

营养强化型鱼糜制品研究进展

何丹¹, 申铨日^{1,2,*}

(1. 南海水产资源高效利用工程研究中心, 海南大学食品科学与工程学院, 海南 海口 570228;

2. 海洋食品精深加工关键技术省部共建协同创新中心, 海南 海口 570228)

摘要: 鱼糜制品是一类以鱼碎肉或鱼糜为原料, 经擂溃、成型、凝胶化等过程制成的凝胶状食品。漂洗、冷冻、加热等工艺均导致鱼糜制品不同程度的营养流失。本文首先阐述了造成鱼糜制品营养损失的原因, 在此基础上, 通过改善加工工艺减少鱼糜制品的营养流失, 以及外源添加物在制备营养强化型鱼糜制品中的应用现状及发展趋势进行介绍, 旨在为制备营养强化型鱼糜制品提供理论参考。

关键词: 鱼糜制品; 加工工艺; 营养强化; 外源添加物

Recent Progress in Nutrient-Fortified Surimi Products

HE Dan¹, SHEN Xuanri^{1,2,*}

(1. Hainan Engineering Research Center of Aquatic Resources Efficient Utilization in South China Sea,

College of Food Science and Technology, Hainan University, Haikou 570228, China;

2. Collaborative Innovation Center of Seafood Deep Processing, Haikou 570228, China)

Abstract: Surimi products are gelatinous foods made from minced fish or surimi through sequential blending, molding, and gelation. Rinsing, freezing, and heating processes can lead to varying degrees of nutrient loss in surimi products. This article explains the cause of the nutritional loss of surimi products, and reviews the improved processing technology to reduce the nutritional loss of surimi products, as well as the current applications and future trends of exogenous additives in the preparation of nutrient-fortified surimi products. Hopefully, this review will provide a theoretical reference for the preparation of nutrient-fortified surimi products.

Keywords: surimi products; processing technology; nutrition-fortified; exogenous additives

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20210527-154

中图分类号: TS240.4

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2021) 09-0058-06

引文格式:

何丹, 申铨日. 营养强化型鱼糜制品研究进展[J]. 肉类研究, 2021, 35(9): 58-63. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20210527-154. <http://www.rlyj.net.cn>

HE Dan, SHEN Xuanri. Recent progress in nutrient-fortified surimi products[J]. Meat Research, 2021, 35(9): 58-63.

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20210527-154. <http://www.rlyj.net.cn>

鱼糜制品是以鱼碎肉或鱼糜, 辅以抗冻剂、淀粉等食品添加剂, 制成弹性好、腥味淡、风味独特的低成本产品^[1]。鱼糜制品因其营养丰富、高蛋白、低脂肪等特点, 深受消费者青睐。在鱼糜制备过程中, 鱼糜营养受多种因素影响, 包括漂洗^[2]、预煮^[3]、食用前的再次烫煮^[4]等, 这些处理均会对鱼糜制品营养

造成不同程度的损失。在鱼糜制品的加工、贮藏、运输等过程中, 为了防止腐败变质, 通常采用冷冻等方式进行保藏, 但长时间的冷冻处理会对鱼糜制品的营养造成破坏^[5]。开展营养强化型鱼糜制品的加工及开发, 对改善鱼糜制品营养流失、迎合不同人群营养需求及水产品副产物的高值化利用意义重大。本文综述

收稿日期: 2021-05-27

基金项目: 海南省重点研发计划项目 (ZDYF2019087); 海口市“十三五”海洋经济创新发展示范市项目 (HHCL201804);

海南大学科研启动基金资助项目 (kyqd1662)

第一作者简介: 何丹 (1997—) (ORCID: 0000-0003-3473-8997), 女, 硕士研究生, 研究方向为水产品加工。

E-mail: 1192188119@qq.com

*通信作者简介: 申铨日 (1968—) (ORCID: 0000-0003-4750-7901), 男, 教授, 博士, 研究方向为水产品加工及贮藏工程。

E-mail: shenxuanri2009@163.com

营养强化型鱼糜制品研究进展, 以期为深入研究鱼糜营养提供理论依据。

1 鱼糜制品加工工艺的改进

目前, 用于减少漂洗、预煮、冷冻贮藏等工艺造成鱼糜制品营养流失的方法主要有改善漂洗工艺、开发未漂洗鱼糜制品、添加外源添加物和采用新型加热方式等。

1.1 漂洗工艺

在传统鱼糜生产工艺中, 漂洗是不可缺少的工序之一。经过漂洗可除去鱼肉中大部分水溶性蛋白、脂肪、色素和气味化合物等, 从而改善鱼糜制品的凝胶强度和白度, 但同时会损失一部分水溶性的营养物质, 如非蛋白氮、水溶性维生素、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等, 并会降低鱼糜制品产量。因此, 有必要开发与水洗鱼糜具有相同凝胶性能和白度的未漂洗鱼糜制品。通过缩短漂洗时间和减少漂洗次数等改善漂洗工艺, 降低鱼糜制品营养的损失。鲍佳彤等^[6]研究不同淀粉种类对未漂洗草胡子鲶鱼鱼糜凝胶特性的影响, 结果表明, 添加淀粉不仅能减少漂洗带来的营养流失, 还能更好地改善鱼糜凝胶特性。Wang Ruihong等^[7]研究不同添加量鸡胸肉对未漂洗鲟鱼鱼糜凝胶理化性质的影响, 发现添加40%鸡胸肉后, 鱼糜凝胶的硬度、弹性、胶着性和咀嚼性分别显著提高84.54%、76.71%、67.90%和107.99% ($P<0.05$), 表明鸡胸肉的加入可增强未洗鲟鱼鱼糜的凝胶性能。

