



· 综述 ·

## 鱼皮明胶在食品加工业中的应用

张婷, 许嘉敏, 黄淑丹, 陶宁萍, 王锡昌, 钟建\*

(上海海洋大学食品学院, 国家淡水水产品加工技术研发分中心, 农业农村部水产品加工副产品综合利用技术集成基地, 上海水产品加工及贮藏工程技术研究中心, 上海 201306)

**摘要:** 明胶是由胶原蛋白部分降解得到的天然多肽聚合物, 具有良好的乳化性、成膜性、发泡性和凝胶性以及生物相容性和生物可降解性, 在食品加工业中有着广泛应用。哺乳动物明胶占明胶市场的主要份额, 但由于存在宗教因素和健康方面的担忧, 哺乳动物明胶在食品加工业中的应用受到限制和质疑。鱼皮明胶与哺乳动物明胶具有相似的功能性质, 且由于鱼皮明胶来源独特, 并能满足伊斯兰教等具有特殊文化和需求人群的要求, 已逐渐成为食品加工业中的重点研究对象。为了综合介绍鱼皮明胶在食品中的应用, 本文综述了鱼皮明胶作为乳化剂、发泡剂、澄清剂、增稠剂和胶凝剂以及可食用包装、可食用涂层、乳液、微胶囊、纳米纤维和水凝胶制备材料在食品加工业中的研究进展。鱼皮明胶的功能特性使其在食品加工业中可作为食品添加剂、食品包装材料和活性物包裹材料并显示出优于哺乳动物明胶的生物安全性和加工特性。由此可见, 鱼皮明胶在食品加工业中具有良好的应用前景, 并有望成为哺乳动物明胶的良好替代品。本综述可为今后进一步提高鱼皮明胶的功能性质和扩大鱼皮明胶在食品中的应用提供一定指导。

**关键词:** 鱼皮明胶; 食品添加剂; 食品包装材料; 活性物质包裹材料; 应用

**中图分类号:** TS 254.4

**文献标志码:** A

明胶是一种重要的天然高分子物质, 可通过胶原蛋白部分降解得到<sup>[1]</sup>。由于具有丰富的营养价值和优良的功能特性, 明胶在食品加工业中有着广泛应用。目前, 明胶已作为乳化剂、发泡剂、澄清剂、增稠剂和胶凝剂等食品添加剂用于乳制品、糖果、烘焙制品、肉制品和低脂涂抹酱等食品加工中, 起到改善产品贮藏稳定性、咀嚼性、质地、泡沫稳定性、乳化性、胶凝性、保水能力或减少脂肪含量等作用<sup>[2]</sup>。良好的两亲性、成膜性和生物安全性使得明胶基可食用包装相较于玻璃、塑料、金属或纸质等传统包装方式具有可降

解性高、生物相容性好、营养价值高、抗菌和抗氧化等优势<sup>[3]</sup>。此外, 明胶亦可作为活性物质包裹材料, 可避免活性物质与外界不利环境接触, 并将活性物质递送到理想位置实现缓释或控释<sup>[4]</sup>。

明胶根据来源不同可以分为哺乳动物明胶(如牛骨、牛皮和猪皮)、鱼明胶(如冷水鱼和温水鱼)和昆虫明胶(如高粱虫和甜瓜虫)<sup>[2]</sup>。鱼类在加工中产生的副产物约占总重的 70%<sup>[5]</sup>, 包括鱼皮、鱼鳞、鱼骨和鱼鳍等<sup>[6]</sup>。在这些鱼类加工副产物中, 鱼皮由于含有大量胶原蛋白, 成为了提取明胶的首选<sup>[2]</sup>。许多研究已经探索了从尼罗罗非鱼

收稿日期: 2021-05-04 修回日期: 2021-06-03

资助项目: 国家重点研发计划(2019YFD0902003)

第一作者: 张婷(照片), 从事食品营养与品质评价研究, E-mail: 18708384698@163.com

通信作者: 钟建, 从事水产品加工与综合利用研究, E-mail: jzhong@shou.edu.cn



(*Oreochromis niloticus*)<sup>[7]</sup>、鲢 (*Hypophthalmichthys molitrix*)<sup>[8]</sup>、大西洋鲑 (*Salmo salar*)<sup>[9]</sup>、鲤 (*Cyprinus carpio*)<sup>[10]</sup>、黄鳍金枪鱼 (*Thunnus albacares*)<sup>[11]</sup>、单角革鲀 (*Aluterus monoceros*)<sup>[12]</sup> 和青鳉 (*Pollachius virens*)<sup>[13]</sup> 等不同鱼皮中提取明胶。

鱼皮明胶和常规哺乳动物明胶在结构、功能特性以及在食品加工业中的应用具有较大的区别。鱼皮明胶与哺乳动物明胶分子链通常由  $\alpha$ 、 $\beta$  和  $\gamma$ -链组成，其中， $\beta$ -链和  $\gamma$ -链分别为  $\alpha$ -链的二聚体和三聚体<sup>[2]</sup>。明胶为胶原蛋白降解产物，其氨基酸组成接近于胶原蛋白的氨基酸组成，具有 Gly-X-Y 三联体重复序列 (X 通常为脯氨酸，Y 通常为羟脯氨酸)<sup>[1]</sup>。哺乳动物明胶中亚氨基酸的含量约为 30.0%，暖水鱼类明胶中亚氨基酸含量为 21.5%~25.0%，而冷水鱼类明胶中亚氨基酸含量约为 17.0%。亚氨基酸的吡咯环结构可产生有利于稳定明胶螺旋结构的空位阻，而吡咯环上的氮和羟脯氨酸中的羟基可形成氢键<sup>[2]</sup>。结构不同导致哺乳动物明胶和鱼明胶的功能特性存在差异。鱼明胶由于

亚氨基酸含量较低，因此，凝胶强度、黏度和融化温度相较于哺乳动物明胶更低<sup>[2]</sup>。鱼明胶较低的流变学性质，使其适宜在低温下进行操作，并在含有维生素、鱼油、色素和其他活性物质食品的加工过程中显示出优势<sup>[1]</sup>。目前，哺乳动物明胶占明胶市场份额的 90.0% 以上<sup>[2]</sup>，但由于存在牛海绵状脑病、传染性海绵状脑病和口蹄疫等哺乳动物疾病和宗教因素，哺乳动物明胶在食品中的应用受到限制<sup>[1]</sup>。在过去的几十年中，大量研究证明鱼明胶具有良好的功能特性，有望成为哺乳动物明胶的替代物<sup>[4]</sup>。

近年来学者对鱼皮明胶及其在食品加工业中的应用进行了深入地探究。基于此，本文综述了鱼皮明胶在食品加工业中作为食品添加剂、食品包装材料和活性物质包裹材料的研究进展 (图 1)，并对鱼皮明胶今后的研究发展进行了展望。

### 1 食品添加剂

我国《食品安全国家标准 食品添加剂使用标

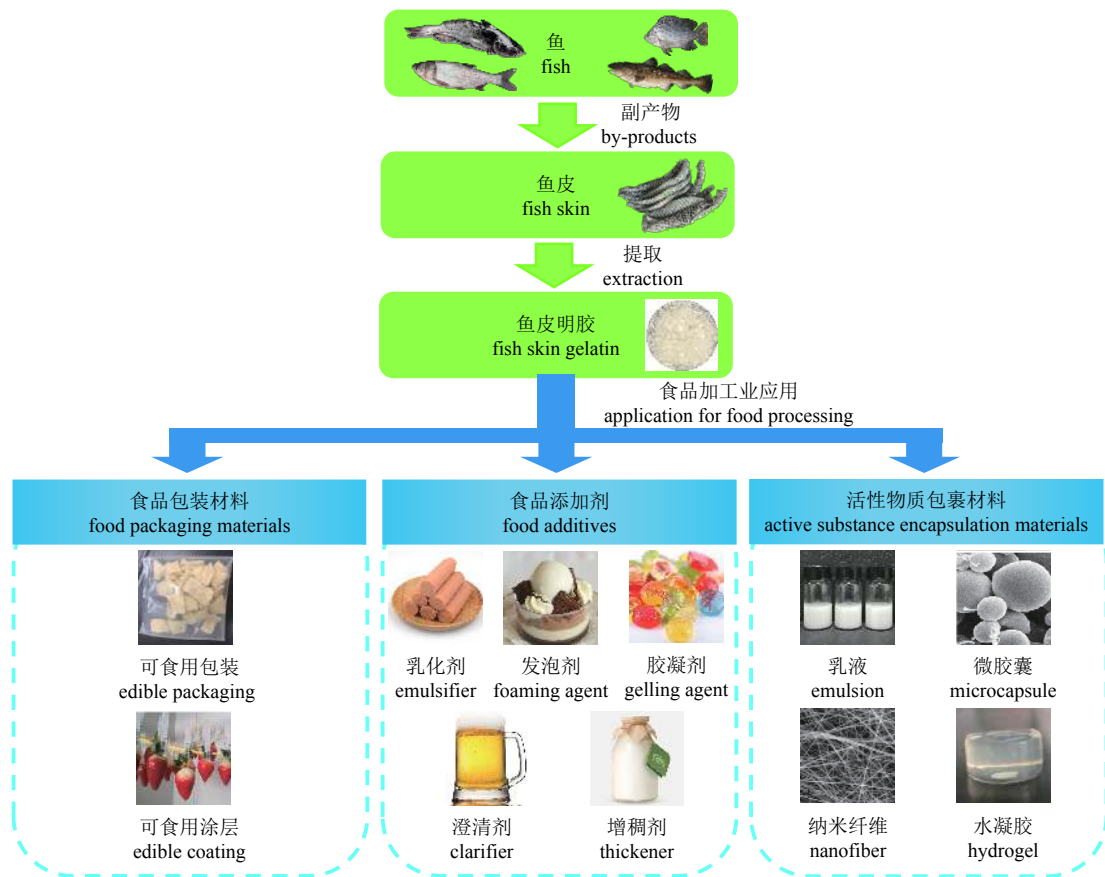


图 1 鱼皮明胶在食品加工业中的应用

Fig. 1 Application of fish skin gelatins in food processing industry

准》(GB 2760—2014)<sup>[14]</sup>将食品添加剂定义为“为改善食品品质和色、香、味、以及为防腐、保鲜和加工工艺的需要而加入食品中的人工合成或者天然物质。食品用香料、胶基糖果中基础剂物质、食品加工业用加工助剂也包括在内”。食品添加剂

