

# 响应面优化明胶-壳聚糖可食性复合膜的制备

钟乐，肖乃玉，翟万京

(仲恺农业工程学院, 广州 510225)

**摘要:** 目的 制备明胶-壳聚糖可食性复合膜, 以期为不同的实际应用提供实验数据和理论依据。方法 利用明胶和壳聚糖的分子结构特点以及聚乙二醇 400 (PEG-400) 等添加物质的性能构效关系, 采用溶液浇注法制得明胶-壳聚糖复合膜, 研究明胶-壳聚糖的质量分数、明胶与壳聚糖的质量比、PEG-400 质量分数对复合膜性能的影响, 并根据 Box-Behnke 中心组合设计原理设计响应面分析试验, 探讨各因素之间的交互作用, 探索出明胶-壳聚糖膜的最佳工艺配方。结果 膜的物理性能受明胶-壳聚糖质量分数、明胶与壳聚糖的质量比、PEG-400 质量分数以及两两交互之间的影响较大。当明胶-壳聚糖的质量分数为 8.5%, 明胶与壳聚糖的质量比为 7:3, PEG-400 质量分数为 10%时, 膜的拉伸强度为 19.53 MPa, 断裂伸长率为 39.82%。结论 所制作膜的透明度、光泽度、表面光滑度、气味及物理性能等各项表征均为良好。

**关键词:** 可食性膜; 明胶-壳聚糖; 响应面; 配方

中图分类号: TB484.6 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2017)19-0098-06

## Gelatin-chitosan Edible Composite Film Preparation through Response Surface Optimization

ZHONG Le, XIAO Nai-yu, ZHAI Wan-jing

(Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225, China)

**ABSTRACT:** The work aims to prepare the gelatin-chitosan edible film, so as to provide the experimental data and theoretical basis for the different practical applications. Based on the features of gelatin and chitosan molecular structures and the performance structure-activity relationship of such additives as polyethylene glycol 400 (PEG-400), the gelatin-chitosan composite film was prepared by the solution casting, so as to study the effect of the gelatin-chitosan mass concentration and mass ratio and the concentration of PEG-400 on the performances of the composite film. Moreover, the response surface analytical test was designed according to the combination design principle of Box-Behnke center to discuss the interaction of all factors and search out the best technological formula of gelatin-chitosan film. The physical property of the film was greatly affected by the gelatin-chitosan mass fraction, mass ratio of gelatin and chitosan, mass fraction of PEG-400 and interactions thereof. Such excessively small or significant effects would not be favorable for the improvement of the film. When the gelatin-chitosan mass fraction was 8.5%, the mass ratio of gelatin and chitosan was 7:3; when the mass fraction of PEG-400 was 10%, the tensile strength of the film was 19.53 MPa and the elongation at break was 39.82%. The transparency, lustrousness, surface smoothness, smell and physical property of the prepared film are well characterized.

**KEY WORDS:** edible film; gelatin-chitosan; response surface; formula

现有用于食品领域的包装材料主要是以塑料和纸张为代表的惰性包装材料<sup>[1-2]</sup>。塑料虽具有阻隔性好、强度高、韧性好等优点, 但所产生的包装废弃物

污染也成为当前世界性环保难题<sup>[3-4]</sup>, 此外, 塑料中有害成分往食品当中的迁移也带来安全隐患<sup>[5-6]</sup>。纸张具有强度低、阻隔性弱、遇水塌陷等弊端, 研制具

收稿日期: 2017-03-15

基金项目: 国家自然科学基金 (51403245); 广东省优秀青年教师培养计划 (KA1548846); 广州市科技计划 (B41520707)  
作者简介: 钟乐 (1984—), 男, 硕士, 仲恺农业工程学院讲师, 主要研究方向为功能包装材料。

有生物相容性、机械强度和阻隔性能较好的包装膜是当代食品包装工业的趋势<sup>[7~10]</sup>。Elham 等<sup>[11]</sup>用小麦的外壳与胶原混合来生产食品包装盒；Sessini 等<sup>[12]</sup>则采用直链淀粉与明胶混合生产可生物降解的包装材料。岳喜庆等<sup>[13]</sup>以鲢鱼为原料提取肌原纤维蛋白，并结合甘油塑化制成可食性蛋白膜。Su 等<sup>[14]</sup>通过溶液浇铸法，用大豆分离蛋白、羧甲基纤维素和甘油制备可食膜。

