

# 摄食水平对异育银鲫生长及能量收支的影响\*

朱晓鸣 解绶启 崔奕波

(淡水生态与生物技术国家重点实验室 中国科学院水生生物研究所 武汉 430072)

**提要** 于 1995 年 6 月在中国科学院水生生物研究所关桥繁殖场采集异育银鲫自繁鱼种(体重为  $1.26 \pm 0.05 \text{g}$ ), 采用生长实验的方法, 在  $30^\circ\text{C}$  水温下, 测定其从饥饿到饱食 6 个摄食水平下的生长和能量收支。结果表明, 随着摄食水平的提高, 鱼体干物质和能量含量、表观消化率呈上升趋势; 湿重特定生长率随摄食水平的提高呈线性上升, 干重和能量特定生长率呈对数增加; 饲料转化效率随摄食水平增加而增加, 达到最大值后维持不变。排泄能和总代谢耗能占摄入食物能的比例不受摄食水平的影响。最大摄食水平下的能量收支式为:  $100C = 12.32F + 3.21U + 63.74R + 20.72G$ , 式中,  $C$  为食物能,  $F$  为粪便能,  $U$  为排泄能,  $R$  为代谢能,  $G$  为生长能。

**关键词** 摄食水平 异育银鲫 生长 能量收支

**学科分类号** S965.117

摄食水平是影响鱼类生长和能量收支的一个重要因素(Brett *et al.*, 1979; 崔奕波, 1989)。多数鱼类的生长随摄食率的增加呈曲线上升(Brett *et al.*, 1979; Cui *et al.*, 1988b; 崔奕波, 1989; Jobling, 1994), 也有作者认为两者为线性关系(Nümi *et al.*, 1974; Sullivan, 1982; Yoshida *et al.*, 1984; Klaoudatos *et al.*, 1986; Cui *et al.*, 1994)。异育银鲫是中国科学院水生生物研究所于 80 年代培育的鲫鱼新品种(蒋一等, 1983), 目前已在国内广泛养殖。对于异育银鲫的生长-摄食关系及能量收支的研究至今尚无报道。本文报告不同摄食水平对异育银鲫生长及能量收支的影响的研究结果, 以期了解异育银鲫在不同食物强度下的能量学特征, 探讨其生长-摄食关系, 为养殖管理提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验步骤

实验用异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*) 于 1995 年 6 月取自本所关桥繁殖场自繁当年鱼种(约  $1.3 \text{g}/\text{尾}$ ), 实验鱼进入实验室后, 逐渐( $2-3^\circ\text{C}/\text{d}$ ) 将水温升至实验温度( $30^\circ\text{C}$ ), 并在实验条件下饲养驯化一周。实验室( $10 \text{m}^2$ ) 用 2 支 40W 日光灯照明, 光照为每天 12h(8:00—20:00)。每日一次投喂实验饲料(配方及化学成分见表 1), 投喂率约为体重的 10%。

实验饲料为含粗蛋白 37.88% 的配合饲料, 加入 0.1% 三氧化二钇( $\text{Y}_2\text{O}_3$ ) 作为测定消化率的指示剂。实验饲料用颗粒饲料机制成直径为 1—2mm 的颗粒, 于  $4^\circ\text{C}$  冰箱保存。

\* 国家自然科学基金委员会优秀中青年人才专项基金资助项目, 39321002 号。朱晓鸣, 女, 出生于 1964 年 4 月, 硕士, 副研究员, Fax: 0086-027-87647664

收稿日期: 1998-01-13, 收修改稿日期: 1998-05-29

饲料配方及化学组成见表 1。

表 1 实验饲料配方及化学成分

Tab. 1 Formulation and chemical composition of the experimental diet

成 分	含量( % 鲜重)	成 分	含量( % 鲜重)
鱼粉	45	三氧化二锇( $Y_2O_3$ )	0.1
豆饼	10	干物质(%)	92.28
小麦	34	占干物质百分比(%)	
混合油 <sup>1)</sup>	5	粗蛋白(%)	37.88
维生素预混物 <sup>2)</sup>	1	粗脂肪(%)	8.58
无机盐预混物 <sup>3)</sup>	4	总能量(J/mg)	16.73
羧甲基纤维素	1		

