

贝类生物保鲜技术研究进展

郝恩瑞, 柴春祥*

(天津商业大学生物技术与食品科学学院, 天津市食品生物技术重点实验室, 天津 300134)

摘 要: 贝类产品味道鲜美, 营养蛋白质含量丰富, 深受消费者的喜爱。贝类产品大多为滤食性动物, 携带有大量的微生物, 易发生腐败变质, 极大地影响了贝类产品品质。与传统的保鲜剂不同, 生物保鲜剂具有安全绿色、无毒无害、易降解等优点已成为当今贝类保鲜领域研究的热点。本文简要总结了贝类产品中的细菌菌相构成及其影响因素, 假单胞菌属和希瓦氏菌是贝类产品的特定腐败菌。综述了乳酸链球菌素、壳聚糖、 ϵ -聚赖氨酸、生物酶等天然保鲜剂对贝类产品品质和货架期的影响, 比较了上述保鲜剂在贝类产品保鲜中的效果差异, 探讨了复配生物保鲜剂和其他技术相结合的保鲜技术在贝类产品保鲜中的应用, 同时展望了未来生物保鲜技术在贝类产品保鲜中应用的研究方向, 以期能为贝类产品的保鲜提供理论参考。

关键词: 贝类; 品质; 生物保鲜; 协同保鲜

Research progress of shellfish biological preservation technology

HAO En-Rui, CHAI Chun-Xiang*

(College of Biotechnology and Food Science, Tianjin Key Laboratory of Food Biotechnology, Tianjin University of Commerce, Tianjin 300134, China)

ABSTRACT: Shellfish products are rich in protein and delicious in taste and are deeply affected by consumers. Shellfish products are prone to spoilage because most of them are filter feeders which carried a large number of microorganisms, which greatly affects the quality of shellfish products. Different from traditional preservation, biological preservatives have the advantages of being safe, green, non-toxic and harmless, and easy to degrade, which has become a hot research topic in the field of shellfish preservation. This paper briefly summarized the bacterial phase composition and its influencing factors in shellfish products. *Pseudomonas* and *Shewanella* were specific spoilage bacteria of shellfish products. This paper reviewed the effects of natural preservatives such as nisin, chitosan, ϵ -polylysine and enzymes on the quality and shelf life of shellfish products, compared the effects of the above preservatives in the preservation of shellfish products and discussed the application of biological preservatives combined with other technologies in the preservation of shellfish. Meanwhile, this paper looked forward to the future research directions of biological preservation technology in the preservation of shellfish, in order to provide theoretical reference for the preservation of shellfish products.

KEY WORDS: shellfish; quality; biological preservation; collaborative preservation

0 引 言

贝类产品营养丰富、肉质细腻、味道鲜美、易于消化,

深受消费者的喜爱。贝类产品在我国水产品中占有重要地位, 主要包括牡蛎、贻贝、蛭、蛤、蚶、螺 6 大类。据《2021 中国渔业统计年鉴》统计数据显示, 2020 年我国贝类总产

*通信作者: 柴春祥, 博士, 教授, 主要研究方向为食品加工与贮藏。E-mail: ccxiang@tjcu.edu.cn

*Corresponding author: CHAI Chun-Xiang, Ph.D, Professor, School of Biotechnology and Food Science & Tianjin University of Commerce, 409 Guangrong Road, Beichen District, Tianjin 300134, China. E-mail: ccxiang@tjcu.edu.cn

量达 1552 万 t, 占水产品总产量的 23%, 仅次于鱼类。同时贝类产品具有很高的经济价值, 其生产和贸易在过去 10 年中呈现了增长趋势, 成为了沿海地区渔民的重要经济来源^[1]。

贝类产品的新鲜程度决定了其品质和市场价值。贝类产品中富含微生物生长繁殖所需要的各种营养物质, 为其自身和外部环境的微生物繁殖提供了有利条件, 所以贝类产品极易发生腐败变质。因此, 控制贝类产品中微生物的生长繁殖, 防止贝类产品腐败变质尤为重要。

目前, 贝类产品的保鲜技术主要有物理法、化学法和生物法。物理法一般采用低温、气调、臭氧、辐照、超高压等, 化学法主要采用化学防腐剂。低温保鲜对于温度的控制要求较高, 细微的温度波动都会影响到产品的品质, 造成经济损失。化学防腐剂在使用过程中的残留问题会危害消费者的身体健康, 同时也容易形成耐药菌群。冷杀菌保鲜技术对设备的要求较高。因此, 研究安全有效的、纯天然的保鲜剂势在必行。生物保鲜技术是指利用生物保鲜剂进行保鲜, 所用到的保鲜剂主要来源于动植物或微生物体内提取或经过分子生物技术改造获得^[2]。生物保鲜剂因安全性、高效性等优势成为水产品保鲜领域研究的重点。

本文介绍了贝类产品特定腐败菌, 比较了不同生物保鲜剂的抑菌效果, 阐述了复配生物保鲜剂和生物保鲜剂与其他保鲜技术结合对贝类产品品质和货架期的影响, 探究了贝类生物保鲜技术的发展前景。

1 贝类产品中的细菌菌相

贝类产品大多为滤食性动物, 皮肤、鳃等部位与海水直接接触, 所以会极易富集大量微生物, 特别是细菌。经

研究发现, 海产鱼贝类中常见的细菌大概有十几种, 但其中只有一部分微生物与贝类产品腐败变质有关, 这种在产品腐败过程中起主导作用的细菌被称为特定腐败菌 (specific spoilage organism, SSO)^[3]。目前已经查明, 在冷藏过程中, 耐冷的革兰氏阴性细菌假单胞菌和希瓦氏菌是鱼、贝类以及甲壳类的特定腐败菌^[4]。总结不同贝类、虾类产品细菌菌相变化(见表 1), 发现不同种类的贝类产品其初始优势菌及占比不同, 同一品种的贝类产品也会因为产地和处理方式的不同, 优势菌及占比发生改变。通过分析不同贝类产品的优势菌及占比可知假单胞菌属、希瓦氏菌和弧菌属是大多数贝类产品主要的优势菌。

