

DOI: 10.13652/j.spjx.1003.5788.2022.90037

鳙鱼鱼糜与常见鱼糜凝胶品质对比

Comparative analysis of gel quality of *Chinese herring* surimi and common surimi

陈 慧^{1,2}黄建联^{1,2}周文果^{1,2}陈江平^{1,2}CHEN Hui^{1,2} HUANG Jian-lian^{1,2} ZHOU Wen-guo^{1,2} CHEN Jiang-ping^{1,2}

(1. 福建安井食品股份有限公司, 福建 厦门 361022;

2. 农业农村部冷冻调理水产品加工重点实验室, 福建 厦门 361022)

(1. Fujian Anjoy Food Co., Ltd., Xiamen, Fujian 361022, China;

2. Key Laboratory of Refrigeration and Conditioning Aquatic Products Processing,
Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Xiamen, Fujian 361022, China)

摘要:目的:为鳙鱼鱼糜在鱼糜制品中的加工应用提供理论支持。方法:制备鱼糜凝胶样品,分别从凝胶强度、质构、凝胶化指数、凝胶劣化指数、持水性、白度和微观结构7个方面研究其与白鲢鱼糜、铜盆鱼糜、金线鱼糜的凝胶品质差异。结果:鳙鱼鱼糜的硬度、咀嚼性、胶着性、凝胶强度、持水性显著高于白鲢鱼糜($P < 0.05$);这与扫描电镜检测的鳙鱼鱼糜凝胶表面结构光滑致密、孔径大小规则均匀的试验结果相一致。同时鳙鱼鱼糜的白度(71.23 ± 0.09)显著高于铜盆鱼糜(67.81 ± 0.25)和金线鱼糜(67.16 ± 0.55)。结论:鳙鱼鱼糜在凝胶强度、白度、持水性和微观结构等方面兼具淡水鱼糜和海水鱼糜的优势。

关键词:鳙鱼;鱼糜;质构;凝胶强度;持水性;白度;微观结构

Abstract: Objective: This study aimed to provide theoretical support for the processing application of surimi products by comparing the gel characteristics of Chinese herring surimi and the common surimi. Methods: The surimi gels of Chinese herring, silver carp, white croaker and golden-thread fish were prepared, and the difference of gel strength, texture profile analysis (TPA), gelation index, gel deterioration index, water retention, whiteness and microstructure among the four kinds of surimi were investigated. Results: The hardness, chewiness, ad-

hesiveness, gel strength and water retention of Chinese herring surimi were significantly higher than the those of silver carp surimi ($P < 0.05$). The above results were consistent with the microstructure properties of Chinese herring surimi gel which appeared a smooth, dense and porely unifrom surface. Moreover, the whiteness of Chinese herring surimi (71.23 ± 0.09) was significantly higher than that of white croaker surimi (67.81 ± 0.25) and white croaker surimi (67.16 ± 0.55). Conclusion: The Chinese herring surimi has the advantages of both freshwater and seawater surimi in gel strength, whiteness, water retention and microstructure formation.

Keywords: Chinese herring; surimi; texture; gel strength; water retention; whiteness; microstructure

鱼糜制品是一种优质的高蛋白、低脂肪产品,深受国内外消费者的喜爱,近年来人们对鱼糜制品的消费需求逐年增加,促进了渔业资源的飞速发展。中国是水产大国,淡水资源丰富但是海水鱼资源匮乏^[1]。为缓解海水资源压力,近年来学者们加大了对淡水鱼糜的研究开发力度,但是淡水鱼糜存在土腥味重、凝胶特性差等缺点^[2],在高档鱼糜制品的开发应用中具有局限性。因此开发新型的、具有明显资源优势的、应用特性好的鱼糜加工原料的需求越来越迫切。

鳙鱼(*Chinese herring*)又名鲢鱼、白鳞鱼、克鳙鱼、火鳞鱼、曹白鱼,属于鲈形目,是锯腹鳉科的鱼类之一,营养价值极高,富含蛋白质、脂肪、钙、钾、硒及多种不饱和脂肪酸,主要分布在太平洋西部和沙捞越爪哇海海域^[3]。鳙鱼是中国海产四大经济鱼类之一,是非常重要的水产资源。目前对鳙鱼的研究主要集中在鳙鱼调理制品的开发上如发酵鳙鱼^[4]、咸鳙鱼^[5]、腌制鳙鱼^[6],尚未有关于

基金项目:“蓝色粮仓”国家重点研发计划项目(编号:2019YFD0902000);厦门市科技重大项目(编号:3502Z20201032)

