

猪肝蛋白复合膜性能及其在肉品保鲜中的应用

Study on the performance of porcine liver protein composite membrane and its application in meat preservation

杨 乐¹ 刘丽莉^{1,2,3,4} 王浩阳¹ 陈 卉¹ 丁 玥^{1,2,3,4}

YANG Le¹ LIU Lili^{1,2,3,4} WANG Haoyang¹ CHEN Hui¹ DING Yue^{1,2,3,4}

(1. 河南科技大学食品与生物工程学院, 河南 洛阳 471023; 2. 食品加工与安全国家级教学示范中心, 河南 洛阳 471023; 3. 河南省食品加工与质量安全控制河南省国际联合实验室, 河南 洛阳 471023;

4. 食品微生物河南省工程技术研究中心, 河南 洛阳 471023)

(1. College of Food and Bioengineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471023, China; 2. National Experimental Teaching Demonstration Center for Food Processing and Security, Luoyang, Henan 471023, China; 3. International Joint Laboratory of Food Processing and Quality Safety Control of Henan Province, Luoyang, Henan 471023, China; 4. Henan Engineering Technology Research Center of Food Microbiology, Luoyang, Henan 471023, China)

摘要:目的:开发一种以猪肝为主要原料的新型天然食品保鲜剂。方法:以水溶性猪肝蛋白(WSLP)、盐溶性猪肝蛋白(SSLP)和壳聚糖(CS)制备可食性复合膜,通过测定机械性能、傅里叶变换红外光谱(FT-IR)、微观结构等对可食膜组分之间进行多角度研究,并将其用于猪肉保鲜,通过对比猪肉冷藏过程中理化指标的变化探究复合膜的保鲜性能。结果:随着 WSLP 和 SSLP 的加入,可食膜的机械性能呈先升高后降低的趋势,当添加量为 40% 时膜的性能最佳,其膜厚分别为 $(0.267 \pm 0.001\ 43)$ 、 $(0.264 \pm 0.001\ 21)$ mm,拉伸强度分别为 (9.63 ± 0.29) 、 (4.43 ± 0.37) MPa,断裂延伸率分别为 $(58.37 \pm 0.90)\%$ 、 $(28.24 \pm 0.63)\%$,均与 CS 膜差异显著($P < 0.05$);40% 的 WSLP 和 SSLP 能最大程度提升膜基质间的相互交联,其制得的复合膜表面光滑平整,微观结构最佳。猪肉冷藏 12 d 后,40% SSLP 复合膜的保鲜性能最佳,其 pH、菌落总数、TVB-N 值及 TBARS 值均为最小。结论:40% WSLP 和 SSLP 制得的复合膜各项性能均最佳。

关键词:复合膜;猪肝蛋白;膜性质;壳聚糖

Abstract: Objective: A new type of natural food preservative with

pork liver as the main raw material was developed. **Methods:** Water-soluble porcine liver protein (WSLP), salt-soluble porcine liver protein (SSLP) and chitosan (CS) were combined to create edible composite membranes. The edible membrane components were then examined from a variety of perspectives using mechanical properties, Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR) and microstructure analysis. Utilized to preserve pork, and by contrasting the changes in the physical and chemical indices during the chilling process, the freshness retention capabilities of the composite film were investigated. **Results:** With the addition of WSLP and SSLP, the mechanical properties of edible film showed a trend of increasing firstly and then decreasing. The film was best when the amount was 40%, its film thickness was $(0.267 \pm 0.001\ 43)$ and $(0.264 \pm 0.001\ 21)$ mm, the tensile strength was (9.63 ± 0.29) and (4.43 ± 0.37) MPa, and the elongation at break was $(58.37 \pm 0.90)\%$ and $(28.24 \pm 0.63)\%$, respectively, which were significantly different from CS film ($P < 0.05$), and the FT-IR results showed that it was 40% WSLP and SSLP maximize cross-linking between membrane matrices. The results of scanning electron microscopy showed that the surface of the composite film prepared by 40% WSLP and SSLP was smooth and flat, and the microstructure was the best. After refrigerating pork for 12 days; It was found that 40% SSLP composite film had the best preservation performance, and the pH, total number of colonies, TVB-N value and TBARS value were the smallest in the four groups under different treatments. **Conclusion:** The composite membranes prepared by 40% WSLP and SSLP have the best performance.

基金项目:河南省重大科技专项(编号:221100110500);国家重点研发计划科技型中小企业项目(编号:2022YFF1101600);洛阳市社会发展专项(编号:2101021A)

作者简介:杨乐,男,河南科技大学在读硕士研究生。

通信作者:刘丽莉(1974—),女,河南科技大学教授,博士。

E-mail: yangliuyilang@126.com

收稿日期:2023-09-06 **改回日期:**2024-01-13

Keywords: composite film; porcine liver protein; properties of membranes; chitosan

可食性涂膜是将天然高分子材料当作成膜基材,均匀涂抹或覆盖在食品表面,使食物表面形成一层较为薄透的薄膜,用于防止食品腐败变质^[1],被广泛应用于肉类加工和保鲜、食品包装等领域。一般来说,单一蛋白质膜的机械性能差,防水性不足,通常需要进行改性。其中,共混改性是近年来的研究热点^[2],可以将蛋白质与多糖进行复合,通过优势互补改善膜的性能^[3]。陈龙等^[4]开发了一种绿色环保海藻酸钠—淀粉—茶末复合膜,当茶多糖质量分数为 5.00% 时,复合膜具有最佳的力学性能、阻湿性能及抑菌性能。Oliveira 等^[5]评估了羧甲基纤维素和大豆分离蛋白之间的相互作用,揭示了二者相互作用对薄膜的形成和性能有着显著的积极影响。李志明等^[6]以卡拉胶等为成膜基材,纳他霉素、纳米 MgO 为抗菌剂制备了具有广谱抗菌作用的复合薄膜,能够延长葡萄的保质期。

