



罗非鱼副产物综合利用技术研究及产品开发展

吝少伟^{1,2,3}, 王琦^{1,2,3}, 王海滨^{1,2,*}

(1.武汉轻工大学食品科学与工程学院, 湖北 武汉 430023; 2.农产品加工湖北省协同创新中心, 湖北 武汉 430023;
3.武汉轻工大学肉类加工与安全研究所, 湖北 武汉 430023)

摘要: 介绍了罗非鱼副产物中蛋白质利用和鱼油提取等技术, 并概述了相关风味食品开发展, 展望了罗非鱼副产物利用的前景, 以期对相关研究提供参考。

关键词: 罗非鱼; 副产物利用; 功能性肽; 鱼油

Progress in Comprehensive Utilization of Tilapia Byproducts and Development of New Products

LIN Shao-wei^{1,2,3}, WANG Qi^{1,2,3}, WANG Hai-bin^{1,2,*}

(1.College of Food Science and Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China;
2. Hubei Collaborative Innovation Center for Processing of Agricultural Products, Wuhan 430023, China;
3. Institute of Meat Processing and Safety of Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China)

Abstract: This article reviewed the recent progress in the utilization of proteins, extraction of fish oil and development of flavored foods from tilapia byproducts. In addition, future prospects for the utilization of tilapia byproducts are discussed. This review could provide references for further research.

Key words: tilapia; byproduct utilization; functional peptides; fish oil

中图分类号: TS254.9

文献标识码: A

文章编号: 1001-8123(2013)10-0033-04

罗非鱼又名非洲鲫鱼, 属鲈形目(Perciformes)、鲷鱼科(Cichlidae)、罗非鱼属, 原产于非洲大陆及中东地区太平洋沿岸淡咸水海区, 是世界性的主要养殖鱼类之一。随着全球性海洋捕捞渔业资源的大量减少, 国际市场对优质水产养殖产品的需求越来越大。在众多水产养殖产品中, 罗非鱼以其具有的适应性强、群体产量高、摄食力强、病害少、肉质细嫩、无肌间刺等许多优点而闻名, 在全球的养殖量和消费量均呈大幅增长趋势, 被称为“21世纪之鱼”。

经过几十年的发展, 目前我国已成为罗非鱼养殖和生产的第一大国。近年来, 随着我国人民生活水平大幅提高, 对优质水产品的需求也大幅增加。当前我国罗非鱼人均占有量不到0.5kg, 加上冻全鱼、鱼片等加工品市场尚未打开, 国内消费市场仍有很大上升空间。同时, 还可以对罗非鱼数以万吨计的下脚料进行深加工, 从中提取胶原蛋白肽生产加工成美容化妆品和保健食品, 经济效益十分显著, 是罗非鱼产业的发展方向之一^[1]。除此以外, 我国发展罗非鱼产业还有养殖区域广阔适宜和劳动力资源丰富的优势^[2]。

1 罗非鱼副产物利用的意义

罗非鱼产业发展前景虽好, 但是金融危机以来, 罗非鱼产业在2012年经历了一个寒冬。2012年我国罗非鱼出口形势从一开始就陷于低迷, 同时出口价格过低, 严重打压了国内市场价格^[3]。据了解, 中国的罗非鱼产量占全球的45%, 而出口总额达到中国总产量的一半, 占全球出口量的72%^[4]。为了摆脱困境, 积极开展罗非鱼产品精深加工研究是一个前景广阔的方向。

淡水鱼具有肉质细嫩、水分含量高、加工副产物比例大等特点。各种鱼类加工副产品(如鱼头、鱼皮、鱼骨、鱼鳍、鱼鳃、鱼鳞和内脏等)占鱼体总质量的40%~60%。而且, 鱼类副产物的共同特点之一是水分含量很高, 极易腐败变质, 一般需要在短时间内及时加工。随着鱼类加工业的迅速发展, 该类资源的综合利用问题也显得日益突出。充分利用这些副产物, 既能提高鱼类资源的加工利用率, 也避免了这些副产品因随意抛弃而对自然环境产生污染^[5]。据了解, 目前我国罗非鱼深加工在技术储备上是没有问题的, 而导致我国所开发的

收稿日期: 2013-08-01

基金项目: 湖北省科技计划研究与开发项目(2011BBB104)

