



食品与发酵工业

Food and Fermentation Industries

ISSN 0253-990X, CN 11-1802/TS

《食品与发酵工业》网络首发论文

题目：羊血浆蛋白对鲢鱼鱼糜凝胶特性的影响
作者：李景敏，于楠楠，李芮洋，周成伟，刘照
DOI：10.13995/j.cnki.11-1802/ts.021125
收稿日期：2019-05-16
网络首发日期：2019-07-19
引用格式：李景敏，于楠楠，李芮洋，周成伟，刘照. 羊血浆蛋白对鲢鱼鱼糜凝胶特性的影响. 食品与发酵工业. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.021125>



网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

羊血浆蛋白对鲢鱼鱼糜凝胶特性的影响

李景敏, 于楠楠[✉], 李芮洋, 周成伟, 刘照

(徐州工程学院, 江苏 徐州, 221000)

✉通信作者 于楠楠, 博士, 讲师, 研究方向: 水产品加工与贮藏, E-mail: 773916435@qq.com

摘要 以鲢鱼鱼糜为原料, 研究添加不同质量分数(0.5%、1%、1.5%、2%、2.5%、3%)羊血浆蛋白对鱼糜凝胶的质构特性、凝胶强度、持水性、白度、流变特性及溶解率的影响。结果表明, 与空白组对比, 随着羊血浆蛋白添加量的增加, 鱼糜凝胶的硬度、咀嚼性、胶黏性显著增大($P < 0.05$), 白度显著降低($P < 0.05$); 当添加量为2%时, 持水性增强了2.16%。流变结果表明, 添加羊血浆蛋白, 鲢鱼鱼糜的 G' 和 G'' 显著增加($P < 0.05$)。溶解率分析显示, 当添加2%羊血浆蛋白时, 鱼糜凝胶溶解率最低, 与空白组相比, 降低了18.37%, 说明羊血浆蛋白可以提高非二硫共价键(尤其是 ϵ -(γ -Glu)-Lys)的含量。本研究为利用羊血浆蛋白开发高品质淡水鱼糜制品提供了理论依据。

关键词 羊血浆蛋白; 鲢鱼鱼糜; 复合凝胶; 溶解率; 流变性

DOI: 10.13995/j.cnki.11-1802/ts.021125

Effect of sheep plasma protein on the gel characteristics of silver carp surimi

LI Jingmin, YU Nannan[✉], LI Ruiyang, ZHOU Chengwei, LIU Zhao

(Xuzhou University of Technology, Xuzhou 221000, China)

Abstract Taking silver carp surimi as raw material, the effect of different concentrations (0.5%, 1%, 1.5%, 2%, 2.5%, 3%) of sheep plasma protein on the texture, gel strength, water holding capacity, whiteness, rheological behavior and dissolution rate of surimi gel were studied. The results showed that, compared with the control, the hardness, chewing and adhesion of surimi gel increased significantly ($P < 0.05$) with the increase of the amount of sheep plasma protein, and the whiteness decreased significantly ($P < 0.05$). The water retention increased by 2.16% when adding 2% sheep plasma protein. The rheological results showed that the G' and G'' of silver carp surimi increased significantly ($P < 0.05$) with the addition of sheep plasma protein. The dissolution rate analysis demonstrated that when the amount of sheep plasma protein was 2%, the surimi gel had the lowest solubility, which was reduced by 18.37% compared to the blank group, indicating that addition of sheep plasma protein increased the content of non-disulfide covalent bonds (especially epsilon-(γ -Glu)-Lys). This study provides a theoretical basis for the development of high-quality freshwater fish meal products using sheep plasma protein.

Key words sheep plasma protein; silver carp surimi; compound gel; dissolution rate; rheology

我国是水产品生产大国, 拥有丰富的淡水鱼资源。2017年淡水产品产量3123.59万t, 淡水养殖鱼类2540.98万t^[1]。近年来, 淡水鱼鱼糜制品的开发生产深受中国消费者喜爱, 对鱼糜制品的需求量日益增长^[2]。然而淡水鱼肌原纤维蛋白含量较低, 凝胶形成能力差^[3], 采肉率低^[4], 因此如何改善鲢鱼糜的凝胶品质, 提高鲢鱼的经济效益, 一直成为关注的焦点。

