

二次加热处理对鲢鱼糜制品品质的影响

李维¹ 程荻¹ 杨宏^{1,2,3}

1. 华中农业大学食品科学技术学院, 武汉 430070;

2. 湖南文理学院水产高效健康生产湖南省协同创新中心, 常德 415000;

3. 华中农业大学环境食品学教育部重点实验室, 武汉 430070

摘要 通过测定二次加热处理前后鲢鱼糜制品的凝胶强度、持水性、白度、凝胶内部化学作用力、微观结构以及 SDS-PAGE 各项指标, 考察不同二次加热处理条件(70~100 °C 处理 30 min 和 60 min)对鲢鱼糜制品品质的影响。结果表明, 与对照组相比, 随着二次加热处理温度的上升和时间的增加, 鱼糜凝胶的凝胶强度、持水性、二硫键以及疏水相互作用均呈现先上升后下降的趋势, 尤其是 100 °C 加热 60 min 时其凝胶特性已被完全破坏。微观结构表明, 当二次加热处理的温度高于 80 °C 时, 鱼糜凝胶内部的三维网状结构均遭到了一定程度的破坏, 且随着二次加热处理温度的上升和时间的增加破坏程度加剧, 这一结果和上述各指标的变化趋势一致。SDS-PAGE 电泳图谱结果表明, 随着二次加热处理温度的升高, 肌球蛋白重链(MHC)条带逐渐下降, 当二次加热处理温度达到 100 °C 时, MHC 条带几乎消失。

关键词 鲢; 鱼糜制品; 二次加热; 凝胶强度; 持水性

中图分类号 TS 254.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2019)02-0094-08

鱼糜制品是我国最大宗的水产加工制品之一。鱼糜是鱼体经过预处理、清洗、采肉、漂洗、脱水、绞碎、精滤、擂溃、成型、胶凝、加热等多个加工工序制得的凝胶食品, 其主要成分为盐溶性肌原纤维蛋白^[1-2]。目前, 对鱼糜制品高价值化、休闲化的关注使得抑制热处理所产生的鱼糜凝胶劣化的相关研究逐渐增多。已有文献报道了热处理对鱼糜制品凝胶品质的影响, 其处理温度大多在 100 °C 以上, 经过高温处理的样品几乎丧失了鱼糜制品最重要的凝胶弹性^[3-6]。随着热处理温度(≥ 100 °C)的升高, 鱼糜凝胶中的肌球蛋白重链基本完全消失, 当热处理温度高于 115 °C 时, 肌球蛋白重链几乎全部降解^[4], 此时的蛋白质分子易发生聚集, 使得鱼糜凝胶的网状结构骨架变得脆弱, 孔隙变大, 导致其品质显著下降^[3]。研究表明, 随着热处理温度的上升, 鱼糜凝胶的硬度、内聚性、持水性、白度均有一定程度的下降^[4]。此外, 陈斌^[5]研究发现, 罗非鱼鱼糜肠的凝胶强度、TPA 指标、持水性均随杀菌温度(105~121.1 °C)的升高及杀菌时间(14~20 min)的延长而降低。

目前, 提高鱼糜凝胶特性依然是鱼糜制品加工领域的研究重点^[1-7]。因此, 了解鱼糜制品的热稳定性以及对其品质进行改善是非常必要的。本研究分别以 70、80、90、100 °C 对已经过两段式加热成型的鲢鱼糜凝胶制品进行二次加热处理, 处理时间分别为 30、60 min, 通过测定二次加热处理前后鲢鱼糜制品的凝胶强度、持水性、白度、凝胶内部化学作用力、微观结构以及 SDS-PAGE 的变化, 探讨在二次加热处理条件(70~100 °C 处理 30 和 60 min)下鱼糜制品的品质变化, 进一步丰富鱼糜制品加工过程中的热稳定性理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

冷冻鲢鱼糜, 湖北洪湖市井力水产食品有限公司(AAA 级); PDVC 肠衣, 山东省庆云县宜捷塑料制品有限公司; 氯化钠、尿素、碳酸钠、氢氧化钠、硫酸铜、酒石酸钾钠、盐酸胍、乙二胺四乙酸(EDTA), 均购于国药集团化学试剂有限公司; 三氯乙酸(TCA)、十二烷基硫酸钠(SDS), 均购于上海化学试

收稿日期: 2018-05-08

基金项目: “十二五”科技支撑计划项目(2012BAD27b03)

李维, 硕士研究生, 研究方向: 水产品加工. E-mail: viv0630@163.com

通信作者: 杨宏, 博士, 教授, 研究方向: 食品加工. E-mail: yangh@mail.hzau.edu.cn

剂有限公司;考马斯亮蓝 R-250, Amresco; 福林酚, Sigma; β -巯基乙醇, 上海化学试剂总厂; Tris-Base, Amresco; 甘氨酸, Blosharp; 2-硝基苯甲酸 (DTNB), 瑞士 Fluka 公司。以上所有化学试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

