

3 种金枪鱼头不同部位成分比较及营养学评价

杨彩莉¹, 曹晓杰¹, 张渊超¹, 刘书成^{1,2,3,*}, 吉宏武¹, 高 静¹, 毛伟杰¹, 郝记明¹

(1.广东海洋大学食品科技学院, 广东省水产品加工与安全重点实验室, 广东省海洋生物制品工程实验室, 广东省海洋食品工程技术研究中心, 水产品深加工广东普通高等学校重点实验室, 广东 湛江 524088; 2.大连工业大学 海洋食品精深加工关键技术省部共建协同创新中心, 辽宁 大连 116034; 3.南方海洋科学与工程广东省实验室(湛江), 广东 湛江 524025)

摘 要: 分析黄鳍金枪鱼、大眼金枪鱼和南方金枪鱼鱼头不同部位(鱼肉、鱼皮和鱼骨)的基本营养成分, 并评价其营养价值。结果表明: 3 种金枪鱼鱼头均含有丰富的粗蛋白、粗脂肪和灰分; 3 种金枪鱼鱼头的鱼肉中必需氨基酸种类齐全, 必需氨基酸与总氨基酸含量的比值接近40%, 氨基酸评分较高, 必需氨基酸指数大于86, 属于优质蛋白; 而鱼皮和鱼骨中蛋白质的营养价值相对较低; 3 种金枪鱼鱼头的脂质中饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸、多不饱和脂肪酸的比例接近于1:1:1, 富含二十二碳六烯酸(docosahexaenoic acid, DHA)和二十碳五烯酸(eicosapentaenoic acid, EPA), 其含量分别为15.69%~23.29%和4.02%~5.15%, DHA与EPA的比值为3.23~5.27, *n*-6与*n*-3多不饱和脂肪酸的比值为0.13~0.29, 具有较高的营养价值; 3 种金枪鱼鱼头中还富含对人体健康有益的Ca、Fe、Zn等矿物质元素。

关键词: 金枪鱼鱼头; 营养成分; 蛋白质; 脂肪; 矿物质; 营养评价

Comparative Composition and Nutritional Evaluation of Different Head Parts of Three Tuna Species

YANG Caili¹, CAO Xiaojie¹, ZHANG Yuanchao¹, LIU Shucheng^{1,2,3,*}, JI Hongwu¹, GAO Jing¹, MAO Weijie¹, HAO Jiming¹
(1.Key Laboratory of Advanced Processing of Aquatic Product of Guangdong Higher Education Institution, Guangdong Provincial Engineering Technology Research Center of Marine Food, Guangdong Provincial Engineering Laboratory for Marine Biological Products, Guangdong Provincial Key Laboratory of Aquatic Product Processing and Safety, College of Food Science and Technology, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China;
2.Collaborative Innovation Center of Seafood Deep Processing, Dalian Polytechnic University, Dalian 116034, China;
3.Guangdong Provincial Laboratory of Southern Marine Science and Engineering (Zhanjiang), Zhanjiang 524025, China)

Abstract: The basic nutrients of different parts (muscle, skin and bone) of yellow fin tuna, big eye tuna and southern bluefin tuna heads were analyzed and their nutritional value was evaluated. The results showed that the heads of all three tuna species was rich in crude protein, crude fat and ash. For all species, head muscle contained a full range of essential amino acids, the ratio of essential amino acids to total amino acids was close to 40%, the amino acid score was higher, and the essential amino acid index value was greater than 86, indicating that tuna head muscle is a high-quality source of protein. In contrast, the protein nutritional value of tuna head skin and bone was relatively lower. The ratio of saturated to monounsaturated to polyunsaturated fatty acids in head lipids from the three tuna species was close to 1:1:1, which were rich in docosahexaenoic acid (DHA, 15.69%–23.29%) and eicosapentaenoic acid (EPA, 4.02%–5.15%). The ratio of DHA to EPA was 3.23–5.27, and the ratio of *n*-6 to *n*-3 polyunsaturated fatty acids was 0.13–0.29, suggesting high nutritional value. Furthermore, the tuna heads were rich in mineral elements such as Ca, Fe and Zn, which are beneficial to human health.

Keywords: tuna head; nutrients; protein; fat; minerals; nutritional evaluation

DOI:10.7506/rlj1001-8123-20190520-111

中图分类号: TS254.1

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2019) 10-0008-07

收稿日期: 2019-05-20

基金项目: 广东省实验室自主立项项目(ZJW-2019-06); 广东海洋大学创新强校重大培育项目(GDOU2017052603); 国家自然科学基金面上项目(31771997);

广东普通高等学校水产品高值化加工与利用创新团队项目(GDOU2016030503)

第一作者简介: 杨彩莉(1990—)(ORCID: 0000-0001-6628-7196), 女, 硕士研究生, 研究方向为海洋食品保鲜与加工。

E-mail: 2219285130@qq.com

*通信作者简介: 刘书成(1977—)(ORCID: 0000-0002-1775-8470), 男, 教授, 博士, 研究方向为海洋食品保鲜与加工。

E-mail: Lsc771017@163.com



引文格式:

杨彩莉, 曹晓杰, 张渊超, 等. 3 种金枪鱼头不同部位成分比较及营养学评价[J]. 肉类研究, 2019, 33(10): 8-14.
DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20190520-111. <http://www.rlyj.net.cn>

YANG Caili, CAO Xiaojie, ZHANG Yuanchao, et al. Comparative composition and nutritional evaluation of different head parts of three tuna species[J]. Meat Research, 2019, 33(10): 8-14. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20190520-111. <http://www.rlyj.net.cn>

金枪鱼 (*Thunnus*) 属鲈形目鲭科, 又叫鲔鱼, 华人世界又称其为“吞拿鱼”, 是一种生活在温热带海域中上层的高度跨洋性洄游鱼类^[1]。常见的金枪鱼分为 5 个属、17 个种, 其中经济价值较大的种类有蓝鳍金枪鱼 (*Thunnus maccoyii*)、大眼金枪鱼 (*Thunnus obesus*)、黄鳍金枪鱼 (*Thunnus albacares*)、长鳍金枪鱼 (*Thunnus alalunga*) 及鲣鱼 (*Katsuwonus pelamis*) 等^[2]。金枪鱼肉质柔嫩鲜美, 含有丰富的优质蛋白质、脂肪酸 (尤其是二十二碳六烯酸 (docosahexaenoic acid, DHA)、二十碳五烯酸 (eicosapentaenoic acid, EPA) 等 *n*-3 多不饱和脂肪酸)、牛磺酸、维生素和矿物质等对人体健康有益的营养成分, 营养价值较高, 素有“海底鸡”、“海洋黄金”之称, 在预防和辅助治疗疾病方面具有非常重要的作用^[3-6]。

