

南海海域 8 种金线鱼肌肉的脂肪酸分析

庄海旗, 刘江琴, 崔燎, 罗辉

(广东医科大学化学教研室, 广东天然药物研究与开发重点实验室, 海洋医药研究院, 湛江市环北部湾海洋微生物资源研究开发重点实验室, 广东湛江 524023)

摘要: 从广东湛江市场收集到南海海域渔获的金线鱼科 8 种鱼 (红金线鱼、日本金线鱼、黄梢金线鱼、红衫鱼、多毛锥齿鲷、单带眶棘鲈、黑带眶棘鲈和伏氏眶棘鲈), 采用国家标准方法测定组织中的水分和粗脂肪, 经毛细管气相色谱法测定了肌肉中的 19 种脂肪酸组分, 分析和比较了其饱和脂肪酸 (SFA)、单不饱和脂肪酸 (MUFA) 和多不饱和脂肪酸 (PUFA) 的含量, 结果显示, 8 种金线鱼的鱼体含水量 65.32%~73.46%, 粗脂肪占干重 2.19%~2.92%, 肌肉饱和脂肪酸含量为 34.61%~46.79%, 单不饱和脂肪酸含量为 7.22%~23.96%, 多不饱和脂肪酸含量为 28.66%~55.51%; 8 种金线鱼的多不饱和脂肪酸中, ω -6 系和 ω -3 系脂肪酸分别占 6.62%~14.22%和 19.38%~43.71%, 比值为 2.1~4.1, 具有较高的营养价值; 红衫鱼和黄梢金线鱼 EPA+DHA 含量分别为 39.27%和 33.51%, 具有较高开发利用价值。

关键词: 金线鱼科; 金线鱼; 脂肪酸成分; 气相色谱法

文章编号: 1673-9078(2018)03-218-225

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2018.03.032

Analysis of Muscle Fatty Acids in Eight Species of Threadfin Bream (Nemipteridae) in the South China Sea

ZHUANG Hai-qi, LIU Jiang-qin, CUI Liao, LUO Hui

(Chemistry Teaching and Research Section, Guangdong Key Laboratory for Research and Development of Natural Drugs, Marine Medicine Research Institute, The key Laboratory of R&D Marine Microorganism and Microalgae in the Beibu Gulf Rim, Guangdong Medical University, Zhanjiang 524023, China)

Abstract: Eight species of threadfin bream (*Nemipterus furcosus*, *Nemipterus japonicus*, *Nemipterus nematopus*, *Nemipterus virgatus*, *Pentapodus setosus*, *Scolopsis monogramma*, *Scolopsis taeniata* and *Scolopsis vosmeri*) sourced from the South China Sea were collected from the market of Zhanjiang, Guangdong province of China. The contents of moisture and crude lipid in the tissue were measured by Soxhlet extraction method according to national standard method. Nineteen fatty acid components in muscle samples of threadfin bream were determined by capillary gas chromatography. The content of saturated fatty acid (SFA), monounsaturated fatty acid (MUFA) and polyunsaturated fatty acid (PUFA) were analyzed and compared respectively. The results showed that the moisture of Threadfin Bream body ranged from 65.32% to 73.46% and crude lipid accounted for 2.19%~2.92% of the dry weight. The contents of muscle saturated fatty acids, monounsaturated fatty acids, crude fatty acids and polyunsaturated fatty acids in eight species of Threadfin Bream were 34.61%~46.79%, 7.22%~23.96%, 2.19%~2.92% and 28.66%~55.51%, respectively. Among the polyunsaturated fatty acids of eight species of threadfin bream, the percentage of ω -6 and ω -3 fatty acids were 6.62%~14.22% and 19.38%~43.71%, respectively. The ratios of ω -6 vs ω -3 were from 2.1 to 4.1, which indicated threadfin breams had higher nutritional value. *Nemipterus virgatus* and *Nemipterus nematopus* had high contents of EPA + DHA (39.27% and 33.51%, respectively), showing high development and utilization value.

Key words: Nemipteridae; Threadfin Bream; fatty acids; gas chromatography

金线鱼科(Nemipteridae)是鲈形目(Perciformes)中经济价值较高的一个类群, 全球有 5 属, 64 种, 主要
收稿日期: 2017-09-24

基金项目: 2016 年广东省科技发展专项资金项目(粤科规财字[2017]12 号); 湛江市科技计划项目(2014B01045); 广东医科大学科研基金项目(M2013013)
作者简介: 庄海旗(1964-), 男, 副教授, 研究方向: 天然药物提取与分析
通讯作者: 刘江琴, 女, 副教授, 研究方向: 药物分析

分布于印度洋、西太平洋热带和亚热带海域, 为暖水性中型底层生活鱼类, 一般栖息于近岸浅海、近岸岛礁及大洋性岛礁水域。金线鱼是我国东南沿海的重要经济鱼类, 是南海北部湾最主要的渔获种类之一, 湛江地处南海粤西北部湾, 海岸线长达 2023.6 公里, 占广东省海岸线的 46%, 具有丰富的南海海洋鱼类资源^[1,2], 仅文献报道的南海北部海区的就有 13 种

