

胡萝卜可食性包装膜的制备及性能

潘旭琳, 马萍, 刘伟, 孟令伟
(黑龙江八一农垦大学, 大庆 163319)

摘要: **目的** 研究胡萝卜可食性食品包装膜, 以替代塑料包装材料用于食品包装。**方法** 以胡萝卜为原材料, 添加羧甲基纤维素(CMC)、海藻酸钠、甘油制备可食性膜, 研究不同添加量对膜的抗拉强度、热封强度、断裂伸长率以及阻隔性能的影响, 以抗拉强度为主要指标, 通过正交试验进行工艺优化, 并进行验证试验, 对力学性能和其他性能进行测定。**结果** 每100 mL蒸馏水中最佳添加量, 胡萝卜浆20 g, 羧甲基纤维素2.5 g, 海藻酸钠1.6 g, 甘油1.5 mL, 获得的可食性膜抗拉强度为5.71 MPa, 热封强度(15 mm)为3.84 N, 断裂伸长率为119.98%, 透湿量为439.59 g/(m²·d), 透氧量为4.96 cm³/(m²·d·kPa), 溶解时间为35 s, 膜平均厚度为0.183 mm。**结论** 根据实验结果, 可以获得浅橙色、半透明、质地柔软均匀、平滑无气泡、具有一定强度和韧性、力学性能良好的可食性食品包装膜。

关键词: 胡萝卜; 可食性膜; 工艺优化; 力学性能

中图分类号: TB484 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)21-0058-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.21.008

Preparation and Property of Carrot Edible Film

PAN Xu-lin, MA Ping, LIU Wei, MENG Ling-wei

(Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China)

ABSTRACT: The work aims to study the carrot edible food packaging film to find cheap environment friendly materials to replace plastic bags in food packaging. Carrots were used as raw materials to produce edible film by adding CMC, sodium alginate, and glycerin. The effect of different amount of carrot paste, CMC, sodium alginate and glycerin on the tensile strength, heat-sealing strength, elongation at break and barrier performance of the film was studied. By conducting orthogonal experiments with the tensile strength as the main indicator, the process was optimized and verification tests were conducted to measure mechanical and other properties. The optimal process parameters per 100 mL distilled water were carrot paste 20 g, CMC 2.5 g, sodium alginate 1.6 g, glycerin 1.5 mL. Under this condition, the tensile strength of the film was 5.71 MPa; the heat-sealing strength (15 mm) was 3.84 N; the elongation at break was 119.98%; the moisture permeability coefficient was 439.59 g/(m²·d); the oxygen permeability was 4.96 cm³/(m²·d·kPa); the dissolution time was 35 s; and the average thickness of the film was 0.183 mm. According to the experiment result, this process could produce translucent, soft, and uniform edible food packaging film without any bubbles on it. The food packaging film is light orange and has some extent of strength and toughness with good mechanical properties.

KEY WORDS: carrot; edible film; process optimization; mechanical property

塑料被发明出来以后, 已经广泛应用于各个领域, 然而, 塑料也给人类带来不可忽视的灾害。国办

发[2007]72号文件《国务院办公厅关于限制生产销售使用塑料购物袋的通知》, 就是为了限制和减少塑料

收稿日期: 2021-04-16

作者简介: 潘旭琳(1970—), 女, 黑龙江八一农垦大学教授, 主要研究方向为农产品加工与贮藏、包装工程。

袋的使用,遏制“白色污染”。目前,塑料是食品包装中应用最多的包装材料,食品包装废弃物对环境造成很大污染^[1],不同废弃物的处理方式对水体、空气、土壤、经济环境和社会环境都有很大影响。包装材料中的化学物质会向食品中迁移,这也就引起了食品安全问题,如各类食品包装材料造成塑化剂的摄入风险^[2],塑料食品包装中的有毒物质、助剂、添加剂、油墨、溶剂等都可能造成食品污染^[3]。寻求能替代食品塑料包装的材料引起了越来越多的重视,可食性包装膜的研究也开展得越来越多。