1.2 冷冻工艺

冷冻是保持鱼糜制品质量的主要贮藏方式。冷冻贮藏可抑制蛋白质降解和微生物生长。但冷冻贮藏鱼糜制品的质量受到鱼肉中冷胁迫诱导的肌原纤维蛋白变性和氧化的限制^[8]。不同冷冻条件会导致肌原纤维蛋白的理化和功能特性(浊度、乳化性、持水性和热稳定性)发生改变, 从而导致鱼糜制品弹性、营养和风味等大大降低^[9]。许多研究试图通过添加碳水化合物、蛋白质水解物、膳食纤维和多酚类物质(即抗氧化剂)提高冷冻贮藏期间鱼糜制品的质量, 延长其保质期^[10]。Sharma等^[11]探究胡萝卜浓缩蛋白作为添加剂对鲟鱼鱼糜冷冻6个月($-20\text{ }^{\circ}\text{C}$)功能和质构特性的影响, 结果表明, 在鱼糜冻藏过程中, 胡萝卜浓缩蛋白可在防止蛋白质变性的同时, 替代50%以上的人工合成抗冻剂。Zhou Wenjuan等^[12]以鲢鱼副产物为原料制备蛋白水解物作为抗冻剂, 结果表明, 与商业抗冻剂相比, 适量的鱼糜蛋白水解液可以作为一种有效的冷冻保护剂, 并且不会增加鱼糜制品的甜度。邵颖等^[13]添加魔芋葡甘露聚糖降解产物及葡聚糖T7(7 000 Da), 研究冻藏过程中肌原纤维蛋白的变性情况, 结果表明, 葡聚糖T7、酶解魔芋葡甘露聚糖及辐照降解魔芋葡甘露聚糖都具有明显的冷冻保护作用。

1.3 加热工艺

热处理是鱼糜制品凝胶形成的重要途径之一, 传统的热处理有蒸煮、烤制和煎炸等, 主要依靠传热介质进行。这类方法普遍存在热效率低、破坏营养、耗时较长等诸多问题。为了减少热处理对鱼糜制品造成的营养流失, 目前已有研究利用微波、欧姆加热等电磁场对鱼糜制品进行热处理^[14]。此外, 也进行了免预煮鱼糜制品的研发。Liang Feng等^[15]研究超声辅助加热、微波结合水浴加热对鱼糜蟹肉复合凝胶性能的影响, 结果表明, 微波加热可改善复合凝胶质构并提高其保水性, 超声辅助加热可增加水分含量并改善表面形貌。Jung等^[16]对比水浴和欧姆加热两种加热方式对玉米混合凝胶鱼糜罐头水分含量的影响。与水浴加热相比, 欧姆加热使混合凝胶加热后的失水率显著降低, 且其质构明显优于水浴加热。高宇等^[17]利用葡萄糖酸内酯制备低温酸诱导罗非鱼碎肉凝胶, 结果表明, 罗非鱼碎肉中添加2.4%的葡萄糖酸内酯可改善鱼糜制品品质。

2 鱼糜制品中外源添加物的利用

外源添加物对鱼糜制品质构形成、风味口感、营养价值方面至关重要, 合理的利用外源添加物不仅可以改善鱼糜制品质构特性, 还能丰富其口感和营养。外源添加物主要包括油脂、蛋白质、膳食纤维、矿物质、植物化学物、海洋成分等。

2.1 油脂

鱼糜制品中的脂质成分在漂洗阶段被去除, 而油脂中所含有的 ω -3脂肪酸, 如二十碳五烯酸(eicosapentenoic acid, EPA)和二十二碳六烯酸(docosahexaenoic acid, DHA)对人体健康有许多益处^[18]。目前已有许多研究通过添加外源脂质, 主要是动物油和植物油来提高鱼糜制品中多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acid, PUFA)含量^[19-21], 但动物油脂中含有大量的胆固醇和饱和脂肪酸(saturated fatty acid, SFA), 过多的摄入会增加心血管、高血压、高血脂等疾病风险, 因此, 人们越来越青睐于添加植物油来提高PUFA含量。近年来, 人们通过添加油茶籽油^[22]、紫苏籽油^[23]、椰子油^[20]、大豆油^[24]、亚麻籽油^[25]、鱼油^[26]等改善鱼糜制品凝胶特性及提高鱼糜制品营养价值, 但不同来源的油脂对鱼糜制品的作用和影响也不同。添加油茶籽油的鱼糜制品, 其油脂和蛋白质化学结构发生改变, 使得其凝胶强度、乳化稳定性、持水性得以提高。富含 α -亚麻酸的紫苏籽油可改善鱼糜制品的白度但会使鱼糜的品质略微下降。鱼油富含DHA、EPA, 经鱼油乳化制备的鱼糜制品, 其冻藏前后的持水性、白度和断裂强度显著提高^[27]。不同油脂的脂肪酸组成及相对含量如表1所示。

