

酱油渣与淀粉复合可食膜制备工艺

梅小虎¹, 向红¹, 吴迪¹, 曹庸^{1,2}, 吴定橙¹, 潘青青¹

(1.华南农业大学 食品学院, 广州 510642; 2.广东省天然活性物工程技术研究中心, 广州 510642)

摘要: **目的** 研究了以淀粉和酱油渣为主要原料的可食膜制备工艺与性能。**方法** 以膜拉伸强度为指标, 在单因素实验基础上利用响应面法分析最佳配方和制备工艺, 并通过红外光谱和扫描电镜对复合膜相关结构进行表征。**结果** 在干燥温度 76 °C、玉米淀粉质量分数 6.5%、酱油渣质量分数 1.5%、甘油质量分数 27.0%时, 制得的可食膜厚度为 0.145 mm, 拉伸性能最佳, 强度为 14.26 MPa, 断裂伸长率为 7.82%。**结论** 添加适量酱油渣可以使淀粉膜的结构更加稳定, 抗拉强度增大, 并且可以溶解在水中, 可以进一步应用于可食内包装袋。

关键词: 酱油渣; 淀粉; 可食膜; 响应面法

中图分类号: TS206.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)15-0050-09

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.15.008

Preparation Technology of Compound Edible Films Made of Starch and Soy Sauce Residue

MEI Xiao-hu¹, XIANG Hong¹, WU Di¹, CAO Yong^{1,2}, WU Ding-cheng¹, PAN Qing-qing¹

(1.South China Agricultural University, Food College, Guangzhou 510642, China;

2.Guangdong Engineering Research Center of Natural Active Substance, Guangzhou 510642, China)

ABSTRACT: The work aims to study the preparation technology and performance of edible films with starch and soy sauce residue as the main raw materials. On the basis of single factor experiments, with the tensile strength of the film as the indicator, the response surface method was used to analyze the optimal formula and preparation technology. The relevant structure of the compound films was characterized by infrared spectroscopy and scanning electron microscopy (SEM). When the drying temperature was 76 °C, mass fractions of corn starch, soy sauce residue and glycerin were respectively 6.5%, 1.5% and 27.0%, the thickness of the prepared edible film was 0.145 mm, the tensile strength (14.26 MPa) was the best and the elongation at break was 7.82%. An appropriate amount of soy sauce residue added can make the starch film structure more stable and increase the tensile strength. The film can be dissolved in water and further applied in the edible inner packaging bag.

KEY WORDS: soy sauce residue; starch; edible films; response surface method

可食膜安全可食、绿色环保^[1]。淀粉是可食膜的常用原料^[2], 淀粉种类^[3]、增塑剂种类及含量^[4]等因素均会对可食膜性能产生影响, 其在食品包装及药物胶囊^[5]应用方面的研究成为当下热点。由于淀粉可食膜具有强度低、易吸潮等缺点, 因此添加其他增强剂(多糖、蛋白质等)和纤维, 可望改善成品的性能。

酱油渣作为酿造酱油后的产物, 产量巨大^[6], 往往作为废物丢弃或作为动物饲料被少部分使用^[7-8], 会造成极大的资源浪费和环境污染。同时, 酱油渣中含有大量的膳食纤维^[9], 具有促进肠道健康、抗氧化和预防心脑血管疾病等功能^[10], 且纤维素和淀粉具有相同的重复结构单元, 因此可以将二者共混制备可食膜,

收稿日期: 2018-05-08

基金项目: 广东省科技计划(2015B020230008)

作者简介: 梅小虎(1992—), 男, 华南农业大学硕士生, 主攻食品包装。

通信作者: 向红(1964—), 男, 华南农业大学教授, 主要研究方向为食品包装与运输包装。

制得的产品不仅具有安全可食的优点,还具备膳食纤维的保健功效,同时能提高膜的性能。虽然淀粉与纤维素共混挤出制备热塑性材料已有相关研究^[11—12],但将淀粉与酱油渣共混干燥制膜却鲜见报道。文中对淀粉、酱油渣复合可食膜配方,以及最佳制备工艺和性能进行研究,拟对豆渣的综合利用、提高可食膜性能、应用于可食内包装等方面提供参考。

1 实验

1.1 材料与仪器

材料:酱油渣,佛山海天调味食品公司;食用玉米淀粉,广州福正东海食品公司;甘油,天津富宇精细化工有限公司,分析纯。

仪器:威恒 WH-A150 高速多功能粉碎机,南京好又多电器公司;HH-2 数显恒温水浴锅,常州澳华公司;搅拌机,厦门博士达公司;DHG-9055A 鼓风干燥箱,上海一恒公司;CHY-C1 型测厚仪,济南兰光机电;MED-01 型包装性能测试仪,济南兰光机电;UV-6100S 型紫外可见分光光度计,上海美谱达公司;CP114 分析天平,美国奥豪斯公司;NOVA NANO SEM 450,美国 FEI 公司;VERTEX 70 傅里叶红外光谱仪,德国 Bruker 公司。

1.2 方法

1.2.1 工艺流程

取一定量的玉米淀粉溶于 100 mL 蒸馏水,在温度 95 ℃下搅拌 1 h,然后加入一定量的甘油和酱油渣(过 200 目筛)继续搅拌 0.5 h,膜液定量倒在塑料托盘中流延,于鼓风干燥箱中在温度 65 ℃下干燥揭膜,最后在相对湿度为 50%的玻璃干燥器中平衡 48 h,并裁样检测。

