

# 淡水鱼鱼糜制品加工特性及品质影响因素

## Research progresses on processing and utilization of freshwater fish surimi and surimi products

谭 力<sup>1,2</sup> 周春霞<sup>1,2</sup> 洪鹏志<sup>1,2</sup>

TAN Li<sup>1,2</sup> ZHOU Chun-xia<sup>1,2</sup> HONG Peng-zhi<sup>1,2</sup>

(1. 广东海洋大学食品科技学院, 广东 湛江 524088; 2. 广东省水产品加工与安全重点实验室, 广东 湛江 524088)

(1. College of Food Science and Technology, Guangdong Ocean University, Zhanjiang, Guangdong 524088, China;

2. Guangdong Provincial Key Laboratory of Aquatic Product Processing and Safety, Zhanjiang, Guangdong 524088, China)

**摘要:**文章从加工特性和机理、加工影响因素、脱腥方法三方面进行综述,总结了淡水鱼鱼糜及其制品的加工利用现状,指出了淡水鱼鱼糜加工利用中基础研究、运输条件、生产设备等不足之处。

**关键词:**淡水鱼;鱼糜;鱼糜制品;凝胶特性;加工利用

**Abstract:** In this paper, the processing utilization of freshwater fish surimi and its products were reviewed from three main aspects combined current research at home and abroad, including the processing characteristics and mechanisms, the influencing processing factors, and the deodorization methods. It was pointed out that the shortages of basic researches, transport conditions, and production equipments in the processing and utilization of freshwater fish surimi. It would provide some useful information for exploring the development directions of surimi and surimi products in future, and promote the optimization utilization of freshwater fish resources.

**Keywords:** freshwater fish; surimi; surimi products; gel properties; processing and utilization

中国是世界水产加工大国,渔业资源十分丰富。淡水鱼及其加工产品是中国淡水渔业的重要水产食品。对于淡水鱼资源的优化利用,鱼糜<sup>[1]</sup>及其制品<sup>[2]</sup>加工是恰到好处的方式<sup>[3]</sup>。2016 年中国鱼糜制品总产量为 1 553.62 t,比 2015 年增加 6.84%,是中国水产食品中增长最快的代表性产品之一<sup>[4]</sup>。淡水鱼肉深加工成鱼糜制品,契合人们营养健康消费需求,推动了中国现代农业产业化发展的速度<sup>[5]</sup>。基于此,本文拟结合国内外研究现状,对淡水鱼鱼糜及其制品的加工利用进行概述和总结,为探讨鱼糜及其制品未来发展方向提

供一定理论支撑,以促进中国淡水鱼资源的优化利用。

### 1 鱼糜加工特性及形成机理

淡水鱼鱼肉蛋白质的加工利用特性涵盖凝胶特性、保水性、黏着性和乳化性等体现鱼肉蛋白质性质的指标<sup>[6]</sup>。淡水鱼鱼糜及其制品加工质量主要由其凝胶特性所决定,因鱼糜低胆固醇、低脂肪等性质,鱼糜产品需求量不断增加<sup>[7]</sup>。鱼糜凝胶的形成需通过凝胶化、凝胶劣化和鱼糕化 3 个阶段<sup>[8]</sup>。温度 50℃以下时为凝胶化温度带,鱼肉盐溶性肌原纤维蛋白质中肌球蛋白和肌动蛋白交互作用形成肌球蛋白溶胶,温度保持一段时间后形成较松散的凝胶网状结构;温度 50~70℃时,在内源酶的作用下鱼糜凝胶网状结构开始断裂,凝胶形成能力和质量下降,呈现凝胶劣化现象<sup>[9]</sup>;当温度继续上升通过凝胶劣化温度带,鱼糜凝胶网络结构被固定而呈现有序和非透明状,凝胶强度和弹性增强,称为鱼糕化。

鱼糜凝胶形成机理包括蛋白质变性展开和聚合形成大分子凝胶体两步,Ferry<sup>[10]</sup>在 1948 年提出凝胶形成第一步是肌原纤维蛋白受热变性的解螺旋,共价键解离,分子内反应基团和酶作用位点暴露;第二步是使受热变性展开的基团因疏水相互作用、二硫键、盐键等蛋白质基团聚合作用形成大分子凝胶体。由此可见,针对淡水鱼鱼糜及其制品的凝胶特性,进行相应加工利用,可获得更好鱼糜产品。

