

任梦婷,孙若文,尹涛,等. 鲢鱼鳞冻预制菜的熬煮工艺优化及其凝胶特性[J]. 华中农业大学学报, 2023, 42(1): 170-177.
DOI: 10.13300/j.cnki.hnlkxb.2023.01.021

鲢鱼鳞冻预制菜的熬煮工艺优化及其凝胶特性

任梦婷,孙若文,尹涛,尤娟,熊善柏

华中农业大学食品科学技术学院/国家大宗淡水鱼加工技术研发分中心(武汉)/
环境食品学教育部重点实验室,武汉 430070

摘要 为高值化利用鲢鱼鳞加工制备鱼鳞冻预制菜,采用响应面实验设计法研究熬煮温度、熬煮时间、卡拉胶用量、水鳞比4个变量对得率、凝胶强度的影响,优化鲢鱼鳞冻的熬煮加工工艺参数,并采用差示扫描量热法、核磁成像和动态流变等方法研究鱼鳞冻的凝胶特性。结果显示,对鱼鳞冻得率和凝胶强度影响最大的因素为水鳞比。随着水鳞比增加,鱼鳞冻的得率逐渐增加,而凝胶强度逐渐下降。针对得率及凝胶强度进行综合评分,得到优化后的熬煮工艺条件为:以水和鱼鳞的总质量为100%计,水鳞比3:1,熬煮温度80℃,熬煮时间90 min,卡拉胶用量1%,经过验证试验,得到鱼鳞胶产品的得率3.62%,凝胶强度为206.59 g·mm,综合加权分为145.699。鱼鳞冻中自由水比例超过89%,融化温度为24~28℃。随着水鳞比的增加,自由水含量逐渐增加,移动性增强;弹性模量和热焓值逐渐下降。结果表明,鲢鱼鳞可用于新型凝胶类预制菜加工。

关键词 鲢; 鱼鳞冻; 预制菜; 熬煮工艺; 凝胶特性; 水产品加工

中图分类号 TS254.4 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2023)01-0170-08

鲢是我国“四大淡水鱼”之一,为滤食性鱼类,具有生长速度快、抗病能力强、可改善水质的优点,常与其他鱼类混合养殖。2021年我国鲢产量约384万t^[1]。水产品加工副产物包括鱼皮、鱼鳞、鱼骨等,其中鱼鳞占副产物总质量的2%~5%^[2]。在生产中,部分鱼鳞可用来提取胶原蛋白,但是加工过程中需要用酸或碱进行脱钙,给环境治理增加压力^[3-4]。因此,亟需拓展鲢鱼鳞加工的新途径,以提升其附加值。

“预制菜”是指一类通过现代化、标准化方式集中生产,再经冷冻或真空包装储存,以“半成品”状态销售的菜。淡水鱼预制菜因食用方便,受到众多消费者的青睐,市场份额逐步增加,具有广阔的市场前景。预制菜行业的蓬勃发展,为鱼鳞冻的流通提供了条件。

鲢主要用于鱼糜加工,其副产物中的鱼鳞易集中回收、清洁度高,适合用于鱼冻预制菜加工。从鱼鳞中提取的胶原蛋白经加工制成鱼鳞冻,安全营养,含有大量水溶性胶原蛋白,有补钙、美容、强身、健脑的功效,与其他胶原蛋白相比,鱼鳞冻更易被人体消

化吸收,且制作工艺简单,无需大型设备即可完成。顾杨娟等^[5]研究了草鱼鱼鳞冻的工艺优化,得出最佳提胶温度为100℃,时间为2 h,在酸处理条件下料水比为1:5,未前处理和酶处理条件下料水比为1:4。李燕等^[6]采用感官评价及折曲试验的方法来设计实验,得出熬煮时间为90~120 min,水鳞比为2:1~3:1时产品呈最佳状态。

然而,目前未见鲢鱼鳞冻预制菜加工工艺和特性研究的相关报道。因此,本研究采用响应面试验设计方法,以得率和凝胶强度为目标参数,对鲢鱼鳞冻熬煮工艺进行优化,进一步对制备的鲢鱼鳞冻的凝胶特性进行表征,以期对鲢鱼鳞的增值利用提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

鲢鱼鳞由湖北省洪湖市井力水产股份有限公司提供,将其用自来水漂洗后备用。卡拉胶购自山东省滕州市香凝生物工程有限责任公司。

收稿日期: 2022-10-04

基金项目:中央高校基本科研业务费专项(2662020SPPY007);财政部和农业农村部国家现代农业产业技术体系项目(CARS-45)

任梦婷, E-mail: rmt@webmail.hzau.edu.cn

通信作者: 尹涛, E-mail: yintao@mail.hzau.edu.cn

1.2 仪器与设备

数显恒温水浴锅,上海力辰邦西仪器科技有限公司;YP 30002电子天平,上海衡际科学仪器有限公司;TA-XT plus型质构仪,英国Stable Micro System公司;DSC204型差示量热扫描仪,德国耐驰公司;NMI20-025V-I低场核磁共振(low frequency nuclear magnetic resonance, LF-NMR)仪,苏州纽曼分析仪器股份有限公司;AR-2000ex动态流变仪,英国TA公司。

