

南方鲇的饥饿代谢研究*

张波 谢小军¹⁾

(西南师范大学水产科学研究所 重庆 400715)

提要 于 1996 年 1 月 9 日—6 月 12 日,在西南师范大学鱼类能量学实验室,对南方鲇幼鱼(61.7—92.3g)进行了 27.5℃ 条件下的饥饿耐受性实验,并采用连续流水式呼吸仪测定了实验鱼在此期间的静止代谢率。结果表明,饥饿至 156d 时,50% 的实验鱼死亡。饥饿鱼代谢水平的变化可分为 4 个阶段:(1) 饥饿 1—20d,代谢率随饥饿时间延长而呈直线下降;(2) 饥饿 21—81d,处于相对稳定状态;(3) 饥饿 81—91d,代谢率再度明显下降;(4) 饥饿 91—156d,代谢率在一个更低水平又处于相对稳定状态,直至半数死亡。作者认为南方鲇在饥饿过程中代谢率出现的高低两个相对稳定期是南方鲇适应食物缺乏环境的能量生态学对策,并把高稳定期称为“饥饿适应代谢”,低稳定期称为“存活代谢”。在 27.5℃ 条件下,南方鲇的这两个特征值分别为 66.6mgO₂/(kg·h) 和 52.9mgO₂/(kg·h)。

关键词 南方鲇 鱼类能量学 饥饿 代谢

学科分类号 Q493.8

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能力不同。谢小军等(1998)综述了饥饿影响鱼类生理生态学状况的研究进展。在鱼类能量学的研究中,代谢是测定和估计较为困难并随环境条件的改变而变异较大的能量学组分(谢小军等,1989),关于饥饿对鱼类呼吸代谢的影响,仅有少数资料发表(Marais, 1978; Du Preeze *et al.*, 1986, 1988; Mehner *et al.*, 1994),国内尚无开展该方面工作的报道。本文通过南方鲇在饥饿状态下的代谢率的研究,探讨了南方鲇对长期饥饿的耐受力及适应性对策,并对标准代谢的测定方法进行了讨论,旨在为能量学理论研究及该种鱼的养殖开发提供新的资料。

1 材料和方法

1.1 实验鱼的来源及驯化

实验用南方鲇(*Silurus meridionalis*)来自本实验室当年孵化并驯养的鱼,体重范围为 61.7—92.3g。实验前 1 个月进入室内水族箱进行驯化。驯化期间,水温以每天 1℃ 的速度调至 27.5℃。每天早晨换去水族箱内一半的水,将鲜泥鳅(*Misgurnus anguillicaudatus*)切成碎块作为饵料,每天下午 18:00—20:00 投食 1 次,喂饱足。光暗周期比控制为 L:D=14h:10h,瞬时开断。

* 国家自然科学基金资助项目,39870159 号;农业部九五重点科研项目,渔 95-B-96-07-07 号。张波,女,出生于 1971 年 3 月 4 日,硕士,现工作单位:中国水产科学研究院黄海水产研究所,地址:青岛市南京路 106 号,邮编:266071, Fax: 0086-0532-5811514

1) 通讯作者

收稿日期:1998-06-03,收稿改稿日期:1999-01-13

1.2 饥饿鱼耗氧率的测定方法

实验于 1996 年 1 月 9 日—6 月 12 日进行。将实验鱼保持在室内水族箱中并一直处于饥饿状态, 水温控制在 $(27.5 \pm 0.5) ^\circ\text{C}$ 。每隔 5d 测 1 次代谢率。从实验鱼中随机选取 6 尾鱼, 称取体重后装入呼吸室中保持 24h 后再开始测定。

采用连续流水式呼吸仪 (continuous-flow respirometer) 测定代谢率 (Xie *et al.*, 1990)。采用 7 个管径为 6cm、容积为 0.76L 的呼吸室, 其中 1 个为空白对照, 其余每个装入实验鱼 1 尾。用流量计将流量控制在一个恒定值, 使进出呼吸室的水的溶解氧之差保持在 1—2mg/L。用塑料桶收集流出各呼吸室的水, 定时称重以得到精确流量。用 Winkler 氏碘量法测定流出水的溶氧量, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 标准溶液的浓度为 0.005mol/L。空白水样与其它各呼吸室溶氧量之差, 再乘以该呼吸室的流量得到该鱼的耗氧率。

