

DOI: 10.13652/j.spjx.1003.5788.2024.80270

金鲳鱼加工与副产物高值化利用研究现状

涂雨晨¹ 林海生^{1,2,3,4,5} 高加龙^{1,2,3,4,5} 钟赛意^{1,2,3,4,5}

(1. 广东海洋大学食品科技学院, 广东 湛江 524088; 2. 广东省水产品加工与安全重点实验室, 广东 湛江 524088; 3. 广东普通高等专科学校水产品深加工重点实验室, 广东 湛江 524088; 4. 国家贝类加工技术研发分中心(湛江), 广东 湛江 524088; 5. 南海生物资源开发与利用协同创新中心, 广东 湛江 524088)

摘要:金鲳鱼(*Trachinotus ovatus*)是中国南海主要的经济养殖鱼类之一。随着养殖技术的快速发展,金鲳鱼产量逐年上升,其保活流通、保鲜及其精深加工对产业的健康可持续发展意义重大。文章综述了金鲳鱼的保活流通、低温保鲜、非热加工、生物保鲜、鱼糜加工、罐头加工、腌制烟熏加工、金鲳鱼蛋白高值化加工、预制食品和副产物(鱼头、鱼骨、内脏蛋白酶、鱼油和胶原蛋白)高值化利用等方面的研究现状,并讨论了各方面存在的不足以及未来发展的方向。

关键词:金鲳鱼;加工技术;副产物高值化利用;保活运输

Current status of research on golden pomfret processing and high-value utilization of by-products

TU Yuchen¹ LIN Haisheng^{1,2,3,4,5} GAO Jialong^{1,2,3,4,5} ZHONG Saiyi^{1,2,3,4,5}

(1. College of Food Science and Technology, Guangdong Ocean University, Zhanjiang, Guangdong 524088, China; 2. Guangdong Key Laboratory of Aquatic Products Processing and Safety, Zhanjiang, Guangdong 524088, China; 3. Key Laboratory of Aquatic Products Deep Processing of Guangdong Universities, Zhanjiang, Guangdong 524088, China; 4. National Research and Development Branch Center for Shellfish Processing Technology (Zhanjiang), Zhanjiang, Guangdong 524088, China; 5. South China Sea Biological Resources Development and Utilization Collaborative Innovation Center, Zhanjiang, Guangdong 524088, China)

Abstract: *Trachinotus ovatus* is one of the main marine economic fish species in the South China sea, which is delicious and with high nutritional value. With the rapid development of culture technology, the output of golden pomfret is increasing in recent years. Its healthy circulation, fresh preservation and deep processing are of great significance to the healthy and sustainable development of the industry. This review summarized the current status of comprehensive processing and utilization technology of *T. ovatus*, including keep alive technology, low temperature preservation technology, non thermal processing technology, surimi processing technology, canning technology, pickling and smoking processing technology, and high value processing products of golden pomfret protein, prepared food, and high-value utilization of by-products (fish head, fish bone, visceral protease, fish oil, and collagen). The shortcoming of all aspects and the direction of future development are also discussed.

Keywords: *Trachinotus ovatus*; processing technology; high-value utilization of by-products; keep-alive transport

金鲳鱼(golden pomfret),学名卵形鲳鲹(*Trachinotus ovatus*),属硬骨鱼纲鲈形目鲹科鲳鲹属^[1],其肉质鲜嫩、味道鲜美、无肌间刺、营养价值高,是南海地区名贵海产经济鱼类之一。目前,金鲳鱼的养殖主要集中在在中国南方

沿海区域,2022年全国金鲳鱼海水养殖量为24.54万t,产业链也在逐步完善,产业价值日益显现^[2]。

金鲳鱼富含蛋白质、不饱和脂肪酸和微量元素等多种营养成分,具有较好的食用和经济价值。金鲳鱼蛋白

基金项目:“十三五”国家重点研发计划重点专项(编号:2019YFD0901602);湛江市科技计划项目(编号:210906157007280);广东普通高等专科学校海洋食品绿色加工技术研究团队项目(编号:2019KCXTD011)

通信作者:林海生(1985—),男,广东海洋大学副教授,博士。E-mail: haishenglin@163.com

收稿日期:2024-03-22 **改回日期:**2024-07-13

质含16种常见氨基酸,其氨基酸组成符合WHO/FAO标准,是优质水产蛋白质。同时富含亚油酸、二十二碳六烯酸和二十碳五烯酸等不饱和脂肪酸,占脂肪酸总量的64%^[3]。其维生素和微量元素(如钙、铁、磷、锌等)组成合理,是开发营养功能食品的重要原料。李川等^[3]研究发现,金鲳鱼味道鲜美,这主要与其鱼肉中富含肌苷酸和鲜味氨基酸(甘氨酸、谷氨酸和丙氨酸等)以及无机盐离子(K^+ 和 PO_4^{3-} 等)协同作用有关,而肌肉中醛类、烃类、醇类、酸类、芳香族物质和酯类化合物是其主要的气味物质。此外,金鲳鱼加工副产物(鱼头、鱼骨、鱼皮、鱼鳞及内脏等)中富含磷脂、不饱和脂肪酸、胶原蛋白、内源性酶等成分,具有高值化利用价值^[3]。

