

DOI: 10.3724/SP.J.1035.2010.00190

饥饿过程鲇鱼幼鱼静止代谢、身体组成及与力竭性运动后过量耗氧的关系

汤洪芬 曹振东 付世建

(重庆师范大学进化生理与行为学实验室, 重庆市动物学重点实验室, 重庆 400047)

摘要: 将 33 尾鲇鱼(*Silurus asotus*)幼鱼(32.14 ± 1.40 g)在 $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$ 条件下驯化 2 周后分 5 组(0、1、2、4、8 周)进行饥饿处理; 分别测定了各处理组实验鱼的静止耗氧率、力竭性运动后的过量耗氧(EPOC)并对鱼体组成进行了分析。实验结果显示: 各处理组实验鱼的静止耗氧率分别为 (2.21 ± 0.15) 、 (1.63 ± 0.04) 、 (1.64 ± 0.13) 、 (1.44 ± 0.08) 、 (0.98 ± 0.09) $\text{mg O}_2/\text{kg} \cdot \text{min}$, 其中饥饿 1、2、4 周组之间无显著差异, 却都显著低于 0 组、高于 8 周组的水平($P < 0.05$), 呈现一个静止代谢“平台期”; 鱼体组成的变化表明, 该“平台期”的主要供能物质为脂肪, 其后则主要由蛋白质供能; 各组实验鱼力竭性运动后耗氧率峰值($\text{VO}_{2\text{peak}}$)立即(2min)出现, 随后逐渐下降至稳定耗氧水平($\text{VO}_{2\text{steady}}$), EPOC 总量(Excess VO_2)分别为 (31.8 ± 6.06) 、 (76.67 ± 4.34) 、 (69.2 ± 5.89) 、 (70.41 ± 3.12) 、 (38.28 ± 2.72) $\text{mg O}_2/\text{kg}$, 其中饥饿 1、2、4 周组均显著高于饥饿 0 和 8 周组的水平($P < 0.05$), 出现无氧运动功能补偿的“效应期”。通过鲇鱼幼鱼静止代谢“平台期”与其功能补偿“效应期”在时间上完全吻合的现象, 揭示鱼类的功能补偿效应与其静止代谢水平之间存在的密切关联。

关键词: 饥饿; 鲇鱼; 静止耗氧率; 鱼体组成; 过量耗氧

中图分类号: Q591.4 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2010)01-0190-06

运动后的过量耗氧(Excess post-exercise oxygen consumption, EPOC)指动物运动后恢复期内超过静止耗氧水平的额外耗氧量, 是评价鱼类无氧代谢和运动能力的重要生理指标^[1]。力竭性运动(Exhaustive exercise)是一种以无氧代谢为主的运动方式, 它与鱼类的捕食、逃逸、洄游等重要生命活动直接相关^[2]。已有研究资料表明, 力竭性运动后的过量耗氧受鱼的体重、驯化环境、摄食水平等多种因素的影响^[3-5]。

动物经常会面临季节性食物的数量变动和空间分布的差异。由于食物资源呈现的阶段性短缺, 饥饿是鱼类生活史中经常面临的环境胁迫因子之一^[6]。鱼类在进化过程中形成了多种相关的适应机制: 鱼类饥饿过程的标准代谢普遍下降, 有些还表现出不连续的阶段性特征, 通过降低消耗以节省能量, 鱼体

的脂肪、蛋白质、灰分及含水量也会随之出现相应的变化^[7]; 另外, 鱼类还需要重新调整机体的功能状态以提高成功捕食和有效逃避天敌的概率^[6]。研究表明饥饿南方鲇(*Silurus meridionalis*)幼鱼的消化道上皮细胞萎缩、质量下降^[8], 饥饿仔鱼的相对临界游泳速度明显提高^[9]。那么, 鱼类饥饿过程的静止代谢率与身体组成二者的变化存在着怎样的关联、不同程度的饥饿对鱼类功能调整又具怎样的影响, 是值得深入思考和努力探寻的适应生理学问题。该方面的研究资料目前尚十分匮乏。