羊血是畜禽屠宰行业主要副产物之一, 蛋白质含量丰富, 除含有免疫球蛋白、超氧化物歧化酶等多种功能性蛋白质成分外, 还富含谷物类食品的第一限制性氨基酸-赖氨酸^[5], 且含有铁、钾、镁等多种微量元素, 维生素、无机盐、糖类等, 素有“液体肉”之美誉^[6-7]。我国是羊肉消费大国, 但对羊血的利用率很低, 主要用作加工血肠、血豆腐等传统食品或喷粉后生产饲料^[8]。作为一种廉价易得、性能优良、营养丰富的蛋白质资源, 羊血浆蛋白应该得到更好的利用。

收稿日期: 2019-05-16

基金项目: 江苏省高等学校自然科学研究面上项目(18KJD550002); 徐州市科技计划项目(KC18121); 徐州工程学院青年项目(XKY2017238)

作者简介: 第一作者: 李景敏, 本科, 研究方向: 食品添加剂与配料, E-mail: 1650305181@qq.com

网络首发时间: 2019-07-19 10:36:58 网络首发地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1802.TS.20190718.1725.001.html>

已有研究表明利用猪血浆蛋白能够提高鲢鱼鱼糜的凝胶特性^[9], 且对秘鲁鱿鱼鱼糜凝胶形成具有改善作用等^[10]。羊血浆蛋白有利于提高肌原纤维蛋白凝胶品质^[6], 而羊血浆蛋白对淡水鱼糜凝胶品质的影响鲜有报道。因此, 本文以鲢鱼鱼糜为原料, 研究了羊血浆蛋白粉对鲢鱼鱼糜的影响, 以期生产具有较好凝胶品质的淡水鱼糜制品提供理论支持和加工依据。

1. 材料与方 法

1.1 实验原料

鲢鱼鱼糜, 置于-18℃冰箱下冷冻备用; 塑料肠衣; 食盐; 新鲜羊血;

1.2 实验试剂

柠檬酸钠、氢氧化钠、尿素、乙二胺四乙酸(EDTA)、甘氨酸、(DTNB)、氯化钠、三羟甲基氨基甲烷(Tris)、巯基乙醇、盐酸、三氯乙酸(TCA)、十二烷基硫酸钠(SDS)、醋酸甲醇。

1.3 主要仪器设备

HH-4 恒温水浴锅, 常州国华电器有限公司; 料理机, 九阳; 精密色差仪, 威福光电; 可见分光光度计, TU-1810 紫外可见分光光度计, 北京普析通用仪器有限公司; 高速冷冻离心机, 普通高速离心机, 上海安亭科学仪器厂; 冷冻干燥机, 德国 Christ; 流变仪, 奥地利安东帕; 食品物性测定仪(质构仪), 美国 FTC 公司。

1.4 实验方法

1.4.1 羊血浆蛋白粉的制备

在徐州当地屠宰场取得新鲜的羊血, 在新鲜的羊血中按 1/10 体积添加 38 g/L 的柠檬酸钠溶液, 防止羊血凝固。使用 2 层纱布过滤, 去除羊毛等杂质, 经 4℃下 3 000 × g、20 min 离心, 取上清液, 再离心一次, 得到血浆蛋白^[11]。过夜冷冻干燥(-18℃)后得到羊血浆蛋白冻干粉。

1.4.2 鱼糜制品的准备

冷冻鲢鱼鱼糜 4℃下解冻 10 h, 分成 7 组 50 g 鱼糜, 先空播 2 min, 加入 25% 的纯水, 再添加 25 g/L 食盐, 继续斩拌 2 min, 最后分别加入质量分数为 0.5%、1%、1.5%、2%、2.5%、3% 的羊血浆蛋白粉。(实验中添加羊血浆蛋白粉的质量分数均以冷冻鱼糜的质量为基准), 未添加羊血浆蛋白粉的为实验空白组。加入羊血浆蛋白粉后再斩拌 2 min, 将斩拌好的鱼糜手动灌入直径为 25 mm 的塑料肠衣中, 采用 40℃/30 min, 90℃/20 min 两段式加热的方法进行加热, 加热结束后立即将鱼肠放入冰水中, 冷却至室温后放入 4℃冰箱冷藏过夜, 待测鱼糜的各项指标。

