

外源添加物在鱼糜制品中的应用研究进展

米红波¹, 李政翰¹, 李 岩¹, 仪淑敏¹, 李学鹏¹, 励建荣^{1,*}, 黄建联², 丁浩宸², 王 琪²

(1.渤海大学食品科学与工程学院, 国家鱼糜及鱼糜制品加工技术研发分中心,
生鲜农产品贮藏加工及安全控制技术国家地方联合工程研究中心, 辽宁锦州 121013;
2.福建安井食品股份有限公司, 福建厦门 361022)

摘 要:近年来,随着渔业和加工技术的发展,我国的鱼糜制品行业取得了长足进展。在鱼糜制品的加工过程中,常常会加入一些外源添加物来改善鱼糜制品的品质,不同添加物对鱼糜凝胶强度和品质的影响与添加物的种类和作用方式密切相关。本文综述了动物源、植物源、微生物源和功能性物质对鱼糜制品凝胶特性、质量和功能特性以及货架期的影响,以期对鱼糜制品添加剂领域的研究提供参考。

关键词:鱼糜制品, 外源添加物, 凝胶特性, 质量和功能特性, 货架期

Research Progress of the Application of Exogenous Additives in Surimi Products

MI Hong-bo¹, LI Zheng-han¹, LI Yan¹, YI Shu-min¹, LI Xue-peng¹,
LI Jian-rong^{1,*}, HUANG Jian-lian², DING Hao-chen², WANG Qi²

(1.College of Food Science and Technology, Bohai University; National R&D Branch Center of Surimi
and Surimi Products Processing, National & Local Joint Engineering Research Center of Storage,
Processing and Safety Control Technology for Fresh Agricultural and Aquatic Products, Jinzhou 121013, China;
2.Fujian Anjoy Food Co., Ltd., Xiamen 361022, China)

Abstract: In recent years, surimi products industry has made great progress with the development of fisheries and processing technology in China. Some exogenous additives are often added to improve the quality of surimi products during processing. The effects of different additives on the gel strength and quality of surimi are closely related to the type and modes of action of the additives. In this paper, the effect of animal, plant, microbial sources and functional substances on the gel properties, quality, functional properties and shelf life of surimi products were reviewed, which would provide reference for the research of additives in surimi products.

Key words: surimi products; exogenous additive; gel properties; quality and functional characteristics; shelf life

中图分类号: TS254.4 文献标识码: A 文章编号: 1002-0306(2019)15-0349-07

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2019.15.058

引文格式: 米红波, 李政翰, 李岩, 等. 外源添加物在鱼糜制品中的应用研究进展[J]. 食品工业科技, 2019, 40(15): 349-355.

鱼糜制品是一类以各种海水鱼鱼糜或淡水鱼鱼糜为原料, 经过擂溃(一般分为空擂、盐擂和辅料擂)、成型、凝胶化等过程制成, 具有一定弹性的凝胶状食品^[1]。因其蛋白质含量高、脂肪含量低、营养结构合理、安全健康等优点被广大消费者所喜爱, 常见的鱼糜制品有鱼丸、鱼肉香肠、鱼豆腐以及各类模拟食品等。这种制品既可以作为食品制造业的原料辅料, 也可以作为餐饮业直接加工的食品原料。

我国鱼糜及其制品的生产历史悠久, 如福州鱼丸、崇武鱼卷、深沪鱼丸、潮州鱼丸等, 自 20 世纪 90 年代初国内引入鱼糜及鱼糜制品生产线以来, 鱼糜制品行业发展不断加快, 成为我国水产品加工行业的重要部分。2017 年, 我国水产品加工企业数量达到 9674 个, 水产品加工总量为 2196.25 万吨, 其中海水加工产品为 1788.06 万吨, 淡水加工产品为 408.19 万吨, 鱼糜制品产量为 154.19 万吨^[2]。随着人们对

收稿日期: 2018-12-06

作者简介: 米红波(1986-), 博士, 副教授, 研究方向: 水产品贮藏与加工, E-mail: mihongbo1001@163.com。

* 通讯作者: 励建荣(1964-), 博士, 教授, 研究方向: 水产品与果蔬贮藏加工、食品安全, E-mail: lij6491@163.com。

基金项目: 国家自然科学基金(31701629, 31571868); 辽宁省博士启动基金(20170520114); 中国博士后基金(2016M592021, 2016M602635)。

鱼糜制品需求的逐年增加,海洋捕捞强度不断加强,造成一些用于生产高品质鱼糜的海产白色肉鱼如鳕鱼、海鳗、海鲈等产量下降,高品质鱼糜制作的原料日益短缺^[3]。因此,利用低值海水鱼或淡水鱼等低价原材料制作鱼糜受到越来越多的关注,这些原料鱼因其水溶性蛋白含量较高、盐溶性蛋白含量较低或含较多的肌肉色素、较高的脂肪含量,制得的鱼糜凝胶性能较差,因此如何改善鱼糜制品的凝胶性能,已成为一个值得关注的问题^[4]。近年来的研究表明,除了改善鱼肉的漂洗工艺和优化鱼糜的擂溃方式外,适宜及适量的外源物添加能够很好地改善鱼糜制品的凝胶性能、功能特性以及延长货架期^[4-6]。本文阐述了不同来源的添加物对鱼糜凝胶特性、品质及功能特性的改善作用以及对鱼糜制品货架期的延长作用,旨在为生产高品质鱼糜及其制品提供参考。

