

响应面优化罗非鱼胶原蛋白膜的研制

肖乃玉, 郑万里, 陈少君, 钟国尧

(仲恺农业工程学院, 广州 510225)

摘要:以罗非鱼胶原蛋白为成膜基质,通过单因素试验研究了胶原蛋白、戊二醛、海藻酸钠、甘油对包装膜性能的影响。以胶原蛋白、戊二醛、海藻酸钠、甘油添加量为试验因素,以包装膜的拉伸强度为响应指标,根据 Box-Behnken 中心组合设计原理设计三因素三水平的响应面分析试验,探讨了各因素之间的交互作用,并探索出了胶原蛋白膜的最佳工艺配方。

关键词:罗非鱼; 胶原蛋白; 食品包装膜; 响应面

中图分类号: TS206 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2013)23-0027-06

Preparation of Tilapia Collagen Food Packaging Film by Response Surface Methodology Optimization

XIAO Nai-yu, ZHENG Wan-li, CHEN Shao-jun, ZHONG Guo-yao

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

Abstract: A new kind of packaging film was prepared using tilapia collagen as substrate. The influence of collagen, glutaraldehyde, sodium alginate, and glycerol on the mechanical properties of the edible film was investigated. Response surface analysis test with three factors and three levels was design according to Box-Behnken center composite design principle. Adding amounts of collagen, glutaraldehyde, sodium alginate, and glycerol was used as test factors and tensile strength of the packaging film as response index. The interaction between factors was discussed, and optimum technical formula for tilapia collagen packaging film was obtained.

Key words: tilapia; collagen; food packaging film; response surface methodology

在食品包装中,可降解性包装膜可由蛋白质、多糖、脂肪或三者组合制备。其中胶原蛋白的氨基酸组成和紧密的螺旋结构,使胶原蛋白具有优良的成膜能力,而且所成材料有良好的强度和韧性,得到了国内外研究者的关注^[1-2]。黄任远^[4]以天然的胶原蛋白膜——肠衣为原料,研究了制备胶原蛋白仿生膜的方法,通过改性处理,在保持胶原蛋白膜原有生物相容性、理化稳定性、机械强度的基础上,大大提高了耐热性能。Cup 等^[5]人在 pH=3 条件下研制出的鱼胶原蛋白膜,其功能特性要优于其它的蛋白质膜,尤其是拉伸强度,甚至能和低密度的聚乙烯薄膜相媲美。

胶原蛋白包装膜可以广泛用于各类食品的保鲜,如作为糖果、蜜饯、果脯、糕点等的内包装膜,既美观

又有良好的机械性能,同时也是一种营养载体,成为食品的一种营养强化剂^[6]。此外,胶原蛋白也可作为食品黏合剂制成纤维膜,用做香肠肠衣和肉类、糖果等的包装纸。胶原蛋白胶体在食品表面作为涂层包装材料具有诸多优点:避免食品氧化,抑制了氨基酸和糖类之间的美拉德反应;防止粉末状、颗粒状的糖类食品吸潮产生结块僵硬现象;使食品表面有光泽,提高外观品质;作为稳定剂,能够防止产品干缩变形;具有保鲜和防腐作用,延长食品的保存期等^[7]。

我国罗非鱼养殖业发展迅速,产量大,但是罗非鱼加工产业水平较低,而且罗非鱼在加工过程中会产生 50%~60% 的下脚料没有得到充分利用,因此,从罗非鱼下脚料中提取胶原蛋白,并将其结合其他助剂

收稿日期: 2013-07-02

基金项目: 广东省大学生创新实验基金(1134711002)

作者简介: 肖乃玉(1981-),女,河南信阳人,博士,仲恺农业工程学院副教授,主要研究方向为功能包装材料及包装材料安全性检测。

研制成膜,能提高罗非鱼的精深加工水平和综合利用能力,减轻环境压力,提高罗非鱼产业的经济效益,为罗非鱼深加工提供一条新途径^[8]。鉴于此,文中利用从罗非鱼下脚料中提取的胶原蛋白为基料,辅以增塑剂、交联剂和增稠剂等添加剂,在一定条件下制备胶原蛋白膜,并采用响应面成膜工艺进行优化,确定成膜最佳配方,以期胶原蛋白膜在食品包装中的应用提供理论参考。

