

鳗鲡(*Anguilla japonica*)性腺发育和饥饿胁迫下生物学指标及体内蛋白质与氨基酸含量变化*

王 婷 刘利平^① 陈桃英 张利娜 林 静 王 倩 帅 滇

(上海海洋大学 农业部共建水产种质资源发掘与利用教育部重点实验室 上海 201306)

摘要 自然条件下, 鳗鲡(*Anguilla japonica*)自降河入海至性腺发育成熟需洄游数千公里、耗时半年以上, 且整个过程中不摄食。本文以降海洄游、人工促熟和长期饥饿(20 个月)三种状态下的鳗鲡为材料, 研究其在性腺发育和饥饿胁迫时的主要生物学指标(包括肥满度、肝体比、脏体比、性腺指数、含肉率)以及肌肉、肝脏和性腺中的粗蛋白与氨基酸含量的变化情况, 以探讨鳗鲡性腺发育和饥饿胁迫下的营养物质来源与变化。结果发现: 人工促熟鳗鲡的肝体比、脏体比和性腺指数显著高于降海洄游鳗鲡($P < 0.05$), 而含肉率、肝脏和卵巢内的粗蛋白含量、氨基酸总量、必需氨基酸总量以及非必需氨基酸总量均显著低于降海洄游鳗鲡的含量($P < 0.05$); 长期饥饿鳗鲡的肥满度、肝体比、含肉率、肌肉(鲜样)、肝脏内的粗蛋白、氨基酸总量、必需氨基酸总量以及必需氨基酸占氨基酸总量的比值显著低于降海洄游鳗鲡($P < 0.05$)。结果表明, 鳗鲡性腺发育所需要的营养物质主要来源于肌肉, 其性腺的发育依赖自身营养物质在体内的流动和转化, 肌肉中的必需氨基酸和非必需氨基酸均被利用, 转化成性腺发育所需要的物质。

关键词 鳗鲡; 性腺发育; 饥饿胁迫; 生物学指标; 粗蛋白; 氨基酸

中图分类号 S965.2 doi: 10.11693/hyhz20150200060

鳗鲡又名日本鳗鲡(*Anguilla japonica*), 为降河入海洄游性鱼类。在长达半年的降海生殖洄游期间, 鳗鲡不摄食, 其性腺发育和维持生命活动所需能量全部来源于自身所储藏的营养物质(蒋天宝等, 2012; Trancart *et al.*, 2015)。然而, 很少有资料研究鳗鲡长期饥饿以及性腺发育成熟过程中, 其生物学指标以及重要组织器官的组成成分发生了怎样的变化。

蛋白质是动物生长发育、繁殖和维持机体正常生命活动的必需营养素, 是鱼类组织和细胞的重要组成部分, 可被分解为机体提供能量, 是实现生命功能的重要物质基础。蛋白质在异常环境条件或特定的生理功能下进行周转代谢, 如饥饿期间, 动物可动用体组织中蛋白质维持其生命活动; 性腺成熟期间, 可动用组织蛋白质以保证性腺发育的需求(杨崑, 2014)。

在蛋白质周转代谢过程中会有部分蛋白降解为氨基酸。鱼体内氨基酸可保持鱼类的正常生长并促进鱼类性腺发育, 尤其在亲鱼的繁殖期间, 氨基酸的吸收与合成对卵巢中卵黄蛋白的形成具有重要作用(王际英等, 2010)。鳗鲡由于其特殊的生活史, 在降河入海后不摄食, 这种状态需维持半年之久, 因此, 研究鳗鲡在性腺成熟过程中以及长期饥饿后, 其体内组织中蛋白质含量和氨基酸组成变化动态, 具有重要意义。

由于在自然产卵场的鳗鲡亲鱼很难得到, 本文采用人工促熟的鳗鲡, 比较其与降海洄游鳗鲡以及长期饥饿鳗鲡的主要生物学指标差异, 分析这三种状态下鳗鲡的肌肉、肝脏、性腺的粗蛋白和氨基酸含量, 研究其在性腺发育成熟以及长期饥饿后, 体内蛋白质含量与氨基酸的变化情况, 探讨鳗鲡体内营养

* 上海市科学技术委员会项目, 13320502200 号, 08391910200 号; 上海市农委科技攻关项目, 沪农科攻字 2013 第 2-2 号; 上海海洋大学科技发展专项基金项目, A2-0209-15-200005 号。王婷, 硕士研究生, E-mail: 1006757678@qq.com

通讯作者: 刘利平, 副教授, E-mail: lp-liu@shou.edu.cn

收稿日期: 2015-02-27, 收修改稿日期: 2015-05-24

物质的流动与转化,为鳗鲡人工繁殖亲鱼的培育策略提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料及饲养管理