1) 混合油组成: 30% 猪油+ 70% 色拉油; 2)、3) 配方按 NRC(1977)

实验在 10L 水的透明有机玻璃缸中进行, 每周换水一次, 温度控制在 30℃。将实验鱼随机放入 30 个缸中, 每缸 1 尾。实验含 6 个摄食水平: 饥饿、2%、4%、6%、8% 及饱食(% 为每日投喂量占实验鱼初始体重的比例), 每个摄食水平设 5 个平行样。实验缸随机分配于不同摄食水平处理。实验开始时, 鱼饥饿 2d 后称重。同时取 10 尾鱼作为对照, 70℃ 下烘干, 用以估算实验开始时鱼体的干物质含量及其能量含量。实验期间, 每天 9:00 按设定的摄食水平投喂, 饱食组投喂过量的饵料, 1h 后回收所剩饵料并烘干称重。将定量饲料投入水中 1h 后回收、烘干、称重计算残饵回收率, 并以此校正摄食量。每天用吸管收集鱼粪两次, 烘干后供分析用。实验第一周测定水中氨氮和尿素氮排泄, 即用 Chaney 等(1962) 的方法测定该周换水前后水中的氨氮和尿素氮浓度, 同时测量各鱼缸中水的体积, 计算氮排泄量。

实验周期为 21d。实验结束时, 鱼饥饿 2d 后称重, 并取样供分析用。

## 1.2 化学分析

测定鱼体及饲料的干物质、能量含量、粪便的能量含量, 测定饲料和粪便的  $Y_2O_3$  含量。饲料干物质在 105℃ 下烘干, 用失重法测定; 鱼体干物质在 70℃ 下烘干, 用失重法测定; 饲料粗蛋白采用 Kjeldahl 氏定氮法测定; 饲料脂肪用乙醚抽提, 失重法测定; 能量含量用 Phillipson 微量能量计测定;  $Y_2O_3$  含量用电感耦合等离子体发射光谱仪(ICP-AES 3520 型) 测定。每一样品至少测定两个平行样。

## 1.3 数据处理

异育银鲫的能量收支按公式  $C = F + R + U + G$  计算(Brett *et al.*, 1979), 式中,  $C$  为食物能,  $F$  为排粪能,  $U$  为排泄能,  $R$  为代谢能,  $G$  为生长能。 $C$  根据摄入的饲料量及饲料的能量含量计算;  $F$  根据表观消化率计算;  $U$  通过各鱼缸中氨及尿素氮的排泄量计算, 按照 24.83J/mg 氨氮及 23.03J/mg 尿素氮转换成能量(Elliott, 1976b);  $G$  按实验期间鱼体总能量的变化来计算, 假定对照鱼代表实验开始时鱼的干物质及其能量含量;  $R$  根据食物能与能量收支其它组分之差来计算, 即  $R = C - F - U - G$  (Elliott, 1976a; Cui *et al.*, 1988b; Cui *et al.*, 1990)。

表观消化率按下式计算:

干物质表观消化率=  $100 \times (1 - \text{饲料中 } Y_2O_3 \text{ 含量} / \text{粪便中 } Y_2O_3 \text{ 含量})$

能量表观消化率=  $100 \times [1 - (\text{饲料中 } Y_2O_3 \text{ 含量} \times \text{粪便能量含量}) / (\text{粪便中 } Y_2O_3 \text{ 含量} \times \text{饲料能量含量})]$

湿重特定生长率按下式计算:

$$SGR_w = 100 \times (\ln W_t - \ln W_0) / t$$

式中,  $W_t$  为实验结束时体重,  $W_0$  为初始体重,  $t$  为实验天数。干物质及能量的特定生长率( $SGR_d$ ,  $SGR_e$ )亦以同样方法计算。

