

可食性大豆分离蛋白膜制备与性质

Preparation and characters of edible film from soy protein isolate

董增 孙朋朋 王海潮 高贵珍 曹稳根

DONG Zeng SUN Peng-peng WANG Hai-chao GAO Gui-zhen CAO Wen-gen

(宿州学院生物与食品工程学院, 安徽 宿州 234000)

(School of Biotechnology and Food Engineering, Suzhou University, Suzhou, Anhui 234000, China)

摘要:为探索新型生物膜材料的制备,以大豆分离蛋白为基本材料,探究大豆分离蛋白(SPI)、增塑剂(甘油)、还原剂(Na_2SO_3)、乙醇等添加量和处理温度、成膜液 pH、成膜介质等条件对膜的完整率、厚度、透光率、水溶率、水蒸气透过系数、透油性等性质的影响。当 SPI 浓度在 2%~6% 时,随着添加量的增加,成膜变得容易,但是膜的厚度增加、水蒸气透过系数和透油系数变大、色泽变深。甘油添加量在 2% 以下可以改善膜的柔韧性,同时降低膜的透气性能和透油性。添加 5% 的乙醇也可以降低膜的透气性和透油性。添加 0.1% 的 Na_2SO_3 可以改善膜的色泽,同时降低膜的透油性。适当提高处理温度和溶液 pH 可以降低膜的透气性和透油性。

关键词:大豆分离蛋白;可食用性膜;成膜工艺;性能

Abstract: The new biomaterials were produced by soy protein isolate (SPI) as base material. The effects of film property such as film integrity, thickness, light transmittance, water soluble, water vapor permeability (WVP) and oil permeability (PO) were investigated by film forming conditions included SPI content, ethanol content, plasticizer (glycerol), reducing agents (Na_2SO_3), temperature, pH value of film-forming reagent and medium. With more addition of SPI concentration between 2% to 6%, it was more likely to form film, while the thickness, WVP, and PO of films increased and the film became dark. With no more than 2% addition of glycerol, the flexibility of film could be improved, but its WVP and PO were reduced. With the addition of 5% alcohol, the WVP and PO of films were also reduced. The addition of 0.1% Na_2SO_3 could improve the color of the film and reduce its PO at the same time. It could reduce the WVP and PO of the films by increasing the processing temperature and pH value of solution to a certain extent.

Keywords: soy protein isolate; edible films; filming technology; properties

塑料包装膜以其价格低廉和机械性能好等优点,已广泛应用于食品、药品的包装。但是,塑料材料在自然界难以降解,燃烧会产生有毒气体造成空气污染,成了严重的“白色污染”^[1]。目前,可食性膜通常以天然可食性物质如蛋白质、淀粉基、明胶等为成膜材料,通过添加交联剂、塑化剂等制备具有多孔网络结构的薄膜^[2],可作为食品接触包装材料用于保鲜或者直接食用,在环境中可以自然降解。

大豆分离蛋白因其蛋白分子之间含有大量的氢键、二硫键以及疏水相互作用等可以维持蛋白膜的结构稳定,制得的膜阻隔性能好,具有良好的机械性能而成为现今包装材料研究的热点^[3],被广泛应用于食品工业,如大豆分离蛋白膜替代香肠肠衣^[4]、作为营养强化剂或食品添加剂而加入到酸奶、乳酪、乳粉、冰淇淋、麦片等食品中^[5],改善面制品品质^[6]等。

目前,中国很多学者对可食性大豆分离蛋白膜做了一定的研究,如汪学荣等^[7]研究以甘油为增塑剂、 Na_2SO_3 为还原剂制备大豆分离蛋白膜的实验室和工业化制膜工艺,中试成功;马丹等^[8]研究了不同工艺生产的大豆分离蛋白的成膜性能,发现 GS5000 型大豆分离蛋白比较适合制作可食性膜;张慧芸等^[9]研究通过添加丁香油提高大豆分离蛋白膜性能,当丁香精油添加量为 1.5% 时,制备的复合膜具有优良抗菌、抗氧化活性,且综合理化性能更佳;陈珊珊等^[10]研究利用葵花籽壳纳米纤维素(NCC)、壳聚糖(CS)和大豆分离蛋白(SPI) 3 种物质制备可食膜工艺,当成膜材料质量比 NCC : CS : SPI 为 1.25 : 0.75 : 2, pH 为 3.59, 丙三醇浓度为 0.02 g/mL 时,膜的综合性能最好。刘少博等^[11]利用胶原蛋白与大豆分离蛋白制备复合膜,当胶原蛋白与大豆分离蛋白质量比 2 : 1, 甘油含量 30%, 成膜液 pH 值 10.0, 干燥温度 40 °C 时,膜的拉伸性能最佳。目前大部分研究倾向于探讨膜的配方改良,通过添加不同的复合材料以提高膜的性能,而对成膜条件对膜性能的影响没有系统的研究。本研究拟以大豆分

