

鲟鱼营养组成、功能活性及加工现状研究进展

张萌, 韩冰*, 李圣威, 徐英楠, 韩雪, 遇世友, 韩春然

(哈尔滨商业大学食品工程学院, 哈尔滨 150028)

摘要: 鲟鱼在我国有着悠久的食用历史, 其含有多种人体所需的营养成分, 还是多肽、硫酸软骨素等生物活性物质的良好来源, 这些生物活性物质具有抗炎、抗氧化、抗癌、降血糖等作用。此外, 鲟鱼中的水分和不饱和脂肪酸含量高, 在加工运输过程中极易发生氧化变质, 添加外源物质或使用罐藏、熏制等加工方式是目前改善鲟鱼制品品质及延长货架期的主要手段。但目前鲟鱼制品存在产品结构单一等问题, 还需开发多元化产品, 扩大鲟鱼制品的产业链。本文通过对鲟鱼营养组成、功能活性及加工现状研究进展的系统性介绍, 旨在为鲟鱼深加工提供理论依据, 促进我国水产品加工及利用行业的持续健康发展。

关键词: 鲟鱼; 功能活性; 营养组成; 加工

Research progress on nutrient composition, functional activity and processing status of *Acipenser sturio*

ZHANG Meng, HAN Bing*, LI Sheng-Wei, XU Ying-Nan,
HAN Xue, YU Shi-You, HAN Chun-Ran

(College of Food Engineering, Harbin University of Commerce, Harbin 150028, China)

ABSTRACT: *Acipenser sturio* has a long history of consumption in China, which contains a variety of nutritional components required by the human body, and is also potential source of peptides and chondroitin sulfate and other biologically active substances, which have anti-inflammatory, antioxidant, anticancer, hypoglycemic and other effects. In addition, *Acipenser sturio* has a high content of water and unsaturated fatty acids, which makes its meat extremely susceptible to oxidation and deterioration during processing and transportation, and the addition of exogenous substances or using canning, smoking and other processing methods have become the crucial measures of improving the quality of *Acipenser sturio* products and extending shelf life. However, the current *Acipenser sturio* products have a single product structure and other issues, these need to develop diversified products and expand the *Acipenser sturio* products industry chain. The paper systematically introduced the advance of nutrient composition, functional activity and processing status of *Acipenser sturio*, aiming to provide theoretical basis for the *Acipenser sturio* processing in-depth, and promote the sustainable and healthy development of Chinese aquatic product processing and utilization industry.

KEY WORDS: *Acipenser sturio*; biological activity; nutrient composition; processing

基金项目: 国家自然科学基金项目(3227160987)

Fund: Supported by the National Natural Science Foundation of China (3227160987)

*通信作者: 韩冰, 博士, 教授, 主要研究方向为农产品加工及生物化学。E-mail: hb790118@163.com

*Corresponding author: HAN Bing, Ph.D, Professor, College of Food Engineering, Harbin University of Commerce, No.1 Xuehai Street, Songbei Street, Songbei District, Harbin 150028, China. E-mail: hb790118@163.com

0 引言

鲟鱼(*Acipenser sturio* L.)属脊索门,硬骨鱼纲,辐鳍亚纲,鲟形目,鲟科,现存 23 种分为 4 个属,其中,鳇属 2 种,铲鲟属 3 种,鲟属 16 种,主要分布在黑龙江、长江和珠江等地^[1]。鲟鱼的鱼卵营养价值极高,由其制成的鱼子酱与鹅肝、松露并称为世界三大美食。鲟鱼的营养与功能性成分含量丰富,含有 20 余种氨基酸、二十碳五烯酸(eicosapentaenoic acids, EPA)和二十二碳六烯酸(docosahexaenoic, DHA)以及多种人体必需的微量营养素^[2],且具有低脂高蛋白的特点。此外,鲟鱼中还含有多肽、硫酸软骨素等多种生物活性物质,具有重要的经济和应用价值。

鲟鱼在食品领域应用广泛,目前对鲟鱼的研究主要集中在多肽、硫酸软骨素等物质^[3]的功能活性以及添加外源物对鲟鱼制品感官品质的影响,但鲜有对鲟鱼营养、功能和鲟鱼加工 3 个方面较为全面的总结与概述。本文综述了鲟鱼的营养组成、功效作用及鲟鱼制品的加工现状,旨在为鲟鱼的保健作用及机制研究提供理论依据,为鲟鱼产业发展提供有益的创新途径,为我国鲟鱼产业可持续发展提供新思路。

1 鲟鱼的营养组成

1.1 蛋白质

鲟鱼及其制品是必需氨基酸(essential amino acid, EAA)的重要来源,根据联合国粮食和农业组织/世界卫生组织建议的理想蛋白模式,EAA 与总氨基酸(total amino acids, TAA)的比值高于 40%的质量较好。研究发现,鲟鱼肉符合理想蛋白模式的要求,王煜坤等^[4]研究了不同部位的西伯利亚鲟鱼肌肉 EAA 含量,结果表明,西伯利亚鲟鱼背部肌肉 EAA 含量(6.85%),高于尾部肌肉(6.21%)和腹部肌肉(5.79%),且 3 个部位的 EAA/TAA 比值均高于 40%,符合理想蛋白模式的要求。黄攀等^[5]发现,施氏鲟与达氏鳇的杂交鲟各部位的 EAA/TAA 值为 45%~46%,这与上述王煜坤等^[4]的结论相似,其次,杂交鲟鱼肌肉中含量最高的 EAA 为赖氨酸(1.72~2.03 g/100 g),赖氨酸是第一限制氨基酸,在增强人体免疫力、促使中枢神经功能稳定等方面具有重要作用。另外,谷氨酸、天冬氨酸、丙氨酸和甘氨酸 4 种鲜味氨基酸含量,是决定鲟鱼的鲜美程度的重要衡量标准,王煜坤等^[4]发现,西伯利亚鲟鱼肌肉中谷氨酸含量为 0.68~1.19 g/100 g,天冬氨酸含量为 1.48~1.68 g/100 g,丙氨酸含量为 0.74~0.87 g/100 g,甘氨酸含量为 0.68~1.19 g/100 g,鲜味氨基酸占 TAA 的比值显著高于草鱼、渤海银鲑鱼和鲢鱼^[1]。此外,研究发现,鲜味氨基酸可与呈味核苷酸产生协同增鲜作用,呈味核苷酸中次黄嘌呤核苷酸(inosine monophosphate, IMP)是主要的鲜味物质。高露姣等^[6]比较两种鲟鱼卵的鲜味物质含量,结果发现,俄罗斯鲟鱼卵的鲜味

氨基酸含量(83.84%)显著高于西伯利亚鲟鱼卵(80.53%),而在俄罗斯鲟鱼卵的 IMP 含量(4.33%)高于西伯利亚鲟鱼卵(3.83%),这可能是导致俄罗斯鲟鱼卵的鲜味优于西伯利亚鲟鱼卵的主要原因之一。

