

文章编号: 1000-0615(2004)03-0279-06

## 饥饿和补偿生长对史氏鲟幼鱼摄食、生长和体成分的影响

高露姣<sup>1,2</sup>, 陈立侨<sup>1</sup>, 宋兵<sup>1</sup>

(1. 华东师范大学生命科学学院, 上海 200062;

2. 中国水产科学研究院东海水产研究所水产养殖生物学与种质资源实验室, 上海 200090)

**摘要:**报道了饥饿和再投喂对史氏鲟幼鱼摄食、生长以及生化组成的影响。22±2℃条件下,随着饥饿时间延长,幼鱼白肌的RNA/DNA比值不断减小,体重逐渐下降,后者与同期对照组之间存在极显著性差异( $P < 0.01$ )。饥饿7d,鱼的肝糖原和肌糖原含量显著降低( $P < 0.05$ ),但随着饥饿时间的延长,肝糖原和肌糖原含量则出现不同程度的回升;脂肪含量和蛋白质含量分别在饥饿14d和21d时下降幅度最大,提示史氏鲟幼鱼动用储存物质的顺序依次是糖原、脂肪和蛋白质。而饥饿过程中鱼体水分和灰分含量则有所上升。恢复投食后,饥饿幼鱼的摄食强度增大,生长加快,其中7d、14d饥饿组幼鱼的RNA/DNA比值达到或接近正常投喂组水平,但21d饥饿组的比值仍明显低于正常投喂组( $P < 0.05$ )。恢复投食30d后,7d和14d饥饿组幼鱼体重接近对照组( $P > 0.05$ ),21d饥饿组的终体重未能赶上对照组( $P < 0.05$ ),这表明史氏鲟幼鱼的补偿生长随饥饿时间不同而异。试验结束时,各处理组鱼体生化组成与正常投喂组没有显著差异( $P > 0.05$ )。

**关键词:**史氏鲟;幼鱼;饥饿;再投喂;生长;生化组成;RNA/DNA比值;

中图分类号:S917 文献标识码:A

## Effect of starvation and compensatory growth on feeding, growth and body biochemical composition in *Acipenser schrenckii* juveniles

GAO Lu-Jiao<sup>1,2</sup>, CHEN Li-Qiao<sup>1</sup>, SONG Bing<sup>1</sup>

(1. College of Life Sciences, East China Normal University, Shanghai 200062, China;

2. Lab of Aquaculture and Germ Plasm Resource, East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fisheries Sciences, Shanghai 200090, China)

**Abstract** The effect of starvation for different time and re-feeding on growth, feeding and body biochemical composition of Amur sturgeon juveniles (*Acipenser schrenckii*) were investigated indoor under 22±2℃. The body weight and ratio of RNA/DNA of fish decreased with the increasing of starvation period. After being deprived of food for 7 days, 14 days or 21 days, body weight was significantly lower than that of fed fish ( $P < 0.01$ ). At the same time, protein, lipid and glycogen content of fish were lower, while ash and moisture content became higher of the starved group than that of the control. The liver glycogen and muscle glycogen content reduced mainly in the first week, and lipid and protein content reduced obviously in second and third week of food deprivation respectively. The results indicated that sturgeon juveniles mobilize energy from glycogen, lipid and protein in turn.

收稿日期: 2003-11-07

资助项目: 教育部“跨世纪优秀人才培养计划”基金和高等学校骨干教师资助计划项目部分资助

作者简介: 高露姣(1971-),女,浙江桐庐人,助理研究员,博士,主要从事动物营养学研究。Tel: 021-6568460-8009, E-mail: ljgao@citiz.net

通讯作者: 陈立侨,教授,博士生导师。E-mail: lqchen@bio.ecnu.edu.cn, Tel: 021-62233637

Upon re-feeding, all the starved groups exhibited higher feed intake rates and specific growth rates than that of the control group. The ratio of RNA/DNA of fish deprived of food for 7 and 14 days reached or approximated to that of the control, while the ratio of RNA/DNA of the testing fish starved for 21 days was lower significantly compared to the control ( $P < 0.05$ ). After re-feeding for 30 days, there were no significant differences in body biochemical composition among four groups ( $P > 0.05$ ). The fish deprived of food for 7 and 14 days were able to catch up with the control in body weight, while the fish weight of starving 21 days less than the control ( $P < 0.05$ ). It suggested that both complete and partial compensation is contributed somewhat by improvement feeding rate in Amur sturgeon.