1.4.3 全质构(TPA)的测定

参考陆海霞等文献^[12]的方法, 待测样品取出恢复至室温, 去除肠衣, 切成 25 mm 长, 直径 25 mm 的圆柱体, 用质构仪测定样品的硬度、弹性、内聚性、胶黏性、咀嚼性等指标。测试条件为: TPA 模式, P35 圆柱形探头, 测试前、中、后速均为 60 mm/min, 形变量: 40%, 触发力为 0.1 N, 探头回升到样品表面上的高度: 30 mm。每组实验重复 2 次, 实验结果取其平均值。

1.4.4 持水性的测定

参照黄玉平等^[13]文献, 采用离心的方法测定鱼糜凝胶的持水性。将制备好的鱼糜凝胶切成块状放入离心管称重, 在 4℃下 1 000 × g 离心 10 min, 去除水分, 记录每次称重数据。如式(1)所示。

$$\text{持水性}/\% = \frac{w_1 - w}{w_2 - w} \times 100 \quad (1)$$

式中, w_1 为离心管+除去水分后凝胶的质量(g); w_2 为离心管+离心前的凝胶的总质量(g); w 为离心管的质量(g)。

1.4.5 白度的测定

根据 XIONG 等^[14]方法, 把鱼肠切成 5 mm 厚的薄片, 在室温下用色彩色差仪测定样品的 L^* 、 a^* 、 b^* 值, 按照公式(2)计算样品的白度。

$$W = 100 - [(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}]^{1/2} \quad (2)$$

式中: L^* 值表示样品的亮度, a^* 值表示样品的红绿值, b^* 表示样品的黄蓝值。每组实验重复 5

次, 取平均值。

1.4.6 流变特性的测定

根据 WANG 的方法^[15]稍作修改; 温度扫描: 采用流变仪对鱼糜的储能模量 (G') 和损耗模量 (G'') 进行测定。将样品置于底部平台, 采用直径为 20 mm 平行板, 狭缝 1 mm, 应变 1%, 频率 1 Hz。进行动态温度扫描, 升温速率 2 °C/min, 升温范围 25~90 °C; 应变扫描确定应变为 1%, 频率为 1Hz 位于线性粘弹区间。为防止水分蒸发, 在测试时采用硅油封住样品, 如式 (3) 所示。

$$\text{损耗系数} (\tan\delta) = \text{损耗模量} (\text{Pa}) / \text{储能模量} (\text{Pa}) \quad (3)$$

1.4.7 鲢鱼鱼糜溶解率的测定

参照雷雨^[9]等文献, 稍作修改, 取 1 g 鱼糜凝胶样品, 加入 20 mL 20 mmol/L Tris-HCl 缓冲液 (含 10 g/LSDS, 8 mol/L 尿素和 20 g/L 巯基乙醇, pH 8.0) 并均质, 混合物于 100 °C 加热 2 min 后, 于室温搅拌 4 h, 然后 5 000 × g 离心 60 min。取上清液 10 mL, 添加 500 g/LTCA 至终质量分数为 100 g/L, 混合液于 4 °C 放置 18 h 后 5 000 × g 离心 60 min, 沉淀物用 100 g/L TCA 冲洗并溶解于 0.5 mol/L NaOH 中。总蛋白含量为凝胶直接溶解于 0.5 mol/L NaOH 中测得的蛋白质含量。蛋白质含量用 Lowry 法测定。溶解率为溶解于溶剂中的蛋白质与总蛋白质含量的比值的百分数。

1.4.8 数据统计分析

所有数据采用 SPSS 19.0 分析, 采用 Origin8.0, Excel2010 作图。

2. 结果与分析

2.1 羊血浆蛋白添加量对鲢鱼鱼糜质构的影响

由表 1 可知, 添加羊血浆蛋白的鲢鱼鱼糜凝胶的硬度、咀嚼性、胶黏性比空白组大, 羊血浆蛋白添加量从 0.5% 增加到 3%, 鱼糜凝胶的硬度显著增大 ($P < 0.05$), 咀嚼性和胶黏性呈现增大趋势, 在添加量为 3% 时, 鱼糜凝胶的咀嚼性和胶黏性与空白组相比, 咀嚼性增加了 29.54 mJ, 胶黏性增加了 3.2 N, 说明添加羊血浆蛋白粉可显著改善鱼糜凝胶制品的口感, 而随着蛋白添加量的增加, 鱼糜凝胶的弹性和内聚性变化不显著 ($P < 0.05$), 说明羊血浆蛋白的添加对鱼糜凝胶的弹性和内聚性的影响不大。因此得出添加一定浓度的羊血浆蛋白可以有效改善鱼糜制品的质构特性, 增强口感。