1.2 多不饱和脂肪酸

多不饱和脂肪酸能够预防人类多种慢性疾病,具有促进骨代谢和脂代谢、改善脂肪肝以及强化神经元等作用^[7]。由于膳食结构和来源的限制,中国人普遍严重缺乏 EPA 和 DHA 等 omega-3 脂肪酸,鲟鱼肉中的 EPA 和 DHA 含量较高,食用鲟鱼肉可以补充 EPA 和 DHA。

鲟鱼肉中亚油酸、EPA 和 DHA 等多不饱和脂肪酸的含量及比例是决定鲟鱼品质的主要因素。陈跃文等^[8]研究发现,俄罗斯鲟鱼肉中含有多不饱和脂肪酸,其中亚油酸含量最高(C18:2n6c, 23.20%~28.31%),亚油酸作为人体必需脂肪酸,对婴幼儿的视力和智力发展有促进作用,其次是 EPA 和 DHA,两者总含量为 3.37%~4.26%,显著高于鲫鱼和罗非鱼^[9],EPA 和 DHA 具有降血压、调节血脂和脂蛋白代谢、降低胆固醇等作用,可以预防动脉粥样硬化、脑血栓、高血压等心血管疾病。此外,王煜坤等^[4]研究不同部位西伯利亚鲟的 EPA 和 DHA 含量,发现在其背部肌肉中 EPA 含量较高(2.67 mg/g)、在尾部肌肉中 DHA 含量较高(4.89 mg/g)。黄攀等^[5]通过对大型鲟鱼不同部位肌肉营养成分分析发现,肌肉中多不饱和脂肪含量从鲟鱼头部至尾部方向呈先增加后降低趋势,范围为 30.97%~35.36%,其中亚油酸(C18:2, 17.72%~22.34%)含量最高,其次是 DHA (C22:6, 4.56%~6.14%)和 EPA (C20:5, 3.13%~3.57%),多不饱和脂肪酸在鲟鱼头部含量最高。NIEMINEN 等^[10]研究的西伯利亚鲟中的亚油酸、DHA 和 EPA 含量与黄攀等^[5]的结论相似。因此,可在日常生活中食用鲟鱼鱼油等制品作为补充 EPA 和 DHA 的良好来源。

1.3 矿物质

鲟鱼中宏量元素和微量元素含量丰富,黄攀等^[5]发现,鲟鱼各部位均含有钾、钠、钙和镁等宏量元素,以及铜、铁、锌、锰、铬和硒等微量元素,其中,钾在所有部位的含量最高为 325.7~364.2 mg/100 g,其次是钠(48.2~65.2 mg/100 g)和镁(16.9~19.0 mg/100 g),王煜坤等^[4]和施晓玲等^[11]研究的鲟鱼的钠和钾含量处于 39.9~70.0 mg/100 g 和 298~408 mg/100 g 之间,与上述的结果一致。其次,鲟鱼肉中钙含量较低,杂交鲟鱼的钙含量为 7.2~12.3 mg/100 g,其中背上部的钙含量明显高于其他部位,这是由于背上部中含有少量软骨,鱼骨中钙含量高,且鲟鱼提供的钙含量远高于银鱼和鲟鱼等鱼类^[10]。此外,研究发现,鲟鱼肉中锰、铬、硒等微量元素含量在不同部位中差异不明显,说明这 3 种元素在不同部位肌肉的富集能力基本相同,铁元素通常在后尾和前尾中含量高,可能是由于尾部的肌红蛋白含量较高,这与

其他报道的结果一致^[12]。

2 鲟鱼的功能活性

综合研究发现, 鲟鱼中的活性成分具有抗氧化、抗炎、抗癌、降血糖、加速伤口愈合等作用, 详见表 1。

2.1 抗氧化

氧化是指在生物体内的有机物, 通过一系列酶促反应氧化合成水并释放能量的过程, 该过程会产生活性氧自由基(reactive oxygen species, ROS)^[25]。通常情况下, ROS 处于稳定状态, 当人体内 ROS 过量产生或机体的抗氧化机制受损时, 产生氧化应激^[20], 引发细胞组织氧化损伤、脂质氧化、DNA 链断裂和 DNA 交联, 最终导致心血管疾病、炎症疾病、神经退行性疾病、癌症、衰老和中风等疾病的发生^[26]。

据报道, 鲟鱼中多肽具有抗氧化作用, 主要是通过清除羟基自由基、DPPH 自由基和 ABTS 阳离子自由基, 达到抗氧化活性的作用^[27-30]。柯勤勤^[15]通过蛋白酶解技术得到鱼肠蛋白多肽并对其抗氧化性进行研究, 结果表明, 鱼肠中的蛋白多肽对羟基自由基的清除率高达 85.80%, 可作为一种清除剂减少或消除生物中羟基自由基所带来的损害。研究发现, 鲟鱼多肽分子量越小, 清除自由基活性越高, 抗氧化效果越好。李露园等^[13]通过碱性蛋白酶水解鲟鱼皮得到胶原蛋白肽(*Acipenser sturio* skin

collagen polypeptide, SSCP), 按分子量大小分为 SSCP-I(分子量>10000 Da)、SSCP-II(分子量=5000 Da~10000 Da)和 SSCP-III(分子量=1000~5000 Da), 探究三者的抗氧化性能, 结果发现, SSCP-III对超氧阴离子的半抑制浓度(half maximal inhibitory concentration, IC₅₀)值为 5.938 mg/mL, 清除自由基能力高于 SSCP-I、SSCP-II, 还有研究表明, 分子量小于 500 Da 的多肽所占比例较高时, 清除自由基的活性最高^[14-15], 这也与李露园等^[13]的结论相吻合, 鲟鱼多肽具有良好的抗氧化活性。

2.2 抗炎

炎症是机体经外部刺激产生的防御机制, 会引起发热、肿痛等。当机体具有炎症时, 巨噬细胞被激活, 并释放多种炎症细胞因子, 如 IL-1 β 、TNF- α 等^[31]。

有研究表明, 鲟鱼多肽可通过抑制 P38 MAPK 信号通路, 从而抑制 IL-1 β 、TNF- α 等炎症因子的生成, 发挥抗炎作用^[16]。P38 MAPK 是人体中与炎症相关的一条典型通路, 属于丝裂原活化蛋白激酶(mitogen activated protein kinase, MAPK)家族, 是脂多糖(lipopolysaccharides, LPS)、内毒素和促炎症因子 IL-1 β 、TNF- α 诱导的主要细胞内信号转导子。MAPK 通路由 MAPK 激酶(MKKs)、MAPK 酶(MKKs)和 MAPKs 组成。MKKs 磷酸化激活 MKKs, 随后通过一个三肽激活序列 Thr-Gly-Tyr 以激活 MAPKs, 进而与 P38- α 结合

表 1 鲟鱼的活性成分在体内/外的功能活性
Table 1 Functional activities of active constituents of *Acipenser sturio* in vivo/in vitro

