

草鱼鱼鳞胶原蛋白膜的制备工艺

卢黄华^{1,2} 李雨哲¹ 刘友明^{1,2} 熊善柏^{1,2}

1. 华中农业大学食品科技学院, 武汉 430070; 2. 国家大宗淡水鱼加工技术研发分中心, 武汉 430070

摘要 以酸-酶法提取的草鱼鱼鳞胶原蛋白为材料, 采用倾注法制备胶原蛋白膜, 研究成膜条件、多糖等对鱼鳞胶原蛋白膜(fish scale collagen film, FCF)特性的影响, 考察鱼鳞胶原蛋白膜制备条件。结果表明: 成膜条件、多糖等对鱼鳞胶原蛋白膜特性有显著影响, 适宜的制备工艺条件为成膜温度 45 °C、pH 5、胶原蛋白与壳聚糖配比 6:4, 该条件下胶原蛋白膜的抗张强度为 61.27 MPa, 断裂伸长率为 5.17%。

关键词 草鱼鱼鳞; 胶原蛋白膜; 机械性能

中图分类号 TS 254.9 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2011)02-0243-06

随着我国水产业的发展, 水产品加工越来越引起人们的重视。据统计, 我国每年废弃的鱼鳞达 30 万^[1], 造成鱼鳞资源的浪费。鱼鳞中含有丰富的胶原蛋白, 占鱼鳞有机物含量的 90% 以上^[2]。胶原蛋白(collagen)是一种白色、不透明、无支链的纤维蛋白质, 是重要的功能性蛋白质, 主要存在于动物的皮、骨、软骨、牙齿、肌腱、韧带和血管中, 是结缔组织极其重要的结构蛋白质, 具有支撑器官、保护机体的功能^[3]。由于胶原蛋白的特殊功能, 其提取物已被广泛应用于医药、食品^[4]、日用化工^[5]、生物合成等工业领域, 如医用胶囊^[6]、外科手术材料、食用明胶^[7]、化妆品等。随着人们对食品品质和保藏期要求的不断提高以及人们环保意识的增强, 以天然生物材料制成的可食性包装已成为食品包装领域的研究热点^[8]。为此, 人们便开始寻求从水产动物中提取胶原蛋白, 鱼鳞作为一种安全的胶原蛋白来源逐渐受到人们的重视^[9-10]。虽然国外很早就采用了机械化生产的可食性包装膜^[11], 但主要是以糖类、脂类等为基质的膜^[12]。

笔者从草鱼鱼鳞中提取胶原蛋白, 采用浇注成膜法制作蛋白复合膜, 以蛋白复合膜的工艺及参数为研究对象, 对成膜工艺进行研究, 为蛋白质复合膜工艺的设计和制作以及进一步完善提供可靠的工艺参数。

1 材料与方法

1.1 试验材料

草鱼(grass carp, *Cetnophayrngodon idellus*)鱼鳞, 收集自集贸市场; 胃蛋白酶, 酶活力为 1.75 万 U/g, 诺维信天津公司生产; 其他化学试剂均为国产分析纯。

1.2 仪器设备

SCR20BC 型冷冻离心机, 日立株式会社本社工厂; 722 型可见分光光度计, 上海精密科学仪器有限公司; ALPHAI-5 型真空冷冻干燥机, Germany; TA-XT2i 型物性测试仪, 英国 Stable Micro System 公司; BS-210S 型电子分析天平, 德国 Sartorius 仪器有限公司; 0~25 mm 外径千分尺, 桂林量具刀具厂。

1.3 试验方法

1) 鱼鳞胶原蛋白的酶法制备。参考 Toshiyuki 等^[13]和 Nomura 等^[14]方法, 利用胃蛋白酶制备鱼鳞胶原蛋白, 然后冷冻干燥备用。

2) 鱼鳞胶原蛋白膜的制备。将鱼鳞胶原蛋白制成 2% 胶原蛋白水溶液和 2% 壳聚糖(脱乙酰度 ≥ 90.0%)水溶液按不同质量比混和均匀, 同时调节成膜条件, 在冷冻高速离心机中 8 000 r/min 高速搅拌 10 min。采用倾注法^[15]将配制好并经过真空脱

