

鱼鳞胶原蛋白的研究进展

樊世芳¹, 王利强^{1,2}, 游柳青¹, 卢立新^{1,2}, 郑琪欢¹

(1. 江南大学, 无锡 214122; 2. 江苏省食品先进制造装备技术重点实验室, 无锡 214122)

摘要: **目的** 研究目前鱼鳞胶原蛋白的应用发展。**方法** 综述鱼鳞及鱼鳞胶原蛋白的结构特性、提取方法以及胶原蛋白在医药、食品、化工等领域的应用, 分析不同提取方法的优点及不足, 并对鱼鳞胶原蛋白的未来发展做出展望。**结果** 我国水产养殖业虽然发展较快, 但水产品的综合利用滞后于世界平均水平, 且鱼鳞资源丰富, 经济价值较高, 应充分利用鱼鳞资源, 减少资源浪费, 避免污染环境。**结论** 鱼鳞胶原蛋白是目前的研究热点, 也是未来胶原蛋白的发展方向。

关键词: 鱼鳞; 胶原蛋白; 提取方法

中图分类号: S985 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2014)23-0006-07

Research Progress in Fish Scale Collagen

FAN Shi-fang¹, WANG Li-qiang^{1,2}, YOU Liu-qing¹, LU Li-xin^{1,2}, ZHENG Qi-huan¹

(1. Jiangnan University, Wuxi 214122, China;

2. Jiangsu Key Laboratory of Advanced Food Manufacturing Equipment and Technology, Wuxi 214122, China)

ABSTRACT: Objective To study the current application development of fish scale collagen. **Methods** The structural properties and extraction methods of fish scale and fish scale collagen as well as the applications of collagen in pharmaceutical, food and chemical industries were reviewed, the advantages and disadvantages of different extraction methods were analyzed, and future development of fish scale collagen was proposed. **Results** Although the development of the aquaculture industry in China is quick, it lags behind the average world level of aquatic utilization, and there are rich resources of fish scale, which has a high economic value. Therefore, we should take advantage of the fish scale resources, reduce waste of resources and avoid pollution of the environment. **Conclusion** Fish scale collagen is the current hot topic, and also the future direction for the development of collagen.

KEY WORDS: fish scale; collagen; extraction methods

近几年来,我国渔业得到了长足发展,渔业产值占农业总产值的10%,水产贸易占农产品进出口贸易的四分之一。在鱼产品生产加工过程中,会产生大量的下脚料,如鱼鳞、鱼骨、鱼鳃等,约占原鱼总质量的40%~55%,其中有10%左右的鱼鳞资源被浪费^[1],如不妥善处理,不仅会污染环境,还会浪费现有资源。鱼鳞含有丰富的脂肪、蛋白质、维生素及人体所必需的几种微量元素,不仅可以增强大脑记忆、延缓细胞衰老,而且

其酶解产物胶原蛋白具有抗菌抗肿瘤等功能,同时可以解决口蹄疫、疯牛病等可能带来的胶原蛋白的食品安全问题,满足人们的需要。

1 鱼鳞胶原蛋白的特性

胶原蛋白是细胞外基质(ECM)的一种结构蛋白质,含有一个或几个由 α -链组成的三螺旋结构区

收稿日期: 2014-10-13

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金(JUSRP21115); 中国包装总公司科技计划项目[2008]114号; 江南大学校级创新团队发展计划(PIRTJiangnan); 江南大学青年基金(2007LQN18)

作者简介: 樊世芳(1989—),女,江苏连云港人,江南大学硕士生,主攻食品包装技术。

通讯作者: 王利强(1977—),男,甘肃陇南人,博士,江南大学副教授,主要研究方向为食品包装技术。

域。胶原属于硬蛋白类,难溶于水、稀酸、稀碱及盐溶液,它是动物体内含量最多、分布最广的蛋白质,占蛋白质总量的25%~30%,是结缔组织中极其重要的结构蛋白质,起支撑器官、保护机体的作用。由于其重要性,胶原蛋白被广泛应用于食品、化工、医疗、生物合成等领域,例如包装膜、人造肠衣、手术缝合线、止血海绵、保湿面膜等^[2]。