作用	活性成分	实验模型	作用机制	参考文献
抗氧化	鱼皮胶原蛋白多肽	体外	多肽(分子量=5000~10000 Da)对超氧阴离子的清除能力最强	[13]
	头部组织肽	体外	头部组织肽含有甘氨酸、组氨酸和亮氨酸等清除活性氧的氨基酸, 可以清除 ABTS 阳离子自由基、羟自由基	[14]
	鱼肠蛋白多肽	体外	可以清除羟基自由基、DPPH 自由基	[15]
抗炎	醇溶性软骨多肽	体外	能抑制巨噬细胞内在炎症条件下 NO 的释放量	[16]
	硫酸软骨素	体内	降低了炎症介质和炎症细胞因子的释放, 从而抑制蛋清致炎的肿胀度	[17]
抗癌	硫酸软骨素	体外	抑制了癌细胞 Caco-2、HCT-116、SW480 的增殖, 从起到抗癌作用	[18]
	硫酸软骨素	体外	可被有效吸收并传递到肿瘤部位, 通过抑制细胞增殖和诱导细胞凋亡	[19]
降血糖	肌肉蛋白多肽	体内	降低了 HepG2 细胞中 UDP-GlcNAc 含量	[20]
	肌肉蛋白多肽	体内	增加了 IRS-1、PI3K、AKT 的磷酸化和 GLUT4 的表达水平, 而下调了 GS 的磷酸化和 PEPCK 的表达	[21]
加速伤口愈合	硫酸软骨素	体外	促进细胞迁移和增殖, 减轻炎症反应, 促进血管生成, 从而具有良好的创面处理活性	[22]
改善关节疼痛	硫酸软骨素	体内	可显著降低关节肿胀, 减少关节病理损伤, 降低滑膜液中 IL-1 β 、TNF- α 、PGE2 水平	[23]
治疗胃溃疡	硫酸软骨素	体内	具有明显的胃保护能力, 其溃疡抑制率达到了 35%~45%	[24]

注: ABTS: 2,2'-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑啉-6-磺酸)二铵盐, 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) ammonium salt; DPPH: 1,1-二苯基-2-三硝基苯胍, 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl; UDP-GlcNAc: 尿苷二磷酸-N-乙酰基葡萄糖胺, uridine diphosphate-N-acetylglucosamine; IRS-1: 胰岛素受体底物 1, insulin receptor substrate-1; PI3K: 磷脂酰肌醇 3-激酶, phosphatidylinositol 3-kinase; AKT: 丝氨酸/苏氨酸蛋白激酶, automatischer kassentensor; GS: 葡萄糖, glucosesolution; IL-1 β : 白介素-1 β , interleukin-1 β ; TNF- α : 肿瘤坏死因子 α , tumor necrosis factor α ; PGE2: 前列腺素 E2, prostaglandin E2。

直接磷酸化并激活转录因子 *ATF1*、*ATF2*、*P53*、*STAT1*, 诱导 *IL-1β* 合酶和 *TNF-α* 合酶表达, 最终降低 *IL-1β*、*TNF-α* 等炎症因子的产生而发挥抗炎作用^[32]。沈昉等^[33]研究鲟鱼多肽对脂多糖刺激的 RAW264.7 巨噬细胞的抗炎作用, 结果表明多

肽可通过抑制 *P38-α* 的磷酸化, 降低炎症指标的活性及 *IL-1β* 和 *TNF-α* 的表达, 发挥抗炎作用(图 1)^[24]。此外, 黄世玉等^[17]发现, 从鲟鱼中分离出的硫酸软骨素能通过 MAPK 信号通路, 抑制炎症因子的产生从而降低足炎肿胀度, 发挥抗炎作用。

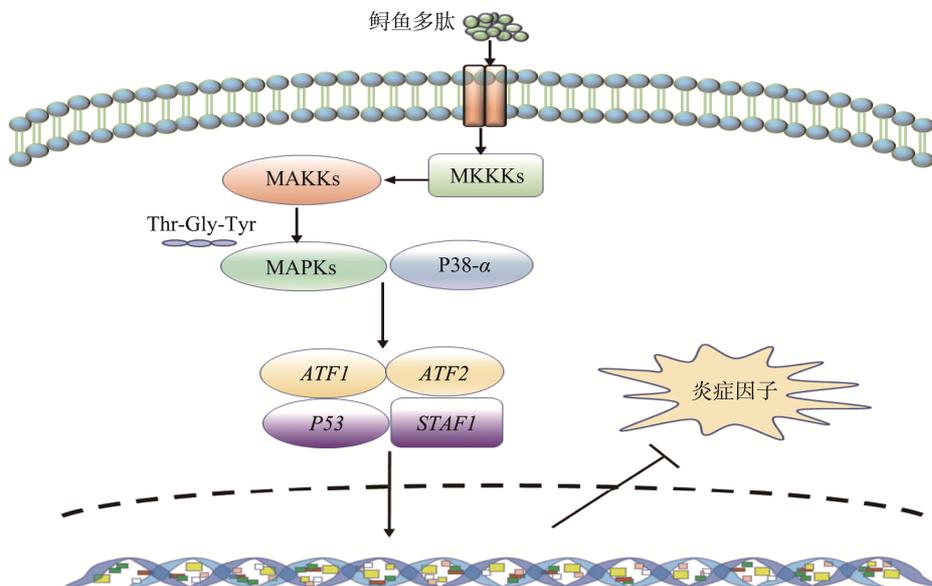


图 1 鲟鱼多肽抗炎通路示意图^[24]

Fig.1 Schematic diagram of anti-inflammatory pathway of *Acipenser sturio* polypeptide^[24]

2.3 抗癌

近年来, 随着人们生活习惯和饮食结构的改变, 结直肠癌等肠道方面癌症发病率逐年升高, 已成为我国第三高发的恶性肿瘤。目前, 结直肠癌主要通过使用抗生素药物抑制癌细胞的异常增殖、诱导癌细胞的凋亡起到治疗癌症的作用^[34]。但抗生素药物的使用常伴有严重的副作用, 因此, 找到一种天然无副作用的治疗方法迫在眉睫。

据报道, 鲟鱼骨中含有硫酸软骨素, 硫酸软骨素是由交替糖链(N-乙酰半乳糖胺和葡萄糖醛酸)组成, 具有预防结直肠癌的作用且副作用较少, 是一种新型治疗癌症药物成分^[35]。其作用机制如下, 硫酸软骨素可通过载体进入细胞, 破坏细胞内 DNA 使其受损最终诱发变异, 这一过程导致 *P53* 基因表达量上调, 进而刺激 *Bcl* 家族中的凋亡基因 *Bad*、*Bax* 上调, 同时抑制抗凋亡基因 *Bcl-xl*、*Bcl-2* 的表达, 最终使癌细胞凋亡, 此外, *P53* 基因表达量上调还会激活 *Caspase* 家族, 使其酶活性及表达量发生变化, 最终导致癌细胞凋亡, 起到抗癌作用。武瑞赞等^[18]从鲟鱼骨中提取并纯化的硫酸软骨素, 通过 *Bcl* 家族、*Caspase* 家族抑制结直肠癌细胞 *Caco-2*、*HCT-116*、*SW480* 的增殖, 最高抑制率为 70.94%、90.00%和 75.00%, 使用硫酸软骨素处理细胞后, 出现细胞核固缩、细胞破碎等现象, 癌细胞的凋亡率可达 63.73%, 结果表明, 鲟鱼硫酸软骨素通过促进结直肠癌细胞凋亡、抑制癌细胞增殖, 从而起到治疗直肠癌的作用。如图 2 所示^[19]。

