

# 水产动物源胶原蛋白的提取及应用研究进展

赵 然<sup>1</sup>, 曹敏杰<sup>1</sup>, 王 晶<sup>2,3</sup>, 李秀霞<sup>1</sup>, 蔡路昀<sup>2,3\*</sup>

- (1. 渤海大学食品科学与工程学院, 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, 锦州 121013;  
2. 浙江大学宁波研究院, 宁波 315300; 3. 浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 杭州 310058)

**摘 要:** 我国是世界水产三大国之一, 并且随着经济的发展和人们生活水平的不断提高, 人们对水产品的利用和需求逐渐增高, 而水产品的各个部位都含有不同的胶原蛋白。本文首先对近几年国内外水产动物提取胶原蛋白的方法进行介绍, 后从胶原蛋白的性质和结构等方面综述了其在医疗、化工品及食品领域的应用和进展, 旨在为探究该领域的学者提供参考, 为胶原蛋白在新的应用领域提供思路和视野。

**关键词:** 水产动物; 胶原蛋白; 提取方法

## Advances in the extraction and application of aquatic animal collagen

ZHAO Ran<sup>1</sup>, CAO Min-Jie<sup>1</sup>, WANG Jing<sup>2,3</sup>, LI Xiu-Xia<sup>1</sup>, CAI Lu-Yun<sup>2,3\*</sup>

(1. National & Local Joint Engineering Research Center of Storage, Processing and Safety Control Technology for Fresh Agricultural and Aquatic Products, College of Food Science and Engineering of Bohai University, Jinzhou 121013, China;  
2. Ningbo Research Institute, Zhejiang University, Ningbo 315300, China; 3. College of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

**ABSTRACT:** China is one of the three largest aquatic products in the world. With the development of economy and the continuous improvement of living standard, people's use and demand of aquatic products are also increasing, and all parts of aquatic products contain different types and contents of collagen. First, this article introduced the methods of extracting collagen from aquatic animals at home and abroad in recent years, and then reviewed the application and progress of collagen in medical, chemical and food fields from the aspects of properties and structure of collagen. The aim is to provide references for scholars in this field, and to provide ideas and perspectives for collagen in new application fields.

**KEY WORDS:** aquatic animal; collagen; extract method

## 1 引 言

水产动物是指在水生生态系统中生存, 具有一定应用价值的动物或是经初加工的产品。从生物学的角度可分为腔肠动物(如水母等)、软体动物(如乌贼、河蚌等)、鱼类(如罗非鱼、鳕鱼等)、爬行蛙类(如牛蛙等)、甲壳动物(如虾类、蟹类等)、棘皮动物(如海星等)。随着我国水域资源不断被开发, 我国一直保持着世界第一水产养殖的称号<sup>[1]</sup>,

并且近几年来, 研究人员对于海洋的深入研究, 越来越多的海洋水产动物不断地被开发、利用。因此就目前看来, 水产动物是较为经济、实用和安全的来源。

胶原蛋白存在于自然界的动物组织中, 并且具有重要的作用。因其结构的多样性, 在日常生活中, 胶原蛋白被广泛地应用于食品、化妆品、生物医学、电影等领域, 而它的生产来源主要依赖于陆地生物(主要为猪和牛)和鸟类<sup>[1]</sup>, 但由于价格过高、宗教信仰和一些人或者地区的风俗习惯等, 越来越

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFD0901106)、宁波市 3315 系列计划(2020B-34-G)

Fund: Supported by the National Key Research Program (2018YFD0901106), and Ningbo City 3315 series plan (2020B-34-G)

\*通讯作者: 蔡路昀, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要研究方向为水产品贮藏加工。E-mail: cailuyun@zju.edu.cn

\*Corresponding author: CAI Lu-Yun, Ph.D, Associate Professor, Ningbo Research Institute, Zhejiang University, Ningbo 315300, China. E-mail: cailuyun@zju.edu.cn

多的人关注能替代其来源的生物,进行加工、生产。而水产动物以其胶原蛋白含量高、分子量低、剩余资源再利用、生物污染物少和毒素微量等优点脱颖而出,也是为保护环境、节约生物资源、走可持续发展的道路提供了新的方法和材料。本文对从水产动物中提取胶原蛋白的方法和应用进行系统地综述,介绍其研究进展,为探究该领域的学者提供参考。

## 2 胶原蛋白概述

胶原蛋白是一种天然的高分子蛋白质,它普遍存在于动物的皮肤、软骨等结缔组织中,约占生物蛋白总量的 25%~30%<sup>[2]</sup>,尤其是在水产动物体内的含量,明显高于陆生生物。胶原蛋白可根据不同的氨基酸序列、分子量、独特的结构和生物功能分为很多种,但从结构上可分为:纤维状(纹状)、非纤维状(网状)、微颤动(丝状)和与纤维相关的胶原蛋白。从类型上来说,已有 29 种胶原蛋白(I-XXIX 型)被发现,而常见的类型有 I 型、II 型、III 型、V 型和 XI 型,其中最常见的是 I 型胶原蛋白,占人体总胶原蛋白含量的 90%,几乎存在于所有的结缔组织中<sup>[3]</sup>。从结构单位上分析,胶原蛋白是由重复的氨基酸单元组合而成的 3 条肽链(两条  $\alpha_1$  和一条  $\alpha_2$ ),通过分子内的氢键、相互右旋的方式构成三螺旋结构,因此胶原蛋白的稳定性较高。

水产动物中的胶原蛋白的相对分子量约为 2 kD 至 300 kD,同时还含有丰富的维生素和矿物质。再加上与陆生动物相比,因其氨基酸的组成和交联度等方面的不同,使它具有一些特殊的性质,如低抗原性、低过敏性等。从 20 世纪末期起,人们逐渐地开始致力于研究水产动物中提取胶原蛋白。起初人们最常用的提取胶原蛋白的方法是酶法提取和酸法提取,随后又出现了碱法、盐法和热水提取法,而这 5 大方法被归为提取胶原蛋白的传统方法。并且随着科学的不断发展,例如微生物发酵法、挤压-水萃取工艺等新的提取方法也不断地被研发出来。并且近几年来,胶原蛋白及其肽的提取逐渐在发展,并且可以广泛地应用于工业化、自动化生产,而现阶段主要的研究方向是在胶原蛋白的应用上,如复合膜的保鲜、生物材料的创新等方面较为热门。