从饮食的角度来看,动物蛋白相比于植物蛋白含有更多人体必需氨基酸,其构成与人体相似,吸收效果更好,被称作优质蛋白,但鲜有用于涂膜保鲜。较为常见的可食膜基材主要有蛋清蛋白、胶原蛋白和乳清蛋白。刘喜鑫等^[8]向海藻酸钠、卡拉胶中添加蛋清蛋白以及苹果多酚进行改性,有效提升了多糖基可食膜的机械性能以及抗氧化性能。公维洁等^[9]以马面鱼皮胶原蛋白为成膜基材,制备出可食性胶原蛋白膜,得到了最佳的成膜条件。刘津延^[10]有效利用了过剩的蓝鲨鱼皮资源,从中提取出蓝鲨鱼皮胶原蛋白,并添加壳聚糖与其复合,提高了膜的抗氧化性能,制成可食性涂膜用于鱼肉的保鲜,实现了动物副产物的再利用。汪敏等^[11]将乳清分离蛋白、竹叶抗氧化物和酪蛋白酸钠三者进行结合,制备出竹叶抗氧化物—酪蛋白酸钠—乳清分离蛋白可食性膜,具有良好的微生物抑制作用和抗氧化作用。猪肝是优质的动物蛋白来源,其氨基酸组成与人体接近,营养价值高,但天然猪肝蛋白的功能特性较差。郭晨晨等^[12]以琥珀酸酐酰化猪肝蛋白,随着琥珀酸酐添加量的增加,猪肝蛋白的酰化度、乳化活性总体呈上升趋势,琥珀酸酐通过共价结合与猪肝蛋白发生反应,引起蛋白质结构的改变,能显著改善猪肝蛋白的乳化活性。唐永欣等^[13]将物理改性和化学改性方法相结合,改善猪肝蛋白的功能特性。采取温和热辅助 pH 碱性偏移处理对猪肝蛋白进行改性。在温度和 pH 向碱性较大幅度偏移的共同影响下,猪肝蛋白的溶解度和乳化活性大幅度提高。康梦瑶等^[14]利用超声波法对水溶性猪肝蛋白进行处理,有效改善了蛋白质在水溶液中的分散效果和蛋白质的分子作用力,处理后的水溶性猪肝蛋白乳化特性更好。Borrajao 等^[15]从猪肝中提取了不同水解物并用于猪肉饼的保鲜,结果表明,猪肝水解

产物具有良好的抗氧化活性,可作为天然抗氧化剂延长猪肉汉堡的保质期。以上文献为猪肝蛋白可食膜的研究提供了充足的理论基础。

研究拟以水溶性猪肝蛋白(WSLP)和盐溶性猪肝蛋白(SSLP)为成膜基材,并添加壳聚糖,分别共混制备水溶性猪肝蛋白—壳聚糖可食膜(WLSP-CS)和盐溶性猪肝蛋白—壳聚糖可食膜(SSLP-CS),考察膜材料比例对膜各项性能的影响,并将其应用于猪肉保鲜,为高效安全的新型可食膜的生产及实际应用提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

新鲜猪肝、猪背最长肌:市售;

壳聚糖:分析纯,西安康诺化工有限公司;

十二烷基硫酸钠(SDS):分析纯,无锡市亚泰联合化工有限公司;

四甲基乙二胺(TEMED):分析纯,上海阿拉丁生化科技股份有限公司。

1.2 仪器与设备

pH 计:PH-3E 型,浙江谱析仪器有限公司;

冷冻离心机:H1-16TR 型,杭州旌斐仪器科技有限公司;

真空冷冻干燥机:FD1200 型,北京菲尔普科技有限公司;

荧光分光光度计:Cary eclipse 型,美国 Aglient 公司;

紫外—可见光光度计:UV2600 型,日本 Shimadzu 公司;

傅立叶中远红外光谱仪:ALPHA 型,德国布鲁克公司;

扫描电镜:EM-30Plus 型,韩国 COXEM 公司;

电子天平:AR214 型,美国 Mettler Toledo 公司。

1.3 试验方法

1.3.1 复合膜制备 参照 Steen 等^[16]的方法并改进。称取一定质量的新鲜猪肝,去血水、筋膜,加入 4 倍体积的磷酸盐缓冲溶液(0.05 mol/L, pH 7.4),10 000 r/min 匀浆,4 ℃、10 000 r/min 离心 30 min,取上清液,透析脱盐,冷冻干燥即为水溶性猪肝蛋白(WSLP)。收集上述沉淀并加入 0.4 mol/L 的 NaCl 溶液,混匀,调整 pH 至 8.4 ℃静置 15 h,初滤,离心,得到上层溶液即为 SSLP 溶液,透析脱盐,冷冻干燥即为盐溶性猪肝蛋白(SSLP)。

用蒸馏水将提取的猪肝蛋白稀释至 2%,10 000 r/min 离心 10 min,收集上清液。将猪肝蛋白溶液与壳聚糖溶液按一定比例共混, $m_{\text{猪肝蛋白}}:m_{\text{壳聚糖}}$ 分别为 0:100,20:80,40:60,60:40,80:20,并添加 6% 的甘油增塑,50 ℃搅拌 30 min。超声脱气 10 min,得到成膜液。将 40 mL 成膜液倒入成膜器中,50 ℃干燥,流延成型。

1.3.2 复合膜机械性能测定

(1) 膜厚:参照殷献华等^[17]的方法。

(2) 拉伸强度和断裂延伸率:参照殷献华等^[17]的方法稍作修改。选择厚度均匀、无破损的膜片,将待测薄膜试样剪成 10 mm×50 mm 的 3 段,使用质构仪分别测定拉伸强度和断裂延伸率,结果取三者的平均值。

1.3.3 傅里叶红外光谱(FT-IR)分析 参照成晓祎等^[18]的方法稍作修改。将干燥处理后的膜置于傅里叶红外光谱仪中,扫描范围为 400~4 000 cm⁻¹,分辨率为 4 cm⁻¹。

1.3.4 微观结构分析 参照 Machida 等^[19]的方法稍作修改。采用扫描电镜观察膜的微观结构,加速电压为 10 kV,取 1 cm×1 cm 表面平整均匀的薄膜用于扫描电镜观察。