胶原蛋白是一种优良的天然高分子物质，不仅所含营养价值高，还具有良好的生物相容性、可生物降解性等，特别是其螺旋结构使得胶原蛋白材料具备良好的成膜性和力学性能，但单一的胶原蛋白膜在力学强度等方面尚有不足。壳聚糖是由自然界广泛存在的几丁质经过脱乙酰作用得到的，化学名称为聚葡萄糖胺(1-4)-2-氨基-B-D 葡萄糖。在医药、食品、化工、化妆品、水处理、金属提取及回收、生化和生物医学工程等诸多领域都用广泛的应用。壳聚糖作为成膜材料的研究，近年来频有报道，但制得材料的弹性不足。鉴于此，这里尝试将胶原蛋白与壳聚糖复合，以期获得弹性和力学强度俱佳的复合膜。在食品包装领域发挥胶原蛋白与壳聚糖复合膜真正的应用价值，不仅可保护环境和节约有限的石油资源，而且有利于提高农副产品的附加值。

## 1 实验

### 1.1 材料与仪器

主要材料：明胶（AR），聚乙二醇 400（AR），壳聚糖（AR），西陇化工股份有限公司；乙酸（AR），盐酸（AR），广州化学试剂；双醛淀粉（AR），泰安市变性淀粉有限公司；氢氧化钠（AR），上海化学试剂厂；氯化钠（AR），广州穗欣化工有限公司。主要仪器：GBH 电子拉力试验机，广州标际包装设备有限公司；ZQX-1000 型纸张透气度测定仪，长春市月明小型试验机有限责任公司；YP1201N 电子天平，上海精密科学仪器有限公司；DZKW-4 电子恒温水浴锅，北京中兴伟业仪器有限公司；SB-520017 超声波清洗器，宁波新艺超声设备有限公司；CS101-2D 电热鼓风干燥箱，中外合资重庆四达实验仪器有限公司；S54 型紫外-可见分光光度计，上海棱光技术有限公司。

### 1.2 方法

1) 复合膜的制备。将稀醋酸加入水中，在热处理温度为 60~70 °C 条件下搅拌溶解，依次加入明胶、壳聚糖、增塑剂 PEG-400，然后加入乙酸调节溶液的 pH 值。在 60 °C 条件下热处理 15 min，置于搅拌脱泡机（0.2 MPa）中减压脱泡 30 min，再在玻璃板上流延，待成膜液冷却后置于 60 °C 的烘箱中烘烤 3 h，常温下冷却，再揭膜，制得明胶-壳聚糖可食性复合膜。

2) 膜感官指标的评定。成立 5 个人的评价小组，在无干扰环境下，对壳聚糖-胶原蛋白膜的颜色、气味、透明度、光泽、表面光滑度等进行感官评价。表面光滑度是指所成膜的表面具有的平整程度、膜的厚薄均匀程度、表面气泡多少和细微颗粒的多少；综合评分中总分为 10 分；揭膜程度分 3 级评分，即难、一般、易，分值分别为 0, 2, 4 分；颜色和透光度中淡黄或稍黄透明为 2 分，黄色透明为 1 分，深黄透明为 0.5 分；表面光滑度与光泽度为 3 级评分，即好、一般、差，分值分别为 2, 1, 0 分。最终所制得膜的感官质量评定分数分别为 9, 9, 8.5, 6.5, 6.5 分。

3) 膜透气度的测试。采用 ZQX-1000 型纸张透气度测定仪，按照 GB/T 548 进行测定，试样的尺寸为 60 mm×100 mm，实验面积为 10 cm<sup>2</sup>，透气度  $P_s=V/(\Delta p t)$ ，表示在一定的压差（ $\Delta p$ ）下和规定的时间（ $t$ ）内流出蒸馏水的体积（ $V$ ），单位为 mL/(Pa·s)。

