

短期饥饿对大口黑鲈幼鱼自发运动和力竭运动后代谢的影响*

李秀明¹, 侯起森¹, 张耀光²

(1. 重庆师范大学 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 401331;

2. 西南大学 淡水鱼类资源与生殖发育教育部重点实验室, 重庆 400715)

摘要:【目的】考察短期饥饿对大口黑鲈(*Micropterus salmoides*)幼鱼自发运动和力竭运动后代谢(EPOC)影响。【方法】在(25±1)℃条件下将体质量为(13.34±0.32)g、体长为(8.92±0.07)cm的40尾大小相似的大口黑鲈幼鱼随机平均分为持续正常饲喂饵料的对照组和持续禁食14d的饥饿组,并测定实验鱼的自发运动指标及EPOC相关参数。【结果】1)饥饿组体质量低于对照组体质量,两者差异具有统计学意义($p<0.05$);2)在运动平均速度、单位时间内运动总距离和运动时间百分比方面,饥饿组均高于对照组,有关差异均具有统计学意义($p<0.05$);3)饥饿组运动前代谢率和运动后代谢峰值均较对照组的这两项指标更低,有关差异均有统计学意义($p<0.05$);4)饥饿组与对照组的峰值时间、代谢率增量、过量耗氧和恢复速率均无统计学意义上的差异。【结论】大口黑鲈幼鱼在短期饥饿后主要通过增加运动时间来提高自身自发运动水平,并采用下调有氧运动代谢和维持无氧运动代谢的策略应对短期饥饿胁迫。

关键词:饥饿;自发运动;力竭运动后代谢;大口黑鲈

中图分类号:Q175

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2022)03-0001-07

鱼类的自发运动与自身日常觅食、栖息地迁移、敌害逃避等行为密切相关,是由鱼类体内刺激或身体状态所引起的运动^[1-4]。测量鱼类自发运动的常用指标有运动平均速度(Average swimming speed, ASS)、单位时间内运动总距离(Total movement distance, TMD)、运动时间百分比(Percent time spent moving, PTM)等^[5]。鱼类的力竭性运动(Exhaustive exercise)与鱼类的洄游、逃逸、捕食等生命活动密切相关,主要以无氧代谢功能为主^[6]。力竭运动后过量耗氧(Excess post-exercise oxygen consumption)又称力竭运动后代谢(EPOC),是指动物力竭后超过运动前耗氧水平的耗氧量,是评价动物运动代谢能力的重要生理指标之一^[7]。通常用来评估EPOC的参数包括EPOC峰值、峰值到达时间、代谢率增量、过量耗氧、恢复速率等^[8-9]。已有研究表明,鱼类EPOC受到体质量、驯化环境、摄食水平等多种因素的影响^[10-12]。由于自然界中食物资源存在时空异质性,因此鱼类往往会面临食物匮乏甚至饥饿的胁迫^[13]。饥饿会导致鱼类形态、生理和行为发生明显变化^[14-16],但这种影响与鱼的种类和饥饿状态持续时间有密切的关系。迄今为止,有关饥饿对鱼类EPOC影响的研究资料还相对较少^[14-16]。

大口黑鲈(*Micropterus salmoides*)是一种广泛养殖的经济型肉食性鱼类,隶属硬骨鱼纲(Osteichthyes)鲈形目(Perciformes)太阳鱼科(Centrarchidae)^[17]。已有研究发现,大口黑鲈的耗氧率随着水体温度升高而增加,在29℃时达到峰值(0.392 mg·g⁻¹·h⁻¹),且它的夜均耗氧率(0.214 mg·g⁻¹·h⁻¹)明显高于日均耗氧率(0.199 mg·g⁻¹·h⁻¹);同时,它的耗氧率也随着体质量的增加而降低,最低值约为0.112 mg·g⁻¹·h⁻¹^[18]。此外,大口黑鲈的半致死最低温度约为3~5℃,窒息点约为0.3~0.4 mg·L⁻¹^[19]。基于上述研究背景,本研究考察了短期饥饿对大口黑鲈自发运动和EPOC的影响,以便为该鱼种的运动生理学研究提供更加丰富的参考资料,并为该鱼种的养殖实践提供必要的基础数据。

