

文章编号: 1674-5566(2020)03-0467-07

DOI:10.12024/j.sou.20190602697

## 气调包装复合保鲜技术在水产品保鲜中的应用现状

谢 晶<sup>1,2,3,4</sup>, 李沛昀<sup>1,2,3,4</sup>, 梅 俊<sup>1,2,3,4</sup>

(1. 上海水产品加工及贮藏工程技术研究中心, 上海 201306; 2. 上海冷链装备性能与节能评价专业技术服务平台, 上海 201306; 3. 上海海洋大学 食品科学与工程国家级实验教学示范中心, 上海 201306; 4. 上海海洋大学 食品学院, 上海 201306)

**摘 要:** 水产品营养价值高, 含有多种氨基酸、不饱和脂肪酸、矿物质等营养素而脂肪含量相对较低, 深受人们喜爱, 也是中国居民膳食指南中的重要组成部分。水产品中由于水分、蛋白质等成分含量丰富, 极易在微生物和内源酶的作用下发生蛋白质、脂肪等的降解或氧化而腐败变质, 从而缩短了货架期, 降低了商业价值。气调包装保鲜技术是指通过使用高阻隔性能的复合包装材料, 并调整食品贮藏环境中的气体组成来改善食品贮藏品质并延长货架期的技术, 因其安全性高、保鲜效果好而被广泛应用于水产品保鲜领域中, 本文总结了近几年气调包装复合其他保鲜技术(低温、紫外杀菌、臭氧处理、超高压处理、化学保鲜剂、生物保鲜剂)在水产品保鲜领域中的应用, 旨在为气调包装在水产品保鲜中的进一步应用提供理论依据。已有的研究表明该复合技术能有效地降低水产品贮藏末期微生物总数、挥发性盐基氮、三甲胺、生物胺等指标, 并维持较高的感官评分、水分含量、鲜度值, 可有效延长水产品的货架期, 未来可以从气调包装复合保鲜技术的抑菌机理、理化指标变化机理、包装材料及模式等方面展开深入研究。

**关键词:** 水产品; 气调包装; 复合保鲜技术; 货架期

**中图分类号:** S 983      **文献标志码:** A

鱼虾类不仅肉质鲜嫩, 风味独特, 还富含多种优质蛋白质、不饱和脂肪酸、矿物质等营养素, 具有极高的营养价值, 深受人们喜爱, 也是中国居民膳食指南中的重要组成部分<sup>[1]</sup>。但由于其水分和蛋白质等营养物质含量高, 贮藏期间在外源微生物和内源酶的作用下极易腐败变质, 商业价值迅速下降<sup>[2]</sup>, 所以高效的保鲜技术对于水产行业至关重要。目前水产品的保鲜技术主要分为三大类: 物理、化学和生物保鲜技术, 而物理保鲜技术中的气调包装保鲜是一种安全性高、操作简单、效果显著的保鲜技术, 已被广泛应用于水产品保鲜领域<sup>[3]</sup>。

气调包装保鲜(modified atmosphere packaging, MAP)技术是指通过使用高阻隔性能的包装材料, 将 CO<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>、N<sub>2</sub> 等气体按预定比例充入食品包装容器中达到抑制微生物生长繁殖、阻止酶促反应和减缓氧化速率的目的, 实现对产品

保鲜、保色、保味等效果<sup>[1,3]</sup>。新时代健康绿色的生活理念已深入人心, 消费者也愈加追求少添加、更天然的食品, 因此气调包装食品越来越受到人们的欢迎, 但单一的气调包装保鲜技术无法满足食品贮藏保鲜行业的需求, 因此各种气调包装复合保鲜技术层出不穷, 可充分结合每种单一保鲜技术的优势, 获得更佳的保鲜效果。本文总结近几年应用于水产品中的气调包装复合保鲜技术, 并对其未来发展趋势提出见解。

### 1 气调保鲜技术原理及存在的问题

在实际应用中, 针对不同水产品常采用不同混合比例的 CO<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>、N<sub>2</sub> 等气体充注, 气体组成的选择主要根据产品微生物菌群的生长特性、对 CO<sub>2</sub>、O<sub>2</sub> 等气体的敏感性、颜色稳定性等因素<sup>[3]</sup>。CO<sub>2</sub> 是水产品 MAP 保鲜中的主要抑菌因子, 在水和脂肪中有较高的溶解度, 能降低产品表面 pH,

收稿日期: 2019-06-09      修回日期: 2019-07-21

基金项目: 2018 年江苏省农业科技自主创新资金项目(CX[18]2009); 农业农村部海水鱼产业体系(CARS-47)