4) 膜吸水率、水分含量、水滴渗漏时间、水蒸气渗透性、拉伸强度和断裂伸长率的测定均采用文献[15]的方法。

## 2 结果与分析

### 2.1 明胶与壳聚糖的质量比

以在溶液中的质量分数计，明胶-壳聚糖的质量分数为 8%，增塑剂 PEG-400 的质量分数为 9%，明胶与壳聚糖的质量比分别为 5:5, 6:4, 7:3, 8:2, 9:1。通过膜的感官评分发现，随着明胶含量的增加，膜的光泽度和透明度下降。明胶与壳聚糖的质量比对拉伸强度和断裂伸长率的影响见表 1。结果显示，明胶与壳聚糖的质量比为 6:4 时，其拉伸强度最大，而明胶与壳聚糖的质量比为 7:3 时的断裂伸长率最大。分析认为，随着明胶含量的增大，其分子间相互作用力的增强，膜力学性能也随之增强，但若继续增大明胶含量，膜的粘度会变大，流动性会下降，涂抹不均匀，透气效果差，导致膜的光泽度和表面平滑度下降。明胶含量过大时，膜会明显变硬，导致断裂伸长率下降。综合考虑，明胶与壳聚糖的最佳质量比为 7:3。

表 1 明胶与壳聚糖的质量比对膜的拉伸强度和断裂伸长率的影响

Tab.1 Influence of the mass ratio of gelatin and chitosan on the tensile strength and the elongation at break of the film

明胶与壳聚糖的质量比	拉伸强度/MPa	断裂伸长率/%
5:5	9.67	206
6:4	18.43	252
7:3	16.94	263
8:2	14.82	239
9:1	12.19	226

## 2.2 明胶-壳聚糖的质量分数

明胶-壳聚糖的质量分数分别为 6.5%, 7.5%, 8.5%, 9.5%, 10.5%, 明胶与壳聚糖的质量比为 7:3, PEG-400 的质量分数为 9%, 明胶-壳聚糖成膜液质量分数对膜力学性能的影响见图 1。

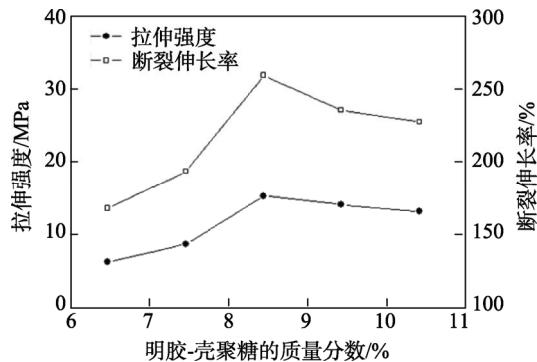


图 1 明胶-壳聚糖质量分数对拉伸强度和断裂伸长率的影响

Fig.1 Influence of gelatin-chitosan mass fraction on the tensile strength and the elongation at break

通过膜的感官评分发现，随着质量分数的增加，膜的光泽度和透明度下降。由图 1 可知，随着明胶-壳聚糖质量分数的增加，膜的拉伸强度和断裂伸长率先增加至峰值后逐渐减弱，明胶-壳聚糖质量分数为 8.5% 时，复合膜的拉伸强度和断裂伸长率同时达到最大值。

## 2.3 PEG-400 质量分数

以在溶液中的质量分数计，PEG-400 的质量分数分别为 8%, 10%, 12%, 14%，明胶-壳聚糖的质量分数为 8.5%，明胶与壳聚糖的质量比为 7:3，PEG-400 质量分数对膜力学性能的影响见图 2。

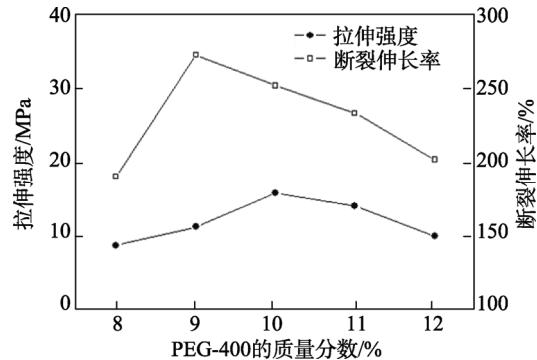


图 2 PEG-400 质量分数对膜拉伸强度和断裂伸长率的影响

Fig.2 Influence of PEG-400 mass fraction on the tensile strength and the elongation at break of the film

