

# 金枪鱼蛋白肽产品的特征性成分及其抗疲劳活性

李西婷<sup>1</sup>, 张明振<sup>2</sup>, 乔乐克<sup>3</sup>, 江晓路<sup>3</sup>, 王鹏<sup>1</sup>, 张京良<sup>3\*</sup>

(1. 中国海洋大学食品科学与工程学院, 山东青岛 266003) (2. 乳山市华隆生物科技股份有限公司, 山东威海 264513) (3. 青岛海洋生物医药研究院, 山东青岛 266100)

**摘要:** 该研究以金枪鱼碎肉为原料制备蛋白肽, 并对其特征性成分、体外抗氧化活性及体内抗疲劳活性进行分析。结果表明: 金枪鱼蛋白肽蛋白质含量 90.11%, 钙含量 213 mg/100 g。呈味核苷酸及电子舌结果表明金枪鱼蛋白肽主要滋味为鲜味, 且 GMP 对金枪鱼蛋白肽的鲜味贡献较大。电子鼻结果表明其风味成分主要为氮氧化物、无机硫化物、甲烷等短链烷烃类化合物、有机硫化物、醇醚醛酮类化合物。体外抗氧化结果显示金枪鱼蛋白肽 ABTS<sup>+</sup> 和 DPPH 自由基清除的 IC<sub>50</sub> 分别为 0.52 mg/mL 和 4.32 mg/mL, 表明金枪鱼蛋白肽具有良好的体外抗氧化活性。抗疲劳结果显示中剂量组金枪鱼蛋白肽可以显著延长小鼠负重游泳时间 ( $P<0.01$ ), 显著降低血清尿素氮 ( $P<0.05$ ) 和乳酸 ( $P<0.01$ ) 含量, 表明金枪鱼蛋白肽具有良好的体内抗疲劳活性。该研究利用金枪鱼碎肉制备具有独特风味和抗氧化、抗疲劳活性的优质金枪鱼蛋白肽, 为金枪鱼碎肉高值化利用提供研究基础。

**关键词:** 金枪鱼碎肉; 蛋白肽; 抗氧化; 抗疲劳

文章编号: 1673-9078(2023)10-44-50

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.10.1280

## Characteristic Components and Anti-fatigue Activity of a Tuna Protein Peptide Product

LI Xiting<sup>1</sup>, ZHANG Mingzhen<sup>2</sup>, QIAO Leke<sup>3</sup>, JIANG Xiaolu<sup>3</sup>, WANG Peng<sup>1</sup>, ZHANG Jingliang<sup>3\*</sup>

(1. College of Food Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

(2. Rushan Hualong Biotechnology Co. Ltd., Weihai 264513, China)

(3. Marine Biomedical Research Institute of Qingdao, Qingdao 266100, China)

**Abstract:** In this study, a protein peptide was prepared from minced tuna meat, and its characteristic components, antioxidant activity *in vitro* and anti-fatigue activity *in vivo* were analyzed. The results showed that the protein content of the tuna protein peptide product was 90.11% with its calcium content being 213 mg/100 g. The results of flavor nucleotide and electronic tongue showed that the main taste of the tuna protein peptide product was umami, and GMP made a high contribution to the umami taste of the tuna protein peptide product. The results of electronic nose showed that the main flavor components were nitroxide compounds, inorganic sulfides, methane and other short chain alkanes, organic sulfides, alcohols, ethers, aldehydes and ketones. *In vitro* antioxidant assays revealed that the IC<sub>50</sub> values of ABTS<sup>+</sup> and DPPH free radical scavenging were 0.52 mg/mL and 4.32 mg/mL, respectively, indicating that the tuna protein peptide product had a good *in vitro* antioxidant activity. The results of the anti-fatigue study showed that the tuna protein peptide product at a medium dose could significantly prolong the weight-bearing swimming time ( $P<0.01$ ), and significantly reduce the contents of serum urea nitrogen ( $P<0.05$ ) and lactic acid ( $P<0.01$ ), indicating that the tuna protein peptide product had a good *in vivo* anti-fatigue activity. In this study, minced tuna meat was used to prepare high-quality tuna protein peptides with unique flavor, and significant antioxidant and anti-fatigue activities, which provides a research basis for high-value utilization of minced tuna meat.

