

# 鱼类主要副产物的提取与利用

周焱卿, 董静雯, 何 强\*

(四川大学轻纺与食品学院, 成都 610065)

**摘 要:** 近年来, 我国渔业迅速发展, 随着鱼产量的增加, 鱼类生产和加工过程中产生的副产物产量也逐年增加。这些副产物的综合利用水平极低, 通常被当作下脚料直接丢弃, 造成严重的资源浪费与环境污染。鱼类副产物主要包括鱼骨、鱼鳞等, 它们的提取物丰富, 具有潜在的功能价值和经济效益。为实现其高值化利用, 本文论述了近年来鱼骨、鱼鳞的提取及利用的研究现状, 旨在实现加工增值, 同时为扩大其在各领域中的研究及应用范围提供参考。

**关键词:** 鱼类主要副产物; 成分; 提取工艺; 利用

## Extraction and utilization of major by-products from fish

ZHOU Yao-Qing, DONG Jing-Wen, HE Qiang\*

(College of Light Industry and Food Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

**ABSTRACT:** In recent years, China's fisheries have developed rapidly. With the increase in fish production, the production of by-products in fish production and processing has also increased year by year. The level of comprehensive utilization of these by-products is extremely low and is usually discarded directly as scraps, causing serious waste of resources and environmental pollution. Fish by-products mainly include fish bones, fish scales, etc., which are rich in extracts and have potential functional value and economic benefits. In order to realize their high value utilization, this paper discussed the research status of fish bone and fish scale extraction and utilization in recent years, aiming at realizing processing value-added, and providing references for expanding its research and application scope in various fields.

**KEY WORDS:** main fish by-products; component; extraction technology; utilization

## 1 引 言

我国是世界鱼类水产大国, 2018 年我国水产品总产量达 6445.33 万吨, 其中鱼类产量达 3609.71 万吨。水产加工品总量为 2196.25 万吨, 尽管水产品加工量逐年增加, 但其加工率仅为 41.58%, 提取与利用目前仍处于起步阶段<sup>[1]</sup>。据报道, 在鱼类加工过程中会产生约占鱼体 40%~60%的副产物, 按照年产值估算会产生约 200 万吨的副产物<sup>[2]</sup>。然而, 由于我国鱼类加工及利用技术不够完善, 目前主要以

初加工为主, 大多用于生产饲料鱼粉和休闲食品, 精深加工较少, 在鲜销过程中, 鱼骨、鱼鳞通常被当作下脚料直接丢弃, 造成了严重的资源浪费与环境污染<sup>[3,4]</sup>。这些鱼类副产物的提取物丰富, 如从鱼骨中可提取活性钙、鱼油、硫酸软骨素, 从鱼鳞中可提取胶原蛋白、羟基磷灰石、卵磷脂等化学成分<sup>[5,6]</sup>, 使其具有更高的经济效益和市场价格。因此, 如何充分提高这类副产物的附加值并实现高值化利用是目前亟需解决的问题。

本文综述了鱼类主要副产物的提取工艺及综合利用

\*通讯作者: 何强, 博士, 教授, 主要研究方向为农产品质量与安全。E-mail: heq361@163.com

\*Corresponding author: HE Qiang, Ph.D, Professor, College of Light Industry and Food Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China. E-mail: heq361@163.com

的研究进展,旨在为扩大其在各领域中的研究及应用范围提供理论依据与参考,从而开拓更为广泛的应用途径。

## 2 鱼骨的提取工艺及利用

### 2.1 鱼骨的成分

鱼骨是鱼体中轴骨、附肢骨及鱼刺的总称。中轴骨包括头骨和脊骨,附肢骨包括奇鳍骨和偶鳍骨<sup>[7]</sup>。鱼骨主要由灰分、脂肪、蛋白质等组成。灰分是鱼骨中含量最高的成分,其主要成分是钙,主要以羟基磷灰石结晶的形式存在,钙磷比为 1.67<sup>[8]</sup>。由于食物中合理的钙磷比在 1:1~2:1 之间,鱼骨中的适宜钙磷比使其易被人体吸收,促进人体生长发育。鱼骨油是鱼骨的另一类重要提取物,其主要成分为甘油三酯<sup>[9]</sup>。鱼骨油含有大量长链多不饱和脂肪酸,二十碳五烯酸(eicosapentaenoic acid, EPA)和二十二碳六烯酸(docosahexaenoic acid, DHA),能有效预防动脉硬化、中风和心脏病<sup>[10,11]</sup>。此外,鱼头的软骨组织中还含有丰富的硫酸软骨素,硫酸软骨素是共价连接在蛋白质上形成蛋白聚糖的一类糖胺聚糖,可被用作药物辅助软骨再生,用于关节炎和冠心病的治疗<sup>[12,13]</sup>。

