

# 饥饿对鲢鱼幼鱼静止代谢率的影响\*

汤洪芬,曹振东,付世建

(重庆师范大学 生命科学学院 进化生理与行为学实验室,重庆市动物生物学重点实验室,重庆 400047)

**摘要** 本实验在25℃条件下对鲢鱼幼鱼(29.41~44.45 g)进行了60 d的饥饿处理,每天测定3次耗氧率。结果显示,鲢鱼幼鱼在饥饿60 d后,其静止代谢率由 $63.19 \pm 3.68$ 降至 $22.38 \pm 1.36$   $\text{mgO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ,下降了64.58%。通过对静止代谢率变化的分析,发现存在有3个相对稳定期:其代谢水平分别为 $41.62 \pm 0.34$ 、 $34.72 \pm 0.55$ 和 $27.59 \pm 0.52$   $\text{mgO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  ( $P < 0.05$ )。持续时间分别为10、14和27 d。实验结果表明:鲢鱼幼鱼采用降低代谢水平的方式来适应饥饿环境,静止代谢率越低,则相对稳定期历时越长。

**关键词** 鲢鱼;饥饿;静止代谢率

中图分类号:Q178.1<sup>+1</sup>

文献标识码:A

文章编号:1672-6693(2007)01-0072-04

## The Influence of Starvation on Metabolism of the Juvenile Chinese Catfish (*Silurus astotus* Linnaeus)

TANG Hong-fen, CAO Zhen-dong, FU Shi-jian

(Laboratory of Evolutionary Physiology and Behaviour, Animal Biology Research Laboratory, College of Life Science, Chongqing Normal University, Chongqing 400047, China)

**Abstract** The oxygen consumption rate in juvenile Chinese catfish (*Silurus astotus* Linnaeus) with initial weight from 29.41 to 44.45 g was measured three times everyday during 60 d's starvation at 25℃. The results showed that there was a 64.58% decline in resting metabolic rate (RMR) of the experimental fish during starvation, which decreased from  $63.19 \pm 3.68$  to  $22.38 \pm 1.36$   $\text{mgO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ . In addition, there were three relatively stable phases in the RMR, which were  $41.62 \pm 0.34$ ,  $34.72 \pm 0.55$  and  $27.59 \pm 0.52$   $\text{mgO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  ( $P < 0.05$ ), and each duration was 10, 14 and 27 d, respectively. The results demonstrated that the juvenile Chinese catfish lowered its RMR during food deprivation. The lower the RMR, the longer the duration.

**Key words** *Silurus asotus* Linnaeus; starvation; resting metabolic rate

饥饿是鱼类生活史中经常面临的环境胁迫,在饥饿状况下,不同种类和生活周期的鱼类对饥饿的耐受能力及适应方式不同<sup>[1-2]</sup>。鱼类在饥饿过程中可以通过调节代谢水平、调整能量分配和身体贮能物质的消耗速率等方式来适应饥饿<sup>[3-6]</sup>。研究鱼类在饥饿过程中代谢等生理指标的变化情况有助于揭示鱼类适应饥饿胁迫的生态对策。

研究资料表明,南方鲢(*Silurus meridionalis* Chen)在长期饥饿后标准体重代谢率出现大幅下

降,下降过程呈现出阶段性变化趋势<sup>[1]</sup>。鲢鱼(*Silurus asotus* Linnaeus)和南方鲢在形态、食性和栖息环境等方面具有许多相似之处<sup>[7]</sup>,然而前者体型较小,性成熟较早,生长较慢<sup>[8]</sup>,静止代谢率也较高<sup>[9]</sup>。为考察与南方鲢生活于相同水环境的鲢鱼对饥饿的代谢适应特征,本研究以鲢鱼幼鱼为实验对象,在饥饿条件下测定其静止代谢率,探讨鲢鱼对饥饿环境的适应机制,以期能为鱼类生理生态学的相关研究提供基础资料。