**Key words:** *Acipenser schrenckii*; juveniles; starvation; re-feeding; growth; biochemical composition; RNA/DNA ratio

饥饿是鱼类生活史中经常面临的环境胁迫因子之一,不同种类或不同生活周期的鱼对饥饿的适应方式及耐受力有所不同。已有学者探讨了某些鱼类在饥饿状态下的能量利用模式,以及身体化学组成的变化,以此来考察鱼类对饥饿胁迫的适应性特征<sup>[1-3]</sup>。

史氏鲟(*Acipenser schrenckii*)因其特有的食用价值、经济价值和优良的养殖性能,已成为当今重要的水产养殖品种之一。有关该鱼生物学特性和养殖技术已有不少报道<sup>[4]</sup>,但迄今未见对其饥饿后补偿生长方面的报道。作者就史氏鲟在饥饿和恢复生长过程中,幼鱼的体组织生化组成、摄食和生长等方面进行了较为详细的研究,旨在探讨史氏鲟是否存在补偿生长现象,以期为鲟的饥饿生理、合理投喂和苗种培育提供基础资料。

## 1 材料与方 法

### 1.1 实验材料

实验用鱼取自上海市北部水产养殖中心,为摄食驯化的史氏鲟幼鱼。选择体重 13~16g 的健康幼鱼 200 尾,分养于 10 个规格为 150cm × 100cm × 80cm 的水族箱中,每箱 20 尾。采用流水养殖,水流速度为 20~30L·h<sup>-1</sup>,饲养用水为经曝气过的深井水,水体中溶氧保持在 6mg·L<sup>-1</sup>以上,水温 22 ± 2℃。每日投喂人工配合饲料 4 次(6:30, 11:00, 16:00, 21:00),每次达饱食。驯养 14d 后,选取其中 160 尾,开始正式实验。

### 1.2 实验设计

实验分 A、B、C、D 4 个处理组,每组 40 尾(分两个平行),分别饥饿处理 7、14、21 和 0d(对照组)。各组饥饿结束后恢复投食 30d。在饥饿前、饥饿结束和恢复喂食 30d 时,分别从各处理组中随机取样 6 尾(每一平行 3 尾),称重后取样用于体成分分

析。饲养管理措施和暂养期间相同,对照组和饥饿处理组在恢复投食阶段,每日投喂人工饲料 4 次,均达饱食。每次投喂后至下一次投喂前收集残饵,残饵经烘干后称重。残饵量由饵料的溶失率及干湿重校正而得,并求得每日的耗饵量。

### 1.3 样品的制备和测定

将所取的 3 尾鱼体样品于 70℃ 烘干至恒重,求得水分含量。然后研磨成细粉状后,置于 -20℃ 冰箱保存,供测定灰分、蛋白质和脂肪含量;另 3 尾解剖,分离出白肌,保存于 -196℃ 液氮中,供测定肌肉 RNA 和 DNA 含量,待糖原含量测定的部分肌肉 -20℃ 冰箱保存。

蛋白质采用改进的凯氏定氮法<sup>[5]</sup>;总脂含量采用氯仿-甲醇:H<sub>2</sub>O(2:2:1)法<sup>[6]</sup>;灰分含量采用马福炉法,糖原含量采用蒽酮显色法<sup>[7]</sup>,RNA 和 DNA 含量分析采用上海华盛生物工程有限公司的 System I 组织/细胞 RNA 抽提系统提取,然后经紫外分光光度计测定其含量,计算 RNA/DNA 比值。