* 收稿日期:2021-10-10 修回日期:2021-11-26 网络出版时间:2022-05-17 11:31

资助项目:“成渝地区双城经济圈建设”科技创新项目(No. KJCX2020023);重庆师范大学研究生科研创新项目(No. YKC20029);国家自然科学基金(No. 31302160)

第一作者简介:李秀明,男,教授,博士,研究方向为鱼类生理生态和水产养殖,E-mail:xiumingli418@hotmail.com;通信作者:张耀光,男,教授,E-mail:zhangyg@swu.edu.cn

网络出版地址:https://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20220516.1812.020.html

1 材料和方法

1.1 实验鱼来源、驯养

将购自重庆市万州区水产研究所的实验用大口黑鲈幼鱼放置于室内循环控温水槽中驯养 28 d。驯养期间的实验用水为充分曝气的自来水,水温控制在 $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$;每日 2 次用商品饲料投喂至饱足,0.5 h 后清除粪便和残饵;日换水量约为驯养水体总体积的 10%;光周期为 12 h 光照:12 h 黑暗。

1.2 实验设计

驯养结束后,挑选 40 尾大小相似且体质量为 (13.34 ± 0.32) g、体长为 (8.92 ± 0.07) cm 的实验鱼随机平均分为对照组和饥饿组,对照组实验鱼仍然维持驯养期间的饲喂方式,饥饿组实验鱼则进行 14 d 饥饿处理,实验结束后测量各处理组实验鱼的体质量和体长。饥饿处理期间的其他环境条件与驯养期间保持一致。

1.3 自发运动指标测定

饥饿处理结束后,从每个处理组中随机挑选 10 尾实验鱼,单独转移至体积为 60 L、直径为 40 cm 白色塑料桶中,适应 0.5 h 后,连续拍摄实验鱼在 20 min 内的自发运动,采用荷兰诺达思公司出品的 Noldus Etho Vision XT 9.0 动物运动轨迹跟踪系统对实验鱼的运动视频进行分析,并计算实验鱼在 20 min 内的 TMD(单位:m)、ASS(单位: $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)和 PTM。

1.4 EPOC 及相关参数测定

将每个处理组中剩余的 10 尾实验鱼用于 EPOC 及相关参数测定。采用实验室自行研制的流水式呼吸仪进行实验鱼耗氧率(M_{O_2})的测定^[20]。测定前将单尾实验鱼放置进单个呼吸室内适应 24 h,随后每隔 2 h 用美国哈希公司生产的 Hach HQ10 溶氧仪测定 1 次耗氧率,共测定 5 次,取平均值作为实验鱼运动前代谢率。实验鱼的代谢率通过以下公式计算:

$$X_m = \Delta_{\text{O}_2} \times v。$$

式中: X_m 为实验鱼的代谢率(单位: $\text{mg} \cdot \text{h}^{-1}$), Δ_{O_2} 为装有实验鱼的呼吸室和没有实验鱼的对照呼吸室之间的溶氧量差值(单位: $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$), v 为呼吸室中水流的单位时间流量(单位: $\text{L} \cdot \text{h}^{-1}$)。为了消除实验鱼体质量差异造成的影响,用体质量系数 0.75 将实验鱼代谢率进行标准化^[20]。校正后的代谢率计算公式如下:

$$X_s = \left(\frac{1}{m}\right)^{0.75} \times X_m。$$

式中: X_s 为标准体质量代谢率(单位: $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$), m 为实验鱼体质量(单位:kg)。