1.3 鱼鳞冻的制备工艺

鱼鳞冻的加工工艺流程为:鲢鱼鳞→解冻→清洗→加自来水、卡拉胶熬煮→过滤→冷藏→包装。

鲢鱼鳞在室温条件下解冻后,用自来水漂洗干净,除去表面的血迹及黏液,沥干,备用。设置一定的水鳞比、熬煮温度、熬煮时间及卡拉胶含量,用保鲜膜封口,防止水分蒸发。水浴加热提胶,用滤网(筛孔孔径0.85 mm)过滤滤液,将滤液置于4℃冷藏,滤液呈凝胶状后进行包装,冷藏。

1.4 熬煮工艺优化设计

参考顾杨娟等^[5]及李燕等^[6]的制备工艺参数,采用响应面设计方法,选择水鳞比、熬煮温度、熬煮时间、卡拉胶用量4个变量3个水平,设计29组试验,分别测定样品的得率和凝胶强度。本试验采用综合加权法评价样品性质。设定评价指标顺序为凝胶强度>得率,凝胶强度和得率指标的权重系数分别为0.7、0.3。综合评分=凝胶强度×0.7+得率×0.3。响应面设计见表1。

表1 响应面设计因素与水平
Table 1 Factors and levels of response surface experiment design

| 水平 | A 水鳞比 Water to scale ratio | B 熬煮温度/℃ Simmering temperature | C 熬煮时间/min Simmering time | D 卡拉胶用 量/% Carra- geenan dosage |
|----|-------------------------------------|---|------------------------------------|--|
| -1 | 3:1 | 80 | 60 | 0.6 |
| 0 | 4:1 | 90 | 90 | 0.8 |
| 1 | 5:1 | 100 | 120 | 1.0 |

1.5 得率的计算

称取成品鱼鳞冻质量为 m_1 ,沥干后鱼鳞质量为 m_2 ,每个样品取3个平行测3次,取平均值。得率计算如下:

$$\text{得率} = \frac{m_1}{m_2} \times 100\%$$

1.6 凝胶强度的测定

参考张芷芸等^[7]的方法测定,并做适当修改。采

用TA-XT plus质构仪测定凝胶强度,参数设定:使用P/0.5S探头,下压高度为4 mm,下压速度为1.0 mm/s。凝胶强度为破断力与破断距离的乘积($g \cdot mm$)。每组样品,测定3个平行样,取平均值。

1.7 鱼鳞冻的凝胶性质测定

称取备用的鲢鱼鳞30 g,分别设置水鳞比为3:1、4:1、5:1,以水和鱼鳞的总质量为100%计,添加0.8%卡拉胶,在90℃水浴锅中反应90 min,经滤网(筛孔孔径0.85 mm)过滤后置于4℃环境中密封冷藏。所制备的鱼鳞冻分别用于动态流变学、热力学及水分分布测试。

参考沙小梅等^[8]的方法测定流变学特性,取一定量的鱼鳞冻样品置于载物台与圆形平板(直径为4 cm)之间,用手术刀切除多余的样品,载物台与平板间隙为1 000 μm 。将液体石蜡逐滴加到保温盖的缝隙中,防止水分蒸发。采用温度扫描方式,参数设置如下:振动频1 Hz,应变力0.5%,从5℃加热到45℃,升温速度为5℃/min。

准确称取鱼鳞冻5~10 mg于40 μL 铝质坩埚中,压盖密封,利用空坩埚作为参比。所使用的气体为氮气,反应气流速20 mL/min,干燥气流速60 mL/min。由5℃升至45℃,升降温速度:2℃/min。利用PeakFit v 4.12软件对DSC曲线进行分析,得出吸热转变峰温度(T_p)和热焓值(ΔH)。

将低温环境下保存的鱼鳞冻切成5 cm×5 cm大小块状,待用。进行低场核磁信号采集,首先对Q-FID序列进行单次采样后,用标样寻找中心频率(SF_1)和偏移频率(O_1)。再利用CPMG脉冲序列设定采样参数:频率主值(SF)20 MHz,偏移频率(O_1)620 117.20 Hz,90°脉宽(P_1)9.52 μs ,180°脉宽(P_2)18.48 μs ,接收机带宽(SW)200 kHz。在完成信息收集后,使用反演对话框重建算法SIRT进行100万次的迭代计算,得到横向弛豫时间(T_2)。

1.8 数据处理

数值为“平均值±标准差”,每组试验重复3次。采用Design-Expert和SPSS 26.0对数据进行处理,LSD检验($\alpha=0.05$)。采用Origin 2019绘图。