每一处理组取样 3 次,每一样品重复测定 3 次,然后求出其平均值。

### 1.4 数据处理

在恢复生长过程中每尾鱼的特殊生长率(SGR)以及蛋白质、脂肪和碳水化合物饥饿过程中代谢提供的能量,分别用以下公式计算:

$$\text{SGR}(\%) = 100 \times (\ln W_2 - \ln W_1) / t$$

$$\text{代谢供能} = (P_1 \times W_1 - P_0 \times W_0) \times \text{能值}$$

其中,  $W_0$ 、 $W_1$  和  $W_2$  分别为饥饿前、饥饿结束和恢复生长结束时的鱼体湿重(g);  $t$  恢复生长时间;  $P_1$ 、 $P_2$  分别能源物质占鱼体湿重的百分含量(%);蛋白质、脂肪和碳水化合物的能值分别取 5.65kcal·g<sup>-1</sup>、9.45kcal·g<sup>-1</sup> 和 4.10kcal·g<sup>-1</sup>。

数据均用平均值 ± 标准差( $\bar{X} \pm \text{SD}$ )表示,不同处理组数据间的差异性采用方差分析,  $P < 0.05$  为

存在显著性差异,  $P < 0.01$  为存在极显著性差异。

## 2 结果

### 2.1 史氏鲟幼鱼在饥饿及恢复生长过程中摄食和生长情况

史氏鲟幼鱼随着饥饿时间的延长, 幼鱼体重不断下降(表1), A、B、C组在饥饿结束时, 幼鱼湿重分别比饥饿前减少2.25%、4.42%和16.01%, 分别只有同期对照组的59.445%、48.97%和28.83%。经统计分析, 各饥饿处理组与同期的对照组之间存在极显著性差异( $P < 0.01$ )。而同期的正常投喂组, 在此期间, 体重不断增加, 至试验21d时, 其体重上升到 $41.49 \pm 3.03$ g, 是试验开始时的2.91倍。恢复喂食后, 饥饿幼鱼的平均

表1 饥饿及恢复生长过程中史氏鲟幼鱼的体重变化(N=6)

Tab. 1 Changes of body weight of *A. schrenckii* juveniles during starvation and re feeding

组别 group	饥饿处理前体重(g) body weight before starvation		饥饿处理后体重(g) body weight after starvation		恢复生长后体重(g) body weight after recovery growth	
A	14.23 $\pm 2.73$		13.92 $\pm 0.74^a$		54.00 $\pm 11.73^c$	
B	14.24 $\pm 2.73$		13.61 $\pm 2.44^a$		53.52 $\pm 16.73^c$	
C	14.25 $\pm 2.73$	14.24 $\pm 2.73$	11.96 $\pm 4.21^a$	27.79 $\pm 5.65^b$	58.08 $\pm 10.12^c$	85.42 $\pm 25.35^c$
D	14.24 $\pm 2.73$	14.24 $\pm 2.73$	23.42 $\pm 3.06^b$	41.49 $\pm 3.03^b$	56.83 $\pm 14.30$	63.00 $\pm 13.28$

注: 实验组与对照组之间, 实验组在饥饿或恢复投喂处理前后的上标字母大小写不同, 表示差异显著( $P < 0.05$ ); 不同字母, 表示差异极显著( $P < 0.01$ )

Notes: Between experiment group and control group, or one experiment group after starvation or re feeding, superscript letter in different writing (capitalization or lowercase) means significant difference( $P < 0.05$ ), while different superscript means great significant difference( $P < 0.01$ )

表2 A组和D组幼鱼在恢复生长期间的摄食量

Tab. 2 Feeding quantity of each fish in group A and group D during re feeding period

恢复喂食时间 time after recovery feeding	平均摄食量( $g \cdot ind^{-1} \cdot d^{-1}$ ) average feeding quantity	
	A组 group A	D组 group D
第1天 first day	2.30	1.95
第3天 third day	2.17	1.90
第5天 fifth day	1.96	1.68
第10天 tenth day	1.84	1.56
第15天 fifteenth day	1.95	1.89
第20天 twentieth day	2.19	2.13
第30天 thirtieth day	2.24	2.23

