

三种水族馆珍贵鱼类的营养成分分析及脂肪酸营养评价

王伟力¹, 杨舒婷², 焦建刚¹, 杜震宇¹, 乔芳^{1*}

(1. 华东师范大学生命科学学院, 水生动物营养与环境健康实验室, 上海 200241;

2. 上海海洋水族馆, 上海 200120)

摘要: 睛斑鳗狼鱼、巨巴西骨舌鱼和锥齿鲨是水族馆中珍贵的展示鱼类, 但是有关这3种鱼类成体的营养生理研究却十分缺乏。本研究对从水族馆获得的成年睛斑鳗狼鱼、巨巴西骨舌鱼和锥齿鲨的肌肉和肝脏组织进行了常规营养成分(水分、灰分、粗蛋白和粗脂肪含量)和脂肪酸组成测定分析, 并进一步将3种鱼类所食饵料与其肝脏和肌肉中的脂肪酸相对含量进行了比较。结果显示, 在3种鱼中, 锥齿鲨肌肉和肝脏中的蛋白质含量最高, 分别为26.84%和24.03%; 睛斑鳗狼鱼的肌肉和肝脏中的脂肪含量最高, 分别为41.96%和32.27%; 巨巴西骨舌鱼的肌肉和肝脏中的灰分含量最高, 分别为4.95%和5.51%。锥齿鲨肌肉和肝脏中饱和脂肪酸(SFA)含量高于睛斑鳗狼鱼, 睛斑鳗狼鱼肌肉和肝脏中单不饱和脂肪酸(MUFA)含量高于巨巴西骨舌鱼和锥齿鲨, 巨巴西骨舌鱼肌肉和肝脏中多不饱和脂肪酸(PUFA)含量及其肌肉中UFA/SFA值高于睛斑鳗狼鱼和锥齿鲨。研究表明, 锥齿鲨所食饵料与其体内脂肪酸组成最为相似, 其肌肉和肝脏与饵料的相关系数分别为0.972和0.861, 其次是巨巴西骨舌鱼(0.912和0.846), 而睛斑鳗狼鱼肌肉和肝脏中脂肪酸组成与所食饵料的相关系数仅分别为0.760和0.681。从脂肪酸营养的角度分析, 在当前水族馆养殖条件下, 锥齿鲨饵料较为合适, 巨巴西骨舌鱼的饵料中应注意添加EPA和DHA, 而睛斑鳗狼鱼饵料中则需提高MUFA比例。本研究首次阐明了3种珍贵的水族馆鱼类成体的营养组成, 并为水族馆相应的饲料配制提供了重要的参考依据。

关键词: 睛斑鳗狼鱼; 巨巴西骨舌鱼; 锥齿鲨; 营养成分; 脂肪酸组成; 饵料营养

中图分类号: S 963

文献标志码: A

水族馆是集收集、研究、饲养和展示等功能为一体的机构, 更是诸多珍贵鱼类的科普展示场所^[1]。睛斑鳗狼鱼(*Anarrhichthys ocellatus*)、巨巴西骨舌鱼(*Arapaima gigas*)和锥齿鲨(*Carcharias taurus*)是一些水族馆中的珍贵鱼类品种, 深受观众喜爱。睛斑鳗狼鱼属脊索动物门(Chordata), 辐鳍鱼纲(Actinopterygii), 鲈形目(Perciformes), 狼鱼科(Anarrhichadidae), 肉食性, 广泛分布于太平洋北部海域^[2]。巨巴西骨舌鱼俗称海象鱼, 属脊索动物门, 辐鳍鱼纲, 骨舌鱼目(Osteoglossiformes), 骨舌鱼科(Osteoglossidae), 原产于亚马逊河流域的巴西、委内瑞拉等南美国家和地区,

是最古老的鱼类之一, 被称为水中的“活化石”^[3], 其体长最长可达3 m, 体质量达200 kg以上, 因此也是世界上最大的淡水鱼之一^[4]。锥齿鲨是一种生活在海岸海域的大型鲨鱼, 属脊索动物门, 软骨鱼纲(Chondrichthyes), 鼠鲨目(Lamniformes), 砂锥齿鲨科(Odontaspidae), 因其具有子宫内同类相食的特性, 致使锥齿鲨数量很难大幅度增加, 再加上渔业的过度捕捞, 目前已是濒危物种^[5]。在这3种鱼中, 睛斑鳗狼鱼和巨巴西骨舌鱼肉味鲜美、营养丰富, 历史上很早就被人类食用。目前, 已有在国内开始尝试商业化育苗和人工养殖睛斑鳗狼鱼和巨巴西骨舌鱼的报道^[2-3, 6],

收稿日期: 2018-05-07 修回日期: 2018-06-23

资助项目: 中央高校基本业务费专项

通信作者: 乔芳, E-mail: fqiao@bio.ecnu.edu.cn

但锥齿鲨尚无任何商业化人工养殖的报道。

与经济鱼类的单一品种规模化养殖不同,水族馆作为特殊的鱼类人工饲养/繁育场所,饲养的鱼类品种繁多,但大型鱼类个体的数量相对较少。目前,水族馆中相当一部分鱼类的营养生理特性尚未得到深入研究,这也导致水族馆在为养殖鱼类配制饵料过程中存在着一定的盲目性,并可能导致水族馆鱼类出现不同程度的营养性病症。睛斑鳗狼鱼、巨巴西骨舌鱼和锥齿鲨均是水族馆中较为珍贵的展示鱼类,其大型成体数量非常稀少。至今,尚无人对水族馆养殖的这3种鱼类的大型成体进行营养成分分析。事实上,对鱼体营养成分的分析,不仅有助于了解其营养生理特性,也有助于评价所食饵料的合理性,并有助于配制营养成分更为合理的饵料^[7]。因此,本研究测定了来自上海海洋水族馆的成年睛斑鳗狼鱼、巨巴西骨舌鱼和锥齿鲨的肌肉和肝脏的营养成分,及其脂肪酸组成与含量,并将其与相应鱼种所食饵料的脂肪酸组成进行比较,以了解这3种珍贵鱼类成体的营养生化组成,评价当前水族馆所投喂的饵料是否合理。这将为各地水族馆更好地饲喂和保护睛斑鳗狼鱼、巨巴西骨舌鱼和锥齿鲨提供基本的营养学基础信息,并为睛斑鳗狼鱼和巨巴西骨舌鱼这2种兼具观赏价值和营养价值的珍贵鱼类的人工养殖、饲料开发和深度加工提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集

