

鹰嘴豆分离蛋白 对黄河鲤鱼鱼丸凝胶品质的影响

刘 骁¹,王莹娟¹,赵电波¹,赵卫东¹,栗俊广^{1,2},董秀萍²,白艳红^{1,2,*}

(1.郑州轻工业大学食品与生物工程学院,河南省冷链食品质量与安全控制重点实验室,

河南省食品生产与安全协同创新中心,河南郑州 450000;

2.大连工业大学食品学院,国家海洋食品工程技术研究中心,辽宁大连 116034)

摘 要:研究鹰嘴豆分离蛋白对黄河鲤鱼鱼丸凝胶品质的影响。将不同比例(2%、4%和6%,w/w)鹰嘴豆分离蛋白(Chickpea protein isolate,CPI)添加到低盐黄河鲤鱼鱼丸,测定其凝胶强度、白度、离心损失、水分分布、流变特性和微观结构等指标。结果表明:CPI的添加能够增强低盐(1% NaCl)鱼丸凝胶特性和保水性。与低盐鱼丸相比,当CPI添加量为4%时低盐鱼丸的离心损失最小、自由水比例最低($P < 0.05$);CPI添加量为6%时低盐鱼丸的凝胶强度最大,与2% NaCl鱼丸相比凝胶强度无显著差异($P > 0.05$),且储能模量(G')较高,扫描电镜发现其凝胶微观结构较为致密均匀;CPI的添加会导致鱼丸白度的下降($P < 0.05$),但白度值均都保持在70以上。添加6%的CPI能够有效地提升低盐鱼丸凝胶品质,为低盐淡水鱼糜制品的生产提供了理论依据。

关键词:鹰嘴豆分离蛋白,黄河鲤鱼,鱼糜制品,凝胶品质

Effect of Chickpea Protein Isolate on the Gel Quality of Yellow River Carp(*Cyprinus carpio*) Fish Balls

LIU Xiao¹,WANG Ying-juan¹,ZHAO Dian-bo¹,ZHAO Wei-dong¹,

LI Jun-guang^{1,2},DONG Xiu-ping²,BAI Yan-hong^{1,2,*}

(1.Henan Province Collaborative Innovation Center for Food Production and Safety,Henan Key Laboratory of

Cold Chain Food Quality and Safety Control,College of Food and Bioengineering,

Zhengzhou University of Light Industry,Zhengzhou 450000,China;

2.National Engineering Research Center of Seafood,College of

Food Science,Dalian Polytechnic University,Dalian 116034,China)

Abstract:The aim of this work was to investigate the influences of chickpea protein isolate(CPI) on the gel quality of low salt Yellow River carp fish balls.The low-salt Yellow River carp fish balls were mixed with chickpea protein isolate(CPI) at different proportions(2%,4% and 6%,w/w),then the gel strength,whiteness,centrifugal loss,water distribution,rheological properties and microstructure were measured.The addition of CPI could improve the gel properties and water holding capacity offish balls.The fish balls added with 4% CPI had the least centrifugal loss and ratio of free water compared to low-salt(1% NaCl)fish balls.The fish balls(1% NaCl)mixed with 6% CPI had the largest gel strength low salt(1% NaCl),which was not statistically different with that of fish balls samples with 2% NaCl($P > 0.05$).The storage modulus(G') of fish balls(1% NaCl) mixed with 6% CPI was relatively high.The scanning electron microscopy revealed that the microstructures of the gels of fish balls(1% NaCl)mixed with 6% CPI were dense and uniform.The addition of CPI could lead to the increase in the whiteness of fish balls($P < 0.05$),which all over 70.In summary,the addition of 6% CPI could effectively improve the gel quality of low-salt fish balls.This work would provide a theoretical basis for the production of low-salt freshwater fish surimi products.

Key words:chickpea protein isolate;Yellow River carp;surimi product;gel quality

中图分类号:TS251.1

文献标识码:A

文章编号:1002-0306(2020)22-0008-06

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2020050154

引文格式:刘骁,王莹娟,赵电波,等.鹰嘴豆分离蛋白对黄河鲤鱼鱼丸凝胶品质的影响[J].食品工业科技,2020,41(22):8-13.