### 2.2 史氏鲟幼鱼在饥饿及恢复生长后身体组成变化

在饥饿过程中, 鱼体主要化学组成的变化较为明显(图1)。鱼体蛋白质含量(占湿重)在整个饥饿过程中逐渐下降, 其中第7天和第14天下降缓慢, 分别比饥饿前减少了0.55%、1.05%, 但饥饿

特殊生长率为4.50%~5.30%, 30天恢复生长期时, 各处理组与饥饿结束时均存在极显著差异( $P < 0.01$ )。A组和B组鱼的体重虽然未完全赶上D组, 但经统计分析, 它们与D组之间不存在显著性差异, C组幼鱼终末体重与D组相差较远( $P < 0.05$ )。试验过程中, 没有出现互相残杀和饥饿致死现象。

从各处理组幼鱼在恢复生长过程中摄食量的变化来看, 与同期的对照组相比, 在恢复摄食阶段的开始20d, 饥饿幼鱼平均日摄食量高于对照组, 然后逐渐接近对照组, 而且恢复投喂过程中, 饥饿幼鱼的摄食量随着投喂时间的延长, 先不断降低, 然后又逐渐增大。表2比较了A组与对照组的摄食量情况。

21d时, 鱼体蛋白质含量比饥饿前减少了2.30%(图1-a)。脂肪含量在饥饿过程中也不断下降( $P < 0.05$ ), 而且比蛋白质下降得更明显, 如在饥饿7d、14d和21d时, 幼鱼的脂肪含量分别由饥饿前的5.67%下降到4.97%、3.21%和3.05%, 即分别减少了0.70%、2.46%和2.62%(图1-b)。鱼体蛋白质和脂肪含量下降的同时, 水分含量和灰分含量则不断上升, 饥饿21d鱼体水分含量由初始的80.00%上升到84.14%, 灰分由初始的2.40%上升到2.93%(图1-c, d)。7d和14d的饥饿分别使史氏鲟幼鱼的肝脏和白肌糖原含量显著降低( $P < 0.05$ ), 而继续饥饿, 肝糖原和肌糖原含量出现不同程度的反弹。例如饥饿7d时, 鲟鱼的肝糖原和肌糖原含量分别比饥饿前减少了32.46%、1.13%; 在饥饿14d时, 肝糖原出现回升现象, 含量是饥饿7d时的5.57倍, 而肌糖原含量

继续显著下降( $P < 0.05$ ), 但至饥饿 21d 时肌糖原含量也出现回升现象, 并基本达到饥饿一周时的水平(图 1- e, f)。

恢复投喂后, A、B、C 组的鱼体蛋白质、脂肪和糖原含量均不断增加, 但各指标增幅各异, 如 A

组, 恢复投喂 30d 时, 其蛋白质、脂肪含量分别比饥饿结束时增加了 1.33% 和 0.33%; 而其肝糖原增加比较明显, 比饥饿结束时增加了  $50.15\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$  组织, 含量达  $51.28\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$  组织; 肌糖原含量也有所增加, 从饥饿结束时的  $1.42\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$  组织上

