

加热方式对混合鱼糜凝胶特性的影响

张一鸣, 李思仪, 沈晓溪, 石晨晖, 尚宏丽

Effect of Heating Method on the Characteristics of Mixed Chyme Gel

ZHANG Yiming, LI Siyi, SHEN Xiaoxi, SHI Chenhui, and SHANG Hongli

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021010197>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

微波加热处理对牦牛肉加热损失率、嫩度及微观结构的影响

Effect of microwave heating on heating loss rate, tenderness and microstructure of yak meat

食品工业科技. 2018, 39(11): 45-50

罗非鱼与四种海水鱼混合鱼糜的凝胶特性

Gel properties of tilapia and four species of sea fish mixed surimi

食品工业科技. 2018, 39(6): 8-12

芹菜茎对金线鱼鱼糕凝胶特性的影响

Effect of Celery Petiole on the Gel Properties of *Nemipterus virgatus* Fish Cake

食品工业科技. 2020, 41(20): 1-5

罗非鱼与海水鱼制备混合鱼糜的凝胶特性研究

Research on gel properties of tilapia and sea fish mixed surimi

食品工业科技. 2018, 39(2): 5-9

添加剂对豆腐皮质构特性及微观结构的影响

Research of additives on texture property and microstructure of Yuba

食品工业科技. 2017(08): 300-305

麦麸膳食纤维对小麦粉糊化及凝胶质构特性的影响

Effect of wheat bran dietary fiber on pasting and gel textural properties of wheat flour

食品工业科技. 2018, 39(8): 1-5,12



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

张一鸣, 李思仪, 沈晓溪, 等. 加热方式对混合鱼糜凝胶特性的影响 [J]. 食品工业科技, 2021, 42(19): 64–69. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021010197

ZHANG Yiming, LI Siyi, SHEN Xiaoxi, et al. Effect of Heating Method on the Characteristics of Mixed Chyme Gel[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(19): 64–69. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021010197

加热方式对混合鱼糜凝胶特性的影响

张一鸣, 李思仪, 沈晓溪, 石晨晖, 尚宏丽*

(锦州医科大学食品科学与工程学院, 辽宁锦州 121001)

摘要: 本文以鲢鱼和鳙鱼为原料制成混合鱼糜, 采用 5 种加热方式 (水浴二段加热、微波加热、水浴微波联用、蒸汽加热、高压熟制) 对混合鱼糜进行热处理。以鱼糜凝胶强度、持水力、白度以及质构特性为检测指标, 通过 SDS-PAGE 凝胶电泳和扫描电镜检测方法, 研究不同加热方式对混合鱼糜的凝胶特性的影响。结果表明: 不同加热方式对混合鱼糜凝胶特性的影响不同。相比传统水浴二段加热, 微波加热, 蒸汽加热和高压熟制法, 水浴微波联用法制备的混合鱼糜凝胶强度为 2979.47 g·cm, 持水力为 94.33%, 白度为 83.75, 硬度、弹性、胶粘性和咀嚼性显著提高 ($P < 0.05$), 扫描电镜图显示水浴微波联用法制备的鱼糜凝胶三维网状结构紧密, 凝胶孔洞较小且表面平滑, 结合 SDS-PAGE 凝胶电泳分析得出, 加热会影响混合鱼糜凝胶中蛋白质成分降解, 而水浴微波联用法制得的混合鱼糜凝胶的主要蛋白质成分保留较多。

关键词: 混合鱼糜, 加热方式, SDS-PAGE, 微观结构

中图分类号: TS254.9

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2021)19-0064-06

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021010197

本文网刊:



Effect of Heating Method on the Characteristics of Mixed Chyme Gel

ZHANG Yiming, LI Siyi, SHEN Xiaoxi, SHI Chenhui, SHANG Hongli*

(Jinzhou Medical University, School of Food Science and Engineering, Jinzhou 121001, China)

Abstract: In this paper, silver carp and cod were used as raw materials to make mixed surimi. Five heating methods (water bath two stage heating, microwave heating, water bath microwave combination, steam heating, high pressure ripening) were used to heat the mixed surimi. By SDS-PAGE gel electrophoresis and scanning electron microscopy, the effects of different heating methods on the gel properties of mixed surimi gel were studied. The results showed that different heating methods had different effects on the characteristics of mixed surimi gel. The strength of mixed surimi gel was 2979.47 g·cm compared with that of traditional water bath two-stage heating, microwave heating, steam heating and high pressure curing method, water bath microwave combined method was 94.33%, whiteness was 83.75, hardness, elasticity and chewiness were significantly improved ($P < 0.05$). Scanning electron microscopy (SEM) showed that the three-dimensional network structure of surimi gel prepared by microwave coupling in water bath was tight, the pores of the gel were small and the surface was smooth. Combined with SDS-PAGE gel electrophoresis analysis, heating can affect the degradation of protein components in mixed surimi gel, while the main protein components of mixed surimi gel obtained by microwave coupling in water bath remain more.