运动前代谢率测定结束后,将单尾实验鱼从呼吸室中取出放入直径为 73 cm 的环形水道中,其中水流速率约为 $65 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$,实验者用手不断追逐实验鱼 1~2 min,迫使它到达了失去平衡或继续追逐不再有明显应激反应的力竭状态^[21]。随后将实验鱼放入呼吸室,在之后的 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,15,20,25,30,35,40,45,50,55 和 60 min 时分别进行耗氧率测定。测定期间呼吸室中水流的单位时间流量约为 $450 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$,呼吸室体积为 80 mL;根据文献[10]提供的方法计算后可知,在 1 min 内呼吸室中水体总体积的 99% 能够被置换。根据文献[22]计算以下与 EPOC 有关的参数:1) 运动后代代谢峰值(单位: $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$);2) 峰值时间(单位:min);3) 代谢率增量(单位: $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$);4) 过量耗氧(单位: $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$);5) 恢复速率(又称作 c 值)。以实验鱼的运动后时间(单位:min)为自变量(x),以实验鱼代谢率为因变量(y),通过以下公式对两者进行拟合:

$$y = a + b e^{-cx}。$$

式中: a 为力竭运动前代谢率; b 为代谢率增量; c 为恢复速率, c 值越大代表实验鱼从力竭运动中恢复得越快^[9]。

1.5 数据统计

实验数据先用 Excel 2016 软件进行常规计算,采用 SPSS 17.0 软件中的 t -检验对所得数据进行统计分析。实验数据均以“平均值±标准误”表示,当 $p < 0.05$ 时,有关统计结果具有统计学意义。

2 结果

2.1 对大口黑鲈体质量和体长的影响

表 1 显示:与对照组相比,饥饿组实验鱼的体质量明显较低,两者差异具有统计学意义($p < 0.05$)。在体长

方面,两组实验鱼无统计学意义上的差异。

表 1 短期饥饿对大口黑鲈幼鱼体质量和体长的影响

Tab.1 The effect of short-term starvation on the body mass and body length of *M. salmoides*

组别	用于自发运动指标测定		用于 EPOC 及相关参数测定	
	体质量/g	体长/cm	体质量/g	体长/cm
对照组	13.19±0.46	8.85±0.09	13.49±0.48	8.96±0.11
饥饿组	11.95±0.31 [#]	8.83±0.11	12.2±0.33 [#]	8.93±0.11

注: # 表示对照组和饥饿组之间数据差异具有统计学意义 ($p < 0.05$), 用于自发运动指标测定和用于 EPOC 及相关参数测定的各处理组样本量均为 10 尾, 下同

2.2 对大口黑鲈自发运动指标的影响

研究结果显示, 饥饿组实验鱼 TMD(图 1a)、ASS(图 1b)和 PTM(图 1c)都明显比对照组的这 3 个自发运动指标更高, 且组间差异均具有统计学意义 ($p < 0.05$)。

2.3 对大口黑鲈 EPOC 及相关参数的影响

对照组和饥饿组的实验鱼力竭运动后的代谢率都表现为先迅速上升, 达到峰值后急剧下降并逐渐恢复到力竭运动前的代谢水平(图 2)。饥饿组大口黑鲈的运动前代谢率(图 3a)和运动后代谢峰值(图 3b)都明显比对照组的这两个指标更低, 且组间差异均具有统计学意义 ($p < 0.05$)。同时, 两个组的峰值时间(图 3c)、代谢率增量(图 3d)、过量耗氧(图 3e)和 c 值(图 3f)均无统计学意义上的差异。