1.2.2 酱油渣的预处理和成分测定

采用低温萃取法^[13]去除酱油渣中的油脂和盐分,以丁烷为萃取剂,在 0.5 MPa、45 ℃条件下萃取 67 min,提取酱油渣膳食纤维,用打粉机粉碎至 200 目。使用国标方法测定提取物中水分^[14]、纤维素^[15]、蛋白质^[16]、脂肪^[17]和盐分^[18]的含量。

1.2.3 膜液定量的确定

按照 1.2.1 方法制膜,其中淀粉质量分数为 5% ($m_{\text{淀粉}}/m_{\text{蒸馏水}}$),甘油质量分数为 35% ($m_{\text{甘油}}/m_{\text{淀粉}}$),酱油渣质量分数为 1% ($m_{\text{酱油渣}}/m_{\text{蒸馏水}}$),膜液分别在托盘中以不同定量(60, 70, 80, 90, 100 g)烘干,测量厚度、烘干时间和抗拉强度,确定合适的定量。

1.2.4 单因素实验

考察淀粉的质量分数为 5%,甘油的质量分数为 35%,酱油渣的质量分数为 1%,干燥温度分别为 55,

65, 75, 85, 95 ℃条件下制得复合膜的性能;考察淀粉的质量分数分别为 5%, 5.5%, 6.0%, 6.5%, 7.0%, 甘油质量分数为 35%,酱油渣质量分数为 1%,干燥温度为 65 ℃条件下制得复合膜的性能;考察玉米淀粉质量分数 6.5%,甘油质量分数分别为 0, 10%, 20%, 30%, 40%,酱油渣质量分数为 1%,温度为 65 ℃条件下制得复合膜的性能;考察淀粉质量分数 6.5%,甘油质量分数 30%,酱油渣质量分数分别为 0, 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0%, 65 ℃干燥条件下制得复合膜的性能。每组实验平行 5 次,结果取平均值。

1.2.5 Box-Benhnken 实验设计

在单因素实验的基础上,选取每个因素中对抗拉强度影响较大的 3 个水平,设计四因素三水平的响应面实验,以抗拉强度为响应值,分别用-1、0、1 代替每个因素的 3 个水平进行编码,见表 1。

表 1 响应面设计实验因素水平和编码
Tab.1 Experiment factor level and codes in the response surface design

因素	水平		
	-1	0	1
淀粉质量分数/%	6.5	7.0	7.5
甘油质量分数/%	25	30	35
酱油渣质量分数/%	1.5	2.0	2.5
干燥温度/℃	70	75	80

1.2.6 膜性能测试

1.2.6.1 膜厚度测定

在被测样品上随机取 5 个点用测厚仪测量厚度,结果取平均值,单位为 mm。

1.2.6.2 力学性能

根据 GB/T 1040.3 — 2006^[19]将试样裁成长 150 mm 宽 12 mm 的样条,用包装性能测试仪测量样品的抗拉强度和断裂伸长率,夹具间初始距离为 90 mm,试验速度为 100 mm/min。计算公式:

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

式中: σ 为抗拉强度(MPa); F 为膜所受拉力(N); S 为膜的横截面积(m^2); E 为断裂伸长率; L_0 为固定时夹具所夹试样长度(m); L 为膜断裂长度(m)。

1.2.6.3 透明度

根据 Al-Hassan 等^[20]的描述,将 4 cm × 1 cm 试样贴于比色皿表面,在 600 nm 下测量吸光度值,换算为透光率代替透明度。计算公式:

$$T=10^{-A}$$

式中: T 为透光率; A 为吸光度值。

1.2.6.4 溶解度

根据 Tajik 等^[21]和 Jangchud 等^[22]的描述, 将 2 cm×2 cm 试样于 105 ℃干燥至恒重并记录质量, 溶于 100 mL 蒸馏水中, 置于室温 1 h 后过滤干燥剩余物至恒质量, 记录质量。计算公式:

$$\text{溶解度} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\%$$

式中: m_1 为溶解前质量; m_2 为溶解后质量。

1.2.6.5 红外光谱扫描 (FTIR)

剪小片复合膜样品利用红外光谱分析仪测定吸收峰。

1.2.6.6 扫描电镜 (SEM)

将待测样品固定在平台上, 对其表面进行喷金处理, 在扫描电子显微镜下观察其表面结构, 放大倍数为 300 倍。

1.2.6.7 数据处理

实验采用 Origin 软件作图, Design-Expert 软件进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 酱油渣成分测定

酱油渣是呈棕黄色的固态残渣, 经过脱脂脱盐后干燥粉碎, 呈棕黄色的固体粉末。测定得到酱油渣中含量见表 2。

表 2 脱脂脱盐后酱油渣成分

Tab.2 The components of soy sauce residue after degreasing and desalting

成分	质量分数/%
水分	6.61±0.32
纤维素	63.38±0.86
蛋白质	18.74±0.33
脂肪	2.61±0.18
盐分	0.32±0.06

2.2 膜液量的确定

随着膜液量的增加, 膜的厚度、强度与干燥时间都随之增加。当膜液量小于 60 g 时, 不能流延覆盖整个托盘, 制得的膜过薄, 难以揭膜 (见表 3), 因此选择 60 g 作为最低定量。当定量在 100 g 时, 膜的抗拉强度下降, 可能是定量过大, 导致局部膜液不均匀, 烘干时间延长, 部分因干燥而破裂, 表现出抗拉强度略微下降。在定量从 60 g 增加到 90 g 的过程中, 每增加 10 g, 抗拉强度分别增加了 8.1%、19.6%、15.6%, 又由于 90 g 时烘干时间过长, 因此综合考虑, 文中均选择 80 g 定量进行实验比较。

