

## 饥饿对斑点叉尾 体重及鱼体生化组成的影响

谭肖英<sup>1</sup> 罗智 王为民 熊邦喜 袁永超 樊启学

(华中农业大学水产学院, 农业动物繁殖与遗传育种教育部重点实验室, 武汉 430070)

**摘要:**将 180 尾初始体重为  $(41.9 \pm 0.5)$  g 的斑点叉尾 放养于 18 个室内容积为 300L 的水族箱中进行饥饿处理 12 周, 每箱放 10 尾, 每 2 周取样一次, 研究长期饥饿胁迫下斑点叉尾 生长和鱼体生化组成的变化, 尤其是肌肉氨基酸和脂肪酸组成的变化。实验结果表明: 斑点叉尾 的体重、肥满度、脏体比、肝体比和脂体比随着饥饿时间的延长显著降低 ( $p < 0.05$ ); 饥饿过程中全鱼的蛋白质、脂肪含量显著下降 ( $p < 0.05$ ), 水分含量显著增加 ( $p < 0.05$ ), 而灰分含量变化不大; 肌肉中蛋白质含量前 6 周变化不显著 ( $p > 0.05$ ), 而 6 周后显著降低 ( $p < 0.05$ ), 脂肪、糖原和灰分含量随着饥饿时间的延长显著降低 ( $p < 0.05$ ), 水分含量显著增加 ( $p < 0.05$ ); 肝脏中的蛋白质和水分含量随饥饿时间的延长显著上升 ( $p < 0.05$ ), 粗脂肪和糖原的含量则显著下降 ( $p < 0.05$ ); 在 12 周的饥饿时间内, 总的必需氨基酸所占的百分比变化不显著 ( $p > 0.05$ ), 而总的必需氨基酸和总的非必需氨基酸的比值显著增加 ( $p < 0.05$ ); 斑点叉尾 肌肉中总饱和脂肪酸、总单不饱和脂肪酸和 n-6 系列脂肪酸的百分含量显著下降 ( $p < 0.05$ ), 而总的 n-3 系列脂肪酸含量显著增加 ( $p < 0.05$ )。n-3/n-6 脂肪酸的比值随饥饿时间的延长而显著升高 ( $p < 0.05$ )。以上结果说明: 斑点叉尾 在饥饿条件下优先动用机体的贮存性物质(脂肪和糖原)作为能源的供给物, 而后才被迫动用组织或器官中的功能性物质蛋白质; 长期饥饿胁迫下斑点叉尾 优先保留必需氨基酸及 EPA、DHA 等高度不饱和脂肪酸。

**关键词:** 斑点叉尾 ; 饥饿; 生化组成; 氨基酸; 脂肪酸

**中图分类号:** S965.199 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2009)01-

饥饿是指食物供应受到限制以至于断绝, 或食物摄入受到影响, 进食困难甚至不能进食, 从而使机体处于能量和营养素摄入不全或缺乏的状态。在自然界以及人工养殖中, 鱼类经常会遇到饥饿的威胁。不同鱼类对饥饿的耐受力 and 适应性不同, 一般通过降低代谢率和消耗自身的储能物质来应对环境产生的饥饿胁迫因子<sup>[1]</sup>。在饥饿期间, 鱼类机体中的蛋白质、脂肪、糖原、水分以及对氨基酸、脂肪酸、DNA、RNA 等含量会发生较大变化, 这些组成的变化在一定程度上反映了鱼类对营养物质的需求, 因而研究饥饿期间鱼体营养组成的变化有助于更好地理解鱼类的生理生化及营养物质代谢特点。

斑点叉尾 (*Ictalurus punctatus*) 于 1984 年引进我国, 目前已成为我国内地尤其湖北养殖的主要淡水品种之一。从已有的文献看, 国外学者已经对饥饿期间斑点叉尾 鱼体营养组成的变化进行了研

究, 但主要偏向于脂肪酸组成的变化, 而且饥饿的时间相对较短<sup>[2,3]</sup>, 有关长期饥饿胁迫下斑点叉尾 鱼体氨基酸组成的变化方面, 目前还未见报道。本实验对斑点叉尾 幼鱼进行 12 周的饥饿处理, 测定相关的形态指标及鱼体的生化组成(尤其是氨基酸和脂肪酸组成), 研究斑点叉尾 在饥饿过程中动员营养物质的特点, 为深入探讨饥饿期间斑点叉尾 鱼体氨基酸和脂肪酸代谢的特点打下基础。

### 1 材料与方法

**1.1 实验材料和日常管理** 实验于 2005 年 11 月—2006 年 2 月在华中农业大学水产学院校内实验基地进行。实验用鱼来自武汉市的一个鱼苗场, 规格整齐, 体格健壮, 体重为  $(41.9 \pm 0.5)$  g。实验开始前实验鱼暂养 2 周, 以适应实验环境。暂养期间饱食投喂斑点叉尾 专用膨化饲料(高龙, 武

收稿日期: 2007-01-29; 修订日期: 2008-02-11

基金项目: 华中农业大学博士启动基金资助

作者简介: 谭肖英(1979—), 女, 广东花都人; 助教; 主要从事水产动物营养与饲料研究。E-mail: txy7933@163.com

通讯作者: 罗智, E-mail: luozhi99@yahoo.com.cn

汉)。一天投喂 2 次。

实验开始时,对斑点叉尾 进行分组实验。把体格健康、规格一致的实验鱼随机放养到 18 个容积为 300L 的室内水族箱中,每箱 10 尾,进行饥饿实验。实验期间所有实验鱼不投喂,完全饥饿。循环水,水源为充分暴气的自来水,流速为 21/min。每两天换水一次。实验期间充气,以维持水中溶氧在饱和点以上。

