

# 鳕鱼皮胶原蛋白的提取与应用

张志胜\*, 齐文聪, 韩 晴, 陈 晨, 戎 平

(河北农业大学食品科技学院, 保定 071000)

**摘 要:** 鳕鱼加工过程中鱼皮约占鳕鱼总重量的十分之一, 其富含丰富的胶原蛋白。胶原蛋白具有支撑机体器官、保护组织等功能, 同时也是组成细胞间质的重要功能蛋白质。从鳕鱼皮中提取胶原蛋白, 不仅避免资源浪费, 同时也减少环境污染。本文总结了近几年从鳕鱼皮中提取胶原蛋白常见的方法: 热水法、碱法、盐法和酶法, 并分析了各方法的特点。热水提取法破坏胶原蛋白结构使其隔膜作用、稳定作用及协助传输等作用减少; 碱法提取由于产生消旋混合物, 故较少使用此方法; 盐法提取所得产物缺乏稳定性, 不宜大规模生产; 酶法提取成本低、效率高, 使用广泛。由于胶原蛋白具有独特的三重螺旋结构、低免疫原性、生产成本低、可大规模生产和优良的生物降解性等优点, 使得其在医药、食品、化妆品等领域应用广泛, 具有极大的发展前景。

**关键词:** 鳕鱼皮; 胶原蛋白; 提取方法; 应用

## Extraction and application of cod skin collagen

ZHANG Zhi-Sheng\*, QI Wen-Cong, HAN Qing, CHEN Chen, RONG Ping

(College of food science and technology, Agricultural University of Hebei, Baoding 071000, China)

**ABSTRACT:** Cod skin accounts for one tenth of the total weight during the cod processing, which is rich in collagen. Collagen protein has an important function of supporting the body's organs, conservation organizations and the composition of mesenchymal cells. Extracting collagen from cod skin can not only avoid waste of resources, but also reduce environmental pollution. This paper summarized the common methods of extracting collagen from cod skin in recent years: hot water method, alkaline process, salt method and enzymatic method, and the characteristics of each method were analyzed. Extraction by hot water destroyed collagen structure to the extent that reduced the diaphragm function, stability, assist transmission, etc.; since the alkaline extraction produced a racemic mixture, it was less used; extracting by salt was not suitable for mass production by reason of lack of stability of the product; enzymatic extraction cost less with higher efficiency, so it was widely applied. Due to the unique triple helix structure, low immunogenicity, low production cost, mass production and excellent biodegradability, etc., collagen is widely used in the pharmaceutical, food, cosmetics and other areas, which has great prospects for development.

**KEY WORDS:** cod skin; collagen; extraction method; application

## 1 引言

我国是世界上的水产养殖大国, 全球约四分之一的水产品出自于我国。2014年我国渔业经济总产值达 2.086

万亿, 比 2013 年增加 1500 亿<sup>[1]</sup>。我国鳕鱼年加工量 40~50 万吨<sup>[2]</sup>, 其中仅去除的鱼皮量约占原料的 10%<sup>[3]</sup>。这些加工下脚料被低价处理给养殖场用作饲料, 附加产值不高<sup>[4]</sup>。近些年人们利用各种生物化学手段从这些下脚料中提取出

\*通讯作者: 张志胜, 教授, 主要研究方向为畜产品加工。E-mail: 13833035679@139.com.

\*Corresponding author: ZHANG Zhi-Sheng, Professor, College of Food Science and Technology, Agricultural University of Hebei, Baoding 071000, China. E-mail: 13833035679@139.com

胶原蛋白,不但可以减少直接丢弃下脚料所造成的环境污染,还可以提高水产品的加工利用价值、提升附加值。由于欧洲疯牛病和口蹄疫的影响,以牛皮、猪皮作为主要原料的胶原蛋白的安全性受到人们的质疑, Sripriya 等<sup>[5]</sup>研究证明纯鱼胶原蛋白在组织应用工程中可以代替牛胶原蛋白。所以从鱼皮、鱼骨等海洋生物材料中提取胶原蛋白有更大市场<sup>[6]</sup>。

