

## 南方鲇的排粪量及消化率同日粮水平、体重和温度的关系\*

谢小军

(西南师范大学生物系, 重庆 630715)

孙儒泳

(北京师范大学生物系 100875)

**提要** 于1988年2月—1989年2月测定了南方鲇幼鱼的排粪量, 从而估算其消化率。结果表明, 当水温为25℃时, 在日粮水平分别是体重的1%, 2%, 4%和达饱食的条件下, 平均消化率分别为摄入食物能量的80.32%, 84.94%, 88.40%和87.27%; 在平均初始体重分别为8.72, 25.43, 45.16, 78.18和127.5g的实验组中, 平均消化率分别为86.59%, 81.15%, 90.38%, 86.91%和81.14%。当初始体重相近时(43.84—47.19g), 在温度分别为15, 20, 25和30℃的条件下, 平均消化率分别为78.07%, 81.98%, 85.23%和90.03%。采用回归分析, 建立了由摄食量( $C: J/d$ )、体重( $W: g$ )、和温度( $T: ^\circ C$ )预测该种鱼的排粪量( $F: J/d$ )的模型:

$$F = 0.868C^{(0.981+0.0346\ln W - 0.106\ln T)}$$

通过讨论认为: 温度对于南方鲇净能转化效率的正效应, 主要是通过温度作用于消化率的机制而实现的。

**关键词** 鱼类能量学 消化率 排粪量 生态因子 南方鲇

在有关鱼类能量学的文献报道中, 所谓食物的消化率、吸收率、同化率和可利用性等, 常用来描述同一个现象: 被消化道吸收而进入体内代谢的能量或营养物占摄入食物中的含量的百分比 (Brett et al., 1979)。通过测定鱼体的排粪量可以对消化率进行估计, 而在有关鱼类能量学的探讨中, 排粪所损失的能量又是建立能量收支模型最重要的参数之一。很多生态因子都对消化率产生影响。在有关的实验室研究中, 人们着重探讨了体重、水温、以及食物的性质及摄入量等因子的作用 (Cui et al., 1988; Elliott, 1976; Henken et al., 1985; Windell et al., 1978)。

南方鲇是我国特有的重要经济鱼类, 广泛分布于长江流域及其以南地区。该物种为凶猛的肉食性鱼类, 在水体生态系统中处于最高营养等级, 有关其能量学特征的资料对研

\* 国家教委博士点专项基金资助, 32870499号。

熊良惠同志协助整理数据, 谨此志谢。

收稿日期: 1992年5月23日, 接受日期: 1993年5月24日。

究该系统能流过程有着重要的意义。本文着重探讨了其表观消化率及排粪损失能量与几个主要生态因子的关系,目的是为研制南方鲇的能量收支模型提供资料并建立子模型。

## 1 材料和方法

**1.1 实验材料** 于1988年2月—1989年2月在嘉陵江澄江镇至磁器口江段收集捞网捕获的南方鲇 (*Silurus meridionalis* Chen) 当年幼鱼,依体重大小分养于西南师范大学生物系实验鱼场水泥池中。池的容积为 1.44m<sup>3</sup>,每池放养 20—100 尾。将鲜活泥鳅 [*Misgurnus anguillicaudatus* (Cantor)] 切成碎块作饵料。池中驯养期间每两天投喂一次饵料,达饱食;驯养时间在 1 月以上。

**1.2 实验方法** 实验分两个系列进行:(1)在 25℃ 条件下分 5 个体重组,每个组设 4 个日粮水平;(2)将初始体重相似的鱼,分为 4 个温度组,每个组设 4 个日粮水平。两个系列中各实验处理的水温、日粮水平和平均初始体重分别见表 1 和表 2。

采用鱼类能量代谢笼,对每尾实验鱼单养。将泥鳅除去头尾和内脏作为实验饵料。有关能量代谢笼的结构原理及操作方法,水质的管理,饵料的处理、定量及投放方法等,均见 Xie 等(1992)和谢小军等(1992a)。实验期为 20 天。

每个实验水族箱中放入 4 个粪便收集漏斗。其中 3 个漏斗上有代谢笼,每个笼中喂养 1 尾实验鱼。收集粪便时,将代谢笼稍稍提起,轻轻推移到空出的漏斗之上,然后取出收集漏斗,换下装有粪便的收集瓶,再将此漏斗放入水族箱中原位置;下一个代谢笼便可移至该漏斗之上,依同样的方法可将各个漏斗收集的粪便取出。15℃ 水温条件下,每日取粪便 2 次;20℃ 和 25℃ 条件下,每日取粪便 3 次;30℃ 条件下,每日取粪便 4 次。每尾鱼的粪便移入编号的塑料管中,每次收集完毕,放入 -20℃ 的冰箱中保存。