实验期间水温为 10.2—17.6℃,溶解氧为  $\geq 6.0$  mg/L, pH 为 7.8—8.4,总氨氮为 0.014—0.036 mg/L。

**1.2 样品的采集与分析方法** 实验前,随机取与实验鱼大小相近的个体 24 尾,毁髓处死,其中 6 尾用来分析鱼体的初始营养组成(每 2 尾做个混样,共 3 个平行样);余下的 15 尾,称取体重,测量体长,解剖取得肌肉、内脏团和肝脏制样(每 5 尾做个混样,共 3 个平行样),分离内脏脂团,称得内脏团、肝脏和内脏脂团重量,计算肥满度、肝体比、脏体比和脂体比,并分析初始肌肉、肝脏的营养组成。以后每隔 2 周即在第 2、4、6、8、10、12 周采样测量。每次取样时随机取 3 个箱的鱼,数数、称重。然后每箱随机取 3 尾,毁髓处死,制备全鱼样品。余下的鱼毁髓处死,称取体重,测量体长;解剖取得肌肉、内脏团和肝脏制样,分离内脏脂团,称得内脏团、肝脏和内脏脂团质量。所有这些样品在分析前置于 -70℃ 冰箱保存。

分别采用超低温真空冷冻干燥法、凯氏定氮法( $N \times 6.25$ )、索氏抽提法及 550℃ 马福炉测定全鱼、肌肉和肝脏的水分、粗蛋白、粗脂肪和灰分含量。肌肉和肝脏中的总糖采用 3,5-二硝基水杨酸法来进

行测量。肌肉中脂肪酸和氨基酸含量的分析分别采用气相色谱和自动氨基酸分析仪测定。这些分析方法根据我们实验室的常规操作法进行<sup>[4,5]</sup>。

### 1.3 计算

平均体重(Mean body weight, *MBW*) = 各尾鱼体重和(g)/尾数

肥满度(Condition factor, *CF*) =  $100 \times$  活体重(g)/体长(cm)

脏体比(Viscerosomatic index, *VSI*) =  $100 \times$  内脏重(g)/体重(g)

肝体比(Hepatosomatic index, *HSI*) =  $100 \times$  肝脏重(g)/体重(g)

脂体比(Intraperitoneal index, *IPI*) =  $100 \times$  肠系膜脂肪重(g)/体重(g)

**1.4 实验结果的统计分析** 实验结果用平均值  $\pm$  标准差表示(mean  $\pm$  SD,  $n = 3$ ),经单因素方差分析,采用 Duncan's 多重比较检验平均数的差异显著性,显著性水平为 0.05。所采用的软件为“SPSS 11.0”。

## 2 结果

饥饿对斑点叉尾 体重及形态学指标的影响(表 1)。随着饥饿时间的延长,斑点叉尾 的体重显著降低( $p < 0.05$ ),从初始体重( $41.9 \pm 0.5$ )g 下降到实验结束时的( $26.3 \pm 1.6$ )g。肥满度、脏体比、肝体比和脂体比也随着饥饿时间的延长显著降低( $p < 0.05$ ),但是到了 12 周,这些参数的值略有增加,但与第 10 周的值差异不显著(肝体比除外)( $p > 0.05$ )。

表 1 饥饿对斑点叉尾 幼鱼的生长性能和形态上的影响

Tab. 1 Effect of starvation on growth performance and morphometrical parameters of juvenile channel catfish *I. punctatus*

参数 Parameters	饥饿时间(周数) Starvation time (weeks)						
	0	2	4	6	8	10	12
平均体重 MBW	41.9 $\pm$ 0.5 <sup>a</sup>	39.2 $\pm$ 0.6 <sup>b</sup>	36.3 $\pm$ 0.4 <sup>c</sup>	34.7 $\pm$ 0.2 <sup>d</sup>	31.4 $\pm$ 1.2 <sup>e</sup>	27.0 $\pm$ 0.6 <sup>f</sup>	26.3 $\pm$ 1.6 <sup>f</sup>
肥满度 CF	1.31 $\pm$ 0.09 <sup>a</sup>	1.29 $\pm$ 0.03 <sup>ab</sup>	1.28 $\pm$ 0.01 <sup>ab</sup>	1.25 $\pm$ 0.05 <sup>bc</sup>	1.23 $\pm$ 0.02 <sup>c</sup>	0.76 $\pm$ 0.00 <sup>d</sup>	0.79 $\pm$ 0.03 <sup>d</sup>
脏体比 VSI	7.52 $\pm$ 0.32 <sup>a</sup>	6.81 $\pm$ 0.17 <sup>b</sup>	6.74 $\pm$ 0.14 <sup>b</sup>	6.45 $\pm$ 0.22 <sup>c</sup>	6.27 $\pm$ 0.18 <sup>cd</sup>	5.97 $\pm$ 0.13 <sup>c</sup>	6.02 $\pm$ 0.08 <sup>de</sup>
肝体比 HSI	2.04 $\pm$ 0.07 <sup>a</sup>	1.82 $\pm$ 0.08 <sup>b</sup>	1.64 $\pm$ 0.06 <sup>c</sup>	1.51 $\pm$ 0.07 <sup>cd</sup>	1.49 $\pm$ 0.05 <sup>de</sup>	1.41 $\pm$ 0.09 <sup>e</sup>	1.62 $\pm$ 0.06 <sup>cd</sup>
脂体比 IPR	1.99 $\pm$ 0.12 <sup>a</sup>	1.65 $\pm$ 0.06 <sup>b</sup>	1.32 $\pm$ 0.06 <sup>c</sup>	1.15 $\pm$ 0.09 <sup>d</sup>	0.81 $\pm$ 0.04 <sup>e</sup>	0.54 $\pm$ 0.03 <sup>f</sup>	0.65 $\pm$ 0.05 <sup>f</sup>