Nemipterus 鱼属金线鱼科^[3]。2013 年南海区金线鱼捕捞产量为 31.7 万 t, 占海洋捕捞总产量的 9.72%^[4], 其中红衫鱼(*Nemipterus virgatus*)是金线鱼属 *Nemipterus* 最重要的经济渔获种类^[1]。金线鱼肉质鲜美、营养丰富, 一般海洋渔获后作为冷冻海鲜或简单加工成鱼糜直接销往城市居民区消费, 有关其深加工及开发利用尚未见报道。金线鱼富含 ω -3 系多烯不饱和脂肪酸^[5], 大量研究表明, 鱼体尤其野生海洋鱼体脂肪酸中含有丰富的 ω -6 系与二十碳五烯酸(icosapentaenoic acid, EPA)、二十二碳六烯酸(dososehexaenoic acid, DHA) 等 ω -3 系多烯不饱和脂肪酸^[6]。 ω -3 系多烯不饱和脂肪酸尤其 DHA 和 EPA 对人体的健康有以下几方面的积极作用: 预防心血管疾病如降低血脂、胆固醇; 抑制血小板凝集, 防止血栓形成与中风; 增强记忆力, 提高智力以及抗衰老作用, 预防老年痴呆症; 改善自身免疫系统疾病的症状和抗癌作用等^[7-13]。

新的研究表明, 人体内多种炎症的启动及发展之后的促炎及消退受到体内促消退介质的调控, 而体内促消退介质是由 ω -3 系多烯不饱和脂肪酸或 DHA 和 EPA 转化而来的消退素与保护素^[14,15], 它们具有强效的抗炎促抗炎因子消退效应, 并起限制炎症损伤、清除凋亡细胞和减轻炎性疼痛以及抗结肠癌^[15]等作用, 这为鱼油开发利用成抗炎干预新药靶开辟了新的应用^[17,18]。鉴于上述海洋鱼油以及 DHA 和 EPA 在食品、保健品及药品中的应用, 本文从湛江市场收集到众多鱼类进行分类研究, 共鉴定出金线鱼科 8 种常见金线鱼作为筛选富含 ω -3 系多烯不饱和脂肪酸尤其高含量 DHA 和 EPA 的鱼种, 为开发利用鱼类 ω -3 系多烯不饱和脂肪酸提供实验数据。

1 材料与方法

1.1 材料和试剂

8 种野生金线鱼: 红金线鱼 *Nemipterus furcosus*、日本金线鱼 *Nemipterus japonicus*、黄梢金线鱼 *Nemipterus nematopus*、红衫鱼 *Nemipterus virgatus*、多毛锥齿鲷 *Pentapodus setosus*、单带眶棘鲈 *Scolopsis monogramma*、黑带眶棘鲈 *Scolopsis taeniata* 和伏氏眶棘鲈 *Scolopsis vosmeri* 等(2016 年 10 月~2017 年 3 月购于湛江水产市场, 品种鉴定由广东海洋大学陈文河教授协助完成)。选取个体完整, 规格一致的成年鱼体 3 尾, 样品平均体重和平均体长如表 1 所示, 分别去鳞切割取其背上肌肉, 真空冷冻干燥备用。

正己烷, 无水硫酸钠, 硫酸, 甲醇, 以上试剂均为分析纯; 19 种标准脂肪酸甲酯(Sigma 公司, 质量

比均为 1)。

1.2 主要仪器

岛津 GC-2010 型气相色谱; 101-2 型干燥箱(上海实验仪器总厂); HH.511-型电热恒温水浴锅(上海跃进医疗器械厂); 梅特勒-托利多 AE 型十万分之一电子天平。

1.3 实验方法

1.3.1 鱼体水分和粗脂肪酸的测定

水分测定用烘干失水法(GB/T 5009.3-2003), 脂肪测定用索氏抽提法(GB/T 5009.6-2003)。

1.3.2 鱼肉脂肪酸甲酯化^[19]

称取烘干后研磨的红金线鱼 *Nemipterus furcosus* 的鱼肉粉 40 mg, 分别加入 5 mL 0.5%对硫酸-甲醇溶液 60 °C 水浴加热 1 h, 完成后于冷水中冷却, 分别加入 5 mL 正己烷, 充分混和萃取, 再加入 2 mL 蒸馏水, 静置分层, 取上层清液, 再加入适量无水硫酸钠吸附水分, 即得脂肪酸甲酯化的样品溶液, 备以气相色谱分析。

1.3.3 8 种金线鱼中脂肪酸含量的测定^[19]

称取其余 7 种鱼粉末的鱼肉各 40 mg, 分别加入 5 mL 0.5%硫酸-甲醇溶液按 1.3.2 项方法进行脂肪酸甲酯化, 备以气相色谱分析金线鱼各鱼的脂肪酸含量。

1.3.4 气相色谱条件^[19]

气相色谱柱为弹性石英毛细管柱(30 m×0.25 μ m); 进样口温度 250 °C; FID 检测器温度 250 °C; 色谱柱升温程序: 120 °C(保留 1 min), 15 °C/min 升至 210 °C(保留 4 min), 3 °C/min 升至 240 °C直到分析完成; 载气: 氮气, 分流比为 100:1; 柱内流速为 30 mL/min。取标准脂肪酸甲酯溶液和各种鱼肉脂肪酸甲酯样品 5 μ L 进样。

1.3.5 数据统计分析

每种测定脂肪酸的校正面积 $A_i = f_i A_i$; f_i : 以 C16:0 校正因子为 1, 其它脂肪酸甲酯的校正因子为标准 C16:0 的峰面积除以其峰面积。

$$\text{每种测定脂肪酸的相对含量} = \frac{A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \times 100\%$$

试验数据用 Excel 2003 和 IBM SPSS Statistics 20 软件进行处理, 结果以“平均值 \pm SD”表示, 所有数据进行方差分析, 显著性差异检验使用 LSD 检验法, 显著性水平为 0.05。

