

兔皮明胶提取工艺优化

于 玮¹, 王雪蒙¹, 马 良^{1,2}, 张宇昊^{1,2,*}

(1.西南大学食品科学学院, 重庆 400716; 2.西南大学 国家食品科学与工程实验教学中心, 重庆 400716)

摘要: 以兔皮为原料, 研究稀盐酸短时诱导兔皮制备明胶的工艺。以明胶提取率和凝胶强度为评价指标, 对兔皮明胶制备工艺中的盐酸质量分数、盐酸处理时间、提胶pH值、提胶温度4个因素进行了优化, 在此基础上通过正交试验确定最佳工艺为盐酸质量分数1%、盐酸处理时间10 min、提胶温度65 °C、提胶pH 4。在此工艺条件下明胶提取率高达(86.85±1.71)%, 凝胶强度为(481.43±16.89)g。明胶基本性质符合GB 6783—2013《食品添加剂: 明胶》要求。

关键词: 兔皮; 明胶; 提取; 提取率; 凝胶强度

Optimization of Gelatin Extraction from Rabbit Skin

YU Wei¹, WANG Xuemeng¹, MA Liang^{1,2}, ZHANG Yuhao^{1,2,*}

(1. College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400716, China;

2. National Food Science and Engineering Experimental Teaching Center, Southwest University, Chongqing 400716, China)

Abstract: The extraction induced by short-term treatment with dilute hydrochloric acid of gelatin from rabbit skin was investigated in the current work. Optimization of 4 process parameters including HCl concentration, HCl treatment time, extraction pH and temperature for improved extraction yield and gel strength of gelatin was implemented using an orthogonal array design. The optimum extraction conditions were determined as follows: 10 min treatment with 1% HCl and subsequent extraction in water acidified to pH 4 at 65 °C. Under these conditions, the yield and gel strength of gelatin were (86.85 ± 1.71)% and (481.43 ± 16.89) g, respectively. The basic properties of rabbit skin gelatin met the requirements of the Chinese national standard (GB 6783—2013).

Key words: rabbit skin; gelatin; extraction; yield; gel strength

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201610001

中图分类号: TS209

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2016)10-0001-05

引文格式:

于玮, 王雪蒙, 马良, 等. 兔皮明胶提取工艺优化[J]. 食品科学, 2016, 37(10): 1-5. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201610001. <http://www.spkx.net.cn>

YU Wei, WANG Xuemeng, MA Liang, et al. Optimization of gelatin extraction from rabbit skin[J]. Food Science, 2016, 37(10): 1-5. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201610001. <http://www.spkx.net.cn>

明胶是由动物皮肤、骨、肌膜、肌腱等结缔组织中的胶原部分降解而成的天然生物高分子材料之一, 被广泛应用于食品工业^[1]。常作为食品的胶凝剂、稳定剂、乳化剂、增稠剂、发泡剂、澄清剂等广泛应用于甜点、低脂糊状食品、奶制品、烘烤食品和肉类产品等各类食品中^[2-3]。

传统的明胶主要以牛、猪等牲畜的皮骨为原料生

产, 近年来受到疯牛病和口蹄疫等人畜共患病的影响, 不少国家限制或禁止牛、猪来源的明胶生产、进口或使用; 另一方面, 由于宗教信仰, 印度教和伊斯兰教地区不接受猪源明胶产品^[4-5]。以水产加工副产物为原料开发明胶作为传统猪、牛源明胶的替代物成为研究重点, 但是水产明胶的凝胶特性较哺乳动物明胶差, 大大限制了其应用范围^[6-8]。因此, 以新型哺乳动物源为原料开发高

收稿日期: 2015-09-14

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(31301425); 中央高校基本科研业务费重大项目(XDJK2015A015); 中央高校基本科研业务费团队项目(2362014xk11); 中国博士后科学基金面上项目(2014M562267); 中国博士后科学基金特别资助项目(2015T80951); 第四批重庆市高等学校优秀人才支持计划项目

作者简介: 于玮(1989—), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品化学与营养学。E-mail: 1192342295@qq.com

