

加热模式和可得然胶对白鲢鱼糜胶凝特性的影响

马瑶兰, 熊善柏, 尤娟, 胡杨, 尹涛

(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), 湖北武汉 430070)

摘要: 研究了加热模式 (90 °C、40 °C/121 °C、90 °C/121 °C和 121 °C) 和可得然胶添加量 (0%~8%) 对鱼糜胶凝特性的影响及其作用机制, 以期为耐高温鱼糜制品的加工提供理论依据。与传统加热方式 (90 °C) 相比, 高温加热 (121 °C) 会导致鱼糜凝胶的主要蛋白质成分降解, 三维网络结构破坏, 凝胶强度显著下降 ($p<0.05$)。在三种高温加热模式下, 鱼糜凝胶的破断力均随着可得然胶添加量的增加而显著增加 ($p<0.05$), 而破断距离呈现出先增加后降低的趋势 ($p<0.05$)。蛋白质的模式不受可得然胶浓度的影响。随着可得然胶添加量从 0%增加到 8%, 鱼糜凝胶三维骨架网络从以蛋白为主体逐渐变为以可得然胶为主体。可得然胶对鱼糜胶凝特性的影响主要是与蛋白-亲水胶体弱键相互作用和凝胶骨架结构的转变有关。

关键词: 可得然胶; 耐热性鱼糜凝胶; 鱼糜; SDS-PAGE; 微观结构

文章编号: 1673-9078(2017)4-222-228

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.4.034

Effects of Heating Methods and Curdlan on the Gelation Properties of Silver Carp Surimi Gels

MA Yao-lan, XIONG Shan-bai, YOU Juan, HU Yang, YIN Tao

(College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, National R & D Branch Center For Conventional Freshwater Fish Processing (Wuhan), Wuhan 430070, China)

Abstract: The effects of different heating modes (90 °C 40 °C/121 °C, 90 °C/121 °C, and 121 °C) and the amount of added curdlan (0%~8%) on the gelation properties of surimi gels and the underlying mechanism were investigated, in order to provide a theoretical foundation for developing high-temperature tolerant surimi products. For the surimi gels subjected to high-temperature (121 °C) heating, major protein components were degraded, the three-dimensional network structure was destroyed, and gel strength was significantly decreased ($p<0.05$), compared with those of gels subjected to the traditional heating method (90 °C). For all the surimi gels heated at the high temperature (121 °C), the breaking force increased significantly ($p<0.05$) with increasing amounts of added curdlan, whereas the penetration depth showed a downward trend after the initial increase ($p<0.05$). Curdlan concentration did not affect the protein patterns. With the amount of added curdlan increased from 0% to 8%, the main building block for the three-dimensional skeleton network of surimi gel gradually changed to curdlan from protein. These results indicate that the effect of curdlan on the gelation properties of surimi gels is mainly associated with the interactions of protein-polysaccharide weak bonds and changes in gel skeletal structure.

Key words: curdlan; heat resistant surimi gel; surimi; sodium dodecyl sulfate polyacrylamide gel electrophoresis; microstructure

鱼糜制品是以新鲜鱼肉或冷冻鱼糜为原料, 加入食盐 (2%~3%) 和其他配料, 经斩拌或擂溃混合均匀, 再加热成型制成的一类凝胶态食品。鱼糜制品是深加工的一类重要水产制品, 其总产量在 2014 年达到了 151.79 万 t^[1]。目前, 鱼糜制品主要以冷藏或冻藏的方式贮藏和流通, 存在货架期短或运输/贮藏成本高等

收稿日期: 2016-04-12

基金项目: 现代农业产业技术体系专项资金 (CARS-46-23); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目 (2662015QD041)

作者简介: 马瑶兰 (1990-), 女, 硕士, 研究方向: 水产品加工及贮藏工程
通讯作者: 尹涛 (1986-), 男, 博士, 讲师, 研究方向: 水产品加工及贮藏工程

问题。鱼糜制品经真空包装和高温灭菌 (121 °C 加热 30 min) 处理后可达到商业无菌, 最终实现其在常温下流通和销售。但是高温 (>100 °C) 加热会导致鱼糜制品凝胶性能和感官品质显著下降。Zhang 等研究了高温加热对阿拉斯加狭鳕鱼糜凝胶特性的影响, 发现高温会导致肌球蛋白重链 (MHC) 完全降解, 肌动蛋白含量显著降低^[2], 持水性和凝胶特性降低。

可得然胶 (curdlan) 是由微生物发酵制得的一类多糖, 其基本结构单位为(1→3)- β -D-葡聚糖, 是我国批准使用的一类新型食品添加剂。可得然胶在 55 °C 左右加热时, 形成热可逆性的低强度凝胶; 当其被加热到 80 °C 以上时, 形成结构坚实并具有高弹性的不可逆