通过膜的感官评分发现，随着 PEG-400 质量分数的增加，膜的光泽度和透明度先变好后变差。由图 2 可知，PEG-400 质量分数为 9% 时，膜的断裂伸长率最佳；质量分数为 10% 时，膜的拉伸强度最大。PEG-400 作为增塑剂，较容易进入明胶-壳聚糖的高

聚物分子链之间，破坏高聚物分子链以及分子间的氢键，削弱高聚物分子间的作用力，使膜软化，从而提升其拉伸强度和断裂伸长率，但当 PEG-400 质量分数继续增加时，所形成的膜粘度过大，没有实际应用价值。PEG-400 质量分数在 9%~10% 之间为最佳。

## 2.4 pH 值

以在溶液中的质量分数计，明胶-壳聚糖的质量分数为 8.5%，明胶与壳聚糖的质量比为 7:3，PEG-400 质量分数为 9%，在溶液中添加乙酸，使得膜液 pH 值分别为 2, 3, 4, 5, 6, pH 值对膜力学性能的影响见图 3。

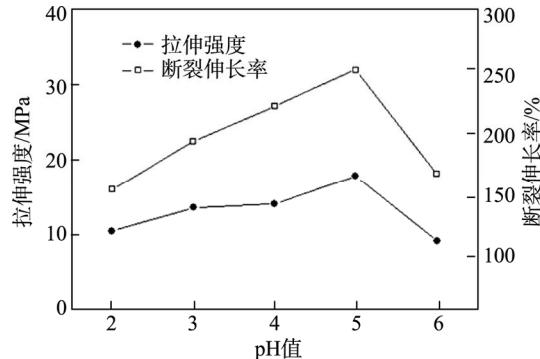


图 3 pH 值对膜拉伸强度和断裂伸长率的影响

Fig.3 Influence of pH on the tensile strength and the elongation at break of the film

通过膜的感官评分发现，随着聚 pH 值的增大，光泽度和透明度逐渐变差。由图 3 可知，pH 值为 5 左右时，拉伸强度最佳。由于明胶分子中同时含有较多的氨基和羧基，在过酸条件下，2 种基团所带电荷下降，导致明胶分子间的氨基和羧基的吸引力弱。当膜液的 pH 值大于 5 时，膜液中的壳聚糖释出，复合膜的拉伸强度与断裂伸长率急剧下降，膜液也变得浑浊。

## 3 成膜工艺优化分析

### 3.1 响应面试验设计

这里以明胶和壳聚糖为基质，添加增塑剂等复合材料制备成胶原蛋白膜。为了使明胶-壳聚糖复合膜成膜工艺达到最优，在单因素分析所得的各种添加剂最佳量的基础上，以 pH 值为不变量，以明胶-壳聚糖的质量分数、明胶与壳聚糖的质量比和 PEG-400 质量分数为自变量，以拉伸强度为响应值，采用 Box-Behnken 中心组合设计原理设计三因素三水平试验和响应曲面分析模块，对各种添加剂的添加量水平进行优化，以得到明胶-壳聚糖复合膜成膜最佳工艺，见表 2。

### 3.2 回归显著性检验与方差分析

根据实验结果，进行回归分析得拉伸强度值 (y)

表2 响应面试验设计  
Tab.2 Design of response surface experiment

试验号	A	B/%	C/%	拉伸强度/MPa
1	4:6	8.5	10	13.65
2	7:3	8.5	10	16.76
3	纯明胶	8.5	14	12.58
4	纯明胶	5	10	11.09
5	4:6	12	10	12.42
6	7:3	5	10	13.17
7	7:3	8.5	6	12.58
8	4:6	5	10	9.53
9	7:3	5	6	9.38
10	纯明胶	12	10	10.29
11	7:3	12	10	14.17
12	纯明胶	8.5	6	9.96
13	纯明胶	12	14	9.13
14	4:6	8.5	6	10.27
15	7:3	12	6	9.76
16	7:3	5	6	9.95
17	4:6	8.5	14	10.43