收稿日期:2020-05-15

作者简介:刘骁(1987-),男,博士,讲师,研究方向:水产品加工与贮藏,E-mail:2016032@zzuli.edu.cn。

*通信作者:白艳红(1975-),女,博士,教授,研究方向:食品加工与质量安全控制,E-mail:baiyanhong212@163.com。

基金项目:国家重点研发计划(2016YFD04004);河南省科技攻关(202102110295,192102110106)。

LIU Xiao, WANG Ying-juan, ZHAO Dian-bo, et al. Effect of Chickpea Protein Isolate on the Gel Quality of Yellow River Carp (*Cyprinus carpio*) Fish Balls[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41 (22) : 8-13. (in Chinese with English abstract) <http://www.spagykj.com>

鱼糜制品是鱼糜经擂溃或斩拌、调味、成型、加热等一系列工艺加工形成的具有弹性的凝胶食品^[1], 鱼丸、鱼糕、鱼肉肠以及鱼豆腐等常见的鱼糜制品深受消费者欢迎。随着人们生活节奏的加快和生活方式的改变, 鱼糜制品的需求量逐年增加, 2018 年我国鱼糜制品总量为 145.5 万吨, 占水产品加工总量的 6.75%^[2]。淡水鱼与海水鱼相比鱼糜凝胶性能较差, 因此鱼糜制品的生产原料以海水鱼类为主, 但近年来海洋捕捞过度, 优质海水鱼产量逐渐下降, 因此利用淡水鱼原料制作鱼糜制品受到越来越多的关注^[3]。黄河鲤鱼是河南省重要的淡水鱼种, 2005 农业部公告第 485 号审定“豫选黄河鲤鱼”为适宜推广的优良养殖品种, 2012 年“郑州黄河鲤鱼”成为农产品地理标志^[4]。人工养殖黄河鲤鱼数量逐年增加, 研究发现由于生存环境的变化, 河南养殖黄河鲤鱼的营养价值、肉质口感均高于野生黄河鲤鱼^[5], 因此, 养殖黄河鲤鱼作为生产原料既保证了鱼糜制品营养价值又提升了其经济效益。

钠盐的用量对鱼糜凝胶的形成起到至关重要的作用, 为保证凝胶的品质, 钠盐的用量一般为鱼糜重量的 2%~3%^[1,6]。现代医学研究表明, 长期过量的摄入钠盐会影响身体健康, 诱发高血压、冠心病等多种心血管疾病^[7-8], 2019 年 7 月国家卫健委发布了《健康中国行动(2019-2030 年)》, 提出开展“减盐、减油、减糖”行动, 因此研发健康低盐食品不仅是食品加工领域的发展趋势, 更是广大消费者对健康食品的需求。减少食盐添加量会导致鱼糜制品的凝胶强度、保水性等品质下降, 寻求合适的钠盐替代物并保持产品质量成为鱼糜制品研究的热点和难点问题之一。钾盐、钙盐等盐类是常用钠盐替代物, 但研究发现此类盐会导致产品产生异味^[9]。已有研究表明, 适量使用氨基酸、淀粉、植物分离蛋白等外源添加物可以改善低盐鱼糜制品的品质。Cando 等^[10]研究发现在盐浓度为 0.3% 时, 向鳕鱼鱼糜中分别添加 0.1% 胱氨酸和 0.1% 赖氨酸都可有效地改善其凝胶化程度。Kong 等^[11]研究发现在 30 g/kg 盐含量的阿拉斯加狭鳕鱼鱼糜中加入 10% 改性木薯淀粉可以提高其凝胶强度。崔旭海等^[12]研究发现在相同食盐添加量(2% NaCl)的条件下, 分别添加大豆分离蛋白和花生分离蛋白可有效提高鲤鱼鱼糜的弹性模量、凝胶强度和保水性, 蛋白添加量为 8% 时效果最佳。

鹰嘴豆中蛋白质含量为 15%~30%, 接近鸡蛋、牛乳、肉、鱼等动物来源的优质蛋白, 作为新型的植物蛋白质资源, 鹰嘴豆蛋白质的氨基酸组成均衡、生物利用率高。栗俊广等^[13]研究表明, 添加鹰嘴豆分离蛋白(CPI)能够在降低钠盐用量的同时提升猪肉糜的凝胶品质。目前对于通过添加 CPI 代替部分钠盐对鱼糜制品凝胶品质的影响鲜有报道。因此, 本文通过研究添加 CPI 对低盐黄河鲤鱼鱼丸凝胶品质的影响, 以期低盐淡水鱼糜制品的开发提供理论

参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

黄河鲤鱼 购于当地水产品市场; 鹰嘴豆分离蛋白(>85%, w/w) 购于陕西帕尼尔生物科技有限公司; 氯化钠(食用级)、磷酸盐戊二醛(分析纯)、无水乙醇 均购于河南正用实验用品有限公司。

