

南海黄鳍金枪鱼不同副产物营养成分及脂肪酸组成分析

吴耀刚, 何雨珂, 赵洲, 余慧, 郭志强, 肖娟

Analysis of Nutrient and Fatty Acid Composition of Different By-products of Yellowfin Tuna in South China Sea

WU Yaogang, HE Yuke, ZHAO Zhou, YU Hui, GUO Zhiqiang, and XIAO Juan

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2024010074>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

三种金枪鱼不同部位肌肉营养成分与风味物质比较

Comparison of Nutritional Components and Flavor Substances of Different Muscle Parts of Three Kinds of Tuna Species

食品工业科技. 2022, 43(21): 319-326 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022010189>

金枪鱼蒸煮汁的抗氧化性、脱腥处理及其风味沙拉酱的研制

Antioxidant and Deodorizing Treatment of Tuna Steamed Juice and Development of Its Flavor Salad

食品工业科技. 2020, 41(4): 153-160 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.04.026>

褐点石斑鱼鱼肉及其副产物的脂肪酸分析

Fatty Acid Analysis of Brown Spotted Grouper (*Epinephelus fuscoguttatus*) Muscle and Its by-Products

食品工业科技. 2023, 44(7): 73-81 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022060010>

六种禽蛋中脂肪酸、氨基酸及胆固醇的营养成分分析

Analysis of Fatty Acids, Amino Acids, Cholesterol Nutrition Components in Six Poultry Eggs

食品工业科技. 2022, 43(10): 323-330 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021080200>

鳙鱼、金枪鱼和三文鱼鱼头的营养分析与品质评价

Nutrition Analysis and Quality Evaluation of *Aristichthys nobilis*, *Thunnus obesus* and *Salmon Salar* Head

食品工业科技. 2019, 40(17): 212-217,224 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.17.035>

棘胸蛙肌肉营养成分季节变化分析与评价

Analysis and Evaluation of Seasonal Changes on Nutrient Composition in Muscle of *Quasipaa spinosa*

食品工业科技. 2022, 43(9): 365-371 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021060281>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

吴耀刚, 何雨珂, 赵洲, 等. 南海黄鳍金枪鱼不同副产物营养成分及脂肪酸组成分析 [J]. 食品工业科技, 2024, 45(22): 254–262.
doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2024010074

WU Yaogang, HE Yuke, ZHAO Zhou, et al. Analysis of Nutrient and Fatty Acid Composition of Different By-products of Yellowfin Tuna in South China Sea[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(22): 254–262. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2024010074

· 分析检测 ·

南海黄鳍金枪鱼不同副产物营养成分及脂肪酸组成分析

吴耀刚¹, 何雨珂¹, 赵洲¹, 余慧¹, 郭志强^{2,3}, 肖娟^{1,*}

(1.海南大学食品科学与工程学院, 海南海口 570228;

2.海南大学海洋科学与工程学院, 南海海洋资源利用国家重点实验室, 海南海口 570228;

3.海南大学生命健康学院, 海南海口 570228)

摘要:为探究黄鳍金枪鱼不同副产物的重量占比和营养成分差异, 本研究选用黄鳍金枪鱼的副产物作为原材料, 探究不同大小黄鳍金枪鱼的暗色肉、鱼头、肝脏、脾脏和胰脏等副产物重量占鱼体重量百分比差异, 并分析其基本营养成分含量及脂肪酸构成谱差异。结果显示, 黄鳍金枪鱼暗色肉、鱼头、内脏团重量占鱼体重量百分比分别为 5.85%~6.81%、10.62%~21.05%、4.20%~7.47%; 不同副产物的水分含量差异显著 ($P<0.05$), 胰脏水分含量最低 (65.37%), 而心脏水分含量最高 (72.93%); 各副产物中蛋白质含量差异显著 ($P<0.05$), 在干基和湿基中分别为 49.25%~88.42%、16.92%~29.24%; 而脂肪含量在干基和湿基中分别为 2.98%~30.43%、0.98%~10.46%, 且鱼头的蛋白质含量最低、脂肪含量最高。此外, 鱼头的灰分含量在干基和湿基中分别高达 17.44%、5.99%, 而其他副产物灰分含量在干基和湿基中分别为 4.10%~8.25%、1.21%~2.43%。七种副产物中均检测出 26 种脂肪酸, 以棕榈酸、硬脂酸、油酸、花生五烯酸、二十二碳六烯酸为主要脂肪酸, 且含量差异显著 ($P<0.05$), 除脾脏外, 其余六种副产物的不饱和脂肪酸均达到 50.00% 以上, 最高可达 66.07%。综上, 黄鳍金枪鱼副产物重量占鱼体重量的 21.63%~34.36%, 不同副产物均具有丰富的营养成分, 可作为制备呈味氨基酸、抗氧化肽、胶原蛋白和不饱和脂肪酸等功能性成分的原料。

关键词:金枪鱼, 副产物, 营养成分, 脂肪酸

中图分类号: TS254.9

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2024)22-0254-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2024010074



本文网刊:

Analysis of Nutrient and Fatty Acid Composition of Different By-products of Yellowfin Tuna in South China Sea

WU Yaogang¹, HE Yuke¹, ZHAO Zhou¹, YU Hui¹, GUO Zhiqiang^{2,3}, XIAO Juan^{1,*}

(1. School of Food Science and Engineering, Hainan University, Haikou 570228, China;

2. School of Ocean Science and Engineering, Hainan University, State Key Laboratory of Marine Resource Utilization in South China Sea, Haikou 570228, China;

3. School of Life and Health Sciences, Hainan University, Haikou 570228, China)

Abstract: In order to investigate the differences in weight proportion and nutrient composition of different by-products of yellowfin tuna, this study investigated the differences in the ratio of the by-products weight to the body weight of yellowfin tuna in different sizes. The differences in the content of moisture, protein, fat, ash and the profile of fatty acids were also analyzed. The results showed that the ratio of dark meat, head, and viscera weight to body weight ranged from 5.85% to

收稿日期: 2024-01-08

基金项目: 国家自然科学基金项目资助 (32360578)。

作者简介: 吴耀刚 (1997-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 食品加工与安全, E-mail: 1981424893@qq.com。

* 通信作者: 肖娟 (1985-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 深海鱼类副产物功能因子提取及产品研发、热带果蔬及海藻功能食品研究及产品开发, E-mail: 993650@hainanu.edu.cn。

6.81%, from 10.62% to 21.05%, and from 4.20% to 7.47%, respectively. There was a significant difference in the moisture content of the different by-products ($P < 0.05$), in which the pancreas had the lowest moisture content (65.37%) while the heart had the highest moisture content (72.93%). The protein and fat content varied significantly among the by-products ($P < 0.05$). Protein content accounted for 49.25%~88.42% in dry body weight and 16.92%~29.24% in wet body weight, whereas fat content accounted for 2.98%~30.43% in dry body weight and 0.98%~10.46% in wet body weight. The head had the lowest protein content and the highest fat content among the by-products. Ash content of the head was 17.44% in wet body weight and 5.99% in dry body weight, and ash content of other by-products accounted for 4.10%~8.25% in dry body weight and 1.21%~2.43% in wet body weight. Twenty-six fatty acids were identified in all seven by-products. Palmitic, stearic, oleic, eicosapentaenoic, and docosahexaenoic acids were the predominant fatty acids. And their contents were significantly different among the by-products ($P < 0.05$). In by-products except for the spleen, the unsaturated fatty acids accounted for more than 50.00% of the total fatty acids content, with which the highest was 66.07%. In summary, the weight of by-products in yellowfin tuna accounts for 21.63% to 34.36% of the body weight of the fish, which had an abundance of nutrients, and would be used for the preparation of functional components such as flavor amino acids, antioxidant peptides and collagens.