1 外源添加物对鱼糜制品凝胶特性的改善作用

1.1 动物源添加物

1.1.1 陆生动物 来自牛、猪、鸡等陆生动物血浆中的蛋白酶抑制剂可明显改善鱼糜及其制品的凝胶特性。当牛血浆蛋白添加量为1%时,太平洋鳕鱼鱼糜的凝胶强度达到最大值^[7],添加浓度为2%时,箭齿比目鱼鱼糜凝胶强度显著增加^[8]。Weerasinghe等^[9]证明了牛血浆蛋白可以抑制鱼糜蛋白降解,抑制活性来源于牛血浆蛋白中的特异性丝氨酸蛋白酶抑制剂。Benjakul等^[10]研究表明猪血浆蛋白中IV-1片段能有效抑制黄笛鲷肌肉中蛋白酶,大幅度降低肌肉自溶及肌球蛋白重链的降解,且I-S片段含有较高的谷氨酰胺转移酶活性,可催化肌球蛋白重链以非二硫共价键交联,从而形成致密的三维网状结构,提高黄笛鲷鱼糜的凝胶强度。从猪血中可分离出能有效抑制鲑鱼鱼浆中肌原纤维蛋白降解的激肽原I和激肽原II,显著提高鲑鱼鱼糜的凝胶强度^[11]。雷雨等^[12]将猪血浆蛋白添加到鲑鱼鱼糜制品中,结果表明,以1.5 g/100 g比例添加猪血浆蛋白时,鱼糜制品凝胶强度较空白样品提高了约2倍,高于添加等量大豆分离蛋白的鱼糜制品凝胶强度。Rawdkuen等^[13]报道了鸡血浆中半胱氨酸蛋白酶抑制剂对箭齿鲈鱼肌肉蛋白的抑制活性,2%的鸡血浆可抑制太平洋鳕鱼鱼糜肌球蛋白重链的降解,同时,沙丁鱼鱼糜凝胶的断裂力和形变量显著提高,说明鱼糜蛋白质的水解可通过添加鸡血浆来延缓,从而提高其凝胶形成能力。

蛋清固形物中大约90%是蛋白质,包括卵白蛋白、卵类粘蛋白、卵粘蛋白和伴白蛋白。添加2%~3%的干蛋清蛋白可以改善太平洋鳕鱼和阿拉斯加鳕鱼鱼糜的凝胶特性^[14]。在相同预处理条件下,蛋清比乳清蛋白浓缩物更大程度地增强了多齿蛇鲻鱼糜的凝胶形成能力,在25℃下加入1%蛋清和一系列预处理手段使其断裂力增加了两倍^[15]。对于阿拉斯加鳕鱼和太平洋鳕鱼鱼糜,蛋清添加量分别为1.5%和2%时,其凝胶强度得到了增强^[16]。周阳等^[17]通过在制作白鲑鱼鱼丸擂溃过程中添加蛋清粉来改善

鱼丸的品质,结果显示,添加4%的蛋清粉制成的鱼丸凝胶强度由1513 N/cm²显著增加到2854 N/cm²,增幅高达85.56%,说明蛋清粉是一种较好的凝胶增强剂。

乳清是牛奶生产奶酪过程中产生的副产品。乳清蛋白中含有20%乳清蛋白和80%酪蛋白。乳清蛋白浓缩物通常用作乳化剂、填充剂、水粘合剂、蛋白质补充剂、泡沫稳定剂、增稠剂和胶凝剂。Rawdkuen^[18]等研究了乳清蛋白浓缩物对无斑拟羊鱼、大眼鲷、多齿蛇鲻和金钱鱼鱼糜凝胶特性的影响。在所有实验的鱼糜中加入3%乳清蛋白浓缩物,显示出对鱼糜蛋白自溶的抑制作用并明显提高了鱼糜凝胶白度。并且随着乳清蛋白浓缩物浓度的增加,鱼糜凝胶持水能力逐渐提高。石径^[19]等研究表明在40和50℃凝胶化条件下,添加适量(5%和10%)的乳清蛋白能够提高白姑鱼鱼糜的凝胶强度,白度和折曲性能,并抑制50℃时凝胶的劣化现象;但过高的乳清蛋白添加量(15%和20%)会使白姑鱼鱼糜凝胶的品质下降。崔旭海^[20]等研究发现不同添加量的乳清分离蛋白均能有效地改善鱼糜的弹性模量、粘性模量、破断强度、凝胶强度和持水性,但会降低破断深度和白度;添加量为8%时,失水率仅为12.6%,表明乳清分离蛋白的添加对鱼糜的持水性效果最好。

1.1.2 水生动物 从水产品加工副产物(虾头、血浆、鱼皮等)中提取的蛋白和酶抑制剂等可以用来改善鱼糜及其制品的凝胶强度。例如,Ruttanapornvareesakul等^[21]研究表明5%的斑节对虾,北方粉红虾和刀额对虾虾头蛋白水解物可以降低多齿蛇鲻肌肉蛋白质的冷冻变性,从而提高Ca²⁺-ATP酶活性和凝胶强度。添加虹鳟鱼血浆蛋白,可以增强阿拉斯加鳕鱼鱼糜凝胶强度、持水能力和白度,浓度为0.75 mg/g的虹鳟鱼血浆蛋白可用作蛋白酶抑制剂,抑制阿拉斯加鳕鱼鱼糜的凝胶弱化^[22]。鲑鱼血浆能有效抑制从太平洋鳕鱼中分离出的丝氨酸和半胱氨酸蛋白酶,经超滤浓缩的鲑鱼血浆在抑制鲑鱼肉糜的自溶作用方面优于冷冻干燥的鲑鱼血浆^[23]。

水产明胶由于其使用安全性和来源广泛性越来越受到研究者的关注。翁武银^[24]等利用罗非鱼鱼皮制备4种不同分子质量的明胶蛋白并研究10%添加量下对鲑鱼鱼糜凝胶性质的影响。结果表明含有α肽链的明胶蛋白可以提高鱼糜制品的凝胶强度、质构和保水性能,并且对鱼糜制品的色泽无显著影响。高分子量的鱼皮明胶蛋白具有一定的凝胶形成能力,在鱼糜制品中与水溶性蛋白通过离子键结合,进而提高凝胶强度,但会干扰鱼糜凝胶网络结构的致密性;而小分子量的明胶蛋白不会影响鱼糜制品的凝胶强度,却会促进鱼糜凝胶致密的网络结构的形成。另外,添加500 U/g从鲑鱼墨汁中提取的酪氨酸酶可以与1%的单宁酸一起提高沙丁鱼鱼糜的凝胶强度,改善鱼糜凝胶的白度^[25]。

