

金枪鱼红肉抗氧化肽制备及功能性肽饮料 配方优化

张俊杰¹, 缪文华^{1*}, 苏浩恩¹, 田浩杨¹, 徐婕¹, 潘春飞², 胡艺³, 郑斌^{1*}

(1. 浙江海洋大学食品与药学学院, 舟山 316022; 2. 浙江冠素堂食品有限公司, 舟山 316000;
3. 浙江恒和食品有限公司, 舟山 316000)

摘要: **目的** 制备金枪鱼红肉抗氧化肽, 并以此抗氧化肽为原料开发一款功能性肽饮料。**方法** 以金枪鱼红肉为原料, 选用复合蛋白酶、碱性蛋白酶、中性蛋白酶、风味蛋白酶和胰蛋白酶 5 种蛋白酶对其进行水解, 以水解度为指标筛选适合的蛋白酶, 对水解度最高的酶解产物进行抗氧化活性分析, 并使用还原糖、柠檬酸、乙基麦芽酚、 β -环状糊精对金枪鱼酶解液进行风味调配, 并通过正交优化其配方。**结果** 复合蛋白酶酶解物的水解度最高为 16.73%, 酶解液具有良好的抗氧化活性。通过正交实验获得的金枪鱼肽饮料最佳配方为还原糖添加量 10%、柠檬酸添加量 0.6%、 β -环状糊精添加量 0.5 mg/mL、乙基麦芽酚添加量 0.06%, 该饮料理化指标和微生物指标符合国家标准, 饮料总氨基酸含量为 5.264 g/100 g, 必需氨基酸/总氨基酸和必需氨基酸/非必需氨基酸均接近蛋白质理想模式, 抗氧化氨基酸占总氨基酸含量的 50.03%, 表明产品具有良好的抗氧化能力。**结论** 本研究通过复合蛋白酶酶解获得了金枪鱼红肉抗氧化肽, 并以此为原料开发了一款抗氧化功能肽饮料, 可为金枪鱼红肉功能肽的制备及功能肽产品的开发提供参考。

关键词: 金枪鱼红肉; 鱼蛋白水解物; 抗氧化活性; 肽饮料; 正交优化

Preparation of *Thunnus* dark meat antioxidant peptide and optimization of functional peptide drink formulation

ZHANG Jun-Jie¹, MIAO Wen-Hua^{1*}, SU Hao-En¹, TIAN Hao-Yang¹, XU Jie¹,
PAN Chun-Fei², HU Yi³, ZHENG Bin^{1*}

(1. Department of Food and Pharmacy, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China; 2. Zhejiang Guan Su Tang Foods Co., Ltd., Zhoushan 316000, China; 3. Zhejiang Heng Ho Food Co., Ltd., Zhoushan 316000, China)

ABSTRACT: Objective To prepare *Thunnus* dark meat antioxidant peptide, and develop a functional peptide drink based on this antioxidant peptide. **Methods** The *Thunnus* dark meat was hydrolyzed with 5 kinds of proteases, namely, complex protease, alkaline protease, neutral protease, flavor protease and trypsin. Screening of suitable proteases by hydrolysis degree and analysis of antioxidant activity of the enzyme product with the highest degree of

基金项目: 舟山市普陀区科技计划项目(2022JH011)

Fund: Supported by the Science and Technology Project of Putuo District, Zhoushan City (2022JH011)

*通信作者: 缪文华, 博士, 副研究员, 主要研究方向为海洋水产品蛋白质改性及性质研究、海洋蛋白质资源综合利用与精加工等。

E-mail: miaowenhua@zjou.edu.cn

郑斌, 博士, 研究员, 主要研究方向为海洋生物资源开发与利用、营养健康食品制造等领域。E-mail: zhengb@zjou.edu.cn

*Corresponding author: MIAO Wen-Hua, Ph.D, Associate Professor, Department of Food and Pharmacy, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China. E-mail: miaowenhua@zjou.edu.cn

ZHENG Bin, Ph.D, Professor, Department of Food and Pharmacy, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China.

E-mail: zhengb@zjou.edu.cn

hydrolysis. The *Thunnus* enzymatic solution was flavored with reducing sugar, citric acid, ethyl maltol, and β -cyclodextrin to preparation a *Thunnus* peptide beverage with high antioxidant activity, and the formula was optimized by orthogonal method. **Results** The highest hydrolysis degree of the complex protease enzymolysis was 16.73%, and the hydrolytic solution had good antioxidant activity. The best formulation of *Thunnus* peptide drink was determined by orthogonal test: 10% reducing sugar addition, 0.6% citric acid addition, 0.5 mg/mL β -cyclodextrin addition, 0.06% of ethyl maltol addition. The beverage physical, chemical and microbiological indicators in line with national standards, the total amino acid content of the beverage was 5.264 g/100 g. Both the essential amino acids/total amino acids and essential amino acids/non-essential amino acids were close to the ideal pattern of protein, and the antioxidant amino acids accounted for 50.03% of the total amino acid content, indicating that the product had good antioxidant ability. **Conclusion** In this study, antioxidant peptides from *Thunnus* dark meat have been obtained by enzymolysis of complex protease, and an antioxidant functional peptide drink has been developed from this material, which can provide references for the preparation of *Thunnus* dark meat functional peptides and the development of functional peptide products.

KEY WORDS: *Thunnus* dark meat; fish protein hydrolysate; antioxidant activity; peptide beverage; orthogonal optimization

0 引言

生物活性肽是指一类具有特殊生理作用的蛋白质片段, 其种类繁多, 结构复杂, 通常含有 2~20 个氨基酸残基, 分子量小于 6000 Da^[1], 通过不同的排列组合方式, 可构成简单的二肽到具有复杂结构的多肽。生物活性肽具有增强免疫、抗病毒、抗氧化等功效, 对人体无毒无害, 在调节人体生理健康和细胞代谢中起重要作用。与蛋白质不同, 生物活性肽分子量小, 易被人体消化吸收和利用、特异性强、副作用小。生物活性肽在人体内的吸收机制优于普通氨基酸, 避免了与游离氨基酸转运过程中电荷的相互竞争^[2], 而且具有游离氨基酸无法比拟的生理活性^[3]。目前, 从食物中获取生物活性肽成为国内外研究热点, 生物活性肽也成为开发功能性食品、营养保健品等产品的重要资源^[4]。

金枪鱼(*Thunnus*)属于脊索动物门, 硬骨鱼纲, 鲈形目, 鲭科^[5], 具有蛋白含量高、脂肪含量低的特点, 富含二十碳五烯酸、二十二碳六烯酸和多种必需氨基酸^[6]。然而金枪鱼红肉肉质粗糙、腥味重、口感酸涩, 在加工过程中往往被丢弃或用来制作饲料鱼粉, 研究表明, 红肉营养丰富, 其含有的粗蛋白占整个鱼体质量的 21%^[7], 是开发生物活性肽的重要资源。