HH-4 恒温水浴锅, 江苏常州国华电子有限公司; 高速分散器, 宁波新芝生物科技股份有限公司; HR7625 食物调理机, 中国香港飞利浦家用电器有限公司; Avanti J-E 高速离心机, 美国 Beckman Colter 有限公司; TA-XT Plus 物性测试仪, 美国 Texture Technologies 有限公司; Ultra Scan XE 色度仪, 美国 Hunterlab 公司; HCP-2 临界点干燥仪, 美国 Bio-Rad 公司; IB-3 型离子溅射仪, 日本 EIKO 公司; JSM-6390 PLV 型扫描电子显微镜, 日本 JEOL 公司; UV-1800 紫外分光光度计, 日本岛津公司; 电泳仪, 美国 Bio-Rad 有限公司。

1.3 试验方法

1) 样品的制备。将冷冻鲢鱼糜于 4 °C 的冷藏区间半解冻 6~8 h, 待其解冻后放入食品调理机中空斩 1 min, 然后加入 2.5% NaCl (按鱼糜质量计算) 斩拌 1 min, 调节鱼糜水分含量为 80% 后继续斩拌 2 min。将斩拌好的鱼糜手动灌肠, 肠衣直径为 20 mm, 长度 25 cm, 两端封口。随后两段式加热 (40 °C 加热 1 h, 90 °C 加热 30 min) 使鱼肠熟化和定型, 加热完毕后立即取出, 并于 0~4 °C 的冰水中冷却 20 min, 置于 4 °C 的环境下备用。将制备好的鱼肠分别置于 70、80、90、100 °C 进行二次加热处理, 处理时间分别为 30、60 min, 加热完毕后立即取出, 并于 0~4 °C 的冰水中冷却 20 min, 置于 4 °C 的环境下备用。所得鱼肠放置于 4 °C 的冷藏区间过夜, 次日测定各项指标。对照组为没有经过二次加热的样品。

2) 凝胶强度的测定。参考 Kim 等^[8]的方法, 稍作修改。将鱼糜凝胶切成高为 20 mm 的圆柱体, 用质构仪进行穿刺实验。实验参数: 探头 P/0.25 s, 触发力 5 g, 测前、测中、测后速度分别为 5、1、5 mm/s, 穿刺距离为 15 mm, 所得压缩曲线中最大的峰对应的力与距离分别为鱼糜凝胶的破断力 (g) 及破断距离 (cm), 即, 凝胶强度 = 破断力 \times 破断距离。

3) 持水性的测定。参考 Sánchezalonso 等^[9]的方法, 稍作修改。将鱼糜凝胶切成 2~3 mm 薄片,

称取 3.00 g 左右 (m_1 , g), 用 2 层滤纸完整包裹后, 置于 50 mL 离心管室温 3 000 r/min 离心 15 min, 凝胶样品离心后取出凝胶样品称其质量 (m_2 , g), 持水性 (water holding capacity, WHC) 按以下公式计算:

$$W_{HC} = m_2/m_1 \times 100\%$$

4) 凝胶色度的测定。将鱼糜凝胶放置在室温下平衡 2 h, 切成 20 mm 高的圆柱体, 备用。用色度仪检测其亮度值 (L^*)、红绿值 (a^*) 和黄蓝值 (b^*), 白度值 (whiteness, W) 按照 Park^[10] 的公式进行计算:

$$W = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2}$$

5) 二硫键含量的测定。根据 Beveridge 等^[11]的方法, 稍作修改, 通过测定总巯基 (SH_t) 与游离巯基 (SH_f) 含量, 间接得出二硫键含量 (S-S)。 SH_t 、 SH_f 及 S-S 含量按照下列公式计算:

$$SH = \frac{n \times 73.53 \times A_{412}}{C}$$

$$S-S = (SH_t - SH_f) / 2$$

其中, C 为蛋白质量浓度, mg/mL; A_{412} 即为 412 nm 处的吸光值; n 为稀释倍数; $73.53 = 10^6 / 13600, 13600 \text{ mol}/(\text{L} \cdot \text{cm})$ 是摩尔消光系数。

6) 离子键、氢键及疏水相互作用力的测定。参考 Gómez-Guillén 等^[12]的方法稍作修改。准确称取 2.0 g 鱼糜凝胶样品, 加入 0.05 mol/L NaCl 10 mL (SA), 5 000 r/min 均质 1 min 后置于 4 °C 下静置 1 h, 4 °C 以 8 000 r/min 离心 20 min, 收集沉淀; 向沉淀中加入 0.6 mol/L NaCl 10 mL (SB), 均质, 置于 4 °C 下静置 1 h, 离心, 取上清液用 Lowry^[13] 方法测蛋白质浓度, 即为离子键含量; 同时收集沉淀, 向沉淀中加入 10 mL 含 0.6 mol/L NaCl 与 1.5 mol/L 尿素的混合试剂 (SC), 均质, 置于 4 °C 下静置 1 h, 离心, 取上清液用 Lowry^[13] 方法测其蛋白质浓度, 即为氢键含量; 继续收集沉淀, 最后向沉淀中加入 10 mL 含 0.6 mol/L NaCl 与 8.0 mol/L 尿素的混合试剂 (SD), 均质, 置于 4 °C 下静置 1 h, 离心, 取上清液测其蛋白质浓度, 即为疏水相互作用含量。