鳕鱼(*Gadus*), 冷水性鱼类,多生活在深海中下层及海洋底层。纯正鳕鱼指鳕属鱼类,分为大西洋鳕鱼(*Gadus morhua*)、格陵兰鳕鱼(*Gadus ogac*)和太平洋鳕鱼(*Gadus macrocephalus*)<sup>[7]</sup>。鳕鱼是全世界年捕捞量最大的鱼类之一,具有重要的食用和经济价值。鳕鱼鱼皮中的蛋白质含量比鱼肌肉要高,而鱼皮中的胶原含量最高可达其蛋白质总量的 80%,同时也远高于鱼体的其它部位<sup>[8]</sup>。

胶原蛋白是一种白色、不透明、无支链的纤维型蛋白质,是细胞外组织的重要组成成分,其分子呈棒状结构,长度和宽度约为 3000 和 15Å,分子量大约在 300 kDa<sup>[9,10]</sup>。所有的胶原蛋白都有甘氨酸-脯氨酸-羟脯氨酸、甘氨酸-脯氨酸-Y 和甘氨酸-X-Y 这样一些 3 肽的重复片段<sup>[11]</sup>。它是动物体内蛋白质结构最特殊者,以三股螺旋体结构聚合而成的胶原纤维存在于脊椎动物体结缔组织中。其独特的三重螺旋结构使得自身结构稳定,同时具有良好的相容性和低免疫源性<sup>[12]</sup>。已确认的胶原蛋白有 27 型<sup>[13,14]</sup>,各型间的区别在蛋白质一级结构上。目前将胶原分成间质胶原、基底膜胶原和细胞外周胶原。间质型胶原蛋白分子占整个机体胶原的绝大部分,包括 I、II、III 型胶原蛋白分子,其主要分布于皮肤、肌腱等组织,其中 II 型胶原蛋白由软骨细胞产生;基底膜胶原蛋白通常是指 IV 型胶原蛋白,其主要分布于基底膜;细胞外周胶原蛋白通常中指 V 型胶原蛋白,在结缔组织中大量存在<sup>[15]</sup>。表 1 列出部分胶原的分子组成类型及组织分布<sup>[16]</sup>。

## 2 鳕鱼皮胶原蛋白的提取工艺

胶原蛋白的提取原理是根据胶原蛋白的特性,通过改变蛋白质所处的外环境,使胶原蛋白从原材料中分离出来。常见的提取方法有热水法、酸法、碱法、盐法、酶法。此外,有人使用其他提取方法进行尝试,如 Said 等<sup>[17]</sup>利用 60% 的乙醇进行胶原蛋白的提取。

### 2.1 热水法提取胶原蛋白

热水提取法是将鳕鱼皮经过除脂肪、杂蛋白等前处理之后,直接在热水中提取已经变性了的胶原蛋白或其水解物的方法。常使用的温度有 100 °C 沸水浴、60~70 °C、45 °C、40~42 °C<sup>[12]</sup>。赵睿等<sup>[18]</sup>在去除鳕鱼皮的脂肪和粗蛋白后,使用热水抽提法以胶原蛋白提取率为目标,考察温度、水解时间、pH 三者对指标的影响,通过响应面法优化得到提取胶原蛋白的最佳工艺条件为温度为 42 °C、水解时间 25.72 h、pH 5.0,胶原蛋白的提取率为 83.75%,并通过 SDS-PAGE 证明为 I 型胶原蛋白。但是此方法不足之处是,经过热水处理的所提取的胶原蛋白,其特有的三螺旋空间结构已被破坏,所得到的产物我们一般称之为明胶(gelatin),明胶的分子量不规则,从几十到几百万,已不具备原有胶原蛋白的某些生物功能,在某些领域如医用生物材料方面不可使用<sup>[19]</sup>。

### 2.2 酸法提取胶原蛋白

利用一定浓度的酸溶液在一定条件下对胶原蛋白进行提取,其基本原理是采用低离子浓度酸性条件破坏分子间的盐键和希夫碱,从而引起纤维膨胀、溶解。酸法提取常用的酸包括甲酸、乙酸、草酸、柠檬酸、乳酸和盐酸等。淑英等<sup>[20]</sup>根据中心组合(Box-Behnken)实验设计原理,以胶原蛋白提取率为响应值,在单因素实验基础上,选取提取液浓度、提取时间和料液比为影响因素来优化鳕鱼皮中