鲇鱼(*Silurus asotus* Linnaeus)是我国常见的肉食性经济鱼类, 不仅用于养殖研究, 也是进行理论研究的适宜对象^[5]。本研究将该种鱼作为实验对象, 依不同饥饿时间分别测定静止耗氧率、分析身体组成并监测力竭性运动后的过量耗氧。通过比较上述不同

收稿日期: 2008-05-05, 修订日期: 2009-02-19

基金项目: 国家自然科学基金(30700087); 重庆市自然科学基金(2007BB1226)资助

作者简介: 汤洪芬(1982—), 女, 江苏常州人; 硕士; 现在重庆工商大学融智学院工作; 研究方向为鱼类生理生态学

通讯作者: 曹振东, E-mail: z.d.cao@hotmail.com

指标的变化趋势、分析它们之间的关联,揭示鲇鱼对饥饿胁迫所存在的生理响应机制,为深入理解鱼类在自然进化过程中的生态适应对策提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 实验鱼的来源及驯化

实验鲇鱼由渔民在嘉陵江重庆江段捕获,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(200 L)中驯养 2 周。选取无伤、健康的鲇鱼为实验对象,将实验鱼放入流水式呼吸仪(专利号: ZL 2005 20010482.5)的呼吸室中驯化投喂 3d,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,水温控制在 $(25\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 。采用充气泵向水体连续充入空气的方式以确保溶氧水平 $\geq 7\text{mg/L}$ 。实验过程均采用 24h 全光照制度^[3]。

1.2 实验方案与操作

将选取的 33 尾实验鱼($32.14\pm 1.40\text{g}$)按不同饥饿时间(0、1、2、4 和 8 周)分成 5 组(表 1)。实验鱼在呼吸室中处于相对静止状态,在静止耗氧率的测定过程中,调节呼吸室水流速度以使实验鱼呼吸室出水口与进水口的溶氧差值在 $0.5\text{—}1.0\text{ mgO}_2/\text{L}$,由于呼吸室进水口接近饱和水平,因此出水口的溶氧始终 $\geq 80\%$ 的饱和水平。在各处理组饥饿的最后一天(力竭运动前)测定静止耗氧率;用溶氧仪(型号: HACH HQ10)3 次(9:00、15:00、21:00)测定溶氧水平,

再依体重和水流速度计算每尾实验鱼的耗氧率,将平均值分别作为各组的静止耗氧率($\text{VO}_{2\text{rest}}$)。

为了使实验鱼达到竭运动状态,将鱼放入环形水道($\varphi_{\text{外}}=52\text{ cm}$, $\varphi_{\text{内}}=28\text{ cm}$)内,用手不断追逐迫使鱼持续 5min 以内的急速运动,当鱼失去平衡或继续追逐不再有明显应激反应时,即可视为达到力竭运动状态^[10]。将达到力竭运动状态的鱼立即放入呼吸室内监测耗氧率的变化,数据的采集时间分别在实验鱼放入呼吸室后的 2、3、4、5、10、15、20、25、30、40、50 和 60min。测定溶氧所使用呼吸室的体积为 100 mL,水流速度约为 250 mL/min ,采用相关文献提供的方法计算^[3],该水体 99%置换率所耗时间小于 2min。

将完成耗氧率监测的实验鱼在 80°C 条件下烘至恒重后称量,然后立即粉碎并置于 -20°C 下密封保存待测。分别采用自动定氮仪(Kjeltec 2300)、脂肪检测仪(Soxtec 2055)和氧弹量热仪(Calorimeter6300)测定粗蛋白、粗脂肪含量和能值。样品经电炉炭化,在 550°C 下灼烧 12h 后测定灰分含量。

1.3 参数与数据统计

静止耗氧率($\text{VO}_{2\text{rest}}$): 实验鱼在禁食、静止状态下的氧耗水平;耗氧率峰值($\text{VO}_{2\text{peak}}$): 在力竭运动后恢复过程中实验鱼的最大耗氧率;运动后稳定耗氧率($\text{VO}_{2\text{steady}}$): 耗氧率达峰值后逐渐下降,出现的一个相对稳定的耗氧水平,该耗氧水平稍高于运动