2 结果与分析

2.1 熬煮工艺优化结果

鱼鳞冻熬煮工艺的响应面设计结果见表2,采用Design-Expert对表2数据进行分析,得到水鳞比(A)、

熬煮温度(B)、熬煮时间(C)、卡拉胶用量(D)与综合加权分(Y)的回归方程为： $Y=79.96 - 33.33A - 9.11B + 4.02C + 9.90D + 7.38AB - 1.90AC - 0.57AD + 0.17BC - 1.91BD + 1.98CD + 14.35A^2 - 7.15B^2 + 0.040C^2 - 1.54D^2$ 。模型的方差分析结果见表3。综合加权分二次多项回归模型的F值为11.27，P值

为0.000 1，相关系数 $R^2=0.918 5$ ，表明模型拟合度好，可用于预测和验证鲢鱼鳞冻工艺优化后的参数值。由表3可见，水鳞比及卡拉胶用量对鲢鱼鳞冻的综合加权分影响极显著($P<0.01$)，熬煮温度的影响显著($P<0.05$)，熬煮时间及其他交互项的影响不显著($P>0.05$)。

表2 响应面实验设计与结果

Table 2 Experimental design and results

| 编号 Number | A | B | C | D | 得率/% Yield rate | 凝胶强度/(g·mm) Gel strength | 综合加权分(Y) Comprehensive weighted score |
|--------------|----|----|----|----|--------------------|-----------------------------|--|
| 1 | -1 | 0 | 1 | 0 | 2.28 | 195.60 | 137.604 |
| 2 | 0 | -1 | -1 | 0 | 3.19 | 126.73 | 89.668 |
| 3 | 0 | 0 | -1 | -1 | 3.37 | 86.88 | 61.827 |
| 4 | 1 | -1 | 0 | 0 | 4.09 | 85.50 | 61.077 |
| 5 | 0 | 0 | 1 | -1 | 3.37 | 105.23 | 74.672 |
| 6 | -1 | 1 | 0 | 0 | 2.03 | 137.51 | 96.866 |
| 7 | 1 | 0 | 1 | 0 | 4.27 | 87.10 | 62.251 |
| 8 | 0 | 0 | -1 | 1 | 3.30 | 108.10 | 76.660 |
| 9 | 0 | 1 | -1 | 0 | 2.92 | 114.52 | 81.040 |
| 10 | 0 | -1 | 1 | 0 | 3.24 | 106.79 | 75.725 |
| 11 | -1 | 0 | -1 | 0 | 2.32 | 160.22 | 112.850 |
| 12 | 1 | 1 | 0 | 0 | 4.14 | 68.82 | 49.416 |
| 13 | -1 | -1 | 0 | 0 | 2.13 | 196.27 | 138.028 |
| 14 | -1 | 0 | 0 | -1 | 2.27 | 170.71 | 120.178 |
| 15 | 0 | 1 | 0 | 1 | 3.29 | 89.97 | 63.966 |
| 16 | 1 | 0 | -1 | 0 | 4.17 | 62.64 | 45.099 |
| 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.33 | 112.56 | 79.791 |
| 18 | 0 | 0 | 1 | 1 | 3.17 | 137.82 | 97.425 |
| 19 | 0 | 1 | 0 | -1 | 3.21 | 68.34 | 48.801 |
| 20 | -1 | 0 | 0 | 1 | 2.21 | 203.29 | 142.966 |
| 21 | 1 | 0 | 0 | -1 | 4.36 | 76.87 | 55.117 |
| 22 | 0 | -1 | 0 | -1 | 3.25 | 91.40 | 64.955 |
| 23 | 1 | 0 | 0 | 1 | 4.34 | 106.17 | 75.621 |
| 24 | 0 | 1 | 1 | 0 | 3.28 | 95.40 | 67.764 |
| 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.00 | 124.89 | 88.323 |
| 26 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.09 | 121.56 | 86.019 |
| 27 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.04 | 101.45 | 71.927 |
| 28 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.42 | 103.85 | 73.721 |
| 29 | 0 | -1 | 0 | 1 | 3.04 | 124.06 | 87.754 |

图1为4个变量对综合加权分影响的响应面图。由图1可见，随着水鳞比的增加，鲢鱼鳞冻的综合加权分减少。熬煮温度、熬煮时间和卡拉胶含量对综合加权分影响不明显。由图1可以看出，水鳞比对鱼鳞冻的综合加权分影响明显，水鳞比值越大，可促进鱼鳞中的胶原向水中溶解，凝胶浓度越大，得到的鱼鳞冻凝胶强度越大；但随着水鳞比的增加，凝胶强度逐渐下降，说明胶原在提取过程达到平衡状态，水的

增加使胶原浓度越来越低，对应凝胶强度降低。由此判定对鱼鳞冻综合加权分影响的顺序由大到小依次为：水鳞比、卡拉胶含量、熬煮温度、熬煮时间。可见对鱼鳞冻样品影响最显著的变量为水鳞比。

2.2 熬煮参数的优化和验证

利用 Design-Expert 软件对模型方程求一阶偏导，得到一组优化的理论工艺参数：水鳞比为3.04:1，熬煮温度为80.783℃，熬煮时间为97.095 min，卡拉

