

doi: 10.7541/2021.2020.094

性腺发育不同阶段野生瓯江凤鲚肌肉营养成分的分析与评价

胡园^{1,2,3} 周朝生^{1,2} 朱洁^{1,2} 柯爱英^{1,2} 郑伊诺^{1,2} 吴越^{1,2}
胡忠键⁴ 刘志坚⁴ 郭安托⁴

(1. 浙江省海洋水产养殖研究所, 温州 325005; 2. 浙江省近岸水域生物资源开发与保护重点实验室, 温州 325005;
3. 宁波大学, 宁波 315211; 4. 温州市渔业技术推广站, 温州 325003)

摘要: 研究旨在针对不同性腺发育阶段(I期、II期、III期、IV期、V期)野生瓯江凤鲚(*Coiliamystus*)性腺发育情况和肌肉营养成分进行分析与评价。研究表明: 在雌、雄野生瓯江凤鲚性腺从I期发育至V期的过程中, 成熟系数呈现上升趋势, 凤鲚卵巢的GSI值是精巢GSI值的5倍。在卵巢发育I—V期, 粗脂肪含量显著下降, 粗蛋白和水分显著上升($P<0.05$); 在精巢发育I—V期, 粗脂肪含量显著上升, 粗蛋白和水分显著下降($P<0.05$), 灰分含量先升后降, 说明野生瓯江凤鲚在卵巢发育过程中脂肪为主要供能物质。雌凤鲚肌肉在卵巢发育I—V期显著上升($P<0.05$), 雄凤鲚肌肉氨基酸含量在精巢发育I—V期显著下降($P<0.05$)。但各性腺发育阶段氨基酸组成相对稳定, 雌、雄鱼肌肉总必需氨基酸/总氨基酸分别为 $(37.88\pm0.32)\%$ — $(41.66\pm0.44)\%$ 和 $(40.30\pm0.69)\%$ — $(40.94\pm0.29)\%$ 。依据氨基酸评分(AAS)和化学评分(CS)标准, 不同性腺发育阶段的野生瓯江雌、雄凤鲚肌肉中第一限制性氨基酸均为色氨酸, 第二限制性氨基酸均为甲硫氨酸(Met)和胱氨酸(Cys)。在卵巢发育I—V期, 性腺发育阶段含量最丰富的C16:0和C18:1呈下降趋势, 可能是作为主要的供能脂肪酸。多不饱和脂肪酸的主要脂肪酸DHA在卵巢发育中呈现先上升后下降趋势。在精巢发育I—V期, 多不饱和脂肪酸呈现下降趋势。因此, 在繁殖过程中, 野生瓯江凤鲚雌雄鱼的发育特征和肌肉营养组成变化规律及差异与生殖洄游产卵的繁殖习性密切相关。

关键词: 凤鲚; 性腺发育; 肌肉; 营养成分分析; 成熟系数; 氨基酸含量

中图分类号: S917 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2021)04-0790-11



凤鲚(*Coiliamystus*)隶属于鲱形目(Clupeiformes), 鲱科(Engraulidae), 鲱属, 又称凤尾鱼、烤籽鱼、籽鲚, 主要分布于中国、朝鲜、日本和印度尼西亚沿海海域, 具有短距离溯河洄游产卵的繁殖习性, 繁殖期为5—8月^[1]。作为低营养层次鱼类, 凤鲚主要以滤食水体中的浮游动物为生。目前国内外已有关于凤鲚生物特征^[2, 3]、资源分布状况^[4-7]、繁殖与摄食习性^[8, 9]等的系列研究, 部分研究还对刀鲚和凤鲚肌肉营养成分进行了分析^[10-12], 但瓯江凤鲚性腺发育规律及营养成分随性腺发育的动态变化特征尚未见报道^[13, 14]。掌握性腺发育规律是

进行凤鲚人工繁殖的基础, 而了解其营养成分是科学指导合理膳食的前提, 因此本研究分析了不同性腺发育阶段野生瓯江凤鲚的性腺发育特征和肌肉营养成分, 以期为进一步开展瓯江凤鲚人工养殖实践等提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

2019年4—5月从浙江省温州市瓯江河口洄游鱼类产卵场水域($28^{\circ}03'91''$, $120^{\circ}59'92''$ 至 $27^{\circ}92'11''$, $120^{\circ}91'29''$)采集繁殖期野生雌性和雄性凤鲚作为

收稿日期: 2020-04-30; 修订日期: 2020-09-05

基金项目: 温州市种子种苗科技创新专项(Z20170015); 浙江省科研院所项目(浙江主要经济鱼类水产品质量安全风险评估及预警); 浙江省公益技术应用研究项目(2018C37022)资助 [Supported by the Wenzhou City Seed Seedling Science and Technology Innovation Project (Z20170015); Zhejiang Provincial Research Institute Project (Zhejiang's Major Economic Fish and Aquatic Products Quality and Safety Risk Assessment and Early Warning; Zhejiang Province Public Welfare Technology Application Research Project (2018C37022)]

作者简介: 胡园(1988—), 女, 硕士; 主要研究方向为水产动物营养与饲料学、检测技术。E-mail: yuanhu2009great@163.com

通信作者: 柯爱英(1965—), 女, 学士; 主要研究方向水产养殖。E-mail: 982634360@qq.com

实验材料。每周采集样品30—60尾, 试验鱼体态均完好无损, 无伤病。将所有样本打上标签, 经冰鲜保存后带回实验室, 保存于-80℃冰箱中待用。

1.2 生物学指标测定

样本于-4℃解冻后, 用吸水纸擦去体表残留的水分, 在实验室低温条件下解剖, 分别辨别雌雄及其性腺成熟度, 并进行卵巢和精巢发育的形态学和组织学分期(分别对应性腺发育 I 期、II 期、III期、IV期和V期)。对雌雄各性腺发育时期的个体进行体重、体长、性腺重量和全长指标的测定(精度分别为0.1 cm和0.01 g)。对鱼体进行解剖, 从腹腔两侧分离出性腺并称重, 按以下公式计算其性腺发育系数(Gonadosomatic index, *GSI*)=(性腺重/总体重)×100。

1.3 营养成分含量测定

仪器 Labcono冷冻干燥器, 烘箱, 电子天平, EL-104马弗炉, 日立L-8900氨基酸分析仪, Varian 450-GC型气相色谱仪(美国瓦力安公司), Eppendorf移液器, Milestone ETHOS1微波消解系统, BUCHI凯氏定氮仪K-360, 漩涡混合仪, SB-5200DT超声波清洗机等。

试验方法 将性腺发育相同时期的野生雌性和雄性凤鲚(各10尾)肌肉混合后, 利用真空冷冻干燥机进行干燥, 干燥处理后的样品置于-20℃冰箱保存, 用于营养成分分析。

基本营养成分测定水分测定采用恒温常压干燥法(GB 5009.3-2010), 粗蛋白测定采用微量凯氏定氮法(GB 5009.5-2010), 粗脂肪测定采用索氏抽提法(GB/T 14772-2008), 灰分测定采用马弗炉灼烧法(GB 5009.4-2010)。

氨基酸的测定样品经酸(6 mol/L HCl)水解后, 依据GB/T 5009.124-2003方法在日立L-8900高速氨基酸分析仪对凤鲚进行17种氨基酸含量的测定。依据GB/T 18246-2000方法用高效液相色谱仪对凤

鲚进行色氨酸含量的测定。

脂肪酸的测定样品采用GB 5009.168-2016方法, 使用气相色谱仪测定脂肪酸组成, 各脂肪酸相对含量的确定采用面积归一化法。

1.4 营养品质评价方法

将所测得必需氨基酸换算成每克蛋白质中氨基酸毫克数, 根据FAP/WHO(粮食与农业组织/世界卫生组织)1973年建议的氨基酸评分标准模式(mg/g N)^[15]和全鸡蛋蛋白质的氨基酸模式(mg/g N)分别按以下公式计算氨基酸评分(AAS)、化学评分(CS)^[16]:

$$AAS = \frac{aa}{AA \text{ (FAO/WHO)}}$$

$$CS = \frac{aa}{AA \text{ (Egg)}}$$

式中, *aa*为实验样品的必需氨基酸含量(mg/g N); *AA*(FAO/WHO)为FAO/WHO评分标准模式中同种氨基酸含量(mg/g N), *AA*(Egg)为全鸡蛋蛋白中同种氨基酸含量(mg/g N), *n*为比较的必需氨基酸个数, A、B、C…I为凤鲚肌肉蛋白质的必需氨基酸含量(mg/g N), AE、BE、CE…IE为全鸡蛋蛋白质的必需氨基酸含量(mg/g N)。

