

日粮水平对鮈鱼日总代谢、特殊动力作用和活动代谢的影响*

杨振才 谢小军¹⁾ 孙儒泳²⁾

(河北师范大学生物系,石家庄 050016)

提 要

在 25℃ 不同日粮水平(饥饿—4% 体重 / d)条件下,采用封闭式呼吸仪测定了 31 尾鮈鱼(体重 72.9—133.3g)的日总代谢率,然后,将鱼限制在呼吸室中的限动笼内测定了其中 20 尾鮈鱼的静止日总代谢率,并计算出了鮈鱼的特殊动力作用 (SDA) 和活动代谢率。日总代谢率和活动代谢率都随日粮水平的升高呈“V”形变化,分别在约 1% 和 2% 体重 / d 的日粮水平时最低,SDA 的能量支出占摄入能量的 22.14%。

关键词 鮈鱼, 日总代谢, 特殊动力作用, 活动代谢, 日粮水平

根据 Warren 等^[1]提出的鱼类生物能量学基本方程, 日总代谢(M)包括三个组分:

$$M = M_s + SDA + M_a$$

其中, M_s 为鱼在静止、饥饿状态下的代谢量(标准代谢, Standard metabolism); SDA 为与食物在体内消化、转换有关的能量消耗(特殊动力作用, Specific dynamic action); M_a 为鱼类由于游泳等活动引起的代谢量(活动代谢, Activity metabolism)。

与静止代谢不同, SDA 和活动代谢都受日粮水平的影响。活动代谢是呼吸代谢中最难估测的组分, 一些研究表明, 日粮水平对鱼类的活动代谢有显著的影响^[2—5], 但是, 对于不同的鱼类影响方式不同。SDA 与日粮水平的关系研究较多^[6—8], 由于在 SDA 测量过程中较难消除活动的影响, SDA 的精确测定至今还比较困难。本研究旨在探讨日粮水平对代谢的影响, 提出一种测定 SDA 和活动代谢的方法。

1 材料和方法

1.1 实验设备 测定鮈鱼日总代谢和静止日总代谢(Resting daily total metabolic rate, 简写为 RM)均采用封闭式呼吸仪, 结构原理如图 1。恒温水浴箱 A 是自动控温的

* 崔奕波研究员对文稿提出了许多宝贵意见, 谨此致谢。

1) 西南师范大学生物系, 重庆 630715。

2) 北京师范大学生物系, 北京 100875。

1992 年 12 月 8 日收到; 1993 年 8 月 4 日修回。

($\pm 0.2^{\circ}\text{C}$), 呼吸室 B 是透光的, 其容积约 100L ($\phi 43 \times 62\text{cm}$), 限动笼 L 的大小为 $28 \times 6 \times 5\text{cm}^3$ 。在测定日总代谢时, 鲈在呼吸室中可以自由活动, 测定静止日总代谢时将鲈限制在限动笼 L 中。

1.2 实验鱼的来源和驯化 1991年1—4月由嘉陵江北碚至磁器口江段收集网捞鲈鱼,

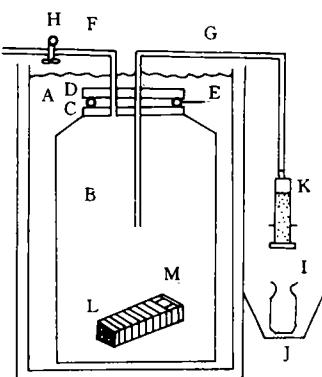


图 1 封闭式呼吸仪的结构

Fig. 1 The structure of the closed respirometer

A 恒温水浴箱; B 呼吸室; C 呼吸室开口; D 呼吸室密封盖; E 橡胶圈; F 进水管; G 取水样管; H 止水夹; I 水样瓶; J 集水盘; K 活塞; L 限动笼; M 投饵孔。

A Thermostatic water bath; B Respiratory chamber; C Openning of the chamber; D Sealing lid of the chamber; E Rubber ring; F Inlet tube; G Drainage tube; H Clamp; I Sampling bottle; J Collecting dish; K Piston; L Cage for limiting activity; M Feeding hole.