## 3 胶原蛋白的制备

胶原蛋白易溶于稀酸、稀碱溶液和温水或热水。较常规的提取流程是预处理、提取胶原蛋白、进行一次或重复多次的盐析和透析,最后进行冻干储存。

### 3.1 预处理

水产动物的营养成分很高,含有大量的蛋白质、少部分的脂肪和钾、钙、镁、磷等矿物质,并且其中胶原蛋白约占自身蛋白质总量的 80%,是非常好提取胶原蛋白的原材料。因此在提取胶原蛋白时,除了常规的冷冻、冷藏、清洗、除盐以外,还要去其中的除杂蛋白、脂肪和钙等物

质,以保证胶原蛋白的质量和纯度。例如处理海蜇<sup>[4]</sup>、鱼类等,最常规的操作是用氢氧化钠<sup>[5,6]</sup>等化合物去除杂蛋白,连续搅拌后,再用正丁醇、异丙醇等脱脂剂进行脱脂<sup>[5]</sup>;提取鱼鳞中的胶原蛋白时,需要加入乙二胺四乙酸(ethylene diamine tetraacetic acid, EDTA),既能去除过多的钙离子<sup>[7]</sup>,又可以灭酶;提取水产类脊椎动物、软骨的胶原蛋白时,除上述操作外,还需要加入盐酸胍(guanidine hydrochloride, GuHCl),去除蛋白质中的多糖,加入三羟甲基胺基甲烷[tris(hydroxymethyl) methyl aminomethane THAM, Tris]和苯甲基磺酰氟(phenylmethylsulfonyl fluoride, PMSF)储存 DNA。而像是棘皮类动物如海参、海胆、海星、鲍鱼<sup>[8]</sup>等,因其骨骼发育良好,含有大量的离子钙,使得预处理的方法与上述处理软骨的方法相似。而在早期的一些实验中, Saito 等<sup>[9]</sup>、Omura 等<sup>[10]</sup>曾添加过 2-巯基乙醇(2-mercaptoethanol, 2-ME),目的是防止体系中的蛋白质分子变成二硫键,保持溶剂的还原性。此外, Huang 等<sup>[11]</sup>利用挤压-水萃取工艺处理罗非鱼的鱼鳞粉末,使得胶原蛋白的提取率比未挤压的鳞片样品高 2~3 倍。胶原蛋白在提取前是否进行预处理、以及在实验时脱脂剂的浓度和种类、去除的时间等影响因素,都会影响其提取率。

### 3.2 提取方法

从水产动物中提取胶原蛋白的方法,大致可分成 5 类:酸法、酶法、碱法、盐法和热水浸提法。此外还有以这 5 大类作为基础的复合提取法,如酸性-酶溶解法<sup>[6]</sup>、酶法-碱性溶解法等,组合后可以提高效率、简化工艺。并且随着科学的发展,更多的精密设备和新型材料的运用,使胶原蛋白在提取时间缩短的情况下,增加纯度。

#### 3.2.1 酸法提取

酸性提取法主要是利用胶原蛋白在低浓度条件下,介质离子会干扰其分子间的离子键,造成盐键和席夫(Schiff)键的断裂,从而引起含有醛胺类交联键的胶原纤维和没有交联的胶原分子水解。常用乙酸(AcOH),盐酸,柠檬酸和草酸这 5 种有机酸来进行实验,而最常用的低浓度为乙酸,所以酸性提取法也称为乙酸萃取法。Sinthusamran 等<sup>[5]</sup>发现用酸法提取出的鱼鳔的胶原蛋白,其亚氨基酸的含量较高,可最大程度的保持胶原蛋白三螺旋结构的热稳定性。Sousa 等<sup>[6]</sup>首先用酸法提取大西洋鲑鱼鱼鳔的胶原蛋白,随后得到的沉淀在酸性条件下,用胃蛋白酶再次提取,含量分别为 5.72%(w/w)和 11.14%(w/w),虽然酶法提取胶原蛋白的含量较高,但是酸法可以在胶原蛋白结构大体不被破坏的情况下,使  $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$  链展开,更有利于在生物结构方面的应用。Blanco 等<sup>[12]</sup>从水解的温度、浓度和时间这 3 个影响因素,利用响应面优化,得到酸法最佳的提取工艺:温度为 4 °C、乙酸的浓度为 1 mol/L、进行 34 h,可得出最大提取率为 61.24%。不同来源胶原蛋白的酸法提取及结论见表 1。

表 1 不同来源胶原蛋白的酸法提取及结论

Table 1 Acid extraction and conclusions of collagen from different sources

来源	提取方法	结论	文献
罗非鱼的鱼皮和鱼鳞	用 0.5 mol/L 醋酸连续搅拌 24 h	从罗非鱼中提取鱼鳞胶原蛋白(scale collagen, SCC)和 (skin collagen, SKC), 并对其测量与探究	[13]
鳊鱼的鱼皮	用(0.2~1.0 mol/L)醋酸进行实验探究, 料液比为 1:50 (w/v)	用响应面选取最佳工艺组合, 优化条件为乙酸浓度、NaCl 浓度、固液比和时间。	[14]
马鲛鱼的鱼皮	用 0.5 mol/L 乙酸浸泡 12 h, 料液比为 1:70(w/v)	对热水浸提法和酸提法的工艺进行优化	[15]
泥鳅皮	用 0.5 mol/L 乙酸浸泡 24 h, 料液比为 1:30(w/v)	泥鳅皮中的酸溶性胶原蛋白的变性温度与猪皮的胶原蛋白相近, 说明泥鳅皮可作为猪皮或牛皮胶原蛋白的潜在替代品。	[16]

### 3.2.2 酶法提取

酶法提取主要是在有机酸的条件下, 运用酶, 可以切割下来连接着胶原蛋白末端肽链间的赖氨酸或羟赖氨酸相互作用而形成的共价键, 使得肽链展开, 但主体仍为三螺旋结构。一般情况下, 经常使用的蛋白酶主要分为 3 大类: 动物蛋白酶、植物蛋白酶和微生物蛋白酶, 而在对酶法水解胶原蛋白的研究中, 大多数使用胃蛋白酶、胰蛋白酶和木瓜蛋白酶等。Benjakul 等<sup>[17]</sup>用自己提取的不同种类的胃蛋白酶进行实验, 得出的结论: 用吞拿鱼胃和猪胃的胃蛋白酶提取的胶原蛋白从分子结构和性质方面是有所不同的。林丽航等<sup>[18]</sup>利用鲍鱼内脏的结缔组织为原料, 来探究影响酶法提取的因素, 实验结果表明, 酶法提取胶原蛋白的最佳方案: pH 为 2.5、加酶量为 0.5%、料液比为 1:8(g/mL)、提取时间为 48 h, 不同来源胶原蛋白的酶法提

