

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2019.03.041

壳聚糖在水产品保鲜中应用研究进展

Research progress of chitosan in aquatic products preservation

刘嘉莉¹ 蓝蔚青^{1,2,3} 刘大勇⁴ 张溪¹ 谢晶^{1,2,3}

LIU Jia-li¹ LAN Wei-qing^{1,2,3} LIU Da-yong⁴ ZHANG Xi¹ XIE Jing^{1,2,3}

(1. 上海海洋大学食品学院, 上海 201306; 2. 上海水产品加工及贮藏工程技术研究中心, 上海 201306;

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

4. 江苏中洋生态鱼类股份有限公司, 江苏南通 226600)

(1. Shanghai Ocean University College of Food Science and Technology, Shanghai 201306, China;

2. Shanghai Aquatic Products Processing and Storage Engineering Technology Research Center, Shanghai 201306, China; 3. National Experimental Teaching Demonstration Center for Food Science and Engineering [Shanghai Ocean University], Shanghai 201306, China; 4. Jiangsu Zhongyang Group Limited by Share Ltd., Nantong, Jiangsu 226600, China)

摘要:在介绍水产品常用保鲜方式的基础上,分别对壳聚糖的制备方法与抑菌机制予以说明,综述了壳聚糖在水产品保鲜方面的应用研究进展,分析了其存在的问题与解决办法,同时还对壳聚糖在水产品保鲜方面的发展前景进行了展望。

关键词:壳聚糖;水产品;保鲜

Abstract: On the basis of the introduction of common preservation methods in aquatic products, the preparation methods and antibacterial mechanism of chitosan were reviewed respectively. The research progress of chitosan in the preservation of aquatic products was summarized, and the existing problems and solutions were analyzed. Moreover, the development prospect of chitosan in the preservation of aquatic products was also prospected.

Keywords: chitosan; aquatic products; preservation

中国是世界第一水产养殖大国、渔业生产大国和水产品贸易大国,水产品总产量自 1989 年以来连续 28 年居世界第一,其产量占全球总量的 35%,水产品养殖量约占全球总量的 70%^[1]。中国水产品品种丰富,人均年消

费量也十分可观。水产品中通常含水量 70%~80%,粗蛋白 15%~22%,脂肪以 DHA、EPA 等不饱和脂肪酸为主,还含有人体必需的维生素、矿物质与微量元素,营养价值高^[2]。然而,水产品表皮保护能力差、酶活性较强,体表、鳃和消化系统中含有大量腐败菌,贮藏过程中处理措施不当易使其腐败变质甚至产生有毒胺类。

目前水产品保鲜方式主要有低温保鲜、气调保鲜、辐照保鲜、高压电场保鲜、保鲜剂保鲜等。其作用机理与主要优缺点如表 1 所示。

在表 1 所述保鲜方式中,保鲜剂由于其来源广、强抗氧化性与强抑菌性等优点而得到研究者的重视。目前可将保鲜剂分为化学保鲜剂与生物保鲜剂,化学保鲜剂虽能抑制水产品中的酶活性和微生物繁殖,但其残留物质可能对人体有害,因而逐渐退出历史舞台;生物保鲜剂因其天然、安全性高等,在水产品保鲜中的应用日益广泛^[8]。其中,壳聚糖就属于动物源生物保鲜剂,该生物保鲜剂近年来逐渐得到国内外学者的关注,并逐渐用于水产品保鲜研究中。

壳聚糖(Chitosan)是由自然界普遍分布的几丁质(Chitin)经脱乙酰化处理而制得的天然高分子聚合物,其通过 β -D-1,4 糖苷键连接,是自然界存在唯一的碱性氨基多糖^[9]。制备壳聚糖的主要原料源于水产加工厂废弃的虾壳和蟹壳中的甲壳素,通过传统化学法,经过脱钙、去蛋白、脱色与脱乙酰等过程制备^[10]。壳聚糖来源广泛,产量丰富,仅次于纤维素,取材方便且成本低,利用价值高,现已被广泛应用于医药、食品、化工、化妆品、水处理、金属提取及回收等领域^[11]。壳聚糖的生物降解性与相容

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金——农产品产业发展和关键技术创新项目〔编号: CX(18)2009〕

