

刘 路, 刘孝平, 陈 娟, 等. 柠檬皮可食用膜制备方法的优化[J]. 江苏农业学报, 2019, 35(4): 948-953.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2019.04.028

柠檬皮可食用膜制备方法的优化

刘 路, 刘孝平, 陈 娟, 李 洁, 付云云, 赵江林, 陈安均
(四川农业大学食品学院, 四川 雅安 625014)

摘要: 采用柠檬皮粉、甘油、羧甲基纤维素钠作为柠檬皮可食用膜的成膜原料, 在单因素试验基础上, 通过 Box-Behnken 中心组合设计原理, 模拟得到二次多项式回归方程的预测模型, 以抗拉强度为响应值, 响应面优化柠檬皮可食用膜的制备方法。得到最佳预测成膜工艺为: 柠檬皮粉添加量为 1.84%, 羧甲基纤维素钠添加量为 0.30%, 甘油添加量为 0.48%。此条件下制成的柠檬皮可食用膜抗拉强度的响应预测值为 17.208 5 MPa, 验证值为 17.475 8 MPa, 相对误差为 1.55%。通过二次多项式拟合得到的模型决定系数(R^2)为 95.02%, 在该响应面优化后的条件下, 柠檬皮可食用膜具有较好的力学性能。

关键词: 响应面法; 柠檬皮粉; 可食用膜

中图分类号: TS206.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-4440(2019)04-0948-06

Optimization of preparation method of lemon peel-based edible film

LIU Lu, LIU Xiao-ping, CHEN Juan, LI Jie, FU Yun-yun, ZHAO Jiang-lin, CHEN An-jun
(College of Food Science, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China)

Abstract: Using lemon peel powder, glycerin and sodium carboxymethyl cellulose as the film-forming raw materials of lemon-peel edible film, based on the single-factor experiment, the box-Behnken center combination design principle was used to simulate the quadratic polynomial regression equation. In the prediction model, the response surface was selected based on the tensile strength as the response value to optimize the preparation method of the lemon-peeled edible film. The best predicted film-forming process was: 1.84% of lemon peel powder, 0.30% of sodium carboxymethyl cellulose and 0.48% of glycerin. Under these conditions, the prediction value of the response to tensile strength of the lemon-peel edible film was 17.208 5 MPa, the verification value was 17.475 8 MPa, and the relative error was 1.55%. The model determination coefficient (R^2) obtained by quadratic polynomial fitting was 95.02%. Under the optimized condition of the response surface, the lemon peel-based edible film has good mechanical properties.

Key words: response surface method; lemon peel powder; edible film

随着经济的不断发展, 包装发挥着越来越重要的作用, 它不仅保护商品, 而且有助于产品的运输、存储以及展示。全球包装市场价值从 2012 年以来

以 4% 的速率增长^[1]。塑料包装材料, 包括聚丙烯、聚酯、聚乙烯、聚苯乙烯和其他石油基聚合物, 因其成本低廉、使用方便、易加工、产品种类繁多、美观实用等特点, 目前在市场上占据主导地位, 但是塑料的不可降解性造成了严重的环境污染。近年来, 石油危机给塑料工业带来的巨大压力, 使得国内外对可降解可食用包装材料的研究日益活跃^[2]。

柠檬 [*Citrus limon* (L.) Burm. f.] 属于芸香科柑橘类, 在世界柑橘产业中高居第 3 位, 仅次于橙和宽

收稿日期: 2018-12-04

基金项目: 国家现代农业产业技术体系四川水果创新团队项目

作者简介: 刘 路 (1994-), 女, 四川德阳人, 硕士研究生, 主要从事农产品贮藏及加工方面的研究。(E-mail) 1247854709@qq.com

通讯作者: 陈安均, (E-mail) anjunc003@163.com

皮橘^[3]。中国作为柠檬的生产大国,有很多新鲜柠檬果皮在加工过程中被浪费。前人研究结果表明,脱水柠檬皮具有一定的免疫^[4]、抗氧化活性^[5]、抗突变和抗癌^[6]作用。可食用膜是利用可食用材料为成膜基质,通过分子间及分子内相互作用,形成一定强度的空间网状结构的薄膜^[7]。虽然可食用及可降解膜不能完全替代传统的包装材料,但是可用于食品包装中以降低包装成本和减少传统包装材料的使用^[8]。从植物废弃物中可以得到可再生、可回收、可生物降解的天然纤维^[1]。柠檬皮中含有丰富的果胶,良好的韧性、热稳定性以及较好的机械性能使其成为一些塑料包装材料的替代品。