取及结论见表 2。

### 3.2.3 碱法提取

碱性提取法是利用碱性化合物, 如 NaOH、Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 等, 造成胶原蛋白中含有羟基、巯基的氨基酸(amino acid, AA)不稳定, 从而达到提取的目的。一般经过碱液浸泡、冲洗、悬浮、加热、离心等步骤即可得到相对分子质量较低并且含量较少的胶原蛋白<sup>[4]</sup>, 若水解比较严重, 还会产生有毒的 D-型氨基酸。所以若想提取含量高、结构完整和应用安全的胶原蛋白, 一般是将碱性提取法运用到预处理中, 或是与其他基础方法相结合使用。Liu 等<sup>[25]</sup>使用了酸法-碱性溶解法进行实验, 发现用碱预处理时的浓度、乙酸的浓度和时间对提取有着显著的影响。因此进行有关加工工艺时, 碱性预处理的浓度为 0.05~0.1 mol/L, 酸提取时的温度应调整为 4 °C, 这样有利于酸溶性胶原蛋白的析出。

表 2 不同来源胶原蛋白的酶法提取及结论

Table 2 Enzymatic extraction and conclusions of collagen from different sources

来源	提取方法	结论	文献
棘皮动物(海胆)	用 0.5 mol/L 的 AcOH 连续搅拌, 加入猪的胃蛋白酶浸泡 48 h	海胆的纤维胶原蛋白和其他脊椎动物的胶原蛋白的亚基组成相似。	[10]
棘皮动物(海星)	用 0.5 mol/L 的 AcOH 连续搅拌, 加入胃蛋白酶酶解, 料液比为 1/50 (g/mL)	海星的胶原蛋白在含有氟甲基乙醇的中性盐溶液中很容易分解, 并可以确定其结构和海胆相同, 亚基结构也为(α <sub>1</sub> ) <sub>2</sub> α <sub>2</sub> 的纤维性胶原蛋白	[19]
棘皮动物(海参)	用 0.5 mol/L 的 AcOH 连续搅拌, 加入猪的胃蛋白酶浸泡 48 h	提取胶原蛋白, 并测得其中含有丰富的谷氨酸(鲜味物质)和独特的胶原纤维	[9]
鳊鱼的鱼皮、鱼鳞、鱼鳃、鱼鳍、鱼骨	在 0.5 mol/L 的 AcOH 条件下进行酶解, 加入 0.1%的胃蛋白酶浸泡 72h, 料液比为 1/10 (g/mL)	鱼皮和鱼鳃的含量和热稳定性均高于其他部位	[20]
软体动物(鲍鱼)	用 0.5 mol/L 的 AcOH 连续搅拌 48 h, 离心, 加入 1%的胃蛋白酶浸泡 72 h, 料液比为 3/20 (g/mL)	鲍鱼腹足肌中的胶原蛋白的亚氨基酸含量和结构与哺乳类动物相似	[8]
肠腔动物(海蜇)	在 0.5 mol/L 的柠檬酸条件下进行酶解, 提取温度为 15 °C, 加入 1.5%的胃蛋白酶浸泡 8 h, 料液比为 1/20 (g/mL)	对海蜇胶原蛋白的提取进行工艺优化	[21]
安康鱼的鱼肠	加入 1%的胃蛋白酶, 酶解 4 h, 料液比为 1/10 (g/mL)为最佳工艺	探究提取鱼肠中胶原蛋白的最佳工艺, 并且得出其性质具有良好的保湿性和吸水性	[22]
石蛙皮	加入 3%的胃蛋白酶, 料液比为 1/20 (g/mL), 在温度为 25 °C 的条件下酶解 24 h	用单因素实验探究最佳提取工艺	[23]
河豚的软骨	加入 1%的胃蛋白酶酶解 24 h, 料液比为 1/10 (g/mL)	主要研究水产类硬骨和软骨的胶原蛋白的组成、特性和异同点	[24]

### 3.2.4 盐法提取

盐法提取的主要原理是根据不同盐的浓度下,提取胶原蛋白的效果和类型也不相同。例如盐酸-三羟甲基胺基甲烷,加入后既可以加快胶原蛋白的溶解,还可以有助于更准确地得出聚丙烯酰胺凝胶电泳的测量结果;氯化钠可以使胶原蛋白与水的作用力增强,从而使其加快溶出。但是,盐溶剂的浓度不适宜会破坏其构象的稳定性,只用盐法提取的效果不理想。因此温慧芳等<sup>[26]</sup>改良盐法提取,加入硫酸钠(25 g/L)和氢氧化钠(8 g/L)后,可以增加胶原蛋白的提取率。

### 3.2.5 热水浸提法

热水浸提法主要是利用蛋白质的水溶性,其浸提温度不断增大,胶原蛋白提取的含量也不断增加,但大于一定温度时,胶原蛋白的结构不稳定,降低其应用价值。此方法操作简单、便捷,通过热水浸提、过滤、离心、冷冻等步骤,即可得到粗胶原蛋白。但较高的温度会使其变性。因此黄雯等<sup>[27]</sup>运用响应面得出提取温度为 100 °C, pH 为 6,料液比是 1:10 (g/mL)时为最佳工艺。而朱航等<sup>[15]</sup>结合单因素和响应面,得到的最佳工艺是:料液比 1:75 (g/mL)、浸提温度和时间 55 °C、6.5 h,使胶原蛋白的提取率可提升至 90.5%。

### 3.2.6 其他提取方法

除上述 5 种方法外,还有一些新型的提取胶原蛋白的方法。韩玮<sup>[28]</sup>从用微生物发酵法制备、脱腥胶原蛋白的多肽入手,研究微生物发酵法制取胶原蛋白,从而得出胶原蛋白制备的最佳条件是:芽孢杆菌属 *Bacillus* sp. H3 酶的种子液为 8%,温度为 35 °C,时间为 24 h,装液量为 45 mL。

而王锡念等<sup>[29]</sup>则是在超声波辅助酶解的基础上,研究超声波-双酶法,并与其他提取方法进行对比。选取的两种酶分别是风味蛋白酶和碱性蛋白酶,得出最佳的提取条件是:2 种酶的添加量分别为 3000 U/g 和 5000 U/g,处理时间为 70 min,反应的时间温度为 5 h 和 50 °C,在此条件下获得的胶原蛋白提取率为(8.86±0.64)%。这两种非常规的方法,也为以后研究胶原蛋白的提取工艺提供了新的思路。

## 3.3 胶原蛋白的纯化

在提取完毕后,样品中除了含有胶原蛋白之外,提取过程中还会产生杂质、剩余的溶剂和蛋白质所裂解的肽。因此想要得到高纯度的胶原蛋白,就需要进行纯化,即为盐析、透析、过滤、层析、离心、色谱、电泳等方法。传统情况下,胶原蛋白的纯化是由盐析、离心和透析相结合,但实验过长,操作复杂。而近几年由于超滤膜的研制,它与电泳相结合,可以尽可能地缩短纯化的操作和步骤,但在操作时需要一定的压力和设备,此方法还在研究当中。