2 结果与讨论

2.1 金线鱼鱼体一般成分测定

8 种金线鱼渔获鱼种的体长和重量：金线鱼属 *Nemipterus* 的体长和体重稳定在 16~26 cm 和 80~180 g 之间，而渔获的多毛锥齿鲷、单带眶棘鲈和黑带眶棘鲈的体长和体重因个体大而相差较大。伏氏眶棘鲈是近海可渔获的较常见小鱼种，个体稳定在 10~15 cm 或 70~100 g 之间。表 1 中 8 种金线鱼之间，100 g 所含水分有些差异外，其粗脂肪含量无显著性差异 ($p>0.05$)。

2.2 19 种标准脂肪酸甲酯的保留时间、校正因子及金线鱼各脂肪酸成分含量测定

图 1 为红金线鱼肌肉脂肪酸甲酯总离子流色谱图。实验中各种鱼类脂肪酸种类含量各不相同，具显著性差异，说明鱼类体内脂肪酸含量与种类无关，这

与鱼类生存的生态条件、生物习性以及对脂类营养的需求不同有关。8 种金线鱼肌肉中，可确定的脂肪酸有 19 种；保留时间 7 min 以上的不确定物质峰为复杂成分或某些脂肪酸异构体，其总面积峰用 Σ 不确定成分表示，其占总脂肪酸百分比为 0.94%~1.59%。

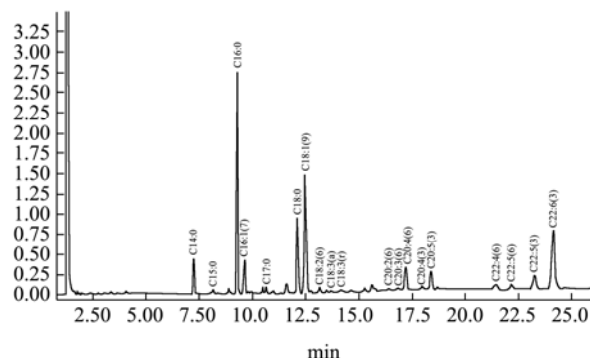


图 1 红金线鱼肌肉脂肪酸甲酯总离子流色谱图

Fig.1 Total ion flow chromatogram of fatty acids methyl ester of the muscle in *Nemipterus furcosus*

表 1 金线鱼体的一般成分

Table 1 The general composition composition of Threadfin Bream fish body

鱼种	红金线鱼	日本金线鱼	黄梢金线鱼	红衫鱼
体重/(g/尾)	110~150	80~130	110~150	130~180
体长/(cm/尾)	18~23	16~25	18~25	20~26
水分/%	69.31±2.12 ^{ab*}	73.46±2.71 ^a	71.13±2.34 ^{ab}	65.32±1.82 ^b
粗脂肪(干重)/%	2.19±0.43 ^a	2.48±0.82 ^a	2.58±0.71 ^a	2.81±0.35 ^a
鱼种	多毛锥齿鲷	单带眶棘鲈	黑带眶棘鲈	伏氏眶棘鲈
体重/(g/尾)	150~250	160~340	180~400	70~100
体长/(cm/尾)	25~30	32~40	30~38	10~15
水分/%	72.61±2.21 ^a	72.13±2.17 ^{ab}	67.31±2.14 ^b	68.36±2.41 ^b
粗脂肪(干重)/%	2.42±0.62 ^a	2.36±0.84 ^a	2.53±0.52 ^a	2.92±0.73 ^a

注：*表中同行数字上标有相同字母表示无显著性差异 ($p>0.05$)，不同字母表示有显著性差异 ($p<0.05$)。

表 2 19 种标准脂肪酸甲酯的保留时间及其校正因子

Table 2 The retention time and correction factor of 19 kinds of standard fatty acid methyl esters

标准脂肪酸甲酯	C14:0	C15:0	C16:0	C16:1(7)	C17:0
保留时间/min	7.25	8.32	9.29	9.64	11.27
峰面积相对校正因子(f_i)*	1.00	1.00	1.00	1.01	1.01
标准脂肪酸甲酯	C20:2(6)	C20:3(6)	C20:4(6)	C20:4(3)	C20:5(3)
保留时间/min	16.39	16.84	17.22	17.58	18.40
峰面积相对校正因子 ^a	0.98	0.97	0.98	0.96	1.02
标准脂肪酸甲酯	C18:0	C18:1(9)	C18:2(6)	C18:3(α)	C18:3(γ)
保留时间/min	12.15	12.47	13.18	13.67	14.19
峰面积相对校正因子(f_i)*	0.98	0.97	0.98	0.97	0.98
标准脂肪酸甲酯	C22:4(6)	C22:5(6)	C22:5(3)	C22:6(3)	
保留时间/min	21.45	22.82	23.27	24.14	
峰面积相对校正因子 ^a	1.05	0.95	1.10	1.09	

注：* f_i ：以 C16:0 校正因子为 1，其它脂肪酸甲酯的校正因子为标准 C16:0 的峰面积除以其峰面积。

表 3 8 种金线鱼肌肉脂肪酸含量 (%) (n=4)

Table 3 Fatty acid composition content of muscle in 8 species of Threadfin Bream (%) (n = 4)