本研究应用响应面法(RSM)优化成膜剂浓度,以尽量减少试验数量和资源使用量^[9],优化制备柠檬皮粉膜的最佳配方。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

主要材料:尤力克柠檬[*Citrus limon* (L.) Burm. f.] 2017年11月8日采自四川省安岳县姚市镇夏花果柠檬园,柠檬果实大小均一,色泽一致。甘油、羧甲基纤维素钠(CMC)(均为食品级)以及平板计数琼脂培养基(PDA)购于成都市科龙化工试剂厂。雅安狗屎糖产自四川省雅安市雨城区金岚岚面包房。

主要设备:GJJ均质机,郑州玉祥食品机械有限公司产品;LGJ-18S冷冻干燥机,宁波新艺超声设备有限公司产品;HWS-150型恒温恒湿箱,上海精宏实验设备有限公司产品;W3/031型水蒸气透过率测试仪,济南兰光机电技术有限公司产品;TA-XIPLus型物性测试仪,超技仪器公司产品;DZF-6020真空干燥箱,上海三发科学仪器有限公司产品;玻璃成膜器,实验室自制,膜腔尺寸为30.0 cm×20.0 cm×0.5 cm;ZUS-4纸张厚度测定仪,长春市月明小型试验机有限责任公司产品;BT124S万分之一天平,北京赛多利斯仪器系统有限公司产品;UV-3100紫外可见分光光度计,上海美普达仪器有限公司产品;HK-20B摇摆式中药粉碎机,广州旭朗机械设备有限公司产品;YSC-701超微粉碎机,北京燕山正德机械设备有限公司产品;VAV-V1压差法气体测定仪,济南兰光机电技术有限公司产品。

1.2 柠檬皮可食用膜的制备

1.2.1 前处理 取柠檬皮→切成小块→90℃漂烫10 s→0.05% NaOH去除苦味→真空冷冻干燥→中药粉碎机粉碎→超微粉碎→过140目筛→密封备用。

1.2.2 柠檬皮可食用膜制备 调配(柠檬皮粉、羧甲基纤维素钠、甘油、水)→30 MPa均质5 min→真空干燥箱内脱气→流延法制膜→揭膜→平衡→成品。

1.3 成膜剂配比最优参数的确定

1.3.1 单因素试验

1.3.1.1 柠檬粉添加量的确定 柠檬粉的添加量分别为1.0%、1.5%、2.0%、2.5%、3.0%,甘油的添加量为0.5%,CMC的添加量为0.3%,按照方法1.2制成膜后测定其抗拉强度及断裂伸长率,确定柠檬粉的添加量。

1.3.1.2 羧甲基纤维素钠(CMC)添加量的确定 CMC的添加量分别为0.1%、0.2%、0.3%、0.4%、0.5%,甘油的添加量为0.5%,柠檬粉的添加量为2.0%,按照方法1.2制成膜后测定其抗拉强度及断裂伸长率,确定CMC的添加量。

1.3.1.3 甘油添加量的确定 甘油的添加量分别为0.3%、0.4%、0.5%、0.6%、0.7%,柠檬粉的添加量为2.0%,CMC的添加量为0.3%,按照方法1.2制成膜后测定其抗拉强度及断裂伸长率,确定甘油的添加量。

1.3.2 响应面试验 在单因素试验的基础上,通过响应面设计试验对柠檬皮可食用膜的制备工艺进行进一步的优化。以抗拉强度为响应指标,找出最优制膜工艺条件。响应面设计表见表1。