7) 微观结构。参考 Oujifard 等^[14]方法略作修改。取鱼糜凝胶样品中心, 切成 3 mm \times 2 mm \times 1 mm 的小薄片, 用 2.5% 戊二醛磷酸缓冲液 (0.1 mol/L, pH 7.2) 浸泡固定, 放入室温 2 h 后, 置于 4 °C 冷藏 24 h, 备用; 吸出固定液, 分别用 30%、50%、70% 乙醇各脱水 15 min, 再依次用 90%、

100%乙醇分别脱水 10 min, 最后用乙酸异戊酯浸泡, 采用临界点干燥和离子溅射仪镀金, 在 20 kV 加速电压下进行电镜扫描, 观察其微观结构。

8) SDS-PAGE。将切碎的样品准确称取 3.0 g, 加入 27 mL 的 5% SDS 溶液, 混合后于 8 000 r/min 均质 1 min, 将均质液置于 90 °C 恒温水浴加热 1 h。随后于 10 000 r/min 离心 30 min, 采用 Lowry^[13] 方法测上清液的蛋白浓度。然后用 5% SDS 调至蛋白质量浓度为 3 mg/mL, 加上样缓冲液 (样品与缓冲液体积比为 4:1), 沸水浴加热 5 min, 置于 -18 °C 冻藏备用。采用 5% 浓缩胶和 10% 分离胶进行电泳实验, 点样量为 10 μ L, 调整电压至 80 V, 待电泳样品前沿到分离胶后, 将电压提高至 120 V。电泳结束后, 用 0.1% 的考马斯亮蓝 R-250 染色, 乙醇和醋酸混合液进行脱色, 最后用凝胶扫描成像仪观察拍照。

1.4 数据统计与分析

所有实验数据重复 3 次。分别采用 IBM SPSS、GraphPad Prim 5、OriginPro 8.5.1 及 Excel 等软件进行数据分析及图表绘制, 单因素方差分析中 $P < 0.05$ 表示显著, 其作为统计学意义的标准。

2 结果与分析

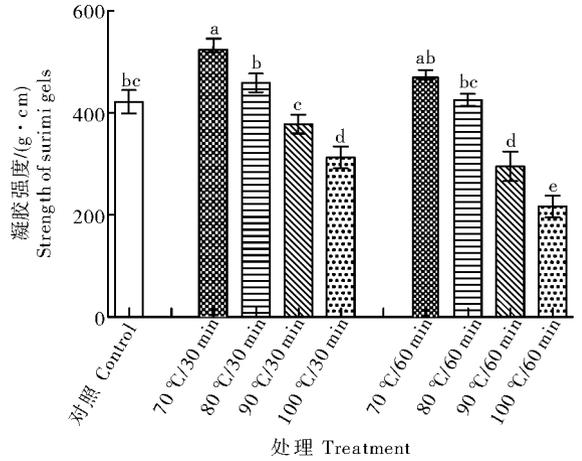
2.1 二次加热处理对鱼糜凝胶强度的影响

凝胶强度是表征凝胶特性的重要指标之一, 凝胶强度越大说明鱼糜凝胶的品质越好。如图 1 所示, 对照组的凝胶强度为 421.9 g · cm, 经过二次加热处理后, 随着加热温度的升高和时间的延长, 鱼糜的凝胶强度呈现先上升后下降的趋势。其中, 70 °C 加热 30 min 时凝胶强度最高, 为 512.8 g · cm; 100 °C 加热 60 min 后其凝胶强度最低, 为 216.93 g · cm。具有令人愉悦的弹性口感的凝胶强度在 300 g · cm 以上^[3], 由此可见, 100 °C 加热 60 min 后鱼糜凝胶的凝胶特性已完全被破坏了。

2.2 二次加热处理对鱼糜凝胶持水性的影响

从图 2 可知, 经过二次加热处理后, 与对照组相比, 随着二次加热处理温度的升高和时间的延长, 鱼糜凝胶的持水性呈现先上升后下降的趋势, 其变化趋势与前述凝胶强度变化趋势基本一致, 由此可见, 持水性降低是鱼糜制品品质特性下降的一种体现。其中, 对照组的持水性为 85.88%, 70 °C 加热 30 min 后为 86.81%, 100 °C 加热 60 min 后为

83.14%。鱼糜凝胶的三维网状结构能够锁住大量的水分, 但持续加热会导致疏水基团的暴露, 使原有的网络结构发生改变, 凝胶的保水能力就会相应地降低^[16]。



不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 下同。Different letters indicated the mean values were significantly different ($P < 0.05$), the same as below.

