

大豆分离蛋白、木薯淀粉与转谷氨酰胺酶组合 对鲢鱼鱼糜凝胶品质的影响

Effect of combination of soy protein isolate, tapioca starch and
transglutaminase on gel quality of carp surimi

沈晓蕾 李向红 俞 健 王发祥

SHEN Xiao-lei LI Xiang-hong YU Jian WANG Fa-xiang

王建辉 黄轶群 刘永乐

WANG Jian-hui HUANG Yi-qun LIU Yong-le

(长沙理工大学化学与食品工程学院, 湖南 长沙 410114)

(School of Chemistry and Biological Engineering, Changsha University of Science and Technology,
Changsha, Hunan 410114, China)

摘要:探究了大豆分离蛋白、木薯淀粉及转谷氨酰胺酶对鲢鱼鱼糜制品的影响并确定最适添加量。结果表明,当大豆分离蛋白添加量 6%,木薯淀粉添加量 9% 以及转谷氨酰胺酶添加量 4 U/g · 蛋白时,能有效增加鱼糜的持水性,降低其蒸煮损失,且不会使鱼糜带有大豆分离蛋白的淡黄色,同时提高了鱼糜的凝胶强度,鲢鱼鱼糜制品各项指标较好。通过低场核磁共振和扫描电镜检测发现,未添加的对照组在 6 次冻融后凝胶结构完全被破坏,不易移动水峰面积(A_{23})下降了 25%,试验组凝胶结构比较致密, A_{23} 下降了 11%,进一步验证了此配方组合对鱼糜在冻融循环过程中凝胶结构的稳定性具有保护作用。

关键词:鱼糜;大豆分离蛋白;木薯淀粉;转谷氨酰胺酶;凝胶品质

Abstract: The effects of soy protein isolate, tapioca starch and transglutaminase on the carp surimi products were investigated and the optimal addition amount was determined. It was found that when the addition amount of soy protein isolate was 6%, the amount of cassava starch 9% and the amount of transglutaminase added were 4 U/g · protein, the water retention capacity of the fish meal was effectively increased, and the cooking loss was reduced without causing The surimi has a light yellow color of soy

protein isolate, and at the same time, it improves the gel strength of the surimi and obtains a good quality fish carp product; then it is found by low field nuclear magnetic resonance and scanning electron microscopy that it is not added. In the control group, the gel structure was completely destroyed after 6 freeze-thaw cycles, and the peak area of unmovable water A_{23} decreased by 25%. The gel structure of the experimental group was still very dense, and A_{23} decreased by 11%. It was further verified that this combination of formulas has a protective effect on the stability of the gel structure of the surimi during the freeze-thaw cycle.

Keywords: surimi; soy protein isolate; tapioca starch; transglutaminase; gel quality

鲢鱼作为中国的四大家鱼之一,年产量达数百万吨,由于土腥味重,肌间刺多,鲜食用率较低。为了提高鲢鱼的利用率及经济价值,通常将其肉与各种辅料混合制成具有弹性凝胶状的鱼糜重组制品,该鱼糜重组制品营养丰富,蛋白质含量高^[1],食用方便,风味独特,深受消费者喜爱。

在鱼糜中加入各种蛋白及淀粉可以提高鱼糜的凝胶强度,还可以降低鱼糜中对人体有害的过量饱和脂肪和胆固醇^[2]。大豆分离蛋白(SPI)是植物蛋白中的优质蛋白,蛋白含量在 90% 以上,其作为蛋白类食品添加剂得到了广泛应用。木薯淀粉中支链淀粉比直链淀粉含量高,造成了木薯淀粉具有较好的黏性,可以增强鱼糜的凝胶强度。刘鑫等^[3]研究发现当木薯淀粉添加量为 8% 时能

基金项目:国家自然科学基金项目(编号:31571867);湖南省自然科学基金项目(编号:2017JJ2269)

作者简介:沈晓蕾,女,长沙理工大学在读硕士研究生。

通信作者:刘永乐(1962—),男,长沙理工大学教授,博士。

E-mail: lyle19@163.com

收稿日期:2019-06-03

够使竹荚鱼鱼糜的凝胶强度提高 130.6%。转谷氨酰胺酶(TG)作为常用的凝胶增强剂,能够催化肌球蛋白(MHC)上赖氨酸的 ϵ -氨基和谷氨酸残基上的 γ -酰胺基形成共价键使蛋白质之间或蛋白质内部发生交联,提高鱼糜制品的弹性和紧实度^[4]。