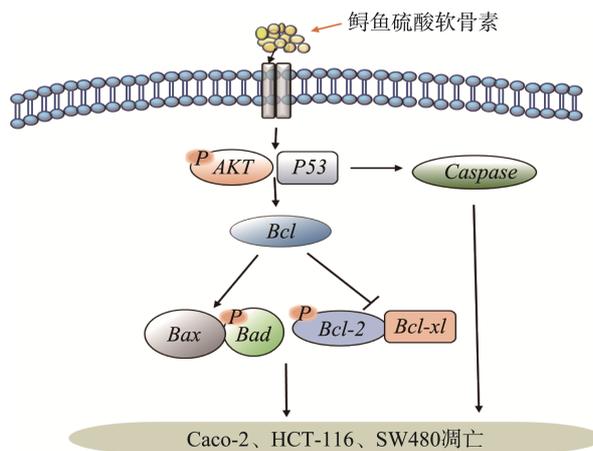


图 2 鲟鱼硫酸软骨素抗癌通路示意图^[19]

Fig.2 Schematic diagram of the chondroitin sulfate anticancer pathway in *Acipenser sturio*^[19]

2.4 降血糖

II型糖尿病(diabetes mellitus type 2, T2DM)是一种以血糖水平升高、糖代谢异常为特征的慢性代谢疾病^[36], 现在全世界约有 4 亿人被诊断为II型糖尿病, 预计到 2040 年, 这一数字将达到 6.4 亿^[37]。食源性多肽由于副作用小、活性高, 具有可以替代治疗糖尿病药物的潜力。研究表明, 鲟鱼中富含的 KIWHHTF(K 肽)和 HLDDALRGQE(H 肽)具

有很强的降血糖活性作用。杨蓓^[20]研究发现鲟鱼中的 K 肽、H 肽可通过提高 *P-IRS*、*P-PI3K* 和 *P-AKT* 的蛋白表达量来激活 *PI3K/Akt* 信号通路,如图 3 所示^[20]。其中, K 肽通过提高胰岛素含量来抵抗人肝癌细胞(human hepatocellular carcinoma cells, HepG2)中葡萄糖转运蛋白 4 (glucose transporter 4, GLUT4)的表达量,提高细胞内葡萄糖转运速度,促进细胞内葡萄糖消耗,最终达到降血糖作用。同时, K 肽也可通过降低 GS 的磷酸化和 *PEPCK* 的表达量,促进胰岛素抵抗细胞内糖原合成并抑制糖异生,从而调节细胞内的糖代谢稳态。而 H 肽能够上调糖原合酶激酶 3 β (recombinant glycogen synthase kinase 3 β , GSK-3 β)磷酸化水平,下调 *GSK-3 β /GS* 的信号通路,促进细胞内糖原合成,并且改善胰岛素抵抗,从而达到降血糖的目的。YANG 等^[21]制备的鲟鱼蛋白衍生肽也可通过调节 HepG2 细胞中的 *IRS/PI3K/Akt* 信号通路来抑制胰岛素抵抗,这也证明了鲟鱼多肽可通过 *IRS/PI3K/Akt* 信号通路达到降血糖的目的。

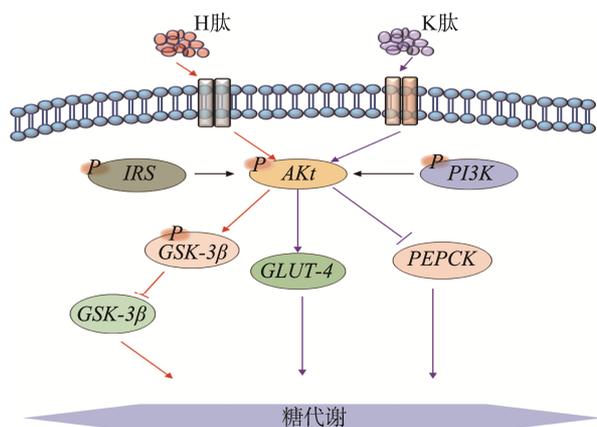


图 3 鲟鱼 K 肽、H 肽 *PI3K/Akt* 通路降血糖示意图^[20]

Fig.3 Schematic diagram of K peptide and H peptide *PI3K/Akt* pathway hypoglycemic in *Acipenser sturio*^[20]

2.5 其他

除上述作用外,鲟鱼中的硫酸软骨素还具有促进伤口愈合的作用。硫酸软骨素能够促进细胞迁移和增殖、减轻炎症反应、促进血管生成,从而具有良好的创面处理活性,促进伤口的愈合作用^[22]。SUN 等^[23]通过对鲟鱼骨中提取的硫酸软骨素进行研究,结果发现,硫酸软骨素可减少关节病理损伤,减轻关节肿胀度,降低滑膜液中 *IL-1 β* 、*TNF- α* 、*PGE2* 水平,从而有效减轻关节的疼痛。WANG 等^[24]研究从鱼头骨提取的硫酸软骨素(skull chondroitin sulfate, SCS)和从脊骨中提取的硫酸软骨素(backbone chondroitin sulfate, BCS)对乙醇诱导的胃溃疡大鼠模型的胃溃疡治疗作用,结果表明 SCS 和 BCS 均具有明显的治疗胃溃疡活性,其溃疡抑制率高达到 35%~45%。

3 鲟鱼加工现状

我国鲟鱼的产量逐年升高,到 2022 年鲟鱼年总产量已超过 12.2 万 t^[38]。随着我国鲟鱼的产量的增加,鲟鱼的价格逐渐降低,逐渐达到大众消费水平,因此,研究鲟鱼制品加工对鲟鱼产业发展具有重要意义。目前,市售鲟鱼制品主要包括鱼糜制品、罐头制品、熏制品和鲟鱼鱼子酱。

3.1 鲟鱼鱼糜制品

鱼糜制品是一种湿浓缩的肌原纤维蛋白产品,可以通过不断拍打和粉碎鱼肉获得^[29]。鲟鱼鱼糜制品主要有鱼丸^[39]等,因其蛋白质含量高、消化吸收好等优点,深受老年人和儿童的喜爱^[40]。但鱼糜制品的腥味重和在冷藏过程中脂肪易氧化导致了鱼糜制品的风味变差^[41],是目前鱼糜制品面临的主要问题。因此,改良风味或者降低脂肪氧化程度对改善鱼糜制品的品质至关重要。

鱼糜制品的腥味重会导致食品的风味变差,严重影响鱼糜的感官品质。目前市售鱼糜制品往往伴随腥味,土腥素、2-甲基异茨醇、2-异丁基-3-甲氧基吡嗪、2,3,6-三氯苯甲醚和 2-异丙基-3-甲氧基吡嗪等 5 种物质是鱼糜制品土腥味的的主要成分^[42]。为改善这一问题,XU 等^[41]向鲟鱼鱼糜中添加 40% 鸡胸肉,其含有的 2-诺酮^[43-44]可以产生果味和奶油味,掩盖住鱼腥味,使鱼糜制品的甜味和鲜味会更加明显,从而改善鲟鱼的风味。另外,冷冻鱼糜制品在加工及贮藏过程中极易发生脂肪氧化分解,产生令人厌恶的腐烂味道,同时破坏其营养性,使用抗氧化剂可以有效改善鲟鱼鱼糜制品的感官品质,ZHANG 等^[45]在鲟鱼鱼糜中添加 0.1% α -生育酚,可有效抑制鱼糜中脂质氧化,使鲟鱼鱼糜具有良好的风味。因此,适当向鲟鱼鱼糜加入添加物可以增强鱼糜的风味和凝胶性能。