基金项目:宿州区域发展协同创新中心全国开放课题(编号:2014SZXTKF8);校科研平台药物与生物技术研究所开放课题(编号:2014YKF34);安徽省自然科学基金青年项目(编号:1608085QH185)

作者简介:董增(1986—),男,宿州学院助教,硕士。

E-mail: szxydz1986@163.com

收稿日期:2016-07-05

离蛋白为成膜基材,研究大豆分离蛋白、甘油、Na₂SO₃、酒精等添加量和成膜介质、pH 和处理温度等成膜条件对成膜难易程度、膜的水溶性、透光率、透油性和水蒸气透过系数等性质的影响,综合评价不同因素对大豆蛋白分离膜性能的影响,探讨成膜机制,以期可为可食膜的生产提供参考。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

1.1.1 试验材料

大豆分离蛋白:蛋白质质量分数 90%,哈尔滨高科技大豆食品有限责任公司;

PVC 塑料胶片、玻璃平板、不锈钢板:市售;

亚硫酸钠、甘油、乙醇、无水氯化钙、氢氧化钠、氯化钾、盐酸等:分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

1.1.2 试验仪器

数显电热恒温水浴锅:HH-2 型,上海三发科学仪器有限公司;

磁力搅拌器:79-1 型,江苏省金坛市荣华仪器制造有限公司;

电热恒温鼓风干燥箱:DHG-9053J 型,上海三发科学仪器有限公司;

紫外可见分光光度计:UV-5100H 型,上海元析仪器有限公司;

电子天平:FA1104B 型,上海越平科学仪器有限公司;

pH 计:PHS-25 型,上海越平科学仪器有限公司;

推拉力测定仪:HLB 型,乐清市艾德堡仪器有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 大豆分离蛋白膜的制备 称取一定量的大豆分离蛋白溶入到适量的蒸馏水中,先用玻璃棒搅拌均匀,然后用磁力搅拌器进一步搅拌(30 min),在搅拌过程中可以添加一定量的甘油(或其他试剂),搅拌均匀。将搅拌好的溶液定容到 100 mL 的容量瓶中,在 90 °C 恒温水浴锅中加热 30 min,用移液管除去泡沫,在室温下冷却,冷却后流延成膜,干燥温度为 40 °C,干燥时间为 24 h,揭膜,放入恒湿干燥器中(48 h)备用^[12]。

1.2.2 膜性能指标的测定

(1) 膜完整性的测定:测量揭膜后完整膜的质量,对不完整的小块膜也进行测量,然后按式(1)计算膜的完整率^[7]。

$$FI = \frac{M}{M+m} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

FI——膜的完整率,%;

M——完整膜的质量,g;

m——不完整的小块膜的质量,g。

(2) 水溶率的测定:将所得膜剪成半径为 3 cm 的圆形,放入干净的小烧杯中,在 100 °C 下干燥至恒重(一般 24 h),称量此时膜的质量,然后向烧杯中加入适量的水,在室温下放置 12 h 后,把水倒掉,再次将烧杯移至干燥箱中干燥至恒重,称量干燥后的膜的质量,根据式(2)计算其溶水性^[13]。

$$WS = \frac{M-m}{M} \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

WS——水溶率,%;

M——膜初始的质量,g;

m——水溶解后剩余膜质量,g;