作者简介:刘嘉莉,女,上海海洋大学在读硕士研究生。

通信作者:蓝蔚青(1977—),男,上海海洋大学高级工程师,硕士,博士。E-mail: wqlan@shou.edu.cn

谢晶(1968—),女,上海海洋大学教授,博导,博士。

E-mail: jxie@shou.edu.cn

收稿日期:2018-10-09

表 1 水产品常用保鲜方式

Table 1 Common preservation methods of aquatic products

保鲜方式	作用机理	优点	缺点
低温保鲜	低温抑制微生物生长繁殖与酶活性,减缓其生化反应速率	应用范围广,可较长时间保藏水产品,维持其品质	长期处于冻结状态会造成溶质浓缩与蛋白质变性,品质劣变 ^[3]
气调保鲜	调节包装袋内气体比例组分,抑制水产品中微生物生长繁殖 ^[4]	不需添加防腐剂,安全性高,不影响其色泽	成本高,作用机制尚不明确,需合适温度加以控制
辐照保鲜	以射线形式进入水产品内部,破坏微生物细胞膜结构与遗传物质	成本低,效果显著,可最大限度保留食品风味	辐照剂量过大会对人体造成危害,也会造成水产品营养损失 ^[5]
高压电场保鲜	在高压有电流通过的情况下,能使水产品中的酶失活与蛋白质变性 ^[6]	压力传递均匀,灭菌灭酶彻底,能有效保持水产品的色泽与风味	长时间高压会造成水产品形态改变,影响其感官品质
保鲜剂保鲜	抑制微生物生长与酶活性,延缓脂质氧化,防止蛋白质变性	来源广,具有强抗氧化性与强抑菌性,能保持水产品感官特性,显著延长货架期	化学保鲜剂可能存在污染物残留 ^[7]

性好,能降低血液中胆固醇含量,提高机体免疫能力,活化细胞,还能调节机体环境,同时具有优良的广谱抑菌性^[12]。其抑菌性主要与分子量、脱乙酰度、壳聚糖浓度、pH 值、温度和金属离子等因素有关,抑菌机理主要为破坏细菌细胞壁、影响 DNA 功能与螯合金属离子^[13]。由于壳聚糖无毒无害,还可降解,作为食品添加剂加入食品后不会产生毒副作用,因而可作为一种天然、安全的生物保鲜剂被广泛使用。本文在介绍水产品常用保鲜方式的基础上,综述了壳聚糖在水产品保鲜方面的研究进展,以期为该资源的开发利用提供理论参考。

1 壳聚糖在水产品保鲜中的研究进展

壳聚糖具有良好的抑菌性,可阻隔细胞内外物质传递,抑制细菌生长;其可与外膜阴离子结合,改变细胞膜通透性,导致内容物泄出;同时可螯合对微生物生长有利的金属离子,减少毒素产生;壳聚糖还具有良好成膜性,可形成可食性膜并通过微气调环境调节氧气含量,抑制微生物呼吸作用;此外,壳聚糖分子具有网状结构,保水性好,能减缓水产品中水分蒸发,维持水产品的质构与风味,适用于水产品保鲜^[14]。目前,国内外已有相关学者^[15-18]将壳聚糖作为保鲜剂,通过不同作用机制来实现延长水产品货架期的目的。

1.1 抑制微生物生长

壳聚糖可有效抑制腐败菌的生长繁殖,延缓水产品的品质劣变。刘雪飞等^[15]发现壳聚糖液对鲑鱼腐败菌的最小抑菌浓度(Minimal inhibit concentration, MIC)为 4.8 mg/mL,抑菌效果较好。潘艳艳等^[16]采用 1% 壳聚糖对鲈鱼涂膜处理后冰藏,其菌落总数(Total viable count, TVC)在第 21 天时达 6.01 lg CFU/g,而对照组样

品在第 15 天时即达到 6.06 lg CFU/g。Ximena 等^[17]利用 95% 脱乙酰度壳聚糖涂抹剥皮虾,并置于 4 °C 保存,结果得出处理组样品在 12 d 时,菌落数减少约 1 个对数值,能有效抑制其乳酸菌和嗜冷菌生长。Shabnam 等^[18]将 85% 脱乙酰度壳聚糖保鲜膜应用于虹鳟鱼鱼片冷藏,结果发现壳聚糖能有效抑制样品中单核细胞增生李斯特菌的生长。

1.2 减缓脂质氧化

有研究指出通过指标测定可得出壳聚糖可有效延缓水产品的脂质氧化。如陈林林等^[19]添加 1.8% 壳聚糖处理鲤鱼鱼糜,得出其在冷藏 12 d 时硫代巴比妥酸值(Thiobarbituric Acid, TBA)由 0.21 mg MDA/kg 增至 2.88 mg MDA/kg,能明显减缓样品的脂质氧化。李婷婷等^[20]研究得出 1.5% 壳聚糖涂膜处理可抑制冷藏大黄鱼贮藏期间 TBA 值的上升速率,其在第 20 天时 TBA 值为 0.5 mg MDA/kg,产品货架期可延长 5~6 d。Alexander 等^[21]用 5 g/L 水溶性壳聚糖处理虾并于 -20 °C 冷冻,得出贮藏 120 d 时硫代巴比妥酸反应产物(Thiobarbituric Acid Reactive Substances, TBARS)含量低于其他组样品,可有效抑制过氧化物形成。