凝胶^[3], 可作为食品凝固剂、增稠剂和脂肪替代物。可得然胶的胶体强度与可得然胶的浓度、分散介质、加热温度、加热时间和加热速率等有关^[4]。在80~145 °C范围内随着温度的升高, 可得然胶胶体的强度逐渐增加, 120 °C下获得的凝胶强度是55 °C时的3~5倍^[4]。有学者将可得然胶添加到白鲢^[5]和带鱼鱼糜^[6]中, 采用常规加热(90 °C和30 min)的方式制作鱼糜凝胶, 发现在适宜的添加量时, 可得然胶能够显著提高($p < 0.05$)凝胶的凝胶强度、白度和持水性。高温加热会对鱼糜和可得然胶的凝胶特性起到相反的作用: 高温降低鱼糜凝胶强度, 而增强可得然胶的强度^[2,4]。但是, 目前关于高温加热模式下可得然胶对鱼糜凝胶特性的影响及其作用机制还未见报道。

本课题以白鲢冷冻鱼糜为原料, 采用 SDS-PAGE、SEM 和质构仪等方法和和技术手段, 研究四种加热模式(90 °C/30 min; 先40 °C/60 min, 再121 °C/30 min; 先90 °C/30 min, 再121 °C/30 min; 121 °C/30 min)下可得然胶添加量(0%~8%)对鱼糜凝胶特性的影响及其作用机制, 以期可为常温贮藏和流通、并且具有良好感官品质的鱼糜制品的开发提供加工参数和理论依据。

1 材料与方法

1.1 原料

冷冻白鲢鱼糜(AAA级)购于湖北洪湖市井力水产食品有限公司, 将其切分成1000 g小块, 真空包装后于-18 °C冻藏备用; 可得然胶(纯度>98%)购于山东中科生物科技有限公司。

1.2 主要仪器设备

EBI-125A 温度数据记录器, 北京颐贝隆电子科技有限公司; ZM-100 反压蒸煮消毒锅, 广州标际包装设备有限公司; CA-1 擂溃机, 金盛号铁工厂; FJ-200 高速分散均质机, 上海标本模型厂; TA-XTPlus 质构仪, 美国 Stable Micro System, Surrey; CR-400 型色差仪, 日本柯尼卡美能达公司; Mini 电泳系统, 美国 Bio-Rad 公司; JSM-6390PLV 型扫描电镜, 日本电子株式会社。

1.3 试验方法

1.3.1 鱼糜凝胶的制备

冷冻鱼糜置于室温下解冻40 min, 切成小块, 用调理机斩碎。添加 NaCl (2%) 和可得然胶(0%、1%、2%、4%、6%和8%), 然后加入冰水并调节水分含量

为80%。在40 r/min 转速下擂溃40 min, 装入真空包装袋中脱气(-0.1 MPa, 30 s), 再灌入直径约为22 mm的塑料肠衣中, 最后采用四种加热模式加热: 1) 90 °C 水浴加热30 min; 2) 40 °C 水浴加热60 min 然后121 °C加热30 min; 3) 90 °C 水浴加热30 min 然后121 °C加热30 min; 4) 121 °C加热30 min。四种加热模式下鱼糜凝胶中心温度的变化如图1所示。测试过程中温度探头(2.5 mm×10.0 mm)置于灌入肠衣的鱼糜中心点, 肠衣两端扎紧, 每30 s测定一次温度值, 测试结束后用计算机导出相关数据。加热完成后, 迅速用冰水冷却。

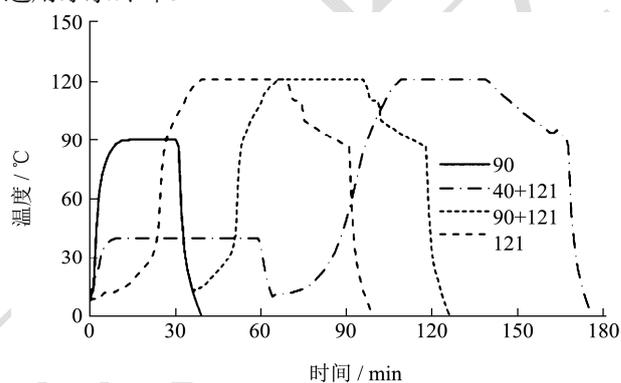


图1 不同加热模式下鱼糜凝胶中心温度的变化

Fig.1 Variations in central temperature of surimi gels during gelling using different heating methods

1.3.2 SDS-PAGE 凝胶电泳

样品经前处理^[7]后, 采用12%分离胶和5%浓缩胶进行电泳分离, 蛋白上样量为20 μg。电泳结束后用0.1% (m/V) 的考马斯亮蓝 R-250 染色液(50%甲醇, 10%乙酸)染色1 h, 然后用脱色液(50%甲醇, 10%乙酸)脱色30 min。

