

六种鳞鲀亚目鱼肌肉脂肪酸分析和比较

庄海旗^{1,2}, 刘江琴², 钟宇³, 崔燎^{1,4}, 罗辉^{4,5}

(1. 广东医科大学广东天然药物研究与开发实验室, 广东湛江 524023) (2. 广东医科大学药学院, 广东湛江 524023) (3. 广东医科大学分析中心, 广东湛江 524023) (4. 广东医科大学海洋医药研究院, 广东湛江 524023) (5. 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6种鳞鲀亚目鱼: 丝背细鳞鲀、圆斑疣鳞鲀、双棘三刺鲀、中华单角鲀、黄鳍马面鲀、单角革鲀, 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24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, 6种鳞鲀亚目的鱼体含水量67.2%~72.9%, 粗脂肪占干重1.05%~1.42%, 肌肉饱和脂肪酸含量为34.21%~43.45%, 单不饱和脂肪酸含量为11.84%~19.43%, 多不饱和脂肪酸含量为34.39%~48.86%。6种鳞鲀亚目鱼有较高含量的多不饱和脂肪酸, 其 ω -3系脂肪酸高于 ω -6系脂肪酸, ω -3/ ω -6为1.0~4.7, 具有较高的脂肪酸营养价值, 其中圆斑疣鳞鲀和黄鳍马面鲀的 ω -3/ ω -6分别为3.3和4.7。6种鳞鲀亚目鱼均具有较高的EPA(二十碳五烯酸)+DHA(二十二碳六烯酸), 含量为17.20%~37.49%, 按鱼中肌肉的EPA+DHA含量, 黄鳍马面鲀(37.49%)>圆斑疣鳞鲀(30.29%)>中华单角鲀(25.73%)>丝背细鳞鲀(23.82%)>双棘三刺鲀(18.82%)>单角革鲀(17.20%), 其中黄鳍马面鲀EPA+DHA高达37.49%±2.67%, 具有较高的食用价值和医用价值。

关键词: 鳞鲀亚目; 脂肪酸; 气相色谱法

文章编号: 1673-9078(2020)09-101-108

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.9.0259

Comparison of Fatty Acid Composition in Muscles of Six Species of Balistoidei

ZHUANG Hai-qi^{1,2}, LIU Jiang-qin², ZHONG Yu³, CUI Liao^{1,4}, LUO Hui^{4,5}

(1. Guangdong Key Laboratory for Research and Development of Natural Drugs, Guangdong Medical University, Zhanjiang 524023, China) (2. School of Pharmacy, Guangdong Medical University, Zhanjiang 524023, China)

(3. Analysis Center, Guangdong Medical University, Zhanjiang 524023, China)

(4. Marine Medicine Research Institute, Guangdong Medical University, Zhanjiang 524023, China)

(5. The Key Laboratory of R&D Marine Microorganism and Microalgae in the Beibu Gulf Rim, Guangdong Medical University, Zhanjiang 524023, China)

Abstract: Six species of Balistoidei (*Stephanolepis cirrhifer*, *Canthidermis maculata*, *Triacanthus biaculeatus*, *Monacanthus chinensis*, *Thamnaconus hypargyreus*, and *Aluterus monoceros*) were collected from the market of Zhanjiang City, Guangdong Province of China to compare the fatty acid composition in their muscles. The moisture and crude fat contents were measured using the Soxhlet extraction method according to national standard. The determination of fatty acid components in the muscle samples of Balistoidei was performed using capillary gas chromatography, and 24 fatty acid components were identified. The contents 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 content in

引文格式:

庄海旗,刘江琴,钟宇,等.六种鳞鲀亚目鱼肌肉脂肪酸分析和比较[J].现代食品科技,2020,36(9):101-108

ZHUANG Hai-qi, LIU Jiang-qin, ZHONG Yu, et al. Comparison of fatty acid composition in muscles of six species of Balistoidei [J].

Modern Food Science and Technology, 2020, 36(9): 101-108

收稿日期: 2020-03-19

基金项目: 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(2017B01008)

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(1966-), 女, 副教授, 研究方向: 药物分析

Balistoidei body ranged from 67.21% to 72.95%, and the crude fat content ranged from 1.05% to 1.42% of dry weight. The contents of SFA, MUFA, and PUFA in muscles of the six Balistoidei species were in the range of 34.21%–43.45%, 11.84%–19.43%, and 34.39%–48.86%, respectively. The content of PUFA was relatively higher than that of SFA and MUFA. ω -3 fatty acid content was higher than ω -6 fatty acid content. The ω -3/ ω -6 ratios ranged from 1.0 to 4.7, indicating a relatively high fatty acid nutritional value. In addition, the ω -3/ ω -6 ratios of *C. maculata* and *T. hypargyreus* were 3.3 and 4.7, respectively. The content of eicosapentaenoic acid (EPA) + docosahexaenoic acid (DHA) in the muscles was high (17.20%–37.49%) in all the six species and in the order of *T. hypargyreus* (37.49%) > *C. maculata* (30.29%) > *M. chinensis* (25.73%) > *S. cirrhifer* (23.82%) > *T. biaculeatus* (18.82%) > *A. monoceros* (17.20%). The EPA + DHA content in *T. hypargyreus* was as high as 37.49%±2.67%, indicating high edible and medicinal values.