目前,市场上的金鲳鱼产品主要有活鲜(6%)、冰鲜(36%)、冻品(56%)以及其他加工产品(2%)^[2]。金鲳鱼的活体运输及冷鲜销售主要集中在华南地区,而外销则以冻品形式销往欧美、东南亚、中东等地^[2]。近年来,金鲳鱼产业发展步伐加快,各种加工技术研究及应用催生了许多新型的金鲳鱼产品,如鱼糜制品、腌制品、干制品、预制食品、即食食品和营养品等,以满足消费者对高品质、多样化、安全化食品的需求^[3]。

文章拟综述金鲳鱼的保活流通、低温保鲜、非热加工、鱼糜加工、罐头加工、腌制烟熏加工、金鲳鱼蛋白高值化加工、预制食品和副产物(鱼头、鱼骨、内脏蛋白酶、鱼油和胶原蛋白)高值化利用等方面的研究现状,并讨论各方面存在的不足以及未来的发展方向,以期为促进金鲳鱼产业的高效、绿色和创新提供依据。

1 金鲳鱼加工技术

1.1 保活流通技术

鱼类保活流通技术一般分为有水和无水保活运输。有水保活流通是在有水条件下,通过添加麻醉剂、增加水体溶氧量和降低水温等方法来提高运输量和存活率,包括增氧保活、低温保活和麻醉保活等方式。无水保活则通过生态冰温、麻醉、电击和高压等方法诱导鱼进入休眠状态,以降低代谢和耗氧量来实现无水运输的目的,该方法具有运输量大、成本低及复苏时间短等优点^[4]。金鲳鱼一般生活在深水区,抢饲凶猛,捕捞后由于应激性强,且受外界压力突然降低的影响,极易死亡。杜克等^[4]在生态冰温下使用 CO_2 麻醉技术($16\text{ }^\circ\text{C}$, 100 mg/L , 3 min)协同百里香植物精油($20\text{ }^\circ\text{C}$, 50 mg/L)诱导金鲳鱼休眠,实现了有(减)水保活(鱼水质量比为1:2),保活时间约为9 h,存活率达70%。该技术不仅有效降低了金鲳鱼的应激和代谢反应,同时维持了鱼肉高品质特性。张坤^[5]采用禁食暂养[(25 ± 2) $^\circ\text{C}$ 下暂养6 h]和梯度降温方法($3\text{ }^\circ\text{C/h}$ 降温至 $13\sim 14\text{ }^\circ\text{C}$)诱导金鲳鱼进入休眠状态,从而实现了少水保活和鲜味的保持($15\text{ }^\circ\text{C}$ 保活36, 48 h,存活率分别为

100%和83%)。此外,常见水产动物麻醉剂三卡因甲基磺酸盐(MS-222)(100 mg/L , $15\text{ }^\circ\text{C}$)对金鲳鱼也有良好的麻醉效果^[6]。总体上,现有的金鲳鱼保活技术主要以麻醉后低温有水保活及诱导休眠协同生态冰温少水保活为主,基本上可实现1~2 d的保活流通运输。随着保活流通技术的进一步研究和应用,金鲳鱼高密度、高存活率、优质、绿色安全的新型活体流通模式将为消费者提供更加营养和安全的水产食品。

1.2 低温保鲜技术

低温保鲜技术是金鲳鱼加工和流通的主要方式,包括冷藏、生态冰温和冷冻保鲜。冷藏保鲜是指将新鲜水产品放入冰或冷海水中进行冷藏,但又不冻结的一种保鲜方法。传统方法通过降低温度抑制微生物繁殖来延长货架期,运用栅栏技术原理实现金鲳鱼保鲜已成为研究方向之一。巩涛硕等^[7]对比了平板冻结、螺旋式冻结、超低温冻结和冰柜冻结4种冻结方式对金鲳鱼pH值、挥发性盐基氮含量、质构特性、色泽、保水性(持水率、蒸煮损失率和汁液损失率)和冰晶生产特性等的影响。结果表明,螺旋冻结能够保持冷冻金鲳鱼的最佳品质。二段式液氮速冻模式更是保持高品质金鲳鱼的最佳冷冻方式,具有低能耗等特性^[8-9]。此外,新型冷冻辅助技术通过调控冰晶成核可有效改善冷冻水产品的品质。Zhou等^[10]研究发现,磁场辅助浸没冷冻技术(magnet assisted immersion freezing, MIF)能够使冷冻金鲳鱼水分流失少、生成冰晶小且分布均匀,从而有效改善冷冻金鲳鱼的肌肉品质。低温保藏技术是目前金鲳鱼保藏的主要方式,新型冷冻技术的应用及贮藏条件优化将成为高品质冷冻金鲳鱼开发的主要方向。

1.3 非热加工技术

非热加工是指采用非传统加热的方法对食品进行杀菌与钝酶,同时最大限度保留食品的营养成分、风味和色泽,包括超高压、高密度 CO_2 、低温等离子体、辐照杀菌和生物保鲜剂应用等技术。高压技术通常以水为介质,在密闭容器内,施加100 MPa以上的压力,从而实现杀菌和钝酶的目的。张铁涛等^[11]研究了超高压处理压力和保压时间对金鲳鱼肉质构特性、色度、理化指标的影响。结果表明,超高压处理不仅能保持金鲳鱼原本的鲜味,又能有效延长贮藏时间,其结合低温保藏在高端金鲳鱼鲜品的开发和应用方面具有一定的市场前景。低温等离子体(cold plasma, CP)是利用等离子体释放活性氮和活性氧等、带电粒子、自由电子等物质对微生物进行杀灭^[12]。CP能有效抑制金鲳鱼鱼肉中微生物数量,钝化金鲳鱼的内源性酶,从而减缓鱼肉变黄、增加鱼肉亮度、改善鱼肉色泽、维持鱼肉含水量等作用^[13-14]。该技术能够有效延长金鲳鱼保质期,在金鲳鱼保鲜领域具有一定应用前景。