本实验所用的睛斑鳗狼鱼、巨巴西骨舌鱼和锥齿鲨成体的肌肉和肝脏组织样本由上海海洋水族馆提供,3种鱼均为在水族馆展示多年,但因打斗、转移时意外受伤等情况而死亡的珍贵成年个体,死亡后立即取肌肉和肝脏组织样品,并带回实验室保存在 -80°C 冰箱中备用。其中,睛斑鳗狼鱼1尾,鱼龄约8年,体质量1.51 kg,体长105 cm;巨巴西骨舌鱼1尾,鱼龄约8年,体质量81.50 kg,体长205 cm;锥齿鲨1尾,鱼龄约5年,体质量142.68 kg,体长252 cm。

睛斑鳗狼鱼日常所食饵料由阿根廷魷(*Illex argentinus*),刀额新对虾(*Metapenaeus ensis*)和鲣(*Katsuwonus pelamis*)以等质量混合组成(饵料1);

巨巴西骨舌鱼日常所食饵料为青鱼(*Mylopharyngodon piceus*)(饵料2);锥齿鲨日常所食饵料由太平洋竹荚鱼(*Trachurus symmetricus*)、阿根廷魷、鲣以等质量混合组成(饵料3)。

1.2 常规生化指标的测定

解冻后,随机从3种鱼的肌肉和肝脏组织中取样,每个组织在不同位置取5份平行样。另外,每种鱼的饵料取5份平行样本。水分含量采用 105°C 干燥法烘干恒重后测定;灰分采用马弗炉 550°C 高温灼烧法测定;粗蛋白采用凯氏定氮法(FOSS Kjeltac 8200)测定;粗脂肪提取采用索氏抽提法。均参照国际标准法AOAC (1995)^[8]。水分、灰分、粗蛋白以及粗脂肪的百分含量以每100 g湿重计算。

1.3 脂肪酸相对含量的测定

用甲醇氯仿法(1:2, V/V)提取样本中脂肪,进行甲酯化,用装备毛细管柱(L=100 m, ID=0.25 mm, DF=0.25 μm)的气相色谱仪(岛津GC-2010 Plus)进行分析量化。以氮气为载气,用氢火焰离子化检测器进行检测,喷嘴和检测器的温度分别为 280°C 和 300°C 。柱温设定从 120°C 上升到 260°C ($2^{\circ}\text{C}/\text{min}$),保留5 min。结果采用面积归一法进行计算,以总脂肪酸的百分比形式呈现^[9]。

1.4 数据分析

使用SPSS 19(SPSS Inc., Chicago, IL)进行单因素方差分析(One-Way ANOVA)。所有样品设5个重复(n=5),结果以 $\text{mean}\pm\text{SE}$ 表示。同一组织各种鱼类之间的差异用Duncan氏多重分析进行评估,同种鱼的肌肉和肝脏组织间的样品值差异使用t检验,显著性差异设为 $P<0.05$,极显著性差异设为 $P<0.01$ 。

2 结果

2.1 三种鱼类肌肉和肝脏中常规营养成分含量的比较

从肌肉组织分析,锥齿鲨肌肉中粗蛋白含量最高,为26.84%;其次是巨巴西骨舌鱼,为22.10%;睛斑鳗狼鱼肌肉中粗蛋白含量最低,为10.57%(图1-a)。对于肝脏组织,其粗蛋白含量与肌肉组织类似,从睛斑鳗狼鱼到锥齿鲨依次升高,分别为9.35%、15.72%和24.03%。对于同种

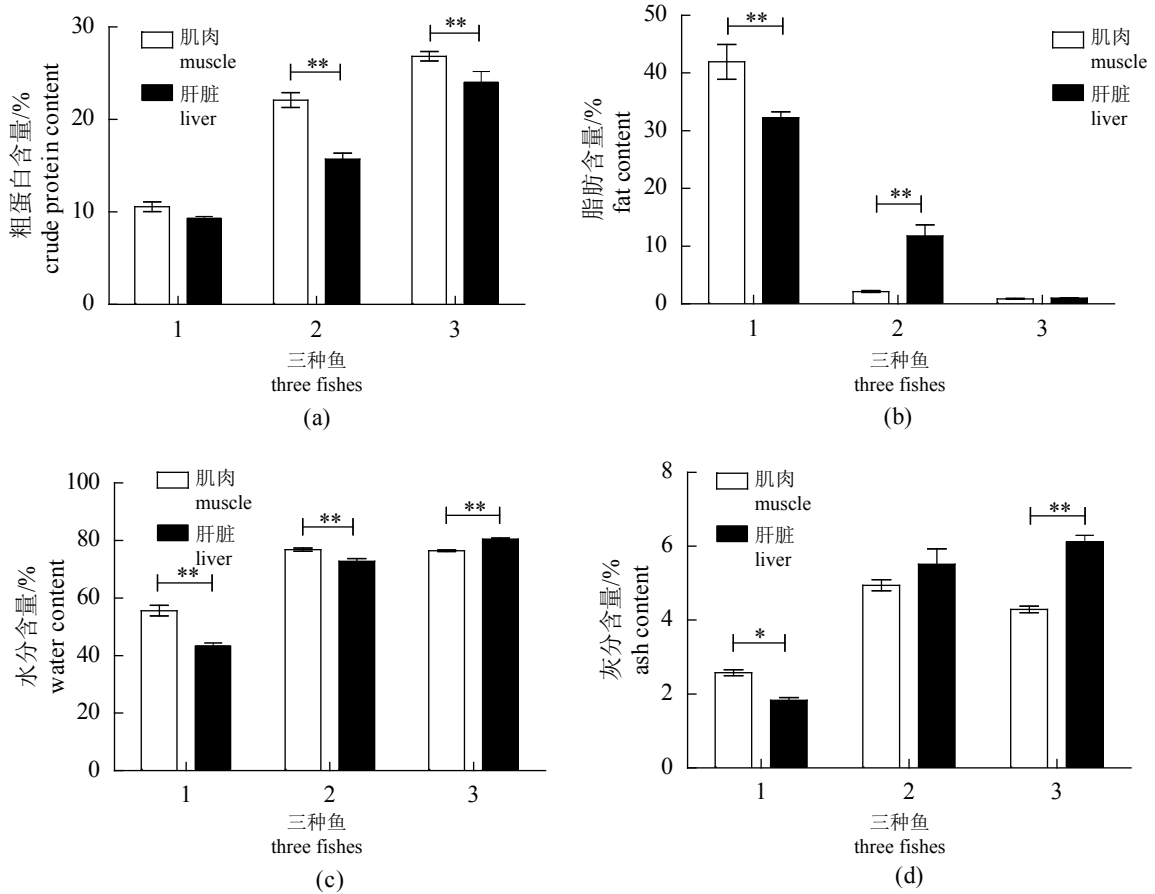


图 1 三种珍贵鱼类肌肉和肝脏中粗蛋白(a)、脂肪(b)、水分(c)和灰分(d)含量

“1”代表睛斑鳗狼鱼，“2”代表巨巴西骨舌鱼，“3”代表锥齿鲨；“*”表示同种鱼的肌肉和肝脏之间差异显著($P<0.05$)，“***”表示同种鱼的肌肉和肝脏之间差异极显著($P<0.01$)；下同