收稿日期: 2010-10-13

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项基金项目(nycytx-49)

卢黄华, 硕士研究生, 研究方向: 食品科学. E-mail: lhh19850218@126.com

通讯作者: 刘友明, 博士, 副教授, 研究方向: 食品大分子结构及功能特性. E-mail: lym@mail.hzau.edu.cn

气的成膜液水平放置于塑料圆盘中,经鼓风干燥后揭膜即为样品,样品置于干燥器中保存备用。

3)抗张强度及断裂伸长率的测定。参照 GB 13022-91,取 25 mm×5 mm 大小的膜样,用质构仪测定,选用 A/TG 探头。采用 1 次压缩,拉伸模式,测前速度 1 mm/s,测试速度 2 mm/s,测后速度 1 mm/s,最小感应力 5 g。抗张强度定义为单位横截面积上的抗张力^[16]。

$S_T = F/S$ 式中: S_T ,抗张强度,MPa; F ,试样断裂时承受的最大张力,N; S ,试样横截面积,mm²。

$E = (L-L_0)/L_0 \times 100\%$ 式中: E ,断裂伸长率,%; L ,拉伸时膜长度,mm; L_0 ,膜原长度,mm。

4)吸湿率的测定。参照孟陆丽等^[17]方法,取 25 mm×5 mm 大小的膜样,称质量, m_1 ,室温下置于相对湿度为 75% 的密闭器皿中,48 h 后测定各蛋白膜样品质量, m_2 。各蛋白膜样品分别取 5 个不同部位进行测定,取平均值;吸湿率 = $(m_2 - m_1)/m_1 \times 100\%$ 。

5)透光率的测定。将蛋白膜剪裁成合适的大小,紧贴于比色皿的一侧,在 500 nm 的波长下测定其透光率 T ,以空比色皿作为对照^[18]。

6)折叠性能测定。取样品折叠 180°,让其自然恢复,观察膜有无龟裂和龟裂程度,并以此为标准分等级,无龟裂为 A、轻微龟裂为 B、龟裂为 C、完全断裂为 D。

7)数据分析。每个试验重复 3 次,应用 SAS 软件和 Excel 软件进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 成膜温度对胶原蛋白膜性质的影响

分别取一定体积的 2% 胶原蛋白溶液于不同的温度条件下干燥成膜,然后测定其抗张强度和断裂

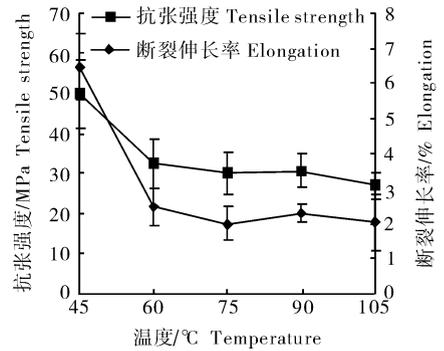


图 1 成膜温度对 FCF 抗张强度和断裂伸长率的影响

Fig. 1 Effect of temperature on tensile strength and elongation at break of FCF

伸长率等性能,成膜温度对鱼鳞胶原蛋白膜性质的影响结果见图 1 和表 1。

由图 1 可以看出,当干燥温度从 45 °C 上升到 105 °C 时,胶原膜的抗张强度和断裂伸长率均大幅下降,60 °C 以后,下降趋势平缓。这是因为随着温度升高,分子运动加剧,减弱了网络结构的稳定性,由于胶原蛋白分子的变性,制成膜的网络结构的致密性在一定程度上被削弱。由表 1 可知,随温度上升,胶原膜的柔韧性和吸湿率降低,溶解性上升,透光率呈现先增后减的趋势并在 90 °C 时达到最高值,随着温度的升高,膜均匀性增大,所以透光率增加,但是随着温度进一步升高,蛋白质开始变性,成膜后均匀性降低,表面出现明显的皱褶,降低了透光率,但膜外观随温度上升无明显变化。