Key words: mixed surimi; heating mode; SDS-PAGE; microstructure

加热处理是鱼糜制品重要的加工步骤, 鱼糜加热成鱼糜凝胶的过程中, 蛋白质在凝胶形成过程中分为两个阶段, 即为凝胶化阶段和凝胶劣化阶段。低于 50 °C 是鱼糜凝胶化阶段, 又称为低温凝胶化, 肌原纤维蛋白在盐分的作用下溶出, 形成松散的网状结构, 蛋白从溶胶变为凝胶; 50~70 °C 时是凝胶劣化的

阶段, 鱼糜中蛋白质可以被内源性组织蛋白酶所降解, 迫使鱼糜中蛋白质网络断裂, 从而造成凝胶劣化^[1-3]。因此, 在鱼糜生产过程中要尽量避开这个温度段, 降低凝胶劣化的程度, 当温度达到 85 °C 以上后, 进入鱼糕化阶段, 凝胶变成有序、非透明状, 鱼糜凝胶强度明显增大。因此加热的方式可直接影响鱼

收稿日期: 2021-01-25

基金项目: 辽宁省自然科学基金项目 (20180550549)。

作者简介: 张一鸣 (1997-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 水产品加工及贮藏工程, E-mail: 1025459607@qq.com。

* 通信作者: 尚宏丽 (1977-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 食品生物技术, E-mail: shanghongli007@126.com。

糜凝胶的形成^[4]。传统的水浴加热、高温蒸汽加热、微波加热、超高压熟制等都是应用范围较广的鱼糜加热方式^[5]。其中,微波加热因具有加热时间短、加热速度快的特点,可以快速经过鱼糜凝胶劣化区间,能够有效改善鱼糜的凝胶特性,但同时因为快速经过鱼糜凝胶的阶段,会影响肌原纤维蛋白的展开以及后续交联^[6]。所以在原有基础上采用将水浴与微波相结合的水浴微波联用法比单独的微波加热法制备的混合鱼糜制品既可以在 40 ℃ 低温凝胶状态下保持稳定又可以快速经过凝胶劣化阶段。目前,在鱼糜的加热选择中,大多还是选择水浴二段加热法,也有研究者研究出不同的加热方式,用来弥补水浴二段加热法的不足,但是不同研究人员认为的好坏加热方式也不一样^[7-8],所以在此研究基础上将不同加热方式进行比较。

本文选择外源添加马铃薯淀粉、谷氨酰胺转氨酶(TGase)以及蛋清蛋白的鲢鱼与鳙鱼的混合鱼糜为原料,研究 5 种不同加热方式(水浴二段加热、微波加热、水浴微波联用、蒸汽加热、高压熟制)对混合鱼糜凝胶特性的影响,结合质构仪、SDS-PAGE 凝胶电泳和扫描电镜技术分析,选取适合的加热方式为产出品质优质的混合鱼糜制品提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

冷冻鲢鱼糜、冷冻鳙鱼糜 湖北洪湖市井力水产食品有限公司;聚乙烯材料肠衣 鹏翼肠衣工厂店;谷氨酰胺转氨酶(酶活 100 IU/g) 江苏一鸣生物股份有限公司;食盐、马铃薯淀粉 市售;蛋清蛋白粉 苏州欧福蛋业股份有限公司;tris 盐 天津大茂试剂公司;2.5% 戊二醛 山东利尔康医疗器械股份有限公司;磷酸氢二钠、磷酸二氢钠、无水乙醇 天津化学试剂厂;考马斯亮蓝 R-250、甘氨酸、溴酚蓝、SDS(十二烷基硫酸钠) 中国医药集团上海化学试剂公司;冰乙酸、甲醇(均为 AR) 沈阳试剂厂;实验室自制重蒸水和三蒸水。

TA-XT Plus 型质构仪 英国 Stable Micro System 公司;SS300 型三足离心机 上海浦东天本离心机械有限公司;CT15RT 型台式高速冷冻离心机 上海天美生化仪器设备工程有限公司;SC-80C 型全自动色差计 北京康光仪器有限公司;HH 型数显恒温水浴锅 江苏金坛市金城国胜实验仪器厂;85-2B 双数显恒温磁力搅拌器 济南欧莱博技术有限公司;BYN-J1-3 实验室微波炉 长沙巴跃仪器有限公司;164-5050 电泳仪 美国伯乐 Bio-Rad;KYKY-EM8000F 型扫描电镜 北京中科科仪股份有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 混合鱼糜的制备 将鲢鱼与鳙鱼鱼糜在室温下解冻,鲢鱼鱼糜与鳙鱼鱼糜按照 5:1 的比例复合,再添加 0.4% 谷氨酰胺转氨酶,16% 马铃薯淀粉以及 4% 蛋清蛋白粉调节至水分含量为 70%,加入 2.5%