*通信作者: 张宇昊(1978—), 男, 教授, 博士, 研究方向为蛋白和生物活性肽。E-mail: zhy1203@163.com

品质明胶产品取代猪、牛源明胶、水产明胶已成为明胶行业的发展新方向。

2005年我国一跃成为世界上兔肉生产第一大国,2013年我国兔肉产量约80万t,占世界兔肉总产量的40%。兔肉加工产业发展迅速,但宰杀兔子产生大量兔皮,肉兔兔皮附加值较低,因此如何利用作为副产物的兔皮,提高其附加值,成为目前兔加工企业迫切需要解决的问题。兔子属于哺乳动物且兔皮明胶可以克服传统哺乳动物源明胶在宗教和疫病方面的局限,同时兔皮明胶开发可以增加兔皮附加值。由此可见,建立兔皮明胶生产工艺,制备高品质兔皮明胶已成为当务之急。

本实验以兔皮为原料,对影响明胶制备工艺的多种因素进行了系统研究,明确了明胶制备的最佳工艺参数。并对兔皮明胶的理化特性进行测定,旨在为实现兔皮明胶产业化提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

新鲜伊拉兔皮 重庆市北碚区西南大学屠宰场。

盐酸、氯化钠、硫酸、硫化钠、氢氧化钙、氢氧化钠、石油醚(30~60℃)、硫酸铜、硫酸钾、硼酸、乙醇、一水柠檬酸、无水乙酸钠、氯胺T、对二甲氨基苯甲醛、高氯酸、正丙醇、异丙醇、甲醇、溴化钾(均为分析纯) 成都市科龙化工试剂厂;羟脯氨酸(分析纯) 上海楷洋生物技术有限公司。

1.2 仪器与设备

JA3003B电子天平 上海精天电子仪器有限公司; QL 901 Vortex旋涡混合器 海门市其林贝尔仪器制造有限公司; 752紫外-可见分光光度计 上海菁华科技有限公司; PHS-25型数显酸度计 杭州雷磁分析仪器厂; 4-6型马弗炉、8002型温控水浴锅 北京永光明医疗仪器厂; SHZ-B水浴恒温振荡器、CJ-78-1磁力搅拌器 上海将任实验设备有限公司; 5810型台式高速离心机 德国Eppendorf公司; 101-4-S电热恒温鼓风干燥箱 上海跃进医疗器械厂; HX-1005恒温循环器 郑州长城科工贸有限公司; TA.XT2i物性测定仪 英国Stable Micro System公司。

1.3 方法

1.3.1 兔皮及明胶基本成分测定

水分含量:直接干燥法,依照GB 5009.3—2010《食品中水分的测定》^[9]进行测定;脂肪含量:索氏抽提法,依照GB/T 5009.6—2003《食品中脂肪的测定》^[10]进行测定;蛋白质含量:凯氏定氮法,依照GB 5009.5—2010《食品中蛋白质的测定》^[11]进行测定;灰分含量:马弗炉高温灼烧法,依照GB 5009.4—2008《肉与肉制品:总

灰分测定》^[12]进行测定;胶原蛋白测含量(以羟脯氨酸计):分光光度法,依照GB/T 9695.23—2008《肉与肉制品:羟脯氨酸含量测定》^[13]进行测定。

1.3.2 明胶提取率的计算

$$\text{明胶提取率}/\% = \frac{\text{提取明胶质量}}{\text{兔皮中胶原蛋白质量}} \times 100$$

1.3.3 凝胶强度测定

参照GB 6783—2013《食品添加剂:明胶》^[14]中凝胶强度的测定方法,配制质量分数为6.67%的明胶溶液,并在(10±0.1)℃恒温循环器中凝冻16~18h,采用TA.XT2i物性测定仪测定凝胶强度。用SMSP/0.5圆柱型探头以1mm/s的下压速率压入凝胶4mm,得出凝胶强度数值^[15]。以上实验重复3次。

1.3.4 透射比测定

参照GB 6783—2013^[14]中凝胶强度的测定方法,配制质量分数为6.67%的明胶溶液,并恒温至48℃。将分光光度计波长分别调节到450、620nm,以水作基准校准仪器,将溶液倒入10mm比色皿中,在45℃条件下测定试样溶液的透射比。透射比直接用2个波长的透射百分比(%)来表示,结果保留整数位。以上实验重复3次,结果取平行测定结果的算术平均值。在重复性条件下获得的2次独立结果的绝对差值应不大于1%。