由于海水鱼资源匮乏,而淡水鱼鱼糜存在凝胶强度差等缺点,为改善淡水鱼鱼糜凝胶特性并降低成本,目前将淡水鱼糜与海水鱼糜混合逐渐被更多

人所关注。何晓萌等^[26]将马鲛鱼、海鲈鱼、金鲳鱼、鸢乌贼分别与罗非鱼制备混合鱼糜。结果表明,当罗非鱼鱼糜中分别添加 60% 马鲛鱼、60% 海鲈鱼、40% 金鲳鱼、40% 鸢乌贼时,混合鱼糜的凝胶强度最高,盐溶性蛋白含量达到最大值。当鲢鱼鱼糜与金线鱼鱼糜质量比 5:1 混合时凝胶性能最好,凝胶破断力、凹陷距离、凝胶强度和持水性较单一鲢鱼鱼糜分别提高了 18.33%、27.29%、51.01% 和 5.65%,较单一金线鱼鱼糜分别提高了 5.84%、19.50%、26.49% 和 3.45%^[27]。黄鱼和鲭鱼按 2:1 混合的鱼糜凝胶强度高于单一鲭鱼鱼糜的凝胶强度,混合鱼糜中肌球蛋白重链强度增加^[28]。

1.2 植物源添加物

1.2.1 植物蛋白 大豆分离蛋白,由于其安全性和合理的价格,已被广泛应用于鱼糜工业。陈海华等^[29]研究了大豆分离蛋白(SPI)对竹荚鱼鱼糜凝胶特性的影响。结果表明:SPI 添加量超过 1 g/100 g 鱼糜时,对竹荚鱼鱼糜蛋白的降解有抑制作用;添加 SPI 能提高竹荚鱼鱼糜凝胶的破断强度、凹陷度和凝胶强度;添加量为 5 g/100 g 鱼糜时,竹荚鱼鱼糜的凝胶特性达到最大值。而 Luo 等^[30]认为大豆分离蛋白添加量为 10% 时,鲢鱼鱼糜的断裂力和质量特征得到提高。Yamashita^[31]研究报道添加 5% 小麦面筋蛋白时,日本鱼糕的凝胶强度和持水性较添加 5% 的大豆蛋白更好。

除大豆蛋白外,其他植物蛋白也逐渐被应用到鱼糜制品生产中。例如,鲢鱼鱼糜中分别添加 3% 面筋蛋白和大米蛋白时,鲢鱼鱼糜的凝胶强度、持水性均有提高,蒸煮损失率和横向弛豫时间降低,鱼糜凝胶形成了更加致密的空间三维结构。与大米蛋白相比,面筋蛋白在改善鱼糜凝胶特性方面的效果更为显著,但是由于面筋蛋白呈浅黄色,导致鱼糜白度略微下降^[32]。花生分离蛋白的添加显著提高鲤鱼鱼糜的流变性、破断强度、凝胶强度,添加量为 8% 时,鱼糜的凝胶强度达到最大值,然而,白度随着花生分离蛋白添加量的增加而降低,但差异不显著^[20]。另外,1 g/100 g 的绿豆或黑豆蛋白分离物可有效地延缓沙丁鱼鱼糜蛋白的水解,从而提高凝胶强度^[33]。

1.2.2 淀粉 淀粉是目前鱼糜制品生产中最常见的外源添加物,因其能显著改善鱼糜的凝胶特性和持水性,且降低生产成本,被广泛应用于鱼糜制品中。淀粉的种类多样,不同种类的淀粉对鱼糜的凝胶特性影响不同。

原淀粉即从植物中直接提取且未经其他处理的淀粉。不同种类的原淀粉其直链与支链的比例不同,对鱼糜凝胶特性的影响也就不同。直链含量高的淀粉会使鱼糜形成较脆的凝胶,而支链含量高的淀粉则会形成粘度较大的凝胶,可提高鱼糜制品的持水性,降低蒸煮损失^[4]。柳丽宁等^[34]研究发现,添加糯玉米淀粉后鱼糜制品的破断强度从 266.57 g 下降至 175.00 g,硬度、胶粘性、咀嚼性也下降,而添加马铃薯淀粉可以使鱼糜制品的破断强度和质构参数显著提高。这是因为马铃薯淀粉可以使鱼糜凝胶网

络结构变得更加致密有序,从而增强鱼糜制品的凝胶强度,但是两种淀粉都不会影响鱼糜蛋白之间的交联。余永名等^[27]研究表明添加 8%、10% 的马铃薯淀粉或绿豆淀粉均可显著增加鲢鱼鱼糜的凝胶强度、持水性,同时显著降低蒸煮损失。同样的,Yoo^[35]研究发现添加马铃薯淀粉和甘薯淀粉均能使鱼糜在加热过程中的储能模量降低,添加 8% 马铃薯淀粉的玉筋鱼鱼糜制品具有最好的凝胶特性。

由于原淀粉存在老化回生现象,所以在原淀粉基础上进行化学、物理或酶法修饰,引入新的官能团或改变分子大小和颗粒性质,形成新的变性淀粉,从而改善其应用性能。目前在鱼糜加工过程中,常用的变性淀粉有预糊化淀粉、醋酸酯淀粉、羟丙基淀粉、乙酰化淀粉等。预糊化淀粉使用量少于 3%,这是因为预糊化淀粉在冷水中可溶,在鱼蛋白凝胶形成之前与水结合,竞争可利用的水分而抑制凝胶的形成^[36]。羟丙基和乙酰基基团的加入减弱了淀粉分子间氢键的缔合作用,使淀粉在凝胶过程中易吸水膨胀,从而提高鱼糜持水性;此外,乙酰基的引入提高了凝胶中离子键、疏水作用力等化学键数量,稳定了蛋白质结构,从而提高鱼糜凝胶强度^[37-38]。刘海梅等^[39]采用 3 种植物来源经过 5 种变性处理的 16 种变性淀粉加工鱼糜制品,结果表明,变性淀粉的变性方式对鱼糜制品的凝胶特性影响显著,而淀粉来源对鱼糜制品凝胶特性的影响不明显,其中添加羟丙基化淀粉的鱼糜制品的凝胶特性最好,其次是交联酯化淀粉、酯化淀粉、醋酸酯化,而添加氧化淀粉则不能改善鱼糜制品的凝胶特性。

