 具有产量高、个体小且难以长期保存的特点; 它味道鲜美、营养丰富, 鱼体内含有丰富的蛋白质和不饱和脂肪酸, 深受消费者喜爱<sup>[1]</sup>。此外, 日本鲭鱼体中内源酶系发达, 蛋白质中含有丰富的组氨酸, 捕获后如不及时处理, 极易发生组胺积累等品质劣化问题<sup>[2]</sup>。因此, 及时对鲜活日本鲭采取质量控制措施, 抑制内源因素导致的鱼体品质劣

化极其重要。

目前, 我国沿海捕获的日本鲭通常要经过冷海水(或冰藏)保鲜运输和陆上冷冻加工两个处理环节, 其中从捕获到运输至陆地预处理的时间一般为 2 d 左右<sup>[3]</sup>, 最终产品主要以冷冻或冰鲜的形式进入市场销售。在此期间, 微冻、冰温、超冰温、冻藏、冷海(盐)水和流化冰等低温保鲜技术被广泛用于日本鲭的保鲜<sup>[4]</sup>。这些技术虽然在一定程度上延缓了日本鲭的品质劣化, 但仍存在许多不足。为更好地满足消费者对于高品质日本鲭

收稿日期: 2023-12-14 修回日期: 2024-03-28

资助项目: 浙江省自然科学基金青年探索项目(LQ22C200015)

第一作者: 崔蓬勃(照片), 从事海洋食品精深加工与高值化利用研究, E-mail: cpblike@zjut.edu.cn

通信作者: 吕飞, 从事食品加工新技术与营养安全研究, E-mail: foodsensory@126.com



产品的食用需求、抑制产品劣化现象的发生, 一些低温保鲜辅助技术应运而生。这些辅助技术在延长日本鲭产品货架期及提高产品品质稳定性方面取得了一定的成效, 但受到日本鲭鱼体内源酶、体外微生物和氧化作用等三大致腐因素的多重影响, 现有技术仍无法完全遏制腐败行为的发生。而且目前我国对日本鲭资源的加工利用程度较低, 限制了其增值空间。基于此, 本文以日本鲭资源为主要的研究对象, 系统综述了国内外关于日本鲭保鲜技术的最新研究进展以及导致日本鲭鱼体腐败的多种因素, 以期对日本鲭资源有效的质量控制与高值化利用提供参考依据。

## 1 日本鲭的基本概述

日本鲭, 属于硬骨鱼纲 (Steichthyes) 鲈形目 (Perciformes) 鲭亚目 (Scombroidei) 鲭科 (Scombridae) 鲈属 (*Scomber*)<sup>[5]</sup>, 是一类生活在海洋中上层的洄游性鱼类, 主要分布在印度洋、太平洋以及大西洋东部的温、热带海域。据《2023 中国渔业统计年鉴》报道, 2022 年我国日本鲭捕捞量约为 37 万 t, 其中浙江、福建、山东、广东和辽宁沿海五省的捕捞量最大, 约占全国捕捞总量的 92%<sup>[6]</sup>。日本鲭皮下肌肉血管系统发达, 肌肉中血红蛋白含量高, 与沙丁鱼、鲹、金枪鱼等统称为青皮红肉鱼<sup>[7]</sup>。日本鲭具有很高的营养价值, 可为人体提供丰富的营养物质。据分析, 每 100 g 日本鲭鱼肉中含有可食用蛋白约 21.4 g, 其中包含丰富的必需氨基酸; 可食用油脂中含有丰富的二十碳五烯酸 (EPA)、二十二碳六烯酸 (DHA) 等不饱和脂肪酸; 除此之外, 日本鲭还含有多种维生素以及钙、磷、铁等矿物元素, 是人体补充营养物质的优质海洋食物来源<sup>[8]</sup>。继大黄鱼 (*Larimichthys crocea*)、小黄鱼 (*L. polyactis*) 和带鱼 (*Trichiurus lepturus*) 等资源锐减后, 日本鲭已成为我国最重要的海洋渔业资源之一<sup>[9]</sup>。

## 2 日本鲭的保鲜

由于原料的特殊性, 捕获上岸后的日本鲭在脱离了海水的自然环境后, 鱼体会在短时间内发生一系列生化反应, 必须立刻采取措施对其进行处理, 抑制内源因素导致的品质劣化。低温保鲜是最早并被广泛采用的一种水产品保鲜技术。微冻、冰温、超冰温、冻藏、冷海 (盐) 水和流化冰

等低温保鲜技术常被用于日本鲭捕获后的贮藏、运输和销售环节。这些技术可以在一定程度上控制日本鲭贮藏过程中发生的品质劣化, 达到延长产品货架期的目的<sup>[10-11]</sup>, 然而它们在单独使用时的保鲜效果并不理想。一些传统和新型的辅助技术逐渐成为低温保鲜的有力补充。目前, 日本鲭的低温保鲜辅助技术主要包括添加保鲜剂、涂膜、电解水、外加电场、低温等离子体和高压处理等。这些低温保鲜辅助技术可以进一步改善日本鲭产品在低温贮藏过程中发生的鱼肉品质劣变问题。

### 2.1 低温保鲜技术

**微冻贮藏** 微冻是一种将温度控制在生物体冰点  $\pm 0.5$  °C 的范围内的低温保鲜技术<sup>[12]</sup>。在微冻贮藏过程中, 日本鲭体内 5%~30% 的水分开始结冰, 致使微生物的胞浆浓度增加, 抑制了微生物的活性和酶的分解速率。此外, 微冻贮藏会使鲜鱼表面以下形成 1~3 mm 的冰晶层, 这些冰晶可为鱼体提供持续的低温环境, 使鲜鱼在流通过程中无需额外添加冰块<sup>[12]</sup>。吴成业等<sup>[13]</sup>在将微冻技术应用于日本鲭的保鲜时发现, 微冻贮藏 in 鲜度和脂肪氧化方面的保鲜效果优于冷藏, 然而微冻贮藏会对鱼体的肌原纤维结构造成不可逆的伤害<sup>[10]</sup>。沈俊等<sup>[14]</sup>发现, 低压静电场对食品中冰晶的生长有抑制作用, 施加低压变频电场可以在一定程度上减弱冻结与长期微冻过程中冰晶对肌肉组织的破坏。流化冰可以降低鱼肉蛋白的降解速率, 对鱼体产生的机械损伤较小<sup>[15]</sup>。因此, 常将微冻技术与空间电场和流化冰等辅助技术联用, 以保护鱼体内肌肉组织并延长产品货架期。

**冰温/超冰温贮藏** 冰温贮藏是一种使样品在 0 °C 以下维持不结冰状态的保鲜技术, 该技术的贮藏温度介于冷藏和微冻之间<sup>[16]</sup>。采用冰温贮藏的水产品在加工前无需解冻, 其组织内部损伤轻微, 可有效避免冻藏再解冻时造成的汁液流失<sup>[13]</sup>。冰温贮藏的关键在于对温度的精准控制。日本鲭在冰温贮藏时, 鱼体尚未被冻结, 其状态更接近于生鲜, 可更好地用作高品质食用产品的生产原料<sup>[13]</sup>。

**超冰温贮藏** 是一种优于冰温贮藏的新型保鲜技术, 该技术可使样品处于一种过冷状态, 即贮藏温度长期低于冰点但不发生冻结的亚稳态。此时的样品一旦受到温度波动或外界振动的影响则会诱发成核进而发生冻结, 因此, 维持产品过冷

态的稳定是超冰温贮藏的难点<sup>[10]</sup>。Park 等<sup>[17]</sup>对日本鲭进行了长达 12 d 的超冰温贮藏实验, 其将日本鲭分别置于超冰温的过冷条件 (-1.42 °C) 与冷藏条件 (1.01 °C) 下进行对比, 发现超冰温处理能有效延缓鱼体氧化并抑制微生物生长; 此外, 超冰温贮藏虽然无法遏制日本鲭鱼肉发生的氧化变色, 但与冷藏和冷冻 (-17.5 °C) 贮藏相比, 超冰温贮藏可使鱼肉组织内部水分子结合得更加紧密, 同时维持质构稳定, 可有效延长产品的货架期。

