

大豆蛋白薄膜制备及性能的研究

张华江, 迟玉杰, 苏瑛杰

(东北农业大学食品学院, 黑龙江哈尔滨 150030)

摘要:以大豆分离蛋白为主要原料,在一定条件下与增塑剂、还原剂等发生共价交联反应,通过单因素实验和正交实验对成膜配方、成膜条件的研究及微观结构分析,制备出可以降解,并具有一定机械强度的复合蛋白薄膜,可部分替代塑料用于食品包装领域,减少环境污染。研究表明,采用亚克力材质板槽制膜,60℃干燥时间2h;成膜配方是大豆分离蛋白浓度4.0%,增塑剂2.0%,还原剂0.1%;抗拉强度可达61.892N,透H₂O性16.204mg/(cm²·d),透O₂性0.313mg/(cm²·d),透CO₂性2.899mg/(cm²·d)。

关键词:大豆分离蛋白,薄膜,性能,制备

Study on preparation and properties of the soy protein film

ZHANG Hua-jiang, CHI Yu-jie, SU Ying-jie

(College of Food Science, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: Soy protein isolate, as the main raw material, occurred covalent cross-linking reaction with plasticizer, reducing agent under certain conditions. The filming formula, filming conditions, microstructure analysis were determined through single-factor experiment and orthogonal test. The compound protein film was prepared with degradation, some mechanical strength. It is a kind of green packaging materials of development prospects. The results showed that acrylic materials mold plate groove was used to film at temperature of 60℃ for 2h and the optimum filming conditions were that soy protein isolate 4.0%, plasticizer 2.0%, reducing agent 0.1%, tensile strength 61.892N, water permeability 16.204mg/(cm²·d), oxygen permeability 0.313mg/(cm²·d), carbon dioxide permeability 2.899mg/(cm²·d).

Key words: soy protein isolate; film; properties; preparation

中图分类号: TS206.4

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2010)02-0295-05

随着工业化发展而诞生的化学合成塑料制品,因其价格便宜,性质稳定、优良而被广泛用于食品包装和保鲜。但是化学合成塑料遗弃在环境中不易分解腐烂,造成严重的“白色污染”,还有在高温加热的时候,如易产生有害气体及异味,会对人体产生一定的毒害作用^[1],这已成为目前世界性的环保难题。据国际包装工业发展情况统计,食品包装材料约占全部包装材料用量的50%,在破坏环境的垃圾中塑料占72%,其中很大一部分来源于食品塑料包装废弃物^[2]。可降解性膜是以天然可降解性物质(如蛋白质、多糖、纤维素及衍生物等)为原料,通过不同分子间相互作用形成的具有多孔网络的薄膜^[3-4]。可降解性膜可以被微生物所降解或与被包装食品一起食用^[5],也可作为食品色、香、味、营养强化和抗氧化物质的载体^[6]。在此相关领域,国内外部分学者也进行了一些研究,但多数集中在以大豆蛋白和多糖及部分脂类为主要基质,制备可食用性的食品涂膜材料,

用于水果、蔬菜、禽蛋的涂膜保鲜及糕点、糖果的内包装等^[7],此类薄膜在附着性、速溶性、延展性等方面要求相对较高,对于单独用于食品外包装大豆蛋白薄膜很少见到报道。所以,本研究以将来能部分替代聚乙烯塑料包装为目的,制备有较高机械性能和良好阻气、阻水性能可降解的食品外包装材料,同时对成膜的具体条件和蛋白膜的微观结构也进行了比较深入的探讨,为下一步在该领域的深入研究奠定了扎实的基础。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

大豆分离蛋白 哈高科大豆食品有限公司提供;甘油 天津市凯通化学试剂有限公司;亚硫酸钠 天津市东丽区天大化学试剂厂;亚油酸、无水氯化钙、溴化钾 上海新宝精细化工厂。

TA-XT lus 型质构仪 英国 Stable Micro System 公司;S-3400N 型扫描电子显微镜、E-1010 型离子溅射仪 日本 Hitachi 公司;DHG-9210A 型电热恒温鼓风干燥箱 上海一恒科学仪器有限公司;78HW-1 型恒温磁力搅拌器 江苏金坛荣华仪器公司;JJ-1 型电子分析天平 梅特勒-托利多仪器上海有限公司;PHS-3C 型酸度计 上海精密仪器有限公司。

