

李见森, 赵江欣, 蒋 成, 等. 柳橙皮基可降解膜的制备及其性能研究[J]. 农业环境科学学报, 2018, 37(1): 165–171.

LI Jian-sen, ZHAO Jiang-xin, JIANG Cheng, et al. Study on the preparation and properties of citrus pericarp-based biodegradable film[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2018, 37(1): 165–171.

柳橙皮基可降解膜的制备及其性能研究

李见森, 赵江欣, 蒋 成, 张 旭, 吴贺君, 陈安均 *

(四川农业大学食品学院, 四川 雅安 625014)

摘 要:为探索新型可降解膜材料的制备方法及其性能,以柳橙皮为成膜基材,海藻酸钠和羧甲基纤维素钠为增稠剂,甘油为增塑剂,采用流延法制备柳橙皮膜,并探究了柳橙皮浓度、增稠剂浓度、增塑剂浓度对膜力学性能和阻隔性能的影响。结果表明:柳橙皮浓度为 1.5%,海藻酸钠浓度为 0.1%,羧甲基纤维素钠浓度为 0.2%,甘油浓度为 0.2%,此时膜的综合性能最佳。其主要指标:抗拉强度为 24.08 MPa,断裂伸长率为 15.73%,水蒸气透过系数为 $1.686 \times 10^{-12} \text{ g} \cdot \text{cm} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$ 。研究表明,柳橙皮成膜性较好,且具有良好的力学性能和阻隔性能,是一种具有开发潜力的新型包装材料。

关键词:柳橙皮;可降解膜;力学性能;阻隔性能

中图分类号:X713 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2018)01-0165-07 doi:10.11654/jaes.2017-0897

Study on the preparation and properties of citurs pericarp-based biodegradable film

LI Jian-sen, ZHAO Jiang-xin, JIANG Cheng, ZHANG Xu, WU He-jun, CHEN An-jun*

(College of Food Science, Sichuan Agricultural University, Yaan 625014, China)

Abstract: To assess the preparation and performance of the a new biodegradable film, tape casting was applied to prepare a citrus pericarp based film using sodium alginate and carboxymethyl cellulose as a thickening agent, and glycerin as a plasticizer. The influence of different concentrations of citrus pericarp, thickening agent, and plasticizer on the mechanical and barrier properties of the film were investigated. As a result, each index was present well while citrus pericarp mass concentration was 1.5%, sodium alginate mass concentration was 0.1%, carboxymethyl cellulose mass concentration was 0.2% and glycerin mass concentration was 0.2%. At this composition, the tensile strength was 24.08 MPa, the elongation of the film at the breaking point was 15.73%, and the water vapor permeability was $1.686 \times 10^{-12} \text{ g} \cdot \text{cm} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$. In conclusion, the citrus pericarp is shown to be a good base for a biodegradable film. It produces a film with good mechanical and barrier properties and has promising potential for the production of new packaging materials.

Keywords: citrus pericarp; biodegradable film; mechanical properties; barrier properties

随着我国包装行业的不断壮大,在带来方便和效益的同时,其废弃物对人类生存环境造成严重危害,尤其是塑料包装对环境造成的危害日益加大。开发绿色环保可降解包装成为人们关注的热点^[1]。其中,果蔬膜是以水果和蔬菜及其加工副产物为基材,添加适量助剂(增塑剂和增稠剂),经深加工而成,具有可降解

和包装两大功能^[2]。果蔬膜的研制不仅促进了果蔬的深加工,提高果蔬的附加值,又能拓宽可降解包装的种类,对果蔬的综合利用和可降解包装材料的发展具有重要意义^[3]。

Otoni 等^[4]以木瓜为成膜基材,果胶为成膜助剂,肉桂醛为抗菌剂制备具有一定抗菌功能的木瓜膜,其

收稿日期:2017-06-23 录用日期:2017-08-15

作者简介:李见森(1989—),男,山东菏泽人,硕士研究生,从事果蔬加工理论与技术研究。E-mail:lijiansen003@163.com

*通信作者:陈安均 E-mail:anjunc003@163.com

基金项目:国家科技支撑计划课题(2012AA101606-03)

Project supported: The National Key Technology Research and Development Program of the Ministry of Science and Technology of China(2012AA101606-03)

抑菌性能和阻湿性能较佳,拉伸强度适中,有望应用在易腐败变质的食品包装上。Sothornvi 等^[5]以香蕉干粉为成膜基材,果胶为成膜助剂,甘油为增塑剂,制备具有一定阻氧性能和机械性能的香蕉膜,并应用在糖果的包装上,成为一种绿色环保、可生物降解的新型包装材料。孙玉廷等^[6]以番茄皮渣为基材,玉米淀粉为助剂,甘油为增塑剂,制备综合性能良好的番茄皮渣膜,该膜具有较好的阻氧性和抗氧化性。因此,果蔬膜有望成为一种新型包装材料。