\* 收稿日期 2006-07-10 修回日期 2006-12-11

资助项目:重庆市自然科学基金项目(No. 20059014),重庆市教委科学技术研究项目(KJ050801)

作者简介:汤洪芬(1982-),女,江苏常州人,硕士研究生,研究方向为鱼类生理生态学。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验鲈鱼的来源及驯化

实验鲈鱼购自当地渔民的天然渔获,于重庆师范大学进化生理与行为学实验室自净化循环控温水槽中(1.2 m × 0.55 m × 0.55 m,实际水容量 250 L,专利申请号:200520010485.9)驯养 2 周。选取无伤、健康的鲈鱼 5 尾,分别放入本实验室自行设计的流水式呼吸仪(flow-through respirometer,专利申请号:200520010482.5)的呼吸室(规格根据实验对象的体形大小而定)中,呼吸仪结构和使用方法详见文献[10-11]。在呼吸室中驯化投喂 3 d,以鲜活泥鳅碎块为饵料,每日投喂量约为体质量的 5%。实验用水为曝气后的自来水,用充气泵连续向水体充入空气以确保溶氧水平 ≥ 7 mg/L,日换水量约为水体的 10%,光照制度为 24 h 全光照。

### 1.2 实验操作

实验于 2005 年 11 月 25 日—2006 年 1 月 23 日进行。实验鱼在呼吸室中相对静止并处于持续饥饿状态,水温控制在 25 ± 1 °C。使用溶氧仪(型号:HACH HQ10)每天定时测定 3 次(9:00、15:00、21:00)每尾鱼的耗氧率,取平均值作为该尾鱼当天的耗氧率,实时记录水温,并同时用容量瓶(100 mL)和秒表测定相应呼吸室出口端的水流流速,流速控制在 50 ~ 66.67 mL/min。

### 1.3 计算与数据分析

本研究仅测定了鲈鱼的初始体重和最终体重,

饥饿期间的体重根据平均每天下降量推算而得。

单尾鱼的耗氧率( $R$ )根据公式(1)计算

$$R = \Delta O_2 \times v \quad (1)$$

上式  $\Delta O_2$  为呼吸室出水口溶氧水平与空白溶氧水平之差( $\text{mgO}_2\text{L}^{-1}$ ), $v$  为相应呼吸室出水口的水流速度( $\text{Lh}^{-1}$ )。

为排除体重的干扰,根据公式(2),将单尾鱼的耗氧率( $R$ )校正为静止代谢率( $R_r$ ), $W$  为鱼的体重(湿重), $b$  为体重校正系数。

$$R_r = R(1000/W)^b \quad (2)$$

根据相关文献, $b$  值取值为 0.75<sup>[11]</sup>。

实验数据采用 EXCEL(2000)和 SPSS(11.5)软件进行处理。统计值均以平均值 ± 标准误(means ± SE)表示,显著性水平为  $P < 0.05$ 。

## 2 结果

### 2.1 饥饿条件下鲈鱼幼鱼的代谢水平

实验鲈鱼的体重在饥饿 60 d 后明显下降,体重(湿重)平均值由 38.99 ± 2.91 g 下降至 30.41 ± 2.03 g,下降了 22.01%。耗氧率和静止代谢率均随饥饿时间逐渐下降,其中耗氧率由 5.77 ± 0.35  $\text{mgO}_2\text{h}^{-1}$  下降至 1.65 ± 0.17  $\text{mgO}_2\text{h}^{-1}$ ,下降了 71.4%。静止代谢率由 63.19 ± 3.68  $\text{mgO}_2\text{kg}^{-1}\text{h}^{-1}$  下降至 22.38 ± 1.36  $\text{mgO}_2\text{kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ ,下降了 64.58%(表 1)。比较上述结果,可以发现饥饿后鲈鱼代谢指标的下降幅度明显大于体重。