Gomaa 等^[4]认为,可食性膜的使用有助于解决环境问题,可以防止食品水分流失和微生物腐败,延长食品的货架期。Md 等^[5]阐述了热带水果储存时因为对低温敏感,影响了依靠冷藏进行保鲜的效果,指出对水果进行可食性涂膜处理的方法,以保持水分和色泽,延长储存期。Liu 等^[6]利用水溶性大豆多糖具有良好的高水溶性和成膜性等特点,加工成可溶性袋用于速溶咖啡、椰子粉和奶粉等小包装。De^[7]对包装物影响蛋糕水分的流失率和微生物的生长做了研究,结果显示,食用薄膜包覆的样品 85 d 后没有菌类生长,也没有过度硬化,对水分保持具有良好的作用。Li 等^[8]研制了木薯淀粉添加羧甲基纤维素钠制成可食性薄膜,在添加益生菌后,复合膜的抗氧化性显著增强。Zarcie 等^[9]研制了添加壳聚糖的发酵大豆蛋白生物可食用复合膜,膜具有很强的抗氧化性和抗菌活性。Lin 等^[10]制备的壳聚糖/秋葵粉/纳米硅复合膜具有良好的力学性能、阻隔性能和光学性能,对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌有较强的抗菌活性。

国内研究人员利用天然可食性材料,如蛋白质类、淀粉类、多糖类、脂肪类、纤维素类、蔬菜类等作为基材,添加成膜剂和增塑剂,制备成具有抗氧化性、韧性、透气性、透湿性、力学性能良好的可食性食品包装膜。任佳欣等^[11]阐述了植物蛋白膜、动物蛋白膜、复合蛋白膜的作用,及不同蛋白膜的优缺点与应用情况,并指出将蛋白可食性膜结合现代包装新技术,如活性包装、气调包装、智能包装等研制新型可食性蛋白膜,是未来可行的研究思路。淀粉因来源广泛、价格低廉,在可食性膜中是最早开始研究的,闫倩倩等^[12]对淀粉膜的成膜机理、膜性能的影响因素做了阐述。徐忠等^[13]分析了不同基材作为食品内包装膜的现状,指出膜性能受不同基材影响较大,应根据调味品的特点,制作专属调味品内包装膜。冯军厂等^[14]阐述了膳食纤维可食性包装膜的研究前景,指出利用膳食纤维不仅成本低,且具有重要的生理功能。李鸿艳^[15]、陈秀宇^[16]等研究了可食性复合膜的性能表征和不同增塑剂的影响,海藻酸钠、甘油和山梨糖醇作为增塑剂均有较优的表现。在可食性膜纸杯中还可以添加抑菌剂,如添加壳聚糖等抑菌剂的可食性膜可以对霉菌、酵母菌和其他致病菌具有抑制作用^[17]。研究

者对不同基材、各种成膜剂、增塑剂以及膜的性能方面研究较多,但给予可食性膜附加更多营养成分的研究还较少。添加蔬菜的可食性包装膜,不但具有安全、环保、成本低、食用方便等特点,还保持了各种果蔬基材本身的颜色。胡萝卜色彩鲜艳,富含多种维生素,胡萝卜素在人体内可转化为维生素 A,其中最重要的 β -胡萝卜素具有促进生长发育、增强免疫力、保护视力等作用^[18],但其口感和味道不佳,尤其是儿童,大多数不喜欢食用。目前,对于胡萝卜的食用途径仅仅局限在餐桌上,文中将胡萝卜制浆,添加成膜剂和增塑剂,通过对膜的抗拉强度、热封强度、断裂伸长率、阻隔性能进行研究,增加胡萝卜的食用途径,以期对蔬菜基可食性膜的研究方面提供一定参考。

1 实验

1.1 材料

主要材料:胡萝卜,市售;羧甲基纤维素(CMC),烟台市云科化学试剂有限公司;海藻酸钠,北京市通达化学试剂有限公司;甘油,山西天天食品添加剂有限公司,食品级。

1.2 设备

主要设备:JAR2140,电子分析天平,梅特勒—托利多仪器(上海)有限公司;101-2A,电热鼓风干燥箱,天津市泰斯特仪器有限公司;DK-S12,电热恒温水浴锅,上海森信实验仪器有限公司;FK-A,组织捣碎机,江苏金坛金城国胜实验仪器厂;DJM50L,胶体磨,上海东华高压均质机厂;CHY-C2,薄膜厚度检测仪,济南兰光机电技术有限公司;XLW,智能电子拉力试验机,济南兰光机电技术有限公司;TSY-T1L,透湿性测试仪,济南兰光机电技术有限公司;BTY-B1,透气性测试仪,济南兰光机电技术有限公司。

1.3 方法

1.3.1 工艺流程

胡萝卜富含 β -胡萝卜素,以胡萝卜为基材制备可食性膜的工艺流程见图 1。

1.3.2 操作要点

胡萝卜清洗后切分成边长为 5~10 mm 见方的小块,沸水漂烫 5 min 至柔软,冷水冷却后沥干,按质量比 1:1 加蒸馏水,用组织捣碎机打浆 30 min,经均质机在转速 6000 r/min 条件下均质 10 min,得到均匀的胡萝卜浆料。按照不同配比添加胡萝卜浆、CMC、海藻酸钠、甘油于 100 mL 蒸馏水中,食用消泡剂按质量分数 0.05% 添加,于恒温水浴锅中 75 °C 水浴加热 30 min,其间不断搅拌,采用流延法涂膜于