Gaurav 等<sup>[30]</sup>得到胶原蛋白的上清液后,加入 0.05 mol/L

的 Tris(pH 7.0)和氯化钠固形物至 2.6 mol/L。通过离心收集沉淀,再用 0.1 mol/L AcOH 进行透析(分子量约为 12~14 kDa) 48 h,之后把 AcOH 换成蒸馏水,重复上述透析操作,直至获得中性的 pH 值;或是在通过盐析时,运用差盐沉淀法,改变盐浓度,得到不同种类的胶原蛋白<sup>[24]</sup>。上述为胶原蛋白纯化比较常用的基本步骤,但由于时间过长、速度过慢、操作和过程复杂等原因,无法满足较大规模的生产。所以陈思谨<sup>[31]</sup>运用蛋白质的分子量和膜的特性,分离纯化胶原蛋白。通过亲水超滤技术,使胶原蛋白的分离时间可压缩至 3 h 左右,并且还能一次性处理 45 L 的胶原蛋白溶液,这为胶原蛋白产业化提供了新的思路。

## 4 胶原蛋白的应用

胶原蛋白的相对分子量较大,约为 2~300 kD。因其一些特有的结构,使它能广泛地应用于医用、化工品、食品等各个领域。根据胶原蛋白的性质和结构,可将其应用大致分为 3 类<sup>[32]</sup>。首先,与其凝胶、生物组织的相关特性,如纹理化、增稠、热稳定性、利于安全降解、凝血和促进细胞增长,可应用于医疗领域。其次胶原蛋白是一种良好的表面活性剂,有允许营养物质和氧气通过的能力。并且因其 AA 含量和组成的特殊,还具有抗衰老、抗氧化的性质。最后胶原蛋白还与其加工产品的表面结构、性能和成分有关,包括乳液、泡沫形成、稳定性、附着力、内聚力、构建胶体和保护膜的能力。

### 4.1 医疗领域

胶原蛋白含有 19 种氨基酸,其中甘氨酸(Gly)、脯氨酸(Pro)和羟脯氨酸(Hyp)占胶原蛋白总氨基酸(AAs)的 57%,占动物蛋白的三分之一。而含量最多为 Gly,它是自然界中最简单的 AA,可直接作用在神经系统中,有抑制神经递质和传递细胞信号的作用。还可以激活细胞膜上的通道,从而抑制钙内流。如果长期缺少 Gly,可能会导致生长不良,对健康和营养代谢产生不利的影响,甚至是免疫系统的受损,最终会危及生命,因此需要补充或维持 Gly 的含量,稳定机体平衡。此外,由于胶原蛋白含有大量的 AA,因此在抗氧化剂、抗炎、营养和代谢方面起着重要的作用<sup>[33]</sup>。

#### 4.1.1 伤口愈合

胶原蛋白天然结构中的  $\alpha$  原链螺旋区的系列肽 A、B、C、D 的 23 个 AA 均含有抗菌性,并且其 Gly 的代谢产物核苷酸,参与细胞周期;卟啉和血红素,是血红蛋白、肌红蛋白的重要组成部分。因此胶原蛋白具有凝血、促进伤口愈合作用。

伤口愈合的过程复杂、多变。在慢性伤口中,基质金属蛋白酶(MMPs)和弹性蛋白酶会降解自身的蛋白质。当它们的含量较高时,会导致胶原蛋白的减少和干扰自身新胶

原蛋白的沉积。而胶原沉积是伤口愈合和皮肤修复的关键过程之一。因此在生物活性敷料中加入胶原蛋白, 可以适当地抵消基质金属蛋白酶和弹性蛋白酶对其自身的消耗, 从而促进新的组织生长, 胶原蛋白在伤口愈合方面的应用见表 3。

因此胶原蛋白有助于伤口愈合, 减少伤口感染和物理磨损, 保持湿润。它可以制成海绵、薄膜和粉末的形式参与创面、烧伤或者手术缝合, 也可以与其他伤口愈合的辅助物(如抗菌剂、加速愈合或缓解疼痛的药物)结合使用。

#### 4.1.2 生物材料

胶原蛋白具有生物相容性、降解性、低抗原性(无排斥反应)和能穿透无脂界面的能力, 并且易于加工, 使其成为一种优良的植入和组织替代的材料。但它自身具备良好的熔点和机械性能, 要与其他材料(如碳、矿物或其他聚合物)结合使用, 才能制成组织再生的支架或膜。

以胶原蛋白复合材料作为生物活性组织, 在心脑血管支架、角膜缺损、神经迁移、牙科用途、骨移植和关节炎等方面均有研究, 胶原蛋白在生物材料方面的应用见表 4。

#### 4.1.3 治疗疾病和其他应用

微针是由微米大小的微小突起组成的一种微导管。它可以在无痛的情况下穿过皮肤, 到达下层或者血管, 使药物直达病痛。微针大致分为 4 类: 固体微针、溶解微针、水凝胶微针和多孔微针。其中 Olatunji 等<sup>[43]</sup>充分运用生物材料的相容性原理。通过水解胶原蛋白, 制成溶解微针, 这

种微针在干燥的情况下是有一定硬度的, 当它作用于患处或者浸入生理液体时, 就会溶解, 从而达到安全、环保、无医疗废物的目的。水凝胶微针的硬度也可穿过皮肤, 并且吸收水分, 将所携带的负载化合物(如胶原蛋白)释放到皮肤下层, 治疗疾病。

Dai 等<sup>[44]</sup>首次在鱿鱼的软骨中分离一种新型的 II 型胶原蛋白(SCII)。研究表明, II 型胶原蛋白通过增强 TCPTP 蛋白的活性, 使促炎细胞因子减少, 减轻大鼠的炎症。通过促进 p-STAT1 蛋白的表达, 使促炎巨噬细胞中产生去磷酸化, 间接地阻止了软骨细胞的肥大性改变, 显著地阻碍了巨噬细胞的趋化性。

胶原蛋白也会应用于一些营养补充剂的软凝胶和胶囊。这些凝胶和胶囊可以使药物或者营养更容易被吸收, 并且还能使味道有所改善。

## 4.2 化工品领域

### 4.2.1 饲料添加剂

动物对 Pro 和 Gly 含量的要求特别高, 一些陆地动物(例如猪、牛、羊等)需要 Gly 的摄入量, 才能满足其生长和发育。胶原蛋白作为饲料的添加剂, 可以增加动物所需要的营养物质, 更好地维持体内血液的流动和营养物质的运输。然而, 人工合成的 Pro 价格昂贵, 因此在水产动物或是其副产品中的提取和运用可以降低成本。沈徽霞<sup>[45]</sup>在哺乳母羊的饲料中加入胶原蛋白, 可以提高产奶量和改善奶的品质。