(3) 透光率(%):将成品膜剪裁成大小合适的长条状,紧贴在比色皿的一侧,在 600 nm 的波长测其吸光度,以空白比色皿作为对照^[14]。

(4) 透油系数(PO):在试管中加入 5 mL 色拉油,将大豆分离蛋白膜裁剪成合适的大小和形状,用双面胶协助膜封口,倒置于滤纸上,然后封存于相对湿度为 40% 的干燥器中,2 d 后测定滤纸的质量。透油系数按式(3)计算^[13]:

$$PO = \frac{\Delta W \times FT}{S \times T}, \quad (3)$$

式中:

PO——透油系数,g·mm/(m²·d);

ΔW——滤纸质量的变化量,g;

FT——膜厚,mm;

S——透油部分的面积,m²;

T——测试时间,d。

(5) 水蒸气透过系数(WVP):采用拟子介杯法,称取 4 g 无水氯化钙于称量瓶中,将成品膜裁剪成为略大于瓶口的膜形状,用双面胶将膜进行密封,将其放到相对湿度为 86% 的干燥器中,湿度环境用相应的饱和盐溶液制取,每 24 h 称一次称量瓶的质量,持续 2 d。水蒸气透过系数按式(4)计算^[12]:

$$WVP = \frac{\Delta W \times FT}{T \times S \times \Delta P}, \quad (4)$$

式中:

WVP——水蒸气透过系数,g·mm/(m·d·kPa);

ΔW——T 时间内称量瓶质量变化量,g;

S——膜的有效面积,m²;

ΔP——膜两侧的水蒸气压差,kPa。

1.3 数据分析

用 SPSS 20.0 对数据进行显著性分析,使用邓肯氏新多变域方法比较平均值的差异性。

2 结果与分析

2.1 成膜介质对大豆分离蛋白成膜性能的影响

由表 1 可知,SPI 在 3 种介质上均可成膜,但是在玻璃板上揭膜较困难,而且不完整,这可能是由于成膜液与玻璃板间亲和力和接触角较大,二者之间的接触角太小造成的^[15]。在不锈钢板和 PVC 塑料胶片上成膜较好,特别是在胶片上非常容易揭膜,这可能是经过干燥后的 SPI 膜与胶片吸附性较差,

表 1 不同介质膜性能

Table 1 Effect of different filming medium on properties of the films

| 成膜介质 | 揭膜难易 | 揭膜完整性 |
|----------|------|-------|
| 玻璃板 | 较难 | 不完整 |
| PVC 塑料胶片 | 非常容易 | 完整 |
| 不锈钢板 | 容易 | 不完整 |

所以成膜后容易揭膜。所以经综合考虑,本试验选用 PVC 塑料胶片作为成膜载体。

2.2 大豆分离蛋白含量对成膜性能的影响

由表 2 可知,当 SPI 含量非常少时(1%),不能够成膜。SPI 浓度在 2%~6% 均能成膜;随着 SPI 含量的增加,膜的颜色由无色透明变为较明显的黄色,柔软性也逐渐下降,但是揭膜越来越容易。膜的厚度、透油系数、水蒸气透过系数等指标随着 SPI 含量的增加呈上升趋势。这可能是由于蛋白质含量的增高,使得新形成的二硫键增强了大分子间的连接作用,从而形成了更加致密的网状结构^[16],使膜的厚度增加,但是甘油的量是一定的,因此单位质量的 SPI 与甘油结合的量就会减少^[17]。所以加入过多的 SPI 对膜性能并没有帮助,反而会起到反作用,使水蒸气透过系数和透油系数升高。水溶率和透光率呈现下降的趋势,这是因为 SPI 是一种亲水性蛋白质,过多的 SPI 会导致膜中亲水基团大大增加,膜的水溶性下降^[17],同时随着 SPI 含量的增加导致膜的厚度增加和 SPI 本身具有淡黄色,导致膜的透光率降低。

2.3 甘油含量对膜性能的影响

由表 3 可知,当甘油含量在 2% 以下,制备膜的完整率大,揭膜较容易。但随着甘油含量的升高,揭膜愈加困难,膜的完整率降低,而且制成的膜黏性较大,有少量的甘油溢出。这是因为甘油属于增塑剂一类,是小分子化合物,易与大分

