

裴诺, 施文正, 汪之和. 壳聚糖与生物保鲜剂复合使用在水产品保鲜中的研究进展 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(5): 448–454. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021030204

PEI Nuo, SHI Wenzheng, WANG Zhihe. Research Progress in the Application of Chitosan and Biological Preservative in Aquatic Products Preservation[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(5): 448–454. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021030204

· 专题综述 ·

壳聚糖与生物保鲜剂复合使用在水产品保鲜中的研究进展

裴 诺, 施文正, 汪之和*

(上海海洋大学食品学院, 上海 201306)

摘 要: 壳聚糖作为自然界中存在的第二大天然高分子物质, 已被广泛应用于食品、医药、环保、工业、化妆品、纺织等领域。在食品加工中, 壳聚糖可以抑制水产品中微生物的生长, 因此常用于水产品保鲜。但单独使用壳聚糖进行保鲜时, 有抗氧化性低、感官品质差等特点, 故在实际应用中常加入其他物质进行复合保鲜。生物保鲜剂是从自然界中提取或利用生物工程技术获得的一种新型保鲜剂, 它具有高效、绿色等特点。近年来, 壳聚糖复合其他生物保鲜剂对水产品进行保鲜的技术引起了研究者的广泛关注。本文说明了天然壳聚糖的保鲜特性及保鲜机理, 综述了壳聚糖与其他生物保鲜剂在水产品复合保鲜技术上的应用研究进展, 分析了目前存在的问题并提出了可能的解决方法, 同时对壳聚糖复合生物保鲜剂在水产品保鲜方面的发展前景进行展望。

关键词: 壳聚糖, 生物保鲜剂, 水产品, 复合保鲜

中图分类号: TS254.4

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)05-0448-07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021030204

本文网刊:



Research Progress in the Application of Chitosan and Biological Preservative in Aquatic Products Preservation

PEI Nuo, SHI Wenzheng, WANG Zhihe*

(College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: As the second largest natural polymer substance in nature, chitosan has been widely used in food, medicine, environmental protection, industry, cosmetics, textile and other fields. In food processing, chitosan can inhibit the growth of microorganisms in aquatic products, so it is often used in the preservation of aquatic products. However, when chitosan is used alone for fresh-keeping, it has the characteristics of low oxidation resistance and poor sensory quality, so other substances are often added for compound fresh-keeping in practical application. Biological preservative is a new preservative extracted from nature or obtained by using biological engineering technology. It has the characteristics of high efficiency and green. Therefore, in recent years, the technology of chitosan combined with other biological preservatives to keep aquatic products fresh has attracted extensive attention of researchers. Therefore, the preservation properties and mechanism of natural chitosan were described, and the application of chitosan and other biological preservatives in the preservation of aquatic products was reviewed. The existing problems were analyzed and the possible solutions were put forward. Meanwhile, the development prospect of chitosan compound biological preservative in the preservation of aquatic products was prospected.

Key words: chitosan; biological preservatives; aquatic products; compound preservation

收稿日期: 2021-03-17

基金项目: 国家重点研发计划 (2019YFD0902003)。

作者简介: 裴诺 (1996-), 女, 硕士, 研究方向: 水产品加工与贮藏, E-mail: peinuopsf@163.com。

* 通信作者: 汪之和 (1958-), 男, 硕士, 教授, 研究方向: 水产品加工与贮藏, E-mail: zhwang@shou.edu.cn。

壳聚糖是天然多糖中唯一的碱性高分子多糖,其储量仅次于纤维素。主要存在于虾蟹、昆虫的甲壳中和一些藻类、菌类的细胞壁中,此外,通过一些微生物的培养发酵也可生产壳聚糖。作为一种来源广泛、产量大,且可再生的绿色生物资源,壳聚糖具有较好的生物可降解性、生物相容性、无毒性、抗氧化、抑菌、抗癌等特点^[1-2],在食品、医药、环保、工业、化妆品、纺织等领域应用较广^[3]。其中,因为其天然抑菌性及可降解性,在食品保鲜、包装方面有很好的应用。但因其不易溶于水,常需要乙酸作为辅助溶剂,会对保鲜产品产生不良的影响;并且过量的壳聚糖的添加会给保鲜产品带来涩感,影响其风味。因此,为了降低壳聚糖的使用量和对保鲜产品品质的损害,可将其与其他种类的保鲜剂进行复配,以弥补其不足,提高其在水产品保鲜上的效果。

生物保鲜剂是一类食品添加剂,是指从植物、动物、微生物等生物中提取或利用生物工程技术获得的对人体安全的具有保鲜作用的物质,主要分为植物源生物保鲜剂、动物源生物保鲜剂、微生物保鲜剂及酶类保鲜剂。相对于物理保鲜剂的价格昂贵和化学保鲜剂的毒害性,生物保鲜剂作为新型且发展迅速的一类保鲜剂,因具有使用剂量小,作用效率高,对人体无害,应用范围广^[4]等特点受到了研究人员的关注。在水产品的保鲜中,生物保鲜剂的应用可以保持水产品的新鲜度及良好的风味,并且通过较好的抑菌效果,抑制水产品中有害微生物的生长繁殖,以延长水产品的贮藏货架期^[5]。

大量研究表明,可降解、可食用的绿色、环保保鲜方式将会成为未来食品保鲜的方向,因此,壳聚糖与生物保鲜剂进行复配用于保鲜成为了目前的研究热点。本文综述了壳聚糖与各类常用生物保鲜剂的复配用于水产品的保鲜,以期壳聚糖以及其他生物保鲜剂的深入利用,研究新型、绿色、环保的保鲜技术提供参考。