1.2.3 植物源亲水胶体 陈海华等^[40]研究 10 种胶体对竹荚鱼鱼糜凝胶特性的影响,其中植物源胶体罗望子胶、魔芋胶、卡拉胶和琼胶均能改善竹荚鱼鱼糜的凝胶性能;海藻酸钠和瓜尔胶对鱼糜的凝胶形成没有影响;而果胶在鱼糜凝胶形成中不与蛋白相互作用,反而干扰鱼糜蛋白凝胶形成,因此会降低原有的凝胶性能。在鲢鱼鱼糜中添加 0.5% 的卡拉胶能够显著提高鱼糜凝胶的硬度、咀嚼性、破断强度和凝胶强度,也能够增加鱼糜凝胶的白度,而魔芋胶显著降低了竹荚鱼鱼糜凝胶的质构参数和破断实验参数^[41]。而在带鱼鱼糜中添加 0.19% 魔芋胶后凝胶强度提高为未添加时的 2.7 倍,并可以提高鱼糜的白度和持水性^[42]。添加 1% 魔芋葡甘聚糖可使带鱼鱼糜的凝胶强度和持水性提高,而白度呈现先增高后下降的趋势^[43]。

1.3 微生物源添加物

1.3.1 微生物源亲水胶体 微生物源亲水胶体是指微生物的代谢产物,主要有可得然胶、黄原胶、结冷胶、葡聚糖等。可得然胶属于中性多糖,加热到 80 ℃ 以上,可以形成热不可逆的高强度凝胶,从而增强竹荚鱼鱼糜的凝胶强度;而黄原胶属于阴离子多糖,抑制鱼糜蛋白凝胶形成,对竹荚鱼鱼糜凝胶性能有不利影响^[40]。结冷胶对大眼鲷鱼鱼糜肌球蛋白重链的聚合没有影响,可能是作为活性填料来增强鱼糜凝胶的断裂力和凝胶强度^[44]。添加葡聚糖可以提高鱼

糜凝胶的硬度,且能明显提高胶粘性和咀嚼性,对白度影响不明显,添加量为 0.2% 时,鱼糜制品的持水性最大,形成了紧密的网络结构^[45]。

1.3.2 微生物源谷氨酰胺转氨酶(MTGase) 微生物来源的谷氨酰胺转氨酶(microbial transglutaminase, MTGase)是一种新型食品酶制剂,它通过催化谷氨酰胺的酰基转移反应,从而导致蛋白质(或多肽)之间发生共价交联,使含有 ϵ -NH₂ 的赖氨酸交联到蛋白质分子上,也可以使蛋白质分子脱酰胺^[46]。添加 10 U/g pro MTGase 的鲑鱼鱼糜能够在更短的凝胶化时间内获得更好的力学性能,延缓凝胶劣化现象的发生,且鱼糜凝胶网络结构更为致密、脆性更好^[47]。Kaewudom 等^[48]研究了鱼源明胶和 MTGase 联合作用对金线鱼鱼糜凝胶特性的影响,添加 MTGase 可以使含有少于 15% 鱼源明胶的鱼糜凝胶断裂力和形变量增加。

2 外源添加物对鱼糜制品质量和功能特性的改善作用

2.1 动物源添加物

随着水产加工业的发展,消费者对鱼糜制品品质的要求越来越高,各种鱼粉、虾粉、蟹肉粉等外源物的添加不仅能改善鱼糜制品的质量,还可以增强鱼糜制品的风味。凤尾鱼粉可用于鱼糜制品中,提高鱼糜制品的钙含量,添加量为 20% 时,粘弹性、硬度、凝胶强度均达到最大值;添加量为 5% 时,鱼糜制品的滋气味与未添加凤尾鱼粉的对照组无显著差异^[49]。添加 20% 的斑鲆粉可以提高鱼糜质量和蛋白质含量^[50]。皱瘤海鞘粉添加量为 20% 时鱼糜凝胶特性最好,而添加量 15% 时鱼糜制品亮度值(L^*)最低,红色值(a^*)和黄色值(b^*)最高,同时得到最高的感官评分^[51]。随着虾粉添加量的增加,鱼糜硬度和粘弹性增加,但是脆性降低,感官评价表明添加 5% 虾粉的鱼糜制品颜色、香味、口味、质地均优于其他添加量^[52]。随着北太平洋雪蟹腿肉粉含量的增加,鱼糜制品硬度和粘弹性增加,但考虑到口味质地等问题,添加 6% 北太平洋雪蟹腿肉粉的鱼糜制品更受欢迎^[53]。

2.2 植物源添加物

2.2.1 中草药类添加物 桑叶、荷叶、枸杞、红参等中草药类植物含有多种生物活性因子,具有抗癌、抗氧化、增强免疫力等多种生物活性,具有药食两用的营养功效。将中草药类外源物添加到鱼糜制品中,既可改善鱼糜制品的品质,又可强化其营养价值。例如,桑叶可用于治疗风热感冒等症。将桑叶粉加入鱼糜制品中,可使其硬度增加,添加量为 0.5% 时,鱼糜制品在外观、气味、滋味、质地等方面得分最高^[54]。同样,在鱼糜制品中添加 0.5% 荷叶粉或 0.5% 当归粉也得到了相似的结果^[55-56]。

Shin^[57-59]等陆续研究了枸杞粉、白茯苓粉和红参粉对鱼糜凝胶质量特性的影响,发现枸杞粉会增加鱼糜制品的内聚力,降低胶着度和脆性;而白茯苓粉会使鱼糜制品的脆性增加,弹性降低;红参粉可以显著提高鱼糜制品的硬度和咀嚼性,并可抑制鱼糜制