表1羊血浆蛋白对鲢鱼鱼糜凝胶质构的影响

Tab. 1 Effects of sheep plasma protein on the gel structure of silver carp surimi

| 添加量/% | 硬度/N | 弹性 | 内聚性 | 咀嚼性/mJ | 胶黏性/N |
|-------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|
| 0 | 10.62±0.35 ^b | 7.47±0.28 ^{ab} | 0.67±0.01 ^a | 52.86±2.5 ^{ab} | 7.08±0.08 ^{ab} |
| 0.5 | 14.78±0.9 ^b | 7.52±0.21 ^{ab} | 0.67±0.03 ^a | 74.1±5.69 ^a | 9.9±1.06 ^a |
| 1 | 12.16±2.32 ^b | 7.11±0.57 ^b | 0.41±0.06 ^b | 36.74±14.59 ^b | 5.11±1.65 ^a |
| 1.5 | 16.49±3.8 ^{ab} | 7.48±0.04 ^{ab} | 0.51±0.08 ^b | 64.31±24.41 ^{ab} | 8.61±3.31 ^{ab} |
| 2 | 19.18±0.27 ^a | 7.26±0.28 ^{ab} | 0.54±0.04 ^{ab} | 75.02±9.27 ^a | 10.33±0.88 ^a |
| 2.5 | 18.99±1.64 ^{ab} | 6.47±0.07 ^b | 0.56±0.1 ^{ab} | 68.84±6.97 ^a | 10.64±0.96 ^a |
| 3 | 18.56±0.4 ^{ab} | 8±0.46 ^a | 0.56±0.05 ^{ab} | 82.4±13.54 ^a | 10.28±1.11 ^a |

注: 不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 相同小写字母表示差异不显著 ($P > 0.05$); 图 1, 2, 表 2 同

2.2 羊血浆蛋白对鲢鱼鱼糜凝胶持水能力的影响

持水性能是鱼糜凝胶特性的一个重要物理参数, 在一定程度上反映了凝胶中的水分子与蛋白质分子的结合状况及凝胶的强弱^[16]。高温诱导鱼糜凝胶形成具有持水作用三维网络结构^[17]。图 1 为羊血浆蛋白添加量对鱼糜凝胶持水能力的影响。如图所示, 与空白组相比, 添加羊血浆蛋白鱼糜凝胶持水性增大, 随着羊血浆蛋白添加量从 0.5% 逐渐增加到 3%, 鲢鱼鱼糜凝胶的持水性基本呈增大的趋势, 添加量为 2% 的凝胶持水性比空白组鱼糜凝胶增加了 2.16%; 说明羊血浆蛋白的加入有利于提高鱼糜凝胶的持水率。且在一定范围内, 羊血浆蛋白添加浓度高, 鱼糜凝胶的持水能力越强, 这可能是因为

羊血浆蛋白可以使鱼糜凝胶形成的三维网状结构更加致密，可以包埋更多的水分子，提高凝胶持水性。倪娜^[18]的研究也说明血浆蛋白的添加有利于提高肌原纤维蛋白凝胶的持水性。

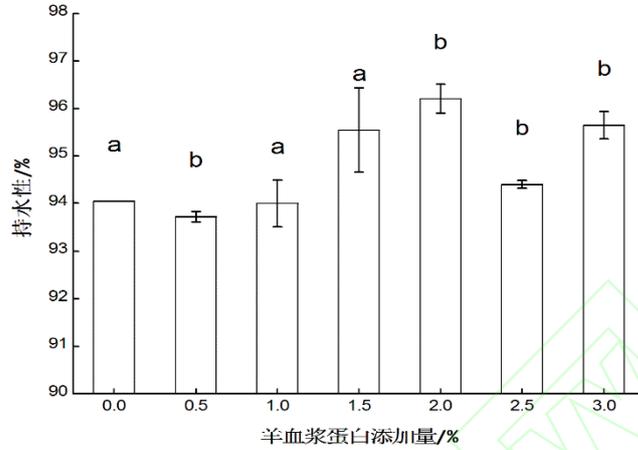


图1 羊血浆蛋白对鲢鱼鱼糜凝胶持水性的影响
Fig. 1 Effect of sheep plasma protein on water retention of silver carp surimi Gel

注：不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)，相同小写字母表示差异不显著($P>0.05$)；图2，表1，表2同