表 1 饥饿过程中鲇鱼身体含水量、灰分、粗蛋白、粗脂肪和能值的变化

Tab. 1 Fish number, initial weight, moisture, ash, crude protein, crude lipid and energy content of Chinese catfish in starvation

	饥饿处理时间 Fasting time (week)				
	0	1	2	4	8
样本数 Fish Number	9	6	7	6	5
初始体重 Initial Weight (g)	31.73 ± 3.41	33.04 ± 3.82	33.04 ± 3.08	32.22 ± 3.12	30.41 ± 2.03
含水量 Moisture (%)	79.32 ± 0.39^c	79.27 ± 0.49^c	79.40 ± 0.47^c	80.87 ± 0.45^b	83.33 ± 0.65^a
灰分 Ash (%)	3.61 ± 0.10^b	3.63 ± 0.08^b	3.55 ± 0.06^b	4.02 ± 0.13^a	4.08 ± 0.04^a
粗蛋白 Crude Protein (%)	15.28 ± 0.32^a	15.46 ± 0.26^a	15.47 ± 0.22^a	14.35 ± 0.50^a	11.68 ± 0.71^b
粗脂肪 Crude Lipid (%)	1.25 ± 0.14^a	1.35 ± 0.29^a	1.41 ± 0.34^a	0.44 ± 0.11^b	0.53 ± 0.05^b
能值 Energy Content (kJ/g)	4.06 ± 0.09^a	4.02 ± 0.18^a	4.09 ± 0.16^a	3.44 ± 0.14^b	2.93 ± 0.17^c

注: 上标英文字母不同的同一行数数值间差异显著($P<0.05$); 表中数据均为湿重百分比

Note: Values in each row without a common superscript are significantly different ($P<0.05$); Values in the table were all moisture percentage

前的静止耗氧率;恢复时间(Resume time):实验鱼自力竭运动恢复至开始出现稳定耗氧率的历时;力竭性运动后过量耗氧(Excess VO_2):力竭性运动后超出静止耗氧率(VO_{2rest})部分在时间上的积分;耗氧上升倍率(VO_{2peak}/VO_{2rest}):耗氧率峰值与静止耗氧率的比值。

实验数据采用 EXCEL(2000)和 SPSS(11.5)软件进行统计分析。结果数据均以平均值 $\pm$ 标准误(means $\pm$ SE)表示,显著性水平为 $P<0.05$ 。

2 结果

2.1 鲇鱼幼鱼的身体组成

随着饥饿时间的延长(0—8 周)鲇鱼身体的粗脂肪、蛋白质和能值水平均呈现下降趋势。其中粗脂肪由初始的 1.25% 经 4 周后显著下降至 0.44% ($P<0.05$), 下降幅度高达 64.8%; 而蛋白质水平从 15.28% 在饥饿 8 周后显著下降至 11.68% ($P<0.05$)。饥饿过程中鱼体的水分和灰分则呈上升趋势; 它们分别从初始的 79.32%、3.61% 经 4 周后上升至 80.87% 和 4.02% (表 1, $P<0.05$)。饥饿过程鲇鱼上述组分的改变均会对身体的能量密度产生影响, 能值由 0 周的 4.06 分别显著下降至 4 周的 3.44 kJ/g 和 8 周的 2.93 kJ/g (表 1, $P<0.05$)。

2.2 鲇鱼幼鱼的静止耗氧率

鲇鱼在 8 周的饥饿过程中, 静止耗氧率(VO_{2rest})表现出一个下降的趋势(表 2); 由最初的 2.21

mgO₂/kg·min 分别显著下降至 1 周的 1.44 mgO₂/kg·min 和 8 周的 0.98 mgO₂/kg·min ($P<0.05$); 其中 8 周静止耗氧率水平仅为初始状态的 44.34%; 而饥饿 1 周的静止耗氧率(1.63 mgO₂/kg·min)与 2 周(1.64 mgO₂/kg·min)的十分接近, 饥饿 2 周的耗氧率平均值高于 4 周的水平, 但无显著差异(图 2)。可以看出, 饥饿 1、2 和 4 周组的静止代谢率均较对照组的低并且相对稳定, 这一时段呈现出一个静止代谢率的“平台期”。

