

不同年龄和性腺发育阶段圆口铜鱼营养成分分析

董纯¹, 罗安红², 陈小娟¹, 万成炎¹, 唐会元¹, 杨志¹

(1. 水利部中国科学院水工程生态研究所, 水利部水工程生态效应与生态修复重点实验室, 湖北武汉 430079;

2. 十堰市农产品质量检验检测所, 湖北十堰 442000)

摘要: 由于水电梯级开发和过度捕捞等人类活动影响, 长江上游珍稀特有鱼类圆口铜鱼(*Coreius guichenoti*)资源量显著下降。增殖放流是保护该物种的有效途径之一, 而人工繁育过程中为圆口铜鱼提供营养全面的饲料对其性腺发育至关重要。通过分析比较不同年龄和性腺发育阶段的圆口铜鱼肌肉营养成分、肌肉和性腺氨基酸组成, 可为其人工饲料的开发提供基础数据。结果显示:(1)随着年龄增长, 圆口铜鱼肌肉粗蛋白、粗脂肪和氨基酸含量均呈先降低、后增加的趋势;(2)性腺从II期到IV期的发育过程中, 圆口铜鱼肌肉粗蛋白、粗脂肪和氨基酸含量均升高;(3)性腺中谷氨酸和亮氨酸在所有氨基酸中的占比较高, 分别为9.82%和6.74%, 其中10种氨基酸的含量、必需氨基酸总量和氨基酸总量均显著低于肌肉组织中的含量($P<0.05$), 而每100 g蛋白质中脯氨酸(3.19±0.22) g和丝氨酸(3.56±0.27) g含量显著高于肌肉组织中的含量($P<0.05$)。研究表明, 圆口铜鱼肌肉营养成分、氨基酸组成与其年龄和发育期有着密切联系。随着性腺发育, 其肌肉粗蛋白、粗脂肪和氨基酸含量呈增加趋势, 谷氨酸、亮氨酸和脯氨酸在圆口铜鱼性腺发育过程中可能起关键作用。

关键词: 圆口铜鱼; 年龄组成; 性腺发育; 营养成分

中图分类号: Q493.99 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-3075(2022)02-0108-08

随着经济发展和生活水平的提高, 人们对高营养价值食品的需求越来越高。蛋白质是食物营养的重要成分, 而氨基酸是构成蛋白质的基本单位, 分析蛋白质中氨基酸组成对食品营养价值评价具有重要意义。鱼类营养丰富, 富含蛋白质, 深受消费者青睐。有研究表明, 鱼类营养与其年龄和发育阶段密切相关(Guan et al, 2018)。许淑英等(1998)研究发现, 随着年龄增长, 广东鲂(*Megalobrama hoffmanni*)蛋白质含量逐渐增加, 而水分和脂肪含量逐渐减少; 幼鱼阶段肌肉蛋白质和脂肪含量持续下降(Taranger et al, 2010; 黄旭雄等, 2014)。卵巢从III期发育到V期的过程中, 银鲴(*Pampus argenteus*)肌肉氨基酸总量显著降低(黄旭雄等, 2009)。可见年龄和性腺发育阶段是影响鱼类营养组成的重要因素。

圆口铜鱼(*Coreius guichenoti*)隶属于鲤形目(Cypriniformes)、鮡亚科(Gotioniae)、铜鱼属(*Coreius*), 是长江上游特有鱼类之一, 具有较高的经

济价值(刘乐和等, 1990; 丁瑞华, 1994); 随着金沙江梯级电站开发运行和过度捕捞等人类活动影响, 其栖息地减少、洄游通道受阻, 繁殖受到一定程度的影响, 资源量不断衰减。近年来, 许多学者在圆口铜鱼资源量(熊飞等, 2014)、早期资源(高少波等, 2015)、栖息生境(杨志等, 2017)、繁殖生物学(杨志等, 2018; Zhang et al, 2018)、遗传多样性(徐树英等, 2007; 熊美华等, 2018)及人工繁育(鲁雪报等, 2016; 董纯等, 2019)等方面开展了相关研究, 但关于不同年龄和性腺发育阶段的营养成分报道甚少。本文比较分析了不同年龄和性腺发育阶段圆口铜鱼的一般营养成分和氨基酸组成, 旨在为其性腺发育营养需求提供基础数据, 同时对提高人工养殖效率和性腺发育成熟度、扩大增殖放流规模具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 实验鱼采样

实验鱼养殖于长江干流泸州网箱船(24.0 m×6.0 m×2.7 m), 船箱体水深2.2 m, 侧面和底部均匀钻有1.5 cm的孔径, 生长环境为长江自然水温和水流。每天5:00~7:00和17:00~20:00, 按鱼体重的1%~2%少量多次投喂“通威”人工配合饲料。2018年5月从网箱船中选取体质健壮、健康无伤的人工养殖圆口铜鱼38尾用于实验。测量其体重、体长和全长等常规生

