

### 3 种鱿鱼鱼糜凝胶品质比较

#### Comparison of the quality of surimi gel from three squid species

张奇秀<sup>1</sup>郭全友<sup>2</sup>陈婷婷<sup>1</sup>李孟婕<sup>1</sup>ZHANG Qi-xiu<sup>1</sup> GUO Quan-you<sup>2</sup> CHEN Ting-ting<sup>1</sup> LI Meng-jie<sup>1</sup>苏雨瞳<sup>1</sup>房思维<sup>1</sup>包海蓉<sup>1,3,4</sup>SU Yu-tong<sup>1</sup> FANG Si-wei<sup>1</sup> BAO Hai-rong<sup>1,3,4</sup>

(1. 上海海洋大学食品学院, 上海 201306; 2. 中国水产科学研究院东海水产研究所,

上海 200090; 3. 上海水产品加工及贮藏工程技术研究中心, 上海 201306;

4. 农业部水产品贮藏保鲜质量安全风险评估实验室[上海], 上海 201306)

(1. School of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China;

3. Shanghai Engineering Research Center of Aquatic-Processing and Preservation, Shanghai 201306, China;

4. Laboratory of Quality and Safety Risk Assessment for Aquatic Products on Storage and Preservation [Shanghai], Ministry of Agriculture, Shanghai 201306, China)

**摘要:**目的:寻找更优质的鱿鱼鱼糜制品原料。方法:以秘鲁鱿鱼、北太平洋鱿鱼、阿根廷鱿鱼为研究对象,通过比较 3 种鱿鱼鱼糜的凝胶强度、持水性、蒸煮损失、流变特性、化学作用力等指标,研究其凝胶特性差异。结果:3 种鱼糜的凝胶强度、持水性由高到低依次为阿根廷鱿鱼>秘鲁鱿鱼>北太平洋鱿鱼,蒸煮损失则反之。动态流变温度扫描显示,3 种鱼糜的储能模量( $G'$ )均随温度先降低至最小值(45℃),然后升高至最大值(75℃)后再次降低,当温度达到 90℃时,阿根廷鱿鱼鱼糜的  $G'$  较另两种鱿鱼鱼糜更高。阿根廷鱿鱼鱼糜的离子键、氢键、疏水相互作用显著强于其他两种鱿鱼鱼糜。结论:阿根廷鱿鱼鱼糜的凝胶品质最佳,是鱿鱼鱼糜的最佳原料品种;生产中需要根据 3 种鱿鱼鱼糜的不同特点利用辅助手段来提高其凝胶品质。

**关键词:**鱿鱼;品种;鱼糜凝胶;凝胶特性;流变

**Abstract:** Objective: This study aimed to help with determination of optimal raw materials for squid surimi products. Methods: The differences in gel strength, water-holding capacity, cooking loss, rheological properties and chemical interaction force of surimi gels, obtained from three species of squid, were evaluated.

**基金项目:**国家重点研发计划“蓝色粮仓科技创新”专项(编号:2020YFD0901203)

**作者简介:**张奇秀,女,上海海洋大学在读硕士研究生。

**通信作者:**包海蓉(1969—),女,上海海洋大学副教授,博士。

E-mail: hrbao@shou.edu.cn

**收稿日期:**2022-06-14

**改回日期:**2022-09-26

**Results:** The gel strength and water-holding capacity of the three species of surimi gel were in descending order as follows: *Illex argentinus* > *Dosidicus gigas* > *Ommastephes bartrami*, while the cooking loss was the opposite. The dynamic rheological temperature scan showed that the energy storage modulus( $G'$ ) of the three kinds of surimi decreased with temperature to a minimum value of 45℃, then increased to a maximum value of 75℃ and decreased again. The  $G'$  of *Illex argentinus* surimi was higher than the other two kinds of squids when the second stage heating at 90℃. The ionic bonding, hydrogen bonding, and hydrophobic interactions of *Illex argentinus* surimi gel were significantly stronger than the other two kinds of squids. **Conclusion:** *Illex argentinus* surimi is the best raw material for squid surimi products; and the production needs to use auxiliary means to improve the gel quality according to the different characteristics of the three kinds of squid surimi.

**Keywords:** squid; type; surimi; gel properties; rheology

鱿鱼为中国海洋渔业的重点捕捞对象,其蛋白含量高,脂肪含量低,富含必需氨基酸及不饱和脂肪酸。鱿鱼加工产业所用原料主要有 3 类:秘鲁鱿鱼(*Dosidicus gigas*)、阿根廷鱿鱼(*Illex argentinus*)和北太平洋鱿鱼(*Ommastephes bartrami*)。其中,秘鲁鱿鱼水分含量较高、蛋白质及脂肪含量较低,产量高、成本低,但特殊的酸味限制了其加工利用,而被广泛应用于商业及科研中;阿根廷鱿鱼体型较小,在 3 种鱿鱼中甜菜碱含量最