湿重的转化效率  $CE_w$  按下式计算:

$$CE_w = 100 \times (\text{鱼体湿重增加量} / \text{摄入饲料湿重})$$

干重(能量)转化效率按下式计算:

$$CE_d(CE_e) = 100 \times \text{鱼体干重(能量)增加量} / \text{摄入饲料干重(能量)}$$

所有实验数据平均数用方差分析后进行组间差异的多重比较(Duncan's procedure), 回归分析采用最小均方法, 以回归系数( $R^2$ )和残差分析结果判定。

## 2 结果

### 2.1 鱼体组成

由表 2 可见, 随着摄食水平的增加, 鱼体干物质含量和能量含量显著上升( $p < 0.05$ )。

表 2 摄食水平对异育银鲫鱼体干物质及能量含量的影响

Tab. 2 Effect of ration level on body dry matter and energy contents in *Carassius auratus gibelio*

摄食水平(%/d)	干物质(%)	能量(J/mg)
0	9.43±0.798 a	1.32±0.109 a
2	18.48±0.441 b	3.26±0.109 b
4	20.22±0.748 c	3.81±0.215 c
6	21.03±0.808 c	4.14±0.179 d
8	21.43±0.782 c	4.28±0.273 d
饱食	22.81±1.080d	4.74±0.316e

注: 各值后的字母代表 Duncan 检验的结果, 不同字母表示有显著差异( $p < 0.05$ ), 表 3、4、5、6 同

### 2.2 消化率

表 3 表明, 随着摄食水平的上升, 干物质和能量的消化率呈上升趋势, 饱食组和 2% 摄食组差异显著( $p < 0.05$ )。

表 3 摄食水平对异育银鲫表观消化率的影响

Tab. 3 Effect of ration size on apparent digestibility coefficients in *Carassius auratus gibelio*

摄食水平 (%/d)	表观消化率(%)	
	干物质	能量
2	58.45±2.31 a	84.85±0.84 a
4	63.80±3.16 ab	86.80±1.15 ab
6	62.99±2.51 ab	86.51±0.92 ab
8	63.24±5.16 ab	86.60±1.88 ab
饱食	66.20±2.09 b	87.68±0.76 b

### 2.3 生长和转化效率

各摄食水平的特定生长率见表 4。随着摄食水平的增加, 鱼的生长率显著增加( $p < 0.05$ )。由图 1 可知,  $SGR_w$  随摄食水平的增加呈线性增加。而  $SGR_d$  和  $SGR_e$  随摄食水平的增加而呈对数增长。 $SGR$  (%/d) 和摄食水平 ( $RL$ : %/d) 的关系可用回归方程表示(图 1)。