表1 响应面试验因素水平编码表

Table 1 Factors and levels of response surface experiments

因素	水平		
	-1	0	1
x_1 (柠檬皮粉添加量,%)	1.5	2.0	2.5
x_2 (CMC添加量,%)	0.2	0.3	0.4
x_3 (甘油添加量,%)	0.4	0.5	0.6

1.4 柠檬皮可降解膜的物理性能测试

1.4.1 厚度(T)的测定 根据GB6672-2001^[10]塑料薄膜和薄片厚度测定、机械测量法,在试样上等距

取 20 个点,采用千分测厚仪测定柠檬皮可降解膜厚度。

1.4.2 抗拉强度(TS)的测定 按照 GB/T1040.3-2006 塑料拉伸性能的测定(第 3 部分)^[11],使用物性测定仪测定抗拉强度。样品长度 150 mm,宽度 15 mm,初始间距为 70 mm,试验速度 50 mm/min,重复 10 次。计算抗拉强度, $TS = F/A$,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)。

1.4.3 断裂伸长率(E)的测定 按照 GB/T1040.3-2006 塑料拉伸性能的测定(第 3 部分)^[11]测定断裂伸长率。断裂伸长率计算公式如下: $E = [(L - L_0)/L_0] \times 100\%$,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)。

1.4.4 透气率(GTR)的测试 依据国家标准 GB/T1038-2000^[12]测定薄膜的透气性能。用 BTY-B1 透气率测试仪测试,在恒温(23℃)、恒湿(50%±5%)、常压(101.3 kPa)条件下,将厚度均匀、无气泡、无折痕的试样密封于样品腔上。测定时,平衡 1~2 h。每种薄膜重复测定 3 次。

1.4.5 透水率(WVP)的测试 依据国家标准 GB1037-1988^[13]测定膜的透水率性能。用 TSY-T3 透湿仪测试,温度设置为 38℃,相对湿度差 90%。试样为直径 70 mm 的圆片。保持试样的表面平整和清洁,无压痕,无气泡,无划伤。每种薄膜重复测定 3 次。计算透水率, $WVP = (\Delta M \times d)/(A \times t \times \Delta P)$,式中, ΔM 为 t 时间内样品的质量增加(g), d 为样品厚度(mm), A 为样品透水蒸气的有效面积(m^2), t 为样品质量增加稳定后的 2 次间隔时间(h), ΔP 为样品两侧的水蒸气压差(Pa)。

1.4.6 透光率的测定 膜透光率测定参考张智宏等的方法^[14]略作修改,将薄膜裁成 12 mm×40 mm 矩形,紧贴于比色皿一侧,在 600 nm 波长处测定其不透明度,以空比色皿作为对照,重复 5 次。透光率= A_{600}/x ,式中, A_{600} 为样品膜在 600 nm 下的吸光值, x 为样品膜厚度(mm)。

1.5 柠檬皮可食用膜的应用试验

取狗屎糖数个,用优化后的柠檬皮可食用膜包裹,对照组用淀粉膜包裹,置于室温条件下,15 d 后测定狗屎糖菌落总数。依据标准 GB4789.2-2016^[15]测定菌落总数,称取 25 g 样品置于盛有 225 ml 生理盐水的无菌均质杯内,8 000 r/min 均质 1

min,制成 1:10 的样品匀液。用 1 ml 无菌吸管吸取 1:10 样品匀液 1 ml,沿管壁缓慢注入盛有 9 ml 稀释液的无菌试管中,摇晃试管,制成 1:100 的样品匀液,以相同的方法将匀液稀释至 1:10⁷ 的匀液。分别取原液、稀释匀液以及空白稀释液 1 ml 于无菌平皿内,每个稀释匀液重复 2 次,将平板计数琼脂培养基倒入平皿中,在 37℃ 条件下培养 48 h,计数。