表1 不同油脂的脂肪酸组成及相对含量
Table 1 Fatty acid composition of vegetable and fish oils

脂肪酸组成	油茶籽油 ^[28]	紫苏籽油 ^[29]	椰子油 ^[30]	大豆油 ^[31]	亚麻籽油 ^[32]	鱼油 ^[33]
油酸 (C _{18:1})	72.52~84.78	13.58~26.85	5.56	24.13~36.86	10.03~12.37	13.46~27.94
亚油酸 (C _{18:2})	4.85~13.74	9.02~11.47	0.94	41.69~46.21	10.14~16.39	1.31~2.99
棕榈酸 (C _{16:0})	6.44~10.99	5.60~7.17	8.64	12.13~14.86	2.41~7.97	12.51~29.85
硬脂酸 (C _{18:0})	1.09~2.98	1.91~2.43	3.41	5.43~6.81	3.98~9.85	3.39~8.92
亚麻酸 (C _{18:3})	0.45~1.30	57.67~69.35	0.10	1.09~10.89	53.36~65.84	0.42~0.91
不饱和脂肪酸	约90	91.1~93.8	6.61	77.48~81.11	89.61	50~70
SFA	约10	约8	93.39	18.89~22.52	10.39	30~50
PUFA	7.22~8.97	70.7~83.4	1.04	43.15~52.81	64.37	25~35

2.2 蛋白质

蛋白质是鱼糜制品制备过程中常用的一种外源添加剂，其不仅能改善鱼糜制品的口感，提升营养价值，提高凝胶强度、弹性等，还可降低生产成本。但不同的蛋白质对鱼糜制品的作用机制和影响程度不尽相同^[34]。鱼糜制品中添加的蛋白质种类如图1所示，蛋白质主要分为肌肉蛋白和非肌肉蛋白。

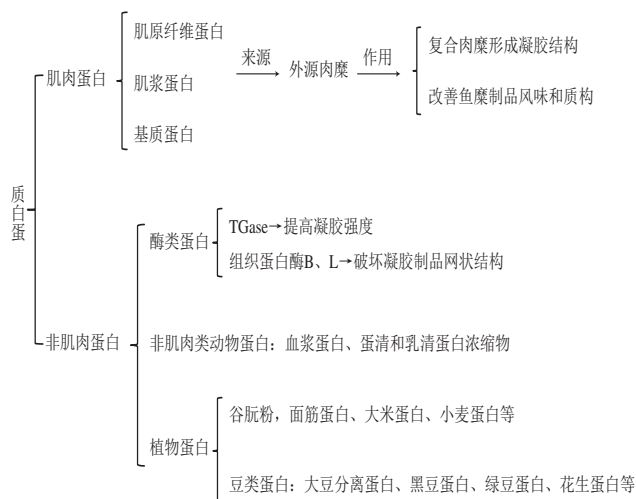


Fig. 1 Types of protein added in surimi products

肌肉蛋白主要是通过添加外源肉制品，如鸡肉、蟹肉、鱼肉等蛋白含量较高的肉类。Wang Ruihong等^[7]向未漂洗的鲟鱼鱼糜中添加不同量的鸡胸肉，发现添加40%鸡胸肉的未漂洗鱼糜制品的凝胶性能明显优于未添加鸡胸肉的漂洗鱼糜制品。Liang Feng等^[35]研究发现在鱼糜中添加蟹肉可显著提高鱼糜的脂肪和某些矿物质（钠、镁、钙、铜、铁、锌）的含量，并改善鱼糜制品风味。结果表明，可利用蟹肉来提高鱼糜产品的营养和风味。Yi Shumin等^[36]探究海水鱼与淡水鱼鱼糜的混合凝胶性能，发现混合鱼糜比纯鱼糜凝胶结构更为紧密，且白度更高。

非肌肉蛋白可以增加鱼糜制品的口感和凝胶强度，主要包括酶类蛋白、植物蛋白、非肌肉类动

物蛋白。酶类蛋白中最为突出的是谷氨酰胺转氨酶（transglutaminase, TGase）。Li Yu等^[37]发现添加TGase，不仅增加鱼糜凝胶的交联度，还能促进鱼糜营养物质的消化吸收。植物蛋白多包括谷朊粉及豆类蛋白，其中豆类蛋白含有蛋白酶抑制剂，不仅可以抑制由内源性蛋白酶引起的凝胶自溶和劣化现象，还能改善凝胶质地。Mi Hongbo等^[38]探究大豆分离蛋白和TGase联用对栉孔扇贝闭壳肌凝胶性质的影响，结果表明，TGase可促进大豆分离蛋白与蛋白质的交联作用，进而提高凝胶性能。非肌肉类蛋白最为常见的是蛋清蛋白和乳清蛋白，Benjakul等^[39]探究乳清浓缩蛋白和氯化钙组合使用对山羊肉鱼糜凝胶性能的影响，发现与添加氯化钙相比，添加乳清浓缩蛋白的鱼糜结构更为致密，凝胶性能更好，但随添加量增加，鱼糜白度有所下降。