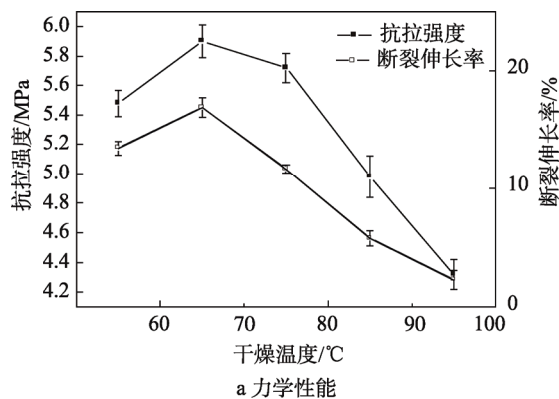
表 3 不同膜液量下可食膜强度性能与干燥时间
Tab.3 The properties of edible film and drying time under different weight of membrane liquid

定量/g	厚度/mm	抗拉强度/MPa	烘干时间/h
60	0.123±0.004	4.57±0.30	1.5
70	0.136±0.007	4.94±0.66	2.0
80	0.144±0.007	5.91±0.27	2.6
90	0.159±0.024	6.83±0.99	3.5
100	0.171±0.012	6.68±0.23	3.8

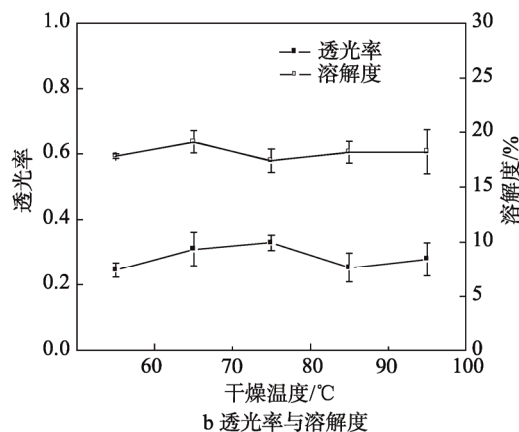
2.3 单因素试验

2.3.1 干燥温度对复合膜性能的影响

由图 1 可知, 随着干燥温度的增加, 复合膜的抗拉强度和断裂伸长率均呈现先升后降的趋势, 在 65 ℃时抗拉强度达到最大值 5.90 MPa, 溶解度和透光率变化不大。试验结果和马冰洁^[23]等的结论基本一致, 干燥温度低时, 膜液中结合较多水分, 整体膜结构致密性降低, 表现出抗拉强度和断裂伸长率均较低; 随着温度的升高, 膜液中淀粉分子运动加剧, 温度过高不利于分子连接和排列, 水分蒸发速度过快, 导致整体脆度大, 抗拉强度和断裂伸长率也随之减小。由此, 干燥温度选择 65 ℃较适宜。



a 力学性能



b 透光率与溶解度

图 1 干燥温度对复合膜性能的影响
Fig.1 Effect of drying temperature on the compound film properties

2.3.2 淀粉添加量对复合膜性能的影响

由图 2 可知,随着玉米淀粉添加量的增加,复合膜的抗拉强度先增大后减小,在 6.5% 时达到最大 (8.51 MPa),断裂伸长率不断降低,溶解度逐渐增大,透光率基本不变,实验结果与吴颖^[24]的结论具有相同的趋势。淀粉是制备复合膜的基料,直接影响复合膜的各项性能。淀粉添加量过低,制得的膜厚度过小,难以揭膜;随着淀粉添加量增加,结构中淀粉分子与甘油和酱油渣纤维之间的氢键作用增强,复合膜致密性和连续性增加,抗拉强度不断增大,同时内部含水量不断减少,因此表现出断裂伸长率降低;淀粉添加量过高时,膜液过于粘稠,不仅不易流延成膜,还会破坏复合膜内部结构,使抗拉强度减小。由于淀粉分子含有许多亲水羟基,因此淀粉含量的增加使膜的溶解性增大。经综合考虑,选择淀粉质量分数为 6.5%。

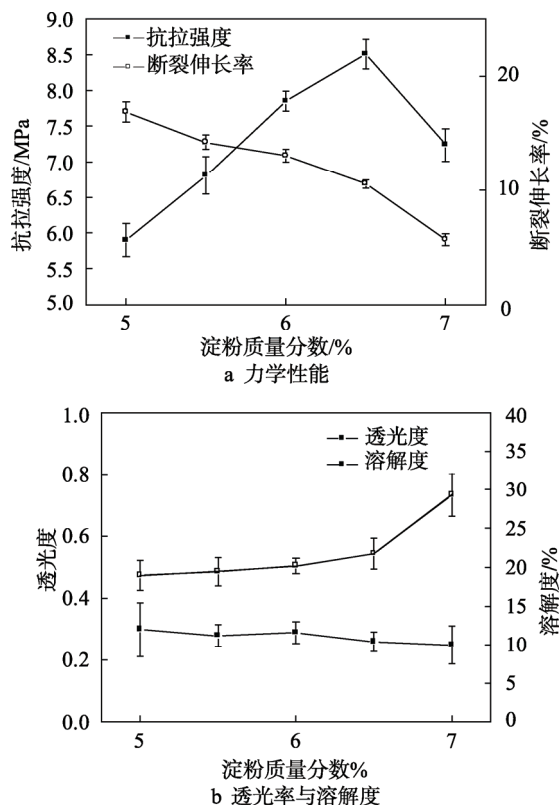


图 2 添加淀粉对复合膜性能的影响

Fig.2 The effect of starch added on the compound film properties

2.3.3 甘油添加量对复合膜性能的影响

随着甘油添加量增加,复合膜抗拉强度先增后减,在质量分数为 20% 达到最大 (11.15 MPa),断裂伸长率和溶解度不断增大,透明度没有明显变化,见图 3。由于淀粉分子之间存在较大的氢键作用,使纯淀粉膜的力学性能较差^[25],脆且易断,因此不加入增塑剂时淀粉膜的抗拉强度和断裂伸长率都很小。由于甘油是