引文格式:

李西婷,张明振,乔乐克,等.金枪鱼蛋白肽产品的特征性成分及其抗疲劳活性[J].现代食品科技,2023,39(10):44-50

LI Xiting, ZHANG Mingzhen, QIAO Leke, et al. Characteristic components and anti-fatigue activity of a tuna protein peptide product [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(10): 44-50

收稿日期: 2022-10-08

基金项目: 泰山产业领军人才工程专项经费资助 (HYJK2021001)

作者简介: 李西婷 (1998-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品科学与工程, E-mail: 17861203896@163.com

通讯作者: 张京良 (1985-), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向: 应用微生物, E-mail: jlzhang@ouc.edu.cn

**Key words:** chopped tuna meat; protein peptide; antioxidant; anti-fatigue

金枪鱼 (*Thunnus obesos*) 又称鲔鱼、吞拿鱼, 主要分布在太平洋、大西洋和印度洋的热带、亚热带和温带广阔水域, 属大洋性高度洄游鱼类<sup>[1]</sup>, 据 FAO 统计, 金枪鱼产量占公海渔业总产量的 70% 以上, 是世界远洋渔业的重要作业鱼种之一。近几年, 全球商业捕获的金枪鱼产量已增加到了  $5 \times 10^6$  t, 中国捕获量在  $3 \times 10^5$  t 以上<sup>[2]</sup>。金枪鱼的肉质鲜美柔嫩, 营养价值高, 有着“海底黄金”的美称<sup>[3]</sup>。

金枪鱼主要加工部位为鱼肉, 金枪鱼肉高蛋白、低脂肪、低热量, 具有预防动脉硬化、降低胆固醇、健脑等功效。金枪鱼产品以生鱼片和罐头为主, 金枪鱼加工过程会产生大量以碎肉为主的副产物, 目前对金枪鱼碎肉的加工利用仍处在初级阶段, 主要用于制成化肥、鱼粉等低价值产品或直接丢弃, 造成资源浪费和环境污染<sup>[4]</sup>。蛋白肽是一类由 2~20 个氨基酸脱水缩合, 相对分子质量低于 6 ku, 介于蛋白质和氨基酸之间的化合物。蛋白肽分子量较低, 消化吸收快, 主动迫使吸收, 胃肠负担小, 无需消耗能量<sup>[5]</sup>, 具有增强免疫力<sup>[6]</sup>、降血压<sup>[7,8]</sup>、抗氧化<sup>[9]</sup>等生理功能, 在食品、饮料、保健食品和婴幼儿配方食品中应用广泛。海洋独特的环境赋予海洋蛋白独特的结构和生理功能, 以资源丰富的金枪鱼碎肉开发活性蛋白肽, 推动金枪鱼碎肉的精深加工和高值化利用, 具有重要研究意义和价值。

本文以金枪鱼碎肉为原料, 通过复合酶解制备金枪鱼蛋白肽, 对蛋白肽营养成分、风味成分、体外抗氧化活性和体内抗疲劳活性进行研究, 开发兼具功能与风味的金枪鱼蛋白肽, 为金枪鱼碎肉的高值化利用提供研究基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

金枪鱼, 青岛麦岛市场; 胰蛋白酶  $3 \times 10^5$  U/g、风味酶  $2 \times 10^4$  U/g, 广西南宁庞博生物工程有限公司; 细胞色素 CMw12384、抑肽酶 Mw6512、杆菌酶 Mw1423、乙氨酸-乙氨酸-酪氨酸-精氨酸 Mw451、乙氨酸-乙氨酸-乙氨酸 Mw189, 北京索莱宝科技有限公司; Na、Zn、P、尿素氮、乳酸试剂盒, 南京建成生物工程研究所; 其他试剂均为分析纯。

SPF 级雄性昆明小鼠 120 只[动物合格号: SCXK (鲁) 20190003], 体质量 18~22 g, 购自济南朋悦实验动物繁育有限公司, 饲养在  $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$ , 相对湿度

$60\% \pm 15\%$  条件下, 所有动物均严格按照实验动物护理原则进行处理。

pH 2700 酸度计, 美国 EUTECH 公司; HWS24 型电热恒温水浴锅, 上海一恒科学仪器有限公司; TS-5000Z 型电子舌, 日本 INSENT 公司; PEN3 型电子鼻, 德国 AIRSENSE 公司; 1260 液相色谱仪, Agilent 公司。

### 1.2 蛋白肽制备

在实验室原有工艺基础上进行制备, 金枪鱼碎肉斩拌, 得碎肉糜。取碎肉糜 2 kg, 加入饮用水 6 L, 混匀, 调节 pH 值为 7.5, 加入胰蛋白酶 6.0 g,  $50^\circ\text{C}$  保温反应 4 h, 然后调节 pH 值为 7.0, 加入风味酶 4.5 g, 继续反应 1 h。反应结束, 煮沸 5~10 min, 灭酶, 冷却至室温。4 000 r/min 离心 30 min, 收集上清液。向上清液中加入 1% (m/V) 的活性炭,  $70^\circ\text{C}$  下吸附 1 h。过滤, 冷冻干燥, 得金枪鱼蛋白肽 320 g。

### 1.3 基本成分测定

蛋白质含量按照 GB 5009.5 测定; 脂肪含量按照 GB 5009.6 测定; 灰分含量按照 GB 5009.4 测定; 总糖含量按照苯酚硫酸法<sup>[10]</sup>测定; 还原糖含量按照 DNS 比色法<sup>[11]</sup>测定。