图 1 二次加热处理对鱼糜凝胶强度的影响

Fig.1 Effects of secondary heat treatment on the strength of surimi gels

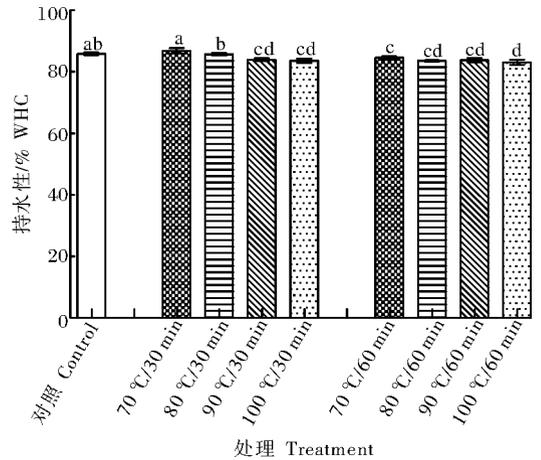


图 2 二次加热处理对鱼糜凝胶持水性的影响

Fig.2 Effects of secondary treatment on the water holding capacity of surimi gels

2.3 二次加热处理对鱼糜凝胶色度的影响

通常情况下, 好的鱼糜凝胶制品要求具有高 L^* 、低 b^* 值, 整体白度高^[4]。从表 1 可以看出, 当二次加热处理温度在 70~100 °C, 处理时间分别为 30、60 min 时, 鱼糜凝胶白度的整体变化并不显著。由此可知, 不同二次加热处理对鱼糜的白度有一定的影响, 但其影响程度在可接受的范围之内。

表 1 二次加热处理对鱼糜凝胶色度的影响

Table 1 Effects of secondary heat treatment on the color of surimi gels

处理 Treatment	<i>L</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *	白度 Whiteness
对照 Control	79.71±0.79a	-2.19±0.05cd	3.982±0.180d	79.04±0.25a
70 °C/30 min	79.66±0.35a	-2.30±0.07ab	4.068±0.190d	78.99±0.32a
80 °C/30 min	79.59±0.74a	-2.31±0.08ab	4.132±0.110d	79.02±0.33a
90 °C/30 min	79.56±0.32a	-2.33±0.07a	4.192±0.260c	78.67±0.54a
100 °C/30 min	79.54±0.47a	-2.25±0.06bc	4.255±0.130c	78.98±0.48a
70 °C/60 min	79.54±0.51a	-2.16±0.10de	4.268±0.220c	78.99±0.47a
80 °C/60 min	79.54±0.26a	-2.14±0.09de	4.229±0.300c	79.14±0.77a
90 °C/60 min	79.38±0.46a	-2.10±0.08e	4.345±0.100b	78.84±0.42a
100 °C/60 min	79.21±0.60a	-1.98±0.11f	4.498±0.230a	78.78±0.71a

2.4 二次加热处理对鱼糜凝胶二硫键的影响

图 3 显示了二次加热处理对鱼糜凝胶二硫键含量的影响。相较于对照组,随着二次加热处理温度的升高和时间的延长,二硫键的含量呈现先上升后下降的趋势,其变化趋势与凝胶强度和持水性的变化趋势基本一致。与对照组相比,70 °C 加热 30 min 后二硫键含量上升了 40.7%,而 100 °C 加热 60 min 后二硫键含量下降了 25.3%。由此推测,在一定温度和时间范围内,随着二次加热处理温度的升高和时间的延长,蛋白质中的巯基会继续转化成二硫键,但超出一定范围后,加热处理会对二硫键产生破坏作用,使二硫键的含量下降。

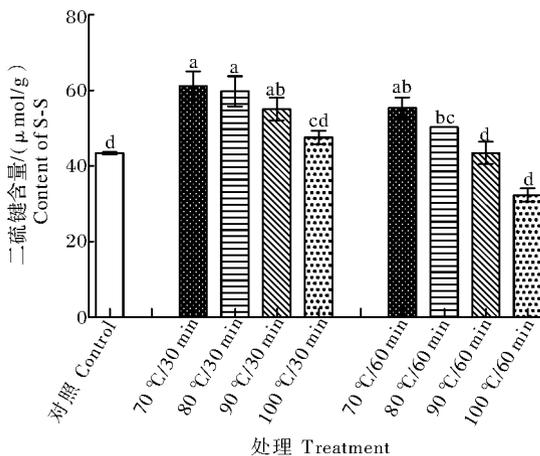


图 3 二次加热处理对鱼糜凝胶二硫键的影响

Fig.3 Effects of secondary heat treatment on the disulfide bonds content of surimi gels