Key words: tuna; by-products; nutrients; fatty acids

黄鳍金枪鱼 (*Thunnus albacares*) 属硬骨鱼纲、鲈形目、鲭科、金枪鱼属, 广泛分布于太平洋、大西洋和印度洋等热带、亚热带以及温带海域, 在我国主要分布于东海和南海, 是名贵的海洋暖水性上层鱼类^[1-3]。金枪鱼是世界远洋渔业的重要作业鱼种之一, 近年来, 全球商业捕获的金枪鱼产量不断上升, 而我国作为金枪鱼制品的生产大国之一, 海洋捕捞产量也在逐年提高。据《中国渔业统计年鉴》2023 年数据显示, 我国 2022 年的海洋捕捞产量高达 950.85 万吨, 而金枪鱼捕捞量达 4.05 万吨^[4]。然而, 在金枪鱼的加工过程中, 不可避免地会产生大量的鱼骨、内脏、暗色肉等副产物, 大约占整鱼的 50%~70%^[5]。这些副产物往往被当作下脚料丢弃或直接加工成低价值饲料, 造成资源浪费和环境污染^[6]。暗色肉、鱼头、心脏、肝脏、脾脏、胰脏和性腺等副产物中都富含丰富的蛋白质、脂肪酸和矿物质等营养物质, 具有潜在的经济价值。目前, 如何合理利用金枪鱼副产物、提高其附加值是金枪鱼加工产业的热点问题^[7]。

合理利用黄鳍金枪鱼副产物, 提高其附加值的重要前提是充分了解其各副产物之间的占比关系及其营养价值。我国南海总面积约 350 万平方千米, 海域面积辽阔, 蕴藏着丰富的金枪鱼资源, 近年来, 研究者们多次对南海金枪鱼进行了深入的勘探和捕捞, 而随着我国对南海金枪鱼资源的深入研究及其加工产业的不断完善, 如何最大限度地挖掘其潜力, 提高其副产物的利用率显得越发重要^[8-10]。目前, 已有苏阳^[11]对南海青干金枪鱼、圆鲈、鲹的普通肉、暗色肉、头、内脏分别进行营养成分分析, 发现其中普通肉蛋白质含量最高, 为 84.11%~87.72% (以干基计), 而脂肪含量 (以干基计) 由多到少依次为内脏 (18.26%~22.72%)、头 (15.16%~17.42%)、暗色肉 (7.38%~10.26%)、普通肉 (2.00%~6.50%); 邹盈等^[12]研究得出蓝鳍金枪鱼腹部肌肉湿基蛋白质含量最高 (21.89%), 高于黄鳍金枪鱼 (19.30%) 和大眼金枪鱼 (16.20%), 而湿基脂肪含量和灰分含量分别为

0.40%~6.20%、1.40%~2.10%; 王斌等^[13]分析金枪鱼鱼卵营养成分发现其蛋白质、脂肪和灰分含量分别为 21.00%、7.10%、1.60%, 且含有丰富的 Mg、Ca、K、Na、Fe 等矿物质元素; 周胜杰等^[14]研究发现青干金枪鱼和小头鲷均属高蛋白、高不饱和脂肪酸且鲜味氨基酸含量丰富的鱼类, 蛋白含量优于黄鳍金枪鱼、蓝鳍金枪鱼和大眼金枪鱼; 周成等^[15]在黄鳍金枪鱼肌肉检测出 34 种脂肪酸, 且发现中西太平洋和东太平洋黄鳍金枪鱼肌肉脂肪酸含量存在差异; 刘龙龙等^[16]对不同规格黄鳍金枪鱼肌肉营养成分分析, 发现大规格黄鳍金枪鱼具有更好的营养品质; 王进芳等^[17]研究发现金枪鱼背腹部的蛋白质含量均在 21% 以上, 是优质蛋白来源。可见, 金枪鱼的赤身肉、鱼头、鱼皮、鱼卵和内脏等含有丰富的蛋白质、不饱和脂肪酸和矿物质等营养物质, 且各副产物营养成分含量差异明显。但是目前对于南海黄鳍金枪鱼暗色肉、鱼头与内脏间的含量占比及营养成分差异尚未见报道。

本研究首先探究不同大小黄鳍金枪鱼的暗色肉、鱼头、肝脏、脾脏和胰脏等副产物重量占比差异, 以明确副产物在不同大小鱼中的重量占比, 然后, 分析各副产物的基本营养成分及脂肪酸构成谱。本研究旨在为黄鳍金枪鱼副产物资源的高效开发和高值化利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

黄鳍金枪鱼 通过海钓方式于 2023 年 5 月在南海海域 (17°41' N~18°17' N, 110°60' E~112°14' E) 进行捕捞, 低温保存 (-2~0 °C) 运送至实验室。根据体型大小, 将 14 尾黄鳍金枪鱼样本分为大鱼 (叉长范围为 100.00~140.00 cm, 体重范围为 17.55~42.00 kg, n=7)、小鱼 (叉长范围为 54.00~84.00 cm, 体重范围为 3.05~9.80 kg, n=7) 两个体型组, 在实验室中进行解剖后取其鱼头、暗色肉和内脏团 (心脏、肝脏、脾脏、胰脏、性腺) 称重记录后, 将内脏团中各脏器分离

并称重,置于-20℃冰箱保存待用;正己烷(色谱纯)、甲醇(色谱纯)、石油醚、氢氧化钠、浓硫酸(分析纯,西陇科学股份有限公司);37种脂肪酸甲酯混标(上海源叶生物有限公司)。

DGJ-25C真空冷冻干燥机(上海博登生物科技有限公司);MF-1200C箱式炉(安徽贝意克设备技术有限公司);Rapid N Exceed杜马斯燃烧法定氮仪(德国Elementar公司);7890A气相色谱仪(美国安捷伦科技有限公司)。

1.2 实验方法

1.2.1 样品预处理 实验前将暗色肉、鱼头、各内脏从冰箱中取出,经室温自然解冻后,除去各组织部位中的表面残留物,用吸水纸擦干表面水分,将各组织切成小块后分别充分混合到一起,然后置于组织捣碎机中捣碎至糜状。将部分样品置于-20℃冰箱中预冻后置于真空冷冻干燥机中冻干48 h,取出磨粉备用。

1.2.2 不同副产物重量占比 鱼体某部位重量占体重比例的计算公式如公式(1)所示:

$$\text{鱼体某部位重量占体重比例(\%)} = \frac{\text{某部位重量}}{\text{体重}} \times 100 \quad \text{式(1)}$$

式中:某部位分别为暗色肉、鱼头、内脏团、心脏、肝脏、脾脏、胰脏。

1.2.3 基本营养成分测定 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》中直接干燥法;蛋白质含量测定参照GB 5009.5-2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》中燃烧法;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》中索氏提取法;灰分含量参照GB 5009.4-2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》中高温炉灼烧法(550℃)。

1.2.4 脂肪酸组成分析

1.2.4.1 脂肪酸甲酯化 参照王琼芬等^[18]和Zhang等^[19]方法略作修改,将冷冻干燥磨粉后的样品,用石油醚进行索氏提取获得鱼油样品,精密称取鱼油样品100 mg置于15 mL离心管中,加1.5 mL 2%氢氧化钠甲醇溶液,旋紧管盖,漩涡混合30 s,置于90℃恒温振荡水浴锅中反应20 min,取出冷却。加2 mL 5%硫酸甲醇溶液,旋紧管盖,漩涡混合30 s,置于100℃恒温振荡水浴锅中反应10 min,取出冷却。加5 mL饱和氯化钠溶液和2 mL正己烷后振荡静置分层。吸取上清液转移至装有少量无水硫酸钠的试管中,振荡脱水,取脱水后溶液过0.22 μm有机膜后待气相色谱分析。通过与标准品比较鉴定脂肪酸甲酯,并将其量化为面积百分比,得到各脂肪酸组分的相对含量。

1.2.4.2 色谱条件 色谱柱:HP毛细管柱(19091N-133, 30 m×0.25 mm, 0.25 μm);程序升温:起始温度

为50℃,以6℃/min的速率升温至240℃并保持17 min;进样口温度:230℃;检测器温度:280℃;载气:高纯N₂;进样量:1 μL;进样方式:分流进样;分流比:40:1。