作者简介:陈慧,女,福建安井食品股份有限公司,硕士。

通信作者:黄建联(1971—),男,福建安井食品股份有限公司高级工程师。E-mail:416688254@qq.com

收稿日期:2021-07-21

鳊鱼鱼糜凝胶特性的研究报道。随着鳊鱼养殖技术的成熟,养殖产量逐年提高,传统的加工方式已无法满足鳊鱼的生产需求。

鱼糜的凝胶品质是影响其制品感官、质构及风味的主要因素之一。凝胶强度、全质构(TPA)及持水性等常作为衡量鱼糜凝胶品质的重要指标^[7]。试验拟研究鳊鱼鱼糜与白鲢鱼糜、铜盆鱼糜、金线鱼糜凝胶品质差异,以期为鳊鱼鱼糜制品的工业化生产提供理论依据,为低值海水鱼高值化利用技术的发展提供支持。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料

鳊鱼鱼糜:石狮正源水产科技开发有限公司;

铜盆鱼糜:浙江海之味水产有限公司;

金线鱼糜:Pt.Bintang Karya Laut(Indonesia);

白鲢鱼糜:潜江柳伍水产食品有限公司;

食盐和塑料肠衣均为市售产品。

1.1.2 主要仪器设备

电子天平:LCD-AS00 型,华志(福建)电子科技有限公司;

斩拌机、灌肠机、打卡机:福建安井食品股份有限公司自制;

数显恒温水浴锅:HH.S21-4 型,上海博迅实业有限公司医疗设备厂;

质构仪:TA.new plus 型,美国 iSENSO 公司;

色差计:WSC-S 型,上海精密科学仪器有限公司;

扫描电镜:FEI Quanta 450 型,美国 FEI 公司;

低温冷冻制备传输系统:PP3000T 型,英国 Quorum 公司。

1.2 方法

1.2.1 鱼糜凝胶的制备 鳊鱼鱼糜、铜盆鱼糜、金线鱼糜和白鲢鱼糜均经过不同程度的漂洗、精滤等工序,并于-18℃冻藏6个月。将600g冷冻鱼糜样品,于0~4℃冰箱解冻至中心温度-3~-5℃后,使用斩拌机在10℃以下空斩2min,添加质量分数3%食盐继续盐斩3min,用灌肠机充填到直径为30mm的塑料肠衣中,并按下述方法处理:

(1) 90℃水浴加热30min后,置于冰水中冷却2h后于0~4℃冰箱放置12h,待测。该方法处理的样品用于凝胶强度、TPA、白度、持水性和微观结构的检测。

(2) 分别在30℃凝胶120min,60℃凝胶20min,60℃凝胶120min后,90℃加热30min,冰水溶液中冷却2h后于0~4℃冰箱放置12h,待测。

1.2.2 鱼糜凝胶的 TPA 分析 根据文献[8]修改如下:将待测样品切成25mm高且切面平整的圆柱体,在室温

下用质构仪的 TPA 模型分析凝胶样品的硬度、弹性、胶着性、咀嚼性、黏性指标。用不锈钢 P/36R 圆柱形探头对样品进行二次连续挤压,测定条件为测前速度1mm/s、测试速度1mm/s、测后速度5mm/s,下压距离4mm,感应力0.049N,每个样品测6次,取平均值。

1.2.3 鱼糜凝胶强度的测定 根据文献[9]修改如下:使用 P/0.5 探头,在室温下用质构仪进行破断测试,具体测试参数:测前速度1.0mm/s,测中速度1.0mm/s,测后速度5.0mm/s,变形4mm,感应力0.049N。其中破断力(N)反映凝胶的硬度,破断距离(cm)反映凝胶的弹性,凝胶强度(N·cm)为二者的乘积,每个样品测6次,取平均值。

1.2.4 凝胶化指数/凝胶劣化指数的测定 按1.2.3的方法测定凝胶强度,30℃凝胶120min的凝胶强度记为 G_1 、60℃凝胶20min的凝胶强度记为 G_2 ,60℃凝胶120min的凝胶强度记为 G_3 ,每组测量平行6次,取平均值。分别按式(1)和式(2)计算凝胶化指数、凝胶劣化指数。

$$G = \frac{G_1}{G_2}, \quad (1)$$

$$G_D = \frac{G_3}{G_2}, \quad (2)$$

式中:

G ——凝胶化指数;

G_D ——凝胶劣化指数;

G_1 ——30℃凝胶120min的凝胶强度,N·cm;

G_2 ——60℃凝胶20min的凝胶强度,N·cm;