注：响应面因素水平中 A 为明胶与壳聚糖的质量比（4:6, 7:3, 纯明胶）；B 为明胶-壳聚糖的质量分数（5%, 8.5%, 12%）；C 为 PEG-400 质量分数（6%, 10%, 14%）

的回归关系式： $y=16.49+0.160A+0.58B+0.58C-0.95AB+0.59AC+0.63BC-2.56A^2-3.05B^2-3.22C^2$ 。回归模型的方差分析见表 3。结果表明，该模型效果显著 ( $P<0.0001$ )，决定系数  $R^2=0.9215$ ，校正决定系数为 0.9684。可利用该回归方程确定膜的最佳配方组成。

表3 回归模型的方差分析  
Tab.3 ANOVA of regression model

变异来源	平方和	自由度	均方差	F 值	概率
回归模型	117.98	9	13.11	65.80	<0.0001
A	0.23	1	0.23	1.15	0.3092
B	3.26	1	3.26	16.36	0.0023
C	2.65	1	2.65	13.63	0.0045
AB	3.92	1	3.92	19.67	0.0013
AC	1.49	1	1.49	7.48	0.0210
BC	1.65	1	1.65	8.28	0.0164
$A^2$	27.60	1	27.60	138.55	<0.0001
$B^2$	42.91	1	42.91	215.40	<0.0001
$C^2$	46.93	1	46.93	235.56	<0.0001
残差	1.99	10	0.17		
总变异	119.98	19			

在 PEG-400 质量分数为 10% 的条件下，明胶-壳聚糖的质量分数与明胶与壳聚糖的质量比对拉伸强度的交互作用见图 4。以在溶液中的质量分数计，当明胶-壳聚糖质量分数为 6.5% 时，拉伸强度随着明胶

含量的增加而显著上升，当明胶-壳聚糖质量分数高于 8.5% 后，拉伸强度随着明胶-壳聚糖质量分数的增加而缓慢下降。明胶-壳聚糖质量分数越大，拉伸强度的变化趋势较平稳。

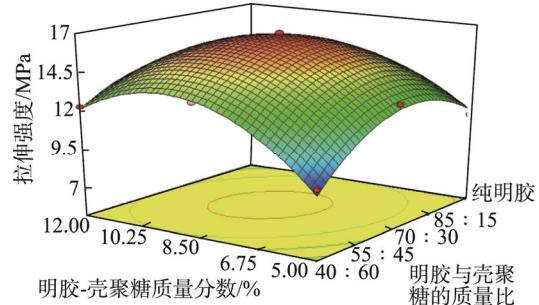


图4 明胶-壳聚糖质量分数和明胶与壳聚糖的质量比的交互作用对膜拉伸强度的影响

Fig.4 The effect of the interaction between the gelatin-chitosan mass fraction and the mass ratio of gelatin and chitosan on the tensile strength of the film

在明胶-壳聚糖的质量分数为 8.5% 的条件下，明胶与壳聚糖的质量比与 PEG-400 质量分数对拉伸强度的交互作用见图 5。随着明胶含量的变化，拉伸强度的变化范围为 10.96~12.58 MPa；随着 PEG-400 质量分数的变化，拉伸强度的变化范围仅为 10.27~13.65 MPa。显然在相同条件下，PEG-400 质量分数对拉伸强度的影响比明胶与壳聚糖的质量比大。

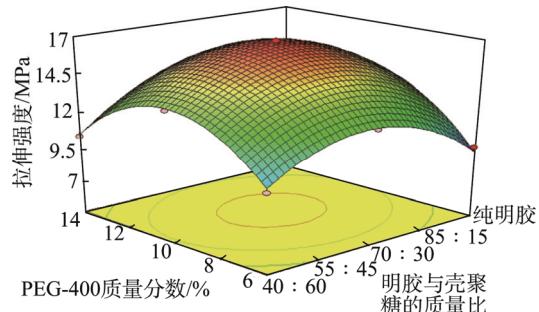


图5 PEG-400 质量分数和明胶与壳聚糖的质量比的交互作用对膜拉伸强度的影响

Fig.5 The effect of the interaction between the PEG-400 mass fraction and the mass ratio of gelatin and chitosan on the tensile strength of the film