1.3.3 TCA-可溶性肽含量的测定

参考 Benjakul 等^[8]的方法测定 TCA-可溶性肽的含量, 略作修改。向3 g 鱼糜凝胶中加入15 mL、5%的TCA, 然后在6000 r/min 转速下均质1 min, 4 °C 静置1 h, 4000 r/min 离心10 min, 用Lowry法^[9]测定上清液中酪氨酸的含量。向2 g 鱼糜凝胶加入18 mL 浓度为5%的SDS, 在6000 r/min 转速下均质1 min, 于90 °C加热1 h, 接着10000 r/min 离心20 min, 最后用Lowry法测定上清液中蛋白质的含量。可溶性肽含量结果表示为 nmol 酪氨酸/mg 蛋白质。

1.3.4 微观结构(SEM)的分析

参考 Hu^[6]的方法, 略作修改。将鱼糜凝胶切成1 mm×1 mm×1 mm 小块, 用2.5%的戊二醛固定, 之后分别用体积分数为30%、50%、70%、80%、95%和100%的乙醇脱水, 再用乙酸异戊酯置换。样品用临界点干燥后, 喷金, 用扫描电子显微镜观察微观结构。

1.3.5 白度的测定

鱼糜凝胶置于室内一段时间,使其温度恢复到室温。将鱼肠切成2 cm长的圆柱体,用色度仪测定样品的 L^* (明度), a^* ($+a^*$ 表示样品偏红, $-a^*$ 表示样品偏绿)和 b^* ($+b^*$ 表示样品偏黄, $-b^*$ 表示样品偏蓝)值。测试前,色度仪用标准白板进行校正。白度计算公式如下^[10]:

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

1.3.6 持水性的测定

将鱼糜凝胶切成5 mm厚的圆片,称重(m_1),用两层滤纸包裹。在4000 r/min转速下离心15 min,然后称重(m_2)^[10]。持水性的计算公式如下:

$$\text{持水性}(\%) = m_2 / m_1 \times 100$$

1.3.7 质构的测定

将平衡至室温的鱼糜凝胶切成2 cm长的圆柱体,

采用直径为5 mm的P/0.25 s球形探头穿刺样品,并记录破断强度(g)和凹陷深度(mm)。测试参数如下:测前速度5 mm/s,测中速度1 mm/s,测后速度5 mm/s,穿刺距离15 mm,触发力5 g^[11]。

1.4 数据处理方法

采用Excel 2007软件处理数据和绘图,用SPSS 17.0软件对数据进行单因素方差分析。

2 结果与分析

2.1 加热模式和可得然胶对鱼糜凝胶蛋白质模式的影响

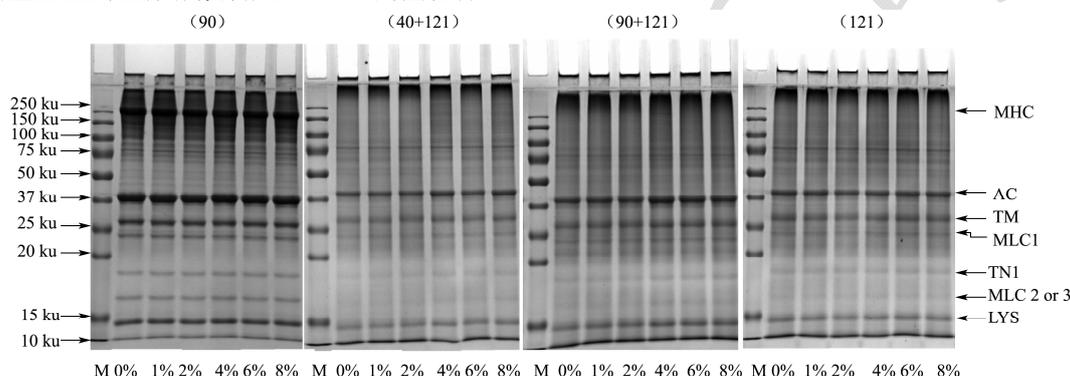


图2 不同可得然胶添加量和加热模式的白鲢鱼糜凝胶的蛋白质模式图

Fig.2 Protein patterns of silver carp surimi gels with different curdlan concentrations and heating methods

注: M表示蛋白质标品; MHC表示肌球蛋白重链; AC表示肌动蛋白; TM表示原肌球蛋白; MLC表示肌球蛋白轻链; TN1表示肌钙蛋白-I; LYS表示溶解酵素。