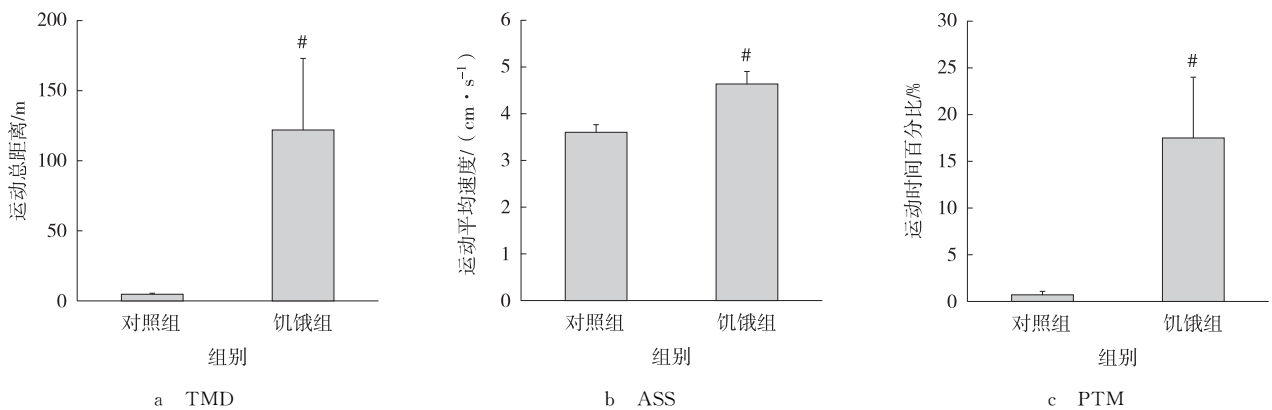


图 1 短期饥饿对大口黑鲈幼鱼自发运动指标的影响

Fig.1 The effect of short-term starvation on the spontaneous activity of *M. salmoides*

