

鲢鱼酶解物对冻融鱼糜制品品质及其 蛋白质体外消化率的影响

Effects of silver carp hydrolysate on quality and *in vitro*
protein digestibility of freeze-thawed surimi products

刘永乐^{1,2} 田苗苗^{1,2} 李向红^{1,2} 俞健^{1,2}

LIU Yong-le^{1,2} TIAN Miao-miao^{1,2} LI Xiang-hong^{1,2} YU Jian^{1,2}

王发祥^{1,2} 王建辉^{1,2} 黄轶群^{1,2}

WANG Fa-xiang^{1,2} WANG Jian-hui^{1,2} HUANG Yi-qun^{1,2}

(1. 长沙理工大学食品与生物工程系, 湖南 长沙 410114;

2. 湖南省水生资源食品加工工程技术研究中心, 湖南 长沙 410114)

(1. Department of Food and Biological Engineering, School of Chemistry and Biological Engineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha, Hunan 410114, China; 2. Hunan Provincial Engineering Technology Research Center of Aquatic Food Resources Processing, Changsha, Hunan 410114, China)

摘要:选择复合蛋白酶水解鲢鱼制酶解产物,以添加了商业抗冻剂(商抗,4%蔗糖+4%山梨醇)的鱼糜制品作对照,综合评价添加了鲢鱼酶解产物的鱼糜制品冻融前后品质及其蛋白质体外消化率的变化。试验结果表明:冻融后,鱼糜制品中添加2%的酶解产物可以增加鱼糜凝胶持水性,降低蒸煮损失,并且不会导致鱼糜制品带上酶解产物本身的淡黄色;同时,2%酶解产物添加组能有效减缓鱼糜制品凝胶强度、硬度和弹性的降低及其蛋白质消化率的下降程度;2%酶解产物添加组在冻融前后感官评分均较高,酶解产物的添加避免了商业抗冻剂给产品带来的明显甜味。研究表明,鲢鱼酶解产物可作为潜在的抗冻剂应用于鱼糜及其制品的工业化生产。

关键词: 鲢鱼;酶解产物;鱼糜制品;品质;蛋白质消化率

Abstract: To investigate the effects of silver carp hydrolysate on the quality and *in vitro* protein digestibility of surimi products. Different amounts (0%, 2%, 4%, 6%) of silver carp hydrolysate were added to surimi products. The qualities (including cooking loss, water retention, whiteness, gel strength, hardness, elasticity and sensory e-

valuation) and *in vitro* protein digestibility of the products after freeze-thaw treatments were investigated, and the surimi products added with traditional cryoprotectant (4% sucrose+4% sorbitol) as the comparison. The addition of 2% hydrolysate can increase water holding and decrease cooking loss, and effectively reduce the decrease of gel strength, hardness, elasticity and *in vitro* protein digestibility of the surimi products. The whiteness of the product was not affected by the addition of low amount of hydrolysate. Sensory evaluation showed that compared to the traditional cryoprotectant, the addition of hydrolysate can avoid the sweetness of the products. The study showed that silver carp hydrolysate can be used as potential cryoprotectant in surimi and surimi products.

Keywords: silver carp; hydrolysate; surimi product; quality; *in vitro* protein digestibility

中国淡水鱼产量居世界首位,2016年,淡水鱼总产量达2 815.54万t^[1]。但是,淡水鱼土腥味重、肌间刺多、贮运加工过程中蛋白质容易冷冻变性等,导致贮藏保鲜难、加工率低。目前,将淡水鱼加工成冷冻鱼糜及制品是淡水鱼深加工及提高其加工率的重要途径。鲢鱼为中国四大家鱼之一,2017年产量达450.66万t,仅次于草鱼^[1],是中国冷冻鱼糜加工的主要淡水鱼品种。

防止鱼肉蛋白质冷冻变性是冷冻鱼糜储运及加工过程重点关注的课题。鱼肉蛋白质的主要组分——肌原纤维蛋白在冻结或冻藏过程中冰晶的形成会导致蛋白质极性基团

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:2017JJ2269,2017JJ2270);湖南省教育厅优秀青年项目(编号:14B009)