**冻藏** 冻藏所采用的温度一般是 -30~-18 °C。在冻藏过程中, 日本鲭鱼肉组织中的水分活度因水分子发生冻结而降低, 抑制了微生物的生长和酶的活性, 从而延缓了鱼体品质劣化<sup>[18]</sup>。赵庆志等<sup>[7]</sup>研究发现, 冻藏能有效控制日本鲭体内生物胺的形成; 其将日本鲭在 -18 °C 下贮藏 6 个月后发现, 鱼体中的组胺积累量仅为 13.45 mg/kg, 有效延长了保鲜时间。然而, 在低温冻藏期间, 鱼肉蛋白的结构和功能会在活性氧自由基的直接作用或次生氧化产物的间接作用下发生改变; 其中, 蛋白质的二硫键被破坏后会导致蛋白质构象发生改变, 使得肌原纤维蛋白的持水能力下降, 造成鱼肉在加工和贮藏过程中失水<sup>[19]</sup>。赵金丽<sup>[20]</sup>和周果等<sup>[21]</sup>在 -18 °C 冻藏条件下对日本鲭进行长期贮藏实验发现, 冻藏过程中日本鲭肌原纤维蛋白表面疏水性和羰基含量随时间增加不断上升, 而肌原纤维蛋白活性巯基含量则出现下降趋势。肌原纤维蛋白活性巯基含量减少的同时, 二硫键的形成还会影响鱼肉蛋白的持水性、乳化性、疏水性和可溶性等功能特性<sup>[22]</sup>。日本鲭作为一种多脂鱼类, 其皮下和靠近侧线的一层肌肉组织中含有高度的不饱和脂肪酸, 这些不饱和脂肪酸在较低的贮藏温度下通常不会发生凝固, 进一步增加了鱼体发生品质劣化的风险。赵艳芳等<sup>[23]</sup>研究发现, 日本鲭的过氧化值在 4 °C 冷藏时先升高后降低, 而 TBARs 值则不断升高; 从贮藏的第 6 天起, 过氧化值开始急速上升, 至第 12~16 天达到最高; 而第 12 天时的 TBARs 值高达 1.029 mg/kg, 此时的日本鲭鱼肉已经严重氧化, 不能食用<sup>[24]</sup>。脂肪的氧化还会引起日本鲭体内挥发性风味物质发生改变, 产生氨、三甲胺、硫化氢、醛、酮和酸等物质<sup>[25]</sup>, 这些挥发性风味物质的浓度与冻藏时间呈正相关<sup>[20, 24]</sup>。此外, 日本鲭在冻藏期间饱和脂肪酸含量显著增加, 多不饱和脂肪酸含量下降, 导致其食用品质发生劣变<sup>[26]</sup>。综上, 冻藏可

以在一定程度上延缓日本鲭的品质劣化, 但仍会对其质构、风味以及蛋白质的功能特性造成不良影响。

**冷海(盐)水** 冷海水具有降温快的特点, 在渔船捕捞过程中常被用于对大批量日本鲭进行保鲜预处理<sup>[27]</sup>。郑振霄等<sup>[28]</sup>研究发现, 在冷海水系统中贮藏日本鲭时, 希瓦氏菌是特定的腐败菌; 他们还比较了冷海水 (-1~0 °C)、冻藏 (-18 °C) 以及先用冷海水预处理 24 h 后再冻藏 (-18 °C) 这三种保鲜方式对日本鲭鲜度指标 (TVB-N、K 值、组胺和菌落总数) 的影响, 发现冷海水快速预冷与速冻技术联合使用时的保鲜效果最佳, 该法可大大缩短最大冰晶生成带的时间<sup>[29-30]</sup>。

**流化冰** 流化冰是一种新型绿色制冷介质, 它由冰粒和载液两相均匀混合物组成, 载液主要是由纯淡水或水和冰点抑制剂组成的二元溶液构成。流化冰具有良好的流动性和冰晶细小圆滑的特点, 可高效制冷; 其对鱼体的机械损伤小, 被广泛应用于海水鱼的加工保鲜<sup>[31]</sup>。林雪等<sup>[32]</sup>对比了流化冰处理与碎冰处理日本鲭时鲜度指标的变化, 发现流化冰处理 9 d 内的日本鲭鲜度保持效果优于碎冰处理。在模拟船上运输过程中, 流化冰处理组相比于碎冰处理组可有效延长日本鲭货架期 8 d。此外, 流化冰处理组还可以在在一定程度上抑制日本鲭肌原纤维蛋白的变性。然而, 流化冰在使用过程中存在易受水产品表面微生物污染的风险, 可能会使样品受到污染<sup>[32]</sup>。目前我国对流化冰保鲜技术的研究还处于初级阶段, 研究人员常将流化冰与其他保鲜手段联合使用以拓宽应用场景。近年来, 生物保鲜剂冰已成为日本鲭保鲜的新趋势。施源德等<sup>[33]</sup>在研究日本鲭保鲜技术时发现, 茶多酚 (0.25%)、二氧化硅 (0.2%) 和氯化钠 (3.0%) 的混合物在微冻温度 (-4 °C) 下形成的茶多酚流化冰对鱼体具有良好的保鲜效果, 它能有效抑制鱼体冷藏过程中 TVB-N 和组胺的生成, 可延长产品货架期 20 d。Lan 等<sup>[15]</sup>的研究发现, 微酸性电解水与竹叶抗氧化剂浆状冰也可有效降低日本鲭肌纤维蛋白的降解速率, 改善鱼肉感官品质并抑制微生物生长。

综上, 在使用微冻、冰温、冻藏、冷海(盐)水和流化冰等低温保鲜技术进行日本鲭贮藏时, 虽然可以在一定程度上达到控制鱼体品质劣化、延长产品货架期的目的, 但是单独使用这些技术的保鲜效果并不理想。表 1 总结了上述低温保鲜

技术各自的优点及存在的问题, 以供参考。此外, 与辅助技术联用来实现日本鲭资源的最佳保鲜我国冷链物流尚不能满足稳定的低温条件, 需要效果。

表 1 日本鲭低温保鲜技术的优缺点

Tab. 1 The advantages and problems of low temperature preservation technologies of *S. japonicus*

日本鲭的保鲜技术 preservation technology	优点 advantages	存在的问题 problems	参考文献 references
微冻 partial freezing	无需加入额外的冰, 可减少运输体积, 降低成本。	对鱼体的肌原纤维结构造成不可逆的伤害。	[10]
冰温 controlled freezing-point storage	避免汁液流失, 使鱼体状态更接近于生鲜。	对温度波动敏感, 若控温不当易引起产品劣变。	[13]
冻藏 frozen storage	①经济方便, 被广泛应用于鱼类保鲜; ②有效维持鱼类鲜度, 延长货架期。	①鱼体组织受冰晶破坏严重; ②能耗高; ③冻藏后期发生蛋白质和脂肪氧化, 对鱼体感官特性和蛋白的功能特性造成影响。	[19-20]
冷海(盐)水 cold seawater	①冷却速度快、成本低、处理时间短; ②快速缩短冰晶生成带。	仅作为预处理手段, 需要与其他低温保鲜技术联用, 单独使用对鱼体保鲜效果不佳。	[27-28]
流化冰 slurry ice	①有效缩短冷却时间; ②流动性好, 不易堵塞管道; ③冰晶细小圆滑, 对鱼体造成的机械损伤小。	①影响鱼体的外观和色泽; ②鱼体易受到流化冰中原有微生物的污染; ③贮藏过程中NaCl可在渗透压的作用下渗入, 使鱼体细胞脱水, 导致盐度上升。	[31-32]

## 2.2 低温保鲜辅助技术

为有效延长日本鲭的货架期并满足消费者对于高品质日本鲭产品的食用需求, 国内外研究者对日本鲭的低温保鲜辅助技术进行了大量探索。目前, 日本鲭低温保鲜辅助技术主要包括添加保鲜剂、涂膜、电解水、外加电场、低温等离子体和高压处理等。如表 2 所示, 针对低温保鲜技术

单独使用时存在的不足, 低温保鲜辅助技术的使用对日本鲭品质产生了积极的作用效果。

保鲜剂 通过添加保鲜剂, 尤其是生物保鲜剂, 来抑制微生物生长繁殖是水产品保鲜领域的研究热点<sup>[43-44]</sup>。赵金丽<sup>[20]</sup>和 Zhang 等<sup>[40]</sup>在研究卡拉胶寡糖对-18 °C 冻藏日本鲭品质的保持作用时发现, 卡拉胶寡糖能有效防止日本鲭鱼肉蛋白

表 2 低温保鲜联合辅助技术在日本鲭保鲜中的应用

Tab. 2 Application of low temperature preservation auxiliary technologies in *S. japonicus*

低温保鲜技术的不足 weaknesses	辅助技术的联合 combination of auxiliary technologies	作用效果 effects	参考文献 references
水分流失 water loss	茶黄素与双层镀冰衣结合使用后-20 °C 贮藏	在贮藏期间鱼体保持较高的持水量和 $T_{22}$ 值, 较低的重量损失、滴水损失和 $T_{23}$ 值; 同时具有抗冲击和抗氧化能力的协同作用。	[34]
风味的影响 effect on flavor	静态高压技术处理后4 °C贮藏	对副溶血性弧菌( <i>Vibrio parahaemolyticus</i> )的活性有抑制作用; 三甲胺和挥发性盐基氮的产生量明显减少, 腥味明显降低。	[35]
	$\gamma$ 射线辐照处理后4 °C贮藏	抑制脲酶活性, 减少腥味产生。	[36]
色泽的影响 effect on color	置于微酸性电解水和冰浆中, 4 °C贮藏	对微生物有抑制作用; 延缓日本鲭肌红蛋白和脂质氧化, 保持色泽; 货架期延长6 d。	[37]
冰晶造成的组织损伤 tissue damage from ice crystals	快速冷冻机与振荡磁场发生器联合使用	明显抑制日本鲭组织在冷冻和解冻(尤其是在冰水中解冻)后的组织损伤; 减少冰孔数量, 减小冰晶平均大小和间隙面积。	[38]
蛋白质的变性与降解 denaturation and degradation of proteins	在低压变频电场条件下, -4 °C微冻冷藏日本鲭肌肉组织间隙, 对其有较好的保护效果。		[14]
	介质阻挡放电-大气压冷等离子体处理后, 4 °C贮藏	有效延缓日本鲭肌纤维蛋白的降解, 增强组织结构的稳定性。	[39]
	浸泡在 $\kappa$ -卡拉胶低聚糖中, 4 °C贮藏	延缓了肌肉中 $Ca^{2+}$ -ATP酶活性和活性巯基含量的下降速度, 有效抑制了巯基含量和肌纤维表面疏水性的增加; 具有高效的自由基清除能力, 稳定了脂质中的DHA; 维持冷冻日本鲭鱼体挥发性风味稳定。	[40]
脂质氧化 lipid oxidation	微酸性电解水浆状冰处理后, 4 °C贮藏	有效延缓蛋白质降解和脂质氧化, 抑制微生物生长, 延长货架期144 h; 对肌肉结构有更好的保护作用, 保持较好的质构与感官特性。	[41]
	静态高压技术预处理后, -18 °C贮藏	对日本鲭罐头中游离脂肪酸的生成有抑制作用。	[42]