作者简介: 谢 晶(1968—), 女, 教授, 博士, 研究方向为水产品贮运与保鲜。E-mail: jxie@shou.edu.cn

从而抑制细菌和真菌等微生物的繁殖,一定范围内  $\text{CO}_2$  抑菌能力与产品中溶解的  $\text{CO}_2$  体积分数成正比<sup>[4]</sup>。研究<sup>[5-6]</sup>表明:25%~100%浓度范围的  $\text{CO}_2$  含量均可抑制微生物的生长繁殖,但应避免因高含量  $\text{CO}_2$  在产品组织中溶解导致包装塌陷、汁液损失升高、产生酸腐味或金属味等不良气味的问题。 $\text{O}_2$  也是气调包装中的关键组分之一,能促进需氧菌而抑制大多数厌氧菌的生长<sup>[5]</sup>,不同比例的  $\text{O}_2$  会对水产品贮藏期间的品质产生不同的影响:高含量的  $\text{O}_2$  易加剧高脂水产品的氧化酸败,产生不良气味,因此为延缓高脂水产品的氧化酸败,通常在气调包装中添加少量或不添加  $\text{O}_2$ ;同时  $\text{O}_2$  含量较高易引起蛋白质分子间交联,会降低肉品的嫩度与多汁性,还将造成必需氨基酸含量减少并影响消化吸收<sup>[3,7]</sup>;  $\text{O}_2$  对于红肉鱼的色泽也有较大的影响,较低的氧气含量会促进肌红蛋白转化为高铁肌红蛋白,导致产品的色泽由鲜红色转变为红褐色;此外,有文献<sup>[8]</sup>证明水产品在低温、低  $\text{O}_2$  含量的情况下有产生肉毒杆菌毒素的危险,威胁人体健康。 $\text{N}_2$  是一种无色无味的惰性气体,对于水产品的贮藏品质影响微小,常被添加作为气调包装中的填充气体,以  $\text{N}_2$  置换包装中的  $\text{O}_2$ ,可以抑制需氧微生物的生长并延缓水产品的氧化酸败;对于  $\text{CO}_2$  含量较高的气调包装, $\text{N}_2$  的适量添加可以减少包装塌陷问题<sup>[9]</sup>。 $\text{CO}$  也常作为部分产品气调包装中气体组分,能与肌红蛋白结合产生一氧化碳结合肌红蛋白,使肉品呈鲜红色,同时还具有抑菌和抗氧化作用,有研究表明气体组分中  $\text{CO}$  浓度达到 10% 或更高时才能对微生物生长起到有效抑制作用,低于 1% 时的抑菌作用很小,但是不适当的  $\text{CO}$  添加及后续处理将导致  $\text{CO}$  在水产品中的残留量超标,易危害  $\text{CO}$  高敏人群的健康,同时  $\text{CO}$  的良好发色作用易误导消费者食用品质劣变的食物,产生安全隐患<sup>[10]</sup>。

## 2 气调包装复合其他物理保鲜技术

物理保鲜技术是食品贮藏保鲜领域常用的保鲜技术,其无毒无害安全性高的特点广为大众接受,在水产保鲜领域中,常用的物理保鲜技术主要包括气调包装、低温贮藏、紫外杀菌、辐照杀菌、臭氧杀菌、超声波、脉冲电场和超高压处理等<sup>[11]</sup>。