高,鲜度最高,滋味鲜美,但价格较贵;北太平洋红鲑鱼呈味氨基酸组成最多,富含矿物质和多不饱和脂肪酸<sup>[1]</sup>。

随着水产加工技术的不断发展,鲑鱼制品及其生产工艺渐趋多样化,不再局限于鲑鱼丝、鲑鱼罐头等传统制品,但鲑鱼鱼糜制品市面上较少。目前关于单一种类鲑鱼鱼糜凝胶特性的改良研究较多,不同品种鲑鱼的基本营养成分<sup>[2]</sup>、特征滋味成分<sup>[1]</sup>、在冻藏期间的肌原纤维蛋白功能特性<sup>[3]</sup>比较也有相关研究,但比较不同品种鱼糜凝胶品质的研究多见于淡水鱼种,关于鲑鱼的还未见报道。研究拟以秘鲁鲑鱼、北太平洋鲑鱼、阿根廷鲑鱼为试验原料,比较 3 种鲑鱼鱼糜凝胶的品质差异,以期对鲑鱼鱼糜制品的原料选择提供一定的理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

秘鲁鲑鱼、北太平洋鲑鱼、阿根廷鲑鱼:捕捞时间相近,均于-18℃冻藏,中国水产舟山海洋渔业有限公司;  
氯化钠:分析纯,上海阿拉丁生化科技股份有限公司;  
尿素:分析纯,上海麦克林生化科技有限公司;  
斩拌机:QSJ-B02R1 型,小熊电器有限公司;  
电子天平:ATX224 型,日本岛津公司;  
数显恒温水浴锅:HH-4 型,金坛市岸头仪都仪器厂;  
流变仪:MCR301 型,奥地利安东帕公司;  
傅里叶变换红外分光光谱仪:L1050050 Spotlight 400 型,珀金埃尔默仪器有限公司;  
色彩色差计:CR-400 型,日本柯尼卡美能达(中国)仪器有限公司;  
质构仪:TA.XT Plus 型,英国 SMS 公司;  
高速冷冻离心机:himac CR 21G 型,日立工机公司;  
低场核磁共振仪:MesoMR23-060H-1 型,上海纽迈电子科技有限公司;  
pH 计:FiveEasy Plus FE28 型,梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司。

### 1.2 试验方法

1.2.1 鱼糜凝胶制备 将-18℃冻藏的鲑鱼用流水解冻,去除其他部分,留下胴体,冰水清洗,切块,漂洗 3 次(第 3 次冰水中放入质量分数为 0.3%的氯化钠溶液),沥干脱水,斩拌(期间加入质量分数为 2.5%的食盐),控制水分含量为 80%,成型灌肠,二段加热(40℃ 60 min, 90℃ 30 min),冷却,于 4℃贮藏备用。

1.2.2 pH 测定 取 5 g 凝胶,切碎,加入 40 mL 蒸馏水,均质后静置 20 min,过滤得上清液,采用 pH 计测定。

1.2.3 白度测定 将凝胶样品切割成厚度为 0.5 cm 的薄片,并按式(1)计算白度。

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

式中:

$W$ ——白度;

$L^*$ ——亮度;

$a^*$ ——红度值;

$b^*$ ——黄度值。

1.2.4 持水性(WHC)测定 将凝胶样品切成 0.5 cm 的薄片,用滤纸包住,4℃、3 000 r/min 离心 10 min,称重,按式(2)计算持水性。

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

式中:

$W$ ——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。

1.2.5 蒸煮损失测定 参考熊泽语等<sup>[4]</sup>的方法并略作修改。将凝胶样品切成 1.5 cm×1 cm×2 cm 的长方体,称重,放入大小均等的蒸煮袋后封口(保证不漏气),90℃水浴 20 min,擦干表面水分称重,按式(3)计算蒸煮损失。

$$C = \frac{m_3 - m_4}{m_3} \times 100\%, \quad (3)$$

式中:

$C$ ——蒸煮损失,%;

$m_3$ ——鱼糜凝胶蒸煮前的质量,g;

$m_4$ ——鱼糜凝胶蒸煮后的质量,g。

1.2.6 凝胶强度测定 参考 Buamard 等<sup>[5]</sup>的方法并略作修改。测定前先将样品置于常温下平衡 0.5 h 以减小误差,然后将其切成 2.5 cm 高的圆柱体,用质构仪建立或载入测试方法并确认参数是否正确,对物料进行物性测试并处理数据。测试参数:P/5s 球形探头,返回速度 15 mm/s,返回距离 30 mm,压缩比 50%,触发力 0.05 N。按式(4)计算凝胶强度。

$$G = F \times D, \quad (4)$$

式中:

$G$ ——凝胶强度,N·cm;

$F$ ——破断力,N;