金枪鱼的消费主要以生鱼片和罐头为主, 在其加工生产过程中产生的副产物约占其总质量的 50%~70%, 副产物中还含有丰富的优质蛋白质和 *n*-3 多不饱和脂肪酸及生物活性物质等。研究表明, 金枪鱼头的眼窝中 EPA 含量为 5%~10%, DHA 含量高达 30%~40%, 是典型的 DHA 高含量油^[5]。如果金枪鱼加工的副产物不加以利用, 将会造成生物资源的严重浪费。本研究以黄鳍金枪鱼、马苏金枪鱼、大眼金枪鱼鱼头为研究对象, 对鱼头中的鱼肉、鱼皮、鱼骨进行分割, 分析其基本营养成分, 并对其营养价值进行评价和比较, 为金枪鱼副产物的合理开发利用提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

大眼金枪鱼、黄鳍金枪鱼和马苏金枪鱼鱼头购自青岛, 体质量 (1.53 ± 0.37) kg。3 种金枪鱼的鱼头各取 6 个, 分别按照如下步骤处理: 用剔骨刀将鱼皮、鱼肉与鱼骨进行分割, 鱼皮和鱼肉分别切成小块后用绞肉机进行充分绞碎混合, 鱼骨用电锯切割成小块后用粉碎机进行粉碎混合。混合后的鱼皮、鱼肉和鱼骨样品分别置于 -20 °C 冰箱中保存备用。

氢氧化钠、硼酸、浓硫酸、硫酸铜、硫酸钾 天津市津东天正精细化学试剂厂; 盐酸、硝酸、氯仿、甲醇、石油醚 (熔点 30~60 °C) 北京化工厂; 以上化学试剂均为分析纯; 脂肪酸甲酯化试剂盒 美国 Sigma 公司。

1.2 仪器与设备

VAPODEST 450 全自动凯氏定氮仪 德国格哈特公司; L-8900 全自动氨基酸分析仪 日本日立公司; MARS 微波消解仪 美国 CEM 公司; Trace GC ULTRA 气相色谱-质谱联用 (gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS) 仪、Thermo M6 原子吸收分光光度计 美国热电公司; NexION TM 300X 电感耦合等离子质谱 (inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS) 仪 美国 PE 公司。

1.3 方法

1.3.1 基本营养成分分析

水分含量测定: 参照 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》^[7] 中的直接干燥法; 粗蛋白含量测定: 参照 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》^[8] 中的凯氏定氮法; 粗脂肪含量测定: 参照 GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》^[9] 中的索氏提取法; 灰分含量测定: 参照 GB 5009.4—2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》^[10] 中的高温灰化法。

1.3.2 氨基酸组成分析和营养价值评价

精确称取 0.5 g (精确到 0.000 1 g) 样品置于水解管中, 加入 25 mL 6 mol/L 盐酸, 向水解管内加入苯酚 3~4 滴; 冷冻后充入高纯氮气, 然后迅速封口置于恒温干燥箱中, 温度设置为 110 °C, 水解 22 h; 水解溶液冷却至室温后过滤, 将滤液定容至 50 mL 容量瓶中, 然后吸取 5 mL 于 50 mL 烧杯中, 在 55 °C 真空干燥箱中挥发盐酸, 再加适量水蒸干, 准确加入 2 mL pH 2.2 的柠檬酸钠溶液溶解, 吸取溶液过 0.2 μm 水系滤膜, 供仪器测试用。

氨基酸自动分析仪参数条件: 磺酸型阳离子交换树脂分离柱 (4.6 mm × 60 mm, 3 μm); 分离柱温度 57 °C, 检测波长 570 nm (脯氨酸为 440 nm), 进样量 20 μL, 缓冲液流速 0.35 mL/min, 反应液: 茚三酮试剂, 流速 0.35 mL/min, 检测器温度 135 °C, 使用自带软件进行氨基酸数据分析。

根据联合国粮农组织/世界卫生组织 (United Nations Food Agriculture Organization/World Health Organization, FAO/WHO) 1973 年建议的氨基酸评分标准模式^[11] 进行营养评价, 氨基酸评分 (amino acid score, AAS)、必需氨基酸指数 (essential amino acid index, EAAI) 按照公式 (1)、(2) 计算。

$$\text{AAS}/\% = \frac{\text{待测蛋白质中某种必需氨基酸含量}/(\text{mg/g})}{\text{FAO/WHO评分模式蛋白质中同种氨基酸含量}/(\text{mg/g})} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{EAAI}/\% = \sqrt[n]{\frac{t_{\text{缬氨酸}} \times t_{\text{苏氨酸}} \times t_{\text{赖氨酸}}}{s_{\text{缬氨酸}} \times s_{\text{苏氨酸}} \times s_{\text{赖氨酸}}}} \times 100 \quad (2)$$

式中： n 为比较的氨基酸数目； t 为实验蛋白质的氨基酸含量/ (mg/g) ； s 为鸡蛋蛋白质的氨基酸含量/ (mg/g) 。

1.3.3 脂肪酸组成分析

用氯仿-甲醇冷提取法提取样品的粗脂肪，用Sigma脂肪酸甲酯化试剂盒进行甲酯化，利用GC-MS进行分析。

色谱条件：色谱柱：Rtx-Wax石英毛细管柱（30 m×0.25 mm，0.25 μm），火焰离子化检测器，进样口温度250℃，检测器温度250℃；色谱柱升温程序：初始温度80℃，以10℃/min升至110℃保持3 min，以3℃/min升至195℃保持10 min，以15℃/min升至235℃保持23 min，最后以0.1℃/min升至236℃保持3 min。载气为氦气，进样量1 μL，分流比20:1。

质谱条件：离子化方式：电子轰击，电子能量70 eV，四极杆温度150℃，离子源温度230℃，前进样口温度240℃，质量扫描范围33~500 (m/z)。

脂肪酸的定性定量：采用质谱库化合物检索定性，采用面积归一化法计算脂肪酸的相对含量。

1.3.4 矿物质组成分析

采用高压微波消解仪和ICP-MS仪进行测定^[12]。称取约1 g样品（精确到0.000 1 g）于聚四氟乙烯管中，加入10 mL浓硝酸（68%），密封后放入MARS高通量微波消解仪进行消解。参数设置为：最大功率800 W，坡道20 min，温度控制180℃，保持30 min。消解结束后于通风橱中冷却、放气，将消化液转移到50 mL的容量瓶中，定容至刻度，同时做空白实验。

