

6 种金枪鱼脂肪酸组成与含量差异性研究

曲 梦¹, 姚 琳¹, 陆键萍^{1,2}, 信红梅^{1,3}, 江艳华¹, 李凤铃¹, 郭莹莹¹, 石学香⁴, 王联珠^{1*}

- (1. 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 农业农村部水产品质量安全检测与评价重点实验室, 青岛 266071;
2. 中国海洋大学食品科学与工程学院, 青岛 266000; 3. 大连工业大学食品学院, 大连 116034;
4. 青岛市疾病预防控制中心, 青岛 266033)

摘要: 目的 比较捕捞于不同海域不同品种的 6 种金枪鱼的脂肪酸种类与含量。**方法** 收集来源于大西洋、太平洋、印度洋的蓝鳍金枪鱼(*Thunnus thynnus*)、黄鳍金枪鱼(*Thunnus albacores*)、大目金枪鱼(*Thunnus obesus*)、马苏金枪鱼(*Thunnus maccoyii*)、长鳍金枪鱼(*Thunnus alalunga*)、鲣鱼(*Katsuwonus pelamis*) 6 种金枪鱼, 采用三氟化硼甲醇甲酯化金枪鱼肌肉组织的脂肪酸, 利用气相色谱法测定脂肪酸甲酯含量; 再通过 SPSS 24 对各脂肪酸组成结果进行相关性分析。**结果** 6 种金枪鱼肌肉脂肪酸种类与含量丰富, 蓝鳍金枪鱼、大目金枪鱼等 5 种金枪鱼不饱和脂肪酸的含量明显高于鲣鱼, 蓝鳍金枪鱼的不饱和脂肪酸种类最多且含量最高, 捕捞于太平洋海域的大目金枪鱼、黄鳍金枪鱼的不饱和脂肪酸种类明显多于其他海域, 人工饲养的马苏金枪鱼(太平洋)比野生马苏金枪鱼(印度洋)的不饱和脂肪酸种类丰富; 6 种金枪鱼主要组分间的相关性分析结果显示, C20:0 与所测的 9 种脂肪酸呈负相关, C18:1 与 C18:2 呈极显著正相关($r=0.900\sim 1.000$), C14:0 与 C17:1 呈负相关, 与其他 8 种脂肪酸呈正相关。**结论** 6 种金枪鱼存在脂肪酸种类与含量的差异, 不同海域与不同养殖方式下的金枪鱼脂肪酸的种类也存在差异。

关键词: 金枪鱼; 脂肪酸; 气相色谱; 显著性分析; 相关性分析

Study on the fatty acid composition and content difference of six species of Tuna

QU Meng¹, YAO Lin¹, LU Jian-Ping^{1,2}, XIN Hong-Mei^{1,3}, JIANG Yan-Hua¹,
LI Feng-Ling¹, GUO Ying-Ying¹, SHI Xue-Xiang⁴, WANG Lian-Zhu^{1*}

- (1. Key Laboratory of Testing and Evaluation for Aquatic Product Safety and Quality, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China;
2. College of Food Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266000, China;
3. School of Food Science and Technology, Dalian Polytechnic University, Dalian 116034, China;
4. Qingdao Center for Disease Control and Prevention, Qingdao 266033, China)

ABSTRACT: Objective To compare the fatty acid types and contents of six different species of tuna caught in different sea areas. **Methods** Six species of tuna *Thunnus thynnus*, *Thunnus albacores*, *Thunnus obesus*, *Thunnus maccoyii*, *Thunnus alalunga* and *Katsuwonus pelamis* from the Atlantic, Pacific and Indian oceans were collected. The fatty acids of tuna muscle tissue were methylated methanol by boron trifluoride. The contents of fatty acid methyl ester in tuna muscle were determined by gas chromatography. Then SPSS 24 was used to analyze the correlation of fatty acid composition. **Results** The fatty acid species and contents of the six tuna muscle were rich,

基金项目: 国家重点研发计划课题(2016YFF0201805)

Fund: Supported by National Key R & D Plan (2016YFF0201805)

*通讯作者: 王联珠, 研究员, 主要研究方向为水产品质量安全与标准化。E-mail: wanglz@ysfri.ac.cn

*Corresponding author: WANG Lian-Zhu, Professor, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, No. 106, Nanjing Road, Qingdao 266071, China. E-mail: wanglz@ysfri.ac.cn

polyunsaturated fatty acids species of the five tuna such as the bluefin tuna and the bigeye tuna was obviously higher than skipjack tuna. The polyunsaturated fatty acids species and contents of bluefin tuna was richest. The polyunsaturated fatty acids species of bigeye tuna and yellowfin tuna which came from the Pacific were higher than that from other ocean. The polyunsaturated fatty acids species in the captive southern bluefin tuna (Pacific Ocean) was more abundant than wild southern bluefin tuna (Indian Ocean). The results of correlation analysis in major components of six tuna showed that there was negative correlation between C20:0 and other nine substances, extremely significant positive correlation between C18:1 and C18:2($r=0.900\sim 1.000$) and there was negative correlation between C14:0 and C17:1, extremely positive correlation between C14:0 and others. **Conclusion** There are differences in fatty acid species and content among six species of tuna, and there are also differences in fatty acid species in different sea areas and different breeding methods.