2 贝类生物保鲜技术

贝类生物保鲜技术根据作用原理不同可以分为抑菌剂、抗氧化剂、酶制剂等, 其中抑菌剂和酶制剂是目前研究最多的。抑菌剂主要包括乳酸链球菌素、壳聚糖、ε-聚赖氨酸, 酶制剂主要有葡萄糖氧化酶和溶菌酶。目前, 生物保鲜剂主要以复配的方式进行保鲜, 因为两种或多种生物保鲜剂的协同作用所建立的复合生物保鲜剂不仅可以使抑菌、保鲜效果增强, 还可以减少单一保鲜剂的大量使用, 节约成本, 更为安全高效^[11]。

2.1 抑菌生物保鲜剂

抑菌生物保鲜剂是一类可以杀死或者抑制细菌生长的物质, 既可以天然存在也可以人工合成^[12]。贝类产品营养丰富, 为其自身和体外的微生物的生长繁殖提供了有利条件, 导致贝类产品不宜保存。所以, 控制微生物生长繁殖是有效保鲜贝类产品的方法之一。

表 1 不同贝类、虾类产品细菌菌相变化
Table 1 Bacterial phase changes in different shellfish and shrimp products

品种	产地	初始优势菌及占比	处理方式	处理后优势菌及占比	参考文献
太平洋牡蛎	青岛	22.4%假单胞菌属、20%弧菌属	0、5 和 10℃	假单胞菌	[5]
	蓬莱	32%弧菌属、20%假单胞菌属			
	青岛	22.4%假单胞菌属、20%弧菌属	壳聚糖-茶多酚-溶菌酶复配保鲜液	70%乳酸球菌	
底播虾夷扇贝	大连	35%假单胞菌属、25%弧菌属、20%气单胞菌属	微酸性电解水	44.4%假单胞菌属	[6]
牡蛎	青岛	15.7%肠杆菌属、12.9%假单胞菌属	500 MPa、15 min	35.3%希瓦氏菌、26.5%葡萄球菌属	[7]
皱纹盘鲍	青岛	20.3%肠杆菌科、18.3%假单胞菌属	25℃、500 MPa、10 min	39.9%乳杆菌、33.3%葡萄球菌	
印度白对虾	印度科钦	16.09%放线菌、11.5%多食鞘氨醇杆菌	25℃、600 MPa、6 min	11.1%假单胞菌属	[8]
凡纳滨对虾	上海	嗜冷杆菌属、希瓦氏菌属 (自来水冰藏)	微酸性电解水冰藏	嗜冷杆菌属、鞘氨醇单胞菌科	[9]
南美白对虾	宁波	24.58%鞘氨醇单胞菌	壳聚糖-海藻酸钠-乳酸链球菌素、0~4℃	假单胞菌属、嗜冷杆菌属、希瓦氏菌属	[10]

2.1.1 乳酸链球菌素及其复配保鲜剂

乳酸链球菌素(nisin)是由乳酸链球菌通过次级代谢产生的一种小分子抗菌肽,对革兰氏阳性菌(Gram-positive bacteria, G⁺)具有广谱的抑菌性,是一种被国际公认的安全无毒的天然防腐剂。但对于革兰氏阴性菌(Gram-negative bacteria, G⁻)、霉菌以及酵母菌, nisin 的抑菌作用较弱,抑菌范围有限。将 nisin 与 ϵ -聚赖氨酸、溶菌酶、那他霉素等抑菌剂结合使用,可以扩大抑菌范围,提升抑菌效果,进而延长产品的货架期。魏奇等^[13]以大肠杆菌为指示菌,研究发现 ϵ -聚赖氨酸(45 $\mu\text{g/mL}$)和 nisin (312.5 $\mu\text{g/mL}$)复配溶液对大肠杆菌抑制效果最佳。高捷^[14]用 nisin 和 ϵ -聚赖氨酸配合的生物保鲜剂处理毛蚶,与单独使用 nisin 的对照组相比保鲜期延长了 12 d。张观科^[15]将牡蛎浸泡在 nisin 和溶菌酶复配生物保鲜剂中,发现与对照组相比,保鲜时间延长了 6 d。杨立娜等^[16]将 nisin 和那他霉素溶入大豆种皮多糖并将其涂膜在烘烤的贻贝肉上,通过对比分析贻贝在贮藏期间的理化指标,发现可以使贻贝肉保鲜期延长 5 d。

目前, nisin 已经在贝类产品中得到广泛的应用,但仍有很多因素限制了其发展。现阶段 nisin 主要通过微生物发酵生产,尚存在产量低、生产成本低、溶解性和稳定性较差等问题^[17]。除此之外, nisin 的抑菌谱较窄,单独使用的抑菌效果不佳,需要结合其他保鲜剂来增强抑菌性,拓宽抑菌谱。所以,将 nisin 与其他保鲜剂复配使用将成为未来 nisin 保鲜贝类产品研究的重点。

2.1.2 壳聚糖及其复配保鲜剂

壳聚糖(chitosan, CS)是一种天然生物聚合物,可以通过脱乙酰化从甲壳素中获得。壳聚糖具有抑菌性、无毒性、生物相容性、生物降解性、易得性、成膜性等优点。壳聚糖对 G⁺和 G⁻都有很强的抑制作用,但对于真菌和酵母菌的抑制作用相对较弱^[18]。壳聚糖的抑菌作用是一系列分子作用的结果,这些分子作用导致了细胞多重损伤,最终死亡^[19]。壳聚糖的抑菌作用受多方面因素影响,壳聚糖的分子量对其抑菌作用的贡献值最高。根据分子量的不同,壳聚糖的抑菌机制大体有以下两种:高分子量的壳聚糖(>250 kDa)不能穿过微生物的细胞膜,停留在细胞表面,从而阻止了营养物质在微生物细胞内的运输,导致细胞溶解;低分子量的壳聚糖(<25 kDa)不仅可以穿透细胞膜而且还能与 DNA 结合,阻止 mRNA 的合成,最终达到杀灭微生物的目的^[20]。

