

# 鱼类活动代谢研究简况

## STUDYS ON THE ACTIVITY METABOLISM OF FISH

王 瑁

(厦门大学海洋学系 361005)

自1967年 Warren 和 Davis 提出鱼类的生物能量  
收支式  $C = F + U + SDA + R_s + R_a + G$  以来, 鱼类能量

---

收稿日期: 1998-03-05; 修回日期: 1998-04-17

1999 年第 2 期

23

学的研究迅速开展并成为国内鱼类学研究的一个热点。式中的  $C, F, U, SDA, R_s, R_a, G$  分别指摄食、排粪、排泄、特殊动力作用、标准代谢、活动代谢和生长。崔奕波1989年已对各参数与环境因子的关系及研究方法进行了概括总结。谢小军等1989年, 1991年, 对  $SDA$  及影响鱼类代谢的主要生态因素进行了详细的综述。而活动代谢由于测定比较困难, 以及是否把它作为鱼类能量收支中的一个恒定的组分还存在争议, 故对这一组分的研究相对较少。Boisclair, D. 等1989年, 1993年报道, 发现一些鱼类的活动代谢在能量支出中占了很大比例。随着实验条件的完善, 直接测定鱼的活动代谢成为可能, 因而活动代谢的研究日益引起了人们的重视。本文对鱼类这一代谢组分的研究进展作一综述。

活动代谢指鱼体以一定强度做游泳运动时的能量消耗, 鱼类活动时的代谢减去标准代谢即活动代谢。

## 1 活动代谢的计算方法

### 1.1 通过生物能量模型间接计算

Adams, S. M. 等1982年报道, 用摄入的食物能减去活动代谢外的所有能量支出成分, 即  $R_a = C - F - U - G - R_s - SDA$  来计算活动代谢。这一方法的缺点是会把测定其他能量收支组分的误差都加到活动代谢上来。

### 1.2 通过游速来计算

随着室内实验条件的完善及水下摄影技术、遥测技术的发展, 在实验室及野外测定鱼的游速成为可能, 通过游速便可计算活动代谢。游速与活动代谢率的关系通常为:

$$\lg Y = C + bu$$

$Y$  为游速为  $u$  时的代谢率 ( $\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{h})$ ),  $C$  为标准代谢率的对数,  $u$  为每秒钟以体长表示的游速,  $b$  为依种类不同而在  $0.2 \sim 0.5$  之间的常数<sup>[1]</sup>。在室内游速的测定可以采用 Dabrowski, K. R. 1986年报道的水流速率可控制的环形管道呼吸室来进行, 在野外则可以用水下摄像术<sup>[2,3]</sup>或超声波/无线电跟踪技术。上述方法的优点是可以直接测定鱼在生活状态的游速, 但用这种方法得出的活动代谢率与鱼在自然状况下的活动代谢率还是有些差异的。因为测定的游速只能是鱼在一段时间内的游速, 而鱼在自然状况下很少总以一恒定的游速游泳, 把这一游速当成平均游速来计算活动代谢率必然会造成误差。例如 Lucas, M. C. 等1991

年报道, 实际测得的白斑狗鱼 (*Esox lucius*) 的活动代谢比根据平均游速估算出来的高得多。

### 1.3 生理遥测术法

60年代以来, 水下生理遥测术迅速发展起来。据 Sureau, D. 等1991年, Scharold, J. 等1991年, Weatherley, A. H. 等1982年和 Rogers, S. C. 等1983年的报道, 这种技术可以通过装在鱼体表或体内的发送器发送超声波或无线电信号来测得鱼的心电图 (ECG)、肌电图 (EMG) 等生理指标。Scharold, J. 等1991年报道, 对许多种类而言, 这些指标与代谢率密切相关。Lucas, M. C. 等1993年报道, 根据它们便可得出由于活动而引起的代谢率的增加。例如, Priede, I. G. 1983年报道, 心率与代谢率的关系通常为:

$$V_{O_2} = f_h \cdot V_s (C_{ao_2} - C_{vo_2})$$

式中  $f_h$  为心率,  $V_s$  为心搏量,  $C_{ao_2}$  为动脉血氧浓度,  $C_{vo_2}$  为静脉血氧浓度。图1是 Armstrong, J. D. 等1989年用声波遥测术测白斑狗鱼心博率的发送器装置。发送器固定在鱼背部的泡沫塑料鞍座上, 以连线与嵌在腹部靠近心脏处的电极相连接, 电极是终端裸露的环氧-绝缘不锈钢线, 可探测心电图。

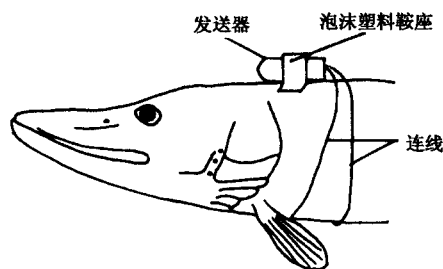


图1 声波遥测术测白斑狗鱼心博率的发送器装置

Lucas, M. C. 等1991年报道, 生理遥测术法已被认为是直接测定鱼在自然环境下代谢率的唯一可靠方法。但这种方法也有弊端, 即它只能同时对少数几尾鱼进行测定, 比较费力。