根据功能不同可以分为 23 类<sup>[15]</sup>。明胶在食品加工业中可作为乳化剂、发泡剂、澄清剂、增稠剂和胶凝剂等<sup>[16]</sup>, 起到乳化、稳定、澄清、发泡、润湿、保水、调节冰晶和胶凝等作用(表 1)。

表 1 鱼皮明胶作为食品添加剂的部分研究

Tab. 1 Some selected studies on the fish skin gelatin as food additives

添加剂类型 type of food additives	鱼皮来源 sources	化学性质 chemical nature	应用 application	优势 advantages	参考文献 references
乳化剂 emulsifier	冷水鱼	鱼皮明胶、果胶	低脂涂抹酱	低脂涂抹酱体积密度、硬度、压缩性、黏附性、弹性和融化性增加	[17]
	乌贼 <i>Sepia officinalis</i>	鱼皮明胶	火鸡肉香肠	肉糜平均粒径降低且稳定性显著提高, 香肠的亮度、色彩饱和度、硬度、弹性、黏度和咀嚼性提高	[18]
	乌贼 <i>S. officinalis</i>	鱼皮明胶	乌贼肉香肠	提高了香肠中蛋白质的含量、肉糜的稳定性、保水性、硬度和耐嚼性	[19]
发泡剂 foaming agent	斑点叉尾鲷 <i>Ictalurus punctatus</i>	鱼皮明胶	冰淇淋	促进了泡沫的形成和稳定, 使得冰淇淋具有更厚且更光滑的质地	[20]
澄清剂 clarifier	斑点叉尾鲷 <i>I. punctatus</i>	鱼皮明胶	啤酒	提高了啤酒的澄清度, 且斑点叉尾鲷鱼皮明胶的澄清能力优于商业牛骨明胶	[20]
	乌贼 <i>S. officinalis</i>	鱼皮明胶	苹果汁	鱼皮明胶的澄清效果比牛明胶好, 且对苹果汁的生化指标无明显影响	[21]
	团扇鲷 <i>Raja clavata</i>	鱼皮明胶	苹果汁	果汁的浊度明显下降, 澄清剂对苹果汁中有机酸和糖浓度无影响	[22]
增稠剂 thickener	淡水鱼	鱼皮明胶	鸡肉丸	动态流变学性能提高	[23]
	黄鳍金枪鱼 <i>Thunnus albacares</i>	鱼皮明胶	冰淇淋	冰淇淋膨胀率降低, 黏度增加, 质地变软, 且冰淇淋的味道和颜色无明显变化	[24]
	尼罗罗非鱼 <i>Oreochromis niloticus</i>	鱼皮明胶	酸奶	酸奶的硬度和黏度增加, 黏附性降低, 口感光滑且黏稠	[25]
胶凝剂 gelling agent	鳊 <i>Ilisha elongata</i>	鱼皮明胶	软糖	软糖质地良好, 且鱼皮明胶形成的凝胶对火龙果红色素具有较好的保留能力	[26]
	狭鳕 <i>Theragra chalcogramma</i>	鱼皮明胶、卡拉胶	软糖	软糖表面光滑、糖体饱满、块形整齐、咀嚼性较好	[27]
	尼罗罗非鱼 <i>O. niloticus</i>	鱼皮明胶	果冻	提高了硬度、凝胶性和咀嚼性, 并延长了果冻的保质期	[28]

## 1.1 乳化剂

乳化剂指能改善各相间界面张力并形成均匀分散体或乳化体的物质。乳化剂在食品中除了具有典型的降低界面张力作用外, 还具有消泡、增稠、稳定、润滑和保护等作用<sup>[29]</sup>。

明胶分子结构上具有疏水部位和亲水部位, 当其吸附到油水界面后, 可以降低界面张力并表现出一定的乳化性<sup>[12]</sup>。明胶的乳化性受来源、提取方法和浓度等因素的影响。具有适当分子量短肽链的鱼皮明胶, 可以迅速迁移并定位在油滴周围, 并表现出比哺乳动物明胶更好的乳化活性。此外, 短肽链可以提供更多的带电基团, 增强了液滴间的静电斥力, 从而提高了鱼皮明胶的乳化

稳定性。提取温度升高会导致低分子量碎片数量过多, 提供过强的静电排斥力, 阻碍了鱼皮明胶在油滴界面上形成弹性膜, 从而导致乳化稳定性降低<sup>[30]</sup>。

明胶作为乳化剂已应用到乳制品、甜点、烘焙制品、肉制品和低脂涂抹酱等食品<sup>[1]</sup>。鱼皮明胶的乳化性使其在室温下可以获得良好的塑性和涂布性能, 与果胶混合后可制备得到脂肪含量低的涂抹酱<sup>[17]</sup>。乌贼鱼皮明胶加入火鸡肉香肠后, 肉糜乳液的液滴-水界面变得模糊、平均粒径降低、火鸡肉糜的稳定性显著提高。由此种鸡肉糜制备的香肠, 其亮度和色彩饱和度增加。由于鱼皮明胶-肉蛋白基质的形成, 香肠的硬度、弹性、黏度

和咀嚼性提高, 而内聚性降低。感官分析表明, 鱼皮明胶提高了香肠的可切片性、质地和整体可接受性<sup>[18]</sup>。类似的研究结果也出现在以乌贼鱼皮明胶作为乳化剂所制备的乌贼肉香肠中<sup>[19]</sup>。

## 1.2 发泡剂

泡沫是许多常见食品(如鲜奶油、慕斯、蛋奶酥、冰淇淋、面包和蛋糕等)和饮料(如碳酸饮料和啤酒)的重要组成部分<sup>[31]</sup>, 可以为食品提供特殊的结构、外观和口味<sup>[32]</sup>。食品泡沫由于外相液体含量低, 因此界面膜十分不稳定。为了提高泡沫的稳定性, 通常会加入发泡剂来形成一层相对坚固的膜<sup>[33]</sup>。

明胶分子结构中的亲水和疏水区域赋予其发泡特性。明胶的泡沫形成能力与来源、组成、性质和溶液构象相关<sup>[34]</sup>, 而泡沫稳定能力则主要取决于明胶的分子量、疏水基团含量和界面性质<sup>[13, 34-35]</sup>。Casanova等<sup>[13]</sup>通过对比海洋胶原蛋白、冷水鱼皮明胶、青鳉鱼皮明胶的泡沫稳定性, 指出泡沫稳定性与明胶分子链中疏水基团含量呈正相关。青鳉鱼皮明胶分子链中具有较高的疏水基团含量, 其形成的泡沫具有更好的稳定性。此外, 泡沫的稳定性还受到界面流变学性能的影响。青鳉鱼皮明胶由于具有较高的黏度, 因此在空气-水界面处表现出更好的蛋白质结合能力。Liu等<sup>[36]</sup>发现大麻哈鱼(*Oncorhynchus keta*)鱼皮明胶比商业牛骨明胶有更好的泡沫稳定性, 且泡沫稳定性随着鱼皮明胶提取温度的增加而增加。高温提取促进了胶原蛋白的降解, 产生的小分子量的明胶可以快速吸附到空气-水界面形成泡沫并在界面上快速展开和重排。鱼皮明胶的泡沫稳定性可通过与多糖发生相互作用(吸引或排斥)得到提高<sup>[37]</sup>。冷水鱼皮明胶与海藻酸钠混合物形成的泡沫具有比冷水鱼皮明胶单独形成的泡沫具有更好的稳定性。海藻酸钠的加入增加了溶液的黏度, 阻碍了泡沫形成过程中空气的掺入, 且海藻酸钠吸湿性强、分子量高, 可以通过提高持水能力来形成更重和更硬的泡沫。冷水鱼皮明胶-海藻酸钠形成的网络也可以防止气泡的聚集并减少液体的排除, 从而有利于泡沫的稳定性<sup>[35]</sup>。鱼皮明胶良好的泡沫稳定性使其在冰淇淋等食品中具有广泛的应用。斑点叉尾鲷鱼皮明胶与糖的混合物促进了冰淇淋中泡沫的形成和稳定, 使得冰淇淋具有更厚且更光滑的质地。此外, 鱼皮明胶具有的良好持水能力有