2.5 二次加热处理对鱼糜凝胶非共价作用力的影响

图 4 显示了二次加热处理对鱼糜凝胶制品中离子键、氢键和疏水相互作用的影响。相较于对照组,

随着二次加热处理温度的升高和时间的延长,离子键整体上呈现一定的下降趋势,氢键整体上呈现上升的趋势,而疏水相互作用呈现先上升后下降的趋势。其中,疏水相互作用整体的变化趋势与上述凝胶强度变化的趋势相符合。推测这些化学作用力的共同变化导致了蛋白质三维网状结构的改变,其中离子键和疏水相互作用在这一变化过程中占主要作用,进而影响了鱼糜凝胶的物理化学性质。

2.6 二次加热处理对鱼糜凝胶微观结构的影响

图 5 显示的是经过不同二次加热处理后鱼糜凝胶的微观结构。从图 5 可知,与对照组相比,经过 70、80 °C 加热处理 30 min 后的鱼糜凝胶具有较好的网状结构,网状结构的孔隙较为致密,该网状结构使得鱼糜凝胶保持一定的凝胶强度。经过 70、80 °C 加热处理 60 min 后的鱼糜凝胶网状结构较 70、80 °C 处理 30 min 的鱼糜而言,其结构变得松散,孔隙变大,但仍维持了一定网状结构。而经过 90、100 °C 加热处理的鱼糜凝胶网状结构的骨架变得脆弱,孔隙变大,网状结构不再完整。这也解释了随着加热处理温度的升高和时间的增加,鱼糜制品凝胶强度先增大后降低的原因,由此可以推测,较高温度和较长时间的二次加热处理会破坏鱼糜制品凝胶的网状结构。

2.7 二次加热处理对鱼糜凝胶 SDS-PAGE 电泳图谱的影响

从图 6 可知,鱼糜凝胶中最主要的蛋白是肌球蛋白重链(MHC,分子质量约为 220 ku)和肌动蛋白(actin,AC,分子质量约为 43 ku)。与对照组相比,70、80 °C 的处理组的 MHC 条带有一定程度的加深。而随着二次加热处理温度的升高和时间的延长,MHC 条带逐渐下降至消失,肌动蛋白条带有一

定程度的下降。尤其是 100 °C 加热处理 30 min 以下降的尤为显著。这一变化趋势和凝胶强度的变化及 100 °C 加热处理 60 min 后,这两组的 MHC 条带 趋势相一致。