NaCl 擂溃成型后将其灌入准备好的肠衣中^[9]。

1.2.2 混合鱼糜凝胶的制备 将灌好的混合鱼糜通过不同加热方式进行加热,然后迅速放入凉水中使其凝胶化后放入 4 ℃ 冰箱冷藏保存,待测。

1.2.3 混合鱼糜五种不同加热方式 根据目前研究出的加热方式整理如表 1。

表 1 不同加热方式的加热时间
Table 1 Heating time of different heating modes

名称	加热时间
水浴二段加热	40 ℃保温 1 h 后,90 ℃加热 30 min ^[10]
微波加热	600 W 加热 60 s ^[5]
水浴微波联用	40 ℃保温 1 h 后,400 W 加热 50 s ^[7]
蒸汽加热	沸水下蒸制 25 min ^[11]
高压熟制	高压锅保压 15 min ^[12]

1.2.4 凝胶强度的测定 将混合鱼糜凝胶切成高为 20 mm 的圆柱体,选择用 5 mm 的通用柱形探头的质构仪对样品进行两次压缩,测前速度为 2 mm/s,测试中的速度和测试后的速度共同选择 1 mm/s,压缩百分比为 50%,停留时间为 5 s;破断强度为测试过程中第一个出现的峰的最大力,凹陷深度为第一个峰对应的压缩距离,破断强度与凹陷深度的乘积即为求得的凝胶强度值^[13]。

1.2.5 持水性的测定 将混合鱼糜凝胶切成大约 3 mm 厚度的薄片并称重量(W₁),先将 3 张滤纸置于下方,上面再放 2 张滤纸,用 5 kg 的重物压制并保持 2 min,取出滤纸,再次称重(W₂),持水性按式(1)计算^[14]:

$$\text{持水性}(\%) = \frac{W_2}{W_1} \times 100$$

式 (1)

式中:W₁—第一次称重的质量(g);W₂—第二次称重的质量(g)。

1.2.6 白度的测定 将混合鱼糜凝胶切成约 5 mm 厚度的薄片,白度值需要用全自动测色色差计来测定,混合鱼糜凝胶样本每一个取 3 片,每片测定 5 次,取 5 次测试值得平均值。白度按式(2)计算^[15]:

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

式 (2)

注:L*—亮度;a*—正值偏红,负值偏绿;b*—正值偏黄,负值偏蓝。

1.2.7 质构的测定 将混合鱼糜凝胶切成高为 20 mm 的圆柱体,各组鱼糜平行测定 5 次,选择用 5 mm 的通用柱形探头的质构仪,测试前的速度选择为 2.00 mm/s,测试中的速度为 1.00 mm/s,选择测试后速度为 1.00 mm/s,选择压缩百分比为 50%,并且两次压缩间隔的时间为 5.00 s,触发力 5.0 g^[16]。

1.2.8 SDS-PAGE 凝胶电泳分析 称取 3 g 混合鱼糜凝胶样品,切碎后置于 27 mL,85 ℃ 的 5% 的 SDS 溶液中,均质 15 min 后,将含有均质液的离心管放于 85 ℃ 的水浴锅中保温 1 h,冷却后在 25 ℃,

4000 r/min 下离心 10 min, 取上清液, 与上样缓冲液按 1:1 比例混合, 沸水浴 4 min, 采用 8% 分离胶和 5% 浓缩胶进行电泳分离, 蛋白上样量为 15 μ L。电泳结束后用 0.1%(m/V) 的考马斯亮蓝 R-250 染色液 (含有 50% 的甲醇, 10% 的乙酸) 染色 1 h, 然后用脱色液 (含有 50% 的甲醇, 10% 的乙酸) 蛋白质条带清晰即为脱色成功^[17]。

1.2.9 扫描电镜(SEM)微观结构观察 参考余永名等^[18]的方法, 略作修改。将混合鱼糜凝胶切成 3 mm×3 mm×3 mm 小块, 用 2.5% 的戊二醛固定 12 h, 去除固定液后用磷酸盐缓冲液 (0.2 mol/L, pH7.2) 漂洗 3 次, 每次 5 min, 再分别用体积分数为 30%、50%、70%、90%、95% 和 100% 的乙醇各脱水一次, 15 min/次, 再将样品放入真空冷冻干燥机中干燥 8 h, 离子溅射镀金, 用扫描电子显微镜观察微观结构。

1.3 数据处理

采用 Excel 2010 软件处理数据和绘图, 选用 SPSS 21.0 软件对数据进行方差分析 (ANOVA), $P < 0.05$ 为差异性显著。所有指标检测均测定三次取平均值^[19]。