KEY WORDS: tuna; fatty acid; gas chromatography; significance analysis; correlation analysis

1 引言

金枪鱼被称为鲔鱼、吞拿鱼,属硬骨鱼纲、鲈形目、金枪鱼属^[1],是一种生活在温带与热带海区海洋中上层的洄游鱼类,广泛分布于太平洋、大西洋和印度洋等海域^[2-4],根据联合国粮农组织统计年鉴数据,金枪鱼类包括金枪鱼属[长鳍金枪鱼(*Thunnus alalunga*)、黄鳍金枪鱼(*Thunnus albacores*)、蓝鳍金枪鱼(*Thunnus thynnus*)、大目金枪鱼(*Thunnus obesus*)、马苏金枪鱼(*Thunnus maccoyii*)等金枪鱼]和鲣鱼(*Katsuwonus pelamis*)^[5,6]。金枪鱼营养丰富、肉质柔嫩,深受消费者的青睐。

金枪鱼具有高蛋白、低脂肪等特点,并且富含丰富的二十碳五烯酸(eicosapentaenoic acid, EPA)与二十二碳六烯酸(docosahexaenoic acid, DHA)等不饱和脂肪酸^[7],蓝鳍金枪鱼、大目金枪鱼等多以生鱼片的方式食用,是国际营养协会推荐的健康食品^[8],在疾病预防和食疗等方面具有重要的作用。金枪鱼属于红肉鱼类,含有丰富的功能性成分,为人体提供必需的氨基酸,能有效地降低血压与血液中的胆固醇含量,防止动脉硬化;促进胰岛素分泌,提高肝脏的排毒作用,有效地改善视力,提高记忆力^[9]。金枪鱼富含蛋白质、脂肪酸、维生素和微量元素^[10]。脂肪酸是人体所需的营养物质,是细胞内信号传导的重要营养调节剂,能够影响炎症反应,促进止血以及调节中枢神经系统的发育和功能^[11]。脂肪酸不仅对学习能力和有益,而且具有催眠和镇静的作用,在细胞膜构造过程中也有特殊作用^[12]。脂肪酸分为饱和脂肪酸与不饱和脂肪酸,不饱和脂肪酸又被分为单不饱和脂肪酸与多不饱和脂肪酸,富含顺式单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸的脂质有利于身体健康^[13]。现有研究多针对同种金枪鱼不同部位或是相同海域不同品种金枪鱼进行脂肪酸的种类与含量测定,鲜见不同海域不同品种金枪鱼脂肪酸差异性研究,因此,本研究收集不同海域的蓝鳍金枪鱼、大目金枪鱼等 6 种金枪鱼肌肉组织,分析其脂肪酸的种类以及含量,旨在为金枪鱼营养成分的品种

差异性与海域差异性分析提供科学合理的参考,也为更好地开发利用金枪鱼提供理论依据。

2 材料与方法

2.1 材料与设备

2.1.1 实验材料

大目金枪鱼(捕捞于太平洋、印度洋、大西洋),质量为(35.62±2.19) kg,体长为(1.23±0.34) m;黄鳍金枪鱼(捕捞于太平洋、印度洋、大西洋)质量为(20.84±0.46) kg,体长为(0.84±0.05) m;蓝鳍金枪鱼(捕捞于大西洋),质量为(82.7±3.11) kg,体长为(1.84±0.34) m;长鳍金枪鱼(捕捞于南太平洋、北太平洋),质量为(26.47±2.12) kg,体长为(1.17±0.41) m;马苏金枪鱼(捕捞于太平洋、印度洋),质量为(67.23±3.07) kg,体长为(1.81±0.37) m;鲣鱼(捕捞于印度洋),质量为(4.17±0.95) kg,体长为(0.56±0.02) m;集中捕捞于 5~8 月份,每个海域每个品种样本各 8 份,由山东省中鲁远洋(烟台)食品有限公司提供,取尾部肌肉置于-80 °C冰箱保存备用。

2.1.2 实验仪器与试剂

GC-2010PLUS Shimadzu 气相色谱仪(日本岛津公司);37 种脂肪酸甲酯混标、石油醚、乙醚、三氟化硼-甲醇溶液、氢氧化钠(分析纯,上海安谱科学仪器有限公司)。