$D$ ——破断距离,cm。

1.2.7 动态流变温度扫描 参考 Moreno 等<sup>[6]</sup>的方法并略作修改。对鱼糜进行温度扫描,保持水箱温度 40℃以下。扫描温度范围 20~100℃,升温速率 1.5℃/min,测定弹性模量  $G'$  的变化曲线。

1.2.8 化学作用力测定 参考 Gómez-Guillén 等<sup>[7]</sup>的方法。取 5 份 2 g 鱼糜凝胶样品,分别加入 0.05 mol/L NaCl(SA)、0.6 mol/L NaCl(SB)、0.6 mol/L NaCl+1.5 mol/L 尿素(SC)、0.6 mol/L NaCl+8 mol/L 尿素(SD) 4 种溶液各 10 mL,均质混匀,4℃静置 1 h,10 000 r/min 离心 15 min,取上清液并用双缩脲法测定其蛋白浓度。以 SB-SA、SC-SB、SD-SC 的蛋白浓度差值分别代表离子键、氢键、疏水相互作用的贡献。

1.2.9 水分分布状态测定 参考姜昕等<sup>[8]</sup>的方法。

1.2.10 鱼糜蛋白质二级结构测定 参考 Fan 等<sup>[9]</sup>的方法并略作修改。将鱼糜于 $-80^{\circ}\text{C}$ 下预冻4 h,真空冷冻干燥48 h。取适量冻干样品研成粉末,采用傅里叶变换红外光谱仪进行蛋白二级结构测定。测试参数:扫描范围 $600\sim 4\,000\text{ cm}^{-1}$ ,扫描次数8次,分辨率 $4\text{ cm}^{-1}$ 。用 Peak-Fit 4.12 软件处理数据,二阶求导并拟合得到红外图谱,从而计算各二级结构百分比。

### 1.3 数据处理

采用 Origin 2019 软件作图,采用 SPSS 26.0 软件进行显著性差异分析及组间相关性分析(单因素 ANOVA 检验 Duncan 模型)。每组3个平行,结果以平均值 $\pm$ 标准差表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 3种鱿鱼鱼糜凝胶 pH

由表1可知,秘鲁鱿鱼和北太平洋鱿鱼鱼糜凝胶 pH 无显著性差异( $P>0.05$ ),而阿根廷鱿鱼鱼糜凝胶 pH 偏离等电点较远( $P<0.05$ ),上清液更浑浊,溶出蛋白浓度较大,形成的凝胶网络结构更紧密有序,与其凝胶强度、保水性较好的结果相吻合。3种鱿鱼鱼糜 pH 值受鲜度影响较大,存在差异的原因也可能与捕捞方式、鱼肉保存条件和时间有关。Cortés-Ruiz 等<sup>[10]</sup>研究表明,鱿鱼蛋白等电点在 pH 为 $5\sim 6$ ,随着环境 pH 的增大,偏离等电点,蛋白表面的负电荷也增加,并与水分子上的氢键结合,使更多水分被锁入凝胶网络结构中;同时蛋白分子之间的斥力增大使其溶解性提高,增强鱼糜凝胶形成能力。

### 2.2 3种鱿鱼鱼糜凝胶白度

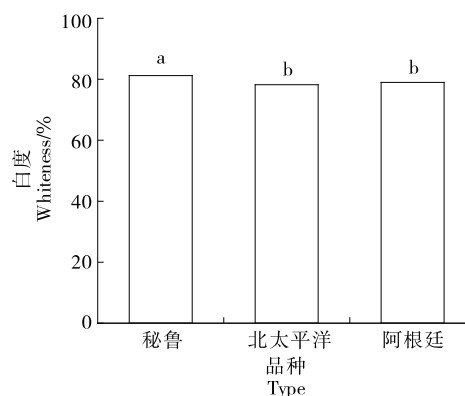
由图1可知,秘鲁鱿鱼鱼糜凝胶白度显著大于其余两种( $P<0.05$ ),而北太平洋和阿根廷鱿鱼鱼糜凝胶白度无显著差异,可能是凝胶网络结构变化导致白度值的改变能显著影响蛋白凝胶,但对鱼糜制品的影响程度较小,

表1 3种鱿鱼鱼糜凝胶 pH 比较<sup>†</sup>

Table 1 Comparison of pH values of three kinds of squid surimi gels

| 秘鲁               | 北太平洋             | 阿根廷              |
|------------------|------------------|------------------|
| $6.63\pm 0.05^b$ | $6.61\pm 0.04^b$ | $6.73\pm 0.02^a$ |

<sup>†</sup> 小写字母不同表示差异显著( $P<0.05$ )。



小写字母不同表示差异显著( $P<0.05$ )