将新兴的非热加工方式与传统保藏方式结合,可优

化金鲷鱼的贮藏加工流程,能够更优地保留金鲷鱼的营养和风味并延长货架期。

1.4 生物保鲜技术

生物保鲜剂是指从动植物、微生物中提制或经生物技术改良后获取的化合物,包括动物源保鲜剂、植物源保鲜剂和微生物源保鲜剂。从化学成分上分,主要包括有机酸、多酚类、挥发油、抗菌肽、抗菌蛋白和生物酶等。生物保鲜剂具有安全性高、贮藏条件易控制等优点。陈秋翰等^[15]研究发现,有机酸(2%柠檬酸、2%乳酸等)预处理能够有效减缓金鲷鱼冰温贮藏品质的下降,延长货架期。Gao等^[16]研究发现,迷迭香提取物结合乳酸链球菌素处理可有效改善鲷鱼片的理化品质和感官品质,减少微生物生长,显著延长鲷鱼片的货架期。王者等^[17]研究发现,利用溶菌酶脂质体处理后的金鲷鱼块,其保藏期延长且此法已被广泛应用于水产品防腐与贮藏、运输中。综上,天然保鲜剂结合低温冷藏是金鲷鱼片冷藏品质保持和货架期延长的有效方法。此外,基于成膜特性的大分子壳聚糖为载体,复配天然抗菌物质(如茶多酚、丁香精油等)制成的复合保鲜剂,协同气调包装可实现金鲷鱼低温保鲜及运输的高质量控制^[18-19]。 ϵ -聚赖氨酸复合涂膜协同气调包装、 ϵ -聚赖氨酸盐酸复配天然植物多酚的复合保鲜剂也成为金鲷鱼保鲜的有效手段^[20-21]。

1.5 鱼糜加工技术

鱼糜制品以是鱼糜为原料,经擂溃、成型、凝胶化等过程制成的凝胶状食品。金鲷鱼肉中无刺,易于取肉,且鱼肉肌原纤维蛋白比例较高,适合开发鱼糜制品。其研究主要集中在外源添加剂的筛选,漂洗、擂溃和加热温度等工艺对鱼糜制品弹性和凝胶强度的影响。鱼糜凝胶化是加工的关键环节,而凝胶特性是衡量鱼糜制品品质的重要标准。复配抗冻剂能使蛋白质保持更好的活性,提升鱼糜的保水和抗冻性,从而提高冷冻鱼糜的凝胶特性。蔗糖、山梨醇、海藻糖、木糖醇和复合磷酸盐等作为金鲷鱼鱼糜加工的基础添加剂,复配一定量的卡拉胶、麦芽糊精和蔗糖酯可以使冷冻鱼糜具有更好的抗冻效果^[3]。此外,裴志胜等^[22-23]研究发现,高良姜精油微胶囊化精油及芋头淀粉添加物亦能有效改善金鲷鱼鱼糜凝胶的凝胶强度和持水力。同时,添加油脂可以通过改变鱼糜蛋白的微环境和分子结构,进而影响鱼糜凝胶的理化性质。周佳滢等^[24]通过添加8%的猪油获得了持水性、凝胶强度、流变学特性和总体可接受性均较好的金鲷鱼鱼糜。

金鲷鱼鱼糜良好的凝胶特性使其具备3D打印性。刘雅玲等^[25]从优化材料特性方面研究了金鲷鱼鱼糜的3D打印特性,当鱼糜中肌原纤维蛋白与马铃薯淀粉质量比为6:4、流变单元之间的链接强度为8 877.2 Pa·s^{1/2},表观黏度为2 818 Pa·s时,鱼糜3D打印效果最佳。Liu等^[26]从改变材料物理性质方面研究了金鲷鱼的3D打印特性。

结果表明,切碎鱼糜、加盐切碎鱼糜和定型鱼糜均适合3D打印,其中以切碎鱼糜(surimi-CS)的形状保真度最好。漂洗时间、漂洗次数、擂溃时间以及加热时间也是影响金鲷鱼鱼糜制品凝胶强度和白度的主要因素^[3]。通常漂洗5~6次(每次3~4 min)能够获得较好的金鲷鱼鱼糜凝胶强度和白度;而通过添加0.15%乳酸钙、1.0%琼胶和0.6%海藻酸钠后,擂溃20 min以及利用二段加热法(50℃、20 min)制成的金鲷鱼鱼糜制品的凝胶强度最好。此外,新型非热加工技术高密度CO₂(dense phase carbon dioxide, DPCD)在金鲷鱼鱼糜加工中也具有良好的应用前景。李茹等^[27]利用高密度CO₂诱导金鲷鱼鱼糜形成凝胶(温度60℃、压强30 MPa和处理时间50 min),经DPCD处理的鱼糜凝胶强度和持水性更优于热诱导。随着诱导鱼糜凝胶新技术的应用,高品质的金鲷鱼鱼糜制品将投入市场,产生较大经济效益并进一步带动金鲷鱼产业的发展。