收稿日期: 2020-02-11 修回日期: 2021-09-28

基金项目: 水利部项目“三峡库区鱼类资源保护的生态调度综合技术研究(续2018)”。

作者简介: 董纯, 1986年生, 女, 助理研究员, 主要从事水生态和鱼类保护研究。E-mail: dongc1314@163.com

通信作者: 陈小娟, 1981年生, 女, 研究员, 主要从事水生态保护和修复研究。E-mail: chenxiaojuan@mail.ihe.ac.cn

物学数据,体重精确到0.1 g,体长和全长精确到1 mm。在背鳍起点正下方与侧线上方中间摘取5~10枚正常鳞片,编号带回实验室进行年龄鉴定。之后取背部肌肉,将其冷冻带回实验室;同时对鱼体进行解剖,参考殷名称(1995)的方法鉴定其性别和性腺发育期,并将III期和IV期雌鱼性腺冷冻保存带回实验室。

1.2 样品处理

1.2.1 年龄鉴定 用清水冲洗鳞片表面胶质和污物,固定于载玻片上,采用SZ61TR体视显微镜观察,使用YM200数码成像系统软件保存图像。参照邓中焜等(1981)的方法鉴定年龄,以元月1日为年龄递增日期划分年龄组,如已有年轮数为a,若在第a个年轮的外侧新年轮形成后外缘有部分环片出现,将年龄计为a⁺,若在第a个年轮的外侧新年轮尚未完全形成但已出现较少密带,则将年龄计为a⁺,即0⁺~1龄为1龄,1⁺~2龄为2龄,依此类推。同一样本分别由3人鉴定,当结果不一致时,查阅文献讨论后确定。

1.2.2 营养成分分析 肌肉解冻后使用组织捣碎匀浆机制成肉糜,采用冷冻干燥法测定水分,之后经组织破碎机制成粉末。采用凯氏定氮法测定粗蛋白含量,索氏抽提法测定粗脂肪含量,550℃高温灼烧法测定灰分含量。每个样品测2个重复,当重复性不理想时重新测定,以保证结果的可靠性。

1.2.3 氨基酸组成分析 依据年龄和性腺发育期选取22尾圆口铜鱼,将其肌肉和性腺采用冷冻干燥法去除水分。参照国标GB5009.124-2016,采用氨基酸自动分析仪测定其肌肉和性腺氨基酸含量,色氨酸在酸水解过程中被破坏,未测。

1.3 氨基酸评价方法

根据联合国粮农组织/世界卫生组织(FAO/WHO, 1973)建议的氨基酸评分标准模式和全鸡蛋蛋白模式(王光亚, 1991),分别按照下式计算氨基酸分(Amino acid score, AAS)、化学分(Chemical score, CS)、必需氨基酸指数(Essential amino acid index, EAAD):

$$AAS = \frac{\text{待测蛋白氨基酸含量}}{\text{FAO/WHO评价模式中同种氨基酸含量}} \quad (1)$$

$$CS = \frac{\text{待测蛋白氨基酸含量}}{\text{全鸡蛋蛋白质中同种氨基酸含量}} \quad (2)$$

$$EAAD = n \sqrt{\frac{100A}{AE} \times \frac{100B}{BE} \times \frac{100C}{CE} \times \dots \times \frac{100J}{JE}} \quad (3)$$

式中:氨基酸含量(mg/g)=鲜样氨基酸百分含量/鲜样粗蛋白百分含量 $\times 6.25 \times 1000$, n为比较的必需氨基酸个数, A、B、C、…、J为鱼肌肉蛋白质的必需氨基酸含量, AE、BE、CE、…、JE为全鸡蛋蛋白质的必需氨基酸含量。

1.4 数据统计

使用软件SPSS 17.0对数据进行单因素方差分析(One-way ANOVA);当方差不齐时,数据对数转换后再进行统计分析。若差异显著,则进行Tukey多重比较(Tukey HSD test),显著水平为 $P < 0.05$ 。实验所得数据表示为(平均值 \pm 标准误)(Mean \pm SE)。

2 结果与分析

2.1 年龄与鱼体营养成分

各年龄组圆口铜鱼体重、体长、全长和肌肉一般营养成分见表1。不同年龄组之间,圆口铜鱼肌肉水分、粗蛋白、粗脂肪和粗灰分含量均没有显著性差异($P > 0.05$),水分含量呈先增加、后降低的趋势,粗蛋白、粗脂肪和粗灰分含量呈先降低、后增加的趋势。

表1 不同年龄组圆口铜鱼的体重、体长、全长和肌肉(湿重)一般营养组成

Tab.1 Body weight, body length, total length and nutrient contents of *C. guichenoti* muscle (fresh weight) for each age group