1.3 延缓蛋白质降解速率

相关研究表明,壳聚糖可通过延缓蛋白质降解来保持水产品的质构特性。如李颖畅等^[22]使用 1% 壳聚糖处理秘鲁鲑鱼鱼丸,得出该组样品冷藏期间的总挥发性盐基氮值(Total Volatile Basic Nitrogen, TVB-N)与 pH 值远低于对照组,壳聚糖能使蛋白质降解受到明显抑制,鱼丸硬度与凝胶性能随之提高。Sun 等^[23]研究发现 1.0% 壳聚糖膜能有效抑制冷藏草鱼片中的盐溶性蛋白质降解,保护其质构,该膜可作为其低温贮藏的潜在包装材料

料。Tahra 等^[24]得出 2%壳聚糖处理熏制鳗鱼片后,其 TVB-N 值 49 d 后达 14.9 mg N/100 g, 低于最大允许水平, 延长货架期 14 d。

1.4 抑制酶活性

组织蛋白酶和钙蛋白酶是鱼片质地软化的主因。Yu 等^[25]用 2%壳聚糖处理草鱼片, 得出其能使冷藏组样品的组织蛋白酶 B 与 B+L 活性值降至初始值的 58% 与 65%, 蛋白水解和鱼片软化程度也相应降低。潘承慧等^[26]用 1%壳聚糖处理南美白对虾, 结果发现壳聚糖处理能使样品在 -2℃ 下的保鲜期延长 4 d, 同时其对多酚氧化酶也有较好抑制作用, 能防止虾体黑变。Enayat 等^[27]将虹鳟鱼置于 2%壳聚糖液中经 -18℃ 下冷冻处理, 得出其能显著降低蛋白质水解酶活性, 冻藏期达 6 个月。

1.5 其他保鲜机制

此外, 壳聚糖还能表现出有效改善水产品感官特性的特点。如封晴霞等^[28]提出 1.5%壳聚糖涂膜可有效减少虾体异味, 改善其质构色泽, 可延长其货架期 2~3 d。李圣艳等^[29]比较了不同保鲜剂对三文鱼冰藏品质变化的影响, 得出 0.5 g/L 壳聚糖对鱼肉色泽的保持效果最佳。杨少玲等^[30]研究了壳聚糖等 3 种保鲜剂处理对金枪鱼冻藏期间品质变化的影响, 得出 15 g/L 壳聚糖溶液对其有明显的抑菌作用, 能延缓样品 K 值升高, 改善其色泽。Mohammed 等^[31]将 2%壳聚糖膜处理罗非鱼片, 结果得出壳聚糖的螯合活性可维持冷藏鱼片的感官品质, 货架期延至 15 d。

2 存在不足与解决方式

近年来, 国内外文献^[32-33]表明壳聚糖具有良好的抑菌性和成膜性。其虽具有良好的保鲜效果, 但单一使用仍存在抑菌效果有限, 抗氧化能力不足, 贮藏时间短等缺点。因此, 可考虑将壳聚糖结合不同类型的生物保鲜剂或者其他技术用于水产品保鲜处理, 能有效保持水产品的综合品质, 延长货架期^[34]。

2.1 与其他生物保鲜剂复配

2.1.1 改善抑菌效果 将部分保鲜剂与壳聚糖混合使用, 可获得很强的抑菌协同性。如徐楚等^[35]将 4.0 g/kg 壳聚糖结合 0.1 g/kg 茶多酚、0.5 g/kg 溶菌酶处理高白鲑鱼片, 得出复合保鲜剂能明显延缓 0℃ 下样品的菌落增长, 冷藏 4 d 后菌落总数达 4.07 lg CFU/g, 货架期延长了 4 d。陈文慧等^[36]将 1.5%壳聚糖结合 0.1%茶多酚、0.05% 溶菌酶用于罗非鱼冷藏保鲜, 结果得出其能有效抑制样品中的细菌繁殖, 第 10 天的感官品质仍在二级鲜度。徐晨等^[37]得出 0.5%鱼精蛋白结合 1%壳聚糖对草鱼片的保鲜效果最佳, 其冷藏 10 d 时的菌落总数为