### 1.4 矿物质测定

K 含量按照 GB 5009.91 测定; Ca 含量按照 GB 5009.92 测定; Mg 含量按照 GB 5009.241 测定; Na、Zn、P 含量, 参照试剂盒说明书测定。

### 1.5 呈味核苷酸测定

样品的处理方法参考 Chen 等<sup>[12]</sup>的方法。高效液相色谱条件: Extend-C18 柱 ( $250 \text{ mm} \times 4.6 \text{ mm}$ ,  $5 \mu\text{m}$ ) 色谱柱; 柱温  $25^\circ\text{C}$ ; 流动相 A: 超纯水, 流动相 B: 甲醇 (色谱纯); 采用 90% A, 10% B 洗脱; 进样量:  $10 \mu\text{L}$ ; 流速为  $0.5 \text{ mL/min}$ 。检测器: 紫外检测器, 检测波长为  $260 \text{ nm}$ 。

### 1.6 电子舌测定

参考李文欣等<sup>[13]</sup>方法测定金枪鱼蛋白肽的味觉信息。TS-5000Z 电子舌 AAE、CT0、CA0、C00、AE1 和 GL1 传感器的响应特性为鲜味、咸味、酸味、苦味、涩味和甜味。循环测试 4 次, 去掉第 1 次循环, 取后 3 次循环的平均数据作为测试结果。

## 1.7 电子鼻测定

表1 电子鼻传感器名称与其响应物质

Table 1 Sensorname and its response to the matter of electronic nose

序号	传感器名称	性能描述
1	W1C	芳香成分, 苯类
2	W5S	灵敏度大, 对氮氧化合物很灵敏
3	W3C	氨水, 对芳香成分灵敏
4	W6S	主要对氢气有选择性
5	W5C	烷烃芳香成分
6	W1S	对甲烷等短链烷烃灵敏
7	W1W	对无机硫化物灵敏
8	W2S	对醇醚醛酮类灵敏
9	W2W	芳香成分, 对有机硫化物灵敏
10	W3S	对烷烃灵敏, 长链烷烃类

参考蓬桂华等<sup>[14]</sup>方法测定金枪鱼蛋白肽的挥发性成分。PEN3 型电子鼻传感器含有 10 种金属氧化物半导体型化学传感元件, 它们对不同挥发性物质的敏感程度不同, 具体性能描述如表 1。

## 1.8 分子量与分子量分布测定

利用高效液相色谱 (High Performance Liquid Chromatography, HPLC) 测定蛋白肽分子量与分子量分布。色谱柱: TSKgelG2000SWXL 300 mm×7.8 mm; 流动相: 乙腈/水/三氟乙酸 (40:60:0.05, V/V/V); 柱温: 30 °C; 流速: 0.5 mL/min; 波长: 220 nm; 标准品: 细胞色素 C、抑肽酶、杆菌酶、乙氨酸-乙氨酸-酪氨酸-精氨酸、乙氨酸-乙氨酸-乙氨酸。

## 1.9 体外抗氧化活性测定

### 1.9.1 ABTS<sup>+</sup>自由基清除力测定

参照干建松<sup>[15]</sup>方法进行测定。分别加入不同浓度的金枪鱼蛋白肽溶液 0.4 mL, 与 3.6 mL ABTS 工作液混合均匀, 室温下避光反应 5 min, 在 λ=734 nm 处测定吸光值。根据以下公式计算 ABTS<sup>+</sup>自由基清除率:

$$C_1 = \left(1 - \frac{A_i - A_{j0}}{A_0}\right) \times 100\% \quad (1)$$

式中:

$C_1$ ——ABTS<sup>+</sup>自由基清除率, %;

$A_i$ ——实验组吸光值;

$A_{j0}$ ——用 φ=95%乙醇替代 ABTS 工作液的吸光值;

$A_0$ ——用 φ=95%乙醇替代样品的吸光值。

### 1.9.2 DPPH 自由基清除力测定

参照 Wu 等<sup>[16]</sup>方法并稍作修改。分别加入不同浓度的金枪鱼蛋白肽溶液 2 mL, 加入 2 mL 0.2 mmol/L 的 DPPH 甲醇溶液, 避光反应 30 min, 在 λ=517 nm 处测定吸光值。根据以下公式计算 DPPH 自由基清除率:

$$C_2 = \left(1 - \frac{A_j - A_{j0}}{A}\right) \times 100\% \quad (2)$$

式中:

$C_2$ ——DPPH 自由基清除率, %;

$A_j$ ——实验组吸光值;

$A_{j0}$ ——用甲醇替代 DPPH 甲醇溶液的吸光值;