每个实验组在实验开始后第 5 天和结束前 5 天各称出 20g 饵料块,在 -20℃ 的冰箱中保存。取出的 40g 饵料作为该组的饵料样品,供作测定比能值及化学组成的材料。

取出保存于冰箱中的样品,放入 60℃ 的恒温干燥箱中烘至恒重,取得干重值。将干燥样品磨成细粉,装入编号小瓶,存放于 -20℃ 的冰箱中。

能值测定采用日本 Shimadzu CA-3 型自动氧弹测热仪,每份样品量为 0.5—1.0g。每个样品均重复测定一次,取两个数据的平均值作为测定结果。

## 2 结果

**2.1 南方鲇排出粪便所损失的能量** 共测定 8 份饵料样品和 5 份粪便样品的比能值。饵料的结果为  $4971 \pm 39.9$  (SE) J/g (湿重),粪便的结果为  $6125 \pm 125.4$  (SE) J/g (干重)。由实验期中每尾鱼的实际摄饵量和排粪量分别推算出其含能量,共获得 88 尾鱼的结果。

在不同的体重和温度条件下,鱼体排出粪便的含能量 ( $F$ :J/d) 与摄入食物的含能量 ( $C$ :J/d) 均存在显著的 ( $r = 0.882—0.975$ ) 双对数直线相关关系(图 1、图 2)。各相关直线的斜率都小于 1,变幅为 0.676—0.969。这表明,随着摄入食物量增多,每单位食物所产生的粪便量会下降,也反映了消化率随摄食水平的增长而升高的现象。

以体重 ( $W$ :g)、温度 ( $T$ :℃) 和摄食量各自的对数 ( $\ln W$ ,  $\ln T$  和  $\ln C$ ) 以及它们之间可能的交互项为自变量,对排粪量的对数 ( $\ln F$ ) 进行逐步回归运算,结果为:

$$\ln F = -0.142 + 0.981 \ln C + 0.0346 \ln C \ln W$$

或

$$-0.100 \ln C \ln T (N = 88, R = 0.966, P < 0.01),$$

$$F = 0.868 C^{(0.981 + 0.03461 \ln W - 0.100 \ln T)}$$

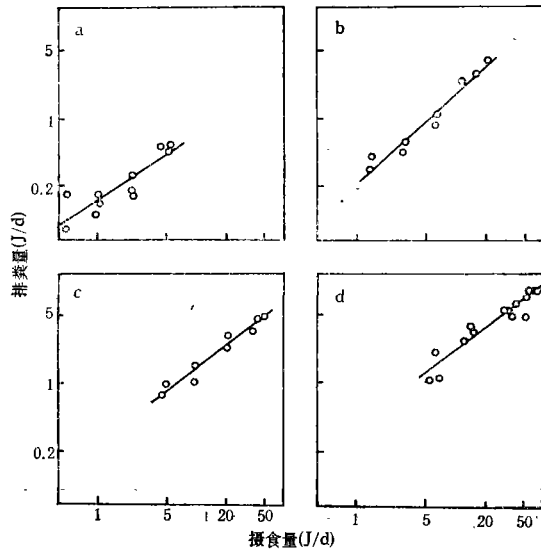


图 1 不同体重条件下南方鲈的排粪量 (F) 与摄食量 (C) 的关系

Fig. 1 The correlations between faecal production (F) and food consumption (C) in *Silurus meridionalis* at different body weights

- a.  $8.72 \pm 0.06$  (SE) g,  $\ln F = 0.271 + 0.676 \ln C$ ; b.  $25.43 \pm 0.31$  (SE) g,  $\ln F = -0.949 + 0.913 \ln C$ ; c.  $78.18 \pm 0.80$  (SE) g,  $\ln F = 0.054 + 0.778 \ln C$ ; d.  $127.5 \pm 3.5$  (SE) g,  $\ln F = 0.474 + 0.779 \ln C$ .