1 实验

1.1 药品

实验药品:鱼胶原蛋白,自提取于罗非鱼;D-山梨醇,CP,汕头市西陇化工厂有限公司;丙三醇(AR)、海藻酸钠(AR)、羧甲基纤维素钠(CP)、戊二醛(AR, 25%水溶液)、环氧氯丙烷(AR),西陇化工股份有限公司。

1.2 仪器与表征

实验仪器:DL-1 电子万用炉,北京市永光明医疗仪器厂;DHG-9140A 型电热鼓风干燥箱,广东环凯微生物科技有限公司;KQ5200 型超声波清洗器,昆山市超声仪器有限公司;BS300S-WE1 型电子天平,北京赛多利斯天平有限公司;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;C-MAG HS4 S25 恒温磁力搅拌器,广州仪科实验室技术有限公司。

测量厚度采用广州标际包装设备有限公司生产的 GB-3 型数字测厚仪,以 GB 6672—86 为标准,在整块待测膜上任意选取 5 点,取算术平均值。

透光率采用上海棱光技术有限公司生产的 S54 型紫外-可见分光光度计测得。将膜取样成 5 cm×3 cm 大小,贴在比色皿(1 cm)的一侧,在 500 nm 下测定其透光率,以空皿做空白。

拉伸强度和断裂伸长率的测定:将膜用取样刀取为 15 mm×100 mm 的样品,用广州标际包装设备有限公司的 GBH 电子拉力试验机,参照 GB 13022—91 以 250 mm/min 的速度进行性能测定。

1.3 方法

1) 膜的制备。将胶原蛋白溶液在热处理温度(60~70℃)条件下搅拌溶解,依次加入一定量的增塑剂、交联剂和增稠剂,再在 60~70℃ 条件下热处理 15

min,处理好后放置于超声波清洗器中脱气(60 min),再在玻璃板上流延,待成膜液冷却后置于 60℃ 温度的烘箱中烘干 5 h,干燥后拿出在常温下冷却、揭膜。

2) 膜感官指标评定。成立 5 个人的评价小组,在无干扰环境下,对胶原蛋白膜的颜色、气味、透明度、光泽、表面光滑度等进行感官评价。

3) 膜水分含量、膜吸水率和膜水滴渗漏时间(TP)按照参考文献[9]的方法来测定。

2 结果与分析

2.1 胶原蛋白浓度对膜性能的影响

胶原蛋白的浓度分别为 8%、10%、12%、14%、16%,甘油为 35%,戊二醛为 6%,海藻酸钠为 10%,按照上述方法成膜,所得膜按照胶原蛋白的浓度依次记为 A1、A2、A3、A4、A5。文中胶原蛋白的浓度皆为占整体溶液的质量分数,其余添加剂的浓度皆为占胶原蛋白的质量分数。

所得膜的感官评分见表 1,所得膜无异味,光泽度和透明度良好,但随着浓度的增加光泽度和透明度下降。胶原蛋白浓度对膜的拉伸强度及断裂伸长率的影响见图 1,结果显示随着胶原蛋白浓度的增加,膜的拉伸强度和断裂伸率先增加后下降,拉伸强度在浓度至 10% 时达到最大值,而断裂伸长率在 12% 时达到最大值。造成这种现象的原因可能是由于蛋白质的高浓度有利于改善蛋白质交联键的形成,故膜的机械强度增加,但浓度太大的膜液粘度大,不易脱

表 1 胶原蛋白对膜的感观质量的影响

Tab.1 Influence of collagen on appearance quality of the film

膜	揭膜 难易	颜色和 透明度	光泽 度	异味	表面光 滑度①	综合 评分②
A1	易	黄色透明	好	无	好	9
A2	易	黄色透明	好	无	好	9
A3	易	深黄透明	好	无	好	8.5
A4	易	深黄透明	一般	无	一般	6.5
A5	易	深黄透明	一般	无	一般	6.5