1.5 数据处理

数据处理采用统计分析软件SAS 9.1和Excel 2010对实验结果进行统计分析, 所有方差计算均为单因素分析(One-Way ANOVA), 结果以平均值±标准差(Mean±SD)表示, *P*<0.05为差异显著。

2 结果与讨论

2.1 不同性腺发育阶段野生瓯江凤鲚的生物学指标及性成熟系数变化

野生瓯江凤鲚雌、雄鱼性腺发育过程中生物学指标见表1和表2。随着野生瓯江凤鲚性腺发育(I—V期), 雌性个体全长(19.63±1.15)—(23.40±1.54) cm, 体长(19.63±1.15)—(20.84±1.44) cm, 体重

表1 不同性腺发育阶段野生瓯江雌性凤鲚的生物学指标测定

Tab. 1 Basic information of female *C. mystus* in Oujiang River at different gonad development stages (*n*=30)

采样时间 Sampling time	全长 Full length (cm)	体长 Body length (cm)	体重 Body weight (g)	性腺重量 Gonad weight (g)	性腺发育系数 <i>GSI</i> (%)	性腺发育情况 Gonad development
2019年5月6日(晚上)	23.40±1.54	21.21±1.61	43.67±0.44	0—5.50	0—9.89	I 期、II 期早期
2019年4月30日	22.72±0.88	20.66±0.87	40.62±6.42	7.35±2.06	17.86±3.19	II 期、III 期早期
2019年5月6日(下午)	23.29±1.07	21.25±1.02	49.23±7.18	11.18±2.48	22.68±3.48	II 期、III 期
2019年5月9日	19.63±1.15	17.53±1.34	28.70±1.83	4.15±0.52	14.50±1.82	II 期、III 期
2019年5月15日	21.81±0.82	19.68±0.87	36.00±4.4	7.16±2.18	19.73±4.83	III 期、IV 期
2019年5月17日	23.09±1.54	20.84±1.44	46.55±9.57	10.32±3.53	21.88±4.44	II 期、III 期
2019年5月24日	22.31±1.60	20.04±1.48	43.28±7.88	8.98±3.05	20.69±5.57	IV 期
2019年5月28日	22.97±0.98	20.82±0.90	48.34±8.17	10.48±2.47	21.45±3.11	V 期

表 2 不同性腺发育阶段野生瓯江雄性凤鲚的生物学指标测定

Tab. 2 Basic information of male *C. mystus* in Oujiang River at different gonad development stages ($n=30$)

采样时间 Sampling time	全长 Full length (cm)	体长 Body length (cm)	体重 Body weight (g)	性腺重量 Gonad weight (g)	成熟系数 GSI (%)	性腺发育情况 Gonad development
2019年5月6日	15.93±0.83	14.38±0.80	12.25±1.58	—	—	I 期
2019年5月9日	17.52±1.16	15.66±1.00	15.41±3.04	0.66±0.25	4.24±1.23	II 期、III 期
2019年5月15日	19.61±0.92	17.69±0.90	24.20±3.88	—	—	I 期
2019年5月17日	19.69±1.11	17.61±1.19	24.56±3.75	1.24±0.40	5.07±1.68	II 期、III 期
2019年5月24日	19.96±1.55	18.05±1.46	25.04±5.86	1.07±0.38	4.45±1.84	V 期
2019年5月28日	17.83±2.00	15.92±2.03	18.39±4.61	0.81±0.52	4.25±2.09	IV 期

(28.70±1.83)—(49.23±7.18) g, 性腺重0—5.50 g; 雄性个体全长(15.93±0.83)—(19.96±1.55) cm, 体长(14.38±0.80)—(18.05±1.46) cm, 体重(12.25±1.58)—(25.04±5.86) g, 性腺重0—(1.24±0.40) g。在凤鲚性腺发育过程中, GSI的分析发现, 雌鱼性腺发育系数为0—(22.68±3.48)%, 雄鱼性腺发育为0—(5.07±1.68)%。

2.2 不同性腺发育阶段野生瓯江凤鲚肌肉基本营养成分分析

不同性腺发育阶段野生瓯江凤鲚肌肉的水分、粗蛋白、粗脂肪及灰分基本营养成分, 结果见表 3。从雌鱼卵巢发育 I—V 期的过程中, 凤鲚肌肉中水分含量呈上升趋势, 为(78.77±0.62)%—

表 3 不同性腺发育阶段野生瓯江凤鲚肌肉一般营养成分比较(干质量, $n=3$)

Tab. 3 Comparison of Nutritional components in muscle of *C. mystus* in Oujiang River at different gonad development stages (Dry weight, $n=3$)

性别 Sex	发育期 Gonad development stage	水分 Moisture	灰分 Ash	粗蛋白 Crude protein	粗脂肪 Crude fat
雌	I	78.22±0.62 ^c	5.77±0.22 ^c	78.77±0.67 ^d	15.60±0.30 ^a
	II	79.58±1.14 ^b	6.64±0.32 ^b	81.50±0.20 ^c	11.71±0.53 ^b
	III	79.98±0.33 ^{ab}	7.28±0.08 ^a	82.74±0.10 ^b	9.86±0.56 ^b
	IV	80.31±0.07 ^{ab}	7.12±0.13 ^a	83.67±0.42 ^b	9.21±0.31 ^c
	V	81.34±0.39 ^a	6.63±0.18 ^b	86.16±0.86 ^a	6.62±1.02 ^d
雄	I	81.57±0.35 ^a	4.81±0.14 ^c	86.68±0.88 ^a	8.52±0.73 ^c
	II	81.10±0.21 ^a	5.33±0.18 ^d	83.48±0.65 ^b	11.66±0.43 ^d
	III	79.14±1.41 ^b	7.95±0.31 ^a	81.67±0.40 ^c	10.16±0.46 ^c
	IV	78.09±0.29 ^b	6.68±0.27 ^b	79.09±0.10 ^d	14.56±0.38 ^b
	V	76.47±0.28 ^c	5.80±0.12 ^c	74.78±0.35 ^c	20.56±1.38 ^a

注: 粗蛋白、粗脂肪和灰分以干重计, 为平均值±标准差($n=3$), 同列数据上标不同字母表示有显著差异($P<0.05$), 含有相同字母的为差异不显著($P>0.05$); 下同

Note: Results are given as means (%), dry weight) ±SD ($n=3$). In the same row, values with different letter superscripts mean significant different ($P<0.05$), values with same letter superscripts mean no significant different ($P>0.05$). The same applies below

(81.34±0.39)%。而从雄鱼精巢发育 I—V 期的过程中, 凤鲚肌肉中水分含量呈下降趋势, 为(81.57±0.35)%—(76.47±0.28)%。

在野生瓯江凤鲚雌鱼卵巢发育 I—V 期的过程中, 凤鲚肌肉中脂肪含量显著下降趋势, 为(15.60±0.30)%—(6.62±1.02)%, III 期的凤鲚肌肉中脂肪含量低于 II 但差异不显著, 其他发育时期的下降结果均显著($P<0.05$)。而野生瓯江凤鲚雄鱼精巢从发育 I—V 期的过程中, 凤鲚肌肉中脂肪含量显著上升趋势, 为(8.52±0.73)%—(20.56±1.38)%, 每一发育时期的上升结果均显著($P<0.05$)。

鱼类主要以脂肪和蛋白质作为能量来源, 凤鲚肌肉中蛋白质含量变化与脂肪含量变化呈相反的趋势, 从野生瓯江雌鱼卵巢发育 I—V 期的过程中, 凤鲚肌肉中蛋白质含量呈现显著上升趋势, 为(78.77±0.67)%—(86.16±0.86)%。而野生瓯江凤鲚雄鱼精巢从发育 I—V 期的过程中, 凤鲚肌肉中蛋白质含量呈显著下降趋势, 为(86.68±0.88)%—(74.78±0.35)%, 每一发育时期的下降结果均显著($P<0.05$)。此外, 野生瓯江雌、雄凤鲚在性腺发育过程中灰分含量呈单峰型分布, I—III 期呈上升趋势, III—V 期下降。

2.3 不同性腺发育阶段野生瓯江凤鲚肌肉氨基酸组成与评价

不同性腺发育阶段野生瓯江凤鲚肌肉中均可检测出 18 种氨基酸, 其中含 8 种人体必需氨基酸(EAA)、2 种半必需氨基酸(HEAA)和 8 种非必需氨基酸(NEAA)。由表 4 可知, 在野生瓯江凤鲚雌鱼卵巢发育 I—V 期过程中, 肌肉中的各个氨基酸含量呈上升趋势, 总氨基酸含量呈显著上升趋势, 为(72.55±1.79)%—(84.26±1.71)%, 与雌鱼肌肉粗蛋白的含量变化趋势一致。由表 5 可知, 在野生瓯江凤鲚雄鱼精巢发育 I—V 期过程中, 肌肉中的各个氨基酸含量均呈下降趋势, 总氨基酸含量显著下降趋势, 为(83.27±1.17)%—(75.29±1.05)%, 与雄鱼肌肉粗蛋白的含量变化趋势一致。