从20世纪80年代到现在,我国已经建立了100多个生产胶原和胶原蛋白的企业,已经形成了一个工业群^[3]。胶原蛋白产业在我国已经逐步发展起来,成为食品工业中的一部分。鱼鳞是大多数鱼类体表的皮肤衍生物,约占鱼质量的2%~3%。鱼鳞大约有3种:板鳃鱼上的栉鳞;斜方形、边缘相互连接的硬鳞;鱼类中最常见的骨鳞。目前,人们应用最多的是骨鳞。鳞片外表透明,呈花瓣状,质地坚硬,排列紧密,略有鱼腥味,水洗后呈白色。硬骨鱼鱼鳞主要由羧基磷灰石 $\text{Ca}_{10}(\text{OH})_2(\text{PO}_4)_6$ 和胶原纤维组成^[4-6]。鱼鳞有两层微观结构,即骨质层和纤维层。Toshiyuki Ikoma等^[7]利用X射线、傅里叶变换红外光谱等表征鱼鳞结构,发现骨质层主要由羧基磷灰石组成,而纤维层由直径为70~80 nm的胶原纤维紧密平行排列而成,质地紧密,不易处理。鱼鳞中含有丰富的蛋白质和矿物质,其中有机物占41%~55%^[8]。鱼鳞中除了含有铁、锌、钙等人体所需的微量元素,还含有可以减少胆固醇在血管中集聚的不饱和脂肪酸,可以预防心脏病、高血压等疾病^[9]。虽然鱼鳞的经济价值、营养价值很高,但目前鱼鳞主要被加工成动物饲料或直接丢弃,没有得到很好的利用。

鱼肉中胶原含量较少,仅占鱼蛋白总量的3%,但鱼鳞中含有丰富的蛋白质,且鱼鳞胶原蛋白主要是I型胶原,以鱼鳞为原料可直接提取I型胶原蛋白,省去离子交换色谱分离纯化等繁杂步骤,简单方便,且可以获得较为纯净的I型胶原蛋白。

2 鱼鳞胶原蛋白的提取方法

鱼鳞胶原蛋白提取一般有4种方法:酸法、碱法、热法和酶解法,其基本原理是根据胶原蛋白的特性改变胶原蛋白的外界环境,把胶原蛋白从其他蛋白中分离出来,得到比较纯净的胶原蛋白。有人还在提取过程中用超声波发生器施加20 kHz超声波,这样可提高

鱼鳞胶原蛋白的提取率和缩短提取时间^[10]。

2.1 提取胶原蛋白前的预处理

Mitsuhiro Okuda^[11]等发现羧基磷灰石保护并支撑鱼鳞的胶原纤维层,且鱼鳞中灰分的质量分数可达34.2%,钙的质量分数高达15.8%,直接影响胶原蛋白的提取率,所以在提取之前需要用酸法对鱼鳞进行脱钙处理。罗非鱼鱼鳞基本成分为:水分的质量分数为 $(55.89 \pm 0.34)\%$,粗蛋白的质量分数为 $(21.57 \pm 0.06)\%$,粗脂肪的质量分数为 $(0.02 \pm 0.005)\%$,灰分的质量分数为 $(19.13 \pm 0.05)\%$,总钙的质量分数为 $(15.04 \pm 0.2)\%$ ^[12]。

目前主要应用的脱钙方法有EDTA脱钙、酸法脱钙和其他物理辅助脱钙法(如超声波、微波)。EDTA^[13]脱钙法是一种螯合剂脱钙技术,EDTA能够与 Ca^{2+} , Mg^{2+} 等金属离子结合,达到去除金属离子的目的,而且pH接近中性,对组织破坏较小,可完整保持生物活性。Falguni Pati等^[14]发现EDTA经48 h处理后鱼鳞可达到最大脱钙率。张颖洁等^[15]利用微波辅助EDTA脱钙,虽然脱钙率较低,但处理条件比较温和,胶原纤维损失较小。酸法脱钙是一种经常使用的方法,主要使用盐酸、乳酸、柠檬酸、醋酸等。Ilona Kotodziejska等^[16]比较了算法脱钙和EDTA脱钙法,认为盐酸脱钙法比EDTA脱钙法更加快速有效,且可完全脱除鱼鳞中的钙杂质,但是强酸会使胶原蛋白造成损失。王梅英^[17]用超声波辅助酸法脱钙,发现超声波辅助时间为56.82 min、盐酸摩尔浓度为0.8 mol/L、液料体积比为15时,脱钙率可达92.43%。在脱钙过程中,盐酸浓度、底物浓度、反应温度和时间都对脱钙率产生影响,见表1。

2.2 酸法提取

酸法提取是利用酸性条件破坏分子键的离子键和Schiff键来提取胶原蛋白,常用的酸有盐酸、乳酸、醋酸、柠檬酸等。例如曾少葵^[21]用柠檬酸提取鱼鳞明胶,得到在温度为65 °C,时间为3.6 h,柠檬酸质量浓度为200 g/L,浸酸时间为11.3 h的条件下,明胶提取率为28.4%。王信苏等^[22]采用不同提取剂(醋酸、乳酸、柠檬酸)提取鱼鳞中的胶原蛋白,发现柠檬酸的提取率最高,乳酸的次之,醋酸的最低。酸法提取胶原蛋白,若在预处理中用酸处理,会有部分其他蛋白难以