2 结果与分析

2.1 不同加热方式对混合鱼糜凝胶强度的影响

凝胶强度即凝胶破断力和破断距离的乘积, 是反映复合鱼糜凝胶性能的一个重要指标^[20]。由图 1 可知, 不同加热方式对混合鱼糜凝胶强度影响力不同, 水浴微波联用法加热的混合鱼糜凝胶强度显著 ($P < 0.05$) 高于其余四种方法制备的混合鱼糜凝胶强度。水浴微波联用的混合鱼糜凝胶强度相比于传统水浴二段法增强了 22.4%, 较单独微波加热法增强了 14.8%, 与高压熟制法相比增强了 34.9%, 比蒸汽加热法增强了 43.9%, 而凝胶强度增强是由于混合鱼糜在经过 40 $^{\circ}\text{C}$ 水浴 1 h 的低温凝胶化后, 再用微波炉快速加热使混合鱼糜快速经过凝胶劣化阶段, 进而改善混合鱼糜凝胶强度, 使混合鱼糜凝胶强度达到最优值。

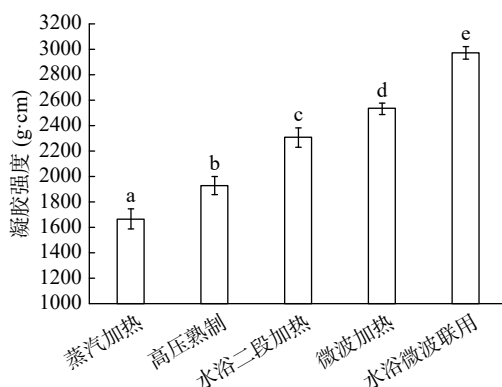


图 1 不同加热方式对混合鱼糜凝胶强度影响

Fig.1 Effect of different heating modes on gel strength of mixed surimi gel

注: 不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 图 2~图 3 同。

2.2 不同加热方式对混合鱼糜凝胶持水性的影响

混合鱼糜凝胶持水性是指鱼糜凝胶经过重力压制前后能将水分保持在其微观结构中的能力^[21], 是判断混合鱼糜凝胶优劣的一个重要参数, 较高的持水性是优质混合鱼糜的重要特点, 其值越高表示凝胶中游离水份越少。通过图 2 可以明显看出, 加热方式显著影响 ($P < 0.05$) 混合鱼糜凝胶的持水性, 根据朱玉安等^[22]研究表明, 微波加热法制备的鱼糜在蒸制和煮制中持水性最大, 而本文在此基础上选择五种加热方式, 并将水浴和微波联用, 此时水浴微波联用组制备的混合鱼糜凝胶持水性高于其他四组加热方式。水浴微波联用法制备的混合鱼糜持水性高是因为鱼糜从溶胶变为凝胶的过程中, 鱼糜中肌原纤维蛋白在前期低温水浴过程中充分展开, 有助于后期微波加热中蛋白间的交联作用, 相对于其他四种加热方式, 水浴微波联用加热可以使鱼糜凝胶结构更为紧密 (图 5c) 将鱼糜凝胶中的水分保留的更高。

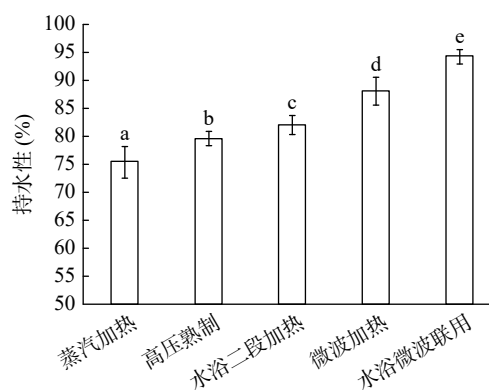


图 2 不同加热方式对混合鱼糜凝胶持水性影响

Fig.2 Effect of different heating modes on water holding capacity of mixed surimi gel

2.3 不同加热方式对混合鱼糜凝胶白度的影响

由图 3 看出, 不同加热方式下加热的混合鱼糜凝胶白度有所不同, 水浴微波联用法制备的混合鱼糜凝胶白度值显著 ($P < 0.05$) 高于水浴二段加热、微波加热、蒸汽加热以及高压法。因为高温处理不仅影响混合鱼糜凝胶中水分子的重新排列, 而且破坏蛋白