$A$ ——用甲醇替代样品的吸光值。

## 1.10 体内抗疲劳活性测定

### 1.10.1 动物分组及给药剂量

120 只小鼠预饲喂小鼠标准基础饲料 3 d, 3 d 后按照体质量平均原则选择体质量适宜的小鼠随机分为 5 组, 每组 24 只, 12 只用于负重游泳, 12 只用于血清尿素氮 (Blood Urea Nitrogen, BUN) 和乳酸 (Lactic Acid, LA) 测定。5 组分别为空白对照组 (NC), 阳性对照组 (PC), 金枪鱼蛋白肽低剂量组 (SL), 金枪鱼蛋白肽中剂量组 (SM) 和金枪鱼蛋白肽高剂量组 (SH)。空白对照组为蒸馏水, 阳性对照组为 0.1 g/kg·bw 的西洋参粉, 样品低、中、高剂量组分别为 0.5、1 和 2 g/kg·bw 金枪鱼蛋白肽, 每天灌胃 1 次, 隔 10 d 测定小鼠体质量, 饲喂 30 d。

### 1.10.2 负重游泳实验

参照 Wei 等<sup>[17]</sup>的方法并稍作修改, 末次给予受试样品 30 min 后, 给小鼠尾部负荷 5%体质量铅块, 置于水深 40 cm、水温 25 °C 游泳箱中游泳, 以小鼠自游泳开始至头部完全沉入水中 8 s 不能浮出水面的时间, 作为小鼠负重游泳时间。

### 1.10.3 生化指标测定

末次给予受试样品 30 min 后, 将小鼠置于水深 40 cm、水温 25 °C 游泳箱中游泳 30 min, 休息 60 min 后用乙醚麻醉, 眼球取血, 以 4 °C, 2 000 r/min 离心 15 min 分离血清, 按照试剂盒测定血清中 BUN、LA 的水平。

## 1.11 统计分析

数据以平均值±标准差表示, 试验设 3 个平行, 用 Origin 8.0 软件对分析数据作图, 采用 SPSS 19.0 软件进行统计工作, 多组之间采用方差分析比较, 组间比较采用 *t* 检验, 显著水平为  $P < 0.05$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 基本成分分析

由表 2 可知, 金枪鱼蛋白肽的蛋白质、脂肪、总糖和灰分质量分数分别为 90.11%、4.60%、0.76%和 4.41%, 表明金枪鱼蛋白肽是一种优质蛋白资源。

表 2 金枪鱼蛋白肽的基本成分

Table 2 Basic ingredient of tuna flavor peptide

样品	质量分数/%			
	蛋白质	脂肪	总糖	灰分
金枪鱼蛋白肽	90.11±0.03	4.60±0.01	0.76±0.02	4.41±0.01

表 3 金枪鱼蛋白肽的矿物质组成

Table 3 Mineral composition of tuna flavor peptide

矿物质含/(mg/100 g)	K	Na	Ca	Mg	P	Zn	矿物元素总量
金枪鱼蛋白肽	694.00±0.03	4 047.80±0.12	213.00±0.05	178.00±0.02	694.10±0.06	4.40±0.09	5 831.30±0.11
扁舵鲹鱼蛋白肽 <sup>[18]</sup>	575.24±6.47	60.25±1.73	8.53±0.41	42.21±1.59	24.62±0.79	1.76±0.25	712.61±0.08
鲍鱼内脏蛋白肽 <sup>[19]</sup>	220.00±0.01	450.00±0.02	110.00±0.01	950.00±0.01	1 670.00±0.03	1.11±0.17	3 401.11±0.13

### 2.3 呈味核苷酸分析

鸟苷酸 (Guanosine Monophosphate, GMP)、肌苷酸 (Inosine Monphosphate, IMP) 具有强烈的鲜味, 且鲜味强度高于谷氨酸钠, 其中 GMP 的鲜味强度大约是 IMP 的 2.3 倍。由表 4 可知, 金枪鱼蛋白肽中呈味核苷酸含量 GMP>IMP>AMP, 含量最高的 GMP 为 32.54 μg/g。味道强度值 (Taste Activity Value, TAV) 为滋味物质的含量与该滋味物质的阈值之比, 呈味物质的 TAV 值越大表明贡献越大<sup>[21]</sup>。结果表明 GMP 在金枪鱼蛋白肽的鲜味贡献较大。金枪鱼蛋白肽 GMP、IMP 含量较高, GMP、IMP 不仅本身带有鲜味, 还可以与谷氨酸钠、游离氨基酸以及无机离子等发生协同作用, 从而增强金枪鱼蛋白肽的鲜味。

表 4 金枪鱼蛋白肽的呈味核苷酸含量

Table 4 Flavor nucleotides content of tuna flavor peptide

呈味核苷酸种类	呈味特征	阈值/(μg/g)	含量/(μg/g)	TAV
GMP	鲜	125	32.54±0.21	0.26
IMP	鲜	250	11.52±0.28	0.05
AMP	鲜&甜	500	6.02±0.17	0.01