酶解是利用高活性的生物酶将生物大分子分解成小分子的技术, 此技术是获取生物活性肽最温和的方法, 并且所获得的酶解产物往往具有多种活性^[8], 酶解可以创造出比母蛋白更高生物活性和营养价值的产品, 是实现制药和保健食品工业价值的主要方法^[9]。刘丽君等^[10]利用木瓜蛋白酶酶解鱼鳔蛋白制备出感官指标、卫生指标等均符合饮料要求的胶原蛋白肽饮料; 陈嘉钰^[11]使用复合蛋白酶酶

解海参获得海参酶解液, 配合红糖、蜂蜜等材料制备出具有一定营养价值海参肽饮品。在现有的研究当中, 通常使用金枪鱼普通肉^[12]、鱼皮^[13]、鱼骨^[14]进行制备生物活性肽, 而使用金枪鱼红肉为原料提取生活活性肽并开发供能产品的研究较少, 金枪鱼红肉中含有丰富蛋白质^[15], 是制备活性肽及开发功能产品的良好原料^[16]。因此, 本研究以金枪鱼红肉为原料, 根据抗氧化肽的结构性质, 使用复合蛋白酶、碱性蛋白酶、中性蛋白酶、风味蛋白酶和胰蛋白酶 5 种蛋白酶对金枪鱼红肉进行水解, 以酶解液的水解度为指标筛选金枪鱼红肉最佳水解蛋白酶, 并测定酶解液的 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)自由基清除率、羟自由基清除率、总抗氧化能力和还原力, 以获得具有抗氧化活性的酶解物, 最后对金枪鱼红肉酶解液进行风味调配, 采用正交优化功能肽饮料配方, 开发一款具有抗氧化活性的营养功能性肽饮料产品, 为金枪鱼红肉功能肽的制备及功能肽产品的开发提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

冷冻金枪鱼红肉购于浙江兴业集团有限公司, 用泡沫箱包装并在 1 h 内运回实验室, 置于-30℃冰箱冻藏保存。

碱性蛋白酶(200000 U/g)、复合蛋白酶(400000 U/g)、中性蛋白酶(100000 U/g)、风味蛋白酶(20000 U/g)、胰蛋白酶(250000 U/g)、邻苯二甲醛(*O*-phthalaldehyde, OPA)(纯度 ≥98%)、二硫代苏糖醇(dithiothreitol, DTT)、十二烷基硫酸钠(sodium dodecyl sulfate, SDS)、丝氨酸(纯度 99%)(上海源叶生物科技有限公司); 铁氰化钾、三氯乙酸(国药

集团化学试剂有限公司); 羟自由基测试盒、DPPH 自由基清除能力试剂盒、总抗氧化能力 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, ABTS]法检测试剂盒(南京建成生物工程研究所); 还原糖、柠檬酸、 β -环状糊精、乙基麦芽酚(食品级, 睢县甘淳商贸有限公司)。

1.2 仪器与设备

ATY224 电子天平(精度 0.1 mg, 上海岛津企业管理有限公司); HH-4 恒温水浴锅(上海巴玖实业有限公司); FP3010 食品搅拌机(德国博朗公司); DHG-9053A 恒温干燥箱(上海和呈仪器有限公司); K12 全自动凯氏定氮仪(上海晟声自动化分析仪器有限公司); P3 型紫外分光光度计(尤尼柯仪器有限公司); SpectraMax-M2 多功能酶标仪(上海美谷分子仪器有限公司); H1750R 台式高速离心机(湘潭湘仪仪器有限公司)。

1.3 方法

1.3.1 金枪鱼红肉酶解液的制备

将解冻的金枪鱼红肉以料液比 1:1.5 (g:mL)加入纯水后用搅拌机充分绞碎匀浆, 将装有红肉匀浆的烧杯放入 95℃恒温水浴锅中蒸煮 0.5 h 后冷却至室温, 使用风味蛋白酶、碱性蛋白酶、复合蛋白酶、中性蛋白酶和胰蛋白酶在对应最佳条件(表 1)下对金枪鱼红肉酶解 4 h, 反应完成后, 调节水浴锅温度至 95℃, 灭酶 15 min, 冷却, 用离心机以 10000 r/min, 4℃的条件离心 10 min, 收集上清液, 得到金枪鱼酶解液, 4℃下备用。

表 1 蛋白酶酶解条件
Table 1 Enzymatic conditions of proteases

蛋白酶	最佳反应条件	
	温度/℃	pH
风味蛋白酶	55	7.0
碱性蛋白酶	55	9.0
复合蛋白酶	55	7.0
中性蛋白酶	55	7.0
胰蛋白酶	37	7.0

1.3.2 水解度测定

水解度的测定采用 OPA 法, 具体方法参考齐宝坤等^[17]的方法并做改进。将 160 mg OPA 溶解于 4 mL 无水乙醇中, 制备成 OPA-乙醇溶液。将 OPA-乙醇溶液和 176 mg DTT 添加到由 7.620 g 硼砂和 200 mg SDS 配制的 150 mL 溶液中, 并定容至 200 mL 得到 OPA 试剂, 避光保存备用。取 400 μ L 金枪鱼酶解液与 3 mL OPA 试剂混匀, 静置 2 min 后, 在 340 nm 处测量吸光度值。用同样的方法测定丝氨酸标准品的吸光度, 空白实验采用去离子水代替酶解液, 每组做 3

个平行。其水解度的计算公式如(1)所示:

$$DH = h/h_{\text{tot}} \times 100\% = (N - N_0)/C \times 1/h_{\text{tot}} \times 100\% \quad (1)$$

式中, DH 代表水解度, %; h 代表水解后每克蛋白被裂解的肽毫摩尔数, mmol/g; C 代表底物蛋白质的质量浓度, g/L; N 、 N_0 代表水解液和对照氨基酸浓度, mmol/mL; 根据丝氨酸标准曲线得到; h_{tot} 代表蛋白完全水解释放的肽键含量, 经验值取 8.8 mmol/g^[18]。

