

牛蒡提取物对鸡皮明胶膜结构和性能的影响

刘英健¹, 薛伟¹, 张华超^{1,2}

(1. 东北林业大学工程技术学院, 黑龙江哈尔滨 150040) (2. 吉林省白河林业局, 吉林延边, 133000)

摘要: 为研究牛蒡提取物对鸡皮明胶膜结构和性能的影响。本文以鸡皮明胶膜为基质, 牛蒡提取液为改性材料, 分别制备牛蒡提取液浓度为 0%、1%、3%、5%、7%的牛蒡提取物/鸡皮明胶复合膜, 并测定各组复合膜物理性能, 并作结构表征。结果表明: 随着牛蒡提取液浓度增加, 复合膜的水蒸气透率先降低后增加, 在 3%最低, 下降率达 11.27%; 水溶性逐渐降低, 在 5%时趋于平稳, 为 72.29%; 抗拉强度先增加后减少, 在 5%时最大, 为 22.44%; 断裂伸长率和透光率逐渐下降; 雾度逐渐增加, 浓度为 5%达到 38.97%; 抗氧化性和抑菌性逐渐增加, 在浓度为 5%时达到 15.02%, 11.01%, 其中对大肠杆菌的抑菌性明显优于金黄色葡萄球菌; 羟基自由基清除率逐渐增加, 当浓度在 5%时, 达到 59.98%。结构表征分析得出牛蒡提取液与鸡皮明胶膜发生化学反应形成了新的化学键, 电镜下可观测到晶体。综合各项性能选取牛蒡提取液浓度为 5%时作为复合膜制备的最佳配比。

关键词: 牛蒡; 鸡皮明胶; 复合膜; 性能

文章编号: 1673-9078(2019)03-15-20

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.3.003

Effects of *Arctium lappa* Extract on Structure and Properties of Chicken Skin Gelatin Film

LIU Ying-jian¹, XUE Wei¹, ZHANG Hua-chao^{1,2}

(1. College of Engineering and Technology, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China)

(2. BaiHe Forestry Bureau, Yanbian 133000, China)

Abstract: In this work, the effect of *Arctium lappa* extract on the structure and properties of chicken skin gelatin film was investigated. The chicken skin gelatin film and the *Arctium lappa* extract were used as the substrate and the modified material, respectively. The concentration of *Arctium lappa* extract in the composite film were 0%, 1%, 3%, 5% and 7%, respectively. The physical properties of the composite film were characterized by structural characterization. The results showed that with the increase of the concentration of *Arctium lappa* extract, the water vapor transmission rate of the composite film decreased firstly and then increased. When the concentration of *Arctium lappa* extract was 3%, the water vapor transmission rate decreased by 11.27%. The water solubility gradually decreased, and stabilized at 5% *Arctium lappa* extract (the value of water solubility was 72.29% at 5%). The tensile strength increased firstly and then decreased. The maximum was 22.44% when the concentration of *Arctium lappa* extract was 5%. The elongation at break and the light transmittance gradually decreased. The haze gradually increased, and the maximum (38.97%) was found at the concentration 5%. Antioxidant and bacteriostatic activities increased gradually, which value were 15.02% and 11.01% at a concentration of 5%, respectively. The antibacterial activity against *Escherichia coli* was significantly better than that of *G. aureus*. The hydroxyl radical scavenging rate gradually increased. When the concentration was 5%, it reached 59.98%. Structural characterization analysis showed that a new chemical bond was formed between the *Arctium lappa* extract and the chicken skin gelatin film. Crystals were also observed. The optimum concentration of *Arctium lappa* extract was 5%.