1.3.5 明胶的提取工艺

新鲜兔皮→前处理(浸泡、去脂肪)→脱毛→清洗→修剪→去除杂蛋白→明胶化处理(盐酸处理)→提胶→离心→干燥→成品明胶

1.3.5.1 前处理

新鲜的兔皮水洗去污,按1:20料液比将兔皮置于0.1g/mL的NaCl溶液,浸泡24h,刮除皮下脂肪后,沥干水分。

1.3.5.2 脱毛、修剪

将脱毛剂(5%的Na₂S溶液添加到Ca(OH)₂至糊状)均匀涂于兔皮上^[16],室温条件下放置4h,去毛清洗后将兔皮切成约2mm×3mm的小块。

1.3.5.3 去除杂蛋白

按1:5的料液比将兔皮浸泡于0.01g/mL的NaCl溶液,以去除杂蛋白(浸泡时用磁力搅拌器搅拌6h,每2h换一次液),浸泡完后用纯水洗3~4次,真空包装冻藏备用。

1.3.5.4 明胶化、提胶

称一定质量的皮块,按1:6的料液比加入一定质量分数盐酸溶液浸泡一段时间,浸泡完后洗涤至接近中性以备提胶;然后按1:3的比例加去离子水,调节pH值,于一定温度条件下水浴振荡提取6h,过滤,胶液于8500r/min离心25min,收集上清液于烘箱中60℃烘干,即为成品明胶。

1.3.6 明胶化工艺单因素试验

单因素试验的基本条件为盐酸质量分数1%、盐酸处理时间1 h、提胶pH 4、提胶温度60 °C。改变其中1个条件，固定其他条件以分析盐酸质量分数、盐酸处理时间、提胶温度、提胶pH值对明胶化效果（明胶提取率和凝胶强度）的影响。各因素梯度分别为盐酸质量分数：0、0.1%、0.5%、1%、2%、3%、4%；盐酸处理时间：0、1/12、1/4、1/2、1、6、12、24 h；提胶pH值：3、4、5、6、7、8；提胶温度：30、40、50、60、70 °C。每个因素重复试验3次，结果取平均值。

1.3.7 正交试验

通过单因素试验确定盐酸质量分数、盐酸处理时间、提胶温度3个因素的水平范围，以提取率和凝胶强度为明胶化效果评价指标进行正交试验，试验因素水平设计见表1。

表1 正交试验因素水平设计

Table 1 Factors and levels used in orthogonal array tests

水平	因素		
	A盐酸质量分数/%	B盐酸处理时间/min	C提胶温度/°C
1	0.5	5	60
2	1.0	10	65
3	1.5	15	70

1.4 数据分析

数据分析处理采用Microsoft Excel 2010和SPSS 17.0软件。每次设置3个平行实验，数据以 $\bar{x} \pm s$ 表示。

2 结果与分析

2.1 兔皮化学成分组成

表2 兔皮化学成分

Table 2 Chemical composition of rabbit skin

成分	粗脂肪	粗蛋白	胶原蛋白	总灰分	水分
质量分数/%	5.63±0.32	18.25±0.66	13.58±0.24	0.31±0.01	77.27±0.35

由表2可看出，兔皮的胶原蛋白含量近15%，占总蛋白的74%，是提取和利用胶原蛋白的理想原料。兔皮中脂肪含量明显低于猪皮等哺乳动物的皮，可以大大缩短浸酸的周期^[17]。

2.2 盐酸质量分数对明胶提取率及凝胶强度的影响

酸浸泡可以破坏胶原非共价键，利于胶原溶出，增强胶原的明胶化程度，使可溶性明胶在热提取过程中转化^[18-19]。由图1可以看出，盐酸质量分数在0.5%以内，明胶提取率、凝胶强度均随盐酸质量分数的增加极显著提高（ $P < 0.01$ ）。这是因为盐酸质量分数在0.5%以内时，胶原非共价键被破坏，胶原溶出，使明胶化程度增强。盐酸质量分数为1%时，提取率达到最大值

（84.69±2.11）%，随着盐酸质量分数的进一步增大提取率和凝胶强度均无显著性变化（ $P > 0.05$ ）。证明过程中1%~4%的盐酸对兔皮进行1 h的盐酸处理后，原料明胶化程度无显著差异。由此确定盐酸较优质量分数为1%。