注:值用平均数  $\pm$  标准偏差( $n = 3$ )来表示;表中同行内数据的右上角标中不同的字母表示数据间有显著性差异( $p < 0.05$ );下同

Notes: Values are means  $\pm$  S. D. of three replicates and values within the same row with different superscripts are significantly different ( $p < 0.05$ );

The same as follows

饥饿对斑点叉尾 全鱼、肌肉和肝脏的生化组成(蛋白质、脂肪、水分、灰分、糖原)的影响(表 2)。饥饿 12 周全鱼的蛋白质、脂肪含量显著下降( $p <$

0.05),水分含量显著增加( $p < 0.05$ ),而灰分含量变化不大;肌肉中蛋白质含量前 6 周变化不显著( $p > 0.05$ ),而 6 周后显著降低( $p < 0.05$ ),脂肪、糖原

和灰分含量随着饥饿时间的延长显著降低 ( $p < 0.05$ ), 水分含量显著增加 ( $p < 0.05$ ); 肝脏中的蛋白质和水分含量随饥饿时间的延长显著上升 ( $p <$

$0.05$ ), 粗脂肪和糖原的含量则显著下降 ( $p < 0.05$ ), 但第 12 周的肝糖原含量显著高于第 10 周的含量 ( $p < 0.05$ )。

表 2 饥饿对斑点叉尾 幼鱼身体组成的影响

Tab. 2 Effect of starvation on body composition of juvenile channel catfish *I. punctatus* (percentage of live weight)

参数 Parameters	饥饿时间 (周数) Starvation time (weeks)						
	0	2	4	6	8	10	12
全鱼 Whole body							
蛋白质 Protein	14.6 ± 0.2 <sup>a</sup>	14.5 ± 0.5 <sup>a</sup>	14.4 ± 0.5 <sup>a</sup>	14.5 ± 0.1 <sup>a</sup>	13.2 ± 0.3 <sup>b</sup>	13.2 ± 0.3 <sup>b</sup>	12.8 ± 0.5 <sup>b</sup>
脂肪 Lipid	10.8 ± 1.3 <sup>a</sup>	10.0 ± 0.1 <sup>ab</sup>	9.4 ± 0.3 <sup>abc</sup>	9.8 ± 0.5 <sup>abc</sup>	8.4 ± 1.2 <sup>bcd</sup>	8.3 ± 0.9 <sup>cd</sup>	7.7 ± 0.9 <sup>d</sup>
水分 Moisture	71.8 ± 0.8 <sup>d</sup>	73.5 ± 0.8 <sup>c</sup>	74.0 ± 1.4 <sup>bc</sup>	73.8 ± 0.4 <sup>c</sup>	75.1 ± 0.8 <sup>abc</sup>	75.7 ± 0.9 <sup>ab</sup>	76.8 ± 1.1 <sup>a</sup>
灰分 Ash	3.8 ± 0.2 <sup>b</sup>	3.8 ± 0.2 <sup>b</sup>	4.2 ± 0.2 <sup>a</sup>	3.8 ± 0.2 <sup>b</sup>	3.9 ± 0.2 <sup>ab</sup>	4.1 ± 0.2 <sup>ab</sup>	3.8 ± 0.3 <sup>b</sup>
肌肉 Muscle							
蛋白质 Protein	17.8 ± 0.4 <sup>a</sup>	17.9 ± 0.2 <sup>a</sup>	17.7 ± 0.2 <sup>ab</sup>	17.6 ± 0.1 <sup>ab</sup>	17.1 ± 0.7 <sup>bc</sup>	17.1 ± 0.1 <sup>b</sup>	16.4 ± 0.6 <sup>c</sup>
脂肪 Lipid	5.0 ± 0.1 <sup>a</sup>	4.8 ± 0.2 <sup>ab</sup>	4.5 ± 0.2 <sup>bcd</sup>	4.7 ± 0.3 <sup>abc</sup>	4.3 ± 0.2 <sup>cde</sup>	4.0 ± 0.1 <sup>e</sup>	4.2 ± 0.4 <sup>de</sup>
水分 Moisture	78.3 ± 0.5 <sup>c</sup>	78.8 ± 0.3 <sup>c</sup>	78.9 ± 0.4 <sup>c</sup>	78.9 ± 0.3 <sup>c</sup>	79.8 ± 0.4 <sup>b</sup>	80.2 ± 0.1 <sup>b</sup>	80.9 ± 0.6 <sup>a</sup>
灰分 Ash	0.93 ± 0.1 <sup>a</sup>	0.91 ± 0.07 <sup>ab</sup>	0.77 ± 0.06 <sup>ab</sup>	0.73 ± 0.09 <sup>b</sup>	0.88 ± 0.11 <sup>ab</sup>	0.89 ± 0.08 <sup>ab</sup>	0.73 ± 0.11 <sup>b</sup>
糖原 Glycogen	0.21 ± 0.03 <sup>a</sup>	0.17 ± 0.02 <sup>ab</sup>	0.17 ± 0.00 <sup>ab</sup>	0.17 ± 0.03 <sup>ab</sup>	0.14 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.16 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.16 ± 0.02 <sup>b</sup>
肝脏 Liver							
蛋白质 Protein	12.0 ± 0.1 <sup>c</sup>	13.2 ± 0.1 <sup>d</sup>	14.2 ± 0.3 <sup>c</sup>	15.0 ± 0.3 <sup>ab</sup>	14.6 ± 0.1 <sup>b</sup>	15.4 ± 0.2 <sup>a</sup>	14.0 ± 0.5 <sup>c</sup>
脂肪 Lipid	5.9 ± 0.2 <sup>a</sup>	5.8 ± 0.4 <sup>ab</sup>	5.6 ± 0.3 <sup>b</sup>	5.4 ± 0.1 <sup>ab</sup>	5.4 ± 0.2 <sup>ab</sup>	5.3 ± 0.3 <sup>b</sup>	5.3 ± 0.3 <sup>b</sup>
水分 Moisture	72.7 ± 1.2 <sup>c</sup>	74.5 ± 0.3 <sup>b</sup>	75.3 ± 0.4 <sup>b</sup>	76.7 ± 0.9 <sup>a</sup>	76.8 ± 0.4 <sup>a</sup>	77.2 ± 0.3 <sup>a</sup>	77.8 ± 0.9 <sup>a</sup>
糖原 Glycogen	2.35 ± 0.08 <sup>a</sup>	1.69 ± 0.00 <sup>b</sup>	1.23 ± 0.08 <sup>c</sup>	0.80 ± 0.01 <sup>d</sup>	0.80 ± 0.02 <sup>d</sup>	0.56 ± 0.01 <sup>c</sup>	0.73 ± 0.02 <sup>d</sup>