Key words: *Arctium lappa*; chicken skin gelatin; composite film; properties

近年来, 包装领域对可食性包装材料的研究越来越多, 主要方式是在可食性保鲜基材中添加生物活性

收稿日期: 2018-11-11

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31300474); 黑龙江省自然科学基金项目 (E2016002); 中央高校基金科研业务费专项基金 (2572015CB05)

作者简介: 刘英健 (1988-), 男, 博士研究生, 研究方向: 复合包装材料

通讯作者: 薛伟 (1962-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 森工技术及包装材料

因子来提升保鲜性能, 常见的可食性保鲜基材有壳聚糖、明胶、淀粉和蛋白等^[1,2], 其中对壳聚糖的研究最为广泛、成果也最突出, 但食品级壳聚糖制造成本高, 产业化应用难, 明胶是综合性能仅次于壳聚糖的成膜基材, 制备食品级明胶的原材料多是鸡、猪等动物的皮、骨等, 研究表明以鸡皮为原材料制备的明胶在凝胶性、力学稳定性和流动性上具有明显优势^[3-5]。牛蒡 (*Arctium lappa* L.) 又名东洋参、大力子。属桔梗目

(*Campanulales*), 菊科 (*Asteraceae* Bercht. & J. Presl) 二年生草本植物, 具有很高的营养价值, 其药用及保健价值已经得到了公认, 近年来, 随着对牛蒡研究的深入, 其提取物体外抑菌性和抗氧化性逐渐成为热点, 而且从基本的优化提取工艺发展到了复合材料制备、生物保鲜应用等领域^[3-5], Chan^[6]等通过醇提取法制备了牛蒡提取液, 并验证了其良好的抗氧化性和抑菌性, 张华超等^[7]将牛蒡提取液用于圣女果保鲜, 结果表明其在果蔬保鲜中能抑制果蔬的氧化及细菌侵蚀, 薛伟等^[8]通过制备将牛蒡提取液用于壳聚糖膜改性, 结果表明牛蒡提取液与壳聚糖有一定的化学反应, 并提升了壳聚糖膜的保鲜性能。在前期研究中, 探究了姜黄素对鸡皮明胶膜的性能及结构的影响, 但对比牛蒡提取物与姜黄素对壳聚糖的改性, 牛蒡提取物效果更为明显^[2,3], 因此本文尝试将牛蒡提取液用于鸡皮明胶膜的改性, 探究牛蒡提取液对鸡皮明胶膜机构和性能的影响, 以期对牛蒡提取液的应用和鸡皮明胶膜的优化提供有益参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

新鲜鸡皮购自哈达市场。试验用新林 1 号牛蒡为江苏徐州产。氢氧化钠、冰醋酸及各种检测用试剂均为分析纯, 细菌培养基所需材料及大肠杆菌、金黄色葡萄球菌购于中国微生物菌种网。

1.2 仪器与设备

电热恒温电浴锅 SY-2、磁力加热搅拌器 SZCL-4B、恒温干燥箱 YSGW-9030A、生化培养箱 SPX-70BE、高速组织捣碎机 JJ-2、透光率/雾度测定仪 WGT-S、傅里叶红外光谱仪 FT-IR-7600、压差法气体渗透仪 VAC-A3、力学拉伸实验仪 WDW-E、精准厚度仪 GM280F。

1.3 方法

1.3.1 鸡皮明胶的制备

取适量新鲜鸡皮切成均匀小块, 清洗后沥水备用, 称取 500 g 沥水后鸡皮置于 3.0% 的盐酸中, 浸泡 48 h, 使用 0.3 mol/L 的氢氧化钠溶液进行中和, PH 值调节至 4~5 时, 取出鸡皮进行冲洗, 按照质量比为 1:4 置于 65 °C 恒温电浴锅中提胶 6 h, 静置 0.5 h, 除去胶液上层油脂, 使用高速离心机离心后取上层胶液备用。

1.3.2 牛蒡提取液的制备

将牛蒡根切块置于 2% 的柠檬酸溶液中浸泡 10

min 后干燥粉碎, 将得到的粉末放入 70% 的乙醇中, 在 50 °C 恒温水浴中提取时间 1 h 后过滤三次, 滤液旋转蒸发至浓度为 1 g/mL, 用棕色试剂瓶盛装, 4 °C 保存备用。

1.3.3 复合膜制备

取 5 g 明胶、1 g 甘油, 分别加入 1 mL、3 mL、5 mL、7 mL 牛蒡提取液, 使用蒸馏水将各组溶液配制 100 mL, 65 °C 恒温搅拌 3 h, 静置脱泡, 置于培养皿中流延, 40 °C 恒温 24 h 后揭膜。各组制备 5 份。