作者简介:刘永乐,男,长沙理工大学教授,博士。

通信作者:李向红(1979—),女,长沙理工大学教授,博士。

E-mail: xianghongli@csust.edu.cn

收稿日期:2018-08-01

周围的水化层破坏,蛋白质变性(折叠展开或聚集)及功能丧失,导致鱼糜产品凝胶强度下降;长期冻藏导致鱼糜色泽发暗、持水力下降、凝胶强度降低、口感和风味劣化^[2-3]。工业上冷冻鱼糜生产中多选用糖类(如蔗糖和/或糖醇)作为抗冻剂缓解蛋白质冷冻变性^[4],然而糖类抗冻剂会导致产品带有明显甜味,热量值增加,对消费者吸引力下降。

包括本课题组的一些研究已经发现鱼的酶解产物是一种潜在的新型抗冻保护剂,能有效防止鱼糜及其制品在冻藏过程中的凝胶结构劣变^[5];而且鱼酶解产物兼具较好的抗氧化性^[6-7],能防止鱼糜制品的氧化劣变。Cheung等^[8]研究也发现冷冻鱼糜中添加太平洋鳕鱼酶解产物后,相比添加商业抗冻剂,其压榨失水率(Expressible moisture)和蒸煮损失(Cooking loss)降低,冻藏对鱼糜食用品质的影响有所缓解。相较于糖类抗冻剂,鱼类酶解产物用于冷冻鱼糜加工中可避免甜味的产生;其丰富的游离氨基酸、短肽等可增加产品的营养价值。

迄今为止,关于鲢鱼酶解产物对冷冻鱼糜及制品食用品质的影响研究尚未见诸于报道,因此,在课题组前期研究的基础上^[5],本研究拟选择复合蛋白酶水解鲢鱼制备抗冻效果最佳的酶解产物组,综合评价添加不同量鲢鱼酶解产物的鱼糜制品冻融前后食用品质(蒸煮损失、凝胶强度、全质构、白度、持水性)及蛋白质体外消化率等的变化,旨在为鲢鱼酶解产物在工业上应用于冷冻鱼糜及其制品提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

新鲜白鲢鱼:购于长沙理工大学高云市场;

复合蛋白酶:1.2×10⁵ U/g,丹麦诺维信公司;

肠衣:直径50 mm,食品级塑料透明肠衣,河北省保定市顺平县唯新肠衣有限公司;

氢氧化钠、硫酸铜等:分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

1.1.2 主要仪器设备

电子天平:BL-9205B型,日本岛津公司;

紫外可见分光光度计:UV-2102PC型,上海棱普仪器仪表厂;

生物酶反应器:100 M型,上海保兴生物工程设备有限公司;

冷冻干燥机:SCICENTZ-10NS型,宁波新芝生物科技股份有限公司;

低速台式大容量多管离心机:TDL-36C型,上海安亭科学仪器厂;

恒温水浴锅:DK-98-II型,天津泰斯特仪器有限公司;

通用台式马弗炉:ZY328004型,美国 Thermo 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;

电子鼻:PEN3型便携式,德国 AIRSENSE 公司;

测色色差计:WSC-S型,上海物理光学仪器厂;

手持均质机:DS-1型,上海标本模型厂;

高速冷冻离心机:ST40R型,杭州明凯科技有限公司。

1.2 方法

1.2.1 酶解产物的制备 课题组^[5]前期研究发现,鲢鱼采用复合蛋白酶水解30 min获得的酶解产物抗冻效果较佳,因此本试验根据前期获得的最优条件制备了酶解产物,具体方法如下:

新鲜鱼肉→去鳞、头尾内脏及骨刺→切块、绞碎→称取碎肉→加蒸馏水[料液比1:5(g/mL)]→充分分散→加复合蛋白酶酶解30 min(恒定温度50℃、pH值6.7)→灭酶(80℃,15 min)→冷却至室温→离心→上清液冷冻干燥→酶解产物

1.2.2 酶解产物常规成分的检测

(1)蛋白质的测定:凯氏定氮法^[9]。

(2)水分的测定:直接干燥法^[10]。

(3)灰分的测定:干法灰化法^[11]。

1.2.3 鱼糜制品的制备 新鲜鲢鱼在低于4℃环境中剔除鱼骨鱼皮鱼刺,白肉用4℃蒸馏水冲洗,切成小块斩拌5 min,在0~10℃下加入2.5%食盐,2%淀粉斩拌5 min,然后分别添加不同量酶解产物(0%,2%,4%,6%)和商抗至鱼糜中,在10℃以下斩拌混匀5 min后灌肠成型。成型后一组进行冻融循环,一组进行凝胶化处理,凝胶化处理:40℃水浴锅保持30 min后90℃蒸煮20 min,冷却后置于4℃条件冷藏过夜后测量;冻融循环组在6次冻融循环后凝胶化处理,方法如上。上述试验过程重复3次。