表 1 胶原的分子组成类型及组织分布<sup>[16]</sup>

Table 1 The composition and distribution of collagen molecule<sup>[16]</sup>

| 胶原类型 | 肽链组成                         | 组织分布                     | 其他主要特征   |
|------|------------------------------|--------------------------|--|
| I    | $[\alpha_1(I)]_2\alpha_2(I)$ | 真皮、肌腱、骨、牙本质              | 是复杂机体量最大的结构蛋白,占体内总胶原量的 90%,肽链的 96% 由 Gly-X-Y 重复序列组成。两种 $\alpha$ -链均不含半胱氨酸,侧链含糖量约 1%。 |
|      | $[\alpha_1(I)]_3$            | 胎儿、发炎及肿瘤组织               |  |
| II   | $[\alpha_1(II)]_3$           | 透明软骨、玻璃体、胚胎角膜、神经视网膜      | 富含羟赖氨酸,并且糖化率高,羟赖氨酸的羟基几乎全和糖结合,含糖量约 10%,通常为直径较小的带状纤维。                                  |
| III  | $[\alpha_1(III)]_3$          | 胚胎真皮、心血管、胃肠道、皮肤。牙周膜、网状纤维 | 侧链含糖少,含半胱氨酸及双硫键-S-S-交联,组氨酸多  |
| IV   | $[\alpha_1(IV)]_3$           | 基膜板板、晶状体囊、角膜后弹性膜、卵黄囊壁    | 羟赖氨酸特多,含糖量高,羟脯氨酸羟基除 4 位外还有 3 位,无横纹,特殊三维网状结构。   |

酸溶性胶原蛋白的提取工艺。酸法提取胶原蛋白最佳工艺条件为: 乙酸浓度为 0.47 mol/L、料液比为 1:33、提取时间为 90.2 h。在此条件下提取所得酸溶性胶原蛋白提取率的理论值为 37.92%, 实验验证值为 37.36%, 相对误差为 1.49%。说明采用响应面法优化得到的酸法提取鳕鱼皮胶原蛋白的工艺参数准确可靠。Kim 等<sup>[21]</sup>利用酸法从太平洋鳕鱼加工后的废弃鱼皮中提取胶原蛋白, 确定酸溶性胶原蛋白的变性温度为 21.7 °C。这些都为鳕鱼皮酸溶性胶原蛋白的提取提供了一定的技术参考。

### 2.3 碱法提取胶原蛋白

碱法提取通常使用石灰、氢氧化钠和碳酸钠等。强碱和强碱盐溶液可以溶解出结缔组织中的不溶性胶原, 所结合的脂肪被皂化, 非螺旋的端肽被切除, 胶原纤维瓦解。处理时间和碱的浓度决定了胶原的大小及分子量。需要指出的是, 强碱处理的胶原, 会产生 DL-型氨基酸消旋混合物, 某些 D 型氨基酸有毒, 某些甚至会导致癌, D 型氨基酸还有可能抑制 L 型氨基酸的吸收。因此, 较少使用该方法来获得完整胶原<sup>[19,22]</sup>。

### 2.4 盐法提取胶原蛋白

提取胶原蛋白常用的中性盐有盐酸-三羟甲基胺甲烷(Tris-HCL)、乙酸钠、氯化钠、氯化钾和柠檬酸盐等。在中性条件下, 当盐的浓度达到一定量时, 胶原就会溶解在其中, 但是胶原的溶解和分级受中性盐效应影响, 有的盐可提高胶原的稳定性, 而有的则可降低其构象稳定性, 从而对提取天然胶原蛋白很不利。因此采用中性盐溶剂提取胶原的方法不适合大规模提取胶原蛋白<sup>[23]</sup>。