表 1 饥饿过程中鲈鱼幼鱼体重及静止代谢率的变化

饥饿时间/d	0	7	18	33	60
体重/g	38.99 ± 2.9 <sup>a</sup>	38.12 ± 2.82 <sup>a</sup>	36.52 ± 2.65 <sup>ab</sup>	34.34 ± 2.42 <sup>ab</sup>	30.41 ± 2.03 <sup>b</sup>
体重下降率/%	0	2.23	6.33	11.93	22.01
静止代谢率/( $\text{mgO}_2\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ )	63.19 ± 3.68 <sup>a</sup>	42.59 ± 2.68 <sup>b</sup>	34.10 ± 2.58 <sup>c</sup>	28.02 ± 2.35 <sup>cd</sup>	22.38 ± 1.36 <sup>de</sup>
静止代谢率下降率/%	0	32.6	46.04	55.66	64.58

上标字母不同表示差异显著( $P < 0.05$ )。

### 2.2 饥饿条件下鲈鱼幼鱼代谢水平的变化趋势

通过对鲈鱼静止代谢率下降过程的进一步分析,可以看出代谢变化存在有 3 个骤降期和 3 个相对稳定期(图 1):饥饿 1 ~ 7 d,静止代谢率由 63.19 ± 3.68  $\text{mgO}_2\text{kg}^{-1}\text{h}^{-1}$  急剧下降至 42.59 ± 2.68  $\text{mgO}_2\text{kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ ,下降了 32.60%。随后在 7 ~ 17 d,代谢水平第一次出现相对稳定状态,平均值为 41.62 ± 0.34  $\text{mgO}_2\text{kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ ;在第一次相对稳定状态后的 17 ~ 18

d,静止代谢率又由 42.34 ± 2.90  $\text{mgO}_2\text{kg}^{-1}\text{h}^{-1}$  急剧下降至 34.10 ± 2.58  $\text{mgO}_2\text{kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ ,下降了 19.46%。18 ~ 32 d 代谢水平又一次处于相对稳定状态,平均值为 34.72 ± 0.55  $\text{mgO}_2\text{kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ ;在饥饿的 32 ~ 33 d,静止代谢率再次急剧下降,由 33.99 ± 1.62  $\text{mgO}_2\text{kg}^{-1}\text{h}^{-1}$  下降至 28.02 ± 2.35  $\text{mgO}_2\text{kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ ,下降了 17.56%。33 d 后代谢水平一直处于相对稳定状态,平均值为 27.59 ± 0.52  $\text{mgO}_2\text{kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ 。

经统计检验,3个相对稳定期的静止代谢水平差异显著( $P < 0.05$ )。另外,上述3个代谢率相对稳定

期的历时分别为10、14和27 d。

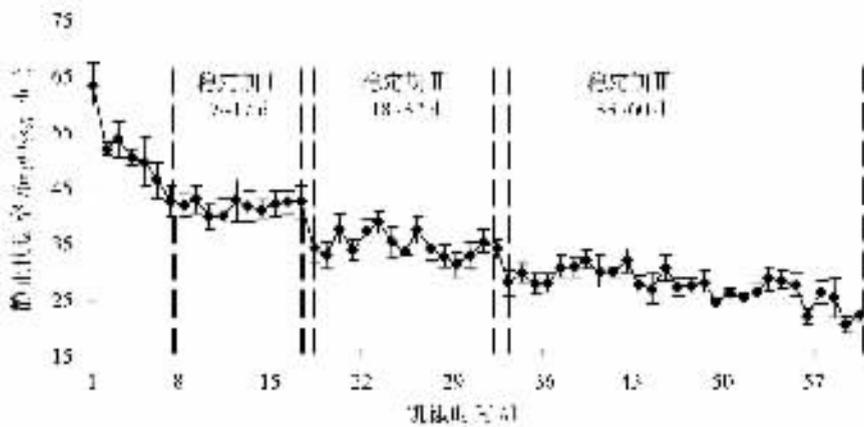


图1 鲇鱼幼鱼静止代谢率随饥饿时间的变化(平均值 $\pm$ 标准误)