表 3 胶原蛋白在伤口愈合方面的应用  
Table 3 Application of collagen in wound healing

应用	特点	参考文献
海绵	从印度鲑的鱼鳞中提取胶原蛋白, 制成海绵, 可以促进新皮肤细胞的形成, 为伤口的愈合提供了一个安全、无菌的生长环境。	[34]
敷料	提取罗非鱼的胶原蛋白, 使用静电纺丝制成敷料。通过诱导角质形成、细胞增殖和分化, 促进伤口愈合	[35]
鱼皮胶原蛋白复合海藻酸盐的水凝胶	与医用纱布和市售两种水凝胶分别护理伤口, 研究表明, 复合型水凝胶, 未出现严重的炎症、粘连和疤痕等现象, 并且创面愈合周期最短	[36]
黑海灰鲳鱼水凝胶、胶原水解液	以黑海灰鲳鱼为原料制备的生物材料, 由于其具有抗氧化和抗菌的特性, 与牛皮提取的胶原蛋白相比具有显著优势。	[37]
伤口愈合	从罗非鱼的皮肤中提取的胶原蛋白对大鼠皮肤细胞具有加速伤口愈合的作用	[38]

表 4 胶原蛋白在生物材料方面的应用  
Table 4 Application of collagen in biomaterials

应用	特点	参考文献
角膜	经硝酸脱钙处理后的罗非鱼鱼鳞, 留下来的是一种与角膜微孔结构的细胞外基质结构相似的框架, 从而利于细胞的生长。	[39]
支架	以胶原蛋白为基础材料制成的支架已被用于骨再生中	[40]
3D 支架	从海鳗的鱼皮中提取胶原蛋白, 运用 3D 打印技术使支架近似于人的原始组织。	[41]
皮肤	研究表明, 加入胶原蛋白后, 既可以降低组织培养中生长皮肤的复杂性, 还解决了使用人或动物皮肤测试产品的伦理问题。并且使用交联胶原和棉纤维进行复合, 可以增加皮肤的摩擦性。	[42]

#### 4.2.2 医疗美容

在美容方面,水产动物的胶原蛋白比哺乳动物具有更好地性质。因为其胶原中含有的 Pro,可以清除自由基;含有的谷胱甘肽可以参与细胞的代谢,从而把机体内有害的物质排出体外<sup>[46]</sup>。Alves 等<sup>[47]</sup>从鲑鱼皮和鳕鱼皮提取胶原蛋白。发现鲑鱼皮的胶原蛋白中存在三螺旋结构,而鳕鱼中未检测出来,但在化妆品领域的评估中,鳕鱼皮的胶原蛋白具有良好的保湿性,因此更适用于作皮肤保湿剂。Sousa 等<sup>[6]</sup>首次对大西洋鳕鱼的鱼鳔进行研究,通过十二烷基硫酸钠聚丙烯酰胺凝胶电泳(sodium dodecyl sulfate polyacrylamide gel electrophoresis, SDS-PAGE)、傅里叶变换红外光谱仪(Fourier Transform infrared spectroscopy, FTIR)、圆二色谱(circular dichroism, CD)和 X 射线衍射(X ray diffraction, XRD)结果分析,发现其提取物表现出典型的剪切减薄行为,说明其结构适用于生物材料,并发现当胶原蛋白的浓度为 3 mg/mL 时,对人成纤维细胞的代谢活动没有细胞毒性行为。Wang 等<sup>[16]</sup>也在海蜇中发现胶原蛋白具有抗疲劳、抗氧化的作用。因此可以得出,化妆品中常见的胶原蛋白可以从水产动物中提取。

#### 4.3 食品领域

水产动物中的胶原蛋白因具有较高的溶解度、易消化等特点,既可以作为食品的原料,用于补充和合成蛋白质,又可以作为食品添加剂或是加工辅助剂,在不影响其风味的基础上,增加营养、保健等方面的功能。例如在乳品、果酒、饮料、果冻等食品中,作为乳化剂、发泡剂、澄清剂和增塑剂,改善食品风味、增加营养成分;在肉制品中,作为改良剂,稳定产品的质量、改善肉品的弹性、增加蛋白质的含量。

胶原蛋白除了有易被吸收、低抗原性,还具有无毒、天然等优点,因此在食品包装、保鲜等方面逐渐地被人们应用。并且随着人们对于可降解材料的重视,以胶原蛋白为基底的可食用性膜作为可替代塑料薄膜的包装膜在食品行业中不断被研发,其最显著的优势是具有良好的生物相容性,在具有较好的机械性能和保鲜效果的条件下,还容

易被降解、吸收。

##### 4.3.1 食用类产品

胶原蛋白的营养成分丰富,含有钙离子等多种微量元素,不仅可以增加加工制品成分的多样性,改善其风味和口感,还具有良好的乳化性能,在乳制品加工过程中,可以有效地防止乳清的析出。因此胶原蛋白可作为添加剂或是原料,添加在酸奶、奶茶、牛奶、奶粉和固体饮料中。

在乳制品在加工过程中,因为胶原蛋白的老化可能造成其组织的厚度、弹性和柔韧性的降低。为了弥补这些不足,Nurubhasha 等<sup>[48]</sup>在制作奶酪的过程中,将牛奶和从鳕鱼中提取的胶原蛋白进行混合,以提高蛋白质在产品中的百分比。在味道和气味上并未发生改变的情况下,为消费者提供了高蛋白、高营养的食物。又因其是以鱼类加工副主物为原料提取,所以成本较低。

胶原蛋白还会和胆汁酸结合作用,可以参与身体中的糖和脂质的代谢,降低血甘油三酯和胆固醇,从而达到降血脂和降血压的作用,有助于减肥和保持身体健康。现在常被应用于代餐产品中,身受广大健身爱好者的青睐。

此外胶原蛋白也会添加到一些零食、滋补品中,如燕窝、果冻等,在保证口感的同时,使营养成分变得丰富。

##### 4.3.2 包装及保鲜

胶原蛋白主要以水解的形式应用于食品的包装方面。当温度降低到 4 °C 左右,水解胶原蛋白中的多肽链呈螺旋状、卷曲状,进而使它与溶液之间存在分子重量,形成依赖关系,并在聚合物链的网络中形成三维网状结构,增加溶液的粘度和含水量。胶原蛋白在食品包装、保鲜方面的应用见表 5。