G_3 ——60℃凝胶120min的凝胶强度,N·cm。

1.2.5 白度测定 根据文献[10]修改如下:将样品切成1.4cm厚的片状,用WSC-S测色色差计测色差,使用标准白板校正,黑板校准,记录 L^* 、 a^* 、 b^* ,每组样品测量平行6次,取平均值。按式(3)计算白度。

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

式中:

W ——白度;

L^* ——亮度;

a^* ——红度值;

b^* ——黄度值。

1.2.6 持水性的测定 根据文献[11-12]修改如下:将样品切成厚3mm的薄片并称重(m_1),使用滤纸包裹3层,用5kg的重物压制30min,再将样品称重(m_2),按式(4)计算持水性。

$$W = \frac{m_2}{m_1} \times 100\%, \quad (4)$$

式中:

W ——持水率,%;

m_1 ——鱼糜凝胶压制前的质量,g;

m_2 ——鱼糜凝胶压制后的质量, g。

1.2.7 扫描电镜测试 根据文献[13]修改如下:按 1.2.1 (1)的方法制备样品,将样品粘于样品台上,投入液氮雪泥中速冻 30 s,使用低温冷冻制备传输系统将其转移至样品制备腔室进行升华镀金处理后送入扫描电镜样品室观察。

1.2.8 数据分析 使用 SPSS 软件进行试验数据处理及分析。

2 结果与分析

2.1 不同种类鱼糜凝胶 TPA 的差异

对 4 种鱼糜凝胶的 TPA 进行测试,鳙鱼鱼糜的硬度、咀嚼性显著高于白鲢鱼糜($P<0.05$),而与铜盆鱼糜、金线鱼糜无显著差异,见表 1。由于鱼种差异,鱼糜凝胶形成具有很大差别,因而其凝胶后硬度、咀嚼、弹性等凝胶性能具有较大差异,大部分的淡水鱼糜比海水鱼弹性差,这种因原料鱼种而引起的对弹性的影响较为复杂,主要是与鱼肉肌肉中盐溶性蛋白含量有关,尤其是与肌球蛋白含量直接有关^[11,14]。

2.2 不同种类鱼糜凝胶化和凝胶劣化指数差异

鱼糜的凝胶特性与鱼类自身的生长环境、原料鱼种、蛋白质的热稳定性有关。白鲢鱼糜的凝胶化指数显著低于鳙鱼鱼糜、金线鱼糜和铜盆鱼糜,说明白鲢鱼糜更难凝胶化。淡水鱼肌原纤维的热稳定性好,相对于海水鱼而言难凝胶化,与刘海梅^[15]的研究结果一致。对比 4 种鱼

糜的凝胶劣化指数,各鱼糜之间凝胶劣化指数无明显差异,均为易凝胶劣化的鱼糜,见表 2。

2.3 不同种类鱼糜凝胶强度的差异

鳙鱼鱼糜凝胶强度 $[(4.82\pm0.30)\text{ N}\cdot\text{cm}]$ 显著高于白鲢鱼糜 $[(3.26\pm0.18)\text{ N}\cdot\text{cm}]$,破裂力 $[(4.07\pm0.16)\text{ N}]$ 显著低于金线鱼糜 $[(5.13\pm0.22)\text{ N}]$,但是凝胶强度却高于金线鱼糜 $[(4.49\pm0.28)\text{ N}\cdot\text{cm}]$,说明鳙鱼鱼糜的韧性优于金线鱼糜,见图 1。白鲢鱼糜的凝胶强度和破裂力都显著低于 3 种海水鱼糜,可能是因为:① 海水鱼的盐溶性蛋白含量较高,凝胶特性好于淡水鱼糜^[16];② 海水鱼的 TGase 活性易被 NaCl 和 Ca^{2+} 激活,而淡水鱼的 TGase 不易被激活^[17-18]。也有研究^[19]表明,不同鱼种之间凝胶强度差异明显,主要与盐溶性蛋白含量,以及加工过程中蛋白质组成的变化有关,原料的盐溶性蛋白含量越高,凝胶强度越大。

2.4 不同种类鱼糜凝胶白度的差异

一般来说,消费者更青睐高 L^* 值、低 b^* 值、高白度的鱼糜制品^[20-21]。不同鱼糜凝胶的白度值介于 67.16 ± 0.55 与 71.23 ± 0.09 之间,其中鳙鱼鱼糜和白鲢鱼糜的白度值显著高于铜盆鱼糜和金线鱼糜($P<0.05$) (见表 3),不同鱼种高铁肌红蛋白、氧合肌红蛋白和去氧肌红蛋白含量及对环境的敏感性不同,进而造成白度上的差异^[22-23],3 种海水鱼鱼糜凝胶白度值的差异可能是由这三者的比例不同造成的。鳙鱼鱼糜的白度不同于常规的