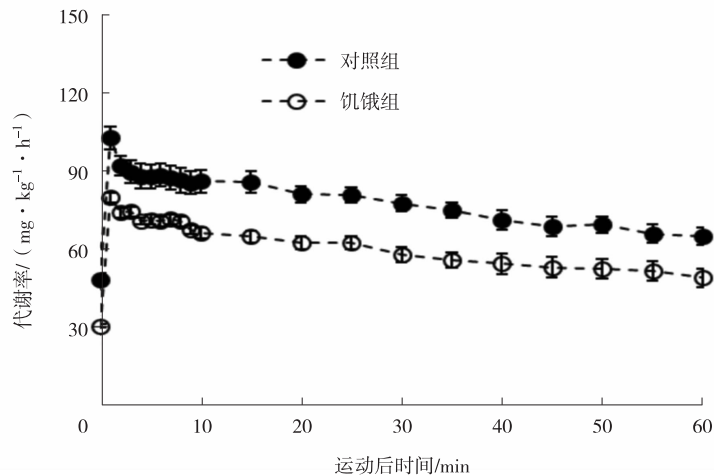


图 2 短期饥饿对大口黑鲈 EPOC 的影响

Fig.2 The effect of short-term starvation on EPOC of *M. salmoides*

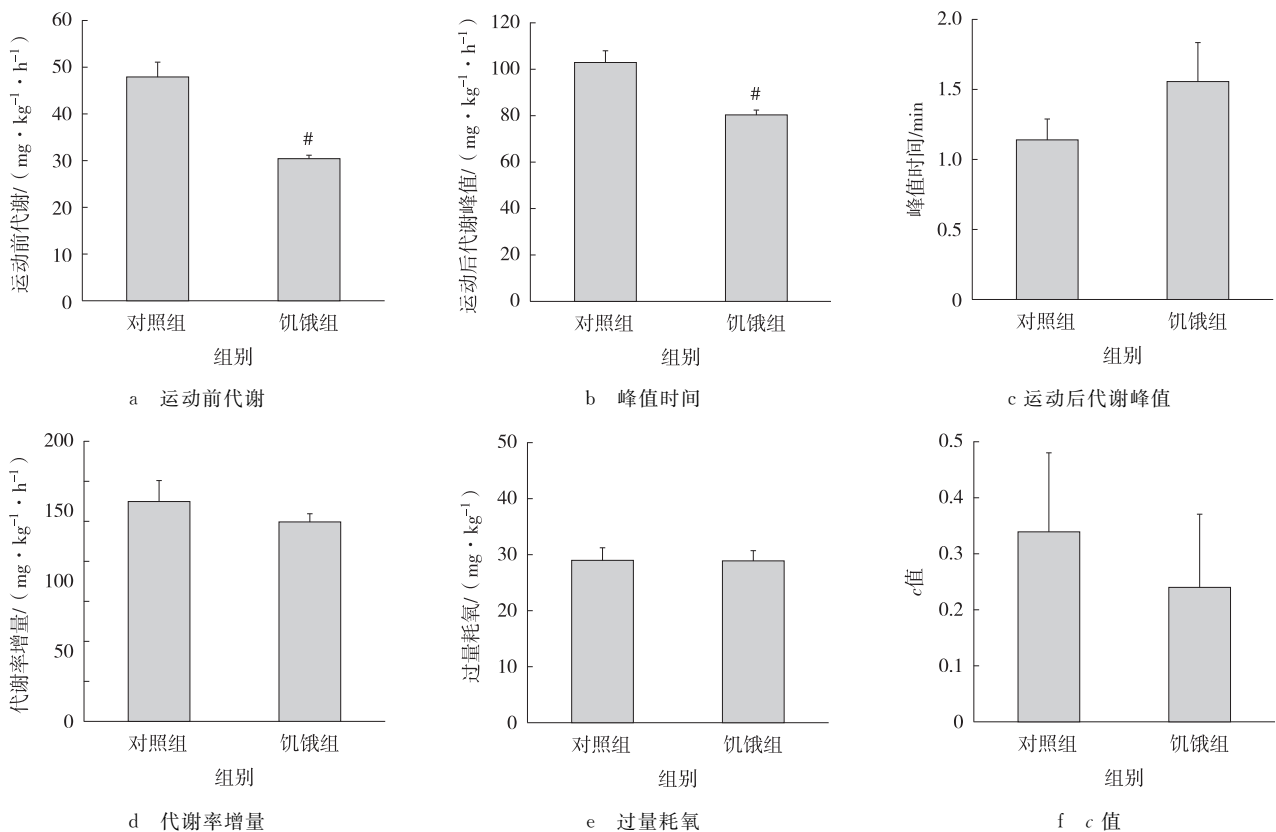


图 3 短期饥饿对大口黑鲈 EPOC 相关参数的影响

Fig. 3 The effect of short-term starvation on the parameters of EPOC for *M. salmoides*

3 讨论与结论

为了应对有限的食物供应,动物通常会采取能量节约和行为适应策略^[23]。过去的研究发现,鱼类的维持代谢率通常与饥饿时间呈负相关关系,这主要与鱼类在饥饿过程中自身能量分配和储能物质消耗速率的主动调节有关^[24-26]。本研究发现,短期饥饿导致大口黑鲈力竭运动前代谢率(也可以称之为静止代谢率)明显降低,这将有利于该鱼种减少自身日常能量的消耗。这一结果与已有的大多数研究一致^[15-16]。此外,饥饿会通过改变动物内在代谢功率分配模式以及自身体质量,从而影响动物的自发运动水平^[27]。有研究发现,鲤(*Cyprinus carpio*)^[16]、牙鲮(*Paralichthys olivaceus*)^[28]、三刺鱼(*Gasterosteus aculeatus*)^[29]等鱼类在面对饥饿胁迫时通常会增加自身自发运动水平。在本研究中,经历短期饥饿后的大口黑鲈的3个自发运动指标数值都有明显的增加。自发运动水平的提高可能有利于扩大鱼类的觅食范围,增加与食物相遇的机率和捕食机会。不过,短期饥饿导致大口黑鲈的运动总距离和运动时间百分比与正常饲喂状态下的同类相比分别增加了31.66倍和22.44倍,而运动平均速度仅仅增加了0.28倍。由此可见,大口黑鲈短期饥饿后自发运动水平的提高主要与它的运动时间增加有关。

用以评估动物 EPOC 特征各个参数具有不同的生理生态评价意义。运动后代谢峰值可以作为鱼类最大有氧代谢能力的评价指标,与鱼类持续的游泳运动相关;而代谢率增量代表着鱼类进行各项生命活动可以利用的最大有氧代谢空间^[30]。有研究发现,14 d 的饥饿处理导致鲇(*Silurus asotus*)的运动后代谢峰值明显升高^[15]。本研究发现,14 d 短期饥饿处理后的大口黑鲈的运动后代谢峰值明显降低。因此,短期饥饿对大口黑鲈的有氧代谢能力产生了负面影响。类似现象也见于有关尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)的 EPOC 研究^[31]。此外,14 d 的饥饿处理导致尼罗罗非鱼代谢率增量明显减少^[31],但却使鲇的代谢率增量明显增加^[15]。然而在本研究中,14 d 的饥饿处理并没有对大口黑鲈的代谢率增量产生明显的影响。这一结果暗示了大口黑鲈有氧代谢空间并未明显受到短期饥饿的影响,因而可能有利于大口黑鲈各种生理活动的共同进行。