2 结果与分析

2.1 柠檬皮可食用膜成膜剂配比最优参数的单因素试验结果

在 0.3% 的羧甲基纤维素钠和 0.5% 的甘油中,加入 1.0%、1.5%、2.0%、2.5%、3.0% 的柠檬粉,制备柠檬皮可食用膜,并测定其抗拉强度及断裂伸长率。从图 1 中可以看出,随着柠檬皮粉的增加,柠檬皮可食用膜的抗拉强度先增加后降低。柠檬皮粉中果胶含量高达 27.6%^[16],添加量适宜时有一定的增稠效果,过量时会影响成膜效果,断裂伸长率呈现出下降的趋势。通过抗拉强度和断裂伸长率综合分析,选取 1.5%、2.0%、2.5% 为柠檬皮粉的 3 个水平进行响应面分析以确定柠檬粉的最佳添加量。

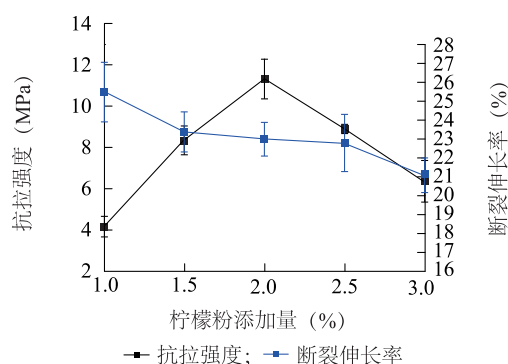


图 1 柠檬皮粉添加量对柠檬皮可食用膜性能的影响

Fig.1 Effect of the addition of lemon peel powder on the properties of lemon peel-based edible film

在 2.0% 的柠檬皮粉、0.5% 的甘油中,加入 0.1%、0.2%、0.3%、0.4%、0.5% 的 CMC,制备柠檬皮可食用膜,并测定其抗拉强度和断裂伸长率。从图 2 中可以看出,添加量从 0.1%~0.3% 时,柠檬皮可食用膜的抗拉强度和断裂伸长率随 CMC 的增加而增加。柠檬皮粉中纤维与 CMC 产生疏水性相互作用、氢键等作用力,提高了空间网状结构的稳定性。随着 CMC 添加量的继续增加,抗拉强度和断裂伸长

率呈现出下降的趋势,可能是由于 CMC 与其他添加物相互作用,黏度太大,成膜质量变差^[17]。因此选取 0.2%、0.3%、0.4% 为 CMC 的 3 个水平进行响应面分析以确定 CMC 的最佳添加量。

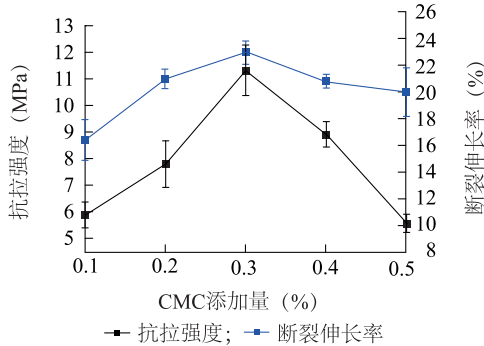


图2 羟甲基纤维素钠 (CMC) 添加量对柠檬皮可食用膜性能的影响

Fig.2 Effect of sodium carboxymethyl cellulose (CMC) addition on the properties of lemon peel-based edible film

在 2.0% 柠檬粉、0.3% 的羧甲基纤维素钠中,加入 0.3%、0.4%、0.5%、0.6%、0.7% 的甘油,制备柠檬皮可食用膜,并测定其抗拉强度和断裂伸长率。从图 3 中可以看出,随着甘油添加量的增加,柠檬皮可食用膜的抗拉强度不断减小。这是由于加入甘油后,破坏了可食用膜中原有大分子链的排列和堆积结构,降低了大分子之间聚合的力量,增大了可食性膜的空间网状结构中分子的自由度,结晶度下降,分子的有序性排列也受到干扰,分子之间相互作用减弱,从而使得抗拉强度减弱^[18]。虽然作为增塑剂的甘油减少了成膜材料分子间的相互作用力,降低了柠檬皮可食用膜的抗拉强度,但是随着甘油添加量的增加,柠檬皮可食用膜的延展性增大。因此选取 0.4%、0.5%、0.6% 为甘油的 3 个水平进行响应面分析以确定甘油的最佳添加量。

