

斑纹光躄鱼5种组织中脂肪酸成分

庄海旗^{1,3}, 刘江琴^{2*}, 钟宇², 崔燎^{1,4}, 罗辉^{4,5} (广东医科大学 1. 广东天然药物研究与开发实验室; 2. 化学教研室; 3. 分析中心; 4. 海洋医药研究院; 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:目的 分析斑纹光躄鱼胸肌、鳍肌、胃、皮肤及骨骼中脂肪酸组成。方法 先用5%硫酸-甲醇溶液将5种组织中脂肪酸甲酯化,再用气相色谱法测定脂肪酸含量。结果 5种组织中饱和、单不饱和、多不饱和脂肪酸含量分别为42.03%~47.68%、13.63%~20.37%、29.53%~41.29%。胸肌组织中多不饱和脂肪酸含量最高,骨组织中饱和及单不饱和脂肪酸含量较高。雌鱼胸肌、鳍肌、骨骼中脂肪酸组成与雄鱼相似,雌鱼皮肤中DHA和EPA含量明显高于雄鱼。结论 斑纹光躄鱼的胸肌组织较易吸收多不饱和脂肪酸,骨组织较易吸收饱和及单不饱和脂肪酸;雌性斑纹光躄鱼皮肤中积蓄EPA和DHA高于雄性。

关键词: 斑纹光躄鱼; 脂肪酸; 气相色谱法

中图分类号: S 916

文献标志码: A

文章编号: 2096-3610(2021)01-0018-08

Analysis of fatty acid composition in five tissues of *Histrio histrio*

ZHUANG Hai-qi^{1,3}, LIU Jiang-qin^{2*}, ZHONG Yu³, CUI Liao^{1,4}, LUO Hui^{4,5} (1. Guangdong Key Laboratory for Research and Development of Natural Drugs; 2. Department of Chemistry; 3. Analysis Center; 4. Marine Medicine Research Institute; 5. Zhanjiang Key Laboratory for Research and Development of Marine Microbial Resources in Beibu Gulf Rim; Guangdong Medical University, Zhanjiang 524023, China)

Abstract: Objective To analyze the fatty acid composition of pectoral muscle, fin muscle, stomach, skin and skeleton in *Histrio histrio*. Methods The fatty acids of five tissues were methylated with 5% sulfuric acid/methanol solution, and then determined by gas chromatography. Results The contents of saturated, monounsaturated and polyunsaturated fatty acids in five tissues were 42.03%-47.68%, 13.63%-20.37% and 29.53%-41.29%, respectively. Polyunsaturated fatty acids were the most abundant in pectoral muscle, while saturated and monounsaturated fatty acids were higher in skeleton. The fatty acid composition of pectoral and fin muscle and skeleton was comparable between female and male fish, but cutaneous content of DHA and EPA was higher in females than in males. Conclusion The pectoral muscle and skeleton of *Histrio histrio* could absorb more polyunsaturated fatty acids and saturated or monounsaturated fatty acids, respectively. Cutaneous accumulation of EPA and DHA in females is superior to that in males.

Key words: *Histrio histrio*; fatty acids; gas chromatography

躄鱼为辐鳍鱼纲 Actinopterygii 新鳍亚纲 Neopterygii 鮫鰈目 Lophiiformes 躄鱼科 (Antennariidae) 鱼, 全世界约有40多种, 其中斑纹光躄鱼 (*Histrio histrio*) 为裸躄鱼属 *Histrio* 的一种鱼类, 俗名“藻躄鱼”或“青蛙鱼 (frogfish)”或“海草鱼”^[1]。躄鱼一般生活在热带的珊瑚礁或海藻繁茂的海底, 分布于大西

洋、印度洋和太平洋的温带和热带海域, 在中国常见于黄海、东海、台湾和南海海域。躄鱼在海洋鱼类中是较为特殊的鱼种^[2], 虽然分布较广, 但渔业捕获量不多。本研究斑纹光躄鱼为湛江渔民南三岛附近海域采集到雌性斑纹光躄鱼 (平均身长9.2 cm) 和雄性斑纹光躄鱼 (平均身长11.6 cm)。躄鱼皮厚, 胸鳍 (进化为足部便于海底行走) 发达, 曾被推荐为各种科学研究的理想实验动物。鱼类脂肪酸已有很多研究, 但目前只有少数文献对同一鱼类的各组织进行分析和比较, Rasool 等^[3]报道了马鲛鱼 (*Maga-laspis cordyla*) 和三牙鱼 (*Otolithes ruber*) 的肌肉、内脏、鱼皮和鱼骨组织的脂肪酸成分; 孙阿君等^[4]研究了暗

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 (No.2014B01045)

收稿日期: 2020-07-01; 修订日期: 2020-09-17

作者简介: 庄海旗 (1964-), 男, 硕士, 副教授

通信作者: 刘江琴, 女, 硕士, 副教授

纹东方鲀的肌肉、肝脏和皮,郭萌萌等^[5]研究了金鲷鱼(*Trachinotus ovatus*)的头、肌肉、骨、皮和内脏;Agnieszka等^[6]研究了三文鱼的头、骨和皮,证实不同鱼种和不同组织,其脂肪组织分布及脂肪酸成分含量各不相同。

有关躑鱼脂肪酸的研究目前尚未见文献报道。本研究将躑鱼组织分成胸肌(躯干肌肉)、鳍肌(足部肌肉)、皮、胃和软骨,采用气相色谱法进行了脂肪酸种类的比较和分析,旨在为鱼类器官组织的各脂肪酸成分的需求及代谢研究提供参考数据。