1.2.4 蒸煮损失 根据 Yang等^[12]的方法略做修改,将鱼糜凝胶切成凝胶圆柱体并称重后放入蒸煮袋内且封口,置90℃水浴锅蒸煮20 min。蒸煮结束擦干水分后称重。蒸煮损失按式(1)计算:

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

式中:

CL——蒸煮损失,%;

G₁——样品蒸煮前的质量,g;

G₂——样品蒸煮后的质量,g。

1.2.5 持水性测定 将样品切成圆柱,称其质量,用滤纸包裹于离心管中,3 000 r/min离心10 min后称重。持水率按式(2)计算^[13]:

$$WH = \frac{m_1}{m_2} \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

WH——持水率,%;

m₁——样品离心前的质量,g;

m₂——样品离心后的质量,g。

1.2.6 白度测定 用色差计测定样品L*、a*、b*值。每组测量重复5次以上。白度(whiteness,W)按式(3)计算^[14]:

$$W = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}}. \quad (3)$$

1.2.7 鱼糜制品凝胶强度的测定 将鱼糜制品切成圆柱体,用质构分析仪分析其凝胶强度。设定参数:探头 P/0.5,测前速度 0.5 mm/s,测中速度 1 mm/s,测后速度为 10 mm/s,测量距离 6 mm,触发力 5 g,每组测量重复 5 次以上,结果取平均值^[15]。

1.2.8 鱼糜制品的全质构分析 取制备的冻融鱼糜制品,室温下恒温 2 h,切成直径 3 cm、厚度 2 cm 的圆柱体,采用质构仪的 TPA 模型在室温下对样品进行检测,每组平行测定 5 次。设定参数:探头 P/36R,测前速度 3 mm/s,测试速度 1 mm/s,测后速度 3 mm/s,形变 50%,触发力 5 g。

1.2.9 蛋白质消化率

(1) 体外模拟消化试验:参照 Wen 等^[16]和 Escudero 等^[17]的方法测定蛋白质体外消化率。称取 1.0 g 绞碎样品,加入 4 mL 磷酸缓冲液,冰浴状态下 8 000 r/min 重复 2 次匀浆,每次 30 s;13 400 r/min 重复 2 次匀浆,每次 30 s,匀浆间隔 30 s。1 mol/L HCl 调节体系 pH 值为 2.0±0.1,加入 1 mL 胃蛋白酶溶液(0.48 g:15 mL 0.1 mol/L HCl),置于摇床上反应(37 ℃,反应时间 2 h)。用 1 mol/L 的 NaOH 溶液调节体系 pH 值为 7.5±0.1,加入 1.0 mL 胰蛋白酶溶液(0.288 g:12 mL 0.01 mol/L pH 值 7.0 的磷酸盐缓冲液),置于摇床匀速摇晃反应(37 ℃,反应时间 2 h);沸水浴处理 10 min 终止酶解反应。

(2) 蛋白质消化率的测定:按上述消化过程将两步消化后的酶解液加入无水乙醇静置 12 h 沉淀蛋白,离心 15 min,弃去上清液,沉淀在 50 ℃烘干至恒重。按式(4)计算消化率^[18]。

$$DT=\frac{W_0-W_1}{W_0}\times 100\%,$$

(4)

式中:

DT——消化率,%;

W₀——表示消化前样品中蛋白质含量,g;

W₁——表示消化后烘干沉淀物中蛋白质含量,g。

1.2.10 感官评定 感官评定采用评分法,若干品评员针对滋味、组织状态、弹性和口感四方面进行评分,评价标准见表 1(满分 20 分)。

2 结果与分析

2.1 鲢鱼酶解产物常规成分分析

由表 2 可知,鲢鱼酶解产物蛋白质含量比较丰富,含量达到了 85%。

2.2 鱼糜制品蒸煮损失和持水性变化

蒸煮损失指鱼糜在蒸煮过程中的损耗,持水性是鱼糜凝胶保留水分的能力,两者显示不同情况下凝胶对水分的持有能力。鱼糜凝胶结构越紧密,蒸煮损失越小,持水性越大^[19]。

