

# 富钙白鲢鱼糜凝胶的制备及其营养分析

叶川, 闫虹, 范选娇, 冯炳凤, 林琳, 姜绍通, 陆剑锋

(合肥工业大学生物与食品工程学院, 安徽合肥 230009)

**摘要:** 为提升淡水鱼类加工副产物的综合利用水平, 同时提高淡水鱼糜制品的营养价值, 本文研究了富钙白鲢鱼糜凝胶的制备及鱼骨泥对鱼糜凝胶特性的影响, 并对鱼骨泥及鱼糜凝胶的营养成分进行了分析。以凝胶强度、白度、持水性为指标, 采用单因素试验及感官评分确定了鱼骨泥的适宜添加量; 并采用 SDS-PAGE 凝胶电泳、扫描电镜等方法, 进一步研究添加鱼骨泥对鱼糜凝胶的影响。结果表明, 添加质量分数为 3% 的鱼骨泥有利于提高鱼糜凝胶强度以及制备营养型鱼糜, 此时鱼糜凝胶强度为 282.44 g/cm, 而不加鱼骨泥的普通鱼糜仅为 239.89 g/cm; 钙、磷含量分别为 1697.69  $\mu\text{g/g}$  和 1278.16  $\mu\text{g/g}$ , 是普通鱼糜的 4.6 倍和 2.2 倍, 且钙磷比为 1.33:1, 利于钙磷吸收; 此外, 氨基酸比例 (EAA/TAA 和 EAA/NEAA) 均符合 FAO/WHO 的推荐标准。因此, 富钙营养型白鲢鱼糜可以作为人体健康的一种潜在优质蛋白来源。

**关键词:** 白鲢; 鱼糜; 鱼骨泥; 凝胶特性; 营养; 富钙

文章编号: 1673-9078(2016)2-227-234

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.2.034

## Preparation and Nutrition Analysis of Calcium-rich Surimi Gels Derived from Silver Carp (*Hypophthalmichthys molitrix*)

YE Chuan, YAN Hong, FAN Xuan-jiao, FENG Bing-feng, LIN Lin, JIANG Shao-tong, LU Jian-feng

(College of Biotechnology and Food Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

**Abstract:** To increase the comprehensive utilization of fresh-water fish byproducts and improve the nutritional value of surimi products, a calcium-rich silver carp surimi gel was prepared. Then, the effects of adding ground fishbone on the gel properties of silver carp surimi were investigated, and the nutrients in ground fishbone and silver carp surimi gel were analyzed. Single-factor experiments and sensory evaluations were used to determine the most suitable amount of ground fishbone to add, using gel strength, whiteness, and water-holding capacity (WHC) as the indexes of surimi quality. The effects of ground fishbone on the gelling of surimi were studied by sodium dodecyl sulfate-polyacrylamide gel electrophoresis (SDS-PAGE) and scanning electron microscopy. The results showed that 3% (mass percentage) added ground fishbone was suitable for increasing surimi gel strength and preparing a nutritional surimi gel. The strength of this prepared nutritional silver carp surimi gel reached 282.44 g/cm, whereas common surimi without added ground fishbone only reached 239.89 g/cm. The calcium and phosphorus contents were 1697.69  $\mu\text{g/g}$  and 1278.16  $\mu\text{g/g}$ , respectively, which was 4.6 times and 2.2 times higher than that in common surimi, respectively. The ratio of calcium to phosphorus was 1.33:1, which aids in the absorption of calcium and phosphorus. Moreover, the ratios of essential amino acids to total amino acids (EAA/TAA) and essential amino acids to nonessential amino acids (EAA/NEAA) were in accord with the recommendations of the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) and the World Health Organization (WHO). Therefore, this calcium-rich nutritional silver carp surimi can be used as a potential source of high quality proteins for human consumption.

**Key words:** silver carp; surimi; ground fishbone; gel property; nutrition; calcium-rich

鱼糜及其制品是一种高蛋白、低脂肪的营养食品, 深受消费者青睐。随着鱼糜的产业化生产, 副产

收稿日期: 2015-05-26

基金项目: 安徽省 115 产业创新团队计划资助 (2012d5t146); 合肥工业大学教育基金 (JY13-009)

作者简介: 叶川 (1990-), 男, 硕士研究生, 主要从事水产品加工及贮藏工程

通讯作者: 陆剑锋 (1976-), 男, 博士, 教授, 主要从事水生动物资源的保护和综合利用研究

物将越来越多 (如鱼皮、鱼骨排、鱼鳞、内脏、鱼头等), 这些副产物主要用于加工饲料或低值化肥, 大大降低了水产品的附加值, 如果处理不当可能造成严重的环境污染<sup>[1-2]</sup>。研究表明, 鱼骨排生物学效价高, 且经过微粒化处理的骨质更利于人体消化吸收, 远高于猪骨、鸡骨等畜禽骨骼, 故能作为天然的蛋白和人体营养所需的矿质元素补充剂<sup>[3-4]</sup>。

目前, 以鱼骨排为基料研发的产品主要有: 骨粉、骨糊、鱼冻、鱼骨羹、鱼骨酥、鱼骨罐头以及利用美

拉德反应制备的鱼味香精等<sup>[5]</sup>。此外,从鱼骨排中可以提取胶原蛋白、软骨素、寡聚肽、蛋白质和骨油及其它成分,也可用于废水处理及制取活性钙等<sup>[6]</sup>。而经过碾磨后的鱼骨排(即骨泥)营养比肉类更丰富,可用作肉类的替代品。国内的大量研究主要集中在将猪、牛、羊、鸡等畜禽类骨泥加工成骨泥肉、骨泥饼干、富钙米粉等<sup>[7]</sup>,但将鱼骨泥添加到鱼糜中制备富钙营养型鱼糜还鲜有报道<sup>[8]</sup>。