表 1 不同种类鱼糜凝胶 TPA[†]

Table 1 TPA of different types of surimi gel

鱼糜种类	硬度/N	弹性	咀嚼性/N	胶着性	回复性
鳙鱼鱼糜	11.08 ± 0.35^b	0.86 ± 0.36	7.24 ± 0.61^b	858.67 ± 66.73^b	0.160 ± 0.004^{ab}
白鲢鱼糜	5.86 ± 0.39^a	0.88 ± 0.02	4.71 ± 0.41^a	551.63 ± 32.45^a	0.140 ± 0.003^a
铜盆鱼糜	11.40 ± 0.42^b	0.90 ± 0.01	9.81 ± 0.58^b	$1\ 106.35\pm62.07^c$	0.160 ± 0.003^c
金线鱼糜	10.52 ± 1.33^b	0.79 ± 0.18	8.71 ± 1.70^b	$1\ 092.10\pm106.29^c$	0.160 ± 0.006^d

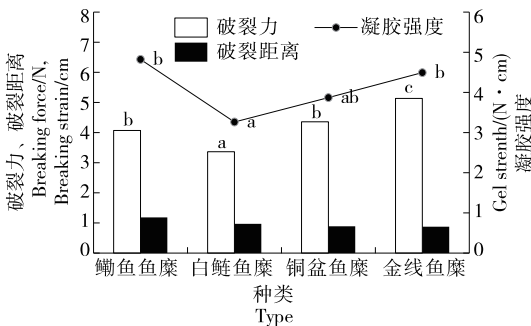
† 小写字母不同代表不同样品之间存在显著差异($P<0.05$)。

表 2 不同种类鱼糜凝胶化指数/凝胶劣化指数[†]

Table 2 Gelation index/geldeterioration index of different types of surimi

鱼糜种类	凝胶化指数	凝胶劣化指数
鳙鱼鱼糜	6.62 ± 0.64^b	0.38 ± 0.04
白鲢鱼糜	0.81 ± 0.17^a	0.65 ± 0.41
铜盆鱼糜	6.80 ± 0.97^b	0.57 ± 0.04
金线鱼糜	7.19 ± 0.65^b	0.51 ± 0.03

† 凝胶化指数: <8 难凝胶化, >9 易凝胶化;凝胶劣化指数: <0.35 难凝胶劣化, $0.35\sim0.70$ 易凝胶劣化, >0.70 极易凝胶劣化;小写字母不同代表不同样品之间存在显著差异($P<0.05$)。



小写字母不同代表不同样品之间存在显著差异($P<0.05$)

图 1 不同种类鱼糜的凝胶强度

Figure 1 The gel strength of different types of surimi

表 3 不同种类鱼糜凝胶白度值[†]

Table 3 Whiteness of different types of surimi

鱼糜种类	<i>L</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *	<i>W</i>
鳎鱼鱼糜	71.23±0.09 ^b	0.11±0.06 ^a	4.90±0.03 ^a	70.82±0.09 ^b
白鲢鱼糜	70.49±0.08 ^b	1.74±0.10 ^b	5.01±0.02 ^{ab}	70.02±0.08 ^b
铜盆鱼糜	67.81±0.25 ^a	10.86±0.36 ^c	5.17±0.05 ^b	65.63±0.48 ^a
金线鱼糜	67.16±0.55 ^a	12.23±0.37 ^d	5.07±0.04 ^{ab}	64.59±1.10 ^a