过量耗氧反映了鱼类力竭运动后的“氧债”偿还能力,与鱼类无氧代谢能力密切相关^[21]。研究发现,14 d 的

饥饿处理导致鲈的过量耗氧明显增加,表明它的无氧代谢能力在短期饥饿后得到了增强^[15]。在本研究中,大口黑鲈在经历14 d饥饿后过量耗氧没有发生统计学意义上的变化,因此它的无氧代谢能力并没有明显受到短期饥饿影响。其中原因可能与大口黑鲈饥饿后运动前代谢率和运动后代谢峰值同时降低有关。研究者在有关尼罗罗非鱼的EPOC研究也得到了类似结果^[31]。此外, c 值表示鱼类从力竭运动中的恢复速率,直接影响着下一次力竭运动的进行,对鱼类的逃逸和捕食活动具有重要影响^[32]。本研究中大口黑鲈在14 d的饥饿处理后 c 值没有发生统计学意义上的变化。而在相同时间的饥饿处理下,鲈^[15]和尼罗罗非鱼^[31]的EPOC持续时间也同样没有发生明显变化。这些结果暗示上述鱼类从力竭运动中的恢复速率没有受到短期饥饿的影响。但是,随着饥饿状态持续时间的延长,鱼类自身能量底物的减少可能进一步影响有氧和无氧运动功能;因此这种情形下它们的力竭运动后恢复速率等EPOC特征变化有待进一步研究。

综上所述,本研究发现,14 d短期饥饿胁迫导致大口黑鲈幼鱼TMD、ASS和PTM的数值均有明显增加,这可能有利于提高该鱼种觅食成功率。同时,这一饥饿胁迫也导致了大口黑鲈幼鱼有氧代谢能力明显下降,但没有对它的无氧代谢能力产生明显影响。因此,大口黑鲈幼鱼的无氧代谢能力在短期饥饿胁迫条件下表现得更加保守。

参考文献:

- [1] HUNTER J R. Swimming and feeding behavior of larval anchovy *Engraulis mordax*[J]. Fishery Bulletin, 1972, 70(3): 821-838.
- [2] BLAXTER J H S, STAINES M E. Food searching potential in marine fish larvae[M]//CRISP D J. European marine biology symposium. Cambridge: Cambridge University Press, 1971: 467-485.
- [3] BLAXTER J H S. Development of sense organs and behavior of teleost larvae with special reference to feeding and predator avoidance[J]. Transactions of the American Fisheries Society, 1986, 115(1): 98-114.
- [4] ZHOU T, WEIS J S. Predator avoidance in mummichog larvae from a polluted habitat[J]. Journal of Fish Biology, 1999, 54(1): 44-57.
- [5] YLIEFF M Y, PONCIN P. Quantifying spontaneous swimming activity in fish with a computerized color video tracking system, a laboratory device using last imaging technique[J]. Fish Physiology and Biochemistry, 2003, 28(1/2/3/4): 281-282.
- [6] KIEFFER J D. Limits to exhaustive exercise in fish[J]. Comparative Biochemistry Physiology, 2000, 126(2): 161-179.
- [7] 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.
- [8] LEE C G, FARRELL A P, LOTTO A, et al. Excess post-exercise oxygen consumption in adult sockeye (*Oncorhynchus nerka*) and coho (*O. kisutch*) salmon following critical speed swimming[J]. The Journal of Experimental Biology, 2003, 206(18): 3253-3260.
- [9] FU S J, ZENG L Q, LI X M, et al. Effect of meal size on excess post-exercise oxygen consumption in fishes with different locomotive and digestive performance[J]. Journal of Comparative Physiology B: Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology, 2009, 179(4): 509-517.
- [10] 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 Part A: Molecular & Integrative Physiology, 2007, 146(3): 435-439.
- [11] 付世建, 曹振东, 谢小军. 鱼类摄食代谢和运动代谢研究进展[J]. 动物学杂志, 2008, 43(2): 150-159.
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.
- [12] 彭姜岚, 曹振东, 付世建. 鲈鱼力竭性运动后的过量耗氧及其体重的影响[J]. 水生生物学报, 2008, 32(3): 380-386.
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.
- [13] 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 Part A: Molecular & Integrative Physiology, 2003, 135(2): 347-356.
- [14] FU S J, PANG X, CAO Z D, et al. The effects of fasting on the metabolic interaction between digestion and locomotion in juvenile southern catfish (*Silurus meridionalis*) [J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology, 2011, 158(4): 498-505.