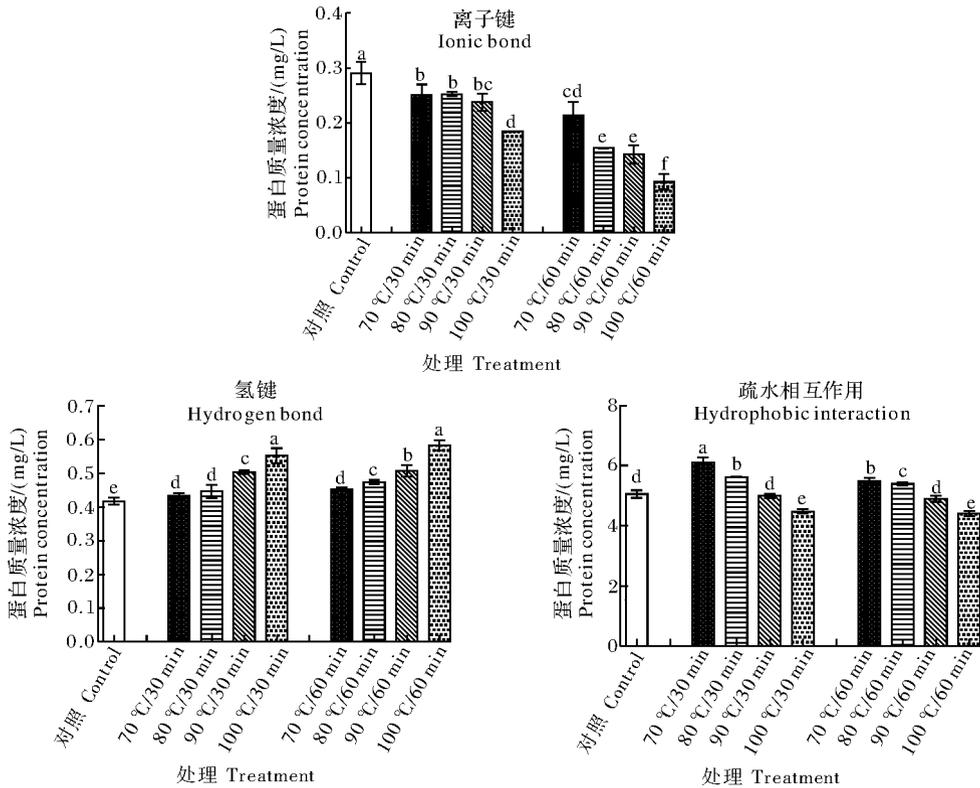


图 4 二次加热处理对鱼糜凝胶非共价作用力的影响

Fig.4 Effects of secondary heat treatment on the chemical bonds of surimi gels

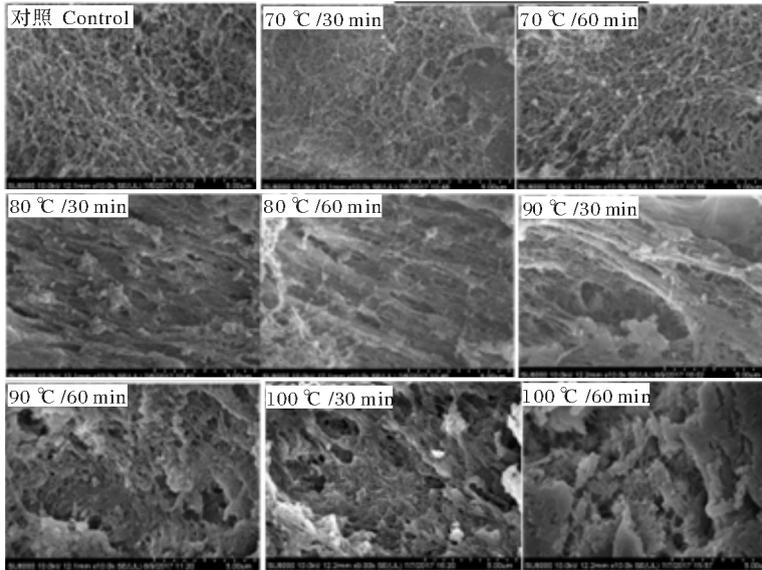
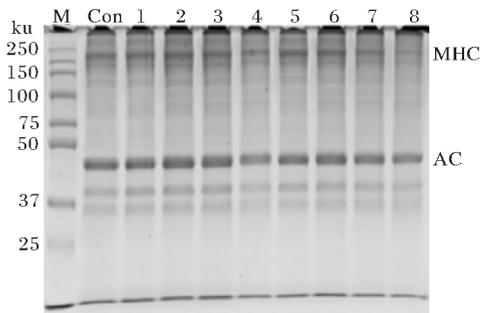


图 5 不同二次加热处理鱼糜凝胶的扫描电镜图谱 (×10 000)

Fig.5 Microstructure (×10 000) of surimi gels with different secondary heat treatment



M 为标准蛋白 Marker; Con 为对照组 Control; 1: 70 °C/30 min; 2: 80 °C/30 min; 3: 90 °C/30 min; 4: 100 °C/30 min; 5: 70 °C/60 min; 6: 80 °C/60 min; 7: 90 °C/60 min; 8: 100 °C/60 min.

图 6 不同二次加热处理鱼糜凝胶的 SDS-PAGE 电泳图谱

Fig.6 SDS-PAGE patterns of surimi gels with different secondary heat treatment

3 讨 论

当二次加热处理的温度超过 80 °C 后,对鱼糜凝胶品质产生的主要是负面作用,且各项指标之间的变化具有一定的关联性。鱼糜凝胶的形成主要依赖于肌原纤维蛋白中的肌动蛋白和肌球蛋白形成的交联网状结构,肌动蛋白和肌球蛋白受热易变性,使得鱼糜凝胶劣化^[17]。盖静^[6]研究表明,在 90 °C 条件下加热 60 min,鱼糜的蛋白质并未完全变性,推测当二次加热处理的温度在 80 °C 以下时,未完全变性的蛋白质会继续发生变化。而当鱼糜凝胶二次加热的温度过高以及时间过长后也可能导致二硫键和巯基的裂解,破坏鱼糜凝胶内部蛋白质交联的共价键,从而使得鱼糜制品的凝胶强度下降。

鱼糜在热凝胶的过程中,肌原纤维蛋白在盐的作用下水溶性增强,肌球蛋白高级结构展开,依靠氢键作用结合了大量游离水分子,形成具有弹性的凝胶^[18]。鱼糜凝胶持水性是判定鱼糜品质的重要参数,持水性可以用来考察蛋白质凝胶网络结构对水分子的截留能力。持水性能好的鱼糜制品,内部的水分不易外渗,可压出水分少,失水率低。鱼糜凝胶的三维网状结构能够锁住大量的水分,但持续加热会导致疏水基团的暴露,使原有的网络结构改变,凝胶的保水能力就会相应地降低^[16]。

色度是影响鱼糜凝胶品质的重要指标之一,同时色度也是人们对无明显气味食物的第一印象,因此,在实际的生产加工中,对鱼糜凝胶白度的要求较高^[18-19]。研究表明,鱼糜凝胶的含水量越高,那么对应的 L^* 也越高^[20]。随着二次加热处理温度的升高