我国是淡水鱼生产大国,2012年淡水养殖产量达2644.5万t,其中鲢鱼368.8万t,位居淡水鱼第二<sup>[9]</sup>。将鲢鱼加工成冷冻鱼糜及鱼糜制品不仅可以解决其“量多价廉”的问题,也可以有效增加其附加值,但加工过程中产生大量鱼骨排,利用不当将直接降低其经济效益。鉴于此,本文在前期工作的基础上,进一步研究了富钙白鲢鱼糜凝胶的制备及鱼骨泥添加量对鱼糜凝胶特性的影响,并对添加鱼骨泥后的鱼糜进行基本营养成分、矿物质、氨基酸分析,旨在提高白鲢全鱼的综合利用率,为今后开发新型高档营养鱼糜制品提供理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

白鲢鱼购自合肥家乐福超市,质量(1000±90)g,体长(41±2)cm;肠衣为聚乙烯材料,直径23mm;白鲢鱼骨泥,取自安徽富煌三珍食品集团有限公司;氯化钠为食品级,其他主要试剂均为分析纯或优级纯。

### 1.2 仪器与设备

SZC-180型滚筒式采肉机,广州旭众机械有限公司;SS300型三足式离心机,上海浦东天本离心机械有限公司;S2-5型斩拌机,广州旭众机械有限公司;TA-XT Plus型质构仪,英国Stable Micro System公司;SC-80C型全自动测色色差计,北京康光仪器有限公司;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;HH-2数显水浴锅,江苏金坛市环宇科学仪器厂;XSP Intrepid II型电感耦合离子体发射光谱仪,美国热电公司;L8900型氨基酸自动分析仪,日本日立公司;JSM-6490LV型扫描电镜,日本电子株式会社;T18型高速分散器,德国IKA公司;DYY-11型电泳仪,北京市六一仪器厂。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 白鲢鱼肉水洗工艺

鲜活白鲢→预处理(去头、尾、鳞、内脏)→冲洗→采肉

→漂洗(两清一盐,加盐量为总质量的0.15%;鱼肉:水为5:1(kg/L))→离心脱水→加入抗冻剂(质量分数均为4%的蔗糖、山梨醇)→分装(400g/袋)→冻藏

#### 1.3.2 白鲢鱼骨泥制备工艺

鱼骨排(白鲢鱼糜加工副产物)→清洗→冷冻→超微粉碎(低温粗磨和细磨两次,微粒化至鱼骨泥粒径范围约10μm~20μm,平均粒径约15μm)→鱼骨泥

#### 1.3.3 鱼糜及其凝胶制备工艺

鱼肉解冻(4℃以下)→斩拌(空斩3min→盐斩8min,添加质量分数为2.5%氯化钠及不同水平的鱼骨泥)→灌肠→水浴加热凝胶(二段加热,先35℃加热1h再90℃加热30min)→冷却→4℃冷藏过夜→测定凝胶性质

#### 1.3.4 凝胶强度的测定

将鱼糜肠切成3段2.5cm高的圆柱体,使用直径5mm球形探头(p/5s),在质构仪上测定其凝胶特性,包括破断力(breaking force, g)和凹陷深度(即破断距离, breaking distance, cm)。其中,破断力为穿刺曲线上的第一个最高峰值;凹陷深度为与破断力相对应的破断距离;凝胶强度(gel strength, g cm)为破断力与凹陷深度乘积<sup>[10]</sup>。参数设定:测前速率0.1cm/s、测试速率0.11cm/s、测后速率1.0cm/s、下压距离1cm、触发力10g。

#### 1.3.5 白度的测定

将凝胶样品切成厚度约5mm的薄片,用全自动测色色差计测定白度,每个样品取3片,每片测5次,取15次平均值。白度W(whiteness)计算式为<sup>[10]</sup>:

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

式中:  $L^*$ -亮度;  $a^*$ -正值偏红, 负值偏绿;  $b^*$ -正值偏黄, 负值偏蓝。

#### 1.3.6 持水性的测定

将凝胶样品切成厚度约2mm的薄片,将其8等分后取1.5g~2.0g样品,平摊在滤纸上并包裹好放入离心管中,用离心法(转速8000r/min,温度18℃,时间10min)测定持水性,每组平行3次,结果取平均值。持水性WHC(water-holding capacity)计算式为<sup>[10]</sup>:

$$WHC = w_2 / w_1 \times 100\%$$

式中:  $w_1$ -离心前质量/g;  $w_2$ -离心后质量/g。

#### 1.3.7 感官评价

评定小组由10位经过预先培训的食品专业学生组成,采用百分制分别对鱼糜肠的风味、口感、质地和色泽进行评分,评分结果分别为 $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $X_4$ 、 $X_5$ ,然后相加作为最终分数X,即 $X = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5$ 。评分标准如表1所示。

表 1 添加鱼骨泥白鲢鱼糜肠感官评定标准

Table 1 Criteria for the sensory evaluation of silver carp sausage with added ground fishbone