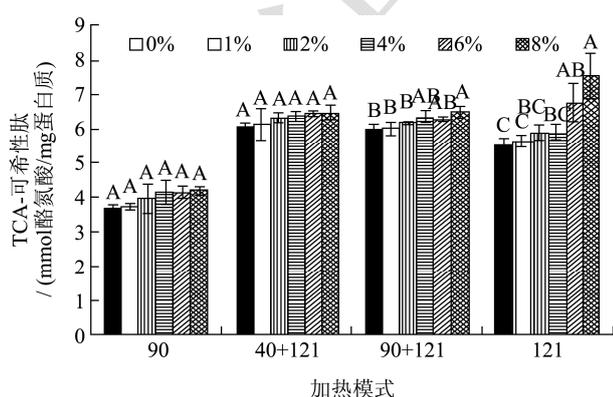


图3 不同可得然胶添加量和加热模式的白鲢鱼糜凝胶的TCA-可溶性肽

Fig.3 TCA-soluble peptide content of silver carp surimi gels with different curdlan concentrations and heating methods

注: 误差线上的不同字母代表样品存在显著差异($p < 0.05$),下同。

肌原纤维蛋白是鱼糜的主要成分,包含肌球蛋白

(55%~60%)和肌动蛋白(15%~30%),它们在化学作用下交联聚集是形成鱼糜凝胶的基础^[12]。从图2可以看出,与传统加热方式相比,经过121℃高温加热的鱼糜凝胶中的肌球蛋白重链完全消失,肌动蛋白和肌球蛋白轻链等主要成分的含量显著降低,而位于20~25 ku分子量范围内的蛋白条带数量和强度增加,结果与Zhang等^[2]报道的高温(120℃)对阿拉斯加狭鳕鱼糜凝胶蛋白的影响相一致。蛋白质模式的变化与肌球蛋白等在高温下热降解生成小分子的蛋白和寡肽有关(图3)。在高温加热模式下,先低温凝胶化(40℃)处理的鱼糜凝胶的主要蛋白质条带显著低于其它两种加热模式的,其主要原因可能因为鱼糜蛋白在内源性转谷氨酰胺酶(TGase)的催化作用下生成对热较稳定的 ϵ -(γ -谷氨酰胺)赖氨酸共价交联键^[13]。

在不同加热模式下,可得然胶的浓度对鱼糜凝胶的蛋白质模式没有显著性影响(图2)。图3结果显示,TCA可溶性肽的含量随着可得然胶浓度的增加而增

加 ($p<0.05$), 其原因可能是与添加可得然胶对鱼糜蛋白质的稀释作用有关。TCA 可溶性寡肽的分子量一般小于 1 ku, 而 SDS-PAGE 凝胶上最低蛋白分子量大于 10 ku, 因此未观察到低分子量蛋白条带强度随添加可得然胶浓度的变化。

2.2 加热模式和可得然胶对鱼糜凝胶微观结构的影响

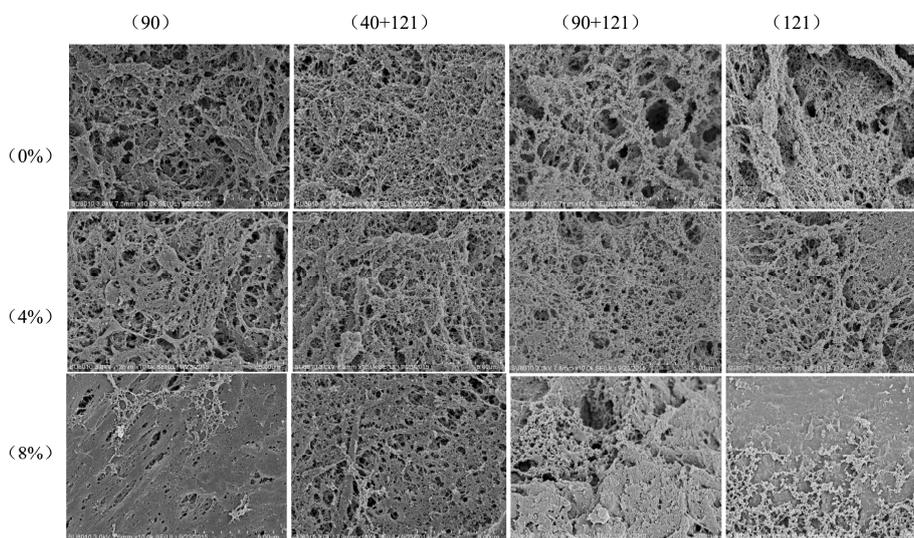


图 4 不同可得然胶添加量和加热模式的白鲢鱼糜凝胶的扫描电镜图

Fig.4 SEM images of silver carp surimi gels with different curdlan concentrations and heating methods