2.2 胶原蛋白厚度对胶原蛋白膜性质的影响

分别取不同体积的 2% 胶原蛋白溶液置于一定面积的塑料圆盘中,使溶液厚度分别为 2、4、6、8、10、12 mm,在其他调节因素相同条件下,60 °C 干燥成膜。胶原蛋白厚度对胶原膜性质的影响结果见图 2 和表 2。

表 1 成膜温度对胶原蛋白膜性能的影响^[1]

Table 1 Effect of temperature on properties of FCF

成膜温度/°C Temperature	吸湿率/% Absorption rate	透光率/% Transmittance	折叠性能 Folding properties	外观 Outward appearance	溶解性 Solubility
45	11.79±0.02 a	45.87±3.19 c	A	透明 Limpidity	溶胀 Swelling
60	10.40±0.03 a	46.47±2.23 c	C	透明 Limpidity	溶胀 Swelling
75	8.75±0.01 b	58.60±2.33 a	D	透明 Limpidity	微溶 Slightly soluble
90	7.76±0.01 b	63.03±1.25 a	D	透明 Limpidity	微溶 Slightly soluble
105	5.98±0.00 c	53.87±4.65 b	D	透明 Limpidity	微溶 Slightly soluble

1)表中的数据是 3 次重复的平均值±标准差,同一列的不同英文小写字母表示经邓肯多重极差测验达到 5% 显著水平,下表同。Data in the column are the means±SD of three repetitions. Different lowercase letters within the same column indicate significant differences by Ducan's multiple range test at 5% level,the same as below.

表 2 胶原蛋白厚度对 FCF 性能影响¹⁾

Table 2 Effect of thickness of collagen solution on function of FCF

胶原蛋白厚度/mm Collagen solution thickness	吸湿率/% Absorption rate	透光率/% Transmittance	折叠性能 Folding properties	外观 Outward appearance	溶解性 Solubility
2	—	—	—	—	—
4	6.96 ± 0.25 c	74.75 ± 0.95 a	A	透明 Limpidity	微溶 Slightly soluble
6	10.40 ± 0.02 a	65.79 ± 0.54 b	B	透明 Limpidity	微溶 Slightly soluble
8	8.17 ± 0.04 b	47.46 ± 0.43 c	B	透明 Limpidity	溶胀 Swelling
10	7.11 ± 0.08 c	40.25 ± 0.78 d	C	透明 Limpidity	溶胀 Swelling
12	6.41 ± 0.12 d	39.17 ± 1.21 d	D	透明 Limpidity	溶胀 Swelling

1) “—”表示不能形成膜。“—”represents not have film ability.

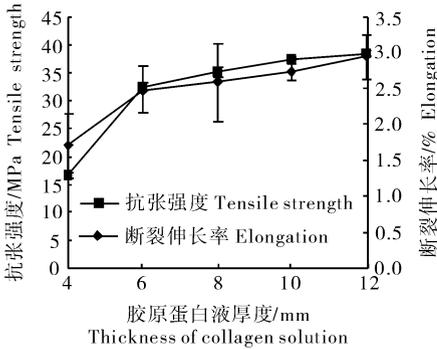


图 2 胶原蛋白厚度对 FCF 抗张强度和断裂伸长率的影响

Fig. 2 Effect of thickness of collagen solution on tensile strength and elongation at break of FCF

由于胶原蛋白在过低的厚度下不利于蛋白质分子之间的交联作用而不易成膜,且不易揭膜,2%的胶原液的最低成膜料液厚度为 4 mm。由图 2 和表 2 可以看出在蛋白膜形成范围内,胶原液厚度增加,膜的抗张强度迅速增大,由 16.7 MPa 扩增至 36.4 MPa,断裂伸长率由 1.70% 增加到 2.94%。由表 2 可知,随着胶原液厚度的增加,其透光率降低,折叠性能下降,溶解性降低,膜外观无明显变化。料液量