1.6 罐头加工技术

鱼罐头是最普遍和最被认可的鱼类加工产品之一。以鱼作为原料,经预处理后进行装罐,然后加入调味液,通过排气、密封、杀菌等工艺制成且商业无菌的罐头食品被称为调味水产罐头。将金鲷鱼制成罐头食品后能有效延长其贮藏期,增加其商品价值。现已研制出的金鲷鱼罐头有红烧、葱烤、糖醋、烟熏、五香及豆豉等多种风味^[3]。目前,金鲷鱼在罐头加工方面的产品较少,为了满足不同地区和人群的需求,进一步拓展金鲷鱼罐头的市场,创新研发更多新型产品十分必要。

1.7 腌制加工技术

腌制加工是通过加入食盐以降低鱼肉的水分活度来抑制腐败变质,腌制过程常常伴有微生物发酵而产生不同风味。谷氨酸、丙氨酸和亮氨酸是形成发酵金鲷鱼特有风味的主要氨基酸^[28],而油脂的水解、降解和氧化是腌制金鲷鱼独特气味的另一主要来源。Wang等^[29]从金鲷鱼中鉴定出6类998种脂类,脂质分子在发酵过程中表现出动态变化,甘油三酯(TAG)、甘油二酯(DAG)、磷脂酰胆碱(PC)和磷脂酰乙醇胺(PE)是传统发酵金鲷鱼的重要差异脂质。腌制品通过干制加工进一步降低水分活度,有利于保藏,同时赋予食品更加丰富的风味。陈昊文等^[30]将金鲷鱼肉与调味按液料液比1:3混合并在25℃下腌制2 h,按最佳调味配方分别加入食盐、麻辣粉、味精等调味品调味,采取梯度干燥法(80℃干燥3 h,70℃干燥2 h),所得产品风味最佳,其主要成分为硫化物、醇类和芳香化合物。Qiu等^[31]研究了3种干燥温度(40,48,56℃)下半干金鲷鱼的风味差异和来源。结果表明,以40℃干燥出的半干金鲷鱼产品的感官性状更佳。烟熏能够赋予水产品特色,烟熏金鲷鱼产品也逐渐出现在国内消费市场,进一步丰富了腌制金鲷鱼的种类。

1.8 鱼肉蛋白加工及脱敏技术

金鲳鱼的蛋白质含量高,其肌原纤维蛋白具有典型的蛋白结构峰,在蛋白乳液加工利用方面极具潜力。裴志胜等^[32]采用肌原纤维蛋白与玉米油构建W/O/W的多重乳液,该乳液具有良好的稳定性,可为功能物质递送和脂肪代替物提供优质食品级材料。高强度超声波(high-intensity ultrasound, HIUS)辅助技术能够有效改善蛋白乳液的乳化性能和贮藏稳定性。宿华林等^[33]采用HIUS制备了金鲳鱼蛋白-茶皂苷O/W乳液,当乳化剂与油相比比例为1:1或2:3时,乳液拥有最好的贮藏稳定性。金鲳鱼蛋白高值化利用过程中,不可忽视蛋白类过敏原,邱惠等^[34]研究发现,小清蛋白(parvalbumin, PV)是金鲳鱼的主要过敏原之一,其具有较高的耐热特性、耐弱碱性,而金鲳鱼PV蛋白对胰蛋白酶具有一定的抗性,胃消化酶的作用能够被降解,但其降解产物仍保留一定的致敏性。因此,金鲳鱼蛋白质加工利用过程中,针对金鲳鱼PV蛋白等过敏原耐热性强等特性,选择合适的过敏原消敏技术提高产品质量安全应引起重视。酶法制备生物活性肽是蛋白质高值化利用的主要手段之一,而金鲳鱼活性肽的研究鲜有报道,以特定功能肽为导向的控制酶解技术为挖掘金鲳鱼功能性肽提供了方法。

1.9 预制食品加工

预制菜是以一种或多种农产品为主要原料,运用标准化流水作业,经预加工或预烹调制,并进行预包装的成品或半成品菜肴,具有操作标准化、保质长期、易烹即食等优点^[35]。但其营养素流失、产品风味、感官体验以及食品安全隐患问题也是大众所关注的焦点问题。2022年6月,湛江被授予“中国水产预制菜之都”,金鲳鱼在预制菜赛道上表现出彩。恒兴集团的“一夜埋金鲳鱼”预制菜在2021年摘得广东预制菜十大名品“榜眼”,2022年跻身当年“预制菜十大爆品”及世农会预制菜“金棉奖”,“菠萝咕嚕金鲳鱼”获广东农产品品牌最高奖——红荔奖^[36]。本土预制菜产品的深度研发与国际化发展,能很好地推动地区乃至国家的经济发展。

2 金鲳鱼副产物的高值化利用

2.1 蛋白质高值化利用

金鲳鱼加工副产物中蛋白质含量高,多为碱溶性蛋白和胶原蛋白。酶解法或酸-酶提取法是金鲳鱼鱼骨、鱼皮中提取制备鱼胶原的主要手段。于淑池等^[37-38]采用酶解法(木瓜蛋白酶)从金鲳鱼副产物中提取制备胶原,提取率为21.87%。Cao等^[39]采用醋酸-胃蛋白酶法提取金鲳鱼鱼骨与鱼皮中可溶性胶原蛋白(soluble peptide collagen, PSC),提取率分别为21.81%和1.25%(湿重),提取出的胶原蛋白在酸性和低盐条件下均具有良好的溶解度,且均属于I型胶原。