图 4 为不同加热模式和可得然胶浓度制备的鱼糜凝胶的扫描电镜图。从图 4 可以看出, 对于未添加可得然胶的样品, 与传统加热模式制备的鱼糜凝胶三维网络结构相比, 采用先 90 °C 预处理再 121 °C 加热和 121 °C 直接加热制备鱼糜凝胶的网络疏松并存在较大的孔隙, 其原因主要是与肌球蛋白的高温热降解有关 (图 2); 而采用先 40 °C 预处理再 121 °C 加热的鱼糜凝胶网络结构致密。在低温凝胶化过程中, TGase 催化谷氨酸残基和赖氨酸残基之间形成 ϵ -(γ -谷氨酰胺)赖氨酸共价交联键, 维持蛋白质致密三维网络结构。另一方面, 鱼肉肌原纤维蛋白分子链快速地展开, 然后缓慢交联聚集, 有利于形成有序的网络结构^[11]。

可得然胶浓度对鱼糜凝胶的网络结构有显著性影响。随着添加可得然胶浓度从 0% 增加到 8%, 而鱼糜蛋白的含量从 13% 下降到约 7%, 复合凝胶的骨架结构逐渐从以鱼糜蛋白为主转变为以可得然胶为主 (图 4)。对于添加 8% 可得然胶的鱼糜复合凝胶, 可得然胶形成致密的凝胶主体, 鱼糜蛋白形成的网络穿插在可得然凝胶中。

2.3 加热模式和可得然胶对鱼糜凝胶质构特性的影响

图 5 是不同可得然胶含量和加热模式的白鲢鱼糜凝胶的破断力和破断距离。与传统加热 (90 °C) 相比,

高温加热 (121 °C) 显著降低鱼糜凝胶的破断力和破断距离 ($p<0.05$)。在高温加热条件下, 构建鱼糜凝胶骨架结构的主要成分肌球蛋白和肌动蛋白等被热降解 (图 2), 形成不连续和孔隙较大的三维网络结构 (图 4), 导致鱼糜凝胶质构特性的劣变。另外, Zhang 等^[2]报道了高温加热 (120 °C) 降低鱼糜凝胶强度的原因还可能与蛋白质二级结构的破坏和分子间相互作用力 (离子键和疏水相互作用力) 的减弱有关。在高温加热条件下, 先低温 (40 °C) 加热预处理的鱼糜凝胶的破断力和破断距离显著 ($p<0.05$) 高于其它两组的 (图 5), 其主要原因是与低温阶段内源性转谷氨酰胺酶 (TGase) 催化鱼糜蛋白分子之间形成 ϵ -(γ -谷氨酰胺)赖氨酸共价交联键有关^[13]。 ϵ -(γ -谷氨酰胺)赖氨酸共价交联键对热稳定, 在 121 °C 加热温度下不降解, 增强了鱼糜凝胶三维网络的致密程度 (图 4)。而先 90 °C 加热再 121 °C 加热的鱼糜凝胶的破断力和破断距离略低于直接 121 °C 加热的 ($p<0.05$), 其原因可能与升温速率有关。对于直接 121 °C 加热的样品组, 鱼糜的温度逐渐从斩拌完后的温度 (~10 °C) 升高到 90 °C 的时间大约为 25 min; 而 90 °C 水浴加热的样品温度升高到 90 °C 的时间大约为 10 min (图 1)。直接 121 °C 加热的模式有利于内源性转谷氨酰胺酶 (TGase) 在高温灭活前催化肌原纤维蛋白形成更多 ϵ -(γ -谷氨酰胺)赖氨酸共价交联键。

4 种加热模式下, 鱼糜凝胶的破断力均随着可得

然胶添加量的增加而显著增加 ($p<0.05$), 而破断距离呈现出先增加后降低的趋势 ($p<0.05$)。可得然胶的浓度对鱼糜凝胶质构特性的影响可能是与鱼糜蛋白-可得然胶复合凝胶骨架结构的转变有关(图4)。与鱼糜凝胶相比, 可得然胶形成的热不可逆凝胶具有硬度大但是易碎的特点。采用先 40 °C 低温凝胶化然后 121 °C 加热的模式, 并添加 4% 的可得然胶制备的鱼糜凝胶具有相对较好的硬度和弹性, 其破断力和破断距离分别相当于传统方式制备(90 °C, 未添加可得然胶) 的鱼糜凝胶的 116% 和 93%。