表1 鱼鳞脱钙最佳工艺参数^[18-20]

Tab. 1 The optimal process parameters for fish scale decalcification

种类	对象	料液比/(g·mL ⁻¹)	酸的体积分数/%	时间/h	温度/℃	脱钙率/%
柠檬酸	罗非鱼	1:17	8	3.5	25	96.13
盐酸	罗非鱼	1:30	1.46	0.5	25	87.9
盐酸	罗非鱼	1:16	2.9	1.9	25	99.55

去除,在后续处理中会含有较多的其他蛋白,需要很多工序来纯化胶原蛋白,使之步骤繁琐,在常温下提取,会造成胶原蛋白的大量损失。

2.3 碱法提取

胶原蛋白含有碱性基团和酸性基团,在碱性环境中可分别与酸碱结合,造成胶原肽链断裂,发生胶原碱溶,甚至降解。碱法提取常用的提取剂有氧化钙、氢氧化钙、碳酸钠等,碱法迅速且彻底,适用于交联程度比较高的骨胶原材料,但碱法生产周期长,生产率低,且会使溶出的胶原肽链断裂,甚至产生D型氨基酸,所以碱法很少应用在提取完整胶原蛋白中。顾杨娟^[23]通过酸法提胶、碱法提胶、酶法提胶比较得出,经酸法处理的鱼鳞冻,胶原蛋白得率较高,最佳工艺条件是:稀盐酸摩尔浓度为0.4 mol/L,时间为1.5 h,料液比(g/mL)为1:6。经碱法处理的鱼鳞冻,胶原蛋白提取率低、冻力小,不适合做提取鱼鳞蛋白的预处理。

2.4 热法提取

热法提取就是热水浸提水溶性胶原蛋白。提取的胶原蛋白有较高的保水性、乳化稳定性和泡沫稳定性。热水法提取鱼鳞蛋白的最佳温度为60~70℃,温度略高有助于提胶,但由于胶原蛋白对热比较敏感,温度超过40℃会变性,氨基酸残基会随着温度的提高而被破坏,导致胶原蛋白的质量下降。热水提取法含盐量较低,但水解时间长,需带压操作,产品相对分子质量分布不均匀且不易控制,不能保证胶原蛋白的质量。

2.5 酶解法

酶解法,即利用各种酶在一定环境条件下提取胶原蛋白,通常使用的酶有木瓜蛋白酶、胃蛋白酶、碱性蛋白酶、中性蛋白酶等。胶原蛋白的提取率与酶的种类、酶的添加量、底物浓度、温度、时间等因素有关,还

与酶处理过程中采取的辅助工艺相关,通常以水解度、提取率以及提取胶原蛋白的功能特性作为考察提取工艺的指标。高建华^[24]通过分析木瓜蛋白酶、Alcalase蛋白酶、风味蛋白酶、碱蛋白酶酶解鱼鳞产物肽得率,发现木瓜蛋白酶酶解产物中羟脯氨酸保存率高达99.3%,而Alcalase蛋白酶、木瓜蛋白酶肽的提取率相对较高。陈日春^[25]用碱性蛋白酶、中性蛋白酶和木瓜蛋白酶提取鲢鱼鱼鳞胶原蛋白,发现碱性蛋白酶酶解物的抗氧化性最强,且当底物质量分数为5.47%、酶解时间为4.24 h、酶的质量分数为2.4%时,常温下所得的抗氧化钛对O₂⁻, DPPH和OH清除率分别为46.3%, 7.6%和63.5%。胡方园^[26]利用Alcalase酶解鳙鱼鱼鳞,当底物质量分数为5.1%、温度为50℃、时间为2 h,酶的质量分数为2.1%时,水解度最高能达到20.74%,并分别用超声波、微波、微细粉碎等3种方法进行预处理,发现经微细粉碎处理的样品酶解效果最好。酶解法有2种:一步法,如唐旭等^[27]利用菠萝蛋白酶酶解海洋鱼鳞蛋白,通过正交实验获得最佳工艺为温度为60℃,时间为3 h,酶的质量分数为4%,料液质量比为1:20,此时水解度为18.1%;两步法,王彦蓉^[28]将2种酶混合使用($m_{\text{Alcalase}}:m_{\text{PTN}}=1:2$)时,蛋白质回收率、水解度都得到了提高。

酶法提取胶原蛋白具有很多优点,酶解反应条件温和,发硬速率高,时间短,不产生消旋作用,也不会影响氨基酸的特性,且在反应过程中不会引入外来物质,保证了产品的纯度,安全性好。同时酶解产物中氨基酸的组成与原料相近,既可保持原料中氨基酸的比例,又具有特殊的理化性质和功能活性。酶解法提取胶原蛋白的最佳工艺见表2。