子物质结合,减少大分子内部各基团的链接距离^[16],从而使得膜的柔软性大大增加,但是甘油增加到一定量时,SPI 与甘油的结合会达到饱和,过量的甘油就会渗出,造成揭膜不完整和揭膜困难的现象。膜的水溶率随甘油含量的升高先急剧升高后趋于平缓,这是因为甘油能促使膜内形成对水有强亲和力的氢键,从而影响膜的水溶率,当甘油量较小时,膜体系被甘油增塑程度较小,少量的甘油加入就会造成水溶性迅速上升,但是当甘油加入到一定量时,膜体系趋于饱和,此时加入甘油,对膜的水溶性影响就会降低^[17]。随着甘油含量的增加,膜的水蒸气透过系数先上升后下降,在 4% 时达到最高,1% 时最小。这是因为甘油是小分子增塑剂,非常容易与 SPI 结合,导致大分子中的各基团交联性降低,分子结构疏松,水蒸气透过系数上升^[16],且甘油本身具有吸湿性,也在不同程度上影响膜的阻湿性能。膜的透油系数随甘油含量的增加而增加,当甘油含量在 1%~3% 时,各组之间的透油系数差异并不大;在 3%~6% 时,随着甘油含量的增加,透油系数变化幅度明显。这是因为 SPI 本身具有含有疏水性羟基,少量甘油能够阻止油脂的渗入,但是当甘油的量超过一定值时,SPI 与甘油就会达到一个饱和的状态,剩余的甘油就无法与 SPI 结合,这导致了甘油会有少量的渗出,最终导致了滤纸质量的大幅度增加,最终得出的透油系数就会非常大。

表 2 大豆分离蛋白含量对膜性能的影响[†]

Table 2 Effect of soy protein isolates concentration on properties of the films

| SPI/% | 柔软性 | 完整率/% | 揭膜难易 | 膜厚度/mm | 水溶率/% | 透光率/% | WVP/(g·mm·m ⁻¹ ·d ⁻¹ ·kPa ⁻¹) | PO/(g·mm·m ⁻² ·d ⁻¹) |
|-------|-----|--------|------|--------------------------------|--------------------------|--------------------------|---|---|
| 1 | — | — | 不能成膜 | — | — | — | — | — |
| 2 | 柔软 | 52.12 | 稍难 | 0.050 0±0.008 5 ^{cC} | 52.70±2.42 ^{bA} | 93.80±2.03 ^{aA} | 3.35±0.30 ^{dD} | 1.52±0.33 ^{dD} |
| 3 | 柔软 | 86.67 | 容易 | 0.080 0±0.010 0 ^{cC} | 43.97±1.38 ^{cB} | 87.60±1.86 ^{bA} | 2.50±0.11 ^{eE} | 3.43±0.15 ^{cC} |
| 4 | 柔软 | 100.00 | 容易 | 0.130 0±0.150 0 ^{bB} | 56.49±1.59 ^{aA} | 75.40±3.46 ^{cB} | 3.91±0.11 ^{cC} | 3.17±0.04 ^{cC} |
| 5 | 较硬 | 100.00 | 容易 | 0.160 0±0.310 0 ^{bAB} | 30.83±1.14 ^{dC} | 72.60±2.56 ^{cB} | 4.83±0.09 ^{bB} | 6.43±0.26 ^{bB} |
| 6 | 硬 | 100.00 | 容易 | 0.200 0±0.020 0 ^{aA} | 24.28±2.30 ^{eD} | 58.50±2.73 ^{dC} | 5.65±0.22 ^{aA} | 13.04±0.41 ^{aA} |

† —表示未测出;同列不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著,不同大写字母表示在 0.01 水平差异显著。

表 3 甘油含量对膜性能的影响[†]