2.2 脂肪酸含量的测定

2.2.1 样品预处理

参照 GB 5009.168-2016《食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定》对样品进行预处理,样品经盐酸水解,用乙醚石油醚混合液(体积比 1:1)提取水解液中的脂肪,将提取后的脂肪加入氢氧化钠皂化,三氟化硼-甲醇甲酯化,提取甲酯化产物脂肪酸甲酯进行气相分析测定。

2.2.2 脂肪酸含量测定

取脂肪酸甲酯混合标准溶液注入气相色谱仪,对色谱峰进行定性。进样量为 1 μL,色谱柱(SP-2560)长度为 100 m,内径为 0.25 mm,液膜厚度为 0.20 μm。以氮气为载

气, 流速为 0.90 mL/min, 进样口和检测器的温度分别为 250 °C 和 260 °C, 压力为 224.2 kpa, 柱温设定从 130 °C 上升到 240 °C (4 °C/min), 保留 20 min。结果以色谱峰峰面积定量。

2.3 数据分析

采用 SPSS 24 软件分析, 根据单因素方差分析法对数据进行差异显著性比较分析, 结果以平均值±标准偏差 (Mean±SD) 的形式表示。P>0.05 表示数据之间无显著性差异, P<0.05 为数据之间存在显著性差异; P<0.01 表示数据之间存在极显著性差异。

3 结果

3.1 6 种金枪鱼的脂肪酸种类测定结果

食物的脂肪酸种类和组成是评价食物营养价值的重要指标。6 种金枪鱼的脂肪种类差别较大, 总体上, 6 种金枪鱼脂肪酸检出种类由多到少依次为马苏金枪鱼、黄鳍金

枪鱼、蓝鳍金枪鱼、长鳍金枪鱼、大目金枪鱼、鲣鱼。其中, 马苏金枪鱼(太平洋)检出 20 种脂肪酸, 马苏金枪鱼(印度洋)检出 8 种脂肪酸; 黄鳍金枪鱼(太平洋)检出 16 种脂肪酸, 黄鳍金枪鱼(印度洋)检出 7 种脂肪酸, 黄鳍金枪鱼(大西洋)检出 3 种脂肪酸; 蓝鳍金枪鱼共检出 17 种脂肪酸; 长鳍金枪鱼(北太平洋)检出 9 种脂肪酸, 长鳍金枪鱼(南太平洋)检出 5 种脂肪酸; 大目金枪鱼(太平洋)检出 8 种脂肪酸, 大目金枪鱼(印度洋)检出 3 种脂肪酸; 鲣鱼检出 10 种脂肪酸, 具体结果见表 1。

3.2 6 种金枪鱼的不饱和脂肪酸比较

对不同海域金枪鱼的脂肪酸混合进行比较, 如图 1, 不饱和脂肪酸占脂肪酸总量的比例与脂肪含量顺序不同, 分别是蓝鳍金枪鱼(70.59%)、黄鳍金枪鱼(68.75%)、长鳍金枪鱼(64.29%)、大目金枪鱼(62.50%)、马苏金枪鱼(60.71%)、鲣鱼(29.70%), 可见蓝鳍金枪鱼中脂肪含量与不饱和脂肪酸占脂肪酸总量的比例大于其他种类的金枪鱼。通常

表 1 6 种金枪鱼的脂肪酸种类
Table 1 Types of fatty acids in 6 types of tuna

品种	海域	不饱和脂肪酸	饱和脂肪酸	脂肪酸种类总量
大目金枪鱼	太平洋	5	3	8
	印度洋	1	2	3
黄鳍金枪鱼	大西洋	1	1	2
	太平洋	11	5	16
	印度洋	5	2	7
蓝鳍金枪鱼	大西洋	1	2	3
	大西洋	12	5	17
长鳍金枪鱼	南太平洋	3	2	5
	北太平洋	6	3	9
马苏金枪鱼	太平洋	11	8	20
	印度洋	5	3	8
鲣鱼	印度洋	3	7	10