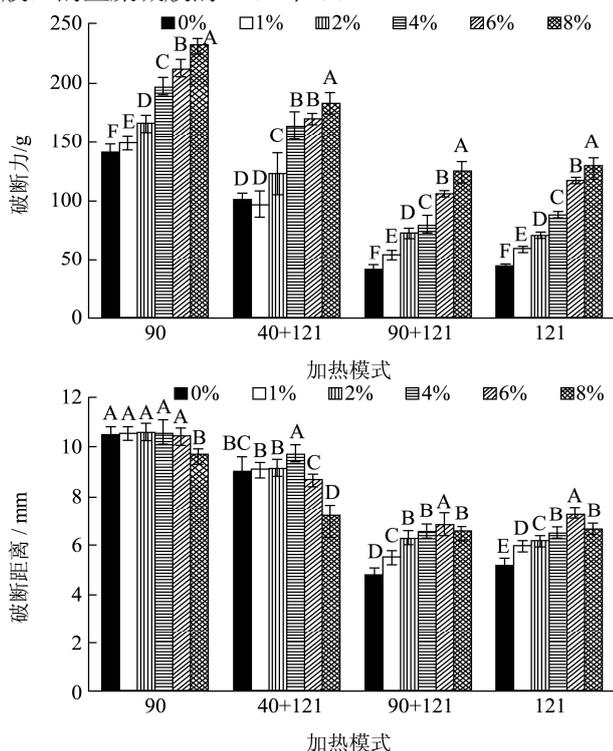


图5 不同可得然胶添加量和加热模式的白鲢鱼糜凝胶的破断力和破断距离

Fig.5 Breaking force and penetration depth of silver carp surimi gels with different curdlan concentrations and heating methods

2.4 加热模式和可得然胶对鱼糜凝胶持水性的影响

持水性是鱼糜凝胶的一个重要物理参数, 其值越高表示凝胶中游离态的水份越少。在鱼糜热诱导过程中, 蛋白三维网络结构形成, 然后通过物理的方式截留添加的水和鱼糜原料中的水^[12]。另外, 鱼糜蛋白还能通过氢键结合游离态的水。高温加热(121 °C)制备的鱼糜凝胶的持水性显著 ($p<0.05$) 低于传统加热的(图6)。不同加热模式下的持水性与相应的鱼糜凝胶网络结构相一致。四种加热模式中, 经过高温

(121 °C) 加热的鱼糜凝胶的持水性明显低于传统加热方式制备的鱼糜凝胶。影响鱼糜凝胶持水性的因素有三个: (1) 高温使肌球蛋白和肌动蛋白发生裂解, 导致凝胶网络孔隙变大; (2) 高温影响水分子的重排; (3) 高温导致非共价键的断裂, 同时影响共价键的破坏与形成^[14], 这三个因素共同影响了鱼糜凝胶的持水性, 使不同加热方式制备的凝胶呈现出不同变化趋势。

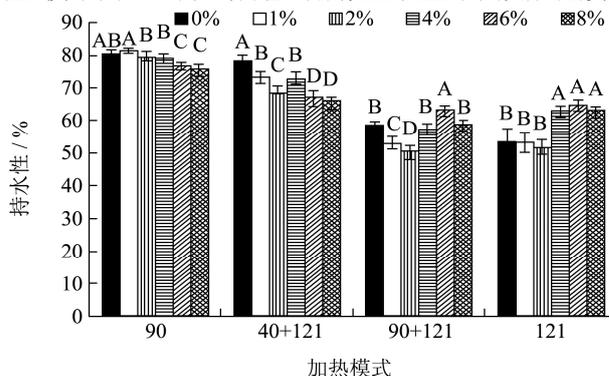


图6 不同可得然胶添加量和加热模式的白鲢鱼糜凝胶的持水性

Fig.6 Water holding capacity of silver carp surimi gels with different curdlan concentrations and heating methods

可得然胶添加量对鱼糜凝胶的持水性有显著性的影响 ($p<0.05$)。对于传统加热方式(90 °C)制备的鱼糜凝胶, 持水性随着可得然胶浓度的增加而下降 ($p<0.05$), 其原因可能是鱼肉蛋白质浓度下降, 减少了与蛋白质通过氢键结合的水份含量。而 Hu 等^[6]报道带鱼糜凝胶的持水性随着可得然胶添加量增加而显著增加 ($p<0.05$), 与本课题的研究结论相反, 他们认为持水性的增加是与鱼糜中可得然胶形成热不可逆凝胶后吸收大量水分有关。两种不同的结论可能是与采用了不同的测量方法有关。在 Hu 等^[6]和本课题的研究中分别采用重压和离心的方式脱水, 离心的方式可能更容易移除可得然胶中吸收的水分。对于先 40 °C 预热然后高温加热(121 °C)制备的鱼糜凝胶, 持水性随着可得然胶的浓度变化呈现出交替式下降和上升的趋势, 在添加量为 4% 时具有相对较高的持水性。对于 90 °C 预热再 121 °C 加热的凝胶和直接 121 °C 加热的凝胶, 添加高浓度(>4%)可得然胶显著增加持水性 ($p<0.05$), 其原因可能是与凝胶骨架结构转变有关(图4)。