壳聚糖作为一种天然抑菌剂在食品保鲜中极具潜力。齐凤生等^[21]利用正交试验的方法得到了最优的壳聚糖-茶多酚-蜂胶的复配保鲜液为 2%壳聚糖、0.2%茶多酚和 0.3%蜂胶并对港湾扇贝肉进行保鲜,发现可以使产品的货架期延长 10 d。ZHANG 等^[22]研究了壳聚糖涂膜对冷藏中国对虾保鲜效果的影响,发现壳聚糖单独处理是最有效的保鲜方法,壳聚糖与 ϵ -聚赖氨酸和卡拉胶的复合保鲜可

以使货架期延长 4~6 d。ANNALISA^[23]将 1%壳聚糖涂膜在猪肉上,冷藏 2 d 后,单增李斯特菌的数量减少约 2 log CFU/g,在长达 15 d 的贮藏期间都具有抑菌作用。

壳聚糖的保鲜形式主要以薄膜的形式存在,通过制成壳聚糖薄膜可以有效地阻隔空气,防止微生物污染和食品氧化,保持产品的品质,同时壳聚糖还能抑制微生物的生长繁殖,延长产品的货架期。但单一涂抹壳聚糖膜的韧性较差、溶解性弱,抑菌效果存在局限性。以壳聚糖为基础,添加其他天然保鲜剂,可以使复合保鲜膜拥有更强的抑菌性,进一步延长产品的货架期。

2.1.3 ϵ -聚赖氨酸及其复配保鲜剂

ϵ -聚赖氨酸(ϵ -polylysine, ϵ -PL)是一种天然抑菌剂,是白色链霉菌以葡萄糖作为碳源发酵得到的代谢产物之一^[24]。 ϵ -聚赖氨酸通常由 30 个 L-赖氨酸单体构成,具有可食性、无毒性、抑菌性、生物降解性等优点。2014 年,被我国正式批准为新品种的食品添加剂^[25]。

ϵ -PL 对于 G⁺、G⁻和真菌都有较好的抑制作用,同时对单增李斯特菌、金黄色葡萄球菌以及沙门氏菌等致病菌也具有较好的抑制效果。研究表明,抑菌浓度为 100 mg/mL 的 ϵ -PL 就足以达到对许多细菌的最低抑制浓度^[26]。 ϵ -PL 主要通过以下 3 条途径进行抑菌: (1) ϵ -PL 利用静电吸附在微生物的细胞表面,破坏了细胞壁和细胞膜的完整性,造成了细胞质分布混乱; (2) ϵ -PL 诱导细胞内活性氧的细胞凋亡; (3) ϵ -PL 通过影响微生物的酶和蛋白质的合成,进而阻碍微生物代谢生长,甚至引起细胞死亡^[27]。ALIREZALU 等^[28]将 1%的 ϵ -聚赖氨酸涂膜到牛肉样品上,观察其在贮藏过程中的品质特性和货架期。发现涂有 1%的 ϵ -聚赖氨酸的牛肉样品的硫代巴比妥酸值(thiobarbituric acid reactive substances, TBARS)和挥发性盐基氮(total volatile basic nitrogen, TVB-N)值显著降低,有效抑制了大肠杆菌、霉菌和酵母菌的生长,延长了牛肉的货架期,且不会对感官属性产生副作用。李秋莹等^[29]分析了 ϵ -PL 与没食子酸(gallic acid, GA)对腐败希瓦氏菌的协同抑制作用,发现它们的联合抑菌指数小于 0.5,表明了它们具有很好的协同抑制作用。王军华等^[30]研究了不同浓度的 ϵ -PL 对牡蛎的防腐抗菌效果,发现 2% ϵ -PL 的抑菌效果最为显著,能够很好地抑制牡蛎微生物增殖,使牡蛎货架期延长至 19 d。

ϵ -PL 作为一种天然抑菌剂,与 nisin 和壳聚糖相比,它具有更广的抑菌谱和热稳定性,能够同原料一起进行灭菌处理。此外, ϵ -PL 还可以有效地缓解蛋白质和脂肪氧化,保持产品的品质。目前,虽然微生物生产因其经济、实用、高效等优势成为 ϵ -PL 工业化更具吸引力的生产方式,但全球只有 3 家公司能够以商业规模生产 ϵ -PL,这也导致了 ϵ -PL 成品的价格较高^[31]。 ϵ -PL 与其他保鲜剂结合,可以充分发挥 ϵ -PL 抑菌协同增强效应、延长产品的货架期,同时也可以减少 ϵ -PL 的过度使用,降低成本。

2.2 酶制生物保鲜剂

酶法保鲜是利用酶的催化作用，抑制或消除外界因素对水产品的不良影响，从而保持水产品的鲜度^[32]。目前，应用在水产品中的酶制剂主要有葡萄糖氧化酶、溶菌酶、脂肪酶等。酶法保鲜具有用量少、反应条件温和、易控制、无毒等优点，在水产品的抑菌保鲜、抗氧化、保持优良品质等方面具有很大的潜力。