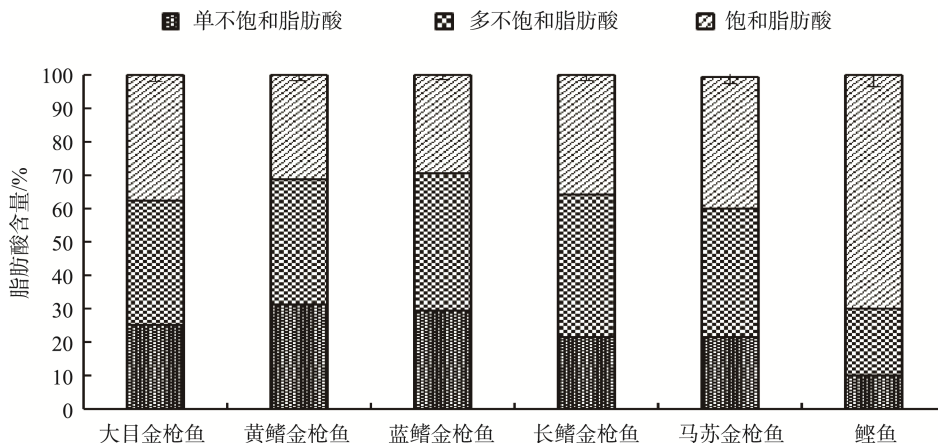


图 1 6 种金枪鱼脂肪酸含量
Fig.1 Fatty acid composition of six species of tuna

情况下, 不饱和脂肪酸含量越高的油脂, 必需脂肪酸的含量也越高, 其营养价值也相对越高, 6 种金枪鱼脂肪酸组成的主要差别在单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸的含量方面, 大目金枪鱼、长鳍金枪鱼、黄鳍金枪鱼、蓝鳍金枪鱼、马苏金枪鱼与鲣鱼的多不饱和脂肪酸均高于单不饱和脂肪酸。

3.3 6 种金枪鱼的脂肪酸显著性分析

选取 6 种金枪鱼中具有代表性的脂肪酸进行显著性差异分析, 包括 3 种饱和脂肪酸 C14: 0(豆蔻酸)、C16: 0(棕榈酸)与 C20: 0(花生酸); 1 种单不饱和脂肪酸 C18: 1(油酸); 1 种多不饱和脂肪酸 C18: 2(亚油酸), 分析结果如表 2。6 种金枪鱼的 C14:0 脂肪酸差异均不显著, 蓝鳍金枪鱼的 C16:0 脂肪酸与其他 5 种均有差异, 马苏金枪鱼的 C20:0 脂肪酸与其他 5 种金枪鱼均有差异, 黄鳍金枪鱼与大目金枪鱼的 C18:1 脂肪酸无明显差异, 但与其他 4 种均有差异, 蓝鳍金枪鱼与马苏金枪鱼的 C18:2 脂肪酸有差异, 与其他 4 种也均有差异。

3.4 6 种金枪鱼脂肪酸的相关性分析结果

通过 SPSS 24 处理脂肪酸原始数据, 得到各脂肪酸相关系数进行分析, 由表 3 可得出: 所有脂肪酸均与饱和脂肪酸 C20:0 呈负相关, 但相关系数均小于 0.800; C18:2 与 C17:1 呈负相关, 与 C14:0 呈极显著负相关, 与 C14:1、C17:0、C24:1、C16:0、C18:1 呈极显著正相关; C18:1 与 C17:1 呈负相关, 与 C14:0 呈极显著负相关, 与 C24:1 呈显著正相关, 与 C14:1、C17:0、C16:0 呈极显著正相关; C16:0 与 C17:1 呈负相关, 与 C14:0 呈显著负相关, 与 C14:1、C17:0、C24:1 呈极显著正相关; C14:0 与 C17:1 呈负相关, 与 C18:0 呈显著正相关; C24:1 与 C14:1、C17:0 呈极显著正相关; C17:0 与 C14:1 呈现极显著正相关。脂肪酸间呈显著正相关的意义在于这几种脂肪酸含量随相同因素的增加而增加或随相同因素的减少而减少, 鱼体通过食物或其他途径来源等比例增加或补充脂肪酸; 反之脂肪酸间呈显著负相关表达脂肪酸在鱼体间可稳定而快速地互相转化以达到平衡^[14]。

表 2 6 种金枪鱼的脂肪酸显著性分析
Table 2 Analysis of significant differences in fatty acids of six tuna

脂肪酸/(g/100 g)	蓝鳍金枪鱼	黄鳍金枪鱼	长鳍金枪鱼	马苏金枪鱼	大目金枪鱼	鲣鱼
C14:0	0.54±0.17 ^a	0.74±0.44 ^a	0.13±0.20 ^a	0.54±0.38 ^a	0.62±0.28 ^a	0.11±0.90 ^a
C16:0	6.05±2.99 ^b	0.49±0.55 ^a	0.37±0.39 ^a	1.61±1.47 ^a	0.31±0.31 ^a	0.47±0.67 ^a
C18:1	1.81±0.82 ^c	0.30±1.00 ^{ab}	0.17±0.20 ^a	0.93±0.48 ^b	0.51±0.82 ^{ab}	0.15±0.19 ^a
C18:2	4.91±2.45 ^c	0.74±0.54 ^a	0.34±0.11 ^a	3.63±1.28 ^b	0.36±0.18 ^a	0.28±0.39 ^a
C20:0	0.45±0.23 ^a	0.20±0.24 ^a	0.83±0.82 ^a	0.84±0.53 ^b	0.11±0.71 ^a	0.13±0.45 ^a