指标	年龄组		
	6龄	7龄	8龄
样本/尾	6	7	3
体重/g	577.32 \pm 47.05	559.80 \pm 43.42	640.10 \pm 5.77
体长/mm	317.50 \pm 3.39	317.86 \pm 6.25	329.00 \pm 3.21
全长/mm	369.50 \pm 3.73	362.14 \pm 7.31	375.00 \pm 2.89
水分/%	77.27 \pm 2.94	80.70 \pm 1.98	79.45 \pm 1.24
粗蛋白/%	15.51 \pm 1.13	13.79 \pm 0.95	14.28 \pm 0.57
粗脂肪/%	5.80 \pm 1.90	4.30 \pm 1.08	5.40 \pm 0.62
粗灰分/%	1.13 \pm 0.09	1.07 \pm 0.10	1.21 \pm 0.03

2.2 性腺发育与鱼体营养成分

不同发育期的圆口铜鱼体重、体长和全长呈增加趋势(表2)。随着性腺的发育,圆口铜鱼肌肉含水量呈降低趋势,粗蛋白、粗脂肪和粗灰分含量呈增加趋势,但无显著性差异($P > 0.05$)。

表2 不同性腺发育期圆口铜鱼的体重、体长、全长和肌肉(湿重)一般营养组成

Tab.2 Body weight, body length, total length and nutrient content of *C. guichenoti* muscle (fresh weight) at different stages of gonad development

指标	性腺发育		
	II期	III期	IV期
样本/尾	6	3	3
体重/g	518.95 \pm 43.73	505.40 \pm 44.26	585.40 \pm 11.23
体长/mm	314.17 \pm 5.97	303.33 \pm 12.02	329.33 \pm 3.48
全长/mm	360.00 \pm 7.64	358.33 \pm 16.91	386.00 \pm 3.06
水分/%	81.57 \pm 2.28	77.13 \pm 2.96	75.94 \pm 2.12
粗蛋白/%	13.50 \pm 1.07	15.44 \pm 1.29	16.65 \pm 0.84
粗脂肪/%	3.66 \pm 1.31	6.50 \pm 2.06	6.43 \pm 0.98
粗灰分/%	1.08 \pm 0.12	1.13 \pm 0.17	1.23 \pm 0.16

2.3 肌肉氨基酸组成

圆口铜鱼肌肉中共检测出 17 种氨基酸,包括 7 种必需氨基酸和 10 种非必需氨基酸(表 3 和表 4)。从氨基酸组成上看,各年龄组和发育期圆口铜鱼肌肉氨基酸组成相同,均以呈味氨基酸谷氨酸含量最高,其次为赖氨酸、天冬氨酸和亮氨酸。随着其年龄的增长,各氨基酸含量、氨基酸总量、必需氨基酸总量和呈味氨基酸总量呈先降低、后增加的趋势。性腺从 I 期发育到 IV 期,氨基酸总量、必需氨基酸总量和呈味氨基酸总量均呈增加趋势。各年龄组和不同发育期圆口铜鱼肌肉必需氨基酸与总氨基酸的比值(EAA/TAA)、必需氨基酸与非必需氨基酸的比值(EAA/NEAA)均达到 FAO/WHO 规定的理想蛋白源标准(EAA/TAA 在 40% 左右, EAA/NEAA 在 60% 以上)。呈味氨基酸与总氨基酸的比值(DAA/TAA)以 6 龄组和 I 期性腺的圆口铜鱼最高。

表 3 不同年龄组圆口铜鱼肌肉氨基酸组成(g/hg 干物质)

Tab.3 Composition of amino acids in the muscle of *C. guichenoti* for each age group (g/hg, dry weight)

氨基酸	年龄组		
	6 龄(n=5)	7 龄(n=6)	8 龄(n=3)
苏氨酸(Thr)*	3.24±0.14	3.17±0.12	3.46±0.08
缬氨酸(Val)*	3.77±0.19	3.51±0.12	3.92±0.09
蛋氨酸(Met)*	1.90±0.14	1.69±0.14	2.12±0.06
异亮氨酸(Ile)*	3.38±0.16	3.14±0.10	3.52±0.09
亮氨酸(Leu)*	6.60±0.26	6.20±0.23	6.85±0.17
苯丙氨酸(Phe)*	3.31±0.14	3.02±0.09	3.41±0.13
赖氨酸(Lys)*	7.99±0.35	7.44±0.27	8.22±0.25
丝氨酸(Ser)	2.80±0.23	2.83±0.12	3.09±0.09
谷氨酸(Glu)#	11.44±0.54	10.66±0.43	11.77±0.35
甘氨酸(Gly)#	3.54±0.21	3.40±0.09	3.82±0.19
丙氨酸(Ala)#	5.10±0.30	4.58±0.14	5.20±0.20
天冬氨酸(Asp)#	7.90±0.31	7.27±0.26	8.15±0.27
胱氨酸(Cys)	0.72±0.11	0.68±0.06	0.72±0.03
酪氨酸(Tyr)	2.11±0.13	2.04±0.11	2.27±0.04
脯氨酸(Pro)	1.74±0.10	1.69±0.06	1.92±0.11
组氨酸(His)	1.72±0.09	1.67±0.02	1.77±0.03
精氨酸(Arg)	5.01±0.23	4.74±0.19	5.24±0.16
EAA	30.19±1.29	28.18±1.07	31.51±0.85
TAA	72.25±3.26	67.73±2.47	75.46±2.29
EAA/TAA/%	41.78±0.29	41.61±0.09	41.75±0.15
EAA/NEAA/%	71.76±0.86	71.25±0.26	71.68±0.43
DAA	27.96±1.35	25.91±0.90	28.95±1.00
DAA/TAA/%	38.70±0.21	38.25±0.10	38.36±0.17