1.3 数据处理

数据以平均值±标准差表示。使用SPSS 27.0统计软件对数据进行统计分析。采用独立样本T检验进行两组间比较;采用单因素ANOVA检验进行多组间比较,用邓肯氏多重比较法进行差异显著性分析。 $P < 0.05$ 表示有显著性差异, $P > 0.05$ 表示无显著性差异。使用Origin 2022软件作图。

2 结果与分析

2.1 黄鳍金枪鱼不同副产物重量占比

由表1所示,分析大鱼与小鱼不同的副产物占体重比例,发现暗体比、心体比、肝体比在大鱼组与小鱼组间无显著差异($P > 0.05$);而头体比、内脏团比、脾体比、胰体比及总副产物重量占体重比例在大鱼组与小鱼组间的差异显著($P < 0.05$)。小鱼组的头体比、内脏团体比、胰体比分别为21.05%、7.47%、1.48%,且分别为大鱼组的1.98倍、1.78倍、1.48倍($P < 0.05$),而大鱼组的脾体比为0.32%,为小鱼组的1.68倍。此外,黄鳍金枪鱼的总副产物重量占体重比例在大鱼组与小鱼组中分别为21.63%、34.36%,大鱼组该比例显著低于小鱼组($P < 0.05$)。以上结果表明,黄鳍金枪鱼的暗色肉、鱼头、心脏、肝脏、脾脏和胰脏等副产物随着鱼体的生长占体重的比值在不断变化。据研究报道,鱼类根据每个物种的不同,其副产物的鲜重占比在50%~70%之间变化^[20],而在本研究中,仅基于暗色肉、鱼头及内脏团的重量之和的占比为21.63%~34.36%,而黄鳍金枪鱼的副产物除暗色肉、鱼头及内脏团外,还有鱼皮、鱼骨、鱼鳍及加工过程中产生的碎肉等副产物占比未计入在内,由此得出黄鳍金枪鱼副产物重量在鱼体中占比较大。因此,有必要对暗色肉、鱼头和内脏团等副产物资源

表1 不同大小黄鳍金枪鱼的副产物重量占比(%)

Table 1 Percentage of by-products by weight for different sizes of yellowfin tuna(%)

项目	大鱼	小鱼
暗体比	6.81±1.19 ^a	5.85±0.58 ^a
头体比	10.62±1.82 ^b	21.05±0.99 ^a
内脏团体比	4.20±0.78 ^b	7.47±1.25 ^a
心体比	0.20±0.04 ^a	0.27±0.08 ^a
肝体比	0.69±0.17 ^a	0.75±0.19 ^a
脾体比	0.32±0.09 ^a	0.19±0.07 ^b
胰体比	1.00±0.18 ^b	1.48±0.32 ^a
总副产物重量占体重比例	21.63±2.76 ^b	34.36±2.47 ^a

注:同行不同字母表示差异显著($P < 0.05$);大鱼中的样本量为7,叉长和体重的平均值分别为109.00 cm、22.06 kg;小鱼的样本量为7,叉长和体重的平均值分别为65.14 cm、5.61 kg;暗体比、头体比、内脏团体比、心体比、肝体比、脾体比、胰体比分别为暗色肉、鱼头、内脏团、心脏、肝脏、脾脏的重量与体重比值乘以100;总副产物重量为暗色肉、鱼头及内脏团三者的重量之和。

进行分析,从而了解它们的价值。为此,本研究进一步对黄鳍金枪鱼副产物的营养成分进行分析,为其高效开发和高值化利用提供基础数据。

2.2 黄鳍金枪鱼不同副产物的水分含量

由图 1A 显示,黄鳍金枪鱼的心脏、肝脏、脾脏、胰脏的水分含量差异显著 ($P < 0.05$),而暗色肉 (70.57%)、肝脏 (69.35%)、性腺 (70.79%) 的水分含量差异不显著 ($P > 0.05$)。心脏的水分含量最高,

为 72.93%; 胰脏所含水分含量为 65.37%, 与鱼头 (65.65%) 的水分含量相比差异不显著 ($P > 0.05$), 且与其他副产物的水分含量相比为最低。以上结果表明,除个别副产物间水分含量差异不显著外 ($P > 0.05$), 其余各副产物间的水分含量差异显著 ($P < 0.05$), 且水分在心脏、肝脏、脾脏等副产物中含量较高, 为各副产物的主要成分。而水分作为鱼类等生物体的主要成分, 其充当各种营养物质的运输、化学能的转移和细胞质反应发生的介质。就大多数鱼类而言, 水分含量通常在 60%~80% 之间^[21]。在本研究中, 黄鳍金枪鱼各副产物水分含量为 65.37%~72.93%, 其结果与刘龙龙等^[16]对黄鳍金枪鱼肌肉的水分含量测定结果 (70.38%~72.12%) 相符。

2.3 黄鳍金枪鱼不同副产物的蛋白质含量

从图 1B 显示,黄鳍金枪鱼不同副产物间的蛋白质含量存在显著性差异 ($P < 0.05$)。在干基中,心脏 (75.42%) 和性腺 (74.03%) 的蛋白质含量差异不显著 ($P > 0.05$), 而脾脏 (88.42%)、暗色肉 (78.09%)、心脏 (75.42%)、肝脏 (60.89%)、胰脏 (52.94%) 和鱼头 (49.25%) 的蛋白质含量差异显著 ($P < 0.05$), 且脾脏中蛋白质含量最高, 鱼头中蛋白质含量最低。在湿基中,脾脏、暗色肉、性腺、心脏、肝脏和鱼头的蛋白质含量差异显著 ($P < 0.05$), 而肝脏和胰脏的蛋白质含量差异不显著 ($P > 0.05$), 且不同副产物的蛋白质含量由大到小分别为脾脏 (29.24%)、暗色肉 (22.98%)、性腺 (21.85%)、心脏 (20.41%)、肝脏 (18.66%)、胰脏 (18.33%) 和鱼头 (16.92%)。以上结果表明,黄鳍金枪鱼的暗色肉、心脏、肝脏等副产物中含有大量的蛋白质, 占干基重量的 49.25%~88.42%, 占湿基重量的 16.92%~29.24%。

不同副产物的湿基蛋白质含量与大目金枪鱼背部肌肉 (20.01%)、黄鳍金枪鱼背部肌肉 (23.70%) 及蓝鳍金枪鱼背部肌肉 (24.70%) 相比, 心脏、性腺、暗色肉和脾脏的蛋白含量高于大目金枪鱼, 而与其他两种鱼的蛋白质含量接近^[22]; 与红海五种重要经济海水鱼的肌肉组织湿基的蛋白质含量相比, 黄鳍金枪鱼鱼头的蛋白质含量与密点石斑鱼 (15.28%)、蓝点鳃棘鲈 (17.28%)、乌鲳 (17.21%)、纹面紫鱼 (16.74%)、蓝点拟牙鲷 (17.66%) 的蛋白质含量基本一致, 而其他副产物的蛋白质含量均高于这五种鱼^[23]; 与生活在淡水中的尼罗罗非鱼 (蛋白 17.6%)、电鲶 (16.8%)、黑鳍金鲳 (19.3%)、鲤鱼 (18.28%)、鲫鱼 (17.70%)、草鱼 (18.80%)、青鱼 (21.25%)、翘嘴鲌 (18.20%)、鳊鱼 (21.15%) 的肌肉蛋白质含量相比, 黄鳍金枪鱼的性腺、暗色肉、脾脏的蛋白含量均高于这些常见的淡水鱼类, 而其他副产物的蛋白质含量与这些淡水鱼基本一致^[24-25]。以上分析表明, 黄鳍金枪鱼不同副产物的蛋白质含量与其他鱼类的肌肉蛋白质含量基本一致, 甚至高于其他鱼类的肌肉蛋白含量, 也反应出黄鳍金枪鱼不同副产物也是高蛋白食物来源。