Table 3 Effect of glycerin concentration on properties of the films

| 甘油/% | 揭膜难易 | 完整率/% | 柔软性 | 膜厚度/mm | 水溶率/% | 透光率/% | WVP/(g·mm·m ⁻¹ ·d ⁻¹ ·kPa ⁻¹) | PO/(g·mm·m ⁻² ·d ⁻¹) |
|------|------|--------|----------------------|-----------------------------|----------------------------|--------------------------|---|---|
| 1 | 容易 | 100.00 | 较脆 | 0.090±0.002 ^{cC} | 25.28±2.87 ^{eE} | 77.24±2.10 ^{aA} | 2.27±0.23 ^{eB} | 2.20±0.14 ^{dD} |
| 2 | 容易 | 100.00 | 柔软 | 0.080±0.005 ^{cC} | 51.12±2.11 ^{dD} | 80.20±0.70 ^{aA} | 3.73±0.19 ^{cB} | 1.84±0.15 ^{dD} |
| 3 | 困难 | 65.51 | 柔软、有粘性 | 0.150±0.031 ^{bAB} | 57.07±1.74 ^{cC} | 66.90±1.48 ^{bB} | 8.63±0.46 ^{aA} | 2.87±0.31 ^{dD} |
| 4 | 困难 | 70.56 | 柔软、有粘性、有甘油溢出 | 0.100±0.032 ^{abAB} | 62.30±1.94 ^{bB} | 80.50±0.69 ^{aA} | 8.93±0.26 ^{aA} | 20.30±1.05 ^{cC} |
| 5 | 困难 | 41.90 | 非常柔软、有粘性、有甘油溢出 | 0.110±0.010 ^{cBC} | 65.45±1.49 ^{abAB} | 70.20±2.87 ^{bB} | 2.84±0.16 ^{bB} | 23.10±1.79 ^{bB} |
| 6 | 困难 | 46.88 | 非常柔软、粘性较大、表面有大量的甘油溢出 | 0.190±0.016 ^{aA} | 68.76±0.63 ^{aA} | 69.50±2.36 ^{bB} | 4.27±0.16 ^{bB} | 42.60±1.42 ^{aA} |

† —表示未测出;同列不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著,不同大写字母表示在 0.01 水平差异显著。

2.4 乙醇含量对膜性能的影响

表4表明乙醇对膜的厚度无明显的作用规律,各组均在0.1 mm左右,除个别组(10%)外,差异不显著。在阻油性方面,乙醇添加量在5%~15%时能够降低膜的透油性,当含量达到20%以上时能够增加膜的阻油性,但是过量的乙醇能够使得膜的表现性能变差,甚至成膜困难,可操作性变差。这可能是乙醇与水分子之间的相互作用过强,占据了蛋白质分子间的结合水,导致蛋白分子间的作用加强,蛋白分子聚集沉淀^[18],不利于膜液的混匀。当乙醇含量在0%~5%时,可以改善膜的透光性能,但是乙醇含量超过5%,就会降低膜的透光率。这是因为大量的乙醇会导致蛋白变性,产生不溶解的凝块,使形成的薄膜不够均匀,甚至出现气孔和裂缝^[18],这导致膜的均匀性下降,成品中会有白色的、大颗粒状物质出现,膜的透光率下降。膜的水溶性随着乙醇添加量的增加而降低,在20%时达到最低值,膜的水蒸气透过系数则是先降低后增加,但总的来说乙醇对膜的阻水性影响较大。这是因为乙醇能够加强SPI中分子间的键合作用,削弱蛋白质分子间的相互作用,从而加强蛋白质分子间的键合作用^[16]。

2.5 亚硫酸钠含量对膜性能的影响

表5表明,添加亚硫酸钠,能够使得膜的颜色有所改善且变得柔软,但是这也给揭膜带来一定的难度,这是因为亚硫酸钠具有漂白作用,而且能够使得蛋白质中的二硫键断裂,分子间得以重新排列^[15],使膜变得柔软,但与成膜介质的亲和力提高,给揭膜带来一定的困难。膜的厚度随亚硫酸钠含量的增加呈先下降后上升的趋势,透油系数先下降后上升,在0.15%时达到最小值。这是因为亚硫酸钠能够打断分子中的二硫键,使得成膜后二硫键重新分布^[19],增加阻隔油脂的能力。各组膜的水溶性差异性不显著,膜的水蒸气透过

系数先下降后上升。这表明亚硫酸钠对膜的阻湿性能无改善作用,反而有抑制作用,这可能是亚硫酸钠打断了SPI中原有的二硫键,致使新形成的网络结构之间空隙变大,膜中的亲水基团暴露,膜的阻湿性能有所下降^[15]。