氧化, 使肌原纤维蛋白表面疏水性降低并减少羰基的形成, 有利于稳定鱼肉蛋白的空间结构。此外, 卡拉胶寡糖还能缓解酸价、丙二醛和脂肪酸的积累, 有效提高日本鲭鱼肉蛋白和脂肪的抗氧化性, 延长产品货架期。赵艳芳等<sup>[45]</sup>通过 Schall 烘箱加速氧化法研究了一款复合抗氧化剂配方(天然生育酚、二氢杨梅素和抗坏血酸棕榈酸酯)对日本鲭保鲜效果的影响, 发现该配方对日本鲭肌肉脂肪有一定的抗氧化作用。Shi 等<sup>[46]</sup>研究了燕麦酚酸化合物与抗坏血酸棕榈酰联用法对日本鲭鱼丸脂质稳定性的影响, 结果显示, 在 4 °C 冷藏条件下, 该方法可有效保持鱼丸的硬度、白度和持水力。燕麦酚酸化合物和抗坏血酸棕榈酰作为生物防腐剂具有协同作用, 在保质期内可有效控制菌落总数、降低日本鲭鱼肉中脂质的氧化速率, 进而延长产品货架期。扇贝壳粉也称为生物壳氧化钙 (BiSCaO), 具有除臭和广泛杀菌活性, 其对病毒、细菌、孢子和真菌均具有一定的杀灭作用。有报道指出, 生物壳氧化钙具有比次氯酸更强的杀菌活性<sup>[47]</sup>。Hiruma 等<sup>[47]</sup>在使用加热的扇贝壳生物壳氧化钙悬浮液 (0.2% 或 1%, 质量浓度)、分散液 (BiSCaO + Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>) 和胶体分散液 (BiSCaO + NapolyPO<sub>4</sub>) 清洗日本鲭样品后发现, 鱼体中部分组胺出现沉降或絮凝的现象; 其将日本鲭清洗后放入 10 °C 贮藏 4 d 后发现, 组胺水平和正常细菌群 (如大肠菌群和总活细菌细胞) 数量均明显降低, 这可能是因为生物壳氧化钙悬浮液对产组胺菌的杀菌作用降低了组胺的生成水平。此外, 针对日本鲭的组胺问题, 许多天然产物提取物被证明可通过抑制组氨酸脱羧酶活性来降低鱼肉中的组胺积累。有研究表明, 旋果蚊子草 (*Filipendula ulmaria*)<sup>[48]</sup>、褐藻苷苔 (*Ecklonia cava*) 与爱森藻 (*Eisenia bicyclis*) 的乙醇提取物<sup>[49]</sup>不但具有抗菌活性, 还具有抑制日本鲭中的摩根氏菌组氨酸脱羧酶活性的作用, 可有效降低鱼肉中的组胺积累, 提高产品的食用安全性。

**涂膜技术** 涂膜是先将预制的涂膜溶液通过喷淋、浸渍或流化床的方式包裹于水产品表面后再对水产品进行贮藏的一种保鲜技术, 该技术旨在抑制水产品贮藏期间发生的各类腐败现象, 以延长产品货架期<sup>[10]</sup>。常被用作涂膜材料的天然聚合物, 主要包括壳聚糖、乳清蛋白和明胶等<sup>[50]</sup>。其中, 壳聚糖因其具有良好的抗菌活性、生物相容性和成膜性而被广泛研究。Wu 等<sup>[51]</sup>使用没食

子酸和壳聚糖作为可食用涂膜材料, 评估了其 4 °C 贮藏期间日本鲭鱼片品质的协同效应, 实验发现, 没食子酸和壳聚糖涂膜对微生物生长、脂质氧化、蛋白质降解以及生物胺的形成都有较好的抑制作用。然而, 由于涂膜材料的生物活性有限, 无法完全抑制腐败过程及确保水产品获得更长的产品货架期和更好的食用品质。因此, 为增强其抗菌、抗氧化和抑制酶活性的能力, 往往需要在涂膜材料中添加更多的活性物质。胡嘉惠等<sup>[2]</sup>采用涂膜保鲜技术来减缓日本鲭鱼肉蛋白和脂肪的氧化速率, 实验结果表明, 将竹叶抗氧化剂 (添加量为 5%) 与胶原蛋白的混合液涂抹在日本鲭表面, 可有效降低鱼体蛋白降解和脂肪氧化速率, 并抑制微生物的生长繁殖, 进而达到延缓腐败过程、延长产品的货架期的目的。Li 等<sup>[52]</sup>成功制备了一种壳聚糖-柑橘精油涂膜材料, 在与单独使用的壳聚糖相比时发现, 该涂膜材料具有更强的活性氧清除能力和微生物生长抑制能力。卡拉胶寡糖<sup>[20]</sup>和复合抗氧化剂 (由 0.022% 天然生育酚、0.031% 二氢杨梅素和 0.021% 抗坏血酸棕榈酸酯组成)<sup>[45]</sup>也表现出良好的抗氧化能力。此外, 减小涂层聚合物的粒径也有助于提高涂层的保鲜效果, 粒径更小的聚合物会增强粒子的穿透力, 可用于更多生物样品的保鲜<sup>[53]</sup>。Ceylan 等<sup>[54]</sup>将有益乳酸菌罗伊氏乳杆菌 (*Lactobacillus reuteri*) E81 纳米封装于聚乙烯醇基纳米纤维中, 并将其涂抹于日本鲭鱼片表面, 通过扫描电镜观察到纳米胶囊化的罗伊氏乳杆菌 E18 存在于电纺纳米纤维 (LRNF) 中, 其平均直径为 (381.83±130.69) nm; 实验结果表明, 涂有 LRNF 鱼片的抗氧化能力与自由基的清除能力均得到显著提高。

**电解水技术** 针对由微生物引起的日本鲭品质劣变问题, 电解水技术已被广泛应用于日本鲭的保鲜。中性电解水对金黄色葡萄球菌 (*Staphylococcus aureus*) 和副溶血性弧菌等常见的食源性微生物具有显著的杀菌效果<sup>[55]</sup>。陈晶晶<sup>[56]</sup>在将中性电解水技术应用于日本鲭的保鲜实验中发现, 经中性电解水碎冰处理的鱼体保鲜效果优于自来水处理, 这是因为中性电解水可以有效杀灭鱼体中的微生物, 同时抑制鱼体内源酶 (如磷酸酶) 的活性。此外, Liu 等<sup>[37]</sup>在评估 4 °C 贮藏过程中微酸性电解水和冰浆处理对日本鲭体内微生物的影响时发现, 微酸性电解水不仅可以抑制微生物生长, 还可以减轻鱼体肌红蛋白和脂质的氧化程

度, 从而保持鱼肉的色泽。Lan 等<sup>[41, 57]</sup>的研究发现, 置于 4 °C 酸性电解水-浆状冰中贮藏的日本鲭样品的 pH 值、TVB-N、K 值和组胺含量明显降低, 微生物生长和甲状腺素的增加得到了有效抑制, 可延长日本鲭的保质期长达 5 d。此外, 该方法还可以显著改善日本鲭肌肉组织硬度、弹性、咀嚼性和感官品质下降等问题, 有效保护肌肉组织, 降低鱼体中蛋白质和脂质的氧化速率。与浆状冰相比, 微酸性电解水-浆状冰协同处理可对日本鲭品质保持方面产生更好的作用效果。

**电场保鲜装置** 目前, 电场保鲜装置主要分为低压静电场、高压静电场、低压变频电场以及高压变频电场等不同类型<sup>[58]</sup>。低压变频电场在一定程度上可加快日本鲭冻结速率, 减少其通过最大冰晶生成带的时间, 可使日本鲭中的冰晶以较小的形式存在, 提高冻藏品质。然而低压变频电场也存在加速鱼体水分流失的缺点<sup>[58]</sup>。沈俊等<sup>[14]</sup>将低压变频电场与微冻贮藏技术相结合, 研究了电场强度对日本鲭微冻保鲜效果的影响, 实验发现, 2 000 V/m 处理组的保鲜效果要优于 3 000 V/m 处理组, 采用低压变频电场处理的日本鲭体内 TVB-N 含量、菌落总数和 pH 值等指标均显著低于无电场组。此外, 在日本鲭贮藏过程中, 电场处理组的鱼体肌肉组织间隙较小, 而无电场处理组肌肉组织间隙逐渐增大, 表明电场处理对日本鲭肌肉组织具有一定的保护作用<sup>[14]</sup>。另外, Okuda 等<sup>[38]</sup>在研究振荡磁场对新鲜日本鲭的影响时发现, 振荡磁场可有效抑制日本鲭在冷冻和解冻过程中 (尤其是在冰水中解冻) 的鱼体组织损伤。