脂肪酸	红金线鱼	日本金线鱼	黄梢金线鱼	红衫鱼
肉豆蔻酸 C14:0	3.14±0.15 ^{a**}	3.33±0.17 ^a	0.96±0.08 ^d	0.88±0.05 ^d
C15:0	0.59±0.06 ^{ab}	0.41±0.05 ^c	0.37±0.03 ^c	0.36±0.04 ^c
棕榈酸 C16:0	27.86±1.32 ^{ab}	28.38±1.26 ^a	24.63±0.83 ^c	23.54±1.11 ^c
C17:0	0.61±0.05 ^b	0.52±0.06 ^b	0.42±0.03 ^c	0.39±0.06 ^c
硬脂酸 C18:0	12.35±0.97 ^b	11.67±1.56 ^b	12.58±1.32 ^{ab}	9.44±0.76 ^c
棕榈油酸 C16:1(7)	5.41±0.26 ^c	8.80±0.64 ^a	1.66±0.32 ^e	1.94±0.42 ^e
油酸(ALA)C18:1(9)	9.51±0.51 ^e	14.01±0.58 ^c	5.56±0.42 ^g	6.99±0.38 ^f
亚油酸 C18:2(6)	0.89±0.08 ^{bc}	0.80±0.05 ^c	0.99±0.06 ^{ab}	0.93±0.05 ^b
α -亚麻酸 C18:3(α)	0.34±0.03 ^d	0.30±0.01 ^e	0.35±0.02 ^d	0.21±0.01 ^f
γ -亚麻酸 C18:3(γ)	0.31±0.05 ^{bc}	0.37±0.01 ^b	0.31±0.01 ^c	0.40±0.02 ^a
二十碳二烯酸 C20:2(6)	0.32±0.02 ^d	0.30±0.01 ^d	0.47±0.02 ^a	0.35±0.02 ^{cd}
二十碳三烯酸 C20:3(6)	0.27±0.04 ^b	0.21±0.01 ^c	0.26±0.01 ^b	0.21±0.01 ^c
二十碳四烯酸 C20:4(6)(花生四烯酸)	3.97±0.17 ^e	3.02±0.11 ^f	7.67±0.21 ^a	5.22±0.23 ^c
二十碳四烯酸 C20:4(3)	0.38±0.03 ^{ab}	0.37±0.02 ^b	0.27±0.01 ^c	0.38±0.02 ^b
二十碳五烯酸 C20:5(3) (EPA)	7.61±0.27 ^b	11.51±0.35 ^a	6.07±0.21 ^c	5.57±0.13 ^d
二十二碳四烯酸 C22:4(6)	1.60±0.12 ^c	1.31±0.08 ^d	2.01±0.14 ^b	2.12±0.18 ^{ab}
二十二碳五烯酸 C22:5(6)	1.52±0.14 ^c	0.83±0.05 ^f	2.51±0.12 ^a	2.57±0.18 ^a
二十二碳五烯酸 C22:5(3)	3.92±0.18 ^c	4.50±0.23 ^b	4.30±0.17 ^{bc}	3.84±0.19 ^c
二十二碳六烯酸 C22:6(3) (DHA)	18.08±0.61 ^d	8.38±0.46 ^f	27.44±1.46 ^b	33.71±1.59 ^a
Σ 不确定成分**	1.32±0.23	0.98±0.37	1.17±0.32	0.95±0.26
Σ SFA	44.55±1.83 ^a	44.31±1.62 ^a	38.96±1.58 ^b	34.61±1.70 ^c
Σ MUFA	14.92±0.87 ^d	22.81±1.09 ^b	7.22±0.56 ^f	8.93±0.72 ^e
Σ PUFA	39.21±1.53 ^c	31.90±1.46 ^d	52.65±2.04 ^a	55.51±1.95 ^a
ω -6	8.88±0.73 ^e	6.84±0.53 ^d	14.22±0.86 ^a	11.80±0.76 ^b
ω -3	30.33±1.22 ^c	25.06±1.58 ^d	38.43±2.34 ^b	43.71±2.63 ^a
ω -3/ ω -6	3.41	3.66	2.70	3.70
DHA / EPA	2.38	0.73	4.52	6.05
EPA+DHA	25.69±0.95 ^c	19.89±0.87 ^e	33.51±1.31 ^b	39.27±1.37 ^a
脂肪酸	多毛锥齿鲷	单带眶棘鲈	黑带眶棘鲈	伏氏眶棘鲈
肉豆蔻酸 C14:0	2.21±0.13 ^c	2.32±0.16 ^{bc}	3.16±0.19 ^a	2.56±0.13 ^b
C15:0	0.63±0.03 ^a	0.56±0.04 ^b	0.38±0.03 ^c	0.52±0.04 ^b
棕榈酸 C16:0	21.78±0.89 ^d	28.61±1.22 ^a	26.20±0.92 ^b	29.77±1.31 ^a
C17:0	0.72±0.07 ^a	0.61±0.06 ^{ab}	0.31±0.04 ^d	0.73±0.08 ^a
硬脂酸 C18:0	12.91±1.21 ^{ab}	14.09±1.01 ^a	10.87±0.87 ^b	13.21±1.31 ^{ab}
棕榈油酸 C16:1(7)	4.96±0.48 ^{cd}	5.44±0.32 ^c	4.79±0.37 ^d	7.69±0.23 ^b
油酸(ALA)C18:1(9)	12.69±0.84 ^d	15.64±0.79 ^b	19.17±1.35 ^a	15.53±1.02 ^b
亚油酸 C18:2(6)	1.00±0.07 ^{ab}	1.04±0.04 ^a	0.78±0.08 ^c	0.71±0.04 ^d
α -亚麻酸 C18:3(α)	0.53±0.02 ^b	0.80±0.03 ^a	0.22±0.02 ^f	0.47±0.03 ^c
γ -亚麻酸 C18:3(γ)	0.22±0.01 ^d	-*	0.21±0.01 ^d	0.12±0.01 ^e
二十碳二烯酸 C20:2(6)	0.43±0.02 ^b	0.22±0.01 ^c	0.14±0.01 ^f	0.36±0.02 ^c
二十碳三烯酸 C20:3(6)	0.38±0.02 ^a	0.24±0.01 ^b	0.24±0.01 ^b	0.41±0.02 ^a