1.4 性能测试

1.4.1 水蒸气透过率

使用杯式法测定^[9], 测定 5 次, 取平均值。

1.4.2 水溶性

将复合膜置于蒸馏水中浸泡 24 h 后取出烘干, 通过测定浸泡前后质量减少率来表征水溶性, 测定 5 次, 取平均值。

1.4.3 力学性能测试

复合膜的抗拉强度及断裂伸长率测定按照 GB/T 25255-2010 规定的方法进行^[10], 测定 5 次, 取平均值。

1.4.4 透光率及雾度

利用透光率/雾度测定仪测量, 测定 5 次, 取平均值。

1.4.5 结构表征

利用高分辨率扫描电子显微镜和傅里叶红外光谱仪 (600~4000 cm^{-1}) 对复合膜进行表征。

1.4.6 抗菌性

取 10 g 胨与 5 g 氯化钠, 加入 1000 mL 肉浸液内, 微温溶解后, 调节 PH 至弱碱性, 煮沸, 滤清, 调节 PH 值为灭菌后为 7.2±0.2, 115 °C 灭菌 30 min 后制得营养肉汤两份, 分别加入大肠杆菌和金黄色葡萄球菌, 为活化细菌使用水浴震荡 12 h, 进行稀释; 制备培养基 (胰蛋白胨 10 g, 酵母粉 5 g, NaCl 10 g, 蒸馏水 1000 mL, 用 1 mol/L NaOH 调节 pH 值为 7.0~7.2, 在高压蒸气灭菌器中于 0.1 MPa 下灭菌 30 min), 培养基 (10 mL) 中分别加入各组复合膜, 向各组加入 0.1 mL 大肠杆菌及金黄色葡萄球菌菌悬液 (浓度约为 1.0×10^7 CFU/mL), 37 °C 培养 24 h。使用牛津杯法测定抑菌圈大小^[11]。

1.4.7 抗氧化性

采用邻菲罗啉法^[12], 各反应体系滴入 1.8 mL 复合液, 搅拌后静置 10 min, ·OH 含量测定使用比色分析法, 测定 5 次, 取平均值。

1.4.8 数据分析

采用 Origin 9.0 软件绘图, SPSS1 9.0 软件进行数

据分析, 差异显著性检验使用新复极差法。

2 结果与分析

2.1 水蒸气透过率及水溶性

不同浓度牛蒡提取物对鸡皮明胶膜水蒸气透过率

表 1 牛蒡提取物对鸡皮明胶膜水蒸气透过率及水溶性的影响

Table 1 Effects of WVP and Water solubility concentrations of Burdock on the properties of chicken gelatin film

指标	牛蒡提取液浓度/%				
	0	1	3	5	7
WVP/[10 ⁻⁸ ·g/m·s·Pa]	2.04±0.19 ^a	1.98±0.35 ^a	1.81±0.27 ^b	1.91±0.61 ^c	2.02±0.42 ^b
水溶性/%	79.56±1.49 ^a	76.21±2.59 ^a	73.03±3.24 ^b	72.29±2.54 ^c	72.27±1.61 ^c

注: 同行不同列肩标一致表明显著性差异不大 ($p < 0.05$)。

在果蔬保鲜时, 水分的流失会直接降低其表观价值, 也间接的加快了果蔬变质, 实验结果表明牛蒡提取液可以降低鸡皮明胶膜的水蒸气透过率。鸡皮明胶膜中的蛋白质侧链有大量具有亲水性的游离基团, 牛蒡提取液中酚类物质与游离基团中的-H 脱水形成氢键, 减少了亲水性的基团, 并通过氢键减小了分子间隙, 增强了致密性, 从而降低了水蒸气透过率^[13,14], 由于疏水性的增强, 其水溶性降低, 当牛蒡提取液浓度过大, 不参与反应的大分子造成鸡皮明胶膜致密性的降低, 当这一负效应超过正效应时, 水蒸气透过率开始增加, 同时, 疏水性达到极限值, 水溶性趋于平稳^[12,15]。

2.2 力学性能

牛蒡提取液对鸡皮明胶膜抗拉强度及断裂伸长率的影响见图 1。由图可知, 随着牛蒡提取液浓度增加, 鸡皮明胶膜抗拉强度先增加后降低, 在浓度为 5% 是最大, 为 22.44%, 是对照组的 125.21%, 断裂伸长率逐渐降低, 在浓度为 4%~5% 时下降不明显 ($p < 0.05$)。