小分子,可以进入淀粉分子的间隙中,破坏分子氢键,从而减小淀粉分子间的作用力,使结构缝隙变大,并产生有序结构以增加材料的弹性^[26-27]。由此可见,增加甘油的添加量提高了膜液的流动性,可使淀粉膜更加柔软、有弹性,表现出抗拉强度增大,断裂伸长率增大,但添加量过高会使淀粉间连接减弱,使膜结构不够稳固,导致强度减小。由于甘油本身具有较强的吸水性,因此复合膜溶解度随甘油添加量的增加而增加。考虑复合膜要有较大的抗拉强度和较适合的断裂伸长率,选择甘油质量分数为 30% 较适宜。

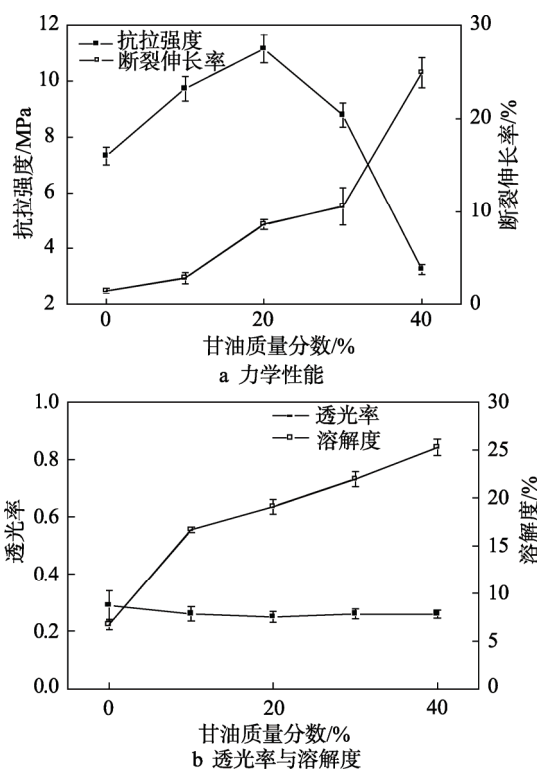


图 3 甘油添加量对复合膜性能的影响

Fig.3 Effect of the added amount of glycerol on the compound film properties

2.3.4 酱油渣添加量对复合膜性能的影响

由图 4 可知,随着酱油渣添加量的增加,复合膜的抗拉强度呈先升后降趋势,在质量分数为 1.5% 时达到最大 (11.72 MPa),断裂伸长率和透光率不断减小,溶解度略微增加随后减小,这与孙玉廷等^[28]的结论相符。许多研究表明,加入纤维素可以加固淀粉复合体系的结构,从而增强复合材料的力学性能^[29-31]。这是因为纤维素与淀粉具有相同的重复结构单元,分子链中含有大量羟基,将两者共混可以形成较强的氢键作用,而酱油渣中含有大量纤维素,增加酱油渣添加量提高了复合膜的抗拉强度,但减小了断裂伸长率。又由于酱油渣本身带有颜色,所以随着酱油渣添加量的增加,复合膜的透光率会减小。综合考虑,酱油渣质量分数选择 1.5% 较适宜。

2.4 响应面实验结果及数据分析

2.4.1 响应面实验设计方案及结果

由单因素实验结果,通过 Design-Expert 8.0.6 软件统计处理实验数据。响应面实验因素及水平设计见

表 1,实验设计方案及结果见表 4,以干燥温度($A/^{\circ}\text{C}$)、淀粉质量分数($B/\%$)、甘油质量分数($C/\%$)、酱油渣质量分数($D/\%$)为自变量,以抗拉强度(Y/MPa)为响应值,建立四因素三水平响应面实验共 29 组,5 组中心组实验用以计算试验误差。

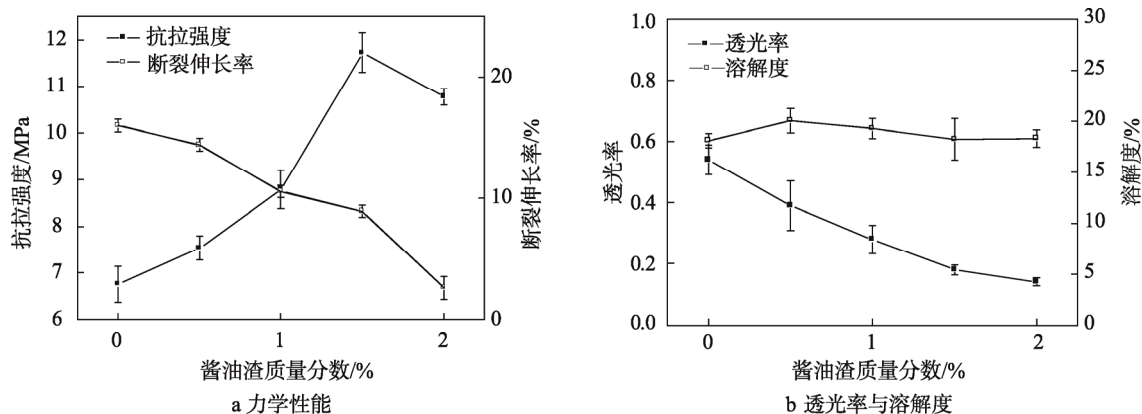


图 4 酱油渣添加量对复合膜性能的影响

Fig.4 Effect of the added amount of soy sauce residue on the compound film properties