2.6 pH对成膜性能的影响

由表6可知,pH为2,6,8,10时SPI均可成膜。在等电点附近,蛋白质溶解性较差,这导致膜表面有大颗粒白色物质,膜表面粗糙,柔软性较差,揭膜不完整,透光性较差。pH对膜厚度的影响不显著。膜的透油系数随着pH的升高先降低后升高,各组之间差异显著,pH 2~8,膜的透油系数显著降低,在pH=8时达到最低。这是因为碱性条件下使得蛋白质内部基团暴露,蛋白质分子交联作用增强,膜阻隔性能加强^[9]。膜的水溶性随着pH值的上升而逐渐下降,在pH=8时,膜的水溶率达到最低。水蒸气系数逐渐降低,在pH=10时降到最低值,这是因为碱处理使得蛋白质分子得以充分伸展,分子内的硫基和疏水性基团暴露在分子表面,分子间相互作用加强^[16],SPI中各基团链接更加紧密,膜的WVP值降低。但是同样也观察到在pH=10时,膜的水溶率有上升的趋势,这可能是在碱性条件下,蛋白质分子中的负电荷过度增加,各分子间斥力增大,蛋白质分子间的结合程度有所降低造成的^[20]。

2.7 处理温度对成膜性能的影响

由表7可知,处理温度对于膜厚度和水溶性没有明显的影响。膜的透光率、水蒸气透过系数和透油系数等随温度的升高有下降趋势。这是因为一定温度的处理可以重新塑造蛋白质中的各亚基结构,二硫键也被破坏,蛋白质分子能够充分伸展^[21],膜的透油和透气能力提升,但温度过高会使得蛋白质分子链彻底断裂,分子间链接松散,膜的透油和透气

表4 乙醇含量对膜性能的影响[†]

Table 4 Effect of ethanol concentration on properties of the films

| 乙醇含量/% | 膜厚度/mm | 水溶率/% | 透光率/% | WVP/(g·mm·m ⁻¹ ·d ⁻¹ ·kPa ⁻¹) | PO/(g·mm·m ⁻² ·d ⁻¹) |
|--------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|---|---|
| 0 | 0.073±0.150 ^{cb} | 56.10±5.73 ^{aA} | 80.70±1.19 ^{abA} | 2.31±0.90 ^{abAB} | 1.41±0.32 ^{bcBC} |
| 5 | 0.830±0.150 ^{bcB} | 28.20±1.95 ^{cdBC} | 82.30±1.23 ^{aA} | 1.75±0.25 ^{bAB} | 1.18±0.17 ^{bcCD} |
| 10 | 0.137±0.150 ^{aA} | 30.10±1.99 ^{bcBC} | 77.53±1.17 ^{bA} | 1.90±0.35 ^{bAB} | 0.94±0.12 ^{cdD} |
| 15 | 0.070±0.010 ^{cb} | 36.07±4.34 ^{bB} | 70.27±1.35 ^{cb} | 1.47±0.24 ^{bB} | 0.76±0.08 ^{dD} |
| 20 | 0.100±0.005 ^{bAB} | 22.30±3.63 ^{dC} | 70.23±2.70 ^{cb} | 2.2±0.34 ^{abAB} | 1.95±1.12 ^{aA} |
| 25 | 0.070±0.025 ^{cb} | 29.20±2.79 ^{bcBC} | 69.70±2.78 ^{cb} | 2.91±0.60 ^{aA} | 1.80±0.06 ^{aAB} |

† 同列不同小写字母表示在0.05水平差异显著,不同大写字母表示在0.01水平差异显著。

表5 亚硫酸钠含量对膜性能的影响

Table 5 Effects of different Na₂SO₃ concentration on properties of the film

| Na ₂ SO ₃ /% | 揭膜难易 | 完整率/% | 柔软性 | 膜厚度/mm | 水溶率/% | 透光率/% | WVP/(g·mm·m ⁻¹ ·d ⁻¹ ·kPa ⁻¹) | PO/(g·mm·m ⁻² ·d ⁻¹) |
|------------------------------------|------|--------|-----|---------------------------|---------------------------|--------------------------|---|---|
| 0.05 | 容易 | 100.00 | 较硬 | 0.144±0.270 ^{aA} | 29.26±3.46 ^{bb} | 79.10±6.26 ^{ab} | 5.33±0.30 ^{bb} | 1.570±0.097 ^{bA} |
| 0.10 | 容易 | 100.00 | 柔软 | 0.066±0.018 ^{bb} | 32.66±1.03 ^{bAB} | 73.87±0.64 ^{ab} | 3.75±0.11 ^{cc} | 1.070±0.050 ^{cb} |
| 0.15 | 稍难 | 80.22 | 柔软 | 0.068±0.083 ^{bb} | 38.23±1.39 ^{aA} | 78.67±2.58 ^{ab} | 3.83±0.13 ^{cc} | 0.820±0.120 ^{dC} |
| 0.20 | 稍难 | 84.51 | 柔软 | 0.136±0.018 ^{aA} | 31.72±1.60 ^{bb} | 77.67±1.88 ^{ab} | 6.76±0.12 ^{aA} | 1.780±0.067 ^{aA} |

