

# 复合新型保鲜膜的制备及对低温草鱼质量的影响

杨攀平<sup>1</sup>, 仲梦园<sup>1</sup>, 徐进<sup>1</sup>, 徐江南<sup>1</sup>, 陈飞<sup>1</sup>,  
朱少辉<sup>1</sup>, 赵立<sup>1</sup>, 卢河东<sup>1,2</sup>

(1. 淮阴工学院 生命科学与食品工程学院, 江苏 淮安 223003;

2. 江南大学 食品学院, 江苏 无锡 214028)

**摘要:** **目的** 开发一种具有优良理化性能和保鲜效果的新型生物保鲜膜。**方法** 以普鲁兰多糖和魔芋胶为基材, 通过添加不同浓度的鱼胶原蛋白制备新型复合生物保鲜膜, 结合其水溶性、透光性和质构性等指标, 研究鱼胶原蛋白对复合膜物理性能的影响, 并以 TVB-N 值、pH 值、细菌总数和丙二醛含量及汁液流失率为指标, 探讨在低温下复合生物膜对草鱼的保鲜效果。**结果** 鱼胶原蛋白能改善多糖保鲜膜的理化性能, 且在其质量分数为 3% 时的性能最佳; 将经不同涂膜处理的草鱼置于 4 °C 下储藏 12 d, 结果表明, 采用质量分数为 3% 的鱼胶原蛋白涂膜处理可延缓鱼肉的腐败、肉制品中食源性病原菌的滋生及挥发性盐基氮的生成, 有效延缓了脂质和蛋白质的氧化变质进程。**结论** 采用质量分数为 3% 的鱼胶原蛋白能改善多糖基生物保鲜膜的物理性能和生物性能, 显著保持其质构性能, 可将草鱼的货架期从 4 d 延长至 9~10 d, 该新型复合保鲜膜具有良好的应用价值和开发前景。

**关键词:** 草鱼; 涂膜保鲜; 鱼胶原蛋白; 魔芋胶; 普鲁兰多糖

**中图分类号:** TS206.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2023)03-0106-08

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.03.013

## Preparation of Novel Composite Preservation Film and Its Effect on Quality of Grass Carp during Low Temperature Storage

YANG Pan-ping<sup>1</sup>, ZHONG Meng-yuan<sup>1</sup>, XU Jin<sup>1</sup>, XU Jiang-nan<sup>1</sup>, CHEN Fei<sup>1</sup>,  
ZHU Shao-hui<sup>1</sup>, ZHAO Li<sup>1</sup>, LU He-dong<sup>1,2</sup>

(1. School of Life Science and Food Engineering, Huaiyin Institute of Technology, Jiangsu Huaian 223003, China;

2. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Jiangsu Wuxi 214028, China)

**ABSTRACT:** The work aims to develop a novel biological preservation film with excellent physical and chemical properties and good preservation effect. Pullulan and konjac glucomannan (KGM) were used as the base materials and then added with different concentrations of fish collagen to prepare novel composite biological preservation film. The effects of fish collagen on the physical and biological properties of the composite film were analyzed by measuring water solubility, light transmittance and texture, and the preservation effect of the composite film on grass carp during low temperature storage was discussed by taking the values of TVB-N, pH and total bacteria on the surface of fish fillet as indexes. Fish collagen could improve the physical and chemical properties of polysaccharide preservation film and the preservation effect was the best when its mass fraction was 3%. After the grass carps treated with different films were stored at 4 °C for 12 d, the film with 3% fish collagen could delay the spoilage of fish meat, the breeding of food-borne pathogens and the

收稿日期: 2022-03-02

基金项目: 国家自然科学基金青年基金(31801524); 江苏省自然科学基金青年基金(BK20170461); 江苏省研究生创新项目(HGYK202204)

作者简介: 杨攀平(1997—), 男, 硕士, 主要研究方向为解淀粉芽孢杆菌代谢机理。

通信作者: 卢河东(1985—), 男, 博士, 讲师, 主要研究方向为益生菌代谢机理。

generation of volatile base nitrogen in meat products and effectively inhibited the oxidative deterioration of lipids and protein. The use of 3% fish collagen can improve the physical and biological properties of polysaccharide-based biological preservation film, significantly maintain the texture properties, and extend the shelf life of grass carp from 4 d to 9~10 d. This novel composite preservation film has good application value and development prospects.

**KEY WORDS:** grass carp; preservation by film; fish collagen; KGM; pullulan

草鱼 (*Ctenopharyngodon idella*) 又名草鲩, 是我国“四大家鱼”之一, 其养殖产量、消费量和产值均居淡水鱼之首。据我国渔业统计年鉴报道, 2021年中国淡水鱼类养殖的产量为 3 088.9 万 t, 其中草鱼的养殖产量为 557.1 万 t<sup>[1]</sup>。草鱼营养丰富, 富含维生素 (A、B、D)、矿物质 (钙、铁、锌、碘、硒) 和人体必需不饱和脂肪酸等营养成分<sup>[2]</sup>。由于草鱼具有含水量高、肉质细腻且 pH 呈中性等特点, 导致其在贮存、运输、加工处理及销售过程中极易腐败变质, 因此建立安全、实用的草鱼保鲜方法具有重要的实际意义。目前, 国内外应用于水产品保鲜的方法主要包括低温保鲜、气调保鲜、化学保鲜等。由于上述保鲜技术容易造成草鱼出现不同程度的脂质氧化或蛋白质变性、营养组分流失及化学药物残留等问题, 因而绿色安全的生物保鲜技术逐渐成为水产品保鲜的研究重点。