饥饿对斑点叉尾 肌肉中氨基酸含量的影响 (表 3)。在 12 周的饥饿时间内, 必需氨基酸除了苏氨酸和组氨酸显著降低 ( $p < 0.05$ )、异亮氨酸显著增加 ( $p < 0.05$ ) 外, 其他必需氨基酸及总的必需氨基酸所占的百分比变化不显著 ( $p > 0.05$ ); 而非必

需氨基酸中, 丝氨酸、丙氨酸和脯氨酸的百分含量显著下降 ( $p < 0.05$ ), 酪氨酸含量显著升高 ( $p < 0.05$ ), 甘氨酸和总的非必需氨基酸所占的百分比变化不显著 ( $p > 0.05$ ), 然而, 总的必需氨基酸和总的非必需氨基酸的比值显著增加 ( $p < 0.05$ )。

表 3 饥饿对斑点叉尾 幼鱼肌肉中氨基酸组成的影响 (各氨基酸在总氨基酸中的百分含量)

Tab. 3 Effect of starvation on amino acid compositions of muscle in juvenile channel catfish *I. punctatus* (percentage of total amino acid contents)

参数 Parameters	饥饿时间 (周数) Starvation time (weeks)			
	0	4	8	12
必需氨基酸 Essential (EAA)				
苏氨酸 Threonine	4.24 ± 0.01 <sup>a</sup>	4.20 ± 0.01 <sup>b</sup>	4.19 ± 0.02 <sup>b</sup>	4.16 ± 0.01 <sup>c</sup>
缬氨酸 Valine	5.00 ± 0.14	5.14 ± 0.08	5.04 ± 0.02	5.12 ± 0.07
蛋氨酸 Methionine	3.12 ± 0.01	3.16 ± 0.07	3.10 ± 0.02	3.15 ± 0.01
异亮氨酸 Isoleucine	4.52 ± 0.16 <sup>b</sup>	4.66 ± 0.08 <sup>ab</sup>	4.66 ± 0.01 <sup>ab</sup>	4.73 ± 0.04 <sup>a</sup>
亮氨酸 Leucine	8.40 ± 0.07	8.48 ± 0.07	8.51 ± 0.01	8.51 ± 0.10
苯丙氨酸 Phenylalanine	4.53 ± 0.05	4.35 ± 0.30	4.60 ± 0.01	4.55 ± 0.02
赖氨酸 Lysine	9.68 ± 0.08	9.68 ± 0.08	9.69 ± 0.02	9.74 ± 0.05
组氨酸 Histidine	2.19 ± 0.01 <sup>a</sup>	2.15 ± 0.02 <sup>b</sup>	2.11 ± 0.01 <sup>c</sup>	2.10 ± 0.02 <sup>c</sup>
精氨酸 Arginine	6.33 ± 0.08	6.32 ± 0.02	6.29 ± 0.04	6.35 ± 0.05
总必需氨基酸 Σ EAA	48.01 ± 0.42	48.15 ± 0.08	48.18 ± 0.05	48.41 ± 0.05
非必需氨基酸 Nonessential (NEAA)				
天冬氨酸 Aspartic acid	9.62 ± 0.01 <sup>b</sup>	9.66 ± 0.05 <sup>b</sup>	9.74 ± 0.02 <sup>a</sup>	9.63 ± 0.06 <sup>b</sup>
丝氨酸 Serine	5.56 ± 0.08 <sup>a</sup>	5.44 ± 0.02 <sup>a</sup>	5.45 ± 0.02 <sup>b</sup>	5.36 ± 0.02 <sup>c</sup>