1 壳聚糖的保鲜特性、保鲜机理

壳聚糖(Chitosan)化学名为(1,4)-2-氨基-2-脱氧- β -D 葡聚糖,是甲壳素脱乙酰化的产物,分子结构见图 1。一般认为,脱乙酰度达到 50% 的甲壳素则被称为壳聚糖。因具有较好的抑菌性、成膜性和抗氧化性等特点,壳聚糖可作为良好的食品保鲜材料。

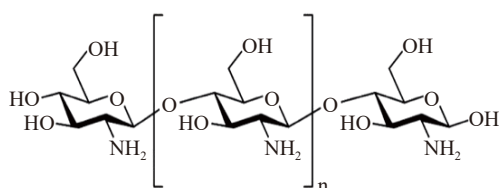


图 1 壳聚糖分子结构

Fig.1 Molecular structure of chitosan

1.1 壳聚糖的抑菌性

壳聚糖的抑菌性主要通过与其微生物细胞膜作用

产生的,目前,对于壳聚糖的抑菌机制并不明确,但主要认为有两种抑菌机制。第一种认为壳聚糖在酸性条件下带正电荷,可以与微生物细胞膜上带负电荷的物质结合,通过这种吸附作用来破坏细胞膜的功能使微生物死亡^[6]。第二种认为壳聚糖通过不同方式与细菌及真菌直接结合导致微生物死亡。对细菌作用是因为壳聚糖可与细菌细胞膜上的肽聚糖结合导致细胞膜裂解,从而造成电解质的渗漏并最终导致细菌死亡^[7],见图 2(a);对真菌作用是因为壳聚糖可与真菌的膜磷脂结合导致真菌死亡^[7],见图 2(b)。壳聚糖的抑菌性与其脱乙酰度、来源及作用微生物的种类有关:壳聚糖脱乙酰度越高,产生的胺基越多导致它的抑菌性越强;真菌提取的壳聚糖抑菌性大于海洋生物中提取的壳聚糖^[8],但部分学者研究发现海洋生物提取的壳聚糖抑菌性大于真菌提取的壳聚糖抑菌性^[9];此外,壳聚糖对于常见水产品腐败微生物乳酸菌、嗜冷菌、李斯特菌、金黄色葡萄球菌、大肠杆菌等有良好的抑制作用^[10]。

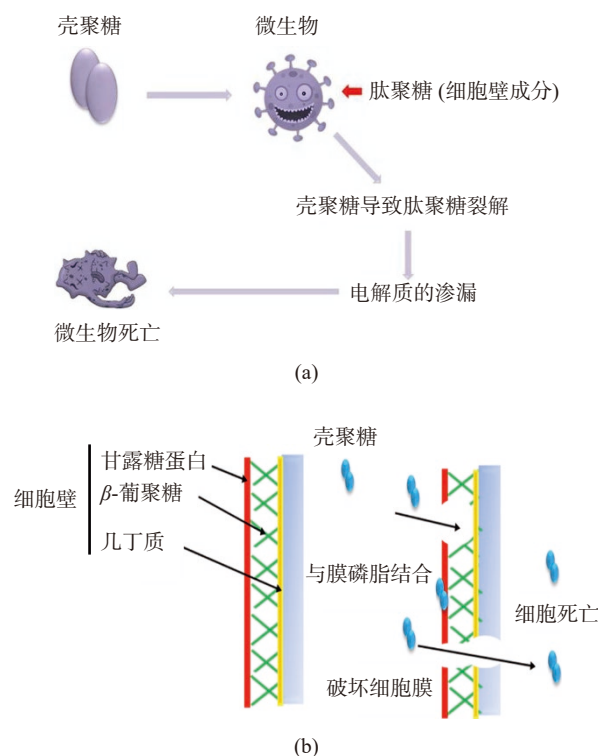


图 2 壳聚糖对微生物的抑菌机理^[7]

Fig.2 Antimicrobial mechanism of chitosan on microorganisms^[7]

注: a: 对细菌的抑菌机制; b: 对真菌的抑菌机制。

1.2 壳聚糖的抗氧化性及成膜性

壳聚糖的抗氧化性主要是通过其结构上羟基和氨基的强还原性来实现的。在食品贮藏过程中,羟基和氨基可以与 H_2O_2 和自由基发生氧化还原反应,从而达到抗氧化和清除自由基的作用^[11]。壳聚糖的抗氧化性与其分子量有关,分子量越大其抗氧化性越强,因为较短的分子链中不会形成分子内的氢键,从而产生更多的活化羟基和氨基来增强其抗氧化

性^[7]。壳聚糖的氨基葡萄糖残基上的 C_3 -OH 可以与相邻分子链上的糖苷键或糖苷基吡喃环上的氧原子形成氢键,此外, C_2 -NH₂ 和 C_6 -OH 也可形成氢键,大量氢键的存在使得壳聚糖具有很好的成膜性^[12-13],在食品保鲜上能起到防止氧气渗透及食品水分流失等作用。