1.3.5 猪背最长肌冷藏过程中理化指标测定

- (1) pH 值:参照 Taakma 等^[20]的方法。
- (2) 菌落总数:按 GB 4789.2—2016 执行。
- (3) TVB-N 含量:按 GB 5009.228—2016 执行。
- (4) TBARS 含量:参照蓝蔚青等^[21]的方法。

1.3.6 数据处理 所有试验重复 3 次,采用 Origin 2018 软件作图,SPSS 软件进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 猪肝蛋白添加量对复合膜机械性能的影响

由表 1 可知,WSLP-CS、SSLP-CS 复合膜机械性能随猪肝蛋白添加量的增加呈先上升后下降趋势。当 WSLP、SSLP 添加量为 40% 时,两种膜的厚度达到最大值(0.267,0.264 mm),与 CS 基础膜差异显著($P<0.05$)。这可能是由于复合膜中存在的猪肝蛋白与 CS 形成交联或者聚集的稳定结构,减少了膜材料中的孔隙和缝隙,使膜厚度增加。但过量猪肝蛋白的加入可能破坏这种稳定结构,使得整个复合膜表面伴有颗粒、凹凸不平等现象,进而导致膜厚度减小。WSLP-CS 与 SSLP-CS 复合膜的拉伸强度与断裂延伸率随 WSLP 添加量的增加呈先增加后减小趋势。当 WSLP 添加量为 40% 时,拉伸强度与断

裂延伸率最大,分别为 9.62 MPa 和 58.37% ($P<0.05$);当 SSLP 添加量为 40% 时,拉伸强度与断裂延伸率最大,分别为 4.43 MPa 和 28.23% ($P<0.05$),机械性能得到提升。这可能是适量蛋白的不断加入(添加量 $\leq 40\%$)使得整个体系的稳定性逐渐增强,复合膜的拉伸强度和断裂延伸率增大,而蛋白质的不断加入直至过量(添加量 $> 40\%$),其稳定结构被破坏,猪肝蛋白与 CS 不断堆积,复合膜的结构变得更加紧密和刚性,进而限制了复合膜的延展性和弯曲性,导致复合膜的拉伸强度和断裂延伸率下降^[22]。

2.2 FT-IR 分析

由图 1 可知,CS 膜与复合膜的红外图谱在 3 000~3 700 cm⁻¹ 处有较强的吸收带,是由 O—H、N—H 的伸缩振动引起的;2 800~3 000 cm⁻¹ 处的特征吸收峰表明壳聚糖膜和复合膜均存在甲基、亚甲基以及次甲基的 C—H 结构对称伸缩振动和反对称伸缩振动^[23-24]。纯壳聚糖膜在 1 649 cm⁻¹ 处为 C=O 及 C—N 的伸缩振动,1 570,1 045 cm⁻¹ 处分别为酰胺 II 带和 III 带的振动峰位(由 C—N 的弯曲振动和 N—H 的伸缩振动引起)。添加 WSLP、SSLP 后,与 CS 膜相比,复合膜的 O—H 吸收峰发生了红移,是由于羟基形成氢键缔合,说明 WSLP、SSLP 与 CS 之间发生了相互作用。1 645,1 566 cm⁻¹ 处有一 COO 的对称和反对称伸缩振动吸收峰^[25],复合后其峰强度减弱,说明组分离子间存在相互作用,有利于膜基质间的交联,与陈昀等^[26]的结论一致。添加 SSLP 后,SSLP-CS 的酰胺 I 区的吸收峰相对于纯壳聚糖膜蓝移至 1 647 cm⁻¹ 处,表明 SSLP 与 CS 的相容性较好。750~590 cm⁻¹ 处 WSLP 和 SSLP 中 C—C 骨架和 C—O 的伸缩振动对应的特征吸收峰出现,也充分说明 WSLP、SSLP 基质与 CS 在不破坏其二级结构的情况下能够形成良好的交联反应。

表 1 猪肝蛋白添加量对复合膜机械性能的影响[†]

Table 1 Effects of protein addition on mechanical properties of composite membranes

蛋白质	添加量/%	膜厚/mm	拉伸强度/MPa	断裂延伸率/%
WSLP	0(CS)	0.248±0.001 00 ^a	3.85±0.20 ^d	25.73±0.31 ^c
	20	0.250±0.001 62 ^a	1.19±0.29 ^a	15.21±0.70 ^a
	40	0.267±0.001 43 ^b	9.63±0.29 ^c	58.37±0.90 ^e
	60	0.249±0.001 51 ^a	2.57±0.26 ^c	30.65±0.81 ^d
	80	0.249±0.001 08 ^a	1.34±0.36 ^b	15.75±0.92 ^b
SSLP	0(CS)	0.248±0.001 00 ^a	3.85±0.20 ^c	25.73±0.51 ^c
	20	0.250±0.001 69 ^a	4.35±0.25 ^d	26.33±0.63 ^c
	40	0.264±0.001 21 ^b	4.43±0.37 ^e	28.24±0.63 ^d
	60	0.253±0.002 08 ^{ab}	3.47±0.31 ^b	23.39±0.69 ^b
	80	0.248±0.001 53 ^a	1.58±0.24 ^a	12.64±0.78 ^a