**介质阻挡放电低温等离子体技术** 低温等离子体, 也被称为中性电离气体, 是一种潜在的非热技术, 它由光子、电子、正负离子自由基以及激发和非激发态的分子和原子组成。这些等离子体具有足够的电能, 可通过打破共价键的方式启动不同的化学反应, 从而有效去除被污染物

中的病原体 and 腐败微生物<sup>[59]</sup>。Chen 等<sup>[39]</sup>研究了介质阻挡放电低温等离子体技术对日本鲭贮藏期间品质变化的影响, 实验结果表明, 在最佳的电压处理水平和暴露时间 (60 kV 与 60 s) 下, 该处理对微生物具有最佳的灭活效果; 该技术可将日本鲭的保质期延长至 14 d, 并有效缓解肌纤维蛋白的降解和脂质氧化。施姿鹤等<sup>[60]</sup>研究了介质阻挡放电低温等离子体技术对日本鲭杀菌效果和组胺含量控制方面的影响, 发现在最佳处理条件 (处理电压 59.9 kV, 暴露时间 71.5 s) 下, 第 14 天时日本鲭的组胺含量仅为 72.34 mg/100 g, 远低于国际限量, 表明该技术可有效杀灭与组胺产生有关的微生物, 特别是对肠杆菌的灭活效果尤为显著。

**高压处理技术** 高压处理是一种新兴的适用于热敏性食品保鲜的非热加工技术, 该技术通过对食品施加高于 300 MPa 的压力来破坏其中的非共价键 (如氢键、疏水键等), 致使酶类失活、蛋白凝胶特性发生改变; 它还可以通过破坏食品中微生物的细胞壁或细胞膜来达到灭活食品中腐败微生物和致病菌的目的, 可有效延长食品货架期并提高其食用安全性<sup>[61]</sup>。Lin 等<sup>[62]</sup>在评估不同高压处理 (300、400、500 和 600 MPa) 5 min 对 4 °C 贮藏期间日本鲭体内微生物生长和组胺含量变化的影响时发现, 高压处理技术可以显著抑制鱼肉中的菌落总数和嗜冷细菌的增长; 当其对样品施加 300 MPa 的压力时, 能有效延缓 TVBN 和组胺的生成, 延长产品货架期。此外, 高压处理还可以抑制日本鲭体内组氨酸脱羧酶、摩根氏菌和明亮发光杆菌 (*Photobacterium beijerinck*) 的活性, 进而减少鱼体中组胺的生成<sup>[63]</sup>。

综上所述, 在使用上述低温保鲜或低温保鲜辅助技术对新鲜日本鲭产品进行处理时, 应充分考虑实际情况并针对各种技术的不同特点来进行选择, 确保达到最佳的产品保鲜效果。表 3 总结了日本鲭低温保鲜辅助技术的优缺点, 以供参考。

表 3 日本鲭低温保鲜辅助技术的优缺点

Tab. 3 The advantages and problems of low temperature preservation auxiliary technologies of *S. japonicus*

低温保鲜辅助技术 auxiliary technology	优点 advantages	缺点 disadvantages	参考文献 references
电场保鲜装置 electric field preservation device	①缩短食品的最大冰晶生成带的时间; ②降低冰温保鲜对温控的要求。	加速鱼体水分流失, 影响品质。	[14]
化学保鲜剂 chemical preservative	①保鲜效果较为明显; ②成本低廉, 使用方便。	①化学成分损害鱼肉品质; ②化学残留物会随食物进入人体。	[64]
生物保鲜剂 bio-preservatives	①来源广泛, 可以从动植物、微生物中提取; ②具有广谱抗菌性、高效性和相对安全性。	天然活性物质提取率低, 保鲜成本高。	[31]

低温保鲜辅助技术 auxiliary technology	优点 advantages	缺点 disadvantages	参考文献 references
电解水 electrolysed water	①防治微生物引起的日本鲭品质劣变效果显著, 具有广谱杀菌效果; ②绿色安全、高效保鲜、价格低廉; ③减轻肌红蛋白和脂质的氧化程度, 从而能够极大地保持鱼肉的颜色。	酸性电解水易漂白水产品, 无法有效保持其色泽, 导致气味改变。	[43, 55]
涂膜保鲜 coating preservation	①绿色环保、快速有效; ②在表面形成一层保护膜, 保护产品不受外界空气、微生物影响; ③阻止食品内外气体的迁移, 有效抑制食品内部组织的呼吸作用; ④锁住食品水分。	具有机械性、阻隔性以及成膜性差、涂膜效果不稳定等缺点。	[65]
介质阻挡放电低温等离子体技术 dielectric barrier discharge atmospheric cold plasma	①杀菌作用优、时间短、效果好; ②处理温度低、无毒无残留, 能有效控制日本鲭中组胺的生成。	该技术在用于水产品保鲜领域的研究还处于初始阶段。	[60]
高压技术 high pressure processing	①保持日本鲭的新鲜度, 延缓日本鲭腐败速度, 延长产品货架期; ②保留营养成分, 改善感官品质; ③无需添加剂。	高压设备和相关设施成本高, 使用范围受限。	[66]

### 3 日本鲭的腐败

同大多数水产品一样, 日本鲭死后通常会经历尸僵、自溶和腐败三个阶段<sup>[29]</sup>, 其中造成日本鲭腐败的主要因素分别为内源酶<sup>[50]</sup>、微生物<sup>[67]</sup>和氧化作用<sup>[4, 20]</sup>。据统计, 我国每年因腐败变质而丧失经济价值的海产品约占年产量的 30%<sup>[68]</sup>。尽管目前采用的低温保鲜及辅助技术在延长日本鲭产品货架期方面取得了一定的成效, 但受到上述致腐因素的多重影响, 现有技术仍无法完全遏制腐败行为的发生。因此, 认识日本鲭的腐败成因, 对于日本鲭资源的保鲜及综合利用具有重要意义。

#### 3.1 内源酶

日本鲭鱼肉和内脏中含有大量的内源酶<sup>[69]</sup>, 内源酶自溶是导致其贮藏过程中发生品质劣化的首要原因。在酶自溶腐败的过程中主要进行的是核苷酸分解酶介导的酶促降解, 此时 K 值会随着核苷酸分解酶活性的增强及贮藏时间的延长而增大, 腐败程度也会随之上升; 其次, 一些内源性蛋白酶和脂肪酶也参与其中。例如, 细胞质钙蛋白酶、基质金属蛋白酶、溶酶体组织蛋白酶等内源性蛋白酶的自溶作用会导致日本鲭鱼肉的肌原纤维蛋白发生软化降解, 生成小分子肽和游离氨基酸; 而内源性脂肪酶则会促使鱼肉中的脂质降解成游离脂肪酸, 并进一步氧化形成羰基化合物<sup>[10]</sup>。Aoki 等<sup>[70]</sup>研究发现, 日本鲭死后其体内的组织蛋白酶 L 会水解肌球蛋白、原肌球蛋白、肌钙蛋白 L 和肌钙蛋白 I, 使鱼体肌肉组织发生降解, 并且这一过程通常伴随着甲醛、乳酸及次黄嘌呤等有害或不良风味物质的产生<sup>[4]</sup>。与此同时, 这些内源酶的自溶腐败产物又会进一步促进微生物的

生长繁殖并加速腐败进程, 影响产品的感官品质。

#### 3.2 微生物

日本鲭捕获后, 微生物可通过鱼鳃等器官经循环系统进入肌肉组织, 也可通过体表黏液和破损的表皮直接进入鱼体内部<sup>[71]</sup>。之后, 微生物生长繁殖过程中产生的蛋白酶、肽酶等代谢产物, 会不断分解利用鱼体内的蛋白质、氨基酸、脂质、糖类等营养物质, 产生大量的生物胺、硫化物、醇、醛、酮等腐败化合物<sup>[71]</sup>。随着腐败的进行, 日本鲭体内组胺的含量也不断积累。组胺的产生需要两个必要条件, 一是游离组氨酸作为组胺的前体物质, 二是微生物产生的组氨酸脱羧酶<sup>[72]</sup>。Liang 等<sup>[73]</sup>在利用细菌的 16S rRNA V3-V4 超变区来评估 4 °C 下贮藏 9 d 期间日本鲭体内微生物群落及代谢功能时发现, 假单胞菌和不动杆菌是日本鲭贮藏期间的特定腐败微生物, 其与鱼体中 TVB-N 和生物胺的含量呈正相关。优势腐败菌的致腐性通常会受到群体感应系统的调控, 它作为一种微生物之间密切依赖的信息交流传递机制, 可能也参与到日本鲭的腐败进程中<sup>[74]</sup>。日本鲭体内的某些特定微生物可生成组胺, 其中摩根氏菌 (*Morganella morganii*) 的组氨酸活性最强<sup>[75]</sup>。有研究者发现, 日本鲭的腐败进程会随贮藏温度的升高而加速, 此时鱼体内组胺含量也迅速增加<sup>[76]</sup>; 然而, 低温环境并不能完全抑制产组胺微生物的生长繁殖, 假单胞菌等嗜冷菌在低温贮藏过程中仍可以产生组胺<sup>[77]</sup>。此外, 不同部位<sup>[75]</sup>以及是否经去内脏处理的日本鲭<sup>[78]</sup>, 其鱼肉组织中的组胺含量均不相同, 而且腐败过程中产生的尸胺、酪胺等其他生物胺还会进一步增强组胺的毒性<sup>[79]</sup> (表 4)。