续表

参数 Parameters	饥饿时间 (周数) Starvation time (weeks)			
	0	4	8	12
谷氨酸 Glutamic acid	17.23 ± 0.05 <sup>b</sup>	17.41 ± 0.11 <sup>a</sup>	17.43 ± 0.04 <sup>a</sup>	17.36 ± 0.09 <sup>ab</sup>
甘氨酸 Glycine	5.39 ± 0.15	5.30 ± 0.15	5.25 ± 0.02	5.30 ± 0.07
丙氨酸 Alanine	6.28 ± 0.01 <sup>a</sup>	6.24 ± 0.01 <sup>ab</sup>	6.19 ± 0.01 <sup>b</sup>	6.19 ± 0.07 <sup>b</sup>
半胱氨酸 Cystine	0.76 ± 0.03 <sup>ab</sup>	0.83 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.73 ± 0.04 <sup>b</sup>	0.71 ± 0.08 <sup>b</sup>
酪氨酸 Tyrosine	3.54 ± 0.03 <sup>b</sup>	3.60 ± 0.03 <sup>ab</sup>	3.70 ± 0.06 <sup>a</sup>	3.69 ± 0.12 <sup>a</sup>
脯氨酸 Proline	3.60 ± 0.19 <sup>a</sup>	3.38 ± 0.10 <sup>b</sup>	3.34 ± 0.06 <sup>b</sup>	3.34 ± 0.06 <sup>b</sup>
总非必需氨基酸 Σ NEAA	51.99 ± 0.42	51.85 ± 0.08	51.82 ± 0.05	51.59 ± 0.05
总必需氨基酸/总非必需氨基酸 Σ EAA/ Σ NEAA	0.92 ± 0.02 <sup>b</sup>	0.93 ± 0.00 <sup>ab</sup>	0.93 ± 0.00 <sup>ab</sup>	0.94 ± 0.00 <sup>a</sup>

饥饿对斑点叉尾 肌肉中脂肪酸含量的影响(表 4)。在斑点叉尾 肌肉中,百分含量最大的 4 种脂肪酸分别为 C16:0、C18:1、C18:2n-6 和 C22:6n-3。实验期间,斑点叉尾 肌肉中总饱和脂肪酸、总单不饱和脂肪酸和 n-6 系列脂肪酸的百分含量显著下降( $p < 0.05$ ),而总的 n-3 系

列脂肪酸含量显著增加( $p < 0.05$ )。含量显著降低的脂肪酸有:C14:0、C16:0、C18:0、C16:1、C18:1、C20:1、C18:2n-6 和 C18:3n-3,显著增加的脂肪酸有:C20:4n-6、C20:5n-3C 和 22:6n-3( $p < 0.05$ )。n-3/n-6 的比值随饥饿时间的延长而显著升高( $p < 0.05$ )。

表 4 饥饿对斑点叉尾 幼鱼肌肉中脂肪酸组成的影响

Tab. 4 Effect of starvation on fatty acid composition of muscle in juvenile channel catfish *I. punctatus* (percent total fatty acids)

参数 Parameters	饥饿时间 (周数) Starvation time (weeks)			
	0	4	8	12
C14:0	0.57 ± 0.06 <sup>a</sup>	0.33 ± 0.06 <sup>b</sup>	0.43 ± 0.06 <sup>b</sup>	0.33 ± 0.06 <sup>b</sup>
C16:0	16.20 ± 0.20	16.10 ± 0.56	16.07 ± 0.31	15.93 ± 0.70
C17:0	0.33 ± 0.06	0.23 ± 0.06	0.23 ± 0.06	0.23 ± 0.06
C18:0	8.37 ± 0.38 <sup>a</sup>	8.33 ± 0.61 <sup>a</sup>	7.23 ± 0.15 <sup>b</sup>	7.20 ± 0.70 <sup>b</sup>
C20:0	0.19 ± 0.01	0.19 ± 0.02	0.19 ± 0.02	0.17 ± 0.06
SFA 总饱和脂肪酸	25.66 ± 0.10 <sup>a</sup>	25.19 ± 1.13 <sup>ab</sup>	24.15 ± 0.28 <sup>b</sup>	23.87 ± 0.91 <sup>b</sup>
C16:1	2.53 ± 0.15 <sup>a</sup>	2.03 ± 0.21 <sup>bc</sup>	2.23 ± 0.21 <sup>ab</sup>	1.87 ± 0.12 <sup>c</sup>
C17:1	0.21 ± 0.01	0.17 ± 0.06	0.17 ± 0.06	0.13 ± 0.06
C18:1	31.17 ± 0.25 <sup>a</sup>	26.47 ± 0.31 <sup>b</sup>	27.50 ± 0.26 <sup>b</sup>	24.10 ± 1.42 <sup>c</sup>
C20:1	2.50 ± 0.20 <sup>ab</sup>	2.77 ± 0.21 <sup>a</sup>	2.10 ± 0.17 <sup>bc</sup>	1.73 ± 0.31 <sup>c</sup>
MUFA 总单不饱和脂肪酸	36.41 ± 0.21 <sup>a</sup>	31.43 ± 0.31 <sup>b</sup>	32.00 ± 0.35 <sup>b</sup>	27.83 ± 1.55 <sup>c</sup>
C18:2n-6	13.20 ± 0.26 <sup>a</sup>	12.40 ± 0.92 <sup>b</sup>	11.47 ± 0.23 <sup>b</sup>	11.40 ± 0.80 <sup>b</sup>
C20:2n-6	1.90 ± 0.10	1.83 ± 0.15	1.87 ± 0.29	1.67 ± 0.06
C20:4n-6	1.77 ± 0.06 <sup>b</sup>	2.17 ± 0.21 <sup>b</sup>	2.73 ± 0.23 <sup>a</sup>	2.73 ± 0.12 <sup>a</sup>
n-6	16.87 ± 0.15 <sup>a</sup>	16.40 ± 0.89 <sup>ab</sup>	16.07 ± 0.21 <sup>ab</sup>	15.60 ± 0.61 <sup>c</sup>
C18:3n-3	1.17 ± 0.06 <sup>a</sup>	0.93 ± 0.12 <sup>b</sup>	0.87 ± 0.06 <sup>b</sup>	0.80 ± 0.10 <sup>b</sup>
C20:5n-3	1.73 ± 0.12 <sup>c</sup>	2.77 ± 0.29 <sup>b</sup>	2.43 ± 0.21 <sup>b</sup>	3.53 ± 0.40
C22:6n-3	10.17 ± 0.31 <sup>c</sup>	14.57 ± 0.60 <sup>b</sup>	15.07 ± 0.23 <sup>b</sup>	18.57 ± 1.19 <sup>a</sup>
n-3	13.07 ± 0.38 <sup>c</sup>	18.27 ± 0.76 <sup>b</sup>	18.37 ± 0.12 <sup>b</sup>	22.90 ± 1.68 <sup>a</sup>
n-3/n-6	0.77 ± 0.03 <sup>c</sup>	1.11 ± 0.02 <sup>b</sup>	1.14 ± 0.02 <sup>b</sup>	1.47 ± 0.08 <sup>a</sup>