2.2.1 葡萄糖氧化酶

葡萄糖氧化酶(glucose oxidase, GOD)也称葡糖氧化酶，在微生物中的含量丰富，现阶段已经可以从不同的微生物来源中纯化得到并用于商业，这些来源主要包括曲霉和青霉等真菌，尤其是阿马加萨金杆菌(*Penicillium amagasakiense*)和黑曲霉(*Aspergillus niger*)^[33]。GOD 利用分子氧作为电子受体催化 β-D-葡萄糖氧化为葡萄糖酸，降低产品表面的 pH，抑制了微生物的生长。同时，GOD 作为除氧剂可以很好地起到抗氧化的作用，既可以抑制好氧微生物的生长，也有助于食品的色、香、味等品质的保护，如通过去除食物和饮料中的氧气来稳定食品的颜色和味道^[34]。目前，GOD 已在食品工业中广泛应用于从鸡蛋粉中去除葡萄糖，防止烘焙过程中美拉德反应引起的产品褐变。在水产品的应用中主要集于虾和鱼。XU 等^[35]筛选出高产 GOD 的芽孢杆菌 CAMT22370 并研究了芽孢杆菌 CAMT22370 中的 GOD 对太平洋对虾冷藏过程中感官、理化指标和细菌学特性的影响，发现与防腐剂亚硫酸钠、植酸和维生素 C 相比，产自芽孢杆菌 CAMT22370 的 GOD 在 4℃贮藏期间可以更有效地抑制虾的黑变、蛋白质变性和微生物生长。YUAN 等^[36]从青霉属 MX3343 中分离得到一种冷活性 GOD，研究发现这种冷活性 GOD 在 4℃下活性仅下降了 20%，为 GOD 在水产品冷藏保鲜中的应用提供了实验参考。

GOD 作为一种天然绿色的酶制剂，在食品中应用可以改善口感、防止非酶褐变、抑制微生物生长、延长货架期，具有广泛的应用前景。虽然目前关于贝类产品方面的应用还未曾报道，但上述应用研究已经表明 GOD 可以在 4℃环境下保持良好的活性并具有很好的抑菌作用，同时还能防止蛋白质变性，保持产品品质。所以 GOD 的这些特性都将为其在贝类产品低温保鲜的应用提供了理论依据。

2.2.2 溶菌酶及其复配保鲜剂

溶菌酶(lysozyme)又称 N-乙酰胞壁质聚糖水解酶，该酶可以切断 N-乙酰胞壁酸与乙酰葡萄糖之间的 β-1,4 糖苷键，后者是大多数细菌细胞壁的构成成分。溶菌酶可以很好地抑制 G⁺，对于 G⁻、霉菌和酵母菌无抑制效果。姜晨等^[37]采用响应面优化的方法得到最优的复配溶液参数，0.6 g/L 溶菌酶、6.4 g/L 甘氨酸、4.9 g/L 乙酸钠的复配保鲜剂对单增李斯特菌的抑制率达到 80%。孙明恒^[38]将河蚌肉浸泡在 0.05%溶菌酶和 0.05% nisin 的复配保鲜剂溶液中，研究了-20、-3 和 0℃ 3 个不同温度下河蚌肉的品质变化及货架期，发现经复配保鲜剂处理后的河蚌肉在-20℃下货架期可达 1 年以上，在 0℃下的货架期也可以达到 12 d 左右。齐风生等^[39]研究了溶菌酶与 nisin 协同保鲜对杂色蛤肉品质及货架期的影响，发现杂色蛤肉经过 0.045%溶菌酶和 0.015% nisin 处理后在微冻(-3℃)条件下的货架期达到了 30 d，比对照组延长了 18 d。

溶菌酶的活性容易受到环境因素的影响，同时氧化类物质也能够一定程度的抑制其活性^[40]。溶菌酶的抑菌机制决定了其只对拥有细胞壁的细菌有抑制作用，所以它的抑菌谱较窄，这一缺点限制了溶菌酶的应用发展。目前，溶菌酶在贝类产品中的应用以结合其他保鲜剂复配的形式来达到抑菌保鲜、延长货架期的目的。

nisin、壳聚糖、ε-聚赖氨酸、GOD 和溶菌酶作为天然保鲜剂在抑制微生物生长繁殖方面具有显著的效果，但抑菌谱范围有限，单独使用的抑菌、保鲜效果存在缺陷(表 2)，通过将两种及以上的保鲜剂进行复配，可以有效地增强抑菌效果，进一步延长产品的货架期。因此复配保鲜剂的使用不仅是当前研究的重点，更是未来生物保鲜剂应用发展的方向。

3 贝类产品生物保鲜技术与其他技术相结合

栅栏技术是一套科学的、系统的将多种技术结合在一起的提高产品货架期的综合保藏方法^[41]。栅栏技术可以将多种保鲜方法结合起来，更加有效地抑制产品中微生物的生长和繁殖，保持产品品质，延长货架期。目前，生物保鲜剂与其他保鲜技术结合衍生的新型保鲜技术在不断发展，并应用于贝类产品的保鲜。

表 2 几种生物保鲜剂的优缺点对比
Table 2 Comparison of advantages and disadvantages of several biological preservatives

保鲜剂名称	优点	缺点
乳酸链球菌素	无毒、杀菌作用强	溶解度受 pH 影响显著，抑菌谱较窄，对于 G ⁻ 、霉菌和酵母菌抑制作用弱
壳聚糖	储量、生物降解性、成膜性、抑菌、抗氧化	溶解性低，对于真菌、酵母菌抑制作用较弱
ε-聚赖氨酸	无毒、广谱抑菌性、协同增效性强、热稳定性强	成本较高
葡糖氧化酶	来源广、特异性强、抗氧化、抑菌	产量低、酶活性低
溶菌酶	来源广、无毒、无残留、抑菌	抑菌谱窄，对 G ⁻ 、霉菌和酵母菌无抑制作用