† 同列不同小写字母表示在0.05水平差异显著,不同大写字母表示在0.01水平差异显著。

表 6 pH 对膜性能的影响

Table 6 Effects of different pH on properties of the film

| pH | 揭膜 难易 | 完整率/ % | 柔软性 | 膜厚度/mm | 水溶率/% | 透光度/% | WVP/(g·mm· m ⁻¹ ·d ⁻¹ ·kPa ⁻¹) | PO/(g·mm· m ⁻² ·d ⁻¹) |
|----|----------|-----------|----------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---|---|
| 2 | 稍难 | 63.20 | 较脆、表面粗糙 | 0.12±0.015 ^{aA} | 40.10±1.25 ^{aA} | 42.20±4.50 ^{cB} | 6.16±0.67 ^{aA} | 4.94±0.097 ^{aA} |
| 6 | 稍难 | 72.12 | 较柔软、表面粗糙 | 0.11±0.012 ^{aA} | 33.90±1.67 ^{bB} | 73.30±1.94 ^{bA} | 4.51±0.32 ^{bB} | 4.38±0.17 ^{bA} |
| 8 | 容易 | 100.00 | 柔软、膜表面光滑 | 0.13±0.027 ^{aA} | 28.10±0.89 ^{dC} | 72.20±2.29 ^{bA} | 2.07±0.12 ^{cC} | 2.87±0.23 ^{cB} |
| 10 | 容易 | 100.00 | 较脆、膜表面光滑 | 0.12±0.020 ^{aA} | 31.50±0.87 ^{cB} | 79.00±1.78 ^{aA} | 1.41±0.31 ^{cC} | 4.42±0.43 ^{bA} |

† 同列不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著,不同大写字母表示在 0.01 水平差异显著。

表 7 处理温度对膜性质的影响

Table 7 Effects of different temperature on properties of the film

| 糊化温 度/°C | 膜厚度/mm | 水溶率/% | 透光率/% | WVP/(g·mm· m ⁻¹ ·d ⁻¹ ·kPa ⁻¹) | PO/(g·mm· m ⁻² ·d ⁻¹) |
|-------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---|---|
| 60 | 0.070±0.016 ^{bA} | 49.15±0.71 ^{abAB} | 82.10±2.57 ^{aAB} | 3.50±0.31 ^{aA} | 3.61±0.15 ^{aA} |
| 70 | 0.100±0.024 ^{abA} | 51.16±1.16 ^{aA} | 84.33±8.71 ^{aA} | 3.03±0.11 ^{bAB} | 2.67±0.19 ^{abA} |
| 80 | 0.120±0.023 ^{aA} | 46.90±1.66 ^{bB} | 75.42±3.49 ^{abAB} | 3.22±0.17 ^{abAB} | 1.91±0.10 ^{bA} |
| 90 | 0.120±0.019 ^{aA} | 48.40±1.84 ^{bAB} | 70.53±1.21 ^{bB} | 2.93±0.13 ^{bB} | 2.46±1.87 ^{abA} |
| 100 | 0.100±0.060 ^{abA} | 47.23±0.90 ^{bB} | 77.76±4.67 ^{abAB} | 2.97±0.15 ^{bB} | 2.23±0.09 ^{abA} |

† 同列不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著,不同大写字母表示在 0.01 水平差异显著。

性能下降^[16]。因此,在膜的制备过程中要控制在合适的温度。

3 结论

以胶片作为成膜介质,获得的 SPI 膜完整率高。随 SPI 含量的增加,成膜变得容易,但是膜的物理性能如水蒸气透过系数、透油系数变大、色泽变深。添加少量的甘油可以改善膜的柔韧性,同时降低膜的透气性能和透油性。添加一定浓度的乙醇也可以降低膜的透气性和透油性,添加适量的 Na₂SO₃ 可以改善膜的色泽,同时降低膜的透油性,适当提高处理温度和溶液 pH 可以降低膜的透气、透油性。本研究对成膜的几个因素做了初步研究,后续还需要进一步地研究以期能够提高膜的物理性能,从性能上接近 PE 膜,同时降低膜的生产成本,才能取得广泛的应用。