### 3 讨论

#### 3.1 饥饿对鲇鱼幼鱼静止代谢率的影响

大多数鱼类在饥饿过程中,其静止代谢率会随饥饿时间的延长逐渐下降。相关文献报道,在27.5℃条件下,南方鲇(61.7~92.3 g)饥饿156 d后的标准体重代谢率下降了65.1%<sup>[11]</sup>;另有报道,南方鲇在饥饿14 d后,其静止代谢率下降了约39%<sup>[11]</sup>。牙鲮(*Paralichthys olivaceus*)在20℃条件下(5.93 $\pm$ 1.20 g),饥饿15 d后的代谢率下降了53.5%<sup>[12]</sup>。个别鱼类在饥饿过程中的代谢率则保持相对稳定,如南美洲的虎利齿脂鲤(*Hoplias malabaricus*)成鱼(251.7 $\pm$ 6.5 g)在饥饿180 d后(25 $\pm$ 1.0℃),其耗氧率并未显著下降,继续饥饿至240 d,其耗氧率才出现大幅下降,这可能与该种鱼的静止代谢水平较低有关<sup>[13]</sup>。本研究结果显示,鲇鱼在饥饿了60 d后,其静止代谢率从63.19 mgO<sub>2</sub>kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>逐渐下降至22.38 mgO<sub>2</sub>kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>,下降了64.58%。上述结果表明,鲇鱼与南方鲇饥饿后代谢率的下降幅度基本相同,但前者的下降速率明显较快,在遭遇食物短缺的环境时鲇鱼采用了更快地降低代谢水平的方式来适应饥饿环境。

#### 3.2 鲇鱼幼鱼饥饿过程代谢水平的变化趋势

相关研究发现,在饥饿条件下仔乌龟(*Chinemys reevesi*)的代谢率呈现先下降再稳定的变化趋势<sup>[14]</sup>;中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)亲蟹在饥饿的30 d内,代谢率呈阶段性下降<sup>[15]</sup>;南方鲇在饥饿过程中代谢率表现出下降、稳定、再下降、再稳定的阶段性变化趋势<sup>[1]</sup>;泥鳅(*Miagurnus anguillicaudam*)在饥

饿条件下耗氧率下降过程也呈阶段性变化<sup>[16]</sup>。可以发现,上述动物在饥饿过程中存在着不同代谢水平的相对稳定期,鱼体为延长生命而尽可能节约能量所维持的最低代谢水平称之为“存活代谢”。Mehner等<sup>[17]</sup>提出在长期饥饿状态下鱼类对其身体贮能的利用存在着两个相悖的适应需求:一方面通过降低代谢水平可以减少能量消耗,以使有限的身体贮能维持更长的生存时间;另一方面尽可能将代谢保持在相对较高的水平,以保证在重新获得食物供应或面临其它环境胁迫时能产生适当的应激反应。本研究发现鲇鱼的静止代谢率在饥饿过程中表现出阶段性下降趋势,这一现象可能是由于上述相互拮抗的两种适应需求不断进行权衡所致,鲇鱼和南方鲇对饥饿的代谢适应具有相似的反应<sup>[1]</sup>。

另外,在饥饿条件下动物不同代谢水平的相对稳定期的持续时间也不尽相同。仔乌龟代谢水平的两个相对稳定期历时分别为2和10 d,成龟的分别约为4和9 d<sup>[14]</sup>;南方鲇两个相对稳定期的代谢水平分别为66.6和52.9 mgO<sub>2</sub>kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>,持续时间分别为60和65 d<sup>[1]</sup>。本研究结果显示,鲇鱼3个相对稳定期的静止代谢率分别为41.62、34.72和27.59 mgO<sub>2</sub>kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>,持续时间分别为10、14和27 d。上述研究结果表明,在饥饿过程中动物静止代谢率逐渐下降至“存活代谢”水平,静止代谢率越低,代谢水平就越保守,则相对稳定期的历时也就越长。

#### 参考文献:

- [1] 张波,谢小军.南方鲇的饥饿代谢研究[J].海洋与湖沼,2000,31(5):480-484.