我国是柑橘生产大国,年产量达 2750 万 t 以上,其中 90% 以鲜食为主,无论鲜食还是加工都会产生大量皮渣^[7]。传统做法是将皮渣填埋处理或者加工饲料,填埋处理极易霉变发臭,对环境造成严重污染;将皮渣加工成饲料通常需要干燥处理,且柑橘皮渣并不是加工饲料的合适原料,耗费大量能源,从环境和经济的角度分析都不合理^[8]。柑橘皮渣中含有丰富的粗纤维、果胶、维生素、类黄酮等生物活性物质,综合利用价值极高^[9]。本研究以柳橙皮为基材,海藻酸钠、羧甲基纤维素钠为增稠剂,甘油为增塑剂,采用流延成型制备柳橙皮膜。探究柳橙皮浓度、海藻酸钠浓度、羧甲基纤维素钠浓度、甘油浓度对柳橙皮膜力学性能、水蒸气透过率的影响,从而得到最佳成膜配方。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

主要材料:柳橙(*Citrus sinensis* L. Osbeck cv. Liu Cheng),选择大小一致,无明显缺陷(包括霉烂、机械伤和病虫害),购买于雅安市吉选超市,运回实验室后剥皮,果皮备用。海藻酸钠、甘油、羧甲基纤维素钠均为分析纯,购于成都市科龙化工试剂厂。

主要设备:GJJ 均质机(郑州玉祥食品机械有限公司);LGJ-18S 冷冻干燥机(宁波新艺超声设备有限公司);HWS-150 型恒温恒湿箱(上海精宏实验设备有限公司);W3/031 型水蒸气透过率测试仪(济南兰光机电技术有限公司);TA-XIPLus 型物性测试仪(超技仪器公司);实验室自制玻璃成膜器,膜腔尺寸为 30 cm×20 cm×0.5 cm。

1.2 试验方法

1.2.1 工艺流程及操作要点

柳橙皮膜制备工艺流程如图 1 所示。

(1)漂烫:将柳橙皮切成 1 cm³ 的小块,漂烫 10 min 立即取出,用冷水冷却防止余热作用,以免过度漂烫。

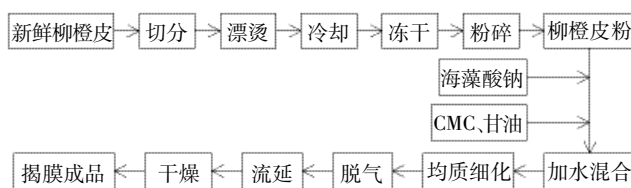


图 1 柳橙皮膜制备工艺流程

Figure 1 Preparation process of citurs pericarp-based biodegradable film

(2)冻干及粉碎:将预冻的柳橙皮放入冷冻干燥机中冻干,冻干后的柳橙皮倒入超微粉碎机中进行粉碎,碎料过 140 目筛,粉末装入密封袋中备用。

(3)均质:将柳橙皮粉加水搅拌,再将羧甲基纤维素钠、海藻酸钠、甘油与其混合搅拌溶解,浆料倒入高压均质机中均质,压力为 30 MPa,时间 5 min。

(4)脱气:将均质好的柳橙皮浆料放入压力为-0.09 MPa 真空脱气箱中脱气,直到气体全部抽出为止。

(5)干燥:将脱气完的浆料倒入玻璃成膜器中于烘箱中干燥,干燥温度为 60 ℃,时间 6 h,不断观察其成膜情况。

1.2.2 柳橙皮膜的制备单因素试验设计

采用柳橙皮浓度、海藻酸钠浓度、CMC 浓度、甘油浓度 4 个试验因素进行试验,每个因素 5 个水平,进行 3 次重复试验,按上述工艺流程制备柳橙皮膜。试验水平如下:

柳橙皮浓度:1%、1.5%、2%、2.5%、3%;海藻酸钠浓度:0.05%、0.1%、0.15%、0.2%、0.25%;CMC 浓度:0.05%、0.1%、0.15%、0.2%、0.25%;甘油浓度:0.1%、0.2%、0.3%、0.4%、0.5%。对一个因素进行试验时,其他因素浓度为柳橙皮粉 2%,海藻酸钠 0.15%,CMC 0.2%,甘油 0.3%,布料量 200 mL。

柳橙皮膜测试前处理条件:温度 23 ℃,相对湿度 50%~60%,时间 24 h。最后成膜时平均含水量 7.65%。

1.3 测试指标与方法

1.3.1 厚度(Thickness, *T*)

根据《GB 6672—2001 塑料薄膜和薄片厚度测定、机械测量法》在试样上等距取 10 个点,采用千分测厚仪测定厚度,结果取平均值。

1.3.2 拉伸强度(Tensile strength, *TS*)