电感耦合高频等离子射频功率1 100 W；雾化器流速0.9 L/min；辅助气流速1.2 L/min；等离子气体流速15.0 L/min；载气流速0.50 L/min；分析模式：全定量。

汞元素用火焰原子吸收法测定，采用高压微波进行消解（方法同上）。原子吸收分光光度计参考条件：光电倍增管负高压240 V，汞空心阴极灯电流30 mA，原子化器温度300℃，载气流速500 mL/min，屏蔽器流速1 000 mL/min。

1.4 数据处理

实验数据用平均值±标准差表示，采用JMP10统计软件进行方差分析和多重比较。

2 结果与分析

2.1 3种金枪鱼鱼头的基本营养成分分析

由表1可知，水分是3种湿基金枪鱼头的主要成分，鱼皮的水分含量为62.68%~67.87%，鱼肉的水分含量为

69.33%~74.99%，鱼骨的水分含量为43.51%~52.51%，鱼皮和鱼肉的水分含量显著高于鱼骨（ $P<0.05$ ）。鱼皮的粗蛋白含量为21.45%~27.37%，鱼肉的粗蛋白含量为16.85%~20.28%，鱼骨的粗蛋白含量为14.40%~16.67%，鱼皮和鱼肉的粗蛋白含量显著高于鱼骨（ $P<0.05$ ），且它们的蛋白质含量均明显高于鸡蛋蛋白（12.84%）^[13]，因此3种金枪鱼均属于高蛋白鱼类。鱼皮的粗脂肪含量为6.83%~9.30%，鱼肉的粗脂肪含量为5.04%~9.74%，鱼骨的粗脂肪含量为5.78%~14.83%，不同品种金枪鱼鱼头同一部位的粗脂肪含量有显著差异（ $P<0.05$ ）。黄鳍金枪鱼鱼头中鱼肉的脂肪含量为5.04%，高于黄鳍金枪鱼的背部肌肉（1.06%）^[14]和腹部肌肉（3.80%）^[1]。大眼金枪鱼鱼头中鱼肉的脂肪含量为6.04%，与其大腹部肌肉的脂肪含量（6.35%）接近，但是高于赤身（0.16%）和中腹部肌肉（4.80%）^[15]。鱼皮的灰分含量为1.51%~2.45%，鱼肉的灰分含量为1.47%~1.97%，鱼骨的灰分含量为14.98%~26.08%，鱼皮和鱼肉的灰分含量显著低于鱼骨（ $P<0.05$ ）。

表1 3种金枪鱼鱼头的基本营养成分（湿基）
Table 1 Basic nutrients of heads of three tuna species (wet basis)

基本营养成分	黄鳍金枪鱼鱼头			大眼金枪鱼鱼头			马鲛金枪鱼鱼头		
	鱼皮	鱼肉	鱼骨	鱼皮	鱼肉	鱼骨	鱼皮	鱼肉	鱼骨
水分含量	67.87±0.33 ^a	74.99±0.68 ^a	43.51±2.81 ^c	62.68±1.95 ^a	73.67±0.54 ^a	47.27±1.40 ^b	66.89±0.97 ^a	69.33±0.72 ^a	52.51±0.50 ^d
粗蛋白含量	21.45±2.14 ^a	18.86±0.70 ^b	15.07±0.40 ^d	27.37±2.13 ^a	16.85±0.95 ^b	14.40±0.70 ^d	24.86±0.60 ^a	20.28±0.60 ^b	16.67±0.34 ^d
粗脂肪含量	7.89±0.72 ^d	5.04±0.88 ^b	5.78±0.89 ^b	9.30±0.32 ^{bc}	6.04±0.09 ^c	10.83±0.78 ^b	6.83±0.27 ^c	9.74±0.47 ^{bc}	14.83±0.83 ^a
灰分含量	2.05±0.17 ^d	1.58±0.07 ^d	22.50±1.52 ^b	2.45±0.38 ^d	1.97±0.26 ^d	26.08±1.45 ^b	1.51±0.17 ^d	1.47±0.19 ^d	14.98±0.14 ^c

注：同列小写字母不同，表示差异显著（ $P<0.05$ ）。表2同。

除水分之外，3种金枪鱼鱼头中鱼皮和鱼肉的主要成分是粗蛋白，鱼骨的主要成分是灰分和粗蛋白。相对于粗蛋白含量而言，粗脂肪含量相对较低，但是根据脂肪含量进行分类（脂肪含量>5%为高脂鱼类；脂肪含量2%~5%为中脂鱼类；脂肪含量<2%为低脂鱼类）^[16]，这3种金枪鱼均属于高脂鱼类。因此，这3种金枪鱼鱼头是蛋白质、鱼油和矿物质等的良好生物来源。然而，鱼头在金枪鱼加工业中难以处理，常作为副产物用于生产饲料，严重浪费了宝贵的食用生物资源。

2.2 3种金枪鱼鱼头的氨基酸组成分析及营养价值评价

蛋白质是组成鱼类肌肉的主要成分，也是人体需要的最重要营养素之一。衡量食品蛋白质的营养价值主要取决于其所含必需氨基酸的种类、数量及比例。食物中所含的必需氨基酸模式与人体氨基酸模式越接近，其营养价值就越高^[17]。

2.2.1 氨基酸组成分析

由表2可知，从3种金枪鱼鱼头中检出16种氨基酸，其中必需氨基酸7种，鱼头的鱼皮、鱼肉和鱼骨中的氨基酸含量存在显著差异（ $P<0.05$ ）。由于采用酸水解制备样品，色氨酸被破坏，故未检出，暂不做分析。



鱼头的鱼皮氨基酸总量最高(26.71~30.41 g/100 g),均高于石斑鱼鱼皮(25.03 g/100 g)^[18]。鱼肉的氨基酸总量(14.48~16.81 g/100 g)与鱼骨的氨基酸总量(13.37~17.28 g/100 g)相当,但均低于青干金枪鱼赤身肉(24.36 g/100 g)和鲑鱼赤身肉(20.84 g/100 g)^[4]。鱼头中鱼肉和鱼皮中的必需氨基酸含量较高(5.82~6.67 g/100 g),其中黄鳍金枪鱼鱼头中的鱼肉必需氨基酸含量最高,为6.67 g/100 g,但是低于黄鳍金枪鱼腹部肌肉(7.11 g/100 g)^[1]。鱼骨中的必需氨基酸含量较低(2.96~3.69 g/100 g)。鱼头中鱼肉的EAA/TAA为39.27%~40.19%,而鱼头中鱼皮和鱼骨的EAA/TAA为21.19%~22.14%。从必需氨基酸种类和含量的角度分析,3种金枪鱼鱼头中鱼皮、鱼肉和鱼骨的必需氨基酸种类(除色氨酸外)比较齐全,鱼肉的EAA/TAA接近于FAO/WHO推荐的理想蛋白质模式(EAA/TAA为40%),而鱼皮和鱼骨的EAA/TAA远低于FAO/WHO推荐的理想蛋白质模式。