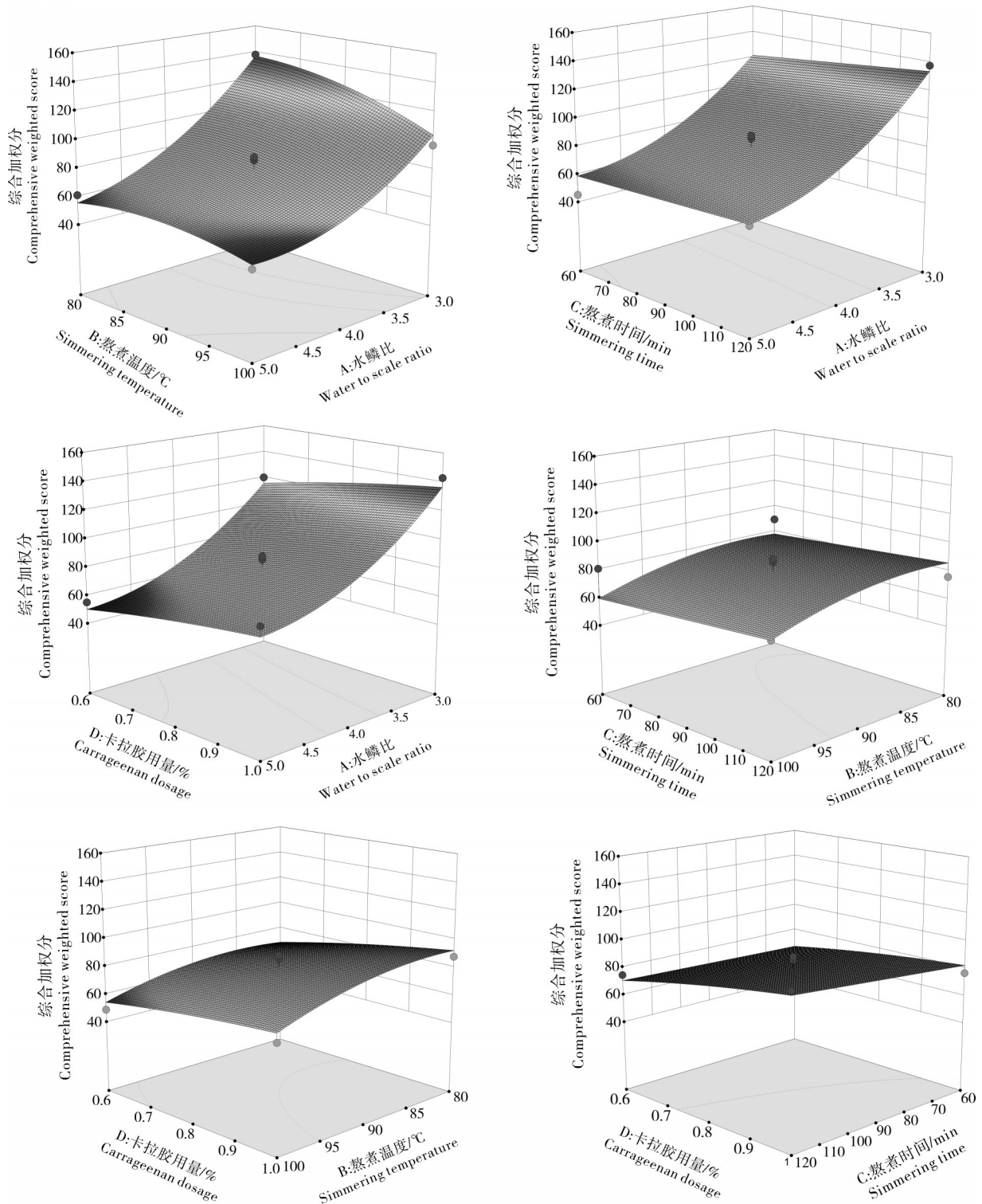


图 1 各变量对鱼鳞冻综合加权分影响的响应面图

Fig. 1 Response surface diagram of the effect of various variables on the comprehensive weighted score of silver carp scale jelly

胶用量为 0.987%。为便于实际操作,调整水鳞比为 3:1,熬煮温度为 80 °C,熬煮时间为 90 min,卡拉胶用量为 1%,综合加权分预测值为 145.886,经过验证试