参考文献

- [1] 周祥兴. 软塑料包装业的现状及发展趋势[J]. 塑料包装, 2001, 11(3): 10-13.
- [2] 罗学刚. 国内外可食性包装膜研究进展[J]. 中国包装, 1999, 19(5): 102-103.
- [3] 韩兆鹏, 元晓梅, 王璋. 可食性大豆分离蛋白膜制备和基础特性分析[J]. 食品科学, 2004, 25(增刊 1): 19-20.
- [4] 李玉珍, 肖怀秋, 兰立新. 大豆分离蛋白功能特性及其在食品工业中的应用[J]. 中国食品添加剂, 2008(1): 121-124.
- [5] 罗薇, 李晓东, 张福军, 等. 大豆分离蛋白在乳制品中的应用[J]. 中国乳品工业, 2007, 35(6): 62-64.
- [6] 郭波莉, 张国权, 罗勤贵, 等. 大豆分离蛋白对面条品质的影响研究[J]. 粮食加工, 2005(1): 45-47.
- [7] 汪学荣, 阚建全, 汪水平. 可食性大豆分离蛋白膜的制膜工艺研究[J]. 食品科学, 2008, 29(5): 153-158.
- [8] 马丹, 赵晓燕, 马越, 等. 不同工艺生产大豆分离蛋白的成膜性能[J]. 农业工程学报, 2008, 24(10): 239-242.
- [9] 张慧芸, 郭新宇, 康怀彬, 等. 添加适量丁香精油提高大豆分离蛋白膜性能[J]. 农业工程学报, 2014, 30(4): 247-254.
- [10] 陈珊珊, 陶宏江, 王亚静, 等. 葵花籽壳纳米纤维素/壳聚糖/大豆分离蛋白可食膜制备工艺优化[J]. 农业工程学报, 2016, 32(8): 306-314.
- [11] 刘少博, 陈复生, 刘昆仑, 等. 胶原蛋白与大豆分离蛋白复合膜制备的研究[J]. 食品与机械, 2014, 30(4): 107-112.
- [12] 蔡花真, 徐艳艳, 李梦琴, 等. 可食性复合蛋白膜条件研究[J]. 食品与机械, 2010, 26(5): 112-113.
- [13] 李红. 利用谷氨酰胺转氨酶生产大豆蛋白食用保鲜膜的研究[J]. 食品科学, 2001, 22(1): 73-75.
- [14] 张赞彬, 江娟. 大豆分离蛋白可食膜的生产工艺及性能表征[J]. 食品科学, 2012, 33(6): 100-104.
- [15] 陈志周, 张子德, 藏蕊, 等. 成膜介质和还原剂对大豆分离蛋白膜性能的影响[J]. 食品工业科技, 2004, 25(6): 67-69.
- [16] 贾云芝, 陈志周. 可食性大豆分离蛋白膜的研究进展[J]. 包装学报, 2011, 3(3): 70-74.
- [17] 孙肠, 孙春玉, 李靛, 等. 大豆分离蛋白膜的制备及相关因素分析[J]. 中国农学通报, 2010, 26(18): 92-95.
- [18] 刘国琴, 李琳, 胡松青, 等. 共混改性对大豆分离蛋白膜物理性能影响的研究[J]. 食品工业科技, 2005, 26(6): 76-78.
- [19] 陈志周, 张子德, 牟建楼, 等. 大豆分离蛋白成膜性质的研究[J]. 农业工程学报, 2007, 21(1): 212-216.
- [20] AYRANCI E, TUNC S A. Method for the measurement of the oxygen permeability and the development of edible films to reduce the rate of oxidative reactions in fresh foods[J]. Food Chemistry, 2003, 80(3): 423-431.
- [21] 李升锋, 曾庆孝. 改善大豆分离蛋白膜性能的研究进展[J]. 郑州轻工业学报, 2001, 16(3): 56-60.