### 2.1 气调包装与低温贮藏复合保鲜技术

低温保鲜包括冷藏、冰温贮藏、微冻贮藏和冻藏,通过降低微生物体内与代谢相关的酶活性、延缓水产品中蛋白质降解、降低脂肪氧化速率等达到保鲜目的<sup>[12]</sup>。贮藏温度直接影响了水产品劣变速度,是影响气调保鲜效果的最关键因素,所以气调保鲜常与低温技术联用。KUULIALA 等<sup>[13]</sup>将气调包装后的大西洋鳕鱼分别贮藏于 4℃ 和 8℃,结果显示贮藏于 8℃ 的鳕鱼中嗜冷菌、乳酸菌、产  $\text{H}_2\text{S}$  菌、假单胞菌等微生物指标显著高于 4℃ 样品,pH、2,3-丁二醇等挥发性化合物在贮藏末期也相对较高,表明气调包装结合 4℃ 低温更有利于保持大西洋鳕鱼的品质。吴燕燕等<sup>[14]</sup>研究了经气调包装的调理啤酒鲈鱼片在 4℃ 和 -3℃ 低温条件下的品质变化规律,结果表明空气包装组货架期在 4℃ 和 -3℃ 条件下分别可达 4 d 和 35 d,而气调包装组分别可达 12 d 和 50 d,说明气调包装能显著延缓调理啤酒鲈鱼片的品质劣变速度,而结合 -3℃ 的低温条件效果更佳。ZHU 等<sup>[15]</sup>将高含量  $\text{CO}_2$  气调包装的鲈鱼分别贮藏于 -0.7℃ 和 4℃,研究表明气调包装组能有效延缓鲈鱼核苷酸、蛋白质的降解,降低三甲胺的产生速率等,而 -0.7℃ 条件下的鲈鱼与 4℃ 相比,嗜温菌与嗜冷菌总数在贮藏末期皆处于显著较低水平,挥发性盐基氮、鲜度值、三甲胺等指标协同证明了 -0.7℃ 包装组能够更有效地保持鲈鱼的品质,延长货架期至 19 d。WANG 等<sup>[16]</sup>将  $\text{CO}$  气调包装后的罗非鱼片贮藏于 4℃ 低温,实验证明气调包装结合低温贮藏的罗非鱼片相较于真空组拥有更高的红度值,滴水损失率和挥发性盐基氮含量显著较低,贮藏 15 d 后,低温气调包装组的罗非鱼片中硝酸盐含量仍低于国家标准最大允许限量,降低了食品安全风险。大部分研究证明温度相对较低时气调保鲜效果更好,但低温结合气调如何协同影响微生物生长繁殖,以及是否存在某一温度节点,能够最大化地改善气调包装效果又可减少降温造成的资源消耗等问题,仍有待于进一步研究。

### 2.2 气调包装与紫外杀菌复合保鲜技术

紫外杀菌 (ultraviolet sterilization, UV sterilization) 是食品加工领域常用的一种杀菌技术,短波紫外光 (ultraviolet-C, UV-C) 被证明是最有效的杀菌波长,通过灭活食品表面的致病菌和

致腐菌来提高食品的安全性并延长货架期。UV-C 照射微生物时使其细胞内的核酸类物质受损,蛋白质和酶类物质的合成因此发生障碍,导致菌体结构、功能破坏,从而达到杀菌消毒效果<sup>[17-20]</sup>。这种冷杀菌技术具有操作简单、成本低、无化学或放射性残留、营养流失少等优点,因而常用于食品杀菌处理。RODRIGUES 等<sup>[20]</sup>研究了气调包装结合 UV-C 复合保鲜技术对虹鳟鱼片冷藏品质的影响,气调组和气调复合 UV-C 组菌落总数均在第 11 d 时超过国际食品微生物规范委员会<sup>[21]</sup>规定的最大限量  $10^7$  lg CFU/g,货架期延长了 6 d,在分析微生物生长参数数据时发现,气调复合 UV-C 组中嗜温菌群有滞后期形成,而气调组未观察到,表明气调复合 UV-C 技术可以通过影响微生物群体的滞后期进而延长虹鳟鱼片的保质期。紫外照射在一定范围内可有效杀灭食品表面微生物,但不同产品的最佳照射剂量差异较大<sup>[22]</sup>,气调包装结合紫外杀菌对不同产品最佳条件的影响规律研究甚少,此外,不同微生物对紫外线的抵抗力不同,受紫外杀菌影响的微生物在气调包装中的生长参数如何变化,是否可以根据某种菌群滞后期预测货架期等方面仍值得探究。

### 2.3 气调包装与臭氧杀菌复合保鲜技术

臭氧是一种强氧化剂,作为安全高效的杀菌剂可直接改变微生物细胞膜的通透性,破坏细胞膜结构,最终导致微生物新陈代谢紊乱从而达到杀菌目的。因臭氧在使用后具有无污染无残留等优点已被广泛应用于食品保鲜领域,如果蔬、谷物、乳制品等,而针对水产保鲜的研究也日益增加<sup>[23-27]</sup>。GONÇALVES 等<sup>[27]</sup>对臭氧处理后的南美白对虾进行了气调包装贮藏,在贮藏第 3 天时,空气组、臭氧组的样品已相继出现黑变,而气调结合臭氧组样品还未发生黑变,综合总嗜冷菌、总嗜温菌、挥发性盐基氮、三甲胺等指标得出气调结合臭氧组的货架期由 11 d 延长至 24 d,证明该复合处理可以有效降低南美白对虾冷藏期间黑变病指数和微生物数量,保持更好的感官品质与理化指标。BONO 等<sup>[28]</sup>研究了臭氧处理后进行气调包装的红鲮鱼在  $-1$  °C 贮藏期间微生物、理化、感官指标的变化,空气组的感官评分在第 7 天时达到了可接受的极限值,而气调结合臭氧组在第 10 天时达到该值,证明气调包装结合臭氧杀菌技术可有效延长红鲮鱼的冷藏货架期。