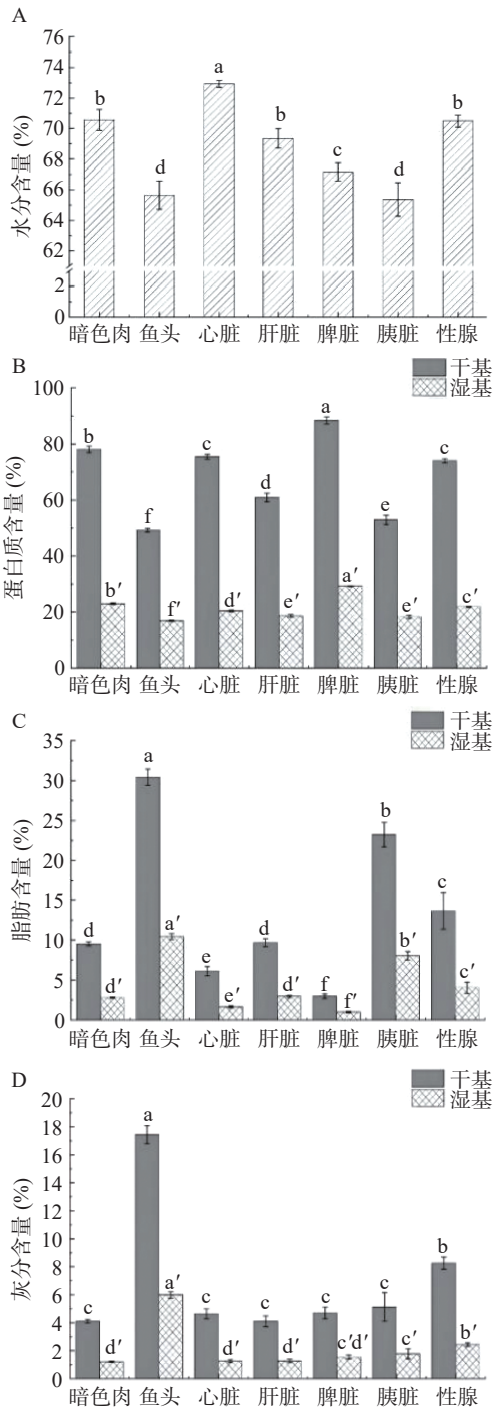


图 1 黄鳍金枪鱼不同副产物的基本营养成分

Fig.1 Basic nutrients of different by-products of yellowfin tuna
注: A 图为不同副产物的水分含量; B 图为不同副产物的蛋白质含量; C 图为不同副产物的脂肪含量; D 图为不同副产物的灰分含量; 不同小写字母表差异显著 ($P < 0.05$)。

长期以来,鱼类蛋白质一直被认为具有很高的营养价值,对人类的健康具有巨大的影响,其主要负责构建和修复肌肉组织,改善血液质量和免疫力,还有助于维持人类的水和电解质系统平衡^[26-27]。对于蛋白质的营养价值主要取决于必需氨基酸的种类、数量和比例,已有研究发现18种常见氨基酸在大目金枪鱼和蓝鳍金枪鱼的鱼头和肌肉中均可被检出,包括赖氨酸、色氨酸、苯丙氨酸等8种必需氨基酸及丝氨酸、胱氨酸、脯氨酸等10种非必需氨基酸;而谷氨酸作为一种重要的鲜味氨基酸,在大目金枪鱼头的氨基酸(24.85 mg/g 湿基)组成中的含量最高,此外,作为粮谷类食品蛋白质的第一限制氨基酸的赖氨酸(15.47 mg/g 湿基)含量也较高,因此,将鱼蛋白与粮谷类食品搭配食用,可以提高主食蛋白质的营养价值^[3,28]。一般而言,鱼肌肉中的蛋白质含量约占鱼肉湿重的15%~25%^[29],在本研究中,黄鳍金枪鱼副产物中的蛋白质含量与该数据接近,提示黄鳍金枪鱼副产物也能作为良好的蛋白质来源。因此,针对黄鳍金枪鱼不同副产物的蛋白质采取适当的方法进行回收,对于其副产物的环保化和高值化利用具有重要意义。

2.4 黄鳍金枪鱼不同副产物的脂肪含量

由图1C显示,黄鳍金枪鱼的不同副产物中的脂肪含量存在显著性差异($P<0.05$)。在干基中,鱼头的脂肪含量最高,为30.43%,而脾脏的脂肪含量最低,为2.98%;胰脏中脂肪含量为23.22%,显著低于鱼头中脂肪含量($P<0.05$),但显著高于其他副产物中脂肪含量($P<0.05$);暗色肉和肝脏的脂肪含量差异不显著($P>0.05$),而暗色肉、心脏和性腺的脂肪含量差异显著($P<0.05$),且它们的脂肪含量由大到小分别为性腺(13.66%)、肝脏(9.68%)、暗色肉(9.53%)、心脏(6.12%)。在湿基中,不同副产物的脂肪含量由大到小分别为鱼头(10.46%)、胰脏(8.04%)、性腺(4.03%)、肝脏(2.97%)、暗色肉(2.80%)、心脏(1.66%)、脾脏(0.98%),其中鱼头、胰脏、性腺、心脏、脾脏的脂肪含量差异显著($P<0.05$),肝脏和暗色肉的脂肪含量差异不显著($P>0.05$)。与其他鱼相比,黄鳍金枪鱼鱼头湿基的脂肪含量与苏红等^[3]研究者对大眼金枪鱼鱼头(10.70%)的脂肪含量一致,而远大于鳙鱼鱼头(3.82%)的脂肪含量。在海鱼中,脂类主要沉积在皮下、肌肉、头部和内脏中^[19],而黄鳍金枪鱼鱼头的脂肪含量之所相对于其他副产物为最高,其原因可能是鱼头中不仅含有鱼皮、鱼脑、眼窝和肌肉,而且含有大量的鱼骨。杨彩莉等^[30]对黄鳍金枪鱼、大眼金枪鱼、马苏金枪鱼的鱼头脂肪含量进行分析,发现黄鳍金枪鱼鱼头中的鱼皮、鱼肉和鱼骨脂肪含量(湿基)分别为7.89%、5.04%、5.78%,大眼金枪鱼鱼头中的鱼皮、鱼肉和鱼骨脂肪含量分别为9.30%、6.04%、10.83%,马苏金枪鱼鱼头中的鱼皮、鱼肉和鱼骨脂肪含量分别为6.83%、9.74%、14.83%;

据李晓婷等^[31]报道,鳙鱼头的鱼脑的湿基脂肪含量高达28.25%。黄鳍金枪鱼不同副产物的湿基脂肪含量与棕点石斑鱼(3.00%)、大西洋鲑(4.52%)、加州鲈(1.30%)、尼罗罗非鱼(1.8%)、大菱鲆(0.6%)、大黄鱼(1.6%)、银鲳(4.9%)等经济鱼类的肌肉脂肪含量相比较,黄鳍金枪鱼头和胰脏的脂肪含量均高于这些经济鱼类,而黄鳍金枪鱼的肝脏、暗色肉、性腺等副产物与这些经济鱼类的脂肪含量基本相符^[32]。以上结果表明鱼头、胰脏和性腺等副产物能作为良好的脂肪来源。脂肪被认为是鱼肉中的第三大主要营养物质之一,通常占鱼体组织湿重的0.1%~25%^[33]。不同副产物的脂肪含量均不相同,脂肪的含量也会随着鱼的生长发育情况而改变^[34]。