### 2.2 鱼骨的提取工艺

#### 2.2.1 鱼骨中提取钙

鱼骨中的钙含量很高,钙磷比适宜人体吸收,可作为理想钙源。制备鱼骨钙常见的方法有酸解法、醇碱法、酶解法和电场辅助提取法。酸解法和醇碱法成本较低,但对成分破坏程度较高。酶解法成本较高,但提取时间过长,因此,目前研究人员多采用电场辅助法制备鱼骨钙。常用于制备鱼骨钙的酸包括盐酸、乳酸、乙酸、苹果酸、柠檬酸等。朱迎春等<sup>[14]</sup>研究发现用盐酸、乳酸、柠檬酸分解骨渣可析出大量可溶性的钙,离子型的钙有利于人体的消化吸收,可作为保健食品进一步开发利用。高压脉冲电场技术是一种食品非热加工技术,具有效率高、处理温度低等优点,可用于生物质有效成分的高效辅助提取<sup>[15,16]</sup>。周亚军等<sup>[17]</sup>采用了高压脉冲电场辅助提取鱼骨钙,发现最佳工艺参数为电场强度为 25 kV/cm、脉冲数为 8 个、柠檬酸与苹果酸的质量比为 1:1(g/g)、酸料比为 1:1(g/g)、水料比为 12:1(mL/g),此时处理 4 g 鱼骨粉所得的鱼骨水解液中钙提取率达 84.2%。与超声波辅助提取鱼骨钙对比试验表明,高压脉冲电场辅助提取鱼骨钙的得率较超声波辅助提取提高了 17.0%,且其耗时短。

#### 2.2.2 鱼骨中提取鱼油

鱼骨是鱼油的主要天然来源之一。鱼骨油的提取方法主要有超临界二氧化碳法和超声波辅助提取法。杨小斌等<sup>[18]</sup>利用超临界二氧化碳萃取技术提取蓝圆鲹鱼油,并通过响应面优化萃取工艺,在此工艺下提取率可达 88.91%。汪学荣等<sup>[19]</sup>采用超声波辅助提取法提取三文鱼油,在最佳工艺

条件下三文鱼油提取率为 92.6%,结果表明超临界二氧化碳萃取技术虽解决了鱼油品质差、溶剂残留等问题,但超声波辅助提取法更能缩短鱼油提取时间,减少溶剂用量,提高鱼油提取率。

#### 2.2.3 鱼骨中提取硫酸软骨素

硫酸软骨素的提取需超声波辅助、酶法、碱法的结合以保持其完整的天然结构<sup>[20]</sup>。通过该提取方法得到的产物纯度较高,杂质较少,能保持较高的活性。梁宝东等<sup>[21]</sup>先制得鱼骨粉,再用 NaOH 溶液浸提和复合蛋白酶水解,经活性炭吸附、三氯乙酸沉淀后得鱼骨浸提液。鱼骨浸提液用无水乙醇沉淀后离心即得硫酸软骨素。最佳条件下硫酸软骨素实际提取率为 1.91%。陈思等<sup>[22]</sup>以鲢鱼骨为原料,采用酶法并辅以超声提取硫酸软骨素,得到硫酸软骨素提取率为 2.86%,纯度为 90.0%。

### 2.3 鱼骨的综合利用

鱼骨中提取的钙、鱼骨油、硫酸软骨素可被广泛应用于食品、医药、化妆品行业中。钙是人体中含量最丰富、最活跃、最重要的矿物质元素,是牙齿和骨骼等的重要组成部分,在人体内参与各种生理活动。膳食结构不合理造成的钙摄入不足是我国普遍存在的现象,这就要求除了每日膳食之外我们还需要补充一定量的钙。然而,目前市面上的补钙产品绝大多数是通过化学方式制备的,存在化学试剂残留的安全隐患,且以碳酸钙等为主的人工合成补钙剂具有吸收率低的缺点<sup>[23]</sup>。鱼骨中的钙含量高,钙磷比适宜人体吸收,是理想的钙源。许顺干<sup>[24]</sup>以青鱼脊椎骨为原料制成淡水鱼骨粉钙剂,通过生物利用试验发现经高温、皂化、脱脂、脱胶、脱腥等工艺制成的鱼骨粉有较好的钙吸收率和存留率,临床试验研究表明鱼骨粉改善缺钙的效果明显优于市面上的一般补钙剂。鱼骨油也可被用作营养保健产品和动物饲料的原料。李柯宏<sup>[25]</sup>采用微胶囊技术将鱼油微胶囊化,在鱼油外部形成致密的保护层,并将微胶囊化鱼油作为一种营养强化剂添加到奶糖中,既增加了奶糖的营养价值,又掩盖了鱼油的腥味。龙烁等<sup>[26]</sup>研究发现在饲料中添加 0.54%~2.17%鱼油能较好地改善蛋鸡免疫功能。硫酸软骨素还可作为食品添加剂和膳食补充剂用于食品中;临床上可用于防止动脉粥样硬化、提高免疫力;在化妆品中添加硫酸软骨素可促进皮肤的新陈代谢作用,达到保湿的目的<sup>[27]</sup>。