5.53 lg CFU/g, 未超出鲜度范围, 货架期可至少延长 4 d。

2.1.2 提升抗氧化能力 白藜芦醇是具有抗氧化作用的多酚化合物, 将其与壳聚糖混合使用, 能有效提升壳聚糖的抗氧化活性。如宋素珍等^[38]使用 1.0%壳聚糖结合 0.2% 白藜芦醇处理 0℃ 下贮藏的鱿鱼, 结果得出该处理贮藏第 20 天时 TBA 值为 1.09 mg MDA/kg, 与壳聚糖处理组差异显著, 并可延长货架期 8 d。Olaiya 等^[39]以烟熏欧洲海鲈鱼为原料, 得出 1.0 g/100 mL 壳聚糖结合白藜芦醇可明显延缓脂质氧化, 第 4 周的 TBARS 值为 0.216 mg Eq.MDA/kg。Qiu 等^[40]将 1%甘草提取物与 1.5% 壳聚糖结合处理日本鲈鱼片后冷藏, 以蒸馏水处理样品为对照组, 结果得出壳聚糖复配组样品的 TBARS 值为 0.50 mg MDA/kg, 明显低于对照组样品, 日本鲈鱼皮片的货架期延至 12 d。

2.1.3 提高壳聚糖膜稳定性 中国可食性涂膜技术发展历史悠久, 最早于 12 世纪采用蜂蜡涂抹于水果表面保鲜, 可防止水分流失, 增加产品表面光泽^[41]。壳聚糖涂膜虽具有较好的阻隔性、机械稳定性与抗菌性, 但其拉伸强度低、水蒸气透过率高, 因此以壳聚糖为原料, 添加一些具有抗氧化、抑菌、增塑等作用物质制作的壳聚糖复合膜, 可有效提高其力学性能, 降低其溶解度和水溶性, 增强其抗菌活性, 效果明显优于单一壳聚糖涂膜^[42]。

部分学者已将壳聚糖复合膜应用于水产品中, 其中于林等^[43]使用经茶多酚改性的壳聚糖-胶原蛋白复合膜处理斜带石斑鱼, 结果得出冷藏处理组样品在第 20 天时菌落总数刚超出临界值, 复合膜能明显抑制样品中的微生物生长, 延长其货架期 8 d。户帅锋等^[44]以 3%壳聚糖与 3%山梨酸复合制成抗菌膜, 用于黑鱼鱼块冷藏保鲜, 得出在第 8 天菌数达 5.5 lg CFU/g, 到第 10 天才超过最大可接受值, 货架期延长 4 d。凡玉杰等^[45]由响应面优化得出冷藏银鲳鱼最佳复合膜配方为壳聚糖 5 g/L、海藻酸钠 7 g/L 与乳酸链球菌素 0.3 g/L, 该复合膜能有效延长货架期至 13 d。Xiao 等^[46]得出 0.4%壳聚糖与 3.6%鱼明胶制得的复合膜可抑制金鲳鱼片在冷藏中肌纤维降解, 抑制其菌数增长。国外也有学者研究壳聚糖复合膜, 其中 Ehsan 等^[47]研究了 2.5 g/L 壳聚糖结合 1%唇香草精油、1%石榴皮提取物、1%纳米纤维素颗粒制成的复合膜对鲜虾冷藏处理中单增李斯特菌存活率与货架期的影响, 结果得出与未经处理样品相比, 该复合膜能使样品菌落数降低 2~3 个对数值, 至少使货架期延至 11 d。Soyoung 等^[48]将 2%壳聚糖与赖氨酸涂膜用于太平洋白虾, 得出其可有效减少冷藏样品中的嗜温菌与嗜冷菌数, 延长保质期至 12 d。

2.2 与其他处理方式相结合

在常规处理已不再满足当前市场对水产品保鲜要求

的前提下,部分新技术应运而生。如朱严华等^[49]用 2.0 g/mL 壳聚糖液浸渍处理新鲜巨型枪乌贼,再进行高温煎烤,得出其甲醛含量为 4.79 mg/kg,说明鱿鱼在煎烤过程中结合壳聚糖可明显抑制甲醛生成,抑制率高达 89%,且能改善其质构,提高口感。吴春华^[50]通过 V_c/H_2O_2 氧化还原体系引发自由基,以接枝法将 1 g/L 没食子酸嵌入到脱乙酰度 90%~92% 壳聚糖分子骨架上,作为包装材料处理冷藏鲳鱼,可延长货架期 3~6 d。关志强等^[51]将 0.5% 柠檬酸钠、0.2% 木糖、3.0% 壳聚糖组合成无磷保水剂处理罗非鱼片,由低频核磁共振得出其解冻损伤率和硬度分别为 2.17% 和 2.5 N,保水性良好。Wu 等^[52]用 1% 壳聚糖—Nisin 微胶囊处理小黄花鱼,在 -3 °C 下低温贮藏 30 d 后,其 TVB-N 值远低于对照组样品,可延长其货架期 6~9 d。Hui 等^[53]研究发现 1% 壳聚糖+0.6% Nisin 处理大黄花鱼,得出其在冷藏第 8 天时菌落总数才超出上限,抑菌效果好,该处理还可抑制产品中的蛋白质降解与核酸变性。