此外,适当的热处理也能提高鱼糜的风味和质地。研究发现,*n-3* 和 *n-6* 多不饱和脂肪酸参与碳基化合物和醇类物质等多种风味物质的形成^[46],蒸煮可以加快鱼糜中 *n-3* 和 *n-6* 多不饱和脂肪酸的水解和氧化,使游离脂肪酸含量增加,形成独特的鱼肉风味。LI 等^[47]对生鲟鱼和蒸鲟鱼进行评估,对鲟鱼的“肉质性、鱼腥味、草味、油性/脂肪性、新鲜性、泥土性、内脏味、咸味、鲜味和氨味、腐臭”10 种气味特征进行感官评价,结果表明,蒸鲟鱼的得分均高于生鲟鱼,并且在 90°C 蒸煮 12 min 的样品品质最佳。不过,高温时间过长会导致蛋白质大量的变性或收缩,影响鱼肉的质地,使其美味程度降低。SHEN 等^[48]采取低温真空加热技术(low temperature vacuum heating, LTVH)更好地保存肌原纤维蛋白和细胞骨架的结构,减少糖酵解或糖异生导致的乳酸积累,限制氧化磷酸化引起的氧化损伤,从而改善鲟鱼的质地。加工方式对鲟鱼鱼糜品质特性的影响如表 2 所示。

表 2 加工方式对鲟鱼鱼糜品质特性的影响
Table 2 Effects of processing methods on quality characteristics of *Acipenser sturio surimi*

加工方式	条件	品质特性	参考文献
外源添加物	鸡胸肉添加量 40%	极大掩盖鱼糜中的鱼腥味物质的释放, 提高了白度和凝胶性	[41,43]
	α -生育酚添加量 0.1%	α -生育酚抑制了脂质氧化, 保留了冷冻鲟鱼鱼糜的凝胶特性	[45]
蒸煮	最佳蒸煮时间和温度 12 min 90°C	整体风味较好且稳定; 接受程度较高	[47]
低温真空加热	LTVH 组: 60°C, 15 min; 传统热处理对照组: 100°C, 15 min	LTVH 处理后鲟鱼中的乳酸和丙二醛的含量低于对照组, 并降低肌原纤维蛋白的降解, 限制氧化磷酸化引起的氧化损伤, 从而改善鲟鱼的质地	[48]

3.2 罐头制品

鲟鱼罐头是以新鲜或冷冻鲟鱼为原料, 经加工处理、装罐、加入调味料、密封、杀菌等加工过程制成的水产罐头产品投入市场。鲟鱼罐头具有两大优点, 一是鲟鱼罐头携带方便, 无需再次加工, 开盖即食, 二是罐藏可延长鲟鱼制品的保质期, 便于运输、贮存和调节市场供应。鲟鱼罐头口味繁多, 任华等^[49]研制香辣、酱香、茄汁、豆豉、麻辣鲟珍 5 种罐头产品, 结果表明, 这 5 种鲟鱼罐头深受消费者的喜爱。因此, 将鲟鱼制成罐头产品, 不仅味道鲜美、营养全面, 还具有强身健体的多种功效, 这既满足了消费者对食品多样化的需求, 又提高了养殖鲟鱼的经济价值。此外, 由于鲟鱼肉的蛋白质含量过高, 在杀菌和贮藏中放出硫化氢与金属壁发生反应, 产生黑色化合物, 这会导致出现鲟鱼肉色泽加深的不良现象, 齐慧林^[50]通过添加 L-半胱氨酸、茶多酚或抗坏血酸等抗氧化剂来抑制该现象。

3.3 鲟鱼熏制品

烟熏会赋予食品独特的风味和外观, 同时具有抗氧化和杀菌作用, 是用于保存鱼类的一种古老方法^[51]。目前, 最常见的烟熏技术主要是气态烟熏和液体烟熏。一般气熏法熏制的产品在风味和色泽上都很独特, 也很耐储藏, 整体感观品质优于液熏法熏制的产品。廖杰等^[52]等探究不同温度处理对烟熏鲟鱼片品质影响, 发现随着烟熏温度的升高, 鲟鱼肉的硫巴比妥酸盐值呈现上升趋势, 80°C 烟熏时鲟鱼片的色泽玫红、组织紧实、烟熏味浓郁, 在 4°C 可保存 114 d。但是气熏法熏制的食品通常都含有过多以 3,4-苯并芘为代表的多环芳烃类化合物 (polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs), 具有致癌性, 过量摄入对人体健康有害。因此, 有效控制烟熏过程中多环芳烃类物质的产生, 对提高烟熏鲟鱼的品质至关重要。

液熏法与气熏法相比, 更加安全, 液体烟具有气体烟相似的成分, 如有机酸、酚类及羟基化合物等, 但经除掉固相微粒后制成的烟熏液只含有极少的 PAHs^[53], 同时一些烟熏液不同的组成成分, 也会赋予产品不同的感官品质。目前, 国内也有一些学者开始将液熏技术应用于水产

品, 例如桂萌等^[54]将鲟鱼经烟熏液浸泡或涂抹表面后干燥, 发现产品中未检出致病菌, 苯并芘含量也显著减少。烟熏液是一种清洁、卫生、安全的熏制材料。

3.4 鲟鱼鱼子酱

鲟鱼鱼卵营养丰富, 富含人体必需的各种氨基酸和长链多不饱和脂肪酸、无机盐、维生素 A 和 D, 以及钙、铜、镁、铁和硒等微量元素^[55]。鲟鱼卵加工制作的鱼子酱是一种国际消费市场公认的顶级食品, 因其供应量较少, 价格昂贵^[56]。

传统的鲟鱼鱼子酱来源于野生鲟鱼, 产地主要为黑海沿岸的国家, 包括俄罗斯、伊朗、土库曼斯坦等。然而, 由于环境污染、生态破坏等人为因素的影响, 导致野生鲟鱼数量减少或逐渐灭绝^[55]。目前, 我国鲟鱼鱼子酱多为人工养殖品种, 如西伯利亚鲟、施氏鲟、俄罗斯鲟以及西伯利亚鲟和施氏鲟的杂交鲟等。黄艳青等^[57]通过对养殖品种西伯利亚鲟、施氏鲟以及二者的杂交鲟鱼子酱的营养成分进行分析, 结果发现 3 种鲟鱼鱼子酱都含有丰富的营养成分, 且三者之间的营养成分差异不大。因此, 通过高效、生态、科学合理的人工养殖, 除了保护野生鲟鱼资源外, 也能够在不降低其营养品质的前提下, 满足人们对这种高档产品的需求。