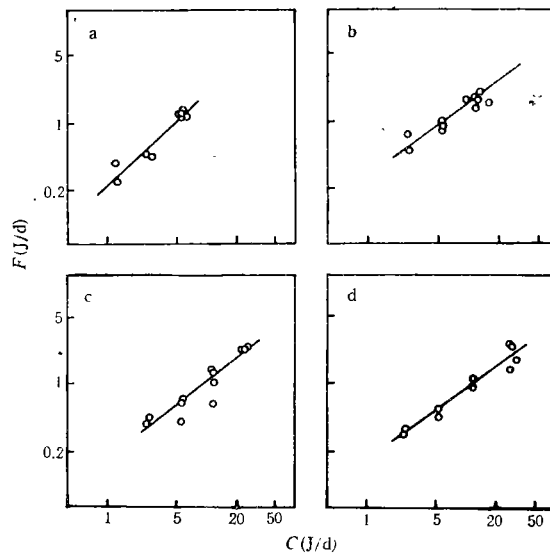


图 2 不同温度条件下南方鲈的排粪量 (F) 与摄食量 (C) 的关系

Fig. 2 The correlations between faecal production (F) and food consumption (C) in *Silurus meridionalis* at different temperatures

- a.  $15^{\circ}\text{C}$ ,  $\ln F = -1.283 + 0.969 \ln C$ ; b.  $20^{\circ}\text{C}$ ,  $\ln F = 0.511 + 0.744 \ln C$ ; c.  $25^{\circ}\text{C}$ ,  $\ln F = -0.336 + 0.788 \ln C$ ; d.  $30^{\circ}\text{C}$ ,  $\ln F = -0.008 + 0.741 \ln C$ .

统计检验表明,该方程的复相关系数和各偏回归系数都达极显著水平,因此可以该式作为预测南方鲇排出粪便所损失能量的模型。

**2.2 南方鲇的消化率** 采用消化率 = 100 (食物含能量 - 粪便含能量) / 食物含能量式计算每尾实验鱼的消化率。在温度相同的情况下(25℃),按体重和日粮水平分组,统计了各实验处理的平均消化率(表 1)。由各体重组的平均值可以看出,消化率虽然随体重而改变(81.14%—90.38%),但变化的方向不呈一定的规律性。

在平均初始体重相近的条件下(43.84—47.19g)按温度和日粮分组,统计了各处理的平均消化率(表 2)。由各温度组的平均值可以看出,消化率随温度(15—30℃)的上升而增高(78.07%—90.03%)。由各日粮组消化率的平均值还可以看到,消化率在日粮水平为 0.5% *W/d* 时最低(74.67%);随日粮的升高而上升,在日粮达亚最高水平时(4% *W/d*),消化率最高(88.44%);而日粮继续增长至饱食水平时,消化率却略有下降(85.63%)。表 1 的该方面资料也呈现同样的变化趋势。由表 2 的总平均值知道,南方鲇的平均消化率为 82.68%。

**表 1 水温 25℃ 条件下南方鲇的消化率(%)<sup>1)</sup> 同体重和日粮水平的关系**

Tab. 1 Digestibility of *Silurus meridionalis* in relation to initial body weight and ration level at 25℃

体重(g)		8.72±0.06	25.43±0.31	45.16±0.35	78.18±0.80	127.5±3.2	合计平均值
日粮水平 (%体重/d)	1	77.22±6.71	74.44±3.28	89.63±1.96	82.47±1.90	77.83±4.82	80.32
	2	87.75±1.58	84.27±1.51	88.39±0.62	87.63±2.08	76.68±2.22	84.94
	4	91.62±1.26	84.71±1.94	93.37±1.19	87.57±1.74	84.73±1.42	88.40
	饱食	89.76±0.63	81.18±0.78	90.13±0.24	89.96±0.66	85.33±1.07	87.27
合计平均值		86.59±3.21	81.15±2.37	90.38±1.06	86.91±1.56	81.14±2.26	85.23

1) 表中数据的表达方式为: 平均值±标准误。表 2 同。

**表 2 初始体重 ( $W_0$ ) 相近的南方鲇的消化率(%)同温度和日粮水平的关系**

Tab. 2 Digestibility of *Silurus meridionalis* with the similar initial body weight ( $W_0$ ) in relation to temperature and ration level

温度		15℃( $W_0$ :43.84g)	20℃( $W_0$ :45.09g)	25℃( $W_0$ :47.19g)	30℃( $W_0$ :44.29g)	合计平均值
日粮水平 (%体重/d)	0.5	74.67±5.74	—	—	—	74.67
	1	82.34±0.48	74.65±4.99	80.32±2.66	86.25±0.10	80.89
	2	77.03±0.13	83.13±0.87	84.94±2.19	90.05±1.01	83.79
	4	—	85.65±1.16	88.40±1.77	91.27±0.53	88.44
	饱食	78.24±1.69	84.47±0.50	87.27±1.77	92.54±1.32	85.63
合计平均值		78.07±1.61	81.98±2.50	85.23±1.79	90.03±1.36	82.68