不同性腺发育阶段的野生瓯江凤鲚肌肉氨基酸组成无太大变化, 雌鱼肌肉EAA/TAA为(37.88±0.32)%—(41.66±0.44)%, EAA/NEAA为(81.14±1.10)%—(82.47±1.39)%; 雄鱼肌肉EAA/TAA为(40.30±0.69)%—(40.94±0.29)%, EAA/NEA为(79.24±2.70)%—(81.37±1.03)%。鱼肉味道的鲜美程度与鲜味氨基酸(谷氨酸Glu、天冬氨酸Asp、甘氨酸Gly和丙氨酸Ala)的组成和含量有关, 鲜味氨基酸占氨基酸总量的百分比越大, 味道也就越鲜美。野生瓯江凤鲚肌肉4种鲜味氨基酸含量高低顺序依次分别为谷氨酸>天冬氨酸>丙氨酸>甘氨酸。在野生瓯江凤鲚雌鱼卵巢发育 I—V 期过程中, 肌肉中呈味氨基酸的百分含量均呈上升趋势, 为(29.25±0.18)%—(31.87±0.31)%, 肌肉中呈味氨基酸占总量百分含量为(38.23±0.32)%—(38.89±0.29)%。在野生瓯江凤鲚雄鱼精巢发育 I—V 期中, 肌肉中呈味氨基酸含量呈下降趋势, 为(32.06±0.25)%—

(28.22±0.62)%, 肌肉中呈味氨基酸含量占总量的百分含量为(38.06±0.39)%—(38.90±0.12)%。

蛋白质的营养评价要从“质”和“量”两个角度来考虑, 不仅要考虑到含量的高低, 还要考虑到蛋白质的吸收、消化程度及氨基酸的组成模式。不同发育阶段野生瓯江凤鲚肌肉的蛋白质营养价值评分见表 6, 按照AAS和CS标准, 不同性腺发育阶段的野生瓯江雌、雄凤鲚肌肉中第一限制性氨基酸均为色氨酸, 肌肉第二限制性氨基酸均为甲硫氨酸(Met)和胱氨酸(Cys)。氨基酸评价系数和化学评分值随着凤鲚雌鱼卵巢发育(I—V 期)整体呈上升趋势; 而随着雄鱼精巢发育(I—V 期)整体呈下降趋势。

2.4 不同性腺发育阶段野生瓯江凤鲚肌肉脂肪酸组成

不同性腺发育阶段野生瓯江凤鲚雌鱼肌肉有相同种类的脂肪酸共25种, 其中饱和脂肪酸(Satu-

表 4 不同性腺发育阶段野生瓯江凤鲚雌鱼肌肉氨基酸组成与含量(%干重)

Tab. 4 The amino acid components in muscles of female *C. mystus* in Oujiang River at different gonad development stages (% Dry weight)

氨基酸类别 Amino acid category	氨基酸种类 Amino acid kind	性腺发育阶段 Gonad stage				
		I	II	III	IV	V
必需氨基酸EAA	亮氨酸Leu	6.39±0.06 ^a	6.61±0.11 ^b	6.76±0.04 ^{bc}	6.84±0.11 ^c	7.13±0.17 ^d
	异亮氨酸Ile	3.61±0.04 ^a	3.66±0.16 ^a	3.69±0.10 ^a	3.75±0.17 ^a	3.88±0.18 ^a
	甲硫氨酸Met	1.69±0.02 ^a	1.76±0.15 ^b	2.01±0.06 ^b	2.04±0.10 ^b	2.16±0.14 ^b
	苯丙氨酸Phe	3.31±0.05 ^a	3.46±0.12 ^{ab}	3.42±0.12 ^{ab}	3.48±0.08 ^{ab}	3.63±0.10 ^b
	苏氨酸Thr	3.62±0.07 ^a	3.75±0.07 ^b	3.81±0.04 ^{bc}	3.89±0.06 ^c	4.01±0.06 ^d
	缬氨酸Val	4.06±0.06 ^a	4.14±0.06 ^{ab}	4.19±0.03 ^{bc}	4.27±0.09 ^{cd}	4.36±0.07 ^d
	赖氨酸Lys	7.46±0.12 ^a	7.84±0.05 ^b	7.96±0.06 ^{bc}	8.09±0.09 ^c	8.41±0.12 ^d
	色氨酸Trp	0.64±0.01 ^d	0.68±0.01 ^c	0.71±0.01 ^b	0.73±0.02 ^b	0.78±0.03 ^a
半必需氨基酸HEAA	组氨酸His	1.73±0.05 ^a	1.71±0.07 ^a	1.73±0.07 ^a	1.76±0.05 ^a	1.91±0.04 ^b
	精氨酸Arg	4.84±0.07 ^a	5.05±0.06 ^b	5.16±0.07 ^c	5.26±0.03 ^d	5.42±0.04 ^e
非必需氨基酸NEAA	谷氨酸Glu	12.54±0.2 ^c	12.98±0.0 ^d	13.24±0.1 ^c	13.50±0.0 ^b	13.89±0.1 ^a
	天冬氨酸Asp	8.16±0.10 ^c	8.36±0.09 ^b	8.41±0.06 ^b	8.71±0.17 ^a	8.82±0.07 ^a
	丝氨酸Ser	3.04±0.06 ^c	3.19±0.10 ^b	3.27±0.02 ^b	3.31±0.09 ^b	3.46±0.07 ^a
	甘氨酸Gly	3.77±0.05	3.79±0.15	3.86±0.05	3.96±0.10	3.92±0.05
	丙氨酸Ala	4.78±0.10 ^a	4.97±0.04 ^b	5.04±0.05 ^b	5.14±0.04 ^c	5.25±0.09 ^c
	胱氨酸Cys	0.69±0.02 ^a	0.72±0.07 ^{ab}	0.74±0.04 ^{ab}	0.77±0.04 ^{ab}	0.80±0.01 ^b
	酪氨酸Tyr	2.19±0.03 ^a	2.38±0.09 ^b	2.43±0.06 ^{bc}	2.43±0.14 ^{bc}	2.60±0.10 ^c
	脯氨酸Pro	2.70±0.00 ^a	2.78±0.08 ^{ab}	2.86±0.08 ^{bc}	2.95±0.04 ^c	2.95±0.02 ^c
	总氨基酸TAA	75.29±1.0 ^c	77.82±0.4 ^d	79.27±0.22 ^c	80.86±0.48 ^b	83.27±1.17 ^a
	总必需氨基酸EAA	30.78±0.36 ^d	32.55±0.36 ^c	32.55±0.14 ^{bc}	33.09±0.43 ^b	34.36±0.76 ^a
	非必需氨基酸	37.88±0.32 ^c	39.84±0.32 ^d	39.84±0.23 ^c	40.78±0.18 ^b	41.66±0.44 ^a
	EAA/TAA(%)	40.91±0.44	41.06±0.44	41.06±0.28	40.90±0.33	41.22±0.40
	EAA/NEAA(%)	81.25±1.37	81.71±1.37	81.71±0.81	81.14±1.10	82.47±1.39
	呈味氨基酸含量(%)	29.25±0.18 ^d	30.55±0.18 ^c	30.55±0.12 ^c	31.32±0.33 ^b	31.87±0.31 ^a
	呈味氨基酸占总量(%)	38.89±0.29 ^a	38.53±0.29 ^{ab}	38.53±0.07 ^{ab}	38.72±0.27 ^{ab}	38.23±0.32 ^b

表 5 不同性腺发育阶段野生瓯江凤鲚雄鱼肌肉氨基酸组成与含量(%干重)

Tab. 5 The amino acid components in muscles of male *C. mystus* in Oujiang River at different gonad development stages (% Dry weight)