降海洄游鳗鲡:为长江口捕捞的降海入海鳗鲡(2013年11月),共180尾,体质健康。实验时从中随机选取5尾雌鱼,平均体重为(638.9±79.9)g。

人工促熟鳗鲡:将100尾暂养2个月的降海洄游鳗鲡转移至上海海洋大学洋山海洋生态系统野外科学观测研究站的水泥池中,通过注射人绒毛膜促性腺激素[hCG, 300IU/(kg·周)]和鲤鱼脑垂体[carp pituitary extract, CPE, 20mg/(kg·周)]人工促熟,期间未投喂饵料,实验时从中随机选取5尾雌鱼,人工促熟后平均体重(761.5±143.1)g。

长期饥饿鳗鲡:为2011年11月中下旬在长江口收集的降海鳗鲡,共50尾,暂养于上海海洋大学滨海养殖场的水泥池中,整个过程中用遮阳网遮光。随机选取5尾雌鱼,饥饿后平均体重为(537.9±109.4)g,至取样时(2013年7月)共饥饿20个月,期间未投喂饵料。

1.2 样品收集及分析

1.2.1 生物学性状指标测定 用MS-222(200mg/L)将鱼麻醉,测量体长、体重,随即解剖,取内脏与肌肉并分别称重,从内脏中分离出肝脏与性腺并分别称重。计算脏体比、含肉率、肝体比和性腺指数。样品置于-80℃中冷冻保存以待分析。

1.2.2 肌肉、肝脏和性腺营养成分测定 水分测定:使用冷冻干燥机(Labconco freeze dry system, 美国)在-55℃下冷冻干燥24h称重后再冷冻干燥12h,重复以上步骤至恒重(两次质量误差小于0.0002g)。粗蛋白含量的测定:称取样品约0.5g,放入消化管中,加入6.4g 催化剂(硫酸钠:五水硫酸铜,6:0.4),10mL

浓硫酸,于消化炉上420℃消化100min,利用甲基红与溴甲酚绿作为指示剂,凯氏定氮仪(FOSS, 瑞典)上机测定。

1.2.3 肌肉、肝脏、性腺氨基酸测定 将冷冻干燥的肌肉、肝脏与性腺鲜样用6mol/L的盐酸溶液在110℃下进行水解24h,过滤,置于进样瓶中后使用Sykam433D型氨基酸自动分析仪(赛卡姆 Sykam 公司,德国)进行氨基酸测定。

1.3 生物学指标分析

肥满度(condition factor, CF), 肝体比(hepatosomatic index, HSI), 脏体比(viscerosomatic index, VSI), 含肉率(meat content, MC), 性腺指数(gonadosomatic index, GSI)参照 Oliverreau 等(1997)的计算公式:

$$\text{肥满度} = [\text{体重}(\text{g})/\text{体长}^3(\text{cm}^3)] \times 100$$

$$\text{肝体比}(\%) = \text{肝脏重}(\text{g})/\text{体重}(\text{g}) \times 100$$

$$\text{脏体比}(\%) = \text{内脏重}(\text{g})/\text{体重}(\text{g}) \times 100$$

$$\text{含肉率}(\%) = \text{肌肉重}(\text{g})/\text{体重}(\text{g}) \times 100$$

$$\text{性腺指数}(\%) = \text{性腺重}(\text{g})/\text{体重}(\text{g}) \times 100$$

1.4 统计分析

实验所得数据采用 EXCEL 处理, 试验结果用平均数±标准差(Mean±SD)表示, 统计分析采用 SPSS STATISTICS 17.0 软件进行单因子方差分析(One-Way ANOVA), 并使用 Duncan 进行多重比较, 以 $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果

2.1 三组鳗鲡主要生物学指标比较

表1比较了三种状态下鳗鲡的主要生物学指标——肥满度、肝体比、脏体比、性腺指数和含肉率的差异。从表1中可以看出, 人工促熟鳗鲡的肝体比、脏体比和性腺指数显著高于降海洄游鳗鲡($P < 0.05$); 而长期饥饿鳗鲡的肥满度、肝体比和含肉率显著低于降海洄游鳗鲡($P < 0.05$)。

表1 三种状态下鳗鲡主要生物学指标比较

Tab.1 Comparison in main biological indicators among three groups of eel *A. japonica*

组别	肥满度	肝体比(%)	脏体比(%)	性腺指数(%)	含肉率(%)
降海洄游鳗鲡	0.16±0.01 ^a	0.98±0.11 ^b	6.40±1.63 ^b	0.96±0.16 ^b	54.91±2.09 ^a
人工促熟鳗鲡	0.17±0.02 ^a	2.53±0.43 ^a	45.72±7.30 ^a	26.3±4.92 ^a	20.84±5.15 ^c
长期饥饿鳗鲡	0.11±0.02 ^b	0.73±0.15 ^c	6.71±1.05 ^b	0.64±0.33 ^b	44.81±1.13 ^b