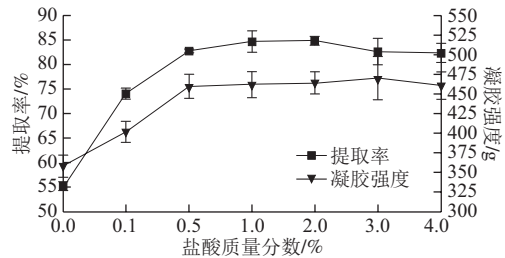


图1 盐酸质量分数对提取率和凝胶强度的影响

Fig. 1 Effect of HCl concentration on the yield and gel strength of gelatin

2.3 盐酸处理时间对明胶提取率及凝胶强度的影响

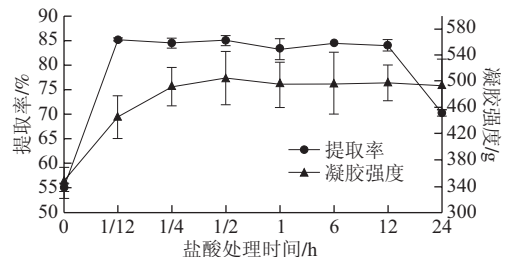


图2 盐酸处理时间对提取率和凝胶强度的影响

Fig. 2 Effect of HCl treatment time on the yield and gel strength of gelatin

研究表明鸡皮、鱼皮需酸或碱处理2~4 h，有时甚至10 h以上才能打破胶原非共价键和分子间的共价键，才能使胶原明胶化更容易转化为可溶的明胶^[4-5,20]。从图2可以看出，盐酸处理1/12 h（5 min），兔皮明胶提取率达到（85.13±0.45）%，凝胶强度达（446±32.50）g，这表明兔皮胶原比其他动物胶原更易明胶化。盐酸处理时间超过5 min后，提取率无显著变化（ $P > 0.05$ ）；1/4 h（15 min）后凝胶强度无显著性变化（ $P > 0.05$ ）。说明5~15 min盐酸处理可破坏兔皮胶原蛋白分子内和分子间的非共价键交联，使后期热水提胶过程中，水分子更易进入胶原分子链间的空隙，造成维持胶原分子三螺旋结构的一些次级键断裂，有利于胶原亚基组分的溶出^[16,20-21]，从而获得高提取率和高凝胶强度的明胶。综合考虑，较适盐酸处理时间范围为5~15 min。明胶生产制造过程中，长时间酸或碱处理会降低生产效率，由此可见，兔皮是一种很好的明胶提取来源。

2.4 提胶pH值对明胶提取率及凝胶强度的影响

由图3可知，pH值在4以下时，随提胶pH值升高明胶提取率及凝胶强度均无显著性差异。pH 3时提取率达到最高（84.02±0.83）%，pH 4时凝胶强度最高为（491±14.77）g。随提胶pH值进一步升高，明胶提取率

及凝胶强度均呈下降趋势。这是因为一方面pH值升高酸性降低, 胶原降解程度减小; 另一方面酸性处理的胶原等电点在7~8, 接近等电点处其溶解性降低, 造成提取率较低, 凝胶强度低, 明胶品质相对较差^[22-24]。综合考虑, 确定提胶pH值固定在4.0。提胶pH值对明胶凝胶强度影响不显著, 故不作为正交试验考虑因素。

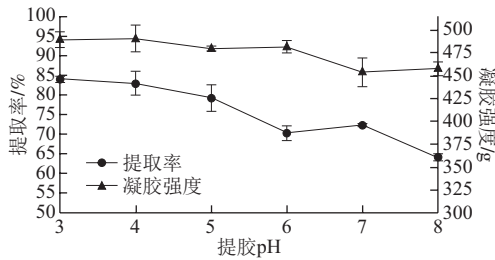


图3 提胶pH值对提取率和凝胶强度的影响

Fig. 3 Effect of extraction pH on the yield and gel strength of gelatin

2.5 提胶温度对明胶提取率及凝胶强度的影响

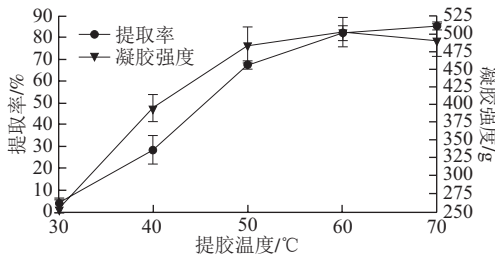


图4 提胶温度对提取率和凝胶强度的影响

Fig. 4 Effect of extraction temperature on the yield and gel strength of gelatin

如图4所示, 提胶温度为60℃时, 提取率为(81.99±3.32)%, 凝胶强度为(497±20.42)g, 两项指标均显著高于50℃时的值($P<0.05$)。加热可以断开胶原分子三螺旋结构的次级键及部分肽键, 使胶原分子的单链、少量聚集体和单链断裂组分进入溶液^[20,23,25], 溶胶转变为明胶。50℃以下时提胶温度相对较低胶原转化为明胶的速率慢, 明胶提取率较低。温度升高胶原转化为明胶加速, 随提胶温度的进一步升高, 凝胶强度显著降低($P<0.05$), 明胶提取率则呈现略微升高趋势。这是因为温度过高, 肽链发生肽链的断裂, 形成了更多的分子量较小的肽链小片段, 尽管提取率逐渐增加, 由于相对分子质量减小而使得明胶的凝胶强度下降^[20,23,26]。因此, 综合考虑, 较适提胶温度为60~70℃。