表 4 日本鲭组胺生成过程中的特定微生物

Tab. 4 Specific microorganisms involved in the production of histamine in *S. japonicus*

微生物分类 classification	产组胺微生物 histamine-producing bacteria	参考文献 references
肠杆菌科 Enterobacteriaceae	摩氏摩根菌 <i>Morganella morganii</i>	[80-83]
	布氏柠檬酸杆菌 <i>Citrobacter braakii</i>	[81, 84]
	弗氏柠檬酸杆菌 <i>Citrobacter freundii</i>	[84]
	蜂房哈夫尼菌 <i>Hafnia alvei</i>	[81-82]
	植物劳尔氏菌 <i>Raoultella planticola</i>	[81]
	变形杆菌 <i>Proteus vulgaris</i>	[83]
	产气肠杆菌 <i>Enterobacter aerogenes</i>	[82, 84-85]
	肺炎克雷伯菌 <i>Klebsiella pneumoniae</i>	[86]
	液化沙雷氏菌 <i>Serratia liquefaciens</i>	[87]
	解鸟氨酸拉乌尔菌 <i>Raoultella ornithinolytica</i>	[82]
弧菌科 Vibrionaceae	希瓦氏菌 <i>Shewanellaceae</i>	[88]
	美人鱼发光杆菌美人鱼亚种 <i>Photobacterium damsela</i> subsp. <i>damsela</i>	[52, 89]

### 3.3 氧化作用

在日本鲭的贮藏保鲜过程中, 氧化作用不可避免。日本鲭鱼肉组织中含有大量不饱和脂肪酸, 它们在有氧条件下会发生自动氧化链式反应, 使脂肪氧化<sup>[45]</sup>分解成醛和酮等低分子挥发性化合物, 产生难闻的气味并引起鱼肉表面褐变<sup>[90]</sup>。此外, 日本鲭体内含有的铁、铜及易参与氧化反应的微量金属元素还会进一步加速脂质氧化。在酶促氧化过程中, 日本鲭体内的脂肪在脂肪酶的作用下会降解形成游离脂肪酸, 脂肪酸则会与鱼体内的抗氧化剂发生反应, 并与肌原纤维蛋白结合, 使鱼肉蛋白发生变性<sup>[4]</sup>。作为一种青皮红肉鱼, 日本鲭体内的血红蛋白含量很高, 在非酶促氧化过程中, 高浓度的促氧化血红蛋白可使鱼肉组织发生氧化<sup>[91]</sup>。此外, 日本鲭脂肪中不饱和脂肪酸氧化生成的氢过氧化物也会进一步分解成羰基化合物, 加速腐败。

综上所述, 捕获后的日本鲭会受到内源因素和外界环境的多重影响, 如不及时采取有效控制措施, 鱼体将快速腐败变质, 造成资源浪费。因此, 充分了解日本鲭的致腐原因, 针对性地采取

<https://www.china-fishery.cn>

保鲜措施来遏制腐败行为的发生, 对于高品质日本鲭产品的开发具有重要意义。

## 4 总结与展望

日本鲭因其鱼体中内源酶系发达、蛋白质中组氨酸含量丰富, 极易出现品质劣化和食用安全性问题。因此, 对于捕获的鲜活日本鲭, 应及时采取有效的保鲜措施来进行质量控制。近年来, 微冻、冰温、超冰温、冻藏、冷海(盐)水和流化冰等低温保鲜技术被广泛用于日本鲭捕获后的贮藏、运输和销售环节。这些技术虽然在一定程度上延缓了日本鲭的品质劣化、延长了产品货架期, 但仍存在许多不足。例如, 冻藏可以大大延长日本鲭产品的货架期, 但会影响鱼肉蛋白的持水性、乳化性、疏水性和可溶性等功能特性; 冰温和微冻贮藏能够有效保持日本鲭的感官特性并维持鱼体生鲜状态, 但二者均对环境温度波动敏感, 若控温不当极易引起产品劣变。为更好地满足消费者对于高品质日本鲭产品的食用需求, 抑制其在低温保鲜过程中发生的品质劣化, 添加生物保鲜剂、涂膜、电解水、外加电场、低温等离子体 and 高压处理等低温保鲜辅助技术应运而生, 它们在延长日本鲭产品货架期及提高产品品质稳定性方面取得了一定的成效, 但受到日本鲭鱼体内源酶、体外微生物和氧化作用等三大致腐因素的多重影响, 现有技术仍无法完全遏制腐败行为的发生。因此, 需要投入更多的研发精力, 开发更加先进的保鲜技术和更为精准的保鲜控温设备用于日本鲭的品质控制, 同时还要深入研究鱼肉的组胺消除技术以及风味与品质稳定性调控技术, 使鱼体中的营养成分和风味物质可以最大程度地保留, 以提升其产品附加值。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

### 参考文献 (References):

- [1] 李曰嵩, 邢宇娜, 潘灵芝, 等. 鲈鱼生活史及模型应用研究进展 [J]. 大连海洋大学学报, 2021, 36(4): 694-705.
- Li Y S, Xing Y N, Pan L Z, et al. Research progress on life history and model application of chub mackerel *Scomber japonicus*: a review [J]. Journal of Dalian Ocean University, 2021, 36(4): 694-705 (in Chinese).

中国水产学会主办 sponsored by China Society of Fisheries



- [2] 胡嘉惠, 林益航, 吴诗寅, 等. 竹叶抗氧化物-胶原蛋白复合涂膜对鲱鱼的保鲜效果 [J]. 食品工业, 2021, 42(10): 78-83.  
Hu J H, Lin Y H, Wu S Y, *et al.* The fresh-keeping effect of bamboo leaf antioxidant-collagen composite coating on mackerel[J]. The Food Industry, 2021, 42(10): 78-83 (in Chinese).
- [3] 刘欢, 陈雪, 宋立玲, 等. 不同解冻方式对鲱鱼鲜度及品质的影响 [J]. 食品科学, 2016, 37(10): 259-265.  
Liu H, Chen X, Song L L, *et al.* Effect of different thawing methods on freshness and quality of *Scomber japonicus*[J]. Food Science, 2016, 37(10): 259-265 (in Chinese).
- [4] 励建荣. 海水鱼类腐败机制及其保鲜技术研究进展 [J]. 中国食品学报, 2018, 18(5): 1-12.  
Li J R. Research progress on spoilage mechanism and preservation technology of marine fish[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2018, 18(5): 1-12 (in Chinese).
- [5] 郑平安. 鲱鱼储藏期品质的变化及加工过程中风味的研究 [D]. 宁波: 宁波大学, 2013.  
Zheng P A. Study on the changes of quality and flavor components of mackerel in storage and processing[D]. Ningbo: Ningbo University, 2013 (in Chinese).
- [6] 农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会. 2023 中国渔业统计年鉴 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2023: 42.  
Fisheries and Fisheries Administration Bureau of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Aquatic Technology Promotion Station, China Fisheries Society. 2023 China fishery statistical yearbook[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2023: 42 (in Chinese).
- [7] 赵庆志, 邓建朝, 杨贤庆, 等. 不同贮藏温度下鲱鱼生物胺变化的研究 [J]. 食品工业科技, 2018, 39(4): 260-267,279.  
Zhao Z Q, Deng J C, Yang X Q, *et al.* Study on the changes of biogenic amines in mackerel under different temperatures during the storage[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(4): 260-267, 279 (in Chinese).
- [8] 徐永霞, 孟德飞, 赵洪雷, 等. 即食鲱鱼肉干的调味配方及微波-热风干燥工艺优化 [J]. 食品工业科技, 2021, 42(16): 171-176.  
Xu Y X, Meng D F, Zhao H L, *et al.* Optimization of seasoning formula and microwave-hot air drying technology for ready-to-eat dried mackerel[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(16): 171-176 (in Chinese).
- [9] 鲍建民. 鲱鱼的营养价值及组胺中毒的预防 [J]. 中国食物与营养, 2006(3): 55.  
Bao J M. Nutrition of *Pneumatophorus japonicus* and prevention of histamine poisoning[J]. Food and Nutrition in China, 2006(3): 55 (in Chinese).
- [10] 谢晶, 裴聚鑫, 郁慧洁, 等. 海水鱼的腐败因素及其相关代表性保鲜技术进展 [J]. 上海海洋大学学报, 2022, 31(5): 1248-1259.  
Xie J, Pei J X, Yu H J, *et al.* Factors responsible for marine fish spoilage and their representative methods for preservation[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2022, 31(5): 1248-1259 (in Chinese).
- [11] 顾赛麒, 张晨超, 张月婷, 等. 舟山渔场三种海鱼冰藏过程中品质和风味的变化 [J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(11): 244-251.  
Gu S Q, Zhang C C, Zhang Y T, *et al.* Quality and flavor changes of three kinds of marine fish in Zhoushan fishing ground during ice storage[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(11): 244-251 (in Chinese).
- [12] 郑稳, 庄文静, 宫萱, 等. 冷藏和微冻贮藏对大口黑鲈鱼品质的影响 [J]. 食品与发酵工业, 2024, 50(5): 218-225.  
Zheng W, Zhuang W J, Gong X, *et al.* Effect of chilling and superchilling storage on quality of *Micropterus salmoides*[J]. Food and Fermentation Industries, 2024, 50(5): 218-225 (in Chinese).
- [13] 吴成业, 叶玫, 王勤, 等. 鲱鱼在几种温度段保鲜中的鲜度变化研究 [J]. 海洋科学, 1998(2): 8-11.  
Wu C Y, Ye M, Wang Q, *et al.* Study on freshness variation of club mackerel (*Pneumatophorus japonicus*) and amberfish (*Decapterus maruadsi*) during preservation several in different temperature range[J]. Marine Sciences, 1998(2): 8-11 (in Chinese).
- [14] 沈俊, 吴越, 尚子寒, 等. 低压变频电场结合微冻对鲱鱼保鲜效果的影响 [J]. 食品研究与开发, 2022, 43(8): 9-15.  
Shen J, Wu Y, Shang Z H, *et al.* Effect of low-voltage variable frequency electric field combined with partial freezing on preservation of *Pneumatophorus japonicus*[J]. Food Research and Development, 2022,