Fig. 1 Crude protein(a), fat (b), water (c) and ash (d) content of muscle and liver

For three precious fishes, “1” represents *A. ocellatus*, “2” represents *A. gigas*, “3” represents *C. taurus*; the values with “*” mean the significant difference between muscle and liver tissues ($P<0.05$), “***” mean the highly significant difference ($P<0.01$); the same below

鱼类的不同组织，巨巴西骨舌鱼和锥齿鲨肌肉中粗蛋白含量极显著高于肝脏($P<0.01$)，而睛斑鳗狼鱼肌肉和肝脏组织的粗蛋白含量无差异，均为10%左右。

睛斑鳗狼鱼肌肉组织中脂肪含量高达41.96%，明显高于巨巴西骨舌鱼和锥齿鲨(图1-b)。同样的，睛斑鳗狼鱼肝脏组织中脂肪含量也高于巨巴西骨舌鱼和锥齿鲨，高达32.27%；锥齿鲨肝脏中脂肪含量最低，仅为1%左右。在同种鱼类的肌肉和肝脏组织之间比较，睛斑鳗狼鱼的肌肉组织比肝脏组织中脂肪含量高，而巨巴西骨舌鱼则是肝脏显著高于肌肉组织，均呈极显著水平($P<0.01$)。锥齿鲨的2个组织之间没有显著性差异，脂肪含量均在1%左右。

睛斑鳗狼鱼肌肉的水分含量为55.65%，而

巨巴西骨舌鱼和锥齿鲨的水分含量为76%左右，高于睛斑鳗狼鱼(图1-c)。类似的，睛斑鳗狼鱼肝脏的水分含量也低于巨巴西骨舌鱼和锥齿鲨，仅为43.50%。另外，对于同一种鱼的2种组织，睛斑鳗狼鱼和巨巴西骨舌鱼肌肉的含水量极显著高于肝脏($P<0.01$)；而锥齿鲨反之，其肝脏含水量极显著高于肌肉($P<0.01$)。

睛斑鳗狼鱼肌肉中灰分含量最低，仅为2.58%；其次是锥齿鲨，为4.29%；巨巴西骨舌鱼肌肉中灰分含量最高，为4.95%(图1-d)。3种鱼类的肝脏组织中灰分含量从低到高依次为睛斑鳗狼鱼(1.84%)、巨巴西骨舌鱼(5.51%)和锥齿鲨(6.13%)。对于同一种鱼的不同组织，睛斑鳗狼鱼肌肉中的灰分含量显著高于肝脏($P<0.05$)；而锥齿鲨肝脏中灰分含量极显著高于其肌肉中的

灰分含量,为6.13%($P<0.01$);巨巴西骨舌鱼的肌肉和肝脏之间无显著差异。

总结3种鱼营养成分组成,睛斑鳗狼鱼肌肉和肝脏组织中脂肪含量远高于巨巴西骨舌鱼和锥齿鲨,而其蛋白质、水分以及灰分含量较低。锥齿鲨肌肉和肝脏中富含高蛋白,而脂肪含量极低。巨巴西骨舌鱼肌肉和肝脏中灰分含量较高。

2.2 三种鱼类肌肉和肝脏中脂肪酸组成及各组分的相对含量

在睛斑鳗狼鱼肌肉中测出12种脂肪酸,肝脏中测出11种脂肪酸;在巨巴西骨舌鱼肌肉中测

出13种脂肪酸,肝脏中测出11种脂肪酸;在锥齿鲨肌肉中测出8种脂肪酸,肝脏组织中测出12种脂肪酸,并分别对每种脂肪酸在3种鱼肌肉和肝脏中相对含量的差异性进行了比较(表1)。

对于饱和脂肪酸(saturated fatty acids, SFA),3种鱼的肌肉和肝脏组织中主要由C14:0、C16:0和C18:0组成(睛斑鳗狼鱼肌肉除外),并且C16:0所占比例最高。在肌肉组织中,锥齿鲨所含SFA含量高于睛斑鳗狼鱼和巨巴西骨舌鱼;而在肝脏组织中,巨巴西骨舌鱼和锥齿鲨中SFA含量高于睛斑鳗狼鱼。对于同种鱼的不同组织,锥齿鲨肝脏中SFA含量显著高于其肌肉组织($P<0.05$),巨巴西骨舌鱼肝脏中SFA含量极显著高于其肌肉

表1 睛斑鳗狼鱼、巨巴西骨舌鱼和锥齿鲨肌肉和肝脏中各脂肪酸相对含量
Tab. 1 The relative content of fatty acids of muscle and liver in *A. ocellatus*, *A. gigas* and *C. taurus* %