生物保鲜技术将从动植物或微生物中提取或由生物技术获得的保鲜剂作用于食品, 达到保鲜的目的<sup>[3]</sup>。与传统保鲜技术相比, 生物保鲜剂具有天然、安全和无毒等优良特性, 能保护食品免受机械损伤, 减少因物理、化学和生物等引起的变质。魔芋胶 (Konjac glucomannan, KGM) 是从魔芋块茎中提取的非离子型高分子多糖, 由 D-葡萄糖和 D-甘露糖通过  $\beta$ -1,4 糖苷键连接而成, 是世界公认的天然健康食品和食品添加剂。除了具有良好的保水性和生物相容性外, KGM 还具有抗糖尿病、抗肥胖和抗炎症等功能<sup>[4]</sup>。基于多种生物活性, 魔芋胶被广泛应用于各种肉糜品质的改善, 如魔芋胶能改善鲑鱼糜<sup>[5]</sup>、南美白对虾肌原纤维凝胶<sup>[6]</sup>的凝胶强度, 弥补因凝胶劣化引起的品质下降和经济损失。王莹等<sup>[7]</sup>研究发现, 魔芋胶的添加能有效降低鸡胸肉糜的失水率, 改善其硬度品质。目前, 关于魔芋胶在肉制品保鲜中的应用报道较少, 有必要进一步探究其在水产品保鲜中的应用价值。普鲁兰多糖是由出芽短梗霉产生的一种胞外多糖<sup>[8]</sup>, 具有良好的成膜性和降解性, 从而被广泛应用于食品保鲜中。陈露珠等<sup>[9]</sup>以普鲁兰多糖和羧甲基壳聚糖为基材, 制备了复合保鲜膜, 研究发现复合膜能使罗氏沼虾的货架期延长 4 d。胡云峰等<sup>[10]</sup>探究了普鲁兰多糖对储藏期间鸡蛋品质的影响。鱼胶原蛋白是从鱼皮、鱼骨和鱼鳞等水生动物的副产品中提取的双亲性蛋白, 具有良好的成膜性、抗氧化性、抑制菌和生物降解性, 被广泛应用于可食性包装领域<sup>[11]</sup>。蛋白质和多糖是食品的重要组成部分, 它们可通过

美拉德反应形成共价键或非共价键结合的蛋白质-多糖复合物, 研究表明, 该复合物与单一组分相比, 具有更加优良的力学性能和气体阻隔性, 能降低水分和避免气体的转移或氧化, 在食品保鲜中具有良好的应用前景<sup>[12]</sup>。由乳清蛋白和胶原蛋白制备的混合涂膜层能显著降低贮藏期间芒果和苹果的气体交换速率<sup>[13]</sup>。将壳聚糖、明胶制备的复合涂膜层应用于辣椒的贮藏保鲜中, 能有效地改善辣椒的质地, 降低微生物的腐败率, 可将辣椒的货架期延长至 14 d<sup>[14]</sup>。在前期的保鲜膜制备中发现, 当魔芋胶与普鲁兰多糖组分的质量分数为 2%, 且魔芋胶与普鲁兰多糖的质量比为 3:7 时, 复合多糖表现出最佳的成膜性能, 但制得的保鲜膜表面粗糙且易碎。文中研究旨在通过添加鱼胶原蛋白对多糖复合保鲜膜进行性能改良, 研究鱼胶原蛋白的含量对复合膜质构性和稳定性的影响, 并进一步验证保鲜液对低温贮藏期间草鱼的汁液流失率、挥发性盐基氮含量、丙二醛含量等指标的影响, 分析其在缓解草鱼冷藏过程中品质变化的作用, 为草鱼的生物保鲜提供研究基础。

## 1 实验

### 1.1 材料与仪器

主要材料: 新鲜草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*), 购于淮安城南农贸市场, 每条鱼的质量为 (1.6±0.2) kg。

### 1.2 试剂和设备

主要仪器: 电子万能试验机, AGS-500N, 日本岛津公司; 半微量凯氏定氮仪, JH40-JHDN-6, 北京海富达科技有限公司; 螺旋测微仪, 0~25 mm, 河北章金生物有限公司; UV-5100 紫外可见分光光度计, 上海元析仪器有限公司; KK580 盒式保鲜包装机, 苏州市凯康机械设备有限公司; 85-2A 双数显恒温磁力搅拌器, 金坛市城东新瑞仪器厂; GZX-9140MBE, 电热鼓风干燥箱, 美墨尔特股份有限公司。

主要试剂: 魔芋胶 (AR, 黏度  $\geq 15\ 000$  mPa·s, 魔芋甘露聚糖, 纯度  $\geq 95\%$ ), 国药集团化学试剂有限公司; 普鲁兰多糖 (AR); 鱼胶原蛋白 (食品级), 多美姿生物科技; 三氯乙酸 (AR); 甲基红 (AR)、溴甲酚绿 (AR)、硼酸 (AR)、盐酸 (AR)、2-巯代

巴比妥酸 (AR)、无水氯化钙 (AR), 国药集团化学试剂有限公司; 蛋白胨 (生化试剂)、牛肉膏 (生化试剂), 上海阿拉丁生化科技有限公司。

### 1.3 方法

实验流程如图 1 所示, 首先配制不同质量分数的复合保鲜膜液, 用亚克力板浇筑成型。通过对复合保鲜膜的性能测定, 评估不同浓度的鱼胶原蛋白对复合多糖基生物膜性能的影响, 最后选择最优的配比验证其对草鱼的低温保鲜效果。

#### 1.3.1 保鲜膜的制备

准确称取 0.1、0.3、0.5、1、3、5 g 的鱼胶原蛋白, 制备质量分数为 0.1%、0.3%、0.5%、1%、3%、5% 的鱼胶原蛋白原液。待溶解后加入魔芋胶和普鲁兰多糖 (质量分数 2%, 魔芋胶与普鲁兰多糖的质量比为 3:7), 加入质量分数为 0.5% 的聚乙二醇和质量分数为 0.3% 的甘油后搅拌混匀, 并于 60 °C、180 r/min 的磁力搅拌器里加热搅拌 10 min。采用超声波震荡脱气 20 min (40 kHz), 吸取 10 mL 于亚克力板 (5 cm×5 cm) 上流延成膜。在 45 °C 的电热鼓风干燥箱中干燥后揭膜, 分别制得不同比例鱼胶原蛋白/魔芋胶/普鲁兰多糖复合膜。实验以未添加鱼胶原蛋白组 (魔芋胶 + 普鲁兰多糖) 为对照组。