2.5 加热模式和可得然胶对鱼糜凝胶色度的影响

不同可得然胶含量和加热模式的白鲢鱼糜凝胶的色度值见表 1。对于未添加可得然胶的样品, 不同加热模式制备的鱼糜凝胶的 L^* 和 W 值无显著性差异

($p>0.05$)。在相同可得然胶添加量下,传统方式(90 °C)制备的鱼糜凝胶的 L^* 和 W 值显著高于高温(121 °C)加热制备的($p<0.05$),而不同高温加热模式的 L^* 和 W 值差异不显著($p>0.05$)。 b^* 值受到加热模式的影响,采用传统方式(90 °C)制备的鱼糜凝胶的 b^* 值显著低于高温(121 °C)加热制备的($p<0.05$)。因为高温处理不仅影响鱼糜凝胶中水分子的重新排列,进而影响凝胶的折光性和透明度;而且破坏蛋白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^[14]。

对于4种加热模式制备的鱼糜凝胶,随着可得然胶添加量的增加, L^* 和 W 值均逐渐降低($p<0.05$),可能是因为可得然胶中含有黄色色素,导致凝胶的 L^* 和 W 值均下降。 b^* 值呈现出先增加后降低的变化趋势($p<0.05$),而 a^* 值的变化无明显规律。随和可得然胶添加量的增加,鱼糜凝胶中与热不可逆可得然凝胶结合的水分增加,降低了光散射,导致亮度 L^* 值的下降。

表1 不同可得然胶添加量和加热模式的白鲢鱼糜凝胶的色度值

Table 1 Color parameters of silver carp surimi gels with different curdlan concentrations and heating methods

加热方式	可得然胶含量	0%	1%	2%	4%	6%	8%
90	L^*	74.31±0.41 ^{aA}	74.24±0.50 ^{aA}	73.86±0.32 ^{aA}	71.4±0.58 ^{aB}	68.97±0.38 ^{aC}	66.83±0.76 ^{aD}
	a^*	-1.80±0.19 ^{aA}	-1.82±0.05 ^{aA}	-1.89±0.03 ^{aA}	-2.08±0.04 ^{aB}	-2.13±0.05 ^{aB}	-2.13±0.06 ^{aB}
	b^*	2.80±0.17 ^{cB}	3.08±0.10 ^{cA}	2.80±0.13 ^{dB}	2.76±0.19 ^{dB}	2.63±0.25 ^{dB}	2.85±0.16 ^{cB}
	W	74.10±0.40 ^{aA}	74.00±0.49 ^{aA}	73.64±0.33 ^{aA}	71.19±0.57 ^{aB}	68.78±0.36 ^{aC}	66.64±0.76 ^{aD}
40+121	L^*	74.21±0.81 ^{aA}	71.11±0.56 ^{cB}	70.95±0.36 ^{bB}	69.88±0.40 ^{bC}	67.82±0.77 ^{bD}	65.37±1.04 ^{bE}
	a^*	-2.12±0.06 ^{cB}	-2.00±0.04 ^{bA}	-2.05±0.09 ^{cA}	-2.21±0.06 ^{dB}	-2.11±0.02 ^{bB}	-2.00±0.05 ^{aA}
	b^*	3.58±0.29 ^{bD}	6.80±0.21 ^{aA}	6.51±0.28 ^{cA}	5.80±0.27 ^{cB}	5.26±0.26 ^{aC}	5.45±0.36 ^{abBC}
	W	73.88±0.77 ^{abA}	70.25±0.53 ^{cB}	70.15±0.37 ^{bB}	69.24±0.35 ^{bC}	67.32±0.74 ^{bD}	64.88±1.01 ^{bE}
90+121	L^*	73.68±0.33 ^{aA}	73.53±0.51 ^{aA}	71.32±0.25 ^{bB}	68.8±0.65 ^{cC}	66.39±1.01 ^{cD}	65.16±0.33 ^{bE}
	a^*	-1.96±0.05 ^{bC}	-1.99±0.02 ^{bC}	-1.82±0.04 ^{abB}	-1.96±0.05 ^{bC}	-1.75±0.05 ^{aA}	-1.97±0.03 ^{aC}
	b^*	4.37±0.28 ^{aD}	5.27±0.21 ^{bC}	6.98±0.15 ^{bA}	6.11±0.12 ^{bB}	5.5±0.48 ^{aC}	5.17±0.25 ^{bC}
	W	73.25±0.37 ^{baA}	72.94±0.46 ^{baA}	70.43±0.25 ^{bB}	68.15±0.61 ^{cC}	65.89±1.02 ^{cD}	64.72±0.34 ^{bE}
121	L^*	73.89±0.50 ^{aA}	73.21±1.16 ^{baA}	70.92±1.00 ^{bB}	69.86±0.50 ^{bC}	66.85±0.77 ^{bCD}	65.21±0.51 ^{bE}
	a^*	-2.10±0.06 ^{cC}	-2.10±0.10 ^{cC}	-1.78±0.12 ^{aA}	-1.84±0.11 ^{aAB}	-1.83±0.17 ^{aAB}	-1.96±0.07 ^{aBC}
	b^*	4.47±0.32 ^{aD}	5.22±0.24 ^{bC}	7.53±0.45 ^{aA}	6.58±0.15 ^{aB}	5.58±0.43 ^{aC}	5.53±0.24 ^{aC}
	W	73.42±0.45 ^{abA}	72.62±1.10 ^{baA}	69.90±0.98 ^{bB}	69.09±0.49 ^{bB}	66.34±0.81 ^{bcC}	64.72±0.53 ^{bD}