### 3 讨论

本实验表明,饥饿导致斑点叉尾 的体重显著下降,与很多作者研究的结果相似<sup>[6-9]</sup>。同时,饥饿也显著降低了斑点叉尾 的肥满度、脏体比、肝体比

和脂体比,这与 Gaylord 和 Gatlin<sup>[10]</sup> 和 Bosworth 和 Wolters<sup>[11]</sup> 在斑点叉尾 的研究结果相似。这些结果表明,饥饿期间斑点叉尾 倾向于动员内脏和肝脏中的营养物质作为能源,而肌肉及一些结构组成成分(如骨骼、皮肤及结缔组织)保持相对恒

定<sup>[7,11]</sup>。对比之下,杜震宇等<sup>[6]</sup>研究发现鲈的主要供能源物质来自于肌肉和肠系膜脂肪,易军等<sup>[12]</sup>研究发现饥饿条件下太平洋鲑的主要供能源物质来自于肝脏和肌肉。

本实验中,饥饿胁迫下斑点叉尾 全鱼中的蛋白质和粗脂肪含量显著下降,水分含量显著上升,这也与其他作者研究的结果相似<sup>[13,14]</sup>。而肌肉中蛋白质含量前6周变化不显著( $p > 0.05$ ),6周后显著降低( $p < 0.05$ ),脂肪、糖原和灰分含量随着饥饿时间的延长显著降低( $p < 0.05$ ),表明斑点叉尾 整个饥饿期间脂肪和糖原是肌肉中主要的供能物质,而饥饿后期斑点叉尾 也动员肌肉中的蛋白质作为能源。一般而言,脂肪和糖原是鱼类的主要贮能物质,饥饿状态主要消耗这两种物质<sup>[1]</sup>。随饥饿时间的延长,斑点叉尾 肝脏的粗脂肪和糖原的含量明显下降,而蛋白质含量显著上升,表明,斑点叉尾 在饥饿过程中,脂肪和糖原是肝脏的主要能量来源,肝脂肪和糖原含量的下降导致肝蛋白含量的上升。在饥饿条件下,不同的鱼类动用体内各种贮存器官中的能源物质的先后次序是不同的<sup>[15]</sup>。饥饿期间很多鱼类的肝糖原都作为能源被消耗,只是肝糖原减少的程度因种类而不同。同时由于种间差异,也有一些鱼类在饥饿过程中首先动用蛋白质作为供能物质,如真鲷<sup>[16]</sup>和一些鲑鳟鱼类<sup>[17]</sup>。

在鱼类代谢中氨基酸起到重要的作用,尤其在饥饿过程氨基酸可以转化成葡萄糖作为能量来源<sup>[18]</sup>。在饥饿胁迫下,氨基酸含量降低很可能是由于被用作能量消耗引起的,而氨基酸含量相对升高可能是由于这种氨基酸被作为功能性物质保留下来<sup>[14,19]</sup>。本实验中,斑点叉尾 幼鱼肌肉中总必需氨基酸与总非必需氨基酸的比值显著上升,说明斑点叉尾 在饥饿状态下优先动用非必需氨基酸作为能量来源,优先保留必需氨基酸。饥饿胁迫下不同氨基酸种类的变化趋势不一样,可能与它们在鱼体内的特定生理功能有关<sup>[20]</sup>。同时,长期饥饿胁迫下氨基酸在代谢过程中起着重要的作用,一些可以通过糖原衍生途径合成糖类物质满足鱼类对糖的需求<sup>[18,21]</sup>。

实验期间,斑点叉尾 肌肉中总饱和脂肪酸、总单不饱和脂肪酸和 n-6 系列脂肪酸的百分含量显著下降,而总的 n-3 系列脂肪酸含量显著增加。饥饿使鱼类肌肉中饱和脂肪酸和单不饱和脂肪酸的含量显著降低,这一点在其他研究得到了证实<sup>[22,23]</sup>。对比之下,Abi-Ayad, *et al.*<sup>[24]</sup>发现 Eurasian perch 饥饿