2.3 膳食纤维

膳食纤维是健康饮食不可缺少的，在保持消化系统健康方面扮演着重要角色，摄取足够的膳食纤维可预防糖尿病、癌症、心血管疾病等。膳食纤维具有良好的吸水性、膨胀性及营养性，可使鱼糜蛋白形成的网络结构具有良好的保水性。在低盐鲢鱼制品中添加可溶性褐藻膳食纤维，产品硬度、弹性、咀嚼性显著增大^[41]。Alakhrash等^[42]研究燕麦麸对阿拉斯加鳕鱼鱼糜凝胶理化性质的影响，发现掺入6 g/100 g的燕麦麸可极大提高凝胶质地，但会在一定程度上降低鱼糜凝胶白度。

2.4 矿物质

矿物质是构成机体组织的重要组分，人体内矿物质不足可能出现许多症状，但其在人体内不能自行合成，必须通过膳食进行补充。鱼糜制品中的矿物质元素，如钙、镁离子等，由于漂洗等加工工艺均有不同程度的流失。目前多通过添加鱼骨粉和富含钙质的鱼肉来提高鱼糜制品矿物质营养。鱼骨中含有丰富的钙、磷等矿物质，是一种优质的天然钙源，添加1.00%鱼骨粉可在有效改善鱼糜凝胶特性的同时提高鱼糜制品的钙含量^[43]。有研究报道，在鱼糜中添加蟹肉可显著提高鱼糜的某些矿物质含量（钠、镁、钙、铜、铁、锌），利用蟹肉制作鱼糜是提高鱼糜产品营养和风味的可行方法之一^[35]。

2.5 植物化学物

植物化学物是指由植物代谢产生的低分子质量的末端产物（次级植物代谢产物）通过降解或合成产生不再对代谢过程起作用的化合物的总称。植物化学物具有抗癌、抗氧化、免疫调节、抗微生物、降胆固醇等功效。应用于鱼糜制品中的植物化学物多为多酚类和类胡萝卜素，如苹果多酚、茶多酚、虾青素等。添加多酚含量较高的橄榄叶粉可使鱼糜凝胶形成更为致密的蛋白质网络结构，但凝胶白度有所下降^[44]。鱼糜制品中的脂肪极易氧化，脂肪的氧化会促进蛋白质氧化，造成鱼糜制品营

养及品质下降,茶多酚不仅具有良好的抗氧化活性,还能改善鱼糜凝胶性能,形成更为紧密的网络结构^[45]。

2.6 海洋源性成分

海洋生物体内生物活性物质种类繁多,具有健脑益智、预防肿瘤和心脑血管疾病、调节血压等功能。应用于鱼糜制品的海洋源性成分多为鱼油、海藻、多肽、多糖等。通过在鱼糜制品中添加富含DHA、EPA的鱼油可以提高鱼糜制品的PUFA含量^[26]。添加1%以上的可溶性褐藻膳食纤维能够明显改善低盐鱼糜制品硬度、弹性,并增加膳食纤维含量,提高其营养价值^[46]。海洋生物多糖/寡糖可降低鱼糜中脂肪氧化和酸败,改善贮藏期间鱼糜制品的色泽和含水量。Soares等^[47]研究发现0.5%和0.75%壳聚糖涂膜处理可有效防止冷冻鲑鱼腐败,0.5%壳聚糖涂膜就可有效抑制油脂氧化。紫菜粉富含海藻多糖等活性成分,能提高鱼糜制品保水能力,改善鱼肉肌原纤维蛋白凝胶特性,同时符合均衡搭配的食品营养原则^[48]。Jannat-Alipour等^[49]研究发现添加海藻粉和硫酸多糖不仅能提高鱼糜重组产品的营养,还能延长其货架期。

3 鱼糜制品营养评价

鱼糜制品是一类营养价值丰富、口味多样的高蛋白、低胆固醇食品,深受人们青睐。氨基酸在鱼糜制品中的作用不可忽视,不仅是重要滋味物质和香味物质前体,还能协同体系中的其他成分影响整体风味^[50]。当鱼糜制品中必需氨基酸组成越接近人体必需氨基酸模式时,其吸收利用率较高^[51]。利用世界卫生组织和联合国粮农组织评价蛋白质营养价值的理想蛋白模式对氨基酸进行评分,对鱼糜制品进行营养评价。脂肪酸的组成及含量也会直接影响鱼糜制品的风味^[52]。中国营养学会推荐人体膳食脂肪酸摄入比值SFA:单不饱和脂肪酸(monounsaturated fatty acid, MUFA):PUFA为1:1:1^[53],通过分析SFA、MUFA和PUFA含量及其比值,也可对鱼糜进行营养评价。此外,维系人体健康必不可少的矿物元素也是鱼糜制品的营养评价指标之一,通过对鱼糜制品钙磷比及矿物元素含量进行分析,根据目前中国居民膳食营养素中矿物质的参考摄入量,评价其营养价值^[54]。对鱼糜制品基本营养成分、氨基酸、脂肪酸、矿物元素等营养物质进行分析评价,为提高鱼糜制品品质及合理开发利用营养强化型鱼糜制品提供参考。