注 ①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。

②综合评分,总分为 10 分,揭膜程度分三级评分,即难、一般、易,分值分别为 0 分、2 分、4 分;颜色和透光度为淡黄或稍黄透明 2 分,黄色透明 1 分,深黄透明 0.5 分;表面光滑度与光泽度为三级评分,即好、一般、差,分值分别为 2 分、1 分、0 分。

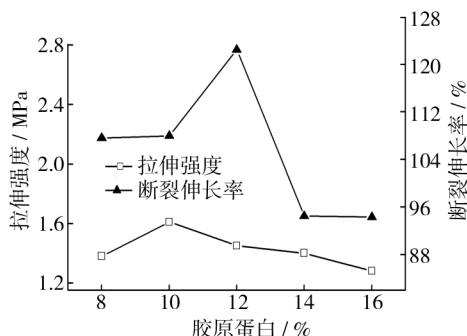


图1 胶原蛋白浓度对膜的拉伸强度及断裂伸长率的影响

Fig. 1 Influence of collagen on tensile strength and elongation of the film

气,涂布厚且不均匀,膜液中会出现未溶解的蛋白质颗粒和气泡,影响蛋白质网络结构的形成;其次,由于胶原蛋白分子中存在一定的分子间作用力,在拉伸强度较低时,蛋白分子之间的作用力会缓冲一部分拉伸能量,使膜变形伸长,断裂伸长率越大;当拉伸强度较高时,由于蛋白质分子间来不及缓冲大量的拉力,膜容易断裂,伸长率较小。由于最高拉伸强度及最大断裂伸长率所对应的胶原蛋白浓度有所差别,故综合考虑胶原蛋白浓度取 10%。

2.2 增塑剂添加量对膜性能的影响

在胶原蛋白膜中添加适量的增塑剂,可减弱蛋白分子间或分子内本身的相互作用,软化膜的刚性结构,使膜能够有效地延展,赋予其柔韧性,使膜变得柔软、有光泽和富有弹性,达到改善机械性能的目的。同时增塑剂可使分子内部氢键减少,增加内部分子空间,从而提高膜的渗透性^[10]。甘油作为一种增塑剂,不但能改善蛋白膜的加工性能,而且对膜的机械性能影响较大,不加或只添加极少量的甘油,所成的膜容易脆裂。

甘油浓度分别为 20%、25%、30%、35%、40%,胶原蛋白为 10%,戊二醛为 6%,海藻酸钠为 10%,所得膜的拉伸强度、断裂伸长率与甘油浓度的关系见图 2。从图 2 可以看出,一定量的甘油能使胶原蛋白膜的机械性能得以改善,而过度的添加反而会使膜变得极其柔软,变形性明显增大,拉伸强度则明显减小。这是因为甘油对凝胶体系中氢键作用力的削弱,以及对蛋白分子的稀释作用增强,致使胶原蛋白膜的拉伸强度产生了变化,而且随着甘油添加量的增大,膜会变得柔软,表面易发粘,导致光滑度降低。综合以上因素,甘油浓度选为 35%。