酶法制备海鲜调味基料和生物活性肽是蛋白质高值化利用的主要手段。金鲳鱼蛋白中鲜味氨基酸比例高,是开发海鲜调味基料的优质原料。Deng等^[40]采用双酶法制备具有浓郁鲜味的酶解产品,并从中分离鉴定出5个鲜味肽(APAP、ASEFFR、AEASALR、LGDVLR和WDDMEK)。生物活性肽作为功能食品开发中的“潜力股”,具有抗氧化、抗菌、降压等诸多生理功效。酶解法是为较优选的生物活性肽制备方法。Hou等^[41]发现金鲳鱼中性蛋白酶水解物(trachinotus ovatus hydrolysate, TOH)能有效抑制黄嘌呤氧化酶(xanthine oxidase, XOD)活性,其在缓解高尿酸血症方面具有潜在的应用价值,并从中分离出XOD抑制肽(FPAW、LLPW、WLLP和FHLP)。目前,以水产明胶、胶原肽、抗氧化肽、免疫活性肽等为主要功能成分的相关产品已在营养功能食品领域中被广泛应用。

2.2 脂质提取及高值化利用

鱼油是由鱼类及其加工副产物(鱼骨、内脏等)中提炼所得,其不饱和脂肪酸含量丰富,同时还富含多种维生素,营养价值较高^[42]。高霞^[43]从金鲳鱼鱼头中提取磷脂并用于制备金鲳鱼鱼头磷脂-姜黄素(curcumin, CUR)脂质体(GPL-lipo),得出在55℃,体系PBS体积20 mL、 $V_{GPL}:V_{胆固醇}$ 为2.5:1.0、 $V_{GPL}:V_{CUR}$ 为30:1的条件下制备脂质体,其包埋率可达87.53%。金鲳鱼的内脏、骨骼和肌肉中的脂质组成独特,与人乳脂肪非常相似,表明其在制备人乳脂肪替代品方面具有较大的潜力^[44]。金鲳鱼鱼骨鱼油主要由C₁₂~C₂₂脂肪酸组成,其不饱和脂肪酸含量高于饱和脂肪酸,其中亚油酸含量最高。且鱼骨鱼油中富含 α -亚麻酸、DHA,还存在少量的EPA和DPA。目前,常见的金鲳鱼优质高效提取方法有酶解法、稀碱水解法和超声波辅助稀碱水解法等^[45-46],该研究成果为鱼油的高值化利用(鱼脂酸丸、鱼油软胶囊、n-3鱼油脂肪乳注射液等)提供了技术基础。

2.3 有机钙制备及高值化利用

鱼骨主要由水分、蛋白质、脂质、灰分及碳水化合物组成,富含人体所需的矿物质、骨胶原、软骨素、蛋白质、氨基酸等多种营养成分^[5],其中,钙含量可达4 000 mg/100 g,是优质的钙、磷强化剂。同时,有机钙制备和高值化利用是近年来水产品加工副产物高值化利用的热点与难点。鱼骨钙的常见提取制备方法有球磨法、酶解法、酸法、醇碱法、电场辅助法等,所得复合钙制剂主要分为氨基酸钙、有机酸钙、肽钙、脂肪酸钙等种类。目前,金鲳鱼鱼骨下脚料主要被用作鱼粉饲料的加工,虽然这些新技术在金鲳鱼下脚料开发有机钙的应用中鲜见报道,但是随着金鲳鱼加工市场的发展,鱼骨下脚料高值化利用具有较好的应用前景。

2.4 生物酶提取及高值化利用

目前,通常采用磷酸盐浸提、硫酸铵分级沉淀、离子或凝胶层析过滤等工艺从金鲷鱼内脏中提取纯化内脏蛋白酶^[3]。张培等^[47]通过不同抑制剂对内脏酸性蛋白酶活性的影响,鉴定出内脏酸性蛋白酶为天冬氨酸蛋白酶类,该酶与碱性蛋白酶和木瓜蛋白酶相似,用于酶解罗非鱼鱼皮明胶的酶解性能优于猪胃蛋白酶。肖鑫鑫等^[1]从金鲷鱼内脏中提取到的蛋白酶,可应用于罗非鱼鱼鳞胶原的提取、虾青素的提取、虾壳抗氧化肽的制备等。因此,金鲷鱼内脏蛋白酶在提取胶原方面的应用有待深入研究。关于金鲷鱼内源性生物酶的基础研究已有一定的成果,开发更多性能优良的食品工业酶制剂是未来研究的重要方向,为进一步开发及应用提供依据,也为食品工业高质量发展提供了有力保障。

3 结语

当前,水产深加工产品深受消费者的喜爱,但是金鲷鱼精深加工产品种类相对较少,仍以鱼糜制品、调制食品(腌制、风干)等为主。因此,应该鼓励多元化发展精深加工,提高水产品加工率,扩大精深加工规模,推动水产品高值化综合利用;应该鼓励加工业向海洋生物制药、功能食品和海洋化工等领域延伸,有力推动金鲷鱼加工业向更高层次、更大规模的方向发展。此外,国内科研机构和企业也正在研究如何将金鲷鱼与预制菜相结合,探索其可行性。预制菜的出现,将给金鲷鱼产业带来更多的可能。