验,得到鱼鳞胶产品的得率 3.62%,凝胶强度为 206.59 g·mm,综合加权分为 145.699,与预测值十分接近,说明回归模型能较好地预测鲢鱼鳞冻的熬煮

表3 响应面回归方程的方差分析

Table 3 Analysis of variance for response surface regression equations

| 方差来源 Source of variance | 平方和 Sum of squares | 自由度 Degrees of freedom | 均方 Mean square | F值 F value | P值 P value |
|----------------------------|-----------------------|---------------------------|-------------------|------------------------|---------------|
| 模型 Models | 18 003.22 | 14 | 1 285.94 | 11.27 | <0.000 1** |
| A | 13 327.40 | 1 | 13 327.40 | 116.80 | <0.000 1** |
| B | 996.52 | 1 | 996.52 | 8.73 | 0.010 4* |
| C | 194.38 | 1 | 194.38 | 1.70 | 0.212 9 |
| D | 1 176.95 | 1 | 1 176.95 | 10.31 | 0.006 3** |
| AB | 217.58 | 1 | 217.58 | 1.91 | 0.189 0 |
| AC | 14.45 | 1 | 14.45 | 0.13 | 0.727 3 |
| AD | 1.30 | 1 | 1.30 | 0.011 | 0.916 4 |
| BC | 0.11 | 1 | 0.11 | 9.747×10 ⁻⁴ | 0.975 5 |
| BD | 14.57 | 1 | 14.57 | 0.13 | 0.726 2 |
| CD | 15.68 | 1 | 15.68 | 0.14 | 0.716 4 |
| A ² | 1 335.83 | 1 | 1 335.83 | 11.71 | 0.004 1** |
| B ² | 331.70 | 1 | 331.70 | 2.91 | 0.110 3 |
| C ² | 0.010 | 1 | 0.010 | 8.918×10 ⁻⁵ | 0.992 6 |
| D ² | 15.40 | 1 | 15.40 | 0.13 | 0.718 8 |

注: R²=0.918 5, *代表显著(P<0.05), **代表极显著(P<0.01)。Note: R²=0.918 5, * represents significant (P<0.05), ** represents highly significant (P<0.01).

加工工艺条件,最优参数组合有较强的可行性。

2.3 鱼鳞冻的动态流变学特性

根据响应面试验结果,对鱼鳞冻样品影响最显著的变量为水鳞比,进一步研究不同水鳞比对鱼鳞冻凝胶特性的影响。当水鳞比分别为3:1、4:1、5:1时,温度扫描过程中的弹性模量(G')如图2所示。随着温度升高,G'值逐渐降低。结果表明,鱼鳞冻的融胶过程如下:在5~20℃,凝胶开始融化,G'值呈下降趋势,在20~28℃,3种样品的G'值均迅速下降;在30~45℃,G'值的下降程度明显减弱,趋于稳定,样品由凝胶状变为黏稠溶液状。因此,可以初步确定鱼鳞胶样品的胶融温度在24~27℃。

2.4 鱼鳞冻的水分分布

不同水鳞比的鱼鳞冻的低场核磁共振图分析结果见表4。可见不同熬煮条件下的鱼鳞冻均存在着2种不同状态的水分群,其中的自由水为鱼鳞冻的主

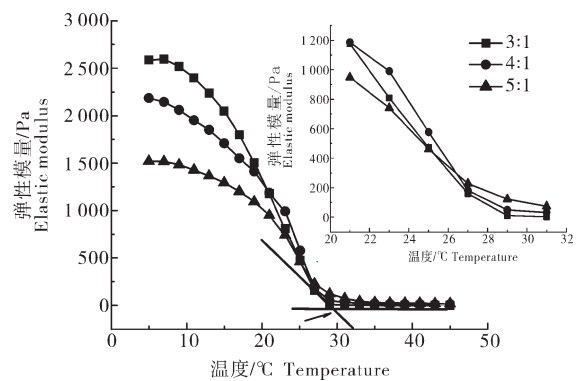


图2 不同水鳞比对弹性模量的影响

Fig.2 Effects of different water to scale ratios on elastic modulus

要水分群。峰面积占比PT₂₃和PT₂₁、PT₂₂有显著性差异(P<0.05),随着水鳞比的增加而显著增大。不同水鳞比的峰面积之间没有显著性差异,随着水鳞比的增大,自由水占比相应增大。以上结果表明,随

表4 不同水鳞比的鱼鳞冻的弛豫时间和相应的峰面积

Table 4 The relaxation time and corresponding peak areas of fish scale gels with different waterto scale ratios

| 水鳞比 Water to scale ratio | 峰1 Peak 1 | | 峰2 Peak 2 | | 峰3 Peak 3 | |
|--------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | T ₂₁ /ms | PT ₂₁ /% | T ₂₂ /ms | PT ₂₂ /% | T ₂₃ /ms | PT ₂₃ /% |
| 3:1 | 1.58±1.09d | 0.62±0.44b | 7.54±1.09d | 0.77±0.14b | 613.59±0.00c | 98.61±0.51a |
| 4:1 | 0.98±0.54d | 0.85±0.47b | 4.00±1.34d | 0.44±0.09b | 932.60±0.00b | 98.71±0.38a |
| 5:1 | 0.49±0.23d | 0.58±0.42b | 7.85±3.81d | 0.62±0.09b | 1 112.41±69.53a | 98.81±0.38a |