### 2.4 电子舌滋味分析

由图 1 可知, 金枪鱼蛋白肽的鲜味值最高, 为 18.31, 同时存在一定苦味, 酸味值低。说明金枪鱼蛋白肽鲜味丰富, 与呈味核苷酸 GMP、IMP 含量较高相一致。

### 2.2 矿物质分析

由表 3 可知, 金枪鱼蛋白肽含有丰富的矿物元素, 总量达 5 831.3 mg/100 g, 分别为扁舵鲹鱼蛋白肽和鲍鱼内脏蛋白肽的 8.18 倍和 1.71 倍。金枪鱼蛋白肽中钠含量最高, 高达 4 047.8 mg/100 g, 钠具有利尿、调节人体内部渗透压、稳定血压的功能。钙含量为 213 mg/100 g, 是扁舵鲹鱼蛋白肽<sup>[18]</sup>和鲍鱼内脏蛋白肽钙<sup>[19]</sup>含量的 24.97 倍和 1.94 倍。钙是构成人体骨骼、牙齿的主要成分, 具有调整心律、控制新陈代谢与激素分泌的作用<sup>[20]</sup>, 表明金枪鱼蛋白肽在改善骨骼方面具有潜在的作用。

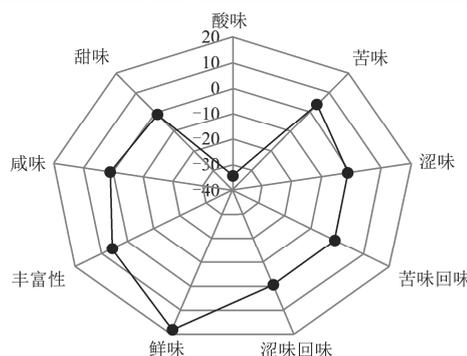


图 1 金枪鱼蛋白肽的滋味指标雷达图

Fig.1 The radar chart of the taste index of the tuna flavor peptide

### 2.5 电子鼻气味分析

表 5 金枪鱼蛋白肽的电子鼻传感器

Table 5 Response value of electronic nose sensor of tuna flavor peptide

传感器	响应值	传感器	响应值
W1C	1.12±0.03	W1S	1.49±0.21
W5S	1.83±0.10	W1W	1.68±0.17
W3C	1.07±0.11	W2S	1.31±0.13
W6S	1.14±0.04	W2W	1.40±0.11
W5C	1.04±0.08	W3S	1.16±0.15

金枪鱼蛋白肽挥发性成分的强度变化, 可通过电子鼻的不同传感器在特定时间点 (实验选取 47 s 处) 的响应值变化来表示。由表 5 可知, 电子传感器 W5S、W1W、W1S、W2W、W2S 的响应值较高, 说明金枪