Key words: Balistoidei; fatty acids; gas chromatography

鳞鲀亚目鱼为硬骨鱼纲 (Osteichthyes), 辐鳍亚纲 (Actinopterygii), 鲈形总目 (Percomorpha), 鲈形目 (Tetraodontiformes), 鳞鲀亚目 (Balistoidei) 的鱼种。本研究的鳞鲀亚目鱼有6种, 其中单棘鲀科 (*Aluteridae*) 鱼4种: 单角革鲀、中华单角鲀、丝背细鳞鲀和黄鳍马面鲀; 三齿鲀科 (*Triodontidae*) 鱼1种: 双棘三刺鲀; 鳞鲀科 (*Balistidae*) 鱼1种: 圆斑疣鳞鲀。6种鳞鲀亚目鱼由于皮厚粗糙, 需剥皮后再烹饪食用, 故俗称为“剥皮鱼”。据黄良敏等^[1]报道, 马面鲀是我国底拖网生产的主要经济鱼类, 绿鳍马面鲀和黄鳍马面鲀曾年产43万t (1986年), 钱世勤^[2]曾报道了东海黄鳍马面鲀生物学特性和资源利用状况, 广东电白县^[3]报道和浙江东部渔场^[4]报道曾捕获大量黄鳍马面鲀; 单角革鲀、中华单角鲀和双棘三刺鲀均有报道分布于我国海洋海域; 疣鳞鲀鱼产量较少, 马春艳等^[5]曾报道有分布于黄海、东海至南海的3种疣鳞鲀鱼。尽管近年由于海洋鱼类过度捕捞, 经济鱼类逐年减少, 但上述6种鳞鲀亚目鱼在湛江海域常有被捕获, 其中优势鱼种为黄鳍马面鲀。鳞鲀亚目鱼含有蛋白质、维生素及脂肪等营养成分, 是价廉物美的食用鱼类。目前, 有关鳞鲀亚目鱼脂肪酸组成的研究报道较少, 徐大风等^[6]曾研究了绿鳍马面鲀肌肉脂肪酸营养成分, 其EPA (二十碳五烯酸, Eicosapentaenoic acid) +DHA (二十二碳六烯酸, Docosahexaenoic acid) 含量为32.49%, Simoes T等^[7]研究了鳞鲀科鱼灰炮弹鱼 (*Balistes capricus*) 的脂肪酸季节性变化, 其EPA+DHA含量高达43.83%~49.58%, 说明鳞鲀亚目鱼应含有较高的 ω -3系多烯不饱和脂肪酸和EPA+DHA。鉴于 ω -3系多烯不饱和脂肪酸对人体的健康有多方面的积极作用, 本研究测定6种鳞鲀亚目鱼肌肉组织中的脂肪酸组成, 以探讨其肌肉的脂肪酸组成特点及脂肪酸营养价值。

1 材料与方法

1.1 材料和试剂

6种鳞鲀亚目鱼 (分四批次购于湛江水产市场): 丝背细鳞鲀 (*Stephanolepis cirrhifer*) (分别购于2018年10月、11月、12月和2019年2月); 圆斑疣鳞鲀 (*Canthidermis maculata*) (分别购于2018年11月、12月和2019年2月、3月); 双棘三刺鲀 (*Triacanthus biaculeatus*) (分别购于2018年10月、12月和2019年2月、3月); 中华单角鲀 (*Monacanthus chinensis*) (分别购于2018年10月、11月、12月和2019年2月); 黄鳍马面鲀 (*Thamnaconus hypargyreus*) (分别购于2018年11月、12月和2019年1月、3月); 单角革鲀 (*Aluterus monoceros*) (分别购于2018年10月、11月和2019年2月、3月)。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4尾, 样品平均体重和平均体长如表1所示, 分别剥皮切取其背上肌肉, 在玻璃干燥器 (内置干燥剂) 中冷冻干燥备用。

24种标准脂肪酸甲酯 (质量比均为1), Sigma公司; 正己烷, 无水硫酸钠, 硫酸、甲醇均为分析纯。

1.2 主要仪器

GC-2010型气相色谱 (配GC-workstation工作站), 日本岛津公司; AL204电子天平, 梅特勒-托利多仪器有限公司; 数显HH-4型恒温水浴锅, 常州澳华仪器有限公司。

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^[8]、脂肪测定用索氏抽提法^[9]。

1.3.2 鱼肉脂肪酸甲酯化

称取干燥后研磨的6种鳞鲀亚目鱼肉粉50 mg, 各加入2 mL 0.5%对硫酸-甲醇溶液60℃水浴加热1 h,

完成后于冷水中冷却, 每种样品试液加入 2 mL 蒸馏水, 然后分两次加入 2 mL 正己烷, 充分混和萃取, 静置分层, 取上层清液, 再加入适量无水硫酸钠吸附水分, 即得各鱼体肌肉脂肪酸甲酯化的样品溶液, 备以气相色谱分析。

1.3.3 气相色谱条件

弹性石英 DB-WAX 毛细管柱 (30 m×0.32 mm×0.25 μm), 程序升温 (120 °C 保持 1 min, 15 °C/min 升温至 205 °C, 保持 3 min 后, 5 °C/min 升温至 240 °C, 保持 18 min); 载气: N₂, 柱压力 100.0 kPa, 总流量 32.2 mL/min, 线速 47.1 cm/s, 分流比 10:1。混合脂肪酸甲酯标准溶液和样品溶液进样 5 μL。

1.3.4 数据统计分析

每种测定脂肪酸的校正面积 $A'_i = f_i \times A_i$;

其中, $f_i = \frac{\text{标准 } C_{16:0} \text{ 峰面积}}{\text{标准 } i \text{ 脂肪酸峰面积}}$

每种脂肪酸的相对含量 = $\frac{A'_i}{\sum_{i=1}^n A'_i} \times 100\%$

试验数据用 Excel 2003 软件进行处理, 鳞鲀亚目鱼脂肪酸成分测定结果以“平均值±标准偏差”表示, 显著性差异检验使用 *t* 检验法。

表 1 鳞鲀亚目鱼的一般成分

Table 1 Proximate composition of Balistoidei studied

鱼种	丝背细鳞鲀 <i>S. cirrhifer</i>	圆斑疣鳞鲀 <i>C. maculata</i>	双棘三刺鲀 <i>T. biaculeatus</i>	中华单角鲀 <i>M. chinensis</i>	黄鳍马面鲀 <i>T. hypargyreus</i>	单角革鲀 <i>A. monoceros</i>
体重/(g/尾)	293~379	403~613	182~239	241~327	206~253	431~524
体长/(mm/尾)	181~232	224~341	140~183	172~235	136~187	253~328
水分/%	67.21±1.2 ^b	72.95±2.8 ^a	68.23±2.3 ^b	68.51±1.8 ^b	68.78±2.2 ^b	68.34±2.4 ^b
粗脂肪(干重)%	1.17±0.24 ^a	1.74±0.73 ^a	1.27±0.46 ^a	1.31±0.37 ^a	1.42±0.62 ^a	1.05±0.59 ^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 24 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 24 kinds of standard fatty acid methyl ester