数据显示平均值±标准差, 同列数据标注不同字母者存在显著差异($P < 0.05$), $n=5$

2.2 三组鳗鲡的组织粗蛋白含量比较

从表2得知, 人工促熟鳗鲡和长期饥饿鳗鲡肌肉中的水分含量显著高于降海洄游鳗鲡($P < 0.05$), 鲜样

中人工促熟鳗鲡肌肉内粗蛋白含量与降海洄游鳗鲡相比无显著性差异($P > 0.05$), 肝脏与性腺内粗蛋白含量显著降低($P < 0.05$), 长期饥饿鳗鲡肌肉与肝脏内粗

蛋白含量显著低于降海洄游鳗鲡($P<0.05$), 而性腺内 无显著性差异($P>0.05$)。

表 2 三种状态下鳗鲡肌肉、肝脏、性腺内粗蛋白含量的比较

Tab.2 Comparison in crude protein composition in muscle, liver, and ovary among three groups of eel *A. japonica*

组别	肌肉			肝脏			性腺
	水分(%)	干样粗蛋白(%)	鲜样粗蛋白(%)	水分(%)	干样粗蛋白(%)	鲜样粗蛋白(%)	粗蛋白(%)
降海洄游鳗鲡	60.15 ± 1.26 ^b	48.47 ± 2.83 ^b	19.30 ± 0.74 ^a	69.11 ± 0.79 ^b	63.57 ± 1.31 ^a	19.64 ± 0.85 ^a	13.29 ± 0.43 ^a
人工促熟鳗鲡	73.66 ± 1.69 ^a	64.32 ± 2.19 ^a	16.95 ± 1.29 ^{ab}	69.24 ± 1.53 ^b	43.69 ± 2.34 ^c	13.83 ± 1.58 ^c	11.09 ± 0.15 ^b
长期饥饿鳗鲡	71.86 ± 1.31 ^a	56.06 ± 8.69 ^{ab}	15.78 ± 2.54 ^b	72.04 ± 2.10 ^a	59.82 ± 2.43 ^b	16.46 ± 1.66 ^b	13.40 ± 1.22 ^a

数据显示平均值±标准差, 同列数据标注不同字母者存在显著差异($P<0.05$), $n=5$

2.3 三组鳗鲡肌肉、肝脏和性腺中氨基酸含量比较

共检测出了 15 种水解氨基酸(色氨酸 Trp、半胱氨酸 Cys、蛋氨酸 Met 在水解中被破坏), 其中包括 8 种必需氨基酸, 即苏氨酸(Thr)、缬氨酸(Val)、异亮氨酸(Ile)、亮氨酸(Leu)、苯丙氨酸(Phe)、组氨酸(His)、赖氨酸(Lys)、精氨酸(Arg), 和 7 种非必需氨基酸, 即天冬氨酸(Asp)、丝氨酸(Ser)、谷氨酸(Glu)、甘氨酸(Gly)、丙氨酸(Ala)、酪氨酸(Tyr)、脯氨酸(Pro)。

2.3.1 肌肉中氨基酸含量比较

表 3 比较了三种

状态下鳗鲡肌肉内氨基酸的含量变化。肌肉鲜样中, 人工促熟鳗鲡天冬氨酸、苏氨酸、丝氨酸、谷氨酸、亮氨酸、酪氨酸、精氨酸、氨基酸总量、必需氨基酸总量以及非必需氨基酸总量显著低于降海洄游鳗鲡($P<0.05$); 长期饥饿鳗鲡与降海洄游鳗鲡相比苯丙氨酸、脯氨酸含量无显著变化($P>0.05$), 甘氨酸含量显著升高($P<0.05$), 而其它氨基酸含量显著降低($P<0.05$)。

2.3.2 肝脏中氨基酸含量的比较

鲜样肝脏中, 人工促熟鳗鲡与降海洄游鳗鲡相比各种氨基酸含量

表 3 三组鳗鲡肌肉中氨基酸含量比较

Tab.3 Comparison in amino acids content in muscle among three groups of eel *A. japonica*