不同类型的水解胶原蛋白的凝胶特性不同。与哺乳动物相比,从鱼皮中提取的胶原蛋白交联性较少,但溶解度较高,并且在制作产品时仍可保持大分子的自然结构。但鱼皮中的胶原蛋白的耐温性较差,经过热变性后,会较长时间的裂变,导致其结构被破坏。而胶原蛋白变性温度取决于含水量、交联度和 Hyp 的含量。

表 5 胶原蛋白在食品包装、保鲜方面的应用  
Table 5 Application of collagen in food packaging and preservation

应用	结构、特点	参考文献
金枪鱼皮胶原蛋白-壳聚糖膜	运用没食子酸(gallic acid, GA)改性超声辅助制作复合膜用于猪肉保鲜,可以有效地抑制 pH 值、TVB-N 和细菌总数的升高,延缓腐败变质。	[49]
白鲢鱼鳞胶原蛋白-壳聚糖膜	加入茶多酚改性后,其复合膜的保鲜期得以延长	[50]
鱼皮胶原蛋白的肠衣	研究了以鱼皮胶原蛋白为基质的肠衣的制备工艺,运用不同的改性手段,增加膜的物理性能	[51]
胶原蛋白肠衣的物理交联	运用两种物理交联:紫外线(ultraviolet, UV)照射和脱氢热处理(dehydrogenation heat treatment, DHT),使肠衣抗拉强度显著提高,并且对其外观没有显著的影响。	[52]
鱼鳞胶原蛋白的涂膜	以罗非鱼鱼鳞的胶原蛋白和绿茶提取物为原料制备胶原蛋白涂膜,研究涂膜对圣女果保鲜效果的影响	[53]

## 5 总结与展望

到 2018 年为止, 全球胶原蛋白的市场价值已达到 35 亿美元。到 2023 年, 预计年增长率为 5.2%, 市场价值将达到 46 亿美元<sup>[54]</sup>。因此我国也逐渐重视胶原蛋白的运用及研发, 随着科技的进步和综合国力的日益增强, 研究人员对于水产胶原蛋白的功能性、流变特性和安全性等方面有了更加深入的了解, 为其在食品、化工和医学等领域的拓展应用提供理论基础, 但是科研成果的实际应用、新产品的开发等问题, 仍是研究人员面临的困难。此外, 在水产动物加工的过程中, 会产生 75% 的废弃物, 其中大约 30% 是由皮肤、骨骼和鳞片组成, 里面含有大量的胶原蛋白。因此它可以用来作为提取胶原蛋白的来源, 提高附加值, 增加鱼类加工业的经济回报, 有助于减少水产动物产生废物的环境问题。

迄今为止进行的各种研究证明, 水产动物中提取胶原蛋白是一个有价值的来源, 在各个领域也得到了认可, 但由于其脱腥、工艺复杂等问题, 无法实现工业化生产, 部分新型提取和应用的胶原蛋白的技术尚不完善, 因此挖掘胶原蛋白潜在的生理活性机制、提高分离纯化技术是未来的研究方向。并且随着市场对其需求量的不断提高, 既需要研究人员不断地对其进行研发, 又要在探究的过程中与实际相结合, 将生产过程不断地简化、便捷, 提高产品品质, 形成大规模、产业化的研究基地, 才能为我国水产品行业的发展提供更加光明的前景。

### 参考文献

- [1] 殷艳慧, 蒋万胜, 潘晓斌, 等. 水产养殖鱼类生长性状研究进展[J]. 中国水产科学, 2020, 27(4): 463-484.  
Yin YH, Jiang WS, Pan XF, et al. Advances in growth traits of aquaculture fish [J]. J Fisher Sci Chin, 2020, 27(4): 463-484.
- [2] Marlina GW, Leszek K, Slawomir M, et al. Comparison of thermal properties of fish collagen and bovine collagen in the temperature range 298-670 K [J]. Mat Sci Eng C, 2017, 80: 468-471.
- [3] 孙圣伟, 何健, 刘美娟, 等. 原型胶原蛋白的提取分离及其结构鉴定[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(23): 7947-7952.  
Sun SW, He J, Liu MH, et al. Extraction and isolation of prototype collagen and identification of its structure [J]. J Food Saf Qual, 2019, 10(23): 7947-7952.
- [4] Ding JF, Li YY, Xu JJ, et al. Study on effect of jellyfish collagen hydrolysate on anti-fatigue and anti-oxidation [J]. Food Hydrocoll, 2011, 25: 1350-1353.
- [5] Sinthusamran S, Benjakul S, Kishimura H. Comparative study on molecular characteristics of acid soluble collagens from skin and swim bladder of seabass (*Lates calcarifer*) [J]. Food Chem, 2013, 138(4): 2435-2441.
- [6] Sousa RO, Alves AL, Carvalho DN, et al. Acid and enzymatic extraction of collagen from atlantic cod (*Gadus morhua*) swim bladders envisaging health-related applications [J]. J Biomat IO Sci-Polym E, Polymer Ed, 2019, 31(1): 20-37.
- [7] Chen S, Chen H, Xie Q, et al. Rapid isolation of high purity pepsin-soluble type I collagen from scales of red drum fish (*Sciaenops ocellatus*) [J]. Food Hydrocoll, 2016, 52: 468-477.
- [8] Dong X, Yuan Q, Qi H, et al. Isolation and characterization of pepsin-soluble collagen from abalone (*Haliotis discus hannai*) gastropod muscle part II [J]. Food Sci Technol Res, 2012, 18(2): 271-278.
- [9] Saito M, Kunisaki N, Urano N, et al. Collagen as the major edible component of sea cucumber (*Stichopus japonicus*) [J]. J Food Sci, 2002, 67(4): 1319-1322.
- [10] Omura Y, Urano N, Kimura S. Occurrence of fibrillar collagen with structure of  $(\alpha_1)_2\alpha_2$  in the test of sea urchin *Asthenosoma ijimai* [J]. Comp Biochem Phys Part B: Biochem Mol Biol Edu, 1996, 115(1): 63-68.
- [11] Huang CY, Kuo JM, Wu SJ, et al. Isolation and characterization of fish scale collagen from tilapia (*Oreochromis* sp.) by a novel extrusion-hydro-extraction process [J]. Food Chem, 2016, 190: 997-1006.
- [12] Blanco M, Vázquez JA, Pérez-Martin RI, et al. Collagen extraction optimization from the skin of the small-spotted catshark (*S. canicula*) by response surface methodology [J]. Mar Drugs, 2019, 17(1): 40.
- [13] Chen J, Li L, Yi R, et al. Extraction and characterization of acid-soluble collagen from scales and skin of tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. LWT-Food Sci Technol, 2016, 66: 453-459.
- [14] Arumugam GKS, Sharma D, Balakrishnan RM, et al. Extraction, optimization and characterization of collagen from sole fish skin [J]. Sustain Chem Pharm, 2018, 9: 19-26.
- [15] 朱航, 戴聪杰. 响应面优化马鲛鱼鱼皮胶原蛋白的提取工艺[J]. 食品安全导刊, 2019, (31): 64-67.  
Zhu H, Dai CJ. Optimization of collagen extraction technology for fish skin of pan-fried mackerel [J]. Chin Food Saf Magz, 2019, (31): 64-67.
- [16] Wang J, Pei X, Liu H, et al. Extraction and characterization of acid-soluble and pepsin-soluble collagen from skin of loach (*Misgurnus anguillicaudatus*) [J]. Int J Biol Macromol, 2018, 106: 544-550.
- [17] Benjakul S, Thiansilakul Y, Visessanguan W, et al. Extraction and characterisation of pepsin-solubilised collagens from the skin of bigeye snapper (*Priacanthus tayenus* and *Priacanthus macracanthus*) [J]. J Sci Food Agric, 2010, 90(1): 132-138.
- [18] 林丽航, 朱芳骞, 彭会娟, 等. 鲍鱼脏器胶原蛋白的制备[J]. 食品工业, 2015, 36(1): 115-120.  
Lin LH, Zhu FQ, Peng HJ, et al. Preparation of collagen in abalone organs [J]. Food Ind, 2015, 36(1): 115-120.
- [19] Kimura S, Omura Y, Ishida M, et al. Molecular characterization of fibrillar collagen from the body wall of star-fish *Asterias amurensis* [J]. Comp Biochem Physiol, 1993, 104B: 663-668.
- [20] Liu D, Liang L, Regenstein JM, et al. Extraction and characterisation of pepsin-solubilised collagen from fins, scales, skins, bones and swim bladders of bighead carp (*Hypophthalmichthys nobilis*) [J]. Food Chem, 2012, 133: 1441-1448.
- [21] 李玉芬, 郑明星, 朱凡, 等. 海蜇胶原蛋白的制备及理化性质研究[J]. 福州大学学报(自然科学版), 2018, 46(2): 286-294.