利于与水形成凝胶网络, 增加冰淇淋的黏度, 并防止粗冰晶的形成<sup>[20]</sup>。

## 1.3 澄清剂

饮料和果酒在加工过程中易发生浑浊, 导致饮料和果酒的品质下降。浑浊产生的主要原因包括物化因素(如蛋白质、果胶、盐类和单宁等)、酶氧化(如酚氧化)和微生物(如细菌、酵母菌和霉菌等)<sup>[38]</sup>。使用澄清剂是改善饮料和果酒浑浊现象的良好方法之一。澄清剂的澄清原理可以分为3种: ①澄清剂与果胶等物质发生化学反应使得颗粒失去果胶保护而沉淀; ②澄清剂与带相反电荷的物质发生静电相互作用而沉淀; ③澄清剂通过吸附作用将悬浮颗粒凝聚从而使果酒和饮料澄清。

明胶可通过与饮料和果酒中带相反电荷的物质发生静电相互作用而起到澄清作用<sup>[39]</sup>。Duan等<sup>[20]</sup>对比了斑点叉尾鲷鱼皮明胶和商业牛骨明胶对啤酒的澄清作用, 结果表明, 两种明胶均显著提高了啤酒的澄清度, 且斑点叉尾鲷鱼皮明胶的澄清能力优于商业牛骨明胶。鱼皮明胶澄清啤酒的效果受明胶浓度的影响。当浓度高于0.04%时, 鱼皮明胶增加了啤酒的黏度, 从而导致啤酒发生缓慢沉淀和浑浊。鱼皮明胶作为澄清剂在苹果汁制备工艺中也显示出了良好的效果<sup>[21]</sup>。团扇鳉鱼皮明胶加入苹果汁后, 果汁中带正电荷的明胶分子与带负电荷的多酚和花青素通过静电相互作用形成絮状物, 使得果汁的浊度明显下降, 并在明胶浓度为6 g/L时达到最大澄清度。加入澄清剂后苹果汁中有机酸和糖的浓度保持不变, 且鳉鱼皮明胶显示出了比牛骨明胶更好的澄清效果<sup>[22]</sup>。

## 1.4 增稠剂

增稠剂指一类可以提高体系黏度的助剂, 可以在短时间内使体系形成稳定性好的乳浊状态或悬浮状态<sup>[40-41]</sup>。增稠剂在溶液中可以形成网状结构或具有较多亲水基团的胶体, 从而改善食品的黏度和质地, 并兼有稳定、保水和胶凝作用。

明胶为动物原料来源增稠剂, 当其溶于水中, 可以在冷却过程中形成稳定的三维网络, 从而增加食品的黏弹性并赋予食品独特的感官特性<sup>[35]</sup>。Murray等<sup>[42]</sup>通过对比蔗糖、黄原胶、瓜尔胶、明胶和果胶5种增稠剂对气泡稳定性的影响, 发现5种亲水胶体中最有效的为明胶。当明胶浓度低至0.01%时, 气泡的稳定性得到显著提高。明胶可

以与其他蛋白质形成络合物,并在界面上发生结构展开,增加界面膜的黏度和强度。Yasin 等<sup>[23]</sup>将鱼皮明胶加入到鸡肉丸后,发现肉丸的动态流变学性能得到了提高,且当明胶的添加量为 4.62 g/100 mL 时,鸡肉丸的各项质构指标达到最佳。冰淇淋中加入金枪鱼鱼皮明胶后膨胀率降低、黏度增加、质地变软,但冰淇淋的味道和颜色无明显变化<sup>[24]</sup>。Pang 等<sup>[25]</sup>探究了罗非鱼鱼皮明胶作为增稠剂对酸奶的影响,结果显示罗非鱼鱼皮明胶增加了酸奶的硬度和黏度,并降低了酸奶的黏附性。感官评价结果表明,加入罗非鱼鱼皮明胶的酸奶口感光滑且黏稠。

### 1.5 胶凝剂

水胶体在溶液中通常可以与水分子结合,成为有黏弹性的分散体或凝胶。增稠特性是所有水胶体的共同特性,但仅有部分水胶体在溶液中可以形成能捕获或固定水分子的凝胶。凝胶往往可以赋予食品独特的感官特性,如弹性或脆性、可延展性和耐咀嚼性等<sup>[43]</sup>。常见的胶凝型水胶体包括藻酸盐、果胶、角叉菜胶、明胶、结冷胶和琼脂等<sup>[44]</sup>。

明胶溶于水后能形成相互吸引、交织的层层网状结构,且随溶液温度降低而凝聚。明胶形成的凝胶空隙能将水和糖等物质捕获,并表现出良好的抗形变能力<sup>[45]</sup>。明胶的凝胶特性使其广泛应用于各种类型糖果的制备(如软糖、棉花糖、牛乳糖和压片糖等)<sup>[45]</sup>。Hani 等<sup>[26]</sup>将鳊鱼皮明胶作为胶凝剂用于制备软糖时发现,鳊鱼皮明胶可以形成质地良好的软糖,且鱼皮明胶形成的凝胶对火龙果中的红色素具有较好的保留能力。糖果中的甜味剂或糖基成分对鱼皮明胶的结构和功能特性有显著影响<sup>[46]</sup>。甜味剂或蔗糖上的羟基与鱼皮明胶分子上的羧基可形成氢键,并将鱼皮明胶二级结构中的无规则卷曲转化为  $\alpha$ -螺旋,形成致密的三维网络结构。加入了甜味剂或蔗糖的凝胶样品具有更高的储能模量、耗能模量,起泡性和持水性<sup>[47]</sup>。山梨糖醇和蔗糖添加入虹鳟 (*Oncorhynchus mykiss*) 鱼皮明胶后,增加了聚合物链之间的交联并触发了更多结合区的形成,这导致了明胶凝胶硬度和咀嚼度的增加<sup>[48]</sup>。鲁军等<sup>[27]</sup>以卡拉胶与狭鳕鱼皮明胶作为复配胶凝剂制备的软糖具有光滑的表面,糖体饱满、块形整齐且咀嚼性好。Yusof 等<sup>[28]</sup>发现,提取过程中辅助高压处理提高了罗非鱼鱼皮

明胶的凝胶强度,这使得由其作为胶凝剂所制备的果冻提高了硬度、黏性、胶性和咀嚼性,并延长了果冻的保质期。

## 2 食品包装材料

食品包装保障食品在贮藏和运输过程中不与外界空气、光线、水分、异物和微生物接触并避免受各种外力振动、冲击、挤压而发生变形和破损。传统食品包装材料主要包括玻璃、金属、塑料、纸和纸板等。然而传统食品包装材料已不能满足环境和可持续发展的要求。可食性包装被认为是既可以满足食品包装要求,同时也符合绿色发展的良好替代品<sup>[49]</sup>。明胶由多种氨基酸组成、无抗原性、营养价值高、可被人体完全吸收且透明性好,被认为是一种安全性高的天然生物可食性包装材料<sup>[3]</sup>。鱼皮明胶常作为可食用包装材料和可食用涂层材料,用于水产品、肉制品和果蔬的包装和贮藏。部分鱼皮明胶作为包装材料在食品加工业中的应用总结见表 2。

### 2.1 可食用包装

可食用包装是指由可食用材料预先成型且可置于食品成分之上或之间的薄层<sup>[58]</sup>。基于明胶的可食用包装主要由猪、牛及鱼皮明胶制成,具有抑菌和抗氧化等特点,可避免食品发生微生物污染、重金属迁移、能量传递等不良贮藏现象,以达到延长产品货架期的目的<sup>[3]</sup>。

明胶溶于水后具有溶胶-凝胶转换性,当明胶形成凝胶时,构成三维网络结构的水被挤出蛋白质矩阵并收缩为橡胶态的膜,干燥后即成为玻璃态的明胶膜<sup>[3]</sup>。鱼皮明胶的亚氨基酸含量较哺乳动物明胶低,因此,鱼皮明胶膜的机械强度、热稳定性及水蒸气阻隔效果较差。此外,鱼皮明胶膜在不同水分活度下也表现出不同的状态和机械性能:当水分活度 $<0.33$ 时,鱼皮明胶膜处于玻璃态且机械性能稳定;当水分活度 $>0.44$ 时,膜的断裂延伸率上升且拉伸强度显著下降;当水分活度达到 0.92 时,膜开始溶解变为溶胶<sup>[59]</sup>。纯鱼皮明胶膜湿度敏感性较高且抗氧化活性较低,这些问题限制了纯鱼皮明胶膜的应用。近年来,为了提高鱼皮明胶膜的水稳定性和功能特性,物理、化学和酶法修饰已用于鱼皮明胶膜的制备<sup>[60]</sup>。冷水鱼皮明胶与海藻酸二醛交联制备的复合膜表现出了高水稳定性和机械强度。复合膜的拉伸强度和杨