2.5 黄鳍金枪鱼不同副产物的灰分含量

由图1D可知,黄鳍金枪鱼不同副产物的灰分含量具有显著差异($P<0.05$)。在干基中,鱼头与性腺的灰分含量差异显著($P<0.05$),且鱼头灰分含量最高(17.44%),其次为性腺灰分含量(8.25%);暗色肉、心脏、肝脏、脾脏和胰脏的灰分含量为4.10%~5.13%,且相互之间的灰分含量差异不显著($P>0.05$)。在湿基中,暗色肉、鱼头、心脏、肝脏、脾脏、胰脏和性腺的灰分含量为1.21%~5.99%,灰分含量最高的副产物仍然为鱼头,第二高的为性腺,且鱼头、胰脏和性腺的灰分含量差异显著($P<0.05$),而暗色肉、心脏、肝脏和脾脏的灰分含量差异不显著($P>0.05$)。以上结果表明黄鳍金枪鱼不同副产物具有较多的灰分含量,尤其是鱼头的灰分含量最高,其原因是鱼头中含有较多的鱼骨。而灰分是鱼样品完全灰化后留下的残留物,它是在整个有机物被烧掉后获得的无机残留物,其占鱼体组织湿重的0.5%~5%,由于灰分与鱼类中矿物质的检测有关,因此,它被认为是检测鱼类矿物质成分的最可靠方法,代表了鱼类样品的总无机物含量或矿物质含量^[33,35]。据研究报道,金枪鱼鱼头中富含Ca、K、Na、Mg等矿物质,尤其在金枪鱼头的鱼皮和鱼骨中,Ca、K、Na、Mg的含量(湿基)分别为576.70~6353.15、108.59~303.13、135.89~542.27、27.67~86.58 mg/100 g,是很好的高钙食物来源^[30]。矿物质在维持身体功能方面起着重要作用,例如调节人体体液酸碱平衡、维持细胞正常兴奋以及参与能量代谢功效;它们还参与骨骼和牙齿的形成,并在不同的酶催化或代谢反应中作为催化剂、激活剂和抑制剂等,此外,矿物质还可以增加食物风味并影响食物质地^[36]。因此,对鱼类灰分含量的研究是确定鱼类营养特征的重要组成部分。在本研究中,黄鳍金枪鱼不同副产物的灰分含量在干基和湿基中的含量范围分别为4.10%~17.44%和1.21%~5.99%,除鱼头外,不同副产物的灰分含量与前人对大目金枪鱼、蓝鳍金枪鱼、黄鳍金枪鱼、鳙鱼和三文鱼的灰分含量(湿基)研究结果基本一致(1.25~1.59%)^[3,28]。

2.6 黄鳍金枪鱼不同副产物脂肪酸组成分析

由表 2 可知, 暗色肉、鱼头、心脏、肝脏、脾脏、胰脏和性腺中均检测出 26 种脂肪酸, 其中, 9 种为饱和脂肪酸、7 种为单不饱和脂肪酸、10 种为多不饱和脂肪酸。9 种饱和脂肪酸分别为月桂酸(C12:0)、十三烷酸(C13:0)、肉豆蔻酸(C14:0)、十五烷酸(C15:0)、棕榈酸(C16:0)、十七烷酸(C17:0)、硬脂酸(C18:0)、花生酸(C20:0)、二十三烷酸(C23:0), 其以棕榈酸和硬脂酸含量较高, 分别占脂肪酸的 21.29%~30.48% 和 5.59%~19.32%; 单不饱和脂肪酸有肉豆蔻烯酸(C14:1)、棕榈油酸(C16:1)、十七碳烯酸(C17:1)、油酸(C18:1)、花生一烯酸(C20:1)、芥酸(C22:1n9)、神经酸(C24:1n9), 其以油酸、棕榈油酸含量较高, 分别占脂肪酸的 5.59%~15.31% 和 1.90%~5.03%; 多不饱和脂肪酸有亚油酸(C18:2)、 γ -亚麻酸(C18:3n6)、 α -亚麻酸(C18:3n3)、花生二烯酸(C20:2)、花生三烯酸(C20:3n6)、花生四烯酸(C20:4n6)、二十二碳二烯酸(C22:2n6)、花生五烯酸

(C20:5n3, eicosapentaenoic acid, EPA)和二十二碳六烯酸(C22:6, docosahexaenoic acid, DHA), 其以二十二碳六烯酸、花生五烯酸含量较高, 分别占脂肪酸的 18.16%~35.90% 和 4.73%~17.35%。

经气相色谱检测各副产物的不同脂肪酸的含量存在显著性差异($P<0.05$)。以暗色肉、鱼头、心脏等七种副产物检测出的 26 种脂肪酸的平均含量从高到低相比得出前 5 种主要的脂肪酸分别为 C16:0、C22:6、C18:0、C18:1、C20:5n3。鱼头、心脏和性腺的 C16:0 的含量差异显著($P<0.05$), 而暗色肉和胰脏的 C16:0 的含量差异不显著($P>0.05$), 肝脏和脾脏的 C16:0 的含量也无显著差异($P>0.05$); 不同副产物的 DHA 含量差异显著($P<0.05$), 且它们的含量由大到小分别为性腺(35.90%)、肝脏(29.21%)、鱼头(26.14%)、暗色肉(25.63%)、心脏(23.80%)、胰脏(20.19%)、脾脏(18.16%); 在 C18:0 的含量对比中, 仅有鱼头和性腺的含量差异不显著($P>0.05$), 其余五种副产物的含量均有显著差异($P<0.05$); 七种副产物

表 2 黄鳍金枪鱼不同副产物脂肪酸构成谱(%)

Table 2 Fatty acid profile of different by-products of yellowfin tuna (%)