- Li YF, Zheng MX, Zhu F, *et al.* Study on preparation and physicochemical properties of collagen of jellyfish [J]. *J Fuzhou Univ (Nat Sci)*, 2018, (2): 286–294.
- [22] 杨辉, 赵新宇, 解海洋, 等. 安康鱼肠中胶原蛋白与多糖的提取与保湿性[J]. *皮革与化工*, 2020, 37(1): 25–28.
- Yang H, Zhao XY, Xie HY, *et al.* Extraction and moisturizing properties of collagen and polysaccharide from ankang fish's intestinal [J]. *Leather Chem Ind*, 2020, 37(1): 25–28.
- [23] 蓝松, 查道远. 石鲑皮中胶原蛋白提取工艺研究[J]. *广东化工*, 2019, 46(24): 20–21.
- Lan S, Zha YD. A study on the extraction of collagen from the skin of [J]. *Guangdong Chem Ind*, 2019, 46(24): 20–21.
- [24] Cumming H, Hofman. Isolation and characterisation of major and minor collagens from hyaline cartilage of hoki (*Macruronus novaezelandiae*) [J]. *Mar Drugs*, 2019, 17(4): 223.
- [25] Liu D, Wei G, Li T, *et al.* Effects of alkaline pretreatments and acid extraction conditions on the acid-soluble collagen from grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) skin [J]. *Food Chem*, 2015, 172: 836–843.
- [26] 温慧芳, 陈丽丽, 白春清, 等. 基于不同提取方法的鲷鱼皮胶原蛋白理化性质的比较研究[J]. *食品科学*, 2016, 37(1): 74–81.
- Wen HF, Chen LL, Bai CQ, *et al.* Comparative study on physicochemical properties of carpinus phellin based on [J]. *Food Sci*, 2016, 37(1): 74–81.
- [27] 黄雯, 周秋淑, 袁春红, 等. 响应面法优化斑点叉尾鱼皮胶原蛋白的热水法提取工艺[J]. *湖北农业科学*, 2016, 55(1): 157–162.
- Huang W, Zhou QS, Yuan CH, *et al.* Hot water extraction process of collagen from spotted forked tail fish skin [J]. *Hubei Agric Sci*, 2016, 55(1): 157–162.
- [28] 韩玮. 微生物发酵法制备胶原蛋白及其性质和应用研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2019.
- Han W. Preparation of collagen by microbial fermentation and its properties and applications [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2019.
- [29] 王锡念, 徐志善, 孙钦军, 等. 不同方法提取鮫鱼皮胶原蛋白的比较和分析[J]. *食品研究与开发*, 2019, 40(10): 80–87.
- Wang XN, Xu ZS, Sun QJ, *et al.* Comparison and analysis of collagen extraction from fish skin by different methods [J]. *Food Res Dev*, 2019, 40(10): 80–87.
- [30] Gaurav KP, Nidheesh T, Govindaraju K, *et al.* Enzymatic extraction and characterisation of a thermostable collagen from swim bladder of rohu (*Labeo rohita*) [J]. *J Sci Food Agric*, 2016, 97(5): 1451–1458.
- [31] 陈思谨. 海洋红鼓鱼鱼鳞中 I 型胶原蛋白的高效制备技术及其结构研究[D]. 南京: 南京中医药大学, 2019.
- Chen SJ. High efficiency preparation and structure study of type I collagen in fish scale of marine red drum fish [D]. Nanjing: Nanjing University of Traditional Chinese Medicine, 2019.
- [32] Gauza-Włodarczyk M, Kubisz L, Włodarczyk D. Amino acid composition in determination of collagen origin and assessment of physical factors effects [J]. *Int J Biol Macromol*, 2017, 104: 987–991.
- [33] Sun K, Wu Z, Ji Y, *et al.* Glycine regulates protein turnover by activating protein kinase b/mammalian target of rapamycin and by inhibiting MuRF1 and atrogin-1 gene expression in C<sub>2</sub>C<sub>12</sub> myoblasts [J]. *J Nutr*, 2016, 146(12): 2461–2467.
- [34] Pal P, Srivas PK, Dadhich P, *et al.* Accelerating full thickness wound healing using collagen sponge of mrigal fish (*Cirrhinus cirrhosus*) scale origin [J]. *Int J Biol Macromol*, 2016, 93: 1507–1518.
- [35] Zhou T, Wang N, Xue Y, *et al.* Electrospun tilapia collagen nanofibers accelerating wound healing via inducing keratinocytes proliferation and differentiation [J]. *Colloids Surf B*, 2016, 143: 415–422.
- [36] 宋文山, 王园园, 杜芬, 等. 鱼皮胶原蛋白-壳聚糖复合海藻酸盐水凝胶敷料对烧烫伤创面的促愈合作用[J]. *中国海洋药物*, 2019, 38(3): 1–6.
- Song WS, Wang YY, Du F, *et al.* Application of fish skin collagen-chitosan compound alginate salt water gel dressing for healing of burn wound [J]. *Chin J Mar Drug*, 2019, 38(3): 1–6.
- [37] Norris EG, Dalecki D, Hocking DC. Acoustic modification of collagen hydrogels facilitates cellular remodeling [J]. *Mater Today Bio*, 2019, 3(C).
- [38] Chen J, Gao K, Liu S, *et al.* Fish collagen surgical compress repairing characteristics on wound healing process *in vivo* [J]. *Mar Drugs*, 2018, 17(1): 33.
- [39] Bai X, Gao M, Syed S, *et al.* Bioactive hydrogels for bone regeneration [J]. *Bioact Mater*, 2018, 3(4): 401–417.
- [40] Lin CC, Ritch R, Lin MS, *et al.* A new fish scale-scaffold for corneal regeneration [J]. *Eur Cells Mater*, 2010, 19: 50–57.
- [41] Zhang D, Wu X, Chen J, *et al.* The development of collagen based composite scaffolds for bone regeneration [J]. *Bioact Mater*, 2018, 3(1): 129–138.
- [42] Govindharaj M, Roopavath UK, Rath SN. Valorization of discarded Marine Eel fish skin for collagen extraction as a 3D printable blue biomaterial for tissue engineering [J]. *J Clean Prod*, 2019, 230: 412–419.
- [43] Olatunji O, Igwe CC, Ahmed AS, *et al.* Micro needles from fish scale biopolymer [J]. *J Appl Polym Sci*, 2014, 131(12).
- [44] Dai M, Liu X, Wang N, *et al.* Squid type II collagen as a novel biomaterial: Isolation, characterization, immunogenicity and relieving effect on degenerative osteoarthritis via inhibiting STAT1 signaling in pro-inflammatory macrophages [J]. *Mat Sci Eng C*, 2018, 89: 283–294.
- [45] 沈微霞. 一种哺乳母羊用酸化饲料的制备方法 CN: 201810817737.0 [P]. 2018.
- Shen HX. A preparation method of acidified feed for lactating sheep CN: 201810817737.0 [P]. 2018.
- [46] Wu G, Bazer F, Dai Z, *et al.* Amino acid nutrition in animals: protein synthesis and beyond [J]. *Annu Rev Anim Biosci*, 2014, 2(1): 387–417.
- [47] Alves A, Marques A, Martins E, *et al.* Cosmetic potential of marine fish skin collagen [J]. *Cosmet*, 2017, 4(4): 39.
- [48] Nurubhasha R, Sampath KNS, Thirumalasetti SK, *et al.* Extraction and characterization of collagen from the skin of *Pterygoplichthys pardalis* and its potential application in food industries [J]. *Food Sci Biotechnol*, 2019, 28(6): 811–1817.
- [49] 张欣欣. 没食子酸改性超声辅助金枪鱼皮胶原蛋白-壳聚糖膜的制备及应用研究[D]. 镇江市: 江苏大学, 2019.
- Zhang XX. Preparation and application of gallic acid modified ultrasound in tuna skin collagen-chitosan film [D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2019.
- [50] 于林, 陈舜胜, 王娟娟, 等. 茶多酚改性胶原蛋白-壳聚糖复合膜对冷