表 2 鱼皮明胶作为食品包装材料的部分研究

Tab. 2 Some selected studies on the fish skin gelatin as food packing materials

包装类型 type of food packaging	鱼皮来源 sources	包装材料 packaging materials	应用 application	优势 advantages	参考文献 references
可食用包装 edible packaging	鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	壳聚糖-鱼皮明胶	草鱼片	降低了鱼片的TPC和TVB-N值, 延长鱼片的货架期至12 d并表现出抗菌活性	[50]
	尼罗罗非鱼 <i>O. niloticus</i>	表没食子儿茶素没食子酸酯-明胶乳液-鱼皮明胶	油炸鲑鱼皮	降低了油炸鲑鱼皮在贮藏30 d后的PV值和TBARS值, 有效地维持了油炸鲑鱼皮中的多不饱和脂肪酸, 并有效阻止了脂质二次氧化产物的产生	[51]
	暗鳍兔头鲈 <i>Lagocephalus gloveri</i>	辣木叶提取物-鱼皮明胶	奶酪	有效地抑制了微生物的生长并阻碍了奶酪的脂质氧化	[52]
可食用涂层 edible coating	朱林氏原鲃 <i>Probarbus jullieni</i>	甘油-鱼皮明胶-角鲨烯	炸鱼片	抑制了炸鱼片中不饱和脂肪酸的氧化, 降低了PV值和TBARS值, 有效地抑制了挥发性化合物的生成	[53]
	乌贼 <i>S. officinalis</i>	指甲花提取物-鱼皮明胶	牛肉	减少了贮藏期间总细菌和嗜冷菌的数量, 降低了脂质氧化和蛋白质水解, 保留了样品的色泽	[54]
	鲢 <i>H. molitrix</i>	姜黄素/ $\beta$ -环糊精的鱼皮明胶乳液	草鱼片	抑制了草鱼片的脂质氧化和蛋白质降解	[55]
	尼罗罗非鱼 <i>O. niloticus</i>	壳聚糖-鱼皮明胶	苹果切块	减缓了苹果切块的褐变反应、品质下降速率和维生素C的形成, 并抑制了微生物的生成	[56]
	斑鳊 <i>Hemiramphus far</i>	鱼皮明胶	星鲨鱼片	延缓了鱼片的腐败, 保持了新鲜鱼片的初始颜色, 减缓了脂质和蛋白质的氧化、微生物的生长、核苷酸和蛋白质的降解	[57]

氏模量较纯鱼皮明胶膜分别提高了 400.0% 和 600.0%。复合膜在潮湿环境下可以在 30 d 内保持稳定且具有良好的抗氧化能力<sup>[61]</sup>。罗非鱼鱼皮明胶经氧化亚油酸修饰后制备而成的膜在 8 周内表现出较低的水蒸气渗透性, 稳定性优于未修饰鱼皮明胶膜<sup>[62]</sup>。

明胶膜多用于水产品 and 肉制品包装, 可通过阻隔气体 (O<sub>2</sub> 和 CO<sub>2</sub>) 来保持产品色泽、防止脂质氧化和细菌滋生。为了提高明胶膜对产品的包装效果、扩大应用范围, 常添加疏水、抗菌和抗氧化物质对明胶膜进行改性<sup>[63]</sup>。鲢鱼皮明胶与壳聚糖混合溶液制备的载牛至精油可食膜表现出了有效的抗菌活性, 并显著提高了膜的水蒸气阻隔性和光阻隔性。将其用于包装鱼片后, 降低了鱼片的菌落总数 (TPC) 和总挥发性盐基氮 (TVB-N) 值, 使鱼肉的货架期延长至 12 d<sup>[50]</sup>。相较于单层明胶膜而言, 通过热压成型制备的乳化明胶-鱼皮明胶双层膜在低水蒸气和氧气渗透率下表现出良好的性能。加入表没食子儿茶素没食子酸酯提高了双层膜的机械性和紫外线-可见光阻隔性能。双层薄膜包装的油炸鲑鱼皮在贮藏 30 d 后具有较浅的淡黄色、较低过氧化物 (PV) 值和硫代巴比妥酸反应物 (TBARS) 值。双层薄膜有效地维持了油炸鲑鱼皮中的多不饱和脂肪酸, 并有效阻止了脂质二次氧化产物的产生<sup>[51]</sup>。鱼皮明胶膜作为可食用包装,

也可用于奶酪<sup>[52]</sup> 和炸鱼片<sup>[53]</sup> 等食品的包装。

## 2.2 可食用涂层

可食用涂层被定义为可应用于任何食品表面的一薄层的可食用物质。与可食用包装相比, 可食用涂层可直接涂抹或浸涂于食品表面, 无需预先形成具有一定形状的薄层。可食用涂层可以为食品提供保护屏障、也可以减少化学和机械应力的有害影响, 并具有抗氧化、抗菌和抗褐变等功能。此外, 可食用涂层还可以调节水分、氧气、二氧化碳、乙烯的转移、保留香气和味道化合物<sup>[64-65]</sup>。相比较于传统的包装方法, 可食用涂层是一种廉价、易得且适用于大多数食品的方法, 现已广泛用于水果、蔬菜、鱼和鱼片等食品的包装<sup>[64]</sup>。

鱼明胶良好的成膜性、耐干燥性、耐光和耐氧等性能使其成为目前最常用的可食用涂层材料之一。卵形鲳鲹 (*Trachinotus blochii*) 鱼片浸泡于罗非鱼明胶与茶多酚混合而成的溶液后, 可在鱼片表面形成涂层。当茶多酚含量为 0.4% 和罗非鱼明胶为 1.2% 时, 其鱼片产生的 1-辛烯-3-醇、2-甲基丙酸和二甲基硫醚等腐败变质标记物最少, 且需氧嗜温/嗜冷菌、酵母菌和霉菌数量显著低于对照组, 显示出最佳的抗菌效果, 并有效防止了冷藏期间卵形鲳鲹鱼片发生变质<sup>[66]</sup>。乌贼鱼皮明胶与指甲花提取物形成的涂层减少了牛肉在冷藏期

间总细菌和嗜冷菌的数量, 降低了脂质氧化和蛋白质水解, 并保留了牛肉的色泽<sup>[54]</sup>。富含姜黄素/ $\beta$ -环糊精的鲢鱼皮明胶乳液涂层在 4 °C 贮藏条件下显示出了对草鱼 (*Ctenopharyngodon idella*) 鱼片良好的抗氧化作用。明胶乳液涂层降低了氧气的透过率, 且姜黄素的添加增强了涂层的抗氧化能力, 可抑制草鱼片脂质的氧化, 并在贮藏过程中抑制蛋白质降解<sup>[55]</sup>。罗非鱼鱼皮明胶与壳聚糖形成的涂层减缓了苹果切块的褐变反应。在 5 °C 下贮藏 12 d 的过程中, 带有涂层的苹果切块的品质下降速率变缓。罗非鱼鱼皮明胶和壳聚糖形成的涂层可缓解维生素 C 的形成并抑制微生物的生成<sup>[56]</sup>。斑鳢鱼皮明胶包被于星鲨 (*Mustelus mustelus*) 鱼片后, 延缓了鱼片腐败并且保持了新鲜鱼片的初始颜色。同时减缓了鱼皮脂质和蛋白质的氧化、微生物的生长、核苷酸以及蛋白质的降解<sup>[57]</sup>。

### 3 活性物质包裹材料

食品中存在着大量活性物质, 这些物质对于改善食品营养、理化性质和延长食品保质期有重要作用<sup>[67]</sup>。然而, 活性物质的稳定性较差, 易受

热、氧和化学因素影响。构建合理的传递体系将活性物质包封可以减轻活性成分在加工和运输过程中受各类物理和化学因素的影响, 并将其输送到胃肠道中所需的位置, 同时不对食品的外观、稳定性、质地或风味产生不利影响<sup>[67]</sup>。传递体系通常可分为乳液、微胶囊、纳米纤维和水凝胶等<sup>[68]</sup>。部分鱼皮明胶作为活性物质包裹材料在食品加工业中的应用总结见表 3。

#### 3.1 乳液

乳液是最常见的活性物质传递体系之一, 通常指由互不相溶的两相形成的分散体系<sup>[2]</sup>。亲脂性和亲水性活性物质可以分别溶于油相和水相中, 并通过乳液体系进行传递。

明胶分子结构中具有亲水部位和疏水部位, 可以吸附在油水界面上形成乳液<sup>[2]</sup>。鱼皮明胶稳定的乳液比小分子乳化剂稳定的乳液具有更强的抵抗环境变化的能力。负载异硫氰酸苄酯的鱼皮明胶乳液在各消化过程中均有较高的保留率和生物可接受性, 并表现出了较好的缓释效果<sup>[69]</sup>。纯鱼皮明胶稳定的乳液相比于哺乳动物明胶稳定性较差<sup>[79]</sup>。为了提高鱼皮明胶乳液的稳定性, 物理

表 3 鱼皮明胶作为壁材包裹活性物质的部分研究

Tab. 3 Some selected studies on the fish skin gelatin as wall materials to encapsulate active substances