氨基酸	占干样的百分比(%)			占鲜样的百分比(%)		
	降海洄游鳗鲡	人工促熟鳗鲡	长期饥饿鳗鲡	降海洄游鳗鲡	人工促熟鳗鲡	长期饥饿鳗鲡
天冬氨酸	3.88±0.08 ^c	4.81±0.11 ^a	4.40±0.19 ^b	1.47±0.04 ^A	1.37±0.02 ^B	1.25±0.01 ^C
苏氨酸*	1.77±0.06 ^b	2.01±0.02 ^a	1.96±0.15 ^a	0.67±0.05 ^A	0.57±0.02 ^B	0.56±0.03 ^B
丝氨酸	1.65±0.06 ^b	1.95±0.08 ^a	1.96±0.15 ^a	0.63±0.04 ^A	0.55±0.01 ^B	0.56±0.03 ^B
谷氨酸	5.94±0.19 ^c	7.43±0.24 ^a	6.92±0.28 ^b	2.25±0.04 ^A	2.11±0.02 ^B	1.97±0.03 ^C
甘氨酸	2.15±0.22 ^c	2.87±0.15 ^b	3.56±0.11 ^a	0.81±0.05 ^B	0.81±0.01 ^B	1.01±0.04 ^A
丙氨酸	2.53±0.14 ^b	3.22±0.13 ^a	3.18±0.11 ^a	0.96±0.02 ^A	0.92±0.00 ^{AB}	0.91±0.04 ^B
缬氨酸*	1.89±0.18 ^b	2.41±0.11 ^a	2.04±0.14 ^b	0.71±0.05 ^A	0.68±0.00 ^A	0.58±0.05 ^B
异亮氨酸*	1.73±0.18 ^b	2.23±0.15 ^a	1.83±0.14 ^b	0.65±0.05 ^A	0.63±0.02 ^A	0.52±0.05 ^B
亮氨酸*	3.27±0.10 ^c	3.93±0.14 ^a	3.53±0.08 ^b	1.23±0.04 ^A	1.12±0.01 ^B	1.01±0.03 ^C
酪氨酸	1.30±0.06 ^b	1.55±0.09 ^a	1.38±0.07 ^b	0.49±0.02 ^A	0.44±0.04 ^B	0.39±0.01 ^C
苯丙氨酸*	1.77±0.32 ^b	2.33±0.06 ^a	2.00±0.12 ^{ab}	0.67±0.12 ^A	0.66±0.01 ^A	0.57±0.03 ^A
组氨酸*	1.95±0.06 ^b	2.33±0.06 ^a	1.89±0.31 ^b	0.74±0.03 ^A	0.66±0.04 ^A	0.54±0.09 ^B
赖氨酸*	3.76±0.22 ^c	4.74±0.16 ^a	4.19±0.19 ^b	1.42±0.05 ^A	1.35±0.01 ^A	1.19±0.06 ^B
精氨酸*	2.37±0.12 ^b	2.97±0.06 ^a	2.99±0.11 ^a	0.89±0.02 ^A	0.84±0.02 ^B	0.85±0.02 ^B
脯氨酸	1.86±0.50 ^b	2.72±0.11 ^a	2.68±0.55 ^a	0.70±0.17 ^A	0.77±0.02 ^A	0.77±0.17 ^A
氨基酸总量(T)	37.82±1.71 ^c	47.48±1.32 ^a	44.51±1.33 ^b	14.29±0.18 ^A	13.51±0.17 ^B	12.68±0.46 ^C
必需氨基酸总量(E)	18.50±0.75 ^c	22.95±0.63 ^a	20.43±0.53 ^b	6.99±0.15 ^A	6.53±0.09 ^B	5.82±0.23 ^C
非必需氨基酸总量	19.32±1.00 ^b	24.53±0.70 ^a	24.08±0.84 ^a	7.30±0.10 ^A	6.98±0.09 ^B	6.86±0.25 ^B
E/T(%)	0.49±0.01 ^a	0.48±0.00 ^a	0.46±0.01 ^b	0.49±0.01 ^A	0.48±0.00 ^A	0.46±0.00 ^B

同行数据标注不同字母者存在显著差异($P<0.05$)。数据显示平均值±标准差, $n=5$ 。*表示必需氨基酸, 其中精氨酸 Arg 和组氨酸 His 为半必需氨基酸也被计算为必需氨基酸。表 4、表 5 中统计分析与本表相同

均显著低于降海洄游鳗鲡($P<0.05$), 但必需氨基酸总量占氨基酸总量的百分比无显著变化($P>0.05$); 长期饥饿鳗鲡与降海洄游鳗鲡相比甘氨酸和脯氨酸含量无显著变化($P>0.05$), 而其它氨基酸含量显著降低($P<0.05$)(表 4)。