由图 1 可知:冻融前后加入酶解产物,鱼糜制品的蒸煮损失均降低,持水性均增加,添加酶解产物后降低蒸煮损失和提高持水性的原因是酶解产物具有较强的吸湿性,可以增强鱼糜对水分的吸收;此外,前期研究发现,该鲢鱼酶解产物中天冬氨酸、谷氨酸和赖氨酸含量相比原料有所升高,这些

表 1 感官评定标准

Table 1 Sensory evaluation criteria

项目	评定标准	评定结果
滋味	香味浓郁,可口,咸度、甜度合适	5
	有鱼香味,可口,咸度、甜度合适	4
	鱼香平淡,口味正常,咸度、甜度较合适	3
	有腥味,咸度、甜度不合适	2
	腥味异常,有异味,咸味、甜味过度	1
组织状态	断面紧实,气孔小且均匀	5
	断面紧实,有少量小气孔	4
	断面基本紧实,有少量小气孔	3
	断面松散,气孔少、不均匀	2
	断面不成型,有浆状物	1
弹性	弹性好,用力按压能恢复原状,表面不裂开	5
	弹性较好,稍用力按压能恢复原状,表面不裂开	4
	弹性一般,稍用力按压不能很快恢复原状,表面不裂开	3
	弹性不大,用力按压表面开裂凹陷	2
	几乎无弹性,按压后表面开裂	1
口感	爽口嫩滑,回味不粗,柔软	5
	爽口嫩滑,回味不粗,不够柔软	4
	较爽口,不够柔软	3
	稍有绵软,不够爽口	2
	绵软且不爽口嫩滑	1

表 2 鲢鱼酶解产物的常规成分含量

Table 2 Proximate composition of silver carp hydrolysate

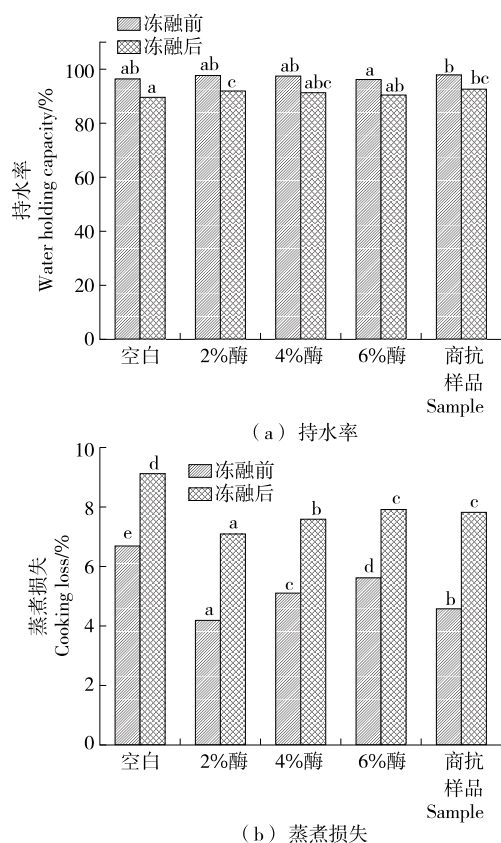
hydrolysate		%
水分	灰分	蛋白质
5.41±0.11	7.52±0.51	85.2±4.40

氨基酸具有与自由水相互作用及优先使易受攻击的蛋白质水合的能力^[5],从而增强了鱼糜凝胶持水性,降低了蒸煮损失^[20]。

酶解产物加入量为 2% 时,其抑制蒸煮损失和增加持水性方面略优于 4% 和 6% 酶解产物添加组的,且 2% 酶解产物组与商抗组差异不显著(P>0.05)。冻融前后 2% 酶解产物添加组蒸煮损失与空白组相比,分别降低了 37.20% 和 43.40%;冻融前后的持水率与空白组相比,分别增加了 0.93% 和 2.20%。其原因可能是酶解后产生了较多分子量较低的酶解产物组分及游离氨基酸^[21],一方面这些物质通过氢键等与鱼糜肌原纤维蛋白相互作用对其有抗冻保护作用,另一方面高浓度小分子物质的添加可能阻碍了肌原纤维蛋白形成稳定的凝胶网络结构,从而使得 4% 和 6% 酶解产物添加组的蒸煮损失增加、持水性降低。