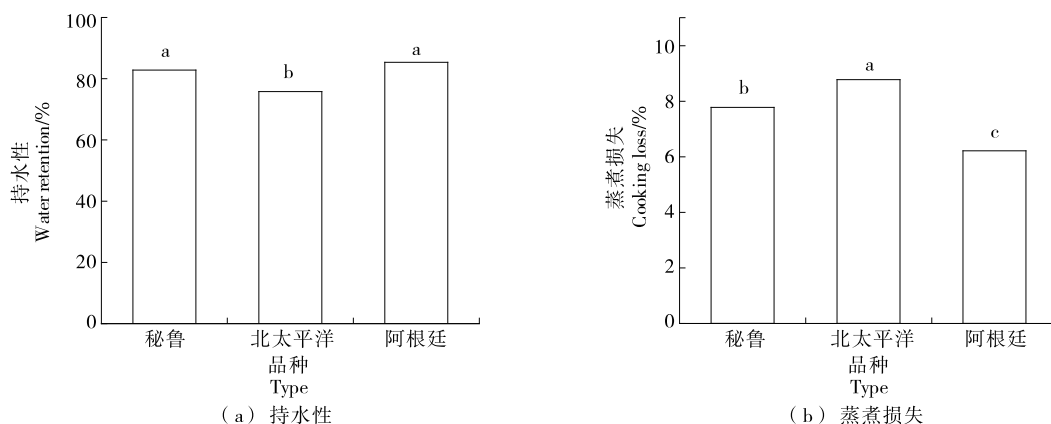
图1 3种鱿鱼鱼糜凝胶白度比较

Figure 1 Comparison of whiteness of three species of squid surimi gel

因此鱼糜白度的差异不甚明显<sup>[11]</sup>。

### 2.3 3种鱿鱼鱼糜凝胶持水性和蒸煮损失

持水性是评价鱼糜制品中蛋白质与水结合能力强弱的指标,结合能力越强,凝胶的三维网络结构也就越致密有序,锁住的水分越多,持水性也越高<sup>[12]</sup>。由图2(a)可知,阿根廷鱿鱼鱼糜凝胶的持水性略高于秘鲁鱿鱼,而前两者鱼糜凝胶持水性显著高于北太平洋鱿鱼( $P<0.05$ ),表明北太平洋鱿鱼鱼糜中蛋白质与水的结合能力较差,凝胶结构较松散,与后续动态流变性、凝胶强度等指标测定结果相对应。



小写字母不同表示差异显著( $P<0.05$ )

图2 3种鱿鱼鱼糜凝胶持水性和蒸煮损失比较

Figure 2 Comparison of water holding capacity and cooking loss of three kinds of squid surimi gels

蒸煮损失越小,说明水分流失越少,鱼糜凝胶的保水能力越强<sup>[13]</sup>。由图 2(b)可知,蒸煮损失为北太平洋鱿鱼>秘鲁鱿鱼>阿根廷鱿鱼,试验误差较大可能是蒸煮损失受多种因素影响,除水分流失外,还有热可逆性蛋白凝胶、油脂等物质的参与。

#### 2.4 3 种鱿鱼鱼糜凝胶强度

破断力与凝胶硬度相关,破断距离与凝胶弹性、柔韧性相关,两者共同影响凝胶内部三维网络结构的牢固程度。凝胶强度越大,凝胶结构越牢固坚实。由表 2 可知,3 种鱿鱼鱼糜凝胶强度呈显著性差异( $P<0.05$ ),依次为阿根廷鱿鱼>秘鲁鱿鱼>北太平洋鱿鱼,与持水性、流变等指标测定结果相对应。其中,秘鲁鱿鱼的破断力、北太平洋鱿鱼的破断距离显著低于其余两种( $P<0.05$ ),表明秘鲁鱿鱼鱼糜凝胶较柔韧,北太平洋鱿鱼鱼糜凝胶较坚脆,阿根廷鱿鱼鱼糜凝胶内部结构最为致密有序。这可能与原料的蛋白质、脂肪含量有关。研究<sup>[14]</sup>表明,凝胶强度与蛋白含量呈正向线性关系,脂肪会通过凝胶中形成大型油滴来减弱鱼糜的成胶能力。鱼糜以胴体肌肉组织为原料制成,3 种鱿鱼肌肉组织粗蛋白含量依次为阿根廷鱿鱼>秘鲁鱿鱼>北太平洋鱿鱼,粗脂肪含量则反之<sup>[15-17]</sup>。而粗蛋白中凝胶形成由肌原纤维蛋白主导,姚慧等<sup>[3]</sup>研究表明阿根廷鱿鱼胴体肌肉中的肌原纤维蛋白含量显著高于其余两种( $P<0.05$ )。

表 2 3 种鱿鱼鱼糜凝胶强度比较<sup>†</sup>

Table 2 Comparison of gel strength of three kinds of squid surimi gels

| 鱿鱼品种 | 破断力/N                  | 破断距离/cm                | 凝胶强度/(N·cm)            |
|------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 秘鲁   | 1.74±0.10 <sup>b</sup> | 1.46±0.93 <sup>a</sup> | 2.53±0.15 <sup>b</sup> |
| 北太平洋 | 2.05±0.10 <sup>a</sup> | 0.58±0.02 <sup>b</sup> | 1.18±0.05 <sup>c</sup> |
| 阿根廷  | 2.14±0.11 <sup>a</sup> | 1.46±0.05 <sup>a</sup> | 3.12±0.09 <sup>a</sup> |