表2 3种金枪鱼鱼头的氨基酸组成及含量(湿基)
Table 2 Amino acid composition of heads of three tuna species (wet basis)

氨基酸	黄鳍金枪鱼鱼头			大眼金枪鱼鱼头			马苏金枪鱼鱼头		
	鱼皮	鱼肉	鱼骨	鱼皮	鱼肉	鱼骨	鱼皮	鱼肉	鱼骨
苏氨酸 ^a	1.08±0.01 ^d	0.82±0.01 ^c	0.51±0.01 ^f	1.07±0.03 ^a	0.73±0.00 ^d	0.62±0.00 ^f	0.99±0.00 ^b	0.78±0.01 ^{cd}	0.52±0.01 ^f
缬氨酸 ^a	0.84±0.00 ^d	0.87±0.02 ^b	0.41±0.00 ^f	0.96±0.01 ^a	0.78±0.01 ^c	0.53±0.01 ^d	0.83±0.01 ^b	0.77±0.01 ^c	0.43±0.01 ^f
甲硫氨酸 ^a	0.65±0.00 ^d	0.51±0.01 ^c	0.30±0.00 ^f	0.67±0.03 ^a	0.43±0.01 ^{de}	0.39±0.01 ^e	0.59±0.01 ^b	0.45±0.01 ^d	0.32±0.01 ^f
异亮氨酸 ^a	0.49±0.01 ^c	0.81±0.02 ^a	0.25±0.00 ^f	0.57±0.01 ^a	0.70±0.01 ^c	0.33±0.01 ^f	0.52±0.00 ^b	0.74±0.01 ^b	0.25±0.00 ^f
亮氨酸 ^a	1.01±0.01 ^d	1.36±0.02 ^a	0.50±0.00 ^f	1.15±0.02 ^a	1.18±0.01 ^c	0.62±0.00 ^f	1.01±0.01 ^d	1.26±0.02 ^a	0.51±0.01 ^f
苯丙氨酸 ^a	0.78±0.01 ^d	0.69±0.00 ^b	0.36±0.00 ^f	0.80±0.01 ^d	0.62±0.01 ^d	0.43±0.01 ^f	0.73±0.01 ^b	0.68±0.01 ^c	0.38±0.01 ^f
赖氨酸 ^a	1.23±0.01 ^d	1.61±0.02 ^a	0.63±0.01 ^f	1.35±0.06 ^a	1.40±0.00 ^b	0.78±0.00 ^f	1.20±0.01 ^d	1.49±0.03 ^a	0.64±0.01 ^f
天冬氨酸 ^a	1.86±0.01 ^d	1.69±0.03 ^a	0.88±0.01 ^f	1.93±0.02 ^a	1.48±0.00 ^b	1.11±0.01 ^d	1.77±0.01 ^d	1.54±0.04 ^a	0.91±0.04 ^f
丝氨酸 ^a	1.22±0.00 ^d	0.73±0.01 ^d	0.58±0.01 ^f	1.30±0.04 ^a	0.63±0.01 ^d	0.77±0.00 ^f	1.19±0.01 ^b	0.70±0.01 ^d	0.59±0.00 ^f
谷氨酸 ^a	3.38±0.02 ^d	2.73±0.04 ^a	1.61±0.02 ^f	3.27±0.06 ^a	2.11±0.06 ^d	1.93±0.01 ^f	3.10±0.02 ^b	2.59±0.05 ^a	1.64±0.01 ^f
甘氨酸 ^a	6.39±0.06 ^d	0.92±0.01 ^c	2.99±0.08 ^f	6.90±0.42 ^a	0.86±0.01 ^d	4.09±0.01 ^f	5.75±0.05 ^b	0.95±0.03 ^c	3.14±0.13 ^d
丙氨酸 ^a	2.91±0.05 ^d	1.03±0.01 ^c	1.32±0.03 ^d	3.08±0.18 ^a	0.92±0.01 ^c	1.78±0.00 ^f	2.59±0.01 ^b	0.98±0.01 ^c	1.36±0.01 ^d
酪氨酸 ^a	0.28±0.00 ^d	0.61±0.01 ^c	0.17±0.01 ^f	0.29±0.01 ^a	0.47±0.01 ^c	0.16±0.01 ^f	0.33±0.01 ^d	0.56±0.01 ^b	0.16±0.00 ^f
组氨酸 ^a	0.36±0.01 ^d	0.71±0.01 ^c	0.19±0.00 ^f	0.32±0.00 ^a	0.70±0.01 ^d	0.21±0.00 ^f	0.32±0.01 ^d	0.55±0.01 ^b	0.19±0.00 ^f
精氨酸 ^a	2.62±0.03 ^d	1.11±0.01 ^{de}	1.16±0.01 ^{de}	2.67±0.15 ^a	0.95±0.01 ^c	1.46±0.01 ^f	2.36±0.01 ^b	1.09±0.01 ^{de}	1.21±0.05 ^d
脯氨酸 ^a	3.59±0.03 ^d	0.61±0.01 ^c	1.51±0.04 ^d	4.11±0.25 ^a	0.56±0.00 ^f	2.11±0.00 ^f	3.48±0.04 ^d	0.61±0.01 ^c	1.58±0.05 ^d
TAA	28.69	16.81	13.37	30.41	14.48	17.28	26.71	15.71	13.81
EAA	6.08	6.67	2.96	6.57	5.82	3.69	5.85	6.17	3.05
UAA	14.54	6.37	6.80	15.17	5.36	8.90	13.20	6.05	7.04
EAA/TAA/%	21.19	39.68	22.14	21.60	40.19	21.35	21.90	39.27	22.09
UAA/TAA/%	50.68	37.89	50.86	49.88	36.95	51.50	49.42	38.51	50.98

注: *. 必需氨基酸(essential amino acid, EAA); #. 鲜味氨基酸(umami amino acids, UAA); TAA. 总氨基酸(total amino acid)。