#### 1.3.2 保鲜膜性能测定

##### 1.3.2.1 透光性测定

将样品制备成 11 mm×30 mm 的长条, 并贴于可见分光光度计比色皿的一侧, 以空白的玻璃皿为对

照。在 460 nm 处测定复合膜的吸光度, 每组样品设置 3 个平行实验, 求其平均值。按照式 (1) 计算吸光度。

$$A = -\lg T \quad (1)$$

式中:  $A$  为吸光度;  $T$  为透光率, %。

##### 1.3.2.2 水溶性的测定

将复合膜剪成正方形, 置于干燥箱中恒温干燥, 准确称量膜的质量 ( $m_a$ ), 放入蒸馏水中吸水, 至质量恒定。收集膜, 在 50 °C 下干燥, 至质量恒定, 并称重 ( $m_b$ , 精确到 0.000 1 g), 根据其质量变化计算水溶性。每组样品设置 3 个平行实验, 最终结果取其平均值。按照式 (2) 计算水溶性, 用  $E$  表示 (%)。

$$E = (m_b - m_a) / m_a \times 100\% \quad (2)$$

##### 1.3.2.3 复合膜力学性能的测定

测试方法依据 GB 13022-1991, 将处理好的样品置于电子万能试验机上, 将夹距设置为 50 mm, 测试速度为 50 mm/min, 测定薄膜的抗拉强度和断裂伸长率。每个样品设置 3 个平行实验, 取其平均值。拉伸强度的计算见式 (3)。

$$T = F_m / (b \times d) \quad (3)$$

式中:  $T$  为拉伸强度, kPa;  $F_m$  为试样断裂时的最大拉力, N;  $b$  为膜样品的宽度, mm;  $d$  为膜样品的厚度, mm。

断裂伸长率的计算见式 (4)。

$$\delta = (L_1 - L_0) / L_0 \times 100\% \quad (4)$$

式中:  $\delta$  为断裂伸长率, %;  $L_0$  为样品拉伸前的长度, mm;  $L_1$  为膜断裂时所达到的最大长度, mm。

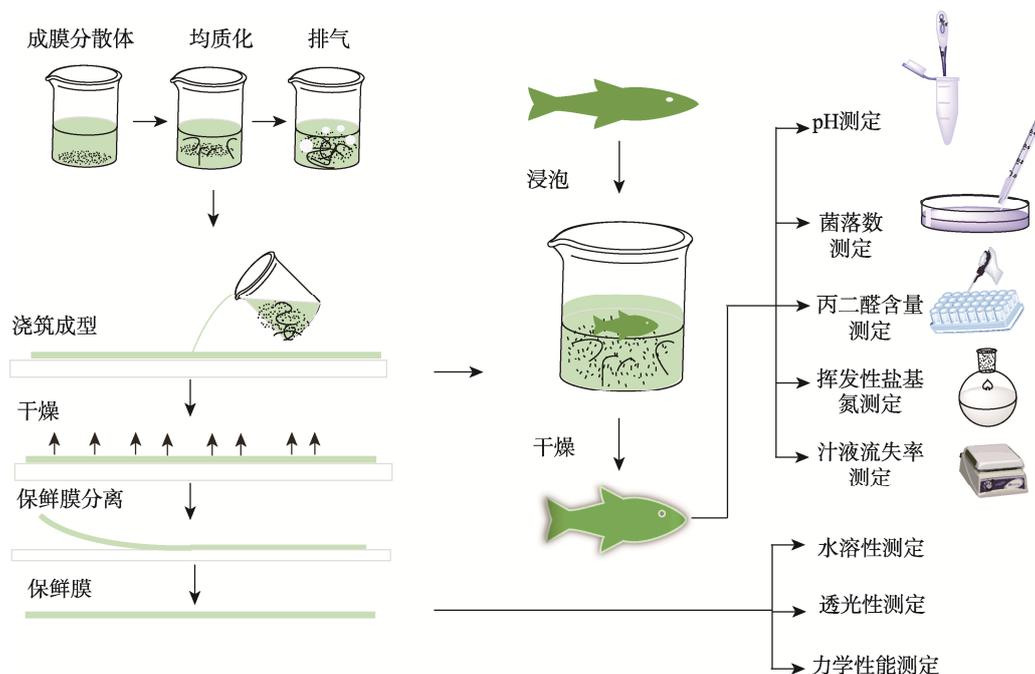


图 1 复合保鲜膜制备及草鱼保鲜流程

Fig.1 Preparation of composite preservation film and preservation process of grass carp

### 1.3.3 复合保鲜膜的草鱼保鲜性能测试

#### 1.3.3.1 样品预处理

将鲜活草鱼致死后, 去头、尾、鳞和内脏, 用无菌水清洗干净, 并切成鱼片(5.0 cm×5.0 cm×1.0 cm)。

#### 1.3.3.2 涂膜保鲜液制备及涂膜处理

按照 1.3.1 的方法制备魔芋胶+普鲁兰多糖、魔芋胶+普鲁兰多糖+鱼胶原蛋白(1%、3%、5%)各 100 mL。以未涂膜处理的草鱼片为空白组, 魔芋胶+普鲁兰多糖处理组为对照组, 不同浓度的鱼胶原蛋白处理组为涂膜处理组。将上一步得到的鱼肉随机分组, 并置于不同保鲜液中进行涂膜处理, 浸泡 5 min, 在空气中晾干, 置于均质的保鲜袋中, 并封口冷藏储存。

## 1.4 指标测定

将处理样品当天记为 0 d, 分别于 0、4、8、12 d 时进行各项指标的测定。

### 1.4.1 pH 值、总挥发性盐基氮、丙二醛和菌落数的测定

参照 GB 5009.237—2016《食品安全国家标准 食品 pH 值的测定》对样品 pH 值进行测定<sup>[15]</sup>, 参照 GB/T 5009.44—2003《肉与肉制品卫生标准的分析方法》对样品的总挥发性盐基氮(TVB-N)含量进行测定, 参照 GB 5009.181—2016《食品中丙二醛的测定》对鱼肉中的丙二醛含量进行测定, 参照 GB/T 4789.17—2003《食品卫生微生物学检验 肉与肉制品检验》方法对样品的菌落总数进行测定<sup>[16]</sup>。