4 鱼糜制品品质及保质期的评价方法及效果

鱼糜制品的品质评价指标主要包括持水性、色泽、凝胶特性、感官评价、蛋白质二级结构、微观结构以及聚丙烯酰胺凝胶电泳(sodium dodecyl sulfate polyacrylamide gel electrophoresis, SDS-PAGE)的变化

规律^[55]。持水性能够反映蛋白质结合水的能力,较高的持水性说明鱼糜制品蛋白交联更加紧密,形成的三维网状结构更牢固,可以直观地评价鱼糜制品的质量和品质。鱼糜制品的质构特性如硬度、弹性、内聚性、胶着性、咀嚼性也是评价鱼糜制品品质的重要指标,其中弹性和内聚性可评估蛋白质的交联程度。鱼糜制品的外观、颜色、气味、滋味等是评价鱼糜制品质量的直观指标。蛋白质二级结构是指肽链主链骨架原子的空间构象,包括 β -折叠、无规卷曲、 α -螺旋、 β -转角,二级结构的变化在很大程度上决定了蛋白质的功能特性。 β -折叠和 β -转角是蛋白质聚集和形成良好凝胶的基础结构,其含量增加,可改善凝胶质地; α -螺旋下降有利于蛋白质聚集。鱼糜凝胶的微观结构和组成是影响鱼糜制品凝胶特性的重要因素,通过扫描电子显微镜分析鱼糜制品的微观结构,凝胶三维网络结构越致密均匀有序,其破坏强度和凝胶强度越大^[55]。对从鱼糜制品中提取出的肌原纤维蛋白进行SDS-PAGE分析,其主要条带为肌球蛋白重链(220 kDa)、肌动蛋白(43 kDa),根据条带灰度并结合持水性和凝胶强度可评价蛋白质交联程度。Zheng Mingjing等^[56]研究粗褐藻糖胶对鱼糜凝胶理化性质的影响,发现添加0.125%褐藻糖胶鱼糜制品的凝胶强度和持水性显著提高,但随褐藻糖胶添加量进一步增加而降低,其对鱼糜制品的质构特性影响不大;扫描电子显微镜观察发现,低添加量的褐藻糖胶可促进蛋白质交联和凝胶网络结构致密化,改善鱼糜制品的凝胶性能。鱼糜品质评价及评价效果如表2所示。

表2 鱼糜品质评价及评价效果

Table 2 Quality evaluation of surimi products

鱼糜品质指标	评价方法	参考文献
持水性	持水性提高,蛋白质交联更紧密	
色泽	白度增加,鱼糜品质提高	[57]
凝胶特性	鱼糜凝胶硬度、弹性、凝胶强度增加,蛋白分子间交联更紧密	
感官特性	鱼糜凝胶的气味、色泽和总体可接受性等指标评分越高,鱼糜品质越好	[58]
蛋白质二级结构	β -折叠、 β -转角含量增加,有利于凝胶形成	
微观结构	鱼糜组织均匀致密,排列整齐,鱼糜凝胶具有良好的弹性	[59]
SDS-PAGE分析	主要蛋白条带越宽、越清晰明亮,说明蛋白含量越高	

食品保质期是指当食品在推荐条件下贮藏,能够保持理想的感官、理化和微生物特性,保留标签声明中营养值的时间。鱼糜制品在运输贮藏期间,由于酶和微生物的作用,极易发生脂质氧化和微生物变质。鱼糜制品的脂质和蛋白质氧化是影响其保质期的主要因素。富含PUFA的鱼糜制品在加工贮藏过程中脂肪易氧化变质导致其货架期变短,成为限制鱼糜制品综合加工利用的主要因素,因此需采用保鲜技术来维持其较好的感官特性,延缓其腐败变质,保证鱼糜制品的新鲜度及接受度^[60]。通过测定贮藏期间鱼糜制品感官可接受性、脂质氧化程度、微生物数量的变化,对其保质期进行评价。

5 结 语

近年来对鱼糜制品的研究多在改善其凝胶性能方面,但鱼糜制品的营养强化也越来越成为关注焦点。一方面,通过改善漂洗工艺、开发未漂洗鱼糜制品以及采用新型加热方式等,减少漂洗、预煮、冷冻贮藏等工艺对鱼糜制品营养流失造成的影响;另一方面,在减少营养流失的前提下,添加外源添加物,如油脂、蛋白质、碳水化合物、膳食纤维、矿物质、植物化学物、海洋源性成分等营养物质来提高鱼糜制品营养价值,尤其是增加鱼糜制品中PUFA及特殊营养成分。然而如何在保证鱼糜制品品质的前提下尽可能提高鱼糜制品中PUFA含量是目前面临的问题之一。因此,未来可从添加天然防腐剂与采用新型保鲜技术等方面深入研究抑制高脂肪酸含量鱼糜制品腐败变质的保鲜措施。