1 材料和方法

1.1 主要材料试剂与仪器

1.1.1 材料 斑纹光躑鱼(*Histrio histrio*)全鱼于2019年11月20日在南三岛附近海域捕获,鱼种由广东海洋大学陈文河教授协助鉴定。斑纹光躑鱼:雌雄斑纹光躑鱼各4条,从躯干上分离出胸肌组织样品;将全身鱼皮合并为皮组织样品;将足部(鳍)分离出肌肉,为鳍肌组织样品;将全鱼的骨合并为骨组织样品;将肠胃分离(由于躑鱼肠和肝脏等组织不易分离完整,故取易分离的胃组织作为鱼体内脏组织),清洗胃部的摄食物后得胃组织样品。各组织样品于干燥器(内置干燥剂)冷冻干燥备用。

1.1.2 主要试剂 正己烷,无水硫酸钠,以上试剂均为分析纯;0.5%硫酸-甲醇溶液;24种标准脂肪酸甲酯(Sigma公司,质量比均为1)。

1.1.3 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-4型数显恒温水浴锅(常州澳华仪器有限公司);CP64型十万分之一电子天平(奥豪斯仪器有限公司)。

1.2 实验方法

1.2.1 斑纹光躑鱼组织脂肪酸甲酯化测定 将各干燥样品研磨成粉状,分别称取5种样品50 mg,加入2 mL 0.5%硫酸-甲醇溶液,在65 °C恒温水浴中热反应1 h后,逐次加入2 mL正己烷萃取,静置后取上层清液,合并二次萃取的正己烷溶液,再加入适量无水硫酸钠吸附水分,即得各组织脂肪酸甲酯成分试样溶液,备以气相色谱分析^[7]。

1.2.2 气相色谱条件 弹性石英毛细管柱(30 m×0.32 mm×0.25 μm),色谱柱温度:初始温度120 °C保持1 min,以每分钟15 °C升温至205 °C(因本研究低碳链脂肪酸不作分析对象且能够保持中长碳链脂肪酸的分离度,故选择此升温速率)并保持3 min,再以每分钟5 °C升温至240 °C并保持18 min;进样口温度

240 °C,氢火焰离子化检测器温度240 °C,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。24种标准脂肪酸甲酯溶液和斑纹光躑鱼各组织脂肪酸甲酯样品8 μL进样。

1.3 数据处理和统计学分析

将24种标准脂肪酸甲酯气相色谱峰面积折算成校正因子,斑纹光躑鱼脂肪酸用校正峰面积归一化法计算相对百分含量,其公式如下:

每种测定脂肪酸的校正峰面积

$$A_i = f_i \cdot A_i \quad (1)$$

每种测定脂肪酸的相对含量

$$= \frac{A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \times 100\% \quad (2)$$

两式中 A_i 为斑纹光躑鱼的第*i*种脂肪酸的色谱峰面积, f_i 为第*i*种脂肪酸的峰面积的校正因子(以C16:0校正因子为1,其他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), A_i 为第*i*种脂肪酸的校正峰面积。

每种组织样品脂肪酸分析实验进行4个平行测定($n=4$),测定数据以 $\bar{x} \pm s$ 表示。用Excel软件处理数据,不同组织的脂肪酸含量采用IBM SPSS Statistics 20统计分析软件的Anova和Duncan多重比较法分析, $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 斑纹光躑鱼组织脂肪酸含量

气相色谱法测定斑纹光躑鱼各组织有24种脂肪酸成分如图1所示,用校正面积峰归一法计算脂肪酸成分含量^[8],雄性斑纹光躑鱼脂肪酸测定结果见表1,雌性斑纹光躑鱼脂肪酸测定结果见表2。挥发性成分或未知脂肪酸异构体含量用 Σ 不确定表示,占总脂肪酸百分比2.53%~5.04%。

2.2 斑纹光躑鱼组织主要脂肪酸含量的平均值与离散度RSD

斑纹光躑鱼组织中24种脂肪酸含量各异,其中C16:0、C16:1(7)、C16:2、C18:0、C18:1、C20:4(6)(AA)、C20:5(3)(EPA)、C22:6(3)(DHA)8种脂肪酸占主要成分(每种脂肪酸平均含量>2.5%),其余16种平均含量较低(平均含量<2.5%,由于误差较大,文中不作分析)。表1、2中的雌雄斑纹光躑鱼8种主要脂肪酸及其平均值和离散度RSD计算结果见表3。

2.3 斑纹光躑鱼各组织主要脂肪酸的分布特点

为比较雄雌斑纹光躑鱼各组织脂肪酸的分布情况,据表1、2数据,斑纹光躑鱼组织主要脂肪酸排

表1 雄性斑纹光躑鱼组织脂肪酸含量

(n=4, %)