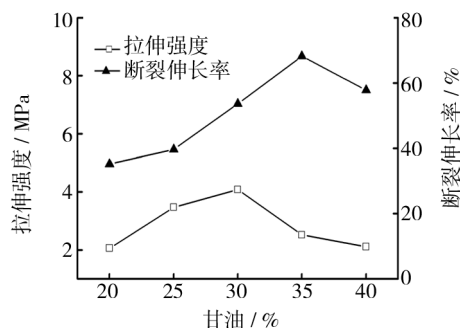


图2 甘油浓度对膜的拉伸强度及断裂伸长率的影响

Fig. 2 Influence of glycerin on tensile strength and elongation of the film

2.3 戊二醛添加量对膜性能的影响

戊二醛浓度分别为 2%、4%、6%、8%、10%,胶原蛋白为 10%,甘油为 35%,海藻酸钠为 10%,按照上述方法成膜,戊二醛浓度对膜的拉伸强度及断裂伸长率的影响见图 3。从图 3 可以看出,随着戊二醛含量的增加,膜的机械强度会先增大,趋于平缓后略微下降。这主要是由于戊二醛中醛基($-CHO$)与胶原蛋白中的氨基($-NH_2$)发生了交联反应,形成的多个蛋白分子交联的网络结构使分子链间的作用力加强,宏观上表现为膜强度的上升。含量较低时,随着交联剂含量的增大,网点密度提高得很快,表现为拉伸强度上升。当戊二醛的含量增加到一定值后,膜的机械强度反而下降,这主要是由于胶原蛋白中的氨基($-NH_2$)数量有限,因此交联剂含量到一定程度后,交联反应趋于饱和。继续提高其含量,膜的强度变化不大,反而会由于过量游离戊二醛的存在影响蛋白分子间作用力,增大了表面粘性,导致膜中气泡增加,降低了机械强度。此外还会导致膜的颜色加深,光泽度和透明度降低。

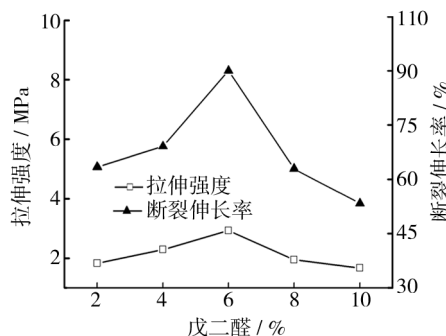


图3 戊二醛浓度对膜的拉伸强度及断裂伸长率的影响

Fig. 3 Influence of glutaraldehyde on tensile strength and elongation of the film

2.4 海藻酸钠添加量对膜性能的影响

海藻酸钠浓度分别为 4% ,6% ,8% ,10% ,12% , 胶原蛋白为 10% ,甘油为 35% ,戊二醛为 4% ,按照上述方法成膜,所得膜为 D1 ,D2 ,D3 ,D4 ,D5。海藻酸钠添加量对膜的感观质量的影响见表 2,当海藻酸钠浓度最低(4%)时,由于浓稠度不够,干燥好后的膜不易被揭起,容易发生断裂;当浓度升高到 10% 时,成膜液黏稠度较高,气体不易排出,表面会产生细小的气泡且不易除去,影响其表面光滑度。海藻酸钠浓度对膜的拉伸强度及断裂伸长率的影响见图 4,当海藻酸钠浓度较低时,所成膜稠度低,粘性差,机械性能差,揭膜时容易收缩断裂,难以揭膜。由于海藻酸钠的相对分子质量较大,分子链也较长,高分子链形成无规则线团,彼此间容易发生缠结,缠结的结果使流动单元变大,增大了流动的阻力,因而会导致黏度增高,影响了揭膜程度。海藻酸钠浓度越大,溶液的黏度也越大,其透气性就越小,其增稠效果越好。

表 2 海藻酸钠添加量对膜的感观质量的影响

Tab.2 Influence of sodium alginate on appearance quality of the film

膜	揭膜难易	颜色和透明度	光泽度	异味	表面光滑度	综合评分
D1	难	黄色透明	好	无	好	5
D2	易	深黄透明	好	无	好	8.5
D3	易	深黄透明	好	无	好	8.5
D4	易	深黄透明	好	无	一般	7.5
D5	易	深黄透明	好	无	一般	7.5

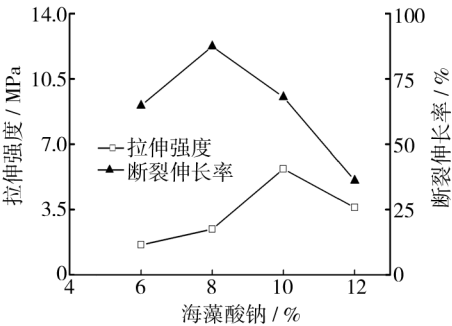


图 4 海藻酸钠浓度对膜的拉伸强度及断裂伸长率的影响

Fig.4 Influence of sodium alginate on tensile strength and elongation of the film