[†] 小写字母不同代表不同样品之间存在显著差异($P<0.05$)。

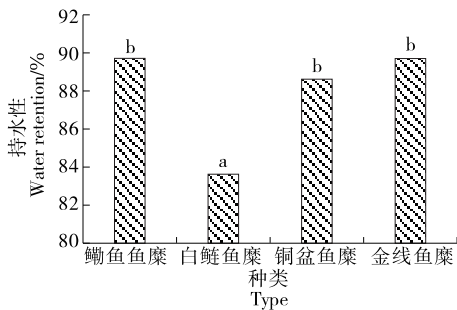
海水鱼糜,其白度大大高于金线和铜盆鱼糜。

2.5 不同种类鱼糜凝胶持水性的差异

鱼糜凝胶的持水能力与凝胶强度关系密切,反映了肌球蛋白、肌动蛋白交联形成的三维网络结构的紧密程度,以及对水分保留能力的强弱^[24]。网络结构越致密,鱼糜凝胶持水性越好^[25]。鱼糜及其制品中水分的含量、分布状态与产品的颜色、口感、风味和货架期等息息相关^[26]。不同鱼糜凝胶持水性在 83.63%~89.72%,其中鳎鱼鱼糜的凝胶持水性显著高于白鲢鱼糜,而与金线鱼糜和铜盆鱼糜差异不明显,见图 2,说明鳎鱼鱼糜的凝胶持水性较强。试验中不同种类鱼糜凝胶持水性可能主要与肌原纤维蛋白的凝胶形成能力有关。

2.6 不同种类鱼糜凝胶微观结构对比

规则有序、致密光滑的鱼糜蛋白凝胶三维网状结构,有利于保持更多的水分,减少冷冻过程中蛋白质、水分等营养物质的损失,使鱼糜保持较好的感官品质和持水性。鱼糜凝胶网络表面越平整光滑,孔洞大小均匀、分布有序、空间结构越致密则表明其凝胶结构形成得越好,凝胶强度也越好^[27]。鳎鱼鱼糜、铜盆鱼糜和金线鱼糜微观结构表面结构光滑平整,其中铜盆鱼糜和鳎鱼鱼糜凝胶网状结构更加规则致密,见图 3。微观结构的致密和有序程度决定着蛋白的凝胶品质,鳎鱼鱼糜的凝胶品质较好,与凝胶特性和持水性的试验结果一致。这可能是因为凝胶三维网络结构的形成与肌原纤维蛋白变性,蛋白质之间通过氢键、离子键、疏水相互作用和共价键等分子间相互作用连接有关^[28]。



小写字母不同代表不同样品之间存在显著差异($P<0.05$)

图 2 不同种类鱼糜凝胶的持水性

Figure 2 The water retention of different types of surimi

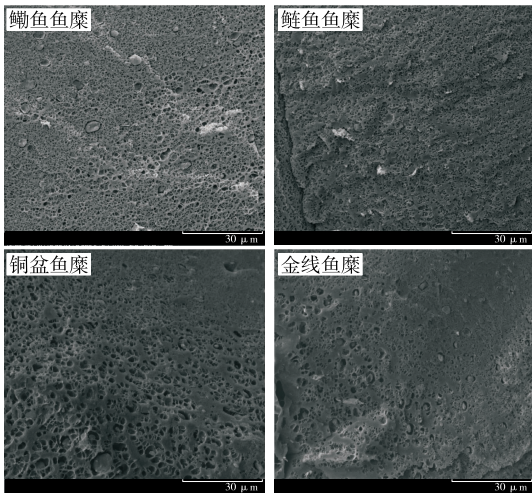


图 3 不同种类鱼糜凝胶的微观结构

Figure 3 The microstructure of different types of surimi (3 000×)

3 结论

通过对比分析鳎鱼鱼糜与常见 3 种鱼糜的凝胶特性,发现鳎鱼鱼糜的凝胶强度、硬度、咀嚼性、持水性显著高于白鲢鱼糜,而与金线鱼糜和铜盆鱼糜无显著差异,白度显著高于金线鱼糜和铜盆鱼糜。同时,通过扫描电镜图显示,鳎鱼鱼糜与金线鱼糜和铜盆鱼糜一样,凝胶形成的三维网状结构紧密,表面光滑平整,孔洞较小,与凝胶强度、持水性等研究结果吻合。该研究结果表明,作为一种新型海水鱼糜,与淡水鱼糜相比鳎鱼鱼糜具备凝胶特性好、持水性高等优点,与常见海水鱼糜相比还具有白度高的优势。但该研究仅对凝胶特性、持水性和微观结构等指标进行了研究,后续可进一步探究鳎鱼鱼糜风味物质及与其他外源添加物协同作用机制,对促进鳎鱼鱼糜的深加工产业发展有重要的现实意义。

参考文献

[1] 姬颖. 鳎鱼/白鲢鱼混合鱼糜凝胶特性研究[D]. 锦州: 渤海大学, 2020: 1-2.
JI Ying. Study on gel properties of blended surimi from anchovy/silver carp[D]. Jinzhou: Bohai university, 2020: 1-2.
[2] 冯倩, 裴诺, 孙洁, 等. TG 酶催化过程中鲢肌原纤维蛋白凝胶性能的变化[J/OL]. 水产学报. [2021-06-30]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/31.1283.S.20210630.0915.002.html>.
FENG Qian, PEI Nuo, SUI Jie, et al. Gel properties changes of myofibrillar protein of silver car (*Hypophthalmichthys molitrix*) in the process of TG catalysis[J/OL]. Journal of Fisheries of China. [2021-06-30]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/31.1283.S.20210630.0915.002.html>.
[3] HU Ya-qin, LIU Wen-juan, YUAN Chun-hong, et al. Enhancement of the gelation properties of hairtail (*Trichiurus haumela*) muscle