品在贮藏过程中的脂质氧化和微生物生长繁殖,根据感官评分这三种中草药的最适添加量分别为 3%、3% 和 1%。

2.2.2 果蔬类添加物 水果蔬菜中含有丰富的维生素、矿物质和膳食纤维,将其加入到鱼糜制品中不仅能够开发出新型动植物复合肉制品,增添花色品种,还可以改善鱼糜制品的营养构成。在鱼糜制品中添加 3% 从洋葱中提取黄酮醇可降低鱼糜制品的酸价、硫代巴比妥酸值和菌落总数^[60]。利用胡萝卜汁、番茄汁、马铃薯淀粉和蛋清制得的鱼糜制品色泽呈红褐色,切面密实,弹性和韧性较好,营养价值高,口感细腻^[61]。添加香菇、玉米、芹菜、黄瓜、荸荠制备的鲢鱼、鲈鱼复合鱼肉饼具备良好的滋味和口感,但是添加量超过 15% 时会降低鱼肉饼的硬度、弹性、粘聚性和咀嚼度^[62]。四种柑橘类水果(柠檬、香橙、蜜柑、金橘)的添加不会影响鱼糜制品的质构特性,通过色泽,风味和质地特性方面的比较发现添加金橘的样品品质最佳^[63]。

2.2.3 菌类添加物 菌类在人们的日常饮食中十分常见,其含有较多的蛋白质、碳水化合物、维生素、矿物质等,经常食用可增强人体免疫力。添加双孢蘑菇的鱼糜具有浓郁的蘑菇滋味,且粘弹性、硬度、脆性增加,感官评价显示添加 10% 双孢蘑菇的鱼糜制品得分最高^[64]。金针菇中氨基酸的含量非常丰富,高于一般菌类,尤其是赖氨酸的含量特别高,赖氨酸具有促进儿童智力发育的功能。在鱼糜制品添加 15% 的金针菇可以提高样品的凝胶强度,粘弹性和脆性^[65]。香菇是一类高蛋白、低脂肪的营养保健食品。研究表明添加 10% 香菇可以提高鱼糜制品的凝胶强度,硬度,粘性和脆性^[66]。菌类营养价值丰富,可做为鱼糜制品的营养补充剂,不同菌类对鱼糜制品品质特性的影响还有待进一步研究。

2.3 功能性食品添加物

膳食纤维具有良好的特性,如膨胀性、吸水性等,能有效改善鱼糜的凝胶性能,膳食纤维的添加不影响鱼糜肌球蛋白和肌动蛋白的热诱导凝胶形成,而且长链的膳食纤维可以使鱼糜蛋白形成的网络结构具有良好的保水性。在阿拉斯加鳕鱼鱼糜中添加 6% 长链纤维素可以观察到鱼糜的质地和颜色得到了改善,质构结果表明凝胶粘弹性增加^[67]。程珍珠等^[68]研究表明添加 100 g 大豆膳食纤维可以提高带鱼鱼糜凝胶的质构特性和持水性,但是会在一定程度上降低凝胶的白度;相反,聚葡萄糖会使凝胶的质构特性和持水性显著降低,但是可显著地增加鱼糜凝胶的弹性及白度。这可能与两种膳食纤维本身的物理化学性质和在凝胶网络结构中的位置状态等不同有关。

漂洗是鱼糜制备过程中的重要环节,用于除去水溶性蛋白、脂肪、血红素和杂质等,并可提高肌原纤维蛋白浓度。值得注意的是,此工序也将鱼肉中富含的多不饱和脂肪酸(PUFA)一并去除。近年来,为强化鱼糜制品的营养价值,学者们陆续报道了向鱼糜中添加 ω -3 PUFA 的相关研究。添加 ω -3

PUFA 可以使鱼糜制品的颜色得到改善,但对其质地特征无明显影响^[69]。Debusca 等^[70]研究表明添加 100 g ω-3 PUFA 可改善阿拉斯加鲑鱼鱼糜的质构和流变特性,但不会影响鱼糜凝胶强度。此外,不饱和脂肪酸极易氧化变质,这一特性将加速鱼糜制品中蛋白质氧化,缩短货架期。因此,尽管油脂添加可在一定程度上补偿鱼糜生产中营养价值的流失,但其带来的负面影响将限制这一方法的应用。

3 外源添加物对鱼糜制品货架期的延长作用

由于鱼糜制品水分含量较高、营养丰富,极易滋生微生物而腐败变质,同时也存在致病菌污染的风险,而现有冷藏条件下的鱼糜制品往往达不到较长的保质期,影响远程贮运和销售^[71]。目前鱼糜制品多采用冷冻(-18℃以下)贮藏和分销模式,在贮运和销售过程中存在能耗高、成本高等问题,且冻藏过程会严重影响鱼糜制品的食用品质。通过超高压、辐照、二氧化氯溶液处理等理化方法可以有效延长鱼糜制品的货架期,但是操作较为复杂且成本较高。所以探究天然、安全的外源添加物对鱼糜制品货架期的延长作用对实际生产运输具有十分重要的意义。添加 5 g/kg 从生姜中提取的有效活性物质 6-姜酚可以抑制鱼糜制品在冷藏过程中的脂质和蛋白氧化及微生物的生长^[72]。向梅鱼鱼丸中分别添加茶多酚(0.2~0.3 g/kg)、水溶性壳聚糖(4.0~5.0 g/kg)和乳酸链球菌素(0.4~0.5 g/kg)后,在 0℃冷藏条件下货架期可分别延长 7、14 和 5 d,同时可保持鱼丸的硬度和弹性^[73]。对桑叶、荷叶、杨梅渣等 17 种常见植物材料的提取物进行抑菌活性分析,发现杨梅渣、黄连、桑叶提取物对假单胞菌的抑菌活性较高,杨梅渣、魔芋、桑叶的提取物对沙雷氏菌的抑菌活性较高,在鱼糜制品中添加 1 g/kg 杨梅渣乙酸乙酯提取物后,20℃条件下鱼糜保质期可延长至 5 d,而空白对照组的保质期为 3 d^[74]。因此,天然的抑菌剂、抗氧化剂等可以有效地延长鱼糜制品的货架期。