3.1 生物保鲜技术与低温保鲜技术结合

低温可以有效降低贝类产品在贮藏过程中的生物化学变化的反应速度以及抑制微生物的生长发育^[42]。但低温贮藏过程中肉质易老化,同时低温还会造成蛋白质结构的变性,影响产品的风味。生物保鲜剂与低温结合可以使产品的蛋白质结构更加稳定,有效地抑制脂肪氧化,延长产品的货架期。魏杰等^[43]将扇贝肉应用花楸多酚-金褐霉素复合保鲜剂结合冰温和冷藏的方式进行保鲜处理,发现花楸多酚和金褐霉素可以良好地抑制扇贝肉蛋白质的降解及酶活力,可延长扇贝 2~3 d 的货架期。闫佳等^[44]将扇贝肉浸泡在 2%姜汁、0.6%茶多酚、3.5%壳聚糖的复配溶液 2 min,并在冷藏(4℃)条件下贮存,发现与对照组相比保质期延长了 3 d。朱士臣等^[45]将贻贝肉浸泡在 30 mg/mL 茶多酚、2.75 mg/mL 姜黄素复配溶液中,并研究了贻贝肉在冻藏期间感官、微生物、理化等指标变化,发现一定比例的茶多酚-姜黄素复配溶液可以有效抑制微生物生长,缓解脂肪氧化,货架期延长了 14 d。吴丹^[46]将 1%普鲁兰多糖与 0.1%竹叶黄酮、1.5%柠檬酸、0.6%茶多酚进行复配保鲜葡萄牙牡蛎,并将其贮藏在-3℃下,研究表明复配组可以有效地延缓蛋白质的降解和脂肪的氧化,货架期能延长 23.46%。

3.2 生物保鲜技术与臭氧保鲜技术结合

臭氧又称三分子氧。臭氧在常温常压下容易分解产生具有强氧化能力的原子氧,具有很强的杀死微生物的能力^[47]。臭氧作用于食品后会分解成 O₂,无有毒有害物质的残留。臭氧作为一种冷杀菌技术,与生物保鲜剂结合能够更好地杀灭微生物,进一步延长产品的货架期。张超^[48]先利用 1 mg/L 臭氧水处理缢蛏 10 min,再结合低温保鲜、气调包装、壳聚糖涂膜进行复合处理,结果表明臭氧保鲜、气调包装和壳聚糖涂膜的复合保鲜要优于单独处理的保鲜方法,其保质期可以延长至 16 d。CAO 等^[49]研究了壳聚糖和臭氧水处理对太平洋牡蛎货架期的影响,组合处理可以将太平洋牡蛎的货架期延长至 21 d。

3.3 生物保鲜技术与纳米包装技术结合

纳米技术已被公认为 21 世纪最重要的前沿技术之一,它在解决食品包装和贮藏保鲜方面发挥了重要作用^[50]。但目前对于纳米颗粒安全特性的研究尚未充分理解,纳米包装技术仍处于实验室发展阶段。通过纳米包装技术与一些天然活性物质结合制得的复合包装材料能够进一步改善食品保鲜效果。YOUSSEF 等^[51]将大蒜提取物 and TiO₂ 纳米颗粒结合制得一种基于羧甲基纤维素、阿拉伯胶和明胶的新型生物纳米复合材料,并评估了该复合材料对冷藏期间罗非鱼鱼片的保鲜效果,发现大蒜提取物和 TiO₂ 纳米颗粒结合可以增强保鲜性能的协同性,大幅降低了

罗非鱼鱼片的失重现象。NOURI 等^[52]将迷迭香提取物加入到纳米粘土中制得生物薄膜,并研究该薄膜的抗菌性,发现添加迷迭香提取物的薄膜对蜡样芽孢杆菌、大肠杆菌、铜绿芽孢杆菌和金黄色葡萄球菌的抑制率达到 99%。HAJJI 等^[53]采用离子凝胶法制得壳聚糖纳米颗粒(壳聚糖-三聚磷酸盐)并将其加入鱼糜中,结果显示可以有效延缓鱼糜的脂肪氧化,抑制微生物生长,可以在贮存期间保证产品品质。

3.4 生物保鲜技术与辐照技术结合

辐照保鲜是利用 ⁶⁰Co 产生的 γ -射线和加速器产生的电子束、X 射线等对食品进行辐照,杀灭食品中的微生物,达到延长保质期的效果。随着加速器设备的日益完善,电子束技术在贝类保鲜领域的应用也日益扩大。杨文鸽等^[54]用 NBL1010 电子直线加速器处理新鲜牡蛎,发现经 1~9 kGy 电子束照射后,牡蛎的组织结构没有发生变化,且在冷藏条件下,5 kGy 剂量的电子束照射后,牡蛎的保质期可以由原来的 3 d 延长至 11 d。李超等^[55]用 NBL1020 电子直线加速器处理泥蚶,研究发现经 3~5 kGy 照射处理后,泥蚶的货架期由对照组 5 d 延长至 15~19 d。尽管辐照技术可以杀灭贝类中的微生物,但辐照处理贝肉会伴随着自由基的形成导致脂肪和蛋白质的氧化,从而导致贝肉风味变化。因此,天然抗氧化剂与辐照技术结合可以在保鲜的同时防止营养物质的氧化。目前,天然抗氧化剂与辐照技术的复合保鲜技术已经应用于鱼类^[56],这将为贝类产品的生物保鲜技术与辐照技术的结合提供参考,辐照技术与天然抗氧化剂的结合使用是贝类保鲜领域值得研究的一个内容。

4 结束语

随着人们生活水平的日益提高,对食品品质的要求也随之增加,从而对贝类产品的新鲜度也提出了更高的要求。贝类产品保鲜的生物保鲜剂主要有抑菌剂、酶制剂和抗氧化剂,其中抑菌剂和酶制剂是应用最广泛的保鲜剂。nisin 和壳聚糖对于 G⁺具有很好地抑制作用,但对于霉菌和酵母菌的抑制作用较弱,需要结合其他保鲜剂来提高抑菌效果,而 ϵ -聚赖氨酸的抑菌谱是最广的,不仅可以很好地抑制 G⁺、G⁻以及霉菌和酵母菌,还能够抑制一些致病菌的生长,与 nisin 和壳聚糖等生物保鲜剂结合可以发挥良好地协同抑菌作用。GOD 在食品保鲜方面主要以清除氧,防止食品氧化为主,保护食品的色、香、味等品质。溶菌酶对于没有细胞壁的 G⁻、霉菌及酵母菌无抑制作用,GOD 和溶菌酶作为酶制剂,其酶活性会受环境因素的影响,所以在食品贮藏保鲜中应注意贮藏环境对其保鲜效果的影响。