2.2 响应面法优化柠檬皮可食用膜成膜剂的添加量

结合单因素试验结果,以柠檬皮粉、甘油、羧甲基纤维素钠作为原料,通过 Box-Behnken 中心组合设计原理,模拟得到二次多项式回归方程的预测模型,以抗拉强度为响应值,响应面优化柠檬皮可食用膜的制备方法。共设计 17 个试验条件,其中有 5 个试验区域的中心点。Box-Behnken 试验设计与结果见表 2。

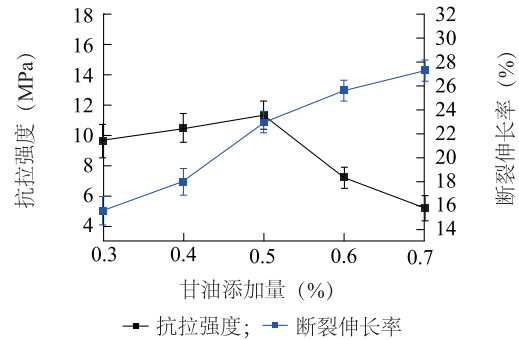


图3 甘油添加量对柠檬皮可食用膜性能的影响

Fig.3 Effect of glycerin addition on the properties of lemon peel-based edible film

表2 Box-Behnken 试验设计与结果

Table 2 Design and results of box-Behnken test

试验组	A(柠檬皮粉添加量)(%)	B(CMC添加量)(%)	C(甘油添加量)(%)	抗拉强度(MPa)
1	2.5	0.4	0.5	7.26
2	2.0	0.4	0.6	7.36
3	1.5	0.3	0.4	13.51
4	2.0	0.2	0.4	11.00
5	2.0	0.3	0.5	16.25
6	2.0	0.3	0.5	15.64
7	2.0	0.3	0.5	16.77
8	2.5	0.2	0.5	8.41
9	2.5	0.3	0.4	6.39
10	2.0	0.3	0.5	15.98
11	2.0	0.3	0.5	16.02
12	0.5	0.2	0.5	9.67
13	2.0	0.2	0.6	5.73
14	2.0	0.4	0.4	10.14
15	1.5	0.3	0.6	10.48
16	2.5	0.3	0.6	10.24
17	1.5	0.4	0.5	11.60

利用 Design-Expert8.0.6 进行非线性回归的二次多项式拟合得到以下预测模型:

$$Y_{TS} = 16.85 - 1.62x_1 + 0.20x_2 - 0.90x_3 - 0.77x_1x_2 + 1.72x_1x_3 + 0.62x_2x_3 - 3.01x_1^2 - 4.60x_2^2 - 3.69x_3^2$$

式中, T_{TS} 为响应值抗拉强度, x_1 为柠檬皮粉添加量, x_2 为 CMC 添加量, x_3 为甘油添加量。

由表 3 可以看出 x_1 、 x_1x_3 、 x_2x_3 均为显著, x_{12} 、 x_{22} 、 x_{32} 均为极显著, 决定系数(R^2)为 0.950 3, 校正决定系数(R_{Adj2})为 0.886 4, 说明该模型拟合情况良好, 可信度较高, 所以可以用该回归方程对响应值进行预测。各因素 F 值的大小可以反映对试验响应值的重要性。从表 3 中可以看出, 影响柠檬皮粉可食性膜性能的主次因素为: 柠檬皮粉添加量 > 甘油添加量 > CMC 添加量。

CMC 和柠檬皮粉、甘油和 CMC、甘油和柠檬皮粉之间的交互作用对柠檬皮粉可食性膜抗拉强度的影响见图 4。由 Esign-Expert8.0.6 处理数据得到柠檬皮粉可食性膜成膜剂的最优配方为 0.30% CMC、1.84% 柠檬皮粉、0.48% 甘油, 响应预测值为 17.208 5 MPa, 在上述条件下制得的柠檬皮粉可食性膜的抗拉强度为 17.475 8 MPa, 与模型的响应预测值的相对误差为 1.55%。结果表明, 该响应面优化得到的回归方程具有一定的实际指导意义。用优化后的柠檬皮可食用膜以及淀粉膜包裹的雅安狗屎糖, 置于室温下 15 d 后, 均未检出菌落总数, 说明柠檬皮可食用膜可以替代普通淀粉膜。