收稿日期:2009-03-27

作者简介:张华江(1976-),男,讲师,博士,研究方向:农产品深加工。

基金项目:黑龙江省科技攻关计划(国际合作)项目资助(WB07A01);哈尔滨市科技创新人才研究专项资金项目(2007RFQXN015)。

1.2 测定方法

1.2.1 对各物理性能进行模糊综合评价 在本实验中需要综合考虑多个物理性能指标来对大豆分离蛋白膜的质量进行评价,所以在此采用了模糊综合评价法,即通过引入隶属度函数:

$$X_{(u)} = (X_i - x_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad \text{正效应}$$

$$X_{(u)} = 1 - (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad \text{负效应}$$

式中: $X_{(u)}$ -待分析点的隶属度函数值; X_i -待分析点的数据值; X_{\max} -待分析点所在数据列的最大值; X_{\min} -待分析点所在数据列的最小值。

将膜的多个性能指标经过模糊变换成综合评价的累加加权隶属度值 $\sum X_{(u)} \cdot Y$ 。本实验中需要考虑的物理性能有抗拉强度、透 H_2O 性、透 O_2 性、透 CO_2 性,所以综合评价的权重子集 Y 为 $\{0.25, 0.25, 0.25, 0.25\}$ 。

1.2.2 抗拉强度的测定 质构仪的探入距离设定为50mm,探入前速度为15mm/s,探入过程中速度为5mm/s,探入后速度(50mm以后返回的速度)为15mm/s。

1.2.3 水蒸汽的透过性的测定 通过拟杯子法,杯重的增加量计算水蒸气的透过量^[8]。

1.2.4 透 O_2 性和透 CO_2 性的测定

a.膜透 O_2 性(Q_{O_2})测定:采用不饱和油脂吸收法。计算公式如下:

$$Q_{O_2} = \frac{\Delta m}{d \times s}$$

式中: Q_{O_2} -膜的 O_2 透过速率,mg/($cm^2 \cdot d$); Δm 为亚油酸吸收 O_2 的质量,mg; d 为天数; s 为膜片的有效面积, cm^2 。

b.膜透 CO_2 性(Q_{CO_2})测定:采用强碱吸收法。计算公式如下:

$$Q_{CO_2} = \frac{\Delta m'}{d \times s}$$

式中: Q_{CO_2} -膜的 CO_2 透过速率,mg/($cm^2 \cdot d$); $\Delta m'$ -KOH吸收 CO_2 的质量,mg。

1.2.5 表面结构分析 利用S-3400N型扫描电子显微镜对大豆分离蛋白薄膜的表面拍摄照片并对表面结构进行观察分析,粒子喷射喷金时间140s,电流15~20mA,电镜放大倍数300倍。

1.3 工艺流程及操作要点

1.3.1 工艺流程

大豆分离蛋白
乙醇、水

加入增塑剂、还原剂→调节pH→

磁力搅拌→恒温水浴加热→冷却至室温→过滤→倒膜→干燥→成膜→回软→揭膜→室温放置48h→膜性能测定

1.3.2 操作要点

1.3.2.1 蛋白质溶液的制备 将蒸馏水在水浴锅中预热一段时间,使之达到30~40℃,加入20%无水乙醇、甘油(增塑剂)、 Na_2SO_3 (还原剂)等物质,再在磁力搅拌的状态下将一定量的大豆分离蛋白逐渐加入,以配成一定浓度的溶液。

1.3.2.2 恒温水浴加热 水浴稳定控制在92~95℃左右,加热30~40min。在水浴时应用玻璃棒搅拌溶

液,使其受热均匀。

1.3.2.3 恒温干燥成膜 将水浴后的大豆分离蛋白溶液冷却至室温,迅速用四层纱布过滤,每次精确称取固定的质量10.0g,均匀倒进规格为300×300×10mm(长×宽×高)的亚克力板槽内(可根据所需膜的厚度和性能,来确定称取的质量和板槽的尺寸)^[9],温度在50~60℃,保持2~3h取出。