在实际水产品的保鲜中,臭氧具有显著的保鲜效果,但由于其具有强氧化性易使部分有机化合物氧化,氧化产物的安全性研究尚浅,气调包装结合臭氧的协同作用机理也有待于进一步深入研究。

### 2.4 气调包装与超高压处理复合保鲜技术

超高压 (ultra-high pressure, UHP) 技术是食品加工领域的一种冷处理技术,通常以水等液体作为媒介,并将食品物料置于  $100 \sim 1\,000$  MPa 的高压环境下进行处理,使微生物体内的蛋白质变性及相关酶失活,最终导致微生物死亡,从而达到杀菌目的。超高压技术因其便捷高效、安全无毒、环保无污染等优点而在水产保鲜领域发展迅速<sup>[29-30]</sup>。谢晶等<sup>[31]</sup>研究了气调包装结合超高压处理对  $4$  °C 冷藏带鱼品质的影响,结果显示超高压处理结合真空贮藏仅延长带鱼的货架期至 11 d,而超高压处理后结合气调包装的保鲜效果更加显著,其中  $60\% \text{CO}_2 + 7\% \text{O}_2 + 33\% \text{N}_2$  组效果最佳,可延长货架期至 19 d。AMANATIDOU 等<sup>[32]</sup>研究了气调包装结合超高压处理对  $5$  °C 冷藏鲑鱼品质的影响,与未经高压处理的真空包装组相比,经 150 MPa 处理后真空组样品的货架期延长了 2 d,单独气调包装组延长了 4 d,而气调包装结合超高压处理组延长了 14 d,微生物生长受到了显著的抑制。但需要注意的是超高压处理极易破坏产品自身蛋白质结构,同时色泽、透明度等外观形态也会发生明显改变,呈现出熟化状态,易影响消费者的品评,所以如何在避免这些问题的同时保证杀菌效果值得进一步探究。

### 3 气调包装与化学保鲜剂复合保鲜技术

化学保鲜法是将化学保鲜剂添加于食品中或应用于食品表面,以达到杀菌或抑菌的目的,从而延长食品的货架期。常用的化学保鲜剂有杀菌剂、抗氧化剂等类型,因其具有用量少而效果好、成本低廉等优点,也是水产品保鲜领域中较常用的一种技术手段<sup>[33-34]</sup>。THEPNUAN 等<sup>[35]</sup>将焦磷酸盐和 4-己基间苯二酚浸泡处理后的南美白对虾进行了气调包装,并探究其在  $4$  °C 冷藏时品质变化情况。研究证明了气调包装结合化学保鲜剂组的各理化指标显著优于空气对照组,可有效延缓白对虾冷藏期间品质的劣变。THIANSILAKUL 等<sup>[36]</sup>研究了单宁酸和咖啡酸浸

泡处理并结合气调包装对金枪鱼片冷藏期间品质的影响,研究表明,贮藏末期气调包装结合两种酚类化合物的样品红度值、过氧化值和微生物总数等指标显著优于对照组,而单宁酸表现出了更好的效果,样品货架期由6 d延长至了12 d。ZHANG等<sup>[37]</sup>研究了气调包装结合微酸性电解水减菌化处理对南美白对虾冻藏(-18℃)品质的影响,与对照组相比,该复合处理组样品的质地与色泽始终优于对照组,挥发性盐基氮、三甲胺、硫代巴比妥酸值等指标也协同证明了气调包装结合微酸性电解水处理可有效维持虾肌肉物理结构和色泽的稳定性,更好地保持了南美白对虾的冻藏品质。化学保鲜剂强抑菌抗氧化等特性使其保鲜效果良好,但若残留量过多易对身体健康造成危害,所以未来可对化学保鲜剂安全性以及替代等方面展开深入研究。