包裹类型 type of encapsulation	鱼皮来源 sources	壁材 wall materials	活性物质 active substance	优势 advantages	参考文献 references
乳液 emulsion		鱼皮明胶	异硫氰酸苄酯	乳液在各消化过程中均有较高的保留率和生物可接受性, 并表现出了较好的缓释效果	[69]
	虎斑乌贼 <i>S. pharaonis</i>	氧化单宁酸修饰的鱼皮明胶	鲱鱼油	乳液有效地阻止了氧气渗入油滴, 提高了鲱鱼油的抗氧化活性	[70]
	虎斑乌贼 <i>S. pharaonis</i>	氧化单宁酸和氧化亚油酸修饰的鱼皮明胶	鲱鱼油	乳液可以有效地清除自由基, 提高了抑制 TBARS 形成的能力	[71]
	冷水鱼	辛烯基琥珀酸酐修饰的鱼皮明胶	深海鱼油	提高了载鱼油乳液的液滴稳定性	[72]
微胶囊 microcapsule	冷水鱼	MTGase 交联的鱼皮明胶-麦芽糊精	鳕鱼肝油	MTGase 交联的多层微胶囊对鱼油氧化有明显的抑制作用	[73]
	奥利亚罗非鱼 <i>O. aureus</i>	鱼皮明胶-角叉菜胶	石榴皮提取物	微胶囊化后的石榴皮提取物有效地减少了鱼片贮藏过程中需氧菌、嗜冷菌、酵母菌、霉菌和肠杆菌的产生, 有效期长达 30 d	[74]
纳米纤维 nanofiber	莫桑比克罗非鱼 <i>O. mossambicus</i>	玉米醇溶蛋白、鱼皮明胶	苦瓜提取物	提取物在 180 d 贮藏期间保留了约 70.0% 的铁离子还原能力和 80.0% 自由基清除能力, 在冷藏和环境条件下的货架稳定性高	[75]
	欧洲鳗鲡 <i>Anguilla anguilla</i>	鱼皮明胶	鱼油	鱼皮明胶浓度为 15.0% 时可获得直径为 1.9 $\mu\text{m}$ 的微纤维。当鱼油与鱼皮明胶比例为 1:4 时, 微纤维对鱼油的包封率达 89.79%	[76]
		鱼皮明胶	肉桂醛	载肉桂醛的纳米纤维对大肠杆菌 O157: H7、鼠伤寒沙门氏菌和单核细胞增多性李斯特氏菌产生了抗菌活性	[77]
水凝胶 hydrogel	吻斑犁头鳐 <i>Rhinobatos cemiculus</i>	鱼皮明胶-纤维素微晶体	维生素 B <sub>2</sub>	复合水凝胶在酸性环境中显示出了较高的溶胀率, 对维生素 B <sub>2</sub> 的包封率达 75.8%, 并在 pH 为 2 时表现出快速释放	[78]

修饰、化学修饰、酶法修饰和复合修饰已用于改善鱼皮明胶的乳化性<sup>[2, 80]</sup>。物理处理, 如高压<sup>[81]</sup>、紫外线<sup>[82]</sup>、超声<sup>[83]</sup>及辐射<sup>[82]</sup>等已被证明可以改善明胶的乳化特性。小分子表面活性剂、多酚、大分子物质和纤维素纳米晶体等物质也可通过与鱼皮明胶物理共混而改善乳液的稳定性, 提高乳液对活性物质的包封能力<sup>[2, 80]</sup>。鱼皮明胶分子结构上含有氨基、羟基、巯基等活性基团, 这些活性基团与多酚、醛类、磷酸化试剂、酰化试剂和糖类反应, 可以改善鱼皮明胶的功能性质<sup>[2]</sup>。Aewsiri等<sup>[70-71]</sup>通过对比氧化多酚修饰的虎斑乌贼皮明胶的乳化特性发现, 氧化咖啡酸或氧化单宁酸修饰的明胶的表面疏水性低于氧化阿魏酸修饰的明胶。氧化单宁酸明胶制备的乳液对大西洋鲱 (*Clupea harengus*) 鱼油的抗氧化活性随明胶浓度的增加而增加。当明胶浓度较高时界面膜较厚, 可以更有效地阻止氧气渗入油滴。冷水鱼皮明胶经辛烯基琥珀酸酐修饰后的稳定乳液也显示出了比未修饰明胶稳定乳液更好的液滴稳定性, 对鱼油有更好的保护效果<sup>[72]</sup>。与化学修饰和物理修饰相比, 酶法修饰具有选择性高、安全性好和反应条件温和等优点<sup>[2]</sup>。目前, 转谷氨酰胺酶、酪蛋白酶和漆酶等已用于修饰鱼皮明胶<sup>[80]</sup>。

### 3.2 微胶囊

微胶囊是一种具有核壳结构并可以将活性物质包裹其中的传递体系, 其中被包裹物质被称为芯材, 外部包被材料被称为壁材。微胶囊技术可以将液态食品材料转换为固体或自由流动的粉末, 有利于食品材料的使用和贮藏<sup>[84]</sup>。目前, 常用的微胶囊技术主要有喷雾干燥法、空气悬浮法、界面聚合法、原位聚合、单凝聚法和复凝聚法等<sup>[85-86]</sup>。微胶囊的封装效率与稳定性通常取决于壁材<sup>[84]</sup>, 藻酸盐、植物胶、壳聚糖、淀粉、明胶、黄原胶和卡拉胶等均为常见的微胶囊壁材<sup>[87]</sup>。

相较于哺乳动物明胶, 鱼皮明胶凝胶温度较低, 这一特性使得鱼皮明胶在微胶囊化过程中显示出优势<sup>[1]</sup>。为了提高包封效率或产生更佳的包封功效 (如抗菌和抗氧化), 鱼皮明胶常与其他物质形成复合壁材或利用化学试剂对鱼皮明胶进行改性。Pourashouri等<sup>[73]</sup>探究了以微生物转谷氨酰胺酶 (MTGase) 作为交联剂对明胶基鱼油微胶囊的影响, 结果表明, 加入 MTGase 提高了微胶囊的稳定性和鱼油抗氧化能力。MTGase 具有的良好

交联能力提高了明胶网络的致密性, 从而导致氧气的渗透性降低, 起到了更好的保护鱼油的作用。Khojah<sup>[74]</sup>以奥利亚罗非鱼鱼皮明胶和角叉菜胶作为壁材, 石榴皮提取物作为芯材制备了平均粒径为 36.2  $\mu\text{m}$  的微胶囊。将此微胶囊溶液作为涂层包裹在鱼皮表面可有效地减少贮藏过程中需氧菌、嗜冷菌、酵母菌、霉菌和肠杆菌的产生, 有效期长达 30 d。

### 3.3 纳米纤维

纳米纤维是直径数十至数百纳米的一种纤维状纳米材料, 具有高表面积-体积比、相互连接的纳米孔和高质量传输等独特的性能。纳米纤维可经自组装、界面聚合、熔体吹制和静电纺丝等技术制备。其中, 静电纺丝技术由于不涉及热、光或压力, 成为了封装活性物质的首选<sup>[88]</sup>。

鱼皮明胶具有独特的流变特性和较低的凝胶温度, 可以水作为溶剂进行静电纺丝, 是最常用的纳米纤维制备材料之一。Songchotikunpan等<sup>[89]</sup>以罗非鱼鱼皮明胶制备了平均直径为 109~761 nm 的纳米纤维, 且纳米纤维的直径随明胶溶液浓度的增加而增加。Torkamani等<sup>[75]</sup>采用同轴静电纺丝技术制备了玉米醇溶蛋白和莫桑比克罗非鱼鱼皮明胶纳米纤维, 此纳米纤维平均粒径为 (160 $\pm$ 25) nm~(250 $\pm$ 45) nm, 对苦瓜提取物中多酚和黄酮物质的包封率分别为 87.0%~91.0% 和 86.0%~93.0%。同轴纳米纤维包裹的提取物在 180 d 贮藏期间保留了约 70.0% 的铁离子还原能力和 80.0% 的自由基清除能力。与未包封的提取物相比, 包封后的提取物在冷藏和环境条件下的货架稳定性显著提高。近年来, 可以包封一系列亲水或疏水食品成分且在制备过程中对活性成分起到良好保护作用的乳液静电纺丝技术受到了越来越多地关注。Taktak等<sup>[76]</sup>利用静电纺丝技术制备了载鱼油的欧洲鳗鲡鱼皮明胶微纤维。鱼皮明胶水溶液浓度为 15.0% 时可获得直径为 1.9  $\mu\text{m}$  的微纤维。当鱼油与鱼皮明胶比例为 1:4 时, 微纤维对鱼油的包封率达到 89.79%。Liu等<sup>[77]</sup>以载肉桂醛鱼皮明胶乳液制备了纳米纤维, 该纳米纤维的直径 (67.5~98.3 nm) 随肉桂醛浓度 (0.0%~30.0%) 增加而增加。肉桂醛液滴由于粒径较大而被拉伸, 并分布在纳米纤维的表面。载肉桂醛的纳米纤维通过直接扩散和蒸汽释放, 对大肠杆菌 (*Escherichia coli* O157: H7)、鼠伤寒沙门氏菌 (*Salmonella*



*typhimurium*) 和单核细胞增多性李斯特氏菌 (*Listeria monocytogenes*) 产生抗菌活性。

### 3.4 水凝胶

水凝胶是一类由聚合物在水溶液中形成的具有三维网络结构的材料, 可以呈现线性或分支结构, 能容纳大量水或生物液体并保持固体材料的特性<sup>[90-91]</sup>。水凝胶的三维网络结构特性使其具有强吸水能力、保水溶胀性能和高弹性, 并将活性物质包裹在网络内部<sup>[92]</sup>。近年来, 随着对水凝胶材料研究的逐渐加深, 对温度、光照、磁场、电和 pH 等外界环境变化敏感的智能型水凝胶在活性物质的包裹和缓控释研究上也显示出了良好的发展前景。