标准脂肪酸甲酯	C _{14:0}	C _{14:1}	C _{15:0}	C _{16:0}	C _{16:1}	C _{16:2}	C _{17:0}	C _{17:1}	C _{18:0}	C _{18:1}	C _{18:2(6)}	C _{18:3(6)}
保留时间/min	8.37	8.92	10.07	11.85	12.24	12.78	13.70	14.13	15.84	16.10	16.87	17.31
峰面积相对校正因子(f_i)	0.96	0.95	0.98	1.00	1.02	1.01	1.01	1.01	1.07	1.00	1.05	1.02
标准脂肪酸甲酯	C _{18:3(3)}	C _{20:0}	C _{20:1}	C _{20:2(6)}	C _{20:3(6)}	C _{20:4(6)}	C _{20:4(3)}	C _{20:5(3)}	C _{22:4(6)}	C _{22:5(6)}	C _{22:5(3)}	C _{22:6(3)}
保留时间/min	17.84	19.16	19.40	20.09	20.47	20.81	21.13	21.96	24.19	25.29	27.06	27.86
峰面积相对校正因子	1.04	1.09	1.08	1.05	1.02	1.02	1.04	0.99	1.06	1.00	0.95	1.01

2 结果与讨论

2.1 鳞鲀亚目鱼水分和粗脂肪的测定结果

鳞鲀亚目鱼体重范围、身长范围、肌肉含水量及粗脂肪如表 1 所示。表 1 显示, 各种成鱼的个体体重、体长各不相同, 其中圆斑疣鳞鲀个体较大, 但肉质较其他鱼松软, 肌肉含水量大 (与其余 5 种鳞鲀亚目鱼均具显著性差异 $p<0.05$), 而丝背细鳞鲀、双棘三刺鲀、中华单角鲀、黄鳍马面鲀、单角革鲀鱼肌肉结实, 肉质相近, 这 5 种鳞鲀亚目鱼含水量不大 (相互间无显著性差异, $p>0.05$); 6 种鳞鲀亚目鱼肌肉粗脂肪含量相近 (无显著性差异, $p>0.05$)。

2.2 24 种标准脂肪酸甲酯的保留时间、校正因子

24 种标准脂肪酸甲酯保留时间及对应峰面积校正因子见表 2, 黄鳍马面鲀肌肉相应的脂肪酸甲酯气相色谱图见图 1。

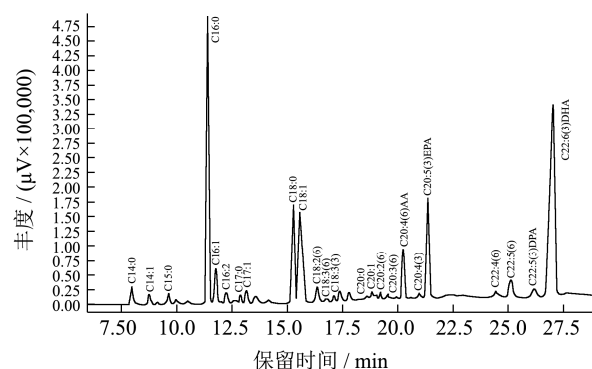


图 1 黄鳍马面鲀肌肉脂肪酸甲酯总离子流色谱图

Fig.1 Total ion current chromatogram of fatty acids methyl ester from the muscle of *T. hypargyreus*

2.3 鳞鲀亚目鱼各脂肪酸成分含量测定

对鳞鲀亚目鱼肌肉脂肪酸样品进行气相色谱分析,其脂肪酸组分含量结果列表3。 Σ 不确定成分表示为一些脂肪酸异构体或复杂成分,其占总脂肪酸百分

比为2.85%~4.33%。24种被测定的脂肪酸中,含量大于1%的主要饱和脂肪酸为C_{14:0}、C_{16:0}、C_{17:0}和C_{18:0},单不饱和脂肪酸为C_{18:1}和C_{16:1},多不饱和脂肪酸为C_{16:2}、C_{20:4(6)}(AA)、C_{22:5(6)}、C_{22:5(3)}(DPA)、C_{20:5(3)}(EPA)和C_{22:6(3)}(DHA)。