## 3 鱼鳞的提取工艺及利用

### 3.1 鱼鳞的成分

鱼鳞是真皮层胶原质经长期进化而形成的骨质衍生物<sup>[28]</sup>,含有丰富的蛋白质和矿物质。鱼鳞中的蛋白质主要是胶原蛋白,胶原蛋白通常由 3 条多肽链构成,大部分为 2 条  $\alpha_1$  肽链和 1 条  $\alpha_2$  肽链,少数为 3 条  $\alpha_1$  肽链<sup>[29]</sup>。鱼

鳞中无机物成分主要由羟基磷灰石和磷酸钙组成。羟基磷灰石位于鱼鳞内层,以颗粒增强的形式形成一种增强体系,使鱼鳞具有较好的韧性和强度<sup>[30]</sup>。卵磷脂是鱼鳞中另一生物活性成分,具有独特的乳化性能和重要的生理功能。目前国内外的卵磷脂主要从大豆、蛋黄中提取,但大豆和蛋黄磷脂中 EPA 和 DHA 含量较低,提取成本也较高<sup>[31]</sup>。鱼鳞的特殊结构使其兼具 EPA、DHA 和磷脂的功效。

### 3.2 鱼鳞的提取工艺

#### 3.2.1 鱼鳞中提取胶原蛋白

从鱼鳞中提取胶原蛋白的方法主要分为酸法、碱法、酶法、复合法。酸法和碱法的基本原理是通过改变蛋白质的所处环境的酸碱性将胶原蛋白与其他蛋白质分离开来<sup>[32]</sup>,酸法一般采用盐酸、乙酸、柠檬酸作为提取剂,碱法是以氢氧化钙、氢氧化钠、碳酸钠等碱性提取剂得到碱性胶原蛋白。酶法则是通过木瓜蛋白酶、胃蛋白酶、胰蛋白酶对鱼鳞进行酶解提取其中的胶原蛋白。目前研究人员大多采用复合法如酸法-酶法复合法、酶法-物理辅助法等提取胶原蛋白,从而提高提取的得率和速度。陈铁壁等<sup>[33]</sup>采用酸酶耦合法实现了酸溶性和酶溶性胶原蛋白的连续提取,先酸后酶法提取胶原蛋白的提取率可达 84.61%。万丽娟等<sup>[34]</sup>采用超声辅助胃蛋白酶酶提鳙鱼鱼鳞胶原蛋白,发现超声辅助酶解胶原蛋白的提取率比常规酶解提高了 87.0%左右,说明超声作用有利于提高胶原蛋白提取率。

#### 3.2.2 鱼鳞中提取羟基磷灰石

目前,关于鱼鳞提取羟基磷灰石的报道较少。羟基磷灰石的制备方法主要分为高温煅烧法和碱溶法。高温煅烧法指的是将去除胶原蛋白之后的鱼鳞高温煅烧,可以得到亚微米羟基磷灰石。碱溶法即利用碱液将胶原蛋白除去,经过洗涤干燥处理得到几十纳米的羟基磷灰石。杜海燕<sup>[35]</sup>等通过对鲢鱼鱼鳞进行水煮和煅烧处理,获得了粒径小于 200 nm 呈片状结构的羟基磷灰石。原续波等<sup>[36]</sup>发现采用高温煅烧法从鲢鱼、鲤鱼、黄花鱼鱼鳞中均可提取到羟基磷灰石,但提取条件对羟基磷灰石的纯度有很大影响,在酸性条件下得到的产物的物相较为复杂,以 pH > 10 碱性溶液预处理鱼鳞后,于 800 °C 煅烧 1 h,可以得到纯度较高的羟基磷灰石。

#### 3.2.3 鱼鳞中提取卵磷脂

鱼鳞卵磷脂的提取方法主要包括有机溶剂萃取法和微波辅助萃取法。吴继魁等<sup>[37]</sup>以草鱼鱼鳞为原料,乙醇溶液为萃取剂提取卵磷脂,发现乙醇浓度是影响卵磷脂提取率的主要因素,85%的乙醇为最佳浓度条件。高梦祥等<sup>[38]</sup>通过单因素实验和正交实验得出了微波辅助浸提鱼鳞卵磷脂工艺的最佳参数组合,在乙醇体积分数 95.0%、乙醇用量 50 mL/g、提取时间 4 min、微波功率 240 W 的条件下每克鱼鳞中可提取卵磷脂 23.87 g。孙武等<sup>[39]</sup>以罗非鱼鱼鳞为原料,根据卵磷脂的理化性质,利用微波辅助有机溶剂法