2.6 兔皮明胶正交试验结果

由表3可知, 三因素对明胶提取率的影响次序为提胶温度、盐酸处理时间、盐酸质量分数, 但对凝胶强度的

影响次序为提胶温度、盐酸质量分数、盐酸处理时间, 二者存在差异, 因此进行方差分析。结果显示在正交范围内盐酸处理时间、盐酸质量分数和提胶温度这3个因素的明胶凝胶强度均值间差异均不显著, 但提取率差异显著, 故以明胶提取率为指标进行工艺参数的优化。根据分析结果, 得到最优条件为 $A_2B_3C_3$, 综合考虑经济和环境因素, 确定最佳工艺为 $A_2B_2C_2$: 提胶温度65℃、盐酸处理时间10 min、盐酸质量分数1%、提胶pH 4。在此条件下, 明胶提取率可达(86.85±1.71)%, 凝胶强度可达(481.43±16.89)g。

表3 正交试验设计及结果
Table 3 Orthogonal array design with experimental results

试验号	A盐酸质量分数	B盐酸处理时间	C提胶温度	提取率/%	凝胶强度/g
1	1	1	1	71.942	577.90
2	1	2	2	83.947	513.30
3	1	3	3	86.049	477.50
4	2	1	2	84.985	484.05
5	2	2	3	89.341	481.95
6	2	3	1	83.312	580.40
7	3	1	3	84.101	435.80
8	3	2	1	78.131	490.35
9	3	3	2	88.868	514.10
k_1	80.647 ^a	80.340 ^a	77.793 ^a		
k_2	85.877 ^b	83.807 ^b	85.933 ^b		
k_3	83.700 ^b	86.077 ^b	86.497 ^b		
R	5.230	5.737	8.704		
k_1'	522.900 ^a	499.250 ^a	549.550 ^a		
k_2'	515.467 ^a	495.200 ^a	503.817 ^a		
k_3'	480.083 ^a	524.000 ^a	465.083 ^a		
R'	42.817	28.800	84.467		

注: 同一指标同列数据肩标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

2.7 兔皮明胶的基本性质

表4 兔皮明胶基本性质
Table 4 Chemical properties of rabbit skin gelatin

指标	兔皮明胶	GB 6783—2013要求值
粗蛋白含量/%	93.55±1.42	—
胶原蛋白含量/%	88.54±0.28	—
总灰分含量/%	0.418±0.019	≤2
水分含量/%	4.732±0.135	≤14
凝胶强度/g	481.43±16.89	≥50
透射比/%	61.66±0.88 (620 nm)	≥50
	45.23±0.47 (450 nm)	≥30

注: 一, 无规定。

通过单因素试验和正交试验分析, 得到盐酸法制备兔皮明胶最优工艺组合, 由表4可知, 该工艺制备的兔皮明胶提取率较高, 凝胶强度、透射比等各项指标均达到GB 6783—2013要求, 可成为水产品、猪、牛源明胶的有效替代品。

3 结论

通过单因素试验和正交试验分析,得到盐酸法制备兔皮明胶最优工艺组合为盐酸质量分数1%、盐酸处理时间10 min、提胶温度65℃、提胶pH 4,在此条件下明胶提取率可达(86.85±1.71)%,凝胶强度可达(481.43±16.89)g。

稀盐酸诱导兔皮处理时间短且明胶的提取率高,凝胶强度和透射率均达到GB 6783—2013要求。稀盐酸短时诱导对兔皮明胶品质的影响及相关机制尚需进一步探讨。

参考文献:

- [1] 周梦柔,张雨浩,陈丽清,等.基于微观结构的明胶凝胶强度改善研究进展[J].食品工业科技,2013,34(13):395-399. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2013.13.085.
- [2] KARIM A, BHAT R. Fish gelatin: properties, challenges, and prospects as an alternative to mammalian gelatins[J]. Food Hydrocolloids, 2009, 23(3): 563-576. DOI:10.1016/j.foodhyd.2008.07.002.
- [3] 潘杨. 鲢鱼鱼鳞明胶的制备及其性质研究[D]. 无锡: 江南大学, 2008.
- [4] SARBON M, BADI F, HOWELL N K. Preparation and characterisation of chicken skin gelatin as an alternative to mammalian gelatin[J]. Food Hydrocolloids, 2013, 30(1): 143-151. DOI:10.1016/j.foodhyd.2012.05.009.
- [5] SAI-UT S, JONGJAREONRAK A, RAWDKUEN S. Re-extraction, recovery, and characteristics of skin gelatin from farmed giant catfish[J]. Food and Bioprocess Technology, 2012, 5(4): 1197-1205. DOI:10.1007/s11947-010-0408-3.
- [6] PROMMAJAK T, RAVIYAN P. Physical properties of gelatin extracted from skin of Thai panga fish (*Pangasius bocourti* Sauvage)[J]. Food and Applied Bioscience Journal, 2013, 1(3): 131-145.
- [7] ALFARO A D T, GRACIANO F G, EVELLIN B, et al. Characterization of wami tilapia (*Oreochromis urolepis hornorum*) skin gelatin: microbiological, rheological and structural properties[J]. Food Science and Technology International, 2013, 20(5): 373-381.
- [8] GOMEZ-GUILLEN M C, TUMAY J, FEMANDEZ-DIAZ M D, et al. Structural and physical properties of gelatin extracted from different marine species: a comparative study[J]. Food Hydrocolloids, 2002, 16(1): 25-34. DOI:10.1016/S0268-005X(01)00035-2.
- [9] 卫生部. GB 5009.3—2010 食品中水分的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [10] 卫生部. GB/T 5009.6—2003 食品中脂肪的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
- [11] 卫生部. GB 5009.5—2010 食品中蛋白质的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [12] 国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 9695.18—2008 肉与肉制品: 总灰分测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
- [13] 国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 9695.23—2008 肉与肉制品: 羟脯氨酸含量测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [14] 国家卫生和计划生育委员会. GB 6783—2013 食品添加剂: 明胶[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
- [15] SILVA R S G, BANDEIRA S F, PINTO L A A. Characteristics and chemical composition of skins gelatin from cobia (*Rachycentron canadum*)[J]. LWT-Food Science and Technology, 2014, 57(2): 580-585. DOI:10.1016/j.lwt.2014.02.026.
- [16] 冯文坡, 祁元明, 汤克勇. 兔皮 I 型胶原的提取, 改性与性能研究[J]. 北京理工大学学报, 2010, 30(10): 1231-1234. DOI:10.15918/j.tbit1001-0645.2010.10.018.
- [17] 《明胶生产工艺及设备》编写组. 明胶生产工艺及设备[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1996: 14-175.
- [18] CHEN Liqing, MA Liang, ZHOU Mengrou, et al. Effects of pressure on gelatinization of collagen and properties of extracted gelatins[J]. Food Hydrocolloids, 2014, 36: 316-322. DOI:10.1016/j.foodhyd.2013.10.012.
- [19] 陈丽清, 张宇昊, 周梦柔, 等. 猪皮明胶提取过程中的超高压预处理工艺优化[J]. 农业工程学报, 2012, 28(19): 262-269.
- [20] 张宇昊, 马良, 谢祥. 巴沙鱼皮明胶提取工艺及性质研究[J]. 食品科学, 2009, 30(24): 88-92.
- [21] 张宇昊, 马良, 师萱. 鱼皮明胶的超高压辅助提取工艺[J]. 食品科学, 2011, 32(6): 99-103.
- [22] 邓海燕. 鸡皮明胶的制备及性质研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2004.
- [23] 刘丽娜. 鲷鱼皮明胶的制备及其功能性质研究[D]. 无锡: 江南大学, 2008.
- [24] 刘安军, 石清, 朱振元, 等. 猪骨明胶的提取工艺研究[J]. 现代食品科技, 2010, 26(5): 519-522.
- [25] 许昌鑫. 鳕鱼排中蛋白质和鱼骨明胶的提取研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014.
- [26] 陈莹艳, 陈运中. 草鱼鱼鳞明胶的提胶工艺及特性研究[J]. 粮油加工(电子版), 2014(2): 77-80.