脂肪酸	化合物名称	暗色肉	鱼头	心脏	肝脏	脾脏	胰脏	性腺
C12:0	月桂酸	0.03±0.00 ^d	0.05±0.01 ^b	0.04±0.01 ^e	0.01±0.00 ^f	0.03±0.00 ^{cd}	0.09±0.01 ^a	0.02±0.00 ^e
C13:0	十三烷酸	0.02±0.00 ^{cd}	0.06±0.01 ^a	0.02±0.01 ^{bc}	0.01±0.00 ^e	0.02±0.00 ^{bc}	0.03±0.01 ^b	0.02±0.01 ^{cd}
C14:0	肉豆蔻酸	2.62±0.14 ^c	3.61±0.25 ^b	1.56±0.04 ^e	1.29±0.02 ^e	1.43±0.24 ^e	6.67±0.34 ^a	2.17±0.33 ^d
C14:1	肉豆蔻烯酸	0.05±0.01 ^b	0.05±0.01 ^b	0.01±0.00 ^d	0.01±0.00 ^d	0.03±0.00 ^c	0.09±0.00 ^a	0.01±0.00 ^d
C15:0	十五烷酸	0.90±0.08 ^b	1.12±0.07 ^a	0.55±0.03 ^e	1.11±0.02 ^a	0.66±0.04 ^d	0.47±0.05 ^e	0.78±0.10 ^c
C16:0	棕榈酸	23.75±0.43 ^e	22.59±0.33 ^d	28.09±0.03 ^b	30.21±0.19 ^a	30.48±0.38 ^a	23.27±0.15 ^c	21.29±0.19 ^e
C16:1	棕榈油酸	3.42±0.15 ^c	5.03±0.24 ^a	2.15±0.06 ^d	2.26±0.30 ^d	1.90±0.08 ^d	4.61±0.32 ^b	3.48±0.34 ^c
C17:0	十七烷酸	1.67±0.14 ^a	1.31±0.18 ^{bc}	1.16±0.04 ^e	1.56±0.13 ^{ab}	1.45±0.34 ^{abc}	0.50±0.02 ^d	1.56±0.14 ^{ab}
C17:1	十七碳烯酸	0.71±0.20 ^a	0.70±0.05 ^a	0.34±0.04 ^b	0.37±0.01 ^b	0.29±0.08 ^b	0.24±0.04 ^b	0.56±0.05 ^a
C18:0	硬脂酸	11.22±0.22 ^e	7.40±0.30 ^e	16.90±0.09 ^b	10.18±0.06 ^d	19.32±0.37 ^a	5.59±0.14 ^f	7.11±0.20 ^e
C18:1	油酸	13.52±0.10 ^b	15.31±0.23 ^a	9.72±0.43 ^e	5.59±0.29 ^e	7.62±0.19 ^f	11.75±0.07 ^c	10.74±0.44 ^d
C18:2	亚油酸	0.82±0.12 ^d	1.33±0.27 ^b	1.01±0.10 ^{cd}	0.81±0.05 ^d	0.77±0.06 ^d	1.65±0.19 ^a	1.18±0.12 ^{bc}
C18:3n6	γ -亚麻酸	0.56±0.07 ^b	0.41±0.05 ^c	0.68±0.02 ^a	0.39±0.08 ^c	0.57±0.02 ^b	0.26±0.05 ^d	0.37±0.06 ^c
C18:3n3	α -亚麻酸	0.31±0.03 ^{de}	0.75±0.04 ^b	0.37±0.02 ^{cd}	0.30±0.01 ^e	0.25±0.04 ^e	1.02±0.01 ^a	0.38±0.06 ^c
C20:0	花生酸	0.54±0.17 ^a	0.44±0.07 ^{ab}	0.25±0.05 ^{cd}	0.20±0.01 ^d	0.36±0.06 ^{bc}	0.13±0.01 ^d	0.25±0.02 ^{cd}
C20:1	花生一烯酸	2.92±0.25 ^a	1.32±0.08 ^b	1.21±0.11 ^{bc}	0.68±0.04 ^e	0.90±0.08 ^d	1.04±0.06 ^{cd}	1.03±0.12 ^{cd}
C20:2	花生二烯酸	0.40±0.02 ^a	0.29±0.07 ^{bc}	0.43±0.01 ^a	0.37±0.02 ^{ab}	0.23±0.07 ^c	0.13±0.02 ^d	0.29±0.06 ^{bc}
C20:3n6	花生三烯酸	0.34±0.06 ^a	0.27±0.05 ^b	0.18±0.02 ^e	0.17±0.01 ^c	0.02±0.00 ^d	0.14±0.03 ^e	0.20±0.02 ^c
C20:3n3	花生三烯酸	2.50±0.14 ^d	2.26±0.08 ^e	3.28±0.07 ^e	5.78±0.06 ^a	5.31±0.12 ^b	2.11±0.03 ^e	3.25±0.14 ^c
C20:4n6	花生四烯酸	0.32±0.07 ^a	0.24±0.08 ^{abc}	0.34±0.05 ^a	0.30±0.05 ^{ab}	0.20±0.04 ^{bc}	0.15±0.04 ^e	0.26±0.05 ^{ab}
C20:5n3(EPA)	花生五烯酸	4.73±0.26 ^e	6.76±0.37 ^c	5.35±0.06 ^d	7.25±0.15 ^b	7.48±0.32 ^b	17.35±0.23 ^a	6.33±0.24 ^c
C22:1n9	芥酸	0.35±0.08 ^b	0.16±0.05 ^c	0.18±0.02 ^e	0.12±0.01 ^c	0.17±0.04 ^c	0.49±0.08 ^a	0.12±0.02 ^c
C22:2n6	二十二碳二烯酸	0.45±0.07 ^b	0.34±0.07 ^{cd}	0.48±0.03 ^b	0.46±0.03 ^b	0.70±0.05 ^a	0.43±0.04 ^{bc}	0.30±0.06 ^d
C23:0	二十三烷酸	0.30±0.05 ^b	0.28±0.04 ^b	0.13±0.01 ^{cd}	0.15±0.02 ^c	0.10±0.00 ^d	0.51±0.03 ^a	0.14±0.02 ^{cd}
C24:1n9	神经酸	1.91±0.13 ^a	1.73±0.17 ^{bc}	1.61±0.09 ^c	1.37±0.06 ^d	1.16±0.12 ^{de}	1.09±0.06 ^e	1.68±0.22 ^{bc}
C22:6(DHA)	二十二碳六烯酸	25.63±0.13 ^d	26.14±0.08 ^c	23.80±0.19 ^e	29.21±0.09 ^b	18.16±0.15 ^e	20.19±0.13 ^f	35.90±0.05 ^a
Σ SFA		41.05±0.53 ^d	36.85±0.40 ^e	48.71±0.07 ^b	44.72±0.23 ^c	53.84±0.21 ^a	37.25±0.40 ^e	33.32±0.54 ^f
Σ MUFA		22.89±0.58 ^b	24.30±0.74 ^a	15.22±0.43 ^e	10.39±0.34 ^e	12.08±0.26 ^f	19.31±0.31 ^c	17.61±0.41 ^d
Σ PUFA		36.06±0.43 ^e	38.78±0.52 ^d	35.92±0.21 ^e	45.04±0.24 ^b	33.70±0.26 ^f	43.44±0.14 ^c	48.46±0.34 ^a
EPA+DHA		30.36±0.23 ^e	32.90±0.30 ^d	29.15±0.22 ^f	36.46±0.19 ^c	25.63±0.17 ^e	37.55±0.17 ^b	42.23±0.19 ^a

注: Σ SFA、 Σ MUFA、 Σ PUFA 分别表示饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸、多不饱和脂肪酸的总含量; EPA+DHA 表示花生五烯酸和二十二碳六烯酸的含量; 同行不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

中的 C18:1 的含量差异显著 ($P < 0.05$), 而它们的 C20:5n3 的含量除肝脏和脾脏差异不显著 ($P > 0.05$)、鱼头和性腺差异不显著外 ($P > 0.05$), 其余三种副产物间差异显著 ($P < 0.05$)。通过对不同副产物的饱和脂肪酸 (saturated fatty acid, SFA)、单不饱和脂肪酸 (monounsaturated fatty acid, MUFA) 和多不饱和脂肪酸 (polyunsaturated fatty acid, PUFA) 进行分析发现, 除胰脏 (37.25%) 和鱼头 (36.85%) 的 SFA 含量差异不显著 ($P > 0.05$)、暗色肉 (36.06%) 和心脏 (35.92%) 的 MUFA 含量差异不显著 ($P > 0.05$) 外, 其余的副产物间的 SFA、MUFA、PUFA、EPA 和 DHA 的含量差异显著 ($P < 0.05$)。在 SFA 中, 心脏 (48.71%) 和脾脏 (53.84%) 的含量较高, 且差异显著 ($P < 0.05$); 鱼头与其它的副产物的 MUFA 含量相比差异显著 ($P < 0.05$), 且含量最高 (24.30%); 肝脏 (45.04%)、胰脏 (43.44%) 和性腺 (48.46%) 中的 PUFA 含量比暗色肉、鱼头、心脏和脾脏的含量高, 且除暗色肉和心脏的 PUFA 含量差异不显著 ($P > 0.05$) 外, 其余副产物间的 PUFA 含量差异显著 ($P < 0.05$); 各副产物间的 EPA+DHA 含量差异显著 ($P < 0.05$), 其含量由大到小分别为性腺 (42.23%)、胰脏 (37.55%)、肝脏 (36.46%)、鱼头 (32.90%)、暗色肉 (30.36%)、心脏 (29.15%)、脾脏 (25.63%)。

研究结果显示, 不同副产物的 SFA、MUFA、PUFA 含量与黄鳍金枪鱼、大目金枪鱼、蓝鳍金枪鱼的肌肉组织的 SFA (25.50%~57.80%)、MUFA (13.39%~38.89%)、PUFA (19.00%~50.85%) 含量基本一致^[15,22]。已有研究发现, 在不同种类的金枪鱼之间以及在同一种金枪鱼不同部位的脂肪酸组成和含量也会存在差异, 这可能是由于金枪鱼种间生活在不同海域条件、摄食类型和运动量不同而导致的^[37]。海洋生物脂肪酸最根本的来源是作为海洋初级生产者的浮游植物, 而浮游植物脂肪酸的组成又受到温度和光照等环境因素的影响^[15]。此外, 与秋刀鱼 (47.23%~49.66%)、棕点石斑鱼 (33.05%)、金头鲷 (34.00%) 等海洋经济鱼类的肌肉中 PUFA 含量相比^[32,38-39], 黄鳍金枪鱼的肝脏、性腺中 PUFA 含量与秋刀鱼基本相一致, 而胰脏、鱼头、暗色肉等副产物的 PUFA 含量大于棕点石斑鱼和金头鲷。在本研究中, 不同副产物中的 PUFA 含量主要以 DHA、EPA 的含量较高, 远大于虹鳟 (5.42%~15.02%) 的肌肉中 EPA+DHA 的含量^[40]。DHA 是多种细胞的主要成分, 特别是神经元和视网膜细胞, 在婴儿的大脑发育、视力及认知功能的健康发展中起着重要作用, 它与 EPA 一起在预防动脉粥样硬化、痴呆、类风湿性关节炎等疾病方面发挥着重要作用^[41]。据报道, 不饱和脂肪酸不仅能够为人体提供能量, 还有助于调节胆固醇比例, 同时也能降低血液中甘油三酯和低密度脂蛋白的浓度, 从而促进心血管健康^[42-44]。