[†] 字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

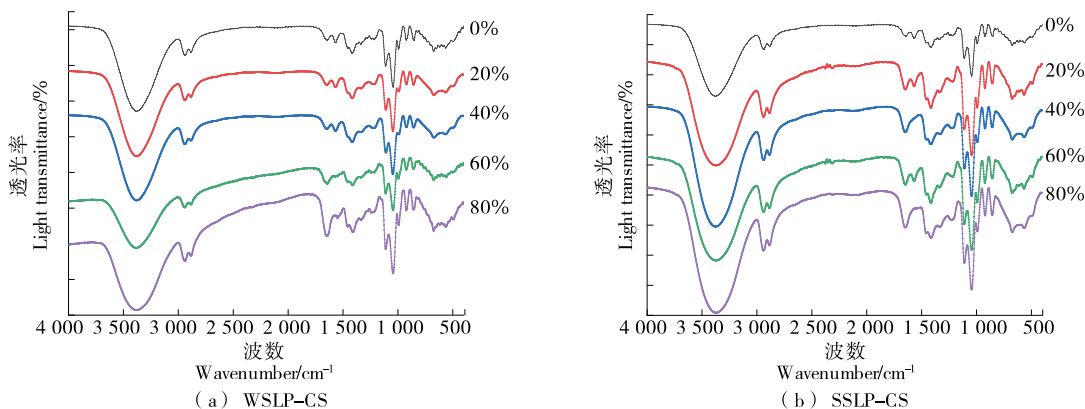


图 1 猪肝蛋白添加量对复合膜 FT-IR 的影响

Figure 1 Effects of different protein addition on FT-IR of composite membrane

2.3 微观结构分析

微观结构对于反映薄膜表面结构和内部特性具有重要意义^[27]。由图 2 可知,纯 CS 膜存在孔洞等不稳定结构,从而导致其在机械和阻隔性能方面劣于复合膜。通过向 CS 中添加 40% 的 WSLP,复合膜表面变得更加光滑和连续,致密性也更高,同时未出现相分离现象,其机械性能最佳,表明 WSLP 与 CS 具有良好的相容性,其官能团中的羟基能够相互作用形成氢键,分子间通过氢键交联形成了致密的网络结构,这是复合膜拉伸强度逐渐增加的微观原因^[28]。当猪肝蛋白过量添加时,未结合的蛋白质发生了堆叠,膜的致密结构被破坏,故扫描电镜中又出现了颗粒与斑点。

由图 3 可知,随着 SSLP 添加量的增加,复合膜的表面变得更加光滑致密。当添加量为 40% 时,效果最佳。此时,SSLP 与 CS 的相容性良好,SSLP 起到“交联剂”作

用,形成了新的网络结构,流延成型的复合膜表面表现出更加光滑均一的结构。当 SSLP 添加量为 60% 时,复合膜出现 SSLP 与 CS 相的分离;当添加量为 80% 时,表面出现大量孔洞与褶皱,与 WSLP 的扫描电镜结果相似。适量添加 SSLP 可以提高复合膜的表面质量,但超过一定比例则可能影响薄膜性能。

由图 4、图 5 可知,随着 WSLP、SSLP 添加量的增加,复合膜的断面出现变化。纯 CS 膜存在孔洞等不稳定结构,与表面微观结构相一致。随着猪肝蛋白添加量的增大,膜的断面先逐渐变得光滑、致密。当添加量为 40% 时,断面的微观结构最佳。当添加量为 60% 时,蛋白与 CS 相开始分离,交联度变差,膜的断面出现褶皱及堆积的未交联物质;当添加量为 80% 时,断面开始出现大量孔洞与褶皱,与表面扫描电镜结果相似。因此,断面微观结构总体结果符合表面微观结构所得出的结论。

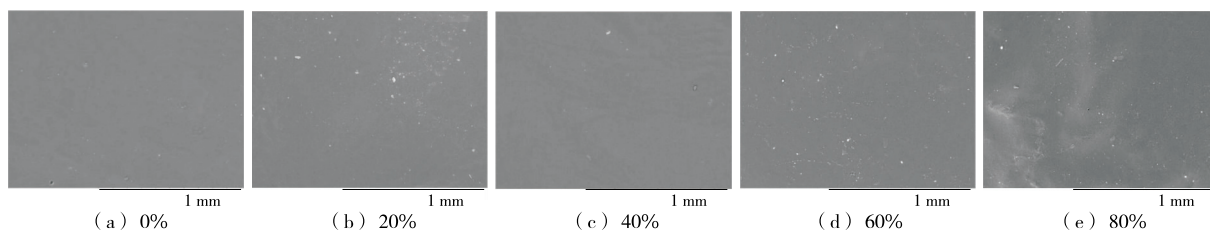


图 2 WSLP 添加量对复合膜表面微观结构的影响

Figure 2 Effects of different WSLP addition amounts on the surface microstructure of composite film

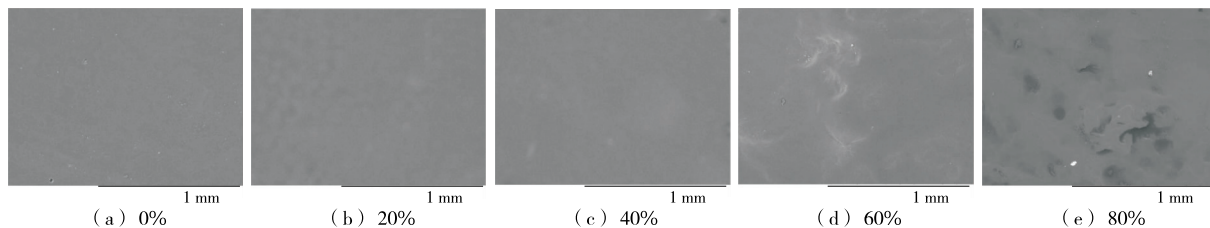


图 3 SSLP 添加量对复合膜表面微观结构的影响

Figure 3 Effects of different SSLP addition amounts on the surface microstructure of composite film

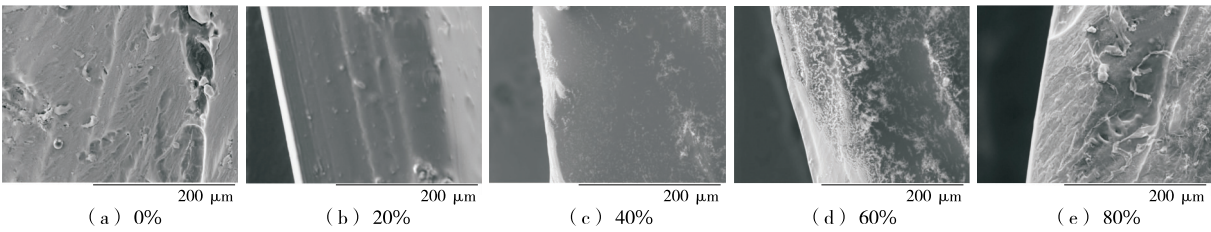


图4 WSLP添加量对复合膜断面微观结构的影响

Figure 4 Effects of different WSLP addition amounts on the microstructure of composite membrane section