作者简介: 吝少伟(1988—), 男, 硕士研究生, 研究方向为水产品及其副产物加工。E-mail: aylinshaowei@qq.com

*通信作者: 王海滨(1964—), 男, 教授, 博士, 研究方向为营养与功能食品。E-mail: whb6412@163.com

产品还相对滞后的1个重要原因就是缺乏政府部门的积极引导^[6]。罗非鱼产业转型升级,就是要改变加工工艺,提高下脚料的利用率,开发多元化产品,增加产品附加值。

2 罗非鱼副产物利用研究现状

目前罗非鱼加工产品的综合利用水平不高,深加工和副产物开发利用总体还较少。罗非鱼在加工过程中产生的下脚料(包括头、尾、骨、皮、鳞、内脏及其残留鱼肉),其质量约占原料鱼的40%~65%,且大多未进行有效利用。彭燕等^[7]对罗非鱼加工下脚料的一般营养成分、氨基酸组成和维生素进行了分析。分析结果表明:下脚料富含钙、VD和VE,蛋白质和脂肪含量较高,其质量分数分别为13.10%和14.77%。在下脚料的氨基酸组成中,必需氨基酸占氨基酸总量的57.3%,氨基酸组成模式符合FAO/WHO推荐的理想模式。故罗非鱼下脚料有其独特的开发价值。

通过高值化加工处理技术,对罗非鱼下脚料进行综合利用包括:利用鱼皮和鱼鳞提取胶原蛋白和制备胶原多肽;从内脏中提取鱼油以及鱼肝膏;以鱼骨中钙质为原料开发活性钙制品;将下脚料经过脱腥脱臭等技术处理,开发研制成氨基酸含量高且价格合理的功能性食品及蛋白源配制颗粒饲料出口或内销;风味鱼皮、鱼鳞休闲食品开发等。这些技术提高了罗非鱼资源的利用率,减少了对环境的污染,开拓了罗非鱼加工“零废弃”的途径^[8-10]。

2.1 罗非鱼副产物中蛋白质酶解制备功能性肽

罗非鱼废弃物中粗蛋白含量约为14.8%,营养成分含量较高,而且原料丰富、价格低廉,是一种不可多得的优质蛋白质资源^[11]。对其进行选择性的水解可制得具有不同功效的功能性肽。罗丽花等^[12]通过采用碱性蛋白酶、中性蛋白酶、木瓜蛋白酶及胰蛋白酶水解罗非鱼下脚料蛋白,发现酶解产物对O₂·⁻、DPPH自由基及油脂过氧自由基具有一定的清除能力,其中碱性蛋白酶酶解产物对上述3种自由基均具有较强的清除能力,并在此基础上优化了碱性蛋白酶的酶解条件。Sivakumar等^[13]研究了罗非鱼碱溶性蛋白质的酶水解产物对活性氧粒子的清除能力及其自身还原能力,发现其可以做成抗氧化营养保健品。另外,刘杰模等^[14]用罗非鱼下脚料酶水解制备降血压肽,并对工艺参数进行优化。根据回归方程的预测结果,其血管紧张素转化酶(angiotensin converting enzyme, ACE)抑制率达67.4%。Sivakumar等^[15]研究了罗非鱼蛋白水解产物和相应分离组分的体外ACE抑制活性,结果显示水解度高的酶水解产物ACE抑制活性较强,并且分子质量低的多肽比分子质量高的ACE抑制活性强。这为ACE抑制肽制备最佳酶解参数的确定提供了参考。

通过调整酶水解条件,对罗非鱼皮胶原蛋白进行酶水解,也可以制得降血压肽和抗氧化肽^[16-17]。Zhuang Yongliang等^[18]用响应面分析法优化了碱性蛋白酶Properase E水解罗非鱼皮胶原蛋白制备活性氧清除肽的工艺,并采用超滤分离出水解物中清除羟基自由基活性最强的组分。研究发现这种组分能明显清除多种活性氧粒子,并可以作为功能性成分应用到医药和食品工业中。Xiong Hejian等^[19]研究了风味蛋白酶和木瓜蛋白酶酶解罗非鱼骨的条件,用响应面分析法优化得到了水解度最大时的酶水解条件,表明罗非鱼骨水解产物在作为食品中蛋白质补充剂等方面有很好的前景。因此,酶解罗非鱼骨可将骨中的骨胶原蛋白水解成多肽及L-氨基酸,大大提高其营养价值和功能特性。另外,Charoenphun等^[20]研究了罗非鱼蛋白水解产物的钙结合能力,并确定了钙结合肽的分子量和钙结合关键肽段的氨基酸排序,表明罗非鱼蛋白是钙结合肽一个很好的来源。