海产品的鲜味与4种呈鲜味的氨基酸(甘氨酸、谷氨酸、丙氨酸和天冬氨酸)密切相关。3种金枪鱼鱼头中4种鲜味氨基酸的含量较高,鲜味氨基酸含量与总氨基酸含量的比值(UAA/TAA)为36.95%~51.50%,均超过30%,这为利用金枪鱼鱼头开发海鲜调味料提供了重要的物质基础。鱼皮、鱼骨中甘氨酸含量最高,鱼肉中谷

氨酸含量最高,这与柯虹乔^[19]的研究结果一致。

2.2.2 蛋白质营养价值评价

AAS是食品营养学中对食物蛋白质进行营养评价的重要指标,EAAI是反映必需氨基酸含量与标准蛋白质接近程度的指标^[15]。对3种金枪鱼鱼头不同部位的必需氨基酸进行AAS,并计算其EAAI。

表3 3种金枪鱼鱼头蛋白质的营养评价

Table 3 Protein nutritional evaluation of heads of three tuna species

必需氨基酸	黄鳍金枪鱼鱼头AAS/%			大眼金枪鱼鱼头AAS/%			马苏金枪鱼鱼头AAS/%		
	鱼皮	鱼肉	鱼骨	鱼皮	鱼肉	鱼骨	鱼皮	鱼肉	鱼骨
苏氨酸	126	109	85	98	108	108	100	96	78
缬氨酸	78	92	54	70	92	74	66	76	52
甲硫氨酸	87	77	57	70	73	76	67	63	55
异亮氨酸	57	107	41	52	103	56	52	91	37
亮氨酸	67	103	47	60	100	62	58	88	44
苯丙氨酸+酪氨酸	82	115	59	66	108	68	71	102	38
赖氨酸	104	155	76	90	151	108	87	134	70
EAAI/%	70.53	89.82	49.30	59.81	86.92	63.92	59.28	76.74	60.40

由表3可知:对黄鳍金枪鱼鱼头来讲,AAS的大小顺序为鱼肉(77%)>鱼皮(57%)>鱼骨(41%);对于大眼金枪鱼鱼头来讲,AAS的大小顺序为鱼肉(73%)>鱼骨(56%)>鱼皮(52%);对于马苏金枪鱼鱼头来讲,AAS的大小顺序为鱼肉(63%)>鱼皮(52%)>鱼骨(37%)。鱼肉的第一限制性氨基酸均为甲硫氨酸,鱼皮和鱼骨的第一限制性氨基酸均为异亮氨酸。以EAAI为评价标准时,当EAAI>95%时为优质蛋白源,86%<EAAI<95%时为良好蛋白源,75%<EAAI<86%时为可用蛋白源,EAAI<75%时为不适蛋白源^[20]。黄鳍金枪鱼鱼头和大眼金枪鱼鱼头中鱼肉的EAAI分别为89.82%和86.92%,属于良好蛋白质源,而马苏金枪鱼鱼头中鱼肉的EAAI为76.74%,属于可用蛋白源;3种金枪鱼鱼头中鱼皮和鱼骨的EAAI均低于75%,属于不适蛋白源。因此,从AAS和EAAI的角度分析,金枪鱼鱼头中鱼肉蛋白质的营养价值相对较高,而鱼皮和鱼骨蛋白质的营养价值相对较低。3种金枪鱼鱼头中鱼肉、鱼皮和鱼骨的赖氨酸AAS均较高。赖氨酸是人体的必需氨基酸之一,是粮谷类蛋白质的第一限制性氨基酸。因此,将粮谷类蛋白质和鱼头中的蛋白质搭配食用,可以弥补粮谷类食物中赖氨酸的不足,起到蛋白质必需氨基酸互补的作用,从而提高膳食蛋白质的营养价值^[21]。另外,赖氨酸可以改善神经系统、预防骨质疏松,还能增强免疫力,对支气管炎和肝炎也有辅助性疗效^[22]。

2.3 3种金枪鱼鱼头的脂肪酸组成及营养评价

脂肪酸组成和含量是评价食物脂类营养价值的重要指标。饱和脂肪酸是最早用于鱼类体能氧化供能的营养物质,对于鱼类生长发育过程中的能量代谢有重要作用,但是人类摄入过多饱和脂肪酸则会增加心血管疾病

的风险^[23]。油酸是最重要的单不饱和脂肪酸，是鱼类生长代谢过程中能量的主要来源。多不饱和脂肪酸是具有独特生理功能的生物活性物质，具有促进视觉系统发育、保护视力、增强神经系统、延缓脑衰老^[24]等生理功能。一般来讲，脂肪酸不饱和程度越高，营养价值也越高。

表4 3种金枪鱼鱼头的脂肪酸组成及相对含量
Table 4 Fatty acid composition of heads of three tuna species

脂肪酸	黄鳍金枪鱼鱼头			大目金枪鱼鱼头			马苏金枪鱼鱼头		
	鱼肉	鱼皮	鱼骨	鱼肉	鱼皮	鱼骨	鱼肉	鱼皮	鱼骨
C _{12:0}	—	0.02	0.07	0.05	0.05	0.04	—	0.05	0.04
C _{14:0}	2.09	2.66	3.49	3.99	2.96	3.21	3.21	2.40	2.96
C _{15:0}	0.72	0.82	0.80	0.91	0.73	0.73	0.75	0.72	0.68
C _{16:0}	19.35	21.23	19.83	21.02	19.03	22.10	19.03	19.42	21.78
C _{17:0}	1.10	0.28	0.00	0.27	0.32	0.25	0.23	0.34	0.31
C _{18:0}	4.55	5.46	5.17	3.76	4.49	4.98	5.13	5.35	5.36
C _{20:0}	0.24	0.43	0.16	0.13	0.16	—	0.14	0.20	0.43
C _{14:1}	0.08	0.11	0.00	0.18	0.17	0.14	0.13	0.13	0.16
C _{16:1 n-7}	4.04	4.25	3.76	4.13	3.97	3.23	3.28	3.32	3.46
C _{18:1 n-9}	24.67	25.80	24.33	23.25	26.23	26.21	24.25	26.42	26.67
C _{20:1 n-9}	3.11	4.43	3.93	4.56	5.78	4.86	6.07	4.72	3.23
C _{22:1 n-9}	0.78	1.23	1.18	1.34	1.67	1.55	1.84	1.07	1.42
C _{18:2 n-6}	0.00	0.04	0.00	0.00	0.17	0.00	0.04	0.01	0.00
C _{18:3 n-3}	0.75	0.78	0.80	6.86	0.78	0.64	0.92	0.79	0.78
C _{18:3 n-6}	0.30	0.34	0.14	0.00	0.27	0.27	0.35	0.06	0.24
C _{20:2 n-6}	0.29	0.25	0.27	0.20	0.27	0.22	0.07	0.24	0.27
C _{20:3 n-6}	2.48	2.25	0.79	0.73	0.89	0.72	0.91	1.30	0.80
C _{20:4 n-6}	0.65	0.63	0.70	0.92	0.95	0.84	0.82	0.72	0.71
C _{20:5 n-3} (EPA)	4.42	4.09	4.86	4.15	4.62	4.53	4.64	4.02	5.15
C _{22:2 n-6}	0.30	0.00	0.26	0.21	0.23	0.24	0.24	0.25	0.23
C _{22:3 n-6}	0.54	0.61	0.22	0.16	0.30	0.22	0.16	0.41	0.23
C _{22:4 n-6}	1.44	1.01	0.31	0.25	0.43	0.29	0.35	0.64	0.32
C _{22:5 n-6}	1.49	1.43	1.30	1.36	1.83	1.51	1.44	2.46	1.46
C _{22:6 n-3} (DHA)	23.29	17.60	15.69	17.69	20.16	19.80	22.68	20.95	19.66
饱和脂肪酸	28.05	30.90	29.52	30.13	27.74	31.31	28.49	28.48	31.56
单不饱和脂肪酸	32.68	35.82	33.20	33.46	37.82	35.99	35.57	35.66	34.94
多不饱和脂肪酸	35.95	29.03	25.34	32.53	30.90	29.28	32.62	31.85	29.85
EPA+DHA	27.71	21.69	20.55	21.84	24.78	24.33	27.32	24.97	24.81
DHA/EPA	5.27	4.30	3.23	4.26	4.36	4.37	4.89	5.21	3.82
n-6/n-3	0.26	0.29	0.19	0.13	0.21	0.17	0.16	0.24	0.17