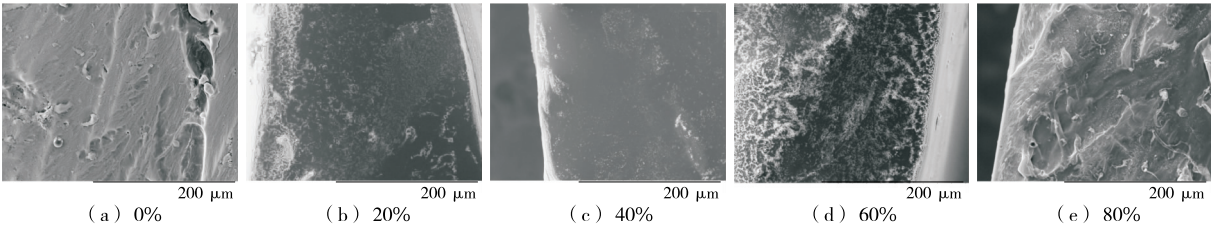


图5 SSLP添加量对复合膜断面微观结构的影响

Figure 5 Effects of different SSLP addition amounts on the microstructure of composite membrane section

2.4 成膜液处理对猪背最长肌冷藏过程中理化指标的影响

由图6可知,经WSLP-CS、SSLP-CS(蛋白质质量分数40%)处理的样品,其各项理化指标相比于空白组(CK)和CS处理组均有不同程度的下降。CK组的pH增长速度

最快,到第10天已属于变质肉,而经WSLP-CS、SSLP-CS处理的猪背最长肌在第12天仍处于次鲜肉范围;WSLP-CS、SSLP-CS组在第12天仍保持较低的菌落总数;贮藏第10天,CK组的TVB-N含量达到23.21 mg/100 g,已腐败变质,而CS组的TVB-N含量为18.22 mg/100 g,处

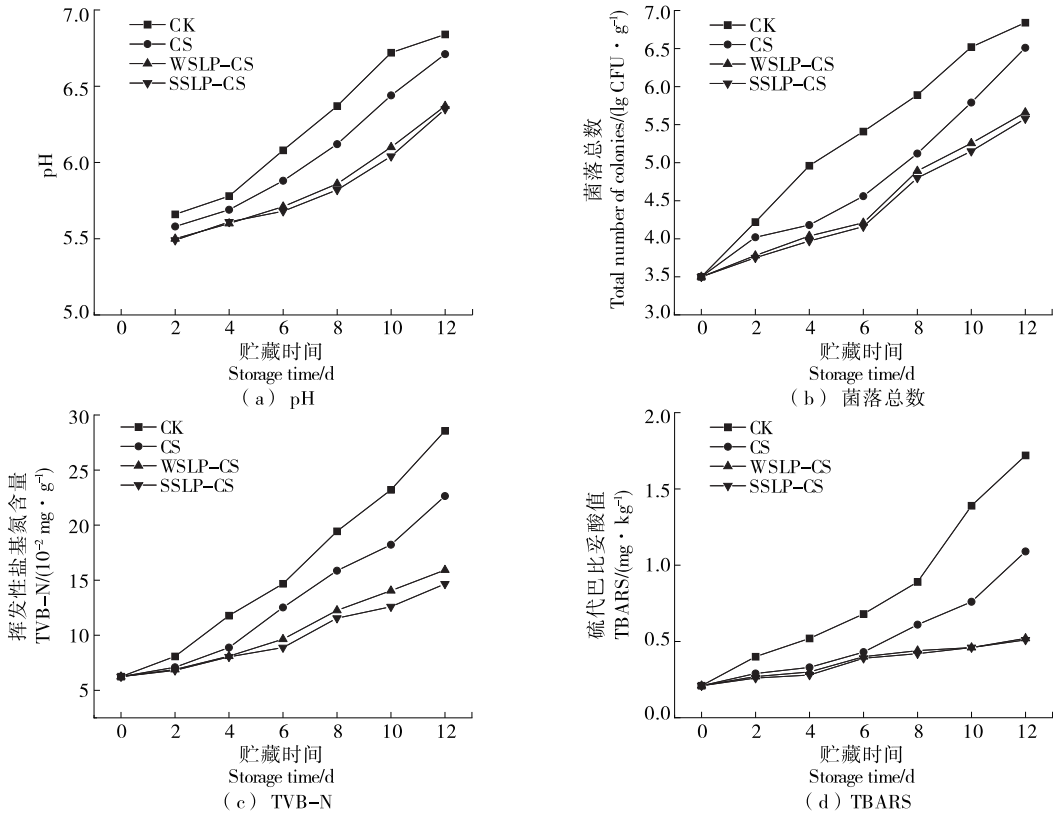


图6 成膜液处理对猪背最长肌冷藏过程中理化指标的影响

Tabure 6 Effects of film-forming solution treatment on physicochemical indexes during refrigeration of the longest muscles of pig dorsi

于次新鲜肉范围, WSLP-CS、SSLP-CS 组的 TVB-N 含量仅为 14.05, 12.59 mg/100 g, 仍处于新鲜肉范围; 贮藏期间, CK 组的 TBARS 从 0.21 mg/kg 升高至 1.72 mg/kg, CS 组 TBARS 值从 0.21 mg/kg 升高至 1.09 mg/kg, WSLP-CS 组 TBARS 值从 0.21 mg/kg 升高至 0.52 mg/kg, SSLP-CS 组 TBARS 值从 0.21 mg/kg 升高至 0.51 mg/kg, SSLP-CS 组的效果最佳。综上, WSLP、SSLP 具有一定的抑菌性和抗氧化性, 能够抑制微生物生长, 抑制酶的活性, 延缓肉的腐败变质, 且 SSLP 的抑菌性