### 2 影响鱼糜制品加工品质的因素

#### 2.1 原料鱼的影响

原料鱼可从淡水鱼加工利用的源头影响鱼糜及其制品的品质,因鱼的品种、捕捞季节、新鲜度等原料鱼自身性质的变化,鱼肉蛋白质和氨基酸组分也不尽相同,从而使得淡水鱼加工质量不一。

2.1.1 鱼的品种 中国可用作鱼糜制品原料鱼的资源十分丰富,鱼肉肌肉蛋白质和氨基酸组成因鱼的品种有所差异而

**基金项目:**2013 年省部产学研合作专项(编号:2013A090100009)

**作者简介:**谭力,男,广东海洋大学在读硕士研究生。

**通信作者:**洪鹏志(1966—),男,广东海洋大学教授。

E-mail: hongpengzhi@126.com

**收稿日期:**2018-04-02

引起加工品质不同。如贾丹<sup>[11]</sup>通过对青鱼、草鱼、鲢、鳙、鲤、鲫和鳊 7 种淡水鱼鱼肉蛋白质组成成分和鱼糜凝胶特性差异的分析,表明试验鱼种中青鱼鱼肉蛋白质所含盐溶性肌原纤维蛋白含量最高,且鱼糜凝胶被断强度和凹陷深度明显高于草鱼、鲢和鲫,凝胶性能较好。而不同品种的鱼在相同加工方式下凝胶变化也不同。Zhang 等<sup>[12]</sup>研究 7 种淡水鱼在不同加工方式下凝胶特性的变化,发现热处理对鲤鱼糜凝胶最敏感,发酵对鲢鱼糜凝胶影响最好。此外,鱼糜制品质量也因鱼的品种而有所差异。朱瑞麒<sup>[13]</sup>研究证实鲤、鲢和草鱼 3 种鱼糜凝胶制品的化学组成成分存在一定差异,3 种全鱼糜丸凝胶制品中,鲢鱼丸水分含量显著高于草鱼和鲤鱼丸;鲤鱼丸蛋白质含量最高;草鱼鱼丸脂肪含量显著高于其他( $P<0.05$ )。可见,淡水鱼鱼糜及其制品的加工利用与鱼的品种有较大相关性。

2.1.2 捕获季节 淡水鱼属于广温性鱼类,其体温能适应季节环境温度变化,这种适应性与肌原纤维蛋白性质季节性变动有关,而肌球蛋白作为肌原纤维蛋白的主要成分,其热稳定性会对鱼肉蛋白质的加工适性产生影响。有研究<sup>[14]</sup>表明,草鱼和鲢骨骼肌肌球蛋白在春、夏季 2 段形成凝胶,较秋、冬季 3 段形成的凝胶热稳定性更好,且秋季鱼的鱼糜制品显示最高的凝胶强度,具有更好的凝胶形成能力。此外,通过对鲢鱼鱼糜凝胶特性与季节相关变化的研究也得到类似结果,如鲢鱼在冬春两季鱼糜凝胶形成的温度为 30℃,但夏秋两季鱼糜凝胶形成温度为 40℃;夏秋季鱼糜凝胶和  $Ca^{2+}$ -ATPase 的稳定性更好<sup>[15]</sup>。因此,选择合适的捕获季节能更好地控制鱼肉肌球蛋白加工性质,提高淡水鱼加工质量。

2.1.3 新鲜度 原料鱼的新鲜度会影响加工品质,随着新鲜度的下降,鱼肉蛋白质腐败变质增多,淡水鱼加工利用率降低,鱼糜及其制品品质劣化甚至难以制得。如吕顺等<sup>[16]</sup>发现新鲜度较高的新鲜鲢制作的鱼糜凝胶强度最高,而新鲜度较差的僵直期鱼肉制作的鱼糜凝胶保水性和白度最差。此外,原料鱼新鲜度受贮藏时间和温度控制,常见的低温冷冻贮藏可减缓新鲜度下降,但无法遏制鱼肉蛋白质变性所引起的凝胶形成能力劣化,加工产品的风味和营养价值下降<sup>[17]</sup>。可见,鱼肉新鲜度影响鱼肉蛋白质和凝胶质量,加工利用时应尽可能选择新鲜度高的原料鱼。