目前,生物保鲜剂在贝类产品中应用广泛,主要以

复配的方式为主。尽管生物保鲜剂已经成为保鲜研究的重点,但仍存在一些问题需要解决,如天然活性物质的提取率低、保鲜成本高等。在今后的研究中,还需要进一步提高天然保鲜剂的提取率,降低保鲜剂的价格,削减保鲜成本。同时,加大利用栅栏技术将生物保鲜剂与其他不同的保鲜技术结合,可以最大限度地发挥不同保鲜技术之间的协同效应,提升保鲜水平,延长产品的货架期。

参考文献

- [1] CHEN BW, HUANG JM, LIU HQ, *et al.* Effects of the curcumin-mediated photodynamic inactivation on the quality of cooked oysters with *Vibrio parahaemolyticus* during storage at different temperature [J]. *Int J Food Microbiol*, 2021. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro. 2021.109152
- [2] 苏红. 红鳍东方鲀生物保鲜技术的研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2018.
SU H. Study on biological preservation technology of *Takifugu rubripes* [D]. Baoding: Hebei Agriculture University, 2018.
- [3] SAENZ-GARCIA CE, CASTAEDA-SERRABO P, SILVA E, *et al.* Insights into the identification of the specific spoilage organisms in chicken meat [J]. *Foods*, 2020, 9(2): 225.
- [4] STERNIA M, PURGATORIO C, PAPARELLA A, *et al.* Combination of rosemary extract and buffered vinegar inhibits *Pseudomonas* and *Shewanella* growth in common carp (*Cyprinus carpio*) [J]. *J Sci Food Agric*, 2020. DOI: 10.1002/jsfa.10273
- [5] 曹荣. 太平洋牡蛎在冷藏和冻藏过程中细菌菌相及品质变化[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2006.
CAO R. Change in the microflora and quality of Pacific oysters during ice and frozen storage [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2016.
- [6] 李国威. 微酸性电解水在虾夷扇贝净化中的杀菌工艺研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2016.
LI GW. Sterilization process of slightly acidic electrolyzed water in the purification of Japanese scallop [D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2016.
- [7] 袁超. 超高压处理对牡蛎和鲍鱼品质与安全性影响研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2015.
YUAN C. Effect of high pressure processing on quality and safety of high value shellfish [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2015.
- [8] GINSON J, PANDA SK, KAMALAKANTH CK, *et al.* Changes of microflora in high pressure treated Indian white prawn (*Fenneropenaeus indicus*) [J]. *High Pres Res*, 2020, (10): 1–15.
- [9] ZHAO L, ZHANG Z, WANG M, *et al.* New insights into the changes of proteome and microbiome of shrimp (*Litopenaeus vannamei*) stored in acidic electrolyzed water ice [J]. *J Agric Food Chem*, 2018, 66(19): 4966–4976.
- [10] CEN S, FANG Q, TONG L, *et al.* Effects of chitosan-sodium alginate-nisin preservatives on the quality and spoilage microbiota of *Penaeus vannamei* shrimp during cold storage [J]. *Int J Food Microbiol*, 2021, 349(3): 109227.
- [11] 李丹丹, 郑丽, 刘雨晗, 等. 猪肉生物保鲜技术研究进展[J]. *肉类研究*, 2020, 34(11): 98–105.
LI DD, ZHENG L, LIU YH, *et al.* Recent progress in pork biopreservation technologies [J]. *Meat Res*, 2020, 34(11): 98–105.
- [12] 赵昇, 吴学妍, 张硕, 等. ϵ -聚赖氨酸对重要食源性致病菌的作用效果研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2022, 48(13): 304–310.
ZHAO S, WU XY, ZHANG S, *et al.* Research progress on the effect of ϵ -polylysine on important foodborne pathogens [J]. *Food Ferment Ind*, 2022, 48(13): 304–310.
- [13] 魏奇, 钟鑫荣, 龚镁青, 等. ϵ -聚赖氨酸和乳酸链球菌素协同抑菌效应的研究[J]. *安徽农学通报*, 2021, 27(21): 38–42.
WEI Q, ZHONG XR, GONG MQ, *et al.* Study on the antibacterial activity of ϵ -polylysine and nisin [J]. *Anhui Agric Sci Bull*, 2021, 27(21): 38–42.
- [14] 高捷. 毛蚶保鲜技术的研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2011.
GAO J. Study on freshness preservation technique for *Scapharca subcrenata* [D]. Baoding: Hebei Agriculture University, 2011.
- [15] 张观科. 牡蛎保鲜技术的研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2012.
ZHANG GK. Study on freshness preservation technique for oyster [D]. Baoding: Hebei Agriculture University, 2012.
- [16] 杨立娜, 王子义, 康馨, 等. 大豆种皮多糖复配保鲜剂涂膜对调理贻贝肉的保鲜效果研究[J]. *渤海大学学报(自然科学版)*, 2021, 42(1): 14–21.
YANG LN, WANG ZY, KANG X, *et al.* Research in the preservation effect of soybean seed coat polysaccharide mixed with preservative coating on mussel meat [J]. *J Bohai Univ (Nat Sci Ed)*, 2021, 42(1): 14–21.
- [17] 张阳玲, 吴昊, 乔建军, 等. 乳酸链球菌肽的应用及研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(7): 289–295.
ZHANG YL, WU H, QIAO JJ, *et al.* Application and research progress of Nisin [J]. *Food Ferment Ind*, 2020, 46(7): 289–295.
- [18] 张棋, 王春红. 壳聚糖与植物提取物复配在食品保鲜中的应用研究进展[J]. *现代食品*, 2021, (24): 78–81, 94.
ZHANG Q, WANG CH. Research progress in the application of chitosan-plant extracts compound in food preservation [J]. *Mod Food*, 2021, (24): 78–81, 94.
- [19] DEAN C, DAVIDESCU CM, NEME NS, *et al.* Factors influencing the antibacterial activity of chitosan and chitosan modified by functionalization [J]. *Int J Mol Sci*, 2021, 22(14): 7449.
- [20] VERLEE A, MINCKE S, STEVENS CV. Recent developments in antibacterial and antifungal chitosan and its derivatives [J]. *Carbohydr Polym Sci*, 2017, 164: 268–283.
- [21] 齐凤生, 刘红英, 吴雪丽, 等. 生物保鲜剂对冷藏海湾扇贝柱品质的影响[J]. *中国食品学报*, 2015, 15(7): 73–79.
QI FS, LIU HY, WU XL, *et al.* Effects of biological preservatives on the quality of refrigerated bay scallop columns [J]. *J Chin Inst Food Sci Technol*, 2015, 15(7): 73–79.