2.3 鱼糜制品色泽的变化

鱼糜冷冻贮藏过程中,由于蛋白质变性造成鱼糜亮度降

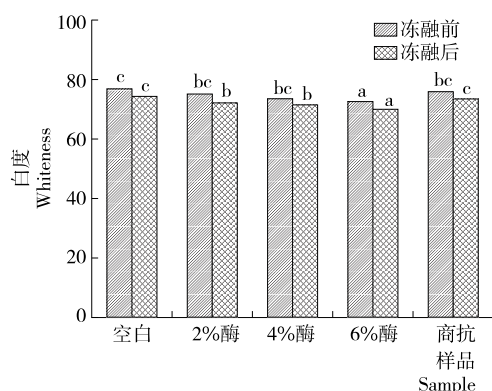


不同小写字母表示不同试验组之间差异显著 ($P < 0.05$)

图1 鱼糜制品的蒸煮损失和持水性的变化

Figure 1 Changes of the cooking loss and water holding capacity of surimi products

低,脂肪氧化产生的自由基等中间代谢产物则导致鱼糜色素降解、褐变等。如图2所示,冻融处理后所有样品的白度值都有所降低,但商抗添加组的白度值变化不明显 ($P > 0.05$),而冻融处理后2%酶解产物组和商抗组的差异并不显著 ($P > 0.05$),说明酶解产物具有的抗冻性^[6]和抗氧化性^[7],在冻融过程对于鱼糜制品色泽的劣变有抑制作用;由于鲢鱼酶解产物本身呈现淡黄色,4%和6%酶解产物添加组冻融前后随着其添加量越大,鱼糜的白度值越低。



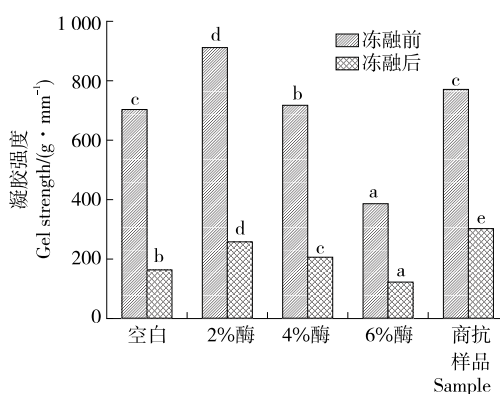
不同小写字母表示不同试验组之间差异显著 ($P < 0.05$)

图2 鱼糜白度的变化

Figure 2 Changes of whiteness of surimi product

2.4 鱼糜制品凝胶强度的变化

凝胶强度是判断鱼糜品质好坏的重要指标,对鱼糜制品的口感等品质及价格有决定性作用^[22],而鱼糜凝胶强度取决于肌原纤维蛋白组成的三维网状结构的强度。通过测定冻融前鱼糜制品的凝胶强度发现(图3),冻融后,每组样品的凝胶强度都有所降低,冻融过程中肌原纤维蛋白的变性造成了凝胶强度的降低,但2%酶解产物添加组的凝胶强度明显高于空白组的 ($P < 0.05$),添加6%酶解产物后反而降低了鱼糜制品的凝胶强度,说明适量的鲢鱼酶解产物可提高鱼糜制品的凝胶强度;2%酶解产物组与商抗添加组的凝胶强度差异不显著 ($P > 0.05$)。酶解产物可能与冷冻时形成的冰晶结合,阻止冰晶进一步变大,保护了肌原纤维蛋白因冰晶长大而导致的变性^[23];酶解产物也可能与蛋白通过疏水相互作用、氢键等直接作用,在冷冻时对鱼糜蛋白起到保护作用^[24]。



不同小写字母表示不同试验组之间差异显著 ($P < 0.05$)