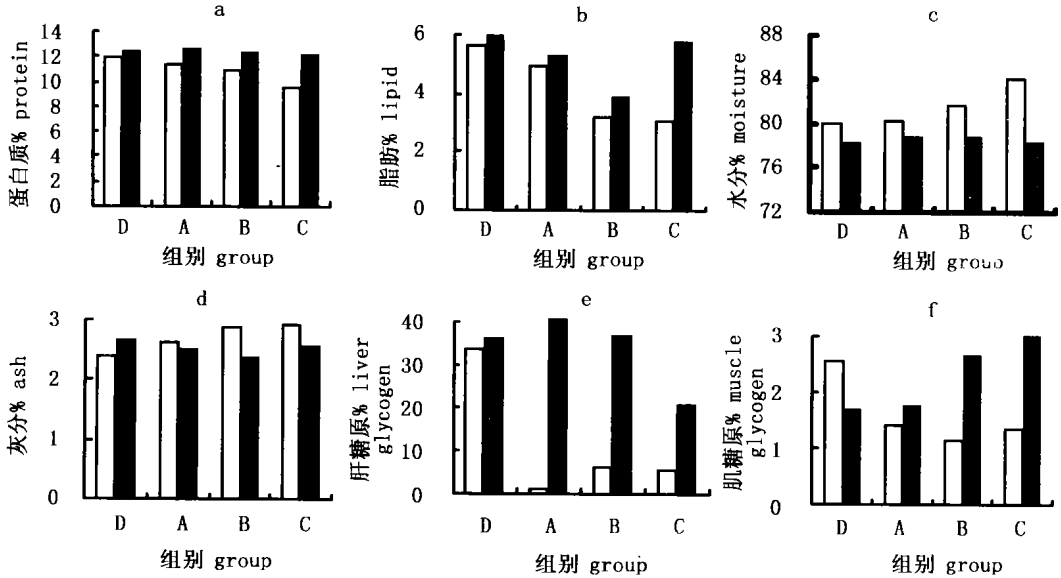


图 1 史氏鲟幼鱼在饥饿过程中(白色)和恢复生长后(黑色)身体组成的变化

Fig. 1 Change of biochemical compositions of *A. schrenckii* juveniles during starvation (white) and after re-feeding (black)

注: D 组(对照组)的成分分别取试验开始和结束时的值; 其中, a: 蛋白质; b: 脂肪; c: 水分; d: 灰分; e: 肝糖原; f: 肌糖原

Notes the biochemical composition of control fish was that of start and end of the experiment, respectively  
a: protein; b: lipid; c: moisture; d: ash; e: liver glycogen; f: muscle glycogen

升到  $1.77\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$  组织。B 组在恢复摄食 30d 后, 其蛋白质和脂肪含量分别增加 1.47% 和 0.70%, 肝糖原含量比饥饿结束时增加了  $30.62\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$  组织, 是饥饿结束时的 5.78 倍, 肌糖原含量从饥饿结束时的  $1.15\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$  组织上升到  $2.69\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$  组织, 增加了  $1.54\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$  组织。C 组恢复摄食 30d 后, 蛋白质、脂肪、肝糖原和肌糖原含量分别比饥饿结束时增加了 2.65%、2.75%、 $15.02\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$  组织和  $1.68\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$  组织。可以看出 A、B、C 组的蛋白质、脂肪和肌糖原含量增加幅度依次增大, 而肝糖原含量的增加幅度依次减小。在恢复摄食期间, 鱼体的水分含量和灰分含量不断下降。经统计分析, 各处理组的生化组成与同期对照组间没有显著差异。

由蛋白质、脂肪和糖原百分含量变化以及它们的能值计算得知, 随着饥饿时间的延长, 蛋白质、脂肪代谢提供的能量不断上升。如饥饿

7d 时, 蛋白质和脂肪代谢提供的能量分别为  $0.4146\text{kJ}\cdot\text{d}^{-1}$  和  $0.6683\text{kJ}\cdot\text{d}^{-1}$  (此阶段肝糖原提供的能量占主要部分, 达  $11.1953\text{kJ}\cdot\text{d}^{-1}$ ); 饥饿至 14d 时, 蛋白质和脂肪为代谢提供的能量迅速上升, 分别为  $3.998\text{kJ}\cdot\text{d}^{-1}$  和  $11.045\text{kJ}\cdot\text{d}^{-1}$ ; 而饥饿至 21d 时, 蛋白质和脂肪提供的代谢能分别为  $12.947\text{kJ}\cdot\text{d}^{-1}$  和  $17.513\text{kJ}\cdot\text{d}^{-1}$ 。说明史氏鲟幼鱼在饥饿过程中先大量动用糖原, 再逐步增加对蛋白质和脂肪的能量使用。

### 2.3 饥饿和再投喂过程中白肌的 RNA/DNA 比值

史氏鲟幼鱼在饥饿过程中, 白肌 RNA/DNA 比值不断下降, 至饥饿 21d 时, RNA/DNA 由饥饿前的 1.98 降到 0.96。恢复喂食 30d 后, 3 个处理组的白肌 RNA/DNA 均增大, 并且 A 组和 B 组的 RNA/DNA 比值赶上或接近正常投喂组, 只有 C 组的比值明显低于正常投喂组。