按照《GB/T 1040.3—2006 塑料拉伸性能的测定 第 3 部分》,使用物性测定仪测定。样品长度 150 mm,宽度 15 mm,初始间距为 100 mm,试验速度 50 mm·min⁻¹,每组做 10 个平行样,抗拉强度单位为 MPa。

$$TS = \frac{F}{A}$$

式中: F 为试样断裂时承受的最大张力, N; A 为试样横截面积, mm^2 。

1.3.3 断裂伸长率(Elongation at break, E)

按照《GB/T 1040.3—2006 塑料拉伸性能的测定 第 3 部分》, 测量抗拉强度的同时同步得到伸长数据。计算公式如下:

$$E = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100\%$$

式中: L_0 为试样测试前的长度, mm ; L 为试样在断裂时的长度, mm 。

1.3.4 水蒸气透过系数(Water vapor permeability, WVP)

按照《GB/T 1037—1988 塑料薄膜和片材透水蒸气性试验方法(杯式法)》及《GB/T 16928—1997 包装材料试验方法中透湿率的测定原理》, 试样面积 33 cm^2 , 以水蒸气透过率测试仪配套软件计算得到水蒸气透过系数, 其单位为 $\text{g} \cdot \text{cm} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$ 。

1.3.5 数据处理

采用 SPSS 20.0 软件对数据进行方差分析, 用最小显著性差异法(Least Significant Difference, LSD)对差异显著性进行分析, $P < 0.05$ 表示差异性显著, 用 Excel 作图。

2 结果与分析

2.1 单因素实验结果

2.1.1 柳橙皮浓度对膜性能的影响

由图 2a 可知:随着成膜液中柳橙皮的增加,膜的抗拉强度和断裂伸率先增大后减小,当柳橙皮浓度为 2% 时,膜的机械性能最佳,抗拉强度为 24.91 MPa,断裂伸长率为 16.18%。原因是柳橙皮是成膜的主要基料,含有较多的粗纤维和果胶等成膜大分子物质,它们之间易形成氢键等相互作用^[5]。当浓度太低时,成膜液因黏度小易流动,膜的致密性和连续性较差,导致厚薄不均,不能形成较致密的内部结构,机械性能较差。随着柳橙皮浓度的增大,各组分之间相互作用增强,形成刚性结构,使抗拉强度和断裂伸长率都逐渐增大。当浓度大于 2% 时,成膜液过于黏稠,流动性差,粗纤维过量而导致团聚,分子间的活动能力阻碍作用减弱,厚度不均导致抗拉强度和延展性降低。