氨基酸类别 Amino acid category	氨基酸种类 Amino acid kind	性腺发育阶段 Gonad stage				
		I	II	III	IV	V
必需氨基酸EAA	亮氨酸Leu	6.96±0.00 ^a	6.87±0.03 ^a	6.91±0.04 ^a	6.49±0.07 ^b	6.06±0.22 ^c
	异亮氨酸Ile	3.84±0.12 ^a	3.76±0.15 ^a	3.73±0.10 ^a	3.59±0.11 ^a	3.32±0.23 ^b
	甲硫氨酸Met	2.07±0.02 ^a	2.01±0.04 ^{ab}	1.94±0.22 ^{ab}	1.80±0.03 ^{bc}	1.68±0.05 ^c
	苯丙氨酸Phe	3.77±0.08 ^a	3.54±0.04 ^b	3.63±0.03 ^{ab}	3.38±0.05 ^c	3.14±0.15 ^d
	苏氨酸Thr	4.03±0.08 ^a	3.98±0.04 ^a	3.95±0.06 ^a	3.68±0.08 ^b	3.55±0.03 ^c
	缬氨酸Val	4.44±0.10 ^a	4.29±0.10 ^{ab}	4.28±0.04 ^{ab}	4.07±0.09 ^b	3.84±0.20 ^c
	赖氨酸Lys	8.25±0.02 ^a	8.13±0.08 ^a	8.23±0.02 ^a	7.71±0.11 ^b	7.26±0.16 ^c
	色氨酸Trp	0.61±0.02 ^d	0.63±0.02 ^d	0.67±0.01 ^c	0.72±0.01 ^b	0.76±0.02 ^a
半必需氨基酸HEAA	组氨酸His	1.83±0.03 ^a	1.80±0.06 ^a	1.83±0.01 ^a	1.75±0.03 ^a	1.65±0.06 ^b
	精氨酸Arg	5.50±0.02 ^a	5.41±0.03 ^{ab}	5.30±0.06 ^b	4.99±0.10 ^c	4.74±0.04 ^d
	谷氨酸Glu	13.95±0.10 ^a	13.68±0.06 ^{ab}	13.56±0.09 ^b	12.80±0.21 ^c	12.15±0.24 ^d
非必需氨基酸NEAA	天冬氨酸Asp	8.75±0.26 ^a	8.86±0.04 ^a	8.75±0.04 ^a	8.20±0.12 ^b	7.83±0.32 ^c
	丝氨酸Ser	3.42±0.11 ^a	3.39±0.10 ^a	3.41±0.07 ^a	3.12±0.12 ^b	2.96±0.09 ^b
	甘氨酸Gly	4.08±0.05 ^a	4.03±0.08 ^{ab}	3.86±0.11 ^b	3.84±0.13 ^b	3.58±0.01 ^c
	丙氨酸Ala	5.28±0.02 ^a	5.20±0.07 ^a	5.25±0.08 ^a	4.93±0.12 ^b	4.65±0.08 ^c
	胱氨酸Cys	0.73±0.05 ^{ab}	0.78±0.08 ^a	0.79±0.00 ^a	0.72±0.03 ^{ab}	0.68±0.03 ^b
	酪氨酸Tyr	3.62±1.77	2.57±0.20	2.65±0.10	2.27±0.14	2.15±0.06
	脯氨酸Pro	3.06±0.00 ^a	3.02±0.04 ^a	2.96±0.07 ^a	2.75±0.07 ^b	2.62±0.00 ^c
	总氨基酸TAA	84.26±1.71 ^a	82.02±0.25 ^a	81.72±0.03 ^a	76.79±1.09 ^b	72.55±1.79 ^c
	总必需氨基酸EAA	33.95±0.11 ^a	33.20±0.28 ^a	33.33±0.30 ^a	31.43±0.34 ^b	29.61±1.01 ^c
	非必需氨基酸EAA/TAA(%)	42.89±1.61 ^a	41.54±0.23 ^a	41.22±0.23 ^a	38.64±0.70 ^b	36.62±0.69 ^c
	EAA/TAA(%)	40.30±0.69	40.48±0.27	40.79±0.36	40.94±0.29	40.80±0.41
	EAA/NEAA(%)	79.24±2.70	79.93±1.03	80.85±1.16	81.37±1.03	80.83±1.39
	呈味氨基酸含量(%)	32.06±0.25 ^a	31.78±0.15 ^a	31.42±0.08 ^a	29.78±0.55 ^b	28.22±0.62 ^c
	呈味氨基酸占总量(%)	38.06±0.93 ^a	38.75±0.17 ^a	38.44±0.1 ^a	38.77±0.19 ^a	38.90±0.12 ^a

rated fatty acid, SFA)11种, 占脂肪酸总量的44.50%—54.42%, 自 I—V 期上升了9.39%; 单不饱和脂肪酸 (Unsaturated fatty acid, UFA)5种, 占脂肪酸总量的35.47%—45.93%, 自 I—V 期下降了10.46%; 多不饱和脂肪酸(Polyunsaturated fatty acid, PUFA)9种, 占脂肪酸总量的7.99%—13.32%, 自 I—III期上升了5.33%, 而自III—V期下降了2.85%。由图 1可知, 不同性腺发育阶段凤鲚雌鱼肌肉脂肪酸含量关系为 $\sum SFA > \sum MUFA > \sum PUFA$ 。

性腺发育不同阶段的野生瓯江凤鲚雄鱼肌肉有相同种类的脂肪酸共23种, 其中 $\sum SFA$ 10种, 占脂肪酸总量的42.02%—48.92%, 自 I—V 期下降了6.90%; $\sum UFA$ 4种, 占脂肪酸总量的32.76%—44.74%, 自 I—V 期上升了11.97%; $\sum PUFA$ 9种, 占脂肪酸总量的13.48%—18.88%, 自 I—V 期下降了5.38%。由图 2可知, 不同性腺发育阶段凤鲚雄鱼肌肉脂肪

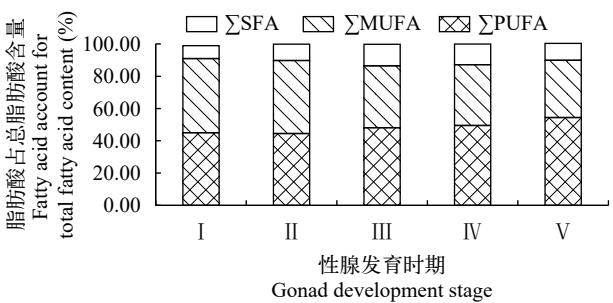


图 1 性腺发育不同阶段凤鲚雌鱼肌肉的脂肪酸含量
Fig. 1 The fatty acid components in muscles of of female *C. mystus* in Oujiang River at different gonad stages

酸含量关系为 $\sum SFA > \sum MUFA > \sum PUFA$ 。

由图 3和图 4可知, 性腺发育不同阶段的野生瓯江凤鲚肌肉SFA中主要以C14:0(肉豆蔻酸)、C16:0(棕榈酸)和C18:0(硬脂酸)为主, 雌鱼三者含量在3.42%—42.89%, 雄鱼三者含量在3.03%—

表 6 不同性腺发育阶段野生瓯江凤鲚雌、雄鱼肌肉蛋白质营养价值评分

Tab. 6 Protein nutrition value score in muscles of female and male *C. mystus* in Oujiang River at different gonad development stages

评价模式 Evaluation model	氨基酸 Amino acid	FAO评分模式 FAO scoring model	全鸡蛋蛋白评分模式 Whole egg scoring model	卵巢发育阶段 Ovarian development stage					精巢发育阶段 Testis development stage				
				I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
ASS	苏氨酸Thr	2.5		0.90	0.94	0.95	0.97	1.00	1.01	1.00	0.99	0.92	0.89
	缬氨酸Val	3.1		0.82	0.83	0.85	0.86	0.88	0.89	0.86	0.86	0.82	0.77
	甲硫氨酸Met+胱氨酸Cys	2.2		0.68	0.70	0.78	0.80	0.84	0.80	0.79	0.78	0.72	0.67
	异亮氨酸Ile	2.5		0.90	0.91	0.92	0.94	0.97	0.96	0.94	0.93	0.90	0.83
	亮氨酸Leu	4.4		0.91	0.94	0.96	0.97	1.01	0.99	0.98	0.98	0.92	0.86
	脯氨酸Pro+酪氨酸Tyr	3.8		0.90	0.96	0.96	0.97	1.02	1.21	1.00	1.03	0.93	0.87
	赖氨酸Lys	3.4		1.37	1.44	1.46	1.49	1.55	1.52	1.50	1.51	1.42	1.33
	色氨酸Trp	0.6		0.67	0.71	0.74	0.76	0.81	0.63	0.66	0.70	0.74	0.80
CS	苏氨酸Thr		2.92	1.29	1.34	1.36	1.39	1.43	1.44	1.42	1.41	1.32	1.27
	缬氨酸Val		4.10	1.04	1.06	1.08	1.09	1.12	1.14	1.10	1.10	1.04	0.98
	甲硫氨酸Met+胱氨酸Cys		3.86	0.70	0.73	0.81	0.83	0.87	0.82	0.82	0.80	0.74	0.69
	异亮氨酸Ile		3.31	1.13	1.14	1.15	1.17	1.21	1.20	1.17	1.17	1.12	1.04
	亮氨酸Leu		5.31	1.25	1.30	1.33	1.34	1.40	1.37	1.35	1.35	1.27	1.19
	脯氨酸Pro+酪氨酸Tyr		5.65	1.00	1.06	1.06	1.07	1.13	1.34	1.11	1.14	1.03	0.96
	赖氨酸Lys		4.41	1.82	1.91	1.94	1.97	2.05	2.01	1.98	2.01	1.88	1.77
	色氨酸Trp		0.99	0.64	0.68	0.71	0.73	0.78	0.61	0.63	0.67	0.72	0.76