作为可食用的保鲜材料, 具有较好的力学性能, 既可以降低装运过程中对果蔬的物理损伤, 又可以增加包装稳定性。实验表明, 牛蒡提取物可以显著提升鸡皮明胶膜的抗拉强度, 牛蒡提取液中的酚类物质以及其它有游离-OH 的基团可以打破蛋白质中氨基酸间原有的分子结构, 通过交联反应和脱水形成氢键加强了分子间的紧密型, 形成致密的网状结构, 蛋白质间肽链增加, 从而增强了抗拉强度, 当牛蒡提取物浓度过大时, 有利反应达到饱和, 多余的游离颗粒宏观的破坏了膜的结构, 造成抗拉强度降低^[14]。牛蒡提取液中的游离颗粒不利于膜的延展, 因此断裂伸长率降低, 可通过适当调整甘油浓度来改善这一缺陷。

及水溶性的影响见表 1, 由表可知, 牛蒡提取液浓度小于 3% 时, 随浓度增加水蒸气透过率明显下降, 下降率达 11.27%, 当牛蒡提取液浓度大于 3% 时水蒸气透过率逐渐变大。随着牛蒡提取液浓度增加水溶性逐渐降低, 在浓度大于 3% 时, 趋于平稳。

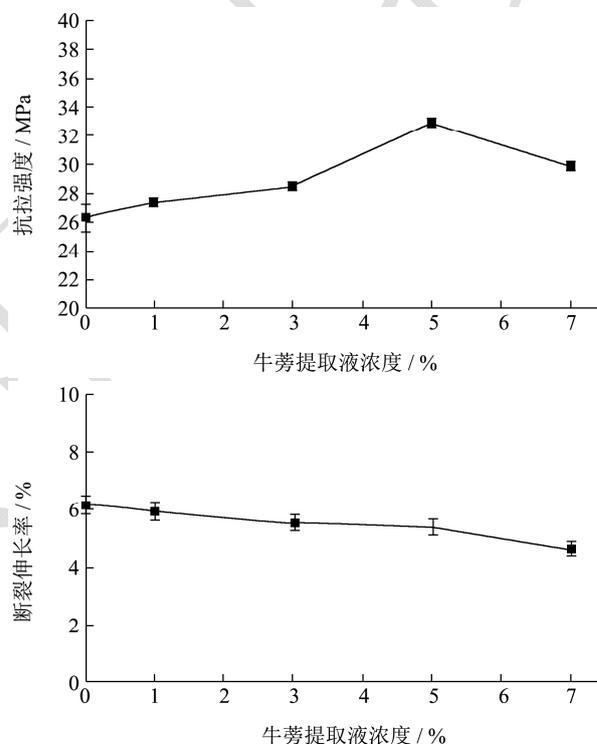


图 1 复合膜力学性能测试结果

Fig.1 The results of mechanical properties of composite membrane

2.3 透光率和雾度

牛蒡提取液对鸡皮明胶膜透光率和雾度的影响见图 2, 由图可知, 随着牛蒡提取液浓度增加, 鸡皮明胶膜的透光率逐渐下降, 趋势缓慢, 雾度逐渐增加, 浓度为 5% 达到 38.97%, 在 7% 时显著上升 ($p < 0.05$)。

材料的透光率和雾度是其包装性能优劣的主要因素, 适当的透光率和雾度既可以增加包装品的美观度, 又可以降低紫外线对产品造成的破坏。醇提取的牛蒡提取物, 使具有醇溶性的芳香族化合物及脂类化合

物保留可以起到吸收紫外线的效果,而且提取物的中糖类使得整体呈淡黄色,也一定程度的降低了透光率,优于明胶化学结构的改变也可能降低膜的透光率。由于牛蒡提取液中有较多的大颗粒化合物游离于膜中,增加了雾度。