感官指标	产品感官描述	得分/%
风味	鲜香可口, 具固有鱼糜香味, 无异味	15~20
	鱼糜香味不明显, 略有腥味	10月15日
	不适口, 腥味较重, 总体滋味不能接受	≤10
口感	口感细腻幼滑, 无明显颗粒感, 综合口感好	20~30
	口感粗糙, 有颗粒感	10月20日
	口感很粗糙, 有明显颗粒感, 不能下咽	≤10
质地	组织紧密, 有弹性, 切片良好, 无软骨及其他杂物, 无气孔	25~35
	组织紧密、弹性不足, 切片不良, 有软骨或其他杂物, 有气孔	15~25
	组织不紧密, 弹性弱, 无法切片, 有明显软骨及其他杂物, 气孔明显	≤15
色泽	具有产品固有色泽, 米白色, 表面有光泽	8月15日
	淡黄色, 表面无光泽	5月8日
	黄色, 表面无光泽, 没有食欲	≤5

### 1.3.8 SDS-聚丙烯酰胺凝胶电泳

称取鱼糜凝胶 3 g, 切碎后加入 27 mL 5% SDS 溶液, 高速分散器均质 3 min, 85 °C 水浴 1 h, 冷却后 8000 r/min 离心 10 min, 取上清液与样品缓冲液按 1:1 (V/V) 混合, 沸水浴 5 min。制胶后上样 10 μg, 浓缩胶浓度 5%, 分离胶浓度 10%, 100 V 恒压下凝胶电泳。电泳结束后用 0.1% 的考马斯亮蓝染色 5 min~10 min, 脱色液脱色至背景基本无色, 最后用凝胶成像仪成像。

### 1.3.9 扫描电子显微镜微结构观察

将鱼糜凝胶切成 3 mm×3 mm×3 mm 小块, 4 °C 条件下 3% 戊二醛溶液固定 24 h, 再用 0.1 mol/L pH 7.2 的磷酸缓冲液漂洗数次, 然后用 1% 的锇酸溶液固定 2 h, 再用 0.1 mol/L pH 7.2 的磷酸缓冲液漂洗数次, 依次用 50%、70%、90%、100% 的乙醇梯度脱水, 再经临界点干燥仪干燥后用真空离子溅射仪喷金, 最后用扫描电镜观察拍照。

### 1.3.10 基本营养成分测定

水分含量的测定: 直接干燥法 (GB/T5009.3-2010); 灰分含量的测定: 干法灰化法 (GB/T5009.4-2010); 粗蛋白含量的测定: 凯氏定氮法 (GB/T5009.5-2010); 粗脂肪含量的测定: 索氏提取法 (GB/T5009.6-2003)。

### 1.3.11 矿质元素的测定

样品准备: 称取冷冻干燥后的样品 0.5 g (精确至 0.0001 g) 置于 200 mL 烧杯中, 加入 12 mL 浓硝酸 (优级纯) 和 6 mL 高氯酸 (优级纯), 盖上表面皿, 在可控温电热板上加热消解至溶液剩 2 mL~3 mL 并澄清, 如溶液不澄清, 取下冷却后再加入 3 mL 高氯酸进行加热, 直至消解完全至溶液澄清, 冷却后将溶液转入

25 mL 容量瓶, 去离子水清洗烧杯 3 次, 并将清洗液转入 25 mL 容量瓶定容, 摇匀备用。采用电感耦合等离子体发射光谱仪测定。

测试条件: 载气 0.8 L/min; 辅助气 0.5 L/min; 冷却气 15.0 L/min; 高频发生器功率 1.3 kW, 样品提升量 1.0 mL/min。

### 1.3.12 氨基酸的测定

精确称取冷冻干燥后的样品 1 mg 放入安瓿瓶中, 加 2 mL 6 mol/L HCl, 充氮后在酒精喷灯下迅速封管, 于 110 °C 条件下水解 22 h~24 h, 水解结束后自然冷却, 用 0.22 μm 的微孔滤膜过滤, 取滤液稀释至 1 mL 备用, 采用氨基酸自动分析仪测定。

### 1.3.13 数据处理

用 Excel 2010 作图, 利用 SPSS 软件对数据进行 ANOVA 分析, 差异显著性水平  $p < 0.05$ 。

## 2 结果与讨论

### 2.1 单因素试验

在白鲢鱼鱼糜斩拌过程中, 分别添加相对于鱼糜质量分数 0% (空白对照组)、1%、3%、5%、10%、15%、20% 的白鲢鱼骨泥, 同时各组加入 2.5% 的氯化钠进行盐斩, 考察不同添加量的鱼骨泥对鱼糜凝胶强度、白度、持水性的影响。

#### 2.1.1 鱼糜凝胶强度

由图 1 可知, 随着鱼骨泥添加量的逐渐增大, 鱼糜凝胶强度呈下降趋势。当鱼骨泥添加量为 1% 时, 鱼糜凝胶强度最大, 这与李俊杰等<sup>[8]</sup>添加 5% 的鱼骨浆可显著提高两段加热凝胶的破断强度的结果存在差异, 但与从浩等<sup>[11]</sup>添加 1% 的鱼骨粉使鲷鱼肉火腿肠