转下页

接上页

二十碳四烯酸 C20:4(6)(花生四烯酸)	6.00±0.41 ^b	4.57±0.27 ^d	3.07±0.16 ^f	4.49±0.19 ^d
二十碳四烯酸 C20:4(3)	0.28±0.02 ^e	-*	0.42±0.02 ^a	0.26±0.01 ^c
二十碳五烯酸 C20:5(3) (EPA)	5.44±0.16 ^d	3.87±0.11 ^e	3.35±0.08 ^f	5.59±0.17 ^d
二十二碳四烯酸 C22:4(6)	2.26±0.12 ^a	2.36±0.18 ^a	1.16±0.07 ^e	1.96±0.09 ^c
二十二碳五烯酸 C22:5(6)	1.98±0.11 ^b	0.74±0.07 ^f	1.02±0.05 ^e	1.23±0.11 ^d
二十二碳五烯酸 C22:5(3)	3.88±0.22 ^e	4.88±0.21 ^{ab}	4.04±0.16 ^c	5.18±0.26 ^a
二十二碳六烯酸 C22:6(3) (DHA)	20.76±0.97 ^c	12.42±1.53 ^e	19.05±1.39 ^{cd}	7.88±0.74 ^f
∑不确定成分**	0.94±0.32	1.59±0.43	1.42±0.49	1.33±0.36
∑SFA	38.25±1.46 ^b	46.19±2.22 ^a	40.92±1.69 ^b	46.79±1.90 ^a
∑MUFA	17.65±1.02 ^c	21.07±1.13 ^b	23.96±1.26 ^{ab}	23.22±1.08 ^{ab}
∑PUFA	43.16±1.72 ^b	31.14±1.89 ^{de}	33.7±1.93 ^d	28.66±1.58 ^e
ω-6	12.27±0.64 ^b	9.17±0.69 ^e	6.62±0.63 ^d	9.28±0.72 ^c
ω-3	30.89±2.01 ^c	21.97±1.57 ^e	27.08±1.69 ^d	19.38±0.87 ^f
ω-3/ω-6	2.52	2.40	4.09	2.09
DHA / EPA	3.82	3.21	5.69	1.41
EPA+DHA	26.21±1.03 ^c	16.29±1.20 ^f	22.39±1.04 ^d	13.48±0.69 ^e

注: *未检出; **∑不确定成分: 各种未能确定物质峰的总面积占有所有峰面积百分比; **表中同行数字上标有相同字母表示无显著性差异($p>0.05$), 不同字母表示有显著性差异($p<0.05$).

2.3 种金线鱼的脂肪酸组成和含量比较

2.3.1 金线鱼饱和脂肪酸∑SFA 比较

金线鱼由 C14:0、C15:0、C16:0、C17:0 和 C18:0 等饱和脂肪酸(SFA)组成, 其最突出的是 C16:0 含量, 依次为 C18:0 和 C14:0, 其他的饱和脂肪酸的含量相对较少, 体现了鱼类与陆上动物具有相同的基础脂肪酸特征^[20]; 由表 3 可见, 8 种金线鱼饱和脂肪酸总量的大小依次为: ①: 伏氏眶棘鲈 46.79%>单带眶棘鲈 46.19%>红金线鱼 44.55%>日本金线鱼 44.31%(不具显著性差异, $p>0.05$); ②: 黑带眶棘鲈 40.92%>黄梢金线鱼 38.96%>多毛锥齿鲷 38.25%(不具显著性差异, $p>0.05$); ③: 红衫鱼 34.61%总饱和脂肪酸最低。①>②>③(具显著性差异, $p<0.05$)。即 8 种金线鱼脂肪酸构成∑SFA 为 34.61%~46.79%, 与文献^[5]报道中的常见食用海洋鱼的饱和脂肪酸构成一致。

2.3.2 金线鱼单不饱和脂肪酸∑MUFA 比较

金线鱼单不饱和脂肪酸 (MUFA) 由棕榈油酸 C16:1 和油酸 C18:1 等组成, 其 C16:1 含量>C18:1 含量; 8 种金线鱼单不饱和脂肪酸总量的大小依次为: 黑带眶棘鲈 23.96%>伏氏眶棘鲈 23.22%>日本金线鱼 22.81%>单带眶棘鲈 21.07%(不具显著性差异, $p>0.05$); 其余四种鱼: 多毛锥齿鲷 17.65%>红金线鱼 14.92%>红衫鱼 8.93%>黄梢金线鱼 7.22%(具显著性差异, $p<0.05$), 即 8 种金线鱼∑MUFA 为 7.22%~23.96%, 与大多数植物相比, 两种单不饱和脂肪酸总含量明显

低于植物种子油^[21]。

2.3.3 金线鱼多不饱和脂肪酸∑PUFA 比较

大量研究表明, 海洋鱼类特别是深海鱼类含有丰富的多不饱和脂肪酸^[6], 而鱼类多不饱和脂肪酸大多来源于富含 EPA 和 DHA 的藻类食物链和体内脂肪酸的代谢转化, 近来研究表明饥饿胁迫会导致鱼类多不饱和脂肪酸增加^[22], 而海洋鱼类恰因在迁移过程中经常受到食物短缺的饥饿胁迫, 导致多不饱和脂肪酸含量会累积增加。表 3 中, 金线鱼由 C18:2(6)、C18:3(α)、C18:3(γ)、C20:2(6)、C20:3(6)、C20:4(6)、C20:4(3)、C20:5(EPA)、C22:4(6)、C22:5(6)、C22:5(DPA) 和 C22:6(DHA) 等 12 种脂肪酸组成, 为多不饱和脂肪酸 (PUFA), 其中 DHA、EPA、C22:5(DPA)、C20:4(6)、C20:4(3)、C22:5(6) 为主要多不饱和脂肪酸。8 种金线鱼多不饱和脂肪酸总量的大小依次为: ①: 红衫鱼 55.51%>黄梢金线鱼 52.65%(不具显著性差异, $p>0.05$); ②: 多毛锥齿鲷 43.16%>红金线鱼 39.21%>黑带眶棘鲈 33.70%(不具显著性差异, $p>0.05$); ③: 黑带眶棘鲈 33.70%>日本金线鱼 31.90%>单带眶棘鲈 31.14%(不具显著性差异, $p>0.05$); 两种鱼: 单带眶棘鲈 31.14%>伏氏眶棘鲈 28.66%(不具显著性差异, $p>0.05$), ①>②>③(具显著性差异, $p<0.05$)。即 8 种金线鱼多不饱和脂肪酸总含量∑PUFA 为 28.66%~55.51%, 显著高于一般动植物。