注：—，未检出。

由表4可知，从3种金枪鱼鱼头中检出24种脂肪酸，包括7种饱和脂肪酸、5种单不饱和脂肪酸和12种多不饱和脂肪酸。3种金枪鱼鱼头的脂肪酸组成特点非常相似，饱和脂肪酸的相对含量为27.74%~31.56%，单不饱和脂肪酸的相对含量为32.68%~37.82%，多不饱和脂肪酸的相对含量为25.34%~35.95%。EPA和DHA的总相对含量为20.55%~27.71%。3种鱼头不同部位的多不饱和脂肪酸相对含量低于鲑鱼的不同部位（鱼头、内脏、鱼肉）（34.87%~37.17%），DHA和EPA总相对含量也低于鲑鱼内脏、鱼肉^[25]和鱼肝^[26]。金枪鱼鱼头中的饱和脂肪酸以棕榈酸（C_{16:0}）、硬脂酸（C_{18:0}）和月桂

酸（C_{14:0}）为主，其相对含量分别为19.03%~22.10%、3.76%~5.46%和2.09~3.99%；单不饱和脂肪酸以油酸（C_{18:1 n-9}）、棕榈油酸（C_{16:1 n-7}）和花生油酸（C_{20:1 n-9}）为主，其相对含量分别为23.25%~26.67%、3.23%~4.25%和3.11%~6.07%；多不饱和脂肪酸以DHA（C_{22:6 n-3}）和EPA（C_{20:5 n-3}）为主，其相对含量分别为15.69%~23.29%和4.02%~5.15%。金枪鱼鱼头的不饱和脂肪酸相对含量远远高于饱和脂肪酸，饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸的比例非常接近1:1:1，符合WHO/FAO建议的膳食脂肪酸摄入比例。

DHA和EPA相对含量的高低是评价鱼油价值的重要指标之一^[27-28]。有研究表明，DHA对神经系统疾病具有很好的预防和治疗作用^[29-30]，DHA还对婴幼儿和青少年的大脑和视力发育具有很好的保健作用^[31-32]，而EPA则对心血管系统疾病具有很好的预防和治疗作用^[33]。3种金枪鱼鱼头中的DHA相对含量均大于EPA，DHA/EPA在3.23~5.27之间。这说明金枪鱼鱼头中的脂类可以用于开发益智健脑、促进视力发育、预防神经系统疾病的保健品。

WHO/FAO建议，膳食中n-6与n-3多不饱和脂肪酸摄入比值应为4~6，而目前我国居民膳食中n-6与n-3多不饱和脂肪酸摄入比值高达10，这说明我国居民膳食中严重缺乏n-3多不饱和脂肪酸。3种金枪鱼鱼头中脂类的n-6与n-3多不饱和脂肪酸比值在0.13~0.29之间，远远小于WHO/FAO建议的标准，这说明3种金枪鱼鱼头的脂类中富含n-3多不饱和脂肪酸，是良好的n-3多不饱和脂肪酸来源。

2.4 3种金枪鱼鱼头的矿物质元素分析

表5 3种金枪鱼鱼头的矿物质元素含量（湿基）
Table 5 Mineral element contents of heads of three tuna species (wet basis)

元素	黄鳍金枪鱼鱼头			大目金枪鱼鱼头			马苏金枪鱼鱼头		
	鱼皮	鱼肉	鱼骨	鱼皮	鱼肉	鱼骨	鱼皮	鱼肉	鱼骨
钠 (Na)	325.01	145.26	274.22	542.27	135.89	281.95	474.53	170.94	294.44
钾 (K)	125.09	271.82	108.59	160.91	303.13	137.73	150.58	270.87	157.02
钙 (Ca)	576.70	34.18	4 228.94	1 667.30	62.55	6 353.15	661.27	453.01	5 355.96
镁 (Mg)	31.41	27.77	60.25	52.07	27.67	86.58	65.21	29.01	67.88
锌 (Zn)	7.06	1.40	10.06	2.42	1.08	2.53	8.52	2.28	3.76
铁 (Fe)	3.08	2.63	10.64	6.19	2.38	13.66	13.28	3.78	12.02
硒 (Se)	0.29	0.23	0.27	0.40	0.29	0.18	0.43	0.30	0.25
锰 (Mn)	0.05	0.02	0.07	0.09	0.01	0.16	0.08	0.03	0.12
铝 (Al)	0.35	0.38	0.43	0.51	0.17	0.43	0.69	0.26	0.34
铬 (Cr)	0.67	0.89	0.41	0.45	0.41	0.40	0.24	0.41	0.41
铜 (Cu)	0.04	0.05	0.02	0.08	0.04	0.02	0.20	0.05	0.02
铅 (Pb)	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00	0.05	0.01	0.01
砷 (As)	0.17	0.18	0.24	0.21	0.18	0.32	0.20	0.20	0.36
汞 (Hg)	0.01	0.00	0.00	0.03	0.00	0.01	0.02	0.01	0.01
Na:K	2.60	0.53	2.53	3.37	0.45	2.05	3.15	0.63	1.88
Zn:Cu	176.50	28.00	503.00	30.25	27.00	126.50	42.60	45.60	188.00
Zn:Fe	2.29	0.53	0.95	0.39	0.45	0.19	0.64	0.60	0.31