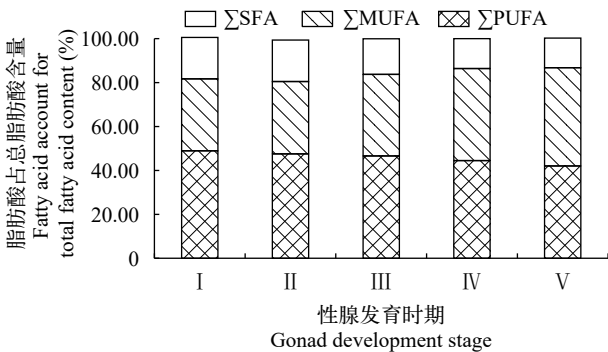


图 2 不同性腺发育阶段野生瓯江凤鲚雄鱼的脂肪酸含量

Fig. 2 The fatty acid components in muscles of of male *C. mystus* in Oujiang River at different gonad development stages

48.97%。凤鲚雌鱼在 I—V 期的发育过程中, Σ SFA 含量呈上升趋势, 其中肌肉 C14:0 和 C16:0 含量呈显著上升趋势 ($P<0.05$), 而 C18:0 无明显的改变。凤鲚雄鱼精巢发育 I—V 期过程中, Σ SFA 含量呈下降趋势, 其中肌肉 C14:0、C16:0 和 C18:0 含量下降趋势明显。

由图 5 可知, 性腺发育不同阶段的野生瓯江凤鲚的肌肉 MUFA 中主要以 C16:1 (棕榈烯酸) 和 C18:1n9c (油酸) 为主, 雌鱼二者含量在 4.75%—38.38%, 雄鱼二者含量在 4.78%—35.71%。凤鲚雌鱼在 I—V 期的发育过程中, Σ MUFA 含量呈下降

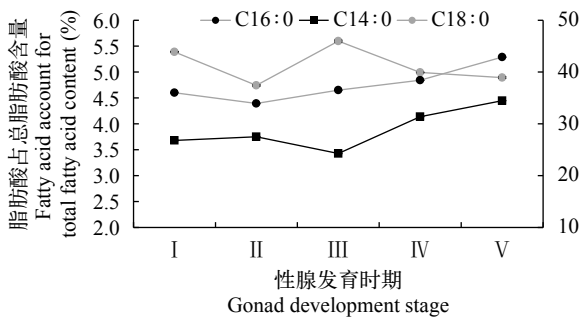


图 3 不同性腺发育阶段野生瓯江凤鲚雌鱼肌肉主要饱和脂肪酸含量

Fig. 3 The main saturated fatty acids contents in the muscle of female *C. mystus* in Oujiang River at different gonad development stages

趋势, 其中肌肉含量较高的 C18:1n9c 含量呈显著下降 ($P<0.05$), 而 C16:1 呈波动状态。在凤鲚雄鱼精巢发育 I—V 期过程中, Σ MUFA 含量呈上升趋势, 其中肌肉含量较高的 C18:1n9c 含量呈显著上升 ($P<0.05$), 而 C16:1 呈波动状态。

由图 6 可知, 性腺发育不同阶段的野生瓯江凤鲚肌肉 PUFA 中主要以 C20:5n3 (二十碳五烯酸, EPA) 和 C22:6n3 (二十二碳六烯酸, DHA) 为主, 雌鱼二者含量在 2.25%—8.85%, 雄鱼二者含量在 4.12%—12.39%。凤鲚雌鱼在 I—V 期的发育过程

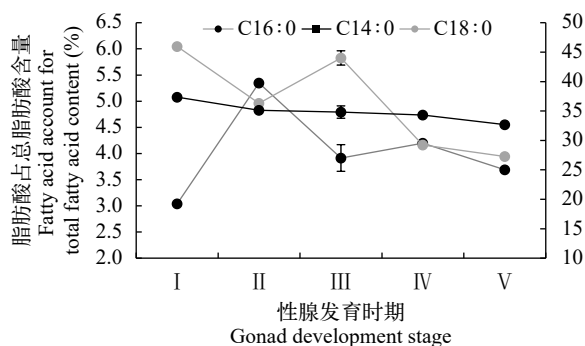


图4 不同性腺发育阶段野生瓯江凤鲚雄鱼肌肉主要饱和脂肪酸含量

Fig. 4 The main saturated fatty acids contents in the muscle of male *C. mystus* in Oujiang River at different gonad development stages

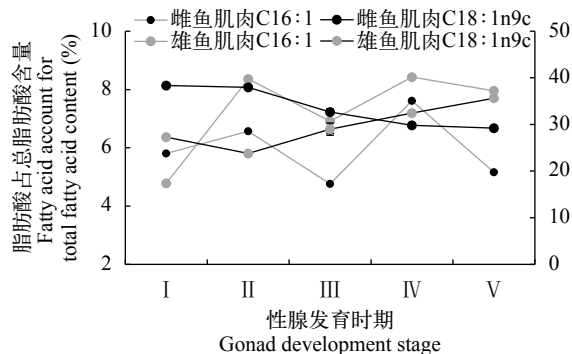


图5 不同性腺发育阶段野生瓯江凤鲚雄鱼肌肉主要饱和脂肪酸含量

Fig. 5 The main unsaturated fatty acids contents in the muscle of *C. mystus* in Oujiang River at different gonad development stages

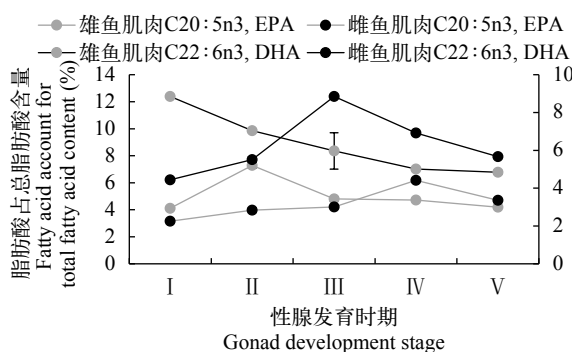


图6 不同性腺发育阶段野生瓯江凤鲚主要多不饱和脂肪酸含量

Fig. 6 The main Polyunsaturated fatty acid contents in muscles of male *C. mystus* in Oujiang River at different gonad development stages

中, Σ PUFA 含量自 I—III 期呈上升趋势, 而自 III—V 期呈下降趋势, 其中肌肉 C22:6n3 含量趋势一致, 而 C20:5n3 含量随着 I—IV 期的发育呈显著上升趋势而 V 期下降。在凤鲚雄鱼精巢发育 I—V 期过程中, Σ PUFA 含量呈下降趋势, 其中肌肉 C22:6n3 含量趋势一致, 显著性下降 ($P < 0.05$), 而 C20:

5n3 含量呈波动状态。

3 讨论

3.1 不同性腺发育阶段野生瓯江凤鲚的性成熟系数变化规律

性腺发育系数 (GSI) 是衡量鱼类性腺生长、发育的数量指标之一。 GSI 的变化能够直接反映鱼类性腺的生长和发育情况^[17], 性腺成熟系数越高, 性腺发育程度越成熟^[18]。在野生瓯江凤鲚性腺发育 I—V 期中, 雌、雄性成熟系数整体呈现上升趋势。单独从平均值来看, 凤鲚主要性腺发育时期卵巢的 GSI 值是精巢 GSI 值的 5 倍, 而且同龄雌鱼的体质量 $[(12.25 \pm 1.58) - (49.23 \pm 7.18) \text{ g}]$ 大于雄鱼凤鲚 $[(12.25 \pm 1.58) - (25.04 \pm 5.86) \text{ g}]$, 说明在性腺发育不同阶段不仅雌鱼的生长速度要明显快于雄鱼, 而且雌鱼的性腺发育要明显快于雄鱼。此发现的结果可能原因是雌雄鱼性腺发育差异, 如太平洋鳕在繁殖期间摄食明显减少, 雌性鱼类卵巢发育所需要的能量主要由肝脏提供, 并用于卵黄蛋白合成, HSI (Hepatosomatic index, 肝体指数) 和 GSI 之间存在密切关系。而雄性鱼类的 HSI 未呈明显的季节变化^[19]。松江鲈鱼性腺发育过程中雌鱼进入 V 期后 GSI 显著升高, 而雄鱼因其不存在卵黄蛋白合成的问题, GSI 会呈现与雌鱼完全相反的趋势^[20]。