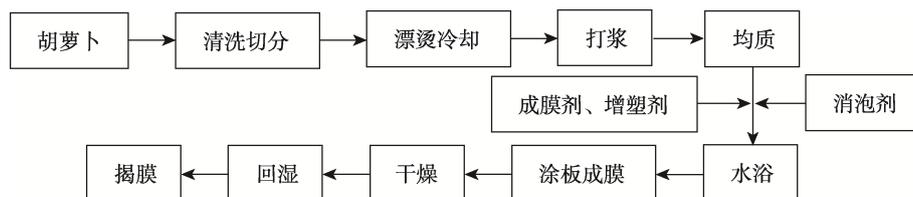


图1 胡萝卜可食性膜制备工艺流程
Fig.1 Process flow chart for preparing carrot edible film

150 mm×150 mm 玻璃板上,于鼓风干燥箱中 65 °C 烘干 3 h,冷却成型,水蒸气回湿 10 s,揭膜。

1.3.3 指标测定

随机选择 3 个点,按照 GB/T 6672—2001 进行膜厚度测定,取平均值,结果准确到 0.001 mm;选取厚度平整的膜,裁取长 100 mm、宽 15 mm 的试样进行抗拉强度、热封强度测定,计算断裂伸长率;称量 3 g 膜,放入 100 mL 沸水中,搅拌至无碎片,记录时间,进行溶解性测定;裁取直径 100 mm 的试样,试样一侧保持恒定饱和蒸汽压,另一侧保持干燥,通过测定一定时间内透湿杯内蒸馏水蒸发减重的变化量,进行透湿性测定^[7-8];裁取直径 100 mm 的试样,使试样两侧保持一定气体压差,通过测量低压侧气体压力变化,得出膜透气量。所有指标均取 3 个试样进行测定,取平均值。

抗拉强度计算见式(1)。

$$\sigma_b = \frac{F_{\max}}{A} \quad (1)$$

式中: σ_b 为抗拉强度 (MPa); F_{\max} 为断裂时张力 (N); A 为试样横截面积 (mm^2)。

断裂伸长率计算见式(2)。

$$\text{断裂伸长率} = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (2)$$

式中: L_1 为断裂时膜长度 (mm); L_0 为膜原长度 (mm)。

1.3.4 试验方案设计

1) 单因素试验。在 100 mL 蒸馏水中分别添加胡萝卜浆料 10, 15, 20, 25, 30 g, 固定 CMC 2.0 g, 海藻酸钠 1.4 g, 甘油 1.5 mL, 进行指标测定; 在 100 mL 蒸馏水中分别添加 CMC 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 g, 固定胡萝卜浆料 20 g, 海藻酸钠 1.4 g, 甘油 1.5 mL, 进行指标测定; 在 100 mL 蒸馏水中分别添加海藻酸钠 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8 g, 固定胡萝卜浆料 20 g, CMC 2.0 g, 甘油 1.5 mL, 进行指标测定; 在 100 mL 蒸馏水中分别添加甘油 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 mL, 固定胡萝卜浆料 20 g, CMC 2.0 g, 海藻酸钠 1.4 g, 进行指标测定。

2) 正交试验。以抗拉强度为主要指标,采用 $L_9(3^4)$ 正交试验进行工艺优化,通过极差分析和 SPSS20 方差分析,确定最优制备工艺。

2 结果与分析

2.1 单因素试验结果与分析

2.1.1 胡萝卜浆料添加量对膜性能的影响

肖南等^[19]研究表明,当胡萝卜浆添加 0.4% (质量分数) 的 CMC,胡萝卜浆和 CMC 可以制成具有一定力学性能的可食性包装膜,由图 2 可知,胡萝卜浆可以改善膜的性能,对膜的力学性能和阻隔性能均有影响。当添加量为 20, 25 g 时,抗拉强度和透湿性影响不显著;随着添加量的增多,胡萝卜中的糖分会使液体粘度上升,组织致密性也逐渐上升,抗拉强度随之增大。随着添加量的增加,膜液的流动性会变差,成膜厚度略有增大,此时差异不显著。当添加量大于 20 g 时,膜液粘度过大,流动性变差,成膜时厚度出现不均匀现象,薄弱处的力学性能下降,抗拉强度、热封强度呈先上升再下降的趋势,断裂伸长率在添加量大于 20 g 后下降较快。由于膜液流动性变差,在流延过程中会造成厚度不均匀,水蒸气和氧气在薄弱处的透过量会增多,使阻隔性下降。综上所述,胡萝卜浆的最佳添加量为 20 g。