试验拟以鲢鱼为原料,考察 SPI、木薯淀粉及 TG 最适添加量对鱼糜制品食用品质(持水率、蒸煮损失、白度、凝胶强度)的影响,为鱼糜的工业生产提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

新鲜鲢鱼、大豆分离蛋白(纯度 99%)、木薯淀粉(纯度 99%):市售;

转谷氨酰胺酶:酶活 120 U/g,江苏一鸣生物科技有限公司;

肠衣:直径 50 mm,食品级塑料透明肠衣,潍坊美橙包装设计有限公司。

1.2 仪器与设备

电子天平:BL-9205B 型,日本岛津公司;

恒温水浴锅:DK-98-II 型,天津泰斯特仪器有限公司;

电热恒温鼓风干燥箱:DHG-9140A 型,上海精宏实验设备有限公司;

质构仪:TA • XTplus 型,英国 Stable Mico System 公司;

斩拌机:ZB-20 型,山东省诸城市华钢机械有限公司;

低场核磁共振仪:NMI20 型,上海纽迈电子科技有限公司;

扫描电镜:EVO-LS 10 型,日本 Minolta 公司。

1.3 试验方法

1.3.1 鱼糜重组制品的工艺流程

新鲜鱼肉→前处理→采肉→脱水→斩拌→制备鱼糜凝胶

1.3.2 操作要点

(1) 前处理:去头及内脏,清洗干净。内脏的黑膜需清除干净,防止影响鱼糜的品质^[5]。

(2) 采肉:去除油脂及红肉,只采白肉,防止影响鱼糜的色泽。

(3) 制备鱼糜凝胶:将鱼肉在斩拌机中空斩 1 min,加入 2.5%食盐斩拌 2 min,再加入不同质量分数的 SPI、木薯淀粉和 TG 斩拌 5 min(斩拌过程中应控制温度在 10℃ 以下)。将鱼糜填充到聚乙烯肠衣中,排除气泡,采用二段加热(45℃,30 min;90℃,20 min),加热结束后置于流水下冷却,于 4℃ 冰箱中过夜,待用。

1.3.3 蛋白质的测定 参照 GB 5009.5—2016 的凯氏定

氮法。

1.3.4 蒸煮损失 根据 Yang 等^[6]的方法略做修改,将鱼糜凝胶切成凝胶圆柱体并称重(G_1)后放入蒸煮袋内且封口,90℃ 水浴锅蒸煮 20 min。蒸煮结束擦干水分后称重(G_2),每组测量平行 5 次,试验重复 3 次,取平均值。按式(1)进行计算。

$$CL = \frac{G_1 - G_2}{G_1} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

CL——蒸煮损失,%;

G_1 ——鱼糜凝胶蒸煮前的质量,g;

G_2 ——鱼糜凝胶蒸煮后的质量,g。

1.3.5 持水性测定 将样品切成圆柱,称其质量 M_1 ,用滤纸包裹于离心管中,3 000 r/min 离心 10 min,称重 M_2 ,每组测量平行 3 次,试验重复 3 次,取平均值。按式(2)进行计算^[7]。

$$WHC = \frac{M_2}{M_1} \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

WHC——持水率,%;

M_1 ——鱼糜凝胶离心前的质量,g;

M_2 ——鱼糜凝胶离心后的质量,g。

1.3.6 白度测定 用色差计测定样品 L^* 、 a^* 、 b^* ,每组测量平行 5 次以上,试验重复 3 次,取平均值。按式(3)进行计算^[8]。

$$W = 100 - [(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}]^{\frac{1}{2}}, \quad (3)$$

式中:

W——白度,%;

L^* ——亮度;

a^* ——红度值(表示有色物质的红绿偏向);

b^* ——黄度值(表示有色物质的黄蓝偏向)。

1.3.7 鱼糜制品凝胶强度的测定 根据文献^[9]进行修改。采用质构仪进行测定,参数设置为探头 P/0.5,测前速度 0.5 mm/s,测中速度 1 mm/s,测后速度 10 mm/s,测量距离 6 mm,触发力 5 g,每组测量平行 4 次以上,试验重复 3 次,结果取平均值。