2.2 加工方式

淡水鱼加工工序复杂,各加工方式可导致淡水鱼鱼肉蛋白质性质改变,在鱼糜及其制品加工时漂洗、斩拌和凝胶化方式是影响产品质量最主要的因素。

2.2.1 漂洗方式 加工过程中,冷水漂洗、盐溶液漂洗和酸碱溶液漂洗是鱼糜及其制品最主要的漂洗方式。通过漂洗可除去原料鱼肉的血液、脂质、肌浆蛋白和腥味成分等不利于淡水鱼加工的物质,提高鱼糜加工品质<sup>[18]</sup>。加工漂洗时的次数、温度和漂洗液成分都对鱼糜品质有一定影响。如袁凯等<sup>[19]</sup>发现白鲢鱼糜羰基化程度随漂洗温度升高而显著增大( $P<0.05$ ),漂洗次数增多可抑制羰基化积累,且 4℃低温和少次数漂洗处理有利于鱼糜品质的提高。此外,通过研究

含不同离子漂洗液对鲢鱼鱼糜品质的影响,发现含  $Zn^{2+}$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$  的漂洗液有利于鱼糜品质提高<sup>[20-21]</sup>。而 Priya-darshini 等<sup>[22]</sup>表明碱性盐溶液漂洗能获得更好的鲢鱼鱼糜。由此可见,漂洗是淡水鱼加工利用的第一道关键工序,恰当的漂洗条件可提高鱼糜加工利用率。

2.2.2 斩拌方式 斩拌是鱼糜制品生产的重要步骤,分为空斩、盐斩、料斩,能最大程度提取鱼肌肉中盐溶性肌原纤维蛋白以产生光滑纹理的鱼糜并将其他成分均匀混合到鱼糜中<sup>[23]</sup>。斩拌时间、速度、盐浓度和真空度等条件对淡水鱼鱼糜的凝胶特性都有影响。如王蒙娜等<sup>[24]</sup>分析了斩拌过程中氯化钠质量分数、斩拌转速、斩拌时间和真空度对白鲢鱼糜凝胶强度的作用,表明斩拌时间对鱼糜凝胶强度的影响最大( $P<0.01$ ),且斩拌转速和氯化钠浓度对凝胶强度也有影响( $P<0.05$ )。此外,通过研究真空度对鲢鱼鱼糜肌原纤维蛋白的物理化学和凝胶特性的影响,发现随着真空度的增加,鱼糜糊中气泡的大小和数量减少,高真空度下鱼糜凝胶的三维网络更加紧密有序<sup>[25]</sup>。可见,斩拌方式与鱼糜品质有较大相关性,加工利用时控制好斩拌时间可更好控制制品质量。

2.2.3 凝胶化方式 凝胶化是鱼糜及其制品加工利用中最关键的工序,直接影响成品品质。鱼糜凝胶化包括热诱导凝胶化、压力诱导凝胶化、超声波辅助凝胶化等,其中热诱导凝胶化方式最为常见。如闫虹等<sup>[26]</sup>发现加热提升白鲢鱼糜凝胶特性影响的顺序为:水浴微波联用加热>单独微波加热>水浴二段加热。此外,高压和超声也有利于构建鱼糜凝胶网络结构。有研究<sup>[27]</sup>证实,与传统二段式加热相比,高压处理形成的更有序凝胶网络结构使鳙鱼鱼糜凝胶质量更好,且能保持原料原有风味;Filomenaambrosio 等<sup>[28]</sup>研究表明,超声处理可改善鱼糜持水能力,制得最佳硬度和咀嚼性的罗非鱼鱼糜。由此可知,热诱导、压力诱导、超声辅助凝胶化等加工方式都可以引起鱼肉蛋白质变性、聚合形成凝胶,但不同处理方式引起形成凝胶的肌球蛋白结构变化不同。因此,淡水鱼鱼肉蛋白质在加工处理后,可通过多样的凝胶化方式制得品质不同的凝胶,从而满足消费者差异化的需求。