图 2b 显示:随着柳橙皮添加量的增加,膜的水蒸气透过系数先减小后增大,在柑橘皮粉浓度为 2% 时,所制得膜的水蒸气透过系数最低,阻水性较好。随着

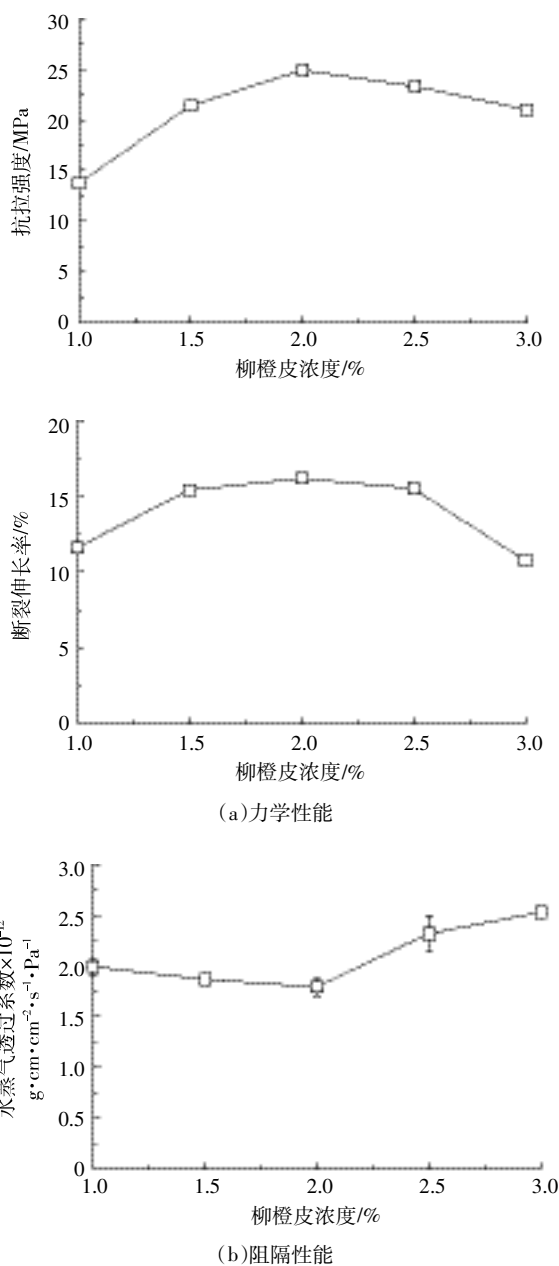


图 2 柳橙皮浓度对膜性能的影响

Figure 2 Effect of citrus pericarp content on film properties

柳橙皮浓度的增加,柳橙皮与增稠剂分子间相互作用增强,分子间结合的更加紧密,膜的致密性和连续性增强,内部形成稳定的刚性结构,膜的水蒸气透过系数有降低趋势^[10]。当柳橙皮浓度大于 2% 时,成膜液中粗纤维含量增加,内部的网状结构被破坏,粗纤维之间的吸附作用导致团聚,成膜液黏度增大,产生气泡,从而导致膜的通透性增大^[11]。

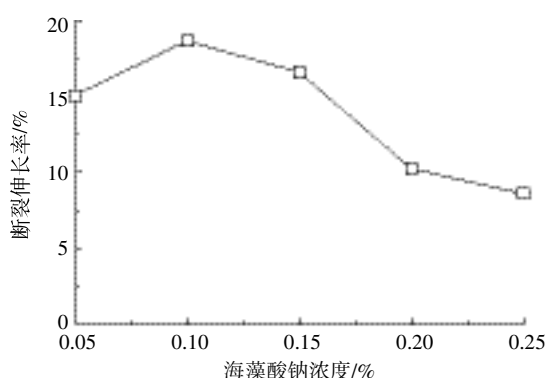
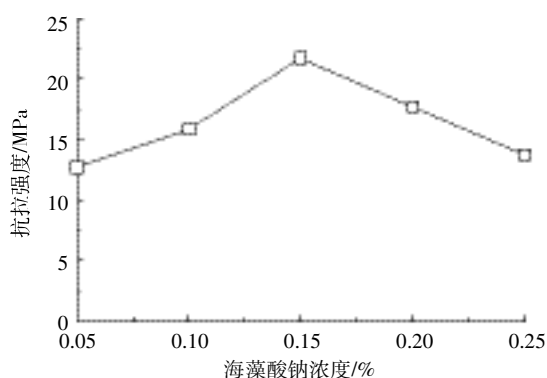
综上,柳橙皮浓度为 2% 时,膜的综合性能最佳。

2.1.2 海藻酸钠浓度对膜性能的影响

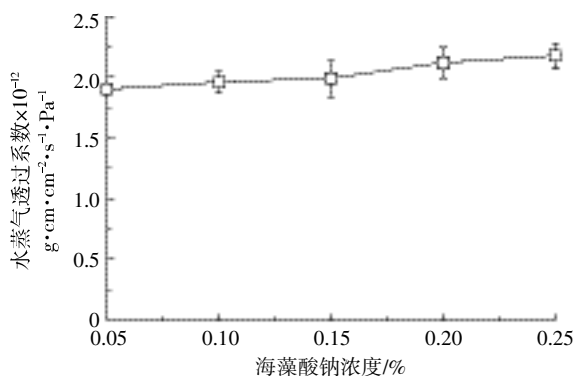
以柳橙皮为单一原料制备的膜性能较差,需要向

成膜液中添加一定量的助剂,使膜的内部结构更加紧密,从而提高膜的综合性能。

图 3a 显示:随着海藻酸钠添加量的增加,膜的抗拉强度和断裂伸率先增大后减小,当海藻酸钠浓度为 0.15% 时,膜的拉伸性能最佳。海藻酸钠作为一种增稠剂,适量的添加能提高成膜液的粘稠度,同时使膜的结构更加紧密,拉伸强度更好。海藻酸钠可以提供较多的氢键,特定的基团和键与纤维分子结合,连接在聚合链段上面,使线性分子连接成一定的空间网状结构,分子间相互作用增强^[12]。故随着海藻酸钠的



(a)力学性能



(b)阻隔性能

图 3 海藻酸钠浓度对膜性能的影响

Figure 3 Effect of sodium alginate content on film properties

增加,膜的拉伸强度和断裂伸长率都增加。当海藻酸钠浓度较高时,过多的海藻酸钠填充到膜的空间结构中,破坏了膜原有的紧密结构,降低了机械性能,抗拉强度和断裂伸长率都降低。