表 4 响应面实验设计及结果

Tab.4 Response surface test design and results

编号	A	B	C	D	Y
1	0	0	-1	1	9.20
2	1	0	0	-1	11.88
3	-1	0	1	0	8.36
4	-1	-1	0	0	7.81
5	0	-1	0	-1	11.65
6	1	1	0	0	10.87
7	0	-1	0	1	10.14
8	0	0	1	-1	10.44
9	-1	0	0	1	7.22
10	0	0	0	0	13.81
11	0	1	-1	0	9.02
12	0	0	-1	-1	12.42
13	0	0	0	0	13.54
14	-1	0	0	-1	8.47
15	0	1	0	1	10.34
16	0	-1	1	0	11.42
17	0	0	0	0	13.13
18	0	1	0	-1	10.12
19	1	0	0	1	10.04
20	1	-1	0	0	12.45
21	0	1	1	0	12.68
22	0	0	0	0	12.96
23	-1	1	0	0	9.43
24	0	0	0	0	13.93
25	0	-1	-1	0	13.39
26	0	0	1	1	13.14
27	1	0	-1	0	10.94
28	-1	0	-1	0	10.27
29	1	0	1	0	13.30

2.4.2 回归方程拟合及方差分析

用 Design-Expert 8.0.6 软件对所得数据进行回归分析, 结果见表 5, 对因素回归拟合后得到回归方程为:
 $Y=13.47+1.49A-0.37B+0.34C-0.41D-0.80AB+$

$1.07AC-0.15AD+1.14BC+0.43BD+1.48CD-2.23A^2-1.20B^2-0.54C^2-1.73D^2$
回归模型中 $R^2=0.9682$, $R^2_{Adj}=0.9364$, 方差分析该回归模型极显著 ($p<0.0001$), 失拟误差不显著 ($p>0.05$), 说明该模型与实际拟合良好。

表 5 响应面实验方差分析
Tab.5 Variance analysis of response surface test

方差来源	平方和	自由度	均方和	F 值	Pr>F	显著性
模型	102.64	14	7.33	30.44	<0.0001	***
A	26.76	1	26.76	111.10	<0.0001	***
B	1.61	1	1.61	6.70	0.0215	*
C	1.40	1	1.40	5.82	0.0302	*
D	2.00	1	2.00	8.31	0.0121	*
AB	2.56	1	2.56	10.63	0.0057	**
AC	4.56	1	4.56	18.92	0.0007	**
AD	0.087	1	0.087	0.36	0.5574	
BC	7.92	1	7.92	32.90	<0.0001	***
BD	0.75	1	0.75	3.11	0.0998	
CD	8.76	1	8.76	36.37	<0.0001	***
A ²	32.31	1	32.31	134.16	<0.0001	***
B ²	9.29	1	9.29	38.58	<0.0001	***
C ²	1.89	1	1.89	7.84	0.0142	*
D ²	19.40	1	19.40	80.55	<0.0001	***
残差	3.37	14	0.24			
失拟误差	2.66	10	0.27	1.51	0.3689	
纯误差	0.71	4	0.18			
总和	106.01	28				

注: *** $p<0.0001$ 为极显著, ** $p<0.01$ 为及显著, * $p<0.05$ 为显著

2.4.3 响应面分析

各因素对抗拉强度的影响及各因素之间交互作用的三维曲面见图 5, 等高线形状为椭圆, 说明溶解度各因素交互作用显著; 若为圆形, 则交互作用不显著。由图 5 可知, 抗拉强度一般都随温度和淀粉添加量升高而先增后减, 但在酱油渣含量高时, 强度则随着含量的升高分别呈现升高和降低趋势; 抗拉强度一般随酱油渣添加量的增加而增加, 但在温度和甘油添加量较低情况下, 酱油渣添加量的增加会导致强度分别出现先增后减的趋势; 甘油添加量的增加会使强度先增后减, 但酱油渣添加量过低会使强度随甘油添加量的增加而降低。

2.4.4 实验验证

由 Design-Expert 8.0.6 软件对回归方程求解, 以

抗拉强度最大为目标值, 可以得到最佳工艺条件: 干燥温度 76.4 ℃, 淀粉质量分数 6.5%, 酱油渣质量分数 1.5%, 甘油质量分数 26.6%, 复合膜抗拉强度可以达到最大值 (14.15 MPa)。考虑实际的制备条件, 调整工艺为干燥温度 76 ℃、淀粉质量分数 6.5%、酱油渣质量分数 1.5%、甘油质量分数 27%。在此条件下做 3 组平行实验, 每组取 5 个样品测试, 5 个样品测试结果平均分别为 14.07, 14.79, 13.91 MPa, 3 组平行实验平均值为 14.26 MPa, 膜厚 0.145 mm, 断裂伸长率 7.82%, 与预测值接近, 说明采用该响应面实验设计得到的最优工艺可靠。