2 壳聚糖与生物保鲜剂复合保鲜机理及应用

2.1 壳聚糖与植物源保鲜剂复合保鲜

植物源保鲜剂是指从植物中天然提取,分离得到的生物保鲜剂。植物保鲜剂的主要作用物质可分为黄酮类化合物、多酚类化合物、植物精油、中草药提取物等。

2.1.1 黄酮类化合物 黄酮类化合物可以通过破坏细胞壁和细胞膜的完整性来达到抑菌效果^[14]。LI 等^[15]发现用 1% 壳聚糖和 0.3% 山楂黄酮处理比目鱼片后,鱼片在冷藏过程中由于壳聚糖以及黄酮化合物的抑菌性能抑制细菌滋生,可保持鱼的部分优良品质,延长鱼的货架期 4~6 d。由于水产类动物富含脂肪,在贮藏过程中易产生脂质氧化导致产品变质。黄酮类化合物极强的抗氧化性可与壳聚糖的抗氧化性产生协同作用有效抑制脂质氧化的发生。王健^[16]在研究壳聚糖/淡竹叶提取物复合膜的 DPPH 自由基清除率时发现,与纯壳聚糖膜的 12.14% 相比,壳聚糖/淡竹叶提取物复合膜能提高到 42.25%。因此壳聚糖与黄酮类化合物进行复配可以明显增强保鲜效能。但如何消除黄酮类化合物固有的淡黄色及特殊气味对产品感官带来的负面影响仍需进一步研究。

2.1.2 多酚类 多酚类化合物是植物特有的次级代谢产物,因其结构中特殊的酚羟基基团^[17]可以提供氢供体与多种活性氧反应达到清除自由基的目的。ALVES 等^[18]将香芹酚加入到壳聚糖溶液中,对鲑鱼块进行涂膜保鲜,在 4 ℃ 下冷藏 14 d 后,与未添加香芹酚的对照组相比,混合膜可有效保持样品光度值接近新鲜鲑鱼光度值。WONG 等^[19]用没食子酸和壳聚糖制备聚乙烯薄膜用于罗非鱼的保鲜,新鲜度结果表明,其抗氧化能力明显优于对照组,它能有效抑制微生物的生长并延缓挥发性盐基氮的上升,延长货架期 7~8 d。各类多酚如没食子酸、儿茶素、茶多酚等在与壳聚糖的复合保鲜时能有效提高保鲜的抗氧化性及抑菌性的效果。但目前对于植物多酚抑菌机理尚未完全明确,大多停留在它对细胞形态结构的影响,其与壳聚糖相互作用如何影响保鲜效果还未明确,需更进一步研究。

2.1.3 植物精油 植物精油中含有高浓度的醛类、酯类化合物具有广谱抑菌活性,能有效抑制微生物的生长^[20]。研究表明,植物精油的添加能降低膜的水蒸气透过性从而提升壳聚糖膜对水、CO₂、O₂ 等的阻隔性^[21]。LIU 等^[22]将完全脱乙酰化的壳聚糖与丁香精油和曲酸复合对凡纳滨对虾进行保鲜,结果表明,在 15 d 的冷藏货架期期间,该生物保鲜剂对虾的总需

氧菌落总数,总挥发性氮含量、pH 的增加有明显的抑制作用;RUCHIR 等^[23]向壳聚糖膜中添加杏仁精油形成的复合膜在抑菌性提高的同时,抗水性、抗水蒸气透过性、拉伸强度等都有了显著提高;BREDEN 等^[24]在研究壳聚糖涂膜与丁香精油对冷冻淡水鱼鱼片保鲜的协同作用时发现,壳聚糖良好的成膜性可在鱼片表面形成复合薄膜,且在复配过程中两物质抑菌性之间的协同作用能有效抑制可培养冷营养细菌的生长。在壳聚糖与植物精油的复合保鲜中,因为活性基团的增加能有效提高保鲜的各项生物活性,有效提升保鲜效率。

2.1.4 中草药提取物 中草药中的小分子有机物大多是疏水性的,可干扰微生物细胞膜组织达到抑制微生物生长的作用,同时能通过降低水产品中酶的活性来达到保鲜效果。WU 等^[25]研究壳聚糖与迷迭香提取物复合液对草鱼进行涂膜保鲜并研究储藏过程中蛋白质的变化发现复合液有较强的缓释特性和自由基清除力,能有效延缓蛋白质的氧化速度,保持草鱼的原有品质。KENAR 等^[26]用壳聚糖和鼠尾草茶提取物处理沙丁鱼,发现在储藏过程中微生物指标和化学指标比对照组低,并能延长沙丁鱼的货架期约 20 d。目前将壳聚糖与中草药提取物复合保鲜时都将中草药提取物作为整体进行研究,加强对不同中草药提取液之间不同活性成分之间协同作用的研究可以进一步促进该复合保鲜方法的发展。

壳聚糖在与植物源保鲜剂复合保鲜时,通过与各类植物源保鲜剂所具有的抗氧化性及抑菌性之间的协同作用,提高对水产品的保鲜效率。但由于植物源保鲜剂部分抑菌机理及抑菌成分尚不明确,影响了植物源保鲜剂种类的选择与复合添加量的确定。与其他生物保鲜剂相比,植物源保鲜剂来源广、成本低、效率高^[14],具有很好的应用前景及应用空间。

2.2 壳聚糖与动物源保鲜剂复合保鲜

目前,主要的动物源保鲜剂有抗菌肽、蜂胶、鱼精蛋白等。其作为生物源保鲜剂最主要的原因是大多数的动物源生物保鲜剂都具有一定的抗菌性,在与壳聚糖进行复合保鲜时能增强保鲜的抑菌效果,提升保鲜效果。