注: *表示必需氨基酸; #表示呈味氨基酸; n 表示鱼尾数; EAA 为必需氨基酸; NEAA 为非必需氨基酸; TAA 为总氨基酸; DAA 为呈味氨基酸。

Note: *essential amino acids; #non-essential amino acids; n: number of fish; EAA: essential amino acids; NEAA: non-essential amino acids; TAA: total amino acids; DAA: delicious amino acids.

各年龄组和发育期圆口铜鱼肌肉必需氨基酸评分(AAS)和化学评分(CS)见表 5 和表 6, 其第一限制性氨基酸均为蛋氨酸+胱氨酸, 第二限制性氨基酸为苏氨酸, 必需氨基酸指数(EAAI)以 8 龄组和 IV 期圆口铜鱼最高。

2.4 性腺氨基酸组成

圆口铜鱼 III 期和 IV 期卵巢氨基酸组成与肌肉氨基酸相同, 包含 7 种必需氨基酸和 10 种非必需氨基酸(表 7), 且均以呈味氨基酸谷氨酸含量最高, 其次为亮氨酸和天冬氨酸。IV 期卵巢各氨基酸含量(除甘氨酸外)、氨基酸总量、必需氨基酸总量和呈味氨基酸总量均高于 III 期含量。

通过分析比较圆口铜鱼肌肉和卵巢氨基酸组成(表 8), 发现肌肉氨基酸总量和必需氨基酸总量均显著高于卵巢中的含量, 卵巢氨基酸中赖氨酸、谷氨酸、天冬氨酸等 10 种氨基酸含量均显著低于肌肉中的含量($P<0.05$), 而卵巢中脯氨酸和丝氨酸的含量显著高于肌肉中的含量($P<0.05$)。

3 讨论

3.1 年龄和性腺发育对圆口铜鱼肌肉成分的影响

本研究发现, 随着年龄的增长, 圆口铜鱼肌肉含水量呈先增加、后降低的趋势, 而粗蛋白和粗脂肪含量呈先降低、后增加的趋势, 以 6 龄组最高。有研究表明, 随着年龄的增长, 团头鲂(*Megalobrama amblycephala*)粗蛋白和粗脂肪含量降低(Guan et al, 2018); 宽体沙鳅(*Sinibotia reevesae*)含水量递减, 粗蛋白和粗脂肪含量增加(王永明等, 2018); 广东鲂(*Megalobrama hoffmanni*)蛋白质含量增加, 而水分和脂肪含量逐渐减少(许淑英等, 1998)。以上研究结果出现了一定的差异, 这可能与鱼的种类、年龄以及性腺发育阶段有关。

本研究中, 圆口铜鱼为 6~8 龄, 正处于性成熟年龄, 且采样时间在 5 月, 处于繁殖季节, 肌肉部分蛋白质和脂肪需用于性腺发育, 从而导致肌肉蛋白和脂肪含量整体上呈降低趋势。董纯等(2015)研究发现, 体重 64.1~422.7 g 的圆口铜鱼幼鱼, 其肌肉粗蛋白和粗脂肪含量分别为 15.65%~18.17% 和 9.95%~14.07%, 而本次研究对象为 505.4~640.1 g 的圆口铜鱼成鱼, 其肌肉粗蛋白和粗脂肪含量分别为 13.50%~16.65% 和 3.66%~6.50%。本研究进一步证实, 随着年龄的增长, 圆口铜鱼肌肉营养成分随之发生变化, 粗蛋白和粗脂肪含量逐渐降低; 另外, 性腺从 II 期到 IV 期的发育过程中, 圆口铜鱼肌肉水分含量逐渐降低, 粗蛋白和粗脂肪含量逐渐升高, 这与中华鲟(*Acipenser sinensis*)的研究结果类似(陈少莲等, 1986; 周海, 2018), 中华鲟在此发育

表 6 不同性腺发育期圆口铜鱼肌肉氨基酸组成与评价

Tab. 6 Amino acid composition and nutritional quality evaluation in muscle of *C. guichenoti* at different stages of gonad development