1.3.8 鱼糜的水分分布及状态 根据文献^[10]进行修改。鱼糜在室温下放置 30 min,切成 10 mm×20 mm×5 mm,放入核磁管,采用 CPMG 序列,32℃ 条件下进行自旋—自旋弛豫时间 T_2 的测定。参数设定为 $SFI = 18$ MHz, $P1 = 14$ μ s, $SW = 100$ kHz, $TR = 2$ 000 ms, $NS = 8$, $NECH = 4$ 000。

1.3.9 微观结构分析 鱼肠切成 3 mm×3 mm×2 mm 小块;用体积分数为 2.5%戊二醛于 4℃ 固定 24 h;去除固定液,用磷酸盐缓冲液(0.2 mol/L, pH 7.2)漂洗 3 次,

15 min/次;去离子水冲洗 1 h;50%,70%,90%乙醇梯度洗脱,15 min/次;100%乙醇脱水 3 次,10 min/次;真空冷冻干燥;离子溅射镀金;扫描电镜观察。

1.4 数据处理

采用 SPSS 24.0 统计软件进行数据分析,用 t 检验法和单因素 ANOVA 方差分析,LSD 多重比较分析各样品之间的显著性差异,数据均用 $(\bar{x} \pm s)$ 表示。

2 结果与分析

2.1 大豆分离蛋白对鲢鱼鱼糜的影响

2.1.1 持水性和蒸煮损失 由图 1 可知,加入 SPI 后鱼糜持水率增加,蒸煮损失降低。当 SPI 添加量为 6% 时,持水率趋于平稳,为 90.46%,比空白组(84.14%)增加了 7.5%;蒸煮损失也趋于平稳,为 9.5%,比对照组(14.29%)降低了 33.7%。当 SPI 添加量增加至 9% 时,持水率和蒸煮损失的变化均不明显。由于 SPI 具有吸水性,能使鱼糜的凝胶结构更加紧致;SPI 与鱼糜自身的蛋白、糖等相互作用将水分子锁在鱼糜网状结构内^[2],加强对水的吸附能力;SPI 的 7S 伴球蛋白与 11S 球蛋白中的许多极性基团能与水分子发生水化反应^[11],从而提高了鱼糜的持水性,降低了蒸煮损失。

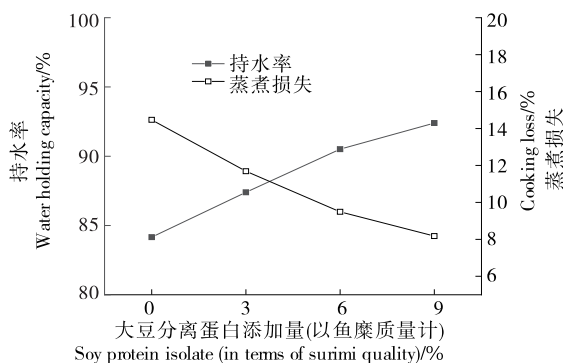


图 1 大豆分离蛋白对鱼糜持水性、蒸煮损失的影响

Figure 1 Effect of SPI on water holding capacity and cooking loss of surimi

2.1.2 色泽 由图 2 可知,随着 SPI 添加量的增加白度值逐渐下降。由于 SPI 为淡黄色,在鱼糜重组制品中的添加量不宜过高,否则会影响鱼糜制品的色泽品质。

2.1.3 凝胶强度 由图 3 可知,鱼糜的凝胶强度随 SPI 添加量的增加而不断提高。当 SPI 添加量为 6% 时,凝胶强度为 1 942 g · mm,比对照组(1 145 g · mm)增加了 41%;当 SPI 添加量 > 6% 时,凝胶强度增加较为缓慢。SPI 加入到鱼糜中可与盐溶性蛋白及不溶性蛋白在斩拌过程中混合,加热后蛋白分子会展开形成致密稳定的三维网状结构^[12];同时 SPI 中存在鱼肉内源蛋白酶的抑制因子,能够降低凝胶劣化对鱼糜制品品质的影响,从而提高和改善鱼糜的凝胶特性^[13]。