2.4 金线鱼的脂肪酸营养比较

2.4.1 饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸、多不饱和脂肪酸的比较

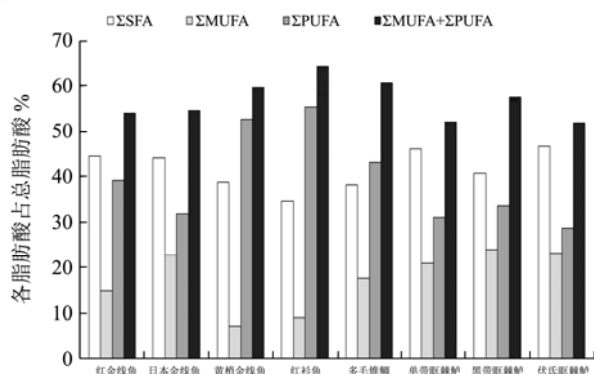


图2 饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸的比较
Fig.2 Comparison of saturated fatty acids, monounsaturated fatty acids and polyunsaturated fatty acids

与多数动植物脂肪酸营养价值比较,一般陆上动物以饱和脂肪酸或单不饱和脂肪酸为主,植物脂肪酸以油酸或亚油酸为主^[20,21],对于海洋野生鱼而言,其不饱和脂肪酸尤其以DHA、EPA、花生四烯酸等长链不饱和脂肪酸为主。由图2可知,8种金线鱼的脂肪酸的共同特点均有:不饱和脂肪酸 Σ PUFA+ Σ MUFA> Σ SFA,且 Σ PUFA> Σ MUFA。金线鱼不饱和脂肪酸特别是多不饱和脂肪酸含量大,其脂肪酸营养价值比一般动植物高。

2.4.2 ω -6系、 ω -3系脂肪酸和DHA+EPA及其比例

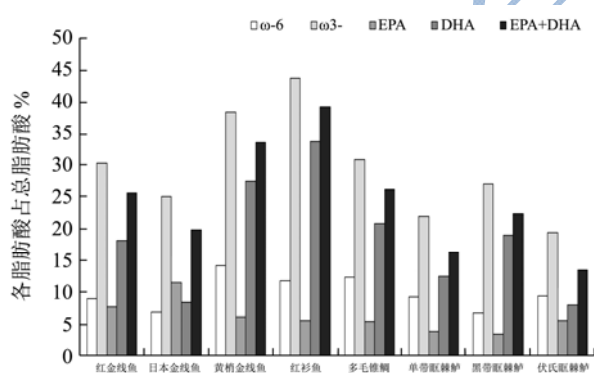


图3 ω -3系、 ω -6系和EPA+DHA脂肪酸的比较

Fig.3 Comparison of ω -3, ω -6 and EPA+DHA fatty acids

尽管 ω -6系脂肪酸在人体中有着重要的作用^[23],但 ω -6系脂肪酸过量摄入则会把生理状态转变为促进血栓形成和淤积状态,使血粘稠度增加、血管痉挛、血管收缩和出血时间减少,易引发心脑血管等方面的疾病。而 ω -3系脂肪酸有助于维持体内脂肪酸平衡,调节血脂,降低血胆固醇,预防冠心病、高血压和脑中风等心脑血管疾病^[24]等作用,表明 ω -3系脂肪酸比 ω -6系脂肪酸更具有营养价值。由于人类膳食的脂肪酸大多来源于陆上动植物油脂,普遍存在 ω -3摄入严

重不足,而 ω -6摄入比率严重超标,导致全球人类血液中 ω -3脂肪酸含量偏低的状态^[22]。由图3和表3可知,金线鱼有较高含量 ω -6系和 ω -3系脂肪酸,分别为6.62%~14.22%和19.38%~43.71%, ω -3系脂肪酸较 ω -6系脂肪酸高达2.1~4.1倍,因此常食用金线鱼等海洋鱼可弥补人体 ω -3脂肪酸的摄入;EPA和DHA是膳食脂肪酸中能降低甘油三酯的物质,这两种脂肪酸被认为对人体具有重要的营养及生理作用。8种金线鱼均具有较高的EPA+DHA,两种脂肪酸总含量达13.48%~39.27%,远高于普通动植物的EPA+DHA含量^[20,21];一般来说,DHA比EPA具有更高的医用价值,本实验数据中,除日本金线鱼的EPA>DHA外,其余金线鱼DHA>EPA,黄梢金线鱼、红衫鱼、多毛锥齿鲷、黑带眶棘鲈和单带眶棘鲈等DHA较EPA高达3倍以上,是较好的DHA和EPA营养食品来源。