综上所述, 黄鳍金枪鱼不同副产物中的脂肪酸

种类丰富, 且在饱和脂肪酸中以棕榈酸和硬脂酸含量较高、在单不饱和脂肪酸中以油酸含量最高、在多不饱和脂肪酸中以 EPA 和 DHA 的含量较高。暗色肉、鱼头、肝脏等七种副产物中除脾脏外, 其余六种副产物的不饱和脂肪酸均达到 50.00% 以上, 最高可达 66.07%。与其他海水或淡水经济鱼类相比, 黄鳍金枪鱼不同副产物在不饱和脂肪酸含量与其它鱼类的不饱和脂肪酸含量相当, 部分副产物甚至高于其他的鱼类。研究表明, 黄鳍金枪鱼副产物可作为良好的不饱和脂肪酸来源, 而对黄鳍金枪鱼副产物的脂肪酸高值化利用将是提高其价值的有效途径。

3 结论

不同大小黄鳍金枪鱼副产物的重量占比存在显著性差异 ($P < 0.05$), 且不同副产物营养成分含量存在显著性差异 ($P < 0.05$), 具有丰富的蛋白质、脂肪等营养物质和较高的多不饱和脂肪酸。不同大小黄鳍金枪鱼中的副产物重量占体重比例为 21.63%~34.36%, 其占比较大, 而探索各种鱼类加工副产品的可能用途, 以便于对副产物进行废物利用, 尤其是在副产物含有丰富的脂类和蛋白质中提取生物活性物质具有重要意义。

不同副产物的蛋白质含量在干基和湿基中分别为 49.25%~88.42%、16.92%~29.24%, 而脂肪含量在干基和湿基中分别为 2.98%~30.43%、0.98%~10.46%。脾脏和暗色肉等副产物富含蛋白质, 可被加工成鱼粉、动物饲料、宠物食品等产品, 同时可进行呈味氨基酸、抗氧化肽和胶原蛋白等功能性蛋白水解物提取, 而不同副产物中脂肪含量也较高, 可作为深海鱼油提取的良好来源原料。鱼头的灰分含量在干基和湿基中分别高达 17.44%、5.99%, 而其他副产物灰分含量在干基和湿基中分别为 4.10%~8.25%、1.21%~2.43%, 灰分含量较高也侧面反映出各副产物的矿物质含量丰富, 尤其是鱼头中骨头最多, 富含钙元素, 是很好的高钙食物来源, 可制成鱼骨粉, 用于动物饲料或鱼糜制品中改善其凝胶特性, 还可以深加工制成活性钙、多肽螯合钙等补钙制剂。各副产物具有丰富的脂肪酸种类和不饱和脂肪酸含量, 不饱和脂肪酸以 DHA、EPA 和油酸的含量较高, 除脾脏外, 其余六种副产物的不饱和脂肪酸均达到 50.00% 以上, 最高可达 66.07%, 可作为不饱和脂肪酸的很好来源。总而言之, 本研究证明了黄鳍金枪鱼的副产物占比高, 且有丰富的蛋白质和不饱和脂肪酸等营养物质, 可作为食品工业中生物活性化合物的提取原料。本研究为黄鳍金枪鱼不同副产物的综合化利用提供基础数据参考, 也为利用黄鳍金枪鱼副产物开发高附加值产品提供理论依据。

参考文献

- [1] MOORE B R, BELL J D, EVANS K, et al. Defining the stock structures of key commercial tunas in the Pacific Ocean I: Current knowledge and main uncertainties[J]. *Fisheries Research*, 2020, 230: 105525.
- [2] 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.
- [3] 苏红, 李雨欣, 钱雪丽, 等. 鲣鱼、金枪鱼和三文鱼鱼头的营养分析与品质评价[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(17): 212-217, 224.
- [SU H, LI Y X, QIAN X L, et al. Nutrition analysis and quality evaluation of *Aristichthys nobilis*, *Thunnus obesus* and *Salmon salar* head[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2019, 40(17): 212-217, 224.]
- [4] 农业农村部渔业渔政管理局. 2023 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2023: 39-45. [Ministry of agriculture and rural affairs of the People's Republic of China. *China Fishery Statistical Yearbook 2023*[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2023: 39-45.]
- [5] QIAN X L, FAN X Y, SU H, et al. Migration of lipid and other components and formation of micro/nano-sized colloidal structure in tuna (*Thunnus obesus*) head soup[J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2019, 111: 69-76.
- [6] HERPANDI H N, ROSMA A, NADIAH A W W. The tuna fishing industry: A new outlook on fish protein hydrolysates[J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2011, 10(4): 195-207.
- [7] GAROFALO S F, CAVALLINI N, DEMICHELIS F, et al. From tuna viscera to added-value products: A circular approach for fish-waste recovery by green enzymatic hydrolysis[J]. *Food and Bioproducts Processing*, 2023, 137: 155-167.
- [8] 银利强, 孔业富, 吴忠鑫, 等. 南海中西部海域春季三种金枪鱼类的营养生态位比较[J]. *生态学杂志*, 2020, 39(12): 4121-4130. [YIN L Q, KONG Y F, WU Z X, et al. Trophic niche comparison among three tuna species caught from central and western South China Sea in spring[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2020, 39(12): 4121-4130.]
- [9] 许友伟, 张魁, 邱永松, 等. 南海金枪鱼开发利用现状与发展策略[J]. *海洋湖沼通报*, 2017(6): 108-114. [XU Y W, ZHANG K, QIU Y S, et al. The current situation and China's countermeasures of tuna in the south[J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2017(6): 108-114.]
- [10] 冯波, 李忠炉, 侯刚. 南海深水延绳钓探捕渔获组成与数量分布[J]. *热带海洋学报*, 2015, 34(1): 64-70. [FENG B, LI Z L, HOU G. Fish species and quantity in the South China Sea surveyed by deep longline[J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2015, 34(1): 64-70.]
- [11] 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, 2016: 11-20. [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, 2016: 11-20.]
- [12] 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. [ZOU Y, LI Y P, DAI Z Y, et al. Analysis and evaluation on nutritional components of three kinds of tuna[J]. *Farm Products Processing*, 2018(10): 43-47.]
- [13] 王斌, 邹华威, 李龙岩. 金枪鱼鱼卵营养成分分析及营养评价[J]. *广东海洋大学学报*, 2020, 40(2): 111-116. [WANG B, WU H W, LI L Y. Analysis and evaluation of the nutritional compositions of skipjack tuna (*katsuwonus pelamis*) roes[J]. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2020, 40(2): 111-116.]
- [14] 周胜杰, 杨蕊, 韩明洋, 等. 海南近海青干金枪鱼 *Thunnus tonggol* 和小头鲷 *Euthynnus affinis* 幼鱼的营养成分分析及评价[J]. *水产学杂志*, 2021, 34(1): 23-28. [ZHOU S J, YANG R, HAN M Y, et al. Analysis and evaluation of nutritional compositions of juvenile tuna fishes in offshore waters of Hainan Province[J]. *Chinese Journal of Fisheries*, 2021, 34(1): 23-28.]
- [15] 周成, 杨旭, 杨报国, 等. 基于脂肪酸分析的太平洋黄鳍金枪鱼营养生态位研究[J]. *中国水产科学*, 2023, 30(10): 1202-1213. [ZHOU C, YANG X, YANG B G, et al. Nutritional ecological niche of pacific yellowfin tuna based on fatty acid analysis[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2023, 30(10): 1202-1213.]
- [16] 刘龙龙, 罗鸣, 刘洪涛, 等. 不同规格野生黄鳍金枪鱼肌肉营养分析与评价[J]. *渔业科学进展*, 2024, 45(3): 258-267. [LIU L L, LUO M, LIU H T, et al. Analysis and evaluation of the muscle nutrition of different sizes of wild yellowfin tuna (*Thunnus albacares*)[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2024, 45(3): 258-267.]
- [17] 王进芳, 钟洪亮, 刘颖琳, 等. 高体鲷、三文鱼和金枪鱼背部营养成分分析[J]. *食品与发酵工业*, 2024, 50(7): 278-285. [WANG J F, ZHONG H L, LIU Y L, et al. Analysis of nutritional components in back and abdomen of *Seriola dumerili*, *Oncorhynchus*, and *Thunnus albacares*[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2024, 50(7): 278-285.]
- [18] 王琼芬, 刘婷, 郑平安, 等. GC 测定鱼肝油中 EPA 和 DHA 含量[J]. *中国现代应用药学*, 2018, 35(9): 1322-1326. [WANG Q F, LIU T, ZHENG P A, et al. Determination of EPA and DHA in cod-liver oil by GC[J]. *Chinese Journal of Modern Applied Pharmacy*, 2018, 35(9): 1322-1326.]
- [19] ZHANG Y C, SUN Q X, LIU S C, et al. Extraction of fish oil from fish heads using ultra-high pressure pre-treatment prior to enzymatic hydrolysis[J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2021, 70: 102670.
- [20] VILLAMIL O, VÁQUIRO H, SOLANILLA J F. Fish viscera protein hydrolysates: production, potential applications and functional and bioactive properties[J]. *Food Chemistry*, 2017, 224: 160-171.
- [21] ABEROUMAND A. Preliminary studies on nutritive and organoleptic properties in processed fish fillets obtained from Iran[J]. *Food Science and Technology*, 2014, 34(2): 287-291.
- [22] 赵玲, 胡梦月, 曹荣, 等. 三种金枪鱼不同部位肌肉营养成分与风味物质比较[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(21): 319-326. [ZHAO L, HU M Y, CAO R, et al. Comparison of nutritional components and flavor substances of different muscle parts of three kinds of tuna species[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2022, 43(21): 319-326.]
- [23] YOUNIS E M, ABDEL W A W A, AL A N A, et al. Nutritional value and bioaccumulation of heavy metals in muscle tissues of five commercially important marine fish species from the Red Sea[J]. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 2021, 28(3): 1860-1866.
- [24] AYANDA I O, EKHATOR U I, BELLO O A. Determination of selected heavy metal and analysis of proximate composition in some fish species from Ogun River, Southwestern Nigeria[J]. *Heliyon*, 2019, 5(10): e02512.
- [25] 贾成霞, 杨慕, 胡庆杰, 等. 6 种野生鱼肌肉营养成分分析与