弹性达到最大的结果一致,也与 Yin 和 Park<sup>[12]</sup>添加 1% 纳米级鱼骨使阿拉斯加鳕鱼鱼糜破断力和破断距离达到最大的结果一致。当添加量为 3% 时,鱼糜凝胶强度略有下降,而当添加量分别为 10%、15%、20% 时,鱼糜凝胶强度开始低于不添加鱼骨泥组(即空白对照组),经方差分析,鱼骨泥添加量对白鲢鱼糜的凝胶强度影响的显著程度不同,质量分数为 1% 的水平组与 3% 的水平组间差异不显著 ( $p>0.05$ ),但与其他水平组间差异显著 ( $p<0.05$ )。白鲢鱼糜中含有内源性转谷氨酰胺酶(TGase),钙离子对其具有激活作用,而鱼骨泥中钙含量较为丰富,当添加量为 1% 时,鱼骨泥中低浓度的钙离子激活内源性转谷氨酰胺酶(TGase)<sup>[12]</sup>,使肌球蛋白重链(MHC)间发生共价交联形成  $\epsilon$ -( $\gamma$ -Glu)-Lys 非二硫共价键,形成良好的蛋白网络结构,从而显著提高了鱼糜凝胶强度。但随着鱼骨泥添加量的逐渐增加,钙离子浓度也随之增大,鱼糜凝胶强度开始逐渐下降,这主要可能是由于形成蛋白质-钙-蛋白质结构的“钙桥”,从而使鱼糜凝胶弹性降低,凝胶强度开始下降<sup>[13]</sup>。

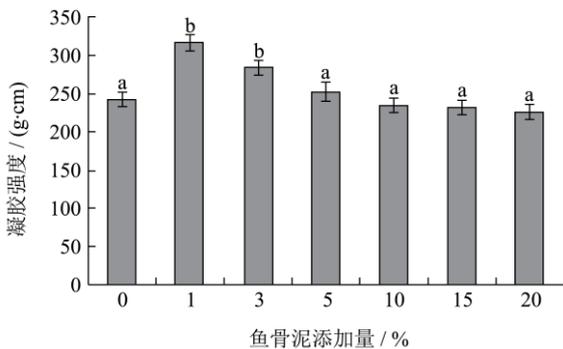


图 1 添加不同量的鱼骨泥对鱼糜凝胶强度的影响

Fig.1 Effect of the amount of ground fishbone on the surimi gel strength

注:字母相同表示差异不显著,  $p>0.05$ ; 字母不同表示差异显著,  $p<0.05$ 。

### 2.1.2 鱼糜白度

由图 2 可知,随着鱼骨泥添加量的逐渐增大,鱼糜凝胶白度呈上升趋势,但添加鱼骨泥的各水平组鱼糜白度仅略高于空白对照组,经方差分析,各水平组间差异性不显著 ( $p>0.05$ )。这可能是由于碾磨后的鱼骨泥呈白色糊状,在一定程度上将提高鱼糜凝胶的白度,但在低浓度范围内增强效果不显著,即表明鲢鱼骨泥对鲢鱼鱼糜凝胶白度基本没有影响,这与从浩等<sup>[11]</sup>对鲷鱼骨的研究结果恰好相反,其主要原因可能是由于鲷鱼骨脱脂不彻底或在烘干处理过程中发生氧化发黄,并与鱼肉火腿肠原有色泽产生叠加,最终导致鱼肉火腿肠颜色发黄。

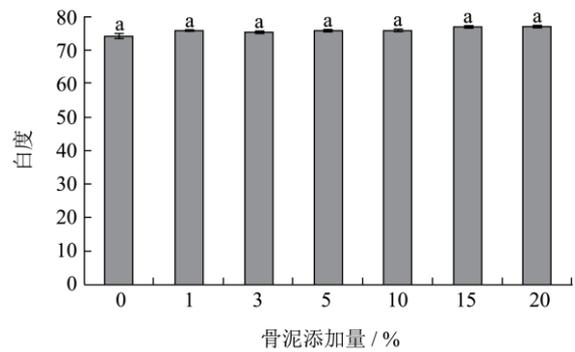


图 2 添加不同量的鱼骨泥对鱼糜白度的影响

Fig.2 Effect of the amount of ground fishbone on the surimi whiteness

注:字母相同表示差异不显著,  $p>0.05$ ; 字母不同表示差异显著,  $p<0.05$ 。

### 2.1.3 鱼糜持水性

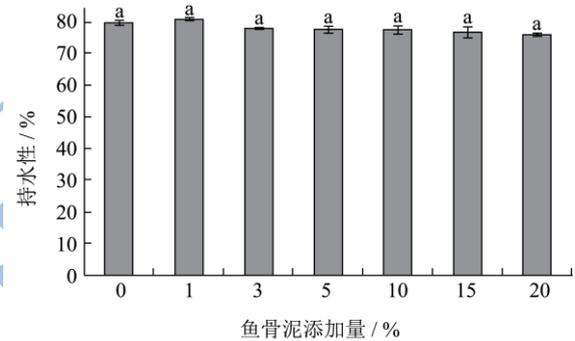


图 3 不同添加量鱼骨泥对鱼糜持水性的影响

Fig.3 Effect of the amount ground fishbone on the surimi water-holding capacity

注:字母相同表示差异不显著,  $p>0.05$ ; 字母不同表示差异显著,  $p<0.05$ 。

由图 3 可知,随着鱼骨泥添加量的增大,鱼糜凝胶持水性呈下降趋势而变化不大,除鱼骨泥添加量为 1% 时,持水性略高于空白对照组外,其他水平组均低于空白对照组,经方差分析,各水平组间差异性均不显著 ( $p>0.05$ )。当添加量较低时,可能是由于鱼骨泥中低浓度的钙离子激活鱼糜凝胶中的内源性 TGase<sup>[12]</sup>,形成的良好网络结构不利于水分的流失,故此时的鱼糜凝胶持水性略有增高 ( $p>0.05$ );但随着鱼骨泥添加量的增大,形成的“钙桥”破坏了蛋白网络结构,且由于鱼骨泥中的颗粒物含量也随之逐渐增多,使鱼糜凝胶之间的空隙增多,充实度下降,从而不利于鱼糜凝胶的持水性,因此出现鱼糜凝胶持水性略有降低的趋势 ( $p>0.05$ )。