### 1.4.2 汁液流失率的测定

参考李敬等<sup>[17]</sup>的方法并稍作修改, 称量自封袋的质量( $m_1$ , kg)、0 d 时带自封袋样品的总质量( $m_2$ , kg)。在贮藏过程中取出样品, 将样品表面水分吸干后, 称量样品的质量( $m_3$ , kg)。汁液流失率的计算见式(5)。

$$\text{汁液流失率} = (m_2 - m_1 - m_3) / (m_2 - m_1) \times 100\% \quad (5)$$

## 1.5 数据处理与分析

每组实验进行 3 个平行实验, 实验数据采集及分析计算采用 SPSS, 采用 Origin 9.0 软件作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 复合保鲜膜的性能分析

#### 2.1.1 不同含量鱼胶原蛋白对复合膜透光性的影响

鱼胶原蛋白对复合保鲜膜透光率的影响如图 2 所示, 在 460 nm 处, 随着鱼胶原蛋白添加量的增加, 复合保鲜膜的透光率逐渐增加。当鱼胶原蛋白的添加量小于 1% (质量分数) 时, 对照组与实验组差异不显著。当鱼胶原蛋白的质量分数增至 3% 时, 复合保鲜膜的透光性达到 84%。透光率是反映胶原蛋白和魔芋胶/普鲁兰多糖相容性的指标, 透光性越高则说明各组分相互协同作用良好<sup>[11]</sup>。当鱼胶原蛋白的质量分数增至 3% 时,

复合膜的透光性最好, 说明在此比例下鱼胶原蛋白与多糖基的相容性最好, 这可能是多糖表面富集的还原羰基与鱼胶原蛋白的游离胺基通过美拉德反应形成了均质共价复合物的结果。当鱼胶原蛋白的质量分数为 5% 时, 部分鱼胶原蛋白可能未参与美拉德反应, 从而附着于保鲜膜表面, 降低了保鲜膜的透光性。

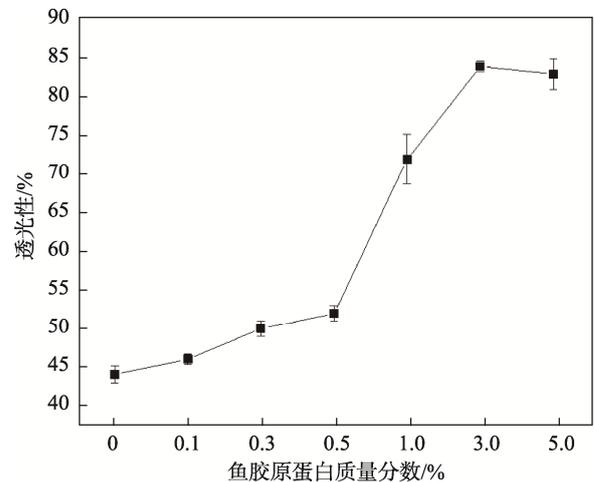


图 2 鱼胶原蛋白对保鲜膜透光率的影响  
Fig.2 Effect of fish collagen on light transmittance of preservation film

#### 2.1.2 不同含量鱼胶原蛋白对复合膜水溶性的影响

作为一种食品级的可食性保鲜膜, 涂膜层在水中的溶解性是值得关注的物理性能, 良好的水溶性能拓宽保鲜膜的使用领域, 提高消费者的接受度。鱼胶原蛋白对复合保鲜膜水溶性的影响如图 3 所示。随着鱼胶原蛋白添加量的增加, 复合膜的溶解性增大。当鱼胶原蛋白的质量分数为 3%、5% 时, 复合保鲜膜的溶解率分别达到 91%、92.5%。说明在该比例下鱼胶原蛋白能够增加保鲜膜的溶解性。研究显示, 鱼胶原蛋白具有乳化作用, 可增加保鲜膜的乳化性, 增加复合膜在水中的溶解度<sup>[11]</sup>。

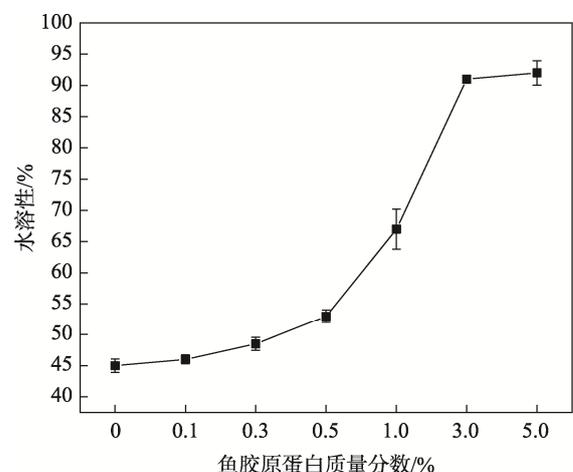


图 3 鱼胶原蛋白对复合膜水溶性的影响  
Fig.3 Effect of collagen on the solubility of composite film

### 2.1.3 复合膜力学性能的测定

力学性能是评判保鲜膜质构性的重要指标,鱼胶原蛋白对复合保鲜膜性能的影响如表1所示。随着鱼胶原蛋白添加量的增加,保鲜膜的厚度增加,拉伸强度和断裂伸长率都呈现增加的趋势。当鱼胶原蛋白的质量分数为3%时,复合保鲜膜的拉伸强度和断裂伸长率最大,分别增加至55.06 MPa和246%,这说明鱼胶原蛋白的添加改善了复合保鲜膜的质构性能,使其具有更加良好的力学性能。多糖与蛋白质通过共价结合、静电作用、疏水作用、氢键和范德华力,形成了具有优良力学性能的蛋白质-多糖复合物<sup>[18]</sup>。

综上所述,当复合保鲜膜中鱼胶原蛋白的质量分数小于1%时,保鲜膜的水溶性、透光性和质构性与对照组相比无显著变化;当鱼胶原蛋白的质量分数为3%、5%时,保鲜膜的各项性能最优。在后续实验中将探究添加1%、3%、5%(质量分数)的鱼胶原蛋白对冷藏草鱼的保鲜效果。