脂肪酸 fatty acids	睛斑鳗狼鱼 <i>A. ocellatus</i>		巨巴西骨舌鱼 <i>A. gigas</i>		锥齿鲨 <i>C. taurus</i>	
	肌肉 muscle	肝脏 liver	肌肉 muscle	肝脏 liver	肌肉 muscle	肝脏 liver
C14:0	4.74±0.08	4.57±0.18	2.26±0.17	1.81±0.27	1.53±0.38	2.29±0.23**
C14:1	1.24±0.09	1.45±0.09	5.70±3.30	—	—	0.81±0.38
C16:0	15.98±0.30	19.37±0.96 ^o	9.23±3.80	17.75±1.83*	13.39±0.44	17.75±1.54**
C16:1	13.69±0.51	19.89±2.54**	4.41±0.17	4.75±0.61	3.50±0.24	6.01±0.36
C18:0	—	2.34±0.08	6.82±0.39	11.46±0.42	13.21±0.19	14.93±2.28
C18:1n9	31.39±0.54	31.25±0.62	35.66±1.42	27.73±5.24*	34.10±1.01	31.07±3.49
C18:2n6	6.94±0.61	5.99±0.25	11.78±0.23	13.24±1.63	—	5.03±3.09
C18:3n3	1.38±0.04	—	0.57±0.35	1.04±0.41	—	—
C20:1	5.42±0.21	1.94±0.09**	0.76±0.46	1.05±0.51	—	1.01±0.63
C20:2	3.40±1.06	3.94±4.15	1.97±1.41	—	—	—
C20:3n3	—	—	—	—	—	0.76±0.48
C20:4n6	—	—	2.61±0.66	3.39±0.19	5.69±0.21	9.38±1.61*
C20:5n3 (EPA)	5.39±0.33	3.82±0.36	5.34±0.29	5.04±0.24	5.43±0.94	5.52±0.72
C22:1n9	2.71±0.12	—	—	—	—	—
C22:6n3 (DHA)	8.08±0.30	4.60±0.44*	12.90±0.22	12.74±0.82	23.86±1.5	5.44±1.15**
SFA	20.71±0.35	25.70±1.64	18.31±3.48	31.03±1.68**	28.13±0.82	34.98±2.99*
MUFA	54.44±1.05	54.54±2.10	46.52±3.36	33.53±3.58**	36.90±0.99	38.90±3.22
PUFA	24.85±0.81	19.76±3.71	35.17±0.58	35.44±1.90	34.97±0.94	26.13±3.30**
EPA+DHA	13.47±0.57	8.42±0.78**	18.24±0.36	17.78±0.58	29.28±0.98	10.96±1.32**
UFA/SFA	3.83±0.08	2.94±0.28	5.57±1.47	2.23±0.17*	2.57±0.11	1.94±0.23

注: SFA. C14:0, C16:0, C18:0; MUFA. C14:1, C16:1, C18:1n9, C20:1, C22:1n9; PUFA. C18:2n6, C18:3n3, C20:2, C20:3n3, C20:4n6, C20:5n3, C22:6n3; UFA. MUFA和PUFA; “—”表示未检测出;下同

Notes: SFAs include C14:0, C16:0, C18:0; MUFA include C14:1, C16:1, C18:1n9, C20:1, C22:1n9; PUFA include C18:2n6, C18:3n3, C20:2, C20:3n3, C20:4n6, C20:5n3, C22:6n3; UFA include MUFA and PUFA; “—”represents undetected; the same below

组织($P<0.01$), 而睛斑鳗狼鱼的肌肉和肝脏之间SFA含量无显著性差异。

对于单不饱和脂肪酸(monounsaturated fatty acids, MUFA), 3种鱼的肌肉和肝脏组织中主要有C14:1、C16:1、C18:1n9和C20:1, 其中C18:1n9所占比例最大, 约为30%左右。另外, 睛斑鳗狼鱼肌肉中还有少量C22:1n9, 而巨巴西骨舌鱼肝脏和锥齿鲨肌肉中不含C14:1, 并且锥齿鲨肌肉中同时也不含C20:1。在肌肉组织中, 锥齿鲨所含MUFA比例最低, 仅为36.90%; 其次是巨巴西骨舌鱼, 为46.52%, 而睛斑鳗狼鱼肌肉中MUFA比例最高, 高达54.44%。对于肝脏组织, 同样是睛斑鳗狼鱼中MUFA含量最高, 为54.54%, 而巨巴西骨舌鱼和锥齿鲨肝脏中分别为33.53%和38.90%。对于同种鱼的不同组织, 巨巴西骨舌鱼肌肉中MUFA含量极显著高于肝脏($P<0.01$), 其余2种鱼类各组织之间无差别。

对于多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acids, PUFA), 3种鱼的肌肉和肝脏组织中所含种类差别较大, 睛斑鳗狼鱼肌肉中主要有C18:2n6、C18:3n3、C20:2、EPA和DHA, 而其肝脏中不含C18:3n3; 巨巴西骨舌鱼肌肉中PUFA种类较丰富, 包括C18:2n6、C18:3n3、C20:2、C20:4n6、EPA和DHA共6种PUFA, 其肝脏中缺少C20:2; 锥齿鲨肌肉中PUFA种类最少, 只有C20:4n6、EPA和DHA这3类, 其肝脏中比肌肉多2种, 还包括C18:2n6和C20:3n3。分析PUFA中各组分所占比例, 睛斑鳗狼鱼和巨巴西骨舌鱼肌肉和肝脏组织中C18:2n6和DHA所占比例较大, 而锥齿鲨则是EPA和DHA所占比例较多。在肌肉组织中, 睛斑鳗狼鱼肌肉中PUFA含量少于巨巴西骨舌鱼和锥齿鲨; 在肝脏组织中, 睛斑鳗狼鱼和锥齿鲨均低于巨巴西骨舌鱼。可见, 巨巴西骨舌鱼肌肉和肝脏中PUFA所占比例较高, 均占35%左右。而对于同种鱼不同组织, 锥齿鲨肌肉中PUFA含量极显著高于肝脏($P<0.01$), 其余2种鱼类组织间无差异。

对于具有重要功能价值的EPA和DHA总含量而言, 比较3种鱼类肌肉组织可以看出, 锥齿鲨中所占比例最高, 高达29.28%; 其次是巨巴西骨舌鱼, 为18.24%; 睛斑鳗狼鱼肌肉中含量最少, 为13.47%。对于肝脏组织, 巨巴西骨舌鱼中EPA和DHA所占比例为17.78%, 远高于睛斑鳗狼

鱼和锥齿鲨。对于睛斑鳗狼鱼和锥齿鲨的肌肉和肝脏组织, EPA+DHA在2种组织之间差异极显著($P<0.01$), 均表现为肌肉组织高于肝脏组织。

在肌肉组织中UFA/SFA比值, 巨巴西骨舌鱼高于睛斑鳗狼鱼和锥齿鲨, 为 5.57 ± 1.47 。在肝脏中, 3种鱼的UFA/SFA比例为 $(1.94\pm 0.23)\sim(2.94\pm 0.28)$, 无较大差别。另外, 巨巴西骨舌鱼肌肉中UFA/SFA显著高于肝脏组织($P<0.05$), 而其余2种鱼组织间无差别。

3种鱼的肌肉和肝脏组织中C18:1n9相对含量最高, 占总脂肪含量的30%左右, 其次为C16:0、C16:1和DHA。锥齿鲨肌肉和肝脏中的SFA所占比例较高, 睛斑鳗狼鱼肌肉和肝脏中MUFA比例较高, 而巨巴西骨舌鱼肌肉和肝脏中PUFA所占比例较高。