图 3b 表明:水蒸气透过系数随着海藻酸钠浓度的增大而增大,但总体趋势较平缓,变化不显著。原因是海藻酸钠是亲水性物质,其浓度的增大也导致亲水集团数目的增多,膜的亲水能力也逐渐增大,进而导致水蒸气透过系数逐渐增大。但海藻酸钠添加过多时,导致成膜液过度黏稠,脱气困难,干燥成膜后表面因气孔出现缺陷,膜的结构缺乏均一性,综合性能下降^[13]。

综上,海藻酸钠浓度为 0.15% 时综合性能较好。

2.1.3 羧甲基纤维素钠浓度对膜性能的影响

图 4a 显示:随着羧甲基纤维素钠添加量的增大,膜的抗拉强度和断裂伸长率都是先增大后减小,当羧甲基纤维素钠浓度为 0.15% 时,拉伸强度最佳。其原因可能是 CMC 能提供较多的氢键和基团,与柳橙皮中的纤维素分子结合,连接在聚合物链段上,使分子间相互作用形成一定的空间网状结构。随着 CMC 浓度的增加,分子间作用力增大,结构稳定性增强,膜的拉伸强度和断裂伸长率都增大^[14]。当 CMC 浓度继续增大时,两者都呈下降趋势,原因可能是 CMC 与其添加物产生分子间作用力,导致成膜液黏度变大而不易脱气,干燥成膜出现明显缺陷。

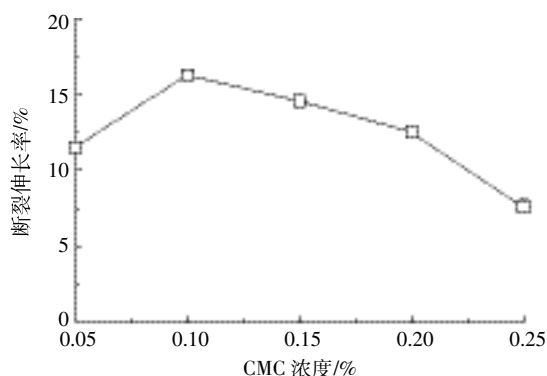
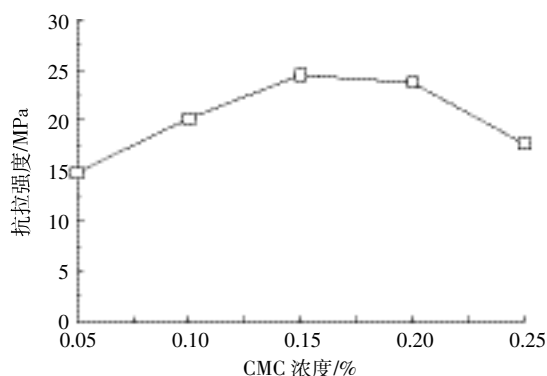
图 4b 表明:膜的水蒸气透过系数整体变化较平缓,呈增加趋势,当浓度为 0.15% 时水蒸气透过系数最小,原因可能是在该浓度下 CMC 与纤维分子之间结合的更加紧密,分子间作用力较强,膜的连续性较好,一定程度上增强了膜的阻隔性能。随着 CMC 添加量增大,成膜液黏稠,脱气困难,成膜不均匀,易出现气孔,使得膜透过率增大。

综上,CMC 浓度为 0.15% 时,膜的综合性能较好。

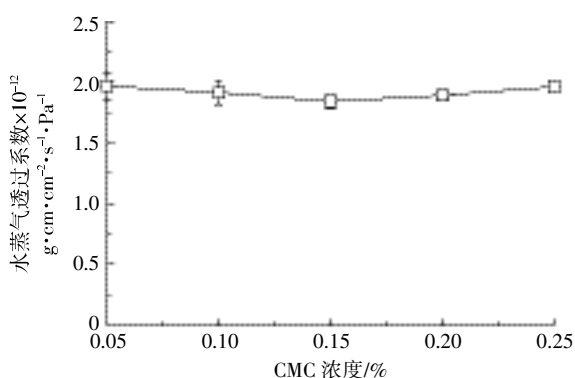
2.1.4 甘油浓度对膜性能的影响

在成膜液中加入增塑剂能改善膜的性能,增塑剂能降低分子间的作用力,从而软化膜的刚性结构提高灵活性和延展性^[15]。

图 5a 显示:随着甘油浓度的增加,膜的抗拉强度逐渐减小,断裂伸长率逐渐增大。其原因是甘油为小分子物质,很容易进入到柳橙皮基质大分子间,破坏了膜中原有大分子链的结构,降低了大分子之间的作用力,增大了柳橙皮膜结构中分子的自由空间,结晶度下降,分子的有序性被破坏,分子之间的氢键作用