参考文献:

- [1] KETNAWA S, BENJAKUL S, MARTINEZ-ALVAREZ O, et al. Physical, chemical, and microbiological properties of fish tofu containing shrimp hydrolysate[J]. Fisheries Science, 2016, 82(2): 379-389. DOI:10.1007/s12562-015-0954-8.
- [2] 宁云霞, 杨淇越, 鲍佳彤, 等. 抗氧化剂对未漂洗革胡子鲶鱼鱼糜品质的影响[J]. 肉类研究, 2020, 34(7): 84-90. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20200410-091
- [3] CAO Hongwei, FAN Daming, JIAO Xidong, et al. Importance of thickness in electromagnetic properties and gel characteristics of surimi during microwave heating[J]. Journal of Food Engineering, 2019, 248: 80-88. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2019.01.003.
- [4] 朱震康. 以鱼肉为主原料的蒸煮鱼糜制品的生产方法[J]. 水产科技情报, 1988(1): 25.
- [5] 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: 11-20. DOI:10.7666/d.y2772068
- [6] 鲍佳彤, 宁云霞, 杨淇越, 等. 不同淀粉种类对未漂洗革胡子鲶鱼鱼糜凝胶特性的影响[J]. 肉类研究, 2020, 34(4): 27-33. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20200131-026.
- [7] WANG Ruihong, GAO Ruichang, XIAO Feng, et al. Effect of chicken breast on the physicochemical properties of unwashed sturgeon surimi gels[J]. LWT-Food Science and Technology, 2019, 113: 108306. DOI:10.1016/j.lwt.2019.108306.
- [8] SHI Jing, ZHANG Longteng, LEI Yutian, et al. Differential proteomic analysis to identify proteins associated with quality traits of frozen mud shrimp (*Solenocera melanthero*) using an iTRAQ-based strategy[J]. Food Chemistry, 2018, 251: 25-32. DOI:10.1016/j.foodchem.2018.01.046.
- [9] MARTINEZ-ALVAREZ O, MONTERO P, LOPEZ-CABALLERO M E, et al. The effect of different melanosis-inhibiting blends on the quality of frozen deep-water rose shrimp (*Parapenaeus longirostris*)[J]. Food Control, 2019, 109: 106889. DOI:10.1016/j.foodcont.2019.106889.
- [10] MAHATO S, ZHU Z W, SUN D W. Glass transitions as affected by food compositions and by conventional and novel freezing technologies: a review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2019, 94: 1-11. DOI:10.1016/j.tifs.2019.09.010.
- [11] SHARMA A, MAJUMDAR R K, KUMAR S, et al. Effects of partial and complete replacement of synthetic cryoprotectant with carrot (*Daucus carota*) concentrated protein on stability of frozen surimi[J]. Journal of Aquatic Food Product Technology, 2019(2): 1-13. DOI:10.1080/10498850.2019.1651807.
- [12] ZHOU Wenjuan, WANG Faxiang, YU Jian, et al. Cryoprotective effects of protein hydrolysates prepared from by-products of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) on freeze-thawed surimi[J]. Applied Sciences, 2019, 9(3): 563. DOI:10.3390/app9030563.
- [13] 邵颖, 王小红, 熊光权, 等. 不同多糖对冻藏过程中草鱼肌原纤维蛋白流变性的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(18): 304-312. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201618048.
- [14] 范大明, 焦熙栋. 电磁场和电场改善鱼糜制品凝胶特性的机制及应用[J]. 中国食品学报, 2019, 19(1): 1-11. DOI:10.16429/j.1009-7848.2019.01.001.
- [15] LIANG Feng, ZHU Yajun, YE Tao, et al. Effect of ultrasound assisted treatment and microwave combined with water bath heating on gel properties of surimi-crabmeat mixed gels[J]. LWT-Food Science and Technology, 2020: 110098. DOI:10.1016/j.lwt.2020.110098.
- [16] JUNG H, JI H M, PARK J W, et al. Texture of surimi-canned corn mixed gels with conventional water bath cooking and ohmic heating[J]. Food Bioscience, 2020, 35: 100580. DOI:10.1016/j.fbio.2020.100580.
- [17] 高宇, 毕保良, 丁玉琴, 等. 葡萄糖酸内酯对低温酸诱导罗非鱼碎肉凝胶特性的影响[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2020, 35(4): 700-707.
- [18] NAIR S S, LEITCH J W, FALCONER J, et al. Prevention of cardiac arrhythmia by dietary (*n*-3) polyunsaturated fatty acids and their mechanism of action[J]. Journal of Nutrition, 1997, 127(3): 383-393. DOI:10.1038/sj.jo.0800395.
- [19] 王卫芳, 李丹丹, 熊善柏, 等. 猪肉添加量对鱼糜凝胶制品品质的影响[J]. 食品科学, 2006, 27(12): 531-534.
- [20] GANI A, BENJAKUL S, NUTHONG P. Effect of virgin coconut oil on properties of surimi gel[J]. Journal of Food Science & Technology, 2018, 55(2): 496-505. DOI:10.1007/s13197-017-2958-0.
- [21] SHI Liu, WANG Xianfeng, CHANG Tong, et al. Effects of vegetable oils on gel properties of surimi gels[J]. LWT-Food Science and Technology, 2014, 57(2): 586-593. DOI:10.1016/j.lwt.2014.02.003.
- [22] 周绪霞, 姜珊, 顾赛麒, 等. 油茶籽油对鱼糜凝胶特性及凝胶结构的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(9): 27-33. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201709005.
- [23] 郭培, 申铨日, 周清平. 添加紫苏籽油对罗非鱼鱼糜品质的影响[J]. 食品科技, 2016, 41(2): 167-171.
- [24] CHANG Tong, WANG Chenjie, WANG Xianfeng, et al. Effects of soybean oil, moisture and setting on the textural and color properties of surimi gels[J]. Journal of Food Quality, 2015, 38(1): 53-59. DOI:10.1111/jfq.12121.
- [25] 米红波, 王聪, 赵博, 等. 大豆油、亚麻籽油和紫苏籽油对草鱼鱼糜品质的影响[J]. 食品工业科技, 2017, 38(18): 60-64; 73. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2017.18.012
- [26] NODA S, OKASAKI E. Quality improvement of fish paste product by fish oil emulsification and its utilization[J]. Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi, 2018. DOI:10.3136/nskkk.65.433.
- [27] NIU L, SUZUKI Y, FUKUSHIMA H, et al. Fish oil supplementation improves the quality of frozen Sasa-Kamaboko[J]. Food Science and Technology Research, 2020, 26(2): 185-194. DOI:10.3136/fstr.26.185.
- [28] 徐德兵, 陈福, 张林涛, 等. 云南高原山地油茶籽油脂脂肪酸组成及品质分析[J]. 西部林业科学, 2021, 50(1): 112-117. DOI:10.16473/j.cnki.xblykx1972.2021.01.016.