3 鱼鳞胶原蛋白的应用

3.1 鱼鳞胶原蛋白在医药领域的应用

鱼鳞水解产物抗氧化钛具有抗氧化、降血糖、抗

表2 酶解法提取胶原蛋白的最佳工艺^[29-34]

Tab.2 The optimal enzymatic extraction process of collagen

酶	对象	酶的质量分数/%	底物质量分数/%	时间/h	温度/℃	pH值	水解度/%
木瓜蛋白酶	草鱼	3.3	5	2	60	自然	12.68
木瓜蛋白酶	罗非鱼	2.5	7	5	50	7	
胃蛋白酶	鲫鱼	5	5	7	60	3	14.58
胃蛋白酶	罗非鱼	2	7	2	65	2	
碱性蛋白酶	鲢鱼	2.1	5	2	50	9.5	20.74
碱性蛋白酶	罗非鱼	2	7	2	65	8.5	

衰老等效果^[35]。涂宗财^[33]采用Neutarase蛋白酶酶解鱼鳞制得抗氧化活性肽,并得到最佳工艺条件:酶解时间为5 h,温度为50 ℃,pH值为5.64,酶添加质量分数为4.12%,底物质量分数为5.51%,此时所得的鱼鳞抗氧化钛对清除率高达78.82%。张丰香^[36]通过鱼鳞ACE抑制肽对人脐静脉内皮细胞功能的影响发现,鱼鳞ACE抑制肽能够抑制人体脐静脉内皮细胞的增值,且不会引起人体细胞的凋亡,使细胞滞留在S期。李鹏等^[37]以罗非鱼鱼鳞明胶蛋白为壁材,玉米油为流动相,山梨醇酐三硬脂酸酯(司盘65)为乳化剂,结合超声波技术,制备包埋抗坏血酸的微胶囊。由于胶原蛋白三螺旋结构可诱导血小板凝聚,促使血浆结块,达到止血效果,如黄煜等^[38]利用胶原与壳聚糖以7:3的质量比制备成液总体积分数为1.4%的止血海绵,经试验证明,该海绵呈蜂窝状多孔三维立体结构,且对皮肤无致敏性、无刺激性,安全可靠,止血效果理想。

3.2 鱼鳞胶原蛋白在食品领域的应用

3.2.1 功能性食品

鱼鳞中含有铁、锌、钙等人体所需的微量元素,还有可以减少胆固醇在血管中聚集的不饱和脂肪酸,可以预防心脏病、高血压等疾病。胶原蛋白多肽具有低分子量性,可作为功能性食品的添加剂,且鱼鳞胶原蛋白多肽具有抗氧化、降血压、降固醇、抗衰老等功效,胶原蛋白可用于保健食品中。胡建平^[39]用质量分数为2%的酵母粉脱腥、纯化后,在15 mL胶原蛋白液中添加4 g果珍、3 g白砂糖和0.3 g柠檬酸制得胶原蛋白饮料,颜色纯正,味道酸甜可口,可放心饮用。

3.2.2 食品添加剂

胶原蛋白主要用于罐头、乳品、饮料、果酒、肉制品中的增稠剂、乳化剂、稳定剂、澄清剂等。鱼胶在啤酒广泛使用是由于明胶能改进啤酒品质(提高清亮

度、冷浊稳定性、泡沫稳定性等),可清除啤酒中带电微粒,减少虑酒损失,降低成本^[40]。鱼胶可以作为糖果添加剂,使糖果更有弹性、韧性和透明性,提高糖果品质。鱼鳞胶原蛋白具有胶凝作用,可以制成鱼鳞冻,明胶果冻熔点低,易溶于热水,入口即化,口感佳。

3.2.3 包装材料

肖乃玉等^[41]以罗非鱼胶原蛋白为成膜基质,通过单因素实验法研究胶原蛋白、海藻酸钠、戊二醛、甘油对包装膜机械性能的影响。李凯凤等^[42]将处理好的鲫鱼浸泡鱼鳞蛋白酶解物1.5 min,通过测定鲫鱼4 ℃下贮藏过程中细菌总数、TCB-N值、K值、TBA值、感官评分、质量损失等限度指标的变化规律,结果表明,鱼鳞酶解物具有很好的保鲜效果,可延长鲫鱼的贮藏期,但不适宜与保鲜物迷迭香提取物联用。卢黄华等^[43]将胶原蛋白与壳聚糖以质量比6:4的配比在温度为45 ℃、pH值为5的环境下成膜,此时该鱼鳞蛋白可食膜的抗张强度为61.27 MPa,断裂伸长率为5.17%。吴菲菲等^[44]发现热处理过程中明胶蛋白分子发生交联形成高分子物质,明胶膜的玻璃化转变温度和熔融温度上升。可见热处理可以增强膜网络结构的稳定性,可以提高明胶蛋白膜的力学性能。李鹏等^[45]通过研究罗非鱼片经过罗非鱼鱼鳞明胶涂膜后,在温度为(4 ± 1)℃的条件下保藏14 d,每2 d记录其pH值、颜色、硬度、TBA值、挥发性盐基氮、细菌总数的变化,发现使用明胶涂膜在罗非鱼鱼片上可以延长罗非鱼片的保质期^[46-47]。