1.3.2.4 回软、揭膜 将干燥成膜后的玻璃板倒扣于水浴蒸汽锅上,水浴锅温度调为80~90℃,蒸汽熏蒸20~25s,均匀湿润回软后可揭膜。揭膜时,先将膜与玻璃板四周分离^[10],然后放在相对湿度为50%的环境中平衡48h备用。

2 结果与分析

2.1 大豆蛋白膜成膜条件的确定

2.1.1 制模板槽材质的选择 本实验分别选择亚克力、聚乙烯塑料、玻璃3种材质的板槽进行筛选,板槽的规格是300×300×10mm(长×宽×高),每次倒入槽内的蛋白液精确称取10.0g,迅速摇匀并在室温下平放5min,移至干燥箱中进行干燥,温度为55℃,时间3h,结果见表1。

表1 板槽材质对成膜状态的影响

板槽材质	成膜状态
亚克力板槽	揭膜容易,成膜完整,膜面光滑透明
聚乙烯塑料板槽	揭膜较困难,成膜有部分碎片,膜面略粗糙半透明
玻璃板槽	揭膜很困难,成膜较完整,膜面有明显粗糙感半透明

由表1可知,成模板槽材质的不同,其成膜状态差别较大。亚克力板槽、聚乙烯塑料板槽、玻璃板槽揭膜难度依次加大,体现了这三种材质对蛋白膜的黏合性、剥离性方面存在较大差异,在膜的完整性、透明度、光滑程度方面亚克力板槽的成膜状态比较优越,所以在后续的实验中采用该材质的板槽作为载体制膜。

2.1.2 成膜干燥条件的确定 采用热风恒温干燥的方式将膜进行干燥,为了能够节省能源同时还要保证蛋白膜的机械强度,本实验选择在40、50、60、70、80℃进行烘干,以膜干燥后抗拉强度和干燥时间为指标进行筛选成膜干燥的条件,结果见图1。

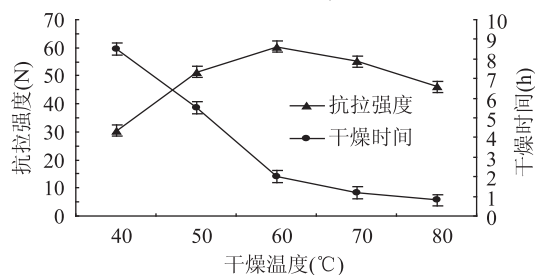


图1 干燥温度对成膜状态的影响

由图1可知,随着干燥温度的升高,干燥时间缩短,但在40~60℃范围内,随着温度的升高至膜干燥的时间缩短幅度较大,在60℃以上缩短幅度较小,在60℃条件下,烘干需要2h。同时干燥条件对膜的抗拉强度也有一定影响,在60℃以下,温度的升高可以使蛋白质大分子从原来有秩序的紧密结构变为无秩

表2 大豆分离蛋白浓度对膜性能的影响

浓度(%)	色泽	柔软度	抗拉强度 (N)	透 H ₂ O 性 mg/(cm ² ·d)	透 O ₂ 性 mg/(cm ² ·d)	透 CO ₂ 性 mg/(cm ² ·d)
1.0			溶液过于稀薄,烘干后不成膜,无法揭膜			
2.0	淡黄色	非常柔软	8.817	71.005	0.998	5.002
3.0	淡黄色	非常柔软	10.234	65.958	0.917	4.549
4.0	淡黄色	较柔软	10.644	63.698	0.721	3.711
5.0	淡黄色	柔软	11.553	63.390	0.655	3.729
6.0	黄色	柔软	20.453	41.506	0.466	2.854
7.0	黄色	略硬	26.656	30.187	0.459	2.166
8.0	褐黄色	硬	33.721	24.096	0.401	1.703

表3 甘油含量对膜性能的影响

浓度(%)	色泽	柔软度	抗拉强度 (N)	透 H ₂ O 性 mg/(cm ² ·d)	透 O ₂ 性 mg/(cm ² ·d)	透 CO ₂ 性 mg/(cm ² ·d)
0.5		膜呈黄色,很脆且硬,无弹性,易碎,无法应用于指标测定				
1.0	黄色	较柔软	62.048	15.883	0.349	2.377
2.0	黄色	较柔软	57.971	16.035	0.524	2.801
3.0	黄色	很柔软	48.056	18.872	0.612	2.852
4.0	黄色	很柔软	39.124	24.546	0.655	3.131
5.0	黄色	很柔软	36.382	48.353	0.699	8.331