综上所述,罗非鱼副产物用蛋白酶水解后得到的活性肽具有抗氧化、降血压和钙结合活性,做成保健品可以提高罗非鱼副产物的附加值。

2.2 罗非鱼加工下脚料中提取鱼油

鱼油是1种利用价值很高的天然 ω -3脂肪酸来源产品,其中富含的二十碳五烯酸(EPA)和二十二碳六烯酸(DHA)同属 ω -3系多不饱和脂肪酸(poly unsaturated fatty acids, PUFA)^[21]。鱼油中DHA和EPA含量较高,具有很高的营养价值和很好的开发利用前景。以罗非鱼加工下脚料提取鱼油不仅能提高罗非鱼产品的附加值,而且还能促进罗非鱼养殖加工产业良性发展,具有重要的经济价值和现实意义^[22]。传统的鱼油提取工艺有压榨法、蒸煮法、稀碱水解法、酶解法等,由于某些方法固有的缺陷,目前工业生产多采用稀碱水解法和酶解法提取鱼油^[21]。

稀碱水解法的优点是出油率和维生素得率较高、颜色淡、酸价低,但废渣中钠含量太高,不能有效地利用。改进后的氨法和钾法提取鱼油中废水废渣可用作肥料,避免了钠盐污染,同时也达到废弃物综合利用的目的。高加龙等^[23]以罗非鱼内脏为原料,采用钾法提取粗鱼油,化学精炼法精炼鱼油,并对提取和精炼方法进行优化。通过精炼鱼油的酸价和过氧化值都变小,色泽变为淡黄色,鱼腥味变淡,达到了较好的效果。

白洋等^[24]以罗非鱼鱼片加工下脚料为原料,以粗鱼油提取率为指标,确定了碱性蛋白酶(Alcalase)提取罗非鱼粗鱼油的最佳酶解工艺参数。所提取的粗鱼油感官和理化等级均达到水产行业标准规定的粗鱼油二级水平。Qian Junqing等^[25]用1398中性蛋白酶研究了鱼油提取中酶促反应的动力学特性,最后通过推导酶动力方程得到临界酶浓度和临界底物浓度。Rodriguez等^[26]利用超临界流体萃取法从鱼类的下脚料中提取鱼油,并与其他方法进行比较,发现



其提取率相对较高,能够有效防止脂肪的氧化(对于 ω -3多不饱和脂肪酸含量高的鱼油更有意义),明显降低鱼油中有毒物质的含量,且不污染环境,是一种较好的提取方法。

鱼油在加工、贮藏和销售过程中极易出现脂肪的氧化变质,而鱼油氧化不仅失去原有的营养保健作用,使食品产生异味,而且产生的有害有毒物质对人类机体也产生较大危害,甚至会诱发癌症^[27]。而通过添加茶多酚等抗氧化剂^[28]或对鱼油进行微胶囊化^[29]可提高其抗氧化性,延长其保质期。

2.3 鱼皮中提取胶原蛋白或明胶

胶原蛋白(collagen)是胶原纤维经过部分降解后得到的具有较好水溶性的蛋白质。它是一种生物性高分子物质,为生物科技产业最具关键性的原材料之一,也是需求量十分庞大的最佳生物医药材料。其应用领域包括生物医药材料、化妆品、食品工业和研究用途等。罗非鱼皮中的粗蛋白含量高达33.14%(以湿基计),胶原蛋白含量为27.8%,约占其粗蛋白含量的83.9%,说明罗非鱼鱼皮中含有丰富的胶原蛋白,是提取可溶性胶原蛋白既丰富又经济的原料^[30]。张帅^[31]探讨了热水提取、酸提取、酶提取等鱼皮胶原蛋白最佳提取工艺,其中热水法提取罗非鱼皮胶原蛋白的最佳工艺为:4℃条件下0.213mol/L盐酸浸泡鱼皮21min(料液比1:20, mg/mL)后,用蒸馏水(料液比1:7, mg/mL)于42℃水浴浸提12.6h,胶原蛋白含量达293.018mg/g。胶原蛋白成品率为31.3%。