- 43(8): 9-15 (in Chinese).
- [15] Lan W, Du J, Liu L, *et al.* SA-SI Treatment: a potential method to maintain the quality and protein properties on mackerel (*Pneumatophorus japonicus*) during chilling storage[J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2022, 15(7): 1603-1614.
- [16] 郭依萍, 栗婧文, 窦晗, 等. 精准温控对冰温贮藏生鲜猪肉保鲜效果的影响 [J]. *南京农业大学学报*, 2023, 46(1): 150-158.
- Guo Y P, Li J W, Dou H, *et al.* Effect of precise temperature control on the preservation effect of fresh pork during ice-temperature storage[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2023, 46(1): 150-158 (in Chinese).
- [17] Park D H, Lee S Y, Lee J, *et al.* Stepwise cooling mediated feasible supercooling preservation to extend freshness of mackerel fillets[J]. *LWT*, 2021, 152: 112389.
- [18] 张宁, 谢晶. 三文鱼的保鲜方法及研究进展 [J]. *食品与机械*, 2015, 31(3): 256-259.
- Zhang N, Xie J. Research development on preservation methods of salmon[J]. *Food & Machinery*, 2015, 31(3): 256-259 (in Chinese).
- [19] 李学鹏, 刘慈坤, 王金厢, 等. 水产品贮藏加工中的蛋白质氧化对其结构性质及品质的影响研究进展 [J]. *食品工业科技*, 2019, 40(18): 319-325,333.
- Li X P, Liu C K, Wang J X, *et al.* Effects of protein oxidation on the structural properties and quality of aquatic products during storage and processing[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2019, 40(18): 319-325,333 (in Chinese).
- [20] 赵金丽. 冻藏鲱鱼蛋白质和脂肪氧化及其控制技术研究 [D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2019.
- Zhao J L. Study on protein oxidation and fat oxidation of frozen mackerel with different antioxidants[D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2019 (in Chinese).
- [21] 周果, 王芝妍, 陈霞霞, 等. 贮藏温度及解冻方式对鲱鱼肉蛋白生化特性的影响 [J]. *中国食品学报*, 2016, 16(7): 164-169.
- Zhou G, Wang Z Y, Chen X X, *et al.* Effect of storage temperature and thawing way on the biochemical properties of protein from *Pneumatophorus japonicus*[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2016, 16(7): 164-169 (in Chinese).
- [22] 李艳青, 孔保华, 夏秀芳, 等. 羟自由基氧化对鲤鱼肌原纤维蛋白乳化性及凝胶性的影响 [J]. *食品科学*, 2012, 33(9): 31-35.
- Li Y Q, Kong B H, Xia X F, *et al.* Effect of hydroxyl radical oxidation on emulsifying and gel properties of common carp (*Cyprinus carpio*) myofibrillar protein[J]. *Food Science*, 2012, 33(9): 31-35 (in Chinese).
- [23] 赵艳芳, 盛晓风, 尚德荣, 等. 解冻鲱鱼背部鱼片在贮藏过程中鲜度与脂肪氧化变化规律研究 [J]. *食品科技*, 2018, 43(4): 136-140.
- Zhao Y F, Sheng X F, Shang D R, *et al.* Dynamics of freshness and fat oxidation in thawy mackerel fillets during storage[J]. *Food Science and Technology*, 2018, 43(4): 136-140 (in Chinese).
- [24] 王钰, 倪继龙, 李敏杰, 等. 鲱鱼低温冻藏过程中脂肪氧化特性 [J]. *肉类研究*, 2021, 35(6): 63-68.
- Wang Y, Ni J L, Li M J, *et al.* Oxidation characteristics of lipids in mackerel during cryopreservation[J]. *Meat Research*, 2021, 35(6): 63-68 (in Chinese).
- [25] Shi L, Yin T, Xiong G Q, *et al.* Microstructure and physicochemical properties: effect of pre-chilling and storage time on the quality of channel catfish during frozen storage[J]. *LWT*, 2020, 130: 109606.
- [26] 陈晓楠, 赵金丽, 张宾, 等. 低温冻藏过程中鲱鱼肌肉蛋白质氧化特性研究 [J]. *包装工程*, 2020, 41(17): 38-45.
- Chen X N, Zhao J L, Zhang B, *et al.* Oxidation of muscle protein in mackerel during cryopreservation[J]. *Packaging Engineering*, 2020, 41(17): 38-45 (in Chinese).
- [27] 吕飞, 魏倩倩, 胡卓瑾, 等. 冷海水预处理时间对竹筴鱼冻藏品质的影响 [J]. *核农学报*, 2016, 30(7): 1373-1378.
- Lü F, Wei Q Q, Hu Z J, *et al.* Effect of the pre-chilling time of cold seawater on the quality changes of *Trachurus japonicus* during frozen storage[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2016, 30(7): 1373-1378 (in Chinese).
- [28] 郑振霄, 戴志远. 鲱鱼冷海水贮藏期间特定腐败菌的鉴定 [J]. *中国食品学报*, 2021, 21(4): 246-255.
- Zheng Z X, Dai Z Y. Identification of the specific spoilage bacteria of mackerel during cold seawater storage[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2021, 21(4): 246-255 (in Chinese).
- [29] 郑振霄, 周聃, 冯俊丽, 等. 3种保鲜方法对鲱鱼贮藏期