## 2.2 复合保鲜膜对草鱼的保鲜效果

### 2.2.1 复合处理对草鱼 pH 的影响

在冷藏过程中,草鱼肉的pH变化情况如图4所示。草鱼肉的初始pH值为6.75~6.87。在贮藏期间,不同处理组的变化趋势相近,在0~4 d期间,鱼肉的pH呈下降趋势。宰杀后鱼肉的血液循环受阻,细胞呼吸代谢紊乱,导致乳酸积累。无氧呼吸启动了细胞坏死和凋亡程序,主要表现为细胞结构的破坏<sup>[19]</sup>,能量代谢终止,ATP合成与代谢的平衡破坏,磷酸基团的积累导致储藏初期鱼肉pH的降低<sup>[20]</sup>。在4~12 d期间,鱼肉的pH呈增长趋势,这主要归因于鱼肉在储藏过程中,其内源性蛋白酶或微生物酶能使鱼肉中的糖原和蛋白质等大分子物质分解为氨、胺类等碱性含氮物质,主要表现为氧化三甲胺(TMAO)和非蛋白质含氮物质,导致鱼肉腐败变质、营养成分流失,使得鱼肉的pH值增高<sup>[21]</sup>。与涂膜处理组相比,对照组草鱼肉的pH变化极为显著( $P < 0.01$ ),这说明复合保鲜膜处理能够延缓草鱼pH的变化进程。在涂膜处理组中,质量分数为3%的鱼胶原蛋白复合组的pH值变化率较低( $P < 0.05$ ),这证明质量分数为3%的

鱼胶原蛋白复合多糖保鲜膜的保鲜效果最佳。该结果与保鲜膜的质构性测试结果相符,质量分数为3%的鱼胶原蛋白与魔芋胶/普鲁兰多糖可形成强联作用的复合膜,能有效阻断氧气流通,隔绝致病微生物污染。

### 2.2.2 复合处理对草鱼丙二醛含量的影响

鱼肉中含有多种促氧因子,包括不饱和脂肪酸、亚铁血红素及过渡态金属离子等。这些物质可作为产生ROS自由基或非自由基的前体物质诱导氧化反应<sup>[22]</sup>,诱导肉质的氧化腐败。这一过程会产生大量的 $H_2O_2$ ,它易与烷烃、酮、醇和碳氢化合物结合发生氧化反应,散发出不愉快的气味。丙二醛是生物体的氧化终产物,其含量可反映鱼肉的氧化程度,复合处理组鱼肉的丙二醛含量测试结果如图5所示。对照组和涂膜处理组的丙二醛含量差异较为显著( $P < 0.01$ ),说明鱼胶原蛋白-复合多糖涂膜层能阻隔空气,抑制鱼肉的氧化反应。相较于多糖涂膜处理组,鱼胶原蛋白的添加能显著降低鱼肉组织间的丙二醛含量( $P < 0.05$ )。这可能是因鱼胶原蛋白中富含Pro和Gly等富电子基团,它们可以向缺电子的自由基提供质子,以清除机体中的自由基,也可能是鱼胶原蛋白螯合还原能力的金属离子阻断了机体中自由基链式反应<sup>[23]</sup>。在贮藏第4天时,不同处理组草鱼肉的丙二醛含量呈现不同的变化趋势,其中质量分数为3%的鱼胶原蛋白组的变化率最低,该结果与质构性能测试结果一致,说明质量分数为3%的鱼胶原蛋白能与复合多糖基形成致密的分子结构,且能降低了鱼肉的氧化程度。

### 2.2.3 复合处理组对草鱼挥发性盐基氮的影响

挥发性盐基氮(Total Volatile Base Nitrogen, TVB-N)是肉制品在贮藏过程中微生物或者内源性蛋白酶分解蛋白质等大分子化合物产生的氨及胺类等碱性含氮物质的总称,它的含量是反映肉制品的保鲜质量、细菌污染程度及新鲜度的重要指标<sup>[23]</sup>,其变化过程如图6所示。涂膜处理组和对照组的TVB-N含量变化显著( $P < 0.01$ ),在涂膜处理组中,鱼胶原蛋白的质量分数为3%、5%处理组的TVB-N生成量相近。说明鱼胶原蛋白单独降低鱼肉中TVB-N的效果甚微,故鱼胶原蛋白添加组的挥发性盐基氮值较低,可能是多糖基与鱼胶原蛋白相互协同的结果。

表1 鱼胶原蛋白/多糖基复合保鲜膜的力学性能

Tab.1 Mechanical properties of fish collagen/polysaccharide-based composite preservation film

样品	厚度/mm	拉伸强度/MPa	断裂伸长率/%
魔芋胶+普鲁兰多糖	0.015±0.004	7.22±0.78	118.56±63.00
魔芋胶+普鲁兰多糖+鱼胶原蛋白(0.1%)	0.015±0.034	7.64±0.38	108.43±21.00
魔芋胶+普鲁兰多糖+鱼胶原蛋白(0.3%)	0.017±0.032	9.49±0.22	152.49±13.00
魔芋胶+普鲁兰多糖+鱼胶原蛋白(0.5%)	0.029±0.004	13.59±0.9	166.51±60.00
魔芋胶+普鲁兰多糖+鱼胶原蛋白(1%)	0.032±0.003	19.57±0.19	232.83±39.00
魔芋胶+普鲁兰多糖+鱼胶原蛋白(3%)	0.055±0.001	55.06±0.92	246.32±77.00
魔芋胶+普鲁兰多糖+鱼胶原蛋白(5%)	0.06±0.002	53.46±0.44	233.91±42.00