3 胶原蛋白膜的成膜工艺优化分析

3.1 Box-Behnken 中心组合设计及结果

文中以罗非鱼下脚料中提取的胶原蛋白为基质,

添加增塑剂、交联剂和增稠剂等复合材料制备胶原蛋白膜。为了使胶原蛋白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,以胶原蛋白浓度 10% 为不变量,以甘油浓度、戊二醛浓度和海藻酸钠浓度为自变量,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(Response Surface Methodology , RSM)分析模块对各种添加剂的添加量的水平进行优化,以达到胶原蛋白膜成膜最佳工艺的目的。响应面分析因素水平设计见表 3,试验设计与结果见表 4。

表 3 响应面设计因素水平

Tab.3 Factors and levels of response surface design

水平	因素		
	A 甘油浓度/%	B 戊二醛浓度/%	C 海藻酸钠浓度/%
-1	25	4	8
0	30	6	10
1	35	8	12

表 4 响应面试验设计及结果

Tab.4 Design and results of response surface test

试验号	甘油 /%	戊二醛 /%	海藻酸钠 /%	拉伸强度 / MPa
1	25	4	10	3.04
2	30	6	10	4.08
3	30	8	8	3.34
4	25	6	8	3.22
5	25	6	12	2.98
6	30	6	10	4.08
7	25	6	10	3.48
8	35	6	8	2.52
9	35	4	10	3.17
10	30	8	12	3.61
11	35	6	12	3.07
12	35	6	10	3.43
13	30	4	12	3.49
14	30	6	10	4.08
15	35	8	10	3.04
16	30	4	8	3.32
17	25	8	10	3.21

3.2 回归显著性检验与方差分析

根据实验结果,运用 Design-Expert7 软件对表 4 中的实验数据进行二次多元回归拟合分析,回归模型方差分析见表 5,二次多元回归方程:

$$Y=4.10-0.070A+0.023B+0.094C-0.075AB+0.20AC+0.025BC-0.71A^2-0.26B^2-0.42C^2$$

式中:Y 为拉伸强度值;A,B,C 分别为甘油、戊二醛、海藻酸钠的质量分数。

回归方程各变量对指标(响应值)的影响显著性由 F 检验来判定,当可信度 $P<0.05$ 时表明影响显著。可信度越小,则该变量对指标的影响越显著。从表 5 可看出,该模型的一次项、交互项、二次项极显著。由此可见,回归方程可以比较准确地描述各因素与响应值之间的真实关系,可以利用该回归方程确定最佳配方组成。通过响应面分析图可以找到最佳参数,以及各参数之间的相互作用,响应曲面见图 5—7。

表 5 回归模型的方差分析
Tab.5 Analysis of variance for regression equation model

变异来源	平方和	自由度	均方差	F 值	可信度 P
模型	2.81	9	0.31	34.69	<0.0001
A	0.049	1	0.049	5.44	0.054
B	0.041	1	0.041	4.05	0.0238
C	0.070	1	0.070	7.81	0.0267
AB	0.022	1	0.022	2.50	0.1579
AC	0.16	1	0.16	17.34	0.0042
BC	0.025	1	0.025	2.80	0.0615
A^2	1.99	1	1.99	221.06	<0.0001
B^2	0.27	1	0.27	29.91	0.0009
C^2	0.74	1	0.74	81.88	<0.0001
残差	0.063	7	0.090		
总变异	2.87	16			

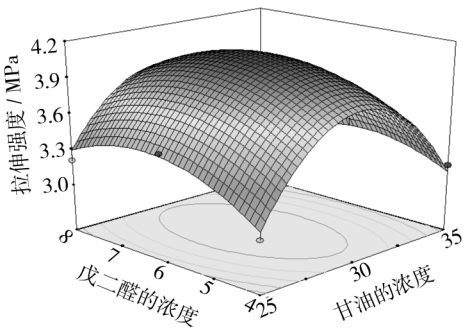


图 5 甘油与戊二醛浓度的交互作用对拉伸强度的影响
Fig.5 Influence of interaction of glycerin and glutaraldehyde concentration on tensile strength of the film

由图 5 显示了因素 C(海藻酸钠浓度)在最佳值(10%)条件下,甘油浓度和戊二醛浓度对拉伸强度的交互作用。随着甘油和戊二醛浓度的增加,拉伸强度在不断的增大,当甘油和戊二醛浓度升高到一定程度后,拉伸强度达到最大;甘油和戊二醛浓度继续升高