2.3 鲇鱼幼鱼力竭性运动后的过量耗氧

力竭性运动后各饥饿时间处理组(0、1、2、4 和 8 周)鲇鱼的耗氧率均立即(2 min)达到峰值(VO_{2peak}), 分别为 7.35、7.95、9.05、7.53 和 6.24 mgO₂/kg·min, 2 周组显著高于其他各组的水平 ($P<0.05$); 随后依次呈现急速下降和缓慢接近稳定耗氧率($VO_{2steady}$)的变化趋势(表 2, 图 1); 耗氧上升倍率(VO_{2peak}/VO_{2rest})分别约为 3.38、4.92、5.63、5.32 和 6.68。各实验处理组鲇鱼力竭性运动后的过量耗氧(Excess VO_2)分别为 31.8、76.67、69.2、70.41 和 38.28 mgO₂/kg, 整体上呈现先上升后下降的变化, 其中饥饿 1、2 和 4 周组的水平显著高于对照组和 8 周组 ($P<0.05$); 而 1、2 和 4 周组之间无显著差异, 它们的平均值为 0 和 8 周组的两倍左右(表 2、图 2)。鲇鱼的稳定耗氧率($VO_{2steady}$)稍高于各自的静止耗氧率(VO_{2rest}), 力竭运动后恢复时间在 20—30min(表 2、图 1)。

表 2 不同饥饿时间对鲇鱼的静止耗氧率和力竭运动后的过量耗氧、耗氧率峰值、稳定耗氧率、耗氧上升倍率和恢复时间的影响
Tab. 2 VO_{2rest} , VO_{2peak} , $VO_{2steady}$, Excess VO_2 , factorial scope and resume time of Chinese catfish in starvation

	饥饿处理时间 Fasting time (week)				
	0	1	2	4	8w
静止耗氧率 VO_{2rest} (mgO ₂ /kg·min)	2.21 $\pm$ 0.15 ^a	1.63 $\pm$ 0.04 ^b	1.64 $\pm$ 0.13 ^b	1.44 $\pm$ 0.08 ^b	0.98 $\pm$ 0.09 ^c
耗氧率峰值 VO_{2peak} (mgO ₂ /kg·min)	7.35 $\pm$ 0.72 ^{cd}	7.95 $\pm$ 0.45 ^{abd}	9.05 $\pm$ 0.51 ^a	7.53 $\pm$ 0.18 ^{abc}	6.24 $\pm$ 0.22 ^{bde}
运动后稳定耗氧率 $VO_{2steady}$ (mgO ₂ /kg·min)	2.33 $\pm$ 0.17 ^d	2.98 $\pm$ 0.12 ^b	3.04 $\pm$ 0.25 ^{ab}	2.6 $\pm$ 0.06 ^{bcd}	1.32 $\pm$ 0.14 ^c
过量耗氧 Excess VO_2 (mgO ₂ /kg)	31.8 $\pm$ 6.06 ^c	76.67 $\pm$ 4.34 ^a	69.2 $\pm$ 5.89 ^a	70.41 $\pm$ 3.12 ^a	38.28 $\pm$ 2.72 ^{bc}
耗氧上升倍率 Factorial scope	3.38 $\pm$ 0.33 ^d	4.92 $\pm$ 0.32 ^c	5.63 $\pm$ 0.31 ^{abc}	5.32 $\pm$ 0.33 ^{bc}	6.68 $\pm$ 0.83 ^a
恢复时间 Resume time (min)	20	30	20	20	20

注: 上标英文字母不同的同一行数数值间差异显著 ($P<0.05$)

Note: Values in each row without a common superscript are significantly different ($P<0.05$)