表 3 pH 值对胶原蛋白膜性质的影响

Table 3 Effect of pH on properties of FCF

pH	吸湿率/% Absorption rate	透光率/% Transmittance	折叠性能 Folding properties	外观 Outward appearance	溶解性 Solubility
3	5.05 ± 0.03 d	80.20 ± 2.26 a	D	透明 Limpidity	溶解 Soluble
5	10.40 ± 0.01 b	70.78 ± 6.37 b	B	透明 Limpidity	溶胀 Swelling
7	7.74 ± 0.01 c	70.00 ± 3.81 b	B	透明微黄 Transparent yellow	溶胀 Swelling
9	3.94 ± 0.01 e	50.75 ± 1.38 c	D	半透明乳白色 Translucent white	溶胀 Swelling
11	14.07 ± 0.03 a	8.13 ± 0.56 d	D	不透明白色 Opaque white	微溶 Slightly soluble

由图 3 可以看出,随着成膜液 pH 值的上升,胶原蛋白膜的抗拉强度和断裂伸长率均呈现先增后减的趋势,在 pH 值为 7.0 时出现最大值。由表 3 可知,pH 值对胶原膜的透光率和外观影响较大,酸性条件下蛋白膜呈无色透明,碱性条件下偏白,在 pH 值为 11.0 时,胶原膜为不透明白色,较易溶于水,且

过多使干燥时间加长,透光率和柔韧性降低。采用 2% 的胶原蛋白溶液,最佳成膜液厚度为 6 mm,胶原膜的机械特性和透光率均较好。

2.3 pH 值对胶原蛋白膜性质的影响

蛋白溶解性、分子间构象以及分子间相互作用与 pH 值有关,因此 pH 值对蛋白膜的性能有极其重要的影响。pH 值对胶原蛋白膜的性质的影响见图 3 和表 3。

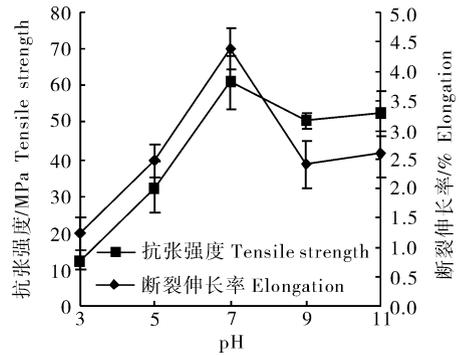


图 3 pH 值对 FCF 抗张强度和断裂伸长率的影响

Fig. 3 Effect of pH on tensile strength and elongation at break of FCF

柔韧性降低,这主要是因为 pH 值大于 7 时成膜的表面有白色物质附着,影响光的透过率,随着 pH 值增加,胶原蛋白溶解性增加。

2.4 添加壳聚糖对胶原蛋白膜性质的影响

壳聚糖与胶原在分子水平上具有较好的共混性,二者之间会产生静电吸引作用和较强的氢键交

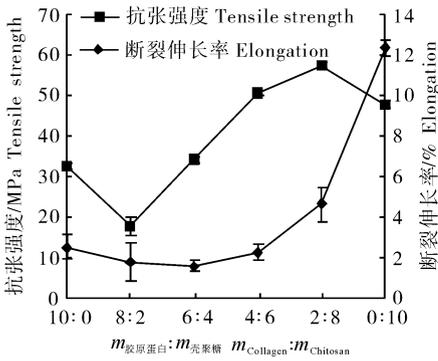


图 4 添加壳聚糖对 FCF 抗张强度和断裂伸长率的影响

Fig. 4 Effect of addition of chitosan on tensile strength and elongation at break of FCF