3.3 鱼鳞胶原蛋白在化工领域的应用

胶原蛋白中甘氨酸含量丰富,含有大量的亲水基团,对皮肤保湿具有很好的效果,且鱼鳞提取物可帮助皮肤延缓衰老,保持皮肤润滑光泽。鱼鳞胶原蛋白可以制成鱼鳞冻,鱼鳞冻是鱼鳞提取的明胶溶液在低

温下冷却后形成的一种胶冻状食品,水溶性胶原蛋白含量丰富,具有美容保健的功能^[23]。在其他方面,Add KaoruL等^[48]发现鱼鳞羧基磷灰石对 Pb^{2+} 和 Cd^{2+} 有很好的选择吸附性,可较快降低溶液中有毒重金属离子浓度,可处理工业废水。

4 结语

鱼鳞的研究和应用已经渗透到很多领域,但目前鱼鳞的综合利用率还是很低,我国的鱼鳞资源也未得到充分利用。鱼鳞的提取工艺还存在许多不足,如酶法提取胶原蛋白虽操作简单,但水解产物中多肽的苦味限制了其应用范围,在后续加工中还需进行去味处理,并且不适于工业化生产,酶解时的pH值可能会影响胶原蛋白的性质。此外,鱼鳞胶原蛋白在食品包装领域初步发展,如何提高鱼鳞胶原蛋白膜的力学性能,并将其应用到实际中是一个重要课题。

利用我国丰富的鱼鳞资源,加大鱼鳞胶原蛋白的研究,对提高我国水产品附加值、促进鱼鳞胶原蛋白的工业化生产具有现实意义和社会经济意义。

参考文献:

- [1] 龚刚明,顾慧,蔡宝国,等. 鱼类加工下脚料的资源化与利用途径[J]. 中国资源综合利用,2003(7):23—24.
GONG Gang-ming, GU Hui, CAI Bao-guo, et al. Fish Processing Waste and Resource Utilization Ways[J]. Chinese Resources Comprehensive Utilization, 2003(7):23—24.
- [2] 雷亚君,唐亚丽,卢立新. 鱼类胶原蛋白在包装中的应用发展[J]. 包装工程,2014,35(13):43—50.
LEI Ya-jun, TANG Ya-li, LU Li-xin. Progress in Application of Fish Collagen in Packaging[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(13):43—50.
- [3] 蒋挺大. 胶原与胶原蛋白[M]. 北京:化学工业出版社,2006.
JIANG Ting-da. The Collagen and Collagen[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2006.
- [4] HATA Y, YAMAMOTO M, OHNI M, et al. A Placebo-controlled Study of the Sour Milk on Blood Pressure in Hypertensive Subjects[J]. American Journal of Clinical Nutrition, 1996, 64:767—771.
- [5] FUJITA H, YAMAGAMI T, OHSHIMA K. Effects of an ACE-inhibitory Agent, Katsuobushi Oligopeptide in the Spontaneously Hypertensive Rat and in Borderline and Mildly Hypertensive Subjects[J]. Nutrition Research, 2002, 21: 1149—1158.
- [6] NAKAMURA Y, YAMAMOTO M, SAKAI K. Antihypertensive Effects of Sour Milk and Peptides Isolated from It That Are Inhibitor to Angiotensin I-converting Enzyme[J]. Journal of Dairy Science, 1995(8):253—257.
- [7] TOSHIYUKI I, HISATOSHI K, JUNZO T, et al. Microstructure, Mechanical, and Biomimetic Properties of Fish Scales from Pagrus Major[J]. Journal of Structural Biology, 2003, 142:327—333.
- [8] 吴波,陈运中. 鱼鳞胶原蛋白的发展及应用[J]. 武汉工业学院学报,2007,26(4):30—32.
WU Bo, CHEN Yun-zhong. Development and Application of Fish Scale Collagen[J]. Journal of Wuhan Polytechnic University, 2007, 26(4):30—32.
- [9] 罗红宇. 海鱼鱼鳞营养成分的分析[J]. 食品研究与开发, 2003,24(3):63—66.
LUO Hong-yu. Nutrient Composition Analysis of Marine Fish Scale[J]. Food Research and Development, 2003, 24(3):63—66.
- [10] 宋健. 一种促进提取鱼鳞胶原蛋白的方法:中国, CN103570827A [P]. 2014-02-12.
SONG Jian. A Method for Extracting Collagen Scale: China, CN103570827A [P]. 2014-02-12.
- [11] TOSHIYUKI I, HISATOSHI K, JUNZO T, et al. Physical Properties of Type I Collagen Extracted from Fish Scales of Pagrus Major and Oreochromis Niloticas[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2003, 32:199—204.
- [12] 曾少葵,蓝海明,章超桦,等. 罗非鱼鳞胶原蛋白的提取及其酶解产物的抗氧化性[J]. 上海海洋大学学报, 2009, 18(5):599—603.
ZENG Shao-kui, LAN Hai-ming, ZHANG Chao-hua, et al. Tilapia Scales and Other Antioxidant Extract and Collagen Hydrolysates[J]. Shanghai Ocean University, 2009, 18(5):599—603.
- [13] IKOMA T, KOBAYASHI H, TANAKA J, et al. Physical Properties of Type I Collagen Extracted from Fish Scales of Pagrus Major and Oreochromis Niloticas[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2003, 32(3):199—204.
- [14] PATI F, ADHIKARI B, DHARA S. Isolation and Characterization of Fish Scale Collagen of Higher Thermal Stability[J]. Bioresource Technology, 2010, 101(10):3737—3742.
- [15] 张颖洁,曾庆孝,叶凤麟,等. EDTA微波快速脱钙法在色鳞脱钙中的应用[J]. 食品工业,2007(1):42—44.
ZHANG Ying-jie, ZENG Qing-xiao, YE Feng-lin, et al. EDTA Microwave Method in the Color Scale Rapid Decalcification Decalcification Application[J]. Food Industry, 2007