3.2 不同性腺发育阶段野生瓯江凤鲚雌雄鱼肌肉营养组成的变化规律及比较

水分是动物体组成比例最大的组成部分, 动物体内水分含量波动趋势在一定程度上可以反映出整体代谢水平^[21]。凤鲚雌鱼肉中水分含量从 I—V 期不断增加, 在 V 期达到水分含量最高 $(81.34 \pm 0.39)\%$ 显著高于 I 期 $(78.77 \pm 0.62)\%$ ($P < 0.05$), 预示着在性腺发育过程中鱼体代谢强度不断增强。而凤鲚雄鱼肉中从 I—V 期不断减少, 在 V 期达到水分含量最低 $(76.47 \pm 0.28)\%$ 显著低于 I 期 $(81.57 \pm 0.35)\%$ ($P < 0.05$)。这说明野生瓯江凤鲚雌鱼在进入生殖后期逐渐减少摄食的阶段, 能量主要来源前期积累的肝糖原, 用于卵黄积累提高整体代谢水平。长江刀鲚 (*Yangtze River Coilia ectenes*) 鱼肉中水分含量在 II—V 期不断增加, 在 V 期达到最高, 预示着在性腺发育过程中鱼体代谢强度不断增强^[21]。

脂肪积累的程度将是决定鱼类开始生殖洄游的关键因素, 这些脂肪将提供它们在以后的生殖洄游期间性腺发育、基础代谢及洄游所需的能量等一切需要^[22-24]。在野生瓯江凤鲚雌鱼卵巢发育 I—V 期的过程中, 凤鲚肌肉中脂肪含量呈现显著

下降趋势($P<0.05$), 肌肉中蛋白质含量呈显著上升趋势($P<0.05$)。吴利红等^[25]研究表明凤鲚和刀鲚雌鱼在性腺发育早期躯干部都聚集了91%以上的体内脂肪。长江刀鲚进入河口以后不再进食, 而是依靠体内积累的能量(脂肪)完成整个生殖洄游导致鱼肉中脂肪含量的逐渐下降^[26]。这说明短距离溯河洄游产卵繁殖习的性凤鲚, 体内大部分脂肪用于性腺发育, 躯干脂肪很快消耗的现象。

蛋白质营养价值主要取决于必需氨基酸的种类、数量和组成比例。在野生瓯江雌、雄凤鲚性腺发育(I—V期)过程中, 肌肉EAA/TAA分别为 $(37.88\pm0.32)\%$ — $(41.66\pm0.44)\%$ 、 $(40.30\pm0.69)\%$ — $(40.94\pm0.29)\%$, 肌肉EAA/NEEA分别为 $(81.14\pm1.10)\%$ — $(82.47\pm1.39)\%$ 、 $(79.24\pm2.70)\%$ — $(81.37\pm1.03)\%$ 。根据FAO/WHO的理想模式, 质量较好的蛋白质其组成的氨基酸EAA/TAA为40%左右, EAA/NEEA则在60%以上^[27]。长江口凤鲚群体肌肉和卵巢必需氨基酸占氨基酸总量比例为40.06%和42.89%^[12]。不同性腺发育阶段野生瓯江凤鲚雌、雄鱼肌肉氨基酸组成无太大变化, 说明不同性别及发育阶段的野生瓯江凤鲚肌肉组织的氨基酸组成较为恒定, 反映了物种氨基酸组成的保守性^[28]。此外, 性腺发育不同阶段雌、雄凤鲚肌肉中含量较高的氨基酸为Glu、Asp和Lys, 而Trp、His和Cys含量较低, 这含量特征与凤鲚肌肉和刀鲚、湖鲚肌肉中的含量基本一致^[13]。

野生瓯江凤鲚雌鱼肌肉中呈味氨基酸含量随着性腺发育(I—V期)呈增加趋势 $[(29.25\pm0.18)\%$ — $(31.87\pm0.31)\%]$ ($P<0.05$), 雄鱼肌肉中呈味氨基酸含量随着性腺发育(I—V期)呈下降趋势 $[(32.06\pm0.25)\%$ — $(28.22\pm0.62)\%]$ ($P<0.05$)。野生与养殖长江刀鲚、海水刀鲚及太湖刀鲚的呈味氨基酸含量丰富, 海水刀鲚39.81%, 野生长江刀鲚39.74%, 养殖长江刀鲚39.31%, 太湖刀鲚38.57%^[29—31]。

蛋白质营养价值的高低取决于必需氨基酸的含量和组成的比例, 氨基酸评分(AAS)和化学评分(CS)从不同的角度反映了蛋白质构成和利用率的关系。一种营养价值较高的食物蛋白质所含的必需氨基酸种类不仅要齐全, 而且必需氨基酸之间的比例也是适宜, 最好能与人体需要相符合, 这样必需氨基酸吸收最完全, 营养价值最高。两种评分模式都是Lys的值最高, 野生瓯江凤鲚雌鱼肌肉Lys营养价值评分为1.37—2.05; 野生瓯江凤鲚雄鱼肌肉Lys营养价值评分为1.33—2.01。

生殖营养学是水生动物营养学研究中的重点研究领域之一^[32, 33], 脂肪酸营养已成为鱼类生殖营

养学研究中的热点之一, 特别在鱼类生殖调控方面具有重要的生理作用^[34], 组织中重要脂肪酸如DHA和EPA含量高低能直接影响鱼类的繁殖性能或繁殖力^[35]。在野生瓯江凤鲚精巢发育I—V期中, Σ SFA含量呈显著性下降趋势, 其中主要的脂肪酸C14:0、C16:0和C18:0趋势一致。C16:0在美国西鲱雌性亲鱼^[36]和淡水鳗(*Anguilla* spp.)^[37]卵巢发育过程中发挥着机体能量代谢、转移和利用的重要作用。在野生瓯江凤鲚精巢发育I—V期中 Σ MUFA含量呈显著性下降趋势, 其中主要的脂肪酸C18:1n9c趋势一致。这说明MUFA被认为是优先被分解为机体提供能量的脂肪酸^[38], 其中2种主要脂肪酸在瓯江凤鲚生殖洄游过程中主要的供能脂肪酸。长江刀鲚^[39]和日本鳗鲡^[40]雌性个体MUFA的C16:1和C18:1在生殖洄游过程中的性腺发育和基础代谢有很大关系。太平洋鲱在性腺发育前期作为能量代谢主要成分C18:1n-9含量较高, 而繁殖期耗尽了C18:1n-9的储备并优先转移用于合成卵巢相关物质和能量代谢^[36]。野生瓯江凤鲚雌鱼肌肉脂肪酸种类高于雄鱼, 野生瓯江凤鲚雌鱼肌肉DHA呈先上升(I—III期)后下降(III—V期)趋势, 推测可能的原因是在性腺发育过程中, 机体会先合成使其产生、积累在鱼肉中, 产卵时转移至卵巢供产卵所需, 影响卵子质量、排卵和胚胎发育具有重要影响。野生雌性沙丁鱼(*Sardinia melamosticta*)卵细胞的MUFAs和PUFAs的含量高度依赖于肌肉脂肪酸的贮存^[41]。美洲沙鱼(*Alosa sapidissima*)在卵巢发育过程中, 肌肉大量的EPA、DHA和ARA向卵巢转移^[42]。长江下游雌性刀鲚生殖洄游过程中脂肪酸与繁殖活动关系密切, 肌肉中C18:1n9c下降了86.36%, 卵巢中则增加了2.62倍; 肌肉中DHA含量减少了2.6倍, 而卵巢中却增加了近3倍^[39]。美国西鲱^[31]雌性亲鱼卵巢发育过程(II—VI期)肝脏、肌肉DHA下降而卵巢DHA含量上升, 而EPA含量保持相对稳定。野生瓯江凤鲚雄鱼肌肉DHA含量呈下降趋势, 下降了45%。Baeza等^[43]饲料中EPA和DHA在欧洲鳗鲡雄鱼亲鱼性腺发育过程中调节雄激素的合成, 特别是精子最后的成熟阶段。

参考文献:

- [1] Zhang G X, Hua J D. The change of *Coilia mystus* resources in the Yangtze River Estuary and estimation of its maximum sustainable yield [J]. *Fisheries Science Technology Information*, 1990, 17(5): 130-134. [张国祥, 华家栋. 长江口凤鲚的变动及其最大持续产量的估算 [J]. 水产科技情报, 1990, 17(5): 130-134.]
- [2] Zeng Q, Dong F Y. Study on the biological characteris-