2.3 三种鱼类所食饵料中各脂肪酸相对含量

为了分析3种鱼体内脂肪酸组成与所食饵料之间的关系, 对相应3种饵料的脂肪酸组成进行了测定, 并进行了比较分析。

饵料1中包含11种脂肪酸, 其中C18:1n9、DHA和C16所占比例较高; 饵料2中包含10种脂肪酸, 其中C18:1n9、C16和C18:2n6所占比例较高; 饵料3中包含12种脂肪酸, 其中C18:1n9、DHA和C16所占比例较高, 与饵料1类似(表2)。

对于SFA, 3种饵料中所占比例基本相近, 为25%左右; 饵料2和3中MUFA所占比例显著高于饵料1, 与UFA/SFA趋势类似; 而饵料1和2中PUFA所占比例显著高于饵料3; 饵料1和3中EPA+DHA所占比例显著高于饵料2($P<0.05$)。

2.4 三种鱼类肌肉和肝脏及其所食饵料中各脂肪酸相对含量的热图相似度

睛斑鳗狼鱼肌肉和肝脏组织中各脂肪酸组成及含量十分相似(表1), 而二者与其所食饵料1的脂肪酸含量有所差异(图2-a), 肌肉和肝脏与饵料1的相关系数也较低, 分别为0.760和0.681(图2-b)。另外, 饵料1中DHA和EPA含量都明显高于睛斑鳗狼鱼肌肉和肝脏中含量。巨巴西骨舌鱼的肌肉组织、肝脏组织与所食饵料2中的各脂肪酸含量较为相似, 其中其肌肉组织与饵料2尤为相似(图2-a), 肌肉和肝脏与饵料2的相关系数分别为0.912和0.846(图2-b)。锥齿鲨的肌肉组织与饵料3中的脂肪酸组成及含量十分相似, 相

关系数为0.972, 而肝脏与饵料3有较大差别, 相关系数为0.816(图2-b)。

3 讨论

3.1 三种珍贵鱼类的营养评价

鱼体营养成分分析是了解鱼类营养特性的重要手段, 也是为特定鱼类配制饲料并评估其食用价值的重要依据。鱼类因其肌肉中富含优质蛋白和n-3系高度不饱和脂肪酸而受到关注, 目前, 已经证实经常食用鱼类可减少慢性疾病的发生, 如心血管疾病、糖尿病、肥胖和癌症等^[10]。

海洋鱼类是人类重要的食用鱼来源, 也是多种营养素的绝佳来源, 包括PUFA、氨基酸、维生素和矿物质^[11]。在这些营养素中, ω -3长链多不饱和脂肪酸(n-3-PUFA), 特别是DHA和EPA, 已被证明对人类具有很高的疾病预防与保健效应^[12-13]。

在本研究中, 锥齿鲨是濒危动物, 并非可食用的经济动物。由于其濒危性, 也导致研究者很难获得其组织及器官, 因此, 国内外大多数报道仍然停留在对其行为及生态的相关研究上^[14-15], 而对其营养生理特点了解甚少。在本实验中, 首次对其成体肌肉和肝脏组织的生化指标包括蛋白质、灰分及脂肪组成等进行了检测分析。

表 2 三种饵料中各脂肪酸相对含量
Tab. 2 The relative content of fatty acids of the three diets

脂肪酸 fatty acids	饵料1(阿根廷鲑: 刀额新对虾: 鳕=1:1:1) diet 1(<i>I. argentinus</i> : <i>M. ensis</i> : <i>K. pelamis</i> =1:1:1)	饵料2(青鱼) diet 2 (<i>M. piceus</i>)	饵料3(太平洋竹荚鱼: 阿根廷鲑: 鳕=1:1:1) diet 3 (<i>T. symmetricus</i> : <i>I. argentinus</i> : <i>K. pelamis</i> =1:1:1)	%
C14:0	1.20±0.04 ^a	—	2.53±0.11 ^b	
C16:0	16.94±0.26 ^b	15.12±0.70 ^a	16.48±0.56 ^b	
C16:1	3.31±0.09 ^b	2.67±0.14 ^a	4.67±0.15 ^c	
C17:0	1.44±0.11	—	—	
C18:0	7.40±0.20	8.72±1.31	6.39±0.19	
C18:1n9	26.35±0.69 ^a	32.82±1.47 ^b	25.73±0.55 ^a	
C18:2n6	6.61±0.39 ^a	16.87±2.12 ^c	2.86±0.28 ^a	
C18:3n3	—	—	—	
C20:1	1.38±0.06 ^a	—	3.37±0.14 ^a	
C20:2	—	5.35±0.61 ^a	2.12±1.70 ^a	
C20:3n6	—	3.24±0.20	—	
C20:4n6	2.49±0.04 ^a	8.64±1.93 ^b	2.09±0.07 ^a	
C20:5n3 (EPA)	11.20±0.24 ^b	2.98±0.75 ^a	9.71±0.43 ^b	
C22:1n9	—	—	1.48±0.06	
C22:6n3 (DHA)	21.62±0.72 ^b	3.59±0.65 ^a	21.69±1.17 ^b	
SFA	26.97±0.37	23.84±1.93	25.40±0.86	
MUFA	31.11±0.83 ^a	35.49±1.60 ^b	35.25±0.70 ^b	
PUFA	41.92±0.78 ^b	40.67±0.60 ^b	38.47±0.92 ^a	
EPA+DHA	32.82±0.79 ^b	6.57±0.66 ^a	31.41±1.56 ^b	
UFA/SFA	2.71±0.05 ^a	3.32±0.38 ^b	2.92±0.13 ^b	

注: SFA包括C14:0, C16:0, C17:0, C18:0; MUFA包括C16:1, C18:1n9, C20:1, C22:1n9; PUFA包括C18:2n6, C18:3n3, C20:2, C20:3n6, C20:4n6, C20:5n3, C22:6n3; UFA包括MUFA和PUFA; 数值后小写字母不同表示某种脂肪酸在三种饵料之间差异显著($P<0.05$)
Notes: SFAs include C14:0, C16:0, C17:0, C18:0; MUFA include C16:1, C18:1n9, C20:1, C22:1n9; PUFA include C18:2n6, C18:3n3, C20:2, C20:3n6, C20:4n6, C20:5n3, C22:6n3; UFA include MUFA and PUFA; the values with different lowercase letters within the three diets are significantly different ($P<0.05$)