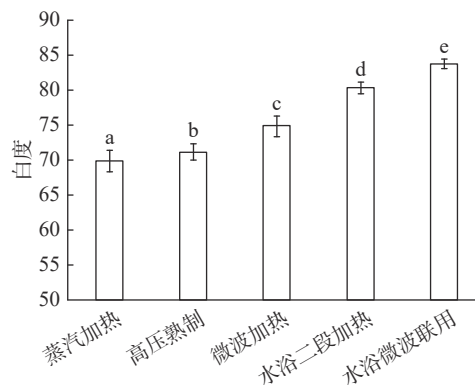


图 3 不同加热方式对混合鱼糜凝胶白度影响

Fig.3 Effect of different heating methods on the whiteness of mixed surimi gel

质分子间的非共价键,影响共价键的破坏和形成,两者都会改变凝胶的白度。陈海华等^[23]研究指出鱼糜凝胶的白度变化与蛋白变性的程度有关,而水浴微波联用法可以使混合鱼糜凝胶快速经过凝胶劣化温度段,减小蛋白质变性,所以白度也会高于其他加热方法。

2.4 不同加热方式对混合鱼糜凝胶质构的影响

由表 2 可知,五种不同的加热方式对混合鱼糜凝胶的硬度、弹性、胶粘性、咀嚼性和内聚性等质构特性有显著($P<0.05$)影响。对于不同加热方式下的混合鱼糜凝胶的硬度值,由大到小排列为:水浴微波联用>微波加热>高压熟制>水浴二段加热>蒸汽加热,且水浴微波联用法制备的混合鱼糜凝胶硬度显著($P<0.05$)高于其他方法。水浴微波联用法中先在 40 ℃ 水浴下 1 h,这一阶段添加物谷氨酰胺转氨酶(TGase)催化鱼糜蛋白分子之间形成 ϵ -(γ -谷氨酰胺)赖氨酸共价交联键,随后因为微波加热时间快速的特点使形成的 ϵ -(γ -谷氨酰胺)赖氨酸共价交联键不易被分解^[24],可以让混合鱼糜形成稳定且致密的三维网状结构(如图 5c 所示),增强其持水性进而增强混合鱼糜凝胶硬度^[25]。而不同加热方式下的混合鱼糜凝胶的弹性、胶粘性、咀嚼性的值由大到小排列为:水浴微波联用>微波加热>水浴二段法加热>高压熟制>蒸汽加热,且水浴微波联用下混合鱼糜凝胶的弹性、胶粘性、咀嚼性显著($P<0.05$)高于其他加热方式,这可能使由于微波加热可以使混合鱼糜快速经过凝胶阶段,减少劣化现象,所以微波方式在加热过程中可以在短时间内制备出凝胶特性较好的混合鱼糜凝胶。对于鱼糜的内聚性,不同加热方式的混合鱼糜凝胶没有显著性变化($P>0.05$)。

2.5 不同加热方式的混合鱼糜凝胶 SDS-PAGE 凝胶电泳

由图 4 可知,水浴微波联用混合鱼糜凝胶(第 1 道)和水浴二段加热混合鱼糜凝胶(第 2 道)其肌球蛋白重链(MHC)条带明显细于微波加热,因为微波加热速度快的特点,使鱼糜快速通过凝胶化,而水浴二段法和水浴微波联用法都会使鱼糜在 40 ℃ 下 MHC 充分交联,MHC 的数量会随着低温凝胶化时间的延长而减少,形成 MHC 聚集体,MHC 聚集体因分子过大而无法进入分离胶^[26-27]。但是蒸汽加热混

合鱼糜凝胶(第 4 道)和高压熟制混合鱼糜凝胶(第 5 道)的 MHC 完全消失,说明这两种方法制备得混合鱼糜凝胶蛋白质发生了降解现象。水浴微波联用法制备的混合鱼糜凝胶(第 1 道)其肌动蛋白(Actin)含量显著多于其他四种加热方式,在鱼糜肌原蛋白中,肌球蛋白和肌动蛋白含量占 75%,肌球蛋白重链(由肌球蛋白和肌动蛋白组成)是与鱼糜凝胶化过程相关的重要蛋白质^[27-28],由以上结论可得出水浴和微波联用法制备的混合鱼糜凝胶蛋白质保留程度显著高于其他四组加热方式。

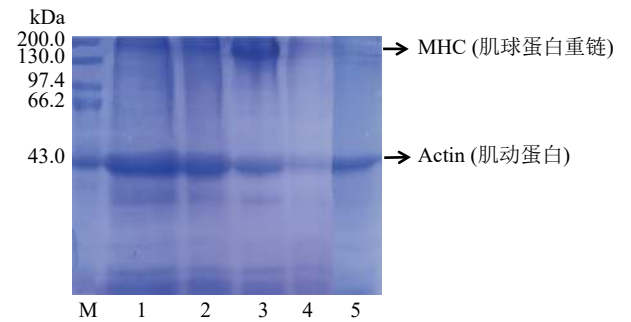


图 4 混合鱼糜凝胶 SDS-PAGE 图
Fig.4 SDS-PAGE of mixed surimi gel
注: M. 标准蛋白; 1. 水浴微波联用混合鱼糜凝胶; 2. 水浴二段加热混合鱼糜凝胶; 3. 微波加热混合鱼糜凝胶; 4. 蒸汽加热混合鱼糜凝胶; 5. 高压熟制混合鱼糜凝胶。