注: 同一行数据上标字母不同表示差异显著($P<0.05$), 字母相同表示差异不显著($P>0.05$)。

表 3 各类脂肪酸含量间的相关性分析结果
Table 3 Fatty acid composition of six species of tuna

脂肪酸	C14:1	C17:0	C17:1	C18:0	C24:1	C14:0	C16:0	C18:1	C18:2	C20:0
C14:1	-	0.990**	-0.523	0.512	0.973**	-0.749	0.975**	0.935**	0.973**	-0.084
C17:0	-	-	-0.612	0.615	0.934**	-0.781	0.992**	0.964**	0.994**	-0.020
C17:1	-	-	-	-0.597	-0.317	0.270	-0.577	-0.577	-0.620	-0.723
C18:0	-	-	-	-	0.372	-0.824*	0.689	0.775	0.694	-0.023
C24:1	-	-	-	-	-	-0.728	0.920**	0.874*	0.908**	-0.263
C14:0	-	-	-	-	-	-	-0.854*	-0.913**	-0.834*	-0.468
C16:0	-	-	-	-	-	-	-	0.990**	0.999**	-0.100
C18:1	-	-	-	-	-	-	-	-	0.986**	-0.155
C18:2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.046
C20:0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

注: *和**分别表示显著(相关系数 $r=0.800\sim0.899$)和极显著($r=0.900\sim1.000$)相关。

4 讨论与结论

目前气相色谱法分析时间短、分离效果好、检测限低、灵敏度高, 是分析脂肪酸组成应用最广的方法^[15-17]。常用的方法包括外标法、内标法与归一化法, 外标法定量是绝对定量, 需要标准样品作为参考依据, 要求进样准确, 操作条件稳定, 分析样品和标准曲线的条件一致, 否则易造成较大误差^[18], 难以确保测定结果的准确度。归一化法虽然操作简便、准确, 操作条件与进样量的变动对结果的准确性影响较小, 但要求样品中所有组分均要出峰^[19], 并且作为相对定量只能计算金枪鱼各脂肪酸的相对含量, 不能得到金枪鱼脂肪酸的绝对含量。内标法适用于仅需测定试样中某些组分含量的实验, 本文选用内标法进行测定, 可准确测定各脂肪酸组分的绝对含量。以内标物为标准, 直接进行样品分析, 短时间内可完成样品各组分的分离, 测定结果具有较高的准确性和重现性, 线性范围较宽, 方便快捷, 为测定金枪鱼脂肪酸含量提供了有效的测试方法, 提高了脂肪酸实验数据的准确性。

本文检测结果表明, 6 种金枪鱼饱和脂肪酸种类与含量丰富, 饱和脂肪酸能够有效防止因血凝聚造成的血管堵塞、中风等情况发生。单不饱和脂肪酸能为人体提供能量, 调整人体胆固醇的比例^[20], 有利于心、脑、肾、血管的健康。6 种金枪鱼均检测出单不饱和脂肪酸油酸, 蓝鳍金枪鱼的油酸含量明显高于其他 5 种金枪鱼, 鲣鱼的油酸含量最低。油酸有利于降低高血脂症患者血脂水平以及预防心血管疾病^[21]。多不饱和脂肪酸是多种生物膜的组成成分, 具有调节膜的结构、渗透性以及控制膜相关生物学过程的作用。此外, 它们还参与调节膜结合蛋白有关基因的表达^[22], 是调节大脑发育和认知, 抑制癌症和糖尿病等许多疾病发生的重要因素^[23,24]。6 种金枪鱼均检测出多不饱和脂肪酸亚油酸, 蓝鳍金枪鱼的亚油酸含量明显高于其他 5 种金枪鱼, 鲣鱼的亚油酸含量最低。亚油酸是人类饮食中消耗最多的饱和脂肪酸, 可为人体提供能量, 被酯化形成中性和极性脂质后, 能够维持体内的结构^[25]。检测过程中还发现了少量奇数碳脂肪酸, 如蓝鳍金枪鱼、黄鳍金枪鱼与马苏金枪鱼均检出 C17:0, 奇数碳脂肪酸在饥饿状态与代谢障碍时可表现出生糖效果, 维持体内肝糖原水平与血清葡萄糖浓度^[26]。在现有的脂肪酸分析中对奇数碳脂肪酸的分析较少, 多数可检测出 C17:0、C23:0^[27-29], 本文在黄鳍金枪鱼中检测出少量 C21:0, 有研究表明 C17:0/C21:0 可调节胰岛素的敏感性, 比率越高胰岛素灵敏度越好, 分解糖类的程度越高, 能够有效地降低血糖浓度, 对患有糖尿病的人群有较高的食用价值^[30]。