参考文献

- [1] 肖鑫鑫. 金鲷鱼内脏酸性蛋白酶的分离及部分酶学性质和应用研究[D]. 海口: 海南大学, 2016: 29-31.
XIAO X X. Study on the isolation of golden pompano visceral acid proteinase and enzymatic properties and application[D]. Haikou: Hainan University, 2016: 29-31.
- [2] 刘建村, 王桦. 广东省金鲷鱼产业发展及对策探究[J]. 广东蚕业, 2023, 57(7): 107-110.
LIU J C, WANG Y. An inquiry into the development countermeasures of the golden pomfret industry in Guangdong Province[J]. Guangdong Canye, 2023, 57(7): 107-110.
- [3] 李川, 段振华. 金鲷鱼加工技术与综合利用研究进展[J]. 肉类研究, 2018, 32(2): 77-81, 8.
LI C, DUAN Z H. Technological progress and comprehensive utilization of golden pompano[J]. Meat Research, 2018, 32(2): 77-81, 8.
- [4] 杜欢. 金鲷鱼人工诱导休眠协同生态冰温保活运输技术研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2022: 11-19.
DU H. Study on artificial induced dormancy combined with ecological ice temperature keeping alive transportation technology of golden pomfret (*Trachinotus ovatus*) [D].

- Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2022: 11-19.
- [5] 张坤. 金鲷鱼低温有水保活技术研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2022: 10-25.
ZHANG K. Study on the keep-alive technology for golden pompano (*Trachinotus ovatus*) with low temperature and water [D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2022: 10-25.
- [6] 范兴. 麻醉对罗非鱼和金鲷鱼离水保活的影响[D]. 南宁: 广西大学, 2014: 9-17.
FAN X. Effect of anesthetic on transporting live tilapia and golden pompano without water[D]. Nanning: Guangxi University, 2014: 9-17.
- [7] 巩涛硕, 蓝蔚青, 王蒙, 等. 不同冻结方式对金鲷鱼水分、组织结构与品质变化的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(23): 213-219.
GONG T S, LAN W Q, WANG M, et al. Effects of different freezing methods on water state, tissue structure and quality changes of trachinotus ovatus[J]. Food Science, 2019, 40(23): 213-219.
- [8] 杨作苗. 液氮速冻方式保持金鲷鱼肌肉品质的研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2022: 44-61.
YANG Z M. Study of liquid nitrogen quick-freezing methods to maintain the muscle quality of golden pompano (*Trachinotus ovatus*) [D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2022: 44-61.
- [9] YANG Z, LIU S, SUN Q, et al. Insight into muscle quality of golden pompano (*Trachinotus ovatus*) frozen with liquid nitrogen at different temperatures[J]. Food Chemistry, 2022, 374: 131737.
- [10] ZHOU J, DONG X, KONG B, et al. Effects of magnetic field-assisted immersion freezing at different magnetic field intensities on the muscle quality of golden pompano (*Trachinotus ovatus*) [J]. Food Chemistry, 2023, 407: 135092.
- [11] 张铁涛, 武天明, 徐云升. 超高压处理对金鲷鱼肉品质的影响[J]. 食品工业, 2022, 43(4): 142-146.
ZHANG T T, WU T M, XU Y S. Effects of ultrahigh pressure on the quality of golden pomfret meat[J]. The Food Industry, 2022, 43(4): 142-146.
- [12] 李芮, 宋雅琪, 周丹丹, 等. 等离子体活化水对鲜切莲藕杀菌及保鲜的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2023, 42(10): 30-40.
LI R, SONG Y Q, ZHOU D D, et al. Effects of Plasma-activated water on sterilization and preservation of fresh-cut lotus root[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2023, 42(10): 30-40.
- [13] 王佳媚, 彭菲, 符腾飞. 不同低温等离子体处理条件对金鲷鱼品质影响[J]. 食品工业, 2020, 41(9): 30-34.
WANG J M, PENG F, FU T F. Effect of different cold plasma treatment conditions on quality of *Trachinotus ovatus*[J]. The Food Industry, 2020, 42(9): 30-34.
- [14] SITU H Y, LI Y M, GAO J L, et al. Effects of cold atmospheric plasma on endogenous enzyme activity and muscle protein oxidation in *Trachinotus ovatus*[J]. Food