明胶(gelatin)是水溶性蛋白质混合物,是营养不完全蛋白质,广泛用于食品(通常用来制作果冻和其他甜点)和制作黏合剂、感光底片、滤光片等。目前明胶的制备方法主要有酸法、碱法、盐碱法和酶法,其中酶法生产明胶可明显缩短周期、减少污染,是明胶生产的趋势。李佳^[32]研究了酶法制备明胶的工艺及其性质,其最佳工艺为:酶法脱脂→木瓜蛋白酶处理→采用NaClO-H₂C₂O₂法对鱼皮进行漂白→熬胶。制备的鱼皮明胶得率为23.15%,白度为40.5,黏度和凝冻强度分别为7.52mPa·s和252Bloom g,达到食用明胶行业标准(QB/T 4087—2010《食用明胶》)。

2.4 加工成调味品或风味食品

目前,利用低值鱼和水产加工下脚料中的蛋白质制备氨基酸和多肽含量高的调味品是国内外研究热点之一。

鱼露是用小鱼虾为原料,经腌渍、发酵、熬炼后得到的一种味道鲜美的汁液,带有咸味和鲜味,是东南亚家庭、餐饮及调味料生产的基本调味品。薛佳等^[33]采用酶法及微生物发酵方法联用对罗非鱼加工下脚料进行低盐发酵,同时改善鱼露风味、降低含盐量并大大缩短了鱼露发酵周期。经最佳工艺发酵得到的发酵初液感官颜色呈棕红色,达到国家一级品标准,理化指标符合国家标准,风味较好;氨基酸态氮含量达到0.5462g/dL,蛋白质利用率达到55.2%。

李永成等^[34]以罗非鱼加工废弃物与麸皮为主要原料,采用低盐固态发酵工艺生产出酱色鲜艳、酱香浓厚,有淡淡鱼腥味的鱼鲜酱油。除此以外,罗非鱼加工下脚料可用来生产固体鱼鲜调味品^[35]或在酶解后通过美拉德反应制备肉类风味物^[36]。

另外,罗非鱼部分副产物可加工成独特的风味食品。王玉华等^[37]研究了含丰富胶原蛋白的带鳞罗非鱼皮加工成即食风味鱼皮的工艺,制作的产品口感爽脆、香辣适中。曹薇等^[38]研究了以罗非鱼下颚肉为原料制取方便营养的休闲食品速冻挂糊鱼的工艺,在最佳加工工艺条件下制取的鱼块呈鸡翅状,香酥可口、风味独特、营养丰富。

2.5 其他利用途径

除了上述几种主要的利用技术以外,罗非鱼副产物还有其他的利用途径。Deraz等^[39]研究了内源酶作用下罗非鱼内脏在不同pH值下的自溶作用,从水解内脏匀浆中获得的各种蛋白胨能够促进乳酸菌等微生物的生长,这类微生物有特别复杂的营养需求(主要是肽类)。罗科丽等^[40]以罗非鱼内脏为原料,对乳酸菌进行液体发酵,筛选菌种和发酵液配方,并对发酵条件进行优化。通过发酵条件的优化,使发酵液的细菌数达到了10⁹CFU/mL以上,显示罗非鱼内脏可以用于乳酸菌等益生菌的发酵生产。郝志明等^[41-42]从内脏中选取了8种经济价值较高的酶进行了筛选和评价,并研究了蛋白酶和超氧化物歧化酶的提取工艺和特性。

硫酸软骨素(chondroitin sulfate, CS)是一种天然酸性黏多糖,具有防止血管硬化、降血脂、抗凝血、抗肿瘤、保护眼角膜以及保湿等作用。成长玉等^[43]研究了以罗非鱼下脚料(鱼头、鱼鳍、鱼尾)为原料,采用超声波辅助稀碱-酶法提取硫酸软骨素的工艺。

3 展望

对罗非鱼加工中产生的大量废弃物进行高效综合利用既提高了罗非鱼加工的附加值,又可以获得较好的经济效益。废弃物中含有胶原蛋白及活性肽,可以用来开发功能性食品、保健品和化妆品,在药物开发研究中有广阔的前景。罗非鱼产业在世界上有较好的发展前景,我国发展罗非鱼产业也有相当大的优势。提高罗非鱼副产物的综合利用水平,有利于罗非鱼产业向好的方向发展。

参考文献:

- [1] 韦平. 罗非鱼发展前景及养殖技术探讨[J]. 安徽农学通报, 2012, 18(10): 63-64.