2.3 羊血浆蛋白添加量对鲢鱼鱼糜凝胶白度的影响

L^* 值表示样品的亮度， a^* 值表示样品的红绿值， b^* 表示样品的黄蓝值。由表2可以看出， L^* 值随着羊血浆蛋白添加量的增加显著减小($P<0.05$)， a^* 值和 b^* 值显著增加($P<0.05$)；羊血浆蛋白添加量越大，鲢鱼鱼糜凝胶的白度显著降低($P<0.05$)，说明羊血浆蛋白粉会因为自身的颜色给鱼糜凝胶的白度带来不利的影响。白度是衡量鲢鱼鱼糜的重要指标之一，鱼糜的白度越高，说明鱼糜的品质越好^[19]。添加羊血浆蛋白粉会降低鱼糜的白度，当羊血浆蛋白粉添加量高达3%时，白度还在人们的接受范围之内。

表2 羊血浆蛋白对鲢鱼鱼糜凝胶白度的影响
Tab. 2 Effect of sheep plasma protein on the whiteness of silver carp surimi gel

| 添加量/% | L^* | a^* | b^* | W |
|-------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 0 | 87.423±0.301 ^a | -1.49±0.044 ^c | 3.987±0.483 ^b | 86.717±0.311 ^a |
| 0.5 | 80.587±1.874 ^b | -1.44±0.121 ^c | 4.13±0.767 ^b | 80.095±1.959 ^b |
| 1 | 78.953±3.195 ^b | -1.087±0.086 ^b | 4.483±0.687 ^{ab} | 78.429±3.01 ^{bc} |
| 1.5 | 76.983±1.803 ^{bc} | -1.023±0.067 ^{ab} | 4.53±0.42 ^{ab} | 76.512±1.696 ^c |
| 2 | 73.917±3.443 ^c | -1.153±0.116 ^b | 5.167±0.11 ^a | 73.378±3.367 ^c |
| 2.5 | 69.913±0.847 ^d | -0.917±0.042 ^a | 5.153±0.349 ^a | 69.461±0.89 ^d |
| 3 | 69.857±0.727 ^d | -0.94±0.072 ^a | 5.33±0.52 ^a | 69.373±0.806 ^d |

2.4 羊血浆蛋白对鱼糜凝胶动态流变的影响

储能模量(G')也称弹性模量，反映蛋白凝胶网络结构的形成情况，是样品的弹性特征^[20]。如图2所示，鲢鱼鱼糜在升温过程中的变化可分为3个阶段，20~40℃，添加羊血浆蛋白使 G' 小幅度增加，不同羊血浆蛋白添加量的鲢鱼鱼糜在40℃附近均出现小峰，这可能是肌球蛋白头部之间发生交联，

使鱼糜 G' 增加^[21]。40~56 °C，随着温度的升高鲢鱼鱼糜 G' 迅速下降，在 56°C 附近降到最低点，这可能是肌动球蛋白解离及肌球蛋白尾部变性展开也可能是温度升高使得低温凝胶化网络结构被破坏；鱼糜中内源性组织蛋白酶水解肌球蛋白，导致凝胶结构的破坏^[22]。56~90 °C，鲢鱼鱼糜 G' 随着温度的升高大幅度增大，说明蛋白进一步变性聚集，形成了最终稳定的凝胶^[23]；与空白组对比，添加羊血浆蛋白粉，鲢鱼鱼糜的 G' 显著增加，说明羊血浆蛋白有利于鱼糜凝胶网络的形成，增加鱼糜凝胶的弹性。

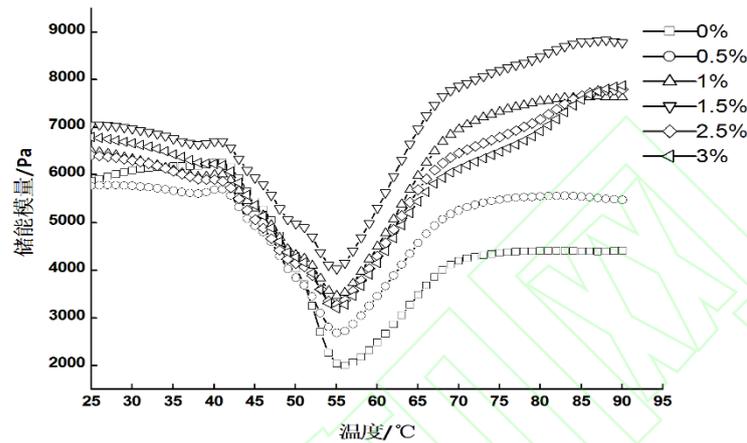


图2 羊血浆蛋白对鲢鱼鱼糜在升温过程中的储能模量影响

Fig. 2 Effect of sheep plasma protein on energy storage modulus of silver carp surimi during heating