表3 6种鳞鲀亚目鱼肌肉脂肪酸含量

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

脂肪酸	丝背细鳞鲀 <i>S. cirrhifer</i>	圆斑疣鳞鲀 <i>C. maculata</i>	双棘三刺鲀 <i>T. biaculeatus</i>	中华单角鲀 <i>M. chinensis</i>	黄鳍马面鲀 <i>T. hypargyreus</i>	单角革鲀 <i>A. monoceros</i>
C _{14:0}	1.03±0.23 ^{cd***}	1.28±0.31 ^{cd}	2.41±0.14 ^a	1.27±0.11 ^d	1.30±0.38 ^{bc}	1.77±0.19 ^b
C _{14:1}	0.58±0.13 ^{bc}	0.28±0.04 ^d	0.94±0.27 ^a	0.33±0.04 ^{cd}	0.65±0.14 ^b	1.41±0.32 ^a
C _{15:0}	0.49±0.08 ^c	0.78±0.12 ^{ab}	0.84±0.05 ^a	0.35±0.02 ^d	0.65±0.12 ^{bc}	0.69±0.09 ^b
C _{16:0}	26.60±2.52 ^a	22.01±1.87 ^b	22.30±1.52 ^b	22.32±1.37 ^b	21.05±1.62 ^b	20.76±1.65 ^b
C _{16:1}	2.01±0.36 ^c	1.10±0.16 ^d	6.62±1.38 ^a	2.55±0.24 ^b	2.70±0.81 ^b	1.90±0.15 ^c
C _{16:2}	1.82±0.13 ^c	3.36±0.67 ^a	2.37±0.87 ^{ab}	1.16±0.22 ^d	0.88±0.12 ^d	2.18±0.17 ^b
C _{17:0}	1.21±0.08 ^b	1.71±0.26 ^a	2.08±0.33 ^a	1.07±0.06 ^c	1.04±0.12 ^c	1.34±0.08 ^b
C _{17:1}	0.41±0.03 ^{cd}	0.51±0.03 ^{cd}	0.46±0.04 ^d	0.43±0.02 ^c	0.84±0.07 ^a	0.50±0.03 ^b
C _{18:0}	13.98±1.32 ^a	13.20±1.87 ^a	13.70±1.01 ^a	13.11±0.78 ^a	9.63±0.29 ^b	14.26±0.56 ^a
C _{18:1}	12.42±1.17 ^{ab}	10.01±0.91 ^c	11.24±0.23 ^b	11.14±0.88 ^{bc}	9.47±1.32 ^c	12.86±1.13 ^a
C _{18:2(6)}	0.66±0.25 ^{bc}	0.57±0.07 ^c	0.67±0.03 ^b	0.83±0.05 ^a	0.98±0.21 ^a	0.54±0.06 ^c
C _{18:3(6)}	0.57±0.04 ^b	0.65±0.05 ^a	0.58±0.11 ^b	0.36±0.02 ^c	0.35±0.02 ^c	0.63±0.03 ^{ab}
C _{18:3(3)}	0.09±0.02 ^c	0.11±0.03 ^c	0.28±0.04 ^b	0.23±0.01 ^b	0.66±0.25 ^a	-
C _{20:0}	0.14±0.01 ^d	0.24±0.01 ^b	0.17±0.01 ^c	0.04±0.01 ^e	0.54±0.21 ^a	0.14±0.02 ^d
C _{20:1}	0.82±0.07 ^a	0.70±0.04 ^b	0.51±0.03 ^c	0.50±0.08 ^c	0.29±0.06 ^d	0.21±0.01 ^e
C _{20:2(6)}	0.28±0.02 ^c	0.50±0.03 ^a	0.25±0.01 ^d	0.14±0.02 ^d	0.36±0.05 ^b	0.29±0.02 ^c
C _{20:3(6)}	0.12±0.01 ^c	0.13±0.01 ^c	0.23±0.02 ^a	0.13±0.01 ^c	0.12±0.02 ^c	0.15±0.01 ^b
C _{20:4(6)} (AA)	5.39±0.58 ^c	5.00±0.98 ^{cd}	4.90±0.79 ^{cd}	9.01±0.67 ^b	4.00±0.32 ^d	12.49±0.56 ^a
C _{20:4(3)}	0.15±0.01 ^c	0.20±0.05 ^c	0.49±0.09 ^a	-*	0.35±0.04 ^b	0.10±0.01 ^d
C _{20:5(3)} (EPA)	8.88±0.86 ^b	3.67±0.43 ^c	9.83±0.56 ^b	12.37±1.11 ^a	8.28±1.29 ^b	2.04±0.19 ^d
C _{22:4(6)}	0.94±0.21 ^c	0.81±0.06 ^c	0.89±0.12 ^b	1.46±0.17 ^b	0.56±0.40 ^c	2.01±0.17 ^a
C _{22:5(6)}	1.33±0.34 ^c	1.98±0.59 ^{bc}	1.06±0.03 ^d	1.53±0.23 ^c	2.03±0.32 ^b	3.78±0.21 ^a
C _{22:5(3)} (DPA)	2.27±0.17 ^c	1.25±0.13 ^d	3.85±0.27 ^a	2.82±0.39 ^b	1.08±0.09 ^d	2.14±0.12 ^c
C _{22:6(3)} (DHA)	14.94±1.09 ^b	26.62±2.17 ^a	8.99±0.72 ^c	13.36±1.04 ^b	29.20±3.91 ^a	15.16±1.27 ^b
Σ 不确定成分**	2.85±0.53	3.64±0.78	4.33±0.31	3.48±0.51	2.99±0.72	2.65±0.13
Σ SFA	43.45±2.30 ^a	39.21±1.87 ^b	41.51±2.01 ^{ab}	38.16±3.12 ^{bc}	34.21±2.13 ^c	38.95±1.93 ^b
Σ MUFA	15.56±1.37 ^b	11.84±1.21 ^d	19.43±1.86 ^a	14.49±1.45 ^c	14.19±1.97 ^{cd}	16.80±1.17 ^{ab}
Σ PUFA	37.45±3.11 ^{cd}	44.85±2.19 ^{ab}	34.39±2.46 ^d	43.41±1.98 ^b	48.86±3.12 ^a	41.52±2.13 ^{bc}
ω -6	9.29±0.97 ^c	9.64±1.13 ^c	8.57±0.93 ^c	13.47±1.03 ^c	8.40±0.72 ^b	19.89±1.47 ^a
ω -3	26.33±1.69 ^c	31.85±2.36 ^b	23.44±1.55 ^d	28.78±1.93 ^{bc}	39.57±2.41 ^a	19.45±1.02 ^e
ω -3/ ω -6	2.8	3.3	2.7	2.1	4.7	1.0
EPA+DHA	23.82±2.87 ^c	30.29±1.74 ^b	18.82±2.16 ^d	25.73±1.37 ^c	37.49±2.67 ^a	17.20±1.88 ^d
DHA/EPA	1.7	7.3	0.9	1.1	3.7	7.4