表 3 柠檬皮可食用膜优化试验的回归方程方差分析表

Table 3 Variance analysis of regression equation in the optimization experiment of lemon peel-based edible film

来源	平方和	df	F 值	均方	显著性
模型	249.01	9	27.67	14.87	**
x_1	21.02	1	21.02	11.29	*
x_2	0.30	1	0.30	0.16	—
x_3	6.55	1	6.55	3.52	—
x_1x_2	2.38	1	2.38	1.28	—
x_1x_3	11.84	1	11.84	6.36	*
x_2x_3	1.55	1	1.55	0.83	*
x_{12}	38.1	1	38.10	20.47	**
x_{22}	89.27	1	89.27	47.97	**
x_{32}	57.20	1	57.20	30.97	**
残差	13.03	7	1.86		
失拟项	10.25	3	3.42	4.93	
纯误差	2.77	4	0.69		
总和	262.04	16			
R^2	0.9503				
R_{Adj2}	0.8864				

** 表示极显著 ($P < 0.01$), * 表示显著 ($P < 0.05$), — 表示不显著 ($P > 0.05$)。 x_1 为柠檬皮粉添加量, x_2 为羧甲基纤维素钠 (CMC) 添加量, x_3 为甘油添加量。

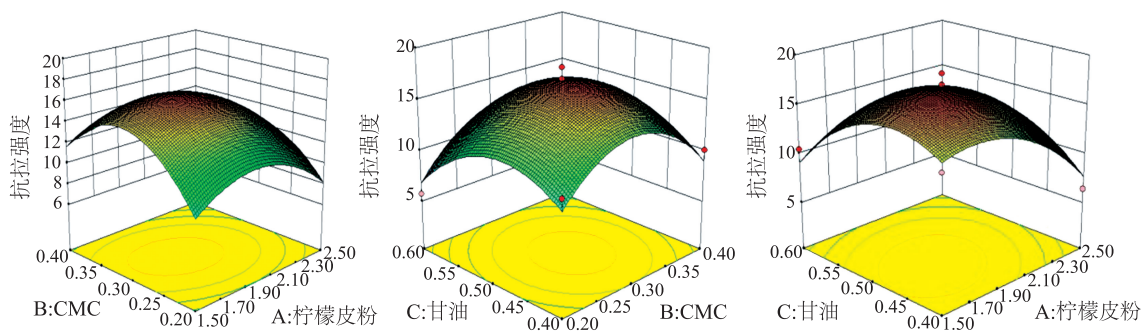


图 4 柠檬皮粉、甘油、羧甲基纤维素钠 (CMC) 各因素间的交互作用

Fig.4 Interaction among lemon peel powder, glycerin and sodium carboxymethyl cellulose (CMC)

本试验中以柠檬皮粉为成膜基质, 羧甲基纤维素钠为增稠剂, 甘油为增塑剂, 采用单因素响应面试验得到可食用膜, 成膜性能好, 其抗拉强度为 17.475 8 MPa, 断裂伸长率为 17.38%, 水蒸气透过率为 $1.49 \times 10^{-12} \text{ g} \cdot \text{cm}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$, 氧气透过率为 $6.58 \times 10^{-17} \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$, 透光率 69.8%。

3 讨论

李见森等^[19]的研究结果表明, 柳橙皮可降解膜

的抗拉强度为 24.08 MPa, 断裂伸长率为 15.73%, 水蒸气透过率为 $1.686 \times 10^{-12} \text{ g} \cdot \text{cm}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$ 。孙玉廷^[20]研究结果表明, 番茄皮渣可食用膜的抗拉强度为 13.56 MPa, 断裂伸长率为 12.5%, 氧气透过率为 $2.48 \times 10^{-15} \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$ 。柠檬皮可食用膜的性能和柳橙皮可降解膜的性能接近, 抗拉强度、断裂伸长率及阻气性较番茄皮渣可食用膜好。果蔬可食用膜与其他可食性膜相比, 具有一定的优势, 比如能克服多糖类膜的阻湿性能差、易发黏