注:同一列中不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences (P<0.05)。

着水鳞比的增加,结合水向自由水转变,自由水占比超过89%,流动性逐渐增加。

2.5 鱼鳞冻的热力学性质

从鱼鳞冻胶的DSC热谱图(图3)可以看出,不同水鳞比的鱼鳞冻的热流变化趋势大致相同。如图3所示,水鳞比为3:1、4:1、5:1的鱼鳞冻峰值温度分别为24.52、25.27和27.03℃,与流变特性测定的最大融化温度范围一致;热焓值分别为0.10、0.07和0.03 J/g。在升温过程中,鱼鳞冻凝胶开始融化,鱼鳞明胶的热流逐渐升高,对应热谱图中凝胶过程形成一个凸起的峰,峰值所对应的温度为明胶的胶融温度(T_p),代表鱼鳞明胶由三股螺旋结构向无规则卷曲转化。随着水鳞比的增加,热焓值显著降低,说明鱼鳞冻的热稳定性降低。

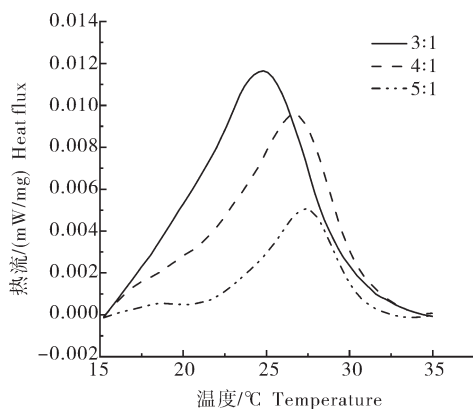


图3 不同水鳞比的鱼鳞冻DSC图

Fig.3 DSC chart of fish scale gels with different water to scale ratios

3 讨论

水鳞比对鱼鳞冻的得率和凝胶强度的影响最大,熬煮时加水量越多,可促进胶原向水中溶解,得到的鱼鳞冻越多。随着熬煮时间的延长,产生了更多能量来破坏键能,释放出更多游离的 α -链和 β -链,因此,熬煮时间越长,鱼鳞冻的得率越高^[9]。有学者设置不同温度和时间来提取石斑鱼的鱼皮明胶,结果表明温度越高、时间越长,则回收率越高^[10]。陈莹艳等^[4]通过正交试验研究发现对得率的影响大小的因素依次为时间、pH值、温度,与本试验结果基本相符。

在加热条件下,鱼鳞明胶中保持三螺旋的次级键及部分肽键发生断裂,胶原分子解链,不溶性胶原转化为可溶性胶^[11]。有研究发现,高温虽然可以提高胶原蛋白转化成明胶的速度,但却会使明胶进一

步水解,使得鱼鳞冻的凝胶强度呈现先上升后下降的趋势^[12]。熬煮时间越长,释放出来的多肽链发生肽断裂的机会也越大,由三螺旋结构向无规则卷曲结构转变^[13],使得产品明胶的黏度和凝胶强度降低。郑红^[14]研究证明添加卡拉胶的鱼糜的凝胶强度高于未添加卡拉胶的鱼糜,与本研究的结果一致。顾杨娟等^[15]研究草鱼鱼鳞冻制备工艺发现影响冻力的因素高低依次为料水比、提胶温度、提胶时间,与本试验研究结果相符。

弹性模量(G')反映黏弹性物质的类固体特性,即弹性。温度在20~28℃时,鱼鳞冻的弹性模量(G')迅速下降,其原因可能是温度升高破坏了以氢键为主的低温凝胶化网络结构,导致凝胶结构破坏,由三股螺旋结构解链成单链^[16]。弹性模量值与鱼鳞冻的胶原蛋白浓度、肽链结构有关,随着水鳞比减小,用水量越少,鱼鳞冻中胶原蛋白浓度相对越高,热稳定性越好,与凝胶强度的变化结果相符。

水分状态及其分布可直观地反映鱼鳞冻持水能力的变化^[17]。横向弛豫时间 T_2 反映了鱼鳞冻的水分与物质结合的紧密度, T_2 越短,说明结合得越紧密,水流动性越差^[18]; T_2 越长,表明水分越自由^[19]。参照现有划分方法,将横向弛豫时间 T_{21} (峰顶时间 < 10 ms)的水分定义为强结合水,流动性较差;将横向弛豫时间为 T_{22} (10 ms $<$ 峰顶时间 < 100 ms)的水分定义为弱结合水,受一定束缚;将横向弛豫时间为 T_{23} (峰顶时间 > 100 ms)的水分定义为自由水,具有较强流动性^[20]。随着水鳞比增加, T_{23} 信号峰位置向右偏移,弛豫时间显著增加,说明鱼鳞冻水分自由度变大,可能是因为含水量增加导致明胶浓度降低,形成网络致密性下降,对水的束缚降低,水由强结合水转为自由水,水分的流动性增加。

DSC热谱图中,随着水鳞比增加,热焓值下降,表明鱼鳞冻的热稳定性降低。是由于水分增加降低了明胶浓度,破坏鱼鳞冻的有序网络结构,抑制凝胶网络的形成,使凝胶处于不稳定状态,此结果与凝胶强度的变化一致。若结合水(受束缚水)包裹着聚合物和结合水,形成类似“笼形”的“聚集体”,在空间允许时,自由的水分子会形成更多的氢键^[21]。根据水分分布试验,随水鳞比的增加,禁锢在空间网状结构中的自由水增多可能导致吸热峰的峰值向高温区偏移。