2.3 调味剂与添加剂

调味剂与添加剂可在淡水鱼加工利用时改善鱼糜及其制品的风味和营养价值。因加工工艺的需要,常添加食盐和蔗糖等调味剂,淀粉、壳聚糖、水溶性胶和非肌肉蛋白等添加剂改善产品质量。

2.3.1 调味剂 鱼糜加工利用中添加的适量食盐(常用钠盐)是生产优质鱼糜制品的基本保障,然而食盐的添加量通常可达到鱼糜重量的 2%~3%,不契合现代低盐食品需求。而陆剑锋等<sup>[29]</sup>将氯化钾、氯化钙与氯化钠 3 种盐类复配后,表明钠盐的添加量可降低至白鲢鱼糜重量的 1.0%,且鱼糜凝胶特性与复配前相当。糖(常用蔗糖)是非常重要的甜味剂,但甜味的鱼糜并不受消费者欢迎。此外,蔗糖也可以稳定临界水从而减少冰晶的形成,淡水鱼鱼糜及其制品中添加蔗糖可用以保水和防冻<sup>[30]</sup>。可见,在淡水鱼加工利用时,降低食盐和蔗糖的添加量能获得更营养健康的鱼糜产品。

2.3.2 添加剂 淀粉种类多样,是鱼糜加工利用中最常见的添加剂。Yang 等<sup>[31]</sup>发现高抗大米淀粉可提高草鱼鱼糜的凝胶性质,而 Li 等<sup>[32]</sup>表明添加马铃薯淀粉后有利于鲢鱼鱼糜制品的强度和保水性能的提高。此外,其他添加剂对淡水鱼鱼糜加工影响的研究也较多,Jeyakumari 等<sup>[33]</sup>研究发现壳聚糖可显著提高鲶鱼糜的凝胶强度并延长鲶鱼糜制品的保质期;Santana 等<sup>[34]</sup>研究表明水溶性胶如魔芋胶可显著提高罗非鱼鱼糜凝胶强度;石进等<sup>[35]</sup>研究证实乳清蛋白等非肌肉蛋白可提高鲢鱼糜凝胶强度;贾丹等<sup>[36]</sup>研究论证随转谷氨酰胺酶添加量的增加鳙鱼鱼糜凝胶的破断力和持水性先上升后下降。近年来,也有研究<sup>[37-39]</sup>说明氨基酸、大蒜水提物和姜酚等均有利于淡水鱼鱼糜凝胶形成。淡水鱼加工利用过程中,控制添加剂用量和种类可获得品质更好的鱼糜产品。

### 3 鱼糜腥味形成机理及脱腥方法

#### 3.1 腥味的形成

加工利用过程中,自然捕捞和人工养殖的淡水鱼都存在土腥味或腥臭味。如鲤、鲢、草鱼和罗非鱼等淡水鱼类的土腥味十分严重,极大地影响了鱼糜制品品质和消费需求<sup>[40]</sup>。一般而言,淡水鱼腥味成分主要是小分子醛、醇、酮、萜烯衍生物,鱼体内氧化三甲胺在微生物和酶的作用下分解生成的三甲胺和二胺也会增强腥味<sup>[41]</sup>。Gerber 等<sup>[42]</sup>最先研究表明具有土腥味的萜烯衍生物主要是土味素(Geosmin)和 2-甲基苄醇(MIB)。而伍瑞祥等<sup>[43]</sup>后续研究表明,淡水鱼类的土腥味就是由 Geosmin 和 MIB 等物质造成的,越靠近水底的淡水鱼腥味越重。