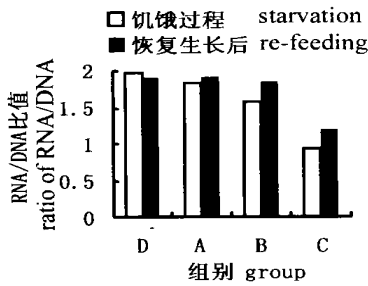


图2 史氏鲟幼鱼饥饿过程中和恢复生长后 RNA/DNA 比值的变化

Fig. 2 Change of RNA/DNA ratio of *A. schrenkii* juveniles during starvation and after re-feeding

### 3 讨论

#### 3.1 史氏鲟幼鱼在饥饿过程中及恢复生长后生化组成的变化

本试验结果, 史氏鲟幼鱼饥饿至第 21 天时, 蛋白质含量大幅度减少, 它比饥饿前和饥饿 14d 时分别减少了 19.33% 和 11.52%; 脂肪含量减少最快的, 是在饥饿第 14 天时, 其含量比饥饿前和饥饿第 7 天时分别减少了 43.39% 和 35.41%; 而肝糖原下降最快的是在饥饿至第 7 天时, 它的含量只有饥饿前的 3.36%, 这一方面表明肝脏是史氏鲟幼鱼的重要能源物质储存器官, 同时也提示史氏鲟幼鱼能较好地利用体内的糖类作为能源物质。从动用的程度来说, 幼鱼最早大量动用的是糖原, 然后是脂肪, 其次是蛋白质, 这与红大麻哈鱼 (*Oncorhynchus nerka*) 等多数鱼类的情况相似<sup>[8]</sup>。从蛋白质、脂肪和碳水化合物代谢提供的能量来看, 表明该种鱼在饥饿初期阶段(7d 内), 主要靠肝糖原代谢供能, 随着饥饿时间延长, 先增加对脂肪的利用, 然后再较大程度的利用蛋白质和脂肪作为主要能源物质, 以提供维持生命所需的能量, 体现了史氏鲟幼鱼对饥饿的耐受力 and 适应特征。从肝糖原和肌糖原含量的变化可以看出, 史氏鲟在饥饿过程中, 先大量利用肝糖原, 然后再大量利用肌糖原。在蛋白质、脂肪和糖原被用作能源而含量下降的同时, 水分和灰分的相对含量逐渐上升。糖原含量下降迅速的原因可能有两方面: 一是糖的分解加速, 二是由非糖物质合成糖的异生作用 (gluconeogenesis) 减慢。在饥饿 14d 时, 肝糖原含量比饥饿前下降了 82.18%, 这一结果与 Hung 等<sup>[9]</sup> 在高首鲟 (*Acipenser transmontanus*) 试验中所得的结果 (75%) 比较接近。

肝糖原和肌糖原分别在饥饿 2w 和 3w 时含量上升, 推测这是由糖异生作用加强所致, 这种现象在日本鳗鲡 (*Anguilla japonica*) 也有发现<sup>[10]</sup>, 说明鲟鱼也有一定的糖原合成能力, 以维持其糖原的动态平衡。

在其它鱼类的补偿生长研究中, Weatherley 和 Gill<sup>[11]</sup> 认为补偿生长导致虹鳟 (*Salmo gairdneri* Richardson) 身体脂类组成增加, 而 Machado 等<sup>[12]</sup> 认为雷氏鲷 (*Rhanda hylarii*) 主要是蛋白质和脂类含量同时升高。本研究发现, 经过补偿生长后史氏鲟幼鱼身体的生化组成与同期投喂组没有显著差异 (图 1- a~f), 这与姜志强等<sup>[13]</sup> 对美国红鱼的研究结果一致。这说明不同鱼类, 由于食性、生活方式、摄食饵料质量、身体结构等差异, 对饥饿有不同的适应特征。本研究还提示在生产养殖中适当的饥饿和再投喂不会影响史氏鲟的营养质量。