1.3.3 体外抗氧化活性检测

(1) DPPH 自由基的清除活性

参照唐鹏杰^[19]的方法并稍加修改。对照组取 1 mL 金枪鱼酶解液加入 1 mL 80%甲醛混合均匀; 空白组取 1 mL 80%甲醛溶液加入 1 mL 0.1 mmol/L DPPH 溶液混合均匀; 样品组取 1 mL 金枪鱼酶解液加入 1 mL 0.1 mmol/L DPPH 溶液混合均匀。将 3 组反应管静置于 25℃下避光反应 30 min, 反应后以 4000 r/min 离心 5 min, 用紫外分光光度计在 517 nm 处测定各管吸光度, 用 80%甲醇溶液调零, 每组做 3 个平行。DPPH 自由基清除率计算如公式(2)所示:

$$S_1 = 1 - \frac{A_2 - A_0}{A_1} \times 100\% \quad (2)$$

式中, S_1 代表 DPPH 自由基清除率, %; A_0 代表对照组的吸光度值; A_1 代表空白组的吸光度值; A_2 代表样品组的吸光度值。

(2) 羟自由基清除率测定

羟自由基清除能力根据羟自由基测定试剂盒进行实验。用同质量浓度的抗坏血酸作为阳性对照。羟自由基清除率的计算公式如(3)所示:

$$S_2 = 1 - \frac{A_s - A_n}{A_b - A_n} \times 100\% \quad (3)$$

式中, S_2 代表羟自由基清除率, %; A_s 代表样品组的吸光度值; A_b 代表空白组的吸光度值; A_n 代表对照组的吸光度值。

(3) 总抗氧化能力

总抗氧化活性测定根据总抗氧化能力测定试剂盒中 ABTS 法进行测定。其结果用 Trolox 当量表示。

(4) 还原力测定

参考王智伟等^[20]的方法并稍加修改。将 2 mL 磷酸盐缓冲液(pH 6.6)与 2.5 mL 质量浓度 1.0%铁氰化钾溶液加到含 1 mL 金枪鱼酶解液试管内, 搅拌均匀在 50℃水浴反应 20 min。反应结束后待试管冷却, 继续加入 2.5 mL 质量浓度为 10.0%的三氯乙酸溶液, 混匀后置于离心机中以 3000 r/min 离心 10 min。取离心后上清液 2.5 mL 并加入同体积的蒸馏水混匀, 加入质量浓度为 0.1%三氯化铁 0.5 mL 室温反应 10 min, 用紫外分光光度计在 700 nm 条件下测定吸光度。

1.3.4 金枪鱼红肉肽饮料配方实验方法

(1) 单因素实验

金枪鱼酶解液在不添加任何添加剂的情况下制备的饮料, 其组织状态、气味、口感和色泽上存在不稳定性, 为

为了让金枪鱼肽饮料的风味更容易让人接受, 提升其营养价值, 在尽量保持金枪鱼肽饮料原有的风味上, 对金枪鱼肽饮料进行工艺优化, 固定还原糖添加量 15%、柠檬酸添加量 0.6%、 β -环状糊精添加量 0.3%、乙基麦芽酚添加量 0.06%, 以制备 20 mL 饮料为标准, 探究不同质量分数的还原糖(5%、10%、15%、20%、25%)、柠檬酸(0.2%、0.4%、0.6%、0.8%、1.0%)、 β -环状糊精(0.1、0.2、0.3、0.4、0.5 mg/mL)、乙基麦芽酚(0.02%、0.04%、0.06%、0.08%、0.1%) 4 种添加剂对金枪鱼肽饮料的感官品质和评分的影响。

(2) 正交实验设计

根据金枪鱼肽饮料单因素实验结果设计 4 因素 2 水平 $L_9(3^4)$ 正交实验, 以确定金枪鱼肽饮料的最佳工艺配方。实验设计因素水平表如表 2。

表 2 饮料配方正交因素水平表
Table 2 Beverage formulation orthogonal factor levels

水平	因素			
	A 还原糖/%	B 柠檬酸/%	C β -环状糊精/(mg/mL)	D 乙基麦芽酚/%
1	5	0.4	0.3	0.06
2	10	0.6	0.4	0.08
3	15	0.8	0.5	0.10

1.3.5 感官评价

选取 20 名专业人员组成评定小组, 对制备的金枪鱼肽饮料从以下 4 个方面进行感官评定, 根据 GB 7101—2022《食品安全国家标准 饮料》中感官要求, 并适当修改张梅超^[21]的方法, 制定金枪鱼肽饮料评分标准, 详见表 3。

表 3 金枪鱼肽饮料感官评定标准
Table 3 *Thunnus* peptide beverage sensory evaluation standards

指标(100)	评分标准	得分
组织状态 (20分)	质地均匀, 无沉淀和分层	15~20
	质地均匀, 稍有沉淀和分层	8~14
	质地不均匀, 大量沉淀和分层	0~7
气味 (25分)	有较少海鲜味, 无腥味和异味	19~25
	有较少海鲜味, 较小腥味	13~18
	无海鲜味, 腥味重且有异味	0~12
口感 (35分)	口感细腻, 甜味适中, 无腥味和苦涩后味	25~35
	口感粘稠, 甜味淡或偏甜, 较少腥味和苦涩后味	14~24
	口感粗糙, 甜味厚腻, 腥味和苦涩后味重	0~13
色泽 (20分)	淡黄色且色泽鲜亮	14~20
	淡黄色, 色泽偏暗	7~13
	黄绿色或褐色, 色泽黯淡	0~6

1.3.6 金枪鱼肽饮料品质评价

对金枪鱼红肉肽饮料进行基础品质指标测定。蛋白质、氨基酸含量分别根据 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》、GB 5009.124—2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》进行测定; 脂肪含量根据 GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》进行测定; 灰分含量根据 GB 5009.4—2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》进行测定, 微生物指标根据 GB 7101—2015《食品安全国家标准 饮料》中的要求进行测定。

1.4 数据处理

每组实验进行 3 次重复, 结果用平均值 \pm 标准偏差表示。数据结果使用 Excel 2019 进行分析处理, 采用 SPSS Statistics 23 对数据进行显著性分析, $P>0.05$ 表示没有显著差异, $P<0.05$ 表示有显著差异, 使用 Origin 2019 进行绘图。

2 结果与分析

2.1 蛋白酶的筛选

5 种蛋白酶酶解物的水解度结果见图 1, 不同蛋白酶酶解金枪鱼红肉的水解度差异显著, 复合蛋白酶酶解水解度最高, 为 16.73%, 其次是中性蛋白酶和碱性蛋白酶, 分别为 13.25%、11.17%, 风味蛋白酶的水解度最低为 8.13%。其原因在于复合蛋白酶是由内切蛋白酶、外切肽酶及风味蛋白酶复合而成的, 具有较多的切割位点, 因此使得金枪鱼红肉蛋白水解更为彻底, 水解度最大^[22]。不同蛋白酶对