- (1):42—44.
- [16] ILONA K, ELZBIETA S, MARIA S, et al. Effect of Extracting Time and Temperature on Yield of Gelatin from Different Fish Offal[J]. Food Chemistry, 2008, 107(2):700—706.
- [17] 王梅英, 陈慧斌, 吴云辉. 超声波辅助酸法脱除鱼鳞钙工艺研究[J]. 宁德师范学院学报, 2013, 25(4):383—385.
WANG Mei-ying, CHEN Hui-bin, WU Yun-hui. Study on Decalcification Process of Fish Scale (Tilapia) by Ultrasonic-acid[J]. Journal of Ningde Teachers College, 2013, 25(4):383—385.
- [18] 彭元怀, 刘小美, 李杏清. 柠檬酸法鱼鳞脱钙的工艺研究[J]. 农业机械, 2012(21):132—135.
PENG Yuan-huai, LIU Xiao-mei, LI Xing-qing. Citric Acid Decalcification Process Research of Scales[J]. Agricultural Machinery, 2012(21):132—135.
- [19] 慕现敏, 黄海, 刘润阳, 等. 脱钙处理对鱼鳞蛋白酶解效果及其持钙能力的影响[J]. 农产品加工, 2012(8):5—8.
MU Xian-min, HUANG Hai, LIU Run-yang. Effects of Demineralization on Protein Hydrolysis and Calcium Binding Abilities of Tilapia Fish Scales[J]. Processing of Agricultural Products, 2012(8):5—8.
- [20] 黄煜, 王茵, 吴成业, 等. 响应面法优化鱼鳞脱钙工艺的研究[J]. 福建水产, 2012, 34(2):127—133.
HUANG Yu, WANG Yin, WU Cheng-ye, et al. Optimization of Decalcification Technique of Fish Scale by Response Surface Methodology[J]. Fujian Fisheries, 2012, 34(2):127—133.
- [21] 曾少葵, 刘坤, 吴艺堂, 等. 脱钙罗非鱼鱼鳞明胶提取工艺优化及其理化性质[J]. 南方水产科学, 2013, 9(2):38—44.
ZENG Shao-kui, LIU Kun, WU Yi-tang, et al. Extraction Optimization and Physicochemical Properties of Gelatin from Demineralized Scale of Oreochromis Nilotica[J]. South China Fisheries Science, 2013, 9(2):38—44.
- [22] 王信苏, 江之和. 草鱼鱼鳞胶原蛋白的提取[J]. 现代食品科技, 2006, 22(4):148—150.
WANG Xin-su, JIANG Zhi-he. The Extraction of Fish Scale Collagen[J]. Modern Food Science and Technology, 2006, 22(4):148—150.
- [23] 顾杨娟. 草鱼鱼鳞冻的制备及其性质研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2013.
GU Yang-juan. Processing Optimization and Characterization of Jelly from Grass Carp Fish Scales[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2013.
- [24] 高建华, 宁正祥. 不同蛋白酶对鱼鳞胶原蛋白酶解产物的氨基酸分析[J]. 食品科技, 2009, 34(5):117—119.
GAO Jian-hua, NING Zheng-xiang. Amino Acid Analysis of Enzymatic Hydrolysates of Fish Scale Collagen Treated by Different Proteases[J]. Food Technology, 2009, 34(5):117—119.