损耗模量(G'')也称黏性模量，是样品的黏性特征。如图 3 所示，损耗模量 G'' 在升温过程中也经历 3 个过程，在 30~45 °C，鲢鱼鱼糜 G'' 变化呈小幅度上升，这可能是由于蛋白质受热后变性展开，与水分子相互作用增强^[24]。在 45~60 °C， G'' 随着温度的升高急剧下降，在 60~90 °C， G'' 随着温度的升高小幅度增大，趋向于平衡，但始终比初始 G'' 小，说明高温使鲢鱼鱼糜形成热不可逆的三维网状结构，降低黏性。与空白组对比，添加羊血浆蛋白可以使鱼糜 G'' 增大，进而改善鱼糜凝胶的黏性。

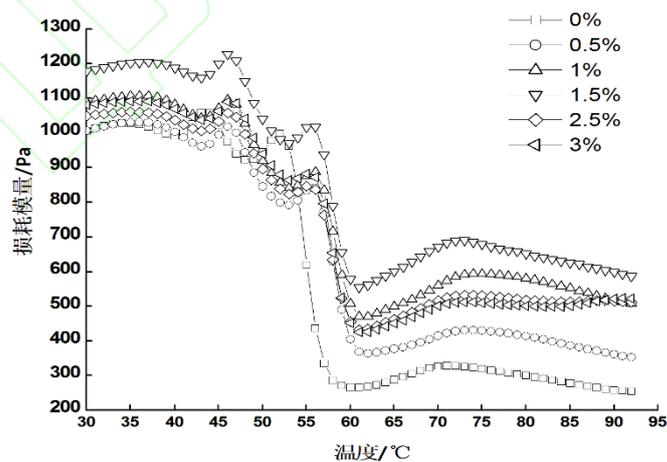


图3 羊血浆蛋白对鲢鱼鱼糜在升温过程中损耗模量的影响

Fig. 3 Effect of sheep plasma protein on loss modulus of silver carp surimi during heating

损耗系数 ($\tan\delta$) = 损耗模量/储能模量，用来表示热凝胶过程中弹性和黏性的变化。升温过程中

鱼糜的弹性模量 G' 均大于耗能模量 G'' ，即 $\tan\delta$ 小于 1，说明鱼糜凝胶弹性固体性质突出，具有较好的胶凝性^[23]。如图 4 所示，鲢鱼鱼糜在温度升高到 48 °C 左右时，损耗系数逐渐增大，温度继续升高，损耗系数随着温度的增大而减小。这表明从 25 °C 刚升温时鱼糜粘性逐渐增强，温度高于 48 °C 时，鱼糜的弹性逐渐增强，这可能是因为刚开始时鱼糜蛋白质的结构展开、解离使得蛋白质的流动性增大，随着温度的继续增加，蛋白质变性聚合开始形成紧密的三维网络结构。温度升高到 50 °C 左右，损耗系数均达到最大，而添加羊血浆蛋白的鲢鱼鱼糜与空白组对比，损耗系数最高点比空白组的低，损耗系数随着温度进一步升高，逐渐降低，当温度升高至 90 °C 时，损耗系数最小，说明鱼糜在高温条件下进行凝胶化。随着羊血浆蛋白添加量的逐渐增加，损耗系数逐渐减小，说明羊血浆蛋白的加入有利于提高鱼糜凝胶化程度，与质构特性测定结果一致。

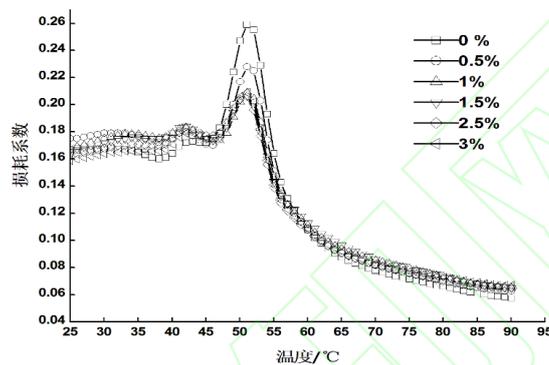


图 4 羊血浆蛋白对鲢鱼鱼糜在升温过程中损耗系数的影响

Fig. 4 Effect of sheep plasma protein on loss coefficient of silver carp surimi during heating