(a)力学性能



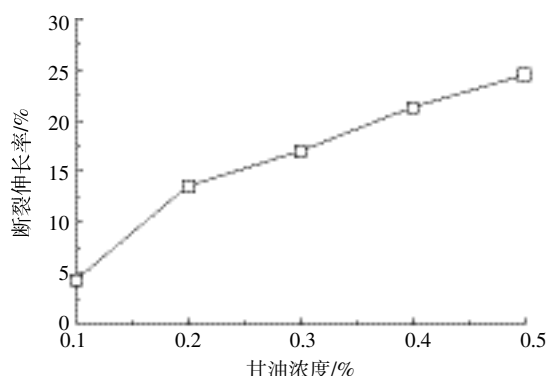
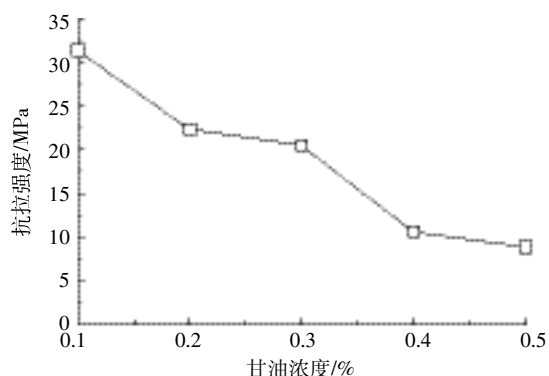
(b)阻隔性能

图 4 羧甲基纤维素钠浓度对膜性能的影响

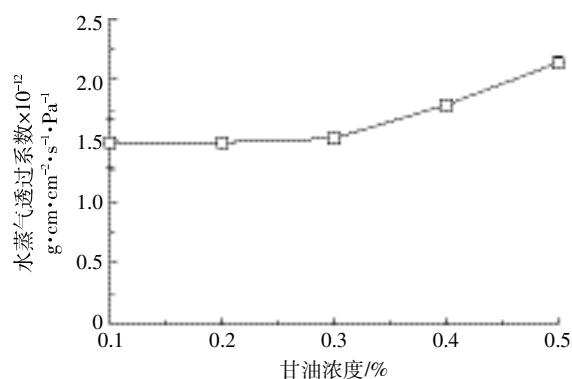
Figure 4 Effect of carboxymethyl cellulose content on film properties

减弱^[6],从而使膜的抗拉强度降低。断裂伸长率增加主要是因为甘油分子进入到聚合物大分子间,削弱了柳橙皮中的纤维素分子与增稠剂之间的相互作用力,软化了柳橙皮膜的刚性结构,增加了分子链的流动性,使膜的韧性和延展性得到提高^[17]。甘油作为增塑剂能降低聚合物分子链间的相互作用,从而降低柳橙皮膜的强度,提高柔韧性^[18-19]。

图 5b 表明:膜的水蒸气透过系数是随着甘油添加量的增加而缓慢增加,当甘油质量浓度为 0.1%~



(a)力学性能



(b)阻隔性能

图 5 甘油浓度对膜性能的影响

Figure 5 Effect of glycerin content on film properties

0.3%时增加幅度较缓,大于 0.3%时水蒸气透过系数增加幅度较大。其原因是甘油为亲水性小分子增塑剂,随着甘油的增加,甘油能轻易地进入到成膜基质的分子链间,降低了大分子间的氢键作用,使得膜的结构更加疏松,同时甘油的增加导致亲水基团增多,宏观上表现为膜的透湿性提高^[20]。

综上,甘油浓度为 0.3%时综合性能最好。

2.2 正交试验

由单因素实验结果可知,柳橙皮膜具有一定的力学强度和阻隔性,不同因素不同水平下的水蒸气透过

系数处于同一数量级,且变化不显著。作为包装材料使用,首先要达到一定的力学强度,故以膜的抗拉强度为优选指标,在单因素实验基础上进行 $L_9(3^4)$ 正交试验,其因素水平见表1,分析结果见表2。

由表2极差分析可知,影响膜抗拉强度的因素排序依次为:甘油浓度>柳橙皮浓度>羧甲基纤维素钠浓度>海藻酸钠浓度。以抗拉强度为优选指标时,最优组合为 $A_1B_1C_3D_1$,即:柳橙皮粉浓度为1.5%,海藻酸钠浓度为0.1%,羧甲基纤维素钠浓度为0.2%,甘油浓度为0.2%。验证试验结果表明,在此配方下所制备的膜,其色泽均匀,外观平整光滑,测得该膜的拉伸强度为24.08 MPa,与预期结果相符。其他性能指标为:断裂伸长率15.73%,水蒸气透过系数 $1.686 \times 10^{-12} \text{ g} \cdot \text{cm} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$ 。

3 讨论

由表3可知,柳橙皮膜的拉伸强度均高于另外三种果蔬膜,断裂伸长率接近于胡萝卜膜。研究表明,商

表1 正交试验因素水平

Table 1 Table of orthogonal experiment parameters

因素水平	A 柳橙皮浓度/%	B CMC 浓度/%	C 海藻酸钠浓度/%	D 甘油浓度/%
1	1.5	0.10	0.10	0.20
2	2.0	0.15	0.15	0.30
3	2.5	0.20	0.20	0.40