- tics and factor correlation of *Coilia mystus* propagating population [J]. *Journal of Lake Sciences*, 1993, **5**(2): 164-170. [曾强, 董方勇. 凤鲚繁殖群体的生物学特性及因数关系的研究 [J]. *湖泊科学*, 1993, **5**(2): 164-170.]
- [3] Liu K, Zhang M Y, Xu D P, *et al.* Studies on resource change and MSY of *Coilia mystus* in the Yangtze River estuary [J]. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 2004, **13**(4): 298-303. [刘凯, 张敏莹, 徐东坡, 等. 长江口凤鲚资源变动及最大持续产量研究 [J]. *上海海洋大学学报*, 2004, **13**(4): 298-303.]
- [4] Ni Y. Fishery resource conservation of *Coila mystus* in the Changjiang estuary [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 1999, **6**(5): 75-77. [倪勇. 长江口区凤鲚的渔业及其资源保护 [J]. *中国水产科学*, 1999, **6**(5): 75-77.]
- [5] Shi W G, Wang B. Status quo of tapertail anchovy resource in the estuaries of the Yangtze River [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2002, **26**(6): 648-653. [施炜纲, 王博. 长江河口区凤鲚的资源现状 [J]. *水生生物学报*, 2002, **26**(6): 648-653.]
- [6] Zheng Y. Evaluation of *Coilia mystus* in the Yangtze River estuary [J]. *Journal of Anhui Agriculture Sciences*, 2012, **40**(35): 17140-17143. [郑颖. 长江口凤鲚的资源评价 [J]. *安徽农业科学*, 2012, **40**(35): 17140-17143.]
- [7] Xue L J, Zhou Y D, Xu K D, *et al.* Estimation of biological parameter, biomass, sustaining yield for *Coilia mystus* in the offshore of Zhoushan [J]. *Journal of Fujian Fisheries*, 2011, **33**(2): 18-32. [薛利建, 周永东, 徐开达, 等. 舟山近海凤鲚生长参数及资源量、持续渔获量分析 [J]. *福建水产*, 2011, **33**(2): 18-32.]
- [8] Guan W B, Chen H H, He W H. Reproductive characteristics and condition status of *Coilia mystus* (Linnaeus) in the Changjiang River estuary [J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2011, **32**(5): 1-9. [管卫兵, 陈辉辉, 何文辉. 长江口凤鲚生殖群体的动态特征 [J]. *渔业科学进展*, 2011, **32**(5): 1-9.]
- [9] Guo A, Chen F, Jin H W, *et al.* Food composition and seasonal changes of *Coilia mystus* in the East China Sea and Yellow Sea [J]. *Marine Fisheries*, 2014, **36**(5): 402-408. [郭爱, 陈峰, 金海卫, 等. 东、黄海凤鲚的食物组成及其食性的季节变化 [J]. *海洋渔业*, 2014, **36**(5): 402-408.]
- [10] Xu D P, Liu K, Zhang M Y, *et al.* Analysis of the muscle nutritive composition of *Coilia ectenes* spawning stock in Yangtze River [J]. *Journal of Yunnan Agricultural University*, 2009, **24**(6): 850-855. [徐东坡, 刘凯, 张敏莹, 等. 长江刀鲚产卵群体肌肉营养成分分析 [J]. *云南农业大学学报*, 2009, **24**(6): 850-855.]
- [11] Liu K, Duan J R, Xu D P, *et al.* Biochemical components and energy density in muscles of *Coilia mystus*, *C. ectenes* and *C. ectenestaihuensis* in spawning season in the lower reaches of Yangtze River [J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2009, **44**(4): 118-124. [刘凯, 段金荣, 徐东坡, 等. 长江下游产卵期凤鲚、刀鲚和湖鲚肌肉生化成分及能量密度 [J]. *动物学杂志*, 2009, **44**(4): 118-124.]
- [12] Liu K, Xu D P, Duan J R, *et al.* Biochemical components and energy density of muscle and ovary of *Coilia mystus* in the estuary of Yangtze River [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2009, **18**(3): 302-307. [刘凯, 徐东坡, 段金荣, 等. 长江口凤鲚产卵群体肌肉及卵巢生化组成和能量密度 [J]. *上海海洋大学学报*, 2009, **18**(3): 302-307.]
- [13] Qu W, Song C, Zhao F, *et al.* Evaluation of nutritive quality and nutrient component of adult female and male *Coilia mystus* collected from the Yangtze Estuary [J]. *Marine Fisheries*, 2017, **39**(3): 297-305. [瞿文, 宋超, 赵峰, 等. 长江口凤鲚雌雄成体营养成分分析与比较 [J]. *海洋渔业*, 2017, **39**(3): 297-305.]
- [14] Yu X, Tang W Q, Wang L. Crude lipid transition in tissues during ovary development of *Coilia mystus* living in the Estuary of Yangtze River [J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2014, **49**(6): 867-874. [于晓, 唐文乔, 王磊. 长江口凤鲚繁殖群体卵巢发育过程中的体内脂肪转移 [J]. *动物学杂志*, 2014, **49**(6): 867-874.]
- [15] FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations)/WHO (World Health Organization). Energy and Protein Requirements [M]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1973: 63.
- [16] National Institute for Nutrition and Food Safety, Chinese Center for Disease Control and Prevention. Food Composition Table (National Representation) [M]. Beijing: People's Medical Press, 1991: 30—82. [中国预防医学科学院营养与食品卫生研究所. 食物成分表(全国代表值) [M]. 北京: 人民卫生出版社, 1991: 30—82.]
- [17] Yang X M, Wu M C, Zhang L, *et al.* Annual change of gonadal development in *Holothuria scabra* from Hainan island [J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2015, **46**(6): 1117-1122. [杨学明, 吴明灿, 张立, 等. 海南糙海参性腺发育的周年变化 [J]. *南方农业学报*, 2015, **46**(6): 1117-1122.]
- [18] He W, Li J L. The gonad development of *Coilia ectenes* in Yangtze River [J]. *China Fisheries*, 2006(5): 70-72. [何为, 李家乐. 长江刀鲚性腺发育规律的研究 [J]. *中国水产*, 2006(5): 70-72.]
- [19] Jiang Z Q, Zhang Z M, Zhao C, *et al.* The gonad development and nutrition source of Pacific cod *Gadus macrocephalus* [J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2012, **27**(4): 315-320. [姜志强, 张志明, 赵翀, 等. 太平洋鲑性腺发育及营养来源的初步研究 [J]. *大连海洋大学学报*, 2012, **27**(4): 315-320.]
- [20] Zhao Y J, Zhang M Z, Wen H S. Histological observation of gonad development in *Trachidermus fasciatus* [J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2013(1): 16-22. [赵一杰, 张美昭, 温海深. 松江鲈鱼性腺发育组织学观察 [J]. *海洋湖沼通报*, 2013(1): 16-22.]
- [21] Teng J, Tao N P, Li Y Q. Analysis and evaluation of nutritional composition of Yangtze River-coilia meat at dif-