2.6 不同加热方式的鱼糜凝胶扫描电镜微观结构观察

由图 5a 可知,传统水浴加热的混合鱼糜凝胶网状结构较为稀疏,有较大的孔洞且空隙较大,这样的网络结构不牢固,不能抵抗外界施加的力,造成持水能力减弱,而图 5d 中通过蒸汽加热法制备的混合鱼糜凝胶的凝胶结构呈现出大小不一的凝胶孔洞,凝胶网络的致密性下降,且可以观察到部分组织有断裂的现象,使得混合鱼糜凝胶的持水力、凝胶强度、弹性等下降。图 5e 中混合鱼糜凝胶在高压条件下,混合鱼糜凝胶网状结构较为致密,但是表面较为粗糙,有少许孔隙,这可能由于水分状态和蛋白质结构在高压处理后的鱼糜中发生了变化的结果^[29],这与前面持水性结果吻合。由图 5b 和图 5c 可以看出,单独微波和水浴微波联用下的混合鱼糜凝胶孔隙较小结构较为紧密,可以形成均一稳定的结构,这可能是由于快速微波加热产生的热效应使聚集的蛋白质发生膨胀,这样可以让鱼糜吸收足够热量,显著提高了断裂力和

表 2 不同加热方式对混合鱼糜凝胶质构的影响
Table 2 Effects of different heating modes on gel texture of mixed surimi gel

加热方式	硬度(N)	弹性(mm)	胶粘性(N)	咀嚼性(mJ)	内聚性
水浴二段加热	15.00±0.35 ^a	2.39±0.04 ^b	12.00±0.05 ^c	28.69±0.40 ^c	0.92±0.02 ^a
微波加热	18.70±0.59 ^b	3.49±0.02 ^c	15.30±0.07 ^d	37.01±0.65 ^d	0.93±0.01 ^a
水浴微波联用	21.50±0.47 ^c	4.30±0.03 ^d	20.00±0.06 ^e	49.27±0.69 ^e	0.94±0.01 ^a
蒸汽加热	14.90±0.23 ^a	1.80±0.01 ^a	9.2±0.02 ^a	18.20±0.12 ^a	0.91±0.02 ^a
高压熟制	18.10±0.34 ^b	2.37±0.01 ^b	11.30±0.03 ^b	26.60±0.47 ^b	0.90±0.02 ^a

注: 同列不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

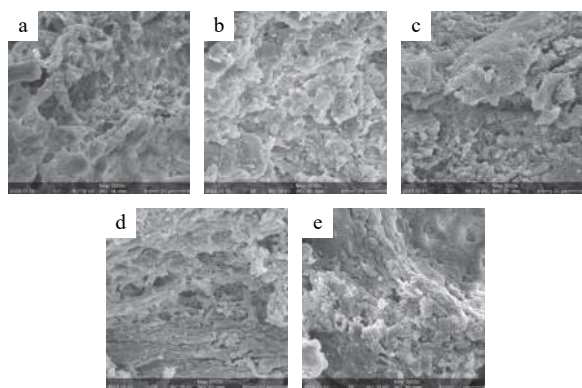


图 5 不同加热方式的鱼糜凝胶的微观结构图

Fig.5 Microstructure of surimi gels with different heating modes

注: a. 水浴二段加热混合鱼糜凝胶; b. 微波加热混合鱼糜凝胶; c. 水浴微波联用混合鱼糜凝胶; d. 蒸汽加热混合鱼糜凝胶; e. 高压熟制混合鱼糜凝胶。

形变力^[30],但是两种微波加热方法中,水浴微波联用法制备的混合鱼糜凝胶相对于单独微波加热表面较为平滑,结构更为紧密,这可能是因为前期 1 h 的低温凝胶化阶段,有效提高混合鱼糜凝胶的质构特性。通过观察混合鱼糜凝胶微观结构,水浴微波联用法凝胶结构最致密,可以制备出凝胶特性强的混合鱼糜凝胶。

3 结论

在 5 种不同加热方式中,水浴微波联用法制得的混合鱼糜制品持水力为 94.33%,白度为 83.75,凝胶强度为 2979.47 g·cm,硬度为 21.50 N,弹性 4.30 mm,胶粘性 20 N,咀嚼性 49.27 mJ 均显著($P<0.05$)高于其他加热方式所制得的混合鱼糜凝胶,并通过扫描电镜图显示水浴微波联用法制备的混合鱼糜凝胶三维网状结构紧密,凝胶孔洞较小且表面平滑,结合 SDS-PAGE 凝胶电泳分析得出,水浴微波联用法制得的混合鱼糜凝胶主要蛋白质成分保留较好。在五种加热方式中水浴微波联用法可以制备出品质优良的混合鱼糜凝胶制品,可为混合鱼糜制品的改良提供参考。