由表5可知：金枪鱼鱼头中富含Ca，尤其是鱼皮和鱼骨中，含量为576.70~6 353.15 mg/100 g，是很好的高钙食物来源；鱼头中K、Na、Mg含量也非常丰富，含量分别为108.59~303.13、135.89~542.27、27.67~86.58 mg/100 g，它们具有调节人体体液酸碱平衡、维持细胞正常兴奋、细胞渗透以及参与能量代谢的功效。Na和K能够有效促进能量代谢，是维持神经、细胞膜通透性及细胞正常功能的重要元素^[34]。另外，研究表明，理想的Na:K应低于1.5，过高则不利于人体Na、K平衡^[35]，本研究中除了鱼肉的Na:K为0.45~0.63，低于1.5，鱼皮和鱼骨的Na:K均高于1.5。在微量元素中，金枪鱼鱼头Fe、Zn含量最高，分别为2.38~13.66 mg/100 g和1.08~10.06 mg/100 g；其中黄鳍金枪鱼鱼头Fe含量为2.63~10.64 mg/100 g，高于黄鳍金枪鱼赤身肌肉（1.64 mg/100 g）^[6]。大眼金枪鱼鱼头中的Fe含量为2.38~13.66 mg/100 g，明显高于大眼金枪鱼腹部肌肉（0.33 mg/100 g）^[1]。Fe是人体制造血红蛋白的必需元素，在生物氧化和呼吸过程中发挥很重要的作用，缺乏时会引起缺铁性贫血，Fe元素对儿童生长发育和智力发展有促进作用^[36]。Zn在维持机体的正常免疫、生殖和调控自由基水平等方面都有重要作用，Zn缺乏可导致皮炎、免疫力降低、伤口愈合减慢、食欲不振等症状^[37]。微量元素中Fe、Zn、Cu其相互作用是拮抗的，并且这种拮抗作用通常发生在Zn:Cu>10、Zn:Fe>1时^[38]。3种鱼头的Zn:Cu均大于10，具有拮抗作用，Zn:Fe的比值除了黄鳍金枪鱼鱼头的鱼皮中为2.29，其余均小于1，说明3种鱼头的Zn:Fe较Zn:Cu更为理想。鱼头中还含有丰富的细胞活性因子Se，其含量为0.18~0.43 mg/100 g。Se具有防癌、抗癌、抗氧化等功效，Se缺乏会引起肌肉萎缩、肝功能障碍、生殖异常、生长迟缓及免疫力下降等。另外，Mn元素含量为0.01~0.16 mg/100 g。Mn元素是一种必需的痕量金属元素，存在于各种组织中，且为氨基酸、脂质、蛋白质和碳水化合物代谢所需要^[39]。

通常，鱼头由于易富集重金属而影响其食用价值。3种鱼头的Cu含量为0.02~0.20 mg/100 g，Al含量为0.17~0.69 mg/100 g。Cu和Al是人体正常生理活动所必需的微量金属元素。Cu在维持生物体内的新陈代谢和心血管系统方面起着多种极为重要的生理和生化作用^[40]。Al是地壳中含量最多的金属元素，在毒理学上虽属于低毒性金属元素，不会引起急性中毒，但人体摄入后会在体内蓄积，与人体中多种蛋白质、酶等成分结合，影响体内多种生化反应。长期摄入Al会损伤大脑，损害神经和骨髓，导致痴呆、视觉与运动协调失灵，还可能引发贫血、骨质疏松等疾病^[41]。由于鱼头易富集重金属，重金属不但难被分解，并且半衰期较长，通过食物链的传递积累在人体内，当其在人体中累积

达到一定量时，人体就出现慢性（或急性）中毒症状，对人体的器官、系统等造成不可逆的伤害。3种金枪鱼鱼头的Pb含量为0.01~0.05 mg/100 g，Cr含量为0.24~0.89 mg/100 g，As含量为0.17~0.36 mg/100 g，Hg含量为0.00~0.02 mg/100 g。根据GB 2762—2017《食品安全国家标准 食品中污染物限量》^[42]，Pb、Cr、As、Hg的限量标准分别为0.05、0.20、0.01、0.05 mg/100 g，可知Pb含量和Hg含量符合国家标准，Cr和As含量略高于国家标准。

3 结论

3种金枪鱼鱼头中均含有丰富的粗蛋白、粗脂肪和矿物质；鱼头中鱼肉的粗蛋白含量较高，必需氨基酸组成比例合理，营养价值较高，而鱼皮和鱼骨中蛋白质的营养价值相对较低；鱼头中含有丰富的多不饱和脂肪酸，其中DHA和EPA的总相对含量在20.55%~27.71%之间，*n*-6与*n*-3多不饱和脂肪酸的比值为0.13~0.29，具有较高的营养价值；鱼头中还富含对人体健康有益的矿物质元素Ca、Fe、Zn等。因此，金枪鱼鱼头是蛋白质、鱼油和矿物质等很好的生物资源来源，非常值得开发利用。

参考文献：

- [1] 邹盈, 李彦坡, 戴志远, 等. 三种金枪鱼营养成分分析与评价[J]. 农产品加工, 2018(10): 43-47.
- [2] 赵瑞云. 金枪鱼鱼肉匀浆和肌原纤维蛋白黏度特性及其与品质的相关性[D]. 上海: 上海海洋大学, 2017: 4-20.
- [3] 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. DOI:10.3969/j.issn.1673-9159.2015.03.013.
- [4] 郑振霄, 童玲, 徐坤华, 等. 2种低值金枪鱼赤身肉的营养成分分析与评价[J]. 食品科学, 2015, 36(10): 114-118. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201510023.
- [5] 王新萍. 金枪鱼碎肉的酶解与产物改性利用研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2013: 7-40.
- [6] 周聃. 两种大洋性金枪鱼差异蛋白组学的研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2016: 8-10.
- [7] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中水分的测定: GB 5009.3—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [8] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定: GB/T 5009.5—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [9] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定: GB/T 5009.6—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [10] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中灰分的测定: GB 5009.4—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [11] ZHAO X, KIM S H, QI Y C, et al. Effects of different kinds of salt in comutagenicity and growth of cancer cells[J]. Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition, 2012, 41(1): 26-32.
- [12] 曾海英, 王家磊, 沈萍萍, 等. 微波消解-ICP-MS法测定食品、水产品及动物组织中33种金属元素[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(3): 953-961.