4 结论与展望

近年来,传统上用来生产高品质鱼糜的原料鱼被过度捕捞,资源短缺,而低值海水鱼、淡水鱼拥有十分可观的产量,但是用这些鱼为原料生产的鱼糜凝胶性能较差,如何改善鱼糜的凝胶特性一直是一个备受关注的问题。目前,使用外源添加物来改善鱼糜凝胶特性、品质和功能特性以及延长货架期的研究较多,但是对于其如何与鱼糜蛋白产生作用,还需要进一步的研究。另外,现有的外源添加物研究主要集中在淀粉、亲水胶体、非鱼类蛋白等物质上,需要更深入地研究并开发出更高效的鱼糜凝胶增强剂,增加低值海水鱼、淡水鱼的利用价值,降低鱼糜制品生产成本,或将不同类型的添加物复配使用,起到增强鱼糜制品的凝胶特性、营养价值或延长货架期等多重效果,这些研究有助于扩大鱼糜制品的市场,推动鱼糜制品领域进一步发展。

参考文献

[1] 米红波,王聪,仪淑敏,等.淀粉在鱼糜制品中的应用研究

进展[J].食品与发酵工业,2018,44(1):291-295.

[2] 农业部渔业局.2018 中国渔业统计年鉴[M].北京:中国农业出版社,2018.

[3] 陈汉勇.冷冻鱼糜新评价方法的建立及混合鱼糜品质改良的研究[D].广州:华南理工大学,2013.

[4] 王丽丽,杨文鸽,徐大伦,等.外源添加物对鱼糜及其制品凝胶性能影响的研究[J].核农学报,2015,29(10):1985-1990.

[5] 张问,杨文鸽,徐大伦.漂洗工艺对鱼糜及其制品品质影响的研究进展[J].核农学报,2015,29(8):1572-1576.

[6] 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,2017,35(5):61-65,71.

[7] Morrissey M T, Wu J W, Lin D, et al. Protease inhibitor effects on torsion measurements and autolysis of pacific whiting surimi [J]. Journal of Food Science, 1993, 58(5): 1050-1054.

[8] Reppond K D, Babbitt J K. Protease inhibitors affect physical properties of arrowtooth flounder and walleye pollock surimi [J]. Journal of Food Science, 1993, 58: 96-98.

[9] Weerasinghe V C, Morrissey M T, An H. Characterization of active components in food-grade proteinase inhibitors for surimi manufacture [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1996, 44(9): 2584-2590.

[10] Benjakul S, Visessanguan W, Chantarasuwan C. Effect of porcine plasma protein and setting on gel properties of surimi produced from fish caught in Thailand [J]. LWT-Food Science and Technology, 2004, 37(2): 177-185.

[11] 钟婵,江福玲,翁武银,等.猪血激肽原的分离纯化及其对白鲢鱼鱼糜的凝胶作用[J].集美大学学报:自然科学版,2012,17(1):13-19.

[12] 雷雨,夏文水,姜启兴,等.猪血浆蛋白对鲢鱼鱼糜品质的影响[J].食品工业科技,2014,35(14):103-106,113.

[13] Rawdkuen S, Benjakul S, Visessanguan W, et al. Effect of chicken plasma protein and some protein additives on proteolysis and gel-forming ability of sardine (*Sardinella gibbosa*) surimi [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2007, 31(4): 492-516.

[14] Hunt A, Park J W, Handa A. Effect of various types of egg white on characteristics and gelation of fish myofibrillar proteins [J]. Journal of Food Science, 2009, 74(9): 683-692.

[15] Yongsawatdigul J, Piyadhamviboon P. Inhibition of autolytic activity of lizardfish surimi by proteinase inhibitors [J]. Food Chemistry, 2004, 87(3): 447-455.

[16] Campo-Deaño L, Tovar C. The effect of egg albumen on the viscoelasticity of crab sticks made from Alaska pollock and Pacific whiting surimi [J]. Food Hydrocolloids, 2009, 23(7): 1641-1646.

[17] 周阳,胥伟,陈季旺,等.蛋清蛋白粉与大豆分离蛋白粉对鱼丸品质的影响[J].食品科技,2018,43(4):299-302.

[18] Rawdkuen S, Benjakul S. Whey protein concentrate: Autolysis inhibition and effects on the gel properties of surimi prepared from tropical fish [J]. Food Chemistry, 2008, 106(3): 1077-1084.

[19] 石径,罗永康,黄辰,等.乳清蛋白与凝胶化条件对鱼糜凝胶特性的影响[J].渔业现代化,2011,38(3):35-38,44.

[20] 崔旭海,毕海丹,崔晓莹,等.不同食用蛋白的添加对鲤鱼鱼糜流变和凝胶特性的影响[J].食品工业科技,2018,39

(16):195-200,225.

[21] Ruttanapornvareesakul Y, Somjit K, Otsuka A, et al. Cryoprotective effects of shrimp head protein hydrolysate on gel forming ability and protein denaturation of lizardfish surimi during frozen storage[J]. Fisheries Science, 2010, 72(2):421-428.

[22] Li D K, Lin H, Kim S M. Effect of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) plasma protein on the gelation of Alaska pollock (*Theragra chalcogramma*) surimi [J]. Journal of Food Science, 2008, 73(4):227-234.

[23] Fowler M R, Park J W. Salmon blood plasma: Effective inhibitor of protease-laden pacific whiting surimi and salmon mince[J]. Food Chemistry, 2015, 176:448-454.

[24] 翁武银, 黄玉平, 张希春, 等. 鱼皮明胶蛋白分子质量对鲑鱼鱼糜凝胶性质的影响[J]. 中国食品学报, 2013, 13(8):83-90.

[25] Vate N K, Benjakul S. Effect of the mixtures of squid ink tyrosinase and tannic acid on properties of sardine surimi gel[J]. Journal of Food Science and Technology, 2016, 53(1):411-420.

[26] 何晓萌, 黄卉, 李来好, 等. 罗非鱼与四种海水鱼混合鱼糜的凝胶特性[J]. 食品工业科技, 2018, 39(6):8-12.