- [29] 张瑜, 戚欣, 白艺珍, 等. 紫苏籽油化学组成与检测技术研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(20): 7181-7188. DOI:10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.2020.20.001.
- [30] 姚梦莹, 匡婷, 云永欢, 等. 鼠尾草酸对椰子油热加工过程中主要理化性质、脂肪酸组成与自由基的影响研究[J]. 中国油脂, 2020, 45(8): 39-44. DOI:10.12166/j.zgyz.1003-7969/2020.08.009.
- [31] 李杨, 张雅娜, 王欢, 等. 水酶法提取大豆油与其他不同种大豆油品质差异研究[J]. 中国粮油学报, 2014, 29(6): 46-52.
- [32] 张晓霞, 尹培培, 杨灵光, 等. 不同产地亚麻籽含油率及亚麻籽油脂肪酸组成的研究[J]. 中国油脂, 2017, 42(11): 142-146. DOI:10.3969/j.issn.1003-7969.2017.11.032.
- [33] 张惠君, 王兴国, 金青哲. 3 种海洋鱼油脂肪酸组成及其位置分布[J]. 食品与机械, 2017, 33(9): 59-63. DOI:10.13652/j.issn.1003-5788.2017.09.012.
- [34] 李钰金, 林洪, 赵元晖, 等. 蛋白质类添加物在鱼糜制品中的应用现状及发展趋势[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(5): 220-224. DOI:10.12161/j.issn.1005-6521.2020.05.036.
- [35] LIANG Feng, LIN Lin, ZHU Yajun, et al. Comparative study between surimi gel and surimi/crabmeat mixed gel on nutritional properties, flavor characteristics, color, and texture[J]. Journal of Aquatic Food Product Technology, 2020, 29(2): 1-12. DOI:10.1080/10498850.2020.1789253.
- [36] YI Shumin, HUO Yan, QIAO Cuiping, et al. Synergistic gelation effects in surimi mixtures composed of *Nemipterus virgatus* and *Hypophthalmichthys molitrix*[J]. Journal of Food Science, 2019, 84(12): 3634-3641. DOI:10.1111/1750-3841.14761.
- [37] LI Yu, XIONG Shanbai, YIN Tao, et al. The gastric digestion kinetics of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) surimi gels induced by transglutaminase[J]. Food Chemistry, 2019, 283: 148-154. DOI:10.1016/j.foodchem.2019.01.032.
- [38] MI Hongbo, ZHAO Yuming, LI Yan, et al. Combining effect of soybean protein isolate and transglutaminase on the gel properties of zhikong scallop (*Chlamys farreri*) adductor muscle[J]. LWT-Food Science and Technology, 2021, 138: 110727. DOI:10.1016/j.lwt.2020.110727.
- [39] BENJAKUL S, YARNPAKDEE S, VISESSANGUAN W, et al. Combination effects of whey protein concentrate and calcium chloride on the properties of goatfish surimi gel[J]. Journal of Texture Studies, 2010, 41(3): 341-357. DOI:10.1111/j.1745-4603.2010.00228.x.
- [40] 李钰金, 林洪, 赵元晖, 等. 蛋白质类添加物在鱼糜制品中的应用现状及发展趋势[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(05): 220-224. DOI:10.12161/j.issn.1005-6521.2020.05.036.
- [41] 梁雯雯, 龚钰桥, 郭建, 等. 可溶性褐藻膳食纤维对低盐鱼糜制品物理特性的影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(2): 37-40; 46. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2019.02.007.
- [42] ALAKHRASH F, ANYANWU U, TAHERGORABI R. Physicochemical properties of Alaska pollock (*Theragra chalcogramma*) surimi gels with oat bran[J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 66: 41-47. DOI:10.1016/j.lwt.2015.10.015.
- [43] 仪淑敏, 李欢, 陈思, 等. 鱼骨粉对金线鱼糜凝胶特性的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(9): 1-7. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201709001.
- [44] ARSYAD M A, AKAZAWA T, OGAWA M. Effects of olive leaf powder on mechanical properties of heat-induced surimi gel[J]. Journal of Aquatic Food Product Technology, 2018, 28(4): 1-12. DOI:10.1080/10498850.2018.1559904.