明胶可通过分子间氢键相互作用形成凝胶<sup>[2]</sup>。当溶液温度高于明胶的凝胶温度时, 明胶溶解并形成胶体溶液。随着胶体溶液温度降低, 明胶分子链发生重排, 三螺旋结构部分恢复, 并形成“变性”或“结构化”的明胶<sup>[93]</sup>。鱼皮明胶形成的凝胶为热可逆凝胶, 当温度高于 35 °C 时, 由于键能较弱, 凝胶网络易被破坏。近年来, 大量研究采用物理和化学方法对明胶进行修饰, 以提高明胶基水凝胶的稳定性甚至赋予其环境响应性。罗非鱼鱼皮明胶中加入  $\kappa$ -角叉菜胶后, 浸入质量百分比浓度为 10% 的  $K_2SO_4$  溶液中可以制得坚固的鱼皮明胶水凝胶。修饰后鱼皮明胶形成的水凝胶硬度、弹性模量、热稳定性和结合水比例提高, 而自由水比例降低。 $\kappa$ -角叉菜胶可填充在鱼皮明胶水凝胶的缝隙中, 诱导分子间氢键的形成, 并增加有序三螺旋的螺旋结构比率, 从而形成致密的水凝胶结构。 $K^+$  和  $SO_4^{2-}$  的存在增强了静电引力并诱导了明胶分子链中疏水相互作用<sup>[94]</sup>。水凝胶良好的环境响应性, 使其在活性物质的缓控释研究中具有极大优势。吻斑犁头鳐鱼皮明胶与纤维素微晶体形成的复合水凝胶表现出良好的机械性能、抗热降解性和致密性, 并在酸性环境中由于静电斥力降低而显示出较高的溶胀率。此种复合水凝胶对维生素 B<sub>2</sub> 的最大包封率达 75.8%, 且当 pH 值为 2 时表现出快速释放<sup>[78]</sup>。

## 4 总结与展望

鱼皮明胶因具有多种功能特性、安全性高且无需考虑宗教因素, 在食品研究中受到了越来越多的重视。因此, 本综述总结并讨论了鱼皮明胶

作为食品添加剂(乳化剂、发泡剂、澄清剂、增稠剂和胶凝剂)、食品包装材料(可食用包装和可食用涂层)和活性物质包裹材料(乳液、微胶囊、纳米纤维和水凝胶)在食品中的应用现状。目前, 鱼皮明胶在食品加工业中的研究已经逐渐广泛和深入, 但鱼皮明胶的乳化性、增稠性和凝胶性功能特性相较于哺乳动物明胶稍弱。这限制了鱼皮明胶在食品加工中的应用以及在明胶市场中的占比。因此, 为了提高鱼皮明胶的功能特性, 更多有效的改性方法有待深入探究。另一方面, 鱼皮明胶作为添加剂或包装材料应用于各类食品后, 对食品结构、化学性质和品质产生的改变以及鱼皮明胶与食品成分之间的作用机理仍有待探究。了解鱼皮明胶对食品带来的改变及机理将有利于设计品质更佳以及更受消费者喜爱的鱼皮明胶产品。本文可对提高鱼皮明胶的功能特性和扩大其在食品中的应用提供指导。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

### 参考文献 (References):

- [1] Karim A A, Bhat R. Fish gelatin: Properties, challenges, and prospects as an alternative to mammalian gelatins[J]. *Food Hydrocolloids*, 2009, 23(3): 563-576.
- [2] Zhang T, Xu J M, Zhang Y Y, *et al.* Gelatins as emulsifiers for oil-in-water emulsions: extraction, chemical composition, molecular structure, and molecular modification[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2020, 106: 113-131.
- [3] 孙皎皎, 董文宾, 许先猛, 等. 可食性明胶膜研究新进展[J]. *食品科技*, 2014, 39(11): 114-117.  
Sun J J, Dong W B, Xu X M, *et al.* The latest progress in research of edible gelatin films[J]. *Food Science and Technology*, 2014, 39(11): 114-117 (in Chinese).
- [4] Lv L C, Huang Q Y, Ding W, *et al.* Fish gelatin: the novel potential applications[J]. *Journal of Functional Foods*, 2019, 63: 103581.
- [5] Olsen R L, Toppe J, Karunasagar L. Challenges and realistic opportunities in the use of by-products from processing of fish and shellfish[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2014, 36(2): 144-151.
- [6] Chalamaiah M, Kumar B D, Hemalatha R, *et al.* Fish protein hydrolysates: proximate composition, amino acid composition, antioxidant activities and applications: a

- review[J]. *Food Chemistry*, 2012, 135(4): 3020-3038.
- [7] Niu L H, Zhou X, Yuan C Q, *et al.* Characterization of tilapia (*Oreochromis niloticus*) skin gelatin extracted with alkaline and different acid pretreatments[J]. *Food Hydrocolloids*, 2013, 33(2): 336-341.
- [8] Zhang J J, Duan R, Wang Y L, *et al.* Seasonal differences in the properties of gelatins extracted from skin of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*)[J]. *Food Hydrocolloids*, 2012, 29(1): 100-105.
- [9] Fan H Y, Dumont M J, Simpson B K. Preparation and physicochemical characterization of films prepared with salmon skin gelatin extracted by a trypsin-aided process[J]. *Current Research in Food Science*, 2020, 3: 146-157.
- [10] Tkaczewska J, Morawska M, Kulawik P, *et al.* Characterization of carp (*Cyprinus carpio*) skin gelatin extracted using different pretreatments method[J]. *Food Hydrocolloids*, 2018, 81: 169-179.
- [11] Rahman M S, Al-Saidi G S, Guizani N. Thermal characterisation of gelatin extracted from yellowfin tuna skin and commercial mammalian gelatin[J]. *Food Chemistry*, 2008, 108(2): 472-481.
- [12] Renuka V, Ravishankar C N R, Zynudheen A A, *et al.* Characterization of gelatin obtained from unicorn leatherjacket (*Aluterus monoceros*) and reef cod (*Epinephelus diacanthus*) skins[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2019, 116: 108586.
- [13] Casanova F, Mohammadifar M A, Jahromi M, *et al.* Physico-chemical, structural and techno-functional properties of gelatin from saithe (*Pollachius virens*) skin[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2020, 156: 918-927.
- [14] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 2760-2014 食品安全国家标准 食品添加剂使用标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015: 220.  
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. GB 2760-2014 Hygienic standards for uses of food additives[S]. Beijing: China Standard Press, 2015: 220 (in Chinese).
- [15] 张辉, 贾敬敦, 王文月, 等. 国内食品添加剂研究进展及发展趋势[J]. *食品与生物技术学报*, 2016, 35(3): 225-233.  
Zhang H, Jia J D, Wang W Y, *et al.* Current status and future trends of food additives research in China[J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2016, 35(3): 225-233 (in Chinese).
- [16] Milanović J, Petrović L, Sovilj V, *et al.* Complex coacervation in gelatin/sodium caseinate mixtures[J]. *Food Hydrocolloids*, 2014, 37: 196-202.
- [17] Cheng L H, Lim B L, Chow K H, *et al.* Using fish gelatin and pectin to make a low-fat spread[J]. *Food Hydrocolloids*, 2008, 22(8): 1637-1640.
- [18] Jridi M, Abdelhedi O, Souissi N, *et al.* Improvement of the physicochemical, textural and sensory properties of meat sausage by edible cuttlefish gelatin addition[J]. *Food Bioscience*, 2015, 12: 67-72.
- [19] Souissi N, Jridi M, Nasri R, *et al.* Effects of the edible cuttlefish gelatin on textural, sensorial and physicochemical quality of octopus sausage[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2016, 65: 18-24.
- [20] Duan R, Zhang J J, Liu L P, *et al.* The functional properties and application of gelatin derived from the skin of channel catfish (*Ictalurus punctatus*)[J]. *Food Chemistry*, 2018, 239: 464-469.
- [21] Jridi M, Lassoued I, Kammoun A, *et al.* Screening of factors influencing the extraction of gelatin from the skin of cuttlefish using supersaturated design[J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2015, 94: 525-535.
- [22] Lassoued I, Jridi M, Nasri R, *et al.* Characteristics and functional properties of gelatin from thornback ray skin obtained by pepsin-aided process in comparison with commercial halal bovine gelatin[J]. *Food Hydrocolloids*, 2014, 41: 309-318.
- [23] Yasin H, Babji A S, Ismail H. Optimization and rheological properties of chicken ball as affected by  $\kappa$ -carrageenan, fish gelatin and chicken meat[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2016, 66: 79-85.
- [24] Ayudiarti D L, Suryanti, Oktavia D A. The effect of different types and gelatin concentrations on ice cream quality[J]. *E3S Web of Conferences*, 2020, 147: 03026.
- [25] Pang Z H, Deeth H, Yang H S, *et al.* Evaluation of tilapia skin gelatin as a mammalian gelatin replacer in acid milk gels and low-fat stirred yogurt[J]. *Journal of Dairy Science*, 2017, 100(5): 3436-3447.
- [26] Hani N M, Romli S R, Ahmad M. Influences of red pitaya fruit puree and gelling agents on the physico-mechanical properties and quality changes of gummy confections[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2016, 35(3): 225-233 (in Chinese).