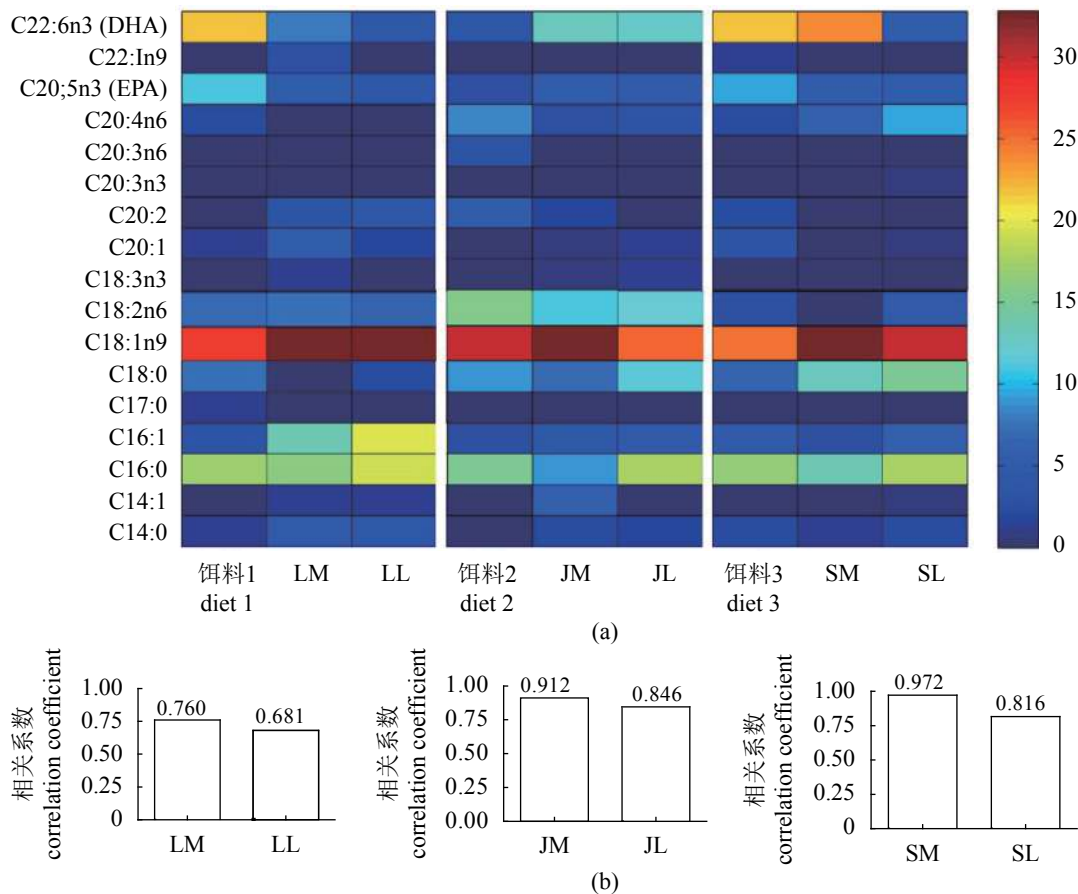


图2 睛斑鳗狼鱼、巨巴西骨舌鱼和锥齿鲨肌肉和肝脏及其所食饵料中各脂肪酸相对含量热图(a)与相关系数(b)
LM.睛斑鳗狼鱼肌肉, LL.睛斑鳗狼鱼肝脏, JM.巨巴西骨舌鱼肌肉, JL.巨巴西骨舌鱼肝脏, SM.锥齿鲨肌肉, SL.锥齿鲨肝脏

Fig. 2 The heatmap of fatty acids content in *A. ocellatus*, *A. gigas* and *C. Taurus*'s muscle and liver and their diets

LM. the muscle of *A. ocellatus*, LL. the liver of *A. ocellatus*, JM. the muscle of *A. gigas*, JL. the liver of *A. gigas*, SM. the muscle of *C. Taurus*, SL. the liver of *C. Taurus*

锥齿鲨肌肉和肝脏中的蛋白质含量和灰分含量较高,但体脂含量非常低。这提示锥齿鲨对饵料蛋白质需要量较高,建议在人工饲养过程中供应高蛋白质的饵料。此外,锥齿鲨肌肉中具有较高含量的EPA和DHA,体现出其作为海洋性肉食性鱼类的显著生化组成特点。

结果显示,巨巴西骨舌鱼肝脏和肌肉组织中灰分含量高,由于灰分的本质是各种矿物元素的相关氧化物,这说明巨巴西骨舌鱼有着较高含量的矿物质和微量元素。同时,其蛋白质含量比睛斑鳗狼鱼高,这与王茵等^[6]报道的养殖巨巴西骨舌鱼类似:养殖巨巴西骨舌鱼肌肉中灰分和蛋白质含量高于大部分养殖鱼类。巨巴西骨舌鱼肌肉中也含有较高的n-3PUFA,其EPA+DHA组成百分比甚至高于睛斑鳗狼鱼,因此,巨巴西骨舌鱼同样是一种蛋白质含量和优

质脂肪酸含量都较高的高营养价值鱼类。

本研究也发现,睛斑鳗狼鱼体内的脂肪含量非常丰富,在肌肉中的脂肪含量超过40%,远远高于大西洋鲑(*Salmo salar*)、卵形鲳鲹(*Trachinotus ovatus*)等传统意义上的“油性鱼类”(oily fish),是目前已知海洋鱼类中罕见的高油性鱼类。刘长琳等^[16]也曾报道,2龄养殖睛斑鳗狼鱼的肌肉中粗脂肪含量远高于其余海水养殖品种。脂肪是加热产生香气成分的重要物质,尤其是饱和脂肪酸能显著增加香味,因此,肌肉中脂肪含量高的鱼类具有特殊的肉质风味^[17]。更为重要的是,睛斑鳗狼鱼肌肉中同样含有较高的EPA+DHA比例(13.47%),其高脂肪含量的肌肉中也必然富含了很高含量的EPA和DHA。因此,只需摄入较少数量的睛斑鳗狼鱼肌肉,便能摄入较多的EPA和DHA,这对人类代谢性疾病的防

治具有重要的营养价值。同时,如此丰富的肌肉脂肪和较高的EPA+DHA含量,也使得睛斑鳗狼鱼可能成为鱼油等保健食品的良好原材料。因此,基于睛斑鳗狼鱼具有以上显著的营养学特征,它是一种极具养殖和加工潜力的鱼类。

3.2 三种珍贵鱼类饵料脂肪酸与组织脂肪酸组成的比较及对饵料合理性的初步评估

鱼体中脂肪酸的组成及含量既保留其鱼种固有的特点,也在很大程度上受到饵料脂肪水平与脂肪酸组成的影响^[18],因此,可以根据鱼体组织与其所食饵料中脂肪酸的组成及含量,来比较分析饵料脂肪酸组成是否与鱼体脂肪酸特点相匹配。另外,海水鱼和淡水鱼的脂肪酸合成与转化也存在较大的差异,一般认为,海水鱼比淡水鱼需要更多的高度不饱和脂肪酸^[19],而淡水鱼则具有比海水鱼更强的高度不饱和脂肪酸的合成能力^[20]。