鱼蛋白肽的主要挥发性成分为氮氧化合物、无机硫化物、甲烷等短链烷烃类化合物、有机硫化物、醇醚醛酮类化合物。

## 2.6 分子量与分子量分布分析

金枪鱼蛋白肽分子量与分子量分布见图 2, 金枪鱼蛋白肽的重均分子量为 696 u, 分子量主要集中在 1 000 u 以下, 占比 80.77%。

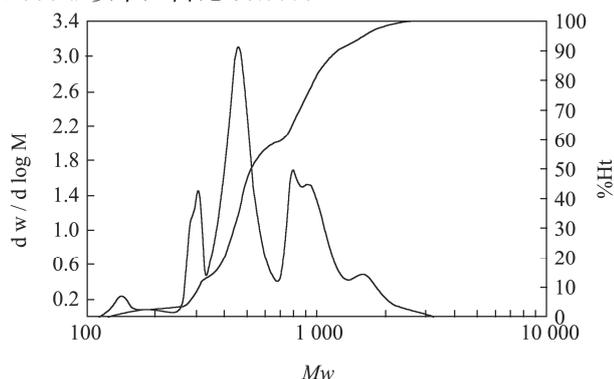


图 2 金枪鱼蛋白肽分子量与分子量分布

Fig.2 Molecular weight and molecular weight distribution of tuna flavor peptide

## 2.7 抗氧化活性分析

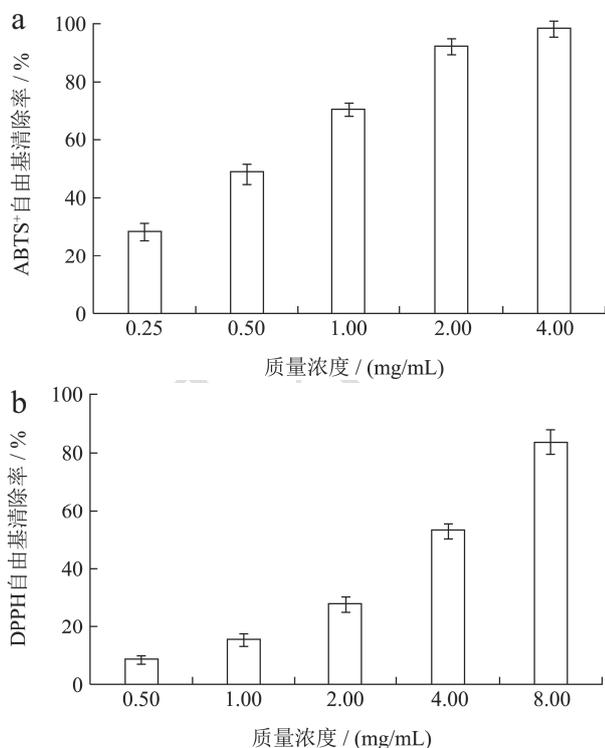


图 3 金枪鱼蛋白肽的 ABTS<sup>+</sup> 和 DPPH 自由基清除能力

Fig.3 ABTS<sup>+</sup> and DPPH radical scavenging ability of tuna flavor peptide

由图 3 可知, 随着金枪鱼蛋白肽浓度的增加, ABTS<sup>+</sup> 自由基和 DPPH 自由基清除率增大, IC<sub>50</sub> 分别

为 0.52 mg/mL 和 4.32 mg/mL, 且金枪鱼蛋白肽的 DPPH 自由基清除能力强于黄花鱼蛋白肽<sup>[22]</sup>、大鲵肉酶解肽<sup>[23]</sup>、低值海洋鱼低聚肽<sup>[24]</sup>, 表明金枪鱼蛋白肽具有较好的抗氧化能力。

## 2.8 抗疲劳活性分析

### 2.8.1 金枪鱼蛋白肽对小鼠体质量的影响

由表 6 可知, 在实验 30 d 内, 小鼠均稳定生长, 与空白对照组和阳性对照组相比, 金枪鱼蛋白肽各剂量组小鼠的体质量变化趋势大致相同, 无显著差异 ( $P>0.05$ ), 表明在实验剂量下, 金枪鱼蛋白肽对小鼠体质量无显著影响。

表 6 金枪鱼蛋白肽对小鼠体质量的影响

Table 6 Effect of tuna flavor peptide on weight of mice

组别	体质量/g			
	0 d	10 d	20 d	30 d
NC	21.30±1.05	27.76±1.58	32.13±2.35	33.71±1.61
PC	21.01±0.44	28.87±1.83	32.83±1.78	34.09±1.88
SL	20.23±1.32	28.36±1.62	32.05±1.41	33.52±1.47
SM	21.37±1.24	29.01±2.31	33.01±2.32	34.22±2.45
SH	21.16±1.22	28.74±1.22	32.47±1.67	33.15±1.76

### 2.8.2 金枪鱼蛋白肽对小鼠负重游泳时间的影响

运动耐力是抗疲劳活动的直接指标<sup>[25]</sup>, 通常通过小鼠的负重游泳时间来评估。如表 7 所示, 灌胃金枪鱼蛋白肽 30 d 后, 低、中、高剂量组小鼠的负重游泳时间较空白对照组分别提高了 9.46%、30.66% 和 21.17%, 阳性对照组与金枪鱼蛋白肽中剂量组的负重游泳时间显著高于空白对照组 ( $P<0.01$ ), 说明金枪鱼蛋白肽具有一定的抗疲劳作用, 能增强小鼠的运动耐力。

表 7 金枪鱼蛋白肽对小鼠负重游泳时间的影响

Table 7 Effect of tuna flavor peptide on exhaustive swimming

组别	负重游泳时间/min
	time of mice
NC	7.83±1.39
PC	10.86±2.39**
SL	8.57±1.83
SM	10.23±2.97**
SH	9.49±1.94

注: \*表示与空白对照组相比差异显著 ( $P<0.05$ ), \*\*表示与空白对照组相比差异极显著 ( $P<0.01$ ), 下同。

### 2.8.3 金枪鱼蛋白肽对小鼠生化指标的影响

BUN 是蛋白质和氨基酸的代谢产物<sup>[26]</sup>, 当身体缺乏能量时, 蛋白质会被消耗, BUN 水平会随着运动疲劳而增加<sup>[27]</sup>, 因此, BUN 是评价疲劳程度的重要参数