### 3 讨论与结语

**3.1 排粪量的测定误差** 测定鱼体的排粪量有不同的方法, Braaten (1979), Jobling (1983) 等对这些方法进行了综述和比较。本文采用的从水中收集粪便的方法简便易行, 在有关能量学的研究中最常用。但由于粪便中有机物的溶解或水中细菌的分解作用, 会造成对排粪量的低估。文献报道的低估值在排粪量的 1% (Elliott, 1976) 到 18% (Beam-

ish, 1972) 之间。Brett 等(1979) 总结文献数据提出的鱼类平均能量收支方程表明: 肉食性鱼类的消化率平均为 80%。本文得到的南方鲇消化率的总平均值为 82.68%, 与该理论值相近。由此可知, 粪便中有机物在水中的流失作用造成对消化率的低估只有 0.2%—3.6%。

Windell 等(1978)发现, 粪便有机物在水中的流失作用主要发生在鱼体排粪后 4h 之内, 尤其在第 1h 损失量最大。在不同的水温及日粮水平条件下, 南方鲇的排粪习性不同。我们据此安排收集粪便的具体时间, 每天收集 2—4 次, 使大多数粪便在水中浸泡的时间不超过 1h。因此本文对排粪量的低估值应当很小。

**3.2 日粮水平、体重和温度对南方鲇消化率的影响** 日粮水平对于消化率的作用存在正效应 (Cui et al., 1988; Davies, 1963)、负效应 (Elliott, 1976; Henken et al., 1985) 和无明显影响 (Kelso, 1972) 3 种现象。由表 1 和表 2 的结果可以看出, 南方鲇各日粮组的平均消化率随日粮水平的增大呈上升的趋势, 在亚最大日粮水平时达到最高; 而在最大日粮水平时略有下降。Davies (1963) 提出, 对于鱼的消化率也存在一个最适日粮水平, 在此条件下食物中能被吸收的可利用能量的比例最大。南方鲇的结果支持这一理论。

Kelso (1972) 报道大眼鲈 (*Stizostedion v. vitreum*) 的消化率随体重的上升而下降, 而 Rajamani 等(1976)报道体重较大的越南鱼 (*Tilapia mossambica*) 的消化率较高, 但更多的作者却发现体重对消化率没有明显的影响 (Cui et al., 1988; Du Preez et al., 1988; Elliott, 1976)。由表 1 各体重组的平均值可以看出, 南方鲇的消化率虽然随体重的改变发生明显的波动, 但变化的趋势并不呈一定的方向。因此不能对体重作用于南方鲇消化率的效应为正或负一概而论。就目前所得的资料, 还难于对产生这种复杂现象的机制做出解释。

在鱼类生存的适宜范围内, 温度对于消化率的作用方向在各种鱼比较一致, 除 Cui 等(1988)报道欧洲鳊 (*Phoxinus phoxinus*) 的消化率随温度的升高而降低外, 大多数鱼类的消化率都随温度的上升而增高。南方鲇的结果与大多数鱼的情况一致, 而且其消化率对于温度的变化显得比较敏感。当水温由 4℃ 上升至 19℃ 时, 棕鲈 (*Salmo trutta*) 的消化率变化为 71%—81%, 上升了 10% (Elliott, 1976); 而石鲈 (*Pomadasys commersonni*) 的消化率随温度变化(15—20℃) 的最大变幅不足 2% (Du Preez et al., 1988)。但当水温上升 15℃(15—30℃), 南方鲇的消化率的平均值由 78.07% 上升到 90.03%(表 2), 增长达 12%。

我们发现, 温度对于南方鲇的食物能转化为净能的效率有着明显的正效应 (Xie et al., 1992)。一般说来, 影响净能转化效率的主要因素有排泄率、特殊动力作用和消化率。鱼类排泄物的含能量占食物能的比例相对较小, 其变化对净能转化效率的影响不大。而南方鲇的特殊动力作用占食物能的比例较为恒定, 不受日粮水平、体重和温度的明显影响 (谢小军等, 1992b); 只有消化率对温度变化比较敏感, 而且二者呈密切正相关。因此, 温度对于该种鱼净能转化效率的正效应可能主要是通过消化率机制实现的。