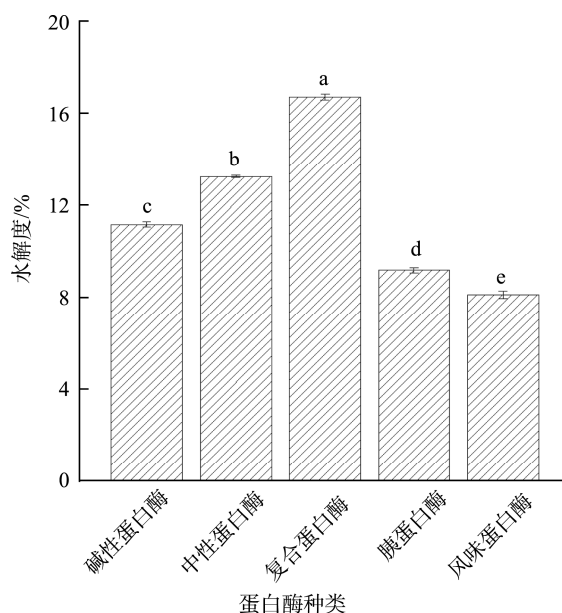


图1 不同蛋白酶对金枪鱼红肉酶解液水解度的影响

Fig.1 Effects of different proteases on the hydrolysis degree of *Thunnus* dark meat enzymatic hydrolysates

金枪鱼红肉酶解的效果不同,其原因可能在于蛋白酶具有专一性,不同蛋白酶的酶切位点不同,导致水解度亦有差异^[23]。水解度越高,水解形成的小分子肽越多^[24],综合考虑,本研究选择复合蛋白酶进行下一步工艺优化与研究。

2.2 酶解液抗氧化活性分析

影响机体抗氧化应激反应及基因突变的主要因素是活性氧和活性氮等小分子原子基团的存在^[25]。在人体中自由基的产生和清除处于一个动态平衡,当自由基在体内积累过多会损伤机体蛋白质、DNA 和脂质过氧体等生物分子,进而引起各种疾病^[26]。抗氧化活性物质可以通过直接与体内的自由基反应、抑制体内自由基产生等形式来发挥作用。为进一步探究复合蛋白酶酶解金枪鱼红肉得到的酶解液的抗氧化活性,本研究进一步分析了其 DPPH 自由基清除活性、羟自由基清除活性、总抗氧化活性及还原性,结果如图 2 所示。随着金枪鱼红肉酶解液质量浓度的升高,其 DPPH 自由基清除率也随之升高,当质量浓度达到 8 mg/mL 时, DPPH 自由基清除率达到 82.04%,金枪鱼红肉酶解液清除 DPPH 自由基的半抑制浓度(median inhibitory concentration, IC₅₀)值为 3.11 mg/mL。羟自由基的清除率与 DPPH 自由基

清除趋势相同,在 0~8 mg/mL 时,羟自由基的清除率随金枪鱼红肉酶解液质量浓度的增加而提高,但均低于抗坏血酸。酶解液质量浓度达到 8 mg/mL 时,羟自由基清除率达到 72.04%,金枪鱼红肉酶解液清除羟自由基的 IC₅₀ 值为 2.38 mg/mL,高于阳性对照(IC₅₀=1.01 mg/mL),但低于鸚乌贼胴体抗氧化肽的 IC₅₀ 值(5.21 mg/mL)^[19]、星鳎抗氧化肽的 IC₅₀ 值(6.53 mg/mL)^[27],表明本研究通过复合蛋白酶酶解的金枪鱼红肉酶解液具有更强的羟自由基清除活性。

总抗氧化能力表示待测样品中抗氧化物质和抗氧化酶等构成的抗氧化能力总和,采用 ABTS 法对其总抗氧化能力进行测定,结果见图 2C。总抗氧化能力随着酶解液质量浓度的增大而呈上升趋势,酶解液质量浓度达到 8 mg/mL 时达到最高,为 0.698 Trolox,表明此酶解液具有一定的抗氧化能力。酶解液对 Fe³⁺还原能力结果见图 2D,吸光度越大表明还原能力越强^[20]。结果显示,金枪鱼红肉酶解液有一定的还原能力,但不如抗坏血酸。该结果与王锐等^[6]对金枪鱼暗色物质酶解液的抗氧化活性测定结果基本相同。综上,金枪鱼红肉酶解液具有较好的抗氧化活性,这为进一步开发抗氧化肽饮料提供可能。

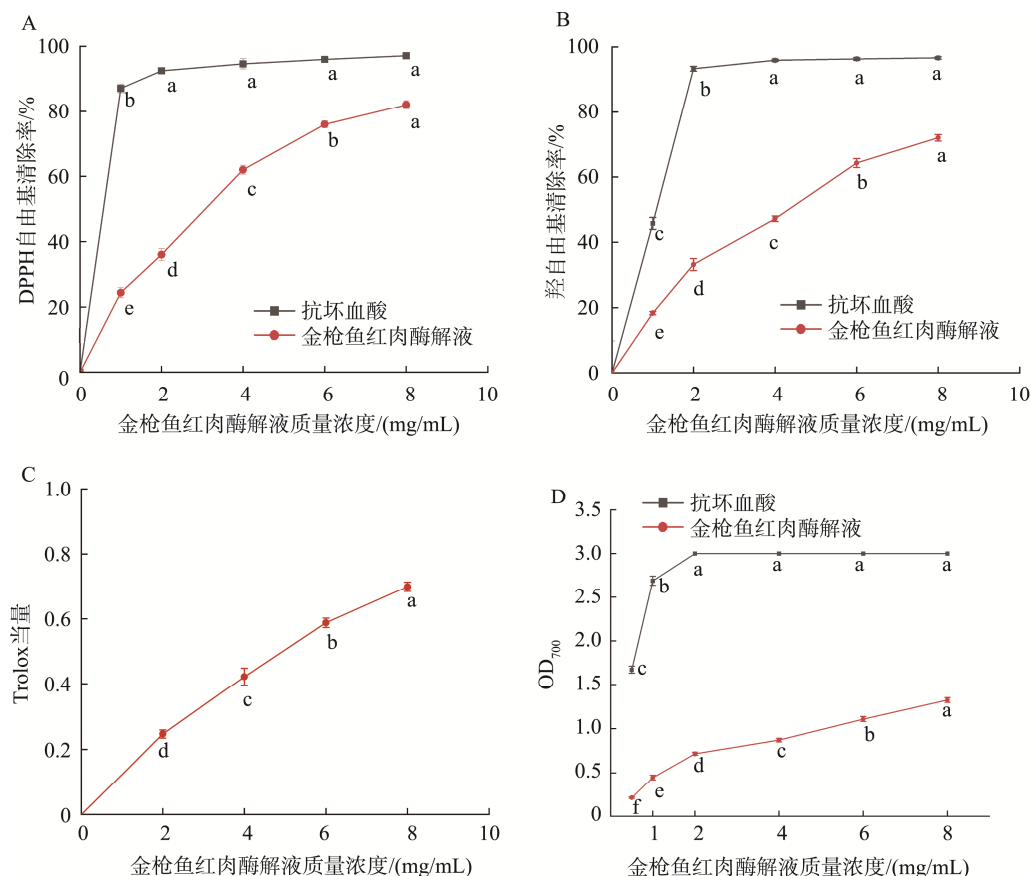


图2 金枪鱼红肉酶解液的体外抗氧化活性

Fig.2 *In vitro* antioxidant activity of *Thunnus* dark meat enzymatic hydrolysates