- [22] ZHANG Z, XIA GH, YANG Q, *et al.* Effects of chitosan-based coatings on storage quality of Chinese shrimp [J]. Food Sci Nutr, 2019, 7(5): 1–10.
- [23] ANNALISA S. Chitosan coating inhibits the growth of *Listeria monocytogenes* and extends the shelf life of vacuum-packed pork loins at 4°C [J]. Foods, 2018, 7(10): 155.
- [24] SAMADLOUIE HR. Optimization of the production of ϵ -poly-L-lysine by novel producer lactic acid bacteria isolated from traditional dairy products [J]. Biomed Res Int, 2020(4): 2145656.
- [25] HYLDGAARD M, MYGIND T, VAD BS, *et al.* The antimicrobial mechanism of action of epsilon-poly-L-lysine [J]. Appl Environ Microbiol, 2014, 80(24): 7758–7770.
- [26] LIN L, GU YL, LI CZ, *et al.* Antibacterial mechanism of ϵ -poly-lysine against *Listeria monocytogenes* and its application on cheese [J]. Food Control, 2018, (91): 76–84.
- [27] 胡思嘉, 李新福, 熊强. ϵ -聚赖氨酸作为天然防腐剂在食品中的应用研究进展[J]. 食品工业科技, 2022, 43(6): 452–459.
- HU SJ, LI XF, XIONG Q. Research progress in the application of ϵ -polylysine as a natural preservative in food [J]. Sci Technol Food Ind, 2022, 43(6): 452–459.
- [28] ALIREZALU K, PIROUZI S, YAGHOUBI M, *et al.* Packaging of beef fillet with active chitosan film incorporated with-polylysine: An assessment of quality indices and shelflife assessment [J]. Meat Sci, 2021, (176): 108475.
- [29] 李秋莹, 张婧阳, 孙彤, 等. ϵ -聚赖氨酸及其复合保鲜技术在水产品保鲜中的研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(22): 263–269.
- LI Q, ZHANG JY, SUN T, *et al.* Research progress of ϵ -polylysine and its complex preservation technology in aquatic products preservation [J]. Food Ferment Ind, 2020, 46(22): 263–269.
- [30] 王军华, 王易芬, 裴纪莹, 等. ϵ -聚赖氨酸对牡蛎的防腐抗菌效果[J]. 食品工业科技, 2019, 40(24): 270–275.
- WANG JH, WANG YF, QIU JY, *et al.* Antiseptic and antimicrobial effects of ϵ -polylysine on oysters [J]. Sci Technol Food Ind, 2019, 40(24): 270–275.
- [31] WANG L, ZHANG CY, ZHANG JH, *et al.* Epsilon-poly-L-lysine: Recent advances in biomanufacturing and applications [J]. Front Bioeng Biotechnol, 2021, 9: 748976.
- [32] 杨忠敏. 水产品常见典型的保鲜技术[J]. 渔业致富指南, 2017, (19): 34–35.
- YANG ZM. Common and typical preservation technology of aquatic products [J]. Rich Ind Fish, 2017, (19): 34–35.
- [33] BANKAA SB, BULE MV, SINGHAL RS, *et al.* Glucose oxidase-An overview [J]. Biotechnol Adv, 2009, 27(4): 489–501.
- [34] KHATAMI SH, VAKILI O, AHMADI N, *et al.* Glucose oxidase: Applications, sources, and recombinant production [J]. Biotechnol Appl Bioc, 2021, (2): 1–12.
- [35] XU D, SUN L, LI C, *et al.* Inhibitory effect of glucose oxidase from *Bacillus* sp. CAMT22370 on the quality deterioration of Pacific white shrimp during cold storage [J]. LWT-Food Sci Technol, 2018, 92: 339–346.
- [36] YUAN M, NING C, YANG S, *et al.* A new cold-active glucose oxidase from penicillium: High-level expression and application in fish preservation [J]. Front Microbiol, 2020, 11: 606007.
- [37] 姜晨, 增田泰伸, 木村守, 等. 复配抑菌剂对单增李斯特菌的抑制作用及其保鲜效果[J]. 食品工业科技, 2017, 38(8): 92–97, 102.
- JIANG C, ZENG TTS, MU CS, *et al.* Inhibition and preservation effect of compound antibacterial agent on *Listeria monocytogenes* [J]. Sci Technol Food Ind, 2017, 38(8): 92–97, 102.
- [38] 孙明恒. 河蚌贮藏保鲜及加工技术的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2014.
- SUN MH. Research on storage and processing technology of freshwater mussel [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2014.
- [39] 齐凤生, 李丽娜, 刘红英. 生物保鲜剂结合微冻保藏对杂色蛤肉的保鲜作用[J]. 食品安全质量检测学报, 2014, 5(4): 1213–1218.
- QI FS, LI LN, LIU HY. Effects of biopreservative combined with partial freezing storage on fresh-keeping of *Ruditapes variegata* [J]. J Food Saf Qual, 2014, 5(4): 1213–1218.
- [40] 王者. 溶菌酶脂质体生物安全性评价及在金鲳鱼保鲜上的应用[D]. 杭州: 中国计量大学, 2018.
- WANG Z. Study on biosecurity of lysozyme liposomes and the effect on *Trachinotus ovatus* [D]. Hangzhou: China Jiliang University, 2018.
- [41] 张二康, 王修俊, 王丽芳, 等. 栅栏技术在发酵辣椒保藏中的应用研究[J]. 中国酿造, 2019, 38(6): 54–58.
- ZHANG ERK, WANG XJ, WANG LF, *et al.* Application of hurdle technology in preservation of fermented chilli [J]. China Brew, 2019, 38(6): 54–58.
- [42] 单琪翌. 食品低温保鲜技术在果蔬中的应用(上)[N]. 中国食品报, 2016-01-04(004).
- SHAN QG. Application of low temperature food preservation technology in fruits and vegetables(I) [N]. China Food Newspaper, 2016-01-04(004).
- [43] 魏杰, 张潇, 张国坤, 等. 新型生物保鲜剂结合冰温对扇贝的保鲜效果[J]. 辽宁大学学报(自然科学版), 2016, 43(4): 356–361.
- WEI J, ZHANG X, ZHANG GK, *et al.* Effect of new biological preservative combined with ice-temperature storage on fresh keeping of scallops [J]. J Liaoning Univ (Nat Sci Ed), 2016, 43(4): 356–361.
- [44] 闫佳, 黎兴助. 天然保鲜剂对扇贝保鲜效果的研究[J]. 农产品加工, 2018, (11): 34–35, 39.
- YAN J, LI XZ. Study on preservation effect of natural preservatives on scallop [J]. Farm Prod Proc, 2018, (11): 34–35, 39.
- [45] 朱士臣, 曾曦, 龙宫誉, 等. 茶多酚-姜黄素复配液对冷藏贻贝肉品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(15): 198–205.
- ZHU SC, CENG X, LONG GY, *et al.* Effects of tea polyphenol and curcumin on the quality of frozen mussel meat [J]. Food Ferment Ind, 2021, 47(15): 198–205.
- [46] 吴丹. 应用普鲁兰多糖复配剂对葡萄牙牡蛎(*Crassostrea angulata*)保鲜