2.1.2 CMC 添加量对膜性能的影响

CMC 起到粘接剂的作用,使膜易于成型。黄超凡等^[20]研究了 CMC 和甘油制备可食性淀粉复合膜,确定适量的 CMC 可以提高膜的机械强度。CMC 的添加量对膜的力学性能和阻隔性能均有影响,当添加量为 1.0, 1.5 g 时,透氧量影响不显著,见图 3。随着 CMC 添加量的增加,膜的结构变得更加致密,膜强度增加,抗拉强度、热封强度、断裂伸长率均逐渐增大,膜厚度也逐渐增加,但差异不显著。继续增加添加量,膜液流动性变差,在 1.5, 2.0 g 时,热封强度差别不显著;当超过 2.0 g 时,抗拉强度、热封强度、断裂伸长率均下降,这是由于当添加量逐渐加大时,膜的脱气变得困难,膜内部形成气泡,且不容易脱出,对膜力学性能影响较大;在 2.0, 2.5 g 时,水蒸气和氧气透过量差别不大,但再继续增大添加量,内部气泡会影响其阻隔性能。综上所述,CMC 的最佳添加量为 2.0 g。

2.1.3 海藻酸钠添加量对膜性能的影响

赵换英等^[21]研究了以海藻酸钠作为成膜的主要材料，添加其他大分子组分制备复合膜，证实了海藻酸钠能够增加膜的拉力和断裂伸长率，减少水蒸气的透过率。随着添加量的增加，膜抗拉强度、热封强度也随之增加，但继续增大添加量，组织质地会变得疏松，成膜性下降，膜的厚度先升后降，这是由于当添加量过大时，成膜不均匀，个别测量点成膜较薄，见图 4。在添加量为 1.2, 1.4 g 时，膜抗拉强度、热封强度差别不大，在 1.4 g 时略高，再继续增大添加量，抗拉强度、热封强度、断裂伸长率均开始下降，随着添加量的增大，水蒸气和氧气的阻隔性能增强，但由于膜的厚度不均匀、气泡等因素，添加量在 1.4 g 之后膜的阻隔性能开始下降。添加海藻酸钠对膜的力学性能和阻隔性能有显著影响，在添加量为 1.2, 1.4 g

时对抗拉强度和热封强度影响不显著，各添加量对膜厚度影响不显著。综上所述，海藻酸钠的最佳添加量为 1.4 g。

2.1.4 甘油添加量对膜性能的影响

陈妮娜等^[22]以 CMC 为基材，添加了甘油等制备可食性包装膜，研究表明，适当添加甘油可以增强与 CMC 和其他组分间的相互作用，能够增加抗拉强度。甘油作为增塑剂，可以增加膜的弹性和延展性^[23]。随着添加量的增加，甘油能减轻膜的脆性，膜抗拉强度、热封强度均明显增加。当添加量为 1.5 mL 时，抗拉强度和热封强度最大，当继续增加添加量，由于分子间作用力被削弱，甘油软化膜的同时，刚性降低，抗拉强度也开始下降，膜厚度变化差异不显著，断裂伸长率总体呈略微增加趋势，见图 5。当添加量为 1.5, 2.0 mL 时，抗拉强度、水蒸气和氧气透