本实验中,睛斑鳗狼鱼所食饵料为阿根廷鲑、刀额新对虾和鳀的等比混合物,通过饵料脂肪酸与其肌肉和肝脏中各脂肪酸含量比较分析,虽然饵料中MUFA含量不高,但是其体内MUFA含量较高,推测可能睛斑鳗狼鱼体内转化MUFA的能力较强。而饵料中高含量的PUFA以及EPA+DHA,并没有使睛斑鳗狼鱼的肌肉和肝脏中保持较高水平的PUFA,说明睛斑鳗狼鱼体内PUFA含量已达到峰值,饵料中多余的PUFA并没有被睛斑鳗狼鱼吸收并保留。而分析饵料与组织中脂肪酸含量的相关系数发现,其相关性也不高,推测可能睛斑鳗狼鱼所食饵料中MUFA含量偏低,而PUFA和EPA+DHA含量过高,建议根据其组织脂肪酸组成合理调整饵料配比,增加MUFA比例,适量降低EPA和DHA比例,以此减少饵料成本,也更符合睛斑鳗狼鱼的生长需求。

巨巴西骨舌鱼的饵料为青鱼,其肌肉和肝脏与饵料的各脂肪酸含量相关性较高,特别是肌肉与饵料的脂肪酸相关系数已达0.921。巨巴西骨舌鱼的饵料中虽然PUFA含量较高,但是对人体有益的EPA+DHA含量却比肌肉和肝脏组织中低,这既说明作为淡水鱼的巨巴西骨舌鱼具有一定程度的EPA和DHA的合成能力,也提示当前所投喂的饵料可适当增加EPA和DHA的比例来满足巨巴西骨舌鱼的特殊需求。由于其饵料青鱼是淡水鱼类,其EPA+DHA天然含量较低,建

议在巨巴西骨舌鱼的饵料中增加EPA和DHA含量较高的海水鱼作为EPA和DHA的补充来源,以更好地维持其在人工饲养环境中的健康。同时,也有利于避免由于长期摄入单一来源的饵料所造成的营养素不平衡。

而对于珍贵保护鱼类锥齿鲨来说,其饵料(太平洋竹荚鱼、阿根廷鲑、鳀的等比混合物)中脂肪酸组成与肌肉的脂肪酸组成十分相似,相关系数高达0.972,且二者在SFA、MUFA、PUFA含量以及UFA/SFA比值上均没有明显差异。而肝脏与肌肉和饲料中各脂肪酸的含量差别较大,这可能由于锥齿鲨和部分其他鱼类一样,在脂肪的分布上具有组织特异性,也和不同组织所行使的功能不同有一定的相关性^[21]。由于肌肉营养成分往往是主要的饵料配制依据,本研究表明,锥齿鲨饵料的脂肪酸营养是合理的。

4 结论

本研究首次分析并阐明了睛斑鳗狼鱼、巨巴西骨舌鱼和锥齿鲨3种珍贵的水族馆展示鱼类成体的营养成分组成,表明巨巴西骨舌鱼肌肉蛋白质、n-3PUFA和矿物质元素含量较高,营养价值较高;睛斑鳗狼鱼是罕见的高脂肪含量鱼类,具有巨大的养殖和食品开发潜力;锥齿鲨是高质量蛋白质需求量的鱼类。从水族馆饲养角度,巨巴西骨舌鱼与睛斑鳗狼鱼的饵料脂肪酸组成需要做进一步调整,而锥齿鲨的饵料配制较为合适。

参考文献:

- [1] 陈华增,齐继光,王云忠,等.不同饵料组合对马来沙水母生长的影响[J].湖南农业科学,2015(10):68-71.
Chen H Z, Qi J G, Wang Y Z, et al. Effects of different diets on the growth of jellyfish *Sanderia malayensis*[J]. Hunan Agriculture Science, 2015(10): 68-71(in Chinese).
- [2] Jones S R M, Thoney D A, Balfry S K. Comparative efficacy of formalin, freshwater and hydrogen peroxide against *Gyrodactylus corti* infestations on captive wolf-eels (*Anarrhichthys ocellatus*)[J]. Bulletin-European Association of Fish Pathologists, 2015, 35(2): 64-72.
- [3] 金柏.海象鱼的生物学特性及养殖技术初探[J].水产科技情报,2007,34(5):208-209.