### 2.5 酶法提取胶原蛋白

酶法提取是目前提取胶原最常用的方法。提取使用的酶有胰蛋白酶、胃蛋白酶、中性蛋白酶和木瓜蛋白酶等。采用不同前处理的原材料, 加入不同的提取酶从而得到酶促溶性胶原蛋白。酶法提取较其他提取方法反应速度快、环境污染小, 所得胶原蛋白理化性质稳定、纯度高、水溶性好、成本低。蛋白酶在一定条件下选择性地非螺旋端肽切除, 使原胶原分子溶解出, 而胶原特有的三股螺旋结构完整保留<sup>[24]</sup>, 故这是一种理想的胶原蛋白提取方式, 这种方法提取的胶原蛋白通常称之为酶促溶性胶原蛋白(pepsin-solubilized collagen, PSC)。赵海英等<sup>[25]</sup>通过调整胃蛋白酶添加量和料液比两个参数, 对提取的胶原蛋白得率进行统计, 并对所提胶原蛋白进行了成分分析。其确定当胃蛋白酶添加量为 1%, 料液比为 1:10 时, 胶原蛋白的得率较高。马偲等<sup>[26]</sup>通过响应面分析法, 设置酶解温度、酶浓度和酶解反应时间 3 个考察因素来研究鳕鱼皮中胶原蛋白的提取得率。其得到的最佳提取条件为酶解温度 16.32 °C、酶浓度 0.054%、水解时间 10.43 h、提取率 27.53%、

并利用 SDS-PAGE 电泳分析方法对所提取的鳕鱼皮的胶原蛋白进行分析, 经电泳测定鳕鱼皮胶原蛋白  $\alpha_1$  链分子量为 113 kDa,  $\alpha_2$  链的分子量为 110 kDa。

### 2.6 其他方法提取胶原蛋白

近些年, 采用多种方法共同提取胶原蛋白的研究日益增多, 常见方法有酸酶结合法。茅宇虹等<sup>[27]</sup>采用胃蛋白酶结合醋酸法提取秘鲁鳕鱼皮中胶原蛋白, 在胃蛋白酶添加量 2% (w:w)、提取时间 53 h、醋酸浓度 0.70 mol/L、固液比 1:240(w:l)的条件下, 胶原蛋白提取率可达 51.47%。肖枫等<sup>[28]</sup>为提高黄河鲤鱼鳞胶原蛋白提取率, 在 4 °C 条件下, 采用胃蛋白酶和 0.5 mol/L 乙酸溶液对其提取工艺进行研究, 并得到黄河鲤鱼鳞促溶性胶原蛋白(PSC)的最适提取工艺参数为提取时间 60 h、加酶量 40 kU/g 和料液比 1:10(g/mL), 在此条件下, PSC 提取率达到 (17.7±0.7)%。所提取的产品与酸溶性胶原蛋白(acid soluble collagen, ASC)有相似的电泳性质和氨基酸组成, 表明其可能与 ASC 具有相似的分子结构。

## 3 鳕鱼皮胶原蛋白的应用

除了在生物体内发挥生物力学的作用外, 胶原蛋白在截留、贮存、运送生长因子与细胞因子以及细胞通讯上也有重要作用, 它还充当了生物体细胞信号转导过程中配体的角色。而且由于其具有的低免疫原性、生物降解性、生产成本低、可大规模生产等优点, 胶原蛋白在医学、食品和化妆品工业中有巨大的应用前景<sup>[29]</sup>。

### 3.1 在医学领域的应用

相比于其他蛋白, 胶原蛋白具有低抗原性和良好的生物相容性。因此其被广泛用于生产生物制品。比如可溶性胶原、由胶原和非胶原基质组成的复合物, 广泛用于创伤和烧伤的修复、整形美容、神经再生及血瓣膜手术等<sup>[30]</sup>。特别是深海鱼皮胶原蛋白, 因鱼的低体温导致鱼皮胶原蛋白的变性温度极低, 并且不像动物皮胶原蛋白那样限制细胞的增殖。而且有实验表明它能促进细胞的粘着和增殖, 却不会诱发细胞的癌化<sup>[11]</sup>。

此外, 通过酶解方式将胶原蛋白制备成不同分子量段的胶原多肽, 将大大提升其生物价值。王志聪等<sup>[31]</sup>采用酒精诱导大鼠急性胃溃疡模型, 通过灌喂不同剂量、不同分子量的胶原蛋白多肽, 证明鳕鱼皮胶原蛋白及其酶解梯级多肽能够明显降低大鼠胃溃疡出血和溃疡指数, 具有良好的抗酒精性胃溃疡作用。董玉婷等<sup>[32]</sup>将鳕鱼皮胶原蛋白酶解液经超滤得到不同分子量的胶原多肽, 研究各组分对小鼠 B16 黑素瘤细胞的生长及黑色素生成的影响, 得到的结论为: 不同分子量区间的鳕鱼皮胶原多肽对小鼠 B16 黑素瘤细胞均无毒性作用, 并能抑制其黑色素的生成, 其中分子量小于 200 的组分抑制效果最好。