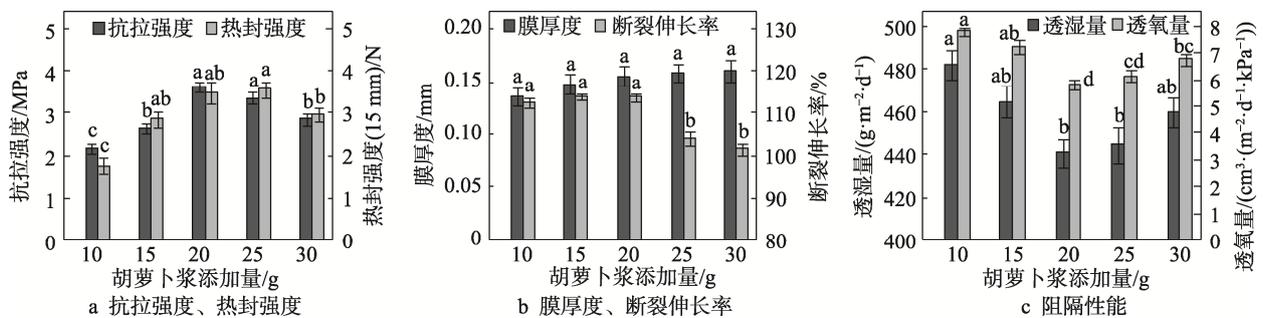


图 2 胡萝卜浆添加量对膜性能的影响

Fig.2 Effect of carrot paste amount on film properties

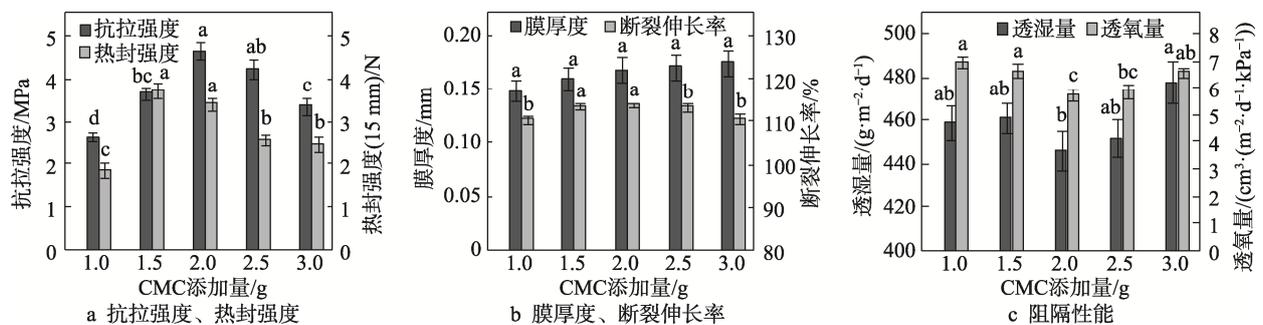


图 3 CMC 添加量对膜性能的影响

Fig.3 Effect of CMC amount on film properties

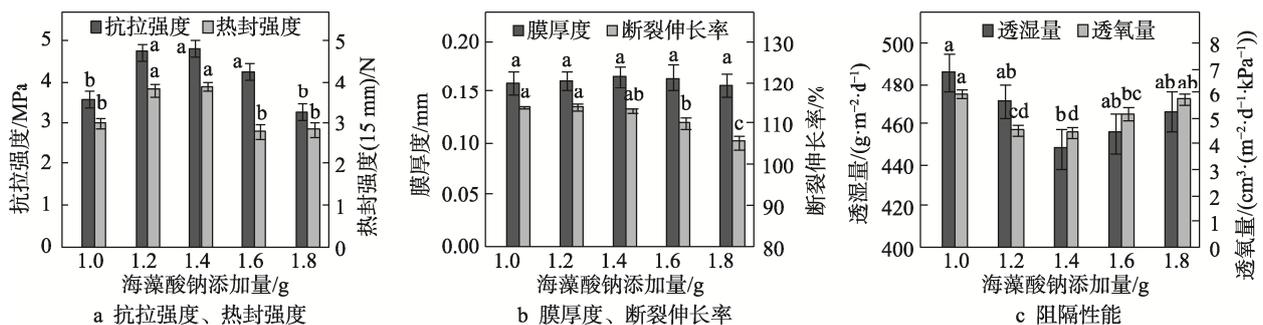


图 4 海藻酸钠添加量对膜性能的影响

Fig.4 Effect of sodium alginate amount on film properties

过量差别不大,超过 2.0 mL 时抗拉强度、热封强度、断裂伸长率均开始下降,甘油含量过少,膜呈现出比较脆的特点,柔软性差,甘油含量过高时,膜液流动性强,膜不容易干燥,成膜性不好。当添加量超过 1.5 mL 时,膜弹性增加,但太过柔软,容易吸收水分返潮,膜的致密性会变差,1.5 mL 时透氧量最低,2.0 mL 时水蒸气透过最低,超过 2.0 mL 时,膜的亲水性对水蒸气和氧气的阻隔性能均明显变差。整体来看,甘油的不同添加量对膜厚度的影响差异不显著。综上所述,得到甘油的最佳添加量为 1.5 mL。