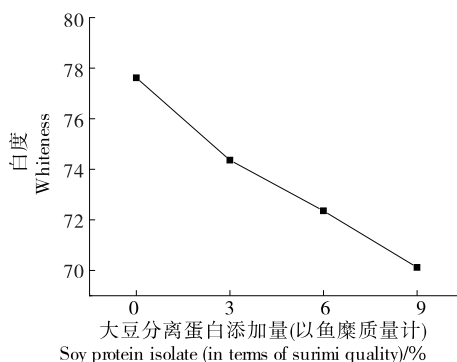


图 2 大豆分离蛋白对鱼糜白度的影响

Figure 2 Effect of SPI on whiteness of surimi

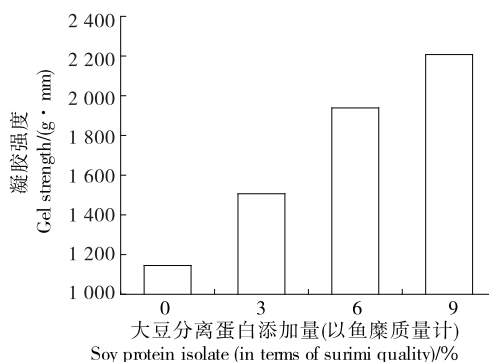


图 3 大豆分离蛋白对鱼糜凝胶强度的影响

Figure 3 Effect of SPI on gel strength of surimi

2.2 木薯淀粉对鲢鱼鱼糜的影响

2.2.1 持水性和蒸煮损失 由图 4 可知,添加 6% SPI 后再添加木薯淀粉,鱼糜的持水性先逐渐增大后趋于平稳,蒸煮损失逐渐降低并趋于稳定。当木薯淀粉添加量为 9% 时,鱼糜持水率为 93.75%,比对照组(86.70%)增加了 8%;当木薯淀粉添加量 > 9% 时,持水率增加缓慢并趋于平稳,蒸煮损失为 8.51%,比对照组(10.20%)降低了 16.5%,添加量 > 9% 时,蒸煮损失变化不明显。木薯淀粉与鱼糜混合后,在二段加热过程中受热糊化与水结合形

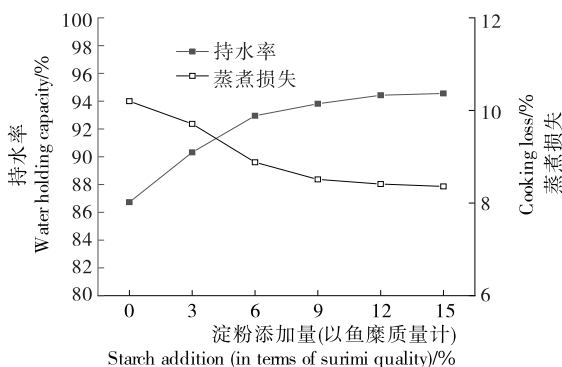


图 4 木薯淀粉对鱼糜持水性、蒸煮损失的影响

Figure 4 Effect of tapioca starch on water holding capacity and cooking loss of surimi

成的凝胶充斥在鱼糜的网状结构中,增大了鱼糜的持水性^[14],在蒸煮过程中持水性增强,蒸煮损失降低;木薯淀粉中含有较直链淀粉更多的支链淀粉,能够产生更强的黏性,使鱼糜形成更强的凝胶,充分锁住凝胶网状结构中的水分,增加持水性,降低蒸煮损失。

2.2.2 色泽 由图 5 可知,添加 6% SPI 后再添加木薯淀粉,鱼糜的白度值随淀粉添加量的增加而降低,但变化不明显。由于鲢鱼鱼糜本身白度较高,所以木薯淀粉对鱼糜白度值影响较小。但木薯淀粉添加量不宜过高,否则会影响鱼糜制品的口感。