† 小写字母不同表示差异显著( $P<0.05$ )。

#### 2.5 3 种鱿鱼鱼糜动态流变温度扫描比较

由图 3 可知,3 种鱿鱼鱼糜  $G'$  趋势一致,均为先降低后升高再降低。随着温度的升高, $G'$  逐渐降低,45℃ 时降至最小值,在此过程中,蛋白分子间由氢键交联形成了较为松散的凝胶网络结构,而后热力作用和鱿鱼内源性组织蛋白水解酶活性增强,使肌原纤维蛋白部分降解,蛋白纤维体之间流动性提高,凝胶结构变得更加松散,因此  $G'$  降低<sup>[18]</sup>。此后, $G'$  急剧升高,在 75℃ 左右达到峰值,疏水相互作用逐渐增强,蛋白质大量聚集,形成致密有序的凝胶三维网络结构。继续升高温度,过高的温度会使部分蛋白质降解变性,破坏凝胶网络结构,导致  $G'$  再次降低。北太平洋鱿鱼的  $G'$  明显低于其余两种,凝胶回弹能力最差。秘鲁鱿鱼的  $G'$  峰值高于其余两种,此时凝胶结构最为致密,然而当温度为 90℃ 时(此为制备鱼糜凝胶时的第二段加热温度),其  $G'$  (89.70 kPa) 由于急剧下降

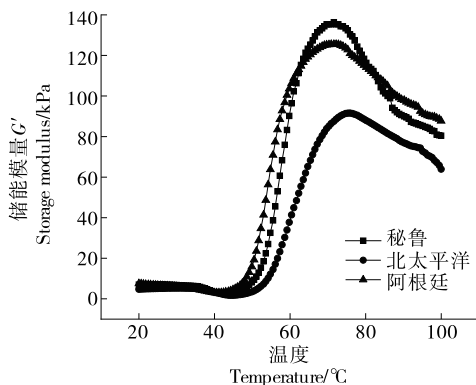


图 3 3 种鱿鱼鱼糜储能模量  $G'$  比较

Figure 3 Comparison of storage modulus  $G'$  of three kinds of squid surimi

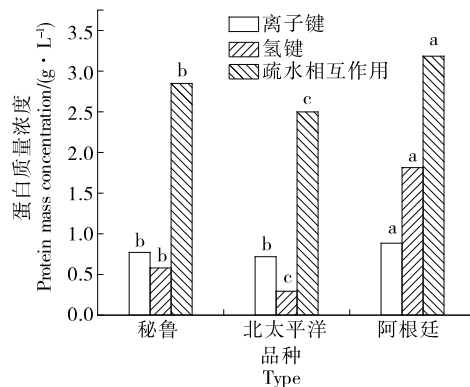
而低于阿根廷鱿鱼  $G'$  (97.67 kPa),且下降趋势在 3 种鱿鱼中最为陡峭,以此可以解释二段加热后秘鲁鱿鱼鱼糜凝胶强度小于阿根廷鱿鱼的原因。

#### 2.6 3 种鱿鱼鱼糜凝胶化学作用力

在鱼糜成胶过程中,凝胶网络结构的稳定性与蛋白质分子间的化学作用力紧密相连。其中,离子键影响蛋白质分子间的相互作用;氢键主要维持蛋白质二级结构,在低温凝胶化过程中形成简易松散的网络结构;二段加热时,部分氢键受热被破坏,疏水相互作用逐渐增强并作用于蛋白质折叠,在维持凝胶稳定中占主导作用<sup>[19]</sup>。由图 4 可知,秘鲁和北太平洋鱿鱼鱼糜凝胶的离子键无显著差异,对蛋白质二级结构起到重要影响的氢键和疏水相互作用则是秘鲁鱿鱼显著高于北太平洋鱿鱼( $P<0.05$ )。阿根廷鱿鱼的离子键、氢键、疏水相互作用显著高于其余两种( $P<0.05$ )。这与其宏观上的凝胶强度、持水性等结果相符。

#### 2.7 3 种鱿鱼鱼糜凝胶水分分布状态及横向弛豫时间

低场核磁共振仪测定样品后,横向弛豫时间  $T_2$  图谱



小写字母不同表示差异显著( $P<0.05$ )