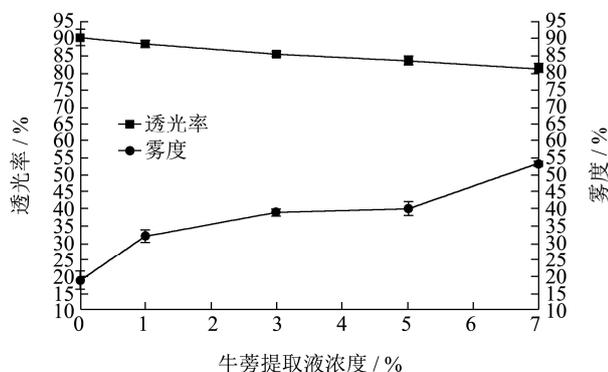


图2 复合膜透光率和雾度测试结果

Fig.2 The results of transmittance and fogging of composite films

2.4 红外光谱分析

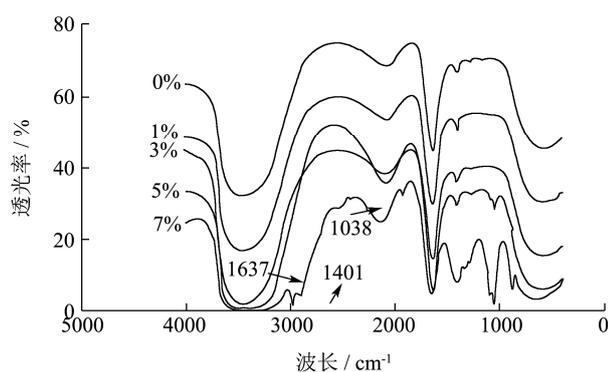


图3 牛蒡提取液/鸡皮明胶复合膜红外光谱图

Fig.3 The FT-IR spectra of GL and chitosan-burdock composite films

图3为鸡皮明胶膜及复合膜的红外光谱图。由图可知,各组复合膜红外光谱基本相同,但与鸡皮明胶单膜差异较大,说明牛蒡提取液与鸡皮明胶发生了化学反应。在鸡皮明胶单膜的红外光谱中,1637 cm^{-1} /1401 cm^{-1} 处的吸收峰分别归属于 $\nu(\text{N-H})$ 的伸缩震动和 $\delta(\text{O-H})$ 的面内弯曲振动。随着牛蒡提取液浓度增加,1038 cm^{-1} 处出现波峰,且逐渐加强,这表明共混液反应产生氢键而且随着牛蒡提取液浓度的增加氢键增加,这些氢键可能是鸡皮明胶分子同牛蒡提取液中的酸性物质反映形成的^[12];复合膜 1401 cm^{-1} 处的 $\delta(\text{O-H})$ 吸收峰逐渐边寨渐窄,这说明加入牛蒡提取液后,复合膜中的 $\delta(\text{O-H})$ 含量增加,说明牛蒡提取液是复合膜中具有了抑菌性的多酚类物质和亲水性基团,3584 cm^{-1} 处出现的吸收峰归属于牛蒡提取液中多糖 ν

(C-C-O) 的伸缩振动^[16-18],图中还可以看出随着牛蒡提取液浓度增加吸收峰渐窄,这说明牛蒡提取液中的多糖大部分处于游离状态。

2.5 鸡皮明胶单膜与复合膜的 SEM 照片

图4为鸡皮明胶/牛蒡提取液复合膜的 SEM 照片。由图可知,在牛蒡提取液为 0% 时,纯鸡皮明胶膜表面比较光滑,未出现任何纹理,添加牛蒡提取液后各组复合膜表面相对平整,在牛蒡提取液浓度为 3% 时表面平整度降低,小于 5% 时随其增加复合膜表面白色结晶体增加,而后开始减少,但未出现分相^[13],说明鸡皮明胶与牛蒡提取液之间的相容性较好,牛蒡提取液的添加有利于鸡皮明胶膜结晶,且在浓度为 5% 时最佳。