参考文献

- [1] 梁雯雯,杨天,郑志红,等.升温方式对二段加热鲢鱼糜水分分布和品质的影响[J/OL].大连海洋大学学报:1-9[2021-01-15]. <https://doi.org/10.16535/j.cnki.dlhyxb.2020-221>. [Liang W W, Yang T, Zheng Z H, et al. Effect of heating mode on water distribution and quality of silver carp surimi[J/OL]. Journal of Dalian Ocean University: 1-9[2021-01-15]. <https://doi.org/10.16535/j.cnki.dlhyxb.2020-221>.]
- [2] 向雅芳,熊光权,乔宇,等.不同热处理方式对鲈鱼品质的影响[J].食品科学,2019,40(21):127-135. [Xiang Y F, Xiong G Q, Qiao Y, et al. Effects of different heat treatment on the quality of perch[J]. Food Science, 2019, 40(21): 127-135.]
- [3] Liu J, Wang X, Ding Y. Optimization of adding konjac glucomannan to improve gel properties of low-quality surimi[J]. Carbohydrate Polymers, 2013, 92(1): 484-489.
- [4] 郑捷,马安妮,胡爱军,等.加热方式对复合型蔬菜鱼丸品质

的影响研究[J].食品科技,2018,43(10):195-199. [Zheng J, Ma A N, Hu A J, et al. Effect of heating method on quality of compound vegetable fish pills[J]. Food Technology, 2018, 43(10): 195-199.]

[5] 曹洪伟.微波对鱼糜加工过程中肌球蛋白和关键酶结构的影响[D].无锡:江南大学,2019. [Cao H W. Effects of microwave on myosin and key enzymes structure in surimi processing[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2019.]

[6] 吴晓丽,朱玉安,刘友明,等.升温速率对草鱼和鲢鱼糜凝胶特性的影响[J].华中农业大学学报,2015,34(4):114-119. [Wu X L, Zhu Y A, Liu Y M, et al. Effect of heating rate on gelation characteristics of grass carp and silver carp[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2015, 34(4): 114-119.]

[7] 闫虹,林琳,叶应旺,等.两种微波加热处理方式对白鲢鱼糜凝胶特性的影响[J].现代食品科技,2014,30(4):196-204. [Yan H, Lin L, Ye Y W, et al. Effect of two microwave heating treatments on gel properties of silver carp surimi[J]. Modern Food Technology, 2014, 30(4): 196-204.]

[8] 许艳顺,葛黎红,姜启兴,等.盐添加量和热处理对内酯鱼糜凝胶品质的影响[J].食品工业科技,2013,34(11):69-72,76.

[Xu Y S, Ge L H, Jiang Q X, et al. Effect of salt addition and heat treatment on the quality of lactone surimi gel[J]. Food Industry Technology, 2013, 34(11): 69-72, 76.]

[9] Yin T, Park J W. Effects of nano-scaled fish bone on the gelation properties of alaska pollock surimi[J]. Food Chemistry, 2014, 150: 463-468.

[10] 黄和,王娜,陈良,等.金鲳鱼鱼糜制品加工工艺优化[J].食品与机械,2015,31(6):193-198. [Huang H, Wang N, Chen L, et al. Optimization of processing technology of fish surimi in golden eel[J]. Food and Machinery, 2015, 31(6): 193-198.]

[11] 丁利,杨贤庆,马海霞,等.响应面法优化草鱼鱼糜制品加工工艺[J].食品工业科技,2012,33(22):260-263. [Ding L, Yang X Q, Ma H X, et al. Optimization of processing technology of surimi products of grass carp by response surface[J]. Food Industry Technology, 2012, 33(22): 260-263.]

[12] Cao H W. Effects of microwave combined with conduction heating on surimi quality and morphology[J]. Journal of Food Engineering, 2018, 228: 1-11.

[13] Burgarella J C. Gel strength development during heating of surimi in combination with egg white or whey protein concentrate[J]. Journal of Food Science, 1985, 50(6): 95-97.

[14] Fu X J. Effect of microwave heating on the low-salt gel from silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) surimi[J]. Food Hydrocolloids, 2012, 27(2): 301-308.

[15] Pongviratchai P, J W Park. Electrical conductivity and physical properties of surimi-potato starch under ohmic heating[J]. Journal of Food Science, 2007, 72(9): 503-507.

[16] Cao H W, Fan D M, Jiao X D, et al. Heating surimi products using microwave combined with steam methods: Study on energy saving and quality[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2018: 47.