- Chemistry, 2023, 407: 135119.
- [15] 陈秋翰, 杨学博, 刘美娇, 等. 减菌预处理对金鲳鱼冷藏品质变化的影响[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(23): 246-253.
CHEN Q H, YANG X B, LIU M J, et al. Effect of sterilization pretreatments on the quality of *Trachinotus ovatus* during frozen storage[J]. Food and Fermentation Industries, 2023, 49(23): 246-253.
- [16] GAO M S, FENG L F, JIANG T J, et al. The use of rosemary extract in combination with Nisin to extend the shelf life of pompano (*Trachinotus ovatus*) fillet during chilled storage[J]. Food Control, 2014, 37: 1-8.
- [17] 王者, 关荣发, 刘振峰, 等. 溶菌酶脂质体对冷藏金鲳鱼保鲜效果的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(11): 227-232.
WANG Z, GUAN R F, LIU Z F, et al. Effect of lysozyme liposomes on *Trachinotus ovatus* preservation[J]. Food Science, 2018, 39(11): 227-232.
- [18] 王佳媚, 符腾飞, 刘雅夫. 不同气调包装组分协同壳聚糖基复合涂膜对金鲳鱼冷藏品质的影响[J]. 肉类研究, 2021, 35(1): 59-65.
WANG J M, FU T F, LIU Y F. Combined effects of modified atmosphere packaging with different gas compositions and chitosan-based composite coatings on quality of *Trachinotus ovatus* during refrigerator storage[J]. Meat Research, 2021, 35(1): 59-65.
- [19] 刘蒙佳, 周强, 蔡利, 等. 丁香精油抑菌保鲜衬垫协同气调包装对金鲳鱼品质影响[J]. 上海交通大学学报(农业科学版), 2019, 37(6): 164-170, 181.
LIU M J, ZHOU Q, CAI L, et al. Effect of clove essential oil antibacterial and fresh-keeping padcooperativr with modified at mosphere packaging on quality of *Trachinotus ovatus*[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University (Agricultural Science), 2019, 37(6): 164-170, 181.
- [20] 张涵. 聚赖氨酸复合涂膜协同气调包装对金鲳鱼冷藏保鲜效果作用研究[D]. 海口: 海南大学, 2019: 7-18.
ZHANG H. Fresh-keeping effects of polylysine composite coating with modified atmosphere packaging on *Trachinotus blochii*[D]. Haikou: Hainan University, 2019: 7-18.
- [21] 于淑池, 林美君, 王睿迪, 等. 冷藏真空包装金鲳鱼片复合生物保鲜剂配方优化[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(18): 98-104.
YU S C, LIN M J, WANG R D, et al. Optimization of compound biological preservative formulations for vaccum packing golden pompano filets[J]. Food Research and Development, 2020, 41(18): 98-104.
- [22] 裴志胜, 文攀, 王卉, 等. 微胶囊化高良姜精油对冷藏金鲳鱼鱼糜的保鲜效果及凝胶特性影响[J]. 食品科技, 2018, 43(2): 167-170.
PEI Z S, WEN P, WANG H, et al. Preservation effect and gel properties of galangal oil microencapsulated on the *Trachinotus ovatus* surimi during chilled storage[J]. Food Science and Technology, 2018, 43(2): 167-170.
- [23] 裴志胜, 薛长风, 文攀, 等. 芋头添加物对金鲳鱼鱼糜凝胶的影响[J]. 肉类研究, 2019, 33(11): 12-17.
PEI Z S, XUE C F, WEN P, et al. Effect of taro additives on gel properties of *Trachinotus ovatus* surimi[J]. Meat Research, 2019, 33(11): 12-17.
- [24] 周佳滢, 胡之恒, 黄佳茵, 等. 基于蛋白质结构和理化性质的鱼糜蛋白—油脂相互作用[J]. 食品科学, 2023, 44(8): 55-61.
ZHOU J Y, HU Z H, HUANG J Y, et al. Understanding surimi protein-lipid interaction based on protein structure and physicochemical properties[J]. Food Science, 2023, 44(8): 55-61.
- [25] 刘雅玲, 刘阳, 夏秋瑜, 等. 马铃薯淀粉改善金鲳鱼鱼糜3D可打印性研究[J]. 食品与发酵工业, 2024, 50(12): 195-201.
LIU Y L, LIU Y, XIA Q Y, et al. Study on improving 3D printability of surimi from golden pompano (*Trachinotus ovatus*) with potato starch[J]. Food and Fermentation Industries, 2024, 50(12): 195-201.
- [26] LIU Y, SUN Q X, WEI S, et al. Insight into the correlations among rheological behaviour, protein molecular structure and 3D printability during the processing of surimi from golden pompano (*Trachinotus ovatus*) [J]. Food Chemistry, 2022, 371: 131046.
- [27] 李茹, 刘阳, 朱永康, 等. 响应面优化高密度CO₂诱导金鲳鱼鱼糜凝胶化的工艺[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(13): 198-204.
LI R, LIU Y, ZHU Y K, et al. Optimization of gelation process of surimi from *Trachinotus ovatus* induced by dense phase carbon dioxide using response surface methodology[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(13): 198-204.
- [28] QIU Y J, WU Y Y, LI L H, et al. Elucidating the mechanism underlying volatile and non-volatile compound development related to microbial amino acid metabolism during golden pomfret (*Trachinotus ovatus*) fermentation[J]. Food Research International, 2022, 162: 112095.
- [29] WANG H F, WU Y Y, XIANG H, et al. UHPLC-Q-exactive orbitrap MS/MS-based untargeted lipidomics reveals molecular mechanisms and metabolic pathways of lipid changes during golden pomfret (*Trachinotus ovatus*) fermentation[J]. Food Chemistry, 2022, 396: 133676.
- [30] 陈昊文, 吕正孟, 黄家宝, 等. 即食金鲳鱼干生产工艺研究[J]. 粮食与油脂, 2024, 37(1): 85-89, 98.
CHEN H W, LU Z M, HAUNG J B, et al. Study on the production technology of instant dried golden pomfret[J]. Cereal & Oil, 2024, 37(1): 85-89, 98.
- [31] QIU D, DUAN R, WANG Y, et al. Effects of different drying temperatures on the profile and sources of flavor in semi-dried golden pompano (*Trachinotus ovatus*) [J]. Food Chemistry, 2023, 401: 134112.
- [32] 裴志胜, 冯紫蓝, 王会博, 等. 金鲳鱼肌原纤维蛋白乳液凝胶