2.3.3 性腺中氨基酸含量的比较 性腺中, 人工促熟鳗鲡与降海洄游鳗鲡相比, 苏氨酸、丝氨酸、酪

氨酸、组氨酸含量以及必需氨基酸占氨基酸总量的比值无显著变化($P>0.05$), 丙氨酸含量显著升高($P<0.05$), 而其它氨基酸含量显著降低($P<0.05$); 长期饥饿鳗鲡与降海洄游鳗鲡相比谷氨酸、丙氨酸和非必需氨基酸总量显著降低($P<0.05$), 必需氨基酸占氨基酸总量的比值显著升高($P<0.05$), 而其它氨基酸含量无显著变化($P>0.05$)(表 5)。

表 4 三组鳗鲡肝脏中氨基酸含量比较
Tab.4 Content differences of amino acids in liver among three groups of eel *A. japonica*

氨基酸	占干样的百分比(%)			占鲜样的百分比(%)		
	降海洄游鳗鲡	人工促熟鳗鲡	长期饥饿鳗鲡	降海洄游鳗鲡	人工促熟鳗鲡	长期饥饿鳗鲡
天冬氨酸	5.28±0.25 ^a	3.02±0.56 ^c	4.69±0.36 ^b	1.63±0.03 ^A	0.94±0.12 ^C	1.29±0.04 ^B
苏氨酸*	2.64±0.12 ^a	1.67±0.30 ^c	2.26±0.19 ^b	0.81±0.06 ^A	0.52±0.07 ^C	0.62±0.03 ^B
丝氨酸	2.82±0.07 ^a	1.80±0.30 ^c	2.45±0.21 ^b	0.85±0.05 ^A	0.56±0.07 ^C	0.67±0.05 ^B
谷氨酸	7.05±0.29 ^a	4.79±0.73 ^b	6.32±0.46 ^a	2.15±0.03 ^A	1.49±0.15 ^C	1.74±0.07 ^B
甘氨酸	3.60±0.25 ^a	1.88±0.35 ^b	3.92±0.89 ^a	1.07±0.04 ^A	0.58±0.08 ^B	1.07±0.21 ^A
丙氨酸	3.96±0.27 ^a	2.71±0.40 ^b	3.70±0.22 ^a	1.18±0.06 ^A	0.84±0.08 ^C	1.02±0.05 ^B
缬氨酸*	3.34±0.22 ^a	2.11±0.36 ^c	2.80±0.17 ^b	1.02±0.03 ^A	0.66±0.07 ^C	0.77±0.04 ^B
异亮氨酸*	2.34±0.13 ^a	1.58±0.24 ^c	2.00±0.13 ^b	0.71±0.02 ^A	0.49±0.05 ^B	0.55±0.04 ^B
亮氨酸*	4.89±0.09 ^a	3.24±0.51 ^c	4.19±0.20 ^b	1.49±0.03 ^A	1.01±0.11 ^C	1.15±0.05 ^B
酪氨酸	1.63±0.23 ^a	0.92±0.13 ^b	1.40±0.19 ^a	0.53±0.03 ^A	0.29±0.03 ^C	0.39±0.05 ^B
苯丙氨酸*	2.81±0.12 ^a	1.77±0.30 ^c	2.44±0.15 ^b	0.86±0.02 ^A	0.55±0.07 ^C	0.67±0.03 ^B
组氨酸*	1.98±0.09 ^a	1.38±0.23 ^b	1.78±0.05 ^a	0.59±0.02 ^A	0.43±0.05 ^C	0.49±0.04 ^B
赖氨酸*	4.64±0.30 ^a	3.15±0.49 ^c	4.10±0.24 ^b	1.42±0.04 ^A	0.98±0.10 ^C	1.13±0.08 ^B
精氨酸*	3.42±0.10 ^a	2.11±0.45 ^b	3.19±0.30 ^a	1.04±0.02 ^A	0.66±0.10 ^C	0.88±0.06 ^B
脯氨酸	3.18±0.81 ^a	1.73±0.37 ^b	3.36±0.10 ^a	0.96±0.22 ^A	0.54±0.11 ^B	0.93±0.07 ^A
氨基酸总量(T)	53.57±2.59 ^a	33.86±5.29 ^b	48.58±2.84 ^b	16.31±0.27 ^A	10.53±1.05 ^C	13.37±0.48 ^B
必需氨基酸总量(E)	26.05±0.89 ^a	17.02±2.74 ^c	22.75±1.14 ^b	7.93±0.12 ^A	5.29±0.56 ^C	6.26±0.26 ^B
非必需氨基酸总量	27.52±1.75 ^a	16.84±2.58 ^b	25.83±1.95 ^a	8.37±0.25 ^A	5.24±0.51 ^C	7.10±0.35 ^B
E/T(%)	0.49±0.01 ^a	0.50±0.01 ^a	0.47±0.01 ^b	0.49±0.01 ^A	0.50±0.01 ^A	0.47±0.01 ^B