- 的研究[D]. 厦门: 集美大学, 2018.
- WU D. Study on the fresh keeping of portuguese oyster (*Crassostrea angulata*) by using the compound of polysaccharide from pullulan [D]. Xiamen: Jimei University, 2018.
- [47] LUAN L, LU S, YUAN CH, *et al.* Combined effect of superchilling and tea polyphenols on the preservation quality of hairtail (*Trichiurus haumela*) [J]. *Int J Food Prop*, 2017, 20(1): 992–1001.
- [48] 张超. 臭氧杀菌、壳聚糖涂膜结合气调包装对缢蛏保鲜效果的研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2012.
- ZHANG C. Study on the combined effects of ozone sterilization, chitosan and MAP on the qualities of *sinonovacula constricta lamark* [D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2011.
- [49] CAO R, LIU Q, YIN BZ, *et al.* Combined effect of ozonated water and chitosan on the shelf-life of Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) [J]. *Innov Food Sci Emerg*, 2009, 11(1): 109–112.
- [50] QIU L Q, ZHANG M, BHANDARI B, *et al.* Shelf life extension of aquatic products by applying nanotechnology: A review [J]. *Crit Rev Food Sci*, 2020, (6): 1–15.
- [51] YOUSSEF AM, SAYED HS, EL-NAAR I, *et al.* Preparation and characterization of novel bionanocomposites based on garlic extract for preserving fresh Nile tilapia fish fillets [J]. *RSC Adv*, 2021, 11(37): 22571–22584.
- [52] NOURI A, YARAKI MT, GHORBANPOUR M, *et al.* Biodegradable-carrageenan/nanoclay nanocomposite films containing *Rosmarinus officinalis* L. extract for improved strength and antibacterial performance [J]. *Int J Biol Macromol*, 2018, 4(51): 227–235.
- [53] HAJJI S, HAMDI M, BOUFI S, *et al.* Suitability of chitosan nanoparticles as cryoprotectant on shelf life of restructured fish surimi during chilled storage [J]. *Cellulose*, 2019, 26(11): 6825–6847.
- [54] 杨文鸽, 徐大伦, 楼乔明, 等. 电子束辐照对鲜牡蛎杀菌保鲜效果的影响[J]. *中国食品学报*, 2015, 15(7): 80–85.
- YANG WG, XU DL, LOU QM, *et al.* Effect of electron beam irradiation on sterilization and preservation of fresh *Ostrea plicatula* [J]. *J Chin Inst Food Sci Technol*, 2015, 15(7): 80–85.
- [55] 李超, 杨文鸽, 徐大伦, 等. 电子束辐照对泥蚶杀菌保鲜效果的影响[J]. *食品科学*, 2009, 30(22): 383–386.
- LI C, YANG WG, XU DL, *et al.* Effect of electron beam irradiation on sterilization and sensory quality of *Tegillarca granosa* [J]. *Food Sci*, 2009, 30(22): 383–386.
- [56] 白婵, 熊光权, 王炬光, 等. 辐照结合复配保鲜剂对鲈鱼贮藏品质的影响[J]. *肉类研究*, 2021, 35(6): 50–56.
- BAI C, XIONG GQ, WANG JG, *et al.* Effect of irradiation combined with composite preservatives on the storage quality of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) [J]. *Meat Res*, 2021, 35(6): 50–56.

(责任编辑: 于梦娇 韩晓红)

作者简介



郝恩瑞, 硕士研究生, 主要研究方向为农产品加工与贮藏。
E-mail: her844947179@163.com



柴春祥, 博士, 教授, 主要研究方向为食品加工与贮藏。
E-mail: ccxiang@tjcu.edu.cn