- 的制备及表征[J]. 食品工业科技, 2023, 44(6): 201-208.
- PEI Z S, FENG Z L, WANG H B, et al. Preparation and characterization of *Trachinotus ovatus* myofibrillar protein emulsion gel[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(6): 201-208.
- [33] 宿华林, 吴迪, 孙爽, 等. 超声辅助乳化对金鲳鱼蛋白-茶皂苷复合稳定 O/W 乳液乳化和流变特性的影响[J/OL]. 中国油脂. (2024-03-06) [2024-07-09]. <https://doi.org/10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.220746>.
- SU H L, WU D, SUN S, et al. Effect of ultrasound-assisted emulsification on emulsification and rheological properties of golden pompano protein-tea saponins composite (O/W) emulsion[J/OL]. China Oils and Fats. (2024-03-06) [2024-07-09]. <https://doi.org/10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.220746>.
- [34] 邱惠, 王新, 段伟文, 等. 金鲳鱼小清蛋白的纯化及其结构与性质分析[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(12): 215-220.
- QIU H, WANG X, DUAN W W, et al. Purification, structure, and property analysis of parvalbumin from *Trachinotus ovatus* [J]. Food and Fermentation Industries, 2023, 49(12): 215-220.
- [35] 杨代明, 王建辉, 曾贤明, 等. 从共享湘菜理论出发探讨预制菜产业健康发展的问题与对策[J]. 食品与机械, 2023, 39(4): 1-8.
- YANG D M, WANG J H, ZENG X M, et al. Analysis of problems and countermeasures on the high quality development of the prepared dishes industry based on the share theory of Hunan cuisine[J]. Food & Machinery, 2023, 39(4): 1-8.
- [36] 陈薇, 王佳欣, 邵一弘. 打开“粤海粮仓”新蓝海[N]. 南方日报, 2023-08-24(A07).
- CHEN W, WANG J X, SHAO Y H. Open the new blue ocean of "Guangdong granary"[N]. Nanfang Daily, 2023-08-24(A07).
- [37] 于淑池, 卓珊珊, 徐云升, 等. 金鲳鱼加工副产物中碱性蛋白的提取及性质测定[J]. 食品工业科技, 2020, 41(20): 188-193.
- YU S C, ZHUO S S, XU Y S, et al. Extraction and characterization of alkali-soluble protein from by-products in *Trachinotus ovatus* processing[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(20): 188-193.
- [38] 于淑池, 赖卓慧. 金鲳鱼骨明胶的提取工艺及性质研究[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(3): 159-165.
- YU S C, LAI Z H. Study on extraction technology and properties of gelatin from golden pompano bones[J]. Food Research and Development, 2020, 41(3): 159-165.
- [39] CAO J, DUAN Q, LIU X, et al. Extraction and physicochemical characterization of pepsin soluble collagens from golden pompano (*Trachinotus blochii*) skin and bone[J]. Journal of Aquatic Food Product Technology, 2019, 28(8): 837-847.
- [40] DENG X F, LIN H, ISHFAQ A, et al. Isolation and identification of the umami peptides from *Trachinotus ovatus* hydrolysate by consecutive chromatography and Nano-HPLC-MS/MS[J]. LWT, 2021, 141: 110887.
- [41] HOU M F, XIANG H, HU X, et al. Novel potential XOD inhibitory peptides derived from *Trachinotus ovatus*: isolation, identification and structure-function analysis[J]. Food Bioscience, 2022, 47: 101639.
- [42] 王正云, 刘子潇, 展跃平. 超声波辅助酶法提取草鱼内脏鱼油工艺优化及脂肪酸组成分析[J]. 食品与机械, 2023, 39(9): 190-195.
- WANG Z Y, LIU Z X, ZHAN Y P. Study on ultrasonic assisted enzymatic extraction of grass carp visceral oil and analysis of its fatty acid composition[J]. Food & Machinery, 2023, 39(9): 190-195.
- [43] 高霞. 金鲳鱼鱼头磷脂-姜黄素脂质体的制备、表征及抗炎活性评价[D]. 海口: 海南大学, 2021: 13-14.
- GAO X. Preparation, characterization and anti-inflammatory activity evaluation of golden pompano fish head phospholipids encapsulated with curcumin[D]. Haikou: Hainan University, 2021: 13-14.
- [44] CHENG X Y, ZHAO X C, YANG Z Z, et al. Chemical characterization of *Trachinotus ovatus* oil for its potential application as human milk fat substitute[J]. Food Bioscience, 2021, 42: 101175.
- [45] 于淑池, 李晨晨, 徐云升, 等. 金鲳鱼骨中鱼油的提取工艺及脂肪酸成分分析[J]. 食品工业, 2021, 42(3): 147-152.
- YU S C, LI C C, XU Y S, et al. Extraction technology of oil from *Trachinotus ovatus* bone and analysis on its fatty acids composition[J]. The Food Industry, 2021, 42(3): 147-152.
- [46] 郝丽萍. 金鲳鱼内脏油的提取精制及微胶囊化的研究[D]. 海口: 海南大学, 2020: 4-6.
- HAO L P. Extraction refining and micro-encapsulation of fish oil from golden pomfret viscera[D]. Haikou: Hainan University, 2020: 4-6.
- [47] 张培, 申铨日, 李川, 等. 金鲳鱼内脏酸性蛋白酶的分离纯化及酶学性质研究[J]. 食品工业科技, 2017, 38(2): 210-214.
- ZHANG P, SHEN X R, LI C, et al. Isolation, purification and enzymatic characterization of acid protease from golden pompano viscera[J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(2): 210-214.