2.5 金线鱼的开发利用潜力

本实验数据中,红衫鱼 *Nemipterus virgatus* 的DHA含量达33.71%,高于文献^[26,27]报道的被世界营养学会推荐为三大营养鱼类之一的黄鳍金枪鱼(DHA 25.34%)、蓝鳍金枪(DHA 24.1%)和鲣鱼(DHA 26.7%),仅低于文献^[27]报道的黄鳍金枪鱼(DHA 39.17%);本实验数据中,红衫鱼 *Nemipterus virgatus* 和黄梢金线鱼 *Nemipterus nematopus* 的EPA+DHA分别以39.27%和33.51%的含量均高于30%以上,故这两种鱼具有较高的开发利用价值,值得注意的是,文献^[5]报道来源于印度的日本金线鱼 *Nemipterus japonicus* 中的EPA+DHA含量也达33.1%,这说明来源不同的金线鱼脂肪酸的组成和含量可能相差较大,因南海日本金线鱼的产量也很高,其开发利用的潜力也很高,但在开发利用前应进行必要的检测;

鉴于尿素包合分离法^[28]可去除大多数饱和脂肪酸和单不饱和脂肪酸,图2可以看出金线鱼的饱和脂肪酸和单不饱和脂肪酸所占比较大,图3中金线鱼多不饱和脂肪酸主构成为EPA+DHA,故采用尿素包合分离法就可以简单从其鱼油中分离得到含量较高的EPA和DHA的混合物。

3 结论

综上所述,金线鱼有较高含量的多不饱和脂肪酸,其中 ω -3系脂肪酸显著高于 ω -6系脂肪酸,达2.1~4.1倍,DHA较EPA高达3倍以上,其中红衫鱼 *Nemipterus virgatus* 和黄梢金线鱼 *Nemipterus nematopus* 的EPA+DHA含量分别超过30%,具有较高的营养价值和开发利用价值。

参考文献

- [1] 宁平,吴仁协,刘静.中国金线鱼属鱼类分类研究进展[J].广东海洋大学学报,2011,31(3):99-102
NING Ping, WU Ren-xie, LIU Jing. Research progress on the taxonomy of the family Nemipteridae in China seas [J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2011, 31(3): 99-102
- [2] 杨炳忠,张鹏,谭永光,等.基于 SELECT 模型的南海金线鱼刺网选择性研究[J].南方水产科学,2016,12(5):8-15
YANG Bing-zhong, ZHANG Peng, TAN Yong-guang, et al. Size selectivity of gillnet fishery for *Nemipterus virgatus* in the South China Sea based on SELECT method [J]. South China Fisheries Science, 2016, 12(5): 8-15
- [3] 陈绍勋.南海北部的金线鱼[J].海洋渔业,1986,8(5):212-214
- [4] 王保前,张莉.湛江海洋经济发展研究[J].中国渔业经济,2010,28(5):27-32
WANG Bao-qian, ZHANG Li. Ocean economic development in Zhanjiang [J]. Chinese Fisheries Economics, 2010, 28(5): 27-32
- [5] B P Mohanty, S Ganguly, A Mahanty, et al. DHA and EPA content and fatty acid profile of 39 food fishes from india [J]. Bio. Med. Research International, 2016, 2016: 1-14
- [6] 金青哲,逯良忠,王兴国,等.海洋鱼油的生产与应用[J].中国油脂,2011,36(8):1-5
JIN Qing-zhe, LU Liang-zhong, WANG Xing-guo, et al. Production and application of marine fish oils [J]. China Oils and Fats, 2011, 36(8): 1-5
- [7] 左珊珊,林艳丽,张伟.DHA 与 EPA 的研究进展[J].中国生物制品学杂志,2012,25(11):1558-1561
ZUO Shan-shan, LIN Yan-li, ZHANG Wei. Progress in research on DHA and EPA [J]. Chin J Biologicals, 2012, 25(11): 1558-1561
- [8] Badriah Alabdulkarim, Zubaida Abdel Nabi Bakeet, Shaista Arzoo. Role of some functional lipids in preventing diseases and promoting health [J]. Journal of King Saud University-Science, 2012, 24(4): 319-329
- [9] W S Harris, M Miller, A P Tighe, et al. Omega-3 fatty acids and coronary heart disease risk: Clinical and mechanistic perspectives [J]. Atherosclerosis, 2008, 197: 12-24
- [10] Kevin C Maki, Karin Yurko-Mauro, Mary R Dicklin, et al. A new, microalgal DHA- and EPA-containing oil lowers triacylglycerols in adults with mild-to-moderate hypertriglyceridemia [J]. Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids (PLEFA), 2014, 91(4): 141- 148
- [11] S C Cottin, A Alsaleh, T A B Sanders, et al. Lack of effect of supplementation with EPA or DHA on platelet-monocyte aggregates and vascular function in healthy men [J]. Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases, 2016, 26(8): 743-751
- [12] J Endo, M Arita. Cardioprotective mechanism of omega-3 polyunsaturated fatty acids [J]. Journal of Cardiology, 2016, 6: 722-27
- [13] M Murray, A Hraiki, M Bebawy, et al. Anti-tumor activities of lipids and lipid analogues and their development as potential anticancer drugs [J]. Pharmacology & Therapeutics, 2015, 150(74): 109-128
- [14] 袁红梅,万敬员,张力.促炎症消退新介质:消退素与保护素 [J].生命科学,2012,24(1):54-57
YUAN Hong-mei, WAN Jing-yuan, ZHANG Li. Novel pro-resolving mediators: resolvin and protectin [J]. Chinese Bulletin of Life Sciences, 2012, 24(1): 54-57
- [15] P Kohli, B D Levy. Resolvins and protectins: mediating solutions to inflammation [J]. British Journal of Pharmacology, 2009, 158(4): 960-971
- [16] Lee J Y, Sim T B, Lee J E, et al. Chemopreventive and chemotherapeutic effects of fish oil derived omega-3 polyunsaturated fatty acids on colon carcinogenesis [J]. Clin. Nutr. Res., 2017, 6(3): 147-160
- [17] A Vik, J Dalli, T V Hansen. Recent advances in the chemistry and biology of anti-inflammatory and specialized pro-resolving mediators biosynthesized from n-3 docosapentaenoic acid [J]. Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters, 2017, 27(11): 2259-2266
- [18] C N Serhan. Pro-resolving lipid mediators are leads for resolution physiology [J]. Nature, 2014, 510: 92-101
- [19] 刘江琴,庄海旗,黄庆豪,等.广东湛江海域 16 种野生鲮科鱼肌肉脂肪酸含量的分析[J].广东医学院学报,2016, 34(4): 383-386
LIU Jiang-qin, ZHUANG Hai-qi, HUANG Qing-hao, et al. Analysis of fatty acids in the muscle of 16 species of Carangidae in Zhanjiang sea area [J]. Journal of Guangdong Medical College, 2016, 34(4): 383-386
- [20] 魏永生,郑敏燕,耿薇,等.常用动植物食用油中脂肪酸组成的分析[J].食品科学,2012,33(16):188-193
WEI Yong-sheng, ZHENG Min-yan, GENG Wei, et al. Fatty acid composition analysis of common animal fats and vegetable oils [J]. Food Science, 2012, 33(16): 188-193
- [21] 李静,王永,杨耀东,等.棕榈油与常见食用油脂脂肪酸组分的比较分析[J].南方农业学报,2016,47(12):2124-2128
LI Jing, WANG Yong, YANG Yao-dong, et al. Comparison