2.2 正交试验结果与分析

根据表 1 进行正交试验工艺优化,以抗拉强度为主要指标对膜的性能进行衡量,采用 $L_9(3^4)$ 正交试验优化制备工艺,每组重复 3 次,取平均值。从表 2 可以看出,通过极差分析,各因素的添加量对膜的抗拉强度影响的主次顺序为:胡萝卜浆 > 羧甲基纤维素(CMC) > 海藻酸钠 > 甘油,理论最佳处理组合为 $A_2B_3C_3D_2$,即最佳添加量为:胡萝卜浆 20 g,羧甲基纤维素 2.5 g,海藻酸钠 1.6 g,甘油 1.5 mL。通过 SPSS20 软件进行方差分析,见表 3,结果与极差分析一致,各因素差异显著 ($P < 0.05$)。

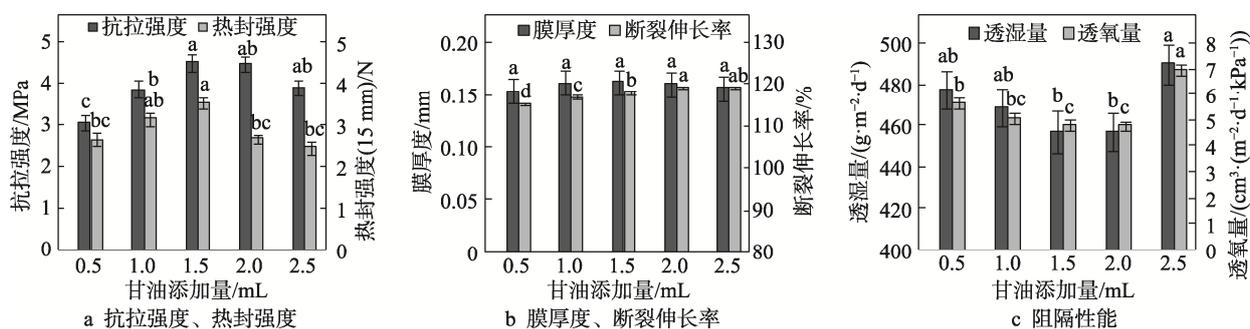


图 5 甘油添加量对膜性能的影响
Fig.5 Effect of glycerin amount on film properties

表 1 正交试验因素水平
Tab.1 Factors and levels of orthogonal experiment

因素水平	A	B	C	D
	胡萝卜浆添加量/g	CMC 添加量/g	海藻酸钠添加量/g	甘油添加量/mL
1	15	1.5	1.2	1.0
2	20	2.0	1.4	1.5
3	25	2.5	1.6	2.0

表 2 正交试验的结果与分析
Tab.2 Results and analysis of orthogonal experiment

序号	因素				抗拉强度/MPa
	A	B	C	D	
1	1	1	1	1	3.43
2	1	2	2	2	3.66
3	1	3	3	3	4.56
4	2	1	2	3	4.38
5	2	2	3	1	5.22
6	2	3	1	2	5.67
7	3	1	3	2	3.98
8	3	2	1	3	4.08
9	3	3	2	1	4.64
K_1	3.883	3.930	4.393	4.430	—
K_2	5.090	4.320	4.227	4.437	—
K_3	4.233	4.957	4.587	4.340	—
R	1.207	1.027	0.360	0.097	—

2.3 验证试验结果

按照理论最佳方案进行3次验证实验,测定膜厚度、抗拉强度、热封强度、断裂伸长率、透湿

量、透氧量和溶解时间,结果见表4。抗拉强度、热封强度、断裂伸长率测定数值优于正交实验结果,对水蒸气、氧气的阻隔性能稳定,3组数值相差不大。

表3 正交试验方差分析
Tab.3 Variance analysis of orthogonal experiment

变异来源	Ⅲ型平方和	自由度	均方	F值	显著性
A	6.893	2	3.446	1732.806	0.000
B	4.833	2	2.416	1214.957	0.000
C	0.584	2	0.292	146.840	0.000
D	0.055	2	0.027	13.823	0.000
误差	0.036	18	0.002	—	—
总变异	12.400	26	—	—	—

表4 验证试验结果与分析
Tab.4 Results and analysis of verification tests

序号	厚度/ mm	抗拉强度/ MPa	断裂伸长率/ %	热封强度 (15 mm)/N	透湿量/ (g·m ⁻² ·d ⁻¹)	透氧量/ (cm ³ ·m ⁻² ·d ⁻¹ ·kPa ⁻¹)	溶解时间/s
1	0.183	5.71	119.78	3.87	438.89	4.98	35
2	0.184	5.74	119.15	3.86	441.34	4.87	35
3	0.181	5.68	121.01	3.79	438.53	5.02	34
均值	0.183±0.001	5.71±0.02	119.98±0.77	3.84±0.04	439.59±1.25	4.96±0.06	35±0.47