AB265-S 型分析天平 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司; JA3003N 型电子天平 上海菁海仪器设备有限公司; SZ-22A 型绞肉机 广州旭众食品机械有限公司; GM200 型刀式研磨仪 德国莱驰公司; HH-42 型水浴锅 常州国华电器有限公司; 肉丸成型机 山东新锐翔食品机械有限公司; Ci6x 型色差计 美国爱色丽有限公司; TA-XT Plus 质构分析仪 英国 Stable Micro System 公司; NM120 型低场核磁共振成像分析仪 上海纽迈电子科技有限公司; JSM-6490LV 扫描电子显微镜 日本电子公司; Discovery 流变仪 美国 TA 仪器公司。

1.2 实验方法

1.2.1 鱼丸的制备 将刚宰杀后的黄河鲤鱼去头、去鳞、去内脏、去皮, 除去体内的残余内脏、血污和黑膜, 切除红色肉, 剔除鱼刺、尽量将白肉采净。用清水($\leq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$)漂洗 10 min, 将鱼肉在 4000 r/min 下离心脱水 2 min, 再搅碎制备成鱼糜。制备的鱼糜中蛋白含量为 16.8%。根据实验要求分别将鱼糜、冰水、NaCl 和 CPI(NaCl 和 CPI 的添加量是其质量分别与鱼糜和冰水质量总和的百分比, 冰水与鱼糜的质量比为 1:10)放入斩拌机中, 以 3000 r/min 斩拌 1 min, 取出放入肉丸机中成型制成鱼丸, 放入开水中蒸煮熟透取出, 冷却后用于实验指标测定。1% NaCl 和 2% NaCl 无添加 CPI 为对照组, 不同 CPI 添加量的低盐(1% NaCl)鱼丸为实验组, 具体实验设计见表 1。

表 1 实验设计

Table 1 Experimental design

实验组	实验处理
A	1% NaCl
B	1% NaCl, 2% CPI
C	1% NaCl, 4% CPI
D	1% NaCl, 6% CPI
E(对照)	2% NaCl

1.2.2 凝胶强度的测定 根据文献中凝胶强度的测定方法并略有修改^[14]。将鱼丸切成圆柱体(直径和厚度均为 25 mm)。使用质构仪和 P/0.5 柱形铝探针测量鱼丸的凝胶强度。参数设置如下: 测试前速度为 2 mm/s, 测试速度为 1 mm/s, 测试后速度为 1 mm/s, 下压距离 10 mm, 触发力 5 g。测定后通过质构仪自带软件分析后得到一条凝胶受力曲线, 样品破裂点为第一个峰的顶点, 将其定义为样品的凝

胶强度(g)。每个处理测定3次。

1.2.3 白度的测定 根据 Debusca 等^[15]的方法略有修改,测定黄河鲤鱼鱼丸的白度,将鱼丸切成1 cm左右的薄片,随后用色差计测定样品的白度,每次实验重复6次,白度计算公式如下:

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

1.2.4 离心损失的测定 参考李可等^[16]的方法,稍微修改后测定黄河鲤鱼鱼丸的离心损失,通过离心失水率可以反映鱼丸的保水性。将各组制备好的鱼丸分别放入离心管中,称量其质量 W_1 ,随之用离心机在 8000 r/min 的条件下离心 10 min,用滤纸吸出水分。称量去除水分之后的质量 W_2 。离心损失率的计算公式如下:

$$X(\%) = \frac{(W_1 - W_2)}{W_1} \times 100$$

式中: X 表示离心损失(%), W_1 表示表示样品离心前的质量, W_2 表示样品离心后的质量。

1.2.5 水分分布 参照 Ma 等^[17]的方法,采用低场核磁共振成像分析仪测定鱼丸的水分分布规律,称取大约 2 g 的鱼丸样品放入直径为 15 mm 的圆形玻璃管内进行测量。参数设置为:采用 CPMG 序列,测量温度为 32.00 ± 0.01 °C;质子共振频率为 18 MHz;扫描次数 32 次;回声数设置为 12000;重复的时间间隔为 110 ms;半回波时间 τ -值(90° 脉冲和 180° 脉冲之间的时间)250 μ s;得到指数衰减图形。

1.2.6 流变特性 参照 Li 等^[18]的方法略有修改,采用流变仪的温度扫描模式来研究鱼糜凝胶形成鱼丸的过程。选择 40 mm 夹具平板,在平板上加入样品后,使用甲基硅油密封以防止水分蒸发,上下板间隙设定为 1500 μ m;测量板间距 1000 μ m。鱼糜在 25 °C 的条件下保温 5 min,随之样品以 1 °C/min 的升温速度由 25 °C 线性升温至 85 °C。分析储能模量随温度升高的变化规律。