每次测定取 4 次水样, 时间分别为 10:00、12:00、14:00、16:00。每个样品滴定 2 次。如滴定结果相差在 0.05ml 以上, 再重新滴定, 取偏差在 0.05ml 以内的两个数据的平均值为测定值。用每实验鱼的 4 个测定值的平均数为测定结果。

2 结果

2.1 饥饿致死的时间

27.5 $^\circ\text{C}$ 条件下, 实验鱼饥饿至 156d 时, 半数死亡, 平均体重下降为初始体重的 52.87%。观察发现, 部分死亡鱼在饥饿后期阶段出现了体重略为增重的现象, 其身体外观较其它饥饿鱼肥满, 腹部较大, 解剖发现腹腔内充盈腹水。这说明长期饥饿使鱼体出现了病理性变化, 饥饿衰竭和病变共同作用使鱼致死。在观察中还发现, 死亡鱼在死亡前 10 天左右均对外界刺激反应很不敏感, 原对接触其体表的小棍有咬食的现象消失, 出现避开行为。而饥饿至 156d 仍存活的鱼当时的反应还很活跃, 仍能主动咬食小棍, 一有声音干扰, 便会立即向声音方向游动, 似在觅食, 因此, 可以把对这种外界刺激产生回避的行为反应看作是饥饿临死状态的一种行为学指标。

2.2 饥饿条件下的代谢水平

为了排除体重差异对代谢率测定结果造成的干扰, 采用下述公式 (Duthie *et al.*, 1982; Soofiani *et al.*, 1982), 根据鱼体重 (W)、将实测代谢率 (R) 校正为“标准体重 (W_s)”下的代谢率 (R_s):

$$R_s = R (W_s/W)^b \quad (1)$$

式中, b 值为体重指数。南方鲇的 b 值与温度 (T) 之间的回归关系由下式表达 (Xie *et al.*, 1990):

$$b = 1.065 - 0.011T \quad (2)$$

将实验水温 27.5 $^\circ\text{C}$ 代入方程 (2) 中, 得 b 值为 0.758, 标准体重取实验鱼体重的平均值 (57.48g), 对每天的测定值进行校正。标准体重南方鲇的代谢率在 156d 的饥饿期间呈下降趋势 (图 1), 由 137.2mgO₂/(kg·h) 下降到 47.9mgO₂/(kg·h)。

2.3 饥饿条件下代谢率的阶段性变化

根据代谢率在饥饿期间的变化趋势, 可将其分为 4 个阶段: 第 1 阶段为 1—20d, 代谢率随饥饿时间的延长而呈直线下降, 从 137.2mgO₂/(kg·h) 下降至 72.8mgO₂/(kg·h), 下降了 46.9%。通过回归得此阶段的代谢率 (R_s) 与饥饿时间 (t) 的相互关系为:

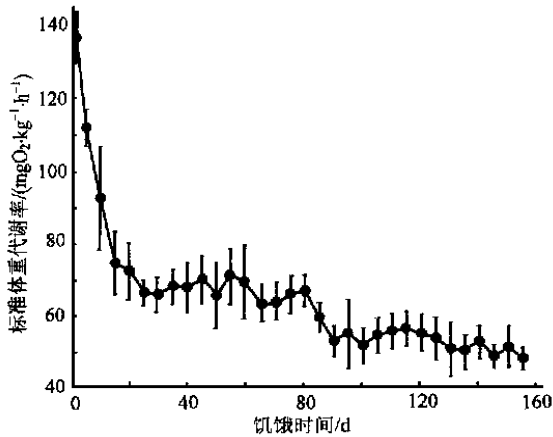


图1 南方鲇的代谢率随饥饿时间的变化

Fig. 1 Change of metabolic rate in *Silurus meridionalis* with starvation

$$R_s = 132.95 - 3.42t$$

$$(N = 30, r = 0.96, P < 0.01) \quad (3)$$

第2阶段为21—81d, 代谢率处于相对稳定状态, 其变幅为60.6—74.7mgO₂/(kg·h), 平均值为(66.6±4.1)mgO₂/(kg·h), 为饥饿开始时的代谢值的48.5%。第3阶段为81—91d, 代谢率又有明显下降, 从67.0mgO₂/(kg·h)下降至52.6mgO₂/(kg·h), 下降了21.5%。第4阶段为91—156d, 代谢率在一个更低水平又处于相对稳定状态, 直至半数死亡。此期间代谢率的变幅为47.9—57.9mgO₂/(kg·h), 平均值为(52.9±3.1)mgO₂/(kg·h), 为饥饿开始时的代谢值的38.6%, 为