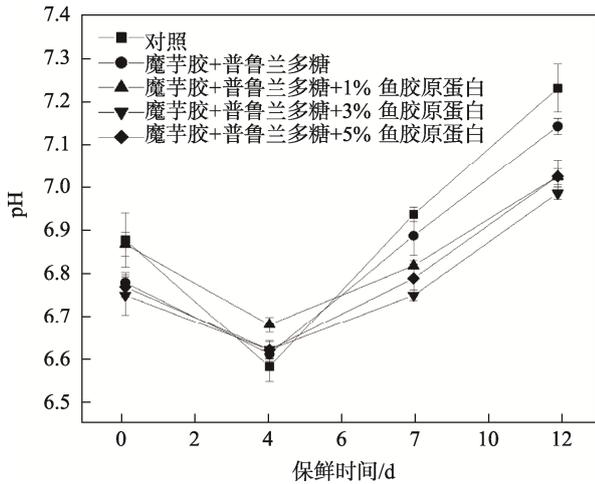


图 4 保鲜处理对草鱼 pH 的影响  
Fig.4 Effect of preservation treatment on pH of grass carp

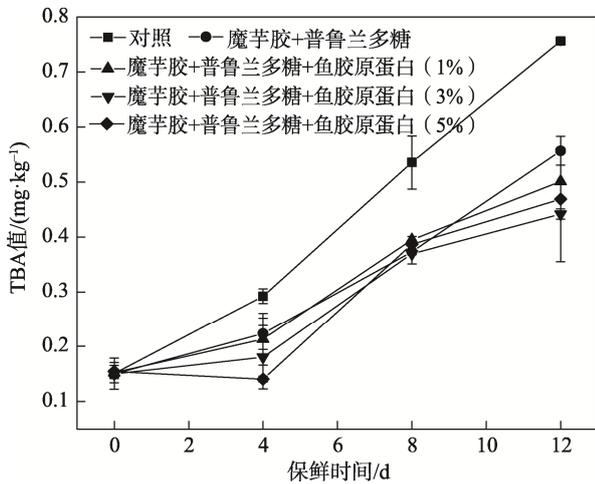


图 5 涂膜处理对草鱼丙二醛的影响  
Fig.5 Effect of film treatment on malondialdehyde of grass carp

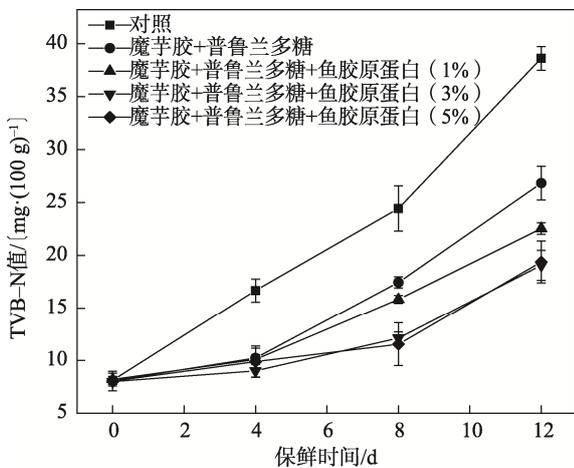


图 6 保鲜处理对草鱼肉 TVB-N 含量的影响  
Fig.6 Effect of preservation treatment on TVB-N content in meat of grass carp

## 2.2.4 复合处理对草鱼汁液流失率的影响

汁液流失率是反映鱼肉中水分含量的指标。鱼肉的保水性依赖于肌肉组织中蛋白质结合水的能力,关键在于蛋白质表面的水合能力及肌原纤维晶格的毛细管效应<sup>[24]</sup>,肌原纤维蛋白和肌浆蛋白中巯基数量及肌肉组织中蛋白质的交联程度对肌肉的保水性也具有一定的影响<sup>[25]</sup>。在储藏期间,草鱼的汁液流失率如图 7 所示,随着保鲜时间的延长,空白组、对照组和涂膜处理组的汁液流失率均呈现上升趋势。与空白组相比,涂膜组的汁液损失率变化较缓慢( $P < 0.01$ ),鱼胶原蛋白的添加可显著降低汁液的损失。在实验中,鱼胶原蛋白的质量分数为 1%、3%、5%的处理组在 12 d 时其汁液流失率分别为 5.24%、4.81%、4.31%,保水效果显著,这可能与鱼胶原蛋白分子表面存在的亲水羟基和羧基可与水分子形成氢键有关,从而延缓了汁液的流失<sup>[13]</sup>。

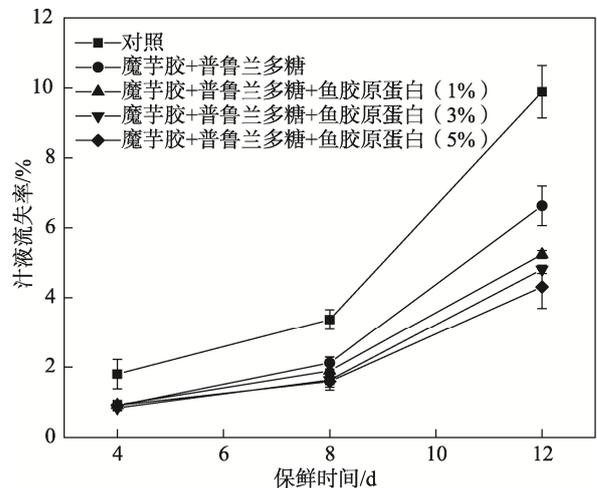


图 7 处理组的汁液流失率  
Fig.7 SAP loss rate of treatment group

## 2.2.5 复合处理对微生物总数的影响

微生物菌落数可以反映肉制品在储存过程中的受污染程度,也是评价保鲜效果的重要指标,复合处理组的菌落总数变化情况如图 8 所示。在低温贮藏过程中,草鱼的菌落数总体呈增长的趋势,不同处理组又呈现出不同的变化态势,这也表明不同实验组的设计较为合理。根据国际微生物规格委员会 (ICMSF) 对食品微生物限量规定,当每克肉制品中的微生物超过  $5 \times 10^5$  CFU 则认定为腐败肉<sup>[26]</sup>。空白组在第 4 天已达  $5.01 \times 10^5$  CFU/g,而质量分数为 3% 的鱼胶原蛋白处理组在第 8 天时的菌落数仅为  $4.89 \times 10^5$  CFU/g,仍在限定值之内,说明该处理能抑制食源病原菌的滋生。这可能归因于多糖能破坏致病菌的分子结构,扰乱细菌的能量代谢,且鱼胶原蛋白也是一种良好的表面活性剂,亲脂结构能破坏食源性致病菌的细胞结构<sup>[27]</sup>。