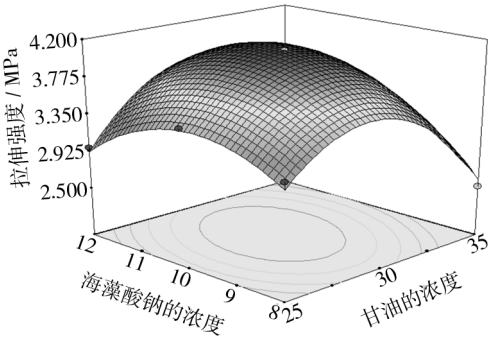


图 6 甘油与海藻酸钠浓度的交互作用对拉伸强度的影响
Fig.6 Influence of interaction of glycerin and sodium alginate concentration on tensile strength of the film

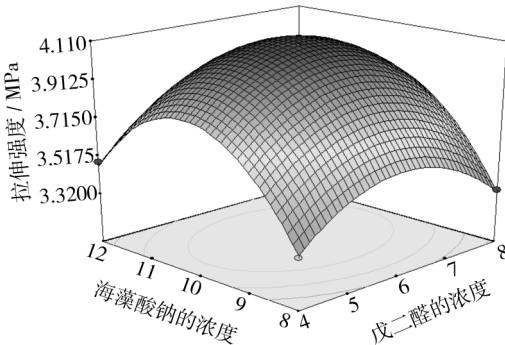


图 7 戊二醛与海藻酸钠浓度的交互作用对拉伸强度的影响
Fig.7 Influence of interaction of glutaraldehyde and sodium alginate concentration on tensile strength of the film

时,拉伸强度又会随之下降。
由图 6 显示了因素 B(戊二醛浓度)在最佳值(6%)条件下,甘油浓度和海藻酸钠浓度对拉伸强度的交互作用。在甘油浓度和海藻酸钠浓度的全取值范围内,拉伸强度的变化趋势是:当甘油浓度为 25% 时,随着甘油浓度的增加而升高,当甘油浓度高于 30% 水平时,随着甘油浓度的增加而下降;随着戊二醛浓度的增加,拉伸强度的变化不大。甘油浓度和海藻酸钠浓度的交互作用在图形中反映出适宜的条件会使拉伸强度达到最大值,但过高或过低都会使胶原蛋白提取量降低。

由图 7 显示了因素 A(甘油浓度)在最佳值(30%)条件下,戊二醛浓度和海藻酸钠浓度对拉伸强度的交互作用。甘油浓度一定时,海藻酸钠浓度的变化对拉伸强度的影响明显高于戊二醛浓度。开始时随戊二醛和海藻酸钠浓度的升高,拉伸强度也增加,但当戊二醛和海藻酸钠浓度升高到一定程度时,拉伸

强度达到最大;当戊二醛和海藻酸钠浓度继续升高时,拉伸强度开始下降。由此可见,戊二醛浓度和海藻酸钠浓度过高或过低时,拉伸强度值均不能达到有最大值。

3.3 响应面优化工艺及验证

由响应面分析软件优化见表3和表4,甘油、戊二醛和海藻酸钠的添加量对胶原蛋白膜的拉伸强度性能的影响均达到了显著水平,经试验模型分析,A,B,C最适值分别为32.81%,6.43%,8.18%。考虑实际情况,结合拉伸强度与断裂伸长率的优化工艺配方,将最佳原料配方修正为:胶原蛋白浓度为10%,甘油浓度为32%,戊二醛浓度为7%,海藻酸钠浓度为

8%。按照上述方法成膜,重复试验3次,测得膜的拉伸强度为3.10,3.24,3.29 MPa,实验均值为3.21 MPa与模型的预测值3.28 MPa 相差不显著,可见该模型可以较好地反映出胶原蛋白膜的成膜条件。所得膜的感官质量评分为8.5分,透明度、光泽度、表面光滑度及气味情况均为良好,揭膜也容易,见表6。所得膜的性能良好,表征见表7。

表6 胶原蛋白膜的外观质量

Tab.6 Appearance quality of the collagen film					
揭膜 难易	颜色和 透明度	光泽 度	异味	表面光 滑度	综合 评分
易	深黄透明	好	无	好	8.5