### 3.2 在食品领域的应用

胶原蛋白广泛地应用于食品、饮料行业以提高产品的弹性、一致性、稳定性<sup>[33]</sup>,使产品获得更高的品质和营养价值。比如胶原蛋白的部分水解产物明胶提高甜食的咀嚼性、质地、泡沫稳定性;改善果冻的口感;改善乳制品的质构和稳定性;促进肉制品中的水分结合<sup>[34]</sup>。另外,胶原蛋白可作为蛋白质补充剂、食品添加剂、载体和可食性薄膜涂层材料等应用于食品领域<sup>[35]</sup>。Munasinghe等<sup>[36]</sup>利用胶原蛋白形成薄膜的能力制造肠衣应用于香肠制造。孙丽平等<sup>[37]</sup>通过复合酶水解鳕鱼皮蛋白,并与半胱氨酸和葡萄糖进行美拉德反应而制得肉香调味基料,通过固相微萃取-气相色谱-质谱联用技术检测鉴定出大量的肉香味物质。

此外,胶原蛋白可以调节体内甘油三酯、胆固醇和必需微量元素的含量,还可以协助排除某些金属元素在体内的蓄积,减少对人体的危害。胶原蛋白可以使血管正常工作,降低动脉硬化、高血压等发病风险;还可抑制癌细胞的增值或转移;生产适合糖尿病、肾病等患者食用的高蛋白优质产品。

### 3.3 在化妆品领域的应用

人体的皮肤表皮结构致密,只有结构简单的小分子物质如水、电解质才能通过。所以将胶原蛋白进一步分解为相对分子质量小、分子结构简单的生物活性肽是将其用于化妆品中的一个重要前提。鱼皮胶原有高度可溶性、亲水性、乳化性等性质,用于生产美容护肤品,如保湿乳液、保湿霜、洗面奶等<sup>[38]</sup>。相对于其他原料提取的胶原蛋白来讲,鱼皮胶原优点在于其灰分、脂肪、糖分、残留均低于其他原料胶原蛋白,另外鱼皮胶原蛋白的含羧脯氨酸肽段的序列更全面,与人体的亲和性最好。

李幸<sup>[39]</sup>以鳕鱼皮为原料,经酶解、超滤提纯制备成不同分子量的胶原多肽酶解液,通过建立干燥、衰老小鼠皮肤模型,进行体外吸湿、保湿性以及透皮性研究,并制备成单一保湿成分的保湿霜,证明了鳕鱼皮胶原蛋白多肽在化妆品上的应用价值。

### 3.4 在其他领域的应用

有研究中提到将胶原蛋白用于动物饲料中,制备成高效的饲料蛋白营养添加剂<sup>[40,41]</sup>,或在水产颗粒饲料中添加1%~3%的水解胶原蛋白来提升立效效果,方便鱼虾摄食,提高饲料收益,还可预防水质污染<sup>[12]</sup>。

## 4 发展前景与展望

当前根据胶原蛋白的物理特性将其应用于造纸、纺织等行业,而胶原蛋白的天然高分子特性使得其在功能性食品、美容行业成为研究的热点<sup>[42]</sup>,比如将胶原蛋白进一步水解,探究不同分子量的胶原蛋白多肽的各种生理功能,以及通过胶原蛋白多肽螯合钙、铁、锌、铬等金属元素,赋

予更多的生物价值。另外,鳕鱼皮胶原蛋白在提取、贮存过程中易受热变性,如何提高其热稳定性,也值得广大科研人员探究。胶原蛋白用于开发营养、健康的高附加值产品有着广阔的发展前景。