注: *未检出; ** Σ 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($p<0.05$)。

2.4 鳞鲀亚目鱼中脂肪酸含量分析

2.4.1 6种鳞鲀亚目鱼中饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸和总多不饱和脂肪酸的比较

图2为各鳞鲀亚目鱼总饱和脂肪酸(Σ SFA)、总单不饱和脂肪酸(Σ MUFA)和总多不饱和脂肪酸(Σ PUFA)的比较图。鳞鲀亚目鱼肌肉总饱和脂肪酸(Σ SFA)含量34.21%~43.45%，其中丝背细鳞鲀(43.45%)与双棘三刺鲀(41.51%)、双棘三刺鲀(41.51%)与圆斑疣鳞鲀(39.21%)、圆斑疣鳞鲀(39.21%)与单角革鲀(38.95%)与中华单角鲀(38.16%)、中华单角鲀38.16%与黄鳍马面鲀(34.21%)相互间不具显著性差异($p>0.05$)；总单不饱和脂肪酸含量(Σ MUFA)为11.84%~19.43%，其中双棘三刺鲀(19.43%)与单角革鲀(16.80%)、单角革鲀(16.80%)与丝背细鳞鲀(15.56%)、丝背细鳞鲀(15.56%)与中华单角鲀(14.49%)与黄鳍马面鲀(14.19%)、黄鳍马面鲀(14.19%)与圆斑疣鳞鲀(11.84%)相互间不具显著性差异($p>0.05$)；总多不饱和脂肪酸(Σ PUFA)含量34.39%~48.86%，其中黄鳍马面鲀(48.86%)与圆斑疣鳞鲀(44.85%)、圆斑疣鳞鲀(44.85%)与中华单角鲀(43.41%)与单角革鲀(41.52%)、单角革鲀(41.52%)与丝背细鳞鲀(37.45%)、丝背细鳞鲀(37.45%)与双棘三刺鲀(34.39%)相互间不具显著性差异($p>0.05$)。

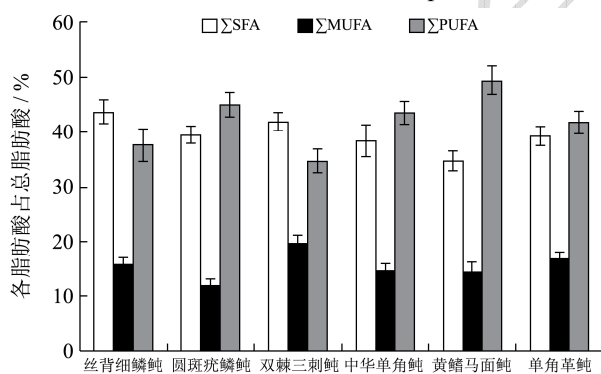


图2 饱和、单不饱和和多不饱和脂肪酸比较

Fig.2 Comparison of saturated fatty acids, monounsaturated fatty acids and polyunsaturated fatty acids

2.4.2 6种鳞鲀亚目鱼的饱和脂肪酸和单不饱和脂肪酸比较

在海洋鱼类中，一般 $C_{16:0}$ 占比较大，但通常 $C_{16:0}$ 与DHA有竞争性占比：一般情况下， $C_{16:0}$ 大于所有脂肪酸含量，但若DHA含量较大时，则DHA可能会超过 $C_{16:0}$ ^[10]，本研究的圆斑疣鳞鲀(DHA26.62%， $C_{16:0}$ 22.01%)和黄鳍马面鲀(DHA29.20%， $C_{16:0}$ 21.05%)均DHA $>$ $C_{16:0}$ ，与吴志强^[10]等研究的六

种鱼中的蓝圆鲹(DHA19.67%， $C_{16:0}$ 18.53%)、颌圆鲹(DHA24.49%， $C_{16:0}$ 18.03%)、羽鳃鲐(DHA19.56%， $C_{16:0}$ 17.56%)、鲈鱼(DHA26.62%， $C_{16:0}$ 20.21%)DHA $>$ $C_{16:0}$ 一致，与徐大凤^[6]等研究的绿鳍马面鲀(DHA23.78%， $C_{16:0}$ 21.35%)和Simoes T^[7]等研究的灰炮弹鱼(DHA38.70%~44.30%， $C_{16:0}$ 15.70%~17.81%)的DHA $>$ $C_{16:0}$ 一致，而本研究的双棘三刺鲀(DHA8.99%， $C_{16:0}$ 22.30%)、中华单角鲀(DHA13.66%， $C_{16:0}$ 22.32%)、单角革鲀(DHA15.16%， $C_{16:0}$ 20.76%)、丝背细鳞鲀(DHA14.94%， $C_{16:0}$ 26.60%)的DHA $<$ $C_{16:0}$ ，与吴志强^[10]等金色小沙丁鱼(DHA18.69%， $C_{16:0}$ 21.09%)、竹筴鱼(DHA17.95%， $C_{16:0}$ 18.95%)的DHA $<$ $C_{16:0}$ 一致。

6种鳞鲀亚目鱼 $C_{16:0}$ (20.76%~26.60%) $>$ $C_{18:0}$ (9.63%~14.26%) $>$ $C_{17:0}$ (1.04%~2.08%)，与吴志强^[10]等研究的六种鱼 $C_{16:0}$ (17.56%~28.58%) $>$ $C_{18:0}$ (8.40%~15.91%) $>$ $C_{17:0}$ (1.26%~2.67%)基本一致。6种鳞鲀亚目鱼 $C_{14:0}$ (1.03%~2.41%)含量均较小，与徐大凤等^[6]研究的绿鳍马面鲀 $C_{14:0}$ (0.92%)和Simoes T等^[7]研究的灰炮弹鱼的 $C_{14:0}$ (0.27%~0.44%)含量基本一致，但远小于吴志强^[10]等研究的六种中上层鱼 $C_{14:0}$ (3.68%~8.10%)。