联作用^[19]。配制胶原蛋白与壳聚糖不同比例的成膜液,并于 60 °C 干燥成膜。添加壳聚糖对胶原蛋

白膜性质的影响结果见图 4 和表 4。

由图 4 可以看出,随着壳聚糖添加量的增加,胶原膜的抗张强度上升,断裂伸长率也随着壳聚糖的添加比例增加而呈上升趋势。由表 4 可知,添加壳聚糖降低了胶原蛋白膜的吸湿率,改善了它的抗水性能,柔韧性提高,对膜的外观和透光率影响不大。综合考虑,胶原蛋白与壳聚糖质量比为 8 : 2 时,胶原蛋白膜的性质较好。

2.5 鱼鳞胶原蛋白膜制备条件的优化

在单因素试验基础上,选择壳聚糖添加比例、成膜温度和成膜液 pH 值作为试验因素,以抗张强度和断裂伸长率为评价指标,设计 L₉ (3³) 正交试验,试验设计及结果见表 5,方差分析和均值分析见表 6 和表 7。

表 4 添加壳聚糖对 FCF 性质影响

Table 4 Effect of addition of chitosan on properties of FCF

<i>m</i> _{胶原蛋白} : <i>m</i> _{壳聚糖} <i>m</i> _{Collagen} : <i>m</i> _{Chitosan}	吸湿率/% Absorption rate	透光率/% Transmittance	折叠性能 Folding properties	外观 Outward appearance	溶解性 Solubility
10 : 0	10.40 ± 0.03 a	74.13 ± 0.76 a	部分断裂 Partial rupture	透明 Limpidity	溶胀 Swelling
8 : 2	5.23 ± 0.12 b	48.47 ± 0.88 c	部分断裂 Partial rupture	透明 Limpidity	溶胀 Swelling
6 : 4	8.14 ± 0.08 b	52.53 ± 0.56 c	部分断裂 Partial rupture	透明 Limpidity	溶胀 Swelling
4 : 6	8.11 ± 0.05 b	51.90 ± 0.72 c	稍有折痕 Slight crease	透明 Limpidity	溶胀 Swelling
2 : 8	6.24 ± 0.11 b	61.10 ± 0.99 b	稍有折痕 Slight crease	透明 Limpidity	溶胀 Swelling
0 : 10	13.16 ± 0.15 a	45.73 ± 0.44 c	稍有折痕 Slight crease	透明 Limpidity	溶胀 Swelling

表 5 正交试验结果

Table 5 The orthogonal experiment results

序号 Number	试验因素 Experimental factors			指标 Index	
	A. <i>m</i> _{胶原蛋白} : <i>m</i> _{壳聚糖} <i>m</i> _{Collagen} : <i>m</i> _{Chitosan}	B. pH	C. 温度/°C Temperature	抗张强度/MPa Tensile strength	断裂伸长率/% Elongation
1	2 : 8	5.0	45	49.72 ± 0.67	2.64 ± 0.31
2	2 : 8	7.0	60	10.50 ± 0.34	1.14 ± 0.13
3	2 : 8	9.0	75	12.40 ± 0.55	1.63 ± 0.06
4	4 : 6	5.0	60	51.35 ± 0.43	3.11 ± 0.19
5	4 : 6	7.0	75	6.06 ± 0.47	2.60 ± 0.26
6	4 : 6	9.0	45	33.75 ± 0.12	1.00 ± 0.30
7	6 : 4	5.0	75	49.10 ± 0.23	2.70 ± 0.15
8	6 : 4	7.0	45	30.18 ± 0.80	7.65 ± 0.09
9	6 : 4	9.0	60	7.01 ± 0.68	4.34 ± 0.20

由表 6 可知,pH 值和温度对膜的抗张强度均有极显著影响,而胶原蛋白与壳聚糖配比对膜的抗张强度无影响;胶原蛋白与壳聚糖配比对膜的断裂伸长率有极显著影响,而 pH 值和温度对膜的断裂伸长率有影响。由表 7 可知,成膜的最佳条件组合为 A₂B₁C₁,即鱼鳞胶原蛋白与壳聚糖的配比为 6 : 4,pH 值 5,温度 45 °C。在此条件下成膜,胶原蛋白膜的抗张强度和断裂伸长率都较好,鱼鳞胶原蛋白膜的抗张强度 61.27 MPa,断裂伸长率 5.17%。