- Technology, 2015, 50(2): 331-339.
- [27] 鲁军, 陈海华. 花生凝胶软糖工艺研究[J]. *粮油食品科技*, 2010, 18(2): 24-26.
- Lu J, Chen H H. Study on the process of peanut jelly sweet[J]. *Science and Technology of Cereals, Oils and Foods*, 2010, 18(2): 24-26 (in Chinese).
- [28] Yusof N, Jaswir I, Jamal P, *et al.* Texture profile analysis (TPA) of the jelly dessert prepared from halal gelatin extracted using high pressure processing (HPP)[J]. *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 2019, 15(4): 604-608.
- [29] 徐宝财, 王瑞, 张桂菊, 等. 国内外食品乳化剂研究现状与发展趋势[J]. *食品科学技术学报*, 2017, 35(4): 1-7.
- Xu B C, Wang R, Zhang G J, *et al.* Research progress and prospect in food emulsifiers[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2017, 35(4): 1-7 (in Chinese).
- [30] Pan J F, Lian H L, Shang M J, *et al.* Physicochemical properties of Chinese giant salamander (*Andrias davidianus*) skin gelatin as affected by extraction temperature and in comparison with fish and bovine gelatin[J]. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2020, 14(5): 2656-2666.
- [31] Tan H, Han L Y, Yang C. Effect of oil type and  $\beta$ -carotene incorporation on the properties of gelatin nanoparticle-stabilized pickering emulsions[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2021, 141: 110903.
- [32] Xu Y, Yang N, Yang J X, *et al.* Protein/polysaccharide intramolecular electrostatic complex as superior food-grade foaming agent[J]. *Food Hydrocolloids*, 2020, 101: 105474.
- [33] 姚云真, 裘婷婷. 明胶溶液浓度对其发泡性能的影响[J]. *明胶科学与技术*, 2014, 34(4): 187-193.
- Yao Y Z, Qiu T T. Effect of gelatin concentration on foaming property[J]. *The Science and Technology of Gelatin*, 2014, 34(4): 187-193 (in Chinese).
- [34] 詹丽, 陈雪岚. 鱼明胶特性及改性对其品质影响的研究进展[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(23): 385-393.
- Zhan L, Chen X L. Research progress on the properties and modification of fish gelatin[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(23): 385-393 (in Chinese).
- [35] Phawaphuthanon N, Yu D, Ngamnikom P, *et al.* Effect of fish gelatine-sodium alginate interactions on foam formation and stability[J]. *Food Hydrocolloids*, 2019, 88: 119-126.
- [36] Liu Y, Xia L N, Jia H, *et al.* Physicochemical and functional properties of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) skin gelatin extracted at different temperatures[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2017, 97(15): 5406-5413.
- [37] Anvari M, Joyner H S. Effect of fish gelatin-gum arabic interactions on structural and functional properties of concentrated emulsions[J]. *Food Research International*, 2017, 102: 1-7.
- [38] 左映平, 孙国勇. 澄清剂在果酒中的应用研究进展[J]. *安徽农业科学*, 2012, 40(34): 16809-16811.
- Zuo Y P, Sun G Y. Application research progress of clarifiers in wine[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2012, 40(34): 16809-16811 (in Chinese).
- [39] 张少颖, 于有伟. 饮料感官修饰技术研究进展[J]. *饮料工业*, 2013, 16(2): 3-7.
- Zhang S Y, Yu Y W. Advances in research on technologies for sensory modification of beverages[J]. *The Beverage Industry*, 2013, 16(2): 3-7 (in Chinese).
- [40] 于丽, 邢铁玲, 关晋平, 等. 增稠剂的种类及应用研究进展[J]. *印染*, 2017, 43(10): 51-55.
- Yu L, Xing T L, Guan J P, *et al.* Progress and perspective of thickeners and their application[J]. *Dyeing and Finishing*, 2017, 43(10): 51-55 (in Chinese).
- [41] 王淑梅, 王佳新. 增稠剂作用机制及其在食品加工中的应用[J]. *大连大学学报*, 2020, 41(3): 63-66.
- Wang S M, Wang J X. The mechanism of thickener and its application in food production[J]. *Journal of Dalian University*, 2020, 41(3): 63-66 (in Chinese).
- [42] Murray B S, Dickinson E, Gransard C, *et al.* Effect of thickeners on the coalescence of protein-stabilized air bubbles undergoing a pressure drop[J]. *Food Hydrocolloids*, 2006, 20(1): 114-123.
- [43] Saha D, Bhattacharya S. Hydrocolloids as thickening and gelling agents in food: a critical review[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2010, 47(6): 587-597.
- [44] De Vries J. Hydrocolloid gelling agents and their applications[M]//Williams P A, Phillips G O. Gums and stabilisers for the food industry 12. London: Royal Society of Chemistry, 2004: 23-31.
- [45] 陈秀金, 曹健, 汤克勇. 胶原蛋白和明胶在食品中的应用[J]. *郑州工程学院学报*, 2002, 23(1): 66-69, 93.
- Chen X J, Cao J, Tang K Y. Application of collagen and

- gelatin in food industry[J]. Journal of Zhengzhou Grain College, 2002, 23(1): 66-69, 93 (in Chinese).
- [46] 张志平, 彭帅, 牛丽红, 等. 蔗糖和果糖对罗非鱼皮明胶流变性质的影响[J]. 食品工业科技, 2016, 37(13): 262-265, 345.
- Zhang Z P, Peng S, Niu L H, *et al.* Effect of sucrose and fructose on the rheological properties of gelatin derived from tilapia skin[J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(13): 262-265, 345 (in Chinese).
- [47] 蔡路昀, 年琳玉, 李秀霞. 低热量甜味剂对鲑鱼皮明胶理化及功能性质的影响[J]. 中国食品学报, 2020, 20(11): 85-96.
- Cai L J, Nian L Y, Li X X. Effects of low-calorie sweeteners on the physicochemical and functional properties of cod skin gelatin[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2020, 20(11): 85-96 (in Chinese).
- [48] Kamer D D A, Palabiyik I, Isik N O, *et al.* Effect of confectionery solutes on the rheological properties of fish (*Oncorhynchus mykiss*) gelatin[J]. LWT-Food Science and Technology, 2019, 101: 499-505.
- [49] Petkoska A T, Daniloski D, D'Cunha N M, *et al.* Edible packaging: sustainable solutions and novel trends in food packaging[J]. Food Research International, 2021, 140: 109981.
- [50] Wu J L, Ge S Y, Liu H, *et al.* Properties and antimicrobial activity of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) skin gelatin-chitosan films incorporated with oregano essential oil for fish preservation[J]. Food Packaging and Shelf Life, 2014, 2(1): 7-16.
- [51] Nilswan K, Guerrero P, De La Caba K, *et al.* Fish gelatin films laminated with emulsified gelatin film or poly(lactic) acid film: properties and their use as bags for storage of fried salmon skin[J]. Food Hydrocolloids, 2021, 111: 106199.
- [52] Lee K Y, Yang H J, Song K B. Application of a puffer fish skin gelatin film containing *Moringa oleifera* Lam. leaf extract to the packaging of Gouda cheese[J]. Journal of Food Science and Technology, 2016, 53(11): 3876-3883.
- [53] Ali A M M, De La Caba K, Prodpran T, *et al.* Quality characteristics of fried fish crackers packaged in gelatin bags: effect of squalene and storage time[J]. Food Hydrocolloids, 2020, 99: 105378.
- [54] Jridi M, Mora L, Souissi N, *et al.* Effects of active gelatin coated with henna (*L. inermis*) extract on beef meat quality during chilled storage[J]. Food Control, 2018, 84: 238-245.
- [55] Sun X Y, Guo X B, Ji M Y, *et al.* Preservative effects of fish gelatin coating enriched with CUR/ $\beta$ CD emulsion on grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) fillets during storage at 4 °C[J]. Food Chemistry, 2019, 272: 643-652.
- [56] Shyu Y S, Chen G W, Chiang S C, *et al.* Effect of chitosan and fish gelatin coatings on preventing the deterioration and preserving the quality of fresh-cut apples[J]. Molecules, 2019, 24(10): 2008.
- [57] Abdelhedi O, Jridi M, Nasri R, *et al.* Rheological and structural properties of *Hemiramphus far* skin gelatin: potential use as an active fish coating agent[J]. Food Hydrocolloids, 2019, 87: 331-341.
- [58] Ganiari S, Choulitoudi E, Oreopoulou V. Edible and active films and coatings as carriers of natural antioxidants for lipid food[J]. Trends in Food Science & Technology, 2017, 68: 70-82.
- [59] 翁武银, 刘光明, 苏文金, 等. 鱼皮明胶蛋白膜的制备及其热稳定性[J]. 水产学报, 2011, 35(12): 1890-1896.
- Weng W Y, Liu G M, Su W J, *et al.* Preparation and thermal stability of gelatin edible films from shark skins[J]. Journal of Fisheries of China, 2011, 35(12): 1890-1896 (in Chinese).
- [60] Kchaou H, Benbettaieb N, Jridi M, *et al.* Enhancement of structural, functional and antioxidant properties of fish gelatin films using Maillard reactions[J]. Food Hydrocolloids, 2018, 83: 326-339.
- [61] Park J, Nam J, Yun H, *et al.* Aquatic polymer-based edible films of fish gelatin crosslinked with alginate dialdehyde having enhanced physicochemical properties[J]. Carbohydrate Polymers, 2021, 254: 117317.
- [62] Theerawitayaart W, Prodpran T, Benjakul S, *et al.* Storage stability of fish gelatin films by molecular modification or direct incorporation of oxidized linoleic acid: comparative studies[J]. Food Hydrocolloids, 2021, 113: 106481.
- [63] 任佳欣, 遇世友, 许锡凯, 等. 可食性蛋白膜在食品包装中的应用研究进展[J]. 食品工业科技, 2020, 41(9): 320-326.
- Ren J X, Yu S Y, Xu X K, *et al.* Application research progress of edible protein film in food packaging[J]. Sci-