序的松散结构,分子内部的巯基和疏水性基团等暴露在分子表面,有利于加强蛋白质分子内或蛋白质分子间的相互作用,从而得到坚固致密的网络结构。但当热处理温度过高(大于60℃),随着温度的升高,蛋白质分子会过度变性,分子链大量断裂,不利于网络结构的形成,膜机械性能开始下降。因此,本研究的成膜干燥条件确定为60℃、2h为宜。

2.2 大豆分离蛋白浓度对膜性能的影响

依次准确配制浓度为1.0%、2.0%、3.0%、4.0%、5.0%、6.0%、7.0%、8.0%的大豆分离蛋白溶液(溶剂的配方是蒸馏水和无水乙醇的体积比为8:2),分别加入1.5%含量的甘油,磁力搅拌20min,并在此状态下加入量好的大豆分离蛋白,其余操作同工艺流程和操作要点。主要性能指标的实验结果见表2。

实验结果表明:大豆分离蛋白浓度为1.0%的膜极薄且脆,只能形成细小片状的碎块,不易成膜;7.0%和8.0%的大豆分离蛋白溶解性差,有大块未溶解团状物,其成膜偏黄、发脆。成膜含量在2.0%~6.0%之间容易揭膜,可以得到柔软、表面光滑的薄膜。由表2可以看出,随着大豆分离蛋白含量的增加,薄膜的抗拉强度增大,柔软度下降,颜色由淡黄色至黄色,逐渐加深。大豆分离蛋白含量为2.0%时,揭膜稍困难,膜非常柔软,透气度最大,抗拉强度较小;大豆分离蛋白含量为6.0%时,虽然膜的抗拉强度较大,但膜偏硬,颜色偏黄。大豆分离蛋白含量3.0%~5.0%的膜的各项测试指标较好,综合考虑各方面因素,选取蛋白浓度4.0%为单因素实验的较佳条件,选取蛋白浓度在3.0%~5.0%作为后续正交实验的水平范围。

2.3 增塑剂对膜性能的影响

本研究考察某一特定增塑剂——甘油含量对膜性能的影响。甘油可以通过减少聚合物相邻链间的分子内相互作用而降低膜的脆性及易碎性,增加膜基质间的空隙,赋予膜一定的柔韧性^[11-12]。本实验分

别选取甘油含量0.5%、1.0%、2.0%、3.0%、4.0%、5.0%共计6组方案进行实验(大豆蛋白浓度固定在4%),其它流程同上,并测定薄膜的性能指标见表3。

由表3可知,随着甘油含量的增加,膜抗拉强度降低,透气度增大。这是因为甘油含量增加,单位体积羟基的数目增多^[13],结合水分子的数目也增多,使膜中蛋白质相对含量下降,削弱了其分子间的相互作用^[14],结构变差,膜的致密性下降。实验结果表明,甘油含量在0.5%时,膜脆,易断裂,不可应用,原因是结合水分过少;甘油含量在1.0%~2.0%之间,可以得到具有抗拉强度较高,阻气性较好的薄膜;甘油含量达到3.0%~4.0%时,成膜非常柔软,易揭膜,膜表面有少量甘油析出,抗拉强度较低,膜的透水性、透气性均有所增加,但其优点在于膜的柔软性明显优于前几者;当甘油含量达到5.0%时,膜抗拉强度最小,透气度最大,而且膜开始稍有返潮性,膜综合性能最差。综合考虑各方面因素。选甘油含量以1.5%为单因素实验的最佳条件,选取1.0%、1.5%、2.0%浓度作为正交实验的水平范围。

2.4 还原剂对膜性能的影响

在成膜配方中添加还原剂,可打断分子内的二硫键(-S-S-),增多巯基(-SH)量,有利于在随后的涂膜干燥过程中形成新的分子间二硫键;还原剂处理还可以使多肽链分子量降低,有利于暴露内部疏水基团^[15],增强膜的强度和阻隔性。

2.4.1 还原剂的选择 准确配制3份4%大豆分离蛋白溶液,分别加入含量是1.5%的甘油,在磁力搅拌条件下一份添加0.1%Na₂SO₃,另一份添加0.1%葡萄糖,第3份作为对照不加还原剂,其他流程同上,测试膜的性能,其性能指标见表4。