2.3 金枪鱼肽饮料配方对感官品质的影响

2.3.1 还原糖对饮料感官的影响

肽饮料的感官评分随着还原糖添加量的增加, 呈先增加后降低的趋势。在还原糖添加量为 10% 时, 感官评价价值达到最高, 为 82.4 分, 感官效果最好。在本研究中, 还原糖的添加量是饮料感官的主要影响因素, 当还原糖的添加量较少时, 甜味较淡, 肽饮料口感苦涩; 当继续增加糖的添加量时, 肽饮料的甜度增加导致饮料口感粘稠厚腻, 而添加过多的还原糖会导致肥胖和龋齿。因此, 在还原糖添加量为 10% 时饮料甜度适中, 为最佳添加量。

2.3.2 柠檬酸对饮料感官的影响

柠檬酸是一种弱酸性添加剂, 适当加入可以增加饮料风味, 能遮掩一定腥味, 提升饮料口感。若柠檬酸添加过多, 饮料的 pH 会发生变化, 从而影响到饮料的稳定性^[28], 在储存的过程中可能会蛋白析出产生沉淀。肽饮料感官评分随着柠檬酸含量的增加, 呈先增加后降低的趋势。当柠檬酸添加量为 0.6% 时, 感官评价价值达到最高, 为 78.5 分, 金枪鱼肽饮料风味口感最佳。继续增加柠檬酸, 其感官评分降低是因为此时金枪鱼肽饮料具有明显的酸涩感。因此, 0.6% 为柠檬酸的最佳添加量。

2.3.3 β -环状糊精对饮料感官的影响

β -环状糊精具有包埋异味的的作用, 可去除腥味、苦味^[29]。肽饮料的感官评分随着 β -环状糊精添加量的增加而增加, 当 β -环状糊精添加量较低时, 金枪鱼肽饮料苦味较重并且含有腥味; 当 β -环状糊精添加量为 0.5 mg/mL 时, 感官评价价值达到最高, 为 82.1 分, 其主要是因为 β -环状糊精起到了包埋腥味、异味的效果, 使肽饮料呈现良好风味。但根据 GB 2760—2014《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》, β -环状糊精在饮料中使用最大限量为 0.5 mg/mL, 综合感官分析, β -环状糊精在饮料中的最佳添加量为 0.5 mg/mL。

2.3.4 乙基麦芽酚对饮料感官的影响

乙基麦芽酚是一种安全、用量少、效果显著的香味改良剂。乙基麦芽酚可与 β -环状糊精发挥协同作用, 减少肽饮料的腥味, 改善金枪鱼肽饮料的风味。肽饮料的感官评分随着乙基麦芽酚添加量的增多, 呈先上升后下降的趋势, 当乙基麦芽酚添加量为 0.08% 时, 感官评价价值达到最大, 为 86.6 分, 此时肽饮料腥味变淡并具有一定的香味; 当乙基麦芽酚添加量大于 0.08% 时, 腥味被乙基麦芽酚完全掩盖, 香气浓郁, 丧失了金枪鱼肽饮料的海鲜味。因此, 乙基麦芽酚添加量选择 0.08% 为宜。

2.4 金枪鱼肽饮料配方正交实验优化

由表 4 可知, 影响金枪鱼抗氧化肽饮料感官品质的因素主次顺序为 $A > C > B > D$, 即还原糖对饮料感官品质影响最大, 其原因是还原糖作为该饮料的主要呈味添加剂, 还

原糖的添加会影响饮料的口感和质感, 过多或过少添加还原糖都会对饮料产生较大影响; β -环状糊精是主要因素, 其原因在于 β -环状糊精具有独特的分子结构能够包络小分子挥发性腥味物质^[30], 适当的添加可以良好的掩盖金枪鱼红肉的腥味物质以及在酶解之后产生的其他挥发性成分; 柠檬酸是次要因素, 乙基麦芽酚的影响最小。根据正交实验最佳组合为第五组, 即 $A_2B_2C_3D_1$, 而根据 k 值分析得到的最佳组合为 $A_2B_2C_3D_3$ 。通过对两种配方进行验证, $A_2B_2C_3D_1$ 组合的感官评分(86.3)高于 $A_2B_2C_3D_3$ 组合的感官评分(80.9), 原因是虽然乙基麦芽酚作为添加剂具有增香去腥的作用^[31], 但当乙基麦芽酚的添加量为 0.1% 时, 金枪鱼肽饮料本身的特征香气已经被覆盖, 缺少了产品本身的风味特性。因此选择 $A_2B_2C_3D_1$ 组合为最佳调配方案, 具体配方为: 还原糖添加量 10%, 柠檬酸添加量 0.6%, β -环状糊精添加 0.5 mg/mL, 乙基麦芽酚添加量 0.06%。

表 4 正交实验结果及数据分析
Table 4 Orthogonal test results and data analysis

实验号	因素				得分
	A/%	B/%	C/mg/mL	D/%	
1	1	1	1	1	44.7
2	1	2	2	2	51.4
3	1	3	3	3	55.2
4	2	1	2	3	79.9
5	2	2	3	1	86.3
6	2	3	1	2	74.2
7	3	1	3	2	52.1
8	3	2	1	3	48.9
9	3	3	2	1	41.5
K_1	151.30	176.70	167.80	172.50	
K_2	240.40	186.60	172.80	177.70	
K_3	142.50	170.90	193.60	184.00	
k_1	50.43	58.90	55.93	57.50	
k_2	80.13	62.20	57.60	59.23	
k_3	47.50	56.97	64.53	61.33	
极差	32.63	5.23	8.60	3.83	
最佳条件	A_2	B_2	C_3	D_3	

2.5 金枪鱼肽饮料品质分析

以最优配方调配的金枪鱼肽饮料为研究对象, 分析其感官、理化、微生物等 3 个指标, 品质分析结果如表 5 所示。金枪鱼肽饮料呈澄清淡黄色, 色泽鲜亮, 质地均匀, 无沉淀与分层, 无腥味有淡淡的海鲜味, 口感细腻, 甜味适中, 无苦涩后味。该肽饮料中蛋白质含量为 5.1 g/100 mL、总糖含量为 10 g/100 mL、脂肪含量为 0.036 g/100 mL、灰分含量为 0.17 g/100 mL; 饮料中检出菌落总数为 20 CFU/mL,