必需氨基酸(EAA)	氨基酸含量/mg·g ⁻¹				FAO/WHO /mg·g ⁻¹	鸡蛋蛋白/ mg·g ⁻¹	氨基酸评分(AAS)				化学评分(CS)			
	I期	II期	III期	IV期			I期	II期	III期	IV期	I期	II期	III期	IV期
苏氨酸(Thr)	275.95	270.74	282.78	293.78	250	292	1.10	1.08	1.13	1.18	0.95	0.93	0.97	1.01
缬氨酸(Val)	312.83	294.77	332.57	329.44	310	410	1.25	1.18	1.33	1.32	1.07	1.01	1.14	1.13
蛋氨酸+胱氨酸(Met+Cys)	192.84	210.74	218.43	238.39	220	386	0.77	0.84	0.87	0.95	0.66	0.72	0.75	0.82
异亮氨酸(Ile)	283.88	264.85	296.73	296.44	250	331	1.14	1.06	1.19	1.19	0.97	0.91	1.02	1.02
亮氨酸(Leu)	549.09	527.42	573.92	580.79	440	534	2.20	2.11	2.30	2.32	1.88	1.81	1.97	1.99
苯丙氨酸+酪氨酸(Phe+Tyr)	448.24	431.61	468.89	477.36	380	565	1.79	1.73	1.88	1.91	1.54	1.48	1.61	1.63
赖氨酸(Lys)	661.15	632.38	686.89	703.96	340	441	2.64	2.53	2.75	2.82	2.26	2.17	2.35	2.41
指数(EAAI)	122.96	119.80	129.85	133.03										

表 7 圆口铜鱼 III 期和 IV 期卵巢氨基酸组成(g/hg 干物质)

Tab. 7 Composition of amino acids of ovary in phase III and IV of *C. guichenoti* (g/hg dry weight)

性腺	苏氨酸 (Thr)*	缬氨酸 (Val)*	蛋氨酸 (Met)*	异亮氨酸 (Ile)*	亮氨酸 (Leu)*	苯丙氨酸 (Phe)*	赖氨酸 (Lys)*	丝氨酸 (Ser)	谷氨酸 (Glu)#	甘氨酸 (Gly)#
III 期	2.78±0.20	3.85±0.38	1.19±0.06	2.48±0.20	5.30±0.48	2.53±0.12	4.29±0.11	3.24±0.26	7.76±0.58	3.02±0.17
IV 期	3.34±0.02	4.95±0.05	1.29±0.13	3.05±0.03	6.74±0.11	2.92±0.08	4.62±0.01	4.22±0.01	9.82±0.12	2.80±0.05
性腺	丙氨酸 (Ala)#	天冬氨酸 (Asp)#	胱氨酸 (Cys)	酪氨酸 (Tyr)	脯氨酸 (Pro)	组氨酸 (His)	精氨酸 (Arg)	EAA	TAA	DAA
III 期	3.93±0.34	4.79±0.20	0.70±0.03	1.38±0.10	2.92±0.22	1.46±0.06	3.81±0.10	22.42±1.52	55.42±3.28	19.49±1.03
IV 期	5.02±0.05	5.29±0.09	0.71±0.05	1.65±0.03	3.71±0.12	1.66±0.01	4.16±0.04	26.89±0.05	65.90±0.22	22.92±0.21

注: *表示必需氨基酸; #表示呈味氨基酸; EAA 为必需氨基酸; TAA 为总氨基酸; DAA 为呈味氨基酸。

Note: *essential amino acids; #delicious amino acids; EAA: essential amino acids; TAA: total amino acids; DAA: delicious amino acids.

表 8 比较圆口铜鱼肌肉和卵巢氨基酸组成(g/hg 干物质)

Tab. 8 Comparison of amino acids in muscle and ovary of *C. guichenoti* (g/hg dry weight)

组织	苏氨酸 (Thr)*	缬氨酸 (Val)*	蛋氨酸 (Met)*	异亮氨酸 (Ile)*	亮氨酸 (Leu)*	苯丙氨酸 (Phe)*	赖氨酸 (Lys)*	丝氨酸 (Ser)	谷氨酸 (Glu)#	甘氨酸 (Gly)#
肌肉	3.27±0.10	3.85±0.14	1.93±0.11 ^a	3.44±0.13 ^a	6.66±0.20	3.32±0.12 ^a	8.02±0.24 ^a	2.83±0.16 ^b	11.44±0.34 ^a	3.71±0.14 ^a
性腺	2.96±0.17	4.22±0.33	1.22±0.05 ^b	2.67±0.17 ^b	5.78±0.43	2.66±0.11 ^b	4.40±0.10 ^b	3.56±0.27 ^a	8.45±0.57 ^b	2.94±0.12 ^b
组织	丙氨酸 (Ala)#	天冬氨酸 (Asp)#	胱氨酸 (Cys)	酪氨酸 (Tyr)	脯氨酸 (Pro)	组氨酸 (His)	精氨酸 (Arg)	EAA	TAA	DAA
肌肉	5.01±0.19	7.88±0.27 ^a	0.73±0.05	2.16±0.06 ^a	1.86±0.07 ^b	1.76±0.03 ^a	5.07±0.14 ^a	30.49±0.94 ^a	72.92±2.14 ^a	28.04±0.94 ^a
性腺	4.29±0.32	4.95±0.17 ^b	0.70±0.02	1.47±0.09 ^b	3.19±0.22 ^a	1.53±0.05 ^b	3.93±0.10 ^b	23.91±1.35 ^b	58.91±3.03 ^b	20.63±0.98 ^b

注: *表示必需氨基酸; #表示呈味氨基酸; EAA 为必需氨基酸; TAA 为总氨基酸; DAA 为呈味氨基酸; 同列数据上标字母不同, 表示差异显著($P<0.05$)。

Note: *essential amino acids; #delicious amino acids; EAA: essential amino acids; TAA: total amino acids; DAA: delicious amino acids; values in the same column with different superscripts have significant difference ($P<0.05$).