表 5 三组鳗鲡性腺中氨基酸含量的比较(%)
Tab.5 Content differences of amino acids in gonad among three groups of eel *A. japonica*

氨基酸	降海洄游鳗鲡	人工促熟鳗鲡	长期饥饿鳗鲡
天冬氨酸	0.94±0.05 ^a	0.65±0.11 ^b	0.85±0.05 ^a
苏氨酸*	0.45±0.06 ^a	0.43±0.06 ^a	0.41±0.03 ^a
丝氨酸	0.54±0.05 ^a	0.54±0.08 ^a	0.47±0.05 ^a
谷氨酸	1.37±0.09 ^a	1.09±0.07 ^c	1.22±0.06 ^b
甘氨酸	0.62±0.04 ^a	0.34±0.07 ^b	0.61±0.02 ^a
丙氨酸	0.63±0.05 ^b	0.84±0.07 ^a	0.51±0.02 ^c
缬氨酸*	0.54±0.05 ^a	0.44±0.07 ^b	0.52±0.05 ^{ab}
异亮氨酸*	0.40±0.010 ^a	0.33±0.06 ^b	0.39±0.02 ^{ab}
亮氨酸*	0.85±0.05 ^a	0.66±0.12 ^b	0.77±0.05 ^{ab}
酪氨酸	0.34±0.05 ^a	0.33±0.05 ^a	0.29±0.03 ^a
苯丙氨酸*	0.48±0.04 ^a	0.39±0.06 ^b	0.49±0.03 ^a
组氨酸*	0.40±0.00 ^a	0.41±0.02 ^a	0.37±0.05 ^a

续表

氨基酸	降海洄游鳗鲡	人工促熟鳗鲡	长期饥饿鳗鲡
赖氨酸*	0.83±0.05 ^a	0.63±0.06 ^b	0.78±0.04 ^a
精氨酸*	0.65±0.06 ^a	0.54±0.07 ^b	0.69±0.02 ^a
脯氨酸	0.77±0.14 ^a	0.54±0.07 ^b	0.64±0.12 ^{ab}
氨基酸总量(T)	9.80±0.57 ^a	8.15±0.91 ^b	9.01±0.35 ^{ab}
必需氨基酸总量(E)	4.60±0.24 ^a	3.83±0.52 ^b	4.42±0.16 ^a
非必需氨基酸总量	5.20±0.34 ^a	4.33±0.39 ^b	4.60±0.19 ^b
E/T(%)	0.47±0.01 ^b	0.47±0.01 ^b	0.49±0.00 ^a

3 讨论

3.1 肝体比指数与鱼类性腺发育的关系

通常可采用生物学指标来评价鱼类的发育状况。由于肝脏组织在卵黄蛋白合成中起着重要的作用,与性腺发育关系密切,因此,肝体比经常被测定,以探究性腺的发育状况。鱼类通常会动用肝脏中储存的营养物质,以满足性腺发育需求,导致肝体比指数下降。Larsson 等(1973)、Caruso 等(2010)、杜震宇等(2003)分别研究欧洲鳗鲡(*A. anguilla*)、鲈鱼(*Lateolabrax japonicus*)发现,在饥饿状况下,其肝体比均显著降低。但肝体比指数的降低并不意味着性指数也降低,Echevarría 等(1997)研究欧洲鲈鱼(*Dicentrarchus labrax* L.)时,发现在饥饿 100—150d 后,其 GSI 不会具有显著变化。当营养条件比较合适时,肝体比指数常伴随着性腺指数的增加而增加,如野生白鲟(*Diplodus sargus*)在性腺发育中期肝体比显著增加(Pérez *et al.*, 2007)。鳗鲡性腺发育成熟后肝体比显著增加,性腺指数也随之增加(蒋天宝等, 2012),本文也呈现出一致的规律。鳗鲡在长期饥饿后肝体比显著降低,而性成熟后肝体比显著增加。

3.2 蛋白质在鱼类性腺发育过程中的作用

在鱼类性腺发育过程中,亲鱼会积累营养物质(主要为蛋白质、脂类),促使卵巢发育(麦贤杰等, 2005)。鱼体内不同组织在这一过程中所起的作用不同,肝脏是鱼类脂类、蛋白质和糖类合成、分解、转运的重要场所,而肌肉是主要的贮能场所(王义强等, 1990)。在性腺发育过程,鱼类的肝脏会优先利用自身的蛋白质,导致自身蛋白质含量的下降。高晓阳等(2011)报道日本鳗鲡性成熟后,肝脏内粗蛋白显著下降,性腺(干样)蛋白含量增加。本文的研究结果也证实了这一点,在性腺发育过程中,鳗鲡肌肉中的蛋白质含量并未显著下降,肝脏中蛋白质含量显著下降。但是本实验中性腺蛋白质含量与其研究结果不同,