注:同一行中不同大写字母代表不同可得然胶浓度的样品存在显著差异($p<0.05$),同一列中不同小写字母代表不同加热模式的样品存在显著差异($p<0.05$)。

3 结论

3.1 高温加热条件下,鱼糜制品品质构劣变、持水性下降和白度值降低,其主要原因是与肌球蛋白等主要成分的热裂解和凝胶三维网络结构的破坏有关。

3.2 可得然胶对鱼糜凝胶的蛋白质模式无显著性影响。可得然胶改善高温加热制备鱼糜凝胶质构特性的主要机制是与蛋白-亲水胶体弱键相互作用和凝胶骨架结构的转变有关。

3.3 高温加热模式(40 °C/121 °C、90 °C/121 °C和121 °C)对鱼糜凝胶特性有显著的影响。采用先40 °C低温凝胶化制备的鱼糜凝胶三维网络结构较其它两种方式的致密,凝胶强度和持水性值高。

参考文献

- [1] 农业部渔业渔政管理局.中国渔业统计年鉴[M].北京:中国农业出版社,2015
The ministry of agriculture fishery and fishery administration. China fishery statistical yearbook [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2015
- [2] Zhang L L, Xue Y, Xu J, et al. Effects of high-temperature treatment (≥ 100 °C) on Alaska Pollock (*Theragra chalcogramma*) surimi gels [J]. Journal of Food Engineering, 2013, 115(1): 115-120
- [3] Maeda I, Saito H, Masada M, et al. Properties of gels formed by heat treatment of curdlan, a bacterial β -1, 3 glucan [J]. Bioscience Biotechnology & Biochemistry, 1967, 31(10): 1184-1188
- [4] Yotsuzuka F. Curdlan [J]. Food Science and Technology, 2001, 113: 737-757

- [5] 丁丽丽,郭宏明,吴俊,等.可得然胶在淡水鱼糜制品中的应用研究[J].食品工业科技,2014,17: 262-264
DING Li-li, GUO Hong-ming, WU Jun, et al. Study on the application of curdlan in fresh-water fish surimi-based products [J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 17: 262-264
- [6] Hu Y Q, Liu W J, Yuan C H, et al. Enhancement of the gelation properties of hairtail (*Trichiurus haumela*) muscle protein with curdlan and transglutaminase [J]. Food Chemistry, 2015, 176: 115-122
- [7] Reed Z H, Park J W. Thermophysical characterization of tilapia myosin and its subfragments [J]. Journal of Food Science, 2011, 76(7): 1050-1055
- [8] Benjakul S, Visessanguan W, Tueksuban J, et al. Effect of some protein additives on proteolysis and gel-forming ability of lizardfish (*Saurida tumbil*) [J]. Food Hydrocolloids, 2004, 18(3): 395-401
- [9] Lowry O H, Rosebrough N J, Farr A L, et al. Protein measurement with the Folin phenol reagent [J]. Biological Chemistry, 1951, 193(1): 265-275
- [10] 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 Ying, TANG Hai-qing, OU Chang-rong, et al. Effect of ultra-high pressure on moisture status and protein structure of large yellow croaker surimi gel [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(23): 246-252
- [11] Lanier T, Yongsawatdigul J, Carvajal-Rondanelli P. Surimi gelation chemistry [M]. In: Park J W (Ed.), Surimi and surimi seafood. (3rd ed). Boca Raton, FL: CRC Press, 2014
- [12] 安玥琦,熊善柏.肌原纤维蛋白转谷氨酰胺酶交联程度对鱼糜凝胶及其风味释放影响的研究进展[J].食品科学,2015, 36(7):235-239
AN Yue-qi, XIONG Shan-bai. Effect of transglutaminase-catalyzed cross-Linking degree of myofibrillar protein on surimi gelation and flavor release [J]. Food Science, 2015, 36(7): 235-239
- [13] Yin T, Park J W. Textural and rheological properties of pacific whiting surimi as affected by nano-scaled fish bone and heating rates [J]. Food Chemistry, 2015, 184: 42-47
- [14] 张莉莉.高温(100~120 ℃)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
ZHANG Li-li. Effects of high-temperature (100~120 ℃) treatment on the thermal stability of surimi and plural gels [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2013