#### 4 气调包装与生物保鲜剂复合保鲜技术

生物保鲜剂是指从动物、植物或微生物中直接提取的,或者采用生物工程技术改造后所获得的应用于食品保鲜的自身组成成分或代谢产物,主要分为动物源(壳聚糖、抗菌肽、溶菌酶等)、植物源(茶多酚、魔芋葡甘聚糖、香辛料等)和微生物源(乳酸链球菌素、ε-聚赖氨酸等)<sup>[38-42]</sup>。张涵等<sup>[43]</sup>研究了聚赖氨酸与海藻酸钠复合涂膜协同气调包装对金鲳鱼冷藏品质变化的影响,研究证明聚赖氨酸复合涂膜协同气调包装能有效延缓金鲳鱼在冷藏期间品质劣变的速度,货架期由2 d延长至9 d。QIAN等<sup>[44]</sup>使用复合生物保鲜剂(0.05 g/L 槲皮素,0.025 g/L 4-己基间苯二酚,0.05 g/L 肉桂酸)浸泡南美白对虾后进行了气调包装,研究显示气调包装组延缓了大部分生物胺(除酪胺外)和嗜冷菌数的增加,而复合保鲜剂组同时能有效地抑制酪胺的大量积累,在白对虾贮藏末期,气调包装结合复合保鲜剂组的总生物胺产生量和菌落总数最低。鞠健等<sup>[45]</sup>研究了气调包装结合0.2%茶多酚涂膜处理对冷藏鲈鱼品质变化的影响,该处理可显著降低冷藏期间鲈鱼的菌落总数、硫代巴比妥酸值、挥发性盐基氮等指标,鲜度值与感官评分显著优于对照组。MESSINA等<sup>[46]</sup>研究了天然抗氧化剂结合气调包装对鳕鱼脂质氧化和保质期的影响,以盐节木提取物做抗氧化剂(antioxidant, AOX)进行浸泡

处理,在-1℃条件下贮藏18 d后,三组样品的n-3多不饱和脂肪酸含量皆呈下降趋势,而气调结合AOX组下降趋势显著小于空气组和气调组,过氧化值和丙二醛的变化同样证明气调包装结合AOX处理可有效提高鳕鱼的抗脂质过氧化能力,进而延长其保质期。DUAN等<sup>[47]</sup>对鳕鱼片进行壳聚糖-磷虾油涂层和气调包装并贮藏于2℃,结果表明,气调结合保鲜剂处理的鳕鱼片贮藏末期的挥发性盐基氮含量和菌落总数皆显著低于空气对照组,货架期由5 d延长至10 d。生物保鲜剂安全性高、效果极为显著,但目前对其抑菌机理研究比较局限,分子层面研究较少,未来可根据不同生物保鲜剂特性与气调包装进行针对性复合,并深入探究其复合保鲜抑菌机理,根据菌相变化的差异提出匹配的保鲜方案。

#### 5 总结与展望

气调包装中CO<sub>2</sub>是起保鲜作用的主要气体,目前对其抑菌原理有多种推测,例如CO<sub>2</sub>直接影响了产品蛋白质的理化性质,CO<sub>2</sub>溶于组织改变了产品pH进而影响了微生物生长等<sup>[48]</sup>,而气调包装复合其他保鲜技术后的协同抑菌机理尚未做更多深入研究,CO<sub>2</sub>的保鲜作用与复合技术的相互作用关系、如何共同影响产品的品质有待进一步明确;气调包装复合其他保鲜技术中的变量(气体比例、贮藏温度、气体填充量、紫外光强、臭氧浓度、压强等)与水产品中微生物生长模型的关系研究较少,例如气调包装结合紫外线处理可以影响虹鳟鱼片中微生物滞后期<sup>[20]</sup>,该结论是否具有客观普遍性,是否可以根据某种菌群滞后期预测货架期等方面仍值得探究;臭氧的氧化产物、化学保鲜剂残留等在气调包装贮藏过程中是否会受到气体组分的影响及如何变化,如何精准控制其残留浓度保证产品的安全;如何保证超高压杀菌效果的同时又能保持产品自身蛋白质结构及良好的感官品质;CO<sub>2</sub>溶解、微生物新陈代谢、内源酶降解对样品pH变化的影响机理有待探究;常规气调包装袋中的气体浓度在贮藏一段时间后会明显变化,如何根据不同保鲜原料、气体组分及浓度设计最佳透气比的气调包装袋,可供商家针对性选用并有效提高气调包装的效果;气调包装袋充气后形状不规整,会造成贮藏空间的浪费,如何设计一些可根据产品规格任意