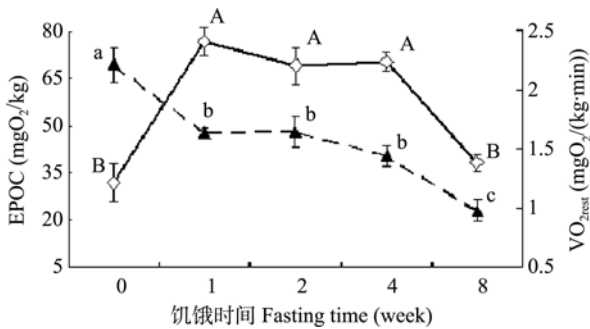


图 1 饥饿对鲇鱼力竭性运动后过量耗氧(EPOC)和静止耗氧率(VO_{2rest})的影响

Fig. 1 The effect of starvation on the excess post-exercise oxygen consumption (EPOC) and resting oxygen consumption rate (VO_{2rest}) of Chinese catfish

同一曲线上字母不同表示差异显著($P<0.05$)

Means in each line not sharing a common superscript are significantly different ($P<0.05$)

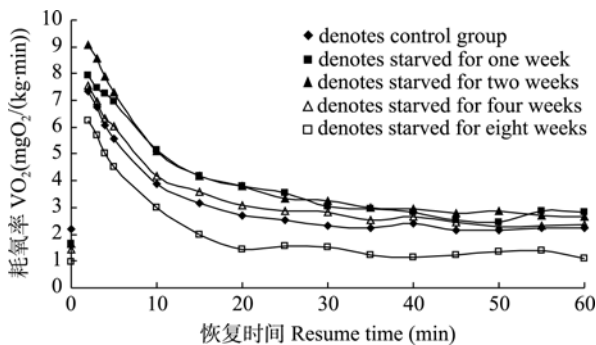


图 2 饥饿条件下各组鲇鱼幼鱼力竭性运动后的耗氧率变化

Fig. 2 The oxygen consumption rate of the juvenile Chinese catfish after exhaustive exercise in starvation

3 讨论

3.1 鲇鱼幼鱼饥饿过程静止耗氧率与身体组成变化的关系

饥饿期间鱼类通过动用身体贮存的能量物质以维持必要的生命活动、下调静止代谢率以尽可能降低能量消耗。作为主要贮能物质的脂肪和蛋白质在饥饿过程中均会被消耗,然而各自消耗的速率和相对比例却不尽相同。在饥饿初期南方鲇主要消耗脂肪,但是随着饥饿时间的延长,脂肪的净消耗量逐渐减少,蛋白质的净消耗量逐渐上升^[11];泥鳅(*Misgurnus anguillicaudatus*)在饥饿初期动用脂肪和蛋白质共同提供能量,而在脂肪被大量消耗后,则主要利用蛋白质^[12];草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)在饥饿过程中,首先消耗肝脏和肌肉中的糖原、肝脏脂类,饥饿 2 周后才消耗肌肉蛋白质^[13]。本研

究中鲇鱼幼鱼饥饿 4 周粗脂肪由 1.25%显著下降至的 0.44%,下降幅度高达 64.8%,随后(4—8 周)无显著变化;而蛋白质水平在饥饿 4 周前无显著差异,饥饿 8 周才由 15.28%显著下降至 11.68%,降幅为 23.56%。这一现象表明鲇鱼幼鱼在 25℃条件下,饥饿 4 周以前脂肪消耗的相对比例高于蛋白质,而 4 周以后蛋白质的消耗比例则高于脂肪。另外,值得注意的是饥饿 1 周后静止耗氧率由 2.21 显著降至 1.63 $mgO_2/kg \cdot min$,降幅为 26.24%。该水平持续到第 4 周无显著差异,出现一个相对稳定的“平台期”,随后到 8 周才进一步降至 0.98 $mgO_2/kg \cdot min$ (图 2)。将上述“平台期”现象与其身体组成的结果进行比较后不难发现:鲇鱼幼鱼静止耗氧率的“平台期”主要以脂肪为供能物质,蛋白质的贡献相对较小;而该“平台期”结束以后(4—8 周)则主要以蛋白质为供能物质。鱼类身体脂肪含量越少,静止代谢“平台期”的持续时间就越短,因此有人提出鱼类能否成功度过低温、食物短缺的冬季很大程度受越冬前鱼体脂肪含量水平的制约^[14]。