- [25] 陈日春, 郑宝东. 响应面设计优化鲢鱼鳞胶原蛋白抗氧化活性肽的制备条件[J]. 大连海洋大学学报, 2013, 28(6):617—621.
CHEN Ri-chun, ZHENG Bao-dong. Preparation Process Optimization of Antioxidant Active Peptides from Silver Carp Scale Collagen by Response Surface Test Design[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2013, 28(6):617—621.
- [26] 胡方园. 酶法制备鲮鱼低聚肽及其抗氧化活性分析[D]. 无锡: 江南大学, 2012.
HU Fang-yuan. Preparation and Antioxidant Activity of Oligopeptide from Bighead Carp (Aristichthys Nobilis) by Enzymatic Hydrolysis[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2012.
- [27] 唐旭, 施建臣, 陈宇, 等. 菠萝蛋白酶酶解鱼鳞蛋白的工艺优化研究[J]. 食品工业科技, 2013(13):181—196.
TANG Xu, SHI Jian-chen, CHEN Yu, et al. Research on Optimization of Enzymatic Hydrolysis of Fish Scale Catalyzed by Bromelain[J]. Science and Technology of Food Industry, 2013(13):181—191.
- [28] 王彦蓉, 崔春, 赵谋明, 等. 罗非鱼鱼皮鱼鳞蛋白的酶解及超滤分离[J]. 食品与发酵工业, 2011, 37(9):133—136.
WANG Yan-rong, CUI Chun, ZHAO Mou-ming, et al. Characteristics of Enzymatic Hydrolysates of Tilapia Skin Protein and Effects of Ultrafiltration on It[J]. Food and Fermentation Industry, 2011, 37(9):133—136.
- [29] 杨莉莉, 申锋, 熊善柏, 等. 木瓜蛋白酶制备草鱼鳞胶原肽的工艺优化及产物特性分析[J]. 食品科技, 2012, 37(2):61—65.
YANG Li-li, SHEN Feng, XIONG Shan-bai, et al. Processing Optimization and Properties of Collagen Peptide Extraction from Grass Carp Scales with Papain[J]. Food Science and Technology, 2012, 37(2):61—65.
- [30] 王春, 周莉, 周天, 等. 木瓜蛋白酶提取罗非鱼鱼鳞胶原蛋白的研究[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(3):1291—1292.
WANG Chun, ZHOU Li, ZHOU Tian, et al. Study on the Extraction of Collagen Protein from Tilapia Scales with Papain[J]. Anhui Agricultural Sciences, 2013, 41(3):1291—1292.
- [31] 陈军, 丁志雯, 益璐, 等. 鲫鱼鳞蛋白酶解工艺的优化[J]. 生物工程, 2013, 34(24):235—238.
CHEN Jun, DING Zhi-wen, YI Lu, et al. Optimization of Enzymatic Hydrolysis of Crucian Carp Scales Using a Protease[J]. Biotechnology, 2013, 34(24):235—238.
- [32] 孙宪迅, 孙奇英, 韩雪, 等. 罗非鱼鳞胶原蛋白提取工艺研究[J]. 江汉大学学报(自然科学版), 2012, 40(3):105—107.