提取并发现在微波功率为 300 W、提取时间 6 min、料液比 1:20(g/mL)、乙醇体积分数 95.0%的条件下,提取时间降低,同时达到较高产率。

### 3.3 鱼鳞的综合利用

鱼类胶原蛋白作为哺乳动物胶原蛋白的替代品<sup>[40]</sup>,具有很高的药用价值,可促进血液中高密度脂蛋白的增加,具有明显的降血脂、溶血栓作用,能显著降低心脑血管疾病的发病率。现如今可降解生物包装的发展成为研究趋势,鱼鳞胶原蛋白具有良好的生物相容性、可生物降解性、低抗原性等特点,被广泛地应用于包装领域<sup>[41]</sup>。邵东旭等<sup>[42]</sup>利用鱼鳞提取胶原蛋白,与马铃薯淀粉混合制备可食性复合膜,并在膜中加入高良姜精油天然抗菌剂,发现抗菌膜对金黄色葡萄球菌、大肠杆菌和黑霉菌都有较好的抑菌作用。因此胶原蛋白-抗菌复合膜能抑制鱼肉脂肪氧化和微生物生长,延长鱼肉冷藏的货架期。羟基磷灰石是无机生物陶瓷中最具潜力的一类新型生物材料,目前主要应用于生物医学等领域,可促进软硬组织修复、抗癌或作为释放载体等<sup>[43,44]</sup>。陈超等<sup>[45]</sup>研究发现纳米羟基磷灰石溶胶能与导致溶膜体破裂,诱导体外培养的人舌癌细胞株 Tca8113 发生凋亡。卵磷脂在多领域中有着广泛的应用,如可作为乳化剂、抗氧化剂、起泡剂等应用于食品工业中,也可在畜牧行业中发挥作用<sup>[46]</sup>。

## 4 其他

此外,目前国内其他研究人员还对鱼类加工副产物做了其他方面的研究。除鱼骨和鱼鳞外还集中在鱼皮、鱼内脏等部位。鱼皮中最具利用价值的是胶原蛋白。胶原蛋白可制备成可食性蛋白膜<sup>[47]</sup>。伍久林等<sup>[48]</sup>从鲢鱼皮中提取了 I 型胶原蛋白制备了鱼皮胶原蛋白膜,并发现其可以应用于食品包装中防止食品发生脂质氧化。李剑璞等<sup>[49]</sup>以赤鲢鱼鱼皮为原料,建立酶解法制备胶原肽的工艺技术,并利用液相色谱-串联质谱分析法鉴定了胶原肽的氨基酸序列,且 66.11%为亲水性肽,33.89%为疏水性肽。研究发现从鱼内脏中也可提取多种活性成分,包括蛋白质、多糖等。曾颖等<sup>[50]</sup>以皱纹盘鲍内脏为原料,经超声波辅助双水相提取出其中的  $\beta$ -葡萄糖苷酶。陈胜军等<sup>[51]</sup>同样以鲍鱼内脏为原料,采用胰蛋白酶提取得到鲍鱼内脏多糖。梁杰等<sup>[52]</sup>通过超声波技术辅助碱提酸沉得到鲍鱼内脏蛋白,在最佳条件下得到鲍鱼蛋白提取率为 81.01%±0.43%,分离纯化后得到抗氧化肽发现它的抗氧化能力可与人工合成的抗氧化剂相媲美。

## 5 展望

我国鱼类资源丰富,这为鱼骨、鱼鳞的提取及利用提供了大量原料。但目前我国鱼类主要以鲜销为主,这类副

产物资源浪费情况仍然严重, 提取技术不够成熟, 应用不够充分。随着研究的深入, 更多的鱼类主要副产物的有效成分, 如糖缀合物、功能性多肽等将被逐步开发, 超声波、超高压、超临界萃取、高压脉冲电场技术等辅助手段将被普遍应用到鱼类副产物的提取中, 但这几种提取技术都存在缺点。因此如何对鱼类主要副产物进行更深入的利用和如何开发新的有效提取技术, 将是研究人员面临的难题, 更是实现其高值化利用的现实需要。此外某些生物活性成分的生理活性机制还不够明确, 进一步深入研究其生理活性及其作用机制应也是未来的研究重点。因此, 深入研究鱼类主要副产物的提取技术和应用领域, 使下脚料“变废为宝”, 有利于扩大这类副产物在各领域中的应用范围, 同时改善我国鱼类副产物加工现状。