6种鳞鲀亚目鱼的主要单不饱和脂肪酸均有 $C_{18:1}$ (9.47%~12.42%) $>$ $C_{16:1}$ (1.10%~6.62%)，与吴志强^[10]等研究的六种中上层鱼 $C_{18:1}$ (11.37~19.88) $>$ $C_{16:1}$ (8.01%~14.67%)基本相符、徐大凤等^[6]研究的绿鳍马面鲀 $C_{18:1}$ (13.85%) $>$ $C_{16:1}$ (3.39%)和Simoes T等^[7]研究的灰炮弹鱼的 $C_{18:1}$ (26.32%~29.20%) $>$ $C_{16:1}$ (0.63%~0.86%)一致。

2.4.3 6种鳞鲀亚目鱼的多不饱和脂肪酸比较

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^[11-13]，6种鳞鲀亚目鱼主要多不饱和脂肪酸中， $C_{16:2}$ 、 $C_{22:5(6)}$ 和DPA(二十二碳五烯酸 Docosapentaenoic Acid)均有一定的含量，其中 $C_{16:2}$ 含量最高的为圆斑疣鳞鲀($C_{16:2}$ 3.36%)， $C_{22:5(6)}$ 含量最高的为单角革鲀($C_{22:5(6)}$ 3.78%)。DPA具有EPA或DHA相同功效的脂肪酸，尤其是抗炎作用，但通常在鱼类中含量较低^[14,15]，DPA在丝背细鳞鲀(DPA 2.27%)、双棘三刺鲀(DPA 3.85%)和单角革鲀(DPA 2.14%)含量均高于徐大凤等^[6]研究的绿鳍马面鲀(DPA 1.78%)和Horst K等^[16]研究的单角革鲀(DPA 2.27%)含量。

6种鳞鲀亚目鱼中，AA、EPA和DHA有较高的含量。圆斑疣鳞鲀DHA(26.62%) $>$ AA(5.00%) $>$ EPA(3.67%)和单角革鲀DHA(15.16%) $>$ AA

(12.49%) > EPA (2.04%), 与 Horst K 等^[16]研究的单角革鲀的 DHA (24.5%) > AA (11.3%) > EPA (3.3%) 的情况相似, 与吴志强等^[10]研究的六种中上层鱼的 DHA (17.95%~24.49%) > AA (5.57%~9.48%) > EPA (2.35%~3.62%) 也一致; 丝背细鳞鲀、双棘三刺鲀、中华单角鲀和黄鳍马面鲀的 DHA (8.99%~29.20%) > EPA (8.28%~12.37%) > AA (4.00%~9.01%), 与徐大凤等^[6]研究绿鳍马面鲀的 DHA (23.78%) > EPA (8.71%) > AA (5.44%) 一致。

2.4.4 6种鳞鲀亚目的脂肪酸营养评价

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^[17,18], 海洋野生鱼则普遍以 DHA、EPA、花生四烯酸长链多不饱和脂肪酸为主^[11-13]。由图 2, 6 种鳞鲀亚目鱼的脂肪酸的共同特点均有: 不饱和脂肪酸 Σ PUFA + Σ MUFA > 饱和脂肪酸 Σ SFA, 且 Σ PUFA > Σ MUFA, 除丝背细鳞鲀、双棘三刺鲀的 Σ PUFA 略小于 Σ SFA 外, 其余鱼种 Σ PUFA > Σ SFA, 因此, 6 种鳞鲀亚目鱼的脂肪酸营养价值比普通动植物高。

6 种鳞鲀亚目的脂肪酸中的 EPA、DHA、EPA+DHA、 ω -6 系脂肪酸和 ω -3 系脂肪酸占比如图 3 所示。EPA 和 DHA 是膳食脂肪酸中能降低甘油三酯的 ω -3 脂肪酸, 并可用于治疗高甘油三酯血症^[19], 这两种脂肪酸被认为对人体具有重要的营养及生理作用。EPA 具有抗动脉粥样硬化, 防止老年人心脑血管疾病^[20,21]的特殊功效, EPA 在中华单角鲀 (EPA 12.37%)、双棘三刺鲀 (EPA 9.83%)、丝背细鳞鲀 (EPA 8.88%) 和黄鳍马面鲀 (EPA 8.28%) 均有较高的含量, 与 Marcelina A^[22]研究的食用牡蛎的 EPA (7.6%~17.4%) 相似, 是吴志强等^[10]研究的六种中上层鱼 EPA 含量 2 倍以上。对于心血管代谢疾病, DHA 较 EPA 的作用要高一些^[23,24], 除双棘三刺鲀的 DHA 稍低于 EPA 外, 其余 5 种鳞鲀亚目鱼的 DHA > EPA (其中圆斑疣鳞鲀和单角革鲀 DHA/EPA 分别为 7.3 和 7.4)。

6 种鳞鲀亚目鱼均具有较高的 EPA+DHA, 两种脂肪酸总含量为 17.20%~37.49%, 按鱼肌肉中的 EPA+DHA 含量, 黄鳍马面鲀 (37.49%) > 圆斑疣鳞鲀 (30.29%) > 中华单角鲀 (25.73%) > 丝背细鳞鲀 (23.82%) > 双棘三刺鲀 (18.82%) > 单角革鲀 (17.20%), 其中中华单角鲀与丝背细鳞鲀、双棘三刺鲀与单角革鲀的 EPA+DHA 含量无显著性差异 ($p > 0.05$)。黄鳍马面鲀 EPA+DHA 高达 37.49%±2.67%, 高于王霞等^[25]研究的马拉巴笛鲷的

EPA+DHA (35.73%), 牛化欣等^[26]研究的野生牙鲆 EPA+DHA (32.90%)、Ozogul Y 等^[27]研究的春季青铜石斑鱼 *Epinephelus aeneus* EPA+DHA (35.09%) 和花斑蛇鲻 EPA+DHA (33.86%)、Mara G 等^[28]研究的海平鲷 EPA+DHA (34.6%), 低于 Ozogul Y 等^[27]研究的春季黑鲷 (39.89%)。刘晓春等^[29]研究的尖头斜齿鲨鱼肝油 EPA+DHA (45.5%)、Stowasser G 等^[30]研究的贡氏突吻鲷 EPA+DHA (46.8%)。