- [2] 王慧芝, 车斌. 我国罗非鱼产业的SWOT分析与对策研究[J]. 湖南农业科学, 2010(1): 125-127.
- [3] 曾凡美. 2012年的罗非鱼产业[J]. 海洋与渔业, 2012(12): 36-37.
- [4] 吴群凤, 何雪梅. 聚焦第九届罗非鱼产业发展论坛: 罗非鱼产业何日突破“寒流”重围[J]. 当代水产, 2012(11): 54-57.
- [5] 倪瑞芳, 胡骏, 王开洋. 水产品加工副产品的综合利用[J]. 河北渔业, 2010(8): 47.
- [6] 曾凡美, 简伟业. 政府要给力罗非鱼产业转型升级[J]. 海洋与渔业, 2012(6): 22-23.
- [7] 彭燕, 李瑞伟, 巩育军, 等. 罗非鱼加工下脚料的营养成分分析及评价[J]. 茂名学院学报, 2010, 20(6): 18-20.
- [8] 单航宇, 韩珏, 杨弘, 等. 2011年罗非鱼生产与贸易状况分析[J]. 安徽农学通报, 2012, 18(11): 3-5.
- [9] 杨弘, 祝璟琳, 单航宇, 等. 我国罗非鱼产业化发展和思考[J]. 海洋与渔业: 水产前沿, 2011(11): 49-50.
- [10] 陈海滨. 中国罗非鱼加工现状[J]. 科技信息, 2007(21): 582.
- [11] 邱松山, 姜翠翠, 海金萍. 罗非鱼加工中废弃物的综合利用探讨[J]. 食品与发酵科技, 2010, 46(3): 23.
- [12] 罗丽花, 孙建华, 黄秋霞, 等. 罗非鱼下脚料蛋白水解液抗氧化活性研究[J]. 广西大学学报: 自然科学版, 2011, 36(3): 389-394.
- [13] SLVAKUMAR R, HORDUR G K, CHRISTIAAN L, et al. Radical scavenging and reducing ability of tilapia (*Oreochromis niloticus*) protein hydrolysates[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2008, 56(21): 10359-10367.
- [14] 刘杰模, 李先文. 酶解罗非鱼下脚料制备降血压肽[C]//2009年中国药学会暨第九届中国药师周论文集. 长沙, 中国药学会, 2009: 1-6.
- [15] SIVAKUMAR R, HORDUR G K. ACE-inhibitory activity of tilapia protein hydrolysates[J]. Food Chemistry, 2009, 117(4): 674-680.
- [16] 张寒俊, 杨国燕, 张蕾. 罗非鱼皮胶原蛋白肽酶解液的制备及其抗氧化特性研究[J]. 中国酿造, 2008(7): 27-30.
- [17] 陈胜军, 李来好, 曾名勇, 等. 罗非鱼皮胶原蛋白降血压酶解液的制备与活性研究[J]. 食品科学, 2005, 26(8): 229-233.
- [18] ZHUANG Yongliang, SUN Liping. Preparation of reactive oxygen scavenging peptides from tilapia (*Oreochromis niloticus*) skin gelatin: optimization using response surface methodology[J]. Journal of Food Science, 2011, 76(3): C483-C489.
- [19] XIONG Hejian, CAO Longfei, YOU Huajun, et al. Optimization of the enzymatic hydrolysis of tilapia frames[C]//Advances in Chemistry Research II. Part 2. Guangzhou, China, 2012: 1368-1375.
- [20] CHAROENPHUN N, CHEIRSILP B, SIRINUPONG N, et al. Calcium-binding peptides derived from tilapia (*Oreochromis niloticus*) protein hydrolysate[J]. European food research and technology, 2013, 236(1): 57-63.
- [21] 丁月, 陶宁萍. 鱼油提取及微胶囊化技术研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2010, 27(4): 174-181.