[27] 余永名, 仪淑敏, 徐永霞, 等. 鲑鱼与金线鱼混合鱼糜的凝胶特性[J]. 食品科学, 2016, 37(5):17-22.

[28] Panpipat W, Chaijan M, Benjakul S. Gel properties of croaker-mackerel surimi blend [J]. Food Chemistry, 2010, 122(4):1122-1128.

[29] 陈海华, 薛长湖. 3种非肌肉蛋白对竹荚鱼鱼糜凝胶特性的影响[J]. 食品科学, 2010, 31(13):31-35.

[30] Luo Y, Shen H, Pan D, et al. Gel properties of surimi from silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) as affected by heat treatment and soy protein isolate[J]. Food Hydrocolloids, 2008, 22(8):1513-1519.

[31] Yamashita. Effects of commercial soybean protein and wheat gluten as subsidiary materials on physical properties of kamaboko [J]. Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi, 1991, 38(12):883-890.

[32] 王崑, 马兴胜, 仪淑敏, 等. 面筋蛋白和大米蛋白对鲑鱼鱼糜凝胶特性的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(11):46-51.

[33] Kudre T, Benjakul S, Kishimura H. Effects of protein isolates from black bean and mungbean on proteolysis and gel properties of surimi from sardine (*Sardinella albella*) [J]. LWT - Food Science and Technology, 2013, 50(2):511-518.

[34] 柳丽宁, 翁武银, 大迫一史. 淀粉和鱼糜品质对鱼糜凝胶性质的影响[J]. 食品工业科技, 2016, 37(11):80-84, 88.

[35] Yoo B J. The effects of alkaline treatment and potato-starch content on the quality of fish meat paste products prepared from pacific sand lance ammodytes personatus girard [J]. Fisheries & Aquatic Science, 2011, 14(3):161-167.

[36] Pongviratchai P, Park J W. Electrical conductivity and physical properties of surimi-potato starch under ohmic heating [J]. Journal of Food Science, 2007, 72(9):5.

[37] Kong W, Zhang T, Feng D, et al. Effects of modified starches on the gel properties of Alaska pollock surimi subjected to different temperature treatments[J]. Food Hydrocolloids, 2016, 56(1):20-28.

[38] Saartrat S, Puttanlek C, Rungsardthong V, et al. Paste and gel properties of low-substituted acetylated canna starches [J]. Carbohydrate Polymers, 2005, 61(2):211-221.

[39] 刘海梅, 刘茹, 熊善柏, 等. 变性淀粉对鱼糜制品凝胶特性的影响[J]. 华中农业大学学报, 2007(1):116-119.

[40] 陈海华, 薛长湖. 亲水胶体对竹荚鱼鱼糜流变特性的影响[J]. 食品科学, 2009, 30(17):52-55.

[41] 刘海梅, 鲍军军, 张莉, 等. 亲水性胶体对鲑鱼糜凝胶特性的影响[J]. 鲁东大学学报: 自然科学版, 2011, 27(1):51-54.

[42] 张建友, 牛记者, 邹鹏, 等. 复合亲水胶体对带鱼鱼糜制品凝胶特性的影响[J]. 食品工业科技, 2012, 33(17):54-57.

[43] 王良玉, 何明祥, 庞杰, 等. 魔芋葡甘聚糖凝胶体系对带鱼鱼糜流变及质构特性的影响[J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2013, 35(6):88-94.

[44] Petcharat T, Benjakul S. Effect of gellan incorporation on gel properties of bigeye snapper surimi [J]. Food Hydrocolloids, 2017, 77:746-753.

[45] 邓海萍, 陈奇, 李向红, 等. 不同电荷多糖添加物对鲑鱼鱼糜凝胶结构的影响[J]. 食品与机械, 2014, 30(3):25-28, 39.

[46] 王森, 黄司华. 微生物转谷氨酰胺酶对鱼糜制品凝胶性能的影响[J]. 食品工业科技, 2003(3):28-31.

[47] 郭秀瑾, 胡杨, 尤娟, 等. 微生物转谷氨酰胺酶诱导下鲑鱼糜凝胶的结构演化规律[J]. 食品科学, 2016, 37(5):6-11.

[48] Kaewudom P, Benjakul S, Kijroongrojana K. Properties of surimi gel as influenced by fish gelatin and microbial transglutaminase [J]. Food Bioscience, 2013, 1(Complete):39-47.

[49] Bae M S, Lee S C. Quality characteristics of fried fish paste containing anchovy powder [J]. Journal of the Korean Society of Food Science & Nutrition, 2007, 36(9):1188-1192.

[50] Park Y H, Bum E Y, Jeon E R, et al. Effect of added skate (*Raja kenoi*) on the quality characteristics of steamed fish meat paste [J]. Food Science & Biotechnology, 2014, 23(5):1453-1458.

[51] Park S M, Lee B B, Hwang Y M, et al. Quality properties of fish paste containing styela clava [J]. Journal of the Korean Society of Food Science & Nutrition, 2006, 35(7):908-911.

[52] Seo J S, Cho H S. Quality characteristics of fish paste with shrimp powder [J]. Korean Journal of Food Preservation, 2012, 19:519-524.

[53] Kim B M, Jung J H, Jung M J, et al. The quality characteristics and processing of fish paste containing red snow crab (*Chionoecetes japonicas*) leg-meat powder [J]. Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2016, 49:1-6.

[54] Shin Y J, Park G S. Quality characteristics of fish-paste containing mulberry leaf powder [J]. Journal of the East Asian Society of Dietary Life, 2005, 15:738-745.

[55] Shin Y J. Quality characteristics of fish paste containing lotus (*Nelumbo nucifera*) leaf powder [J]. Journal of Food and Cookery Science, 2007, 23:947-953.

[56] Shin Y J, Lee J A, Park G S. Quality characteristics of fish

paste containing angelicae gigantis radix powder [J]. Korean Journal of Food & Cookery Science, 2008, 24: 699–705.