### 参考文献

- [1] 农业部渔业渔政管理局. 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2018.  
Ministry of Agriculture Fishery Administration. China fishery statistics yearbook [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2018.
- [2] 戈贤平, 缪凌鸿. 我国大宗淡水鱼产业发展现状与体系研究进展[J]. 中国渔业质量与标准, 2011, 1(3): 22-31.  
Ge XP, Miao LH. Current state and development suggestion on national conventional freshwater fishery industry [J]. Chin Fishery Qual Stand, 2011, 1(3): 22-31.
- [3] 胡杨, 朱士臣, 熊善柏, 等. 鱼类加工副产物中胶原提取技术与性质分析[J]. 渔业现代化, 2016, 43(4): 44-50.  
Hu Y, Zhu SC, Xiong SB, *et al.* Extraction and characterization of collagen from different fish processing by-products [J]. Fishery Mod, 2016, 43(4): 44-50.
- [4] 蔡路昀, 马帅, 张宾, 等. 鱼类加工副产物的研究进展及应用前景[J]. 食品与发酵科技, 2016, 52(5): 108-113.  
Cai LY, Ma S, Zhang B, *et al.* Recent advances and application prospects in the study of by-product of fish processing [J]. Food Ferment Sci Technol, 2016, 52(5): 108-113.
- [5] 叶彬清, 王锡昌, 陶宁萍, 等. 鱼类副产物利用研究进展[J]. 食品研究与开发, 2014, 35(21): 15-19.  
Ye BQ, Wang XC, Tao NP, *et al.* Research on progress of utilization of fish processing by-products [J]. Food Res Dev, 2014, 35(21): 15-19.
- [6] 代昕冉, 刘焱, 陈力力. 淡水鱼鳞综合利用研究进展[J]. 农产品加工, 2018, (16): 61-66.  
Dai XR, Liu Y, Chen LL. Research process in comprehensive utilization of freshwater fish scales [J]. Farm Prod Process, 2018, (16): 61-66.
- [7] 张崑, 朱志伟, 曾庆孝. 鱼骨利用的研究现状[J]. 食品研究与开发, 2007, (9): 182-185.  
Zhang Y, Zhu ZW, Zeng QX. Recent research on utilization of fish bone [J]. Food Res Dev, 2007, (9): 182-185.
- [8] 杨叶辉. 利用水产品加工副产品开发羟基磷灰石的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 7(1): 263-268.  
Yang YH. Research progress of developing hydroxyapatite byproducts during aquatic products processing [J]. J Food Saf Qual, 2016, 7(1): 263-268.
- [9] 王国财, 刘菊妍, 苏薇薇, 等. 鱼油中 EPA 和 DHA 的酶法富集工艺研究[J]. 中国油脂, 2019, (5): 104-107.  
Wang GC, Liu JY, Su WW, *et al.* Enzymatic enrichment process of EPA and DHA in fish oil [J]. China Oils and Fats, 2019, (5): 104-107.
- [10] 赵保堂, 孙栋, 刘东, 等. 虹鳟鱼油的超声波辅助法提取及其脂肪酸组成分析[J]. 中国油脂, 2019, 44(3): 20-24.  
Zhao BT, Sun D, Liu D, *et al.* Ultrasound-assisted extraction of rainbow trout oil and its fatty acid composition [J]. China Oils Fats, 2019, 44(3): 20-24.
- [11] 郑振霄, 戴志远, 沈清, 等. 酶法富集 DHA、EPA 的研究进展及产业化展望[J]. 中国食品学报, 2019, 19(4): 301-309.  
Zheng ZX, Dai ZY, Shen Q, *et al.* Research progress of enzymatic enrichment of DHA and EPA and the prospect of the industrialization [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2019, 19(4): 301-309.
- [12] 邹德生. 硫酸软骨素的生产工艺研究进展[J]. 现代食品, 2018, (22): 22-24.  
Zou DS. Process on preparation technology of chondroitin sulfate [J]. Mod Food, 2018, (22): 22-24.
- [13] 罗小芳, 郭乙颖, 陈海峰, 等. 不同来源和制备工艺硫酸软骨素的二糖分析[J]. 食品工业, 2018, 39(10): 1-5.  
Luo XF, Guo YY, Chen HF, *et al.* Disaccharide analysis of chondroitin sulfates from different origins and process conditions [J]. Food Ind, 2018, 39(10): 1-5.
- [14] 朱迎春, 黄素珍, 白建, 等. 从骨渣中提取可溶性钙的研究[J]. 畜禽业, 2005, (1): 28-30.  
Zhu YC, Huang SY, Bai J, *et al.* Study on abstraction dissoluble calcium from bone-gum [J]. Livestock Poul Ind, 2005, (1): 28-30.
- [15] 王静雅, 杨琦, 安苏苏, 等. 响应面法优化高压脉冲电场辅助酶解河蚌肉工艺[J]. 肉类研究, 2019, 33(2): 25-31.  
Wang YJ, Yang Q, An SS, *et al.* Optimization by response surface methodology of high-voltage pulsed electric field-assisted enzymatic hydrolysis of freshwater mussel meat [J]. Meat Res, 2019, 33(2): 25-31.
- [16] 李霜, 李诚, 陈安均, 刘爱平, 等. 高压脉冲电场对调理牛肉杀菌效果的研究[J]. 核农学报, 2019, 33(4): 722-731.  
Li S, Li C, Chen AJ, Liu AP, *et al.* Optimization by response surface methodology of high-voltage pulsed electric field-assisted enzymatic hydrolysis of freshwater mussel meat [J]. J Nucl Agric Sci, 2019, 33(4): 722-731.
- [17] 周亚军, 隋思瑶, 黄卉, 等. 高压脉冲电场辅助提取鱼骨钙工艺优化[J]. 农业工程学报, 2012, 28(23): 265-270.  
Zhou YJ, Sui SY, Huang H, *et al.* Process optimization for extraction of fishbone calcium assisted by high intensity pulsed electric fields [J]. Trans Chin Soc Agric Eng, 2012, 28(23): 265-270.
- [18] 杨小斌, 周爱梅, 王爽, 等. 响应面法优化超临界二氧化碳萃取蓝圆鲈鱼油工艺研究[J]. 中国油脂, 2018, 43(4): 7-10.  
Yang XB, Zhou AM, Wang S, *et al.* Optimization of supercritical carbon dioxide extraction of *Decapterus maruadsi* fish oil by response surface methodology [J]. China Oils Fats, 2018, 43(4): 7-10.
- [19] 汪学荣, 周玲, 吴青. 三文鱼油超声波辅助提取工艺及脂肪酸组成分析[J]. 中国油脂, 2019, 44(2): 23-26.  
Wang XR, Zhou L, Wu Q. Ultrasound-assisted extraction of salmon oil and its fatty acid composition [J]. China Oils Fats, 2019, 44(2): 23-26.
- [20] 张静, 张京良, 朱常亮, 等. 酶法制备硫酸软骨素寡糖及其抗氧化活性