表 6 正交试验方差分析 (F/α)

Table 6 Analysis of variance on orthogonal experiment (F/α)

指标 Index	方差来源 Variance source		
	A. <i>m</i> _{胶原蛋白} : <i>m</i> _{壳聚糖} <i>m</i> _{Collagen} : <i>m</i> _{Chitosan}	B. pH	C. 温度 Temperature
抗张强度/MPa Tensile strength	1.65/0.22	60.15/0.00	12.34/0.00
断裂伸长率/% Elongation	15.92/0.00	3.19/0.06	3.04/0.07

1) α ≤ 0.05 为显著 Significance; α ≤ 0.01 为极显著 Quite significant.

表7 正交试验结果的均值分析¹⁾

Table 7 The mean value analysis of orthogonal experiment results

指标 Index	A. <i>m</i> 胶原蛋白 : <i>m</i> 壳聚糖 <i>m</i> Collagen : <i>m</i> Chitosan			B. pH			C. 温度/℃ Temperature		
	2 : 8	4 : 6	6 : 4	5.0	7.0	9.0	45	60	75
抗张强度 Tensile strength/MPa	24.21 a	30.39 a	28.76 a	50.06 a	15.58 b	17.72 b	37.88 a	22.95 b	22.52 b
断裂伸长率 Elongation/%	1.80 b	2.23 b	4.90 a	2.82 ab	3.80 a	2.32 b	3.76 a	2.86 ab	2.31 b

1)小写字母表示同行数据之间差异性($P < 0.05$)。Different lowercase letters indicate significant differences in the same row at the same treatment conditions.

3 讨论

胶原蛋白结构和功能特点的多样性和复杂性决定了它在许多领域的重要地位以及广阔的应用前景。随着人们环境意识和健康意识的提高,可食性胶原蛋白膜将以其可食、无污染、保鲜效果好、使用方便等特点,成为未来食品包装材料的发展趋势。以胶原蛋白作为主要原料,辅以甘油、氯化钙等添加剂,可制成可食性蛋白膜,用于糖果、蜜饯、果脯、糕点等的内包装膜,不仅具有良好的外观和机械性能,而且可作为一种营养载体,成为食品的一种营养强化剂。胶原蛋白还可用于制作复合保鲜膜,用于肉类保鲜,效果显著。但从目前国内外的情况来看,可食性蛋白膜普遍存在机械强度不足、耐水性差、热封性差、透明度不好以及成本高等问题,目前还很难适应食品包装多功能性的要求。

本试验采用倾注法制备经酸-酶法提取的鱼鳞胶原蛋白的胶原蛋白膜,成膜条件、多糖等对鱼鳞胶原蛋白膜特性有显著影响。随温度上升,胶原蛋白膜的抗张强度和断裂伸长率均大幅下降;胶原蛋白膜厚度增加,抗张强度和断裂伸长率均增加;pH值增加,膜的抗张强度和断裂伸长率先上升后下降,在中性条件下比较容易成膜;随着壳聚糖添加比例的增加,抗张强度逐渐增加,但断裂伸长率先上升后下降。经正交试验优化,在成膜温度45℃、pH值5、胶原蛋白与壳聚糖的配比6:4时所制备的鱼鳞胶原蛋白膜的性能最好,抗张强度61.27 MPa,断裂伸长率5.17%。对开发鱼鳞胶原蛋白复合膜以改善膜特性有着重要意义。

参 考 文 献

[1] 刘文涛,李国英,缪煜清,等.鱼鳞的研究现状及应用前景[J].水利渔业,2006,26(1):20-23.