及抗氧化性最强, 该结论与王德宝的研究结果一致^[29]。

由图 7 可知, 体系中 CS 与 WSLP、SSLP 的总质量固定, 随着 WSLP 添加量的增加, WSLP-CS 复合膜的 ABTS 自由基清除率从 8.96% 增加到 63.08%, DPPH 自由基清除率从 27.27% 增加到 61.61%, 二者均在 WSLP 添加量为 80% 的复合膜中最高。随着 SSLP 添加量的增加, SSLP-CS 复合膜的 ABTS 自由基清除率从 8.96% 增加到 36.44%, DPPH 自由基清除率从 27.27% 增加到 51.17%, 二者均在 SSLP 添加量为 80% 的复合膜中最高。

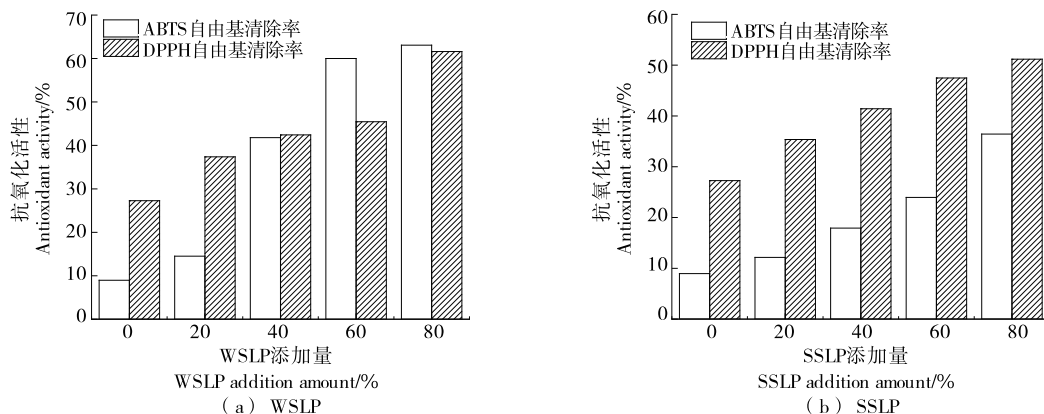


图 7 猪肝蛋白添加量对复合膜抗氧化性的影响

Figure 7 Effects of different protein additions on the antioxidant of composite membrane

在复合膜中加入 WSLP、SSLP 后, 抗氧化活性得到了显著提高, 且高于纯 CS 膜, 说明猪肝蛋白具有更强的抗氧化、抑菌作用。这些蛋白质具有强大的抗氧化性能, 使其能够清除自由基, 保护复合膜免受氧化损伤。此外, 蛋白质与壳聚糖之间的相互作用也会改变复合膜的结构和性质, 从而影响复合膜中的抗氧化物质的释放和活性。

3 结论

研究探讨了水溶性猪肝蛋白 (WSLP) 和盐溶性猪肝蛋白 (SSLP) 对 WSLP-壳聚糖与 SSLP-壳聚糖可食性复合膜性能及结构的影响。结果表明, 随着 WSLP、SSLP 添加量的增大, 复合膜的机械性能先上升后下降, 当添加量为 40% 时, 膜的厚度、拉伸强度和断裂延伸率最大 ($P < 0.05$), 机械性能最佳, 最符合可食膜的要求。猪肝蛋白具有一定的抑菌性及抗氧化性, 贮藏 12 d 后, 复合膜处理组的 pH、菌落总数、挥发性盐基氮含量和硫代巴比妥酸值等各项理化指标均优于未处理组和纯壳聚糖处理组, 且 SSLP 的效果最佳, 能够有效延缓肉品的腐败变质。综上, 应选择添加了 40% 盐溶性猪肝蛋白的复合膜用于食品包装。此外, 猪肝蛋白复合膜的透气性还有待进一步研究, 后续可以针对膜对氧气的隔绝性进行深入探讨。

参考文献

[1] MOHAMED S, EL-SAKHAWY M, MOHAMED A.

Polysaccharides, protein and lipid-based natural edible films in food packaging: A review [J]. Carbohydrate Polymers, 2020, 238: 116178.

[2] FENG J, YANBO H, YI H, et al. Characterization and formation mechanisms of high tensile strength gliadin films prepared by bi-crosslinking and blending[J]. Food Packaging and Shelf Life, 2023, 37: 101082.

[3] APRILIYANI M, PURWADI, MANAB A, et al. Physico-chemical and antimicrobial properties of casein chitosan edible films as food quality and food safety [J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2020, 443: 12018.

[4] 陈龙, 陈晖, 朱静, 等. 茶多糖对海藻酸钠-淀粉-茶末复合膜性能的影响[J]. 食品与机械, 2023, 39(10): 112-117, 122.

CHEN L, CHEN H, ZHU J, et al. Effects of tea polysaccharide on the properties of sodium alginate/starch/tea powder composite membrane[J]. Food & Machinery, 2023, 39(10): 112-117, 122.

[5] OLIVEIRA D, SILVA S, MAURO A. Evaluation of interactions between carboxymethylcellulose and soy protein isolate and their effects on the preparation and characterization of composite edible films[J]. Food Biophysics, 2021, 16(2): 1-15.

[6] 李志明, 文昌典, 魏甜甜, 等. 多糖基广谱抗菌薄膜的制备及性能研究[J]. 食品与机械, 2023, 39(4): 94-102.

LI Z M, WEN C D, WEI T T, et al. Preparation and properties of polysaccharide based broad-spectrum antibacterial films[J]. Food & Machinery, 2023, 39(4): 94-102.