脂肪酸	雄性斑纹光躑鱼				
	胸肌组织	鳍肌组织	胃组织	皮组织	骨组织
C14:0	1.22±0.11 ^d	1.95±0.15 ^{bc}	1.72±0.13 ^c	2.05±0.07 ^b	2.72±0.13 ^a
C14:1	0.43±0.03 ^c	0.65±0.04 ^b	0.68±0.05 ^b	1.02±0.07 ^a	1.10±0.08 ^a
C15:0	0.42±0.04 ^c	0.63±0.02 ^b	0.61±0.04 ^b	0.40±0.03 ^c	0.73±0.04 ^a
C16:0	23.63±1.80 ^{ab}	25.00±1.27 ^a	22.49±1.41 ^b	21.55±1.39 ^b	25.15±1.54 ^a
C16:1	2.24±0.15 ^d	3.69±0.26 ^b	2.89±0.20 ^c	2.96±0.11 ^c	4.26±0.29 ^a
C16:2	1.34±0.10 ^d	2.49±0.19 ^c	2.56±0.15 ^c	3.03±0.20 ^b	3.48±0.13 ^a
C17:0	0.87±0.05 ^b	1.08±0.08 ^a	1.08±0.07 ^a	1.12±0.07 ^a	1.12±0.08 ^a
C17:1	0.33±0.02 ^c	0.57±0.05 ^a	0.48±0.04 ^b	0.50±0.03 ^{ab}	0.53±0.03 ^{ab}
C18:0	16.20±1.07 ^c	17.10±1.33 ^{bc}	18.79±1.08 ^b	20.72±0.84 ^a	16.75±0.72 ^c
C18:1	10.47±0.84 ^b	12.62±0.85 ^a	12.85±0.66 ^a	10.72±0.60 ^b	12.77±0.39 ^a
C18:2(6)	0.92±0.06 ^{bc}	0.87±0.06 ^c	0.98±0.05 ^b	1.13±0.07 ^a	0.60±0.04 ^d
C18:3(6)	0.37±0.03 ^b	0.39±0.02 ^b	0.42±0.04 ^b	0.52±0.04 ^a	0.39±0.03 ^b
C18:3(3)	0.13±0.01 ^c	0.21±0.01 ^a	0.20±0.01 ^a	0.18±0.01 ^b	0.11±0.00 ^d
C20:0	0.17±0.01 ^d	0.20±0.01 ^c	0.24±0.02 ^b	0.24±0.02 ^b	0.35±0.01 ^a
C20:1	0.22±0.02 ^c	0.34±0.03 ^a	0.28±0.02 ^b	0.30±0.01 ^b	0.21±0.01 ^c
C20:2(6)	0.18±0.01 ^c	0.25±0.02 ^b	0.19±0.01 ^c	0.26±0.01 ^b	0.53±0.03 ^a
C20:3(6)	0.12±0.01 ^d	0.17±0.01 ^c	0.18±0.01 ^c	0.21±0.01 ^b	0.39±0.02 ^a
C20:4(6) (AA)	6.28±0.41 ^c	5.84±0.32 ^c	6.98±0.34 ^b	8.96±0.27 ^a	4.99±0.14 ^d
C20:4(3)	0.44±0.03 ^b	0.32±0.02 ^c	0.43±0.03 ^b	0.59±0.05 ^a	0.28±0.02 ^d
C20:5(3) (EPA)	5.13±0.60 ^a	4.40±0.33 ^{ab}	4.25±0.27 ^b	3.81±0.19 ^c	4.17±0.20 ^b
C22:4(6)	1.74±0.12 ^c	1.70±0.10 ^c	2.43±0.19 ^b	4.00±0.31 ^a	1.37±0.08 ^d
C22:5(6)	2.38±0.16 ^{ab}	1.88±0.21 ^{cd}	2.18±0.17 ^{bc}	2.56±0.16 ^a	1.80±0.06 ^d
C22:5(3)	1.36±0.10 ^b	1.71±0.13 ^a	1.75±0.09 ^a	1.50±0.08 ^b	1.46±0.05 ^b
C22:6(3) (DHA)	20.90±0.87 ^a	12.26±0.74 ^b	11.87±0.83 ^b	7.00±0.26 ^c	10.41±0.60 ^d
Σ不确定*	2.53±0.20	3.71±0.26	3.49±0.16	5.04±0.22	4.32±0.17
ΣSFA	42.51±2.37 ^b	45.97±1.58 ^a	44.93±2.31 ^{ab}	45.70±1.72 ^{ab}	46.84±2.01 ^a
ΣMUFA	13.63±1.14 ^c	17.73±1.42 ^a	17.13±1.20 ^{ab}	15.45±1.11 ^{bc}	19.02±1.35 ^a
ΣPUFA	41.29±2.57 ^a	32.46±2.02 ^{bc}	34.41±1.33 ^b	33.75±1.67 ^b	29.97±1.66 ^c
ω-6	11.99±0.85 ^{bc}	11.09±0.93 ^{cd}	13.35±0.92 ^b	17.65±0.62 ^a	10.07±0.48 ^d
ω-3	27.96±1.59 ^a	18.89±1.50 ^b	18.49±0.84 ^b	13.07±0.53 ^d	16.43±0.39 ^c
ω-3/ω-6	2.3	1.7	1.4	0.74	1.6
EPA+DHA	26.03±1.25 ^a	16.65±0.89 ^b	16.12±0.71 ^b	10.81±0.73 ^d	14.58±0.64 ^c
DHA/EPA	4.1	2.9	2.8	1.8	2.5

*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; 有不同英文小写字母者表示差异有统计学意义($P<0.05$)

序见表4。

2.4 斑纹光躑鱼各组织脂肪酸的聚类分析

对脂肪酸原始数据或主要脂肪酸可通过统计学软件进行不同组织间系统聚类分析, 通过IBM SPSS Statistics 20软件分别将雌雄斑纹光躑鱼组织脂肪酸原始数据或主要脂肪酸各自进行系统聚类分析, 结果见图2。

3 讨论

3.1 斑纹光躑鱼组织中脂肪酸组成和特点

气相色谱法测定组织脂肪酸有较好特异性高, 色谱分离度好, 如王霞等^[8]分析了6种鲈形目海水鱼脂肪含量和脂肪酸组成; 蒋焕超等^[9]测定了先科巨鲫肌肉脂肪酸组成; 韩迎雪等^[10]测定了5种鲈形目淡水鱼肌肉脂肪酸; 魏永生等^[11]测定了乌鳢鱼肌肉脂肪

表2 雌性斑纹光躄鱼组织脂肪酸含量

(n=4, %)