- [2] 张俊杰,段蕊,薛婉丽,等.鲤鱼鱼鳞在盐酸脱钙过程中的变化[J].氨基酸和生物资源,2009,31(1):44-47.
- [3] 任俊莉,付丽红,邱金玉.胶原蛋白的应用及其发展前景[J].中国皮革,2003,32(23):16-20.
- [4] 申锋,杨莉莉,熊善柏,等.胃蛋白酶水解草鱼鱼鳞制备胶原肽的工艺优化[J].华中农业大学学报,2010,29(3):387-391.
- [5] 薛兴福.绿色胶原蛋白食品包装膜的研制[D].成都:四川师范大学图书馆,2004:18-20.
- [6] 陈秀芳,肖刚,许时婴,等.可食用膜通透性的测定[J].食品科学,1997,18(6):12-15.
- [7] 郭瑶,曾名勇,崔文莹.水产胶原蛋白及胶原多肽的研究进展[J].水产科学,2006,25(2):101-104.
- [8] LUIS M R, RUBEN J H, PERRY K W N, et al. Development and characterization of biodegradable/edible wheat protein films[J]. Journal of Food Science, 1997, 62(1):160-162.
- [9] MILLER A T. Current and future uses of limed hide collagen in food industry[J]. Journal of the American Leather Chemists, 1996, 91:183-189.
- [10] 陈晶,刘友明,熊善柏,等.复合蛋白酶与风味蛋白酶分步水解鱼骨蛋白工艺的优化[J].华中农业大学学报,2007,26(5):704-708.
- [11] 岳晓华,沈月新.可食性壳聚糖膜性能的研究[J].食品科学,2002,23(8):62-68.
- [12] 马春辉,舒子斌,林炜,等.可食性胶原包装膜的研究进展[J].中国皮革,2001,30:8-10.
- [13] IKOMA T, KOBAYASHI H, TNAKA J, et al. Physical properties of type I collagen extracted from fish scales of *Pagrus major* and *Oreochromis niloticus* [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2003, 32:199-204.
- [14] NOMURA Y, SAKAI H, ISHII Y, et al. Preparation and some properties of type I collagen from fish scales[J]. Bioscience Biotechnology and Biochemistry, 1996, 60:2092-2094.
- [15] 韩翠萍,霍贵成,满娜,等.利用谷氨酰胺转氨酶生产乳清浓缩蛋白膜的初步研究[J].食品工业,2007,28(6):39-37.
- [16] 钱曼.鱼鳞胶原蛋白的提取及胶原海绵的制备研究[D].武汉:华中农业大学图书馆,2008.
- [17] 孟陆丽,程谦伟,田少君.存放时间对植物蛋白膜的影响研究[J].食品工业科技,2006,27(9):153-156.
- [18] JONGJAREONRAK A, BENJAKUL S, VISESSANGUAN W, et al. Characterization of edible films from skin gelatin of

brown stripe red snapper and big eye snapper[J]. *Food Hydrocolloids*, 2006, 20: 492-501.

[19] 赵宏霞, 邹翰. 胶原/壳聚糖复合膜的制备及止血效果的研究[J]. *上海生物医学工程*, 2001, 22: 50-52.

Preparation technology of collagen films from fish scales of grass carp *Cetnophayrngodon idellus*

LU Huang-hua^{1,2} LI Yu-zhe¹ LIU You-ming^{1,2} XIONG Shan-bai^{1,2}

1. *College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;*

2. *National R&D Branch Center For Conventional Freshwater Fish Processing(Wuhan), Wuhan 430070, China*

Abstract Collagen was extracted from grass carp scale with acid-enzyme combination-method for preparing fish scale collagen film (FCF) by the plate pouring method. The film-forming conditions and chitosan on the properties of gelatin film were studied to optimize the preparation conditions of FCF. The results showed that the conditions forming scales and polysaccharides have significant effects on the fish scale collagen membrane characteristics. The optimum conditions were 45 °C, pH 5, collagen/chitosan = 6 : 4. The tensile strength was 61.27 MPa, and elongation at break was 5.17%.

Key words grass carp scale; collagen film; mechanical properties

(责任编辑: 陆文昌)