3 结语

经过工艺优化,确定最佳的工艺参数为:100 mL蒸馏水中添加量为胡萝卜浆 20 g,羧甲基纤维素 2.5 g,海藻酸钠 1.6 g,甘油 1.5 mL,各因素差异显著($P < 0.05$)。验证试验主要指标的平均值:膜厚度为 0.183 mm,抗拉强度为 5.71 MPa,热封强度(15 mm)为 3.84 N,断裂伸长率为 119.98%,透湿量为 439.59 g/(m²·d),透氧量为 4.96 cm³/(m²·d·kPa),溶解时间为 35 s。胡萝卜浆和增塑剂、成膜剂的添加,对抗拉强度等力学性能、透湿性和氧气的阻隔性能均有显著影响,对成膜厚度略有影响,但影响不显著,适量的添加量可以增强膜的力学性能和膜的阻隔性能。而甘油的添加在成膜时可以改善膜液的流动性,且能使膜变得柔软,降低脆性,但添加过多会影响成膜性。试验所成的膜呈浅橙色,为半透明状,质感平滑,无气泡,无卷曲,柔软均匀,具有一定的强度和韧性,无异味,能快速溶解。将胡萝卜浆、增塑剂、成膜剂等添加在可食性膜里进行实验研究,可以获得具有一定力学性能和阻隔性能的可食性膜。

参考文献:

[1] 杨利玲,曹爱玫,马瑞霞.豆渣-马铃薯淀粉可食性

包装膜的研制及应用探索[J].粮食与油脂,2019,32(6):30—33.

YANG Li-ling, CAO Ai-mei, MA Rui-xia. Development and Application Exploration of Soybean Dregs-Potato Starch Edible Packaging Film[J]. Cereals & Oils, 2019, 32(6): 30—33.

[2] 侯晓阳.新型食品包装材料的发展概况及趋势[J].食品安全质量检测学报,2020,9(24):6400—6405.

HOU Xiao-yang. Development and Tendency of Novel Food Packaging Materials[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2020, 9(24): 6400—6405.

[3] 魏伟.塑料食品包装制品质量安全危害因素分析及检验要求微探[J].轻工标准与质量,2017(4):21—22.
WEI Wei. Analysis of Hazardous Factors of Quality and Safety of Plastic Food Packaging Products and Investigation into Inspection Requirements[J]. Standard & Quality of Light Industry, 2017(4): 21—22.

[4] GOMAA M, HIFNEY A F, FAWZY M A, et al. Use of Seaweed and Filamentous Fungus Derived Polysaccharides in the Development of Alginate-Chitosan Edible Films Containing Fucoïdan: Study of Moisture Sorption, Polyphenol Release and Antioxidant Properties[J]. Food Hydrocolloids, 2018(82): 230—247.

[5] MD N S, DING P. Trends and Advances in Edible Biopolymer Coating for Tropical Fruit: A Review[J]. Food Research International, 2020(134): 109208.

[6] LIU Chang, HUANG Jiao, ZHENG Xue-jing, et al.