- ence and Technology of Food Industry, 2020, 41(9): 320-326 (in Chinese).
- [64] Panahirad S, Dadpour M, Peighamardoust S H, *et al.* Applications of carboxymethyl cellulose- and pectin-based active edible coatings in preservation of fruits and vegetables: a review[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2021, 110: 663-673.
- [65] Al-Tayyar N A, Youssef A M, Al-Hindi R R. Edible coatings and antimicrobial nanoemulsions for enhancing shelf life and reducing foodborne pathogens of fruits and vegetables: a review[J]. *Sustainable Materials and Technologies*, 2020, 26: e00215.
- [66] Feng X, Ng V K, Mikš-Krajnik M, *et al.* Effects of fish gelatin and tea polyphenol coating on the spoilage and degradation of myofibril in fish fillet during cold storage[J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2017, 10(1): 89-102.
- [67] Niakousari M, Damyeh M S, Gahrue H H, *et al.* Conventional emulsions[M]//Roohinejad S, Greiner R, Oey I, *et al.* Emulsion-based systems for delivery of food active compounds: formation, application, health and safety. USA: John Wiley & Sons Ltd., 2018: 1-28.
- [68] McClements D J. Encapsulation, protection, and release of hydrophilic active components: potential and limitations of colloidal delivery systems[J]. *Advances in Colloid and Interface Science*, 2015, 219: 27-53.
- [69] Tang Y, Wang X H, Yu J H, *et al.* Fish skin gelatin-based emulsion as a delivery system to protect lipophilic bioactive compounds during *in vitro* and *in vivo* digestion: the case of benzyl isothiocyanate[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2020, 134: 110145.
- [70] Aewsiri T, Benjakul S, Visessanguan W, *et al.* Antioxidative activity and emulsifying properties of cuttlefish skin gelatin modified by oxidised phenolic compounds[J]. *Food Chemistry*, 2009, 117(1): 160-168.
- [71] Aewsiri T, Benjakul S, Visessanguan W, *et al.* Emulsifying property and antioxidative activity of cuttlefish skin gelatin modified with oxidized linoleic acid and oxidized tannic acid[J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2013, 6(4): 870-881.
- [72] Zhang T, Ding M Z, Tao L N, *et al.* Octenyl succinic anhydride modification of bovine bone and fish skin gelatins and their application for fish oil-loaded emulsions[J]. *Food Hydrocolloids*, 2020, 108: 106041.
- [73] Pourashouri P, Shabanpour B, Razavi S H, *et al.* Oxidative stability of spray-dried microencapsulated fish oils with different wall materials[J]. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 2014, 23(6): 567-578.
- [74] Khojah S M. Bio-based coating from fish gelatin, k-carrageenan and extract of pomegranate peels for maintaining the overall qualities of fish fillet[J]. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 2020, 29(8): 810-822.
- [75] Torkamani A E, Syahariza Z A, Norziah M H, *et al.* Encapsulation of polyphenolic antioxidants obtained from *Momordica charantia* fruit within zein/gelatin shell core fibers via coaxial electrospinning[J]. *Food Bioscience*, 2018, 21: 60-71.
- [76] Taktak W, Nasri R, López-Rubio A, *et al.* Design and characterization of novel ecofriendly European fish eel gelatin-based electrospun microfibers applied for fish oil encapsulation[J]. *Process Biochemistry*, 2021, 106: 10-19.
- [77] Liu F, Saricaoglu F T, Avena-Bustillos R J, *et al.* Preparation of fish skin gelatin-based nanofibers incorporating cinnamaldehyde by solution blow spinning[J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2018, 19(2): 618.
- [78] Boughriba S, Souissi N, Nasri R, *et al.* pH sensitive composite hydrogels based on gelatin and reinforced with cellulose microcrystals: in depth physicochemical and microstructural analyses for controlled release of vitamin B<sub>2</sub>[J]. *Materials Today Communications*, 2021, 27: 102334.
- [79] Zhang T, Sun R, Ding M Z, *et al.* Commercial cold-water fish skin gelatin and bovine bone gelatin: structural, functional, and emulsion stability differences[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2020, 125: 109207.
- [80] Huang T, Tu Z C, Shangguan X C, *et al.* Fish gelatin modifications: a comprehensive review[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2019, 86: 260-269.
- [81] Gómez-Guillén M C, Giménez B, Montero P. Extraction of gelatin from fish skins by high pressure treatment[J]. *Food Hydrocolloids*, 2005, 19(5): 923-928.
- [82] Sung W C, Chen Z Y. UV treatment and  $\gamma$  irradiation processing on improving porcine and fish gelatin and qualities of their premix mousse[J]. *Radiation Physics and Chemistry*, 2014, 97: 208-211.
- [83] Vall-Ilosera M, Jessen F, Henriot P, *et al.* Physical stabil-

- ity and interfacial properties of oil in water emulsion stabilized with pea protein and fish skin gelatin[J]. *Food Biophysics*, 2021, 16(1): 139-151.
- [84] Dhakal S P, He J B. Microencapsulation of vitamins in food applications to prevent losses in processing and storage: a review[J]. *Food Research International*, 2020, 137: 109326.
- [85] Frakolaki G, Giannou V, Kekos D, *et al.* A review of the microencapsulation techniques for the incorporation of probiotic bacteria in functional foods[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2021, 61(9): 1515-1536.
- [86] 汤虎, 张浩, 栾倩, 等. 微胶囊的研究进展与展望[J]. *农产品加工*, 2016(11): 43-47.
- Tang H, Zhang H, Luan Q, *et al.* Research progress and prospect of microencapsulation[J]. *Academic Periodical of Farm Products Processing*, 2016(11): 43-47 (in Chinese).
- [87] 潘秋月, 高红岩, 南天月, 等. 益生菌的微胶囊研究进展[J]. *食品科技*, 2014, 39(7): 31-36.
- Pan Q Y, Gao H Y, Nan T Y, *et al.* The use of encapsulation technologies in protecting probiotics[J]. *Food Science and Technology*, 2014, 39(7): 31-36 (in Chinese).
- [88] Leena M M, Yoha K S, Moses J A, *et al.* Nanofibers in food applications[M]//Knoerzer K, Muthukumarappan K. *Innovative food processing technologies*. Amsterdam: Elsevier, 2021: 634-650.
- [89] Songchotikunpan P, Tattiyakul J, Supaphol P. Extraction and electrospinning of gelatin from fish skin[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2008, 42(3): 247-255.
- [90] Khalesi H, Lu W, Nishinari K, *et al.* New insights into food hydrogels with reinforced mechanical properties: a review on innovative strategies[J]. *Advances in Colloid and Interface Science*, 2020, 285: 102278.
- [91] Batista R A, Espitia P J P, Quintans, J D S, *et al.* Hydrogel as an alternative structure for food packaging systems[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2019, 205: 106-116.
- [92] Abaee A, Mohammadian M, Jafari S M. Whey and soy protein-based hydrogels and nano-hydrogels as bioactive delivery systems[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2017, 70: 69-81.
- [93] Fathi M, Ahmadi N, Forouhar A, *et al.* Natural hydrogels, the interesting carriers for herbal extracts[J]. *Food Reviews International*, 2021: 1-25.
- [94] Chen H R, Wu D, Ma W C, *et al.* Strong fish gelatin hydrogels enhanced by carrageenan and potassium sulfate[J]. *Food Hydrocolloids*, 2021, 119: 106841.

## Application progress of fish skin gelatins in food processing industry

ZHANG Ting, XU Jiamin, HUANG Shudan, TAO Ningping, WANG Xichang, ZHONG Jian\*

*(National R & D Branch Center for Freshwater Aquatic Products Processing Technology,  
Integrated Scientific Research Base on Comprehensive Utilization Technology for By-products of Aquatic Product Processing,  
Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai Engineering Research Center of Aquatic Product Processing and Preservation,  
College of Food Sciences R & D Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)*

**Abstract:** Gelatins are natural polypeptide polymers obtained by partial hydrolysis of collagens. Due to their unique functional properties such as emulsifying, film-forming, foaming, gelling and excellent biocompatibility and biodegradability, gelatins have been widely explored and applied in food processing industry. Mammalian gelatins take up the main gelatin market share, but considering religious factors and health concerns, the application of mammalian gelatins in food processing industry has been restricted and questioned. Fish skin gelatins have similar functional properties to mammalian gelatins, and they can meet the requirements of people with special cultures and needs such as Islam due to the special sources, gradually becoming a key research object in food processing industry. In order to comprehensively introduce the application of fish skin gelatins in food, this paper summarizes in detail the use of fish skin gelatins as emulsifier, foaming agent, clarifier, thickener and gelling agent, as well as edible packaging, edible coating, emulsion and microcapsule, nanofiber and hydrogel preparation materials in food processing industry. Due to their unique functional properties, fish skin gelatins have shown better biological safety and processing characteristics than mammalian gelatins. Therefore, fish skin gelatins can be used as food additives, food packaging materials and active substance encapsulation materials in food processing industry. Thus, fish skin gelatins have good application prospects in food processing industry and are expected to become good substitutes for mammalian gelatins. This review paper can provide a basis for the future studies on improving the functional properties of fish skin gelatins and expanding their applications in food processing industry.

**Key words:** fish skin gelatin; food additives; food packaging materials; active substance encapsulation materials; application

**Corresponding author:** ZHONG Jian. E-mail: jzhong@shou.edu.cn

**Funding projects:** National Key R & D Program of China (2019YFD0902003)