调整体积大小、堆积力较小、低成本的气调包装盒。这些都是工业界面临的挑战。

### 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 filets[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2017, 99: 499-505.
- [2] 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.
- [3] DEWITT C A M, OLIVEIRA A C M. Modified atmosphere systems and shelf life extension of fish and fishery products [J]. Foods, 2016, 5(3): E48.
- [4] HUANG Y R, SHIAU C Y, HUNG Y C, et al. Change of hygienic quality and freshness in tuna treated with electrolyzed water and carbon monoxide gas during refrigerated and frozen storage[J]. Journal of Food Science, 2006, 71(4): M127-M133.
- [5] SIVERTSVIK M, JEKSRUD W K, ROSNES J T. A review of modified atmosphere packaging of fish and fishery products-significance of microbial growth, activities and safety [J]. International Journal of Food Science and Technology, 2002, 37(2): 107-127.
- [6] SONE I, OLSEN R L, SIVERTSEN A H, et al. Classification of fresh Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) filets stored under different atmospheres by hyperspectral imaging[J]. Journal of Food Engineering, 2012, 109(3): 482-489.
- [7] CAMPOS C A, GERSCHENSON L N, FLORES S K. Development of edible films and coatings with antimicrobial activity[J]. Food and Bioprocess Technology, 2011, 4(6): 849-875.
- [8] 翁丽萍, 钟立人, 戴志远. 国内外鱼和鱼制品的气调保鲜研究[J]. 食品与机械, 2006, 22(3): 160-163.  
WENG L P, ZHONG L R, DAI Z Y. A review of modified atmosphere packaging of fish and fishery products at home and abroad[J]. Food and Machinery, 2006, 22(3): 160-163.
- [9] 王维婷, 王守经, 肖欣欣, 等. 新型高阻隔气调包装膜对冷鲜羊肉的保鲜作用研究[J]. 肉类工业, 2018, (12): 37-41.  
WANG W T, WANG S J, XIAO X X, et al. Study on the preservation effect of new high barrier modified atmosphere packaging membrane on chilled mutton[J]. Meat Industry, 2018, (12): 37-41.
- [10] 岑剑伟, 李来好, 杨贤庆, 等. 一氧化碳在水产品中的应用技术及其安全性分析[J]. 食品工业科技, 2010, 31(4): 381-386.  
CEN J W, LI L H, YANG X Q, et al. Technological and toxicological study of the carbon monoxide used in fishery product [J]. Science and Technology of Food Industry, 2010, 31(4): 381-386.
- [11] PROFESSO Z B. Chapter 16-spoilage and preservation of foods [M]//BERK Z. Food Process Engineering and Technology. Amsterdam: Academic Press, 2013.
- [12] 谢 晶, 盛开, 励建荣. 花鲈保鲜技术的研究进展[J]. 上海海洋大学学报, 2019, 28(6): 983-993.  
XIE J, SHENG K, LI J R. Research progress on preservation technology of *Lateolabrax maculatus* [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2019, 28(6): 983-993.
- [13] KUULIALA L, AI HAGE Y, IOANNIDIS A G, et al. Microbiological, chemical and sensory spoilage analysis of raw Atlantic cod (*Gadus morhua*) stored under modified atmospheres[J]. Food Microbiology, 2018, 70: 232-244.
- [14] 吴燕燕, 朱小静, 李来好, 等. 比较调理啤酒鲈鱼片在不同贮藏条件下的品质变化[J]. 食品科学, 2018, 39(11): 214-220.  
WU Y Y, ZHU X J, LI L H, et al. Comparison of quality changes of prepared beer bass fillet under different storage conditions[J]. Food Science, 2018, 39(11): 214-220.
- [15] ZHU Y C, MA L Z, YANG H, et al. Super-chilling (-0.7 °C) with high-CO<sub>2</sub> packaging inhibits biochemical changes of microbial origin in catfish (*Clarias gariepinus*) muscle during storage[J]. Food Chemistry, 2016, 206: 182-190.
- [16] WANG Z C, YAN Y Z, FANG Z X, et al. Application of nitric oxide in modified atmosphere packaging of tilapia (*Oreochromis niloticus*) filets[J]. Food Control, 2019, 98: 209-215.
- [17] 邵子航, 李兴民. 气调包装、清洗涂膜及紫外杀菌处理对鸡蛋品质影响的比较分析[J]. 食品科技, 2019, 44(1): 73-79.  
SHAO Z H, LI X M. Effect of modified atmosphere packaging, cleaning coating and ultraviolet sterilization on egg quality[J]. Food Science and Technology, 2019, 44(1): 73-79.
- [18] HOLCK A L, LILAND K H, DROMTORP S M, et al. Comparison of UV-C and pulsed UV light treatments for reduction of *Salmonella*, *Listeria monocytogenes* and enterohemorrhagic *Escherichia coli* on eggs [J]. Journal of Food Protection, 2018, 81(1): 6-16.
- [19] MCLEOD A, LILAND K H, HAUGEN J E, et al. Chicken fillets subjected to UV-C and pulsed UV light: reduction of pathogenic and spoilage bacteria, and changes in sensory quality[J]. Journal of Food Safety, 2018, 38(1): e12421.
- [20] RODRIGUES B L, DA SILVEIRA A T, SAMPAIO G S L, et al. Influence of vacuum and modified atmosphere packaging in combination with UV-C radiation on the shelf life of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) filets [J]. Food Control, 2016, 60: 596-605.
- [21] International Commission on Microbiological Specifications for Foods (ICMSF). Microorganisms in foods 6: microbial