2.2.1 抗菌肽 抗菌肽是从昆虫、两栖类动物、哺乳动物中提取出的一类具有抗菌性的碱性多肽类化合物。抗菌肽的抑菌效果主要是因为它能与微生物细胞膜的脂质双层结合形成跨膜孔洞使细胞内容物流出致细胞死亡^[27]。宋宏霞^[28]研究了紫贻贝抗菌肽与壳聚糖的复合保鲜液对新鲜鲈鱼的保鲜效果,保鲜液处理后的鲈鱼 K 值在第 6 d 达到 65.8%,与对照组 85.03% 有显著下降,并且延缓了菌落总数和总挥发性盐基氮的上升。王盼等^[29]在研究山羊乳源抗菌肽与壳聚糖的复合保鲜液对草鱼的保鲜效果时发现,复合液在草鱼表面形成一层膜,这层膜不仅可以减少微生物在鱼体表面的附着,同时能够阻断氧气的交流,

降低微生物的新陈代谢的速度与速率,以此抑制微生物的成长,延长草鱼的货架期 4~6 d。王亚茹^[30]向鱼肌浆蛋白-壳聚糖复合膜中添加抗菌肽后对真鲷鱼片进行保鲜,通过指标测定发现复合膜能明显抑制微生物的生长繁殖,延缓脂质和蛋白质的氧化速率,使真鲷鱼片在冷藏期间具有良好的感官特性,增加鱼片的货架期。抗菌肽抑菌性强,在复合保鲜过程中能提高复合保鲜的抑菌效果。但由于抗菌肽的提取成本很高,产业化困难,所以要把抗菌肽应用于食品保鲜的前景并不可观。

2.2.2 蜂胶 蜂胶是蜜蜂采集的植物树脂与其上顎腺、蜡腺等分泌物混合形成的具有黏性的固体胶状物,具有极强的抑菌、抗氧化、增强免疫力等功能^[31]。蜂胶中存在的大量黄酮类、醛类、酚类等活性物质可以破坏细菌细胞壁和细胞膜结构导致细菌死亡^[32-33]。齐凤生等^[34]用壳聚糖与蜂胶作复合保鲜剂对海湾扇贝柱进行保鲜,该保鲜剂能明显抑制冷藏过程中细菌的增长繁殖,减缓蛋白质的变性,有效保持扇贝柱的感官品质,延长其货架期 10 d。刘金昉等^[35]研究了壳聚糖与蜂胶的复合保鲜液对南美白对虾的保鲜作用,结果表明该复合保鲜液能有效延缓南美白对虾的腐败黑变效果,能使南美白对虾在-4℃冷藏条件下货架期延长 8~10 d。蜂胶作为一种天然产物,与化学保鲜剂相比,其抑菌时间要长出数倍,其广谱抑菌性使其在与壳聚糖复合保鲜方面有很好的应用前景。

2.2.3 鱼精蛋白 鱼精蛋白是存在于各类动物成熟精巢组织中的一类多聚阳离子肽,具有极强的抑菌活性。鱼精蛋白结构中的聚精氨酸等几个氨基酸结构能与微生物细胞的细胞壁和细胞膜结合,破坏其物质运输、能量转换等功能来达到抑菌效果^[36-37]。张家源等^[38]以南美白对虾为原料,研究鱼精蛋白-壳聚糖复配保鲜剂的保鲜效果,结果表明当 0.01 g/mL 壳聚糖与 0.003 g/mL 鱼精蛋白复配时,可有效控制微生物和酶的活性,从而延缓 pH、K 值、菌落总数和挥发性盐基氮的升高。钱旭等^[39]在研究罗非鱼的保鲜时发现,壳聚糖与鱼精蛋白的复合保鲜液能明显抑制大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的生长,延长鱼片货架期 6 d 左右。在食品保鲜中,与其他生物保鲜剂相比,鱼精蛋白的抗菌活性是杀菌并非抑菌,在保鲜过程中具有安全性高、快速、高效的特点。

动物源保鲜剂具有的抑菌性可与壳聚糖的抑菌性产生协同作用提高复合保鲜的抑菌性,并且动物源保鲜剂的添加可以延缓产品脂质及蛋白质氧化速率,使该类复合保鲜方式用于水产品保鲜时起到事半功倍的效果。但由于动物源保鲜剂蛋白质含量偏高导致复合液的稠度较高,在复合保鲜过程中难于涂开,且浓稠的复合液也会导致所成膜的透气性不好,影响保鲜效果。

2.3 壳聚糖与微生物保鲜剂复合保鲜

微生物源保鲜剂是由微生物代谢过程中产生的

具有抑菌效果的物质。微生物源保鲜剂主要通过微生物代谢产生的细菌素等抑菌物质来抑制或杀死微生物。目前与壳聚糖解复合用于水产保鲜的有乳酸链球菌素、 ϵ -聚赖氨酸等。

2.3.1 乳酸链球菌素(Nisin) Nisin 是由一些乳酸链球菌菌株产生的一类天然抗菌肽,是目前世界上唯一被允许作为食品添加剂的细菌素^[40]。它的抑菌效果主要通过两种途径实现,第一种是 Nisin 能与靶细胞细胞膜上的脂质结合影响肽聚糖的合成从而影响细胞膜的合成^[41],第二种是 Nisin 可以与在靶细胞上的细胞膜上形成离子通道从而影响细胞的物质交换等功能^[42]。欧阳锐等^[43]研究了壳聚糖-Nisin 的复合保鲜液对鲮鱼的保鲜效果,该复合液结合真空包装能使鲮鱼在-4℃下 7 d 内仍处于鲜度,能有效延长其货架期 3~4 d。邹小欠等^[44]将超高压与壳聚糖-Nisin 的复合保鲜液结合处理腌制生食泥螺,研究表明,在泥螺 4℃的冷藏过程中,它的感官品质较对照组低,但能抑制菌落总数、挥发性盐基氮、硫代巴比妥酸值的上升。由于 Nisin 能够减弱热处理温度,改善风味,所以被大规模的应用于水产品保鲜。Nisin 在酸性条件下活性更高,而壳聚糖的溶剂为酸性,两种物质复合能发挥更好的保鲜效果,并且还能改善 Nisin 市场价格偏高、抗菌谱窄的问题。