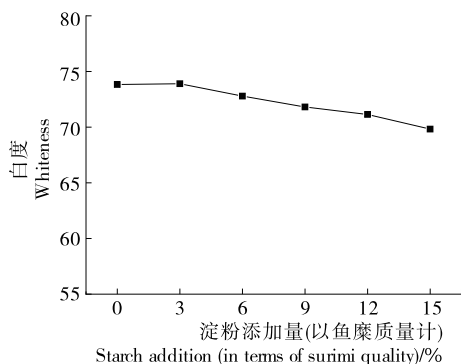


图 5 木薯淀粉对鱼糜白度的变化

Figure 5 Effect of tapioca starch on whiteness of surimi

2.2.3 凝胶强度 由图 6 可知,鱼糜的凝胶强度随木薯淀粉添加量的增大而增大。当添加量为 9% 时,凝胶强度为 2 910 g · mm,比对照组(1 975 g · mm)增加了 47%;当增加到 12% 时,凝胶强度增加缓慢;故选取木薯淀粉添加量为 9%。淀粉在加热过程中糊化与水结合形成凝胶,同时淀粉颗粒填充在鱼糜的蛋白网状结构中能进一步加强凝胶结构;淀粉在斩拌过程中,与水及鱼糜中蛋白形成淀粉—蛋白—水的复合型网状结构,与多糖交联形成更大更复杂的网状结构,从而增强鱼糜的凝胶强度^[15]。淀粉的添加能提高鱼糜的凝胶强度,但不宜添加过多,过多

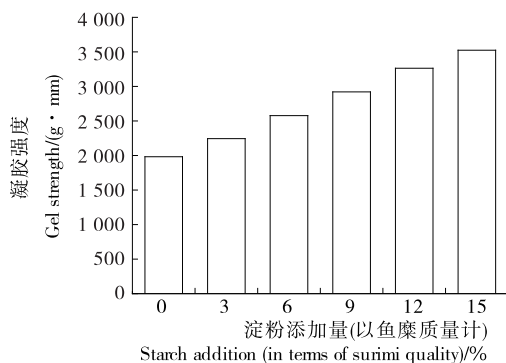


图 6 木薯淀粉对鱼糜凝胶强度的影响

Figure 6 Effect of tapioca starch on gel strength of surimi

会影响口感且凝胶强度降低。Yang 等^[16]发现,低浓度淀粉比高浓度淀粉能更有效地改善鱼糜的凝胶强度。

2.3 转谷氨酰胺酶对鲢鱼鱼糜的影响

2.3.1 持水性和蒸煮损失 由图 7 可知,添加 6% SPI 与 9% 木薯淀粉后再添加 TG,鱼糜的持水率随 TG 的增加缓慢增加至稳定,蒸煮损失随 TG 的添加先降低后增加又降低。当 TG 添加量 ≥ 4 U/g · 蛋白时,持水率无显著变化($P > 0.05$),蒸煮损失在 4 U/g · 蛋白时达最低。加入 TG 能催化赖氨酸的 ϵ -氨基和谷氨酸残基上的 γ -酰胺基发生转酰胺反应^[17],促进鱼糜蛋白分子之间或分子内的相互交联,对持水性和蒸煮损失有利,但如果加入过量的 TG,会使蛋白质分子过度地聚集,破坏鱼糜的凝胶结构,对持水性和蒸煮损失不利^[18]。由于 TG 会使 7S 与 11S 大豆分离蛋白发生交联,改变鱼糜蛋白分子的交联程度,故选取最适 TG 添加量为 4 U/g · 蛋白。

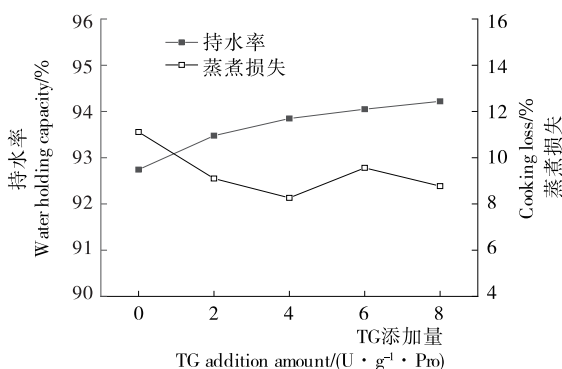


图 7 TG 对鱼糜持水性、蒸煮损失的影响

Figure 7 Effect of TG on water holding capacity and cooking loss of surimi

2.3.2 色泽 由图 8 可知,随着 TG 的添加,鱼糜的白度值有逐渐下降的趋势,但变化不明显。这可能是 TG 自身的暗白色改变了鱼糜制品的颜色;也可能是 TG 促进蛋白分子间相互交联形成了较强的凝胶,改变了鱼糜制品亮度^[19]。