## 2.2 感官评分结果

由表 2 可知,随着鱼骨泥的添加量逐渐增加,感

官评分越低,当添加量为1%时,感官评分结果最高,与添加量为3%时评分基本保持齐平。因为随着鱼骨泥添加量的增加,鱼骨泥中的颗粒物含量也相对增多,

从而导致白鲢鱼肉肠的空隙增多,致密度下降,口感粗糙等。

表2 添加鱼骨泥白鲢鱼肉肠感官评分表

Table 2 Sensory scoring table for the high-calcium frozen silver carp surimi

序号	0%	1%	3%	5%	10%	15%	20%
1	74	88	80	65	76	75	70
2	76	85	78	68	74	70	65
3	70	75	85	70	78	72	71
4	78	80	85	75	80	70	66
5	80	85	77	72	75	78	68
6	75	82	80	68	80	76	70
7	77	75	80	72	88	82	65
8	73	86	82	65	76	76	74
9	76	78	88	70	80	74	70
10	75	86	78	74	75	80	68
平均分	75.4	82	81.3	69.9	78.2	75.3	68.7

综合以上单因素试验以及感官评分结果,鱼骨泥对白鲢鱼糜的持水性和白度影响均不显著,虽鱼骨泥添加量为1%时白鲢鱼糜的凝胶强度最好,鱼肉肠感官评分也最高,但添加3%鱼骨泥的试验组仅次之,且经单因素方差分析,添加1%和3%的鱼骨泥对鱼糜凝胶强度的影响并不显著( $p>0.05$ ),考虑到本实验是以制备富钙营养型鱼糜为目的,同时也为进一步提高鲢鱼副产物的综合利用率,故本文后续试验中将选择3%的鱼骨泥为适宜添加量。

中内源性转谷氨酰胺酶(TGase)被鱼骨泥中的钙离子激活后,更大程度地促使肌球蛋白重链(MHC)交联形成 $\epsilon$ -( $\gamma$ -Glu)-Lys非二硫共价键,从而形成分子量更大的肽链,在电泳时不易被分解,因而导致MHC条带强度减弱<sup>[12,14]</sup>。而肌动蛋白(Actin)条带无明显变化,表明其没有参与鱼糜凝胶的交联作用。

### 2.3 SDS-PAGE 凝胶电泳

### 2.4 鱼糜的超微结构

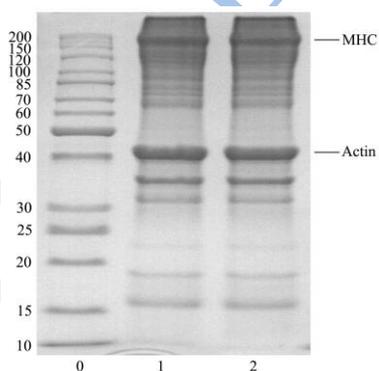


图4 鱼糜凝胶 SDS-PAGE 图

Fig.4 SDS-PAGE pattern of surimi gels prepared from silver carp

注: 0-Marker; 1-不添加鱼骨泥鱼糜凝胶(普通鱼糜); 2-添加3%鱼骨泥鱼糜凝胶。

由图4可知,添加3%鱼骨泥的鱼糜凝胶的MHC条带略细于不添加鱼骨泥的鱼糜凝胶,这是因为鱼糜

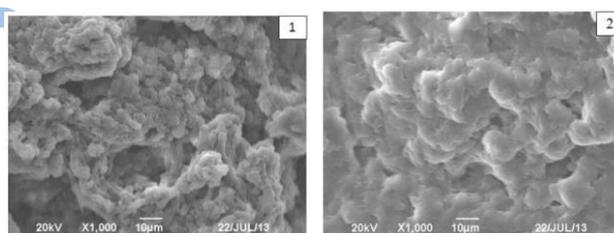


图5 鱼糜凝胶扫描电镜图

Fig.5 Scanning electron micrographs of the surimi gels

注: 1-不添加鱼骨泥鱼糜凝胶(普通鱼糜); 2-添加3%鱼骨泥鱼糜凝胶。

由图5可知,不添加鱼骨泥的鱼糜凝胶其表面粗糙,纹理结构不平整,且孔洞较大;而添加了3%鱼骨泥的鱼糜凝胶表面细腻致密,孔洞较小,鱼糜蛋白之间相互交联成良好的网络结构,这与前文的研究结果相一致(即添加1%~3%鱼骨泥后的鱼糜凝胶强度高于不添加鱼骨泥鱼糜凝胶)。

### 2.5 基本营养成分含量

表3 原料及不同鱼糜基本营养成分含量 (g/100 g, 以鲜重计)

Table 3 Basic nutritional content in the raw materials and the surimi samples (g/100 g, fresh weight)

品种	水分	灰分	脂肪	粗蛋白
生鲜鱼肉	82.29±0.19 <sup>a</sup>	0.62±0.24 <sup>a</sup>	0.49±0.41 <sup>a</sup>	16.28±0.38 <sup>a</sup>
鱼骨泥	79.16±0.11 <sup>b</sup>	5.39±0.42 <sup>b</sup>	3.15±0.37 <sup>b</sup>	12.27±0.46 <sup>b</sup>
普通鱼糜	75.50±0.29 <sup>c</sup>	0.93±0.27 <sup>ac</sup>	1.23±0.36 <sup>c</sup>	18.31±0.32 <sup>c</sup>
加骨泥鱼糜	76.12±0.30 <sup>d</sup>	1.46±0.31 <sup>d</sup>	1.91±0.29 <sup>d</sup>	17.96±0.51 <sup>c</sup>