[7] 高文婧, 雷桥, 曹庆龙, 等. 普鲁兰多糖的添加对可食性复合蛋

- 白膜的改性研究[J]. 包装学报, 2020, 12(3): 10-15.
- GAO W J, LEI Q, CAO Q L, et al. Modification of edible complex protein membranes by the addition of pullulan polysaccharides[J]. Packong Journal, 2020, 12(3): 10-15.
- [8] 刘喜鑫, 迟玉杰, 张宏, 等. 蛋清蛋白/苹果多酚提高多糖基可食性包装薄膜性能及在腰果贮藏保鲜中的应用[J]. 食品科学, 2021, 42(13): 174-184.
- LIU X X, CHI Y J, ZHANG H, et al. Improved properties of polysaccharide-based edible films incorporated with egg white protein and apple polyphenols and application to quality preservation of cashews during storage[J]. Food Science, 2021, 42(13): 174-184.
- [9] 公维洁, 朱德誉. 马面鱼皮可食性胶原蛋白膜的制备[J]. 农产品加工, 2020(14): 23-25.
- GONG W J, ZHU D Y. Study on the preparation of collagen film from *Navodon septentionalis* skin[J]. Farm Products Processing, 2020(14): 23-25.
- [10] 刘津延. 鱼皮胶原蛋白复合可食性抗菌涂膜对真鲷保鲜效果的研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2020: 11-34.
- LIU J Y. Study on the effect of fish skin collagen compound edible antibacterial coating on red porgy preservation[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2020: 11-34.
- [11] 汪敏, 陈洁莹, 徐磊, 等. 竹叶抗氧化物/酪蛋白酸钠/乳清分离蛋白可食膜的制备和性能分析[J]. 食品科学, 2021, 42(3): 266-272.
- WANG M, CHEN J Y, XU L, et al. Preparation and performance analysis of bamboo leaf antioxidant/sodium caseinate/whey protein isolate composite edible film[J]. Food Science, 2021, 42(3): 266-272.
- [12] 郭晨晨, 耿宏庆, 徐毅, 等. 琥珀酰化改性对猪肝蛋白乳化特性的影响与机理[J/OL]. 食品与发酵工业. (2023-07-06) [2023-09-15]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.035927>.
- GUO C C, GENG H Q, XU Y, et al. Effect and mechanism of succinylation modification on emulsification characteristics of porcine liver protein[J/OL]. Food and Fermentation Industries. (2023-07-06) [2023-09-15]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.035927>.
- [13] 唐永欣, 彭松林, 郭晨晨, 等. 温和热辅助 pH 值碱性偏移处理对猪肝蛋白结构和功能特性的影响[J]. 食品科学, 2023, 44(24): 88-96.
- TANG Y X, PENG S L, GUO C C, et al. Effects of mild heat assisted pH alkaline shift treatment on the structural and functional properties of porcine liver proteins[J]. Food Science, 2023, 44(24): 88-96.
- [14] 康梦瑶, 丁景, 鲁小川, 等. 超声波处理对水溶性猪肝蛋白乳化特性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(3): 144-151.
- KANG M Y, DING J, LU X C, et al. Effect of ultrasonic treatment on emulsification characteristics of water-soluble pig liver protein[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(3): 144-151.
- [15] BORRAJO P, PATEIRO M, MUNEKATA P, et al. Pork liver protein hydrolysates as extenders of pork patties shelf-life[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2021, 56(12): 6 246-6 257.
- [16] STEEN L, FRAEYE I, GOEMAERE O, et al. Effect of salt and liver/fat ratio on microstructure, emulsion stability, texture and sensory mouth feel of liver paste[J]. Food and Bioprocess Technology, 2014, 7(10): 2 855-2 864.
- [17] 殷献华, 钱静. 壳聚糖—丝素蛋白可食膜的制备及性质研究[J]. 江苏科技信息, 2022, 39(19): 62-68.
- YIN X H, QIAN J. Preparation and properties of chitosan-silk fibroin edible film[J]. Jiangsu Science & Technology Information, 2022, 39(19): 62-68.
- [18] 成晓伟, 孙铭悦, 任轩雨, 等. 大豆球蛋白—马铃薯淀粉可食膜的微观结构及机械性能[J]. 中国食品学报, 2023, 23(6): 1-12.
- CHENG X Y, SUN M Y, REN X Y, et al. The microstructure and mechanical properties of soybean globulin-potato starch edible film[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2023, 23(6): 1-12.
- [19] MACHIDA S, IDOTA N, SUGAHARA Y. Interlayer grafting of kaolinite using trimethylphosphate[J]. Dalton Transactions, 2019, 48(31): 11 663-11 673.
- [20] TAKMA D, KOREL F. Active packaging films as a carrier of black cumin essential oil: Development and effect on quality and shelf-life of chicken breast meat[J]. Food Packaging and Shelf Life, 2019, 19: 210-217.
- [21] 蓝蔚青, 刘嘉莉, 许巧玲, 等. 植酸与竹醋液对冰藏大黄鱼品质、微生物与水分迁移的影响[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(7): 173-179.
- LAN W Q, LIU J L, XU Q L, et al. Effects of phytic acid and bamboo vinegar on the quality, microorganism and water migration of large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*) during ice storage[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(7): 173-179.
- [22] 段星星, 段杉, 罗慧芬, 等. 可食性抗菌肽—明胶复合膜的制备及性能表征[J]. 现代食品科技, 2019, 35(4): 140-147, 272.
- DUAN X X, DUAN S, LUO H F, et al. Preparation and characterization of edible antibacterial peptide-gelatin composite films[J]. Modern Food Science and Technology, 2019, 35(4): 140-147, 272.
- [23] 孙海涛, 赵兵兵, 钟子杰, 等. 黑木耳多糖对大豆分离蛋白可食膜性质的影响及表征[J]. 食品科技, 2022, 47(6): 229-234.
- SUN H T, ZHAO B B, ZHONG Z J, et al. Effect and characterization of black agar polysaccharides on edible membrane properties of soybean protein isolate[J]. Food Science and Technology, 2022, 47(6): 229-234.
- [24] SILVA G, SOBRAL P, CARVALHO R, et al. Biodegradable films based on blends of gelatin and poly (Vinyl alcohol): Effect of PVA type or concentration on some physical properties of films[J]. Journal of Polymers and the Environment, 2008, 16(4): 276-85.