由表4可知,与对照相比,添加Na₂SO₃的膜几乎为无色透明,原因是Na₂SO₃有一定的漂白作用,使大豆分离蛋白原有的淡黄色变浅;添加葡萄糖的膜颜色偏焦黄色,影响膜的表现效果,主要是还原糖和蛋

表4 不同还原剂对膜性能的影响

还原剂	色泽	柔软度	抗拉强度 (N)	透 H ₂ O 性 mg/(cm ² ·d)	透 O ₂ 性 mg/(cm ² ·d)	透 CO ₂ 性 mg/(cm ² ·d)
Na ₂ SO ₃	透明	柔软	46.551	52.614	0.524	3.233
葡萄糖	焦黄	略硬	33.498	57.865	1.048	3.810
对照	淡黄	较柔软	36.218	65.958	0.699	3.461

表5 还原剂(Na₂SO₃)的浓度对膜性能的影响

添加量 (%)	色泽	柔软度	抗拉强度 (N)	透 H ₂ O 性 mg/(cm ² ·d)	透 O ₂ 性 mg/(cm ² ·d)	透 CO ₂ 性 mg/(cm ² ·d)
0.025	较透明,略黄	柔软	30.107	61.574	1.048	3.461
0.05	透明	柔软	35.414	54.520	0.760	3.688
0.1	透明	较柔软	49.197	45.904	0.699	1.608
0.15	较透明	柔软	40.949	53.674	0.853	2.171
0.2	有白色泡沫	稍硬、粗糙	34.663	54.168	0.926	2.476

表7 二次平行实验

实验号	色泽	柔软度	抗拉强度 (N)	透 H ₂ O 性 mg/(cm ² ·d)	透 O ₂ 性 mg/(cm ² ·d)	透 CO ₂ 性 mg/(cm ² ·d)
A ₂ B ₃ C ₂	透明	柔软	61.892	16.204	0.313	2.899
A ₂ B ₃ C ₁	透明	柔软	57.968	17.892	0.470	3.016
A ₃ B ₂ C ₁	略透明	较硬	36.145	26.538	0.641	3.655

白质发生了糖氨褐变作用。添加 Na₂SO₃ 的膜和对照相比抗拉强度明显增大,原因是 Na₂SO₃ 打断了蛋白质分子中的二硫键,使蛋白质分子展开,重新形成坚固的网络结构^[16],而添加葡萄糖的膜抗拉强度减小,是葡萄糖的变性阻碍了大豆分离蛋白网络结构的形成。添加葡萄糖后,葡萄糖使蛋白质分子展开,大豆分离蛋白分子间的空隙增大,导致膜的透气性增大。综合考虑各方面因素,本实验选取 Na₂SO₃ 作为还原剂。

2.4.2 还原剂添加量的选择 准确配制 5 份 4% 大豆分离蛋白溶液,分别按添加量为 0.025%、0.05%、0.1%、0.15%、0.2% Na₂SO₃ 5 个方案进行实验,其他流程同上。其性能指标见表 5。

由表 5 可知,Na₂SO₃ 从 0.025% 到 0.1%,抗拉强度增大,其中从 0.05% 到 0.1% 增大幅度明显,阻气性能逐渐增强;超过 0.1%,抗拉强度又减小,阻气性能逐渐降低;添加量 0.15% 膜的抗拉强度较 0.1% 膜的抗拉强度开始降低,原因是过量的还原剂阻碍了展开的大豆分离蛋白网络结构的重新形成^[17],阻气性能也有所降低。0.2% 膜表面粗糙,不均匀,黏着性、成膜性差,抗拉强度很低,阻气性能较差。综合考虑各因素,选取 Na₂SO₃ 0.05%~0.15% 作为后续正交实验的水平范围。

2.5 大豆分离蛋白膜配方的优化

通过单因素实验研究表明,大豆分离蛋白浓度、增塑剂的含量、还原剂的种类和添加量对膜性能影响较大。本实验进行 L₉(3³) 的正交实验,综合考虑多个物理性能指标来对大豆分离蛋白膜的性能进行评价,所以在此采用了模糊综合评价法,即隶属度函数,将膜机械强度(正效应)、透 H₂O 性(负效应)、透 O₂ 性(负效应)、透 CO₂ 性(负效应)4 个性能指标,经过模糊变换成综合评价的累加加权隶属度值 $\sum X_{(i)} \cdot Y$ (具体见 1.2.1) 统计结果,见表 6。