此外, 由于鲟鱼的鱼卵含有大量的蛋白质和不饱和脂肪酸, 极易被氧化, 进而导致鲟鱼鱼子酱的保质期变短, WANG 等^[58]通过向鲟鱼鱼子酱中添加 0.02% 黄酮, 有效降低了其氧化程度, 黄酮可有效改善鲟鱼鱼子酱的感官品质。

3.5 鲟鱼预制菜

预制菜是指采用现代化流水线作业, 对原料进行预加工制成成品或半成品的一种新兴加工方法, 可简化制作的步骤, 消费者购买后经过简单加热即可食用。

鲟鱼预制菜种类繁多, 如金汤酸菜鲟鱼、藤椒风味鲟鱼、鱼子酱脆皮鸡、椰汁炖龙铂(鱼脑)和多风味鲟鱼水饺成品, 以及烤鱼半成品等, 但由于鲟鱼含有较高的蛋白质和不饱和脂肪酸, 在加工、运输和贮藏过程中易氧化变质, 因此, 采用现代化技术延长其保质期是加快鲟鱼预制菜的

产业发展的关键。目前, 鲟鱼预制菜多采用真空包装和气调包装^[59]技术延长保质期。但目前关于鲟鱼预制菜的研究处于起步阶段, 其营养特性, 保质期内各种物质的变化情况仍有待进一步研究。

4 结束语

鲟鱼肉营养组成均衡, 多不饱和脂肪酸占总脂肪酸比例较高, 矿物元素含量丰富, EAA 与 TAA 的比值符合联合国粮食和农业组织/世界卫生组织 的建议, 具有较高的营养价值, 由其加工制成的鲟鱼制品符合当今对食品健康的要求。此外, 鲟鱼中多肽和硫酸软骨素等生物活性成分具有抗氧化、抗炎、抗癌和降血糖等作用, 在医疗药物、功能性食品等领域应用广泛。虽然鲟鱼有着较大的市场开发潜力, 但仍需注意, 鲟鱼制品存在品种较少以及鲟鱼中的多肽、硫酸软骨素等作用机制的报道不够清晰等问题, 在今后鲟鱼产业可向健康生鲜食品、老人和幼儿食品及高档保健品等方向发展, 并且加深对鲟鱼的活性物质研究, 在活性物质分子结构和作用机制的相互关系上, 深入研究鲟鱼生物活性物质的新作用。

参考文献

- [1] 邢薇, 罗琳, 李铁梁. 鲟鱼营养价值研究进展[J]. 中国水产, 2014, 30(9): 70-73.
XING W, LUO L, LI TL, *et al.* Progress in sturgeon nutrition [J]. China Fish, 2014, 30(9): 70-73.
- [2] 吴礼邦, 何如怡, 虞恒, 等. 鲟鱼鱼油的酶法提取及对非酒精性脂肪肝病的干预作用[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(11): 3532-3540.
WU LB, HE RY, YU H, *et al.* Enzymatic extraction of sturgeon fish oil and its intervention effect on non-alcoholic fatty liver disease [J]. J Food Saf Qual, 2022, 13(11): 3532-3540.
- [3] ALI A, WEI S, ALI A, *et al.* Research progress on nutritional value, preservation and processing of fish—A review [J]. Foods, 2022, 11(22): 63-69.
- [4] 王煜坤, 李来好, 郝淑贤, 等. 不同部位西伯利亚鲟鱼的营养成分分析[J]. 食品工业科技, 2018, 39(21): 207-211, 217.
WANG YK, LI LH, HAO SX, *et al.* Analysis of the nutrient composition of the Siberian sturgeon meat in different parts [J]. Sci Technol Food Ind, 2018, 39(21): 207-211, 217.
- [5] 黄攀, 王文秋, 宫臣, 等. 大型鲟鱼不同部位肌肉的营养成分分析[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(18): 162-168.
HUANG P, WANG WQ, GONG C, *et al.* Analysis of nutrient composition of muscles in different parts of large sturgeon [J]. Food Res Dev, 2020, 41(18): 162-168.
- [6] 高露姣, 夏永涛, 黄艳青, 等. 两种鲟鱼卵的鲜味相关物质含量比较分析[J]. 食品科学, 2012, 33(24): 230-233.
GAO LJ, XIA YT, HUANG YQ, *et al.* Comparative analysis of the umami-related material content of two sturgeon eggs [J]. Food Sci, 2012, 33(24): 230-233.
- [7] 陈彦婕, 唐嘉诚, 宫萱, 等. 鱼油提取、多不饱和脂肪酸富集及 EPA 和 DHA 的应用研究进展[J]. 食品与机械, 2021, 37(11): 205-210, 220.
CHEN YJ, TNG JC, GONG X, *et al.* Progress in fish oil extraction, polyunsaturated fatty acid enrichment and application of EPA and DHA [J]. Food Mach, 2021, 37(11): 205-210, 220.
- [8] 陈跃文, 蔡文强, 祁立波, 等. 俄罗斯鲟鱼不同部位肌肉营养成分分析与评价[J]. 中国食品学报, 2019, 19(8): 286-293.
CHEN YW, CAI WQ, QI LB, *et al.* Analysis and evaluation of muscle nutrient composition of different parts of Russian sturgeon [J]. J Chin Food Sci, 2019, 19 (8): 286-293.
- [9] CHEN R, LIU Z, WANG J, *et al.* A review of the nutritional value and biological activities of sturgeon processed byproducts [J]. Front Nutr, 2022, 14(9): 102-109.
- [10] NIEMINEN P, WESTENIUS E, HALONEN T, *et al.* Fatty acid composition in tissues of the farmed Siberian sturgeon (*Acipenser baeri*) [J]. Food Chem, 2014, 9(159): 80-84.
- [11] 施晓玲, 蒋林惠, 程晓宏, 等. 鲟鱼软骨中微量元素含量分析及营养评价[J]. 水产养殖, 2017, 38(10): 38-41.
SHI XL, JIANG LH, CHENG XH, *et al.* Analysis of trace element content and nutritional evaluation in sturgeon cartilage [J]. J Aquac, 2017, 38(10): 38-41.
- [12] 陈跃文, 蔡文强, 祁立波, 等. 俄罗斯鲟鱼不同部位肌肉营养成分分析与评价[J]. 中国食品学报, 2019, 19(8): 286-293.
CHEN YW, CAI WQ, QI LB, *et al.* Analysis and evaluation of muscle nutrient composition of different parts of Russian sturgeon [J]. J Chin Food Sci, 2019, 19 (8): 286-293.
- [13] 李露园, 王升帆, 朱有贵, 等. 酶法制备鲟鱼皮胶原蛋白多肽及其抗氧化活性研究[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(20): 138-143.
LI LY, WANG SF, ZU YG, *et al.* Preparation of sturgeon skin collagen polypeptide and its antioxidant activity by enzymatic method [J]. Food Ferment Ind, 2019, 45(20): 138-143.
- [14] LI W, YUMI O. Production and antioxidant activity of peptides from sturgeon head [J]. Sustain Chem Pharm, 2023, 31(4): 111-119.
- [15] 柯勤勤. 鲟鱼鱼肠蛋白抗氧化肽的制备、分离纯化及其体外抗氧化活性研究[D]. 成都: 四川农业大学, 2018.
KE QQ. Preparation, isolation and purification of antioxidant peptide and study of antioxidant activity *in vitro* [D]. Chengdu: Sichuan Agricultural University, 2018.
- [16] 储倩. 醇溶性鲟鱼软骨多肽的制备及抗炎活性研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2021.
CHU Q. Preparation and anti-inflammatory activity of alcohol-soluble sturgeon cartilage polypeptide [D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2021.
- [17] 黄世玉, 李江森, 关瑞章, 等. 鲟鱼硫酸软骨素的免疫调节及抗炎抗过敏活性[J]. 中国生化药物杂志, 2012, 33(5): 540-543.
HUANG SY, LI JS, GUAN RZ, *et al.* Immunomodulation and anti-inflammatory and anti-allergic activity of chondroitin sulfate in sturgeon [J]. Chin J Biochem Pharm, 2012, 33(5): 540-543.
- [18] 武瑞赞, 刘蕾, 张金兰, 等. 鲟鱼硫酸软骨素对结肠癌细胞抑制作用[J]. 食品科学, 2017, 38(21): 223-229.
WU RY, LIU L, ZHANG JL, *et al.* Cell inhibition of chondroitin sulfate in sturgeon [J]. J Food Sci, 2017, 38(21): 223-229.
- [19] WU R, LI P, YI W, *et al.* Structural analysis and anti-cancer activity of low-molecular-weight chondroitin sulfate from hybrid sturgeon cartilage [J]. Carbohydr Polym, 2022, 275(4): 547-551.