过程中肌肉含水量也下降, 而粗蛋白和粗脂肪含量先降低后增加。由此推测, 随着性腺的发育, 鱼类肌肉蛋白质和脂肪含量呈增加趋势, 可能是为性腺发育提供营养物质储备。

3.2 圆口铜鱼肌肉氨基酸组成和营养评价

氨基酸组成及含量是评价蛋白质营养水平的最重要指标。本研究圆口铜鱼肌肉氨基酸检测结果与郑曙明(1998)的结果相同, 共检测出 17 种氨基酸, 谷

氨酸、赖氨酸、天冬氨酸和亮氨酸含量最高, 胱氨酸含量最低。其氨基酸含量排列顺序与宽体沙鳅、罗非鱼 (*Oreochromis* spp.)、鲤 (*Cyprinus carpio*) 和鲫 (*Carassius auratus*) 基本一致, 一定程度上表明硬骨鱼类肌肉各氨基酸含量分布在进化过程中具有较大的保守性(林信伟, 1992)。性腺从 I 期发育到 IV 期, 圆口铜鱼肌肉氨基酸总量呈增加趋势, 这与其肌肉蛋白质含量变化一致。但也有研究发现, 银鲟

(*Pampus argenteus*)从Ⅲ期发育到Ⅴ期的过程中,肌肉氨基酸总量显著降低(黄旭雄等,2009),这可能是由于性腺发育至Ⅴ期的过程中,部分肌肉氨基酸转移到性腺用以合成卵黄蛋白、肽类激素和性腺组织等。

各研究组圆口铜鱼均达到理想蛋白源的标准,DAA/TAA以6龄组和I期最高,表明此阶段的圆口铜鱼相比于其他组别味道更加鲜美。在AAS和CS分析中,各研究组圆口铜鱼肌肉赖氨酸的含量最高,均超过FAO/WHO模式和鸡蛋蛋白中的含量,所以圆口铜鱼可以弥补谷物中赖氨酸的不足,促进人们对谷物蛋白质的利用;另外,本研究发现圆口铜鱼第一限制性氨基酸为蛋氨酸+胱氨酸,而刘军等(2007)认为其第一限制性氨基酸为缬氨酸,第二限制性氨基酸为蛋氨酸+胱氨酸,这可能与取样鱼本身有关。不同生长阶段的鱼类,其缺乏的氨基酸不同,要根据需要向饲料中添加适当的氨基酸,以促进鱼类健康生长。

3.3 性腺发育对圆口铜鱼性腺氨基酸组成的影响

本研究中,圆口铜鱼卵巢氨基酸总量和必需氨基酸总量均表现为Ⅳ期大于Ⅲ期,这与Webb & Doroshov(2011)的报道一致,表明在性腺发育过程中,卵粒的成熟需要累积更多的氨基酸参与卵黄的生成。圆口铜鱼卵巢氨基酸中谷氨酸、亮氨酸、天冬氨酸、赖氨酸和丙氨酸含量较高,这与中华鲟的结果类似,其性腺中的天冬氨酸、谷氨酸、丝氨酸、丙氨酸、异亮氨酸和亮氨酸含量较高(周海,2018),表明亮氨酸、丙氨酸、谷氨酸和天冬氨酸是影响鱼类繁殖发育的重要因子(Harpaz, 2005; Lanes et al, 2012);另有研究发现,谷氨酸和亮氨酸在中华鲟成熟卵粒中的含量很高(陈少莲等,1986; Li & Shen, 2014)。本研究中,圆口铜鱼卵巢中谷氨酸和亮氨酸含量占氨基酸比例较高,由此可知,这两种氨基酸在鱼类性腺发育过程中可能起到关键的生理作用。

3.4 圆口铜鱼性腺和肌肉组织中的氨基酸组成

性腺发育阶段处于Ⅲ期和Ⅳ期的圆口铜鱼,其必需氨基酸总量和氨基酸总量均表现为肌肉组织显著高于卵巢组织,这与处于Ⅲ期和Ⅳ期银鲟的研究结果一致(黄旭雄等,2009);但与处于Ⅱ期的中华鲟结果相反,其卵巢必需氨基酸含量和氨基酸总量显著高于肌肉,这与中华鲟性腺发育机制有关,其从Ⅱ期向Ⅲ期过度的过程中,性腺需要累积大量的营养物质(Song et al, 2014; 周海, 2018)。