表2 正交试验分析结果

Table 2 The result of orthogonal experiment

试验号	A 柳橙皮浓度/%	B 海藻酸钠浓度/%	C CMC 浓度/%	D 甘油浓度/%	抗拉强度/ MPa
1	1	1	1	1	20.24
2	1	2	2	2	16.61
3	1	3	3	3	23.71
4	2	1	2	3	21.41
5	2	2	3	1	22.14
6	2	3	1	2	13.55
7	3	1	3	2	14.49
8	3	2	1	3	13.44
9	3	3	2	1	17.66
k_1	20.187	18.713	15.743	20.013	
k_2	19.033	17.397	18.560	14.883	
k_3	15.197	18.307	20.113	19.520	
极差 R	4.990	1.316	4.370	5.130	
最优水平	A_1	B_1	C_3	D_1	
主次因素			$D>A>C>B$		
最优组合			$A_1B_1C_3D_1$		

表3 不同果蔬膜间性能比较

Table 3 Comparison of the mechanical and barrier properties of various fruit and vegetable films

膜种类	抗拉强度/MPa	断裂伸长率/%	水蒸气透过系数 $\times 10^{-12}$ $/\text{g} \cdot \text{cm} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$	参考文献
柳橙皮膜	8.84~31.35	4.34~24.48	1.48~2.53	—
胡萝卜膜	2.46~12.31	4.36~22.74	17.61~66.31	Wang ^[20]
南瓜膜	7.46~9.46	17.8~33.03	0.176~0.238	王晓璇 ^[11]
苹果膜	2.90	—	13.75	Rojas-Graü ^[21]

业热塑性材料的抗拉强度要求介于4~94 MPa,断裂伸长率介于2.5%~1000%之间^[22]。因此,柳橙皮膜的抗拉强度和断裂伸长率处于可接受水平。水蒸气透过系数略高于南瓜膜远低于胡萝卜膜和苹果膜,说明其阻湿性能较佳,由于柳橙皮膜的结构更加致密,一定程度上增强了膜的阻湿性。简而言之,柳橙皮膜的力学性能和阻隔性能良好,有望成为一种新型的食品包装材料。

4 结论

本文利用柳橙皮干粉制备可降解果蔬膜,通过单因素及正交试验得到膜的最佳配方,即柳橙皮浓度为1.5%,海藻酸钠浓度为0.1%,羧甲基纤维素钠浓度为0.2%,甘油浓度为0.2%。在此最佳配方下膜的综合性能最佳,拉伸强度为24.08 MPa,断裂伸长率为15.73%,水蒸气透过系数为 $1.686 \times 10^{-12} \text{ g} \cdot \text{cm} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$ 。膜的外观光滑、厚度均匀,保留了柳橙皮原有的色泽,是一种绿色环保、无毒无害、且能自然生物降解的新型包装材料。同时柳橙皮膜与其他果蔬膜对比具有较好的力学性能和阻隔性能,在食品包装上有一定的应用潜力,既符合当前绿色包装发展的趋势,又促进资源的循环利用。

参考文献:

- [1] 梁敏,王羽,宋树鑫,等.生物可降解高分子材料在食品包装中的应用[J].塑料工业,2015,43(10):1-5.
LIANG Min, WANG Yu, SONG Shu-xin, et al. Application of biodegradable materials in food packaging[J]. *China Plastics Industry*, 2015, 43(10):1-5.
- [2] 王新伟,孙秀秀,贺连斌,等.可食性果蔬纸的研究进展[J].中国农业科技导报,2010,12(3):34-38.
WANG Xin-wei, SUN Xiu-xiu, HE Lian-bin, et al. Research progress on edible fruit-vegetable film[J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2010, 12(3):34-38.
- [3] Dhali R K. Advances in edible coatings for fresh fruits and vegetables: a review[J]. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 2013, 53(5):