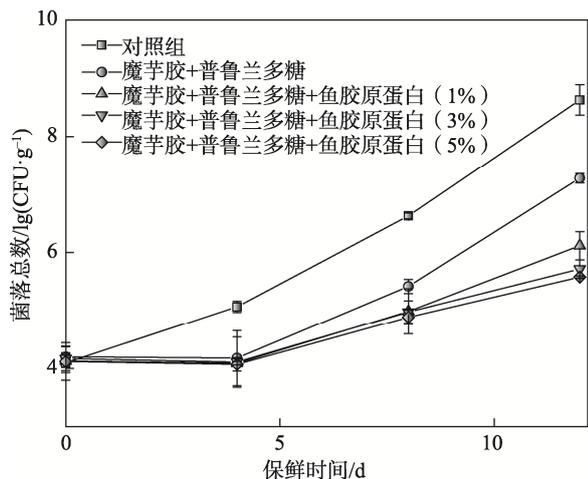


图8 复合处理组菌落总数  
Fig.8 Total number of communities in the compound treatment group

### 3 结语

为了开发新型生物保鲜膜,以魔芋胶/普鲁兰多糖和鱼胶原蛋白为保鲜膜壁材,研究了不同含量的鱼胶原蛋白对普鲁兰多糖/魔芋胶多糖基保鲜膜物理性能和生物保鲜的影响。通过检测物理性能、水溶性和透光性发现,鱼胶原蛋白能显著提升多糖基材保鲜膜的性能,当鱼胶原蛋白的质量分数为3%时其性能最优。通过对低温草鱼的保鲜实验发现,鱼胶原蛋白参与多糖涂膜处理能延缓鱼肉的腐败、肉制品中食源性病原菌的滋生和挥发性盐基氮的生成,有效延缓了鱼肉脂质和蛋白质的氧化变质进程。综合考虑TVB-N值和微生物菌落数的国际鲜肉标准及pH和汁液流失率,最后得出保鲜膜组分为鱼胶原蛋白质量分数3%、普鲁兰多糖/魔芋胶质量分数2%(魔芋胶与普鲁兰多糖的质量比为3:7)时具有最好的冷藏(4℃)保鲜效果,最终将草鱼的货架期从4d延长至9~10d。

#### 参考文献:

- [1] 夏雨婷, 吴玮伦, 章蔚, 等. 真空辅助加压腌制对草鱼块品质的影响[J]. 食品科学, 2022, 4(15): 1-20.  
XIA Yu-ting, WU Wei-lun, ZHANG Wei, et al. Effect of Vacuum-assisted Pressure Curing on Quality of Grass Carp Pieces[J]. Food Science, 2022, 4(15): 1-20.
- [2] 程辉辉. 种青养鱼模式下草鱼肌肉营养成分和品质特性[D]. 武汉: 华中农业大学, 2017: 10-15.  
CHENG Hui-hui. Muscular Nutritional Components and Meat Quality of Grass Carp (*Ctenopharyngodon Idellus*) Cultured under the Model of Cultivating Fish with Grass[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2017: 10-15.
- [3] XIE Bing, ZHANG Xing-zhong, LUO Xiao-gang, et al.

Edible Coating Based on Beeswax-in-Water Pickering Emulsion Stabilized by Cellulose Nanofibrils and Carboxymethyl Chitosan[J]. Food Chemistry, 2020, 331: 127108.

- [4] 黄明发, 鲁兴容, 刁兵, 等. 魔芋胶的功能特性及其在肉制品中的应用[J]. 中国食品添加剂, 2012(1): 186-190.  
HUANG Ming-fa, LU Xing-rong, DIAO Bing, et al. The Functional Characteristics of Konjac Gum and Its Application in Meat Industry[J]. China Food Additives, 2012(1): 186-190.
- [5] DEVARAJ R D, REDDY C K, XU Bao-jun. Health-Promoting Effects of Konjac Glucomannan and Its Practical Applications: A Critical Review[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 126: 273-281.
- [6] 于建行. 泥鳅贮藏保鲜及鱼糜凝胶制备工艺研究[D]. 重庆: 西南大学, 2015: 45-72.  
YU Jian-xing. Research on Preservation and Freshness of Loach (*Misgurnus Anguillicaudatus*) and Its Surimi Gel Preparation Technology[D]. Chongqing: Southwest University, 2015: 45-72.
- [7] 孙乐常, 周典颖, 杜瀚, 等. 魔芋胶对南美白对虾肌原纤维蛋白凝胶特性的影响[J]. 食品科学, 2022, 43(12): 42-50.  
SUN Le-chang, ZHOU Dian-ying, DU Han, et al. Effect of Konjac Glucomannan on Gelling Properties of Myofibrillar Protein from the Pacific White Shrimp *Litopenaeus Vannamei*[J]. Food Science, 2022, 43(12): 42-50.
- [8] 王莹, 张莉杰. 添加魔芋胶及超高压对鸡胸肉糜失水率和硬度影响的研究[J]. 肉类工业, 2021(11): 38-41.  
WANG Ying, ZHANG Li-jie. Study on the Effect of the Addition of Konjac Gum and Ultra-High Pressure on Water Loss Rate and Hardness of Chicken Breast Meat Paste[J]. Meat Industry, 2021(11): 38-41.
- [9] 陈露珠, 李念, 裴诺, 等. 普鲁兰多糖/羧甲基壳聚糖复合膜的制备及其对罗氏沼虾的保鲜效果[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(24): 137-143.  
CHEN Lu-zhu, LI Nian, PEI Nuo, et al. Preparation of Pullulan/Carboxymethyl Chitosan Composite Membrane and Its Fresh-Keeping Effect on Macrobrachium Rosenbergi[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(24): 137-143.
- [10] 胡云峰, 张利苹, 位锦锦, 等. 普鲁兰多糖涂膜剂的制作及其在鸡蛋保鲜中的应用[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(23): 38-42.  
HU Yun-feng, ZHANG Li-ping, WEI Jin-jin, et al. Production of Pullulan Polysaccharide Coating Method and Its Application in the Preservation of the Egg[J]. Food Research and Development, 2019, 40(23): 38-42.
- [11] 于林. 白鲢鱼鳞胶原蛋白复合膜的制备以及保鲜效果