图3 鱼糜重组食品凝胶强度的变化

Figure 3 Changes of gel strength of restructured surimi food

2.5 鱼糜制品的全质构分析

鱼糜制品的全质构分析结果见表3。结果表明,冻融过程中,肌原纤维蛋白一定程度的变性导致鱼糜品质有所降低;但冻融后2%,4%酶解产物添加组和商抗添加组的硬度、弹性、内聚性回复性均明显优于空白组的,表明一定浓度的酶解产物及商业抗冻剂对鱼糜制品的凝胶品质具有较好的保护效果。

2.6 蛋白质消化率的变化

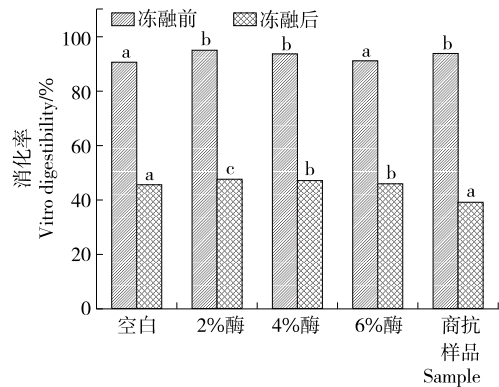
蛋白质消化率是反应蛋白质在消化道内分解的指标,是评价食物蛋白质营养价值的重要指标之一^[24]。如图4所示,冻融后各组的蛋白质消化率均有所下降,空白组蛋白质消化率下降了55.44%,而2%酶解产物添加组的蛋白质消化率在冻融后略高于商抗组的,下降程度为47.02%,与空白组差异显著 ($P < 0.05$)。冻融后蛋白质消化率的降低,可能与蛋白质冷冻变性的机理有关。主流观点认为,冻结或冻藏过程中冰晶的形成引起蛋白质极性基团周围的水化层被破坏,导致肌原纤维蛋白高级结构改变(如折叠展开或聚集)和功能丧失^[2-3]。理论上来说,蛋白质展开有利于蛋白质消化酶和底物的接触,从而有可能导致蛋白质消化率的增加,本研

表 3 鱼糜产品全质构分析[†]

Table 3 Analysis of the texture of the surimi product

样品	状态	硬度/g	弹性	内聚性	回复性
空白组	冻融前	3 192.89±76.56 ^c	0.81±0.02 ^a	0.49±0.01 ^b	0.15±0.00 ^a
	冻融后	808.95±65.41 ^a	0.72±0.01 ^a	0.35±0.01 ^b	0.07±0.00 ^a
2%酶解产物组	冻融前	5 580.14±92.92 ^d	0.90±0.02 ^a	0.69±0.01 ^d	0.33±0.01 ^d
	冻融后	1 899.37±68.67 ^c	0.85±0.01 ^a	0.54±0.01 ^d	0.14±0.00 ^d
4%酶解产物组	冻融前	4 173.54±87.61 ^{bc}	0.89±0.01 ^a	0.65±0.01 ^c	0.28±0.01 ^c
	冻融后	1 237.75±48.97 ^a	0.86±0.02 ^a	0.37±0.01 ^c	0.13±0.01 ^c
6%酶解产物组	冻融前	1 579.79±65.89 ^a	0.85±0.02 ^a	0.40±0.00 ^a	0.20±0.09 ^b
	冻融后	908.92±54.26 ^a	0.80±0.02 ^a	0.30±0.01 ^a	0.11±0.00 ^b
商抗组	冻融前	4 126.97±86.26 ^b	0.89±0.01 ^a	0.67±0.01 ^d	0.32±0.01 ^d
	冻融后	1 679.33±64.51 ^c	0.87±0.02 ^a	0.53±0.01 ^d	0.17±0.01 ^c

[†] 同列不同小写字母表示不同试验组之间差异显著(P<0.05)。



不同小写字母表示不同试验组之间差异显著(P<0.05)

图 4 鱼糜重组食品蛋白质消化率的变化

Figure 4 Protein *in vitro* digestibility of surimi products

究中,各组蛋白质消化率均下降,说明在鱼糜制品中蛋白质的变性遵循的可能是变性展开再聚集的途径,酶解产物的添加降低了肌原纤维蛋白的变性程度,从而减少了其消化率的下降程度。