脂肪酸	雌性斑纹光躄鱼				
	胸肌组织	鳍肌组织	胃组织	皮组织	骨组织
C14:0	1.19±0.07 ^{c**}	2.77±0.14 ^a	2.17±0.12 ^b	2.74±0.18 ^a	2.98±0.24 ^a
C14:1	0.42±0.03 ^b	0.95±0.08 ^a	0.62±0.04 ^b	0.87±0.03 ^a	0.94±0.11 ^a
C15:0	0.38±0.02 ^c	0.93±0.06 ^a	0.78±0.05 ^b	0.86±0.06 ^{ab}	0.87±0.07 ^{ab}
C16:0	23.18±1.72 ^b	27.41±1.35 ^a	20.56±1.04 ^c	24.34±1.42 ^b	27.77±1.37 ^a
C16:1	1.84±0.13 ^c	4.96±0.22 ^b	4.88±0.31 ^b	4.81±0.27 ^b	5.98±0.33 ^a
C16:2	1.51±0.12 ^d	3.48±0.30 ^b	2.30±0.11 ^c	2.25±0.19 ^c	4.33±0.20 ^a
C17:0	0.88±0.07 ^c	1.16±0.09 ^{ab}	1.09±0.06 ^b	1.12±0.08 ^{ab}	1.22±0.07 ^a
C17:1	0.34±0.02 ^c	0.69±0.05 ^a	0.66±0.03 ^a	0.57±0.04 ^b	0.70±0.03 ^a
C18:0	16.30±0.94 ^{ab}	15.25±0.42 ^b	17.06±0.59 ^a	16.67±0.62 ^a	13.34±0.44 ^c
C18:1	11.45±0.81 ^{bc}	11.57±0.31 ^b	10.74±0.34 ^c	9.59±0.50 ^d	12.58±0.63 ^a
C18:2(6)	0.96±0.06 ^b	0.09±0.01 ^d	1.19±0.07 ^a	0.68±0.23 ^{bc}	0.47±0.03 ^c
C18:3(6)	0.39±0.02 ^{ab}	0.31±0.02 ^d	0.41±0.03 ^a	0.36±0.02 ^{bc}	0.34±0.01 ^c
C18:3(3)	0.19±0.01 ^c	0.25±0.02 ^b	0.37±0.02 ^a	0.25±0.01 ^b	0.25±0.02 ^b
C20:0	0.21±0.01 ^b	0.16±0.01 ^c	0.38±0.02 ^a	0.14±0.01 ^d	0.17±0.01 ^c
C20:1	0.19±0.01 ^c	0.86±0.04 ^b	1.20±0.06 ^a	0.92±0.04 ^b	0.87±0.07 ^b
C20:2(6)	0.32±0.02 ^a	0.19±0.01 ^c	0.17±0.01 ^d	0.19±0.01 ^c	0.28±0.02 ^b
C20:3(6)	0.23±0.01 ^b	0.16±0.01 ^d	0.23±0.01 ^b	0.19±0.01 ^c	0.26±0.01 ^a
C20:4(6) (AA)	6.51±0.36 ^b	5.24±0.23 ^c	7.46±0.27 ^a	7.86±0.36 ^a	4.12±0.30 ^d
C20:4(3)	0.38±0.02 ^c	0.33±0.02 ^d	0.44±0.04 ^b	0.56±0.03 ^a	0.30±0.02 ^d
C20:5(3) (EPA)	5.17±0.18 ^b	4.67±0.21 ^c	5.97±0.25 ^a	5.85±0.27 ^a	4.39±0.12 ^c
C22:4(6)	1.75±0.07 ^b	1.20±0.09 ^d	1.36±0.07 ^c	2.23±0.14 ^a	1.10±0.06 ^d
C22:5(6)	2.35±0.12 ^a	1.11±0.06 ^d	1.89±0.12 ^b	1.55±0.08 ^c	1.11±0.10 ^d
C22:5(3)	1.49±0.08 ^c	1.55±0.11 ^{bc}	2.07±0.15 ^a	1.66±0.04 ^b	1.43±0.13 ^c
C22:6(3) (DHA)	19.81±1.13 ^a	11.05±0.74 ^c	12.97±0.69 ^b	10.84±0.35 ^c	10.23±0.88 ^c
*Σ不确定	2.54±0.11	3.76±0.18	3.04±0.23	2.90±0.17	3.98±0.12
ΣSFA	42.14±1.97 ^b	47.68±1.86 ^a	42.03±1.74 ^b	45.87±2.20 ^a	46.35±2.49 ^a
ΣMUFA	14.27±0.79 ^d	18.33±0.82 ^b	17.28±0.34 ^b	15.98±0.56 ^c	20.37±0.67 ^a
ΣPUFA	41.07±2.16 ^a	29.53±1.60 ^c	36.84±1.90 ^b	34.47±1.49 ^b	28.61±1.75 ^c
ω-6	12.51±0.54 ^a	8.19±0.27 ^b	12.71±0.29 ^a	13.06±0.66 ^a	7.68±0.33 ^b
ω-3	27.04±1.37 ^a	17.86±0.32 ^d	21.83±0.98 ^b	19.16±0.64 ^c	16.60±0.81 ^c
ω-3/ω-6	2.5	2.2	1.7	1.47	2.16
EPA+DHA	24.98±1.33 ^a	15.73±1.40 ^{cd}	18.95±0.83 ^b	16.70±0.79 ^c	14.63±0.94 ^d
DHA/EPA	3.8	2.4	2.1	1.9	2.3

*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; 有不同英文小写字母者表示差异有统计学意义($P<0.05$)

酸组成, 但其样品前处理用量大, 脂肪酸甲酯化法复杂。本研究柱前分析样品用量少, 脂肪酸甲酯化简单, 且各脂肪酸色谱面积响应值经标准脂肪酸校正后, 测定值准确可靠^[7]。

斑纹光躄鱼组织由C14:0、C15:0、C16:0、C17:0、C18:0和C20:0 6种饱和脂肪酸(SFA)组成, 其Σ SFA为 42.03%~47.68%, 由 C14:1、C16:1、

C17:1、C18:1和C20:1 5种单不饱和脂肪酸(MUFA)组成, 其ΣMUFA为13.63%~20.37%。主要饱和脂肪酸含量C16:0>C18:0>C14:0和主要单不饱和脂肪酸含量C18:1>C16:1与吴志强等^[12]研究的6种中上层鱼的结果一致; 由C16:2、C18:2、C18:3(6)、C18:3(3)、C20:2(6)、C20:4(6) (AA)、C20:4(3)、C20:5(3) (EPA)、C22:4(6)、C22:5(6)、C22:5(3)(DPA)和C22:6