国外也通过壳聚糖处理的新方法提高保鲜效果,其中 Fathima 等^[54]以聚乙二醇为交联剂,聚乙烯醇为增塑剂,在聚乳酸基体中嵌入 1% 纳米壳聚糖处理 4 °C 冷藏鲜虾,发现聚乳酸能提高涂膜的机械性能、阻隔性和抗菌性。Zafer 等^[55]将液体烟雾和百里香酚包裹在壳聚糖纳米纤维中,用电纺纳米纤维包裹 6 °C 贮藏的海鲈鱼鱼片,得出其可延缓好氧菌、嗜冷菌、酵母和霉菌生长,抑制 60% 细菌生长。Franklin 等^[56]将 0.5% 壳聚糖溶于 1% 乙酸中制备壳聚糖溶液,并采用真空翻滚溶液 10 min 后处理鲶鱼鱼片,结果发现其可抑制好氧菌增殖,使鱼肉渗透性有效提高,延长冷藏货架期 8 d。Zahra 等^[57]通过试验得出 2% 纳米壳聚糖涂膜对冷藏下的鲑鱼片抑菌效果优于单一壳聚糖处理组。

由此可见,壳聚糖复合保鲜应用前景广阔,其可使各种保鲜剂的作用得以发挥,其保鲜效果比单一使用效果更好。然而,复合保鲜技术在中国的应用还较晚,其在水产品中的应用研究还不多,多数仍处于试验阶段,存在一些不足。如不同类型的水产品其贮藏特性存在差异,目前壳聚糖保鲜剂对特定水产品的最优配方仍无法确定;壳聚糖膜吸湿性高,当空气湿度大会加速微生物增殖;涂层太厚又会阻碍气体交换,产生异味等,这都需后期开展大量研究,以尽量完善其不足。目前可使用的生物保鲜剂还比较单一,在一定程度上限制了壳聚糖复合保鲜剂的应用,需要深入研究,以提升其在水产品中的综合保鲜性能。

3 前景与展望

壳聚糖来源丰富,制取方便,使用安全,且其抑菌性、

保鲜性良好,成膜性强,将其作为生物保鲜剂应用于水产品保鲜,发展潜力巨大。壳聚糖与其他保鲜剂复配使用,将能优势互补,提升其综合保鲜效果;也可结合其他技术处理形成壳聚糖衍生物,如纳米颗粒与微胶囊等技术的融入,将能扩大壳聚糖在水产品保鲜方面的应用范围。目前关于壳聚糖复合膜作为包装材料的研究还不多,研究深度尚不够,制膜效率低、膜机械性能差与涂层保持时间不长等缺点仍然存在,因此需要进一步开展研究,改善其综合效果。总之,在大力倡导“食用安全、绿色环保”理念的当下,壳聚糖能在后期进一步发挥其作用,更好地用于水产品的保鲜加工领域中。