大肠菌群<0.5 CFU/mL, 沙门氏菌和金黄色葡萄球菌均未检出, 理化指标与微生物指标均符合国家标准 GB 7101—2015。

表 5 金枪鱼肽饮料品质分析结果
Table 5 *Thunnus* peptide drink quality analysis results

序号	测定项目	测定结果	国家标准限量
1	蛋白质含量	5.1 g/100 mL	-
2	总糖含量	10 g/100 mL	-
3	脂肪含量	0.036 g/100 mL	-
4	灰分含量	0.17 g/100 mL	-
5	菌落总数	20 CFU/mL	100 CFU/mL
6	大肠菌群	<0.5 CFU/mL	1 CFU/mL
7	沙门氏菌	未检出	不得检出
8	金黄色葡萄球菌	未检出	不得检出

注: -表述无此项。

金枪鱼肽饮料的氨基酸组成如表 6 所示, 从金枪鱼肽饮料中共检出 16 种氨基酸, 总氨基酸含量为 5.264 g/100 g, 必需氨基酸中赖氨酸含量最高, 为 0.553 g/100 g, 其次亮氨酸的含量为 0.508 g/100 g, 赖氨酸和亮氨酸作为必需氨基酸必须从食物中获取, 赖氨酸是人体最重要的必需氨基酸, 其含量提高可以促进蛋白质的合成和代谢, 促进机体生长发育^[32], 而亮氨酸能有效促进肌肉蛋白合成, 促进皮肤、伤口、骨骼愈合^[33], 但我国居民饮食以谷物为主, 赖氨酸是谷类蛋白质的第一限制氨基酸^[34], 因此金枪鱼肽饮料中含有的赖氨酸可以在一定程度上弥补赖氨酸摄入的不足, 提高了金枪鱼肽饮料的营养价值。联合国粮农组织和世界卫生组织推荐的理想蛋白质模式中, EAA/TAA 约为 40%, EAA/NEAA 约为 60%^[35], 在本研究金枪鱼肽饮料中 EAA/TAA 为 43.74%, EAA/NEAA 为 77.78%, 均接近蛋白质理想模式, 表明此金枪鱼肽饮料营养价值较高。

对鱼类风味影响较大的氨基酸有谷氨酸、天冬氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、酪氨酸、甘氨酸^[36]等。天冬氨酸和谷氨酸是鲜味的主要来源, 在本产品中此两种呈味氨基酸最高达到 1.137 g/100 g, 是饮料风味的主要贡献者; 呈甜味的丝氨酸、甘氨酸和丙氨酸含量与呈苦味的亮氨酸、异亮氨酸含量基本持平, 使金枪鱼肽饮料呈现出良好的风味, 并保留了少许海鲜味。

诸多研究证实, 支链氨基酸含量与多种生物活性相关^[37], 例如, 支链氨基酸可促进机体能量代谢^[38]、辅助治疗慢性肝病^[39]、缓解疲劳^[40]等。支链氨基酸包括亮氨酸、异亮氨酸及缬氨酸, 本产品的支链氨基酸占总氨基酸的 20.36%, 表明该产品可能具有多种生物活性, 但具体仍需要进一步的研究和证实。另外, 本产品的抗氧化氨基酸占

总氨基酸含量的 50.03%, 这与其主要原料金枪鱼红肉酶解液具有较好的抗氧化活性相一致。

表 6 金枪鱼肽饮料氨基酸组成分析
Table 6 Analysis of amino acid composition of tuna peptide drink

组成成分	金枪鱼肽饮料/(g/100 g)	组成成分	金枪鱼肽饮料/(g/100 g)
天冬氨酸	0.530±0.12	苯丙氨酸*	0.285±0.02
苏氨酸*	0.302±0.38	赖氨酸*	0.553±0.21
丝氨酸	0.223±0.08	组氨酸	0.289±0.01
谷氨酸	0.607±0.22	精氨酸	0.310±0.34
甘氨酸	0.293±0.08	脯氨酸	0.157±0.02
丙氨酸	0.403±0.11	总氨基酸总量	5.264
缬氨酸*	0.251±0.24	EAA/TAA/%	43.74%
蛋氨酸*	0.091±0.05	EAA/NEAA/%	77.78%
异亮氨酸*	0.313±0.32	呈味氨基酸和总氨基酸比值/%	55.09%
亮氨酸*	0.508±0.13	抗氧化氨基酸/%	50.03%
酪氨酸	0.149±0.05	支链氨基酸与总氨基酸比值/%	20.36%

注: *为必需氨基酸; 呈味氨基酸包括丝氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸、赖氨酸、天冬氨酸、亮氨酸、异亮氨酸; 抗氧化氨基酸包括天冬氨酸、谷氨酸、蛋氨酸、脯氨酸、酪氨酸、苯丙氨酸、组氨酸、赖氨酸; 支链氨基酸为缬氨酸、异亮氨酸、亮氨酸; EAA/TAA 为必需氨基酸(essential amino acids, EAA)与总氨基酸(total amino acids, TAA)的比值, EAA/NEAA 为 EAA 与非必需氨基酸(non-essential amino acids, NEAA)的比值。

3 结论

本研究以金枪鱼红肉为原料, 采用复合蛋白酶水解获得的具有较好抗氧化活性的金枪鱼红肉酶解液, 并以此为主要原料调配金枪鱼肽饮料, 最优配方为还原糖添加量 10%、柠檬酸添加量 0.6%、 β -环状糊精添加量 0.5 mg/mL、乙基麦芽酚添加量 0.06%。优化调配的金枪鱼肽饮料呈澄清淡黄色, 色泽鲜亮, 质地均匀, 无沉淀与分层, 无腥味有淡淡的海鲜味, 口感细腻, 甜味适中。饮料总氨基酸含量为 5.264 g/100 g, EAA/TAA 和 EAA/NEAA 均接近蛋白质理想模式, 抗氧化氨基酸占总氨基酸含量的 50.03%, 具有良好的抗氧化能力。但本研究仅对金枪鱼酶解液做了简单的抗氧化评价及饮料配方优化, 对于食品添加剂的添加对抗氧化活性的影响、饮料生产工艺中灭菌条件对饮料抗氧化能力的影响研究暂未深入, 为了开发一款高活性抗氧化肽饮料, 还需进一步开展体外模拟消化实验等评价研究, 为食品工业生产肽饮料提供理论支持和科学依据。