2.3.2 ϵ -聚赖氨酸 ϵ -聚赖氨酸是由放线菌产生的具有广谱抑菌性的一种聚阳离子多肽。作为一类天然防腐剂,它对 Nisin 不能抑制的革兰氏阴性的大肠杆菌、沙门氏菌的抑菌效果也很好。它的抑菌性主要是通过与其靶细胞膜作用,它通过静电作用铺满靶细胞整个膜面,导致细胞膜磷脂双分子层弯曲受损直至破裂分解,导致细胞内容物电解质、蛋白质等流出导致细胞死亡^[45-46]。ZHANG 等^[47]发现用壳聚糖和 ϵ -聚赖氨酸复合液对中国对虾进行涂膜时能明显抑制微生物的生长并延缓脂肪和蛋白质的氧化速度,延长其货架期 4~6 d。NA 等^[48]发现在用壳聚糖和 ϵ -聚赖氨酸复合液对凡纳滨对虾虾仁涂膜冷藏过程中,中温和嗜冷菌能得到明显抑制,在贮藏第 9 d 的抑制率达到 3 个对数周期,延长虾仁的货架期。LI 等^[49]用 ϵ -聚赖氨酸复合壳聚糖对新鲜半滑舌鳎鱼片进行保鲜,研究发现,半光滑舌鳎片在 4℃贮藏过程中能减少产生影响风味保持和感官特性的化合物,并延长鱼片货架期。壳聚糖与 ϵ -聚赖氨酸有协同抑菌作用,壳聚糖也可对 ϵ -聚赖氨酸的抗氧化性进行互补,两种物质复合保鲜时在抑制水产品中微生物生长、保持其质构品质及色泽方面比单独使用某种保鲜剂效果好,具有良好的水产品保鲜应用前景。

微生物源生物保鲜剂存在抗菌谱窄、作用范围小^[46]等问题,其抑菌保鲜功效也相对有限,根据栅栏技术原理,在与壳聚糖按一定比例复配,组成复合生物保鲜剂,不仅可使单一生物保鲜剂用量减少,同时抑菌效果也会明显增强。

表1 与壳聚糖复合的生物保鲜剂的优缺点

Table 1 Advantages and disadvantages of biological preservative compound with chitosan

	优点	缺点	举例
植物源保鲜剂	提高抗氧化性及抑菌性、改善水产品的感官品质	部分抑菌机理和抑菌成分不明确	儿茶素、茶多酚、丁香精油
动物源保鲜剂	改善膜的力学性质、延缓脂质及蛋白质氧化速率	涂膜难度大、透气性不足	鱼精蛋白、抗菌肽、蜂胶
微生物源保鲜剂	无残留、无耐药性、热稳定性好	抗菌谱窄、作用范围小	乳酸链球菌素、聚赖氨酸
酶类保鲜剂	效率高、抑菌性强	价格昂贵、开发不足	溶菌酶

2.4 壳聚糖与酶类保鲜剂复合保鲜

研究表明,酶类保鲜剂具有高效抑菌性,但由于酶类保鲜剂的价格昂贵,因此在与壳聚糖的复合保鲜中常以低剂量复合主要起提高抑菌性的作用,与壳聚糖复合较多的有溶菌酶等。

溶菌酶是一种具有水解作用的碱性酶,广泛存在于鸟禽类的蛋清以及其他各种哺乳动物体内,是一种天然存在的抗菌物质。溶菌酶可以通过破坏细胞壁中的 N-乙酰胞壁酸和 N-乙酰氨基葡萄糖之间的 β -1,4 糖苷键,使细胞壁不溶性黏多糖分解成可溶性糖肽,导致细胞壁破裂内容物逸出而使细菌溶解;同时溶菌酶因具有阳离子和疏水特性,并且含有能够裂解细胞膜的多肽序列,可以吸附和穿透细胞膜的脂质单层,形成孔洞结构改变细胞膜的通透性最终导致脂质体的裂解^[50-51]。QIN 等^[52]研究了壳聚糖与溶菌酶双层膜对鱼类腐败菌荧光假单胞菌和腐败希瓦氏菌的影响,经双层膜处理后,细菌的表面受损严重,细胞膜的通透性和核酸渗漏增加,该膜对鱼类腐败菌具有优异的抗菌性能。张泽凌等^[53]以白姑鱼为实验对象,利用壳聚糖成膜特性和抗氧化性,使其与溶菌酶复合,在白姑鱼表面形成一层保护膜,能明显抑制白姑鱼冷藏过程中 TBA 和 TVB-N 的升高。

溶菌酶作为一种天然蛋白质,对人体无毒害,亦不会在体内残留^[50]。但因为溶菌酶具有专一性,并不会对所有腐败微生物起作用,因此,溶菌酶与壳聚糖进行复合使用可产生协同作用来提升保鲜效果。