- [20] 杨蓓. 鲟鱼肽改善 HpeG2 细胞胰岛素抵抗的分子机制及代谢途径研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2022.
YANG B. Molecular mechanisms and metabolic pathways of sturgeon peptide in improving insulin resistance in hpeg 2 cells [D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2022.
- [21] YANG B, LI Y, ZANG W, *et al.* Sturgeon protein-derived peptide KIWHTK prevents insulin resistance via modulation of IRS-1/PI3K/AKT signaling pathways in HepG2 cells [J]. *J Funct Foods*, 2022, 94(14): 687–692.
- [22] WANG K, LIU K, ZHA F, *et al.* Preparation and characterization of chondroitin sulfate from large hybrid sturgeon cartilage by hot-pressure and its effects on acceleration of wound healing [J]. *Int J Biol Macromol*, 2022, 209(4): 168–169.
- [23] SUN YJ, ZHANG GZ, LIU Q, *et al.* Chondroitin sulfate from sturgeon bone ameliorates pain of osteoarthritis induced by monosodium iodoacetate in rats [J]. *Int J Biol Macromol*, 2018, 117(5): 95–101.
- [24] WANG KY, BAI F, ZHOU XD, *et al.* Characterization of chondroitin sulfates isolated from large hybrid sturgeon cartilage and their gastroprotective activity against ethanol-induced gastric ulcers [J]. *Food Chem*, 2021, 363(30): 130436.
- [25] 郑坤, 嘎鲁, 马宇衡, 等. 活性氧(ROS)依赖性抗肿瘤药物的研究进展[J]. *广东药科大学学报*, 2022, 38(1): 130–136.
ZHENG K, GA L, MA YH, *et al.* Advances of reactive oxygen species (ROS) dependent antitumor drugs [J]. *J Guangdong Pharm Univ*, 2022, 38(1): 130–136.
- [26] 赵世博, 刘俊霞, 何琳琳, 等. 大鲑肽-硒螯合物对 D-半乳糖致小鼠氧化应激损伤保护作用[J/OL]. *食品与发酵工业*, 2023: 1–11. [2023-09-16]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.036293>.
ZHAO SB, LIU JX, HE LL, *et al.* Protective effect of giant salamander peptide-selenium chelate against D-galactose-induced oxidative stress injury in mice [J/OL]. *Food Ferment Ind*, 2023: 1–11. [2023-09-16]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.036293>.
- [27] ISLAM MR, LI W, OGATA Y, *et al.* Production and antioxidant activity of peptides from sturgeon head [J]. *Suatain Chem Pharm*, 2023, 31(4): 121–129.
- [28] SHENG Y, QIU YT, WANG YM, *et al.* Novel antioxidant collagen peptides of Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*) cartilages: The preparation, characterization, and cytoprotection of H₂O₂-damaged human umbilical vein endothelial cells [J]. *Mar Drug*, 2022, 20(5): 325–330.
- [29] NOMAN A, WANG Y, ZANG C, *et al.* Antioxidant activity of hybrid sturgeon (*Huso dauricus*×*Acipenser schrenckii*) protein hydrolysate prepared using bromelain, its fractions and purified peptides [J]. *Pol J Food Nutr Sci*, 2022, 72(1): 79–89.
- [30] 董旭, 赵峡, 刘楚怡. 鱼鳔胶原肽的制备工艺及功能活性研究进展[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(6): 436–442.
DONG X, ZHAO X, LIU CY. Progress in the preparation technology and functional activity of fish swim bladder collagen peptide [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2022, 43(6): 436–442.
- [31] MERAM C, WU J. Anti-inflammatory effects of egg yolk livetins (α , β , and γ -livetins) fraction and its enzymatic hydrolysates in lipopolysaccharide-induced RAW 264.7 macrophages [J]. *Food Res Int*, 2017, 100(16): 449–459.
- [32] GAO R, SHU W, SHEN Y, *et al.* Sturgeon protein-derived peptides exert anti-inflammatory effects in LPS-stimulated RAW264. 7 macrophages via the MAPK pathway [J]. *J Funct Foods*, 2020, 72(22): 142–147.
- [33] 沈旸. 鲟鱼酶解产物的制备及抗炎活性的研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2020.
SHEN Y. Preparation of enzymatic products and anti-inflammatory activity [D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2020.
- [34] 林嘉玲, 何夏梦, 蒲芳芳, 等. 短期抗生素暴露对氧化偶氮甲烷诱导小鼠结肠癌前病变相关指征变化的影响[J]. *中国抗生素杂志*, 2023, 48(4): 458–465.
LIN JL, HE XY, PU FF, *et al.* Effect of short-term antibiotic exposure on colorectal prelesion-related indication changes in azoxymethane induction in mice [J]. *Chin J Antibiot*, 2023, 48(4): 458–465.
- [35] 付常芳, 周伟, 高奇, 等. 硫酸软骨素及其衍生物研究进展[J]. *医药导报*, 2023, 42(5): 688–691.
FU CF, ZHOU W, GAO Q, *et al.* In chondroitin sulfate and its derivatives [J]. *Her Med*, 2023, 42(5): 688–691.
- [36] 何致霖, 张亚秀, 曾介玉, 等. 鲍鱼的营养组成、功能活性及加工现状研究进展[J/OL]. *食品工业科技*, 2023: 1–16. [2023-09-15]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022100057>
HE ZL, ZHANG YX, ZENG JY, *et al.* Progress on the nutritional composition, functional activity and processing of abalone [J/OL]. *Sci Technol Food Ind*, 2023: 1–16. [2023-09-16]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022100057>
- [37] YAN JT, WANG CY, JIN Y, *et al.* Catalpol ameliorates hepatic insulin resistance in type 2 diabetes through acting on AMPK/OX4/PI3K/AKT pathway [J]. *Pharmacol Res*, 2018, 130(8): 466–480.
- [38] ISLAM MR, LI W, OGATA Y, *et al.* Production and antioxidant activity of peptides from sturgeon head [J]. *Suatain Chem Pharm*, 2023, 31(4): 232–238.
- [39] 黄薇, 廖茜, 陈贝, 等. 鲟鱼鱼丸的加工工艺研究[J]. *食品研究与开发*, 2022, 43(1): 88–93.
HUANG W, LIAO Q, CHEN B, *et al.* Research on the processing technology of sturgeon fish balls [J]. *Food Res Dev*, 2022, 43(1): 88–93.
- [40] WANG HB, PAN SK, WU SJ. Chitooligosaccharides suppress the freeze-denaturation of actomyosin in *Aristichthys nobilis* surimi protein [J]. *Int J Biol Macromol*, 2014, 63(2): 104–106.
- [41] XU P, LIU L, LIU K, *et al.* Flavor formation analysis based on sensory profiles and lipidomics of unrinsed mixed sturgeon surimi gels [J]. *Food Chem*, 2023, 17(22): 453–462.
- [42] 黄潇. 冷冻鱼糜质量安全的灰色聚类评估[J]. *食品与发酵工业*, 2016, 42(4): 204–208.
HUANG X. Gray cluster assessment of quality safety of frozen fish [J]. *Food Ferment Ind*, 2016, 42(4): 204–208.
- [43] 沈志文, 王璇, 李赤翎, 等. 油脂对鱼糜凝胶制品结构和风味的影响研究进展[J/OL]. *中国油脂*, 2022: 1–11. [2023-09-16]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1099.TS.20220805.1513.003>
SHEN ZW, WANG X, LI CL, *et al.* Progress in the influence of oil on structure and flavor of chylgel products [J/OL]. *Chin Oils Fats*, 2022: 1–11. [2023-09-16]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1099.TS.20220805.1513.003.html>
- [44] WANG R, GAO R, XIAO F, *et al.* Effect of chicken breast on the physicochemical properties of unwashed sturgeon surimi gels [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2019, 113(16): 108–116.