- [15] 付成,曹振东,付世建. 温度和饥饿对鲤鱼幼鱼静止代谢率及自发运动的影响[J]. 动物学杂志,2012,47(2):85-90.
FU C,CAO Z D,FU S J. The influence of temperature and starvation on resting metabolic rate and spontaneous activity in juvenile *Cyprinus carpio*[J]. Chinese Journal of Zoology,2012,47(2):85-90.
- [16] 汤洪芬,曹振东,付世建. 饥饿过程鲢鱼幼鱼静止代谢、身体组成及与力竭性运动后过量耗氧的关系[J]. 水生生物学报,2010,34(1):190-195.
TANG H F,CAO Z D,FU S J. The relationship among resting metabolic rate,body composition and excess post-exercise oxygen consumption during fasting in *Silurus asotus*[J]. Acta Hydrobiologica Sinica,2010,34(1):190-195.
- [17] 陈乃松,周洁,靳利娜,等. 禁食对大口黑鲈生长和肝脏 IGF- I mRNA 表达丰度的影响[J]. 中国水产科学,2010,17(4):713-720.
CHEN N S,ZHOU J,JIN L N. Effects of fasting on growth and expression abundance of IGF- I mRNA in largemouth bass (*Micropterus salmoides*)[J]. Journal of fishery sciences of China,2010,17(4):713-720.
- [18] 杨斯琪,郑洪武,孙颖,等. 氨氮,温度和体重对大口黑鲈(*Micropterus salmoides*)幼鱼耗氧率和窒息点的影响[J]. 海洋与湖沼,2019,50(6):1328-1333.
YANG S Q,ZHENG H W,SUN Y,et al. Effects of ammonia exposure,temperature,and body weight on oxygen consumption rate and asphyxiation point of juvenile largemouth bass *Micropterus salmoides*[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica,2019,50(6):1328-1333.
- [19] 蔡磊,白俊杰,李胜杰,等. 大口黑鲈幼鱼低温耐受、耗氧率和窒息点研究[J]. 上海海洋大学学报,2012,21(6):971-975.
CAI L,BAI J J,LI S J,et al. Determination on the low lethal temperature tolerance,oxygen consumption rate and asphyxiation point of juvenile largemouth bass[J]. Journal of Shanghai Ocean University,2012,21(6):971-975.
- [20] 付世建,曹振东,彭姜岚. 追赶和空气曝露时间对瓦氏黄颡鱼耗氧率的影响[J]. 动物学杂志,2007,42(2):111-115.
FU S J,CAO Z D,PENG J L. The effects of chasing and air exposing on oxygen consumption in *Pelteobag vachelli*[J]. Chinese Journal of Zoology,2007,42(2):111-115.
- [21] 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.
- [22] ZENG L Q,ZHANG Y G,CAO Z D,et al. Effect of temperature on excess post-exercise oxygen consumption in juvenile southern catfish (*Silurus meridionalis* Chen) following exhaustive exercise[J]. Fish Physiology and Biochemistry,2010,36(4):1243-1252.
- [23] CORNISH E R,MROSOVSKY N. Activity during food deprivation and satiation of six species of rodent[J]. Animal Behaviour,1965,13(2):242-248.
- [24] 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.
- [25] COOK J T,SUTTERLIN A M,Mc NIVEN 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.
- [26] 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(1/2/3/4):357-363.
- [27] 聂利娟,曹振东,付世建. 摄食对肉食性乌鳢和草食性鳊幼鱼运动及行为特征的影响[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版),2016,33(2):26-31.
NIE L J,CAO Z D,FU S J. Effect of feeding on movement and behavior in juveniles of carnivorous *Channa argus* and herbivorous *Parabramis pekinensis*[J]. Journal of Chongqing Normal University (Natural Science),2016,33(2):26-31.
- [28] MIYAZAKI T,MASUDA R,FURUTA S,et al. Feeding behaviour of hatchery-reared juveniles of the Japanese flounder following a period of starvation[J]. Aquaculture,2000,190(1/2):129-138.
- [29] GILES N. Predation risk and reduced foraging activity in fish; experiments with parasitized and non-parasitized three-spined sticklebacks,*Gasterosteus aculeatus* L. [J]. Journal of Fish Biology,2010,31(1):37-44.
- [30] 李秀明,袁建明,张耀光,等. 有氧运动训练和摄食对中华倒刺鲃幼鱼力竭运动后代代谢特征的影响[J]. 水生生物学报,2017,41(2):277-284.
LI X M,YUAN J M,ZHANG Y G,et al. The effect of aerobic exercise training and feeding on excess post-exercise oxygen consumption in juvenile qingbo (*Spinibarbus sinensis*)[J]. Acta Hydrobiologica Sinica,2017,41(2):277-284.
- [31] LUO Y P,WANG W,ZHANG Y R,et al. Effects of starvation on the excess post-exercise oxygen consumption of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)[J]. Marine and Freshwater Behaviour and Physiology,2013,45(5):333-342.