之一。如图 4a 所示,与空白对照组相比,阳性对照组的 BUN 含量下降极为显著 ( $P<0.01$ ),金枪鱼蛋白肽低剂量组 BUN 含量下降无显著变化,中、高剂量组 BUN 含量下降显著 ( $P<0.05$ )。随着运动的继续,血氧浓度下降,开始厌氧代谢,导致 LA 的积累<sup>[28]</sup>,若金枪鱼蛋白肽能抑制 LA 的积累,加速乳酸的清除,则会表现出抗疲劳的作用。如图 4b 所示,与空白对照组相比,阳性对照组和金枪鱼蛋白肽中剂量组的 LA 含量分别下降 16.55%、15.24%,阳性对照组和金枪鱼蛋白肽中剂量组的 LA 含量下降极为显著 ( $P<0.01$ ),高剂量组下降显著 ( $P<0.05$ ),低剂量组下降无显著变化。综上所述,金枪鱼蛋白肽中剂量组可以显著降低 BUN ( $P<0.05$ ) 和 LA ( $P<0.01$ ) 含量,说明金枪鱼蛋白肽具有良好的抗疲劳作用。

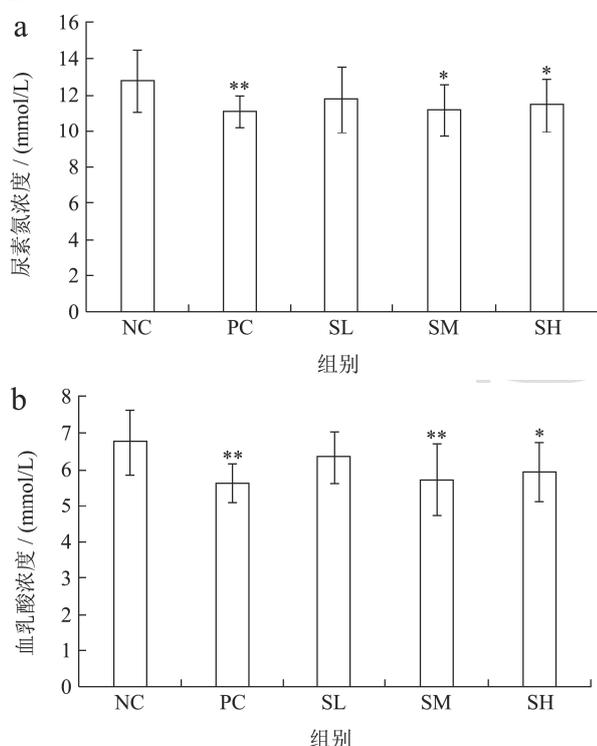


图 4 金枪鱼蛋白肽对小鼠各项生化指标的影响

Fig.4 Effect of tuna flavor peptide on various biochemical indicators in mice

### 3 结论

本文以金枪鱼碎肉为主要原料制备蛋白肽,对其特征性成分、抗氧化活性及抗疲劳活性进行研究。结果表明:金枪鱼蛋白肽蛋白质和钙含量高,鲜味丰富,主要挥发性成分为氮化合物、无机硫化物、甲烷等短链烷烃类化合物、有机硫化物、醇醚醛酮类化合物。金枪鱼蛋白肽重均分子量为 696 u,分子量 80.77%集中在 1 000 u 以下,ABTS<sup>+</sup>和 DPPH 自由基清除的 IC<sub>50</sub> 分别为 0.52 mg/mL 和 4.32 mg/mL,表明金枪鱼蛋白

肽具有良好的体外抗氧化活性。金枪鱼蛋白肽中剂量组可以显著延长小鼠负重游泳时间 ( $P<0.01$ ),显著降低血清尿素氮 ( $P<0.05$ ) 和乳酸 ( $P<0.01$ ) 含量,表明金枪鱼蛋白肽具有良好的体内抗疲劳活性。作为一种优质的蛋白肽资源,金枪鱼蛋白肽具有开发成为增鲜剂、抗氧化肽、抗疲劳肽的潜力,在食品及食品添加剂等领域具有良好的应用前景,能够实现金枪鱼碎肉的高值化利用。本文仅仅是对金枪鱼蛋白肽的特征性成分、抗氧化及抗疲劳活性进行研究,后期还需要对其分离纯化、结构解析、构效关系进行深入研究,为金枪鱼蛋白肽进一步开发利用提供理论支持。

### 参考文献

- [1] Sun R X, Sun Y, Xie X D, et al. Bioaccumulation and human health risk assessment of DDT and its metabolites (DDTs) in yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and their prey from the South China Sea [J]. Marine Pollution Bulletin, 2020, 158: 111396.
- [2] 农业农村部渔业渔政管理局,全国水产技术推广总站,中国水产学会.2020 中国渔业统计年鉴[M].北京:中国农业出版社,2020.
- [3] 许丹,朱剑,严忠雍,等.加工方式对金枪鱼鱼糜制品氨基酸组成和营养价值影响研究[J].中国调味品,2020,45(11):74-80.
- [4] Ozyurt C E, Boga E K, Ozkutuk A S, et al. Bioconversion of discard fish (*Equulitesklunzingeri* and *Carassiusgibelio*) fermented with natural lactic acid bacteria; the chemical and microbiological quality of ensilage [J]. Waste and Biomass Valorization, 2020, 11(4): 1435-1442.
- [5] Gao X, Chen Y, Chen Z, et al. Identification and antimicrobial activity evaluation of three peptides from laba garlic and the related mechanism [J]. Food & Function, 2019, 10(8): 4486-4496.
- [6] Rozenn R P, Alaln V W. Secretagogue activities in cod (*Cadusmorhua*) and shrimp (*Penaesusaztecus*) extracts and alcalase hydrolysates determined in AR4-2J pancreatic tumour cells [J]. Comp. Biochem Physiol (part B), 2003, 134: 669-679.
- [7] 耿秀芳,李耀辉,张义军,等.猪骨胶原蛋白降压成分的提取与生物活性的研究[J].西安医科大学学报,2001, 22(5):418-421.
- [8] Fahmi A, Morimura S, Guo H C, et al. Production of angiotensin I converting enzyme inhibitory peptides from sea bream scales [J]. Process Biochemistry, 2004, (39): 1195-1200.