- ferent ovarian development stages [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2016, **32**(9): 267-274. [滕静, 陶宁萍, 李玉琪. 卵巢发育不同阶段长江刀鲚肌肉营养成分的分析及评价 [J]. 现代食品科技, 2016, **32**(9): 267-274.]
- [22] Shi Z H, Huang X X, Li W W, *et al.* Changes of body lipid content and fatty acid profile in cultured juvenile silver *Pampus argenteus* [J]. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 2008, **17**(4): 435-439. [施兆鸿, 黄旭雄, 李伟微, 等. 养殖银鲴幼鱼体脂含量及脂肪酸组成的变化 [J]. 上海海洋大学学报, 2008, **17**(4): 435-439.]
- [23] Mourente G, Megian C, Diaz-salvago E. Lipids in female northern Bluefin tuna (*Thunnus thynnus* L.) during sexual maturation [J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2001, **24**(4): 351-363.
- [24] Zaboukas N, Miliou H, Megalofouou P, *et al.* Biochemical composition of the Atlantic binito *Sard asarda* from the Aegean Sea (eastern Mediterranean Sea) in different stages of sexual maturity [J]. *Journal of Fish Biology*, 2006, **69**(2): 347-362.
- [25] Wu L H, Tang W Q, Zhang Y. Research on the differences of anadromous migratory distance between *Coilia mystus* and *Coilia nasus* based on the transfer process of body lipid [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2017, **41**(2): 212-220. [吴利红, 唐文乔, 张亚. 从体内脂肪的转移过程探讨凤鲚和刀鲚溯河产卵洄游距离的差异性 [J]. 水产学报, 2017, **41**(2): 212-220.]
- [26] Guan W B, Chen H H. Energy dynamics in anadromous *C. ectens* during spawning and overwintering in Yangtze Estuary [J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2014(4): 35-40. [管卫兵, 陈辉辉. 长江口刀鲚洄游群体和越冬群体能量利用方式 [J]. 海洋湖沼通报, 2014(4): 35-40.]
- [27] Song C, Zhao F, Liu J Y, *et al.* Comparison of nutritive components in muscle of juvenile *Siganus guttatus* fed with *Enteromorpha prolifera* and artificial feed [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2017, **29**(6): 2047-2056. [宋超, 赵峰, 刘鉴毅, 等. 摄食浒苔和人工饵料的点篮子鱼幼鱼肌肉营养成分比较 [J]. 动物营养学报, 2017, **29**(6): 2047-2056.]
- [28] Rønnestad I, Thorsen A, Finn R N. Fish larval nutrition: a review of recent advances in the roles of amino acid [J]. *Aquaculture*, 1999(17): 201-216.
- [29] Tang X, Xu G C, Xu P, *et al.* A comparison of muscle nutrient composition between wild and cultured *Coilia nasus* [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2011, **23**(3): 514-520. [唐雪, 徐钢春, 徐跑, 等. 野生与养殖刀鲚肌肉营养成分的比较分析 [J]. 动物营养学报, 2011, **23**(3): 514-520.]
- [30] Duan J R, Liu K, Xu D P, *et al.* Comparative study on the muscle composition of Lake Anchovy (*Coilia eetenestaihuensis*) in different growth stages [J]. *Journal of Yunnan Agricultural University*, 2009, **24**(5): 695-699, 711. [段金荣, 刘凯, 徐东坡, 等. 湖鲚不同生长阶段鱼体肌肉组成的比较研究 [J]. 云南农业大学学报, 2009, **24**(5): 695-699, 711.]
- [31] Xu G C, Gu R B, Zhang C X, *et al.* Comparison and evaluation of nutrient composition of two ecological groups of Japanese grenadier anchovy-river-anchovy and sea-anchovy [J]. *Marine Fisheries*, 2009, **31**(4): 401-409. [徐钢春, 顾若波, 张呈祥, 等. 刀鲚两种生态类群——“江刀”和“海刀”鱼肉营养组成的比较及品质的评价 [J]. 海洋渔业, 2009, **31**(4): 401-409.]
- [32] Callan C K, Laidley C W, Kling L J, *et al.* The effects of dietary HUFA level on flame angelfish (*Centropyge loriculus*) spawning, egg quality and early larval characteristics [J]. *Aquaculture Research*, 2014, **45**(7): 1176-1186.
- [33] Zakeri M, Kochanian P, Marammazi G, *et al.* Effects of dietary n-3 HUFA concentrations on spawning performance and fatty acids composition of broodstock, eggs and larvae in yellowfin sea bream, *Acanthopagrus latus* [J]. *Aquaculture*, 2011, **310**(3-4): 388-394.
- [34] Zhang M Z, Li G L, Zhu C H, *et al.* Effects of fish oil on ovarian development in spotted scat (*Scatophagus argus*) [J]. *Animal Reproduction Science*, 2013, **141**(1—2): 90-97.
- [35] Montero D, Basurco B, Nengas I, *et al.* Mediterranean Fish Nutrition [M]. Zaragoza: Ciheam, 2005: 10-11.
- [36] Huynh M D, Kitts D D, Hu C, *et al.* Comparison of fatty acid profiles of spawning and non-spawning pacific herring, *Clupea harengus pallasi* [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 2007(146): 504-511.
- [37] Heinsbroek L T N, Støttrup J G, Jacobsen C, *et al.* A review on broodstock nutrition of marine pelagic spawners: The curious case of the freshwater eels (*Anguilla* spp.) [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2013(19): 1-24.
- [38] McKenzie D J, Piraccini G, Piccolella M, *et al.* Effects of dietary fatty acid composition on metabolic rate and responses to hypoxia in the European eel (*Anguilla anguilla*) [J]. *Fish Physiology & Biochemistry*, 2000, **22**(4): 281-296.
- [39] Li L, Tang W Q, Zhang Y. Changes of fatty acid content and its component in different tissues during spawning migration processes of female *Coilanasus* in the lower reaches of the Yangtze River [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2019, **43**(4): 790-800. [李丽, 唐文乔, 张亚. 长江下游雌性刀鲚生殖洄游过程中脂肪酸含量及其组分的变化 [J]. 水产学报, 2019, **43**(4): 790-800.]
- [40] Liu L, Li R, Zhang J M, *et al.* Composition and metabolism of lipids and fatty acids in muscle of female *Anguilla japonica* during the period of artificial inducing ovarian maturation [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2009, **33**(6): 1011-1019. [柳凌, 李荣, 张洁明, 等. 日本鳗鲡雌鳗卵巢发育期间肌肉脂肪酸的组成及消耗 [J]. 水生生物学学报, 2009, **33**(6): 1011-1019.]

- [41] Bell J G, Tocher D R, Sargent J R. Effect of supplementation with 20: 3(n-6), 20: 4(n-6) and 20: 5(n-3) on the production of prostaglandins E and F of the 1-, 2- and 3-series in turbot (*Scophthalmus maximus*) brain astroglial cells in primary culture [J]. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Lipids and Lipid Metabolism*, 1994, **1211**(3): 335-342.
- [42] Gao X Q, Fei F, Liu Z F, *et al.* Lipid content and fatty acid composition in female American shad, *Alosa sapidissima*, at different stages of ovarian development under reared conditions [J]. *Aquaculture Research*, 2019(50): 439-448.
- [43] Bezar R, Penaradad S, Vichezm C, *et al.* Exploring correlations between sex steroids and fatty acids and their potential roles in the induced maturation of the male European eel [J]. *Aquaculture*, 2015(435): 328-335.

ANALYSIS AND EVALUATION OF NUTRITIONAL COMPOSITION OF WILD *COILIAMYSTUS* IN OUJIANG RIVER AT DIFFERENT GONADAL DEVELOPMENT STAGES

HU Yuan^{1,2,3}, ZHOU Chao-Sheng^{1,2}, ZHU Jie^{1,2}, KE Ai-Ying^{1,2}, ZHENG Yi-Nuo^{1,2}, WU Yue^{1,2}, HU Zhong-Jiang⁴, LIU Zhi-Jian⁴ and GUO An-Tuo⁴

(1. Zhejiang Mariculture Research Institute, Wenzhou 325005, China; 2. Zhejiang Key Laboratory of Exploitation and Preservation of Coastal Bio-resource, Wenzhou 325005, China; 3. University of Ningbo, Ningbo 315211, China; 4. Wenzhou Fishery Technology Promotion Station, Wenzhou 325003, China)

Abstract: This study analyzed the gonadal development and evaluated muscle nutrient composition of wild *Coilia mystus* from Oujiang River at different gonad development stages (stage I, stage II, stage III, stage IV and stage V). Result revealed that during the development of gonads from stage I to stage V, the maturity coefficient of female and male wild *Coilia mystus* from Oujiang River both increased, and the *GSI* value of phoenix anchovy ovaries was 5 times that of testis. During ovary development stage I to V, crude fat content decreased significantly, and crude protein and water increased significantly ($P < 0.05$). During sperm development stage I to V, crude fat content increased significantly, crude protein and moisture decreased significantly ($P < 0.05$), and the ash content first increased and then decreased, indicating that fat is the main energy supply material during ovary development. The amino acid content of female *Coilia mystus* muscle increased significantly from stage I to V of ovarian development ($P < 0.05$), and the amino acid content of male *Coilia mystus* decreased significantly from stage I to V of testis development ($P < 0.05$). However, the amino acid composition of each reproductive stage was relatively stable. The ratios of total essential amino acids to total amino acids of muscles of female and male fish were $(37.88 \pm 0.32)\%$ — $(41.66 \pm 0.44)\%$, $(40.30 \pm 0.69)\%$ — $(40.94 \pm 0.29)\%$, respectively. According to the standards of amino acid score (AAS) and chemical score (CS), the first restrictive amino acids in the muscles of female and male *Coilia mystus* at different gonadal development stages are tryptophan, and the second restrictive amino acids are methionine Acid (Met)+Cysine (Cys). During the period of ovary development from I to V, the most abundant C16:0 and C18:1 in the reproductive stage showed a downward trend, which may be the main energy-supplying fatty acids. The main fatty acid DHA of polyunsaturated fatty acids showed an upward trend and then a downward trend. During the first to fifth stages of testis development, polyunsaturated fatty acids showed a downward trend. Therefore, in the process of reproduction, the developmental characteristics and changes of muscle nutrition composition of wild Oujiang *Coilia mystus* are closely related to the reproductive habits of reproductive migration spawning. Mastering the pattern of gonad development is the basis for artificial reproduction of *Coilia mystus*, and understanding its nutritional components is the prerequisite for scientifically guiding a reasonable diet. These findings provide scientific basis for the further development of artificial breeding practice of Oujiang *Coilia mystus*.

Key words: *Coilia mystus*; Gonad development; Muscle; Nutrition components analysis; Maturity coefficient; Amino acid content