- SUN Xian-xun, SUN Qi-ying, HAN Xue, et al. Research on Technology of Extraction Collagen from Tilapia Fish Scale[J]. Journal of Jiangnan University (Natural Science Edition), 2012, 40(3): 105—107.
- [33] 涂宗财, 郑明, 陈刚, 等. 酶解鱼鳞蛋白制备抗氧化肽的研究[J]. 食品工业科技, 2009(7): 202—206.
- TU Zong-cai, ZHENG Ming, CHEN Gang, et al. Study on Antioxidant Peptide Prepared by Enzymolysing Fish Scales Protein[J]. Science and Technology of Food Industry, 2009(7): 202—206.
- [34] 孙宪迅, 孙奇英, 韩雪, 等. 罗非鱼鱼鳞粉直接酶解制备胶原蛋白的工艺研究[J]. 化学与生物工程, 2012, 29(12): 39—42.
- SUN Xian-xun, SUN Qi-ying, HAN Xue, et al. Study on Preparation of Collagen by Enzymolysis of Tilapia Scale Powder with Alcalase[J]. Chemical and Biological Engineering, 2012, 29(12): 39—42.
- [35] PEDROCHE M M, YUST H L. Obtaining of Brassica Carinata Protein Hydrolysates Enriched in Bioactive Peptides Using Immobilized Digestive Proteases[J]. Food Research International, 2007, 40: 931—938.
- [36] 张丰香. 酶法制备草鱼鱼鳞明胶及ACE抑制肽的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2009.
- ZHANG Feng-xiang. Study on Enzymatic Preparation of Grass Carp Fish Scale Gelatin and ACE Inhibitory Peptides [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2009.
- [37] 李鹏, 申铨日, 陶摸. 罗非鱼鱼鳞明胶微胶囊化抗坏血酸的研究[J]. 食品与发酵工业, 2013, 39(8): 138—142.
- LI Peng, SHEN Xuan-ri, TAO Mo. Study on Ascorbic Acid Micro-encapsulation by Tilapia Scales Gelatin[J]. Food and Fermentation Industry, 2013, 39(8): 138—142.
- [38] 黄煜. 鱼鳞胶原蛋白的提取及胶原止血海绵的制备[D]. 福州: 福建农林大学, 2012.
- HUANG Yu. Extraction of Fish Scale Collagen and Preparation of Collagen Hemostatic Sponge[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2012.
- [39] 胡建平, 何旺. 鲢鱼鳞胶原蛋白的饮料[J]. 试验报告与理论研究, 2008, 1(11): 13—18.
- HU Jian-ping, HE Wang. Making Collagen Beverage from Silver Carp Scale[J]. Test Report and Theoretical Research, 2008, 1(11): 13—18.
- [40] 胡国华. 功能性食品胶[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- HU Guo-hua. Functional Food Gum[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004.
- [41] 肖乃玉, 郑万里, 陈少君, 等. 响应面优化罗非鱼胶原蛋白的研制[J]. 包装工程, 2013, 34(23): 27—32.
- XIAO Nai-yu, ZHENG Wan-li, CHEN Shao-jun, et al. Preparation of Tilapia Collagen Food Packaging Film by Response Surface Methodology Optimization[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(23): 27—32.
- [42] 李凯风, 罗永康, 冯启超, 等. 鱼鳞蛋白酶解物为基料的涂膜剂对鲫的保鲜效果[J]. 水产学报, 2011, 35(7): 1113—1119.
- LI Kai-feng, LUO Yong-kang, FENG Qi-chao, et al. Effect of Fish Scale Protein Hydrolysates-based Films on Preservation of Crucian Carp[J]. Journal of Fisheries of China, 2011, 35(7): 1113—1119.
- [43] 卢黄华, 李雨哲, 刘友明, 等. 草鱼鱼鳞胶原蛋白膜的制备工艺[J]. 华中农业大学学报, 2011, 30(2): 243—248.
- LU Huang-hua, LI Yu-zhe, LIU You-ming, et al. Preparation Technology of Collagen Films from Fish Scales of Grass Carp [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2011, 30(2): 243—248.
- [44] 吴菲菲, 翁武银, 苏文金, 等. 热处理对罗非鱼鱼鳞明胶蛋白膜性质的影响[C]// 2011年中国水产学会学术年会论文摘要集, 2011: 553.
- WU Fei-fei, WENG Wu-yin, SU Wen-jin, et al. Influence of Heat Treatment on the Properties of Gelatin Films Prepared from Tilapia Scale[C]// 2011 Membrane Years Chinese Fisheries Society Academic Annual Meeting Abstracts of Papers, 2011: 553.
- [45] 李鹏, 黄琴, 东峰丽, 等. 罗非鱼鱼鳞明胶涂膜对冷藏罗非鱼鱼片的保鲜[J]. 食品工业, 2014, 35(2): 11—15.
- LI Peng, HUANG Qin, DONG Feng-li, et al. Effects of Coated Gelatin Extracted from Tilapia Scale on Fresh Keeping of Refrigerated Tilapia fillets[J]. Food Industry, 2014, 35(2): 11—15.
- [46] 吴习宇, 赵国华, 李建光, 等. 冰温气调贮藏生鲜鲢鱼片的保鲜效果[J]. 包装工程, 2014, 35(13): 24—30.
- WU Xi-yu, ZHAO Guo-hua, LI Jian-guang, et al. Effect of Controlled Freezing-point Storage Combined with Modified Atmosphere Packaging on Fresh-keeping of Silver Carp Fillets [J]. Packaging Engineering, 2014, 35(13): 24—30.
- [47] 赵素芬, 刘晓艳. 高氧气调包装对冷鲜肉的保鲜研究[J]. 包装工程, 2010, 31(15): 15—17.
- ZHAO Su-fen, LIU Xiao-yan. Study on High Oxygen Modified Atmosphere Packaging for Chilled Fresh Pork[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(15): 15—17.
- [48] KAORU N H, MATSUMOTO K. Removal of Pb^{2+} and Cd^{2+} Ions by Hydroxyapatite Separated from Scales of Fish[J]. Journal of the Society of Materials Science, 1997, 46(9): 1009—1010.