呈现下降的趋势,这可能是由于本文中比较的性腺材料是鲜样,因为雌鳗卵细胞成熟过程中的水合作用,使得性腺中含有的水分较多,导致性腺内蛋白质含量相对降低(杨崑, 2014)。

在饥饿状况下,鱼类为了维持生命活动,通常会转换储存的能量来满足身体需求。鱼类贮存的能源物质一般是脂肪和糖原,长期饥饿状态下才会利用蛋白作为能量消耗(Love, 1958; Jonsson *et al.*, 1998; Godavarthy *et al.*, 2012),如鲤鱼(*Cyprinus carpio*)(封功能等, 2011)、红鳍笛鲷(*Lutjanus erythropterus*)(王沛宾等, 2005)在长时间饥饿后肌肉中蛋白含量显著降低。本文也发现长期饥饿鳗鲡肌肉中蛋白含量显著降低。

3.3 氨基酸含量在鱼类性腺发育过程中的作用

蛋白质在不同组织间的转化利用主要是通过被水解成各种氨基酸来实现的。因此研究不同组织中蛋白质的水解氨基酸含量也能从一定程度上反映出鱼类在性腺发育过程中的能量利用途径。研究发现,在鱼类性腺发育过程中,经常动用肌肉内的氨基酸来进行“母体补偿”。黄旭雄等(2009)研究表明在银鲟(*Pampus argenteus*)亲鱼的繁殖期,不摄食,动用体内组织(主要是肌肉和肝脏)所贮存的营养物质,致使卵巢发育到 V 期时肌肉和肝脏总氨基酸含量显著下降。本文研究显示,人工促熟后,鳗鲡肌肉、肝脏中氨基酸含量均显著降低,表明鳗鲡在性腺发育阶段可利用肌肉与肝脏内氨基酸为卵巢的发育提供营养物质。有意思的是,鳗鲡性腺中氨基酸含量降低,这一点与蒋天宝(2012)的研究结果不同,可能是本研究性腺采用鲜样进行分析,其中水分含量较高,导致鲜样中氨基酸相对含量降低所致。

在食物匮乏时,氨基酸可转化成葡萄糖而致使含量降低。Shiau 等(2001)发现饥饿 60 天后,遮目鱼(*Chanos chanos*)肌肉内氨基酸总量显著降低。柳敏海等(2009)与陈波等(2008)研究鳊鱼(*Miichthys miiuy*)幼鱼和点带石斑鱼(*Epinephelus coioides*)幼鱼全鱼在饥

饿期间必需氨基酸和氨基酸总量均显著低于对照组,且随饥饿时间的延长降低越加明显。本实验中鳗鲡经过长期饥饿后其肌肉、肝脏内氨基酸总量与必需氨基酸总量均显著降低,且必需氨基酸占总氨基酸含量的比值均显著降低,表明鳗鲡利用肌肉与肝脏内氨基酸来作为能量来源,且会较多利用必需氨基酸。