综合来看,水鳞比对水分分布、流变特性、胶融

温度等都有显著影响,鲢鱼鳞可用于新型凝胶类预制菜加工。笔者仅研究了鱼鳞冻的加工工艺及凝胶特性,但其品质的变化尚不清楚,后续将针对鱼鳞冻在生产及冷藏中的品质变化作进一步研究。

参考文献References

- [1] 农业农村部渔业渔政管理局. 中国渔业统计年鉴-2022[M]. 北京:中国农业出版社,2022.Fisheries and Fishery Administration Bureau, Ministry of Agriculture and Rural Affairs. China fishery statistics yearbook of 2022[M]. Beijing:China Agriculture Press, 2022(in Chinese).
- [2] 李岩彤,肖枫,康怀彬. 鱼鳞胶原蛋白可食性膜研究进展[J]. 食品与机械,2021,37(1):222-228.LI Y L, XIAO F, KANG H B. Research progress on fish scale collagen edible film[J]. Food & machinery, 2021, 37(1):222-228(in Chinese with English abstract).
- [3] 曾少葵,刘坤,吴艺莹,等. 脱钙罗非鱼鱼鳞明胶提取工艺优化及其理化性质[J]. 南方水产科学,2013,9(2):38-44.ZENG S K, LIU K, WU Y T, et al. Extraction optimization and physico-chemical properties of gelatin from demineralized scale of *Oreochromis nilotica* [J]. South China fisheries science, 2013, 9(2):38-44(in Chinese with English abstract).
- [4] 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):77-80,84.CHEN Y Y, CHEN Y Z. Extraction and characteristics of grass carp scale gelatin[J]. Cereals and oils processing (electronic version), 2014(2):77-80,84 (in Chinese with English abstract).
- [5] 顾杨娟,李杰,李富威,等. 鱼鳞冻热处理工艺优化及性质的研究[J]. 食品与发酵工业,2013,39(2):102-108.GU Y J, LI J, LI F W, et al. Study on heat treatment process optimization and properties of fish scale jelly[J]. Food and fermentation industry, 2013, 39(2):102-108(in Chinese).
- [6] 李燕,龚路军,李文华,等. 鱼鳞冻加工工艺的研制[J]. 渔业致富指南,2006(9):49-50.LI Y, GONG L J, LI W H, et al. Development of processing technology of fish scale jelly[J]. Fishery guide to be rich, 2006(9):49-50(in Chinese).
- [7] 张芷芸,冯若男,李姝琦,等. 高凝胶强度鱼鳞胶冻的开发[J]. 食品工业,2020,41(6):193-197.ZHANG Z Y, FENG R N, LI S Q, et al. Development of high gel strength fish scale jelly[J]. The food industry, 2020, 41(6):193-197(in Chinese with English abstract).
- [8] 沙小梅,王光耀,胡姿姿,等. 冬夏季节对猪皮制备的明胶凝胶特性和溯源性的影响[J]. 食品与发酵工业,2021,47(16):31-39.SHA X M, WANG G Y, HU Z Z, et al. The influence of winter and summer on the properties and traceability of gelatin prepared from pigskin[J]. Food and fermentation industries, 2021, 47(16):31-39(in Chinese with English abstract).
- [9] 李双,涂宗财,陈雪岚. 鱼明胶提取及其品质影响因素[J]. 食品与发酵工业,2019,45(2):252-259.LI S, TU Z C, CHEN X L. A review: factors affecting fish gelatin extraction and its quality [J]. Food and fermentation industries, 2019, 45(2):252-259 (in Chinese with English abstract).
- [10] SINTHUSAMRAN S, BENJAKUL S, KISHIMURA H. Characteristics and gel properties of gelatin from skin of seabass (*Lates calcarifer*) as influenced by extraction conditions [J]. Food chemistry, 2014, 152:276-284.
- [11] 姚峰,陈书霖,唐兰兰,等. 鱼皮质量分数对热水浸提明胶的性质及其成膜性能的影响[J]. 食品工业科技,2015,36(10):114-118,124.YAO F, CHEN S L, TANG L L, et al. Effect of skin concentration on properties and film-forming ability of gelatin from *Tilapia* skin by hot-water extraction [J]. Science and technology of food industry, 2015, 36(10):114-118,124(in Chinese with English abstract).
- [12] NAGARAJAN M, BENJAKUL S, PRODPRAN T, et al. Characteristics and functional properties of gelatin from splendid squid (*Loligo formosana*) skin as affected by extraction temperature [J]. Food hydrocolloids, 2012, 29(2):389-397.
- [13] 刘项,张成强,黄轶群,等. 氯化钠添加量对鱼皮明胶凝胶性能和结构的影响[J]. 食品工业科技,2018,39(20):18-24.LIU X, ZHANG C Q, HUANG Y Q, et al. Effect of sodium chloride content on gel properties and structure of *Tilapia* fish skin gelatin [J]. Science and technology of food industry, 2018, 39(20):18-24(in Chinese with English abstract).
- [14] 郑红. 复配胶体对鱼糜制品凝胶强度的影响[J]. 农产品加工,2017(11):22-23. ZHENG H. Effect of compound gel on gel strength of surimi [J]. Processing of agricultural products, 2017(11):22-23(in Chinese with English abstract).
- [15] 顾杨娟,李杰,李富威,等. 鱼鳞冻水法制备工艺及性质的研究[J]. 食品工业科技,2013,34(8):312-316,345.GU Y J, LI J, LI F W, et al. Study on processing and properties of fish scale jelly produced by heating in water [J]. Science and technology of food industry, 2013, 34(8):312-316,345(in Chinese with English abstract).
- [16] 贾丹,刘茹,刘明菲,等. 转谷氨酰胺酶对鲮鱼糜热诱导凝胶特性的影响[J]. 食品科学,2013,34(9):37-41. JIA D, LIU R, LIU M F, et al. Effect of transglutaminase on heat-induced gel properties of bighead carp (*Aristichthys nobilis*) surimi [J]. Food science, 2013, 34(9):37-41(in Chinese with English abstract).
- [17] CARNEIRO C D S, MÁRSICO E T, RIBEIRO R D O R, et al. Studies of the effect of sodium tripolyphosphate on frozen shrimp by physicochemical analytical methods and low field nuclear magnetic resonance (LF ¹H NMR) [J]. LWT-food science and technology, 2013, 50(2):401-407.
- [18] 马莹,杨菊梅,王松磊,等. 基于LF-NMR及成像技术分析牛肉贮藏水分含量变化[J]. 食品工业科技,2018,39(2):278-284. MA Y, YANG J M, WANG S L, et al. Analysis of water content in beef storage by LF-NMR and imaging technique [J]. Science and technology of food industry, 2018, 39(2):278-284 (in Chinese with English abstract).
- [19] HAN M Y, WANG P, XU X L, et al. Low-field NMR study of