注: 同列字母相同表示差异不显著,  $p>0.05$ ; 同列字母不同表示差异显著,  $p<0.05$ 。

由表3可知, 鱼骨泥中灰分含量比生鲜鱼肉显著偏高 ( $p<0.05$ ), 表明鱼骨泥中矿物质含量非常丰富, 但其粗蛋白含量显著低于生鲜鱼肉 ( $p<0.05$ ), 且脂肪含量也显著偏高 ( $p<0.05$ )。相对于普通鱼糜, 加骨泥鱼糜的含水量、灰分和脂肪均相应提高, 这主要是因为鱼骨泥的含水量、灰分、脂肪均偏高, 添加到

鱼糜中使各组分提高, 而鱼骨泥的粗蛋白质含量偏低, 加入后使鱼糜粗蛋白含量略有下降, 但差异不显著 ( $p>0.05$ )。

## 2.6 矿物质元素与微量元素含量

表4 原料及不同鱼糜矿物质元素与微量元素含量 ( $\mu\text{g/g}$ , 以鲜重计)Table 4 Mineral and microelement content in raw materials and the surimi samples ( $\mu\text{g/g}$ , fresh weight)

元素种类	生鲜鱼肉	鱼骨泥	普通鱼糜	加骨泥鱼糜
钙 (Ca)	373.86±12.12 <sup>a</sup>	28299.02±378.26 <sup>b</sup>	368.93±25.55 <sup>ac</sup>	1697.69±58.87 <sup>d</sup>
磷 (P)	1828.28±69.44 <sup>a</sup>	10535.05±201.15 <sup>b</sup>	572.99±57.14 <sup>c</sup>	1278.16±80.68 <sup>d</sup>
钠 (Na)	173.72±10.34 <sup>a</sup>	657.53±39.25 <sup>b</sup>	866.12±48.32 <sup>c</sup>	893.89±55.21 <sup>c</sup>
钾 (K)	2950.14±78.78 <sup>a</sup>	852.37±49.78 <sup>b</sup>	128.79±16.65 <sup>c</sup>	161.99±15.14 <sup>d</sup>
镁 (Mg)	239.94±25.15 <sup>a</sup>	450.97±35.47 <sup>b</sup>	144.98±20.59 <sup>c</sup>	184.27±18.65 <sup>d</sup>
*铁 (Fe)	6.00±1.14 <sup>a</sup>	43.78±5.57 <sup>b</sup>	53.96±6.22 <sup>c</sup>	77.37±6.21 <sup>d</sup>
*铜 (Cu)	0.24±0.06 <sup>a</sup>	1.28±0.22 <sup>b</sup>	1.42±0.24 <sup>c</sup>	1.44±0.15 <sup>c</sup>
*锌 (Zn)	12.54±1.86 <sup>a</sup>	14.74±2.02 <sup>b</sup>	6.01±1.78 <sup>c</sup>	15.05±2.24 <sup>bd</sup>
矿物质总量	5584.72 <sup>a</sup>	40854.74 <sup>b</sup>	2143.20 <sup>c</sup>	4309.86 <sup>d</sup>

注: 带 \* 标注为微量元素; 同行字母相同表示差异不显著,  $p>0.05$ ; 同行字母不同表示差异显著,  $p<0.05$ 。

矿物质元素是维持生命及正常新陈代谢所必需的, 不能在人体内合成, 故日常膳食中的含量显得尤为重要。由表4可知, 鱼骨泥中矿物质元素含量丰富, 尤其是钙、磷元素, 分别是生鲜鱼肉中钙、磷的 75.69 倍和 5.76 倍, 微量元素尤其是铁元素含量是生鲜鱼肉的 7.30 倍, 故鱼骨泥可以作为食品中提供矿物质元素的良好来源。相对于普通鱼糜, 加骨泥鱼糜的各种矿物质元素及微量元素的含量均相应提高, 总量约为普通鱼糜的 2 倍, 其中钙含量是普通冷冻鱼糜的 4.60 倍, 磷是 2.23 倍, 铁和锌分别是 1.43 倍和 2.50 倍, 有效提高了白鲢鱼鱼糜的营养价值。已有的营养学理论认为, 膳食中钙磷比例维持在 1~1.5:1 之间比较好<sup>[15]</sup>, 普通鱼糜的钙磷比为 0.64:1 (远低于理论值范围), 而添加 3% 鱼骨泥的鱼糜的钙磷比为 1.33:1 (介于理论值范围之间), 更有利于钙磷的吸收。

## 2.7 氨基酸的种类及含量

食物中蛋白质的氨基酸组成情况, 决定了摄入蛋

白质的质量。由表5可知, 生鲜鱼肉、鱼骨泥、普通鱼糜、加骨泥鱼糜中均检测出 17 种氨基酸, 加骨泥鱼糜和普通鱼糜的氨基酸总量 (TAA) 十分接近 (18.09% 和 18.05%), 且显著高于生鲜鱼肉和鱼骨泥 (16.40% 和 14.54%)。食物中的蛋白质氨基酸模式与人体蛋白质构成模式越接近, 越容易被人体吸收利用, 其生理价值也就越大<sup>[15]</sup>; 而根据 FAO/WHO 推荐的理想蛋白质模式, 必需氨基酸 (EAA) 与氨基酸总量的比值 EAA/TAA 在 40% 左右, 必需氨基酸与非必需氨基酸 (NEAA) 的比值 EAA/NEAA 在 60% 以上时, 该蛋白质才能被认为质量较好或较理想<sup>[16]</sup>。进一步的计算结果表明, 加骨泥鱼糜中必需氨基酸为 7.45%, 非必需氨基酸为 10.60%, EAA/TAA 为 41.27, EAA/NEAA 为 70.28, 两者组成比例均符合 FAO/WHO 理想蛋白质推荐标准。由此可见, 加骨泥鱼糜氨基酸种类齐全, 且氨基酸之间的比例比较适宜, 可以作为人体优质蛋白来源。