本文结果显示, 蓝鳍金枪鱼的不饱和脂肪酸种类与含量最高, 与鲣鱼差异显著, 但与其他 4 种金枪鱼饱和脂肪酸的含量差异不显著, 可能是由于检测样本统一采于

尾部肌肉, 并未检测蓝鳍金枪鱼中腹和大腹等脂肪酸含量较高的部位有关。部分金枪鱼仅检测出 1~2 种脂肪酸以及 6 种金枪鱼均未检测出 EPA、DHA 等 n-3 多不饱和脂肪酸, 可能因为本文选用的气相色谱内标法的检出限为 0.003 g/100 g, 实验采用的尾部肌肉 n-3 多不饱和脂肪酸含量低于该检出限, 因此未被检出。长鳍金枪鱼检测出其它金枪鱼均未检测出的月桂酸, 当月桂酸被消化时, 形成的月桂酸单甘酯具有一定的抗菌(如幽门螺杆菌和单增李斯特菌)和抗病毒(如 HIV 与流行性感冒病毒)功效, 月桂酸可以促进婴儿对脂肪和钙离子的吸收, 增强骨骼的发育, 同时也提高抵抗细菌和病毒的能力^[31]。大目金枪鱼检测出棕榈油酸, 其在一些慢性疾病如代谢综合症、糖尿病和炎症中具有辅助治疗作用; 此外棕榈油酸可以作为一种脂质激素, 通过口服可以促进饱腹感激素的分泌, 进而影响脂肪形成, 降低肥胖症的发生概率^[32]。本研究发现, 不同海域相同品种的金枪鱼脂肪酸种类存在差异, 这一点在黄鳍金枪鱼中比较明显, 黄鳍金枪鱼(太平洋)检测出黄鳍金枪鱼(大西洋)与黄鳍金枪鱼(印度洋)均未检测出的豆蔻油酸、十五碳一烯酸、十七碳酸与十七碳一烯酸, 而未检出后两者检出的硬脂酸, 可能是由于各自生境差异及其海洋生物构成的食物链不同而导致的, 这也可为今后开发金枪鱼产地溯源检测方法提供思路。马苏金枪鱼(太平洋)与马苏金枪鱼(印度洋)相比, 脂肪酸的种类与含量更丰富, 可能与前者活动范围相对较小, 投喂方式更为科学, 从而促使脂肪酸的生成与积累更多有关。

综上所述, 本研究利用气相色谱内标法对金枪鱼脂肪酸进行绝对定量分析, 确定了 6 种金枪鱼的脂肪酸含量, 为后续对金枪鱼脂肪酸的研究提供了理论基础, 为金枪鱼的综合开发利用提供科学依据。对金枪鱼在食品工业中的应用以及营养价值评价具有重要意义, 对开发金枪鱼特殊营养功能产品有着重要的理论价值。