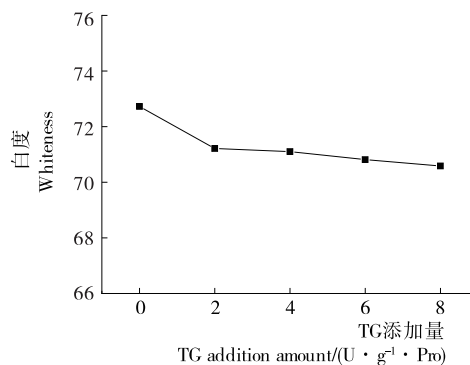


图 8 TG 对鱼糜白度的变化

Figure 8 Effect of TG on whiteness of surimi

2.3.3 凝胶强度 由图 9 可知,添加 6% SPI 与 9%木薯淀粉后,鱼糜的凝胶强度随 TG 增加逐渐增加并趋于平稳。当 TG 添加量为 4 U/g·蛋白时,鱼糜的凝胶强度为 5 195 g·mm,与未添加 TG(4 179 g·mm)相比,增加了 24%,但当 TG 添加量超过 4 U/g·蛋白时,凝胶强度趋于稳定。TG 能促进鱼糜蛋白质分子之间化学键的形成,使凝胶的网状结构更加紧密,但加入过多的 TG,可能会使蛋白质分子间过度交联而破坏凝胶的网状结构;随 TG 的添加,凝胶壁全减小,转酰胺反应所生产的 ϵ -(γ -谷酰胺)赖氨酸键增多,提高了鱼糜的凝胶强度。故 TG 添加量在 4 U/g·蛋白时最为合适。

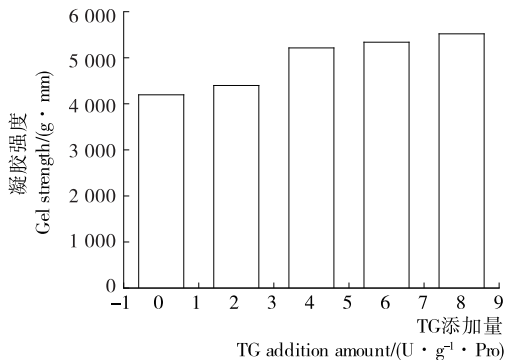


图 9 TG 对鱼糜凝胶强度的影响

Figure 9 Effect of TG on gel strengthen of surimi

2.4 鲢鱼鱼糜 T_2 峰比例变化

由图 10 可知,鱼糜凝胶的水分存在 4 个 T_2 区间(T_{21} 、 T_{22} 、 T_{23} 、 T_{24}),与 Møller 等^[20]研究相符。 T_{21} 代表了与蛋白质等大分子表面的极性基团以氢键相结合的单层水; T_{22} 为与蛋白质中的酰胺基、淀粉纤维中的羟基形成了较小的氢键的水,与 T_{21} 区间水分相比,其结合程度较低, T_{21} 与 T_{22} 可共同称为结合水; T_{23} 为束缚在凝胶网状结构中的水分,是鱼糜凝胶中最主要的水分,约占总水分的 90%; T_{24} 为凝胶网状结构以外可自由移动的水。

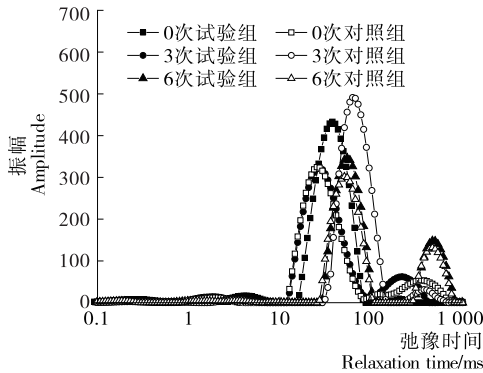


图 10 试验组和对照组冻融过程中的横向弛豫时间

Figure 10 Transverse relaxation time during freezing and thawing in the experimental and control group