参考文献

- [1] 肖颖,刘启霖,郑金凤,等. 中国水产品的出口现状与发展[J]. 畜禽业, 2017, 28(8): 87-88.
- [2] 徐晨. 复合保鲜剂的生物筛选及其在水产品中的应用[D]. 武汉: 武汉工程大学, 2017: 21.
- [3] 陈卫明,赵卉双,钟机,等. 水产品物理保鲜技术与应用[J]. 科学养鱼, 2016(3): 76-79.
- [4] 王子萌,苑宁,王琳琳,等. 保鲜技术在水产品中的应用研究[J]. 农产品加工, 2017(8): 46-48.
- [5] 谢晶,蓝蔚青. 水产品流通过程中保鲜技术研究进展[J]. 中国食品学报, 2017, 17(7): 1-8.
- [6] 赵宏强,蓝蔚青,张皖君,等. 超高压技术在水产品杀菌保鲜中的研究进展[J]. 食品工业科技, 2016, 37(22): 369-373.
- [7] 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.
- [8] 李娜,谢晶. 组合保鲜方式应用于水产品保鲜的研究进展[J]. 食品与机械, 2017, 33(11): 204-207, 220.
- [9] 季冬青,孙丹丹,和焕香,等. 壳聚糖抗菌活性研究进展[J]. 辽宁中医药大学学报, 2018, 20(3): 82-85.
- [10] 唐红枫,夏琪,刘群,等. 甲壳素提取工艺条件比较及壳聚糖抑菌作用研究[J]. 科学技术与工程, 2017, 17(10): 58-61.
- [11] 张立英. 壳聚糖的制备方法及其研究进展[J]. 山东工业技术, 2018(2): 22.
- [12] 薛金玲,李健军,白艳红,等. 壳聚糖及其衍生物抗菌活性的研究进展[J]. 高分子通报, 2017(11): 26-36.
- [13] 梁丽媚,李思东,李程鹏,等. 壳聚糖及其衍生物抗菌活性的研究进展[J]. 广州化工, 2017, 45(20): 6-9, 15.
- [14] 陶希芹. 壳聚糖保鲜食品的机理及其应用的研究[J]. 当代化工研究, 2017(2): 131-132.
- [15] 刘雪飞,刘欣美,赵东宇,等. 响应面法优化鱿鱼复合生物保鲜剂配方[J]. 渤海大学学报: 自然科学版, 2017, 38(4): 316-322.
- [16] 潘艳艳,雷丽萍,卢佳芳,等. 壳聚糖对冰藏鲈鱼品质及其

- 菌群变化的影响[J]. 核农学报, 2018, 32(12): 2 346-2 354.
- [17] XIMENA Carrión-Granda, IDOYA Fernández-Pan, ISABEL Jaime, et al. Improvement of the microbiological quality of ready-to-eat peeled shrimps (*Penaeus vannamei*) by the use of chitosan coatings[J]. International Journal of Food Microbiology, 2016, 232: 144-149.
- [18] SHABNAM Kakaei, YASSER Shahbazi. Effect of chitosan-gelatin film incorporated with ethanolic red grape seed extract and *Ziziphora clinopodioides* essential oil on survival of *Listeria monocytogenes* and chemical, microbial and sensory properties of minced trout fillet[J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 72: 432-438.
- [19] 陈林林, 李伟, 张伟. 响应面法优化鲤鱼鱼糜复合保鲜工艺[J]. 食品工业科技, 2017, 38(2): 307-312.
- [20] 李婷婷, 励建荣, 胡文忠. 可食性壳聚糖涂膜保鲜大黄鱼品质控制研究[J]. 中国食品学报, 2013, 13(6): 147-152.
- [21] ALEXANDER Chouljenko, ARRANEE Chotiko, VONDEL Reyes, et al. Application of water-soluble chitosan to shrimp for quality retention[J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 74: 571-579.
- [22] 李颖畅, 王亚丽, 励建荣. 蓝莓叶多酚和壳聚糖对冷藏秘鲁鱿鱼鱼丸品质的影响[J]. 中国食品学报, 2016, 16(5): 103-108.
- [23] SUN Li-jun, SUN Jiao-jiao, LIU Dong-jie, et al. The preservative effects of chitosan film incorporated with thinned young apple polyphenols on the quality of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) fillets during cold storage: Correlation between the preservative effects and the active properties of the film[J]. Food Packaging and Shelf Life, 2018, 17: 1-10.
- [24] TAHRA El-Obeid, HANY M Yehia, HERCULES Sakas, et al. Shelf-life of smoked eel fillets treated with chitosan or thyme oil[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 114: 578-583.
- [25] YU Da-wei, JOE M Regenstein, ZANG Jin-hong, et al. Inhibitory effects of chitosan-based coatings on endogenous enzyme activities, proteolytic degradation and texture softening of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) fillets stored at 4 °C[J]. Food Chemistry, 2018, 262: 1-6.
- [26] 潘承慧, 姚智颖, 朱雯雯, 等. 保鲜剂对冰鲜南美白对虾品质变化的影响研究[J]. 食品工业, 2018, 39(4): 12-16.
- [27] ENAYAT Berizi, SAEID Hosseinzadeh, SEYED Shahram Shekarforoush, et al. Microbial, chemical, textural and sensory properties of coated rainbow trout by chitosan combined with pomegranate peel extract during frozen storage[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 106: 1 004-1 013.
- [28] 封晴霞, 赵雄伟, 陈志周, 等. 壳聚糖及其应用研究进展[J]. 食品工业科技, 2018, 39(21): 333-336.
- [29] 李圣艳, 李学英, 靳春秋, 等. 保鲜剂对冰藏三文鱼品质变化的影响[J]. 河南农业科学, 2017, 46(4): 128-133.
- [30] 杨少玲, 于刚, 戚勃, 等. 3种保鲜剂对金枪鱼冻藏品质的影响[J]. 广东农业科学, 2015, 42(6): 91-96.
- [31] MOHAMMED S Alsaggaf, SHAABAN H Moussa, AHMED A Tayel. Application of fungal chitosan incorporated with pomegranate peel extract as edible coating for microbiological, chemical and sensorial quality enhancement of Nile tilapia fillets[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2017, 99: 499-505.
- [32] BILAL Hassan, SHAHZAD Ali Shahid Chatha, ABDUL-LAH Ijaz Hussain, et al. Recent advances on polysaccharides, lipids and protein based edible films and coatings: A review[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 109: 1 095-1 107.
- [33] 李帅, 钟耕辉, 刘玉梅. 多糖类可食性膜的研究进展[J]. 食品科学, 2018, 39(3): 309-316.
- [34] 王硕, 谢晶, 刘爱芳. 生物保鲜技术在海产品中的应用及展望[J]. 包装工程, 2017, 38(1): 137-142.
- [35] 徐楚, 王锡昌, 马壮, 等. 茶多酚、壳聚糖、溶菌酶复合保鲜剂对高白鲑鱼片保鲜效果的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(8): 261-266.
- [36] 陈文慧, 梁振纲, 何翠华. 不同生物保鲜剂对冷藏罗非鱼保鲜效果的研究[J]. 粮食与油脂, 2018, 31(5): 55-58.
- [37] 徐晨, 廖涛, 陈文艳, 等. 鱼精蛋白结合壳聚糖对草鱼片的冷藏保鲜效果[J]. 食品工业科技, 2018, 39(5): 296-300.
- [38] 宋素珍, 李颖畅, 仪淑敏, 等. 白藜芦醇和壳聚糖复合生物保鲜剂对冷藏鱿鱼品质的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(5): 291-295.
- [39] OLAIA Martínez, JESÚS Salmeron, LEIRE Epelde, et al. Quality enhancement of smoked sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fillets by adding resveratrol and coating with chitosan and alginate edible films [J]. Food Control, 2018, 85: 168-176.
- [40] QIU Xu-jian, CHEN Sheng-jun, LIU Guang-ming, et al. Quality enhancement in the Japanese sea bass (*Lateolabrax japonicus*) fillets stored at 4 °C the chitosan coating incorporated with citric acid or licorice extract[J]. Food Chemistry, 2014, 162: 156-160.
- [41] 金芝苹, 王爽, 闫旭, 等. 可食性壳聚糖涂膜在食品保鲜中的应用[J]. 吉林医药学院学报, 2018, 39(1): 42-44.
- [42] REZA Mohammadi, MOHAMMAD Amin Mohammadifar, MILAD Rouhi, et al. Physico-mechanical and structural properties of eggshell membrane gelatin-chitosan blend edible films[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 107: 406-412.