表5 原料及不同鱼糜氨基酸含量及比例 (g/100 g, 以鲜重计)

**Table 5 Amino acid content and ratios in raw materials and the surimi samples (g/100 g, fresh weight)**

氨基酸种类	生鲜鱼肉		鱼骨泥		普通鱼糜		加骨泥鱼糜	
	含量	比例	含量	比例	含量	比例	含量	比例
天冬氨酸 (Asp)	1.75±0.35 <sup>a</sup>	10.67	1.33±0.08 <sup>b</sup>	9.15	1.94±0.16 <sup>c</sup>	10.72	1.90±0.14 <sup>c</sup>	10.53
*苏氨酸 (Thr)	0.78±0.10 <sup>a</sup>	4.76	0.62±0.05 <sup>b</sup>	4.26	0.89±0.09 <sup>c</sup>	4.92	0.88±0.08 <sup>c</sup>	4.88
丝氨酸 (Ser)	0.71±0.09 <sup>a</sup>	4.33	0.63±0.07 <sup>b</sup>	4.33	0.80±0.05 <sup>c</sup>	4.42	0.80±0.04 <sup>c</sup>	4.43
谷氨酸 (Glu)	2.64±0.38 <sup>a</sup>	16.10	2.09±0.25 <sup>a</sup>	14.37	3.13±0.20 <sup>b</sup>	17.30	3.07±0.38 <sup>b</sup>	17.01
甘氨酸 (Gly)	0.89±0.05 <sup>a</sup>	5.43	1.77±0.28 <sup>b</sup>	12.17	0.78±0.06 <sup>a</sup>	4.31	0.86±0.08 <sup>c</sup>	4.76
丙氨酸 (Ala)	1.02±0.14 <sup>a</sup>	6.22	1.14±0.08 <sup>a</sup>	7.84	1.06±0.12 <sup>a</sup>	5.86	1.08±0.07 <sup>a</sup>	5.98
胱氨酸 (Cys)	0.11±0.02 <sup>a</sup>	0.67	0.10±0.01 <sup>a</sup>	0.69	0.08±0.01 <sup>a</sup>	0.44	0.09±0.02 <sup>a</sup>	0.50
*缬氨酸 (Val)	0.80±0.07 <sup>a</sup>	4.88	0.57±0.05 <sup>b</sup>	3.92	0.88±0.05 <sup>a</sup>	4.86	0.88±0.06 <sup>a</sup>	4.88
*蛋氨酸 (Met)	0.52±0.05 <sup>a</sup>	3.17	0.41±0.04 <sup>a</sup>	2.82	0.63±0.04 <sup>b</sup>	3.48	0.63±0.07 <sup>b</sup>	3.49
*异亮氨酸 (Ile)	0.75±0.10 <sup>a</sup>	4.57	0.52±0.05 <sup>b</sup>	3.58	0.85±0.05 <sup>c</sup>	4.70	0.85±0.06 <sup>c</sup>	4.71
*亮氨酸 (Leu)	1.40±0.11 <sup>a</sup>	8.54	0.98±0.09 <sup>b</sup>	6.74	1.58±0.06 <sup>a</sup>	8.73	1.54±0.08 <sup>a</sup>	8.53
酪氨酸 (Tyr)	0.48±0.05 <sup>a</sup>	2.93	0.30±0.03 <sup>a</sup>	2.06	0.57±0.05 <sup>a</sup>	3.15	0.55±0.04 <sup>a</sup>	3.05
*苯丙氨酸 (Phe)	0.80±0.05 <sup>a</sup>	4.88	0.60±0.06 <sup>b</sup>	4.13	0.79±0.06 <sup>a</sup>	4.37	0.81±0.04 <sup>a</sup>	4.49
*赖氨酸 (Lys)	1.70±0.13 <sup>a</sup>	10.36	1.14±0.08 <sup>b</sup>	7.84	1.90±0.08 <sup>c</sup>	10.50	1.86±0.07 <sup>c</sup>	10.30
组氨酸 (His)	0.45±0.04 <sup>a</sup>	2.74	0.26±0.04 <sup>b</sup>	1.79	0.40±0.06 <sup>a</sup>	2.21	0.41±0.05 <sup>a</sup>	2.27
精氨酸 (Arg)	1.08±0.05 <sup>a</sup>	6.58	1.09±0.06 <sup>a</sup>	7.50	1.26±0.08 <sup>b</sup>	6.97	1.24±0.10 <sup>b</sup>	6.87
脯氨酸 (Pro)	0.52±0.07 <sup>a</sup>	3.17	0.99±0.08 <sup>b</sup>	6.81	0.55±0.07 <sup>a</sup>	3.04	0.60±0.09 <sup>a</sup>	3.32
氨基酸总量 (TAA)	16.40 <sup>a</sup>		14.54 <sup>b</sup>		18.09 <sup>c</sup>		18.05 <sup>c</sup>	

注: \*标注为必需氨基酸; 同行字母相同表示差异不显著,  $p>0.05$ ; 同行字母不同表示差异显著,  $p<0.05$ 。

### 3 结论

3.1 当鱼骨泥添加量为 3%时, 有利于提高白鲢鱼糜的凝胶特性及营养型鱼糜的制备, 此时鱼糜凝胶强度为 282.44 g.cm, 白度为 75.21, 持水性为 77.28%。