- of fatty acid component between palm oil and common edible oils [J]. Journal of Southern Agriculture, 2016, 47(12): 2124-2128
- [22] 柳敏海,罗海忠,傅荣兵,等.短期饥饿胁迫对鳊鱼生化组成、脂肪酸和氨基酸组成的影响[J].水生生物学报,2009, 33(2):230-235
LIU Min-hai, LUO Hai-zhong, FU Rong-bing, et al. Biochemical composition amino acid and fatty acid composition in juvenile of *Miichthys miiuy* under short-time starvation [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2009, 33(2): 230-235
- [23] Galli C, M D Marangoni F. Recent advances in the biology of n-6 fatty acids [J]. Nutrition, 1997, 13: 978-985
- [24] J E Radcliffe, J Thomas, A L Bramley, et al. Controversies in omega-3 efficacy and novel concepts for application [J]. Journal of Nutrition & Intermediary Metabolism, 2016, 5: 11-22
- [25] K D Stark, M E V Elswyk, M R Higgins, et al. Global survey of the omega-3 fatty acids, docosahexaenoic acid and eicosapentaenoic acid in the blood stream of healthy adults [J]. Progress in Lipid Research, 2016, 63: 132-152
- [26] 杨金生,霍健聪,夏松养.不同品种金枪鱼营养成分的研究与分析[J].浙江海洋学院学报(自然科学版),2013,32(5):393-397
YANG Jin-sheng, HUO Jian-cong, XIA Song-yang. The analysis of nutrients of different tuna [J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science), 2013, 32(5): 393-397
- [27] 周聃,徐坤华,赵巧灵.2种大洋性金枪鱼赤身营养价值分析与评价[J].食品与发酵工业,2014,40(11):13-18
ZHOU Dan, XU Kun-hua, ZHAO Qiao-ling. Nutritional components analysis and quality evaluation of akami of two kinds of ocean tuna [J]. Food and Fermentation Industries, 2014, 40(11): 13-18
- [28] 闵征桥,高盼,何东平,等.尿素包合法富集鱼油中 EPA 和 DHA 的工艺研究[J].粮油食品科技,2013,21(6):25-29
MIN Zheng-qiao, GAO Pan, HE Dong-ping, et al. Enrichment of EPA and DHA in fish oil by urea inclusion [J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2013, 21(6): 25-29

勘 误

本刊 2018 年第 1 期稿件第 34 篇文章《微滴式数字 PCR 对肉制品中羊肉和猪肉定量分析》中目录部分作者应为陈晨, 张岩, 李永波, 李鹏, 李永艳, 张涛, 张薇, 周巍, 张志胜。

本刊 2018 年第 2 期稿件第 36 篇文章《基于植物 DNA 条形码技术对杏仁露中花生源性成分的鉴别研究》正文中图 7~10 出现错误, 下图为正确的图片。此两项错误均在稿件印刷后发现, 本刊编辑部进行了必要的修改, 并在此公示, 请以电子版为准, 给作者和各位读者造成不便, 敬请谅解!

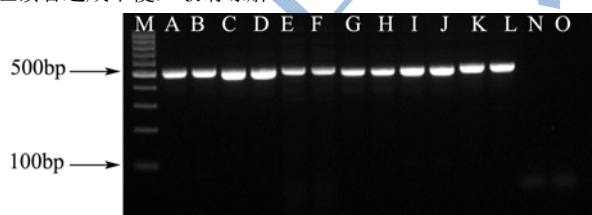


图7 引物 ITS2-2 与六个样本 DNA 扩增的结果

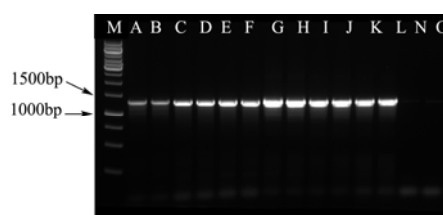


图8 引物 rbcL-2 与六个样本 DNA 扩增的结果



图9 引物 trnH-psbA-1 与六个样本 DNA 扩增的结果



图10 引物 trnH-psbA-2 与六个样本 DNA 扩增的结果