- [J]. 食品工业科技, 2017, 38(13): 48-52.  
Zhang J, Zhang JL, Zhu CL, *et al.* Chondroitin sulfate oligosaccharides prepared by chondroitinase and its antioxidant activities [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2017, 38(13): 48-52.
- [21] 梁宝东, 魏海香, 王田田, 等. 响应面法优化鱼骨中硫酸软骨素的醇沉工艺[J]. 中国酿造, 2014, 33(10): 104-108.  
Liang BD, Wei HX, Wang TT, *et al.* Optimization of alcohol precipitation process of chondroitin sulfate from fishbone by response surface methodology [J]. *China Brew*, 2014, 33(10): 104-108.
- [22] 陈思, 张小军, 严忠雍, 等. 鳕鱼骨硫酸软骨素提取工艺研究[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(24): 69-71.  
Chen S, Zhang XJ, Yan ZY, *et al.* Extraction technology of chondroitin sulfate from katsuwonos pelamis bones [J]. *J Anhui Agric*, 2016, 44(24): 69-71.
- [23] 黄海. 鲤鱼卵钙离子结合活性肽的制备及钙结合机制的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014.  
Huang H. Study on the preparation of peptide with calcium-binding activity from carp egg and its mechanism of binding calcium [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2014.
- [24] 许顺干. 淡水鱼骨粉钙剂[J]. 上海水产大学学报, 1996, (4): 246-251.  
Xu SG. Calcium powder of freshwater fish bone [J]. *J Shanghai Fisher Univ*, 1996, (4): 246-251.
- [25] 李柯宏. 微胶囊化鱼油的制备及其在奶糖中的应用研究和工厂设计[D]. 南昌: 南昌大学, 2018.  
Li KH. The preparation of microencapsulated fish oil and its application in milk candy and plant design [D]. Nanchang: Nanchang University, 2018.
- [26] 龙烁, 武书庚, 崔闯飞, 等. 饲料添加鱼油对蛋鸡免疫功能的影响[J]. 动物营养学报, 2018, 30(10): 4132-4142.  
Long S, Wu SG, Cui CF, *et al.* Effects of dietary fish oil on immune function of laying hens [J]. *Chin J Anim Nutr*, 2018, 30(10): 4132-4142.
- [27] 刘宁, 刘雅南, 刘涛, 等. 硫酸软骨素的制备研究及发展现状[J]. 食品工业科技, 2014, 35(3): 392-395.  
Liu N, Liu YN, Liu T, *et al.* Study on the preparation and current situation of chondroitin sulfate [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2014, 35(3): 392-395.
- [28] 陈伟杰, 耿丽晶, 王馨云, 等. 菠萝蛋白酶酶解草鱼鱼鳞提取胶原蛋白的工艺优化[J]. 饲料研究, 2016, (13): 1-7.  
Chen WJ, Geng LJ, Wang XY, *et al.* Bromelain hydrolyzes grass carp scales optimization of extraction process of collagen [J]. *Feed Res*, 2016, (13): 1-7.
- [29] 马少抗, 陈俊, 郝更新, 等. 鲍鱼肌肉胶原蛋白的提取与性质研究[J]. 现代食品科技, 2017, 33(2): 29-34.  
Ma SK, Chen J, Hao GX, *et al.* Extraction and characterization of collagens from abalone muscle [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2017, 33(2): 29-34.
- [30] 段婷婷, 王吉辉, 郭雁, 等. 鲫鱼鱼鳞跨尺度结构及成分表征[J]. 中国组织工程研究, 2018, 22(26): 4191-4195.  
Duan TT, Wang JH, Guo Y, *et al.* Characterization of the cross-structure and composition of crucian fish scales [J]. *Chin J Tissue Eng Res*, 2018, 22(26): 4191-4195.
- [31] 唐顺之, 牛亚伟, 关伟键, 等. 不同磷脂成分的研究及其乳化能力的比较[J]. 食品科技, 2019, 44(3): 261-266.  