3.2 鱼糜的 SDS-PAGE 凝胶电泳结果表明, 由于 MHC 形成非二硫共价键交联, 添加 3%鱼骨泥的鱼糜凝胶其 MHC 条带强度低于不添加鱼骨泥的鱼糜凝胶; 扫描电镜微结构观察表明, 相对于不添加鱼骨泥的普通鱼糜, 添加 3%鱼骨泥的鱼糜凝胶表面更加平整、紧致、细腻。

3.3 鱼糜的营养分析结果表明, 添加 3%鱼骨泥的鱼糜中矿质元素含量丰富, 总量约为普通鱼糜的 2 倍, 其中钙、磷含量分别为 1697.69 μg/g 和 1278.16 μg/g, 是普通鱼糜的 4.60 倍和 2.23 倍, 且钙磷比为 1.33:1, 利于钙磷吸收; 氨基酸比例符合 FAO /WHO 的理想蛋白质推荐标准, 是人体健康的一种潜在优质蛋白来源。

### 参考文献

[1] Vignesh R, Srinivasan M. Nutritional quality of processed head and bone flours of tilapia (*Oreochromis mossambicus*,

Peters 1852) from Parangipettai estuary, South East Coast of India [J]. Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine, 2012, 2(1): S368-S372

[2] 孟昌伟,陆剑锋,薛莲,等.白鲢鱼排酶解蛋白的制备及其营养分析[J].肉类研究,2011,25(7):24-28

MENG Chang-wei, LU Jian-feng, XUE Lian, et al. Preparation and nutritional composition analysis of enzymatic hydrolysates from silver carp frame [J]. Meat Research, 2011, 25 (7): 24-28

[3] Wu G, Zhang M, Wang Y, et al. Production of silver carp bone powder using superfine grinding technology: Suitable production parameters and its properties [J]. Journal of Food Engineering, 2012, 109(4): 730-735

[4] 洪鹏志,杨萍,章超桦,等.酶解罗非鱼下脚料制备的超微罗非鱼骨粉营养价值分析[J].食品与机械,2007,23(3): 125-126

HONG Peng-zhi, YANG Ping, ZHANG Chao-hua, et al. Analysis of nutritive value of the attritioning bone powder of Tilapia byproduct hydrolysate [J]. Food and Machinery, 2007, 23(3): 125-126

[5] 张懋,张骏.国内外低值淡水鱼加工与下脚料利用的研究进展[J].食品与生物技术学报,2006,25(5):115-120

- ZHANG Min, ZHANG Jun. A research review of low value freshwater fishes processing and their discards utilization [J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2006, 25(5): 115-120
- [6] 张崑,朱志伟,曾庆孝.鱼骨利用的研究现状[J].食品研究与开发,2007,28(9):182-185
- ZHANG Yin, ZHU Zhi-wei, ZENG Qing-xiao. Recent research on utilization of fish bone [J]. Food Research and Development, 2007, 28(9): 182-185
- [7] 吴立芳,马美湖.我国畜禽骨骼综合利用的研究进展[J].现代食品科技,2005,21(1):138-143
- WU Li-fang, MA Mei-hu. The comprehensive utilization of animals' bone in China [J]. Modern Food Science and Technology, 2005, 21(1): 138-143
- [8] 李俊杰,熊善柏,曾俊,等.鲢鱼鱼浆对鱼糜凝胶品质的影响[J].食品科学,2013,34(1):53-56
- LI Jun-jie, XIONG Shan-bai, ZENG Jun, et al. Effect of fish paste content on surimi gel properties [J]. Food Science, 2013, 34(1): 53-56
- [9] 农业部渔业局.中国渔业年鉴[M].北京:中国农业出版社, 2013
- Ministry of Agriculture, Fisheries Bureau. China fishery yearbook [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2013
- [10] 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.现代食品科技,2014,30(4):196-204
- YAN Hong, LIN Lin, YE Ying-wang, et al. Effects of two microwave heating methods on gelling properties of surimi from silver carp, *Hypophthalmichthys molitrix* [J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(4): 196-204
- [11] 从浩,王海滨.鱼骨粉添加量对鲷鱼鱼肉火腿肠色度、质构及感官特性的影响[J].食品科学,2012,33(13): 83-86
- CONG Hao, WANG Hai-bin. Effect of channel catfish bone meal addition on color, textural properties and sensory evaluation of fish sausages [J]. Food Science, 2012, 33(13): 83-86
- [12] 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
- [13] 刘海梅,熊善柏,谢笔钧.钙离子对白鲢鱼糜热诱导凝胶化的影响[J].食品科学,2006,27(8):87-90
- LIU Hai-mei, XIONG Shan-bai, Xie Bi-jun. Effects of  $Ca^{2+}$  on heat-induced gelation of silver carp surimi gel [J]. Food Science, 2006, 27(8): 87-90
- [14] Duangmal K, Taluengphol A. Effect of protein additives, sodium ascorbate, and microbial transglutaminase on the texture and colour of red tilapia surimi gel [J]. International Journal of Food Science and Technology, 2010, 45(1): 48-55
- [15] 营养与食品卫生学[M].北京:人民卫生出版社,2010
- Nutrition and Food Hygiene [M]. Beijing: People's Health Publishing House, 2010
- [16] FAO/WHO and Hoc Expert Committee. Energy and protein requirement [R]. World Health Organization, Geneva FAO, Rome, 1973