的缺点^[21]。本试验优化的柠檬皮可食用膜可应用于糖果的内包装,在食品内包装上具有较大的发展潜力。

参考文献:

- [1] SU Y, YANG B, LIU J, et al. Prospects for replacement of some plastics in packaging with lignocellulose materials: A brief review [J]. *BioResources*, 2018, 13(2): 4550-4576.
- [2] 刘彩琴, 金建昌, 王楠, 等. 藕粉魔芋胶复合可食用膜配方优化研究[J]. *食品工业科技*, 2014, 35(14): 33-38.
- [3] 朱春华, 周先艳, 李进学, 等. 柠檬果实不同发育时期柠檬苦素及主要类黄酮分析[J]. *现代食品科技*, 2018(2): 246-251.
- [4] BELTRÁN J M G, ESPINOSA C, GUARDIOLA F A, et al. Dietary dehydrated lemon peel improves the immune but not the antioxidant status of gilthead seabream (*Sparus aurata* L.) [J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2017, 64: 426-436.
- [5] ZHANG L L, LV S, XU J G, et al. Influence of drying methods on chemical compositions, antioxidant and antibacterial activity of essential oil from lemon peel [J]. *Natural Product Research*, 2018, 32(10): 1184-1188.
- [6] DIAB K A. *In vitro* studies on phytochemical content, antioxidant, anticancer, immunomodulatory, and antigenotoxic activities of lemon, grapefruit, and mandarin citrus peels [J]. *Asian Pac J Cancer Prev*, 2016, 17(7): 3559-3567.
- [7] 艾丹, 胡秋林, 王双, 等. 碎米蛋白可食用膜制备工艺的优化[J]. *粮食与饲料工业*, 2013(3): 17-21.
- [8] 于文喜, 胡长鹰, 王志伟. 天然可食/可降解抑菌膜研究进展[J]. *功能材料*, 2015(17): 17001-17007.
- [9] THAKUR R, SABERI B, PRISTIJONO P, et al. Use of response surface methodology (RSM) to optimize pea starch-chitosan novel edible film formulation [J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2017, 54(8): 2270-2278.
- [10] 国家质量监督检验检疫总局. 中华人民共和国国家标准塑料薄膜和薄片厚度测定——机械测量法: GB/T 6672-2001 [S]. 北京: 中国标准出版社出版, 2001.
- [11] 国家质量监督检验检疫总局. 塑料拉伸性能的测定第3部分: 薄膜和薄片的试验条件: GB/T 1040.3-2006 [S]. 北京: 中国标准出版社出版, 2006.
- [12] 国家质量监督检验检疫总局. 塑料薄膜和薄片气体透过性试验方法——压差法: GB/T 1038-2000 [S]. 北京: 中国标准出版社出版, 2000.
- [13] 韦苇. 塑料薄膜和片材透水蒸气性试验方法的研究[J]. *轻工科技*, 2012(3): 126-127.
- [14] 张智宏, 程春生, 覃宇悦, 等. 壳聚糖/柠檬草精油复合膜的制备及性能研究[J]. *食品工业科技*, 2013(9): 150-153.
- [15] 国家食品药品监督管理总局. 食品国家安全标准食品微生物学检验——菌落总数测定: GB4789.2-2016 [S]. 北京: 中国标准出版社出版, 2016.
- [16] 韩鹏, 黄雨欣, 李雪梅, 等. 植物蛋白酶提取柠檬皮果胶[J]. *食品研究与开发*, 2015(4): 54-57.
- [17] 廖兰. 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.
- [18] 王新伟. 胡萝卜基可食性纸包装材料的研究[D]. 长春: 吉林大学, 2007.
- [19] 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.
- [20] 孙玉廷. 番茄皮渣可食性包装材料的制备与研究[D]. 杭州: 浙江理工大学, 2015.
- [21] 雷晏琳, 彭巧梅, 吴贺君, 等. 可食性果蔬膜包装材料研究进展[J]. *食品工业科技*, 2018(1): 337-341.

(责任编辑: 张震林)