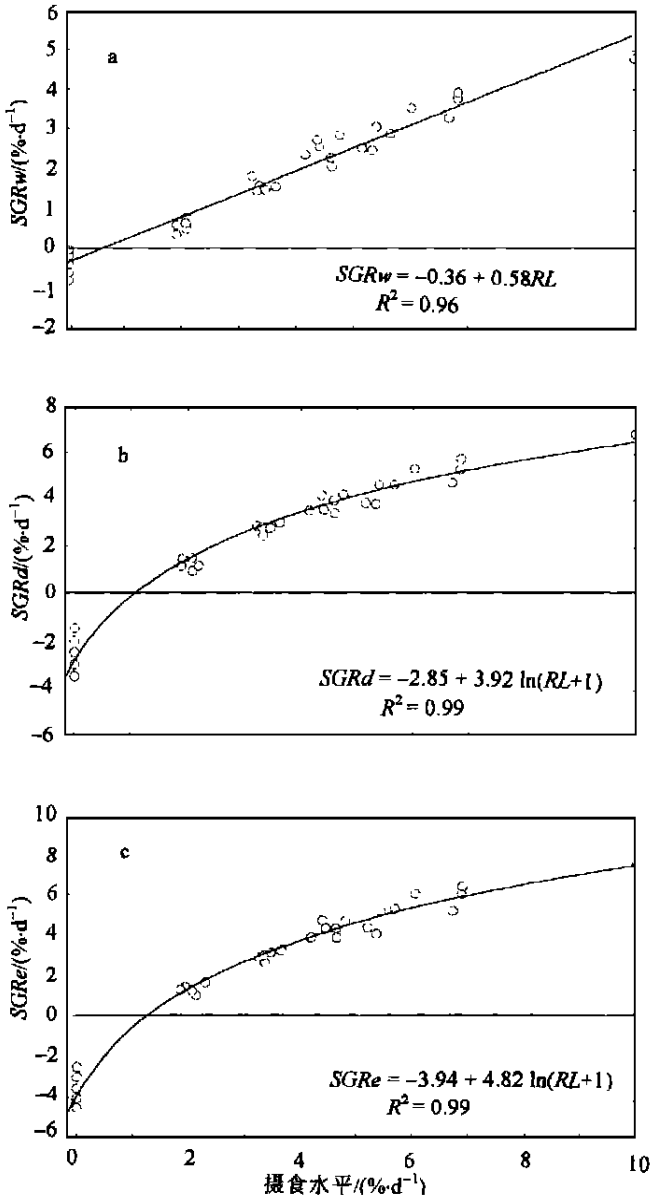


图 1 异育银鲫湿重特定生长率 ( $SGR_w$ ) (a)、干重特定生长率 ( $SGR_d$ ) (b)、能量特定生长率 ( $SGR_e$ ) (c) 与摄食水平 ( $RL$ ) 的关系

Fig. 1 Relationships between specific growth rate of *Carassius auratus gibelio* in wet weight ( $SGR_w$ ) (a), dry weight ( $SGR_d$ ) (b) and energy ( $SGR_e$ ) (c) and ration level ( $RL$ )

表4 摄食水平对异育银鲫特定生长率的影响

Tab. 4 Effect of ration size on specific growth rate of *Carassius auratus gibelio*

摄食水平 (%/d)	实际摄食率 (%/d)	鱼始重(g)	鱼终重(g)	特定生长率(%/d)		
				SGR <sub>w</sub>	SGR <sub>d</sub>	SGR <sub>e</sub>
饥饿	0	1.24±0.27 a	1.16±0.24 a	-0.32±0.20 a	-2.74±0.19 a	-3.87±0.22 a
2	2.01±0.09	1.29±0.17 a	1.44±0.19 a	0.54±0.13 b	1.33±0.13 b	1.29±0.14 b
4	3.40±0.16	1.25±0.23 a	1.74±0.29 a	1.57±0.14 c	2.80±0.18 c	3.06±0.23 c
6	4.43±0.19	1.41±0.40 a	2.34±0.60	2.41±0.26 d	3.82±0.31 d	4.31±0.35 d
8	5.26±0.33	1.20±0.31 a	2.16±0.62	2.75±0.26 d	4.25±0.41 d	4.80±0.52 d
饱食	7.28±1.55	1.18±0.16 a	2.61±0.27	3.82±0.60 e	5.61±0.80 e	6.35±0.87 e

注: SGR<sub>w</sub> 湿重特定生长率; SGR<sub>d</sub> 干重特定生长率; SGR<sub>e</sub> 能量特定生长率

维持摄食率(maintenance ration)是鱼类用于维持基本生理生化活动的最低摄食率,即鱼体重既不增加也不减少( $SGR=0$ )的摄食水平,由上式可计算得出异育银鲫的维持摄食率为0.62%(湿重)、1.06%(干重)、1.26%(能量)。

随着摄食水平的提高,饲料转化效率呈上升趋势(表5)。多重比较表明,2%摄食水平的饲料转化效率明显较低( $p < 0.05$ ),而在4%至最大摄食水平组之间均无显著差异( $p > 0.05$ )。

表5 摄食水平对异育银鲫转化效率的影响

Tab. 5 Effect of ration size on conversion efficiency in *Carassius auratus gibelio*

摄食水平(%/d)	CE <sub>w</sub> (%)	CE <sub>d</sub> (%)	CE <sub>e</sub> (%)
2	26.46±5.57 a	12.22±1.36 a	12.54±1.80 a
4	45.87±5.34 b	15.85±1.08 b	19.04±1.41 b
6	53.41±6.71 b	16.88±1.53 b	21.42±2.10 b
8	51.00±4.84 b	15.94±1.61 b	20.43±2.49 b
饱食	50.28±4.79 b	15.65±1.85 b	20.72±2.81 b