鱼类的生长是通过蛋白质生物合成实现的, 合成的蛋白质除了修补和更新组织之外, 还不断生长新的组织, 表现为细胞数量的增多, 组织体积的增大以及物质和能量的积累。外观上表现为体长和体重的增加, 在蛋白质生物合成中, mRNA 和 tRNA 是主要组分, Bulow 和 Coburn<sup>[14]</sup> 曾指出鱼组织内的 RNA 含量与蛋白质合成速度呈正相关。为排除细胞数量的影响, RNA/DNA 比值更能准确反映蛋白质的合成水平。近年来, RNA/DNA 比值被认为是一种极有效的营养指标, 能较准确地反映饥饿状况<sup>[15]</sup>, 幼鱼中这一比率对饥饿尤为敏感<sup>[16]</sup>。本试验得到的: 史氏鲟幼鱼 RNA/DNA 的比值, 在饥饿过程中不断减小, 意味着受饥饿的影响, 史氏鲟幼鱼蛋白质合成速度减慢, 生长停止, 这与饥饿过程中幼鱼体重不断下降的结果一致。恢复喂食后, 饥饿鱼的 RNA/DNA 比值增大, 其中 A、B 组值与同期对照组接近, 而 C 组值低于同期的对照组, 说明史氏鲟幼鱼蛋白质合成速度的恢复程度与饥饿时间有关。

#### 3.2 史氏鲟幼鱼的补偿生长机制

从体重来看, A、B 组幼鱼, 在恢复喂食 30d 后与正常投喂组不存在显著性差异 ( $P > 0.05$ ), 表明经饥饿处理 7d 和 14d 的幼鱼具有完全补偿生长效应; 而 C 组与正常投喂组相差较远, 说明经饥饿处理 21d 的幼鱼只有部分补偿生长效应, 鲟鱼的补偿生长性能随饥饿时间不同而变化。这一结果也提示在史氏鲟的养殖过程中, 短期的用药停食处理对

史氏鲟的生长没有影响或影响不大,但停食时间不宜太长。此外史氏鲟幼鱼的补偿生长效应,对于更好的安排生产、降低成本都有参考价值。

对补偿生长的生理机制的解释尚有争议,常用代谢滞后和食欲增强两种假说来解释鱼类的补偿生长现象。①代谢滞后假说:饥饿导致鱼类代谢水平降低,当恢复进食时,较低的代谢水平能持续一段时间,这种代谢支出的降低使鱼类用于生长的能量增多,从而提高食物转化率,出现补偿生长。如大西洋鲑(*Salmo salar*)在饥饿2个月再给食则食物转化率明显高于持续给食的对照组<sup>[17]</sup>;②食欲增强假说:指鱼类经过饥饿后恢复喂食时,食欲明显增强,通过大幅度提高摄食率来实现补偿生长。如斑点叉尾 (*Ictalurus punctatus*)<sup>[18]</sup>和南方鲇(*Silurus meridionalis*)<sup>[19]</sup>。由表3可知,饥饿幼鱼恢复投喂后,摄食强度增大,说明食欲增强和摄食率提高是史氏鲟幼鱼实现补偿生长的一个原因,并且这种补偿生长倾向随着恢复投喂时间的延长而不断减弱,因此饥饿鱼的摄食量随着恢复投喂不断降低,但经过恢复一段时间后,随着个体长大,摄食量也随之增大。以后有必要从代谢水平和能量收支方面,进一步分析史氏鲟幼鱼补偿生长的机制。

感谢倪娟和艾春香对本实验的大力帮助,也非常感谢上海市北部水产养殖中心的总经理徐彦明先生为本实验的实施提供的方便。

## 参考文献

- [1] Zamal H, Ollevier F. Effect of feeding and lack of food on the growth, gross biochemical and fatty acid composition of juvenile catfish [J]. J Fish Biol, 1995, 46: 404-414.
- [2] Zhang B, Sun Y, Tang Q S. The effects of starvation on growth and biochemical composition in *Pagrosomus major* [J]. J Fish China, 2000, 24(3): 206-210. [张波,孙耀,唐启升.饥饿对真鲷生长及生化组成的影响[J].水产学报,2000,24(3):206-210.]
- [3] Shen W Y, Lin H R, Zhang W M. Effect of starvation and re-feeding on biochemical composition of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) fingerling [J]. Acta Zool Sin, 1999, 45(4): 404-412. [沈文英,林浩然,张为民.饥饿和再投喂对草鱼种生物化学组成的影响[J].动物学报,1999,45(4):404-412.]
- [4] Yu X Y. Biological characteristics and breeding skill of *Acipenser schrenki* [J]. Scientific Fish Farming, 2000, (5): 18-20. [于信勇.史氏鲟的生物学特性及其养殖技术[J].科学养鱼,

2000, (5): 18-20.]