2.5 羊血浆蛋白对鱼糜凝胶溶解率的影响

含 SDS、尿素和 β -巯基乙醇的混合溶剂能够断裂鱼糜凝胶中除了非二硫共价键外的所有化学键^[25]。所以鱼糜凝胶溶解率的测定可用于判断非二硫共价键的含量。

由图 5 可以看出，羊血浆蛋白添加量从 0% 增加到 3%，鱼糜凝胶的溶解率基本呈现逐渐降低的趋势，说明鱼糜凝胶网状结构形成的非二硫共价键越多，这可能是因为羊血浆蛋白的加入促进鱼糜中的内源性谷氨酰胺转化酶发生酶的交联^[26]，诱导非二硫共价键的形成，尤其是 ϵ -(γ -Glu)-Lys 的形成。刘海梅等^[27]的研究结果也表明， ϵ -(γ -Glu)-Lys 共价键能够降低溶解率，非二硫共价键在鱼糜凝胶中含量越高，凝胶特性越好。添加 2% 羊血浆蛋白时溶解率最低，说明非二硫共价键含量最高，形成致密的鱼糜凝胶网络结构。

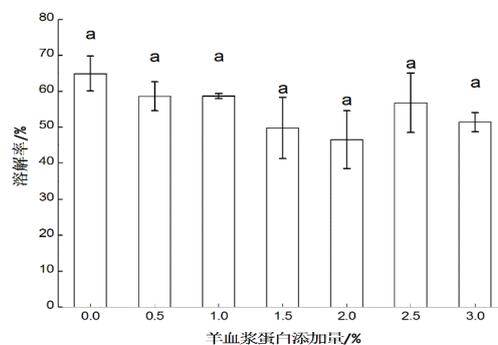


图 5 羊血浆蛋白对鲢鱼鱼糜凝胶溶解率的影响

Fig. 5 Effect of sheep plasma protein on the dissolution rate of silver carp surimi Gel

3.结论

羊血浆蛋白作为营养丰富又价格低廉的蛋白质资源,将其添加到白鲢鱼糜制品中,可显著改善鱼糜制品凝胶质构特性,随着羊血浆蛋白添加量的增加,硬度、咀嚼性、胶黏性等逐渐增大,持水能力逐渐增强。添加羊血浆蛋白可显著增强鱼糜的流变特性,与空白组对比,鲢鱼鱼糜的 G' 和 G'' 不断提高。溶解率测定结果表明,羊血浆蛋白主可以通过非二硫共价键来促进鱼糜形成更紧密的三维网络结构。羊血浆蛋白在鱼糜制品中应用,既可以充分利用丰富的羊血资源,又可以提高鱼糜制品的蛋白质含量、改善鱼糜凝胶特性。

参 考 文 献:

- [1] 农业部渔业局. 2018 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2018.
- [2] 高翔, 王蕊, 刘后祥. 低值淡水鱼鱼糜制品凝胶强度的研究[J]. 食品与发酵工业, 2010, 36(6): 53-56.
- [3] 王丽丽, 杨文鸽, 徐大伦, 张问. 外源添加物对鱼糜及其制品凝胶性能影响的研究[J]. 核农学报, 2015, 29(10): 1985-1990.
- [4] 魏颖. 淡水鱼糜制品的菌相分析和保藏研究[D]. 江西科技师范大学, 2016.
- [5] 陈雪寒. 动物血的营养及食疗功效[J]. 山东食品科技, 2003, 5(12): 19.
- [6] 倪娜. 羊血浆蛋白-肌原纤维蛋白复合凝胶形成的作用力分析[D]. 中国农业科学院, 2014.
- [7] 倪娜, 王振宇, 陈立娟, 徐薇薇, 潘晗, 高远, 张德权. pH 对羊血浆蛋白热诱导凝胶特性的影响[J]. 现代食品科技, 2015, 31(7): 160-166.
- [8] 吴立国, 侯成立, 赵梦雅, 张德权. 羊血浆蛋白抗氧化肽酶法制备与工艺优化[J]. 食品科技, 2018, 43(7): 144-150.
- [9] 雷雨. 猪血浆蛋白改善鲢鱼鱼糜品质及机理的研究[D]. 江南大学, 2014.
- [10] 孔文俊, 刘鑫, 薛勇, 李兆杰, 薛长湖. 不同蛋白添加剂对秘鲁鲑鱼鱼糜凝胶特性的影响[J]. 食品工业科技, 2015, 36(14): 119-122.
- [11] 王文婷, 侯成立, 宋璇, 吴立国, 朱杰, 张德权. 低灰分血浆蛋白粉制备工艺优化[J]. 食品工业科技, 2017, 38(15): 175-180.
- [12] 陆海霞, 张蕾, 李学鹏, 励建荣. 超高压对秘鲁鲑鱼肌原纤维蛋白凝胶特性的影响[J]. 中国水产科学, 2010, 17(5): 1107-1114.
- [13] 黄玉平, 翁武银, 张希春, 曹敏杰, 刘光明, 苏文金. 鱼皮明胶蛋白对淡水鱼糜凝胶特性的影响[J]. 中国食品学报, 2012, 12(11): 51-58.
- [14] XIONG G Q, CHENG W, YE L X et al. Effects of konjac glucomannan on physicochemical properties of myofibrillar protein and surimi gels from grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) [J]. Food Chemistry, 2009, 116(2): 413-418. DOI: 10.1016/j.foodchem.2009.02.056.
- [15] WANG X, XIONG Y L, SATO H. Rheological enhancement of pork myofibrillar protein-lipid emulsion composite gels via glucose oxidase oxidation/transglutaminase cross-linking pathway [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2017, 65(38).
- [16] RAWDKUEN S., BENJAKUL S. Whey protein concentrate: Autolysis inhibition and effects on the gel properties of surimi prepared from tropical fish [J]. Food Chemistry, 2008, 106: 1077-1084.
- [17] 阚建全, 食品化学(第2版) [M]. 北京: 中国农业出版社, 2008年.
- [18] 倪娜, 王振宇, 陈立娟, 刘金凯, 夏安琪, 张德权. 血浆蛋白对羊肌原纤维蛋白热诱导凝胶性质的影响[J]. 中国食品学报, 2015, 15(10): 26-34.
- [19] 许亚彬, 胥伟, 黄迪. 蛋清液与蛋清粉对鲢鱼鱼糜凝胶性的改良效果比较[J]. 中国家禽, 2016, 38(4): 34-37.
- [20] 吕梁玉, 罗华彬, 吕鸣春, 杨文鸽, 张进杰, 楼乔明, 徐大伦, 傅佳. 电子束辐照对梅鱼鱼糜化学作用力、流变及其凝胶特性的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(19): 7-12.
- [21] BENJAKUL S, VISESSANGUAN W, ISHIZAKI S, et al. Differences in gelation characteristics of natural actomyosin from two species of bigeye snapper, *Priacanthus tayenus* and *Priacanthus macracanthus* [J]. Journal of Food Science, 2001, 66(9): 1311-1318.
- [22] 贾丹, 刘茹, 刘明菲, 黎玉彬, 熊善柏. 转谷氨酰胺酶对鲷鱼糜热诱导凝胶特性的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(9): 37-41.
- [23] 升温速率对草鱼和鲢鱼糜凝胶特性的影响[J]. 吴晓丽, 朱玉安, 刘友明, 熊善柏. 华中农业大学学报. 2015(4).
- [24] AHMAD M U, TASHIRO Y, MATSUKAWA S, et al. Gelation mechanism of surimi studied by ^1H NMR relaxation measurements [J]. Journal of Food Science, 2007, 72(6): 362-367.
- [25] 刘海梅, 鲍军军, 熊善柏, 张莉. 鸡蛋清蛋白对微生物转谷氨酰胺酶诱导鲢鱼鱼糜凝胶形成的影响[J]. 食品科学, 2010, 31(11): 102-104.
- [26] 励建荣, 余永名, 仪淑敏, 马兴胜, 李学鹏, 邵俊花, 李婷婷, 夏文水. 鱼糜制品热凝胶形成机理研究进展[J]. 食品工业科技, 2015, 36(23): 380-385.
- [27] 刘海梅, 熊善柏, 谢笔钧. 钙离子对白鲢鱼糜热诱导凝胶化的影响[J]. 食品科学, 2006(8): 87-90.