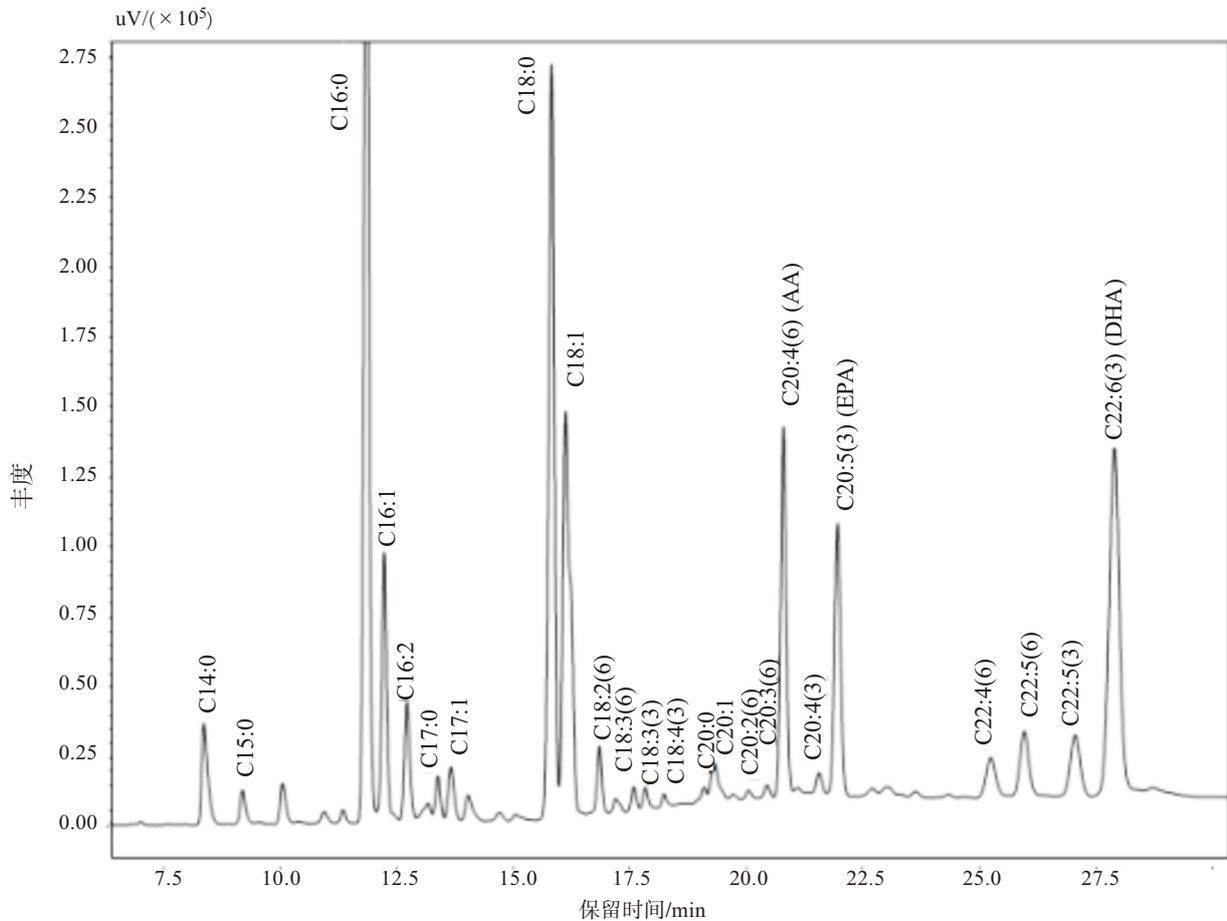


图1 斑纹光躉鱼肌肉脂肪酸甲酯总离子流色谱图

表3 斑纹光躉鱼组织主要脂肪酸含量的平均值与离散度

脂肪酸	平均值	离散度RSD
C16:0	24.11	0.10
C16:1	3.85	0.35
C16:2	2.68	0.34
C18:0	16.82	0.12
C18:1	11.54	0.10
C20:4(6) (AA)	6.42	0.23
C20:5(3) (EPA)	4.78	0.15
C22:6(3) (DHA)	12.73	0.34

(DHA)等13种多不饱和脂肪酸(PUFA)组成,其 Σ PUFA为29.53%~41.29%。

由表3可见,斑纹光躉鱼组织主要脂肪酸含量最高的是C16:0(24.11%),其余依次为C18:0(16.82%)>C18:1(11.54%)>C22:6(3)(DHA)(12.73%)>C20:4(6)(AA)(6.42%)>C20:5(3)(EPA)(4.78%)>C16:1(7)(3.85%)>C16:2(2.68%),由表3的离散度数据可见,C16:0(RSD=0.10%)、C18:0(RSD=0.12%)和C18:1(RSD=0.10%)离散度较小,表明这3种脂肪酸在斑纹光躉鱼各组织中组成稳定;C16:1(RSD=0.35%)、

C16:2(RSD=0.34%)、C20:4(6)(AA)(RSD=0.23%)和C22:6(3)(DHA)(RSD=0.34%)的离散度则相对较大,表明这4种脂肪酸在各组织间变化较大。