### 参考文献

- [1] 农业部渔业渔政管理局. 中国渔业年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2015.  
Ministry of Agriculture Fisheries Fishery Authority. China Fishery Statistical Yearbook [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2015.
- [2] 庄永亮, 赵雪, 林琳, 等. 复合酶制备鳕鱼皮梯级胶原肽的初步研究[J]. 食品研究与开发, 2009, 30(10): 15-18.  
Zhuang YL, Lin X, Lin L, *et al.* Preparation of series of peptides from skin of cod by compound enzyme hydrolysis [J]. Food Res Dev, 2009, 30(10): 15-18.
- [3] 吴卫平, 邓尚贵, 徐涛, 等. 鳕鱼皮水解蛋白亚铁修饰产物(Fe-FPH)结构及营养分析[J]. 浙江海洋学院学报: 自然科学版, 2010, 29(2): 136-141.  
Wu WP, Deng SG, Xu T, *et al.* Preparation of Fe-FPH from cod skin and its analysis in nutrition and structure [J]. J Zhejiang Ocean Univ (Nat Sci), 2010, 29(2): 136-141.
- [4] 蔡冰娜, 陈忻, 潘剑宇, 等. 响应面法优化鳕鱼皮胶原蛋白肽螯合铁工艺[J]. 食品科学, 2012, 33(2): 48-52.  
Cai BN, Chen Y, Pan JY, *et al.* Optimization of preparation process for cod skin collagen peptide-iron (II) chelate via response surface methodology [J]. Food Sci, 2012, 33(2): 48-52.
- [5] Sripriya R, Kumar R. A novel enzymatic method for preparation and characterization of collagen film from swim bladder of fish rohu (Labeo rohita) [J]. Food Nutr Sci, 2015, 06(15): 1468-1478.
- [6] 连喜军, 鲁晓翔, 刘勤生. 鱼类胶原蛋白研究进展[J]. 肉类研究, 2007, (1): 46-49.  
Lian XJ, Lu XX, Liu QS. Progress of fish collagen [J]. Meat Res, 2007, (1): 46-49.
- [7] 顾斌洲, 王加斌, 滕芳芳, 等. 鳕鱼皮制备胶原蛋白肽的工艺优化[J]. 浙江海洋学院学报: 自然科学版, 2015, 34(5): 452-456.  
Gu BZ, Wang JB, Teng FF *et al.* Process for preparing cod skin collagen peptide optimization [J]. J Zhejiang Ocean Univ (Nat Sci), 2015, 34(5): 452-456.
- [8] 傅燕凤, 沈月新. 浅谈鱼皮胶原蛋白的利用[J]. 食品研究与开发, 2004, 25(2): 16-18.  
Fu YF, Shen YX. Discussion about the use of skin collagen [J]. Food Res Dev, 2004, 25(2): 16-18.
- [9] Lima CGA, Oliveira RSD, Figueiró SD, *et al.* DC conductivity and dielectric permittivity of collagen-chitosan films [J]. Mater Chem Phys, 2006, 99(2-3): 284-288.
- [10] Chi H L, Singla A, Lee Y. Biomedical applications of collagen [J]. Int J Pharm, 2001, 221(2): 1-22.
- [11] 张锐, 许永安. 水产胶原蛋白的特性及应用研究进展[J]. 福建水产, 2011, 33(2): 79-83.  
Zhang Y, Xu YA. Research progress of characteristics and application about aquatic collagen [J]. J Fujian Fish, 2011, 33(2): 79-83.
- [12] 王丽娜, 黄素珍. 胶原蛋白的研究进展[J]. 肉类研究, 2010, (1): 16-22.