#### 3.2 脱腥方法

随着淡水鱼脱腥方法的不断发展,鱼糜及其制品的脱腥主要包括包埋、吸附、掩盖和漂洗等物理脱腥法;酸/碱处理、抗氧化剂处理、臭氧脱腥等化学脱腥法和生物脱腥法<sup>[44]</sup>。在鱼糜加工利用中物理脱腥法会降低产品风味,化学脱腥法易造成食品安全污染,而生物脱腥法因方便安全应用较多。如明庭红等<sup>[45]</sup>研究植物乳杆菌发酵草鱼的脱腥增香效果,发现发酵 120 h 后草鱼肉中的主要腥味物壬醛和 2,4-癸二烯醛等逐步减少,脱腥增香效果显著。此外,近年来结合现代食品科技检测淡水鱼鱼糜脱腥效果的研究也较多,如刘晓华等<sup>[46]</sup>利用超快速电子鼻检测定量分析鲶鱼肉土腥味变化,测定出鲶鱼肉腥味的主要成分是醛、醇和呋喃类物质,以及三甲胺特征腥味物质,从而进行针对性脱腥方法选择。可见,选择恰当的脱腥方法和检测技术,能更有针对性地控制淡水鱼腥味物质的产生,提高无腥味鱼糜制品的需求。

### 4 展望

淡水鱼深加工已成为中国现代化淡水渔业发展的必然趋势,淡水渔业的生产量有了长足的增长。鱼糜及其制品作为淡水渔业的核心产品,其加工利用也得到了相当大的发展。但在加工利用中鱼糜及其制品还存在着加工利用率不高,加工特性变化大等问题。发展中国淡水鱼鱼糜加工产业,还有不足之处需要完善和解决:

(1) 淡水鱼鱼糜加工利用的基础研究不足,鱼糜制品的加工水平和营养价值低。应进一步加强淡水鱼相关基础研究,改良淡水鱼鱼糜加工工艺,提升淡水鱼鱼糜制品品质,为优化淡水鱼糜及其制品的加工利用水平提供理论基础。

(2) 淡水鱼鱼糜加工运输体系和运输条件不完备,淡水鱼加工原料只能小范围流动。应探索新型鱼糜及其制品保存方式,完善鱼糜及其制品贮存体系和冷链物流技术体系,遏制运输流通过程中鱼糜质量劣化的发生。

(3) 淡水鱼鱼糜生产加工设备落后,所得产品成本偏高竞争力较差。应建设大型厂房集中处理淡水鱼原料,解决淡水鱼分布分散的问题;开发淡水鱼鱼糜及制品专用生产线,解决因鱼的种类不同混用设备出现的加工隐患;进行优化育种及品种改良,使其肌肉蛋白质更适合于鱼糜生产;大力开发新式鱼糜食品,如需求量较大的模拟蟹腿、干制鱼糜制品、鱼糜火腿、烹饪中的配料等市场适销品种。

#### 参考文献

[1] JIAN Wen-jie, WU Hua-yi, WU Lan-lan, et al. Effect of molecular characteristics of Konjac glucomannan on gelling and rheological properties of *Tilapia* myofibrillar protein[J]. Carbohydrate Polymers, 2016, 150: 21-31.

[2] 秦影, 欧昌荣, 汤海青, 等. 鱼糜制品凝胶特性研究进展[J]. 核农学报, 2015, 29(9): 1 766-1 773.

[3] 夏文水, 许艳顺, 葛黎红. 我国淡水鱼加工产业存在的问题与研究进展[J]. 科学养鱼, 2014, 30(10): 1-2.

[4] 宋迁红, 赵永锋. 我国淡水鱼加工产业浅析[J]. 科学养鱼, 2014 (9): 12-17.

[5] 农业部渔业渔政管理局. 2017 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2017.

[6] 孙保华, 郑秋鹏. 鱼糜功能特性的研究现状[J]. 食品与机械, 1999(4): 189-190.

[7] YU Nan-nan, XU Yan-shun, JIANG Qi-xing, et al. Molecular forces involved in heat-induced freshwater surimi gel: Effects of various bond disrupting agents on the gel properties and protein conformation changes[J]. Food Hydrocolloids, 2017, 69: 193-201.

[8] ZHOU Ai-mei, LIN Li-ying, LIANG Yan, et al. Physicochemical properties of natural actomyosin from threadfin bream (*Nemipterus*, spp.) induced by high hydrostatic pressure[J]. Food Chemistry, 2014, 156: 402-407.