采集水样、换水的时间约 20min, 空白水样和呼吸后水样用 Winkler 碘量法测定溶氧量。三次总耗氧量与测定时间之比即为日总代谢率或静止日总代谢率。采用氧热当量为 $13.56\text{J} / \text{mgO}_2$, 将耗氧量换算为能值。

实验结束后对鱼称重 ($\pm 0.1\text{g}$), 并鉴定其性别, 在 25°C 水温下, 得到了 31 尾鲈鱼 ($72.9\text{—}133.3\text{g}$) 的日总代谢率和其中 20 尾鲈鱼的静止日总代谢率的数据。水浴箱内的光照强度平均为 $2.3 \times 10^{-2}\text{J} / \text{s} \cdot \text{m}^2$, 光照时间为 14h (6:00—20:00)。

根据鲈鱼能够在狭小环境中长期保持安静, 并且在限制其活动的情况下仍能正常摄食的习性, 在不同日粮水平下测定了鲈鱼的日总代谢 (M) 和静止日总代谢 (RM)。另外, 我们采用流水式呼吸仪测定了鲈鱼的静止代谢率 (M_s)^[10]。根据定义, $M - RM = M_a$;

$RM - M_s = SDA$ 。这样就可以求得不同日粮水平下的 SDA 和活动代谢率。

1.4 实验鱼的饵料及其组成的测定方法

鲈鱼饵料系鲤背侧部肉块。采用恒温干燥箱在 60°C 条件下将饵料样本烘至恒重, 以

按体重分养于室外实验鱼池中。选取符合实验设计要求的鲈鱼, 在室内鱼类能量代谢笼^[9]内驯化 10d, 温度控制在 $25 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$, 以 2% 体重 / d 的日粮投饵, 使鱼适应其环境。然后以实验设计某一恒定日粮水平每日定时 (20:00) 投饵一次, 将每次投饵后都能在 1h 内摄入的鲈驯化 5d 后转入封闭式呼吸室, 在同样条件下继续驯化 24h。

1.3 实验方法 向呼吸室或限动笼内投饵后封闭呼吸室, 利用进水管 F 排净呼吸室和管内气泡, 将 F 浸入水浴箱 A 中, 推拉活塞 K 使呼吸室内溶氧均匀, 拔下活塞 K, 以取水管 G 取一瓶空白水样放置在水浴箱内, 记录取样时间, 待取到呼吸后水样再一起处理, 以消除呼吸水体中微型生物自然耗氧的影响, 取样后将活塞接上, 并以止水夹 H 关闭进水管 F。当呼吸室内溶氧下降 $1\text{—}2\text{mg/L}$ 时, 采集呼吸后水样, 同时记录取水样时间。实验进行 24h, 采集水样三次 (2:30; 9:30, 20:00), 每次换去

呼吸室内 $3/4$ 的水, 并取空白水样, 每次

呼吸室内 $3/4$ 的水, 并取空白水样, 每次

求得含水量; 能值采用日本 Shimadzu CA-3 型自动氧弹测热仪测定; 采用瑞典 1030 型自动凯氏定氮仪测出样品含氮量, 由含氮量 $\times 6.25$ 得到粗蛋白含量; 脂肪以索氏提取器测定; 采用马福炉测定灰分含量, 在 550°C 下灼烧 (12h) 至恒重。每个样品测定 2 次, 取平均值。

2 结果

2.1 鮰鱼饵料的化学组成和含能量(表 1)

表 1 饵料的化学组成和含能量

Tab. 1 The chemical composition and energy content of the diet

化学组成 Chemical composition	水 Water	粗蛋白 Protein	脂肪 Fat	灰分 Ash	能值 (J/g) Energy
含量 (%) Content	79.48	17.86	1.37	1.12	4574

2.2 鮰鱼的日总代谢率与日粮水平的关系

按日粮水平将鮰鱼日总代谢率分成 5 组, 对 $\ln W - \ln M$ 进行协方差分析, 结果表明, 不同日粮水平下 $\ln M$ 在 $\ln W$ 上回归的斜率无显著差异 ($F = 1.381$; $df = 4, 21$; $p > 0.05$), 日粮水平对日总代谢率有显著影响 ($F = 3.699$; $df = 4, 25$; $p < 0.05$)。

以平均体重的近似值作为标准体重:

$W_s = 100.0\text{g}$, 将实测值换算为标准体重

日总代谢率 ($M_w: \text{mgO}_2 / \text{h} / W_s$):

$$M_w = (W_s / W)^b \cdot M$$

式中 W 和 M 分别为实测体重和日总代谢率, b 为 $\ln W - \ln M$ 协方差分析中公共回归系数。

从图 2 中可以看出, 标准体重日总代谢率 ($M_w: \text{mgO}_2 / \text{h} / W_s$) 与日粮水平 ($RL: \% \text{bw} / \text{d}$) 接近于“V”形关系, 曲线回归得:

$$M_w = 19.13 - 2.085RL + 0.9877RL^2$$

$$(R = 0.5585, df = 28, p < 0.01)$$

以能量单位表达标准体重日总代谢率 ($M_w: \text{KJ} / \text{d}$) 和日粮水平 ($RE: \text{KJ} / \text{d}$), 上式变为:

$$M_w = 6.226 - 0.1483RE + 0.01536RE^2$$

2.3 活动代谢率与日粮水平的关系

根据 $M_a = M - RM$, 求得 20 尾鮰鱼的活动代谢率, 活动代谢率 ($M_a: \text{mgO}_2 / \text{fish} / \text{h}$)

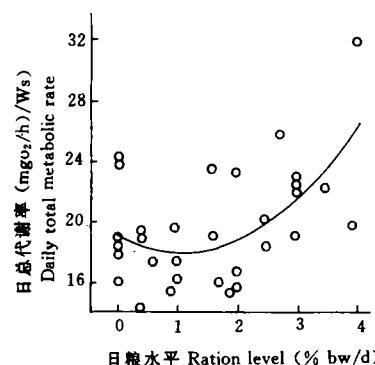


图 2 鮰鱼标准体重 ($W_s = 100.0\text{g}$) 的日总代谢率与日粮水平的关系

Fig. 2 The relationship between daily total metabolic rate adjusted to a standard body weight ($W_s = 100.0\text{g}$) and ration level

与日粮水平 (RL: %bw / day) 表现为“V”形关系 (图 3), 曲线回归得:

$$M_a = 8.976 - 6.976RL + 2.008RL^2$$

复回归关系达极显著水平 ($R = 0.7047$, $df = 17$, $p < 0.01$)。以能量单位表达活动代谢率 (M_a' : KJ / d) 和日粮水平 (RE: KJ / d), 则上式变为:

$$M_a' = 2.921 - 0.4921RE + 0.03123RE^2$$

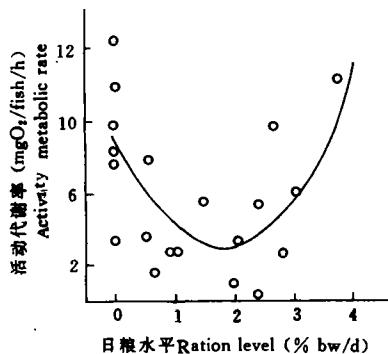


图 3 鲇鱼的活动代谢率与日粮水平的关系

Fig. 3 The relationship between activity metabolic rate and ration level

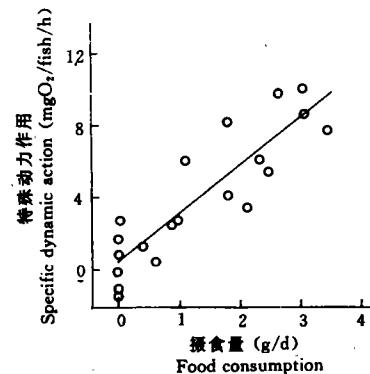


图 4 鲇鱼特殊动力作用与摄食量的关系

Fig. 4 The relationship between SDA and food consumption

2.4 特殊动力作用与摄食量的关系

采用流水式呼吸仪测定了 25℃ 条件下鲇鱼的静止代谢率 (M_s : mgO₂ / fish / h)^[10]:

雌性: $M_s = 67.98W^{0.7825}$

雄性: $M_s = 56.18W^{0.7604}$

由此二式可计算出不同体重 (W: kg) 鲇鱼静止代谢率理论值 (M_s), 根据 $SDA = RM - M_s$, 可求得不同摄食量下的 SDA 值。

以摄食量 (C: g / d) 和日粮水平 (RL: %bw / d) 分别对特殊动力作用 (SDA: mgO₂ / fish / h) 进行直线回归运算, 相关系数都达到了极显著水平 ($p < 0.001$), 相关系数分别为 0.8839 和 0.7935, 显然, SDA 与摄食量的关系更密切 (图 4):

$$SDA = 0.5171 + 2.643C$$

t-检验表明, 这一线性方程中截距很小, 可视为实验误差而忽略不计 ($p > 0.50$), 过原点回归得:

$$SDA = 3.113C$$

以能量单位表达 SDA (SDA' : KJ / d) 与摄食量 (CE: KJ / d) 的关系:

$$SDA' = 0.2214CE$$

斜率 $b = 0.2214$ 为 SDA 系数, 即: 特殊动力作用的能量支出占摄入能的 22.14%。

3 讨论

3.1 鲇鱼的日总代谢率及其与日粮水平的关系

鮈鱼的日总代谢率随日粮水平的提高而增加, 日总代谢与静止代谢的比值也随日粮水平的提高而变大, 这一结果与许多鱼类的结果一致^[11-14]。在饥饿—4% bw / d 的日粮水平下, 鮈鱼的日总代谢率是其静止代谢率的 1.67—2.47 倍, 这一比值与相近条件下一些鱼类的结果相近, 比 8% 体重的日粮条件下许多鱼类的平均值 (3.7±1.2) 低。由于鮈鱼的静止代谢率低于许多鱼类的平均水平, 其 M / M_s 之值可能与平均水平相近, 所以鮈鱼的日总代谢水平可能低于许多鱼类。与生活于同一水域的南方大口鮈相比, 鮈鱼具有较高的日总代谢率。

3.2 鮈鱼的活动代谢率及其与日粮水平的关系

活动代谢率受许多生态因子的影响, 一些研究表明, 活动代谢率受日粮水平的影响, 大多数鱼类活动代谢率随日粮水平提高而升高, 而食蚊鱼 (*Gambusia affinis* Baird et Giroud) 的活动水平在中等日粮时达到峰值。鮈鱼的活动代谢率与日粮水平存在非线性关系, 在中等日粮水平活动代谢率最低, 饥饿或饱食程度越高都引起活动代谢率的增加。根据这一结果, 我们提出如下推论: 鮈鱼在得到维持日粮条件下, 采取减少活动的对策, 等待捕食的机会; 当饥饿程度增加时, 提高活动代谢水平主动觅食; 在维持日粮水平以上, 随着日粮的增加, 较多的活动有助于鮈鱼获取更多的食物和选择食物, 这与鮈鱼的兼食习性相一致。由于鮈鱼属潜伏性鱼类, 采用封闭式呼吸仪测定活动代谢率基本上应能够代表野外生活的情况。当然, 限动笼对鮈鱼活动的限制是相对的, 这种方法测定的活动代谢率可能会偏低, 但是, 在说明日粮水平对活动代谢的作用方式上, 这种影响可以视为系统误差。

3.3 SDA 的测定方法:

测定 SDA 的方法多种多样, Jobling 和谢小军等先后进行了综述, 归结起来有两类基本方法: (1) 直接测定 SDA 的总耗能量: 在鱼类饥饿条件下, 使其摄入定量的饵料, 然后连续测定鱼类因摄食而引起代谢率的增加, 代谢率的增加量对时间的曲线积分即为 SDA 总耗能量^[15]。这种方法多采用管道型呼吸仪, 以某一恒定的水流消除自发活动的影响^[16], 由于 SDA 的持续时间一般较长, 这种测定比较困难。(2) 摄食代谢与日粮水平回归法: 这种方法假定日粮水平对活动代谢没有影响或影响不大, 将摄食代谢或日总代谢在日粮水平上回归的斜率作为 SDA 系数。作者将这两种方法结合起来, 测定了鮈鱼 SDA 日总耗能量。这种方法假定鱼类在恒定水温、定时、定量摄食条件下, 经过一段时间(大于 SDA 持续时间)后, 各摄食周期的代谢率趋于稳定。如前所述, 在这种条件下测定日总代谢和静止日总代谢, 静止代谢已知时, 即可间接地得到 SDA 和活动代谢率。这种方法间接地将活动代谢和 SDA 区分开了, 消除了活动对 SDA 的影响, 测定时间也比较短, 方法简便, 并且这种方法使鱼类处于更加自然的状态下。当然, 这种方法中的定时摄食这一条件难以精确地控制, 会给测定带来一定程度的误差。

为了与上述第二种方法对比, 计算了标准体重日总代谢率 (M_w) 与日粮水平 (RE) 的直线回归关系:

$$M_w = 5.719 + 0.0962RE \quad (R = 0.4351, N = 31, p < 0.05)$$

根据此式求得的 SDA 系数 (9.62%) 要比按作者所用方法的测定值低一倍。这是因为鮈鱼在低日粮水平下活动代谢率较高, 使得日总代谢率在日粮水平上直线回归的斜率