- Wang LN, Huang SZ. Research progress about collagen [J]. *Meat Res*, 2010, (1): 16–22.
- [13] 陈静涛, 徐政, 顾其胜. 胶原蛋白研发的最新进展[J]. *生物医学工程学报*, 2004, 25(2): 52–55.
- Chen JT, Xu Z, Gu QJ. Progress in research and development on collagens [J]. *Adv Biomed Eng*, 2004, 25(2): 52–55.
- [14] Friess W. Collagen-biomaterial for drug delivery [J]. *Eu J Pharm Biopharm*, 1998, 45(2): 113–136.
- [15] 曹荣安, 李浩, 李良玉, 等. 胶原蛋白的生理功能特性及其应用[J]. *肉类工业*, 2010, (1): 7–9.
- Cao RA, Li H, Li YL, et al. Physiological function property and application of collagen protein [J]. *Meat Ind*, 2010, (1): 7–9.
- [16] 史刘辉. 鳕鱼皮胶原及其低聚肽的制备及特性研究[D]. 无锡: 江南大学, 2012.
- Shi LH. Study on preparation and characters of cod skin collagen and collagenous oligopeptide [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2012.
- [17] Said MI, Abustam E, Wahab AW, et al. Chemical characteristics of collagen extract from scapula of bali cattle (*Os scapula*) produced using different extractant [J]. *Pakistan J Nutr*, 2015, 14(3): 174–179.
- [18] 赵睿, 王晓丹, 祖国仁, 等. 热水法抽提鳕鱼皮胶原蛋白条件的响应面分析[J]. *大连工业大学学报*, 2011, 30(2): 98–100.
- Zhao R, Wang XD, Zu GR et al. Response surface methodology's analysis on extracting collagen from cod's skin by hot water extraction [J]. *J Dalian Polytech Univ*, 2011, 30(2): 98–100.
- [19] 林琳. 鱼皮胶原蛋白的制备及胶原蛋白多肽活性的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2006.
- Lin L. Studies on preparation of collagen and bioactivities of collagen polypeptide from the skins of aquatic animals[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2006.
- [20] 淑英, 敖冉, 宋佳, 等. 响应面法优化鳕鱼皮酸性胶原蛋白的提取工艺[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(24): 269–272, 377.
- Shu Y, Ao R, Song J, et al. Optimization of extraction condition of acid-soluble collagen from cod skin by response surface methodology [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2015, 36(24): 269–272, 377.
- [21] Kim JS, Park JW. Characterization of acid-soluble collagen from pacific whiting surimi processing byproducts [J]. *J Food Sci*, 2004, 69(8): C637–C642.
- [22] 毕琳. 刺参(*Stichopus japonicus*)体壁胶原蛋白理化性质和生物活性研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2006.
- Bi L. Study on physicochemical characters and biological activities of collagen from the body of sea cucumber(*Stichopus japonicus*) [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2006.
- [23] 任惠. 鳕鱼皮胶原蛋白的制备技术研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2013.
- Ren H. Study on preparation of the collagen form the skin of the cod [D]. Baoding: Agricultural University of Hebei, 2013.
- [24] 郭玉华, 刘扬瑞, 李钰金. 鱼类胶原蛋白及胶原活性多肽的研究进展[J]. *中国食品添加剂*, 2010, (3): 175–179.
- Guo YH, Liu YR, Li YJ. Progress in the study of collagen and active peptides in fish [J]. *China Food Addit*, 2010, (3): 175–179.
- [25] 赵海英, 梁程超, 缪锦来, 等. 鳕鱼皮胶原蛋白的制备及其成分分析[J]. *中国海洋药物*, 2005, 24(5): 30–32.
- Zhao HY, Liang CC, Miao JL, et al. Preparation and composition analysis of cod skin collagen protein [J]. *Chin J Mar Drugs*, 2005, 24(5): 30–32.
- [26] 马俪, 王晓丹, 程贺, 等. 响应面法优化酶法提取鳕鱼皮中胶原蛋白条件[J]. *中国酿造*, 2010, (9): 83–85.
- Ma L, Wang XD, Cheng H, et al. Optimization of enzymatic extraction conditions of skin collagen from cod (*gadus morrhua*) by response surface method [J]. *China Brew*, 2010, (9): 83–85.
- [27] 茅宇虹, 刘俊豪, 杨文鸽, 等. 鱿鱼皮胶原蛋白的提取条件优化及其特性分析[J]. *核农学报*, 2014, 28(03): 459–466.
- Mao YH, Liu JH, Yang WG, et al. Optimization of extraction conditions of collagen and its characterization from skin of jumbo flying squid (*dosidicus gigas*) [J]. *J Nucl Agric Sci*, 2014, 28(03): 459–466.
- [28] 肖枫, 朱文学, 康怀彬, 等. 正交试验优化黄河鲤鱼鳞酶促溶性胶原蛋白提取工艺[J]. *食品科学*, 2015, 36(12): 60–64.
- Xiao F, Zhu WX, Kang HB, et al. Orthogonal array design for the optimization of pepsin soluble collagen extraction from cyprinus carpio haematopterus scale [J]. *Food Sci*, 2015, 36(12): 60–64.
- [29] 张达江, 王亮. I型胶原蛋白的结构、功能及其应用研究的现状与前景[J]. *生物技术通讯*, 2006, 17(2): 265–269.
- Zhang DJ, Wang L. Structure and function of type I collagen and the situation and prospect of exploratory development [J]. *Lett Biotechnol*, 2006, 17(2): 265–269.
- [30] 王瑾晔, 董健. 深海鱼皮组织工程用胶原蛋白和制备方法[J]. *科技开发动态*, 2005, (3): 32.
- Wang JY, Dong J. Deep-sea fish skin collagen tissue engineering and preparation methods [J]. *R&D Inf*, 2005, (3): 32.
- [31] 王志聪, 孙京沙, 倪鑫, 等. 鳕鱼皮胶原蛋白肽的抗酒精性胃溃疡作用[J]. *中国海洋药物*, 2012, 31(5): 17–22.
- Wang ZC, Sun JS, Ni X, et al. Anti-alcoholic gastric ulcer effect of collagen peptide extracted from skin of Walleye pollock [J]. *Chin J Mar Drugs*, 2012, 31(5): 17–22.
- [32] 董玉婷, 李八方, 王奕, 等. 鳕鱼皮胶原蛋白多肽的制备及其对小鼠B16黑素瘤细胞的作用[J]. *中国海洋大学学报: 自然科学版*, 2006, 36(S2): 43–46.
- Dong YT, Li BF, Wang Y, et al. Preparation of collagen polypeptides from cod skin and the effects of collagen polypeptides on B16 cells [J]. *Period Ocean Univ China (Nat Sci)*, 2006, 36(S2): 43–46.
- [33] Darmanto YS, Agustini TW, Swastawati F, et al. The effect of fish bone collagens in improving food quality [J]. *Int Food Res J*, 2014.
- [34] Mariod A A, Adam H F. Review: gelatin, source extraction and industrial applications [J]. *Acta Scientiarum Polonorum Technol Aliment*, 2013, 12(2): 135–147.
- [35] Hashim P, Mohd Ridzwan MS, Bakar J, et al. Collagen in food and beverage industries [J]. *Int Food Res J*, 2015, 22: 1–8.
- [36] Munasinghe KA, Schwarz JG, Whittiker M. Utilization of chicken by-products to form collagen films [J]. *J Food Process*, 2015, 2015: 1–6.
- [37] 孙丽平, 汪东风, 张莉, 等. 利用鳕鱼皮蛋白制备热反应型肉香调味基料的研究[J]. *中国海洋大学学报: 自然科学版*, 2009, 39(2): 249–252.
- Sun LP, Wang DF, Zhang L, et al. Study on preparation of process meaty flavor by maillard reaction of hydrolyzing pollock skin protein [J]. *Period Ocean Univ China (Nat Sci)*, 2009, 39(2): 249–252.
- [38] 王学川, 任龙芳, 强涛涛, 等. 胶原蛋白的研究进展及其在化妆品中的应用[J]. *日用化学工业*, 2005, 35(6): 388–392.
- Wang XC, Ren LF, Jiang TT, et al. Progress in collagen preparation and