Tang SZ, Niu YW, Guan WJ, *et al.* Comparison of the composition and emulsifying ability of different phospholipids [J]. *Food Sci Technol*, 2019, 44(3): 261-266.
- [32] 赵利, 温慧芳, 袁美兰, 等. 基于不同提取方式的鱼皮胶原蛋白对重组鱼肉品质的影响[J]. 现代食品科技, 2015, 31(3): 220-227.  
Zhao L, Wen HF, Yuan ML, *et al.* The effect of fish skin collagen extraction method on restructured fish products [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2015, 31(3): 220-227.
- [33] 陈铁壁, 刘冬敏, 鹿康, 等. 草鱼鱼鳞胶原蛋白酶分步提取工艺研究[J]. 食品与机械, 2016, 32(8): 163-166.  
Chen TB, Liu DM, Lu K, *et al.* Combined use of enzyme and acid for collagen extraction from fish scales [J]. *Food Mach*, 2016, 32(8): 163-166.
- [34] 万丽娟, 熊磊, 李敏, 等. 超声辅助酶提鲮鱼鱼鳞胶原蛋白的工艺和表征[J]. 食品工业, 2017, 38(11): 9-13.  
Wan LJ, Xiong L, Li M, *et al.* Process and characterizations of collagen extracted from *aristichthys nobilis* scales by ultrasonic-assisted enzymatic hydrolysis [J]. *Food Ind*, 2017, 38(11): 9-13.
- [35] 杜海燕, 李春燕, 王慧, 等. 鱼鳞中羟基磷灰石的提取及其显微结构的研究[J]. 电子显微学报, 2001, 20(4): 457-458.  
Du HY, Li CY, Wang H, *et al.* Study on the extraction and microstructure of hydroxyapatite from fish scales [J]. *J Chin Electr Microsc Soc*, 2001, 20(4): 457-458.
- [36] 原续波, 杜海燕, 孙清池, 等. 鱼鳞中纳米生物羟基磷灰石的提取[J]. 硅酸盐学报, 2004, 32(10): 1256-1259.  
Yuan XB, Du HY, Sun QC, *et al.* Extraction of hydroxyapatite nano-particles from fish scales [J]. *J Chin Cerm Soc*, 2004, 32(10): 1256-1259.
- [37] 吴继魁, 张俊玲. 草鱼鱼鳞中提取卵磷脂的最佳工艺[J]. 上海水产大学学报, 2005, 14(4): 428-431.  
Wu JK, Zhang JL. The optimum conditions for abstraction of lecithin from the fish-scale of grass carp [J]. *J Shanghai Fisher Univ*, 2005, 14(4): 428-431.
- [38] 高梦祥, 刘甜力. 微波辅助浸提鱼鳞卵磷脂的工艺研究[J]. 食品与机械, 2006, 22(4): 16-18.  
Gao MX, Liu TL. Extracting lecithin of scale by microwave [J]. *Food Mach*, 2006, 22(4): 16-18.
- [39] 孙武, 欧阳小艳, 陈晶晶. 微波辅助提取罗非鱼鱼鳞卵磷脂的工艺研究[J]. 食品科技, 2014, (12): 161-164.  
Sun W, Ouyang XY, Chen JJ. Microwave-assisted extraction of tilapia fish scales lecithin [J]. *Food Sci Technol*, 2014, (12): 161-164.
- [40] 李杰, 闫鸣艳, 刘均洪, 等. 鱼胶原蛋白的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(10): 3941-3946.  
Li J, Yan MY, Liu JH, *et al.* Research progress of fish collagen [J]. *J Food Saf Qual*, 2015, 6(10): 3941-3946.
- [41] 帅丽. 缺钙纳米羟基磷灰石/胶原复合支架材料的制备[D]. 重庆: 重庆大学, 2010.  
Shuai L. Study on nano-calcium-deficient hydroxyapatite/collagen composite [D]. Chongqing: Chongqing University, 2010.
- [42] 邵东旭, 王卉, 裴志胜, 等. 鱼鳞胶原蛋白复合抗菌膜对罗非鱼肉的保鲜效果[J]. 包装工程, 2016, 37(23): 73-77.  
Shao DX, Wang H, Pei ZS, *et al.* Tilapia preservation by composite antibacterial film with fish-scale collagen [J]. *Packag Eng*, 2016, 37(23): 73-77.
- [43] 彭继荣. 硅灰石增韧多孔羟基磷灰石生物陶瓷的制备工艺及性能研究