- [ 2 ] 谢小军,邓利,张波. 饥饿对鱼类生理生态学影响的研究进展[ J ]. 水生生物学报, 1998, 22( 2 ): 181-188.
- [ 3 ] O'CONNOR K I, TAYLOR A C, METCALFE N B. The Stability of Standard Metabolic Rate During a Period of Food Deprivation in Juvenile Atlantic Salmon[ J ]. Journal of Fish Biology, 2000, 57( 1 ): 41-51.
- [ 4 ] COOK J T, SUTTERLIN A M, MCNIVEN M A. Effect of Food Deprivation on Oxygen Consumption and Body Composition of Growth-enhanced Transgenic Atlantic Salmon( *Salmo salar* ) [ J ]. Aquaculture, 2000, 188( 1 ): 47-63.
- [ 5 ] 沈文英,林浩然,张为民. 饥饿和再投喂对草鱼鱼种生物化学组成的影响[ J ]. 动物学报, 1999, 45( 4 ): 404-413.
- [ 6 ] 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.
- [ 7 ] 张怡,曹振东,付世建. 延迟首次投喂对南方鲈( *Silurus meridionalis* Chen ) 仔鱼早期发育的影响[ J ]. 重庆师范大学学报( 自然科学版 ), 2005, 22( 4 ): 45-48.
- [ 8 ] 施白南. 嘉陵江鲈鱼的生物学简介[ J ]. 西南师范大学学报, 1980( 2 ): 53-59.
- [ 9 ] 杨振才,谢小军,孙儒泳. 鲈鱼的静止代谢率及其与体重、温度和性别的关系[ J ]. 水生生物学报, 1995, 19( 4 ): 368-373.
- [ 10 ] FU S J, XIE X J, CAO Z D. Effect of Fasting on Resting Metabolic Rate and Postprandial Metabolic Response in *Silurus meridionalis*[ J ]. Journal of Fish Biology, 2005, 67( 1 ): 279-285.
- [ 11 ] FU S J, XIE X J, CAO Z D. Effect of Fasting and Repeat Feeding on Metabolic Rate in Southern Catfish *Silurus meridionalis* Chen[ J ]. Marine and Freshwater Behaviour and Physiology, 2005, 38( 3 ): 191-198.
- [ 12 ] 王庆奎,姜志强,王静波,等. 饥饿和恢复投喂对牙鲆代谢的影响[ J ]. 大连水产学院学报, 2004, 19( 4 ): 248-251.
- [ 13 ] RIOS F S, KALININ A L, RANTIN F T. The Effect of Long-term Food Deprivation on Respiration and Haematology of the Neotropical Fish *Hoplias malabaricus*[ J ]. Journal of Fish Biology, 2002, 61: 85-95.
- [ 14 ] 卢波,王培潮. 喂食和禁食对仔龟代谢率影响的比较[ J ]. 华东师范大学学报, 1993( 2 ): 109-112.
- [ 15 ] 温小波,陈立侨,艾春香,等. 中华绒螯蟹亲蟹的饥饿代谢研究[ J ]. 应用生态学报, 2002, 13( 11 ): 1441-1444.
- [ 16 ] 邢殿楼,张士凤,吴立新,等. 饥饿和再投喂对泥鳅能量代谢的影响[ J ]. 大连水产学院学报, 2005, 20( 4 ): 290-294.
- [ 17 ] MEHNER T, WIESER W. Energetics and Metabolic Correlates of Starvation in Juvenile Perch( *Perca fluviatilis* ) [ J ]. Journal of Fish Biology, 1994, 45: 325-333.

( 责任编辑 许文昌 )