由表 1 可知,随冻融循环次数的增加,峰面积 $A_{21} + A_{22}$ 及 A_{23} 不断降低, A_{24} 增加,说明鱼糜凝胶在冻融循环过程中结合水与束缚水转移成自由水。在冻融循环过程中添加辅料的样品组 $A_{21} + A_{22}$ 及 A_{23} 降低缓慢, A_{24} 增加缓慢。 T_{23} 作为鱼糜中含量最多的水分,可显示鱼糜凝胶的持水性能,添加组 A_{23} 从 0 次冻融(93.659%)到 6 次冻融(80.357%)降低了 11%,未添加组降低了 25%。鱼糜在冻融循环过程中,鱼糜中的肌原纤维蛋白发生变性,所以造成了鱼糜中的结合水以及束缚在凝胶网状结构中的水分转移成自由流动的水。蛋白、淀粉及转谷氨酰胺酶使鱼糜凝胶的网状结构更加致密,且可能会有抗冻作用,故添加组比未添加组效果更好。

表 1 添加与未添加辅料的鱼糜在冻融循环过程中峰面积比例的变化

Table 1 The change of peak area ratio in freeze-thaw cycle of surimi with or without auxiliary materials

组别	$A_{21} + A_{22}$	A_{23}	A_{24}
0 次试验组	4.969±0.003	93.659±0.006	1.588±0.005
0 次对照组	3.332±0.006	93.943±0.003	2.727±0.005
3 次试验组	4.108±0.003	82.352±0.006	13.540±0.009
3 次对照组	2.906±0.006	74.567±0.002	22.531±0.023
6 次试验组	3.740±0.002	80.357±1.480	18.034±1.820
6 次对照组	2.415±0.005	70.722±0.005	24.559±0.007

2.5 鲢鱼鱼糜凝胶的微观结构分析

由图 11 可知,添加辅料组 0 次冻融,鱼糜凝胶表面不仅平整、光滑,凝胶孔洞较小,且形成了高度致密的凝胶网状结构;3 次冻融后,凝胶孔洞变大,网状结构致密;6 次冻融后,凝胶表面不平整,表面的凝胶网状结构被破坏。未添加辅料组在 0 次冻融时,表面不平整,结构粗糙,为团簇状,未形成完整的网状结构;3 次冻融后,表面

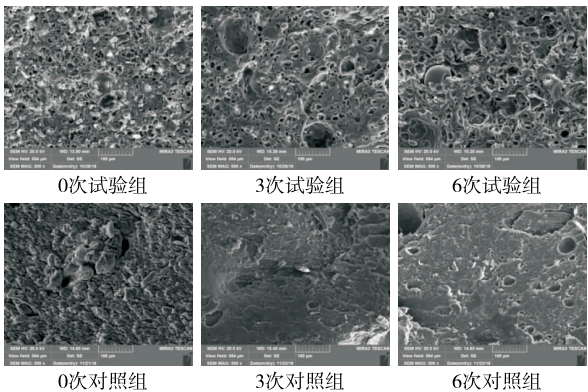


图 11 不同处理条件下鲢鱼鱼糜凝胶微观结构变化

Figure 11 Microstructure of silver carp surimi gels at different treatment methods

平整,无明显的网状结构;6次冻融后,表面平整,但形成了小气泡,结构被破坏。添加辅料组在冻融循环过程中,网状结构在第6次冻融循环后被破坏,但仍有致密的网状结构;而未添加辅料组未冻融时的网状结构已杂乱、疏松。SPI、木薯淀粉及TG能捕获更多的游离水,减少水分等物质流失,降低蒸煮过程中的损失,且能够形成致密的凝胶网状结构。鱼糜凝胶的微观结构和峰面积比例的变化验证了上述鱼糜配方优化的可行性。

3 结论

试验综合评价了鱼糜食用品质(蒸煮损失、持水性、白度、凝胶强度),确定了当大豆分离蛋白添加量4%、木薯淀粉添加量9%以及转谷氨酰胺酶添加量4 U/g·蛋白时,可有效地增加鱼糜的持水性,降低蒸煮损失,且不会使鱼糜带有大豆分离蛋白的淡黄色,同时提高了鱼糜的凝胶强度。通过低场核磁共振和扫描电镜验证此配方能保护鱼糜在冻融循环过程中凝胶结构的稳定性。试验为鱼糜重组制品的配方优化提供了新的思路,为工业化生产提供了科学依据。但在此基础上能否以降低成本为目的,对鱼糜制品配方进一步优化,使其达到与目前组合使用时的效果有待进一步研究。