藏斜带石斑鱼的保鲜效果[J]. 食品科学, 2017, 38(3): 220-226.

Yu L, Chen SS, Wang JJ, *et al.* Tea polyphenol modified collagen-chitosan composite film on preservation of cold-reserved plagioclase grouper [J]. Food Sci, 2017, 38(3): 220-226.

[51] 秦溪. 鱼皮胶原为基质的胶原蛋白肠衣的制备及其性能研究[D]. 南宁: 广西大学, 2015.

Qin X. Preparation of collagen casings based on fish skin collagen and their properties [D]. Nanning: Guangxi University, 2015.

[52] Wang W, Zhang Y, Ye R, *et al.* Physical crosslinkings of edible collagen casing [J]. Int J Biol Macromol, 2015, 81: 920-925.

[53] 甘钊生, 梁志. 鱼鳞胶原蛋白可食性复合涂膜对圣女果保鲜效果研究[J]. 农产品加工, 2019, (16): 17-19.

Gan ZS, Liang Z. Effect of fish scale collagen edible composite film on the preservation of holy fruit [J]. Farm Prod Process, 2019, (16): 17-19.

[54] Wang J, Pei X, Liu H, *et al.* Extraction and characterization of acid-soluble and pepsin-soluble collagen from skin of loach (*Misgurnus anguillicaudatus*) [J]. Int J Biol Macromol, 2018, 106: 544-550.

(责任编辑: 王 欣)

### 作者简介



赵 然, 硕士研究生, 主要研究方向为水产品加工与安全。

E-mail: 344725194@qq.com



蔡路昀, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要研究方向为水产品贮藏加工。

E-mail: cailuyun@zju.edu.cn



## “农兽药残留研究与检测”专题征稿函

食用农产品中农药、兽药残留问题是国内外广泛关注的课题。本刊特组织“农兽药残留研究与检测”专题, 征集的稿件主要围绕农兽药残留标准制定与风险评估、农兽药的代谢与迁移转化、农兽药残留样品前处理方法、农兽药残留检测技术与应用、农兽药残留现场检测技术、农兽药残留市场监测与结果分析等或者您认为与本专题相关有意义的领域。该专题计划在 2021 年 1~2 月出版。

鉴于您在该领域的成就, 学报主编国家食品安全风险评估中心吴永宁研究员和专题主编刘宏程研究员和编辑部全体成员特别邀请有关食品领域研究人员为本专题撰写稿件, 以期进一步提升该专题的学术质量和影响力。综述及研究论文均可, 请在 2020 年 11 月 30 日前通过网站或 E-mail 投稿。我们将快速处理并经审稿合格后优先发表。

同时烦请您帮忙在同事之间转发一下, 再次感谢您的关怀与支持!

投稿方式(注明专题农兽药残留研究与检测):

网站: [www.chinafoodj.com](http://www.chinafoodj.com)(备注: 投稿请登录食品安全质量检测学报主页-作者登录-注册投稿-投稿选择“专题: 农兽药残留研究与检测”)

邮箱投稿: E-mail: [jfoodsq@126.com](mailto:jfoodsq@126.com)(备注: 农兽药残留研究与检测专题投稿)

《食品安全质量检测学报》编辑部