- [5] Liu Z Z, Zhu F H, Xu Y L, et al. Improvement in Kjeldahl's method determining protein content of flounder muscle [J]. Scientific Fish Farming, 1999, (6): 1-3. [刘宗柱,朱凤华,徐永立,等.凯氏定氮法测定牙鲆肌肉粗蛋白含量方法的改进[J].海洋科学,1999,(6):1-3.]
- [6] Bligh E G, Dyer W J. A rapid method of total lipid extraction and purification [J]. Can J Biochem Physiol, 1959, 37: 911-917.
- [7] Zhang J T. Experiment method of modernistic pharmacology [M]. Associated Press of Beijing Medical University and Medical University of Chinese Composition, 1998. [张均田.现代药理实验方法[M].北京医科大学中国协和医科大学联合出版社,1998.]
- [8] Kuttu M N. Ammonia quotient in sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) [J]. J Fish Res Bd Can, 1978, 35: 1003-1005.
- [9] 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]. Aquac, 1997, 151: 357-363.
- [10] Compbell C M, Davies P S. Thermal acclimation in the teleost, *Blennius pholis* (L.) [J]. Comp Biochem Physiol, 1975, 52A: 146-151.
- [11] Weatherley H A, Gill H S. Recovery growth following periods of restricted rations and starvation in rainbow trout (*Salmo gairdneri* Richardson) [J]. J Fish Biol, 1981, 18: 195-208.
- [12] Machado C R, Garofalo M A R, Migliorini R H. Effects of starvation, re-feeding and insulin on energy linked metabolic process in catfish (*Rhamdia o hilarii*) adapted to a carbohydrate rich diet [J]. Gen Comp Endocrinol, 1988, 71: 429-437.
- [13] Jiang Z Q, Jia Z M, Han Y B. The compensatory growth and its mechanism of red drum, *Sciaenops ocellatus*, after food deprivation [J]. J Fish China, 2002, 26(1): 67-72. [姜志强,贾泽梅,韩延波.美国红鱼继饥饿后的补偿生长及其机制[J].水产学报,2002,26(1):67-72.]
- [14] Bullock F J, Coburn C B J R. Comparisons of two bluegill population by means of RNA-DNA ratio and liver somatic index [J]. Trans Am Fish Soc, 1978, 107(6): 799-803.
- [15] Wright D A, Martin F D. The effect of starvation on RNA: DNA ratios and growth of larval striped bass, *Morone saxatilis* [J]. J Fish Biol, 1985, 27: 479-485.
- [16] Gustave A B, David A B. Description of the starving condition in summer flounder, *Paralichthys dentatus*, early life history stages [J]. Fish Bull, 1995, 93(2): 217-230.
- [17] Reimers E, Kjoerfjord A G, Stavostrand S M. Compensatory growth and reduced maturation in second sea winter farmed Atlantic salmon following starvation in February and March [J]. J Fish Biol, 1993, 43: 805-810.
- [18] Kim M K, Lovell R T. Effect of restricted feeding regimens on compensatory weight gain and body tissue changes in channel catfish *Ictalurus punctatus* in ponds [J]. Aquac, 1995, 135: 285-293.
- [19] Deng L, Zhang B, Xie X J. The recovery growth in the southern catfish (*Silurus meridionalis*) following starvation [J]. Acta Hydrobiol Sin, 1999, 23(2): 167-173. [邓利,张波,谢小军.南方鲇继饥饿后的恢复生长[J].水生生物学报,1999,23(2):167-173.]