在明胶与壳聚糖的质量比为 7:3 的条件下，明胶-壳聚糖质量分数和 PEG-400 质量分数对拉伸强度的交互作用见图 6。拉伸强度随着明胶-壳聚糖质量分数和 PEG-400 质量分数的增加均出现先增后减的现象，两者对膜拉伸强度的影响都较大。PEG-400 质量分数过低，膜易断裂；PEG-400 质量分数过高，膜表面黏软，拉伸强度较小。PEG-400 质量分数过高或过低时，拉伸强度值均不能达到最大值。

经响应面试验模型分析，以在溶液中的质量分数计，明胶和壳聚糖的最佳质量比、明胶-壳聚糖的最佳质量分数、PEG-400 的最佳质量分数分别为

68.9 : 31.1, 8.59%, 10.02%。

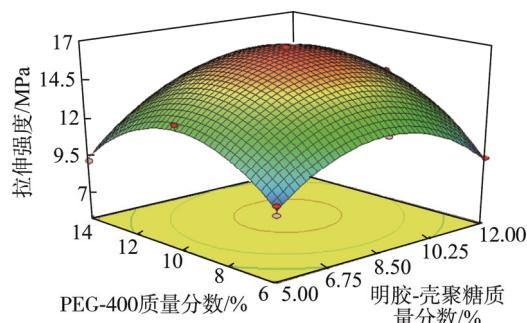


图 6 PEG-400 质量分数与明胶-壳聚糖质量分数的交互作用对膜拉伸强度的影响

Fig.6 The effect of the interaction between the PEG-400 mass fraction and the gelatin-chitosan mass fraction on the tensile strength of the film

### 3.3 响应面优化工艺及验证

由响应面分析软件优化可知, 明胶与壳聚糖的质量比、PEG-400 质量分数对明胶-壳聚糖膜力学性能的影响均达到了显著水平。结合拉伸强度优化的工艺配方, 联系实际情况, 将最佳原料配方修正为: 以在溶液中的质量分数计, 明胶-壳聚糖质量分数为 8.5%, 明胶与壳聚糖质量比为 7 : 3, PEG-400 质量分数为 10%, 膜液的 pH 值为 5。

用明胶-壳聚糖复合膜的最佳配方, 在相同处理条件下制备膜, 进行外观和力学性能表征, 重复试验 3 次, 测得膜的平均拉伸强度为 15.72 MPa, 与模型的预测值 16.49 MPa 相差不大, 测得平均断裂伸长率为 238.17%, 与模型的预测值 245.81% 相差不明显, 可见该模型可反映出膜的成膜条件。

通过感官评价表明, 成膜透明度、光泽度、表面光滑度情况均良好, 揭膜容易。以在溶液中的质量分数计, 当明胶-壳聚糖的质量分数为 8.5%, 明胶与壳聚糖的质量比为 7 : 3, PEG-400 质量分数为 10%, 膜液 pH 值为 5 的条件下, 所制备的明胶-壳聚糖膜, 其各项性能表征均良好(厚度为 0.25 mm, 拉伸强度为 15.72 MPa, 断裂伸长率为 238.17%, 水分含量为 84.93%, 吸水率为 5.75%, 透气率为  $0.0392 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{Pa} \cdot \text{h})$ )。

## 4 结语

以明胶和壳聚糖为成膜基质, 辅以增塑剂, 流延制得可食性复合包装膜, 并通过 Box-Behnken 中心组合设计原理响应面优化得到了成膜的最佳工艺配方, 即明胶-壳聚糖的质量分数为 8.5%, 明胶与壳聚糖的质量比为 7 : 3, PEG-400 质量分数为 10%。