- ecology of food commodities[M]. Gaithersburg, MD: Aspen Publishers, Inc, 1998.
- [22] 刘晓燕, 兰维杰, 黄文部, 等. 鲜切果蔬非氯杀菌技术研究进展[J]. 基因组学与应用生物学, 2017, 36(9): 3912-3918.
- LIU X Y, LAN W J, HUANG W B, et al. Research progress of non-hlorine sterilization technology on fresh-cut fruits and vegetables[J]. Genomics and Applied Biology, 2017, 36(9): 3912-3918.
- [23] ZHU F. Effect of ozone treatment on the quality of grain products[J]. Food Chemistry, 2018, 264: 358-366.
- [24] GONCALVES A A. Ozone as a safe and environmentally friendly tool for the seafood industry[J]. Journal of Aquatic Food Product Technology, 2016, 25(2): 210-229.
- [25] TZORTZAKIS N, CHRYSARGYRIS A. Postharvest ozone application for the preservation of fruits and vegetables[J]. Food Reviews International, 2017, 33(3): 270-315.
- [26] GRANELLA S J, CHRIST D, WERNCKE I, et al. Effect of drying and ozonation process on naturally contaminated wheat seeds[J]. Journal of Cereal Science, 2018, 80: 205-211.
- [27] GONÇALVES A A, SANTOS T C L. Improving quality and shelf-life of whole chilled Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) by ozone technology combined with modified atmosphere packaging[J]. LWT, 2019, 99: 568-575.
- [28] BONO G, BADALUCCO C. Combining ozone and Modified Atmosphere Packaging (MAP) to maximize shelf-life and quality of striped red mullet (*Mullus surmuletus*) [J]. LWT, 2012, 47(2): 500-504.
- [29] LOIRA I, MORATA A, BANUELOS M A, et al. Use of Ultra-High Pressure Homogenization processing in winemaking: Control of microbial populations in grape musts and effects in sensory quality[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2018, 50: 50-56.
- [30] RODARTE D, ZAMORA A, TRUJILLO A J, et al. Effect of ultra-high pressure homogenization on cream: shelf life and physicochemical characteristics[J]. LWT, 2018, 92: 108-115.
- [31] 谢晶, 杨茜, 张新林, 等. 超高压技术结合气调包装保持冷藏带鱼品质[J]. 农业工程学报, 2015, 31(12): 246-252.
- XIE J, YANG Q, ZHANG X L, et al. High hydrostatic pressure treatment combined with modified atmosphere package keeping quality characteristic of *Trichiurus lepturus* during cold storage[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(12): 246-252.
- [32] AMANATIDOU A, SCHLÜTER O, LEMKAU K, et al. Effect of combined application of high pressure treatment and modified atmospheres on the shelf life of fresh Atlantic salmon [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2000, 1(2): 87-98.
- [33] 蒋奕, 俞龙浩. 保鲜技术在鱼制品中的应用[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(18): 219-224.
- JIANG Y, YU L H. Application of preservation technology in fish products[J]. Food Research and Development, 2018, 39(18): 219-224.
- [34] JULIO C, KARINA P, GISELDA B, et al. The use of chloride, citric and ascorbic acid dip and packaged film to extend the shelf life of pejerrey (*Odonthestes bonaerensis*) during storage at different temperatures [J]. Food and Nutrition Sciences, 2014, 5(15): 1506-1520.
- [35] THEPNUAN R, BENJAKUL S, VISESSANGUAN W, et al. Effect of pyrophosphate and 4-hexylresorcinol pretreatment on quality of refrigerated white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) kept under modified atmosphere packaging [J]. Journal of Food Science, 2010, 73(3): S124-S133.
- [36] THIANSILAKUL Y, BENJAKUL S, RICHARDS M P. Effect of phenolic compounds in combination with modified atmospheric packaging on inhibition of quality losses of refrigerated Eastern little tuna slices[J]. LWT-Food Science and Technology, 2013, 50(1): 146-152.
- [37] ZHANG B, MA L K, DENG S G, et al. Shelf-life of pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) as affected by weakly acidic electrolyzed water ice-glazing and modified atmosphere packaging[J]. Food Control, 2015, 51: 114-121.
- [38] 单珂, 郭全友, 姜朝军, 等. 生物保鲜剂在水产品保鲜中的应用[J]. 食品与发酵科技, 2018, 54(3): 4-8.
- SHAN K, GUO Q Y, JIANG C J, et al. The application of biopreservatives in preservation of aquatic products[J]. Food and Fermentation Sciences & Technology, 2018, 54(3): 4-8.
- [39] PERINELLI D R, FAGIOLI L, CAMPANA R, et al. Chitosan-based nanosystems and their exploited antimicrobial activity[J]. European Journal of Pharmaceutical Sciences, 2018, 117: 8-20.
- [40] KHAN I, OH D H. Integration of nisin into nanoparticles for application in foods [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2016, 34: 376-384.
- [41] HASSOUN A, ÇOBAN Ö E. Essential oils for antimicrobial and antioxidant applications in fish and other seafood products [J]. Trends in Food Science & Technology, 2017, 68: 26-36.
- [42] 周道志, 曾凤仙. 关于生物保鲜剂在水产品保鲜中的应用分析[J]. 江西水产科技, 2018(3): 47-49.
- ZHOU D Z, ZENG F X. Application analysis of biological preservative in aquatic product preservation [J]. Jiangxi Fishery Science and Technology, 2018(3): 47-49.
- [43] 张涵, 徐高原, 冯爱国, 等. 聚赖氨酸复合涂膜协同气调包装对金鲳鱼保鲜作用研究[J]. 食品科技, 2018, 43(11): 166-171.
- ZHANG H, XU G Y, FENG A G, et al. Combined preservation effects of polylysine composite coating with modified atmospheric packaging on *Trachinotus ovatus* [J]. Food Science and Technology, 2018, 43(11): 166-171.
- [44] QIAN Y F, YANG S P, YE J X, et al. Effect of quercetin-