第1相对稳定阶段的代谢值的79.4%。两个相对稳定期的平均值的差异达到了统计学显著性($t = 9.92, P < 0.01$)。

3 讨论

3.1 禁食时间对标准代谢值测定的影响

南方鲇在饥饿期间, 代谢率呈下降趋势, 在156d内, 从137.2mgO₂/(kg·h)下降至47.9mgO₂/(kg·h), 下降了65.1%。斑点石鲈(*Pomadasy's commersonni*) 在饥饿5d后, 耗氧率下降了34% (Du Preeze *et al*, 1986)。在20℃条件下, 犁头鳐(*Rhinobatos annulatus*) 在饥饿6d后, 标准代谢率下降了60% (Du Preeze *et al*, 1988)。油鲱(*Brevoortia tyrannus*) 在饥饿的6d内, 耗氧率呈对数下降 (Hettler, 1976)。体重为30g的草鱼(*Ctenophargnyodon idellus*) 在30℃下, 饥饿30—38h后测得代谢率为2.87kJ/d (Wiley *et al*, 1986), 而饥饿35d后的平均值为1.21kJ/d (崔奕波等, 1993)。由此可见, 代谢率随饥饿时间延长而变化是一个普遍规律。

Fry (1957) 提出标准代谢是在安静、禁食的状态下, 鱼类保持的最低代谢水平。禁食就是一定程度的饥饿。本研究的结果表明, 禁食时间的长短对代谢水平有较大的影响, 在不同禁食时间的条件下测得的标准代谢值有很大差异。因此, 为了使不同研究者测定的结果可以进行比较, 在测定标准代谢时, 应限定禁食的时间。

3.2 南方鲇在饥饿过程中对代谢水平的适应性调整

卢波等 (1993) 对乌龟(*Chinemys reevesi*) 的研究发现, 在饥饿状态下, 仔乌龟的代谢水平呈一个先下降再稳定的过程。Mehner 等 (1994) 发现幼鲈在15d的饥饿期内代谢率的变化也呈阶段性。本研究发现, 南方鲇在饥饿过程中, 代谢率表现出下降、稳定、再下降、再稳定的变化趋势, 可以认为这是南方鲇对食物缺乏环境的代谢适应方式。Mehner 等 (1994) 探讨了幼鲈在饥饿状态下的能量代谢对长期禁食的反应, 认为在此条件下鱼体对能量的利用存在两个相冲突的适应性要求: 一方面, 通过降低代谢水平减少能量消耗;

另一方面,保持一定程度的活动水平,以保证在有可利用的食物时,产生适当的行为反应,因此代谢水平不能降得过低。作者认为,南方鲇在饥饿过程中,代谢水平变化的阶段性就是其对能量利用这两方面适应性要求的矛盾反映。南方鲇在饥饿的最初阶段,鱼体逐步地降低代谢消耗以节约能量。为了保证正常应激状态的最低能量需求,当代谢率降至一定的水平时,鱼体通过调节身体贮存能量的消耗速率,使代谢率相对稳定在这个水平上,以便当有可利用的食物时,可以很快恢复正常摄食、吸收功能,这就是第1稳定期的代谢水平。随着饥饿时间的延长,可动用的身体能量不足以再维持正常应激状态的能量需求。为了延长寿命,代谢率很快下降到一个更低水平,仅保证生存所必须的生理功能所需的能量消耗,并尽可能长时间地相对稳定在此水平上,以维持生命,这就是第2个稳定期的代谢水平。

崔奕波等(1993)建议将长期饥饿状态下的代谢率定义为“饥饿代谢(Starvation metabolism)”。为了区分南方鲇的饥饿代谢出现的高低两个相对稳定期,作者建议把高稳定期称为“饥饿适应代谢(Starvation-adapting metabolism)”,在这一阶段,鱼体具有能保持正常应激状态的最低代谢水平;把低稳定期称为“存活代谢(Survival metabolism)”,在这一阶段,鱼体具有尽可能节约能量而延长生命的最低代谢水平;若再低于这个值,就不能存活。在27.5℃条件下,南方鲇的“饥饿适应代谢”值和“存活代谢”值分别为66.6mgO₂/(kg·h)和52.9mgO₂/(kg·h)。

南方鲇是肉食性鱼类,它的生态习性特殊(谢小军,1989;Xie *et al.*,1990,1992,1993),其代谢率在饥饿过程中所表现出来的规律性是否在其它种类的鱼中也存在,值得进一步探讨。