3.2 鲇鱼幼鱼饥饿期间的运动后过量耗氧(EPOC)补偿作用

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他环境胁迫时能产生适当的应激反应^[15]。在相关研究中,通常将鱼类的游泳运动能力作为一个重要的功能状态指标。早期饥饿使鳕鱼(*Gadus morhua*)仔鱼的运动持续时间有所增加^[16],饥饿南方鲇仔鱼的游泳能力也存在着一定的补偿作用^[7]。本研究饥饿 1、2、4 周组鲇鱼的 EPOC 平均值显著高于饥饿前的 126.71%,该补偿效应开始于饥饿后 1 周,“效应期”长度约为 3 周(表 2);这一现象表明一定程度的饥饿能导致鲇鱼的无氧代谢能力有显著提升,进而使其爆发运动能力得以提高。回顾本研究有关静止耗氧率的变化特征,不难发现鲇鱼 EPOC 的补偿“效应期”与其静止代谢的“平台期”在起止时间上完全吻合(图 2),这是一个十分有趣的现象。据此我们推论:鱼体脂肪含量是维持代谢“平台期”的能量物质基础;代谢“平台期”是维系鱼体功能补偿“效应期”的生理保障;而“效应期”内鱼体部分应激反应能力的提

高(如 EPOC 的显著提高), 则可能是自然选择与生理进化的结果。

参考文献:

- [1] Lee C G, Devlin R H, Farrell A P. Swimming performance, oxygen consumption and excess post-exercise oxygen consumption in adult transgenic and ocean-ranched coho salmon [J]. *Journal of Fish Biology*, 2003, **62**(4): 753—766
- [2] Kieffer J D. Limits to exhaustive exercise in fish [J]. *Comparative Biochemistry Physiology*, 2000, **126**(2A): 161—179
- [3] Fu S J, Cao Z D, Peng J L. Effect of feeding and fasting on excess post-exercise oxygen consumption in juvenile southern catfish (*Silurus meridionalis* Chen) [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 2007, **146**(3A): 435—439
- [4] Fu S J, Cao Z D, Xie X J. Feeding metabolism and locomotion metabolism in fishes [J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2008, **43**(2): 150—159 [付世建, 曹振东, 谢小军. 鱼类摄食代谢和运动代谢研究进展. *动物学杂志*, 2008, **43**(2): 150—159]
- [5] Peng J L, Cao Z D, Fu S J. Excess post-exercise oxygen consumption in *Silurus asotus* Linnaeus and its relationship with body weight [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2008, **32**(3): 380—386 [彭姜岚, 曹振东, 付世建. 鲇鱼运动后的过量耗氧及其体重的关系. *水生生物学报*, 2008, **32**(3): 380—386]
- [6] 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 Physiology*, 2003, **135**(2A): 347—356
- [7] Zhang B, Xie X J. Starvation metabolism in southern catfish, *Silurus meridionalis* [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2000, **31**(5): 480—484 [张波, 谢小军. 南方鲇的饥饿代谢研究. *海洋与湖沼*, 2000, **31**(5): 480—484]
- [8] Fu S J, Deng L, Zhang W B, et al. Histology of stomach and liver in *Silurus meridionalis* and their change during starvation [J]. *Journal of Southwest China Normal University* (Nat. Sci.), 1999, **24**(3): 336—342 [付世建, 邓利, 张文兵, 等. 南方鲇幼鱼胃和肝脏的组织结构及其在饥饿过程中的变化. *西南师范大学学报*, 2000, **24**(3): 336—342]
- [9] Zhang Y, Cao Z D, Fu S J. Effect delayed first feeding on the energy content, body length and swimming performance of southern catfish (*Silurus meridionalis* Chen) larvae [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, **27**(3): 1161—1163 [张怡, 曹振东, 付世建. 延迟首次投喂对南方鲇(*Silurus meridionalis* Chen) 仔鱼身体所含能量、体长及游泳能力的影响. *生态学报*, 2007, **27**(3): 1161—1163]
- [10] Kieffer J D, Wakefield A M, Litvak M K. Juvenile sturgeon exhibit reduced physiological responses to exercise [J]. *The Journal of Experimental Biology*, 2001, **204**(24): 4281—4289
- [11] Xie X J, Deng L, Zhang B. Advances and studies on eco-physiological effects of starvation on fish [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1998, **22**(2): 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**(2): 181—188]
- [12] Xin D L, Zhang S F, Wu L X, et al. Effects of starvation and refeeding on energy metabolism in oriental weatherfish (*Misgurnus anguillicaudatus*) [J]. *Journal of Dalian Fisheries University*, 2005, **20**(4): 290—294 [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. *大连水产学院学报*, 2005, **20**(4): 290—294]
- [13] Shen W Y, Lin H R, Zhang W M. The effect of starvation and refeeding on biological chemistry in grass carp [J]. *Acta Zoolohica Sinica*, 1999, **45**(4): 404—413 [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. *动物学报*, 1999, **45**(4): 404—413]
- [14] Czesny S, Richard J, Garcia-Abiado M A, et al. The effect of fasting, prolonged swimming, and predator presence on energy utilization and stress in juvenile walleye (*Stizostedion vitreum*) [J]. *Physiology and Behaviour*, **79**(4): 597—603
- [15] Mehner T, Wieser W. Energetics and metabolic correlates of starvation in juvenile perch (*Perca fluviatilis*) [J]. *Journal of Fish Biology*, 1994, **45**(3): 325—333
- [16] Puvanendran V, Leader L L, Brown J A. Foraging behaviour of Atlantic cod (*Gadus morhua*) larvae in relation to prey concentration [J]. *Canadian Journal of Zoology*, 2002, **80**(4): 689—699