这里所得的明胶-壳聚糖包装膜具有良好的物理性能和透气性, 可有效阻隔外界因素的入侵, 作为食品内包装材料具有广阔的应用前景。同时, 包装膜价

廉、易得、可降解、可食, 对人体和环境都无害, 可满足人们对绿色环保的要求。

## 参考文献:

- [1] CAIO G O, ROBERTO J, AVENA B, et al. Mechanical and Water Barrier Properties of Isolated Soy Protein Composite Edible Films as Affected by Carvacrol and Cinnamaldehyde Micro and Nanoemulsions[J]. Food Hydrocolloids, 2016, 57: 72—79.
- [2] GUTIÉRREZ T J. Surface and Nutraceutical Properties of Edible Films Made from Starchy Sources with and without Added Blackberry Pulp[J]. Carbohydrate Polymers, 2017, 165: 169—179.
- [3] BAHAREH S, RAHUL T, QUAN V, et al. Optimization of Physical and Optical Properties of Biodegradable Edible Films Based on Pea Starch and Guar Gum[J]. Industrial Crops and Products, 2016, 86: 342—352.
- [4] MOURAD J, SAWSSAN H, HANEN B A, et al. Physical, Structural, Antioxidant and Antimicrobial Properties of Gelatin-Chitosan Composite Edible Films[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2014, 67: 373—379.
- [5] 李爱珍, 邵秀芝, 张建华. 可食性大豆分离蛋白膜成膜工艺及保鲜性研究[J]. 粮油加工, 2009, 3(1): 110—113.
- [6] LI Ai-zhen, SHAO Xiu-zhi, ZHANG Jian-hua. Study on Membrane Forming Technology and Preservation of Edible Soy Protein Isolate[J]. Cereals and Oils Processing, 2009, 3(1): 110—113.
- [7] 马丹, 张超, 马越. 热处理对大豆分离蛋白可食性膜性能和结构的影响[J]. 食品科学, 2010, 31(1): 102—104.
- [8] MA Dan, ZHANG Chao, MA Yue. Effect of Thermal Treatment on Mechanical and Barrier Properties and Structure of Soy Protein-isolate Edible Films[J]. Food Science, 2010, 31(1): 102—104.
- [9] SIMON L K, LUDESCHER R D, ERYTHROSIN B. Phosphorescence as a Probe of Oxygen Diffusion in Amorphous Gelatin Films[J]. Food Hydro Colloids, 2004(18): 621—630.
- [10] OJAGH S M, REZAEI M, RAZAVI S H, et al. Development and Evaluation of a Novel Biodegradable Film Made from Chitosan and Cinnamon Essential Oil with Low Affinity toward Water[J]. Food Chemistry, 2010, 150(1): 161—166.
- [11] LI J H, JING M. Preparation and Characterization of Active Gelatin-based Films Incorporated with Natural Antioxidants[J]. Food Hydrocolloids, 2014, 37(1): 166—173.
- [12] GIMÉNEZ B A, LÓPEZ D L. Release of Active Compounds from Agar and Agar-gelatin Films with Green Tea Extract[J]. Food Hydrocolloids, 2013(3): 264—271.
- [13] ELHAM T K, HAJAR S, MAHDIEH M B, et al. De-

- velopment of Edible Films and Coatings from Alginates and Carrageenans[J]. Carbohydrate Polymers, 2016, 137: 360—374.
- [12] SESSINI V, MARINA P A, JOSÉ M K, et al. Processing of Edible Films Based on Nanoreinforced Gelatinized Starch[J]. Polymer Degradation and Stability, 2016, 132: 157—168.
- [13] 岳喜庆, 李伟, 常雪妮. 鲢鱼肌原纤维蛋白可食性膜的制备[J]. 食品研究与开发, 2011(5): 90—92.  
YUE Xi-qing, LI Wei, CHANG Xue-ni. Study on Preparation of the Silver Carp Myofibrillar Protein Edible Films[J]. Food Research and Development, 2011(5): 90—92.
- [14] SU J F, ZHEN H, XIAO Y Y, et al. Structure and Properties of Carboxymethyl Cellulose/soy Protein Isolate Blend Edible Films Crosslinked by Maillard Reactions[J]. Carbohydrate Polymers, 2010, 79(1): 145—153.
- [15] 王琴, 温其标. 生物聚合物基的抗菌包装研究进展[J]. 仲恺农业工程学院学报, 2005, 18(1): 67—73.  
WANG Qin, WEN Qi-biao. Review of Biopolymer-based Antimicrobial Packaging[J]. Journal of Zhongkai University of Agriculture and Engineering, 2005, 18(1): 67—73.