- heat-induced gelation of pork myofibrillar proteins and its relationship with microstructural characteristics[J]. Food research international, 2014, 62: 1175-1182.
- [20] 周明珠, 陈方雪, 邓祎, 等. 蒸煮方式对熟制小龙虾尾肉解冻后品质的影响[J]. 肉类研究, 2021, 35(8): 16-22. ZHOU M Z, CHEN F X, DENG Y, et al. Effects of cooking methods on the quality of frozen-thawed cooked crayfish muscle [J]. Meat research, 2021, 35(8): 16-22 (in Chinese with English abstract).
- [21] HONG S, KIM D. Interaction between bound water molecules and local protein structures: a statistical analysis of the hydrogen bond structures around bound water molecules [J]. Proteins: structure, function, and bioinformatics, 2016, 84(1): 43-51.

Optimization of simmering technology and gelation characteristics of prepared food from silver carp scale jelly

REN Mengting, SUN Ruowen, YIN Tao, YOU Juan, XIONG Shanbai

College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University / National R & D Branch Center for Conventional Freshwater Fish Processing (Wuhan) / Key Laboratory of Environment Correlative Dietology, Ministry of Education, Wuhan 430070, China

Abstract The collagen extracted from fish scales is processed into fish scale jelly, which is safe and healthy. It contains a large amount of water-soluble collagen, and has the effects of calcium supplementation, beauty, body strengthening and brain strengthening. Fish scale jelly is easier to be digested and absorbed by the human body compared with other collagen proteins. The process of production is simple and can be completed without large equipment. In this article, we optimized the simmering technology of prepared food from the silver carp scale jelly and studied its gelation characteristics. The response surface experiment design was used to study the effects of simmering temperature, simmering time, carrageenan dosage and water to scale ratio on the yield and strength of gel to optimize the simmering process and study the gelation characteristics of fish scale jelly under different conditions. The gelation characteristics of fish scale jelly were analyzed with differential caloric method, nuclear magnetic imaging and dynamic rheological methods. The results showed that the water to scale ratio had the greatest influence on the yield and strength of gel. The yield of gel increased gradually and the strength of gel decreased gradually with the increase of water to scale ratio. According to the comprehensive score of the yield rate and strength of gel, the optimized conditions were as that: the total mass of water and fish scales as 100%, water to scale ratio of 3:1, simmering temperature of 80 °C, simmering time of 90 min, carrageenan dosage of 1%. Through the validation test, the yield rate of fish scale jelly was 3.62%, the strength of gel was 206.59 g·mm, and the comprehensive weighted score was 145.699. The proportion of free water in fish scale jelly was over 89%, and the melting temperature was 24-28 °C. The content of free water gradually increased and the mobility was enhanced with the increase of water to scale ratio. The elastic modulus and enthalpy value gradually decreased. It is indicated that the silver carp scales can be used for processing new type of prepared food with gel.

Keywords silver carps; scale jelly; prepared food; boiling technology; gelation characteristics; aquatic products processing

(责任编辑:赵琳琳)