THE RELATIONSHIP AMONG RESTING METABOLIC RATE, BODY COMPOSITION AND EXCESS POST-EXERCISE OXYGEN CONSUMPTION DURING FASTING IN *SILURUS ASOTUS*

TANG Hong-Fen, CAO Zhen-Dong and FU Shi-Jian

(Laboratory of Evolutionary Physiology and Behavior; Chongqing Key Laboratory of Animal Biology, Chongqing Normal University, Chongqing 400047)

Abstract: The resting metabolic rate (VO_{2rest}), body composition and excess post-exercise oxygen consumption (EPOC) of 33 juvenile *Silurus asotus* (32.14 ± 1.40)g were investigated after 0, 1, 2, 4 and 8 weeks' starvation under $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$. VO_{2rest} were (2.21 ± 0.15) , (1.63 ± 0.04) , (1.64 ± 0.13) , (1.44 ± 0.08) and (0.98 ± 0.09) $\text{mgO}_2/\text{kg}/\text{min}$ after 0, 1, 2, 4 and 8 weeks' starvation, respectively. There were no significant difference in VO_{2rest} among 1, 2 and 4 week starvation groups, whereas, all the three groups were significantly lower than that of 0 week group but significantly higher than that of 8 week group ($P < 0.05$). Combined the above results with which of body composition, it suggested that there existed a "stable period" in VO_{2rest} during long term starvation, and the energy expenditure in this period was mainly provided by catabolism of lipid rather than protein, which might play a more important role in energy supply after "stable period". The oxygen consumption was immediately increased to peak value at 2 min after exhaustive exercise and slowly decreased to a stabilized level. The excess post-exercise oxygen consumptions were (31.8 ± 6.06) , (76.67 ± 4.34) , (69.2 ± 5.89) , (70.41 ± 3.12) and (38.28 ± 2.72) mgO_2/kg after 0, 1, 2, 4 and 8 weeks' starvation, respectively. The excess post-exercise oxygen consumptions of 1, 2 and 4 week starvation groups were significantly higher than both those of 0 and 8 week groups ($P < 0.05$), which suggested there was a "exhibition period" in function compensation. The time course of "stable period" in VO_{2rest} and "exhibition period" in function compensation were identical, which suggested that there existed close relationship between metabolic expenditure and physiological function compensation in *Silurus asotus*.

Key words: Starvation; *Silurus asotus*; Resting metabolic rate; Body composition; Excess post-exercise oxygen consumption