2.7 鱼糜制品的感官评定

感官评定进一步表征了鱼糜制品在冻融前后的食用品质,结果见表 4。冻融后鱼糜制品感官评定评分都下降,冻融循环影响最大的是样品的组织状态(如图 5 所示),空白组和 6%酶解产物添加组制品的横截面呈海绵状,从而导致弹性和口感均下降;酶解产物的加入对样品滋味有一定的影响,过量会有异味,颜色偏黄;而商业抗冻剂的加入,导致产品有明显的甜味,破坏了鱼糜制品特有的鱼香风味;从感官评定结果可知 2%酶解产物添加组在冻融前后得分均较高。

表 4 鱼糜制品的感官评定结果

Table 4 Sensory evaluation of surimi product

评定状态	组别	滋味	组织状态	弹性	口感	总分
冻融前	空白组	4.5	4.5	5.0	4.5	18.5
	2%酶解产物组	4.5	4.5	5.0	4.5	18.5
	4%酶解产物组	4.0	4.0	5.0	4.0	17.0
	6%酶解产物组	3.5	3.5	4.5	4.0	15.5
	商抗组	4.0	4.5	5.0	4.0	17.5
冻融后	空白组	4.0	2.5	3.5	3.0	13.0
	2%酶解产物组	4.0	3.5	4.5	3.5	15.5
	4%酶解产物组	3.5	3.0	4.0	3.0	13.5
	6%酶解产物组	3.0	3.5	3.5	3.5	13.5
	商抗组	3.0	3.5	4.5	3.0	14.0

3 结论

通过综合对比添加了不同量鲢鱼酶解产物(0%,2%,4%,6%)的鱼糜制品冻融前后品质(蒸煮损失、持水性、白度、凝胶强度、全质构及感官品质等)及体外蛋白消化率的变化可知:鱼糜制品中添加 2%的酶解产物可以增加鱼糜凝胶持水性,降低蒸煮损失,并且不会导致鱼糜制品带上酶解产

物本身的淡黄色;同时,2%酶解产物添加组能有效减缓鱼糜制品凝胶强度、硬度和弹性的降低及其蛋白质消化率的下降程度;感官评定中 2%酶解产物添加组在冻融前后均得分较高,酶解产物的添加避免了商抗给产品带来的明显甜味。该研究表明,鲢鱼酶解产物可作为潜在的抗冻剂应用于鱼糜及其制品的工业化生产,但长期冻藏过程中鲢鱼酶解产物在鱼