表6 L₉(3³) 正交实验数据及分析表

实验号	A 蛋白浓度 (%)	B 增塑剂 (%)	C 还原剂 (%)	综合评价累加 加权隶属度值
1	1(3.0)	1(1.0)	1(0.05)	0.6452
2	1	2(1.5)	2(0.10)	0.7013
3	1	3(2.0)	3(0.15)	0.7085
4	2(4.0)	2	3	0.6736
5	2	3	1	0.7629
6	2	1	2	0.7433
7	3(5.0)	3	2	0.6652
8	3	1	3	0.6431
9	3	2	1	0.6427
K ₁	2.0550	2.0316	2.0508	
K ₂	2.1798	2.0176	2.1098	
K ₃	1.9510	2.1366	2.0252	
k ₁	0.6850	0.6772	0.6836	
k ₂	0.7266	0.6725	0.7033	
k ₃	0.6503	0.7122	0.6751	
R	0.0763	0.0397	0.0282	

从表 6 中可以看出,各因素对大豆分离蛋白膜性能影响的主次关系依次为:A > B > C 即:大豆分离蛋白浓度 > 增塑剂 > 还原剂。所以,可初步筛选条件为 A₂B₃C₂ 即:大豆分离蛋白:4.0%,增塑剂(甘油):2.0%,还原剂(Na₂SO₃):0.1%。同时,将最佳条件 A₂B₃C₂ 与正交实验表中综合评价累加加权隶属度值最高的方案 5(A₂B₃C₁) 和最低的方案 9(A₃B₂C₁) 做二次平行实验进行对照。结果见表 7。

由表 7 可以看出,A₂B₃C₂ 的各项物理性能指标略高于 A₂B₃C₁,明显好于 A₃B₂C₁,进一步验证了正交实验所统计的结果,所以本实验故取 A₂B₃C₂ 为最终的成膜配方条件。

2.6 蛋白膜微观结构的电镜观察

在进行了蛋白膜性能测试筛选配方之后,为了进一步说明膜的微观结构特点和性能的关系,本实验采用 S-3400N 型扫描电子显微镜对大豆分离蛋白

薄膜的表面结构进行观察分析,分析对象主要是最终筛选的方案 $A_2B_3C_2$,综合评价累加加权隶属度值较高的方案 5($A_2B_3C_1$)和较低的方案 9($A_3B_2C_1$)结果如图 2~图 4。