参考文献

- [1] 吴涛,冯武,茅林春.玉米淀粉及氯化钙对草鱼鱼糜热凝胶特性的影响[J].湖北农业科学,2010,49(3):671-675.
- [2] 陈康,戴志远,王宏海,等.添加非肌肉蛋白对鱼糜制品品质影响的初步研究[J].食品与发酵工业,2011,37(7):214-219.
- [3] 刘鑫,薛长湖,刘艺杰.不同淀粉在鱿鱼制品中的应用[J].食品与发酵工业,2006,23(10):62-65.
- [4] DONDERO M, FIGUEROA V, MORALES X, et al. Transglutaminase effect on gelation capacity thermally induced beef protein gels[J]. Food Chemistry, 2006, 99(3): 546-554.
- [5] 张菲菲,殷军港.利用低值鱼鱼糜制作鱼丸配方的研究[J].食品工业,2014,35(8):36-40.
- [6] YANG Zhen, WANG Wei, WANG Hai-yan, et al. Effect of a highly resistant rice starch and preincubation temperatures on the physicochemical properties surimi gel from grass carp (*Ctenopharynxodon Idellus*) [J]. Food chemistry, 2014, 145(4): 212-219.
- [7] IGNACIOS, PEDRO C, PILAR M, et al. Protein and water structural changes in fish surimi during gelation as revealed by isotopic H/D exchange and Raman spectroscopy[J]. Food Chemistry, 2008, 106(1): 56-64.
- [8] DEBUSCA A, TAHERGORABI R, BEAMER S K, et al. Interactions of dietary fiber and omega-3-rich oil with protein in surimi gels developed with salt substitute[J]. Food Chemistry, 2013, 141(1): 201-208.
- [9] HIROKOS, YOSHIYUKI K, KUMAZAWA S, et al. Gel strength enhancement by addition of microbial transglutaminase during on shore surimi manufacture[J]. Journal of Food Science, 1995, 60(2): 300-304.
- [10] MA Xing-sheng, YI Shu-min, YU Yong-ming, 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.
- [11] 张中义,柴颖,范雯,等.大豆分离蛋白对速冻饺子肉馅抗冻性能的改善[J].食品工业,2018,39(1):30-34.
- [12] 雷淑芳,晃芳芳,张雪苍.大豆分离蛋白的生产工艺及其在食品工业中的应用[J].粮食加工,2004,29(4):53-56.
- [13] 杨华,张晓伟,刘慧.鲢鱼鱼糜凝胶质构特性的研究[J].食品研究与开发,2011,32(6):52-57.
- [14] ALVAREZ C, COUSO I, SOLAS M, et al. Waxy corn starch affecting texture and ultrastructure of sardine surimi gels[J]. Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und-Forschung A, 1997, 204(2): 121-128.
- [15] 陈海华,薛长湖.亲水胶体对竹荚鱼鱼糜流变特性的影响[J].食品科学,2009,30(17):52-55.
- [16] YANG Hong, PARK J W. Effects of starch properties and thermal-processing conditions on surimi-starch gels [J]. LWT-Food Science and Technology, 1998, 31(4): 344-353.
- [17] 黄玉平.鱼皮明胶蛋白在淡水鱼糜制品中的应用[D].厦门:集美大学,2009:23-24.
- [18] 孙静静.转谷氨酰胺酶对草鱼糜凝胶特性的影响[D].杭州:浙江大学,2012:32-35.
- [19] URESTIR M, RAMIREZ J A, LÓPEZ-ARIAS N, et al. Negative effect of combining microbial transglutaminase with low methoxyl pectins on mechanical properties and colour attributes of fish gel[J]. Food Chemistry, 2003, 80(4): 551-556.
- [20] MÖLLER S M, GROSSI A, CHRISTENSEN M, et al. Water properties and structure of pork sausages as affected by high-pressure processing and addition of carrot fibre[J]. Meat Science, 2011, 87(4): 387-393.