- 研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2017: 9-18.
- YU Lin. Study on Hypophthalmichthys Molitrix Scale Collagen-Chitosan Blend Film and Its Preservation Effects[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2017: 9-18.
- [12] 汪少芸, 冯雅梅, 伍久林, 等. 蛋白质-多糖多尺度复合物结构的形成机制及其应用前景[J]. 食品科学, 2021, 42(17): 1-9.
- WANG Shao-yun, FENG Ya-mei, WU Jiu-lin, et al. Formation Mechanism of Protein-Polysaccharide Multi-Scale Complexes and Their Future Applications[J]. Food Science, 2021, 42(17): 1-9.
- [13] DHALL R K. Advances in Edible Coatings for Fresh Fruits and Vegetables: A Review[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2013, 53(5): 435-450.
- [14] LIMA Á M, CERQUEIRA M A, SOUZA B W S, et al. New Edible Coatings Composed of Galactomannans and Collagen Blends to Improve the Postharvest Quality of Fruits - Influence on Fruits Gas Transfer Rate[J]. Journal of Food Engineering, 2010, 97(1): 101-109.
- [15] POVERENOV E, ZAITSEV Y, ARNON H, et al. Effects of a Composite Chitosan-Gelatin Edible Coating on Postharvest Quality and Storability of Red Bell Peppers[J]. Postharvest Biology and Technology, 2014, 96: 106-109.
- [16] 唐海兵, 杨春香, 任柏成, 等.  $\beta$ -环糊精-精油微囊活性保鲜垫对草鱼的保鲜效果[J]. 上海海洋大学学报, 2021, 30(4): 770-776.
- TANG Hai-bing, YANG Chun-xiang, REN Bo-cheng, et al. Effects of Active Fresh-Keeping Pad of B-Cyclodextrin Oil Microcapsule on the Preservation of Grass Carp[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2021, 30(4): 770-776.
- [17] Gebrechistos HY. 土豆皮提取物及其制备膜对猪肉、鸡肉、鱼肉的保鲜效果[D]. 北京: 中国农业科学院, 2019: 70-96.
- Gebrechistos HY. Preservation Efficacy of Potato Peel Extracts for Pork, Chicken and Fish Meat and its Use for Active Film Food Packaging[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2019: 70-96.
- [18] 李敬, 王小瑞, 刘红英, 等. 气调包装对大菱鲆的冷藏保鲜效果[J]. 食品科学, 2016, 37(22): 313-317.
- LI Jing, WANG Xiao-rui, LIU Hong-ying, et al. Effect of Modified Atmosphere Packaging on Quality Preservation of Scophthalmus Maximus during Cold Storage[J]. Food Science, 2016, 37(22): 313-317.
- [19] 张盼, 王俊平. 壳聚糖-普鲁兰多糖复合抗菌保鲜膜对冷鲜牛肉的保鲜效果[J]. 中国食品学报, 2020, 20(6): 194-201.
- ZHANG Pan, WANG Jun-ping. Effect of Chitosan-Pullulan Composite Antibacterial-Films on Fresh-Keeping of Chilled Beef[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2020, 20(6): 194-201.
- [20] 葛黎红. 内源蛋白酶在低温保鲜草鱼质构劣化中的作用与控制研究[D]. 无锡: 江南大学, 2017: 40-53.
- GE Li-hong. Study on Correlation of Endogenous Proteases with Texture Deterioration of Grass Carp (Ctenopharyngodon Idella) during Chilled Storage and Quality Control[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2017: 40-53.
- [21] 高立红, 钱冠林, 刘金忠, 等. 乳糖酸复合保鲜剂对冷鲜肉品质的影响[J]. 食品工业科技, 2021, 42(19): 314-320.
- GAO Li-hong, QIAN Guan-lin, LIU Jin-zhong, et al. Effects of Lactobionic Acid Compound Preservative on the Quality of Chilled Meat[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(19): 314-320.
- [22] 崔旭海, 孔保华. 蛋白氧化及对肉制品品质和功能性的影响[J]. 肉类研究, 2008, 22(11): 27-31.
- CUI Xu-hai, KONG Bao-hua. Protein Oxidation and the Effects of Oxidation on Muscle Food Quality and Functional Properties[J]. Meat Research, 2008, 22(11): 27-31.
- [23] DEROME N, FILTEAU M. A Continuously Changing Selective Context on Microbial Communities Associated with Fish, from Egg to Fork[J]. Evolutionary Applications, 2020, 13(6): 1298-1319.
- [24] 李银. 蛋白氧化对肌肉保水性的影响机制研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2014: 82-99.
- LI Yin. Effect-Mechanism of Protein Oxidation on Water-Holding Capacity of Muscle[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2014: 82-99.
- [25] 孟彤, 刘源, 仇春决, 等. 蛋白质氧化及对肉品品质影响[J]. 中国食品学报, 2015, 15(1): 173-181.
- MENG Tong, LIU Yuan, QIU Chun-yue, et al. Research Progress on Protein Oxidation Mechanisms and Its Effects on Meat Quality[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2015, 15(1): 173-181.
- [26] 朱勇. 食品中菌落总数测定不确定度评定的应用[J]. 中国卫生产业, 2017, 14(18): 41-44.
- ZHU Yong. Application of Uncertainty Evaluation in Determination of Total Bacterial Count in Food[J]. China Health Industry, 2017, 14(18): 41-44.
- [27] LIU Da-song, NIKOO M, BORAN G, et al. Collagen and Gelatin[J]. Annual Review of Food Science and Technology, 2015, 6: 527-557.