- [13] 葛庆联, 高玉时, 蒲俊华, 等. 不同品种鸡蛋部分营养成分比较分析[J]. 中国家禽, 2013, 35(11): 28-36. DOI:10.3969/j.issn.1004-6364.2013.11.008.
- [14] 王峰, 杨金生, 尚艳丽, 等. 黄鳍金枪鱼营养成分的研究与分析[J]. 食品工业, 2013, 34(1): 187-189.
- [15] 刘书臣, 李仁伟, 廖明涛, 等. 大目金枪鱼不同部位肌肉的营养成分分析与评价[J]. 食品工业科技, 2013, 34(23): 340-348. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2013.23.065.
- [16] 刘书成. 水产食品加工程序[M]. 郑州: 郑州大学出版社, 2010: 38.
- [17] 李海波, 杨雪, 白冬, 等. 鲣鱼(*Katsuwonus pelamis*)肌肉蛋白在热处理过程中的营养变化及功能性评价[J]. 海洋与湖沼, 2017, 48(1): 155-160. DOI:10.11693/hyhz20160500116.
- [18] 陈星星, 柯爱英, 潘齐存, 等. 珍珠龙胆石斑鱼营养成分分析与品质评价[J]. 海洋湖沼通报, 2018(1): 90-95.
- [19] 柯虹乔. 酶解金枪鱼头蛋白制备抗氧化活性肽的研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2011.
- [20] 贡慧, 陶瑞, 杨震, 等. 不同品种金枪鱼肌肉组织的热物理特性[J]. 肉类研究, 2017, 31(4): 1-5. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-201704001.
- [21] 廖明涛. 冻藏条件下蓝鳍金枪鱼鱼肉色泽变化的研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2013: 4-15.
- [22] 王洪, 赵亚军. 赖氨酸的应用及食品级赖氨酸的发展前景[J]. 发酵科技通讯, 2018, 47(4): 236-239. DOI:10.16774/j.cnki.issn.1674-2214.2018.04.011.
- [23] KARAPANAGIOTIDIS I T, YAKUPITIYAGE A, LITTLE D C, et al. The nutritional value of lipids in various tropical aquatic animals from rice-fish farming systems in northeast Thailand[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2010, 23(1): 1-8. DOI:10.1016/j.jfca.2009.08.001.
- [24] FRENHAM L J, BRYAN J, PARLETTA N. Influences of micronutrient and omega-3 fatty acid supplementation on cognition learning and behavior: methodological considerations and implications for children and adolescents in developed societies[J]. Nutrition Reviews, 2012, 70(10): 594-610. DOI:10.1111/j.1753-4887.2012.00516.x.
- [25] 侯钦帅, 刘小芳, 张学超, 等. 鲣鱼鱼肝营养成分分析与评价[J]. 青岛大学学报(自然科学版), 2017, 30(3): 29-34. DOI:CNKI:SUN:QD DD.0.2017-03-007.
- [26] 白冬. 深海鲣鱼鱼油提取、精制与抗氧化活性研究[D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2018.
- [27] WOODSIDE J V, MCKINLEY M C, YOUNG I S. Saturated and trans fatty acids and coronary heart disease[J]. Current Atherosclerosis Reports, 2008, 10(6): 460-466. DOI:10.1007/s11883-008-0072-5.
- [28] 骆婷. 鲱鱼腹部鱼油的提取工艺研究及品质分析[D]. 无锡: 江南大学, 2016: 7-15.
- [29] MARTÍNEZ LEO E E, ROJAS HERRERA R A, SEGURA CAMPOS M R, et al. Bioactive molecules in food[M]. New York: Springer, 2018: 1-17. DOI:10.1007/978-3-319-54528-8-90-1.
- [30] KARR J E, ALEXANDER J E, WINNINGHAM R G. Omega-3 polyunsaturated fatty acids and cognition throughout the lifespan: a review[J]. Nutritional Neuroscience, 2011, 14(5): 216-225. DOI:10.1179/1476830511Y.0000000012.
- [31] 曹万新, 孟橘, 田玉霞. DHA的生理功能及应用研究进展[J]. 中国油脂, 2011, 36(3): 1-4.
- [32] SWANSON D, BLOCK R, MOUSA S A. Omega-3 fatty acids EPA and DHA: health benefits throughout life[J]. Advances in Nutrition: An International Review Journal, 2012, 3(1): 1-7. DOI:10.3945/an.111.000893.
- [33] 程波, 陈超, 王印庚, 等. 七带石斑鱼肌肉营养成分分析与品质评价[J]. 渔业科学进展, 2009, 30(5): 51-57. DOI:10.3969/j.issn.1000-7075.2009.05.009.
- [34] RUPEREZ P. Mineral content of edible marine seaweeds[J]. Food Chemistry, 2002, 79(1): 23-26. DOI:10.1016/s0308-8146(02)00171-1.
- [35] 童铃, 金毅, 徐坤华, 等. 3种鲣鱼背部肌肉的营养成分分析及评价[J]. 南方水产科学, 2014, 10(5): 51-59. DOI:10.3969/j.issn.2095-0780.2014.05.008.
- [36] 柳学周, 徐永江, 李荣, 等. 黄条鲷(*Seriola aureovittata*)肌肉营养成分组成分析与评价[J]. 渔业科学进展, 2017, 38(1): 128-135. DOI:10.11758/yykxjz.2016072200.
- [37] 尤宏争, 李文雯, 夏苏东, 等. 斑石鲷含肉率与肌肉营养成分分析[J]. 大连海洋大学学报, 2016, 31(2): 174-179. DOI:10.16535/j.cnki.dlhyxb.2016.02.010.
- [38] 罗殷, 王锡昌, 刘源. 黄鳍金枪鱼食用品质的研究[J]. 食品科学, 2008, 29(9): 476-480. DOI:10.3321/j.issn:1002-6630.2008.09.111.
- [39] 刘康. 军曹鱼幼鱼(*Rachycentron canadum*)微量元素硒、锰的营养生理研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2010: 9-10. DOI:10.7666/d.y1829819.
- [40] 靳淑静, 王同敏, 任玲, 等. 铜在心血管系统中的有益作用[J]. 现代生物医学进展, 2018, 18(16): 3196-3200.
- [41] 许秀兰, 卢立晃. 微波消解ICP-MS法测定水产品中铝含量[J]. 浙江科技学院学报, 2012, 24(6): 461-465.
- [42] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中污染物限量: GB 2762—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017: 3-19.