参 考 文 献

- 王义强, 黄世蕉, 赵维信等, 1990. 鱼类生理学. 上海: 上海科学技术出版社, 148—168
- 王沛宾, 林学群, 2005. 饥饿和恢复投喂对红鳍笛鲷生化组成的影响. 水产科学, 24(12): 10—13
- 王际英, 李培玉, 宋志东等, 2010. 野生和人工养殖褐牙鲈亲鱼不同组织氨基酸的比较. 水产学报, 34(11): 1736—1743
- 麦贤杰, 黄伟健, 叶富良等, 2005. 海水鱼类繁殖生物学和人工繁育. 北京: 海洋出版社, 40—41
- 杜震宇, 刘永坚, 田丽霞等, 2003. 饥饿对于鲈肌肉、肝脏和血清主要生化组成的影响. 动物学报, 49(4): 458—465
- 杨 崑, 2014. 生殖期河川沙塘鳢雌、雄亲鱼生化组成比较及营养转移的研究. 重庆: 重庆师范大学硕士学位论文, 1—39
- 陈 波, 柳敏海, 施兆鸿等, 2008. 饥饿和再投饲对点带石斑鱼幼鱼脂肪酸和氨基酸组成的影响. 上海水产大学学报, 17(6): 674—679
- 封功能, 杨文平, 王爱民等, 2011. 饥饿胁迫对鲤形体、体成分及血液生理指标的影响. 上海海洋大学学报, 20(6): 814—819
- 柳敏海, 罗海忠, 傅荣兵等, 2009. 短期饥饿胁迫对鳊鱼生化组成、脂肪酸和氨基酸组成的影响. 水生生物学报, 33(2): 230—235
- 高晓阳, 蒋天宝, 赵广学, 2011. HCG 和鲤鱼脑垂体诱导雌性日本鳗鲡卵巢成熟过程中生化成分变化初步研究. 广东农业科学, 38(18): 98—101
- 黄旭雄, 施兆鸿, 李伟微等, 2009. 银鲱亲鱼不同组织的氨基酸及其随性腺发育的变化. 水产学报, 33(2): 278—287
- 蒋天宝, 2012. 日本鳗鲡人工繁殖技术优化及雌鳗卵巢发育相关生理生化因子的变化. 上海: 上海海洋大学硕士学位论文, 1—69
- 蒋天宝, 刘利平, 高晓阳等, 2012. 鲤脑垂体和 HCG 诱导雌性日本鳗鲡性腺成熟过程中血清生化成分的变化. 水产学报, 36(6): 893—899
- Caruso G, Maricchiolo G, Micale V *et al*, 2010. Physiological responses to starvation in the European eel (*Anguilla anguilla*): effects on haematological, biochemical, non-specific immune parameters and skin structures. *Fish Physiology and Biochemistry*, 36(1): 71—83
- Echevarría G, Martínez-Bebiá M, Zamora S, 1997. Evolution of biometric indices and plasma metabolites during prolonged starvation in European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 118(1): 111—123
- Godavarthy P, Kumar Y S, 2012. Differential utilization of proteins in *Anabas testudineus* (Bloch) exposed to brief and prolonged fasting. *Recent Research in Science and Technology*, 4(5): 4—9
- Jonsson N, Jonsson B, 1998. Body composition and energy allocation in life-history stages of brown trout. *Journal of Fish Biology*, 53(6): 1306—1316
- Larsson A, Lewander K, 1973. Metabolic effects of starvation in the eel, *Anguilla anguilla* L.. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 44(2): 367—374
- Love R M, 1958. Studies on the north sea cod. III. - Effects of starvation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 9(9): 617—620
- Olivereau M, Olivereau J M, 1997. Long-term starvation in the European eel: general effects and responses of pituitary growth hormone-(GH) and somatolactin-(SL) secreting cells. *Fish Physiology and Biochemistry*, 17(1—6): 261—269
- Pérez M J, Rodríguez C, Cejas J R *et al*, 2007. Lipid and fatty acid content in wild white seabream (*Diplodus sargus*) broodstock at different stages of the reproductive cycle. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 146(2): 187—196
- Shiau C-Y, Pong Y-P, Chiou T-K *et al*, 2001. Effect of starvation on free histidine and amino acids in white muscle of milkfish *Chanoschanos*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 128(3): 501—506
- Trancart T, Tudorache C, van den Thillart G E E J M *et al*, 2015. The effect of thermal shock during diel vertical migration on the energy required for oceanic migration of the European silver eel. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 463: 168—172

VARIATIONS OF BIOLOGICAL INDICATORS AND PROTEIN AND AMINO ACID CONTENT IN *ANGUILLA JAPONICA* DURING GONAD DEVELOPMENT AND STARVATION STRESS

WANG Ting, LIU Li-Ping, CHEN Tao-Ying, ZHANG Li-Na, LIN Jing, WANG Qian, SHUAI Dian
(Key Laboratory of Exploration and Utilization of Aquatic Genetic Resources, Shanghai Ocean University, Ministry of Education, Shanghai 201306, China)

Abstract We investigated the changes of major biological indices (the condition factor, hepatosomatic index, viscerosomatic index, and gonadosomatic index), meat content ratio, and the contents of crude protein and amino acid in muscle, liver, and gonads among three groups of eel *Anguilla japonica*, i.e., artificially-induced maturation eels, long-term fasting eels (20 months), and wild broodstock eels. The results show that the hepatosomatic index, viscerosomatic index, and gonadosomatic index of induced maturation eels were significantly greater than that of wild broodstock eel ($P < 0.05$), while the meat content, crude protein content, total amino acids, total essential amino acids and the total non-essential amino acids content in liver and ovary were significant smaller than those of wild broodstock eel ($P < 0.05$). The condition factor, hepatosomatic index, meat content, crude protein, total amino acids, total essential amino acids, and total non-essential amino acids in muscle and liver of long fasting eels (20 months) were significantly smaller than those of the wild broodstock eels ($P < 0.05$). The results imply that the nutrients required by *A. japonica* during gonad development were supplied from muscle, and both essential amino acids and non-essential amino acids were utilized to meet the nutrients demand from gonadal development.

Key words *Anguilla japonica*; gonad development; starvation stress; biological indices; crude protein; amino acid