参考文献

- [1] 李文敬, 龚海平, 袁超璐, 等. 调味金枪鱼鱼松配方优化[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(18): 6337-6342.
Li WJ, Gong HP, Yuan CL, et al. Optimization of seasoned tuna and pine fish recipe [J]. J Food Saf Qual, 2019, 10(18): 6337-6342.
- [2] 苏红, 李雨欣, 钱雪丽, 等. 鲷鱼、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 YX, Qian XL, et al. Nutrition analysis and quality evaluation of catfish, tuna and salmon heads [J]. Sci Technol Food Ind, 2019, 40(17): 212-217, 224.
- [3] Nicklisch SCT, Bonito LT, Sandin S, et al. Mercury levels of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) are associated with capture location [J]. Environ Poll, 2019, 40(17): 212-217, 224.
- [4] Kitagawa T, Kumura S. Biology and Ecology of Bluefin Tuna [J]. Biol Ecology Bluefin Tuna, 2016, 82(2): 189-191.
- [5] 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, (23): 336-339, 344.
- Liu SC, Li RW, Liao MT, *et al.* Analysis and evaluation of nutritional components of muscles in different parts of bigeye tuna [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2013, (23): 336-339, 344.
- [6] 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, 456(10): 47-51.
- Zou Y, Li YP, Dai ZY, *et al.* Analysis and evaluation of nutritional composition of three kinds of tuna [J]. *Agric Products Process*, 2018, 456(10): 47-51.
- [7] Saito H, Seike Y, Ioka H, *et al.* High docosahexaenoic acid levels in both neutral and polar lipids of a highly migratory fish: *Thunnus tonggol* (Bleeker) [J]. *Lipids*, 2005, 40(9): 941-953.
- [8] 罗殷, 王锡昌, 刘源, 等. 黄鳍金枪鱼食用品质的研究[J]. 食品科学, 2008, 29(9): 476-480.
- Luo Y, Wang XC, Liu Y, *et al.* Study on the food quality of *Thunnus albacores* [J]. *Food Sci*, 2008, 29(9): 476-480.
- [9] 李桂芬, 乐建盛. 金枪鱼的营养功效与开发加工[J]. 食品科技, 2003, (9): 41-44.
- Li GF, Le JS. Nutritional effects of tuna and its development and processing [J]. *Food Sci Technol*, 2003, (9): 41-44.
- [10] 王亮, 刘东红. 热杀菌条件对金枪鱼罐头品质的影响[J]. 现代食品科技, 2015, (4): 242-247.
- Wang L, Liu DH. Effects of heat sterilization conditions on the quality of canned tuna [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2015, (4): 242-247.
- [11] Robinson, Daniel T, Martin, *et al.* Fatty acid requirements for the preterm infant [J]. *Seminars Fetal Neonatal Med*, 2016, 1(22): 8-14.
- [12] Beld J, Lee DJ, Burkart MD. Fatty acid biosynthesis revisited: Structure elucidation and metabolic engineering [J]. *Mol Bio Syst*, 2015, 11(1): 38-59.
- [13] 庄海旗, 刘江琴, 崔焯, 等. 南海海域 8 种金线鱼肌肉的脂肪酸分析[J]. 现代食品科技, 2018, 223(3): 224-231.
- Zhuang HQ, Liu JQ, Cui L, *et al.* Fatty acid analysis of eight species of golden thread muscle in the South China sea [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2018, 223(3): 224-231.
- [14] 庄海旗, 刘江琴, 崔焯, 等. 6 种鳊科鱼脂肪酸组成比较及相关性分析[J]. 南方农业学报, 2018, 390(3): 152-158.
- Zhuang HQ, Liu JQ, Cui L, *et al.* Comparison and correlation analysis of fatty acid composition of 6 species of plover fish [J]. *Southern J Agric*, 2018, 390(3): 152-158.
- [15] Jaddoa HH, Hameed IH, Mohammed GJ. Analysis of volatile metabolites released by *Staphylococcus aureus* using gas chromatography-mass spectrometry and determination of its antifungal activity [J]. *Orient J Chem*, 2016, 32(4): 2107-2116.
- [16] 孙静, 黄健, 侯云丹, 等. 顶空固相微萃取-气质联用分析大眼金枪鱼肉的挥发性成分[J]. 食品科学, 2011, 32(22): 230-233.
- Sun J, Huang J, Hou YD, *et al.* Analysis of volatile components in bigeye tuna meat by headspace solid-phase microextraction-GC-MS/MS [J]. *Food Sci*, 2011, 32(22): 230-233.
- [17] 武彦文, 李冰宁, 汪雨, 等. 气相色谱法测定食品中反式脂肪酸的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(9): 37-42.
- Wu YW, Li BN, Wang Y, *et al.* Research progress on determination of trans fatty acids in food by gas chromatography [J]. *J Food Saf Qual*, 2015, 6(9): 37-42.
- [18] 刘秀清. 婴幼儿配方乳粉中脂肪酸测定不同定量方法的差异性[J]. 中国乳品工业, 2016, 44(8): 52-54.
- Liu XQ. Differences of different quantitative methods for the determination of fatty acids in infant formula milk powder [J]. *Chin Dairy Ind*, 2016, 44(8): 52-54.
- [19] 王彦平, 郭建凤, 呼红梅, 等. 猪肌肉脂肪酸成分的气相色谱测定方法[J]. 畜牧与兽医, 2017, 49(3): 57-61.
- Wang YP, Guo JF, Hu HM, *et al.* Gas chromatographic determination of fatty acids in pig muscle [J]. *Animal Husb Vet Med*, 2017, 49(3): 57-61.
- [20] Bozzetto L, Costabile G, Luongo D, *et al.* Reduction in liver fat by dietary MUFA in type 2 diabetes is helped by enhanced hepatic fat oxidation [J]. *Diabetologia*, 2016, 59(12): 2697-2701.
- [21] Liener IE. Toxic constituents of plant foodstuffs [M]. Salt Lake City: Academic Press, 1980.
- [22] Sahena F, Zaidul ISM, Jinap S, *et al.* PUFAs in Fish: Extraction, fractionation, importance in health [J]. *Comprehensive Rev Food Sci Food Saf*, 2009, 8(2): 59-74.
- [23] Simopoulos AP. Genetic variants in the metabolism of omega-6 and omega-3 fatty acids: their role in the determination of nutritional requirements and chronic disease risk [J]. *Exp Biol Med*, 2010, 235(7): 785-795.
- [24] Brenna JT, Diau GY. The influence of dietary docosahexaenoic acid and arachidonic acid on central nervous system polyunsaturated fatty acid composition [J]. *Prostag Leukotr Ess*, 2007, 77(5-6): 0-250.
- [25] Kuniyasu H. Linoleic Acid [M]. *Encyclopedia of Cancer*. Springer Berlin Heidelberg, 2008.
- [26] 张大昕. 奇数碳脂肪酸的代谢与营养[J]. 生理科学进展, 1979, (3): 250-255.
- Zhang DX. Metabolism and nutrition of odd carbon fatty acids [J]. *Adv Physiol Sci*, 1979, (3): 250-255.
- [27] 钱雪丽, 苏红, 樊馨怡, 等. 金枪鱼头汤中脂肪酸组成、维生素 E 含量分析及微观形貌观察[J]. 上海海洋大学学报, 2019, 28(5): 801-810.
- Qian XL, Su H, Fan XY, *et al.* Fatty acid composition, vitamin E content analysis and micromorphology observation in tuna head soup [J]. *J Shanghai Ocean Univ*, 2019, 28(5): 801-810.
- [28] 张丽, 殷燕. 金枪鱼脑中磷脂及脂肪酸组成分析[J]. 现代食品, 2016, (10): 91-93.
- Zhang L, Yin Y. Analysis of phospholipid and fatty acid composition in tuna brain [J]. *Mod Food*, 2016, (10): 91-93.
- [29] 侯钦帅, 刘小芳, 张学超, 等. 鳀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): 34.
- Hou QS, Liu XF, Zhang XC, *et al.* Analysis and evaluation of nutritional composition of anchovy fish liver [J]. *J Qingdao Univ: Nat Sci Edit*, 2017, (30): 34.
- [30] Magnúsdóttir OK, Landberg R, Gunnarsdóttir I, *et al.* Plasma alkylresorcinols C17: 0/C21: 0 ratio, a biomarker of relative whole-grain rye intake, is associated to insulin sensitivity: a randomized study [J]. *European J Clin Nutr*, 2014, 68(4): 453-458.
- [31] 刘辉, 董家和, 张莹, 等. 分子蒸馏法富集椰子油中月桂酸工艺条件的