参 考 文 献

- 卢波,王培潮,1993. 喂食和禁食对仔龟代谢率影响的比较. 华东师范大学学报, 2: 109—112
- 崔奕波,王少梅,陈少莲,1993. 饥饿状态下草鱼的代谢率和氮排泄率及其与体重的关系. 水生生物学报, 17(4): 375—376
- 谢小军,孙儒泳,1989. 影响鱼类代谢的主要生态因素的研究进展. 西南师范大学学报, 14: 141—149
- 谢小军,邓利,张波,1998. 饥饿对鱼类生理生态学影响的研究进展. 水生生物学报, 22: 181—188
- Duthie G G, Houlihan D F, 1982. The effect of single step and fluctuating temperature changes on oxygen consumption of flounders, *Platichthys flesus* (L.): lack of temperature adaptation. J Fish Biol, 21: 215—226
- Du Preez H H, McLachlan A, Marais J F K, 1986. Oxygen consumption of a shallow water teleost, the spotted grunter, *Pomadasys commersonni*. Comp Biochem Physiol, 84A: 61—70
- Du Preez H H, McLachlan A, Marais J F K, 1988. Oxygen consumption of two nearshore marine elasmobranchs, *Rhinobatos annulatus* (Muller & Henle, 1841) and *Myliobatus aquila* (Linnaeus, 1758). Comp Biochem Physiol, 89A: 287—294
- Fry F E J, 1957. The Aquatic Respiration of Fish. In: Brown M E ed. The Physiology of Fishes (Vol. 1). New York: Academic Press, 1—63
- Hettler W F, 1976. Influence of temperature and salinity on routine metabolic rate and growth of young Atlantic menhaden. J Fish Biol, 8: 55—65
- Marais J F K, 1978. Routine oxygen consumption of *Mugil aepahus*, *Liza dumerili* and *L. richardsoni* at different temperature and salinities. Mar Biol, 50: 9—16
- Mehner T, Wieser W, 1994. Energetics and metabolic correlates of starvation in juvenile perch (*Perca fluviatilis*). J Fish Biol, 45: 325—333

- Soofiani N M, Hawkins A D, 1982. Energetic costs at different level of feeding in juvenile cod, *Gadus morhua* L. . J Fish Biol, 26: 127—138
- Wiley M J, Wike L D, 1986. Energy balances of aploid, triploid, and hybrid grass carp. Trans Am Fish Soc, 115: 835—863
- Xie X J, Sun R Y, 1990. The bioenergetics of the southern catfish (*Silurus meridionalis* Chen), I. Resting metabolic rate as a function of body weight and temperature. Physiol Zool, 63(6): 1181—1195
- Xie X J, Sun R Y, 1992. The bioenergetics of the southern catfish (*Silurus meridionalis* Chen): growth rate as a function of ration level, body weight and temperature. J Fish Biol, 40: 719—730
- Xie X J, Sun R Y, 1993. Pattern of energy allocation in the southern catfish. J Fish Biol, 42: 197—207

STARVATION METABOLISM IN THE SOUTHERN CATFISH (*SILURUS MERIDIONALIS*)

ZHANG Bo, XIE Xia-jun

(*Institute of Fisheries Science, Southwest Normal University, Chongqing, 400715*)

Abstract A starvation experiment was conducted on young southern catfish (*Silurus meridionalis* Chen) with initial weights of 61.7—92.3g at 27.5 °C, at the Laboratory of Fish Energetics of the University, from January 9 to June 12, 1996. The metabolic rate of the fast-tested fish was measured with a continuous-flow respirometer. Half of the tested fish starved to death when the fast experiment lasted for 156 days, and the metabolic rate decreased from 137.2 to 47.9mgO₂/(kg·h). The level of metabolism in the duration of starvation could be divided into four phases: (1) from the 1st day to the 20th day, the metabolic rate decreased dramatically; (2) from the 21st day to the 81st day, the metabolic rate kept relatively stable; (3) from the 81st day to the 91st day, the metabolic rate decreased obviously; and (4) from the 91st day to the 156th day, the metabolic rate became relatively stable at a lower level. The mean value difference between the two stable phases was statistically significant. The results suggest that alternation of metabolic level in the fast tested fish from higher phase, “Starvation-adapting metabolism”, to the lower one, “Survival metabolism”, was the energetic-ecological strategy to adapt starvation. At 27.5 °C, the metabolic level at the two phases in southern catfish were 66.6 and 52.9mgO₂/(kg·h), respectively.

Key words *Silurus meridionalis* Fish energetics Starvation Metabolism

Subject classification number Q493.8