- its applications in cosmetics [J]. *China Surfactant Deterg Cosm*, 2005, 35(6): 388–392.
- [39] 李幸. 鳕鱼皮胶原肽保湿护肤效果的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014.
- Li X. Study on the water retention and skin care of cod skin collagen peptide [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2014.
- [40] 冯晓亮, 宣晓君. 水解胶原蛋白的研制及应用[J]. *浙江化工*, 2001, 32(1): 53–54.
- Feng XL, Xuan XJ. Development and application of hydrolyzed collagen [J]. *Zhejiang Chem Ind*, 2001, 32(1): 53–54.
- [41] 冷向军, 王冠, 闫大伟, 等. 胶原蛋白部分替代鱼粉饲养异育银鲫的试验[J]. *水产科学*, 2005, 24(5): 31–33.
- Leng XJ, Wang G, Yan DW, *et al*. The use of collagen as a partial substitute for fish meal in diets for allogynogenetic crucian Carp [J]. *Fish Sci*, 2005, 24(5): 31–33.
- [42] 万春燕, 王英华, 邬元娟, 等. 胶原蛋白在食品中的应用现状及其发展前景[J]. *中国食物与营养*, 2008, (9): 24–26.
- Wang CY, Wang YH, Wu YJ, *et al*. Application and Prospects of collagen in food [J]. *Food Nutr China*, 2008, (9): 24–26.

(责任编辑: 姚菲)

## 作者简介



张志胜, 教授, 主要研究方向为畜产品加工。

E-mail: 13833035679@139.com