鱼油的 ω -3 脂肪酸具有提高记忆力、预防老年痴呆症、防治心血管疾病和糖尿病、提高免疫力和抗癌功效^[31,32]。6 种鳞鲀亚目鱼肌肉中, ω -3 系脂肪酸含量 (19.45%~39.57%) 高于 ω -6 系脂肪酸 (8.40%~19.89%), ω -3/ ω -6 为 1.0~4.7。因此, 经常食用鳞鲀亚目鱼可提高人体 ω -3 脂肪酸的摄入量, 有利于人类平衡体内来自于动植物膳食的脂肪酸^[33]。

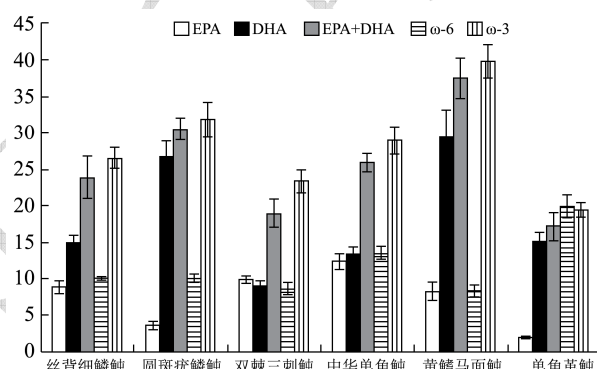


图 3 EPA、DHA、EPA+DHA、 ω -6、 ω -3 脂肪酸比较

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

3 结论

6 种鳞鲀亚目鱼有较高含量的多不饱和脂肪酸, ω -3 系脂肪酸高于 ω -6 系脂肪酸, ω -3/ ω -6 为 1.0~4.7, 其中圆斑疣鳞鲀和黄鳍马面鲀的 ω -3/ ω -6 分别为 3.3 和 4.7, 具有较高的营养价值。6 种鳞鲀亚目鱼均具有较高的 EPA+DHA, 含量为 17.20%~37.49%, 其中, 黄鳍马面鲀的 EPA+DHA 最高, 达到 37.49%±2.67%, 具有较高的食用价值和医用价值。

参考文献

- [1] 黄良敏, 于浩. 我国黄鳍马面鲀的资源评估与可持续利用初探[J]. 福建水产, 2003, 25(2): 10-14
HUANG Liang-min, YU hao. Analysis of stock assessment and sustainable use of *Navodon tessellates* resource in China [J]. Journal of Fujian Fisheries, 2003, 25(2): 10-14
- [2] 钱世勤. 东海黄鳍马面鲀生物学特性和资源利用状况[J]. 中国水产科学, 1998, 5(3): 25-29

- QIAN Shi-qin. The biological characteristics and resource status of the yellow-fin filefish in the East China Sea [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 1998, 5(3): 25-29
- [3] 粤海频. 电白县黄鳍马面鲈喜获丰收[J]. 海洋渔业, 1984, 7(1): 31
- YUE Hai-pin. A bumper harvest of *Thamnaconus hypargyreus* in Dianbai County [J]. Marine Fisheries, 1984, 7(1): 31
- [4] 莫阿秋. 浙江中南部渔场发现大批特大黄鳍马面鲈[J]. 水产科技情报, 1988, 15(3): 29
- MO A-qiu. A great quantity of larger *Thamnaconus hypargyreus* found in fishing ground in central and southern Zhejiang [J]. Fisheries Science & Technology Information, 1988, 15(3): 29
- [5] 马春艳, 成伟, 倪勇, 等. 我国黄海南部鱼类区系三种新记录[J]. 海洋渔业, 2015, 37(4): 386-388
- MA Chun-yan, CHENG Wei, NI Yong, et al. Three new records of the fish-fauna in the southern Yellow Sea of China [J]. Marine Fisheries, 2015, 37(4): 386-388
- [6] 徐大风, 刘琨, 王鹏飞, 等. 绿鳍马面鲈肌肉营养成分分析和营养评价[J]. 海洋科学, 2018, 42(5): 122-129
- XU Da-feng, LIU Kun, WANG Peng-fei, et al. Analysis of nutritional composition in the muscle of *Thamnaconus septentrionalis* [J]. Marine Sciences, 2018, 42(5): 122-129
- [7] Simoes D, Carvalho J, Sousa A, et al. Seasonal variation in proximate composition and fatty acid profile of grey triggerfish (*Balistes capriscus*) captured along the coast of Portugal [J]. Journal of Food Science, 2013, 78(5): C691-C695
- [8] GB 5009.3-2010, 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[S]
- GB 5009.3-2010, National health and family planning commission. National food safety standard determination of moisture in food [S]
- [9] GB 5009.6-2016, 国家卫生和计划生育委员会, 食品安全国家标准食品中脂肪的测定[S]
- GB 5009.6-2016, National health and family planning commission. National food safety standard determination of fat in food [S]
- [10] 吴志强, 丘书院, 杨圣云, 等. 闽南-台湾浅滩渔场六种主要中上层鱼类的脂肪酸研究[J]. 水产学报, 2000, 24(1): 61-66
- WU Zhi-qiang, QIU Shu-yuan, YANG Sheng-yun, et al. Study of fatty acid of muscle oil of six pelagic fish in Minnan-Taiwan bank fishing ground [J]. Journal of Fisheries of China, 2000, 24(1): 61-66
- [11] Brett D, Glencross. Exploring the nutritional demand for essential fatty acids by aquaculture species [J]. Reviews in Aquaculture, 2009, 1: 71-124
- [12] Ramesh K S, Keum Y S. Omega-3 and omega-6 polyunsaturated fatty acids: dietary sources, metabolism, and significance [J]. Life Sciences, 2018, 203: 255-267
- [13] 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
- [14] Gunveen K, David C S, Manohar G, et al. Docosapentaenoic acid (22:5n-3): A review of its biological effects [J]. Progress in Lipid Research 2011, 50(1): 28-34
- [15] Gunveen K, Denovan P B, Daniel B. Short-term docosapentaenoic acid (22:5n-3) supplementation increases tissue docosapentaenoic acid, DHA and EPA concentrations in rats [J]. British Journal of Nutrition, 2010, 103(1): 32-37
- [16] Horst K, Ines L, Manthey K, et al. Comparison of nutritional value and microbiological status of new imported fish species on the German market [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2014, 49(11): 2481-2490
- [17] 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
- [18] 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
- [19] Damon A B, Gerald F W. Contemporary and novel therapeutic options for hypertriglyceridemia [J]. Clinical Therapeutics, 2015, 37(12): 2732-2750
- [20] Kastelein, John J P, Stroes, et al. Fishing for the miracle of eicosapentaenoic acid [J]. New England Journal of Medicine, 2019, 308(1): 80-90
- [21] Nelsona J R, Wani O, May H T, et al. Potential benefits of eicosapentaenoic acid on atherosclerotic plaques [J]. Vascular Pharmacology, 2017, 91: 1-9
- [22] Marcelina A, Carlos R, Dorotea M, et al. Seasonal variations of lipid classes and fatty acids in flat oyster, *Ostrea edulis*, from San Cibrán (Galicia, Spain) [J]. Comparative