## 参 考 文 献

谢小军、孙儒泳, 1992a, 南方鲇的最大摄食率及其与体重和温度的关系, 生态学报, 12(3): 225—231。

- 谢小军、孙儒泳, 1992b, 南方鲇的日总代谢和特殊动力作用的能量消耗, *水生生物学报*, **16**(3): 200—207.
- Beamish, F. W. H., 1972, Ration size and digestion in large bass, *Micropterus salmoides* Lacepede, *Can. J. Zool.*, **50**:153—164.
- Braaten, B. R. 1979, Bioenergetics—a review on methodology, *In Proc. World Symp. on Finfish Nutrition and Fishfood Technology*, Vol. II, ed by Haliver J. E, & Tiews K., Heenemann (Berlin), pp. 461—504.
- Brett, J. R. & Groves, T. D. D., 1979, Physiological energetics, *In Fish Physiology*, Vol. 8, ed by Hoar, W. S. et al., Academic Press (New York), pp. 279—352.
- Cui, Y. & Wootton, R. J., 1988, Bioenergetics of growth of a cyprind, *Phoxinus phoxinus*: the effect of ration, temperature and body size on food consumption, faecal production and nitrogenous excretion, *J. Fish. Biol.*, **33**:431—443.
- Davies, P. M. C., 1963, Food input and energy extraction efficiency in *Carassius auratus*, *Nature*, (Lond.), **198**: 707.
- Du Preez, H. H. & Cockroft, A. C., 1988, Nonfaecal and faecal losses of the marine teleost, *Lichia amia* (Linnaeus, 1758), feeding on live southern mullet, *Liza richardsonii* (Smith, 1846), *Comp. Biochem. Physiol.*, **90A**:63—70.
- Elliott, J. M., 1976, Energy losses in the waste products of brown trout (*Salmo trutta* L.), *J. Anim. Ecol.*, **45**:561—580.
- Henken, A. M., Kleingeld, D. W. & Jijssen, P. A. T., 1985, The effect of feeding level on apparent digestibility of dietary dry matter, crude protein and gross energy in the African catfish, *Clarias gairephinus* (Burchell, 1982), *Aquaculture*, **51**:1—11.
- Jobling, M., 1983, A short review and critique of methodology used in fish growth and nutrition studies, *J. Fish Biol.*, **23**:685—703.
- Kelso, J. R. M., 1972, Conversion, maintenance, and assimilation for walleye *Stizostedion vitreum vitreum*, as affected by size, diet, and temperature, *J. Fish. Res. Bd Can.*, **29**:1 181—1 192.
- Rajamani, M. & Job, S. V., 1976, Food utilization by *Tilapia mossambica* (Peters): function on size, *Hydrobiologia*, **50**:71—74.
- Windell, J. T., Foltz, J. W. & Sarokon, J. A., 1978, Effect of fish size, temperature, and amount fed on nutrient digestibility of a pelleted diet by rainbow trout, *Salmo gairdneri*, *Trans. Am. Fish. Soc.*, **107**:613—616.
- Xie, X. J. & Sun, R., 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.

## THE FAECAL PRODUCTION AND DIGESTIBILITY OF THE SOUTHERN CATFISH (*SILURUS MERIDIONALIS* CHEN), IN RELATION TO RATION LEVEL, BODY WEIGHT AND TEMPERATURE

Xie Xiaojun

(Department of Biology, Southwest China Teachers University, Chongqing 630715)

Sun Ruyong

(Department of Biology, Beijing Normal University 100875)

### ABSTRACT

The digestibilities of the yearlings were estimated by measuring their faecal productions of the southern catfish (*Silurus meridionalis* Chen) in laboratory from February, 1988 to February, 1989. The results showed that at 25°C the mean values of the digestibilities as percentages of food energy in the fish fed ration levels of 1%, 2%, 4% body weight per day and to satiation were 80.3%, 84.9%, 88.4% and 87.3%, respectively; and that in the fish with mean initial weights of 8.72, 25.43, 45.16, 78.18 and 127.5g, the mean values were 86.6%, 81.1%, 90.4%, 86.9% and 81.1%, respectively. The mean digestibilities in the fish with similar initial weight (43.84—47.19g) at 15, 20, 25, and 30°C were 78.1%, 82.0%, 85.2% and 90.0%, respectively. By regression analysis a model for prediction of the faecal production ( $F$ :J/day) with the food consumption ( $C$ :J/day), body weight ( $W$ :g) and temperature ( $T$ :°C) as independent variables was developed as following:

$$F = 0.868C^{(0.981+0.0346 \ln W - 0.100 \ln T)}$$

The discussion suggested that the positive effect of temperature on the efficiency in transforming food energy into net energy might occur on the basis of the relationship between the digestibility and temperature.

**Key words** Fish energetics Digestibility Faecal production Ecological factors *Silurus meridionalis*