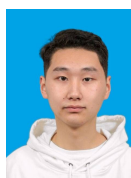
参考文献

- [1] 陈心媛, 翟兴月, 佟长青, 等. 生物活性肽和肠道菌群相互作用研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(4): 1044–1049.
CHEN XY, ZHAI XY, TONG CQ, *et al.* Research progress on interaction between bioactive peptides and gut microbiota [J]. *J Food Saf Qual*, 2022, 13(4): 1044–1049.
- [2] ADIBI SA. Intestinal transport of dipeptides in man: Relative importance of hydrolysis and intact absorption [J]. *J Clin Invest*, 1971, 50(11): 2266–2275.
- [3] 王珊珊. 鳕鱼骨胶原肽与活性钙的制备及其抗骨质疏松活性研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013.
WANG SS. The preparation of collagen peptides and active calcium from cod bone and its preventive effects on osteoporosis [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2013.
- [4] 李晓逸, 邹潇潇, 王全宇, 等. 乳清蛋白及其生物活性肽血压调节功能研究进展[J]. 中国食物与营养, 2022, 28(3): 69–72.
LI XY, ZOU XX, WANG QY, *et al.* Research progress of whey protein and its bioactive peptides in regulating blood pressure [J]. *Food Nutr China*, 2022, 28(3): 69–72.
- [5] SONAWANE RD, VISHWAKARMA SL, LAKSHMI S, *et al.* Amelioration of STZ-induced type 1 diabetic nephropathy by aqueous extract of *Enicostemma littorale* Blume and swertiamarin in rats [J]. *Mol Cell Biochem*, 2010, 340(1–2): 1–6.
- [6] 王锐, 张迪雅, 李晔, 等. 金枪鱼暗色肉酶解优势肽鉴定及其体外抗氧化和血管紧张素转换酶抑制活性分析[J]. 食品科学, 2020, 41(23): 91–99.
WANG R, ZHANG DY, LI Y, *et al.* Identification of dominant peptides from hydrolyzed tuna dark muscle and their antioxidant and angiotensin-converting enzyme inhibitory activities [J]. *Food Sci*, 2020, 41(23): 91–99.
- [7] 苏阳. 南海产 3 种金枪鱼营养成分分析及肌肉蛋白酶解物抗疲劳活性的研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2015.
SU Y. Analysis of nutritional components in three species of tuna from south China sea and anti-fatigue activity of the muscle protein hydrolysates [D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2015.
- [8] 杨文清, 黄秀芳, 陈耀兵, 等. 植物源生物活性肽的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(1): 270–278.
YANG WQ, HUANG XF, CHEN YB, *et al.* Research progress of plant-derived bioactive peptides [J]. *J Food Saf Qual*, 2023, 14(1): 270–278.
- [9] PERE K, MBATIA B, MUGE E, *et al.* Daga (*Rastrinoebola argentea*) protein hydrolysate as a nitrogen source in microbial culture media [J]. *J Appl Biol Biotechnol*, 2017, 5(3): 8–12.
- [10] 刘丽君, 杨兰钦. 酶解鱼鳔蛋白制备胶原蛋白肽饮品[J]. 食品工业, 2022, 43(2): 10–13.
LIU LJ, YANG LQ. Produce collagen peptide drink by enzymolysis of swim bladder protein [J]. *Food Ind*, 2022, 43(2): 10–13.
- [11] 陈嘉钰. 海参肽饮品的制备、品质分析及设计[D]. 辽宁: 渤海大学, 2021
CHEN JJ. Preparation, quality analysis and design of sea cucumber peptide drink [D]. Liaoning: Bohai University, 2021.
- [12] 张朋, 贺卯芬, 迟长凤, 等. 金枪鱼碎肉蛋白降压肽的酶解制备及活性研究[J]. 海洋与湖沼, 2014, 45(5): 1092–1098.
ZHANG P, HE MS, CHI CF, *et al.* Preparation and characterisation of an antihypertensive peptide from proteinhydrolysate of skipjack tuna ground meat [J]. *Oceanologia et Limnologia Sin*, 2014, 45(5): 1092–1098.
- [13] 王雨生, 冷云, 陈海华, 等. 黄鳍金枪鱼皮胶原肽酶解工艺及抗氧化活性研究[J]. 中国食品学报, 2015, 15(2): 72–78.
WANG YS, LENG Y, CHEN HH, *et al.* Studies on enzymolysis technology of collagen peptide and antioxidant activities from Tuna skin [J]. *J Chin Inst Food Sci Technol*, 2015, 15(2): 72–78.
- [14] 舒聪涵. 金枪鱼骨胶原肽及其钙螯合物对成骨细胞的活性影响研究[D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2022.
SHU CH. Effect of Tuna bone collagen peptides and its calciumchelates on osteoblasts activity [D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2022.
- [15] 苏阳, 章超桦, 曹文红, 等. 南海产 3 种金枪鱼普通肉、暗色肉营养成分分析与评价[J]. 广东海洋大学学报, 2015, 35(3): 87–93.
SU Y, ZHANG CY, CAO WH, *et al.* Analysis and evaluation of nutritional components in ordinary muscle and dark muscle of three species of tuna from south china sea [J]. *J Guangdong Ocean Univ*, 2015, 35(3): 87–93.
- [16] 李淑凡, 李鑫, 韩姣姣, 等. 金枪鱼红肉酶解液对小鼠抗疲劳和调节肠道菌群效果的研究[J]. 食品工业科技, 2019, 40(17): 314–320, 326.
LI SF, LI X, HAN JJ, *et al.* Anti-fatigue and gut microbiota modulation effects of tuna dark meat hydrolysate in mice [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2019, 40(17): 314–320, 326.
- [17] 齐宝坤, 王琪, 钟明明, 等. 高压均质辅助酶解豆乳对蛋白结构及抗营养因子的影响[J]. 农业机械学报, 2023, 54(2): 368–377.
QI BK, WANG Q, ZHONG MM, *et al.* Effects of high-pressure homogenization assisted enzymatic hydrolysis of soybean milk on protein structure and anti-nutritional factors [J]. *Trans Chin Soc Agric Mach*, 2023, 54(2): 368–377.
- [18] ADLER-NISSEN J. Determination of the degree of hydrolysis of food protein hydrolysates by trinitrobenzenesulfonic acid [J]. *Jagric Food Chem*, 1979, 27(6): 1256–1262.
- [19] 唐鹏杰. 印度洋鸚乌贼胴体抗氧化肽制备及抗氧化作用研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2022.
TANG PJ. Preparation of antioxidant peptides from Indian ocean *Symplectoteuthis oualaniensis* and study on antioxidation efficacy [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2022.
- [20] 王智伟, 李茜, 张民. 富硒豌豆苗粉理化性质及抗氧化活性分析[J/OL]. 食品科学: 1–12. [2023-09-04]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20230316.1055.002.html>
WANG ZW, LI Q, ZHANG M. Study on physicochemical properties and antioxidant activity in vitro of vegetable powder from selenium enriched pea seedlings [J/OL]. *Food Sci*: 1–12. [2023-09-04]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20230316.1055.002.html>
- [21] 张梅超. 牡蛎蛋白酶解液风味改善及其运动饮料的研制[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014.
ZHANG MC. Studies on improvement of oyster hydrolysates flavor and technology of oyster sports beverage [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2014.
- [22] 徐永霞, 曲诗瑶, 李涛, 等. 不同蛋白酶对蓝蛤酶解液风味特性的影