糜及其制品中的抗冻性及其抗冻机理有待进一步研究。

参考文献

- [1] 农业部渔业渔政管理局. 2017 中国渔业统计年鉴[Z]. 北京: 中国农业出版社, 2017: II.
- [2] 张娅楠, 赵利, 刘华, 等. 水产品的冷冻变性及其抗冻剂研究进展[J]. 河南工业大学学报: 自然科学版, 2011, 32(6): 88-92.
- [3] YAMASHITA Y, ZHANG N, NOZAKI Y. Effect of chitin hydrolysate on the denaturation of lizard fish myofibrillar protein and the state of water during frozen storage [J]. Food Hydrocolloids, 2003, 17(5): 569-576.
- [4] MATSUMOTO I, OOIZUMI T, ARAI K. Protective effect of sugar on freeze-denaturation of carp myofibrillar protein [J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1985, 51: 833-839.
- [5] 李向红, 刘忠祥, 邓海萍, 等. 鲢鱼酶解产物在冷冻鱼糜中的抗冻性能研究[J]. 食品与机械, 2015, 31(3): 125-130.
- [6] 李向红, 陈志军, 刘永乐, 等. 鲢鱼酶解产物分子质量组成与抗氧化性[J]. 食品科学, 2013, 34(17): 28-32.
- [7] CHALAMAIAH M, KUMAR B D, HEMALATHA R, et al. Fish protein hydrolysates: Proximate composition, amino acid composition, antioxidant activities and applications: A review [J]. Food Chemistry, 2012, 135(4): 3 020-3 038.
- [8] CHEUNG I W Y, LICEAGA A M, LI-CHAN E C Y. Pacific hake (Merluccius Productus) hydrolysates as cryoprotective agents in frozen Pacific cod fillet mince [J]. Journal of Food Science, 2009, 74(8): 588-594.
- [9] 卫生部. GB 5009.5—2010 食品中蛋白质的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [10] 卫生部. GB 5009.3—2010 食品中水分的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [11] 卫生部. GB 5009.4—2010 食品中灰分的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [12] YANG Z, WANG W, WANG H, et al. Effect of a highly resistant rice starch and pre-incubation temperatures on the physicochemical properties surimi gel from grass carp (Ctenopharyngodon idella) [J]. Food Chemistry, 2014, 145(4): 212-219.
- [13] SÁNCHEZ-GONZÁLEZ I, CARMONA P, MORENO P, 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.
- [14] 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.
- [15] HIROKO S, YOSHIYUKI K, KUMAZAWA S, et al. Gel strength enhancement by addition of microbialtransglutaminase during on shore surimi manufacture [J]. Journal of Food Science, 1995, 60(2): 300-304.
- [16] WEN Si-ying, ZHOU Guang-hong, LI Li, et al. Effect of cooking on *in vitro* digestion of pork proteins: A peptidomic perspective [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2015, 63(1): 250-261.
- [17] ESCUDERO E, SENTANDREU M A, TOLDRA N. Characterization of peptides released by *in vitro* digestion of pork meat [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2010, 58(8): 5 160-5 165.
- [18] 杨万君, 周铁亭, 周光宏, 等. 三种品牌酱排骨中蛋白质体外消化研究[J]. 肉类工业, 2017, 65(3): 17-23.
- [19] 王崑, 马兴胜, 仪淑敏, 等. 面筋蛋白和大米蛋白对鲢鱼鱼糜凝胶特性的影响[J]. 食品科学, 2017(11): 46-51.
- [20] 黄金发, 刘雪平, 高昕, 等. 酶制剂对金线鱼鱼糜凝胶强度和质构变化的影响[J]. 农业工程, 2012, 2(10): 19-24.
- [21] LIU Yong-le, LI Xiang-hong, CHEN Zhi-jun, et al. Characterization of structural and functional properties of fish protein hydrolysates from surimi processing by-products [J]. Food Chemistry, 2014, 151: 459-465.
- [22] LANIER T C. Measurement of surimi composition and functional properties [M]// Surimi Technology. New York: Marcel Dekker Inc, 1992: 123-163.
- [23] NIKOO M, BENJAKUL S. Potential application of seafood-derived peptides as bifunctional ingredients, antioxidant-cryoprotectant: A review [J]. Journal of Functional Foods, 2015, 48(19): 753-764.
- [24] CHEN N J, MORIKAWA J, HASHIMOTO T. Effect of amino acids on the eutectic behavior of NaCl solutions studied by DSC [J]. Cryobiology, 2005, 50(3): 264-272.

(上接第 44 页)

- [12] 王涛, 赵东, 游玲, 等. 浓香型白酒酿造环节中产酯化酶的霉菌多样性[J]. 食品与发酵工业, 2012, 38(5): 37-41.
- [13] LI Hui. Isolation and identification of a schlegelellasp from high temperature daqu of sesame flavor liquor [J]. Biotechnology Bulletin, 2012, 41(11): 202-206.
- [14] WANG Hai-yun, XU Yan, FAN Qing-wen, et al. Characterization and comparison of microbial community of different typical Chinese liquor Daqus by PCR-DGGE [J]. Letters in Applied Microbiology, 2011, 53(2): 134-140.
- [15] LI Peng, AFLAKPUI F W K, YU Hai, et al. Characterization of activity and microbial diversity of typical types of Daqu for

- traditional Chinese vinegar [J]. Annals of Microbiology, 2015, 65(4): 2 019-2 027.
- [16] 滕巍, 李国莹, 刘小波, 等. 大曲中产酯化酶菌株的分离鉴定及固体发酵工艺优化 [J]. 食品与生物技术学报, 2016, 35(9): 971-977.
- [17] 刘念, 罗惠波, 常少健, 等. 己酸乙酯专用酯化曲产酯条件的优化 [J]. 四川理工学院学报: 自科版, 2008, 21(6): 63-64.
- [18] 李秀婷, 孙宝国, 宋焕禄, 等. 一株高产木聚糖酶的枝链霉菌的分离鉴定及产酶 [J]. 微生物学通报, 2010, 37(6): 791-797.
- [19] HAMA S, YAMAJI H, KAIEDA M, et al. Effect of fatty acid membrane composition on whole-cell biocatalysts for biodiesel-fuel production [J]. Biochemical Engineering Journal, 2004, 21(2): 155-160.