胁迫下不会动员饱和脂肪酸作为能量消耗,而 n-6 脂肪酸含量显著降低。Jeziarska, *et al.*<sup>[25]</sup>指出饥饿胁迫降低了单不饱和脂肪酸的含量,而且由于单不饱和脂肪酸含量的降低导致了饱和脂肪酸含量的升高。本实验中, n-3 系列多不饱和脂肪酸(尤其是 DHA 和 EPA)百分含量上升,这与许多其他研究结果相符<sup>[2,24,26]</sup>。这表明饥饿胁迫下斑点叉尾 优先保留这些物质。深入的研究发现 n-3 PUFA 在生物膜结构中具有重要作用,如 DHA 和 EPA 是构成脑组织和视网膜的重要脂肪酸<sup>[19]</sup>。

## 参考文献:

- [ 1 ] Xie X J, Deng L, Zhang B. Advances and studies on ecophysiological effects of starvation on fish [J]. *Acta Hydrobiologia Sinica*, 1998, **22**: 181—188 [ 谢小军, 邓利, 张波. 饥饿对鱼类生理生态学影响的研究进展. 水生生物学报, 1998, **22**: 181—188 ]
- [ 2 ] Tidwell J H, Webster C D, Clark J A. Effects of feeding, starvation, and refeeding on the fatty acid composition of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) tissues [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 1992, **103A**: 365—368
- [ 3 ] Webster C D, Tidwell J H, Goodgame L S, *et al.* Effect of fasting on fatty acid composition of muscle, liver, and abdominal fat in channel catfish, *Ictalurus punctatus* [J]. *Journal of the World Aquaculture Society*, 1994, **25**: 126—134
- [ 4 ] Luo Z, Liu Y J, Mai K S, *et al.* Quantitative L-lysine requirement of juvenile grouper *Epinephelus coioides* [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2006, **12**: 165—172
- [ 5 ] Luo Z, Liu Y J, Mai K S, *et al.* Dietary L-methionine requirement of juvenile grouper *Epinephelus coioides* at a constant dietary cysteine level [J]. *Aquaculture*, 2005, **249**: 409—418
- [ 6 ] Du Z Y, Liu Y J, Tian L X, *et al.* Effects of starvation on visceral weight and main biochemical composition of the muscle, liver and serum in the Japanese sea bass (*Lateolabrax japonicus*) [J]. *Acta Zoologica Sinica*, 2003, **49**: 458—465 [ 杜震宇, 刘永坚, 田丽霞, 等. 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, 2003, **49**: 458—465 ]
- [ 7 ] Hung S S O, Liu W, Li H B, *et al.* Effect of starvation on some morphological and biochemical parameters in white sturgeon (*Acipenser transmontanus*) [J]. *Aquaculture*, 1997, **151**: 357—363
- [ 8 ] Einen O, Waagen B, Thomassen M S. Starvation prior to slaughter in Atlantic salmon (*Salmo salar*): I. Effects on weight loss, body shape, slaughter and fillet-yield, proximate and fatty acid composition [J]. *Aquaculture*, 1998, **166**: 85—104
- [ 9 ] Guderley H, Lapointe D, Bedard M, *et al.* Metabolic priorities during starvation: enzyme sparing in liver and white muscle of Atlantic cod, *Gadus morhua* L [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 2003, **135A**: 347—356
- [ 10 ] Gaylord T G., Gatlin D M III. Assessment of compensatory growth in channel catfish *Ictalurus punctatus* R. and associated changes in body condition indices [J]. *Journal of the World Aquaculture*

- Society*, 2000, **31**:326—336
- [11] Bosworth B G, Wolters W. Effects of short-term feed restriction on production, processing and body shape traits in market-weight channel catfish, *Ictalurus punctatus* (Rafinesque) [J]. *Aquaculture Research*, 2005, **36**:344—351
- [12] Yi J, Yue X Y, Feng J. Effect of starvation on the growth and biochemical composition of Pacific salmon [J]. *Sichuan Animal and Veterinary Sciences*, 2005, **29**:29—30 [易军, 岳秀英, 冯健. 饥饿对太平洋鲑鱼生长及生化组成的影响. 四川畜牧兽医, 2005, **29**:29—30]
- [13] Gunasekera R M, De Silva S S, Ingram B A. Chemical changes in fed and starved larval trout cod, *Maccullochella macquarensis* during early development [J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2001, **25**:255—268
- [14] Shiao C Y, Pong Y J, Chiou T K, et al. Effect of starvation on free histidine and amino acids in white muscle of milkfish *Chanos chanos* [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 2001, **128B**:501—506
- [15] Maddock D M, Burton M P M. Some effects of starvation on the lipid and skeletal muscle layers of the winter flounder *Pleuronectes americanus* [J]. *Canadian Journal of Zoology*, 1994, **72**:1672—1679
- [16] Zhang B, Sun Y. The effects of starvation on growth and biochemical composition in *Pagrosomus major* [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2000, **24**:206—210 [张波, 孙耀. 饥饿对真鲷生长及生化组成的影响. 水产学报, 2000, **24**:206—210]
- [17] Weatherley A H. Recovery growth following periods of restricted rations and starvation in rainbow trout [J]. *Journal of Fish Biology*, 1981, **18**:195—208
- [18] French C J, Mommsen T P, Hochachka P W. Amino acid utilization in isolated hepatocytes from rainbow trout [J]. *European Journal of Biochemistry*, 1981, **113**:311—317
- [19] Navarro I, Blasco J, Banos N, et al. Effects of fasting and feeding on plasma amino acid levels in brown trout [J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 1997, **16**:303—309
- [20] Mertz E T. The protein and amino acid needs. In: Halver J E (Ed.), *Fish Nutrition* [M]. Academic Press, New York, NY, 1977, 105—143
- [21] Suarez P K, Mommsen T P. Gluconeogenesis in teleost fishes [J]. *Canadian Journal of Zoology*, 1987, **65**:1869—1882
- [22] Sargent J R, McEvoy L, Estevez A, et al. Lipid nutrition of marine fish early development: current status and future directions [J]. *Aquaculture*, 1999, **179**:217—229
- [23] Abi-Ayad S-M E-M, Boutiba Z, Melard C, et al. Dynamics of total body fatty acids during early ontogeny of pikeperch (*Sander lucio-perca*) larvae [J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2004, **30**:129—136
- [24] Abi-Ayad S-M E-M, Kestemont P, Melard C. Dynamics of total lipid and fatty acid during embryogenesis and larval development of Eurasian perch (*Perca fluviatilis*) [J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2000, **23**:233—243
- [25] Jezierska B, Hazel J R, Gerking S D. Lipid mobilization during starvation in the rainbow trout (*Salmo gairdneri* Richardson), with attention to fatty acids [J]. *Journal of Fish Biology*, 1982, **21**:681—692
- [26] Ishizaki Y, Masuda R, Uematsu K, et al. The effect of docosahexaenoic acid on schooling behavior and brain development in larval yellowtail [J]. *Journal of Fish Biology*, 2001, **58**:1691—1693