[9] 张梦玲, 樊瑶, 张晋, 等. 鲢鱼糜凝胶力学性能对热处理方式的响应性研究[J]. 现代食品科技, 2017, 33(2): 129-135.

[10] FERRY J D. Protein gels[J]. Advances in Protein Chemistry, 1948, 4: 1-78.

[11] 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: 111.

[12] ZHANG Yi-huan, XIA Wen-shui. Studies on comparison of gel properties of conventional freshwater fish surimi gel[J]. Journal of Food Science & Biotechnology, 2012, 31(6): 654-660.

[13] 朱瑞麒. 淡水鱼鱼糜制品质量影响因素及其冷冻工艺优化[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2015: 37.

[14] 董永. 淡水鱼骨骼肌肌球蛋白热稳定性及凝胶特性的季节变

化[D]. 上海: 上海海洋大学, 2008: 39.

[15] ZHENG Liang, YU Ke-feng, YUAN Chun-hong, et al. Characterization of myosin subfragment-1 of summer and winter silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) muscle[J]. *Journal of Food Science*, 2012, 77(9): 914-920.

[16] 吕顺, 王冠, 陆剑锋, 等. 鲢鱼新鲜度对鱼糜凝胶品质的影响[J]. *食品科学*, 2015, 36(4): 241-246.

[17] 刘建华, 罗亚洪, 苏琦, 等. 低温对鱼蛋白品质的影响及新型抗冻剂的保护作用[J]. *核农学报*, 2017, 31(6): 1 137-1 144.

[18] 朱琳, 金达丽, 李星, 等. 不同溶液漂洗处理对淡水鱼糜品质的影响[J]. *食品科技*, 2018, 43(1): 129-133.

[19] 袁凯, 张龙, 谷东陈, 等. 基于漂洗工艺探究白鲢鱼糜加工过程中蛋白质氧化规律[J]. *食品与发酵工业*, 2017, 43(12): 30-36.

[20] 乔翠平, 仪淑敏, 余永名, 等. 漂洗过程中锌离子对鲢鱼鱼糜凝胶特性的影响[J]. *食品科学*, 2017, 38(19): 12-17.

[21] ZHANG Long-teng, LI Qian, SHI Jing, et al. Changes in chemical interactions and gel properties of heat-induced surimi gels from silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) fillets during setting and heating: Effects of different washing solutions[J]. *Food Hydrocolloids*, 2017, 75: 116-124.

[22] PRIYADARSHINI B, MAJUMDAR R K, PARHI J, et al. Gel properties of sutchicatfish (*Pangasius hypophthalmus*) surimi as affected by selected washing process and number of washing cycles[J]. *Food Science and Technology International*, 2016, 22(3): 266-274.

[23] MA Yao-lan, XIONG Shan-bai, YOU Juan, et al. Effects of vacuum chopping on physicochemical and gelation properties of myofibrillar proteins from silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*)[J]. *Food Chemistry*, 2017, 245: 557-563.

[24] 王蒙娜, 熊善柏, 尹涛, 等. 白鲢鱼糜斩拌工艺参数优化研究[J]. *食品科学技术学报*, 2017(5): 61-65.

[25] 马瑶兰, 熊善柏, 尹涛, 等. 斩拌方式和氯化钠浓度对白鲢鱼糜品质特性的影响[J]. *现代食品科技*, 2017, 33(8): 182-187.

[26] 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[J]. *现代食品科技*, 2014, 30(4): 196-204.

[27] LIANG Yan, GUO Bao-yan, ZHOU Ai-mei, et al. Effect of high pressure treatment on gel characteristics and gel formation mechanism of bighead carp (*Aristichthys nobilis*) surimi gels[J]. *Journal of Food Processing & Preservation*, 2017, 41(5): 1-8.

[28] FILOMENAAMBROSIO A, QUINTANILLACARVAJAL M X, ANAPUIG, et al. Changes of the water-holding capacity and microstructure of panga and tilapia surimi gels using different stabilizers and processing methods[J]. *Food Science and Technology International*, 2016, 22(1): 68-78.