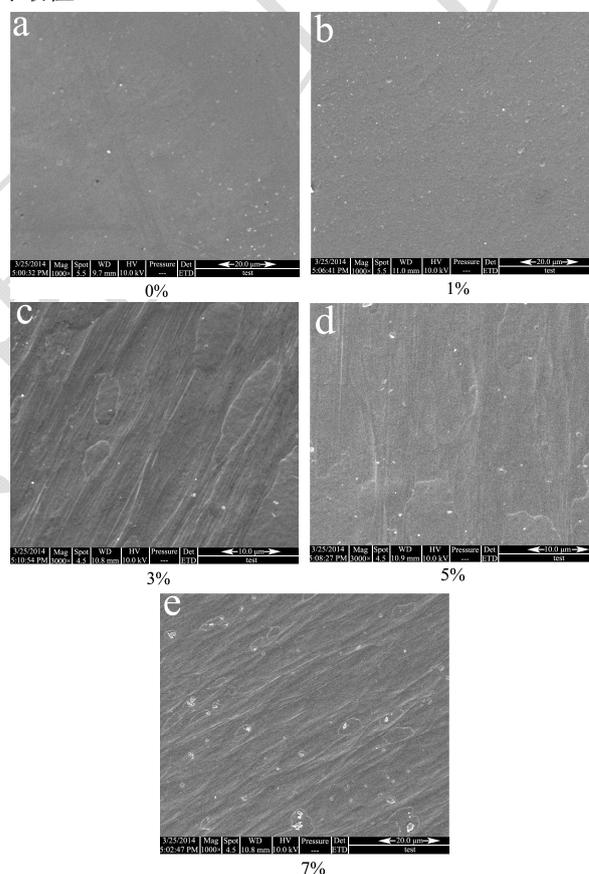


图4 鸡皮明胶单膜及复合膜 SEM 照片

Fig.4 The SEM photographs of GL and GL-burdock composite films

2.6 抗氧化性及抑菌性

食品类、药品类包装材料在具备良好的物理性能同时,具有良好的生物活性也成为目前研究的热题,抗氧化性、抑菌性是决定其保鲜性能的重要指标。表2为牛蒡提取液对鸡皮明胶膜抗氧化性、抑菌性的影响,由表可知复合膜对羟基自由基清除率随着牛蒡提

取液浓度增加明显提升,当浓度大于5%是提升缓慢,牛蒡提取液中具有大量的酚类物质,由于O-H的裂解焓变值较低,酚类物质中的酚羟基具有游离-H,因此易发生还原反应,从而抑制了氧化反应。牛蒡提取液中还含有酮类物质,其中的 β -二酮单元提供的质子,在C-H断裂后,非成对电子与间隔碳原子和氧原子间离域,进而实现了抗氧化性^[19,20]。表中复合膜因添加了牛蒡提取液而具有了抑菌性,且对大肠杆菌的抑菌效果明显优于金黄色葡萄球菌。牛蒡提取液中的酚

类物质可以抑制大肠杆菌中的琥珀酸和苹果酸脱氢酶等活性,间接减缓了大肠杆菌生存必需的氧化还原反应,同时酚类物质亦可以破坏细菌的细胞膜,导致生命物质渗漏^[18,21]。在不同细菌间抑菌性差异可能因为细菌细胞壁构成差异造成自身保护性能不能。牛蒡提取液与鸡皮明胶制备复合膜,使牛蒡提取液中的活性物质固定在明胶膜中,实现并加强了复合膜的抗氧化性、抑菌性。

表2 不同浓度牛蒡提取液对明胶膜抗氧化及抗菌活性的影响

Table 2 Effects of different concentrations of Burdock on antioxidation and antibacterial activity of gelatin membrane

指标	牛蒡提取液浓度/%				
	0	1	3	5	7
自由基清除率/%	2.78±1.84 ^a	19.54±2.84 ^b	43.25±2.54 ^c	59.98±2.75 ^d	61.17±5.14 ^d
大肠杆菌抑菌圈/mm	0.00±0.00 ^a	3.24±1.34 ^a	9.02±0.62 ^b	15.02±2.08 ^c	15.98±1.55 ^c
金黄色葡萄球菌抑菌圈/mm	0.00±0.00 ^a	2.36±0.27 ^a	5.31±2.13 ^b	11.01±3.51 ^c	11.35±3.06 ^c