表7 胶原蛋白膜的性能表征

Tab.7 Characterization of the collagen film

厚度 /mm	拉伸强度 /MPa	断裂伸长率 /%	水分含量 /g	吸水率 /%	水滴渗漏时间 /(min·mm ⁻¹)	水蒸汽透率 /(g·h ⁻¹ ·m ⁻²)	透光率 /%
0.28	3.21	74.38	1.24	1.09	298	0.23	43.1

4 结语

以罗非鱼下脚料中提取的胶原蛋白为基质,添加增塑剂、交联剂和增稠剂等复合材料制备成胶原蛋白膜,以单因素实验来确定胶原蛋白膜中各种材料的影响程度。在此基础上,以胶原蛋白浓度10%为不变量,以甘油浓度、戊二醛浓度和海藻酸钠浓度为自变量,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(Response Surface Methodology,RSM)分析模块对各种添加剂的添加量的水平进行优化,以达到胶原蛋白膜成膜最佳工艺的目的。最优工艺:将浓度为10%的胶原蛋白胶在热处理温度(60~70℃)条件下搅拌溶解,依次加入浓度为32%的甘油、浓度为7%的戊二醛、浓度为8%的海藻酸钠,在60~70℃条件下热处理15 min,处理好后放置于超声波清洗器中脱气(60 min),流延于玻璃板上,待成膜液冷却后置于60℃温度的烘箱中烘干5 h,干燥、冷却、揭膜,此时所得膜的各项性能表征均良好。

参考文献:

[1] 郭兴凤,胡二坤. 制备条件对胶原蛋白膜拉伸特性的影响[J]. 河南工业大学学报(自然科学版),2008,29(1):

4-6.
GUO Xing-feng, HU Er-kun. Effect of Perpetrating Conditions of the Tensile Properties of Collagen Protein Film[J]. Journal of Henan University of Technology(Natural Science Edition),2008,29(1):4-6.
[2] 卢黄华,李雨哲. 草鱼鱼鳞胶原蛋白膜的制备工艺[J]. 华中农业大学学报,2011,30(2):243-248.
LU Huang-hua, LI Yu-zhe. Preparation Technology of Collagen Films From Fish Scales of Grass Carp Cetnophayrngodon Idellus[J]. Journal of Huazhong Agricultural University,2011,30(2):243-248.
[3] 张美云,刘鑫. 胶原蛋白膜的应用和研究进展[J]. 中国皮革,2007,36(3):39-41.
ZHANG Mei-yun, LIU Li. Application and Advance of Collagen Protein Film[J]. China Leather,2007,36(3):39-41.
[4] 黄任远,胡玉龙. 胶原蛋白膜改性技术[J]. 南京工业大学学报,2004,26(4):23-26.
HUANG Ren-yuan, HU Yu-long. Preparation and Modification of Collagen Membrane[J]. Journal of Nanjing University of Technology(Natural Science Edition),2004,26(4):23-26.
[5] CUP B, AYMARD C, CUQ J L, et al. Edible Packaging Films Based on Fish Myofibrillar Proteins:Formulation and Functional Properties[J]. Journal of Food Science,1995,66:1369-1374.