图 4 3 种鱿鱼鱼糜凝胶化学作用力比较

Figure 4 Comparison of chemical forces of three kinds of squid surimi gels

出现3~4个峰,反映了鱿鱼鱼糜凝胶中不同水分的分布状态。横向弛豫时间峰面积占比可代表3种水分在鱼糜凝胶中的相对含量;峰面积越大,相对含量越高。程天赋等<sup>[20]</sup>研究发现,肉样中结合水与不易流动水含量的增加在一定程度上可以提高肉样持水能力,自由水则使之降低。由表3、表4可知,3种鱿鱼的 $T_{23}$ 、 $P_{23}$ 之间差异较小,说明其自由水稳定性及相对含量相近; $P_{22}$ 无显著差异,说明其不易流动水的相对含量趋同, $T_{22}$ 呈显著性差异( $P<0.05$ ),依次为秘鲁鱿鱼>北太平洋鱿鱼>阿根廷鱿鱼,说明阿根廷鱿鱼鱼糜凝胶内部不易流动水结合程度最为紧密<sup>[21]</sup>;结合水方面,阿根廷鱿鱼的结合水含量显著高于其余两种( $P<0.05$ ),后两者之间无显著差异,与持水性结果相一致。

表3 3种鱿鱼鱼糜凝胶横向弛豫时间 $T_2$ 比较<sup>†</sup>

Table 3 Comparison of transverse relaxation time  $T_2$  of three kinds of squid surimi gels ms

| 鱿鱼品种 | $T_{21}$          | $T_{22}$             | $T_{23}$                |
|------|-------------------|----------------------|-------------------------|
| 秘鲁   | $3.22 \pm 0.75^b$ | $120.830 \pm 5.11^a$ | $849.44 \pm 86.17^a$    |
| 北太平洋 | $2.67 \pm 0.24^b$ | $114.330 \pm 4.59^b$ | $727.56 \pm 32.55^{ab}$ |
| 阿根廷  | $5.18 \pm 0.46^a$ | $101.565 \pm 3.25^c$ | $660.37 \pm 30.31^b$    |

<sup>†</sup>  $T_{21}$ 为结合水的横向弛豫时间; $T_{22}$ 为不易流动水的横向弛豫时间; $T_{23}$ 为自由水的横向弛豫时间;小写字母不同表示差异显著( $P<0.05$ )。

表4 3种鱿鱼鱼糜凝胶水分迁移谱图波峰面积百分比 $P_2$ 比较<sup>†</sup>

Table 4 Comparison of peak area percentage  $P_2$  of the water migration spectrum of three kinds of squid surimi gels %

| 鱿鱼品种 | $P_{21}$          | $P_{22}$         | $P_{23}$             |
|------|-------------------|------------------|----------------------|
| 秘鲁   | $2.78 \pm 0.11^b$ | $91.86 \pm 0.73$ | $5.36 \pm 0.69^{ab}$ |
| 北太平洋 | $3.32 \pm 0.24^b$ | $90.78 \pm 0.69$ | $5.90 \pm 0.66^a$    |
| 阿根廷  | $4.89 \pm 0.29^a$ | $91.09 \pm 0.85$ | $4.03 \pm 0.57^b$    |

<sup>†</sup>  $P_{21}$ 为结合水的相对含量; $P_{22}$ 为不易流动水的相对含量; $P_{23}$ 为自由水的相对含量;小写字母不同表示差异显著( $P<0.05$ )。

## 2.8 3种鱿鱼鱼糜蛋白质二级结构

用傅里叶变换红外光谱观察酰胺I谱带( $1\ 600 \sim 1\ 700\text{ cm}^{-1}$ )中不同波段,可根据峰面积计算出蛋白质二级结构占比,其中二级结构共包括4种: $\alpha$ -螺旋( $1\ 650 \sim 1\ 660\text{ cm}^{-1}$ )、 $\beta$ -折叠( $1\ 600 \sim 1\ 640\text{ cm}^{-1}$ )、无规则卷曲( $1\ 640 \sim 1\ 650\text{ cm}^{-1}$ )和 $\beta$ -转角( $1\ 660 \sim 1\ 700\text{ cm}^{-1}$ )<sup>[22]</sup>。由图5可知,从总体上看,3种鱿鱼鱼糜蛋白二级结构含量占比由大到小依次均为无规则卷曲、 $\beta$ -折叠、 $\alpha$ -螺旋、 $\beta$ -转角。与另两种鱿鱼鱼糜蛋白相比,秘鲁鱿鱼鱼糜蛋白 $\beta$ -折叠占比较大,无规则卷曲占比较小,其余结构无显著差异。北太平洋和阿根廷鱿鱼鱼糜之间各蛋白结构含量亦无显著差异。

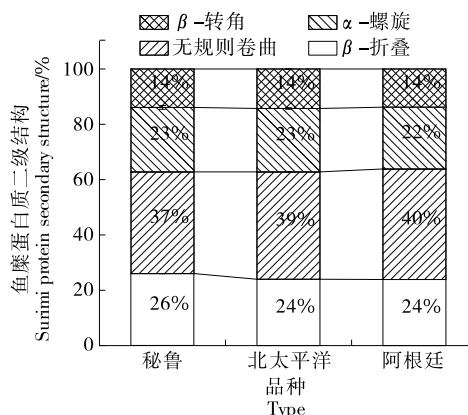


图5 3种鱿鱼鱼糜蛋白质二级结构比较

Figure 5 Comparison of the secondary structure of the proteins from three kinds of squid surimi