- Jin B. An approach to the biological characteristics and culture technique of *Arapaima gigas*[J]. *Fisheries Science & Technology Information*, 2007, 34(5): 208-209(in Chinese).
- [4] Hrbek T, Farias I P, Crossa M, *et al.* Population genetic analysis of *Arapaima gigas*, one of the largest freshwater fishes of the Amazon basin: implications for its conservation[J]. *Animal Conservation*, 2005, 8(3): 297-308.
- [5] Compagno L J V. Sharks of the world: an annotated and illustrated catalogue of shark species known to date: Volume 2. Bullhead, mackerel and carpet sharks (Heterodontiformes, Lamniformes and Orectolobiformes)[R]. Rome: Food & Agriculture Organization of the United Nations, 2013, 34(23): 111-113.
- [6] 王茵, 吴成业, 郭建兴, 等. 巨骨舌鱼肌肉的营养成分分析及评价[J]. *福建农业学报*, 2010, 25(4): 491-495.
Wang Y, Wu C Y, Guo J X, *et al.* Nutrition composition of *Arapaima gigas* Fillet[J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2010, 25(4): 491-495(in Chinese).
- [7] 刘志峰, 高小强, 于久翔, 等. 不同饵料对美洲西鲱仔鱼生长、相关酶活力及体脂肪酸的影响[J]. *中国水产科学*, 2018, 25(1): 97-107.
Liu Z F, Gao X Q, Yu J X, *et al.* Effects of different diets on growth performance, enzyme activity, and body fatty acid composition in larval American shad (*Alosa sapidissima*)[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2018, 25(1): 97-107(in Chinese).
- [8] Association of Official Analytical Chemists(AOAC) [M]. Official methods of analysis of Official Analytical Chemists International, 16th ed. AOAC, Arlington, VA, USA, 1995.
- [9] 甘炼, 周李柳, 李小霞, 等. 花鳗鲡成鱼肌肉脂肪酸组成分析[J]. *水产科技情报*, 2014, 41(6): 302-305.
Gan L, Zhou L L, Li X X, *et al.* The fatty acid composition of muscle in *Anguilla marmorata*[J]. *Fisheries Science & Technology Information*, 2014, 41(6): 302-305(in Chinese).
- [10] Lund E K. Health benefits of seafood; is it just the fatty acids?[J]. *Food Chemistry*, 2013, 140(3): 413-420.
- [11] EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies. Scientific opinion on dietary reference values for copper[J]. *EFSA Journal*, 2015, 13(10): 4253.
- [12] Barbosa V, Maulvault A L, Alves R N, *et al.* Will seabass (*Dicentrarchus labrax*) quality change in a warmer ocean?[J]. *Food Research International*, 2017, 97: 27-36.
- [13] 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.
Qiao F, Li H, Li D L, *et al.* Comparative analysis of fatty acid profiles in different tissues of five economic fish species in winter and summer[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2018, 42(1): 80-90(in Chinese).
- [14] Ahonen H, Harcourt R G, Stow A J. Nuclear and mitochondrial DNA reveals isolation of imperilled grey nurse shark populations (*Carcharias taurus*)[J]. *Molecular Ecology*, 2009, 18(21): 4409-4421.
- [15] Naidoo K, Chuturgoon A A, Clif G, *et al.* Dentition facilitates the release of encapsulated ragged-tooth shark (*Carcharias taurus*) embryos[J]. *Environmental Biology of Fishes*, 2017, 100(10): 1343-1354.
- [16] 刘长琳, 陈四清, 燕敬平, 等. 狼鳗肌肉的营养成分分析及评价[J]. *营养学报*, 2016, 38(5): 506-508.
Liu C L, Chen S Q, Yan J P, *et al.* Analysis and evaluation of nutritive composition in the muscle of the wolf-eel (*Anarrhichthys ocellatus*)[J]. *Acta Nutrimenta Sinica*, 2016, 38(5): 506-508(in Chinese).
- [17] 张雪琰, 牟志春, 高建国, 等. 4种海水鱼肉中脂肪酸组成分析及营养评价[J]. *食品研究与开发*, 2013, 34(23): 111-113.
Zhang X Y, Mu Z C, Gao J G, *et al.* Fatty acid composition and nutrition evaluation in muscle of four marine fish[J]. *Food Research and Development*, 2013, 34(23): 111-113(in Chinese).
- [18] Wang B K, Liu W B, Xu C, *et al.* Dietary carbohydrate levels and lipid sources modulate the growth performance, fatty acid profiles and intermediary metabolism of blunt snout bream *Megalobrama amblycephala* in an interactive pattern[J]. *Aquaculture*, 2017, 481: 140-153.
- [19] 张红娟, 陈秀玲, 张瑞玲, 等. 海水鱼对脂肪的需求及脂肪源替代研究进展[J]. *水产科学*, 2015, 34(2): 122-127.
Zhang H J, Chen X L, Zhang R L, *et al.* A review of lipid requirement and oil replacement in marine fish[J]. *Fisheries Science*, 2015, 34(2): 122-127(in Chinese).
- [20] 吉红, 田晶晶. 高不饱和脂肪酸(HUFAs)在淡水鱼类中

的营养作用研究进展[J]. 水产学报, 2014, 38(9): 1650-1665.

Ji H, Tian J J. Research progresses of the nutritional effects of highly unsaturated fatty acids (HUFAs) in the freshwater fish[J]. Journal of Fisheries of China, 2014, 38(9): 1650-1665(in Chinese).

[21] 户业丽, 陈飞, 程波, 等. 人工养殖鲟鱼体内脂肪分布与性质的研究[J]. 粮油加工, 2010(3): 112-114.

Hu Y L, Chen F, Cheng B, *et al.* A research of fat distribution and properties in farmed sturgeon (*Acipenser sinensis*)[J]. Cereals and Oils Processing, 2010(3): 112-114(in Chinese).

Nutrient analysis and nutritional evaluation of fatty acid composition in three precious aquarium fishes

WANG Weili¹, YANG Shuting², JIAO Jiangang¹, DU Zhenyu¹, QIAO Fang^{1*}

(1. Lab of Aquaculture Nutrition and Environmental Health, East China Normal University, Shanghai 200241, China;

2. Shanghai Ocean Aquarium, Shanghai 200120, China)

Abstract: *Anarrhichthys ocellatus*, *Arapaima gigas* and *Carcharias taurus* are three precious fishes, the adults of which are cultured in some aquariums. However, the studies on the nutrient compositions for the adults of the three fishes are still limited. In this study, we measured the compositions of main nutrients (moisture, ash, crude protein and fat content) and fatty acids in muscle and liver tissues in adult *A. ocellatus*, *A. gigas* and *C. taurus*, and their corresponding feed, which were all collected from the aquarium. Furthermore, the correlation of fatty acid composition between the feed and tissues were calculated. The results showed that, the *C. taurus* had the highest crude protein content among the three fishes in muscle and liver, which was 26.84% and 24.03% respectively. *A. ocellatus* had the highest crude fat content among the three fishes in muscle and liver, which was 41.96% and 32.27% respectively. The ash content of muscle and liver in *A. gigas* was higher than the other two fishes, which was 4.95% and 5.51% respectively. The muscle and liver of *C. taurus* contained higher saturated fatty acids (SFA) content than the other two fishes, while *A. ocellatus* had higher monounsaturated fatty acids (MUFA) content than the other two fishes. Besides, *A. gigas* had higher amount of polyunsaturated fatty acids (PUFA) in muscle and liver and UFA/SFA ratio in muscle than the other two fishes. The correlation index showed that the fatty acids composition in feed and tissues (liver and muscle) obtained the highest similarity in *C. Taurus*. The correlation coefficient of fatty acid composition between feed and muscle and between feed and liver were 0.972 and 0.861, in *C. taurus*, respectively, and 0.912 and 0.846 in *A. gigas*, respectively, and 0.760 and 0.681, in *A. ocellatus* respectively. These results demonstrate that additional EPA and DHA could be supplemented in the feed of *A. gigas*, and additional MUFA should be added in the feed of *A. ocellatus*. For the first time, the present work presents the nutrient composition of the adults of the three precious fish species, and also provides valuable suggestions for the feed formulation in aquariums.

Key words: *Anarrhichthys ocellatus*; *Arapaima gigas*; *Carcharias taurus*; nutrient composition; fatty acid composition; diet nutrition

Corresponding author: QIAO Fang. E-mail: fqiao@bio.ecnu.edu.cn

Funding projects: Central University Basic Operating Foundation