2.5 红外光谱分析

淀粉膜与最佳工艺复合膜的红外光谱见图 6。由图 6 可知, 2 种膜的红外光谱图存在差异, 说明酱油

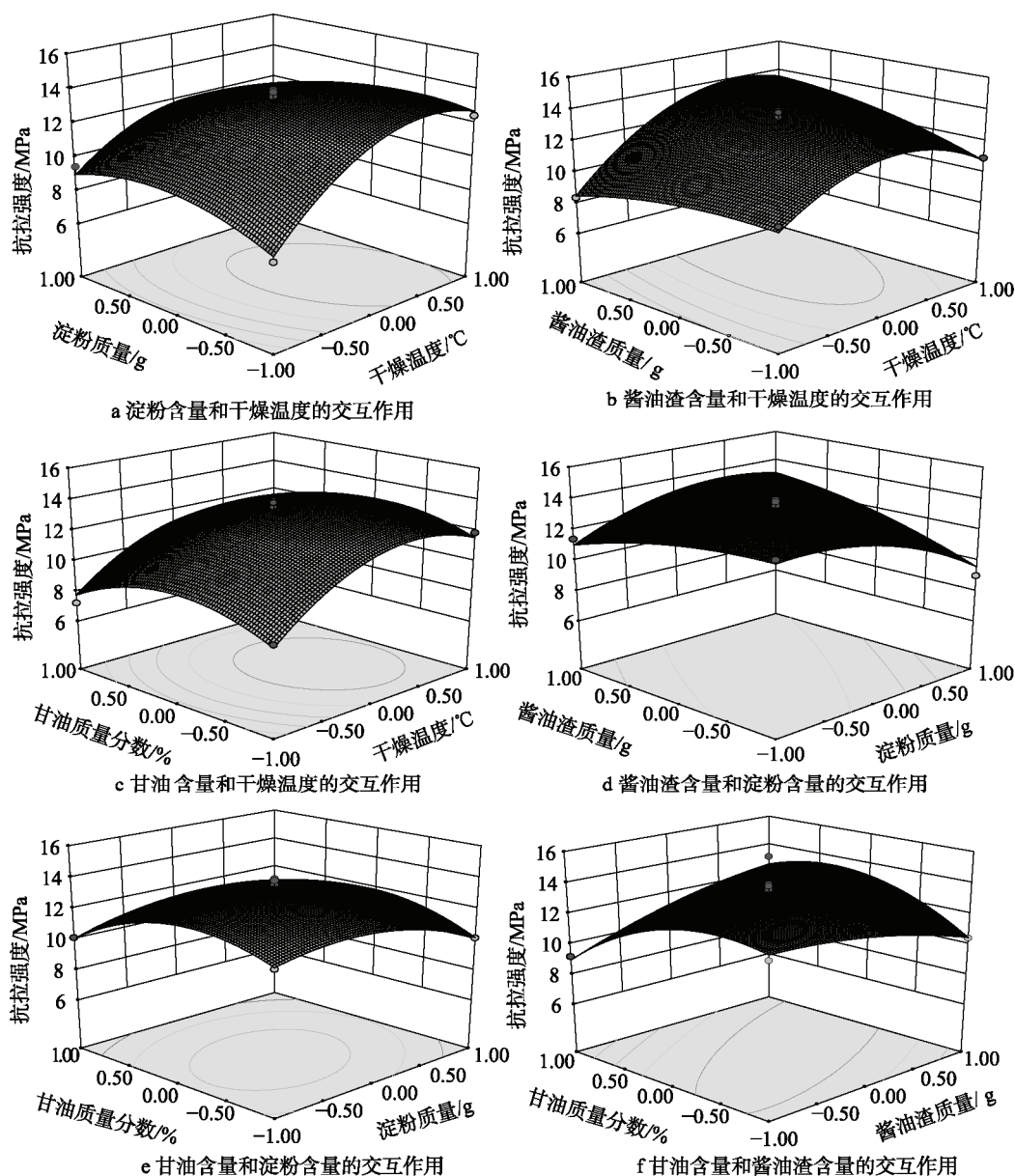


图5 交互作用对抗拉强度影响的响应曲面图

Fig.5 Response surface plots for the influence of interaction on the tensile strength

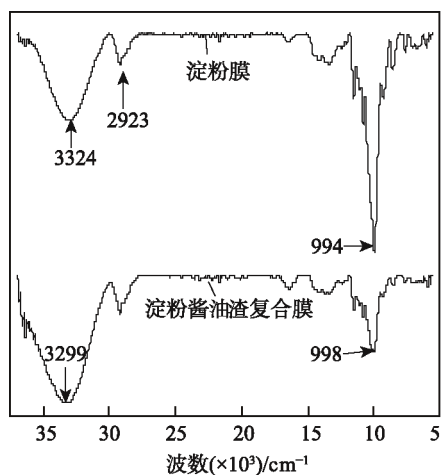


图6 淀粉膜和淀粉酱油渣复合膜的红外光谱

Fig.6 FTIR spectra of starch films and starch and soy sauce residue compound films

渣纤维和淀粉之间发生了相互作用,且波数变化越大,氢键作用越强。 3324 cm^{-1} 附近的吸收峰是玉米淀粉膜的O—H键的伸缩振动吸收峰, 2923 cm^{-1} 附近的吸收峰是饱和C—H键的伸缩振动吸收峰, 994 cm^{-1} 的吸收峰是甘油分子上的O—H与淀粉分子糖苷键上氧原子形成的氢键吸收峰。当加入酱油渣之后,氢键的吸收峰从 3324 cm^{-1} 移动至 3299 cm^{-1} , 994 cm^{-1} 处峰强度变弱并偏移到 998 cm^{-1} 。这说明酱油渣纤维取代了部分甘油与淀粉形成氢键,并且会和甘油也产生氢键作用,这使复合膜的性能发生了变化,且氢键作用强度会随酱油渣纤维含量的变化而变化,因此在制备过程中需要找到最佳添加量,从而使纤维和淀粉的连接更紧密,膜的强度性能更好。