- 评价[J]. 现代食品科技, 2023, 39(6): 27-36. [JIA C X, YANG M, HU Q J, et al. Analysis and evaluation of the nutritional composition of fish muscle from six wild fish species[J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(6): 27-36.]
- [26] TILAMI S K, SAMPELS S. Nutritional value of fish: Lipids, proteins, vitamins, and minerals[J]. Reviews in Fisheries Science & Aquaculture, 2018, 26(2): 243-253.
- [27] ARA I, AYUBI M M, HUQUE R, et al. Morphometric, meristic and proximate composition between freshwater and marine hilsa fish[J]. International Journal of Fisheries and Aquatic Studies, 2019, 7(6): 125-129.
- [28] 周胜杰, 杨蕊, 于刚, 等. 美济礁附近海域3种金枪鱼肌肉成分检测与营养评价[J]. 南方水产科学, 2021, 17(2): 51-59. [ZHOU S J, YANG R, YU G, et al. Muscle composition determination and nutrition evaluation of three tuna species near Meiji Reef[J]. South China Fisheries Science, 2021, 17(2): 51-59.]
- [29] RYU B, SHIN K H, KIM S K. Muscle protein hydrolysates and amino acid composition in fish[J]. Marine Drugs, 2021, 19(7): 377.
- [30] 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. [YANG C L, CAO X J, ZHANG Y C, et al. Comparative composition and nutritional evaluation of different head parts of three tuna species[J]. Meat Research, 2019, 33(10): 8-14.]
- [31] 李晓婷, 尤娟, 尹涛, 等. 鳙鱼头可食部位的营养成分分析[J]. 华中农业大学学报, 2023, 42(1): 163-169. [LI X T, YOU J, YIN T, et al. Analyzing nutrient composition in edible parts of big-head carp (*Aristichthys nobilis*) head[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2023, 42(1): 163-169.]
- [32] 王林娜, 田永胜, 李振通, 等. 棕点石斑鱼、杂交“金虎斑”及珍珠龙胆的肌肉营养成分分析及品质评价[J]. 水产学报, 2023, 47(9): 113-121. [WANG L N, TIAN Y S, LI Z T, et al. Analysis and quality evaluation of nutritional components in the muscle of *Epinephelus fuscoguttatus*, *E. fuscoguttatus*♀×*E. tukula*♂ and *E. fuscoguttatus*♀×*E. lanceolatus*♂[J]. Journal of Fisheries of China, 2023, 47(9): 113-121.]
- [33] AHMED I, JAN K, FATMA S, et al. Muscle proximate composition of various food fish species and their nutritional significance: A review[J]. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 2022, 106(3): 690-719.
- [34] GUL S, HASAN Z, KHAN G N, et al. Proximate body composition of five commercial fish species of family Cyprinida commonly consumed in Swat Khyber Pakhtunkhwa Pakistan[J]. J Entomol Zool Stud, 2017, 5(3): 1255-1257.
- [35] ADEWUMI A A, ADEWOLE H A, OLALEYE V F. Proximate and elemental composition of the fillets of some fish species in Osinmo Reservoir, Nigeria[J]. Agriculture and Biology Journal of North America, 2014, 5(3): 109-117.
- [36] NJINKOUÉ J M, GOUADO I, TCHOUMBOUGNANG F, et al. Proximate composition, mineral content and fatty acid profile of two marine fishes from Cameroonian coast: *Pseudotolithus typus* (Bleeker, 1863) and *Pseudotolithus elongatus* (Bowdich, 1825)[J]. NFS Journal, 2016, 4: 27-31.
- [37] DOMINGUES V F, QUARESMA M, SOUSA S, et al. Evaluating the lipid quality of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) harvested from different oceans by their fatty acid signatures[J]. Foods, 2021, 10(11): 2816.
- [38] 王琳, 赵玲, 齐祥明, 等. 不同规格秋刀鱼肌肉的营养成分分析与品质评价[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(21): 6815-6820. [WANG L, ZHAO L, QI X M, et al. Nutritional composition analysis and quality evaluation of muscles of different specifications of *Cololabis saira*[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2022, 13(21): 6815-6820.]
- [39] PATEIRO M, MUNEKATA P E S, DOMÍNGUEZ R, et al. Nutritional profiling and the value of processing by-products from gilthead sea bream (*Sparus aurata*)[J]. Marine Drugs, 2020, 18(2): 101.
- [40] 崔丽莉, 鲁绍雄, 高海涛, 等. 5个养殖虹鳟品种肌肉的营养成分分析与评价[J]. 水产学杂志, 2021, 34(6): 1-10. [CUI L L, LU S X, GAO H T, et al. Analysis and evaluation of muscle nutritional components of five principal strains of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* in China[J]. Chinese Journal of Fisheries, 2021, 34(6): 1-10.]
- [41] ZHANG T T, XU J, WANG Y M, et al. Health benefits of dietary marine DHA/EPA-enriched glycerophospholipids[J]. Progress in Lipid Research, 2019, 75: 100997.
- [42] LIANG K, DAI J Y. Progress of potential drugs targeted in lipid metabolism research[J]. Frontiers in Pharmacology, 2022, 13: 1067652.
- [43] WU H Z, XU L, BALLANTYNE C M. Dietary and pharmacological fatty acids and cardiovascular health[J]. The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism, 2020, 105(4): 1030-1045.
- [44] YOSHINAGA K, MIZUNO Y, SENARATH S, et al. Simultaneous treatment of long-chain monounsaturated fatty acid and n-3 polyunsaturated fatty acid decreases lipid and cholesterol levels in HepG2 Cell[J]. Journal of Oleo Science, 2021, 70(5): 731-736.