脯氨酸是动物体内一种重要的弱酸性氨基酸,占胶原蛋白中氨基酸的1/3,而胶原蛋白占体内蛋白质的30%,故其是合成体内蛋白的最主要氨基酸

(Wu et al, 2011);且脯氨酸在体内分解代谢形成多胺,参与调控卵子发生、卵泡发育和排卵过程,最终影响动物的繁殖性能(向睿等,2014)。本研究中,圆口铜鱼卵巢中大部分氨基酸含量低于肌肉中的含量,脯氨酸在卵巢组织中的含量却显著高于肌肉组织,而银鲟卵巢中的脯氨酸含量低于肌肉含量(黄旭雄等,2009)。由此推测脯氨酸可能在圆口铜鱼繁殖过程中起着特殊的重要作用,尚有待深入研究。

参考文献

- 陈少莲, 华元瑜, 田玲, 等, 1986. 中华鲟、白鲟组织生化分析初报[J]. 水生生物学报, (10): 197-199.
- 邓中焜, 余志堂, 许蕴珩, 等, 1981. 汉江主要经济鱼类的年龄和生长[C]. 鱼类学论文集(第一辑). 北京: 科学出版社: 97-111.
- 丁瑞华, 1994. 四川鱼类志[M]. 成都: 四川科技出版社.
- 董纯, 陈小娟, 万成炎, 等, 2019. 圆口铜鱼人工繁殖及胚胎发育研究[J]. 水生生态学杂志, 40(3): 115-119.
- 董纯, 唐会元, 潘磊, 等, 2015. 不同规格圆口铜鱼幼鱼的化学组成和能量密度[J]. 河北渔业, (10): 13-17.
- 高少波, 唐会元, 陈胜, 等, 2015. 金沙江一期工程对保护区圆口铜鱼早期资源补充的影响[J]. 水生生态学杂志, 36(2): 6-10.
- 黄旭雄, 施兆鸿, 李伟微, 等, 2009. 银鲟亲鱼不同组织的氨基酸及其随性腺发育的变化[J]. 水产学报, 33(2): 278-287.
- 黄旭雄, 温文, 危立坤, 等, 2014. 闽东海域银鲟亲鱼性腺发育后期脂类及脂肪酸蓄积特点[J]. 水产学报, 38(1): 99-108.
- 林信伟, 1992. 太湖新银鱼和寡齿新银鱼组织内氨基酸的含量[J]. 水产学报, 16(1): 71-74.
- 刘军, 胡兵, 李惠, 等, 2007. 长江上游四种特有鱼类肌肉营养组成与评价[J]. 水生生物学报, 31(5): 763-766.
- 刘乐和, 吴国犀, 王志玲, 1990. 葛洲坝水利枢纽兴建后长江干流铜鱼和圆口铜鱼繁殖生态[J]. 水生生物学报, 14(3): 205-215.
- 鲁雪报, 倪勇, 胡美洪, 等, 2016. 圆口铜鱼人工繁殖的最适水温探讨[J]. 科学养鱼, (10): 6-7.
- 王光亚, 1991. 食物成分表(全国代表值)[M]. 北京: 人民卫生出版社: 2-61, 131-132.
- 王永明, 史晋绒, 谢碧文, 等, 2018. 不同年龄段养殖宽体沙鳅肌肉营养成分分析与评价[J]. 水生生物学报, 42(3): 542-549.
- 向睿, 何琿, 康波, 等, 2014. 多胺调控动物繁殖的作用及其机制[J]. 动物营养学报, 26(11): 3251-3255.
- 熊飞, 刘红艳, 段辛斌, 等, 2014. 长江上游江津和宜宾江段圆口铜鱼资源量估算[J]. 动物学杂志, 49(6): 852-859.
- 熊美华, 邵科, 赵修江, 等, 2018. 长江中上游圆口铜鱼群体遗传结构研究[J]. 长江流域资源与环境, 27(7): 1536-1543.
- 徐树英, 张燕, 王登强, 等, 2007. 长江宜宾江段圆口铜鱼遗传多样性的微卫星分析[J]. 淡水渔业, 37(3): 76-79.