[32] 李秀明,张耀光,何春梅,等. 力竭追赶训练对两种鲤科鱼类呼吸循环系统参数和力竭运动后代谢特征的影响[J]. 水生生物学报,2019,43(1):78-85.

LI X M,ZHANG Y G,HE C M,et al. The effect of exhaustive chasing training on parameters of respiratory and circulatory system and excess post-exercise oxygen consumption in juvenile qingbo (*Spinibarbus sinensis*) and roch carp (*Procypris rabaudi*)[J]. Acta Hydrobiologica Sinica,2019,43(1):78-85.

Animal Sciences

Effect of Short-Term Starvation on Spontaneous Activity and Excess Post-Exercise Oxygen Consumption of Juvenile *Micropterus salmoides*

LI Xiuming¹, HOU Qimiao¹,ZHANG Yaoguang²

(1. Chongqing Key Laboratory of Animal Biology, Laboratory of Evolutionary Physiology and Behavior, Chongqing Normal University, Chongqing 401331;

2. Key Laboratory of Freshwater Fish Reproduction and Development, Ministry of Education, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract: [Purposes] To investigate the effects of short-term starvation on spontaneous activity and excess post-exercise oxygen consumption (EPOC) in juvenile *Micropterus salmoides*. [Methods] 40 juvenile *M. salmoides* with similar body of ((13.34±0.32) g, (8.92±0.07) cm) were randomly divided into control group (continuous feeding) and starved group (starvation for 2 weeks), and then measured the spontaneous activity and EPOC response of experimental fish at 25 °C. [Findings] The body weight of the starved group was significantly lower than that of the control group ($p < 0.05$). Total movement distance, average swimming speed and percent time spent moving in the starved group were significantly higher than those in the control group ($p < 0.05$). The pre-exercise and peak post-exercise M_{O_2} in the starved group were significantly lower than those in the control group. There were no significant differences in time to peak, increment of metabolic rate, EPOC magnitude and recovery rate of metabolic rate between the starved group and the control group. [Conclusions] 1) Short-term starvation leads to the juvenile *M. salmoides* to increase its spontaneous activity level mainly by increasing the exercise time. 2) Juvenile *M. salmoides* adopt the strategy of decreasing aerobic exercise metabolism and maintain anaerobic exercise metabolism to cope with short-term starvation stress.

Keywords: starvation; spontaneous activity; EPOC; *Micropterus salmoides*

(责任编辑 方 兴)