1.2.7 微观结构 参照 Oujifard 等^[19]的方法,利用扫描电镜测定样品的微观结构。将鱼丸切成约 1 mm $\times$ 1 mm $\times$ 1 mm 的小块,将其放入浓度为 2.5% 的戊二醛溶液中,在 4 °C 条件下浸泡 24 h 使其固定。随之用磷酸盐缓冲液(0.1 mol/L、pH7.0)洗涤三次,每次 15 min,去除戊二醛。分别用浓度为 50%、70%、90% 的乙醇溶液浸泡 15 min 进而去除凝胶中的水分,最后用 100% 乙醇脱水 3 次,每次 10 min。将处理好的样品冷冻干燥后喷 10 nm 厚的金镀膜,在 2000 倍扫描电镜下观察并拍照。加速电压为 20 kV。

1.3 数据处理

采用 Origin 9.0 作图,SPSS 19.0 软件对试验数据进行统计分析,在单因素方差分析的基础上采用 Duncan 多重比较法,统计值为平均值 $\pm$ 标准差,显著性水平为 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 添加 CPI 对鱼丸凝胶强度和白度的影响

凝胶强度是评价鱼丸凝胶品质的重要指标之一。由表 2 可知,样品 A 的凝胶强度显著低于样品 E 的凝胶强度($P < 0.05$),这是因为在鱼糜凝胶化过程

中,需要适当的盐离子促进肌原纤维蛋白的溶解,进而有利于鱼丸凝胶网络的形成,降低盐添加量不利于鱼丸凝胶网络结构的形成。随着 CPI 的添加量增加,1% NaCl 鱼丸凝胶强度显著增强($P < 0.05$),样品 D 的凝胶强度达到最大值(574.58 g),且其与样品 E 凝胶强度相比无显著差异($P > 0.05$),表明添加 CPI 可以有效提高鱼丸的凝胶强度,6% CPI 低盐鱼丸与 2% NaCl 鱼丸凝胶强度相当,可能是因为 CPI 添加到鱼糜斩拌混合后,在加热形成鱼丸过程中与肌原纤维蛋白共价结合形成鱼丸蛋白-CPI 混合凝胶,鱼丸凝胶更加致密均匀,从而使它的凝胶强度增大。Lee 等^[20]研究表明红豆分离蛋白可以作为水和肉蛋白之间的粘合剂,向盐浓度为 0.3 mol/L 的猪肉肌原纤维蛋白中添加 1% 红豆分离蛋白时,与单独的 0.45 mol/L 盐浓度下的肌原纤维蛋白相比,肌原纤维蛋白凝胶的凝胶强度值相似($P > 0.05$)。

表 2 CPI 对鱼丸凝胶强度和白度的影响

Table 2 Effects of CPI on the gel strength and whiteness of fish balls

组别	凝胶强度(g)	白度
A	383.02 ± 8.54^d	72.96 ± 0.03^a
B	477.34 ± 9.97^c	71.16 ± 0.13^c
C	524.64 ± 8.30^b	70.51 ± 0.14^d
D	574.58 ± 16.61^a	70.03 ± 0.15^e
E	585.55 ± 27.67^a	72.66 ± 0.08^b

注:同列不同字母代表差异显著($P < 0.05$)。

白度是鱼糜制品品质的一个重要指标。由表 2 可知,随着 CPI 添加量的增加,鱼丸白度显著下降($P < 0.05$)。本研究中的添加 CPI 导致鱼丸白度下降的主要原因是由于 CPI 本身就带有一定的黄色,从而影响鱼丸制品的色泽,导致颜色偏黄,白度下降显著。尽管 CPI 添加会使鱼丸的白度显著下降,但样品的白度都保持在 70 以上,肉眼观察并无明显变化。Zhou 等^[21]研究发现在鱼丸中添加由茶多酚改性的蛋清蛋白后,鱼丸凝胶白度降低。Kudre 等^[22]研究认为鱼丸中添加蛋白的固有颜色、蛋白的种类和添加量都会使鱼丸的白度降低。

2.2 添加 CPI 对鱼丸离心损失的影响

离心损失可以作为反映鱼丸保水性优劣指标,离心损失越小说明凝胶保水性越好。由图 1 可知,样品 E 的离心损失显著低于样品 A($P < 0.05$),说明较高的盐含量有助于提高鱼丸保水性,氯化钠可以使鱼糜中蛋白质-蛋白质、蛋白质-水分子之间的相互作用增强,进而增强鱼糜凝胶的保水性。各添加 CPI 实验组与样品 A 相比鱼丸的离心损失率显著降低($P < 0.05$),样品 C 与 E 相比离心损失显著降低($P < 0.05$),但样品 C 与 D 相比离心损失无显著差异($P > 0.05$),说明添加 CPI 能有效地增强鱼丸的保水性,当 CPI 添加量为 4% 时低盐鱼丸的保水性已明显优于 2% NaCl 鱼丸,继续添加 CPI 不能有效地提高鱼丸的保水性。这可能是因为 CPI 本身具有一定亲水性,且 CPI 与鱼丸蛋白相互作用将水分子锁在鱼