[17] 李维,程荻,杨宏.二次加热处理对鲢鱼糜制品品质的影响[J].华中农业大学学报,2019,38(2):94-101. [Li W, Cheng D,

- Yang H. Effect of secondary heating on quality of silver carp surimi products[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2019, 38(2): 94–101.]
- [18] 余永名, 仪淑敏, 徐永霞, 等. 鲢鱼与金线鱼混合鱼糜的凝胶特性[J]. 食品科学, 2016, 37(5): 17–22. [Yu Y M, Yi S M, Xu Y X, et al. Gel characteristics of mixed surimi of silver carp and golden fish[J]. Food Science, 2016, 37(5): 17–22.]
- [19] 于繁千惠, 孔文俊, 韦依依, 等. 小麦蛋白和谷氨酰胺转氨酶对 120 ℃ 高温处理鱼糜凝胶特性影响的研究[J]. 食品工业科技, 2016, 37(21): 81–85. [Yu Fan Q H, Kong W J, Wei Y N, et al. Effects of wheat protein and glutamine aminotransferase on gel properties of surimi treated with 120 ℃ high temperature[J]. Food Industry Technology, 2016, 37(21): 81–85.]
- [20] 张鸿飞. 电子束辐照结合微波加热对鱼糜保鲜及品质的影响[D]. 杭州: 浙江大学, 2016. [Zhang H F. Effect of electron beam irradiation combined with microwave heating on preservation and quality of surimi[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2016.]
- [21] 王冰冰. 虾肉糜的微波加热特性研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2016. [Wang B B. Study on microwave heating characteristics of shrimp chyme[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2016.]
- [22] 朱玉安, 刘友明, 张秋亮, 等. 加热方式对鱼糜凝胶特性的影响[J]. 食品科学, 2011, 32(23): 107–110. [Zhu Y A, Liu Y M, Zhang Q L, et al. Effect of heating method on gel characteristics of chyme[J]. Food Science, 2011, 32(23): 107–110.]
- [23] 陈海华, 薛长湖. 热处理条件对竹荚鱼鱼糜凝胶特性的影响[J]. 食品科学, 2010, 31(1): 6–13. [Chen H H, Xue C H. Effect of heat treatment on gel properties of bamboo pod fish surimi[J]. Food Science, 2010, 31(1): 6–13.]
- [24] 郝磊勇, 李汴生, 阮征, 等. 高压与热结合处理对鱼糜凝胶质构特性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2005(7): 35–38. [Hao L Y, Li B S, Ruan Z, et al. Effect of high pressure and heat treatment on the texture characteristics of surimi gel[J]. Food and Fermentation Industry, 2005(7): 35–38.]
- [25] 仪淑敏, 叶贝贝, 李学鹏, 等. 鱼糜及鱼糜制品中水分研究进展[J]. 中国食品学报, 2019(12): 304–310. [Yi S M, Ye B B, Li X P, et al. Research progress on moisture in chyme and chyme products[J]. Chinese Food Journal, 2019(12): 304–310.]
- [26] 马瑶兰, 熊善柏, 尤娟, 等. 加热模式和可得然胶对白鲢鱼糜凝胶特性的影响[J]. 现代食品科技, 2017, 33(4): 222–228. [Ma Y L, Xiong S B, You J, et al. Effect of heating mode and available gel on gelation characteristics of silver carp[J]. Modern Food Technology, 2017, 33(4): 222–228.]
- [27] 孔保华, 耿欣, 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. [Kong B H, Geng X, Zheng D M. Effect of heating on gel characteristics and dithiose bond of silver carp[J]. Food Industry Technology, 2004(6): 71–73.]
- [28] 付湘晋, 许时婴, 李忠海, 等. 微波加热提高鲢鱼低盐鱼糜凝胶强度的机理研究[J]. 中国食品学报, 2012, 12(7): 61–66. [Fu X J, Xu S Y, Li Z H, et al. Study on the mechanism of microwave heating to improve gel strength of low salt fish surimi of silver carp[J]. Chinese Food Journal, 2012, 12(7): 61–66.]
- [29] 肖朝耿, 谌迪, 吴江雁, 等. 不同加热方式对南美白对虾品质变化的影响[J]. 核农学报, 2019, 33(3): 538–544. [Xiao C G, Chen D, Wu J Y, et al. Effects of different heating methods on quality changes of *Penaeus vannamei*[J]. Journal of Nuclear Agriculture, 2019, 33(3): 538–544.]
- [30] 秦影, 汤海青, 欧昌荣, 等. 超高压处理对大黄鱼鱼糜水分状态和蛋白质结构的影响[J]. 农业工程学报, 2015, 31(23): 246–252. [Qin Y, Tang H Q, Ou C R, et al. Effects of ultra-high pressure treatment on water status and protein structure of large yellow croaker surimi[J]. Journal of Agricultural Engineering, 2015, 31(23): 246–252.]