- 许淑英, 叶星, 谢刚, 等, 1998. 广东鲂鱼的营养成份[J]. 中国水产科学, 5(4):111-113.
- 杨志, 龚云, 朱迪, 等, 2018. 金沙江中下游圆口铜鱼的繁殖生物学[J]. 水生生物学报, 42(5):1010-1018.
- 杨志, 张鹏, 唐会元, 等, 2017. 金沙江下游圆口铜鱼生境适宜度曲线的构建[J]. 生态科学, 36(5):129-137.
- 殷名称, 1995. 鱼类生态学[M]. 北京: 中国农业出版社:11-29.
- 郑曙明, 1998. 铜鱼和圆口铜鱼肌肉氨基酸的初步研究[J]. 四川畜牧兽医学院学报, 12(3/4):23-25.
- 周海, 2018. 脂肪在中华鲟雌性腺发育过程中的作用及其相关机制研究[D]. 武汉: 华中农业大学.
- FAO/WHO Ad Hoc Expert Committee, 1973. Energy and protein requirements[R]. Rome: FAO Nutrition Meeting Report Series.
- Guan N N, Zhou Q, Lan T, et al, 2018. Is the nutritional value of fish fillet related to fish maturation or fish age? Integrated analysis of transcriptomics and metabolomics in Blunt Snout Bream (*Megalobrama amblycephala*) [J]. Cellular Physiology and Biochemistry, 49:17-39.
- Harpaz S, 2005. L-carnitine and its attributed functions in fish culture and nutrition—a review[J]. Aquaculture, 249:3-21.
- Lanes C F C, Bizuayehu T T, Bolla S, et al, 2012. Biochemical composition and performance of Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) eggs and larvae obtained from farmed and wild broodstocks[J]. Aquaculture, 324/325:267-275.
- Li W, Shen L, 2014. Biochemical comparison between eggs from female Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis* Gray, 1835) reconditioned in freshwater and eggs from wild females: evaluation of female reconditioning as a conservation culture technique[J]. Journal of Applied Ichthyology, 30(6):1237-1242.
- Song C, Zhuang P, Zhang L Z, et al, 2014. Proximate composition and fatty acid profile in different tissues of wild female Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis* Gray, 1835) [J]. Journal of Applied Ichthyology, 30(6):1203-1206.
- Taranger G L, Carrillo M, Schulz R W, et al, 2010. Control of puberty in farmed fish[J]. General & Comparative Endocrinology, 165(3):483-515.
- Webb M A H, Doroshov S I, 2011. Importance of environmental endocrinology in fisheries management and aquaculture of sturgeons[J]. General & Comparative Endocrinology, 170:313-321.
- Wu G Y, Bazer F W, Burghardt R C, et al, 2011. Proline and hydroxyl proline metabolism: Implications for animal and human nutrition[J]. Amino Acids, 40(4):1053-1063.
- Zhang P, Yang Z, Cai L, et al, 2018. Effects of upstream and downstream dam operation on the spawning habitat suitability of *Coreius guichenoti* in the middle reach of the Jinsha River[J]. Ecological Engineering, 120:198-208.

(责任编辑 万月华)

Nutrient Composition Analysis of *Coreius guichenoti* at Different Ages and Gonad Development Stages

DONG Chun¹, LUO An-hong², CHEN Xiao-juan¹, WAN Cheng-yan¹, TANG Hui-yuan¹, YANG Zhi¹

(1. Key Laboratory of Ecological Impacts of Hydraulic-Projects and Restoration of Aquatic Ecosystem of Ministry of Water Resources, Institute of Hydroecology,

Ministry of Water Resources & Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430079, P.R.China;

2. Shiyuan Institute of Agricultural Products Quality Inspection and Testing, Shiyuan 442000, P.R.China)

Abstract: Cascaded hydropower projects and overfishing have dramatically reduced populations of *Coreius guichenoti*, a rare fish species endemic to the upper Yangtze River. The breeding and release of *C. guichenoti* has been an effective means of protecting the species. During artificial breeding, it is crucial to provide a comprehensive, nutritious feed for gonadal development. In this study, the nutrition of the muscle, and composition of amino acids in the muscle and gonads at different ages and gonad development stages of *C. guichenoti* were compared and analyzed. The goal was to provide basic data for improving the artificial diet. The test fish were taken from a net cage fixed inside the boat in the Luzhou section of Yangtze River in May 2018. The weight, body length and total length, age and gonad development stage of each fish were recorded, and the muscle and gonad were sampled for the determination of nutrient and amino acid composition. Results show that: (1) Between different age groups, there were no significant differences with respect to the muscle content of crude protein, crude fat and amino acids. With increasing age, the muscle content of crude protein, crude fat and amino acids initially decreased and then increased. (2) During gonadal development from stage II to IV, the muscle content of crude protein, crude fat and amino acids increased. (3) 17 amino acids were detected in muscle and gonad tissues, including 7 essential amino acids and 10 non-essential amino acids. In gonad tissue, the content of glutamic and leucine were highest, accounting for 9.82% and 6.74% of the total amino acid content. The essential amino acid and the total amino acid contents in gonad tissue were significantly lower than in muscle tissue ($P<0.05$), while the contents of proline (3.19 ± 0.22) g and serine (3.56 ± 0.27) g per 100 g protein were significantly higher than that in muscle ($P<0.05$). These results indicate that the nutrient levels of *C. guichenoti* are closely related to age and gonad development stage. With gonad development, the contents of crude protein, crude fat and amino acids tended to increase. Glutamic, leucine and proline could play a key role in gonad development of *C. guichenoti*.

Key words: *Coreius guichenoti*; age structure; gonadal development; nutrition