- [D]. 北京: 中国地质大学, 2005.
- Peng JR. Preparation and properties of porous hydroxyapatite ceramics reinforced by wollastonite [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2005.
- [44] 张利. 纳米羟基磷灰石与壳聚糖复合硬组织修复材料研究[D]. 成都: 四川大学, 2005.
- Zhang L. Research on nano-hydroxyapatite and chitosan composite for hard tissue repair [D]. Chengdu: Sichuan University, 2005.
- [45] 陈超, 王慧明. 纳米羟基磷灰石溶胶对人舌癌细胞株的作用研究[J]. 实用肿瘤杂志, 2003, 18(6): 459-461.
- Chen C, Wang HM. Effect of nano hydroxyapatite sol on human tongue cancer cell lines [J]. Pract Oncol J, 2003, 18(6): 459-461.
- [46] 袁博, 周张涛, 郑竞成, 等. 大豆卵磷脂及其复配对 DHA 藻油氧化稳定性的影响[J]. 中国食品添加剂, 2018, (8): 152-156.
- Yuan B, Zhou ZT, Zheng JC, *et al.* Effect of soybean lecithin and multiple antioxidants on oxidation stability of DHA algal oil [J]. China Food Add, 2018, (8): 152-156.
- [47] 刘少博, 陈复生, 徐卫河, 等. 胶原蛋白的提取及其可食性膜的研究进展[J]. 食品与机械, 2014, (2): 242-246.
- Liu SB, Chen FS, Xu WH, *et al.* Progress on extraction and edible film production of collagen [J]. Food Mach, 2014, (2): 242-246.
- [48] 伍久林, 陈善飞, 葛尚英, 等. 鲢鱼皮可食性胶原蛋白膜的制备及性能研究[J]. 食品研究与开发, 2013, (10): 72-75.
- Wu JL, Chen SF, Ge SY, *et al.* Study on the preparation and property of collagen film from silver carp skin [J]. Food Res Dev, 2013, (10): 72-75.
- [49] 李剑瑛, 施沈佳, 黎中宝, 等. 赤虹鱼鱼皮胶原肽的酶解工艺优化及其理化特性分析[J]. 食品工业科技: 1-15. [2019-05-16]. <http://www.spgykj.com/Index.php>
- Li JY, Shi SJ, Li ZB, *et al.* Optimization of enzymolysis technology and physical and chemical properties of collagen peptide from skin of red stingray (*dasyatisakajei*) [J]. Sci Technol Food Ind: 1-15. [2019-05-16]. <http://www.spgykj.com/Index.php>
- [50] 曾颖, 曾臻, 陈仲巍, 等. 超声波辅助双水相萃取鲍鱼内脏的  $\beta$ -葡萄糖苷酶[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(2): 74-80.
- Zeng Y, Zeng Z, Chen ZW, *et al.* Ultrasonic assisted the aqueous two-phase extraction of  $\beta$ -glucosidase from abalone viscera [J]. Food Res Dev, 2019, 40(2): 74-80.
- [51] 陈胜军, 刘先进, 杨贤庆, 等. 鲍鱼内脏多糖分离纯化与抗氧化活性评价[J]. 南方农业学报, 2019, (2): 372-377.
- Chen SJ, Liu XJ, Yang XQ, *et al.* Isolation and purification of visceral polysaccharides from abalone and its antioxidant activity [J]. J Southern Agric, 2019, (2): 372-377.
- [52] 梁杰, 赵晓旭, 汪秀妹, 等. 鲍鱼内脏蛋白的提取及水解肽的抗氧化活性研究[J]. 食品工业科技, 2019, 40(8): 136-144.
- Liang J, Zhao XX, Wang XM, *et al.* Extraction of visceral protein and antioxidant activity of hydrolytic peptides of the abalone [J]. Sci Technol Food Ind, 2019, 40(8): 136-144.

(责任编辑: 韩晓红)

## 作者简介



周焱卿, 硕士生, 主要研究方向为农产品加工与储藏。

E-mail: 707233540@qq.com

何强, 博士, 教授, 主要研究方向为农产品质量与安全。

E-mail: heq361@163.com