## 3 结论

对比分析了3种鱿鱼鱼糜的凝胶品质。结果表明,3种鱿鱼鱼糜品质优劣次序为阿根廷鱿鱼>秘鲁鱿鱼>北太平洋鱿鱼。阿根廷鱿鱼鱼糜凝胶的持水性、凝胶强度较大,蒸煮损失较小,氢键、疏水相互作用等化学作用力较强,pH偏离等电点较远。动态流变性结果显示,鱿鱼鱼糜的储能模量( $G'$ )随温度上升呈先降低后升高再降低的趋势,在 $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右达到最小值, $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右达到最大值。北太平洋鱿鱼鱼糜的 $G'$ 全程最低,凝胶回弹能力最差,与之相应的凝胶强度也最小。秘鲁鱿鱼鱼糜的 $G'_{\text{max}}$ 最高,然而当温度为 $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时(此为制备鱼糜凝胶时的第二段加热温度),其 $G'$ 由于急剧下降而低于阿根廷鱿鱼鱼糜的,且下降趋势在3种鱿鱼中最为陡峭。鱼糜凝胶白度与凝胶强度无直接对应关系。秘鲁鱿鱼鱼糜蛋白 $\beta$ -折叠含量占比较大,无规则卷曲占比较小,其余结构在3种鱿鱼之间无显著差异。综上,阿根廷鱿鱼鱼糜凝胶品质最佳,为理论上的鱿鱼鱼糜制品最优原料。秘鲁鱿鱼鱼糜凝胶品质中等,也可作为实际生产中的鱼糜原料。北太平洋鱿鱼鱼糜凝胶品质较差,不适合单独作为鱼糜原料。生产中需要根据3种鱿鱼鱼糜的不同特点利用辅助手段提高其凝胶品质,如混合搭配3种鱿鱼鱼糜,或根据各自特点与其他配料混合等,实现凝胶品质与成本的平衡。

## 参考文献

- [1] 赵巧灵, 吴佳佳, 李春萍, 等. 3种鱿鱼的特征滋味成分分析与比较[J]. 中国食品学报, 2014, 14(6): 244-250.
- ZHAO Q L, WU J J, LI C P, et al. Analysis and comparison of characteristic flavor components of three species of squid [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2014, 14(6): 244-250.
- [2] 杨宪时, 王丽丽, 李学英, 等. 秘鲁鱿鱼和日本海鱿鱼营养成分分析与评价[J]. 现代食品科技, 2013, 29(9): 2 247-2 251, 2 293.
- YANG X S, WANG L L, LI X Y, et al. Analysis and evaluation of