丸凝胶网状结构内,从而加强对水的吸附能力^[23]。沈晓蕾等^[24]研究表明4%大豆蛋白能有效增加鲢鱼鱼糜降低蒸煮损失,增强保水性。

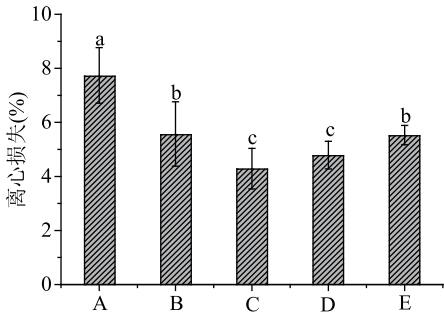


图1 CPI添加对鱼丸离心损失的影响

Fig.1 Effects of CPI addition on the centrifugal loss of fish balls

注:不同字母代表差异显著($P < 0.05$)。

2.3 CPI添加量对鱼丸水分分布的影响

低场核磁共振技术可以在不破坏凝胶结构的情况下检测凝胶体系中不同水分子的迁移率和分布比例。由图2可知,鱼丸凝胶的 T_2 弛豫时间曲线图中出现三个峰(T_{2a} 、 T_{21} 、 T_{22}),且分别集中在0.01~7 ms (T_{2a}), 10~400 ms (T_{21}), 1400~2500 ms (T_{22}) 3个弛豫时间段。其中 T_{2a} 代表凝胶系统中与大分子(蛋白质,脂肪)结合紧密的水,称为结合水; T_{21} 代表与大分子结合较弱以及由于毛细管作用力滞留在样品凝胶网状结构中的水,称为不易流动水; T_{22} 代表自由水^[25]。CPI添加量的增大,各组水分 T_{21} 、 T_{2a} 减小,说明添加CPI的鱼丸水分流动性变弱,与凝胶基质结合的更紧密。

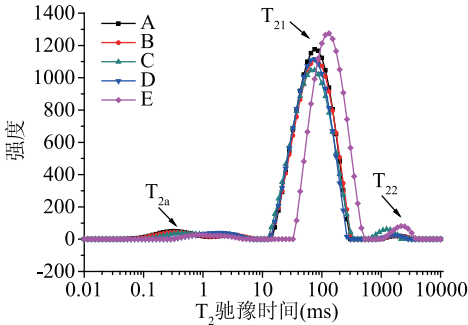


图2 CPI添加对鱼丸低场核磁曲线的影响

Fig.2 Effects of CPI addition on the low field NMR curve of fish balls

由表3可知, P_{2a} 、 P_{21} 和 P_{22} 分别代表 T_{2b} 、 T_{21} 、 T_{22} 的峰面积,同一样品的3个 T_2 弛豫峰面积相对百分比中 P_{21} 数值最大,说明在鱼丸凝胶体系中的不易流动水占主导地位。各实验组与样品A相比 P_{22} 峰面积显著减少($P < 0.05$),表明增加盐浓度和高CPI添加量可以使鱼丸中水分的自由度降低,从而增强鱼丸的保水性。样品C的 P_{22} 峰面积与样品D相比显著下降($P < 0.05$),而样品D与E相比无显著差异($P > 0.05$),说明CPI添加量为4%时鱼丸中水分的自由度最低,继续添加CPI对鱼丸的保水性并无提高,这与离心损失结果基本一致。

表3 CPI对鱼丸 T_2 弛豫峰面积百分比的影响(%)

Table 3 Effects CPI on T_2 relaxation peak area of fish balls (%)

组别	P_{2a}	P_{21}	P_{22}
A	4.09 ± 0.41^c	93.34 ± 0.27^c	2.57 ± 0.05^a
B	4.51 ± 0.39^b	93.80 ± 0.38^c	1.69 ± 0.09^b
C	4.53 ± 0.02^b	95.25 ± 0.05^a	0.22 ± 0.04^d
D	4.02 ± 0.13^c	95.19 ± 0.80^a	0.79 ± 0.06^c
E	5.03 ± 0.49^a	94.18 ± 0.51^b	0.79 ± 0.02^c

注:同列不同字母代表差异显著($P < 0.05$)。

2.4 CPI添加量对鱼丸流变特性的影响

储能模量(G')也称弹性模量,反映样品的弹性趋势,一般而言, G' 值越高说明样品流变特性越好,凝胶特性也越好^[26]。图3显示了鱼糜热诱导形成鱼丸过程中储能模量(G')的变化。由图3可知,未添加CPI的变化趋势与添加不同量的CPI鱼丸凝胶 G' 的变化趋势基本保持一致。黄河鲤鱼鱼糜在加热条件下的聚集可以分为4个阶段:当温度从25℃升高到43℃时, G' 值呈现下降趋势; G' 值第一次增加出现在43℃,温度达到50℃时 G' 值存在峰值;当温度从50℃升高到54℃时 G' 值再次下降;当温度上升到85℃时, G' 快速增加并最终趋于平稳。