- protein with curdlan and transglutaminase[J]. Food Chemistry, 2015, 176: 115-122.
- [4] 贺林娟. 发酵鲮鱼的制作工艺及挥发性风味成分的研究[D]. 宁波: 宁波大学, 2013: 1-25.
- HE Lin-juan. Study on fermentation processing of Chinese herring and the analysis of flavor[D]. Ningbo: Ningbo University, 2013: 1-25.
- [5] 毛海萍, 袁开, 金仁耀, 等. 基于传统分离培养和高通量测序分析市售咸鲮鱼中微生物多样性[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(21): 193-201.
- MAO Hai-ping, YUAN Kai, JIN Ren-yao, et al. Study of microbial diversity in commercial salted Chinese herring using culture isolation and high-throughput sequencing[J]. Food Research and Development, 2019, 40(21): 193-201.
- [6] 刘敏, 夏松养. 腌制条件对鲮鱼腌制品品质的影响研究[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(35): 12 655-12 657.
- LIU Min, XIA Song-yang. Study on the influence of curing condition for quality in cured fish[J]. Journal of Anhui Agri, 2014, 42(35): 12 655-12 657.
- [7] 王燕. 低值淡水鱼鱼糜及制品品质的改良和质地评价研究[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2013: 25-31.
- WANG Yan. Research on the improvement of the quality and evaluation of texture of low-value freshwater fish surimi[D]. Wuhan: Wuhan Polytechnic University, 2013: 25-31.
- [8] 陆剑锋, 邵明栓, 林琳, 等. 卡拉胶和超高压对鱼糜凝胶性质的影响[J]. 农业机械学报, 2011, 42(12): 164-170.
- LU Jian-feng, SHAO Ming-shuan, LIN Lin, et al. Effects of ultra-high pressure and carrageenan on gelling properties of surimi from silver carp, *Hypophthalmichthys molitrix* [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2011, 42(12): 164-170.
- [9] SAKAMOTO H A C I, KUMAZAWA Y, TOIGUCHI S, et al. Gel strength enhancement by addition of microbial transglutaminase during onshore surimi manufacture[J]. Journal of Food Science, 1995, 60(2): 300-304.
- [10] ZHU Ke-rui, KANU P J, CLAVER I P, et al. A method for evaluating Hunter whiteness of mixed powders[J]. Advanced Powder Technology, 2009, 20(2): 123-126.
- [11] 尹贝贝, 蒋爱民, 栗俊广, 等. 三种常见海水鱼鱼糜凝胶特性比较研究[J]. 食品与机械, 2014, 30(1): 25-28.
- YIN Bei-bei, JIANG Ai-min, LI Jun-guang, et al. Comparison of surimi of three common marine fish[J]. Food & Machinery, 2014, 30(1): 25-28.
- [12] 张一鸣, 李思仪, 沈晓溪, 等. 外源添加物对鲢鱼—鳙鱼复合鱼糜凝胶性能的影响[J]. 食品工业科技, 2021, 42(19): 197-203.
- ZHANG Yi-ming, LI Si-yi, SHEN Xiao-xi, et al. Effect of exogenous additives on gel characteristics of silverfish-cod fish mixture[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(19): 197-203.
- [13] 肖媛, 邢振飞, 李婷婷, 等. 雨生红球藻的冷冻扫描电镜制样条件初探[J]. 电子显微学报, 2016, 35(4): 361-364.
- XIAO Yuan, XING Zhen-fei, LI Ting-ting, et al. Preliminary study on the sample preparation conditions of cryo-scanning electron microscopy for haematococcus pluvialis[J]. Journal of Chinese Electron Microscopy Society, 2016, 35(4): 361-364.
- [14] 程珍珠, 赵伟, 杨瑞金. 膳食纤维对鱼糜凝胶工艺特性的影响[J]. 食品与机械, 2011, 27(6): 75-79.
- CHENG Zhen-zhu, ZHAO Wei, YANG Rui-jin. Effect of different dietary fiber on mechanical properties of surimi gels from ribbon-fish[J]. Food & Machinery, 2011, 27(6): 75-79.
- [15] 刘海梅. 鲢鱼糜凝胶及形成机理的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2007: 6-51.
- LIU Hai-mei. Studies on silver carp surimi gel and gel-forming mechanism[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2007: 6-51.
- [16] 何晓萌, 黄卉, 李来好, 等. 罗非鱼与海水鱼制备混合鱼糜的凝胶特性研究[J]. 食品工业科技, 2018, 39(2): 5-9.
- HE Xiao-meng, HUANG Hui, LI Lai-hao, et al. Research on gel properties of tilapia and sea fish mixed surimi[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(2): 5-9.
- [17] NOZAWA H, MORI T, SEKI N. Different effects of NaCl on activities of transglutaminases from marine and freshwater shellfish muscles[J]. Fisheries Science, 2001, 67(2): 383-385.
- [18] BINSI P K, SHAMASUNDAR B A. Purification and characterisation of transglutaminase from four fish species: Effect of added transglutaminase on the viscoelastic behaviour of fish mince[J]. Food Chemistry, 2012, 132(4): 1 922-1 929.
- [19] 刘海梅, 严菁, 熊善柏, 等. 淡水鱼肉蛋白质组成及其在鱼糜制品加工中的变化[J]. 食品科学, 2007(2): 40-44.
- LIU Hai-mei, YAN Jing, XIONG Shan-bai, et al. Protein components of freshwater fish flesh and their changes during surimi-based processing[J]. Food Science, 2007(2): 40-44.
- [20] HSU C, CHIANG B. Effects of water, oil, starch, calcium carbonate and titanium dioxide on the colour and texture of threadfin and hairtail surimi gels[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2002, 37(4): 387-393.
- [21] 刘芳芳. 海水鱼鱼糜加工及凝胶过程中蛋白质变化规律的研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2020: 18-20.
- LIU Fang-fang. Mechanism of protein changes during processing and gelation of marine fish surimi[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2020: 18-20.
- [22] 贾丹. 青鱼肌肉蛋白质及其凝胶特性的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2016: 35-37.
- JIA Dan. Study on protein and gelation properties of surimi from black carp[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2016: 35-37.
- [23] 杜鑫, 邓思杨, 畅鹏, 等. 冷冻鱼糜品质劣化的机制及其控制技术的进展[J]. 食品工业科技, 2018, 39(16): 306-312.
- DU Xin, DENG Si-yang, CHANG Peng, et al. Quality deterioration mechanism and control technology of freezing surimi[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(16): 306-312.