- [9] 赵雅婷,刘山,赵鑫,等.黄海水域壁胶原蛋白肽的制备及其抗氧化活性[J].食品研究与开发,2014,35(1):5-8.
- [10] Zavrel T, Ocenasova P, Sinetova M A, et al. Determination of storage (starch/glycogen) and total saccharides content in algae and cyanobacteria by a phenol-sulfuric acid method [J]. Bio-protocol, 2018, 8(15): 2966.
- [11] 赵凯,许鹏举,谷广焯.3,5-二硝基水杨酸比色法测定还原糖含量的研究[J].食品科学,2008,8:534-536.
- [12] Chen D W, Zhang M. Non-volatile taste active compounds in the meat of Chinese mitten crab (*Eriocheirsinensis*) [J]. Food Chemistry, 2007, 104(3): 1200-1205.
- [13] 李文欣,赵文婷,王宇滨,等.基于电子舌评价不同品种番茄制备番茄酱的滋味品质[J].食品工业科技,2019,40(19):209-215.
- [14] 蓬桂华,李文馨,殷勇,等.电子鼻和电子舌在分析桑果汁风味上的应用[J].食品工业科技,2020,41(12):234-237,244.
- [15] 干建松.超声辅助酶解海带蛋白制备抗氧化肽及其活性研究[J].中国食品添加剂,2022,33(5):64-72.
- [16] Wu R B, Wu C L, Lin D, et al. Antioxidant and anti freezing peptides from salmon collagen hydrolysate prepared by bacterial extracellular protease [J]. Food Chemistry, 2018, 248: 346-352.
- [17] Guo Z, Lin D, Guo J, et al. *In vitro* antioxidant activity and *in vivo* anti-fatigue effect of sea horse (hippocampus) peptides [J]. Molecules, 2017, 22(3): 482.
- [18] 陈铭.扁舵鲹鱼蛋白肽螯合钙的制备及其对大鼠骨骼生长影响[D].湛江:广东海洋大学,2019.
- [19] 李婷,翁武银.鲍鱼内脏蛋白肽的理化性质及其抗氧化活性[J].中国食品学报,2019,19(12):76-82.
- [20] 顾清.钙的生理功能及代谢的研究进展(综述)[J].中国食品卫生杂志,2002,6:29-33.
- [21] Chen D W, Zhang M. Non-volatile taste active compounds in the meat of Chinese mitten crab (*Eriocheirsinensis*) [J]. Food Chemistry, 2007, 104(3): 1200-1201.
- [22] 宁诗文,崔珊珊,尚宏丽.响应面法优化大黄花鱼肉蛋白水解工艺及多肽抗氧化性研究[J].食品工业科技,2020,41(13): 219-226.
- [23] 贺屹潮,金文刚,陈德经,等.大鲈肉酶解肽抗氧化及免疫活性研究[J].陕西理工大学学报(自然科学版),2020,36(2):81-86.
- [24] 丁树慧,齐曼婷,齐斌,等.低值海洋鱼低聚肽抗氧化和抗疲劳活性[J].食品科学,2019,40(1):155-161.
- [25] Hhang W C, Chiu W C, Chang H L, et al. Effect of curcumin supplementation on physiological fatigue and physical performance in mice [J]. Nutrients, 2015, 7(2): 905-921.
- [26] Huang L Z, Huang B K, Liang J, et al. Antifatigue activity of the liposoluble fraction from *Acanthopanax senticosus* [J]. Phytother. Res, 2011, 25(6): 940-943.
- [27] Wang J, Sun C, Zheng Y, et al. The effective mechanism of the polysaccharides from *Panax ginseng* on chronic fatigue syndrome [J]. Arch. Pharm. Res, 2014, 37(4): 530-538.
- [28] Zhu J Q, Yi J J, Kang Q Z, et al. Anti-fatigue activity of hemp leaves water extract and the related biochemical changes in mice [J]. Food and Chemical Toxicology, 2021, 150: 112054.