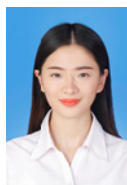
优化研究[J]. 中国油脂, 2019, 44(4): 56-59.

Liu H, Dong JH, Zhang Y, et al. Optimization of lauric acid in coconut oil enriched by molecular distillation [J]. Chin Oils, 2019, 44(4): 56-59.

[32] 张泽生, 高山, 郭擎, 等. 棕榈油酸的研究现状及展望[J]. 中国食品添加剂, 2016, (9): 198-202.

Zhang ZS, Gao S, Guo Q, et al. Research status and prospect of palm oleic acid [J]. Chin Food Addit, 2016, (9): 198-202.

(责任编辑: 王 欣)



曲 梦, 助理工程师, 主要研究方向为水产品质量与安全。

E-mail: qumeng@ysfri.ac.cn



王联珠, 研究员, 主要研究方向水产品质量安全与标准化。

E-mail: wanglz@ysfri.ac.cn

作者简介



“功能食品与营养活性物质”专题征稿函

功能性食品由于其特殊的营养和保健功能, 越来越得到国内外广泛关注。

鉴于此, 本刊特别策划了“功能食品与营养活性物质”专题, 围绕功能性食品的营养研究、开发应用、安全质量控制及活性物质等问题展开讨论, 计划在 2020 年 5~6 月出版。之前也组织过类似的专题, 由南昌大学食品科学与技术国家重点实验室副主任邓泽元教授担任专题主编, 成效很不错, 很多研究人员积极参与进来。

鉴于您在该领域的成就, 学报主编国家食品安全风险评估中心吴永宁研究员及编辑部全体成员特别邀请有关食品领域研究人员为本专题撰写稿件, 以期进一步提升该专题的学术质量和影响力。综述及研究论文均可, 请在 2020 年 04 月 15 日前通过网站或 E-mail 投稿。我们将快速处理并经审稿合格后优先发表。

同时烦请您帮忙在同事之间转发一下, 希望您能够推荐该领域的相关专家并提供电话和 E-mail。再次感谢您的关怀与支持!

投稿方式(注明 2020 专题:功能食品与营养活性物质):

网站: www.chinafoodj.com(备注: 投稿请登录食品安全质量检测学报主页-作者登录-注册投稿-投稿选择“2020 专题:功能食品与营养活性物质”)

邮箱投稿: E-mail: jfoodsqa@126.com(备注: 2020 专题:功能食品与营养活性物质专题投稿)

《食品安全质量检测学报》编辑部