注: CE<sub>w</sub> 湿重转化效率; CE<sub>d</sub> 干重转化效率; CE<sub>e</sub> 能量转化效率

## 2.4 能量收支

不同摄食水平下的能量收支如表6所示,氮排泄损失的能量占食物能的比例在各组间无显著差异( $p > 0.05$ ),平均为食物能的2.97%。代谢耗能受摄食水平的影响不显著( $p > 0.05$ ),平均为食物能的64.68%。摄入的食物能积累于鱼体的生长能比例随摄食水平的增加而显著上升。

当能量收支以占同化能的比例表示时,代谢耗能随摄食水平的增加而显著降低,2%摄食水平组显著高于其它摄食组( $p < 0.05$ )。同化能用于生长的比例随摄食水平的增加而显著增加( $p < 0.05$ ),2%摄食水平组显著低于其它组( $p < 0.05$ )。

饱食水平下的能量收支式为:

$$100C = 12.32F + 3.12U + 63.74R + 20.72G$$

或  $100A = 75.44R + 24.56G$

表 6 摄食水平对异育银鲫能量收支的影响

Tab. 6 Effect of size on energy budget of *Carassius auratus gibelio*

摄食水平(%/d)	饥饿	2	4	6	8	饱食
食物能 $C$ [kJ (g·d)]	0	0.311±0.014	0.525±0.024	0.684±0.029	0.812±0.051	1.124±0.240
占食物能百分比						
粪便能 $F$		15.15±0.84 a	13.20±1.15 a	13.49±0.92 a	13.40±1.88 a	12.32±0.76 b
排泄能 $U$	13.70±22.20	2.79±3.39 a	2.27±1.94 a	3.22±2.61 a	3.38±1.91 a	3.21±1.02 a
代谢能 $R$	62.32±22.42	69.52±4.82 a	65.49±3.65 a	61.87±4.48 a	62.79±0.76 a	63.74±3.65 a
生长能 $G$	-76.02±1.91	12.54±1.80 a	19.04±1.41 b	21.42±2.10 b	20.43±2.49 b	20.72±2.81 b
占同化能(A)百分比						
代谢能 $R$		84.66±2.56 a	77.43±2.22 b	74.22±3.03 b	75.52±2.14 b	75.44±3.54 b
生长能 $G$		15.34±2.56 a	22.57±2.22 b	25.78±3.03 b	24.48±2.14 b	24.56±3.54 b

注: 饥饿鱼的能量收支以  $J$  (g·d) 表示; 同化能(assimilated energy)  $A = C - F - U$

### 3 讨论

#### 3.1 消化率

本实验结果得出, 饲料的表观消化率随摄食水平的增加而加大。多数的实验研究结果表明, 饲料的消化率随摄食水平的增加而下降 (Solomon *et al.*, 1972; Elliott, 1976b; From *et al.*, 1984; Henken *et al.*, 1985), 而有些报道消化率不受摄食的影响 (Beamish, 1972; Kelso, 1972; Allen, 1980<sup>1)</sup>)。本实验结果仅与 Davies (1963) 在金鱼中的研究结果相似, Cui 等 (1988a) 在真的研究中也报道了随摄食水平的增加, 消化率有较小的上升趋势。不同研究得出的结果不同, 是反映了种间差异, 还是实验条件及实验方法不同, 还有待于进一步的研究。