- Biochemistry and Physiology Part C: Pharmacology, Toxicology and Endocrinology, 1995, 110(2): 109-118
- [23] Innes J K, Calder P C. The differential effects of eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid on cardiometabolic risk factors: a systematic review [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2018, 19(2): 532
- [24] Terry A J, Sara B G, Jonathan D R, et al. Effects of eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid on low-density lipoprotein cholesterol and other lipids a review[J]. Journal of Clinical Lipidology, 2012, 6: 5-18
- [25] 王霞,林婉玲,李来好,等.气相色谱-质谱法分析六种鲈形目海水鱼脂肪含量和脂肪酸组成[J].食品工业科技,2019,40(21):250-255
- WANG Xia, LIN Wang-lin, LI Lai-hao, et al. Analysis of six fatty acids in the form of perciformes marine fish by gas chromatography- mass spectrometry [J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(21): 250-255
- [26] 牛化欣,雷霖霖,常杰,等.野生和不同饲料养殖牙鲆营养成分比较[J].营养学报,2013,35(5):508-510
- NIU Hua-xin, LEI Ji-lin, CHANG Jie, et al. Comparison of the nutritional quality of wild and different feed cultured *Paralichthys olivaceus* [J]. Acta Nutrimenta Sinica, 2013, 35(5): 508-510
- [27] Ozogul Y, Polat A, I'lnkur U, et al. Seasonal fat and fatty acids variations of seven marine fish species from the Mediterranean Sea [J]. Eur. J. Lipid Sci. Technol, 2011, 113(12): 1491-1498
- [28] Mara G, Dang H T, Arason S, et al. Stability of golden redbfish (*Sebastes marinus*) during frozen storage as affected by raw material freshness and season of capture [J]. Food Science & Nutrition, 2018, 6(4): 1065-1076
- [29] 刘晓春,丘书院.闽南近海尖头斜齿鲨肝油脂肪酸组成的季节变化[J].热带海洋学报,2001,20(3):53-58
- LIU Xiao-chun, QIU Shu-yuan. Seasonal variations of fatty acid composition in liver oil of sharphead dogshark (*Scoliodon sorrakowah*) from coastal waters of southern Fujian [J]. Journal of Tropical Oceanography, 2001, 20(3): 53-58
- [30] Stowasser G, Mcallen R, Pierce G, et al. Trophic position of deep-sea fish-Assessment through fatty acid and stable isotope analyses [J]. Deep-Sea Research I, 2009, 56(5): 812-826
- [31] Lawrence G D. The fats of life: essential fatty acids in health and disease [M]. Rutgers University Press, 2010, 16-29
- [32] Thorsteinn L, Biljana I, Gudrun M A, et al. Fatty acids from marine lipids: Biological activity, formulation and stability [J]. Journal of Drug Delivery Science and Technology, 2016, 34: 71
- [33] Doug B, Bill L. Balancing proportions of competing omega-3 and omega-6 highly unsaturated fatty acids (HUFA) in tissue lipids [J]. Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids, 2015, 99: 19-23

(上接第 194 页)

- [22] Boonsumrej S, Chaiwanichsiri S, Tantratian S, et al. Effects of freezing and thawing on the quality changes of tiger shrimp (*Penaeus monodon*) frozen by air-blast and cryogenic freezing [J]. Journal of Food Engineering, 2007, 80: 292-299
- [23] Stadtman E R, Levine R L. Free radical-mediated oxidation of free amino acids and amino acid residues in proteins [J]. Amino Acids, 2003, 25: 207-218
- [24] 高泽磊,张建.不同冻结方式对高白鲑肌原纤维蛋白理化特性和功能特性的影响[J].江苏农业科学,2017,45(11):129-134
- GAO Ze-lei, ZHANG Jian. Effects of different freezing methods on the physicochemical and functional properties of high whitefish myofibrillar protein [J]. Jiangsu Agricultural Science, 2017, 45(11): 129-134
- [25] 李学鹏.中国对虾冷藏过程中品质评价及新鲜度指示蛋白研究[D].杭州:浙江工商大学,2012
- LI Xue-peng. Study on quality evaluation and freshness indicator protein of Chinese prawn during refrigeration [D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2012
- [26] 胡新.不同冻结、解冻方式对猪肉品质的影响[D].南京:南京农业大学,2017
- HU Xin. Effects of different freezing and thawing methods on pork quality [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2017