注:同行不同列肩标一致表明显著性差异不大($p<0.05$)。

3 结论

3.1 目前关于牛蒡提取物作为生物膜改性材料的研究逐渐增多,大多集中在优化复合膜制备工艺,或直接制备复合液进行保鲜应用方面,基础应用研究较少,对鸡皮明胶膜的研究也主要是制备工艺优化。本文以鸡皮明胶为基质,以牛蒡提取物为改性材料,流延制成复合膜,通过对复合膜物理性能测定和结构表征分析发现:当牛蒡提取液浓度小于1%时,复合膜各项性能无明显变化,在其浓度大于3%时水蒸气透过率、水溶性改变明显,在浓度达到5%时各项性能基本趋于稳定,通过结构表征发现,牛蒡提取液与鸡皮明胶膜发生化学反应产生新的氢键,电镜下可观测到结晶,综合各项性能确定,在牛蒡提取液浓度为5%时,复合膜各项性能较佳。

3.2 在前期研究中探究了姜黄素对鸡皮明胶膜性能和结构的影响,实验结果与牛蒡提取物对其影响有些差异,但各项性能极值基本一致,与姜黄素不同,牛蒡提取液成份复杂,在成膜时必然会有游离物质存在,改性机理与也差异于姜黄素,因此复合膜性能变化趋势也有不同。同时,牛蒡提取物制备工艺简单,原材料产量高,且提取液无色微甜,通过优化后的复合膜各项性能在果蔬食品保鲜包装领域能有更广的应用空间。但复合保鲜包装应用环境是多变的,后期会在热稳定性、湿度影响等方面做深入研究,以期扩大复合膜的实用范围。

参考文献

- [1] Amadori S, Torricelli P, Rubini K, et al. Effect of sterilization and crosslinking on gelatin films [J]. Journal of Materials Science: Materials in Medicine, 2015, 26(2): 69
- [2] 辛颖,张华超,薛伟.基于牛蒡提取液的壳聚糖膜改性研究[J].食品研究与开发,2016,37(11):40-45
XIN Ying, ZHANG Hua-chao, XUE Wei. Modification of chitosan membrane based on burdock extract [J]. Food Research and Development, 2016, 37(11): 40-45
- [3] 吕妍霄,薛伟.姜黄素对鸡皮明胶膜的性能及结构的影响[J].现代食品科技,2018,34(1):83-90
LYU Yan-xiao, XUE Wei. Effects of curcumin on the performance and structure of chicken skin gelatin film [J]. Modern Food Science and Technology, 2018, 34(1): 83-90
- [4] 宋宇.牛蒡叶多酚提取液抑制亚硝化反应的研究[J].食品研究与开发,2016,37(14):22-24
SONG Yu. Study on inhibition of nitrosation by burdock leaf polyphenol extract [J]. Food Research and Development, 2016, 37(14): 22-24
- [5] Ren K, Wang Y, Sun T, et al. Electrospun PCL/gelatin composite nanofiber structures for effective guided bone regeneration membranes [J]. Materials Science and Engineering: C, 2017, 78: 324-332
- [6] Chan Y S, Cheng L N, Wu J H, et al. A Review of the pharmacological effects of *Arctium lappa* (burdock) [J]. Inflammopharmacology, 2011, 19(5): 245-254
- [7] 张华超,薛伟.壳聚糖及牛蒡提取物在圣女果保鲜中的应用研究[J].安徽农业科学,2014,42(20):6787-6790
ZHANG Hua-chao, XUE Wei. Application of chitosan and