- 435-450.
- [4] Otoni C G, Moura M R R D, Aouada F A, et al. Antimicrobial and physical-mechanical properties of pectin/papaya puree/cinnamaldehyde nanoemulsion edible composite films[J]. *Food Hydrocolloids*, 2014, 41: 188-194.
- [5] Sothornvit R, Pitak N. Oxygen permeability and mechanical properties of banana films[J]. *Food Research International*, 2007, 40(3): 365-370.
- [6] 孙玉廷, 王家俊, 帅 宁, 等. 番茄皮渣/玉米淀粉膜的制备与研究[J]. 包装工程, 2015, 36(13): 35-39.
- SUN Yu-ting, WANG Jia-jun, SHUAI Ning et al. Preparation and research of tomato peel waste-corn starch films[J]. *Packaging Engineering*, 2015, 36(13): 35-39.
- [7] 单 杨. 我国柑橘工业现状及发展趋势[J]. 农业工程技术(农产品加工业), 2014(4): 13-17.
- SHAN Yang. Present situation and development trend of citrus industry in China[J]. *Agricultural Engineering Technology(Agricultural products processing industry)*, 2014(4): 13-17.
- [8] 孙旭东, 刘燕德. 柑橘皮渣中功能性物质综合利用研究[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(19): 8295-8296.
- SUN Xu-dong, LIU Yan-de. Study on comprehensive utilization of function material in citrus pericarp[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2008, 36(19): 8295-8296.
- [9] 付复华, 李忠海, 单 杨, 等. 柑橘皮渣综合利用技术研究进展[J]. 食品与机械, 2009, 25(5): 178-184.
- FU Fu-hua, LI Zhong-hai, SHAN Yang, et al. Research progress in comprehensive utilization of citrus peel and residue[J]. *Food and Machinery*, 2009, 25(5): 178-184.
- [10] 潘旭琳, 卞 雪, 曹龙奎. 豆渣可食性膜的制备及性能研究[J]. 包装工程, 2011, 32(11): 34-37.
- PAN Xu-lin, BIAN Xue, CAO Long-kui. Soybean residue edible film preparation and performance study[J]. *Packaging Engineering*, 2011, 32(11): 34-37.
- [11] 王晓璇, 周 婧, 隋思瑶, 等. 可食性南瓜纸的制备及其性能研究[J]. 食品与发酵工业, 2014, 40(5): 166-170.
- WANG Xiao-xuan, ZHOU Jing, SUI Si-yao, et al. Study on the preparation and properties of edible pumpkin paper[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2014, 40(5): 166-170.
- [12] 廖 兰, 李章发, 刘卫平, 等. 响应面分析法优化脐橙渣纸型食品成膜工艺[J]. 中国食品学报, 2014, 14(12): 80-85.
- LIAO Lan, LI Zhang-fa, LIU Wei-ping, et al. Optimization of the film-forming technique of navel orange residue for papier-mache food by response surface methodology[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2014, 14(12): 80-85.
- [13] 邓 靖, 谭兴和, 刘雨华, 等. 增稠剂和交联剂对海藻酸钠膜性能的影响[J]. 食品研究与开发, 2010, 31(10): 18-21.
- DENG Jing, TAN Xing-he, LIU Yu-hua, et al. Influence of plasticizers and cross linkers on properties of sodium alginate film[J]. *Food Research and Development*, 2010, 31(10): 18-21.
- [14] 陈维新. CMC 可食性复合膜的研制[J]. 现代食品科技, 2004, 20(3): 80-82.
- CHEN Wei-xin. Study of CMC edible films[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2004, 20(3): 80-82.
- [15] Forssell P, Lahtinen R, Lahelin M, et al. Oxygen permeability of amylose and amylopectin films[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2002, 47(2): 125-129.
- [16] 王新伟, 刘 欢, 马中苏. 壳聚糖/玉米淀粉/明胶/胡萝卜可食性膜的性能[J]. 吉林大学学报(工学版), 2011, 41(3): 887-892.
- WANG Xin-wei, LIU Huan, MA Zhong-su. The properties of chitosan-corn starch-gelation-carrot edible films[J]. *Journal of Jilin University (engineering and technology edition)*, 2011, 41(3): 887-892.
- [17] Razavi S M A, Amini A M, Zahedi Y. Characterisation of a new biodegradable edible film based on sage seed gum: Influence of plasticiser type and concentration[J]. *Food Hydrocolloids*, 2015, 43: 290-298.
- [18] Sothornvit R, Krochta J M. Oxygen permeability and mechanical properties of films from hydrolyzed whey protein[J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2000, 48(9): 3913-3916.
- [19] Sothornvit R, Krochta J M. Plasticizer effect on mechanical properties of β -lactoglobulin films[J]. *Journal of Food Engineering*, 2001, 50(3): 149-155.
- [20] Wang X W, Sun X X, Liu H, et al. Barrier and mechanical properties of carrot puree films[J]. *Food and Bioproducts Processing*, 2011, 89(2): 149-156.
- [21] Rojas-Grati M A, Avena-Bustillos R J, Olsen C, et al. Effects of plant essential oils and oil compounds on mechanical, barrier and antimicrobial properties of alginate-apple puree edible films[J]. *Journal of Food Engineering*, 2007, 81(3): 634-641.
- [22] Sain M, Panthapulakkal S. Green fibre thermoplastic composites[M]. *Green Composites: Polymer Composites and the Environment*. 2004: 181-206.