- [22] 白洋, 高晓东, 罗光炯, 等. 罗非鱼下脚料提取鱼油工艺及市场讨论[J]. 广西轻工业, 2010, 26(9): 1-2.
- [23] 高加龙, 郝记明, 刘书成, 等. 罗非鱼内脏鱼油提取与精炼工艺研究[J]. 科技信息, 2009(20): 372-374.
- [24] 白洋, 孙忠义, 杨思华, 等. Alcalase酶解罗非鱼加工下脚料提油工艺研究[J]. 食品工业, 2010(6): 26-28.
- [25] QIAN Junqing, ZHANG Hongyong, LIAO Qiyuan. The Properties and kinetics of enzymatic reaction in the process of the enzymatic extraction of fish oil [J]. Food Sci Technol, 2011, 48(3): 280-284.
- [26] RODRIGUEZ N R, DIEGO S M, BELTRAN S, et al. Supercritical fluid extraction of fish oil from fish by-products: a comparison with other methods [J]. Food Engineering, 2012, 109: 238-248.
- [27] 吴燕燕, 李来好, 刁石强, 等. 抗氧化剂对罗非鱼油抗氧化效果的研究[J]. 淡水渔业, 2003, 33(3): 19-21.
- [28] 吴燕燕, 李来好, 李刘冬, 等. 罗非鱼油的制取工艺及其氧化防止方法[J]. 无锡轻工大学学报, 2003, 22(1): 86-89.
- [29] 黄卉, 李来好, 杨贤庆, 等. 喷雾干燥微胶囊化罗非鱼油的研究[J]. 南方水产, 2009, 5(5): 19-23.
- [30] 曾少葵. 罗非鱼皮胶原蛋白的提取及其功能特性的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2007.
- [31] 张帅. 罗非鱼皮胶原蛋白提取及性质研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2010.
- [32] 李佳. 酶法制备罗非鱼皮明胶的工艺研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2011.
- [33] 薛佳, 曾名勇, 董士远, 等. 罗非鱼加工下脚料速酿低盐优质鱼露的研究[J]. 中国调味品, 2011, 36(4): 41-47.
- [34] 李永成, 张湘娥, 易美华, 等. 利用罗非鱼加工废弃物生产鱼鲜酱油的研究[J]. 中国酿造, 2011(4): 84-86.
- [35] 张巧, 李永成, 易美华, 等. 利用罗非鱼加工废弃物生产固体鱼鲜调味品的研究[J]. 中国调味品, 2011, 36(9): 80-82, 96.
- [36] 陈军, 熊彬. 罗非鱼下脚料酶解液美拉德反应制备肉类风味物工艺研究[J]. 广西轻工业, 2011, 27(4): 38-39, 43.
- [37] 王玉华, 万刚, 甘正华. 风味罗非鱼皮加工工艺的研究[J]. 肉类工业, 2011(8): 33-36.
- [38] 曹薇, 夏延斌, 邓后勤, 等. 速冻挂糊鱼的工艺研究[J]. 食品科技, 2006, 31(8): 145-148.
- [39] DERAZ S F, EL-FAWAL G F, ABD-ELLATIF S A, et al. Autohydrolysed *Tilapia nilotica* fish viscera as a peptone source in bacteriocin production[J]. Indian Journal of Microbiology, 2011, 51(2): 171-175.
- [40] 罗科丽, 彭喜春, 欧仕益. 利用罗非鱼内脏发酵乳酸菌的研究[C]//“食品加工与安全”学术研讨会暨2010年广东省食品学会年会论文集. 湛江: 广东省食品学会, 2010: 59-63.
- [41] 郝志明, 吴燕燕, 李来好. 罗非鱼内脏中酶的筛选[J]. 南方水产, 2006, 2(2): 38-42.
- [42] 郝志明. 罗非鱼内脏中酶的筛选及其蛋白酶、超氧化物歧化酶的研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2006.
- [43] 成长玉, 段振华, 樊洁, 等. 超声波辅助提取罗非鱼下脚料中硫酸软骨素的研究[C]//“食品加工与安全”学术研讨会暨2010年广东省食品学会年会论文集. 湛江: 广东省食品学会, 2010: 89-94.