- burdock extract in preservation of Shengnyuguo fruit [J]. Anhui Agricultural Sciences, 2014, 42(20): 6787-6790
- [8] 方海峰,田静,张华超.壳聚糖/牛蒡提取物/甘油复合膜及其制备方法:中国[P]. 201410221826.0,2014.07.30
FANG Hai-feng, TIAN Jing, ZHANG Hua-chao. Chitosan / burdock / extract / glycerin Composite Membrane and its Preparation Method: China [P]. 201410221826.0, 2014.07.30
- [9] GB/T 21529-2008,塑料薄膜和薄片水蒸气透过率的测定[S]
GB/T 21529-2008, Determination of Water Vapor Transmission Rate of Plastic Films and Flakes [S]
- [10] GB/T 25255-2010,PET 薄膜拉伸性能试验[S]
GB/T 25255-2010, PET Film Tensile Performance Test [S]
- [11] 曹建康,姜微波,赵玉梅.果蔬采后生理生化实验指导[M].北京:中国轻工业出版社,2007
CAO Jian-kang, JIANG Wei-wei, ZHAO Yu-mei. Physiological and Biochemical Experiment Guidance for Postharvest Fruits and Vegetables [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007
- [12] 颜军,苟小军,邹全付,等.分光光度法测定 Fenton 反应产生的羟基自由基[J].成都大学学报:自然科学版,2009,28(2):91-93
YAN Jun, GOU Xiao-jun, ZOU Quan-fu, et al. Determination of hydroxyl radicals generated by fenton reaction by spectrophotometry [J]. Journal of Chengdu University: Natural Science Edition, 2009, 28(2): 91-93
- [13] 官爱艳,杨文鸽,谢果凰,等.秘鲁鲑鱼皮明胶-壳聚糖复合膜的性能与结构表征[J].核农学报,2017,31(7):1349-1354
GUAN Ai-yan, YANG Wen-ge, XIE Guo-huang, et al. Properties and structural characterization of gelatin-chitosan composite membrane of peruvian carp skin [J]. Chinese Journal of Nuclear Agriculture, 2017, 31(7): 1349-1354
- [14] 石云娇,张华江,章智华,等.大豆蛋白基明胶复合膜组分对机械性能的影响[J].中国食品学报,2017,4:123-131
SHI Yun-jiao, ZHANG Hua-jiang, ZHANG Zhi-hua, et al. Effect of soybean protein based gelatin composite membrane on mechanical properties [J]. Chinese Journal of Food Science, 2017, 4: 123-131
- [15] Caner C, Vergano P J, Wiles J L. Chitosan film mechanical and permeation properties as affected by acid, plasticizer/storage [J]. Journal of Food Science, 1998, 63(6): 1049-1053
- [16] 张赞彬,王景文,李月霞,等.薰衣草精油改善壳聚糖基食品包装膜的应用品质[J].农业工程学报,2014,30(2):286-292
ZHANG Yi-bin, WANG Jing-wen, LI Yue-xia, et al. Improvement of application quality of chitosan-based food packaging film by lavender essential oil [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(2): 286-292
- [17] 张华超,薛伟.壳聚糖/牛蒡提取物制备及应用[J].云南大学学报(自然科学版),2014,36(6):883-890.
ZHANG Hua-chao, XUE Wei. Preparation and application of chitosan / burdock extract [J]. Journal of Yunnan University (Natural Science Edition), 2014, 36(6): 883-890
- [18] 宫志强,李彦春,祝德义.增塑剂对鸡皮明胶-明胶复合膜物理性能的影响[J].食品工业科技,2008,51(3):231-233
GONG Zhi-qiang, LI Yan-chun, ZHU De-yi. Effects of plasticizers on physical properties of chicken skin gelatin-gelatin composite membrane [J]. Food Science and Technology, 2008, 51(3): 231-233
- [19] Zheng Q, Ieromonachou P, Fan T, et al. Supply chain contracting coordination for fresh products with fresh-keeping effort [J]. Industrial Management & Data Systems, 2017, 117(3): 538-559
- [20] Shi L, Liu H, Zhong J, et al. Fresh-keeping effects of melanin-free extract from squid ink on yellowfin sea bream (*Sparus latus*) during cold storage [J]. Journal of Aquatic Food Product Technology, 2015, 24(3): 199-212
- [21] 张乐,刘安军,韩悦,等.乳链菌肽对明胶-酪蛋白钙复合膜理化及抑菌特性的影响研究[J].现代食品科技,2016,32(4):52-58
ZHANG Le, LIU An-jun, HAN Yue, et al. Effects of nisin on the physicochemical and antibacterial properties of gelatin-casein calcium composite membrane [J]. Modern Food Science & Technology, 2016, 32(4): 52-58

(上接第 176 页)

- [18] 严超,侯丽娟,齐晓茹,等.红枣白兰地发酵过程中酒醅氨基酸和有机酸的变化分析[J].食品工业科技,2017,38(14):121-125
YAN Chao, HOU Li-juan, QI Xiao-ru, et al. Variation of amino acids and organic acids in fermented grains during fermentation of jujube brandy [J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(14): 121-125