[29] 陆剑锋, 邓伟, 林琳, 等. 白鲢鱼糜低钠复合盐配方响应面法优化[J]. *农业机械学报*, 2012, 43(10): 143-150.

[30] STARZAK M, PEACOCK S D, MATHLOUTHI M. Hydration number and water activity models for the sucrose-water system: a critical review[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2000, 40(4): 327-367.

[31] YANG Zhen, WANG Wei, WANG Hai-yan, et al. Effects of a highly resistant rice starch and pre-incubation temperatures on the physicochemical properties of surimi gel from grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*)[J]. *Food Chemistry*, 2014, 145: 212-219.

[32] LI Tang-fei, ZHAO Jian-xin, HUANG Jie, et al. Improvement of the quality of surimi products with overdrying potato starches[J]. *Journal of Food Quality*, 2017, 2017(10): 1-5.

[33] JEYAKUMARI A, NINAN G, JOSHY C G, et al. Effect of chitosan on shelf life of restructured fish products from pangasius (*pangasianodon hypophthalmus*) surimi during chilled storage[J]. *Journal of Food Science & Technology*, 2016, 53(4): 2 099-2 107.

[34] SANTANA P, HUDA N, YANG T A. The addition of hydrocolloids (Carboxymethylcellulose, Alginate and Konjac) to improve the physicochemical properties and sensory characteristics of fish sausage formulated with surimi powder[J]. *Turkish Journal of Fisheries & Aquatic Sciences*, 2013, 13(4): 561-569.

[35] SHI Jing, LUO Yong-kang, SHEN Hui-xing, et al. Gel properties of surimi from silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*): effects of whey protein concentrate, CaCl<sub>2</sub>, and setting condition[J]. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 2014, 23(5): 489-497.

[36] 贾丹, 刘茹, 刘明菲, 等. 转谷氨酰胺酶对鲮鱼糜热诱导凝胶特性的影响[J]. *食品科学*, 2013, 34(9): 37-41.

[37] 石彤. 氨基酸对花鲢肌球蛋白热聚集行为影响的研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2017: 7-9.

[38] MAJUMDAR R K, SAHA A, DHAR B, et al. Effect of garlic extract on physical, oxidative and microbial changes during refrigerated storage of restructured product from Thai pangas (*pangasianodon hypophthalmus*) surimi[J]. *Journal of Food Science & Technology*, 2015, 52(12): 7 994.

[39] MI Hong-bo, ZHAO Bo, WANG Cong, et al. Effect of 6-gingerol on physicochemical properties of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) surimi fortified with perilla oil during refrigerated storage [J]. *Journal of the Science of Food & Agriculture*, 2017, 97(14): 4 807-4 814.

[40] SELLI S, PROST C, SEROT T. Odour-active and off-odour components in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) extracts obtained by microwave assisted distillation-solvent extraction[J]. *Food Chemistry*, 2009, 114(1): 317-322.

[41] 王国超, 李来好, 郝淑贤, 等. 水产品腥味物质形成机理及相关检测分析技术的研究进展[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(5): 401-404, 409.

[42] GERBER N N, LECHEVALIER H A. Geosmin, an earthy-smelling substance isolated from actinomycetes[J]. *Applied Microbiology*, 1965, 13(6): 935-938.

[43] 伍瑞祥, 吴涛. 淡水鱼土腥味物质及脱腥技术研究进展[J]. *长江大学学报: 自科版*, 2011, 8(10): 253-256.

[44] 周蓓蓓, 胡王, 陈小雷, 等. 鱼制品腥味物质检测分析及去除技术研究进展[J]. *食品研究与开发*, 2016, 37(14): 185-192.

[45] 明庭红, 裴迪红, 周君, 等. 基于植物乳杆菌发酵草鱼脱腥增香的研究[J]. *中国食品学报*, 2017, 17(10): 202-210.

[46] 刘晓华, 范三红, 马俪珍, 等. 利用 Flash E-Nose 方法探究漂洗处理对鲢鱼鱼糜的脱腥效果[J]. *食品科学*, 2015, 36(2): 132-136.