- [45] ZHANG XP, LI XY, YANG MJ, *et al.* Effect of antioxidant extracted from bamboo leaves on the quality of box-packaged sturgeon fillets stored at 4°C [J]. *Qual Assur Saf Crop*, 2020, 12(2): 73–80.
- [46] ZANG LT, LI Q, SHI J, *et al.* Changes in chemical interactions and gel properties of heat-induced surimi gels from silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) fillets during setting and heating: Effects of different washing solutions [J]. *Food Hydrocolloid*, 2018, 75(2): 116–124.
- [47] LI X, XIE W, BAI F, *et al.* Influence of thermal processing on flavor and sensory profile of sturgeon meat [J]. *Food Chem*, 2022, 374(8): 278–195.
- [48] SHEN S, LIU F, CHEN Y, *et al.* Insight into the molecular mechanism of texture improvement of sturgeon fillets treated by low temperature vacuum heating technology using label-free quantitative proteomics [J]. *Food Res Int*, 2022, 157(14): 447–453.
- [49] 任华, 兰泽桥, 答和庆, 等. 鲟鱼罐头食品的五种生产工艺[J]. 江西水产科技, 2015, 143(3): 45–48.
REN H, LAN ZQ, DA HQ, *et al.* Five production processes for canned food of sturgeon [J]. *Jiangxi Aquat Prod Sci Technol*, 2015, 143(3): 45–48.
- [50] 齐慧林. 护色剂对调味鱼杀菌及储藏过程中颜色品质的影响研究[D]. 无锡: 江南大学, 2020.
QI HL. Study on the influence of color protector on color quality during sterilization and storage of flavoured fish [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2020.
- [51] HATTULA T, ELFVING K, MROUEH UM, *et al.* Use of liquid smoke flavouring as an alternative to traditional flue gas smoking of rainbow trout fillets (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2001, 34(8): 521–525.
- [52] 廖杰, 陈康, 宋恭帅, 等. 不同温度处理对烟熏鲟鱼片品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(5): 92–99.
LIAO J, CHEN K, SONG GS, *et al.* Effect of different temperature treatments on the quality of smoked sturgeon fillets [J]. *Food Res Dev*, 2022, 43(5): 92–99.
- [53] 焉丽波. 鳕鱼液熏制品的研制及品质特性的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013.
YAN LB. Development and quality characteristics of cod liquid smoked products [D]. Qindao: Ocean University of China, 2013.
- [54] 桂萌, 林佳, 马长伟, 等. 液熏鲟鱼片生产工艺优化与品质影响分析[J]. 农业机械学报, 2016, 47(6): 235–241.
GUI M, LIN J, MA CW, *et al.* Optimization of production process and quality influence analysis of liquid smoked sturgeon fillet [J]. *Trans Chin Soc Agric Mach*, 2016, 47(6): 235–241.
- [55] 李水根. 福建鲟鱼产业的发展思路与对策建议[J]. 中国水产, 2022, 563(10): 59–61.
LI SG. Development ideas and countermeasures of Fujian sturgeon industry [J]. *China Fish*, 2022, 563(10): 59–61.
- [56] 贺艳辉, 袁永明, 张红燕, 等. 中国鲟鱼子酱出口竞争力分析及展望[J]. 农学学报, 2020, 10(5): 58–62.
HE YH, YUAN YM, ZHANG HY, *et al.* Analysis and prospect of export competitiveness of Chinese sturgeon caviar [J]. *J Agric*, 2020, 10(5): 58–62.
- [57] 黄艳青, 龚洋洋, 陆建学, 等. 养殖鲟鱼子酱营养品质分析及比较[J]. 食品工业科技, 2014, 35(10): 346–350, 371.
HUANG YQ, GONG YY, LU JX, *et al.* Analysis and comparison of nutritional quality of Caviar [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2014, 35(10): 346–350, 371.
- [58] WANG Y, YU J, ZHANG C, *et al.* Influence of flavonoids from *Phellinus igniarius* on sturgeon caviar: Antioxidant effects and sensory characteristics [J]. *Food Chem*, 2012, 131(1): 206–210.
- [59] 张智宏, 杨逸凡, 韩新阳, 等. 预制菜包装技术的研究进展[J]. 包装工程, 2023, 44(9): 201–209.
ZHANG ZH, YANG YF, HAN XY, *et al.* Progress in the packaging technology of prepared vegetables [J]. *Packag Eng*, 2023, 44(9): 201–209.

(责任编辑: 韩晓红 张晓寒)

作者简介



张萌, 硕士研究生, 主要研究方向为水产品加工及生物化学。
E-mail: 3499618287@qq.com



韩冰, 博士, 教授, 主要研究方向农产品加工及生物化学。
E-mail: hb790118@163.com