(下转第 137 页)

参考文献

- [1] 燕芳, 张俊林, 刘成毫, 等. 基于太赫兹辐射的甘草主成分光谱分析[J]. 红外技术, 2021, 43(3): 279-283.
YAN Fang, ZHANG Jun-lin, LIU Cheng-hao, et al. Principal component spectrum analysis of licorice based on terahertz radiation[J]. Infrared Technology, 2021, 43(3): 279-283.
- [2] 杨雨菲, 刘翠玲, 孙晓荣, 等. 基于 ATR-FTIR 光谱技术的原油含水率测量方法[J]. 传感器与微系统, 2020, 39(12): 134-136.
YANG Yu-fei, LIU Cui-ling, SUN Xiao-rong, et al. Crude oil moisture content measurement method based on ATR-FTIR spectroscopy[J]. Transducer and Microsystem Technologies, 2020, 39(12): 134-136.
- [3] LI J B, HUANG W Q, ZHAO C J, et al. A comparative study for the quantitative determination of soluble solids content, pH and firmness of pears by Vis/NIR spectroscopy[J]. J Food Eng, 2013, 116(2): 324-332.
- [4] LI X, YI S, HE S, et al. Identification of pummel cultivars by using Vis/NIR spectra and pattern recognition methods[J]. Precis Agric, 2016, 17: 365-374.
- [5] LEE J S, KIM S C, SEONG K C, et al. Quality prediction of kiwifruit based on near infrared spectroscopy[J]. Kor J Horticult Sci Technol, 2012, 30(6): 709-717.
- [6] 苗荣慧, 黄锋华, 杨华, 等. 基于光谱和 Gabor 纹理信息融合的油桃品种识别[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(6): 174-178.
MIAO Rong-hui, HUANG Fen-hua, YANG Hua, et al. Nectarine variety recognition based on the fusion of spectrum and Gabor texture information[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2019, 47(6): 174-178.
- [7] 武锦龙, 苗荣慧, 黄锋华, 等. 高光谱图像与卷积神经网络相结合的油桃轻微损伤检测[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2019, 39(2): 79-85.
WU Jin-long, MIAO Rong-hui, HUANG Feng-hua, et al. Utilization of hyper-spectral image coupled with convolutional neural network on nectarine slight bruises detection[J]. Journal of Shanxi Agricultural University (Natural Science Edition), 2019, 39(2): 79-85.
- [8] XAVIER S, COFIN A, OLSON D, et al. Remotely estimating beneficial arthropod populations: Implications of a low-cost small unmanned aerial system[J]. Remote Sensing, 2018, 10(9): 1 485-1 489.
- [9] KIM D W, YUN H E, JEONG S J, et al. Modeling and testing of grand status for Chinese cabbage and white radish with UAV-based RDB imagery[J]. Remote Sensing, 2018, 10(4): 563-569.
- [10] 曹念念, 刘强, 彭菁, 等. 基于近红外光谱技术的黄桃脆片可溶性固形物和硬度定量检测方法[J]. 食品与机械, 2021, 37(3): 51-57.
CAO Nian-nian, LIU Qiang, PENG Jing, et al. Study on quantitative detection of soluble solids and firmness of yellow peach chips by near-infrared spectroscopy[J]. Food & Machinery, 2021, 37(3): 51-57.