降低了。所以,对于日粮水平显著影响活动代谢的鱼类。采用第二种方法测定 SDA 是不可靠的。

参 考 文 献

- [1] Warren C E, Davis G E. Laboratory studies on the feeding, bioenergetics and growth of fish. In: The biological basis of freshwater fish production (Gerking S. D. ed). Oxford: Blackwell Sci. Publ. 1967, 175—214.
- [2] Pandian T J, Vivekanandan E. Energetic of feeding and digestion. In: Fish energetics, new perspectives (Tytler & Calow eds). 99—124. Baltimore, Maryland: Johns Hopkins University Press. 1985, 99—124.
- [3] Boisclair D, Leggett W C. The importance of activity in bioenergetic models applied to actively foraging fishes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 1989, 46: 1859—1867.
- [4] Wiggs A J, et al. Activity respiration and excretion of ammonia by Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolt and postsmolt. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 1989, 46: 790—795.
- [5] Wurtsbaugh W A, Cech J J. Growth and activity of juvenile mosquitofish: temperature and ration effects. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 1983, 112: 653—660.
- [6] Jobling M. The influence of feeding on the metabolic of fish: a short review. *J. Fish Biol.*, 1981 18: 385—400.
- [7] Beamish F W H, Trippel E A. Heat Increment: A static or dynamic dimension in bioenergetic models? *Trans. Am. Fisher. Soc.*, 1990, 119: 649—661.
- [8] 谢小军, 孙儒泳. 鱼类特殊动力作用的研究进展. 水生生物学报, 1991, 15: 82—90.
- [9] Xie X, Sun R, The bioenergetics of the Southern catfish (*Silurus meridionalis* Chen). Growth rate as a function of body weight and temperature. *J. Fish Biol.*, 1992, 40: 719—730.
- [10] 杨振才, 谢小军, 孙儒泳. 鲫鱼的静止代谢率及其与体重、温度和性别的关系. 水生生物学报, 19(4): 368—373.
- [11] 谢小军, 孙儒泳. 南方鮰的日总代谢和特殊动力作用的能量消耗. 水生生物学报, 1992, 16: 200—207.
- [12] Cui Y, Wootton R J. The metabolic rate of the minnow, *Phoxinus phoxinus* (L.) (Pisces: Cyprinidae), in relation to ration, body size and temperature. *Funct. Ecol.*, 1988, 2: 157—161.
- [13] Soofiani N M, Hawkins A D. Energetic costs at different levels of feeding in juvenile cod, *Gadus morhua* L.. *J. Fish Biol.*, 1982 21: 577—592.
- [14] Brett J R, Groves T D D. Physiological energetics. In: Fish physiology (Hoar, Randall & Brett eds), Vol. 8, New York: Academic Press. 1979, 279—352.
- [15] Jobling M, Davis P S. Effects of feeding on metabolic rate, and the specific dynamic action in plaice, *Pleuronectes platessa* L.. *J. Fish Biol.*, 1980, 16: 629—638.
- [16] Beamish F W H. Apparent specific dynamic action of largemouth bass, *Micropterus salmoides*. *J. Fish. Res. Bd Can.*, 1974, 31: 1763—1769.

EFFECTS OF RATION LEVEL ON THE DAILY TOTAL METABOLISM, SPECIFIC DYNAMIC ACTION AND ACTIVITY METABOLISM OF THE ORIENTAL SHEATFISH (*SILURUS ASOTUS* L.)

Yang Zhencai, Xie Xiaojun¹ and Sun Ruyong²

(Dept. of Biology, Hebei Teachers Univ., Shijiazhuang 050016)

Abstract

The daily total metabolic rates were determined for 31 fish with closed respirometers. In addition, resting daily total metabolic rates were determined for 20 fish by confining the fish into a cage within the respirometer. The fish weighed 72.9—133.3 g and were fed different ration levels from starvation to 4% bw / day at 25°C. The specific dynamic action and activity metabolism changed with ration level in the form of a "V" shaped curve, with the lowest values at ration levels of about 1% and 2% bw / day, respectively. The energy expenditure of specific dynamic action was 22.14% of food energy.

Key words *Silurus asotus*, Daily total metabolism, Specific dynamic action, Activity metabolism, Ration level

1. Dept. of Biology, Southwest Teachers Univ., Chongqing 630715

2. Dept. of Biology, Beijing Normal Univ., Beijing 100875