- nutritional compositions of *Dosidicus gigas* and *Onychoteuthis borealijaponicus* okada[J]. Modern Food Science and Technology, 2013, 29(9): 2 247-2 251, 2 293.
- [3] 姚慧, 祁雪儿, 毛俊龙, 等. 3 种鱿鱼冻藏过程中肌原纤维蛋白功能特性变化[J]. 食品科学, 2021, 42(7): 207-213.
- YAO H, QI X E, MAO J L, et al. Changes in functional properties of myofibrillar proteins in three species of squid during frozen storage[J]. Food Science, 2021, 42(7): 207-213.
- [4] 熊泽语, 谢晨, 陈百科, 等. 不同添加物对未漂洗大黄鱼鱼糜品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(10): 151-158.
- XIONG Z Y, XIE C, CHEN B K, et al. Effects of different additives on the quality of non-rinsed large yellow croaker surimi[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(10): 151-158.
- [5] BUAMARD N, BENJAKUL S. Effect of ethanolic coconut husk extract and pre-emulsification on properties and stability of surimi gel fortified with seabass oil during refrigerated storage[J]. LWT-Food Science and Technology, 2019, 108: 160-167.
- [6] MORENO H M, BARGIELA V, TOVAR C A, et al. High pressure applied to frozen flying fish (*Parexocoetus brachyterus*) surimi: Effect on physicochemical and rheological properties of gels[J]. Food Hydrocolloids, 2015, 48: 127-134.
- [7] GÓMEZ-GUILLÉN A J, BORDERÍAS P M. Chemical interactions of nonmuscle proteins in the network of sardine (*Sardina pilchardus*) muscle gels[J]. LWT-Food Science and Technology, 1997, 30(6): 602-608.
- [8] 姜昕, 陈晴, 田志航, 等. 超声时间对鲢鱼糜凝胶特性和蛋白结构的影响及相关性分析[J/OL]. 水产学报. (2021-10-15) [2022-06-24]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/31.1283.S.20211014.2321.005.html>.
- JIANG X, CHEN Q, TIAN Z H, et al. Effect and correlation analysis of ultrasonic time on gel properties and protein structure of *Hypophthalmichthys molitrix* surimi[J/OL]. Journal of Fisheries of China. (2021-10-15) [2022-06-24]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/31.1283.S.20211014.2321.005.html>.
- [9] FAN M C, HU T, ZHAO S M, et al. Gel characteristics and microstructure of fish myofibrillar protein/cassava starch composites[J]. Food Chemistry, 2017, 218: 221-230.
- [10] CORTÉS-RUIZ J A, PACHECO-AGUILAR R, RAMÍREZ-SUÁREZ J C, et al. Conformational changes in proteins recovered from jumbo squid (*Dosidicus gigas*) muscle through pH shift washing treatments[J]. Food Chemistry, 2016 196: 769-775.
- [11] WEN Q H, TU Z C, ZHANG L, et al. Effect of high intensity ultrasound on the gel and structural properties of *Ctenopharyngodon idellus* myofibrillar protein[J]. Journal of Food Biochemistry, 2017, 41(1): 12288.
- [12] 王冬妮, 范馨茹, 祁立波, 等. 淀粉和蛋白类添加物对鱿鱼鱼糜凝胶特性的影响[J]. 中国食品学报, 2018, 18(4): 65-71.
- WANG D N, FAN X R, QI L B, et al. Effect of starch and protein-based additives on the gelation properties of squid surimi[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2018, 18(4): 65-71.
- [13] 李颖畅, 宋素珍, 杨钟燕, 等. 甲醛对鱿鱼肌原纤维蛋白凝胶特性的影响[J]. 中国食品学报, 2019, 19(8): 60-69.
- LI Y C, SONG S Z, YANG Z Y, et al. Effect of formaldehyde on the gel properties of squid myofibrillar proteins[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2019, 19(8): 60-69.
- [14] 李慧, 陈百科, 金素莱曼, 等. 油脂对虾糜凝胶品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(8): 143-149.
- LI H, CHEN B K, JIN S L M, et al. Effect of oil on the quality of minced shrimp gel[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(8): 143-149.
- [15] 于笛, 傅志宇, 郑杰, 等. 秘鲁鱿鱼不同组织营养成分分析与评价[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(5): 164-171.
- YU D, FU Z Y, ZHENG J, et al. Analysis and evaluation of nutritional components of different tissues from squid *Dosidicus gigas*[J]. Food Research and Development, 2021, 42(5): 164-171.
- [16] 方益, 夏松养. 北太平洋红鲑鱼营养成分分析及评价[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2014, 33(1): 85-91.
- FANG Y, XIA S Y. Analysis and evaluation of nutritive composition in *Ommastephes bartrami* [J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science), 2014, 33(1): 85-91.
- [17] 杨芳. 阿根廷鱿鱼肌原纤维蛋白特性及其加工的研究[D]. 厦门: 集美大学, 2009: 28.
- YANG F. Study on the myofibrillar character and processing of *Illex argentinus* Castellanos[D]. Xiamen: Jimei University, 2009: 28.
- [18] GANI A, BENJAKUL S. Impact of virgin coconut oil nanoemulsion on properties of croaker surimi gel[J]. Food Hydrocolloids, 2018, 82: 34-44.
- [19] 李颖畅, 师丹华, 张馨元, 等. 超声波辅助没食子酸改善海鲈鱼肌原纤维蛋白的凝胶性能[J]. 食品科学, 2022, 43(11): 82-91.
- LI Y C, SHI D H, ZHANG X Y, et al. Gallic acid by ultrasound improves gel properties of *lateolabrax japonicus* myofibrillar protein[J]. Food Science, 2022, 43(11): 82-91.
- [20] 程天赋, 俞龙浩, 蒋奕, 等. 基于低场核磁共振探究解冻过程中肌原纤维水对鸡肉食用品质的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(9): 16-22.
- CHENG T F, YU L H, JIANG Y, et al. Effect of myofibrillar water on chicken quality during thawing as studied by low-field nuclear magnetic resonance[J]. Food Science, 2019, 40(9): 16-22.
- [21] 龙门, 张文豪, 郑素玲, 等. 基于低场核磁共振技术的咸鸭蛋腌制过程水分及质构特性变化[J]. 食品与机械, 2019, 35(2): 21-26, 106.
- LONG M, ZHANG W H, ZHENG S L, et al. study on changes of gel moisture characteristic and texture properties of duck eggs during salting period by low-field nuclear magnetic resonance[J]. Food & Machinery, 2019, 35(2): 21-26, 106.
- [22] 熊泽语, 谢晨, 陈百科, 等. 海藻糖复配蔗糖和山梨醇对未漂洗大黄鱼鱼糜的抗冻效果研究[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(4): 109-115.
- XIONG Z Y, XIE C, CHEN B K, et al. Study on the antifreeze effect of trehalose compounded with sucrose and sorbitol on unrinsed large yellow croaker surimi[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(4): 109-115.