- [11] 马帅帅, 于慧春, 殷勇, 等. 黄瓜水分和硬度高光谱特征波长选择与预测模型构建[J]. 食品与机械, 2021, 37(2): 145-151.
MA Shuai-shuai, YU Hui-chun, YIN Yong, et al. Selection of hyperspectral characteristic wavelength and construction of prediction model for cucumber hardness and moisture[J]. Food & Machinery, 2021, 37(2): 145-151.
- [12] MA W, WEN Y Z, YU X M. Broadband metamaterial absorber at mid-infrared using multiplexed cross resonators[J]. Opt Exp, 2013, 21(25): 30 724-30 730.
- [13] NIKITIN A, GUINEA F, MARTIN-MORENO L. Resonant plasmonic effects in periodic graphene antidot arrays[J]. Appl Phys Lett, 2012, 101(15): 115-119.
- [14] 张珮, 王银红, 李高阳, 等. 基于近红外光谱对桃果实低温贮藏品质的定量检测[J]. 中国食品学报, 2021, 21(5): 355-362.
ZHANG Pei, WANG Yin-hong, LI Gao-yang, et al. Quantitative detection of the quality of peach fruit during low temperature storage based on near infrared spectroscopy[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2021, 21(5): 355-362.
- [15] 邵园园, 王永贤, 玄冠涛, 等. 基于高光谱成像的肥城桃品质可视化分析与成熟度检测[J]. 农业机械学报, 2020, 51(8): 344-350.
SHAO Yuan-yuan, WANG Yong-xian, XUAN Guan-tao, et al. Visual detection of SSC and firmness and maturity prediction for feicheng peach by using hyperspectral imaging[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2021, 21(5): 344-350.
- (上接第 23 页)
- [24] ZHANG Xu-yun, LIU Chang, NEPAL S, et al. A hybrid approach for scalable sub-tree anonymization over big data using MapReduce on cloud[J]. Journal of Computer and System Sciences, 2014, 80(5): 1 008-1 020.
- [25] KOÇ M, KOÇ B, SUSYAL G, et al. Improving functionality of whole egg powder by the addition of gelatine, lactose, and pullulan[J]. Journal of Food Science, 2011, 76(9): S508-S515.
- [26] 叶贝贝. 白鲢鱼/金线鱼混合肌原纤维蛋白及肌球蛋白热聚集的作用机制[D]. 锦州: 渤海大学, 2019: 6-23.
YE Bei-bei. Mechanism of thermal aggregation of mixed myofibrillar protein and myosin from hypophthalmichthys molitrix and-nemipterus Virgatus[D]. Jinzhou: Bohai University, 2019: 6-23.
- [27] BENJAKUL S, VISESSANGUAN W, THONGKAEW C, et al. Effect of frozen storage on chemical and gel-forming properties of fish commonly used for surimi production in Thailand[J]. Food Hydrocolloids, 2005, 19(2): 197-207.
- [28] 张怡, 陈秉彦, 曾红亮, 等. 肌原纤维蛋白与鱼糜凝胶特性相关性概述[J]. 亚热带农业研究, 2016, 12(1): 13-24.
ZHANG Yi, CHEN Bing-yan, ZENG Hong-liang, et al. Research progress on the correlation between myofibrillar protein and gel properties in surimi[J]. Subtropical Agriculture Research, 2016, 12(1): 13-24.