2.5 壳聚糖在与各类生物保鲜剂复配中的优缺点

在壳聚糖在与各类生物保鲜剂复配使用进行保鲜的过程中,各类物质的加入在一定程度上都能提升复合保鲜的效果,但依然存在一定的缺点,具体见表1。

3 结语与展望

随着社会经济的发展及居民生活水平的提高,消费者对于食品质量与安全的要求越来越高。绿色、环保、安全的新型食品保鲜方式将成为未来食品市场的主流发展方向。目前,关于壳聚糖与生物保鲜剂复合使用的研究主要集中于生物保鲜剂的筛选及复配工艺的优化,其目的在于使用生物保鲜剂弥补壳聚糖自身缺陷,从而提高保鲜效率;但少有研究通过直接改善壳聚糖性质而提高保鲜效果,所以今后的研究可集中在以下几方面:a.通过对壳聚糖的结构进行改性修饰,提高其溶解度、改善其化学特性,以此提高壳聚糖的使用率;b.使用纳米化等工艺优化壳聚糖

粒子的粒径大小并扩大其使用范围;c.在壳聚糖与其他生物保鲜剂复合使用的过程中,因各类水产品的性质不同,需要选择不同保鲜剂进行保鲜,因此每种保鲜剂的具体保鲜机制也需深入探究。

参考文献

- [1] IRASTORZA A, ZARANDONA I, ANDONEGI M, et al. The versatility of collagen and chitosan: From food to biomedical applications[J]. Food Hydrocolloids, 2021; 116.
- [2] CHEN C Y, PENG X, CHEN J Y, et al. Mitigating effects of chitosan coating on postharvest senescence and energy depletion of harvested pummelo fruit response to granulation stress[J]. Food Chemistry, 2021; 348.
- [3] GABRIEL S K, PETERS L, MUCALO M. Chitosan: A review of sources and preparation methods[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, 169: 85-94.
- [4] 李光荣, 刘欢, 张文祥, 等. 生物保鲜剂结合物理技术在果蔬保鲜中应用的研究进展[J/OL]. 食品工业科技, 2021, <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020070060>. [LI G R, LIU H, ZHANG W X, et al. Progress of bio-preservatives combined with physical technologies in fruits and vegetables preservation[J/OL]. Science and Technology of Food Industry, 2021, <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020070060>.]
- [5] LAN W Q, XIE J. Study progress on the effect of aquatic products preservation with several bio-preservatives[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2009, 37(6): 75-78.
- [6] 刘峥颖, 吴广臣, 王庭欣, 等. 壳聚糖保鲜食品的机理及其应用的研究[J]. 食品科学, 2005(8): 533-537. [LIU Z H, WU G C, WANG T X, et al. Study on the mechanism and application of chitosan preservative food[J]. Food Science, 2005(8): 533-537.]
- [7] MOHAMED E, ABD H, MANAL E, et al. Antimicrobial and antioxidant properties of chitosan and its derivatives and their applications: A review[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, 164: 2726-2744.
- [8] HOSSEINNEJAD M, JAFARI S M. Evaluation of different factors affecting antimicrobial properties of chitosan[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2016, 85: 467-475.
- [9] DENG Z, WANG T, CHEN X, et al. Applications of chitosan-based biomaterials: A focus on dependent antimicrobial properties[J]. Marine Life Science & Technology, 2020, 2: 398-413.
- [10] HONG K N, NA Y P, SHIN H L, et al. Antibacterial activity of chitosans and chitosan oligomers with different molecular weights[J]. International Journal of Food Microbiology, 2002, 74(1-2): 65-72.
- [11] 董泽义, 谭丽菊, 王江涛. 壳聚糖保鲜膜研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2014, 40(6): 147-151. [DONG Z Y, TAN L J,