- 间鲜度的影响 [J]. 中国食品学报, 2016, 16(1): 181-187.
- Zheng Z X, Zhou D, Feng J L, *et al.* The effect of three preservation methods on the freshness changes of mackerel (*Pneumatophorus japonicus*) during storage[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2016, 16(1): 181-187 (in Chinese).
- [30] 郑振霄. 不同贮藏方法对鲱鱼品质变化影响的研究 [D]. 杭州: 浙江工商大学, 2016.
- Zheng Z X. Study on quality change of mackerel under different storage methods[D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2016 (in Chinese).
- [31] 王倩, 孙晓红, 蓝蔚青, 等. 保鲜冰在水产品保藏中的应用研究进展 [J]. 食品与机械, 2016, 32(3): 226-230.
- Wang Q, Sun X H, Lan W Q, *et al.* Progress on application research of fresh ice for aquatic products preservation[J]. Food & Machinery, 2016, 32(3): 226-230 (in Chinese).
- [32] 林雪, 邓尚贵, 王盼盼, 等. 流化冰在鲱鱼保鲜中的应用研究 [J]. 食品工业, 2014, 35(5): 20-23.
- Lin X, Deng S G, Wang P P, *et al.* Study on the application of slurry ice for the preservation of common mackerel (*Pneumatophorus japonicus*)[J]. The Food Industry, 2014, 35(5): 20-23 (in Chinese).
- [33] 施源德, 蔡碧云, 欧阳锐, 等. 茶多酚流化冰对鲱鱼品质的影响 [J]. 食品工业, 2018, 39(9): 53-57.
- Shi Y D, Cai B Y, Ouyang R, *et al.* Effects of tea polyphenol slurry ice on quality of mackerel[J]. The Food Industry, 2018, 39(9): 53-57 (in Chinese).
- [34] Wang X S, Xie J. Quality attributes of horse mackerel (*Trachurus japonicus*) during frozen storage as affected by double-glazing combined with theaflavins[J]. *International Journal of Food Properties*, 2021, 24(1): 713-725.
- [35] Kim H H, Ryu S H, Jeong S M, *et al.* Effect of high hydrostatic pressure treatment on urease activity and inhibition of fishy smell in mackerel (*Scomber japonicus*) during Storage[J]. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 2021, 31(12): 1684-1691.
- [36] Jeong S M, Kim H H, Ryu S H, *et al.* Effects of gamma irradiation on inhibition of urease activity and fishy smell in mackerel (*Scomber japonicus*) during refrigerated storage[J]. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 2022, 32(6): 808-815.
- [37] Liu L, Lan W Q, Pu T T, *et al.* Combining slightly acidic electrolyzed water and slurry ice to prolong the shelf-life of mackerel (*Pneumatophorus japonicus*)[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2021, 45(9): e15762.
- [38] Okuda K, Kawauchi A, Yomogida K. Quality improvements to mackerel (*Scomber japonicus*) muscle tissue frozen using a rapid freezer with the weak oscillating magnetic fields[J]. *Cryobiology*, 2020, 95: 130-137.
- [39] Chen J, Wang S Z, Chen J Y, *et al.* Effect of cold plasma on maintaining the quality of chub mackerel (*Scomber japonicus*): biochemical and sensory attributes[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2019, 99(1): 39-46.
- [40] Zhang B, Yan H B, Su L J, *et al.* Kappa-carrageenan oligosaccharides retard the progression of protein and lipid oxidation in mackerel (*Scomber japonicus*) fillets during frozen storage[J]. *RSC Advances*, 2020, 10(35): 20827-20836.
- [41] Lan W Q, Zhang B J, Liu L, *et al.* Slightly acidic electrolyzed water-slurry ice: shelf-life extension and quality maintenance of mackerel (*Pneumatophorus japonicus*) during chilled storage[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2023, 103(8): 3787-3798.
- [42] Prego R, Fidalgo L G, Saraiva J A, *et al.* Impact of prior high-pressure processing on lipid damage and volatile amines formation in mackerel muscle subjected to frozen storage and canning[J]. *LWT*, 2021, 135: 109957.
- [43] 刘露. 鲱鱼品质评价及保鲜工艺优化 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2016.
- Liu L. Quality evaluation and preservation process optimization of *Pneumatophorus japonicus*[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2016 (in Chinese).
- [44] 邓思瑶, 杨文鹤, 周星宇, 等. 包装方式和山梨酸钾处理对冷藏鲱鱼品质的影响 [J]. *核农学报*, 2015, 29(3): 506-512.
- Deng S Y, Yang W G, Zhou X Y, *et al.* Effects of packing mode and potassium sorbate on the quality of *Pneumatophorus japonicus* during refrigeration[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2015, 29(3): 506-512 (in Chinese).
- [45] 赵艳芳, 盛晓风, 尚德荣, 等. 复合抗氧化剂对鲱鱼背部肌肉脂肪的抗氧化研究 [J]. 食品工业, 2019, 40(1): 18-20.
- Zhao Y F, Sheng X F, Shang D R, *et al.* Antioxidative effect of compound antioxidant on the muscles of *Pneu-*

- matophorus japonicas*[J]. The Food Industry, 2019, 40(1): 18-20 (in Chinese).
- [46] Shi R R, Li Y Q, Liu L L. Synergistic anti-oxidative and antimicrobial effects of oat phenolic compounds and ascorbate palmitoyl on fish balls during cold storage[J]. *Journal of Food Science*, 2021, 86(10): 4628-4636.
- [47] Hiruma S, Ishihara M, Nakamura S, *et al.* Bioshell calcium oxide-containing liquids as a sanitizer for the reduction of histamine production in raw Japanese pilchard, Japanese horse mackerel, and chub mackerel[J]. *Foods*, 2020, 9(7): 964.
- [48] Nitta Y, Yasukata F, Kitamoto N, *et al.* Inhibition of *Morganella morganii* histidine decarboxylase activity and histamine accumulation in mackerel muscle derived from *Filipendula ulumaria* extracts[J]. *Journal of Food Protection*, 2016, 79(3): 463-467.
- [49] Kim D H, Kim K B W R, Cho J Y, *et al.* Inhibitory effects of brown algae extracts on histamine production in mackerel muscle *via* inhibition of growth and histidine decarboxylase activity of *Morganella morganii*[J]. *Journal Microbiology and Biotechnology*, 2014, 24(4): 465-474.
- [50] Yu D W, Wu L Y, Regenstein J M, *et al.* Recent advances in quality retention of non-frozen fish and fishery products: a review[J]. *Critical Reviews in Food Science Nutrition*, 2020, 60(10): 1747-1759.
- [51] Wu C H, Li Y, Wang L P, *et al.* Efficacy of Chitosan-Gallic acid coating on shelf life extension of refrigerated Pacific mackerel fillets[J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2016, 9(4): 675-685.
- [52] Li Y, Wu C H, Wu T T, *et al.* Antioxidant and antibacterial properties of coating with chitosan-citrus essential oil and effect on the quality of Pacific mackerel during chilled storage[J]. *Food Science & Nutrition*, 2019, 7(3): 1131-1143.
- [53] Ceylan Z, Yilmaz M T, Sengor G F. Microbiological stability of sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fillets coated with chitosan based liquid smoke loaded electrospun nanofibers[J]. *Journal of Biotechnology*, 2016, 231: S16.
- [54] Ceylan Z, Uslu E, İspirli H, *et al.* A novel perspective for *Lactobacillus reuteri*: nanoencapsulation to obtain functional fish fillets[J]. *LWT*, 2019, 115: 108427.
- [55] Ovissipour M, Shiroodi S G, Rasco B, *et al.* Electrolyzed water and mild-thermal processing of Atlantic salmon (*Salmo salar*): reduction of *Listeria monocytogenes* and changes in protein structure[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2018, 276: 10-19.
- [56] 陈晶晶. 中性电解水在冷冻鲈鱼加工中的应用研究[D]. 舟山: 浙江海洋学院, 2014.
- Chen J J. Applied study of neutral electrolyzed water in the processing of frozen *Pneumatophorus japonicus*[D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2014 (in Chinese).
- [57] Lan W Q, Zhao J X, Liu L, *et al.* Relevance of cathepsins activity and texture in slightly acidic electrolyzed water-slurry iced mackerel (*Pneumatophorus japonicus*)[J]. *Food Bioscience*, 2022, 49: 101924.
- [58] 沈俊. 空间电场协同低温对鲈鱼保鲜效果及机理研究[D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2022.
- Shen J. Effect and mechanism of space electric field cooperating with low temperature on preservation of *Pneumatophorus japonicus*[D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2022 (in Chinese).
- [59] Niemira B A. Cold plasma decontamination of foods[J]. *Annual Review of Food Science and Technology*, 2012, 3(1): 125-142.
- [60] 施姿鹤, 陈静, 陈星洁, 等. 介质阻挡放电低温等离子体在鲈鱼杀菌及组胺含量控制中的作用[J]. *食品科学*, 2017, 38(18): 237-243.
- Shi Z H, Chen J, Chen X J, *et al.* Dielectric barrier discharge atmospheric cold plasma inactivation of microorganisms on mackerel (*Pneumatophorus japonicus*) and its effects on histamine content[J]. *Food Science*, 2017, 38(18): 237-243 (in Chinese).
- [61] Phuvasate S, Su Y C. Efficacy of low-temperature high hydrostatic pressure processing in inactivating *Vibrio parahaemolyticus* in culture suspension and oyster homogenate[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2015, 196: 11-15.
- [62] Lin C S, Lee Y C, Ciou J W, *et al.* Inhibitory effects of high pressure processing on microbial growth and histamine formation in spotted mackerel (*Scomber australasicus*) during refrigerated storage[J]. *CyTA-Journal of Food*, 2021, 19(1): 762-770.
- [63] Kim D H, Kim K B W R, Ahn D H. Inhibitory effects of high-hydrostatic-pressure treatments on histamine production in mackerel (*Scomber japonicus*) muscle inoculated with *Morganella morganii* and *Photobacterium*