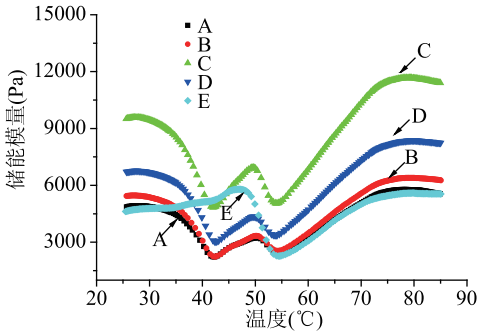


图3 CPI添加对鱼丸储能模量(G')的影响

Fig.3 Effects CPI addition on the storage modulus(G') of fish balls

G' 值在25~43℃之间呈现下降趋势,可能是加热初期鱼糜中的肌球蛋白开始解螺旋,破坏了蛋白的网络结构,也可能由于鱼糜内源蛋白酶的作用,影响了凝胶结构的形成^[27]。在43~50℃范围内, G' 值有小幅度的增加,这可能与重链肌球蛋白解旋后再经分子间聚集交联有关,这是凝胶网络形成的初始阶段。在50~54℃范围内, G' 值再次快速下降,这可能与肌球蛋白从螺旋到卷曲的形变有关,导致半凝胶的流动性增加,破坏已形成的网络结构^[28],此外加热过程中还可能导氢键断裂或者在此温度范围内鱼丸中内源性酶活性增高使肌球蛋白水解,导致鱼丸凝胶不稳定。当温度高于54℃时, G' 值快速增高并在75℃左右时达到最大,这一过程中鱼糜蛋白发生变性,形成热不可逆的致密凝胶网络结构^[29]。在加热过程中,添加CPI实验组样品的 G' 值与样品A相比都明显升高,且随着添加量的增加 G' 值不断增大,这表明鱼糜热诱导形成鱼丸过程中,随着CPI添加量的升高鱼丸凝胶网状结构形成的更充分,这可能是加热引起CPI的结构展开,增强了CPI与鱼糜蛋

白之间的交联和变性,形成了高弹性的凝胶网状结构^[30];样品 E 的 G' 值略高于样品 D 的 G' 值,表明 1% NaCl 鱼糜添加 6% CPI 与 2% NaCl 鱼糜的弹性比较接近,这一结果与凝胶强度的结果相一致。

2.5 CPI 添加量对鱼丸微观结构的影响

良好蛋白基质网状结构的凝胶能够有效地结合水和脂肪,使其质地更加光滑,而质地粗糙的凝胶易碎且具有较差的结合能力。由图 4 可知,所有的样品均呈现纤维状、多孔并具有交联链的三维网络结构,与样品 A 相比,样品 E 的凝胶网络结构更加致密均匀,表明较高盐含量可以使鱼丸体系中各组分紧密结合;随着 CPI 添加量的逐渐增大,使鱼丸凝胶网络结构变得更紧凑、连续。这是由于植物蛋白和肌原纤维蛋白混合后可以将单一分离蛋白的结构交织在一起并形成一个致密而均匀的空间结构,进而增强肌原纤维蛋白凝胶的微观结构。样品 D 与其他低盐组相比,鱼丸的凝胶结构较为均匀、光滑,说明添加 CPI 可以更好地改善凝胶的微观结构。Lin 等^[31]研究发现将肌原纤维蛋白与花生蛋白和大豆蛋白的混合物混合后,形成的凝胶微观结构更加致密、均匀、光滑。

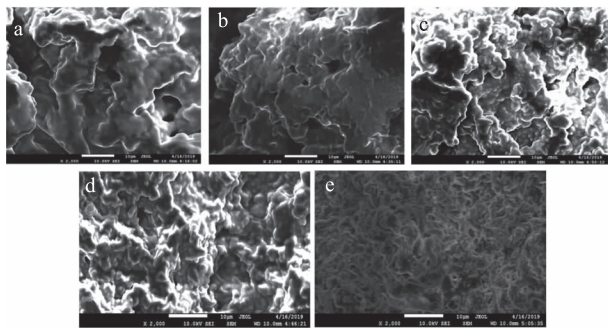


图4 CPI 添加量对鱼丸微观结构的影响

Fig.4 Effects of CPI addition on the microstructure of fish balls
注:a~e 分别样品 A~E 的微观图。