- [45] ZHOU Xuxia, CHEN Ting, LIN Honghan, et al. Physicochemical properties and microstructure of surimi treated with egg white modified by tea polyphenols[J]. Food Hydrocolloids, 2019, 90:82-89. DOI:10.1016/j.foodhyd.2018.07.031.
- [46] 梁雯雯, 龚钰桥, 郭建, 等. 可溶性褐藻膳食纤维对低盐鱼糜制品物理特性的影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(2): 37-40; 46. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2019.02.007.
- [47] SOARES N, OLIVEIRA M, VICENTE A A. Effects of glazing and chitosan-based coating application on frozen salmon preservation during six-month storage in industrial freezing chambers[J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 61(2): 524-531. DOI:10.1016/j.lwt.2014.12.009.
- [48] 徐安琪, 杨榕, 朱煜康, 等. 紫菜粉添加对鲑鱼鱼糜凝胶特性及其蛋白结构的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(2): 46-52. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20191110-121.
- [49] JANNAT-ALIPOUR H, REZAEI M, SHABANPOUR B, et al. Addition of seaweed powder and sulphated polysaccharide on shelf life extension of functional fish surimi restructured product[J]. Journal of Food Science and Technology, 2019, 56(8): 3777-3789. DOI:10.1007/s13197-019-03846-y.
- [50] 宁云霞, 马丽珍, 梁丽雅, 等. 鱼豆腐冻藏过程中的品质变化[J]. 肉类研究, 2020, 34(8): 78-83. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20200518-124.
- [51] 陈蓉, 吴启南, 沈蓓. 不同产地芡实氨基酸组成分析与营养价值评价[J]. 食品科学, 2011, 32(15): 239-244.
- [52] 许丹, 朱剑, 严忠雍, 等. 加工方式对金枪鱼鱼糜制品氨基酸组成和营养价值影响研究[J]. 中国调味品, 2020, 45(11): 74-80.
- [53] 郑捷, 杨璐璐, 高建忠, 等. 泥鳅鱼籽营养成分及油脂的脂肪酸组成分析[J]. 食品科学, 2016, 37(24): 105-110. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201624016.
- [54] 李轶, 鲁兵, 杨静玥, 等. 湘西产猕猴桃重金属含量分析及矿物质营养价值评价[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(4): 1380-1385. DOI:10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.2021.04.026.
- [55] MI Hongbo, LI Yi, WANG Cong, et al. The interaction of starch-gums and their effect on gel properties and protein conformation of silver carp surimi[J]. Food Hydrocolloids, 2020, 112(8): 106290. DOI:10.1016/j.foodhyd.2020.106290.
- [56] ZHENG Mingjing, LIU Xue, CHUAI Pengjie, et al. Effects of crude fucoidan on physicochemical properties, antioxidation and bacteriostasis of surimi products[J]. Food Control, 2020, 122(3): 107806. DOI:10.1016/j.foodcont.2020.107806.
- [57] BUDA U, PRIYADARSHINI M B, MAJUMDAR R K, et al. Quality characteristics of fortified silver carp surimi with soluble dietary fiber: effect of apple pectin and konjac glucomannan[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2021, 175(1): 123-130. DOI:10.1016/j.ijbiomac.2021.01.191.
- [58] MOOSAVI-NASAB M, ASGARI F, OLIYAEI N. Quality evaluation of surimi and fish nuggets from Queen fish (*Scomberoides commersonnianus*)[J]. Food Science & Nutrition, 2019, 7(10): 3206-3215. DOI:10.1002/fsn3.1172.
- [59] PRIYADARSHINI B, XAVIER K, NAYAK B B, et al. Instrumental quality attributes of single washed surimi gels of tilapia: effect of different washing media[J]. LWT-Food Science and Technology, 2017, 86: 385-392. DOI:10.1016/j.lwt.2017.08.022.
- [60] BROEKAERT K, HEYNDRIKX M, HERMAN L, et al. Seafood quality analysis: Molecular identification of dominant microbiota after ice storage on several general growth media[J]. Food Microbiology, 2011, 28(6): 1162-1169. DOI:10.1016/j.fm.2011.03.009.