- 响[J]. 食品科学, 2021, 42(4): 190–196.
- XU YX, QU SY, LI T, *et al.* Effects of different proteases on the flavor characteristics of aloididae aloidi muscle hydrolysates [J]. Food Sci, 2021, 42(4): 190–196.
- [23] 孙跃如, 林桐, 赵吉春, 等. 谷物源抗氧化肽: 制备、构效及应用[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(10): 299–305.
- SUN YR, LIN T, ZHAO JC, *et al.* Antioxidant peptides from cereals: Preparation, structure-activity and application [J]. Food Ferment Ind, 2022, 48(10): 299–305.
- [24] 姚玉梅, 袁湘汝, 韩鲁佳, 等. 不同分子量牛骨胶原多肽制备复合膜特性研究[J]. 农业机械学报, 2020, 51(6): 318–325.
- TAO YM, YUAN XR, HAN LJ, *et al.* Microstructures and properties of bovine bone collagen polypeptide composite films with different molecular weight distributions [J]. Trans Chin Soc Agric Mach, 2020, 51(6): 318–325.
- [25] DURACKOVÁ Z. Some current insights into oxidative stress [J]. Physiol Res, 2010, 59(4): 459–469.
- [26] XU T, DING W, JI XY, *et al.* Oxidative stress in cell death and cardiovascular diseases [J]. Oxid Med Cell Longev, 2019, 2019: 9030563.
- [27] 尚子寒. 舟山星鲛抗氧化肽的制备及其功能性研究[D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2023.
- SHANG ZH. Preparation and functional study of antioxidant peptides from Zhoushan (*Astroconger myriaster*) [D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2023.
- [28] 武安琪. 基于苦杏仁醇溶蛋白的降血糖肽饮料制备工艺研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2021.
- WU ANQ. Preparation of a bitter almond kernel prolamin based hypoglycemic peptide drink [D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2021.
- [29] 李放, 邓林艳, 张婉婷, 等. 淡水虾腥味脱除技术研究进展[J]. 农产品加工, 2023, 569(3): 89–92.
- LI F, DENG LY, ZHANG WT, *et al.* Research progress of freshwater prawn fishy smell removal technology [J]. Farm Prod Process, 2023, 569(3): 89–92.
- [30] 柏昌旺. 可控酶解制备牡蛎短肽工艺及其产品开发[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2019.
- BO CW. Study on the process of controlled enzymatic hydrolysis of oyster oligopeptides and its product development [D]. Zhenjiang: Guangdong Ocean University, 2019.
- [31] 张津睿, 翟爱华. 绿豆蛋白多肽脱苦条件优化[J]. 农产品加工, 2022, 553(11): 38–40, 42.
- ZHANG JR, ZHAI AIH. Optimization of detoxification conditions for mung bean protein polypeptide [J]. Farm Prod Process, 2022, 553(11): 38–40, 42.
- [32] 刘舒慧, 占文君, 胡小娟, 等. 赖氨酸 B₁₂、维生素 D₃ 联合重组人生长激素治疗矮小症的效果分析[J]. 中国现代医学杂志, 2023, 33(6): 77–81.
- LIU SH, ZHAN WJ, HU XJ, *et al.* Efficacy of lysine, inositol and vitamin B₁₂ oral solution, vitamin D₃ combined with rhGH in children with dwarfism [J]. China J Mod Med, 2023, 33(6): 77–81.
- [33] ATHERTON JP, KUMAR V, SELBY LA, *et al.* Enriching a protein drink with leucine augments muscle protein synthesis after resistance exercise in young and older men [J]. Clin Nutr, 2017, 36(3): 888–895.
- [34] 赵立, 陈军, 赵春刚, 等. 野生和养殖乌鳢肌肉的成分分析及营养评价[J]. 现代食品科技, 2015, 31(9): 244–249.
- ZHAO L, CHEN J, ZHAO CG, *et al.* Composition analysis and nutritional evaluation of wild and farmed *Channa argus* [J]. Mod Food Sci Technol, 2015, 31(9): 244–249.
- [35] 李婉, 曹文红, 章超桦, 等. 两款果香型牡蛎肽饮料的研制[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(19): 132–139.
- LI W, CAO WH, ZHANG CY, *et al.* Development of two kinds of fruity oyster peptide beverages [J]. Food Res Dev, 2020, 41(19): 132–139.
- [36] 苏欣, 黄春红, 曹菊花. 淡水鱼鱼肉风味物质及其影响因素研究进展[J]. 肉类研究, 2018, 32(8): 64–68.
- SU X, HUANG CH, CAO JH. Review of flavor substances in freshwater fish and factors influencing them [J]. Meat Res, 2018, 32(8): 64–68.
- [37] LI TT, TIAN YP, SUN FB, *et al.* Preparation of high Fischer's ratio corn oligopeptides using directed enzymatic hydrolysis combined with adsorption of aromatic amino acids for efficient liver injury repair [J]. Process Biochem, 2019, 84(C): 60–72.
- [38] DUSSELDORP TA, ESCOBAR KA, JOHNSON KE, *et al.* Effect of branched-chain amino acid supplementation on recovery following acute eccentric exercise [J]. Nutrients, 2018, 10(10): 1389.
- [39] TAMAI Y, CHEN Z, WU Y, *et al.* Branched-chain amino acids and L-carnitine attenuate lipotoxic hepatocellular damage in rat cirrhotic liver [J]. Biomed Pharmacother, 2021, 135: 111181.
- [40] ESFAHANI PS, ENAYAT M, KARIMIAN J. The effect of branched chain amino acids supplementation (BCAA) on muscle damage and the indicators of fatigue in soccer players [J]. Atherosclerosis Supp, 2018, 32: 135–136.

(责任编辑: 郑丽 张晓寒)

作者简介



张俊杰, 硕士研究生, 主要研究方向为天然产物的提取与应用。
E-mail: 287863457@qq.com



缪文华, 博士, 副研究员, 主要研究方向为海洋水产品蛋白质改性及性质研究、海洋蛋白质资源综合利用与精加工等。
E-mail: miaowenhua@zjou.edu.cn



郑斌, 博士, 研究员, 主要研究方向为海洋生物资源开发与利用、营养健康食品制造等领域。
E-mail: zhengbi@zjou.edu.cn