3 结论

添加 CPI 可以有效提高低盐鱼丸的凝胶特性和保水性。添加不同比例的 CPI 可以不同程度的增强鱼丸的凝胶强度和 G' 值,降低离心损失和水分的自由度,使凝胶网络结构变得更紧凑、连续,但白度均有所下降。添加 6% CPI 低盐鱼丸与 4% CPI 相比,凝胶强度显著 ($P < 0.05$) 增强, G' 增加,凝胶网络结构更加均匀、光滑,但保水性并无提高;6% CPI 低盐鱼丸凝胶特性与 2% 钠盐相比整体相当,但保水性更佳。因此,综合考虑在实际生产 1% NaCl 黄河鲤鱼相关的鱼糜制品时,建议添加 6% CPI 以提高产品品质。

参考文献

- [1] 章超桦,薛长湖.水产食品学[M].北京:中国农业出版社,2010:235.
- [2] 农业部渔业局.2019 中国渔业统计年鉴[M].北京:中国农业出版社,2019:89.
- [3] 米红波,李政翰,李岩,等.外源添加物在鱼糜制品中的应

用研究进展[J].食品工业科技,2019,40(15):349-355.

- [4] 秦之豪.打造郑州黄河鲤鱼品牌 促进黄河鲤鱼产业发展[J].河南水产,2017(1):3-4,14.
- [5] 杨又兵,卞军平,马秀英,等.两个黄河鲤鱼群体肌纤维特性及肌肉营养成分分析[J].黑龙江畜牧兽医,2017,18(11):239-243.
- [6] Kim Y S, Park J W. Negative roles of salt in gelation properties of fish protein isolate[J]. Journal of Food Science, 2008, 73(8): C585-C588.
- [7] Abreu D, Sousa P, Matias D C, et al. Cardiovascular disease and high blood pressure trend analyses from 2002 to 2016: After the implementation of a salt reduction strategy[J]. BMC Public Health, 2018, 18(1): 722.
- [8] Baldo M P, Rodrigues S L, Mill J G. High salt intake as a multifaceted cardiovascular disease: New support from cellular and molecular evidence[J]. Heart Failure Reviews, 2015, 20(4): 461-474.
- [9] Desmond E. Reducing salt: A challenge for the meat industry[J]. Meat Science, 2006, 74(1): 188-196.
- [10] Cando D, Herranz B, Javier B A, et al. Different additives to enhance the gelation of surimi gel with reduced sodium content[J]. Food Chemistry, 2016, 196: 791-799.
- [11] Kong W J, Zhang T, Feng D D, et al. Effects of modified starches on the gel properties of Alaska Pollock surimi subjected to different temperature treatments[J]. Food Hydrocolloids, 2016, 56(May): 20-28.
- [12] 崔旭海,毕海丹,崔晓莹,等.不同食用蛋白的添加对鲤鱼鱼糜流变和凝胶特性的影响[J].食品工业科技,2018,39(16):201-206.
- [13] 栗俊广,陈宇豪,王登顺,等.鹰嘴豆分离蛋白对减盐猪肉糜凝胶品质的影响[J].食品与发酵工业,2020,46(1):143-148.
- [14] Li K, Liu J Y, Zhao Y Y, et al. Comparative study of thermal gelation properties and molecular forces of actomyosin extracted from normal and pale, soft and exudative (PSE) - like chicken breast meat[J]. Asian Australasian Journal of Animal Sciences, 2019, 32(5): 721-733.
- [15] Debusca A, Tahergorabi R, Beamer S K, et al. Interactions of dietary fibre and omega-3 - rich oil with protein in surimi gels developed with salt substitute[J]. Food chemistry, 2013, 141(1): 201-208.
- [16] 李可,刘俊雅,扶磊,等.竹笋膳食纤维对猪肉盐溶性蛋白热诱导凝胶特性的影响[J].食品科学,2019,40(4):66-71.
- [17] Ma X S, Yi S M, Yu Y M, et al. Changes in gel properties and water properties of *Nemipterus virgatus* surimi gel induced by high - pressure processing [J]. LWT - Food Science and Technology, 2015, 61(2): 377-384.
- [18] Li K, Fu L, Zhao Y Y, et al. Use of high-intensity ultrasound to improve emulsifying properties of chicken myofibrillar protein and enhance the rheological properties and stability of the emulsion[J]. Food Hydrocolloids, 2020, 98: 105275.
- [19] 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.

[20] Lee H C, Jang H S, Kang I, et al. Effect of red bean protein isolate and salt levels on pork myofibrillar protein gels mediated by microbial transglutaminase [J]. LWT - food Science and Technology, 2017, 76: 95-100.