- [43] 于林, 陈舜胜, 王娟娟, 等. 茶多酚改性胶原蛋白-壳聚糖复合膜对冷藏斜带石斑鱼的保鲜效果[J]. 食品科学, 2017, 38(3): 220-226.
- [44] 户帅锋, 于洁, 赵碧洁, 等. 负载山梨酸的壳聚糖微囊-EVOH 抗菌薄膜对黑鱼鱼肉保鲜的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(15): 237-243.
- [45] 凡玉杰, 杨文鸽, 楼乔明, 等. 复配型壳聚糖涂膜对冷藏银鲳的保鲜效果[J]. 核农学报, 2016, 30(4): 734-740.
- [46] FENG Xiao, BANSAL Nidhi, YANG Hong-shun. Fish gelatin combined with chitosan coating inhibits myofibril degradation of golden pomfret (*Trachinotus blochii*) fillet during cold storage [J]. Food Chemistry, 2016, 200: 283-292.
- [47] EHSAN Mohebi, YASSER Shahbazi. Application of chitosan and gelatin based active packaging films for peeled shrimp preservation: A novel functional wrapping design[J]. LWT-Food Science and Technology, 2017, 76: 108-116.
- [48] NA Soyoungh, KIM Jin-hee, JANG Hye-jin, et al. Shelf life extension of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) using chitosan and sapolylysine during cold storage[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 115: 1 103-1 108.
- [49] 朱严华, 黄菊, 陈玉龄, 等. 壳聚糖对煎烤鱿鱼品质及甲醛生成的影响[J]. 水产学报, 2018, 42(4): 605-613.
- [50] 吴春华. 壳聚糖衍生物分子修饰机理及其在银鲳鱼保鲜中的应用研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2017: 54.
- [51] 关志强, 马超锋, 李敏, 等. 基于低场核磁共振优化的罗非鱼片无磷保水剂及其配方研究[J]. 渔业现代化, 2018, 45(2): 64-72.
- [52] WU Tian-tian, WU Chun-hua, FANG Zhong-xiang, et al. Effect of chitosan microcapsules loaded with Nisin on the preservation of small yellow croaker [J]. Food Control, 2017, 79: 317-324.
- [53] HUI Guo-hua, LIU Wei, FENG Hai-lin, et al. Effects of chitosan combined with Nisin treatment on storage quality of large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*) [J]. Food Chemistry, 2016, 203: 276-282.
- [54] FATHIMA P E, PANDA S K, MUHAMED A P, et al. Poly(lactic acid)/chitosan films for packaging of Indian white prawn (*Fenneropenaeus indicus*) [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 117: 1 002-1 010.
- [55] ZAFER Ceylan, GULGUN F Unal Sengor, MUSTAFA Tahsin Yilmaz. Nanoencapsulation of liquid smoke/thymol combination in chitosan nanofibers to delay microbiological spoilage of sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fillets[J]. Journal of Food Engineering, 2018, 229: 43-49.
- [56] FRANKLIN Bonilla, ALEXANDER Chouljenko, VONDEL Reyes, et al. Impact of chitosan application technique on refrigerated catfish fillet quality[J]. LWT-Food Science and Technology, 2018, 90: 277-282.
- [57] ZAHRA Ramezani, MEHDI Zarei, NEDA Raminnejad. Comparing the effectiveness of chitosan and nanochitosan coatings on the quality of refrigerated silver carp fillets[J]. Food Control, 2015, 51: 43-48.