和加热时间的延长,鱼糜的 L^* 值无显著变化,鱼糜凝胶白度的整体变化并不显著,由此可见,二次加热处理对鱼糜的白度影响不大。

蛋白质的稳定性与二硫键密切相关,二硫键对鱼糜凝胶的形成有重要影响。而巯基氧化反应和巯基/二硫键交换反应是蛋白质热诱导聚集过程的重要组成部分^[21]。推测在二次加热处理的过程中,当温度在 80 °C 下时,未完全变性的肌原纤维蛋白空间结构发生改变,使埋藏在分子内部的巯基更多地暴露出来,进而被氧化成二硫键,因此,二硫键的含量增多。但超出一定加热温度和时间范围后,会对二硫键产生一定的破坏作用,使二硫键的含量下降。孔保华等^[22]在研究一次加热对鲢鱼糜二硫键的影响时发现,鱼糜制品中的巯基含量随着加热时间的增加和加热温度的升高而逐渐减少。而陈斌^[5]在研究热杀菌对罗非鱼鱼糜肠巯基含量的影响时发现,在 105~121.1 °C 时,巯基的含量随温度的升高显著上升,巯基含量的上升可间接反映二硫键交联程度的下降,同时也证明了二硫键是蛋白质凝胶形成的主要化学作用力。

蛋白质中的离子键是带有相反电荷的两个氨基酸残基依靠库仑引力结合而成的,所以一般鱼肉的正常 pH 接近中性,离子键对稳定蛋白质的三级和四级结构具有非常重要的作用。疏水相互作用是蛋白质中非极性氨基酸残基之间的一种非共价的相互作用,肌原纤维蛋白在加热的条件下变性展开,肌球蛋白尾部的疏水基团暴露在蛋白分子表面,疏水相互作用增强,使肌原纤维蛋白分子发生聚集形成了凝胶^[23]。蛋白质的二级结构是通过骨架上的羰基和酰胺基团之间形成的氢键维持的,虽然氢键作为偶极键结合能力较弱,但其在蛋白质凝胶体系中数目极大,因此,对稳定蛋白质分子结构具有重要作用^[24]。总体而言,离子键含量、疏水相互作用含量及二硫键含量的下降程度与上述凝胶强度变化的趋势相符合,由此可以推测这 3 种化学作用力在 80 °C 以上的二次加热处理后均受到了不同程度的破坏是导致鱼糜制品品质变差的原因,这也间接解释了随着二次加热处理温度的升高和时间的延长鱼糜凝胶网络结构会变差。

微观结构随着二次加热处理温度的升高和时间的延长网状结构呈现变差的趋势,尤其是 90、100 °C 处理后的鱼糜凝胶网状结构的孔隙变得很大。李艳青^[25]的研究表明,蛋白质氧化变性后,会使原有蛋

白结构变得更加松散无序,导致在凝胶网络结构形成过程中氢键、疏水和静电相互作用等各种作用力发生改变,整体上降低了形成凝胶三维网状结构的作用力,从而产生了弱凝胶网络结构。张莉莉^[3]研究表明,经过不同温度处理后鱼糜凝胶的网状结构并不完全相同,高温处理对结构具有一定程度的破坏,网状结构变得更加的脆弱。

随着二次加热处理温度的升高和时间的延长,MHC 条带逐渐下降至消失。尤其是 100 °C 处理组的 MHC 条带下降的尤为显著。由于肌球蛋白是形成鱼糜凝胶网络结构最主要的蛋白质,而 MHC 又是肌球蛋白分子中参与凝胶最重要的部分^[10]。凡是能够影响肌球蛋白结构的因素均可进一步影响到肌原纤维蛋白的凝胶特性^[26]。因而这一结果可以很好地解释为何鱼糜凝胶经过 100 °C 的二次热处理后的凝胶强度显著低于其他处理组的凝胶强度。

以上研究表明,当二次加热处理温度为 70、80 °C,时间为 30 min 时,对已经过两段式加热成型的白鲢鱼糜凝胶的品质并不会产生负面作用,反而有一定的增强效果。而随着二次加热处理温度的继续升高和时间的延长,鱼糜凝胶的品质会出现不同程度的下降,其中 100 °C 加热 60 min 后凝胶性能破坏得最为彻底。

参 考 文 献

[1] 沈月新.水产食品学[M].北京:中国农业出版社,2001:43-57.
 [2] 李婉君.我国水产品精深加工与质量安全分析——中国海洋大学薛长湖教授专访[J].肉类研究,2018(2):11-14.
 [3] 张莉莉.高温(100~120 °C)处理对鱼糜及其复合凝胶热稳定性的影响[D].青岛:中国海洋大学,2013.
 [4] 卢彦宇.高温处理对商业鱼糜凝胶及其复合凝胶性质的影响[D].厦门:集美大学,2016.
 [5] 陈斌.热杀菌及添加物对罗非鱼鱼糜肠质构的影响[D].广州:华南理工大学,2012.
 [6] 盖静.不同加热温度对鲮鱼肌球蛋白聚集行为的影响及其机理研究[D].镇江:江苏大学,2016.
 [7] 钱坤,郭炳坚.我国水产品加工行业发展现状和发展趋势[J].中国水产,2016(6):48-50.
 [8] KIM B,PARK J,YOON W.Rheology and texture properties of surimi gels[M]//PARK J W.Surimi and surimi seafood.2nd. New York:CRC Press,2005.
 [9] SÁNCHEZALONSO I,SOLAS M T,BORDERI AS A J.Technological implications of addition of wheat dietary fibre to giant squid