- WANG J T. The present situation of chitosan film[J]. Food and Fermentation Industries, 2014, 40(6): 147-151.]
- [12] 林宝凤. 壳聚糖成膜剂特性的研究[J]. 食品与发酵工业, 1998(1): 3-5. [LIN B F. Study on the properties of chitosan film forming agent[J]. Food and Fermentation Industries, 1998(1): 3-5.]
- [13] 秦秋香, 郭祀远. 壳聚糖的成膜性及其工业应用进展[J]. 现代食品科技, 2007(4): 93-96. [QIN Q X, GUO S Y. Film forming properties of chitosan and its industrial application[J]. Modern Food Science and Technology, 2007(4): 93-96.]
- [14] 陶海腾, 董宇晴, 张春江, 等. 黄酮化合物的抑菌性及在畜禽水产防腐保鲜中的应用[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(16): 203-207. [TAO H T, DONG Y Q, ZHANG C J, et al. Antimicrobial activity of flavonoids and their application in preservation of livestock and aquatic product[J]. Food Research and Development, 2020, 41(16): 203-207.]
- [15] LI X L, XIN T, LU Y C, et al. Effects of chitosan and hawthorn flavonoid coating on quality and shelf life of flounder (*Paralichthys olivaceus*) fillets during refrigerated storage[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2017, 41(2): 1-9.
- [16] 王健. 壳聚糖/淡竹叶提取物复合膜的性能及其在油炸胖头鱼贮藏中的应用研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2017. [WANG J. Study on the properties of chitosan/bamboo leaf extract composite membrane and its application in the storage of fried bigheaded fish[D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2017.]
- [17] 王帅, 任丹丹, 吴哲, 等. 多酚类化合物及其在水产品保鲜中的应用研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(21): 7200-7206. [WANG S, REN D D, WU Z, et al. Research progress on polyphenols and its application in aquatic products preservation[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2019, 10(21): 7200-7206.]
- [18] ALVES V, RICO B, CRUZ R, et al. Preparation and characterization of a chitosan film with grape seed extract-carvacrol microcapsules and its effect on the shelf-life of refrigerated Salmon (*Salmo salar*) [J]. Food Science and Technology, 2018, 89: 525-534.
- [19] WONG L W, LUO X J, CHANG C K, et al. Use of the plasma-treated and chitosan/gallic acid-coated polyethylene film for the preservation of tilapia (*Oreochromis niloticus*) fillets[J]. Food Chemistry, 2020, 329: 126989.
- [20] HANEN F, MARIEM B J, RIADH K. Essential oils: A promising eco-friendly food preservative[J]. Food Chemistry, 2020, 330(15): 278-289.
- [21] 杨宽, 陈洁, 何林枫, 等. 含精油可食膜在肉及肉制品保藏中的应用[J]. 东北农业大学学报, 2019, 50(11): 79-86. [YANG K, CHEN J, HE L F, et al. Application of edible film with essential oil in preservation and storage of meat and meat products[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2019, 50(11): 79-86.]
- [22] LIU X, ZHANG C, LIU S, et al. Coating white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) with edible fully deacetylated chitosan incorporated with clove essential oil and kojic acid improves preservation during cold storage[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, 162: 1276-1282.
- [23] PRIVADRSHI R, SAURA J, KUMAR B, et al. Chitosan films incorporated with Apricot (*Prunus armeniaca*) kernel essential oil as an active food packaging material[J]. Food Hydrocolloids, 2018, 85(8): 158-166.
- [24] VIEIRA B, MAFRA J, BISPO D A, et al. Combination of chitosan coating and clove essential oil reduces lipid oxidation and microbial growth in frozen stored tambaqui (*Colosso macropomum*) fillets[J]. LWT, 2019, 116: 108546.
- [25] WU D, LI J J, DU Y, et al. Preparation of chitosan/rosemary extract nanoparticles and their application for inhibiting lipid oxidation in grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) during cold storage[J]. Journal of Aquatic Food Product Technology, 2018, 27(6): 759-770.
- [26] MEHEMT K, FATIH Ö, ESERAY D, et al. Effects of rosemary and sage tea extracts on the sensory, chemical and microbiological changes of vacuum-packed and refrigerated sardine (*Sardina pilchardus*) fillets[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2010, 45(11): 2366-2372.
- [27] 黄现青, 高晓平, 赵改名, 等. 抗菌肽抑菌机制研究进展[J]. 生物学杂志, 2010, 27(2): 62-66. [HUANG X Q, GAO X P, ZHAO G M, et al. Review of bacteriostasis mechanisms of antimicrobial peptides[J]. Journal of Biology, 2010, 27(2): 62-66.]
- [28] 宋宏霞. 紫贻贝 (*Mytilus edulis*) 抗菌肽的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2007. [SONG H X. Studies on antimicrobial peptides from purple mussel (*Mytilus edulis*) [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2007.]
- [29] 王盼, 何贝贝, 李志成, 等. 生物保鲜剂对冷却肉保鲜的影响[J]. 中国食品学报, 2019, 19(11): 199-207. [WANG P, HE B B, LI Z C, et al. Effect of biological preservative on preservation of chilled pork[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2019, 19(11): 199-207.]
- [30] 王亚茹. 生姜精油对鱼肌浆蛋白-壳聚糖复合可食膜功能特性的影响[D]. 锦州: 渤海大学, 2020. [WANG Y R. Effects of ginger essential oil on functional characteristics of fishi sarcoplasmic protein-chitosan coppositeendible films[D]. Jinzhou: Bohai University, 2020.]
- [31] 潘秋月, 洪伯铿, 孟祥河. 蜂胶在食品保鲜中的应用[J]. 中国食品添加剂, 2004(1): 81-82. [PAN Q Y, HONG B K, MENG X H. Application of propolis in food preservation[J]. China Food Additives, 2004(1): 81-82.]
- [32] 杨艳彬, 朱丽莉, 唐明翔, 等. 蜂胶抑菌作用的研究[J]. 食品科技, 1999, 4(6): 33-34. [YANG Y B, ZHU L L, TANG M X, et al. Study on bacteriostasis of propolis[J]. Food Science and Technology, 1999, 4(6): 33-34.]
- [33] 周先汉, 张秀喜, 朱稀耀, 等. 蜂胶提取物抑菌活性及其抑菌机理的研究[J]. 食品科技, 2009, 34(5): 233-236. [ZHOU X H, ZHANG X X, ZHU X L, et al. Preliminary study on antibacterial activity and mechanism of propolis[J]. Food Science and Technology, 2009, 34(5): 233-236.]
- [34] 齐凤生, 刘红英, 王颀河, 等. 复合生物保鲜剂结合气调包装对海湾扇贝柱冷藏保鲜效果的研究[J]. 现代食品科技, 2014, 30(7): 154-159. [QI F S, LIU H Y, WANG X H, et al. Effects of compound biological preservative combined with modified atmo-