## 2 活动代谢的表示方法

在鱼类能量收支中表示活动代谢的方法存在以下两种观点: 一是把活动代谢作为与摄食率等因素无关的定值。一般以标准代谢的恒定倍数来表示。Ney, J. J. 1993年曾提出不同生活类型鱼类的这一倍数范围为  $0 \sim 2$ , 而 Hartman, K. J. 等1993年提出条鲈 (*Morone saxatilis*) 和红大麻哈鱼 (*Oncorhynchus nerke*) 的分别

高达2.5和8.5。

第二种观点即 Boisclair, D. 1992年、Madon, S. P. 等1993年报道的,认为鱼类的活动代谢是一个变动的组分,它与摄食率和(或)食物密度呈正相关,所以应该用摄食率和饵料生物量来表示。Kerr, S. R. 1982年认为活动代谢率与摄食率存在正线性关系,Boisclair, D. 等1989年进一步得出二者之间的关系式为:

$$A = \frac{(C - \frac{SMR}{t}) \times A_m}{C_m - \frac{SMR}{t}}$$

式中  $A$  为活动代谢率,  $C$  为摄食率,  $C_m$  为最大摄食率,  $A_m$  为在最大摄食率下鱼类生理活动速率的上限,  $t$  为吸收的食物能与  $SDA$  之差,  $SMR$  为标准代谢率。

一般情况下,鱼类的游动是为了维持姿势、捕获食物或逃避敌害。用于逃避敌害的能量对营养级较高的种类较少,而在低营养级种类则较多,此外对活动代谢影响最大的便是摄食过程了,所以对一般鱼类而言,在研究活动代谢时常要联系到其摄食情况。Boisclair, D. 等1993年认为对于活跃摄食的鱼,活动耗能非常高且变动很大;Madon, S. P. 等1993年认为在构建其生物能量模型时,应把活动代谢作为一个可变动的成分,作为饵料生物量或摄食率的函数来表示。对非活跃摄食的鱼,其活动耗能受其他因素的影响较小,可以把它作为一个恒定的成分,用标准代谢率的倍数来表示是方便可行的。Minton, J. W. 等1982年认为对一些活动代谢所占比例极小的鱼类,也可忽略不计。

### 3 鱼类的代谢功率收支

在鱼类代谢的3个组分:  $R_a$ ,  $SDA$ ,  $R_s$  之中,  $R_s$  是必不可缺的,鱼体不能调节这一组分的大小,而  $SDA$  与  $R_a$  可由鱼体调节。鱼类总代谢的范围主要受鳃从水中获取氧气的能力及心脏活动性的限制,于是对特定种类而言,  $SDA$  与  $R_s$  之间便始终存在一种需求冲突。若鱼一直以最大速率游泳,它可能就不能进行任何消化活动。鱼类调节  $SDA$  与  $R_s$  之间比例以适应不同的代谢需求,便称为代谢功率收支<sup>[1]</sup>。鱼类的代谢功率收支可分为3种类型:(1)消化代谢主导型,即  $SDA$  比  $R_s$  大得多,  $SDA$  足以调节消化代谢的峰值,  $R_s$  位于从属地位,许多红肌较少的鱼类属于这种类型;(2)运动

代谢主导型,即有足够的红肌达到全部有效的代谢范围,活跃代谢相当于最大需氧代谢;(3)中间类型,即介于以上两种类型之间的类型。这些类型反应了不同种类的功率收支对策。

## 4 研究活动代谢的意义

### 4.1 完善鱼类生物能量模型

对活跃摄食鱼类,活动代谢是个必不可少的成分,而以往的许多研究却忽略了它,导致模型的能量收、支不能得到很好的平衡。生物能量模型已被应用于估测天然水体鱼类的摄食率及生长率,有些模型能得到较好的结果而有些则不能,究其原因,大部分都是没能注意到活动代谢这一能量组分<sup>[2]</sup>,所以研究活动代谢可为建立生物能量模型,进而为生产实践提供更可靠的基础资料。

### 4.2 解释活跃摄食鱼类种群内个体间生长的差异

活跃摄食鱼类的活动代谢在能量收支中占有较大的比例,不同种群在活动代谢能量上的差异将导致积累能量的较大差异,表现为生长率有较大的不同。Boisclair, D. 等1989年用此理论解释了金鲈种群间生长差异的问题,并提出活动代谢也是造成种群内不同个体间生长差异的原因。

### 4.3 了解鱼类的生活类型

Adams, S. M. 等1982年、Boisclair, D. 1992年、Xie, X. 等1993年认为,有些肉食性鱼类的摄食是“坐等型”的,即在食物较少时减少游动,等待捕食机会。这种捕食方式可减少用于活动的能量,并使更多的能量用于生长和积累。

## 主要参考文献

- 1 彼得·泰特勒、彼得·凯洛(王安利等译)。鱼类能量学——新观点。天津:天津科技翻译出版公司,1992。19~48
- 2 Sirois, P. and D. Boisclair. *J. Fish Biol.*, 1995, 46: 787~805
- 3 Trudel, M. and D. Boisclair. *J. Fish Biol.*, 1996, 48: 40~53