- containing preservatives and modified atmospheric packaging on the production of biogenic amines in Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) [J]. *Aquaculture and Fisheries*, 2018, 3(6): 254-259.
- [45] 鞠健, 乔宇, 汪兰, 等. 茶多酚结合气调包装对冷藏鲈鱼品质的研究[J]. *食品研究与开发*, 2016, 37(22): 173-178.
- JU J, QIAO Y, WANG L, et al. Effect of tea polyphenols combining with modified atmosphere packaging on weever quality during cold storage [J]. *Food Research and Development*, 2016, 37(22): 173-178.
- [46] MESSINA C M, BONO G, RENDA G, et al. Effect of natural antioxidants and modified atmosphere packaging in preventing lipid oxidation and increasing the shelf-life of common dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) fillets [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2015, 62(1): 271-277.
- [47] DUAN J Y, JIANG Y, CHERIAN G, et al. Effect of combined chitosan-krill oil coating and modified atmosphere packaging on the storability of cold-stored lingcod (*Ophiodon elongates*) fillets [J]. *Food Chemistry*, 2010, 122(4): 1035-1042.
- [48] BOULETIS A D, ARVANITOYANNIS I S, HADJICHRISTODOULOU C. Application of modified atmosphere packaging on aquacultured fish and fish products: a review[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2017, 57(11): 2263-2285.

## Progress on modified atmosphere packaging technology combined with other methods in preservation of aquatic products

XIE Jing<sup>1,2,3,4</sup>, LI Peiyun<sup>1,2,3,4</sup>, MEI Jun<sup>1,2,3,4</sup>

(1. Shanghai Engineering Research Center of Aquatic Product Processing and Preservation, Shanghai 201306, China; 2. Shanghai Professional Technology Service Platform on Cold Chain Equipment Performance and Energy Saving Evaluation, Shanghai 201306, China; 3. National Experimental Teaching Demonstration Center for Food Science and Engineering, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 4. College of Food Sciences and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** Aquatic products, important components in dietary guidelines for Chinese residents, are well known for their multiple amino acids, unsaturated fatty acids, minerals and other nutrients as well as lower fat content. Due to the rich content of water, protein and other components, it is easy to degrade or oxidize proteins and fats in aquatic products under the action of microorganisms and endogenous enzymes, thus reducing the shelf life and commercial value. The modified atmosphere packaging technology, which refers to the technology to improve the storage quality of food and extend its shelf life by using composite packaging materials with high barrier performance and adjusting the gas composition in the food storage environment, is widely used in the field of aquatic products preservation due to its safety and efficiency. This article summarized the application of modified atmosphere packaging technology combined with other preservative methods (low temperature, ultraviolet sterilization, ozone processing, ultra-high pressure, chemical and biological preservatives) and provided theoretical basis for the further application of the combination methods in aquatic products. These methods can effectively extend the shelf life of aquatic products because of reducing of the microbiological and physicochemical indicators such as the total viable counts, total volatile basic nitrogen, trimethylamine nitrogen, and the maintenance of sensory score, water-holding capacity and freshness. In addition, various research directions in further study were prospected especially on the aspects of bacteriostatic mechanism, changing mechanism of physicochemical indexes, packaging materials and models.

**Key words:** aquatic product; modified atmosphere packaging (MAP); compound preservation; shelf-life