[57] Shin Y J, Lee J A, Park G S. Quality characteristics of fish pastes containing lycii fructus powder [J]. Journal of the East Asian Society of Dietary Life, 2008, 18: 22–28.

[58] Shin Y J, Kim K S, Park G S. Texture and sensory characteristics of fish paste containing white poria cocos wolf powder [J]. Journal of the Korean Society of Food Culture, 2009, 25: 119–125.

[59] Shim D W, Jiang J, Kim J H, et al. Effects of size adjusted with red ginseng powders on quality of fish pastes [J]. Journal of the Korean Society of Food Science & Nutrition, 2012, 41 (10): 1448–1453.

[60] Park Y K, Kim H J, Kim M H. Quality characteristics of fried fish paste added with ethanol extract of onion [J]. Journal of the Korean Society of Food Science & Nutrition, 2004, 33: 1049–1055.

[61] 孟秀梅, 张绵松, 袁文鹏, 等. 蔬菜鱼糜制品的研制 [J]. 农产品加工 (学刊), 2009 (8): 39–41.

[62] 张博, 徐博楷, 周晓剑, 等. 蔬菜鲢鱼复合鱼肉饼工艺 [J]. 肉类研究, 2012, 26 (3): 18–23.

[63] Yang M O, Cho E J. Quality properties of surimi with added citrus fruits [J]. Journal of the East Asian Society of Dietary Life, 2007, 17: 58–63.

[64] Ha J U, Koo S G, Lee H Y, et al. Physical properties of fish paste containing sgaricus bisporus [J]. Korean Journal of Food Science & Technology, 2001, 33: 451–454.

[65] Koo S G, Ryu Y K, Hwang Y M, et al. Quality properties of fish-paste containing enoki mushroom (*Flammulina velutipes*) [J]

. Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition, 2001, 30: 288–291.

[66] Son M H, Kim S Y, Ha J H. Texture properties of surimi gel containing shiitake mushroom (*Lentinus edodes*) [J]. Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition, 2003, 32: 859–863.

[67] Debusca A, Tahergorabi R, Beamer S K, et al. Physicochemical properties of surimi gels fortified with dietary fiber [J]. Food Chemistry, 2014, 148: 70–76.

[68] 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, 91.

[69] Pietrowski B N, Tahergorabi R, Matak K E, et al. Chemical properties of surimi seafood nutrified with ω -3 rich oils [J]. Food Chemistry, 2011, 129 (3): 912–919.

[70] Debusca A, Tahergorabi R, Beamer S K, et al. Interactions of dietary fibre and omega-3-rich oil with protein in surimi gels developed with salt substitute [J]. Food Chemistry, 2013, 141 (1): 201–208.

[71] 仪淑敏. 茶多酚对鱼糜制品的冷藏保鲜作用及抑菌机理 [D]. 杭州: 浙江工商大学, 2011.

[72] Mi H B, Zhao B, Wang C. 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 and Agriculture, 2017, 97: 4807–4814.

[73] 林毅. 鱼糜制品复合生物保鲜剂的研制及效果评价 [D]. 杭州: 浙江工商大学, 2010.

[74] 韩强. 天然抑菌剂的定向筛选及其在鱼糜制品防腐保鲜中的功效评价 [D]. 杭州: 浙江工商大学, 2011.

(上接第 348 页)

123 (1): 143–150.

[30] Choi Y J, Jang M S, Lee M A. Physicochemical changes in kimchi containing skate (*Raja kenoei*) pretreated with organic acids during fermentation [J]. Food Science and Biotechnology, 2016, 25 (5): 1369–1377.

[31] Cvetković B R, Pezo L L, Tasić T, et al. The optimisation of traditional fermentation process of white cabbage (in relation to biogenic amines and polyamines content and microbiological profile) [J]. Food Chemistry, 2015, 168: 471–477.

[32] Fernández M, Linares D M, Rodríguezodríguez A, et al. Factors affecting tyramine production in *Enterococcus durans* IPLA 655 [J]. Applied Microbiology & Biotechnology, 2007, 73 (6): 1400–1406.

[33] Gale E F. The bacterial amino acid decarboxylases [M]. Advances in Enzymology and Related Areas of Molecular Biology, Volume 6. John Wiley & Sons, Inc, 2006.

[34] Chander H, Batish V K, Babu S, et al. Factors affecting amine production by a selected strain of *Lactobacillus bulgaricus* [J]. Journal of Food Science, 1989, 54 (4): 940–942.

[35] Kim S H, Kang K H, Kim J G, et al. Reduction in concentrations of N-nitrosodimethylamine and its precursors in

Kimchi by lactic acid bacteria [J]. Journal of the Korean Society of Food Science & Nutrition, 2017, 46 (2): 237–243.

[36] 佟婷婷. 四川泡菜细菌多样性分析及降生物胺菌株筛选 [D]. 无锡: 江南大学, 2015.

[37] 陈颖, 卢士玲, 李开雄. 传统中式香肠成熟过程中生物胺的生物控制 [J]. 食品与发酵工业, 2011, 37 (1): 158–161.

[38] Steidlouš, Kala ě P. The effects of lactic acid bacteria inoculants and formic acid on the formation of biogenic amines in grass silages [J]. Archives of Animal Nutrition, 2004, 58 (3): 245–254.

[39] 肖洪, 丁晓雯, 梁菡峪, 等. 发酵食品中的生物胺及其控制研究进展 [J]. 食品工业科技, 2012, 33 (20): 346–350.

[40] Yücel U,üren A. Biogenic amines in Turkish type pickled cabbage: Effects of salt and citric acid concentration [J]. Acta Alimentaria, 2008, 37 (1): 115–122.

[41] Nadon C A, Ismond M A H R. Biogenic amines in vacuum-packaged and carbon dioxide-controlled atmosphere-packaged fresh pork stored at -1.50 degrees C [J]. Journal of Food Protection, 2001, 64 (2): 220–7.

[42] 赵中辉, 林洪, 李振兴. 不同加工对生物胺影响的研究 [J]. 食品工业科技, 2011, 32 (7): 88–90.