2.6 扫描电镜分析

由图7可知, 淀粉膜的表面平整、有条纹, 而复合膜表面则有部分不平整。这可能是因为酱油渣虽然被处理过200目筛, 但仍然有部分不够均匀, 且酱油渣本身除纤维素以外, 还存有其他杂质, 不能很好地与淀粉相容, 因此直观观察结构可能会出现不平整。由图7还可以看出, 加入酱油渣后, 除了表面不平整的部分, 其余部分更加光滑且没有条纹。这说明酱油渣中的纤维素影响了淀粉分子之间的作用和排列, 可以使结构更加致密, 这与2种膜在力学性能上的差异相符。由此, 可将酱油渣进一步磨碎细化, 使其不破坏膜的平整度, 同时选择添加适量的酱油渣可以使淀粉可食膜的结构更加致密, 膜的强度性能更好。

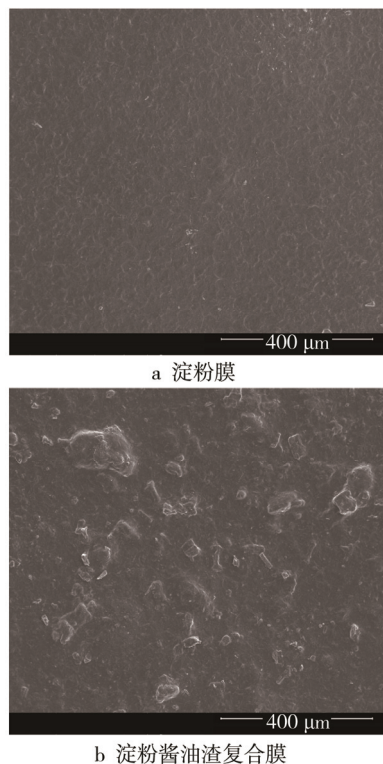


图7 淀粉膜、淀粉酱油渣复合膜的SEM图

Fig.7 SEM image of starch films, starch and soy sauce residue compound films

3 结语

实验利用单因素和响应面实验方法, 研究了淀粉酱油渣纤维可食膜膜的最优制备工艺。在干燥温度76℃、淀粉质量分数6.5%、酱油渣质量分数1.5%、甘油质量分数27%时制得的可食膜抗拉强度达到14.26 MPa, 断裂伸长率为7.82%。研究表明, 可食膜的结构和性能被许多因素影响, 淀粉含量过低会使成膜困难, 过高会使糊化膜液过于粘稠, 不易流延。增塑剂的加入可以使淀粉分子间的空隙增大, 并使结构结合更多水分, 增加其柔韧性和灵活性。在含量过

低时, 由于增塑剂结合水少, 造成可食膜韧性较差、易碎, 但过高则使可食膜整体水分含量增加且极易吸潮, 严重影响可食膜的强度性能。将相同定量的膜液烘干后比较, 酱油渣纤维的加入使膜的抗拉强度增加了73.6%, 降低了断裂伸长率和透明度, 但过高的含量反而会破坏膜结构, 使膜性能变差。由FTIR和SEM结果可知, 酱油渣纤维和淀粉能形成强烈的氢键作用, 这种作用能够使可食复合膜的结构更加致密, 得到的产品具有更高的强度性能。针对复合膜依然存在的问题, 可对酱油渣进一步预处理, 以期在结构上使各组分连接更加致密, 优化性能, 为酱油渣应用在包装领域提供更多试验基础和参考。

参考文献:

- [1] BROEK L A M V D, KNOOP R J I, KAPPEN F H J, et al. Chitosan Films and Blends for Packaging Material[J]. Carbohydr Polym, 2015, 116: 237.
- [2] 徐卫河, 肖咏梅, 曹少魁. 淀粉基生物降解塑料的开发与进展[J]. 工程塑料应用, 2001, 29(4): 44—46.
XU Wei-he, XIAO Yong-mei, CAO Shao-kui. Development and Advance of Starch-based Biodegradable Plastics[J]. Engineering Plastics Application, 2001, 29(4): 44—46.
- [3] BASIAK E, LENART A, DEBEAUFORT F. Effect of Starch Type on the Physico-chemical Properties of Edible Films[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2017(98): 348—356.
- [4] 陈妍, 文威, 汪泽幸, 等. 塑化剂及其含量对热塑性淀粉膜性能的影响[J]. 湖南工程学院学报(自科版), 2017, 27(1): 76—79.
CHEN Yan, WEN Wei, WANG Ze-xing, et al. Effect of Plasticizer and Its Content on Properties of Thermoplastic Starch Film[J]. Journal of Hunan Institute of Engineering, 2017, 27(1): 76—79.
- [5] OLADZADABBASABADI N, EBADI S, NAFCHI A M, et al. Functional Properties of Dually Modified Sago Starch/K-carrageenan Films: An Alternative to Gelatin in Pharmaceutical Capsules[J]. Carbohydrate Polymers, 2017, 160: 43—51.
- [6] 李学伟, 朱新贵, 刘滢, 等. 黄豆酱油渣油脂和膳食纤维的制备研究[J]. 中国酿造, 2013, 32(10): 109—112.
LI Xue-wei, ZHU Xin-gui, LIU Ying, et al. Oil and Dietary Fiber Preparation with Traditional Chinese-type Soy Sauce Residue[J]. China Brewing, 2013, 32(10): 109—112.
- [7] 韩丽, 刘晓, 李国兴, 等. 酱油渣和醋渣的开发利用[J]. 粮食与饲料工业, 2005(3): 32—33.
HAN Liu, LIU Xiao, LI Guo-xing, et al. Development and Utilization of Soy Sauce Residue and Vinegar Residue[J]. Cereal & Feed Industry, 2005(3): 32—33.
- [8] 阎杰, 宋光泉. 值得开发的“废物”——酱油渣[J]. 中