[21] Zhou X X, Chen T, Lin H H, et al. Physicochemical properties and microstructure of surimi treated with egg white modified by tea polyphenols [J]. Food Hydrocolloids, 2019, 90: 82-89.

[22] Kudre T, Benjakul S, Kishimura H. Effects of protein isolates from black bean and mungbean on proteolysis and gel properties of surimi from sardine (*Sardinella albella*) [J]. LWT - Food Science and Technology, 2013, 50(2): 511-518.

[23] Kudre T, Benjakul S. Effects of bambara groundnut protein isolate on protein degradation and gel properties of surimi from sardine (*Sardinella albella*) [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2013, 37(5): 977-986.

[24] 沈晓蕾, 李向红, 俞健, 等. 大豆分离蛋白, 木薯淀粉与转谷氨酰胺酶组合对鲑鱼鱼糜凝胶品质的影响 [J]. 食品与机械, 2019, 35(9): 26-31.

[25] Zhang Z Y, Regenstien J M, Zhou P, et al. Effects of high intensity ultrasound modification on physicochemical property and

water in myofibrillar protein gel [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2017, 34: 960-967.

[26] Taktak W, Nasri R, Hamdi M, et al. Physicochemical, textural, rheological and microstructural properties of protein isolate gels produced from European eel (*Anguilla anguilla*) by heat-induced gelation process [J]. Food Hydrocolloids, 2018, 82: 278-287.

[27] 吕梁玉, 罗华彬, 吕鸣春, 等. 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): 14-19.

[28] 彭晶. 菜籽蛋白的制备及其对白鲢鱼糜凝胶特性的影响 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2017.

[29] Tomé A S, Pires C, Batista I, et al. Protein gels and emulsions from mixtures of Cape hake and pea proteins [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2015, 95(2): 289-298.

[30] 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 °C 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.

[31] Lin D Q, Zhang L T, Li R J, et al. Effect of plant protein mixtures on the microstructure and rheological properties of myofibrillar protein gel derived from red sea bream (*Pagrosomus major*) [J]. Food Hydrocolloids, 2019, 96: 537-545.

(上接第 7 页)

[17] 戴飞, 韩正晟, 魏宏安, 等. 中国马铃薯茎叶利用处理现状及相关机械化技术发展 [J]. 湖北农业科学, 2012(10): 40-42, 46.

[18] Xu - Heng N, Hua - Chun G. An ultra - high - performance liquid chromatography - triple, quadrupole mass spectrometry method for the detection of steroidal glycoalkaloids in potato samples [J]. Analytical Methods, 2017(9): 6613-6621.

[19] 杨文钰, 屠乃美. 作物栽培学论南方本 [M]. 第二版. 北京: 中国农业出版社, 2011: 144.

[20] 陈铭, 彭亚丽, 熊兴耀, 等. 马铃薯糖苷生物碱研究进展 [J]. 中国蔬菜, 2020(2): 13-19.

[21] Urban, Jaroslav, Hamouz, et al. Effect of genotype, flesh colour and environment on the glyco - alkaloid content in potato tubers from integrated agriculture [J]. Plant, Soil and Environment, 2018, 64(4): 186-191.

[22] Amer F S, Reddivari L, Madiwale G P, et al. Effect of genotype and storage on glycoalkaloid and acrylamide content and sensory attributes of potato chips [J]. American Journal of Potato Research, 2014, 91(6): 632-641.

[23] Krits P, Fogelman E, Ginzberg I. Potato steroidal glycoalkaloid levels and the expression of key isoprenoid metabolic genes [J]. Planta, 2008, 227(1): 143-50.

[24] Nakayasu M, Umemoto N, Ohyama K, et al. A dioxygenase catalyzes steroid 16 α - hydroxylation in steroidal glycoalkaloid biosynthesis [J]. Plant Physiology, 2017, 175(1): 120-133.

[25] Kondo K, Uritani I, Oba K. Induction mechanism of 3 - hydroxy - 3 - methylglutaryl - CoA reductase in potato tuber and sweet potato root tissues [J]. Bioscience Biotechnology & Biochemistry, 2003, 67(5): 1007-1017.

[26] 邓孟胜, 张杰, 唐晓, 等. 马铃薯中龙葵素的研究进展 [J]. 2019, 17(7): 2399-2407.

[27] Smith D B, Roddick J G, Jones J L. Synergism between the potato glycoalkaloids α -chaconine and α -solanine in inhibition of snail feeding [J]. Phytochemistry, 2001, 57(2): 229-234.

[28] Friedman M, Lee K R, Kim H J, et al. Anticarcinogenic effects of glycoalkaloids from potatoes against human cervical, liver, lymphoma, and stomach cancer cells [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53(15): 6162-6169.