- [4] 赵晓鹏. 中型散装容器的发展[J]. 集装箱化, 2008(2): 29-31.
ZHAO Xiao-peng. Development of Intermediate Bulk Container[J]. Containerization, 2008(2): 29-31.
- [5] 黄春林, 张建强, 沈淞涛. 生命周期评价综论[J]. 环境技术, 2004(1): 29-32.
HUANG Chun-lin, ZHANG Jian-qiang, SHEN Song-tao. Summarize of Life Cycle Assessment[J]. Environmental Technology, 2004(1): 29-32.
- [6] GB/T 24040—1999, ISO 14040 环境管理—生命周期评价—原则与框架[S].
GB/T 24040—1999, ISO 14040 Environmental Management Life Cycle Assessment-Principles and Framework[S].
- [7] 谢明辉, 李丽, 黄泽春, 等. 典型复合包装的全生命周期环境影响评价研究[J]. 中国环境科学, 2009, 29(7): 773-779.
XIE Ming-hui, LI Li, HUANG Ze-chun, et al. Environmental Impact Estimation of Al-PE-Pa Complex Package Using Life Cycle Assessment[J]. China Environmental Science, 2009, 29(7): 773-779.
- [8] 朱世范, 张琦, 陈言, 等. 典型月饼包装的环境影响评价[J]. 包装工程, 2012, 33(1): 37-39.
ZHU Shi-fan, ZHANG Qi, CHEN Yan, et al. Environmental Impact Assessment of Typical Mooncake Packaging[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(1): 37-39.
- [9] 刘羽, 孙超. 低碳环境下食品包装的优化设计[J]. 包装工程, 2012, 33(18): 108-111.
LIU Yu, SUN Chao. The Optimization Design of Food Packaging in Low-carbon Environment[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(18): 108-111.
- [10] LEE S G, XU X. A Simplified Life Cycle Assessment of Reusable and Single-use Bulk Transit Packaging[J]. Packaging Technology and Science, 2004, 17: 67-83.
- [11] ROSS S, EVANS D. The Environmental Effect of Reusing and Recycling a Plastic-based Packaging System[J]. Journal of Cleaner Production, 2003, 11: 561-571.
- [12] CLEARY, J. Life Cycle Assessments of Wine and Spirit Packaging at the Product and the Municipal Scale: A Toronto, Canada Case Study[J]. Journal of Cleaner Production, 2013, 44: 143-151.
- [13] LOSIP A, HORTAL M, DOBON A et al. Comparative Environmental Impact Assessment of Corrugated Board Production[J]. Environmental Engineering and Management Journal, 2010, 9(9): 1281-1287.
- [14] ALBRECHT S, BRANDSTETTER P, BECK T, et al. An Extended Life Cycle Analysis of Packaging Systems for Fruit and Vegetable Transport in Europe[J]. International Journal of Life Cycle Assessment, 2013, 18(8): 1549-1567.
- [15] 刘继永, 杨前进, 韩新民. 瓦楞纸箱全生命周期环境影响评价研究[J]. 环境科学研究, 2008, 21(6): 105-109.
LIU Ji-yong, YANG Qian-jin, HAN Xin-min. Life Cycle Assessment of Environmental Impact of Corrugated Boxes[J]. Research of Environmental Sciences, 2008, 21(6): 105-109.

(上接第 32 页)

- [6] 王丽娜, 黄素珍. 胶原蛋白的研究进展[J]. 肉类研究, 2010, 1(1): 16-22.
WANG Li-na, HUANG Su-zhen. Progress in Collagen Preparation[J]. Meat Research, 2010, 1(1): 16-22.
- [7] 薛新顺, 罗发兴, 罗志刚. 猪皮胶原蛋白的提取及粘度特性研究[J]. 中国胶粘剂, 2006, 16(3): 15-18.
XUE Xin-shun, LUO Fa-xing, LUO Zhi-gang. Research on Viscosity Property and Extracting of Pigskin Collagen[J]. China Adhesives, 2006, 16(3): 15-18.
- [8] 黄东雨, 陈海光, FELICIA K. 海洋鱼类分割加工废弃物的综合利用[J]. 广东农业科学, 2009(9): 144-147.
HUANG Dong-yu, CHEN Hai-guang, FELICIA K. Utilization of the Waste Material From the Filleting Process of Sea Fish[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2009(9): 144-147.
- [9] 肖乃玉, 邱传吉, 马家杰. 南瓜-大豆分离蛋白复合可食性膜的制备[J]. 仲恺农业工程学院学报, 2012, 25(3): 19-22.
XIAO Nai-yu, QIU Chuan-ji, MA Jia-jie. Preparation of Edible Complex Film Made From Pumpkin-soy Protein Isolate[J]. Journal of Zhongkai Agrotechnical College, 2012, 25(3): 19-22.
- [10] SANCHEZ A C, POPINEAR Y. Effect of Different Plasticizers on the Mechanical and Surface Properties of Wheat Gliadin Films[J]. Agric Food Chemical, 1998, 46: 4539-4544.