- Heat Sealable Soluble Soybean Polysaccharide/Gelatin Blend Edible Films for Food Packaging Applications[J]. Food Packaging and Shelf Life, 2020(24): 100485.
- [7] DE P T. Development of a Vegetable Oil and Egg Proteins Edible Film to Replace Preservatives and Primary Packaging of Sweet Baked Goods[J]. Food Control, 2020(114): 107273.
- [8] LI Si-ying, MA Yan-lan, JI Teng-teng, et al. Cassava Starch/Carboxymethylcellulose Edible Films Embedded with Lactic Acid Bacteria to Extend the Shelf Life of Banana[J]. Carbohydrate Polymers, 2020(248): 116805.
- [9] ZAREIE Z, TABATABAEI Y F, MORTAZAVI S A. Development and Characterization of Antioxidant and Antimicrobial Edible Films Based on Chitosan and Gamma-Aminobutyric Acid-Rich Fermented Soy Protein[J]. Carbohydrate Polymers, 2020(244): 116491.
- [10] LIN De-rong, ZHENG Yan, HUANG Yi-chen, et al. Investigation of the Structural, Physical Properties, Antioxidant, and Antimicrobial Activity of Chitosan-Nano-Silicon Aerogel Composite Edible Films Incorporated with Okara Powder[J]. Carbohydrate Polymers, 2020(250): 116842.
- [11] 任佳欣, 遇世友, 许锡凯, 等. 可食性蛋白膜在食品包装中的应用研究进展[J]. 食品工业科技, 2020, 41(9): 320—326.
REN Jia-xin, YU Shi-you, XU Xi-kai, et al. Application Research Progress of Edible Protein Film in Food Packaging[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(9): 320—326.
- [12] 闫倩倩, 孔青, 续飞, 等. 淀粉基可食性膜研究进展[J]. 现代食品, 2020(17): 10—12.
YAN Qian-qian, KONG Qing, XU Fei, et al. Research Progress of Starch-Based Edible Film[J]. Modern Food, 2020(17): 10—12.
- [13] 徐忠, 高阳, 王友健, 等. 调味品可食性内包装膜制备研究进展[J]. 中国调味品, 2019, 44(8): 189—192.
XU Zhong, GAO Yang, WANG You-jian, et al. Research Progress on Preparation of Edible Inner Packaging Film of Condiments[J]. China Condiment, 2019, 44(8): 189—192.
- [14] 冯军厂, 王俊丽. 膳食纤维及其在可食性包装中的应用[J]. 食品研究与开发, 2012, 33(4): 208—211.
FENG Jun-chang, WANG Jun-li. Dietary Fiber and Its Application in Edible Packaging[J]. Food Research and Development, 2012, 33(4): 208—211.
- [15] 李鸿艳, 谢龙, 马越. 秋葵-马铃薯淀粉复合膜的性能研究与表征[J]. 食品工业, 2019, 40(10): 114—119.
LI Hong-yan, XIE Long, MA Yue. Properties and Characterization of Okra-Potato Starch Composite Edible Film[J]. Food Industry, 2019, 40(10): 114—119.
- [16] 陈秀宇, 林谦. 增塑剂对大豆分离蛋白/纤维素/淀粉复合膜的性能影响[J]. 江汉大学学报(自然科学版), 2018, 46(2): 188—192.
CHEN Xiu-yu, LIN Qian. Impact of Plasticizers on Performance of Soybean Protein Isolate/Cellulose/Starch Composite Membrane[J]. Journal of Jiangnan University (Natural Science Edition), 2018, 46(2): 188—192.
- [17] 刘芯翎, 林琼, 陈云堂, 等. 可降解抑菌食品包装膜的研究进展[J]. 包装工程, 2019, 40(19): 151—157.
LIU Xin-yue, LIN Qiong, CHEN Yun-tang, et al. Research Progress of Degradable Bacteriostasis Food Packaging Films[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(19): 151—157.
- [18] 余熠杨, 邓源喜, 徐情, 等. 胡萝卜的营养保健功能及其开发应用进展[J]. 安徽农学通报, 2020, 26(17): 129—131.
YU Yi-yang, DENG Yuan-xi, XU Qing, et al. Advancement of Health Function of Carrot and Its Utilization[J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2020, 26(17): 129—131.
- [19] 肖南, 李远志. 胡萝卜制备可食性包装膜的工艺研究[J]. 广东农业科学, 2013(2): 77—78.
XIAO Nan, LI Yuan-zhi. Study of Production Process of Making Edible Vegetable Paper by Carrot[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2013(2): 77—78.
- [20] 黄超凡, 陈虎剑, 郑科旺, 等. 可食性淀粉复合膜的制备及性能[J]. 食品科技, 2019, 44(6): 92—96.
HUANG Chao-fan, CHEN Hu-jian, ZHENG Ke-wang, et al. Preparation and Property of Edible Starch Composite Films[J]. Food Science and Technology, 2019, 44(6): 92—96.
- [21] 赵换英, 李智超, 曹志鹏, 等. 海藻酸钠复合膜的制备及性能研究[J]. 山东理工大学学报(自然科学版), 2021, 35(2): 68—72.
ZHAO Huan-ying, LI Zhi-chao, CAO Zhi-peng, et al. Preparation and Property Evaluation of Sodium Alginate Composite Film[J]. Journal of Shandong University of Technology(Natural Science Edition), 2021, 35(2): 68—72.
- [22] 陈妮娜, 曾稍俏, 黄木花, 等. 羧甲基纤维素基可食性复合膜的制备及在葡萄保鲜中的应用[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2016, 37(6): 96—102.
CHEN Ni-na, ZENG Shao-qiao, HUANG Mu-hua, et al. Preparation of Carboxymethyl Cellulose-Based Edible Composite Film and Its Application in Preservation of Grapes[J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2016, 37(6): 96—102.
- [23] 闫倩倩. 氧化酯化淀粉基抗菌食品包装膜的制备及性能研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2012: 27—29.
YAN Qian-qian. Preparation and Properties of Antimicrobial Food Packaging Films from Oxidized and Acetylated Starch[D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2012: 27—29.