(*Dosidicus gigas*) surimi gels[J].Journal of food engineering, 2007,81(2):404-411.
 [10] PARK J W.Surimi and surimi seafood[M].2nd.New York:CRC Press,2005.
 [11] BEVERIDGE T,TOMA S J,NAKAI S.Determination of SH- and S-S group in some food proteins using ellman's reagent [J].Journal of food science,1974,39(1):49-51.
 [12] GOMEZ-GUILLEN M C,BORDERIAS A J,MONTERO P. Chemical interactions of nonmuscle proteins in the network of sardine (*Sardina pilchardus*) muscle gels[J].LWT-food science and technology,1997,30(6):602-608.
 [13] LOWRY O.Protein measurement with folin phenol reagent[J]. Journal of biological chemistry,1951,193(1):265.
 [14] OUJIFARD A,BENJAKUL S,AHMAD M, et al. Effect of bambara groundnut protein isolate on autolysis and gel properties of surimi from threadfin bream (*Nemipterus bleekeri*)[J]. LWT-food science and technology,2012,47(2):261-266.
 [15] 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(3): 1077-1084.
 [16] RAWDKUEN S,SAI-UT S,KHAMSORN S, et al. Biochemical and gelling properties of tilapia surimi and protein recovered using an acid-alkaline process[J].Food chemistry,2009,112(1): 112-119.
 [17] 刘海梅.鲢鱼糜凝胶及形成机理的研究[D].武汉:华中农业大学,2007.
 [18] 孙静文.不同漂洗对草鱼和白鲢鱼糜蛋白及其凝胶性能的影响 [D].武汉:华中农业大学,2016.
 [19] 关宏,丁玉琴,尤娟,等.pH 值对添加 L-精氨酸的草鱼糜凝胶特性的影响[J].华中农业大学学报,2018,37(5):110-116.
 [20] HSU C K,CHIANG B H.Effects of water, oil, starch, calcium carbonate and titanium dioxide on the colour and texture of threadfin and hairtail surimi gels[J].International journal of food science & technology,2002,37(4):387-393.
 [21] 阮奇琪.大豆蛋白热诱导二硫键连接物的形成及巯基变化亚基水平研究[D].无锡:江南大学,2015.
 [22] 孔保华,欣欣,郑冬梅.加热对鲢鱼糜凝胶特性及二硫键的影响 [J].食品工业科技,2004(6):71-73.
 [23] 张春岭.大豆疏水分离蛋白的结构表征及新型胶粘剂的研究 [D].武汉:华中农业大学,2009.
 [24] 肖旭华.米渣及米渣蛋白对鲢鱼糜凝胶特性和冻融稳定性的影响[D].武汉:华中农业大学,2014.
 [25] 李艳青.蛋白质氧化对鲤鱼蛋白结构和功能性的影响及其控制技术[D].哈尔滨:东北农业大学,2013.
 [26] ISHIOROSHI M,SAMEJIMA K,YASUI T.Further studies on the roles of the head and tail regions of the myosin molecule in heat-induced gelation[J].Journal of food science,1982,47(1): 114-120.

Effects of secondary heat treatment on the quality of silver carp surimi products

LI Wei¹ CHENG Di¹ YANG Hong^{1,2,3}

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

2. *Hunan Collaborative Innovation Center for Aquatic Efficient Health Production, Hunan University of Arts and Science, Changde 415000, China;*

3. *Key Laboratory of Environment Correlative Dietology, Ministry of Education, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China*

Abstract The gel strength, water holding capacity, whiteness, interactions and microstructure of silver carp surimi gels were measured after secondary heating treatment. The effects of different secondary heating treatment conditions (70-100 °C for 30 min and 60 min) on the quality of silver carp surimi gels were investigated. The results showed that the gel strength, water holding capacity and the contents of disulfide bonds and hydrophobic interactions of the surimi gels increased firstly and then decreased with the increase of the secondary heat treatment temperature and time compared with the control group. Especially for 60 minutes heating at 100 °C, its gel properties were completely destroyed. When the temperature of the secondary heat treatment was higher than 80 °C, the three-dimensional network structure of the surimi gels were destroyed to a certain extent, and the degree of destruction increased with the increase of the secondary heat treatment temperature and time. This result was consistent with the trend of the above indicators. The results of SDS-PAGE patterns showed that the myosin heavy chain (MHC) bands decreased gradually with the increase of the secondary heat treatment temperature and time. When the secondary heat treatment temperature reached 100 °C, the MHC bands almost disappeared. It will provide a theoretical basis for further understanding the thermal stability of surimi-based products.

Keywords silver carp; surimi products; secondary heat treatment; gel strength; water holding capacity

(责任编辑:陆文昌)