- 国调味品, 2006(10): 14—17.
YAN Jie, SONG Guang-quan. Soy Sauce Residue—a Kind of Industrial Garbage Being Worth Studying[J]. China Condiment, 2006(10): 14—17.
- [9] 朱良, 胡振华. 酱油渣水不溶性膳食纤维提取工艺研究[J]. 粮食与油脂, 2010(6): 20—22.
ZHU Liang, HU Zhen-hua. Study on Extracting Water-insoluble Dietary Fiber from Soy Sauce Residues[J]. Journal of Cereals & Oils, 2010(6): 20—22.
- [10] 刘楠, 孙永, 李月欣, 等. 膳食纤维的理化性质、生理功能及其应用[J]. 食品安全质量检测学报, 2015(10): 3959—3963.
LIU Nan, SUN Yong, LI Yue-xin, et al. Properties, Physiological Function and Application of Dietary Fiber[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2015(10): 3959—3963.
- [11] 唐峰. 氧化木质纤维素增强热塑性淀粉的研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2014: 10—11.
TANG Hao. Study on Thermoplastic Starch Reinforced with Oxidized Lignocellulose[D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2014: 10—11.
- [12] 苏阳. 改性落麻纤维增强热塑性淀粉复合材料的制备及性能研究[D]. 天津: 天津工业大学, 2016: 47—59.
SU Yang. Study on the Preparation and Properties of Modified Flax Fiber Reinforced Thermoplastic Starch Composites[D]. Tianjin: Tianjin Polytechnic University, 2016: 47—59.
- [13] 张泳, 赵力超, 贺丽苹, 等. 低温连续相变制备酱油渣膳食纤维及其特性研究[J]. 现代食品科技, 2014(05): 185—190.
ZHANG Yong, ZHAO Li-chao, HE Li-ping, et al. Preparation and Characterization of Soy Sauce Residue Dietary Fiber using Low Temperature Continuous Phase Transition Extraction[J]. Modern Food Science and Technology, 2014(5): 185—190.
- [14] GB 5009.3—2016, 食品中水分的测定[S].
GB 5009.3—2016, Determination of Moisture in Foods[S].
- [15] GB 5009.88—2014, 食品中膳食纤维的测定[S].
GB 5009.88—2014, Determination of Dietary Fiber in Foods[S].
- [16] GB 5009.5—2016, 食品中蛋白质的测定[S].
GB 5009.5—2016, Determination of Protein in Foods[S].
- [17] GB 5009.6—2016, 食品中脂肪的测定[S].
GB 5009.6—2016, Determination of fat in foods[S].
- [18] GB 5009.44—2016, 食品中氯化物的测定[S].
GB 5009.44—2016, Determination of Chloride in Foods[S].
- [19] GB/T 1040.3—2006, 塑料 拉伸性能的测定[S].
GB/T 1040.3—2006, Determination of the Tensile Properties of Plastics[S].
- [20] AL-HASSAN A A, NORZIAH M H. Starch-gelatin Edible Films: Water Vapor Permeability and Mechanical Properties as Affected by Plasticizers[J]. Food Hydrocolloids, 2012, 26(1): 108—117.
- [21] TAJIK S, MAGHSOUDLOU Y, KHODAIYAN F, et al. Soluble Soybean Polysaccharide: A New Carbohydrate to Make a Biodegradable Film for Sustainable Green Packaging[J]. Carbohydrate Polymers, 2013, 97(2): 817—824.
- [22] JANGCHUD A, CHINNAN M S. Peanut Protein Film as Affected by Drying Temperature and pH of Film Forming Solution[J]. Food Science, 2010, 64(1): 153—157.
- [23] 马冰洁, 于鸿雁, 唐洪波, 等. 改性马铃薯淀粉膜研究[J]. 粮油加工, 2008(10): 101—104.
MA Bing-jie, YU Hong-yan, TANG Hong-bo, et al. Study on Modified Potato Starch Film[J]. Cereals and Oils Processing, 2008(10): 101—104.
- [24] 吴颖. 新型淀粉膜的制备及其结构和性能的研究[D]. 天津: 天津大学, 2009: 28—29.
WU Yin. Preparation of Novel Starch Films and Study on Their Structure and Performance[D]. Tianjin: Tianjin University, 2009: 28—29.
- [25] CUNNINGHAM P, OGALE A A, DAWSON P L, et al. Tensile Properties of Soy Protein Isolate Films Produced by a Thermal Compaction Technique[J]. Journal of Food Science, 2000, 65(4): 668—671.
- [26] SOTHORNVIT R, KROCHTA J M. Plasticizer Effect on Mechanical Properties of β -lactoglobulin Films[J]. Journal of Food Engineering, 2001, 50(3): 149—155.
- [27] TALJA R A, HELEN H, ROOS Y H, et al. Effect of Type and Content of Binary Polyol Mixtures on Physical and Mechanical Properties of Starch-based Edible Films[J]. Carbohydrate Polymers, 2008, 71(2): 269—276.
- [28] 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.
- [29] SHALWAN A, YOUSIF B F. In State of Art: Mechanical and Tribological Behaviour of Polymeric Composites Based on Natural Fibres[J]. Materials & Design, 2013, 48(2): 14—24.
- [30] CURVELO A A S, CARVALHO A J F D, AGNELLI J A M. Thermoplastic Starch-cellulosic Fibers Composites: Preliminary Results[J]. Carbohydrate Polymers, 2001, 45(2): 183—188.
- [31] CARMENMO M, JOÃO BORGES L, FABIO Y. Effect of Cellulose Fibers Addition on the Mechanical Properties and Water Vapor Barrier of Starch-based Films[J]. Food Hydrocolloids, 2009, 23(5): 1328—1333.