## EFFECTS OF STARVATION ON BODY WEIGHT AND BODY COMPOSITION OF JUVENILE CHANNEL CATFISH *ICTALURUS PUNCTATUS*

TAN Xiao-Ying, LUO Zhi, WANG Wei-Min, XIONG Bang-Xi, YUAN Yong-Chao and FAN Qi-Xue

(Key Lab of Agricultural Animal Genetics, Breeding and Reproduction of Ministry of Education, Fishery College, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070)

**Abstract:** A decrease in food availability during winter forces fish species from temperate regions to undergo a natural but prolonged starvation. To survive these regularly occurring periods of food limitation, fish must subsist by mobilizing the materials present in their tissues. Fish have diverse strategies to deal with periods of food deprivation, consisting of decreasing locomotor and metabolic activities, modifying tissue metabolic capacities and degrading muscle protein. The findings of starvation studies can be used to determine the nutrients most critical as energy reserves and accordingly permit a better understanding of fish physiology and nutrient metabolism. Channel catfish *Ictalurus punctatus*, amongst other things, originally native to states within the Mississippi Valley and those along the Gulf of Mexico, were introduced to China in 1984 and now become one of the major freshwater cultured fish species in the country. During overwintering, channel catfish is adapted to mobilize body constituents and survive extensive feed deprivation, leading to considerable fluctuations in energetic status. The effects of feed restrictions (including starvation) on growth, hepatosomatic index (HSI), visceral fat levels and processing yield of channel catfish have been reported by several authors. However, little is available on effect of long-term

starvation on body composition in channel catfish, especially on both amino acid and fatty acids changes considered together. Thus, the present study investigated the effects of starvation on the growth and compositional changes in channel catfish *Ictalurus punctatus* (initial mean weight:  $41.9 \pm 0.5$ , Mean  $\pm$  S. D. ) starved in indoor circular fiberglass aquarium for 12 weeks, with special emphasis on amino acid and fatty acid changes. Samples were collected at an interval of 2 weeks, and body weight, morphometrical parameters, body composition, amino acid and fatty acids composition both in muscle and liver were determined. Starvation significantly reduced body weight, condition factor (CF), viscerosomatic index (VSI), HSI and intraperitoneal index (IPF) ( $p < 0.05$ ); during the starvation, whole body protein and lipid contents markedly declined, and moisture content increased ( $p < 0.05$ ); in muscle, protein concentration remained relatively constant within the first 6 weeks but thereafter declined significantly ( $p < 0.05$ ), while lipid, glycogen and ash contents decreased with deprivation ( $p < 0.05$ ); hepatic protein and moisture levels increased ( $p < 0.05$ ) but lipid and glycogen concentrations decreased with increasing starvation. Starvation significantly influenced amino acid and fatty acid profiles in muscle ( $p < 0.05$ ). During the experiment, the ratio of total essential amino acid (TEAA) to total non-essential amino acid (TNEAA) increased ( $p < 0.05$ ); total saturated fatty acid (SFA), total mono-unsaturated fatty acid (MUFA) and n-6 fatty acids declined ( $p < 0.05$ ) but n-3 fatty acids (especially EPA and DHA) increased ( $p < 0.05$ ). Based on these observations above, during starvation, juvenile channel catfish preferentially mobilized stored nutrient sources (lipid and glycogen) of the body, and then structure material of the tissue (protein) as energy; EAA and highly-unsaturated fatty acids (HUFA, especially EPA and DHA) were preferentially restored. The present information provided an indication of impact of starvation on body weight and identified the nutrients catabolised and conserved in the face of increasing food starvation, and will assist in the development of the formulated diet for juvenile channel catfish *I. punctatus*.

**Key words:** *Ictalurus punctatus*; Starvation; Biochemical composition; Amino acid; Fatty acid