(上接第 213 页)

- [13] 王静, 杨旭亮, 王亚东, 等. 热浸法提取花生壳中多酚类物质的工艺研究[J]. 农产品加工: 学刊, 2008(4): 70-73.
- [14] 刘荣利, 刘维娜, 张晨晨, 等. 热浸法提取仙人掌多糖工艺研究[J]. 现代食品, 2016, 3(5): 103-105.
- [15] 白宝璋. 向日葵叶片叶绿素含量的快速测定[J]. 中国油料, 1987(4): 71-73.
- [16] 乐薇, 吴士筠. 热浸法提取箬竹叶总黄酮的动力学试验[J]. 林业科技开发, 2015, 29(4): 106-109.
- [17] 刘录, 陈海云, 刘菲菲, 等. HPLC 法测定云南省不同辣椒品种中辣椒碱及二氢辣椒碱的含量[J]. 食品工业科技, 2013, 34(5): 299-303.
- [18] 胡震, 张利, 于海莲. 辣椒碱的提取工艺[J]. 食品研究与开发, 2010, 31(6): 87-90.
- [19] 贾恬, 罗仓学, 叶飞. 响应面法优化超声波辅助提取黄秋葵籽油工艺研究[J]. 中国油脂, 2017, 42(11): 20-23.
- [20] 邵佩兰, 徐明. 正交试验优化红枣色素提取工艺[J]. 食品科技, 2014, 39(3): 232-235.
- [21] 俞灵芳, 沈勇根, 上官新晨, 等. 超声波辅助提取辣椒碱的工艺优化[J]. 中国食品学报, 2015, 15(1): 157-163.
- [22] 杨雅婷, 陈秋萍, 李天俊. 微波预处理提取辣椒碱工艺及抑菌效果的研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(35): 20 476-20 478.
- [23] 张郁松. 碱性乙醇法提取辣椒碱的工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2009, 30(1): 70-73.
- [24] 尚宪超, 谭家能, 杜咏梅, 等. 超声波辅助深共熔溶剂提取山楂绿原酸的工艺优化[J]. 食品科技, 2018, 43(9): 285-289.
- [25] 柳昌武, 陈晓光, 韦藤幼, 等. 响应面优化减压内部沸腾法提取辣椒碱工艺[J]. 食品科学, 2013, 34(10): 72-76.
- [26] 黄肖苗, 唐华丹, 郑雁萍, 等. 不同品种辣椒乙醇提取物抑菌活性的研究[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(32): 15 597-15 599.
- [27] 孙雁霞, 邬晓勇, 王跃华, 等. 超声法提取朝天椒辣椒素工艺条件研究[J]. 成都大学学报: 自然科学版, 2009, 28(3): 187-190.