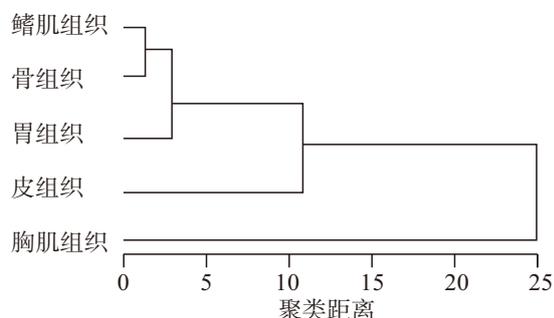
3.2 斑纹光躉鱼各组织主要脂肪酸的分布特点

3.2.1 斑纹光躉鱼主要脂肪酸的分布特点 表4中,骨组织饱和脂肪酸 Σ SFA含量最高;胸肌组织单不饱和脂肪酸 Σ MUFA含量最低,骨组织单不饱和脂肪酸 Σ MUFA含量最高($P<0.05$);胸肌组织多不饱和脂肪酸 Σ PUFA含量最高,骨组织多不饱和脂肪酸 Σ PUFA最低($P<0.05$),这可能是 Σ PUFA可优先被肌肉组织吸收利用以供应生长发育需求^[13]。

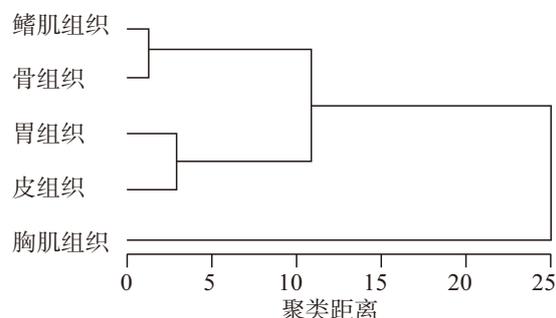
脂肪在鱼骨中不仅能提供能量还具有运动时控制自身浮力和姿势的作用^[14]。而鱼类中的骨组织有64%~97%的脂肪酸由16:0、16:1、18:1、EPA和DHA组成^[15]。本研究中斑纹光躉鱼骨组织的C16:0、C16:1、C16:2等的十六碳的脂肪酸中在各组织中含量分布相对较高,十八碳以上的脂肪酸的分布则下降至相对较低水平(如DHA在骨组织中呈相对较低值);鳍肌组织的脂肪酸变化与骨组织相似,但十六碳的脂肪酸骨组织>鳍肌组织,十八碳的脂肪酸C18:1骨组织>鳍肌组织。C18:0鳍肌组织>骨组织,

表4 斑纹光躑鱼各组织主要脂肪酸含量排序

主要脂肪酸	性别	含量排序
C16:0	雄性	骨组织25.15%>鳍肌组织25.00%>胸肌组织23.63%>胃组织22.49%>皮组织21.55%
	雌性	骨组织27.77%>鳍肌组织27.41%>皮组织24.34%>胸肌组织23.18%>胃组织20.56%
C16:1	雄性	骨组织4.26%>鳍肌组织3.69%>皮组织2.96%>胃组织2.89%>胸肌组织2.24%
	雌性	骨组织5.98%>鳍肌组织4.96%>胃组织4.88%>皮组织4.81%>胸肌组织1.84%
C16:2	雄性	骨组织3.48%>皮组织3.03%>胃组织2.56%>鳍肌组织2.49%>胸肌组织1.34%
	雌性	骨组织4.33%>鳍肌组织3.48%>胃组织2.30%>皮组织2.25%>胸肌组织1.51%
C18:0	雄性	皮组织20.72%>胃组织18.79%>鳍肌组织17.10%>骨组织16.75%>胸肌组织16.20%
	雌性	胃组织17.06%>皮组织16.67%>胸肌组织16.30%>鳍肌组织15.25%>骨组织13.34%
C18:1	雄性	胃组织12.85%>骨组织12.77%>鳍肌组织12.62%>皮组织10.72%>胸肌组织10.47%
	雌性	骨组织12.58%>鳍肌组织11.57%>胸肌组织11.45%>胃组织10.74%>皮组织9.59%
C20:4(6) (AA)	雄性	皮组织8.96%>胃组织6.98%>胸肌组织6.28%>鳍肌组织5.84%>骨组织4.99%
	雌性	皮组织7.86%>胃组织7.46%>胸肌组织6.51%>鳍肌组织5.24%>骨组织4.12%
C20:5(3) (EPA)	雄性	胸肌组织5.13%>鳍肌组织4.40%>胃组织4.25%>骨组织4.17%>皮组织3.81%
	雌性	胃组织5.97%>皮组织5.85%>胸肌组织5.17%>鳍肌组织4.67%>骨组织4.39%
C22:6(3) (DHA)	雄性	胸肌组织20.90%>鳍肌组织12.26%>胃组织11.87%>骨组织10.41%>皮组织7.00%
	雌性	胸肌组织19.81%>胃组织12.97%>鳍肌组织11.05%>皮组织10.84%>骨组织10.23%
EPA+DHA	雄性	胸肌组织26.03%>鳍肌组织16.65%>胃组织16.12%>骨组织14.58%>皮组织10.81%
	雌性	胸肌组织24.98%>鳍肌组织15.73%>胃组织18.95%>皮组织16.70%>骨组织14.63%



a. 雄性斑纹光躑鱼聚类树状图



b. 雌性斑纹光躑鱼聚类树状图

图2 斑纹光躑鱼各组织聚类树状图

二十碳以上的脂肪酸鳍肌组织>骨组织；胸肌组织十六碳的脂肪酸的C16:1、C16:2含量较低，随着长链脂肪酸的碳数增减，其含量分布则逐渐增加至DHA呈相对较高水平。

DHA+EPA在海水鱼类中占有重要比例，且为主要成分^[16-17]。它们在脂肪酸代谢中可由相对短链脂肪酸转化得到^[18]，或直接从食物链直接吸收^[19]，也可代谢为其他如抗炎介质^[20-21]。由于生活在海表性海藻繁茂的环境以蟹、虾、鱼为食物，可能导致体内脂肪酸EPA和DHA(ω -3的主要成分)含量较高^[22]，这对于分析海洋鱼类的脂肪酸组成的分布及代谢均有一定的意义。