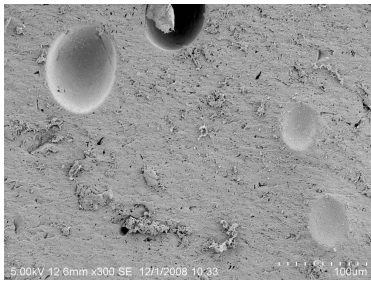


图 2 $A_2B_3C_2$ 电镜观察结果

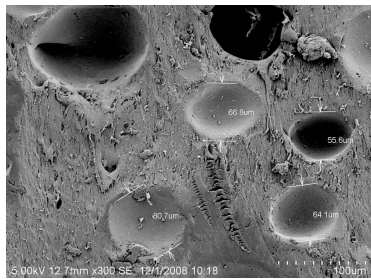


图 3 $A_2B_3C_1$ 电镜观察结果

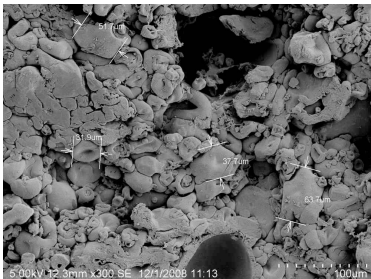


图 4 $A_3B_2C_1$ 电镜观察结果

图 2~图 4 是放大 300 倍的电镜观察效果,由图 2 可以看出, $A_2B_3C_2$ 方案的蛋白膜中蛋白粒子排列密集,各蛋白粒子之间相互吸引强烈,形成交织紧密的网络结构,该膜具有较大的抗拉强度,能对水分和气体产生较强的阻止能力,这与表 6 测定的指标比较吻合;从图 3 中(方案 $A_2B_3C_1$)可以看到,蛋白粒子之间结构略有疏松,而且与图 2 比较存在较多的空洞,这种结构特点使得蛋白膜的各项性能指标略有下降;由图 4(方案 $A_3B_2C_1$)可以看出,膜中蛋白粒子排列非常疏松,交联在一起的程度也很低,很多蛋白分子独立成团,而且存在较大的空洞,该膜具有较低的抗拉强度,也容易渗透较多的水分和气体,综合性能较低。所以,上述观察结果更进一步验证了 3 种方案之间物理性能指标的差异,为下一步深入研究奠定了基础。

3 结论

本实验最终研究结果表明:采用亚克力材质板槽制模,60℃干燥时间 2h,大豆分离蛋白浓度 4.0%,增塑剂含量 2.0%,还原剂添加量 0.1%成膜性能较好,蛋白膜的抗拉强度可达 61.892N,透 H_2O 性

16.204mg/($cm^2 \cdot d$),透 O_2 性 0.313mg/($cm^2 \cdot d$),透 CO_2 性 2.899mg/($cm^2 \cdot d$)。该产品透明柔软,具有一定的弹性和强度,可部分替代塑料用于食品包装领域应用,是一种具有开发前景的绿色包装材料。

参考文献

- [1] 李里特.大豆加工与利用[M].北京:化学工业出版社,2003:45-52.
- [2] 汪学荣,阙建全,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):153-155.
- [3] 曲玲,张春红,刘长江.大豆分离蛋白的复合改性及其对某些功能性的影响[J].食品工业科技,2007,28(2):71-73.
- [4] 闫荣华,毕会敏,马中苏.大豆分离蛋白基可食薄膜[J].吉林大学学报:工学版,2004,34(1):160-162.
- [5] 罗丽花,陈云,王小梅.凝固体系对纤维素/大豆蛋白膜结构的影响[J].武汉理工大学学报,2008,30(2):5-7.
- [6] Rhin J W, Gennadics A, Honda A, et al. Solubility of soy protein isolate [J]. Agric Food Chem, 2000, 48:4379-4385.
- [7] Lacroix M, Le T C, Ouattara B, et al. Use of γ -irradiation to produce films from whey, casein and soy proteins: structure and functional characteristics [J]. Radiation Physics and Chemistry, 2002, 63:828-830.
- [8] 姜燕,唐传核,温其标,等.蛋白质膜的研究进展[J].食品研究与开发,2006,27(9):186-187.
- [9] 张春红,赵前程,刘婷.大豆蛋白膜的研究进展[J].粮食加工,2008,33(3):61-63.
- [10] Park H J, Chinnan M S. Gas and water vapor barrier properties of edible films from protein and cellulosic materials [J]. J Food Engr, 1995, 25:498.
- [11] Crank J. The mathematics of diffusion [M]. London: Oxford University Press, 1975:25-28.
- [12] Brandeborg A H, Weller C I, Testin R F. Edible films and coatings from soy protein [J]. J Food Sci, 1993, 58:96-97.
- [13] Hernandez-Munoz P, Esposito P D, Sorrentino C, et al. Preparation and mechanical properties of gluten in-rich films [J]. Food Hydrocolloids, 2004, 18:405-408.
- [14] Mariniello L, Pierro P D, Esposito C, et al. Preparation and mechanical properties of edible protein soy flour films obtained in the absence or presence of transglutaminase [J]. Journal of Biotechnology, 2003, 102:192-194.
- [15] Orliac B, Rouilly A, Silvestre F, et al. Effects of various plasticizers on the mechanical properties, water resistance and aging of thermo-moulded films made from sunflower proteins [J]. Industrial Crops and Products, 2003, 18:90-95.
- [16] Tang C H, Jiang Y, Wen Q B, et al. Effect of transglutaminase treatment on the properties of cast films of soy protein isolates [J]. Journal of Biotechnology, 2005, 120:294-298.
- [17] Laura Fernandez, Marta Cebrian M, et al. Effect of the unsaturation degree and concentration of fatty acids on the properties of WPI-based films [J]. Eur Food Res Technol, 2006, 24:29-30.