- phosphoreum*[J]. *Food Control*, 2013, 34(2): 307-311.
- [64] 张晓燕. 不同种类茶叶提取物和化学保鲜剂对生鲜牛肉保鲜作用的比较研究 [D]. 长春: 吉林农业大学, 2013.
- Zhang X Y. Comparative study on the preservative effect of different types of tea extracts and chemical preservatives on fresh beef[D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2013 (in Chinese).
- [65] 张晓冉, 许凯. 可食性涂膜保鲜技术在易腐食品中的研究进展 [J]. *食品工业*, 2022, 43(9): 244-248.
- Zhang X R, Xu K. Research progress on edible coating preservation technology of perishable food[J]. *The Food Industry*, 2022, 43(9): 244-248 (in Chinese).
- [66] Roobab U, Fidalgo L G, Arshad R N, *et al.* High-pressure processing of fish and shellfish products: safety, quality, and research prospects[J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2022, 21(4): 3297-3325.
- [67] Zhuang S, Hong H, Zhang L T, *et al.* Spoilage-related microbiota in fish and crustaceans during storage: research progress and future trends[J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2021, 20(1): 252-288.
- [68] Ghaly A E, Dave D, Budge S, *et al.* Fish spoilage mechanisms and preservation techniques: review[J]. *American Journal of Applied Sciences*, 2010, 7(7): 859-877.
- [69] 张永杏, 唐峰华, 郭全友, 等. 轻微加工熟制鲱鱼品质特性及腐败菌鉴定 [J]. *食品科学*, 2020, 41(5): 207-213.
- Zhang Y X, Tang F H, Guo Q Y, *et al.* Quality characteristics of lightly preserved cooked mackerel and identification of spoilage bacteria[J]. *Food Science*, 2020, 41(5): 207-213 (in Chinese).
- [70] Aoki T, Ueno R. Involvement of cathepsins B and L in the post-mortem autolysis of mackerel muscle[J]. *Food Research International*, 1997, 30(8): 585-591.
- [71] Li T T, Wang D F, Liu N, *et al.* Inhibition of quorum sensing-controlled virulence factors and biofilm formation in *Pseudomonas fluorescens* by cinnamaldehyde[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2018, 269: 98-106.
- [72] 孙项丽, 郭莹莹, 于秀娟, 等. 鲭鱼品质评价及品质变化与组胺含量研究进展 [J]. *食品安全质量检测学报*, 2019, 10(12): 3708-3713.
- Sun X L, Guo Y Y, Yu X J, *et al.* Research progress in quality evaluation, quality changes and histamine content of mackerel[J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2019, 10(12): 3708-3713 (in Chinese).
- [73] Liang R P, Tang H Q, Chen J Y, *et al.* Insights into the relationships among the formation of biogenic amines, microbiota composition using a culture-independent method, and metabolic potential in chill-stored *Scomber japonicus*[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2023, 58(8): 4425-4436.
- [74] Wang X Y, Xie J. Quorum sensing system-regulated proteins affect the spoilage potential of co-cultured *Acinetobacter johnsonii* and *Pseudomonas fluorescens* from spoiled bigeye tuna (*Thunnus obesus*) as determined by proteomic analysis[J]. *Frontiers in Microbiology*, 2020, 11: 940.
- [75] 孙项丽. 青皮红肉鱼中组胺变化规律及其鲜度相关性研究 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2020.
- Sun X L. Study on the variation of histamine and its freshness in blue-skinned red-fleshed fish[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2020 (in Chinese).
- [76] 赵庆志. 水产品中生物胺的变化规律及风险评估 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2018.
- Zhao Q Z. Change rule and risk assessment of biogenic amines in aquatic products[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2018 (in Chinese).
- [77] Rachmawati N, Powell S, Ross T, *et al.* Characterization of histamine-producing bacteria isolated during processing of Indonesian salted-boiled longtail (*Thunnus* sp.) and eastern little tuna (*Euthynnus* sp.)[J]. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 2023, 32(3): 349-358.
- [78] He S, Chen Y N, Yang X Q, *et al.* Determination of biogenic amines in chub mackerel from different storage methods[J]. *Journal of Food Science*, 2020, 85(6): 1699-1706.
- [79] 丁海燕, 孙晓杰, 宁劲松, 等. 储藏温度对 3 种海水鱼产生生物胺的规律影响研究 [J]. *食品科技*, 2018, 43(9): 172-177.
- Ding H Y, Sun X J, Ning J S, *et al.* Study on the regular of biogenic amines from three marine fish stored at different temperature[J]. *Food Science and Technology*, 2018, 43(9): 172-177 (in Chinese).
- [80] Wongsariya K, Bunyapraphatsara N, Yasawong M, *et al.*

- Development of molecular approach based on PCR assay for detection of histamine producing bacteria[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2016, 53(1): 640-648.
- [81] Jiang Q Q, Dai Z Y, Zhou T, *et al.* Histamine production and bacterial growth in mackerel (*Pneumatophorus japonicus*) during storage[J]. *Journal of Food Biochemistry*, 2013, 37(2): 246-253.
- [82] Hwang C C, Tseng P H, Lee Y C, *et al.* Determination of histamine in Japanese Spanish mackerel (*Scomberomorus niphonius*) meat implicated in a foodborne poisoning[J]. *Journal of Food Protection*, 2019, 82(10): 1643-1649.
- [83] Kim S H, Field K G, Chang D S, *et al.* Identification of bacteria crucial to histamine accumulation in Pacific mackerel during storage[J]. *Journal of Food Protection*, 2001, 64(10): 1556-1564.
- [84] Hu J W, Cao M J, Guo S C, *et al.* Identification and inhibition of histamine-forming bacteria in blue scad (*Decapterus maruadsi*) and chub mackerel (*Scomber japonicus*)[J]. *Journal of Food Protection*, 2015, 78(2): 383-389.
- [85] Zou Y, Hou X Y. Histamine production by enterobacter aerogenes in chub mackerel (*Scomber japonicus*) at various storage temperatures[J]. *Food Science and Technology*, 2016, 37(1): 76-79.
- [86] Kim S H, Price R J, Morrissey M T, *et al.* Occurrence of histamine-forming bacteria in albacore and histamine accumulation in muscle at ambient temperature[J]. *Journal of Food Science*, 2002, 67(4): 1515-1521.
- [87] Guillén-velasco S, Ponce-alquicira E, Farrés-gonzález saravia A, *et al.* Histamine production by two enterobacteriaceae strains isolated from tuna (*Thunnus thynnus*) and Jack Mackerel (*Trachurus murphyi*)[J]. *International Journal of Food Properties*, 2004, 7(1): 91-103.
- [88] Tao Z H, Liu W Q, Hu Q X, *et al.* Interaction between bacterial diversity and biogenic amines production in a salted mackerel stored at soft frozen (-7 °C-0 °C) storage[J]. *Food Science & Nutrition*, 2022, 10(2): 412-421.
- [89] Trevisani M, Mancusi R, Cecchini M, *et al.* Detection and characterization of histamine-producing strains of photobacterium damsela subsp. damsela isolated from mullets[J]. *Veterinary Sciences*, 2017, 4(2): 31.
- [90] Huang Y Z, Liu Y, Jin Z, *et al.* Sensory evaluation of fresh/frozen mackerel products: a review[J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2021, 20(4): 3504-3530.
- [91] Maestre R, Pazos M, Medina I. Involvement of methemoglobin (MetHb) formation and hemin loss in the prooxidant activity of fish hemoglobins[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2009, 57(15): 7013-7021.

## Research progress on preservation technology of *Scomber japonicus*

CUI Pengbo<sup>1,2,3,4</sup>, LIANG Jianqin<sup>1</sup>, CHENG Tianyu<sup>1</sup>, LÜ Fei<sup>1,2,3,4\*</sup>, DING Yuting<sup>1,2,3,4</sup>

(1. College of Food Science and Technology, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China;

2. Zhejiang Key Laboratory of Green, Low-carbon and Efficient Development of Marine Fishery Resources, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China;

3. National R & D Branch Center for Pelagic Aquatic Products Processing (Hangzhou), Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China;

4. Collaborative Innovation Center of Seafood Deep Processing, Dalian Polytechnic University, Dalian 116034, China)

**Abstract:** *Scomber japonicus* is an important fishery resource in China, with high nutritional value, developed endogenous enzymes in the body, and rich histidine in protein. However, it is prone to deterioration if not treated in time after capture, resulting in low processing availability. In order to solve the problem of quality deterioration of *Scomber japonicus* after capture and to better meet consumers' demand for high-quality *S. japonicus* products, domestic and foreign researchers have adopted low-temperature preservation technologies such as partial freezing, controlled freezing-point storage temperature storage, frozen storage, cold seawater and slurry ice, as well as low-temperature preservation auxiliary technologies such as adding preservative, coating preservation, electrolyzed water, applied electric field device, dielectric barrier discharge atmospheric cold plasma and high pressure treatment to control the quality of *S. japonicus* resources, and have studied the factors causing *S. japonicus* spoilage. The results showed that although the low-temperature preservation technology could achieve the purpose of controlling the deterioration of quality and extending the shelf life of *S. japonicus* products to a certain extent, the preservation effect of these technologies alone was not ideal. The addition of low-temperature preservation auxiliary technology could not only effectively extend the shelf life of *S. japonicus* products, but also maintained the flavor and sensory characteristics of products to a certain extent. However, *S. japonicus* is still affected by multiple factors such as endogenous enzymes, microorganisms, and oxidation in *S. japonicus*, which will lead to spoilage. The research shows that it is necessary to fully understand the causes of spoilage in *S. japonicus* and take targeted preservation measures to curb the occurrence of spoilage. In this paper, the research progress of low-temperature preservation technologies of *S. japonicus* and their auxiliary technologies are systematically reviewed, and the factors of spoilage of *S. japonicus* are summarized, providing a reference basis for effective quality control and high value utilization of *S. japonicus* resources.

**Key words:** *Scomber japonicus*; low-temperature preservation; spoilage; quality control; shelf life

**Corresponding author:** LÜ Fei. E-mail: [foodsensory@126.com](mailto:foodsensory@126.com)

**Funding projects:** Natural Science Foundation of Zhejiang Province (LQ22C200015)