(下转第 140 页)

- 特性的影响[J]. 热带作物学报, 2017, 38(12): 2 347-2 354.
- HAN D M, GU L T, LI S S, et al. Effects of different packagings on the storability of longan (*Dimocarpus longan* Lour.) fruits[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2017, 38(12): 2 347-2 354.
- [11] 陈美花, 熊拯, 庞庭才. 气调包装对百香果贮藏品质的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(20): 287-292.
- CHEN M H, XIONG Z, PANG T C. Effects of modified atmosphere packaging on quality of passion fruit during storage[J]. Food Science, 2016, 37(20): 287-292.
- [12] 帅良, 廖玲燕, 吴振先, 等. 不同保鲜膜包装对百香果采后贮藏品质的影响[J]. 食品工业, 2017, 38(12): 180-183.
- SHUAI L, LIAO L Y, WU Z X, et al. Effect of different packaging films on quality of postharvest ambient storage in passion fruit[J]. Food Industry, 2017, 38(12): 180-183.
- [13] ZHANG R, LAN W T, DING J, et al. Effect of PLA/PBAT antibacterial film on storage quality of passion fruit during the shelf-life[J]. Molecules, 2019, 24: 3 378.
- [14] 杨华, 江雨若, 邢亚阁, 等. 壳聚糖/纳米 TiO_2 复合涂膜对芒果保鲜效果的影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(11): 297-301.
- YANG H, JIANG Y R, XING Y G, et al. Effect on chitosan/nano- TiO_2 composite coating on fresh-keeping of mango[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(11): 297-301.
- [15] 陈洪彬, 王慧玲, 蒋璇靓, 等. γ -氨基丁酸处理对冷藏番石榴果实品质和耐冷性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(14): 130-136.
- CHEN H B, WAGN H L, JIANG X J, et al. Effects of γ -aminobutyric acid treatment on the quality properties and chilling tolerance of guava fruit during cold storage [J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(14): 130-136.
- [16] LIN Y Z, LIN H T, ZENG L Z, et al. DNP and ATP regulate the pulp breakdown development in *Phomopsis longanae* Chi-infected longan fruit through modulating the ROS metabolism[J]. Food Chemistry, 2022, 14: 100348.
- [17] DONG D, BI Y, ZHANG X M, et al. Benzothiadiazole treatment inhibits membrane lipid metabolism and straight-chain volatile compound release in *Penicillium expansum*-inoculated apple fruit [J]. Postharvest Biology and Technology, 2021, 181: 111671.
- [18] 郭欣, 陈洪彬. 魔芋葡甘聚糖涂膜对采后西番莲果实品质影响[J]. 食品工业科技, 2020, 41(6): 250-253.
- GUO X, CHEN H B. Influence of konjac glucomannan coating on storage quality of harvested passion fruits [J]. Science of Technology of Food Industry, 2020, 41(6): 250-253.
- [19] LIN Y Z, LI N, LIN H T, et al. Effects of chitosan treatment on the storability and quality properties of longan fruit during storage[J]. Food Chemistry, 2020, 306: 125627.
- [20] 郭欣, 林育钊, 曾玲珍, 等. 不同浓度壳聚糖处理对采后西番莲果实耐贮性和贮藏品质的影响[J]. 热带作物学报, 2020, 41(8): 1 665-1 673.
- GUO X, LIN Y Z, ZENG L Z, et al. Effects of different concentrations of chitosan treatment on storability and storage quality of passion fruit postharvest[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2020, 41(8): 1 665-1 673.
- [21] 戴礼兵, 张云天, 陈洪彬, 等. 激光微孔保鲜袋包装对樱桃番茄采后保鲜效应的影响[J]. 现代园艺, 2023(3): 57-59, 151.
- DAI L B, ZHANG Y T, CHEN H B, et al. Effects of laser microporous film packaging on the postharvest preservation of cherry tomato fruit[J]. Modern Horticulture, 2023(3): 57-59, 151.
- [22] 郭艳明, 董明, 张林玉, 等. 低能微波处理对黄冠梨果心褐变及贮藏品质的影响[J]. 食品与机械, 2016, 32(11): 102-106, 173.
- GUO Y M, DONG M, ZHAGN L Y, et al. Effect of core browning and storage fresh-keeping on Huangguan pear by low-power microwave treatment[J]. Food & Machinery, 2016, 32(11): 102-106, 173.
- [23] LIN Y Z, LIN H T, ZENG L Z, et al. DNP and ATP regulate the breakdown occurrence in the pulp of *Phomopsis longanae* Chi-infected longan fruit through modulating the metabolism of membrane lipid[J]. Food Chemistry, 2023, 409: 135330.
- [24] 李静仪, 王增利, 昌萍, 等. 冰温贮藏及出库方式对欧李保鲜效果的影响[J]. 食品与机械, 2021, 37(6): 155-161.
- LI J Y, WANG Z L, CHANG P, et al. The effect of ice storage and delivery method on the fresh-keeping effect of plum[J]. Food & Machinery, 2021, 37(6): 155-161.
- (上接第 133 页)
- [25] 郑玉玺, 董蕾, 韩明, 等. 壳聚糖-荔枝木质精油可食膜的性能及在冷鲜鸡肉保鲜中的应用[J]. 食品工业科技, 2021, 42(6): 214-219.
- ZHENG Y X, DONG L, HAN M, et al. Preparation of edible film based on chitosan-litchi wood essential oil and its application on chilled chicken storage [J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(6): 214-219.
- [26] 陈响, 赵谋明, 孙哲浩. 蛋白质与多糖类交互作用研究进展[J]. 食品科学, 2001(4): 90-93.
- CHEN Y, ZHAO M M, SUN Z H. Research progress on protein-polysaccharide interaction[J]. Food Science, 2001(4): 90-93.
- [27] ZHANG C, WANG Z, LI Y, et al. The preparation and physiochemical characterization of rapeseed protein hydrolysate-chitosan composite films[J]. Food Chemistry, 2019, 272: 694-701.
- [28] DA ROCHA M, ALEMAN A, ROMANI V, et al. Effects of agar films incorporated with fish protein hydrolysate or clove essential oil on flounder (*Paralichthys orbignyanus*) fillets shelf-life[J]. Food Hydrocolloids, 2018, 81: 351-363.
- [29] 王德宝, 邹玉富, 李佳, 等. 负载紫苏醛的聚乳酸纳米纤维膜对冷鲜羊肉保鲜效果的影响[J]. 食品与机械, 2023, 39(7): 131-136.
- WANG D B, ZOU Y F, LI J. Effects on the preservation of chilled mutton by using polylactic acid nanofiber films loaded with perillaldehyde[J]. Food & Machinery, 2023, 39(7): 131-136.