- sphere packaging on fresh-keeping of *Argopectens irradians* in cold storage[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2014, 30(7): 154–159.]
- [35] 刘金昉, 刘红英, 李丽娜, 等. 复合生物保鲜剂对南美白对虾保鲜效果的研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2014, 5(2): 599–606. [LIU J F, LIU H Y, LI L N, et al. Preservation effect of complex biological preservative on *Penaeus vannamei*[J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2014, 5(2): 599–606.]
- [36] 孙屏, 汪之和, 郑明星, 等. 鱼精蛋白的研究及其在食品工业中的应用[J]. *食品研究与开发*, 2003, 23(2): 15–18. [SUN P, WANG Z H, ZHENG M X, et al. Study on protamine and its application in food industry[J]. *Food Research and Development*, 2003, 23(2): 15–18.]
- [37] 王灵桥, 杜荣茂, 付红霞, 等. 鱼精蛋白抗菌机制的研究[J]. *微生物学杂志*, 2003, 3(5): 48–51. [WANG L Q, DU R M, FU H X, et al. Study on antibacterial mechanism of protamine[J]. *Journal of Microbiology*, 2003, 3(5): 48–51.]
- [38] 张家源, 张洪才, 陈舜胜, 等. 鱼精蛋白复配保鲜剂对南美白对虾的保鲜效果[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(2): 142–149. [ZHANG J Y, ZHANG H C, CHEN S S, et al. Study on the fresh-keeping effect of protamine complex preservative on *penaeusvannamei*[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2020, 46(2): 142–149.]
- [39] 钱旭, 朱雨晴, 罗慧莹, 等. 壳聚糖-鱼精蛋白复合涂膜的制备及保鲜效果研究[J]. *食品工业*, 2018, 39(12): 18–22. [QIAN X, ZHU Y Q, LUO H Y, et al. Study on the effect of chitosan-protamine composite in tilapia fillet preservation[J]. *The Food Industry*, 2018, 39(12): 18–22.]
- [40] MARTILLANES S, ROCHA J, LLERA J, et al. Control of listeria monocytogenes in sliced dry-cured iberian ham by high pressure processing in combination with an eco-friendly packaging based on chitosan, nisin and phytochemicals from rice bran[J]. *Food Control*, 2021, 124: 107933.
- [41] HUI Z, JUN F, YUN T, et al. Mechanisms of nisin resistance in Gram-positive bacteria[J]. *Annals of Microbiology*, 2014, 64(2): 354–362.
- [42] 程琳丽. 乳酸链球菌素的研究现状及在食品中的应用[J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 11(11): 3581–3585. [CHEN L L. Research status of lactate streptococcin and its application in food[J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2020, 11(11): 3581–3585.]
- [43] 欧阳锐, 王志辉, 李立鹏, 等. 生物保鲜液结合真空包装对鲭鱼保鲜的影响[J]. *食品与机械*, 2019, 35(11): 141–144. [OUYANG R, WANG Z H, LI L P, et al. Effects of bio-preservation liquid combined with vacuum packaging on the preservation of mackerel[J]. *Food & Machinery*, 2019, 35(11): 141–144.]
- [44] 邹小欠, 李成, 余炬波, 等. 超高压结合天然保鲜剂处理对腌制生食泥螺品质的影响[J]. *食品安全质量检测学报*, 2019, 10(8): 2268–2275. [ZOU X Q, LI C, YU J B, et al. Combined effects of natural chemicals and ultra-high pressure on quality of pickled raw bullacta exarate[J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2019, 10(8): 2268–2275.]
- [45] 王梓源, 李欣颖, 吕俊阁, 等. ϵ -聚赖氨酸对大肠杆菌抑菌机制的初步研究[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(21): 34–41. [WANG Z Y, LI X Y, LV J G, et al. The antimicrobial mechanism of ϵ -poly-L-lysine against *Escherichia coli*[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2020, 46(21): 34–41.]
- [46] 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 Y, ZAHNG J Y, SUN T, et al. Research progress of ϵ -polylysine and its complex preservation technology in aquatic products preservation[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2020, 46(22): 263–269.]
- [47] ZHANG Z, XIA G, YANG Q, et al. Effects of chitosan-based coatings on storage quality of Chinese shrimp[J]. *Food Science & Nutrition*, 2019, 7(5): 354–360.
- [48] SOYOUNG N, JIN H K, HYE J, et al. Shelf life extension of pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) using chitosan and ϵ -polylysine during cold storage[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2018, 115: 1103–1108.
- [49] LI N, LIU W, SHEN Y, et al. Coating effects of ϵ -polylysine and rosmarinic acid combined with chitosan on the storage quality of fresh half-smooth tongue sole (*Cynoglossus semilaevis* Günther) filets[J]. *Coatings*, 2019, 9(4): 122–129.
- [50] WANG T T, JIANG Q Q, WU D, et al. What is new in lysozyme research and its application in food industry?-A review[J]. *Food Chemistry*, 2019, 274: 698–709.
- [51] 汪乐川, 李丽莎, 徐诺, 等. 基于生物膜模型分析溶菌酶抑菌机制的研究进展[J]. *食品科技*, 2019, 44(10): 28–32. [WANG L C, LI L S, XU N, et al. Development of the bacteriostatic mechanism in lysozyme based on biofilm model[J]. *Food Science and Technology*, 2019, 44(10): 28–32.]
- [52] QIN Y L, JIN X X, DONG D Z, et al. Preparation of a bilayer edible film incorporated with lysozyme and its effect on fish spoilage bacteria[J]. *Journal of Food Safety*, 2020, 40(5): 323–330.
- [53] 张泽凌, 朱亚珠, 陈雁平, 等. 不同生物保鲜剂对白姑鱼 (*Argyrosomus argentatus*) 品质变化规律的研究[J]. *河北渔业*, 2019(11): 49–52. [ZHANG Z L, ZHU Y Z, CHEN Y P, et al. Quality changes of *Argyrosomus argentatus* under complex biological fresh-keeping agents[J]. *Hebei Fisheries*, 2019(11): 49–52.]