斑纹光躑鱼胸肌组织的DHA+EPA含量明显高于

其他组织，与Rasool等^[6]报道的马鲛鱼和三牙鱼的肌肉DHA+EPA高于内脏、鱼皮和鱼骨组织的情况一致。

3.2.2 雄性与雌性斑纹光躑鱼5种组织主要脂肪酸的分布比较 对于胸肌组织，雄性与雌性斑纹光躑鱼8种主要脂肪酸含量均差别不大，表明各种脂肪酸在胸肌组织中保持基本稳定；对于骨组织与鳍肌组织，雌雄斑纹光躑鱼的8种主要脂肪酸含量亦无明显差别，且骨组织与鳍肌组织比较，在排序上相邻，说明其骨组织与鳍肌组织的脂肪酸代谢变化相似。

斑纹光躑鱼7种脂肪酸在雌雄各组织中的排序不尽相同，只有C20:4(6)(AA)，雄雌鱼的排序相同(均有皮组织>胃组织>胸肌组织>鳍肌组织>骨组织)，提

示C20:4(6)(AA)在斑纹光躄鱼的代谢无性别差异。

雌雄斑纹光躄鱼间差别主要是胃组织间与皮组织间的差别。雌雄斑纹光躄鱼胃组织的脂肪酸与鱼类的摄食并快速吸收食物源的DHA+EPA有较直接的关系^[23],故因摄食食物源不同,其DHA+EPA含量有一定的差别;DHA和EPA是储存在皮肤黏液中的主要长链多烯不饱和脂肪酸^[24],斑纹光躄鱼皮组织的DHA和EPA虽然在各组织中含量呈相对较低值,但雌雄差别较大,雌性DHA(10.84%)和EPA(5.85%)含量明显高于雄性的DHA(7.00%)和EPA(3.81%),提示雌性斑纹光躄鱼的皮组织积蓄DHA和EPA的能力均高于雄性斑纹光躄鱼。

3.3 斑纹光躄鱼各组织的聚类特点

鱼类脂肪酸可通过聚类分析研究其组成的相似度^[25-26],对于雄性斑纹光躄鱼,由聚类分析可看出各组织在树状图距离为5内分成3个组,第1组为鳍肌组织、骨组织和胃组织,皮组织和胸肌组织各自成一组。在第1组中,鳍肌组织和骨组织的脂肪酸组成相似[体现在C16:0、C16:1、C16:2、C18:0、C18:1、C20:4(6)(AA)和C20:5(3)(EPA)含量均较相近],在二次聚类中为一组,而胃组织在二次聚类中,其自成一组,说明胃组织与鳍肌组织、骨组织有一定差异;对于雌性斑纹光躄鱼,各组织在树状图距离为5内分亦成3个组,第1组为鳍肌组织和骨组织,第2组为胃组织和皮组织,第3组为胸肌组织。雌性和雄性斑纹光躄鱼在聚类距离上排列一致,即距离由远至近为胸肌组织→皮组织→胃组织→骨组织→鳍肌组织,仅胃组织在聚类组别上有所不同。

通过上述分析可知,斑纹光躄鱼的主要脂肪酸C16:0、C18:0和C18:1等脂肪酸组成较稳定,而C16:1、C16:2、AA和DHA 4种脂肪酸在各组织间变化较大,提示除C18:1外的不饱和脂肪酸在各组织中更容易产生代谢变化。斑纹光躄鱼的5种组织中,骨组织饱和脂肪酸 Σ SFA和单不饱和脂肪酸 Σ MUFA含量较高,多不饱和脂肪酸 Σ PUFA较低,胸肌组织多不饱和脂肪酸较高,饱和脂肪酸 Σ SFA和单不饱和脂肪酸 Σ MUFA含量较高。DHA+EPA在斑纹光躄鱼中含量较高,为14.63%~24.98%,斑纹光躄鱼胸肌组织的DHA+EPA含量明显高于其他组织,但其C16:1和C16:2则明显低于其他组织。雄性与雌性斑纹光躄鱼比较,8种主要脂肪酸中,C20:4(6)(AA)在各组织中基本相同,其余7种主要脂肪酸中,其胸肌组织、骨组织与鳍肌组织的脂肪酸组成相似,而雌性皮组织的DHA和EPA含量明显高于雄性。聚类分

析可将雄性与雌性斑纹光躄鱼的5种组织分别成3个组群,其中骨组织和鳍肌组织因相似度高而距离最短。

综上所述,脂肪酸在斑纹光躄鱼的分布特点为胸肌组织较易吸收二十碳或二十二碳的不饱和脂肪酸长链脂肪酸,骨组织较易吸收十六碳的饱和脂肪酸或单不饱和脂肪酸。雌性斑纹光躄鱼皮组织积蓄EPA和DHA高于雌性斑纹光躄鱼皮组织。

参考文献:

- [1] ARNOLD R J, PIETSCH T W. Evolutionary history of frogfishes (Teleostei: Lophiiformes: Antennariidae): A molecular approach [J]. Mol Phylogenet Evol, 2012, 62(1): 117-129.
- [2] 那颜. 躄鱼: 不会游泳的鱼[J]. 海洋世界, 2012(6): 60-63.
- [3] RASOOL A N, NUNE S S K. Document heading fatty acid composition of horse mackerel (*Magalaspis cordyla*) and croaker (*Otolithes ruber*) [J]. Asian Pac J Trop Med, 2012, 2(Suple 2): S933-S936.
- [4] 孙阿君, 金武, 闻海波, 等. 暗纹东方鲀主要可食部分营养成分比较及品质评价[J]. 长江大学学报(自然科学版), 2013, 10(23): 50-54.
- [5] 郭萌萌, 何晨, 张诗苑, 等. 金鲳鱼不同组织脂肪酸组成比较[J]. 食品工业科技, 2018, 39(9): 45-50.
- [6] AGNIESZKA G R, TYNEK M, EDYTA M, et al. Comparison of oil yield and quality obtained by different extraction procedures from salmon (*Salmo salar*) processing byproducts [J]. Eur J Lipid Sci Tech, 2016, 118(11): 1759-1767.
- [7] 庄海旗, 刘江琴, 钟宇, 等. 7种隆头鱼科鱼肌肉脂肪酸成分的气相色谱分析[J]. 广东医科大学学报, 2019, 37(6): 632-637.
- [8] 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.
- [9] 蒋焕超, 陈涛. 先科巨鲫肌肉脂肪酸组成分析[J]. 养殖与饲料, 2019, 18(5): 7-10.
- [10] 韩迎雪, 林婉玲, 杨少玲, 等. 5种鲈形目淡水鱼肌肉脂肪酸及磷脂组成的研究[J]. 南方水产科学, 2019, 15(1): 85-92.
- [11] 魏永生, 李维维, 隆晶, 等. 乌鳢鱼肌肉脂肪酸组成的气相色谱/质谱分析[J]. 广东化工, 2017, 44(7): 67-68.
- [12] 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.
- [13] 赵峰, 庄平, 章龙珍, 等. 雌性成体点篮子鱼不同组织的脂肪酸组成分析[J]. 海洋渔业, 2009, 31(3): 288-292.
- [14] PHLEGER C F, WAMBEKE S R. Bone lipids and fatty acids of Peru fish [J]. Comp Biochem Physiol, Part B., 1994, 109(1): 145-152.

- [15] JOGEIR T, SISSEL A, BRITT H, et al. Chemical composition, mineral content and amino acid and lipid profiles in bones from various fish species[J]. *Comp Biochem Physiol, Part B: Biochem Mol Biol*, 2007, 146(3): 395-401.
- [16] RENATA G, ANNA K, HOSANA G R, et al. Comparative effects of DHA and EPA on cell function[J]. *Pharmacol Ther*, 2009, 112(1): 56-64.
- [17] 郭玉华, 李钰金. 水产品中EPA和DHA的研究进展[J]. *肉类研究*, 2011, 143(1): 82-86.
- [18] VANESSA B, GWENDOLINE C, PIERRE F, et al. Microbial lipids as potential source to food supplements [J]. *Curr Opin Food Sci*, 2016, 7(1): 25-42.
- [19] 李湛. EPA、DHA对体内脂质代谢影响的研究进展[J]. *生物技术世界*, 2015, 9(1): 117-118.
- [20] GAETAN D, DANIEL C, ETIENNE G, et al. Comparative effects of dietary n-3 docosapentaenoic acid (DPA), DHA and EPA on plasma lipid parameters, oxidative status and fatty acid tissue composition[J]. *J Nutr Biochem*, 2019, 63(1): 186-196.
- [21] SAMANEH G F, KAISA M L, GIOVANNI M T, et al. Comparison of the bioavailability of docosapentaenoic acid (DPA, 22:5n-3) and eicosapentaenoic acid (EPA, 20:5n-3) in the rat [J]. *Prostag Leukotr Ess*, 2014, 90(1): 23-26.
- [22] 张文凤, 黄伟雄. 广东经济鱼类不饱和脂肪酸的含量分析与组成特征评价[J]. *环境化学*, 2020, 39(5): 1181-1191.
- [23] 乔芳, 李欢, 李东亮, 等. 冬夏两季五种经济鱼类组织脂肪酸含量及组成分析[J]. *水产学报*, 2018, 42(1): 80-90.
- [24] SILVIA T, DANIEL M, DAVID D, et al. Skin mucus fatty acid composition of gilthead sea bream (*Sparus Aurata*): A descriptive study in fish fed low and high fish meal diets [J]. *Fishes*, 2019, 4(1): 15-25.
- [25] SAHARI M, FARAHANI F, SOLEIMANIAN Y, et al. n-3 Fatty acid distribution of commercial fish species components [J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2013, 90(8): 1167-1178.
- [26] HARUN D, HAMD D. Chemometric characterization and classification of selected freshwater and marine fishes from turkey based on their fatty acid profiles [J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2009, 86(3): 235-246.

~~~~~

(上接第17页)

- trap tandem mass spectrometry (HPLC-ESI-ITMS/MS)[J]. *J Chromato B*, 2015(1002): 176-184.
- [8] ZHENG W, SHI H, CHEN Y, et al. Alteration of serum high-mobility group protein 1 (HMGB1) levels in children with enterovirus 71-induced hand, foot, and mouth disease[J]. *Medicine*, 2017, 96(17): e6764.
- [9] DUCROS V, RUFFIEUX D, BELVA-BESNET H, et al. Determination of dansylated polyamines in red blood cells by liquid chromatography-tandem mass spectrometry[J]. *Anal Biochem*, 2009, 390(1): 46-51.
- [10] LEAREY J J, CRAWFORD-CLARK S, BOWEN B J, et al. Detection of biogenic amines in pet food ingredients by RP-HPLC with automated dansyl chloride derivatization[J]. *J Sep Sci*, 2018, 41(24): 4430-4436.
- [11] CHO H E, KANG M H. pH gradient-liquid chromatography tandem mass spectrometric assay for determination of underivatized polyamines in cancer cells[J]. *J Chromatogr B Analyt Technol Biomed Life Sci*, 2018(1085): 21-29.
- [12] ELS T, BRUCKMANN J, RÖHN G, et al. Spermidine: A predictor for neurological outcome and infarct size in focal cerebral ischemia? [J]. *Stroke*, 2001, 32(1): 43-46.
- [13] HAN L, XU C, JIANG C, et al. Effects of polyamines on apoptosis induced by simulated ischemia/reperfusion injury in cultured neonatal rat cardiomyocytes[J]. *Cell Biol Int*, 2007, 31(11): 1345-1352.
- [14] EISENBERG T, ABDELLATIF M, SCHROEDER S, et al. Cardioprotection and lifespan extension by the natural polyamine spermidine[J]. *Nat Med*, 2016, 22(12): 1428-