#### 3.2 生长和转化效率

本实验得出异育银鲫的生长与摄食以湿重表示时表现为线性增长, 而以干重和能量表示时为对数关系。文献对于鱼类生长-摄食的关系模型报道不一。多数作者倾向于使用对数模型:  $SGR = a + b \ln(RL + c)$  (Allen *et al.*, 1982; Singh *et al.*, 1985; Cui *et al.*, 1988b)。Rafail (1968) 曾使用  $SGR = a + b(RL - RL_m)^{1/2}$  模型, 其中  $RL_m$  代表维持摄食水平。与此类似, Cortes 等 (1994) 和 Xie 等 (1997) 使用 von Bertalanffy 生长模型 ( $SGR = a(1 - e^{-k(RL - c)})$ ), 其中  $a$  代表最大生长率,  $c$  代表维持摄食水平,  $k$  为系数。Stauffer (1973, 引自 Ricker, 1979) 则使用正弦曲线表示。异育银鲫的湿重特定生长率与摄食水平呈线性关系, 其直线斜率 (0.58) 高于草鱼 (0.0338, Cui *et al.*, 1994); 干重和能量特定生长率与摄食水平的对数关系方程中的系数 (3.92 和 4.82) 也高于南方鲇 (0.8—2.1, Xie *et al.*, 1992) 和真 (0.96, 1.04, Cui 1987<sup>2)</sup>)。这表明, 随着摄食水平的增加, 异育银鲫生长上升较快。本研究发现在以湿重、干重和能量表示生长时, 其生长-摄食关系不同, 这是因为鱼体干物质和能量含量受到摄食水平的影响而发生了变化。

1) Allen J R M, 1980. The estimation of natural feeding rate of the three-spined stickleback, *Gasterosteus aculeatus* L. (Pisces). Ph. D. Thesis, University of Wales, Aberystwyth, 341

2) Cui Y, 1987. Bioenergetics and growth of a teleost, *Phoxinus phoxinus* (Cyprinidae). Ph. D. thesis, University of Wales, Aberystwyth, 240

本研究表明, 饲料转化效率随摄食水平的增加而上升, 但在较高摄食水平变化不大。在多数研究中转化效率在中间摄食水平最大(Brett *et al.*, 1979; 崔奕波, 1989; Jobling, 1994)。但 Meyer-Burgdorff 等(1989)报道了尼罗罗非鱼的饲料转化效率随摄食水平的升高而下降。Cui 等(1994)在草鱼的实验中, 得出饲料转化效率随摄食水平的增加而增加的结果。不同研究的结果不同, 可能是摄食水平范围较窄, 未达到最低水平(Meyer-Burgdorff *et al.*, 1989)或最高水平(Cui *et al.*, 1994), 也可能是饲料质量的不同或不同鱼种之间的差异(Cui *et al.*, 1994)。在本项研究中, 最高摄食水平为每天饱食一次, 这是否达到了真正的最大摄食率, 尚有疑问。增加投喂频率是否会引起转化效率-摄食水平关系的改变, 尚有待进一步研究。

### 3.3 能量收支

Cui 等(1990)总结了最大摄食率下的鱼类能量收支, 得出平均收支式为:

$$100C = 15.7(F + U) + 51.5R + 32.8G \text{ 或 } 100A = 60R + 40G$$

本实验得出, 异育银鲫在最大摄食水平下的能量收支式为:

$$100C = 12.32F + 3.12U + 63.74R + 20.72G \text{ 或 } 100A = 75.44R + 24.56G$$

由此可以发现, 异育银鲫中用于代谢的能量比例较大, 因此用于生长的比例相对较低。在表6中, 若假定饥饿鱼的代谢相当于标准代谢, 经计算仅占最大摄食率的5.54%, 与其它鱼类(Cui *et al.*, 1990)相比并不高。故异育银鲫主要是用于摄食代谢的能量比例较高, 这可能的原因有: 1) 用于摄食的活动代谢能较高; 2) 用于 SDA 的能量比例较大; 3) 由于代谢能是由能量收支的差额计算得到, 因此, 包括了能量收支其它组分的测定误差。由此研究可以看出, 异育银鲫虽然生长速度较快, 但从能量收支的角度来看, 其生长效率却很低, 其较高的生长率可能是来源于大量的饲料消耗。但是, 如果用于代谢的能量较高的原因仅是来源于活动代谢, 或是由于饲料质量原因导致的 SDA 增大, 也许通过进一步的研究, 改变饲养方式, 或改进饲料配方, 从而降低摄食代谢的能量消耗, 增加生长的能量比例。

致谢 杨云霞女士帮助测定饲料的化学成分, 谨致谢忱。

### 参 考 文 献

- 崔奕波, 1989. 鱼类生物能量学的理论与方法. 水生生物学报, 13: 369—383
- 蒋一, 梁绍昌, 陈本德等, 1983. 异源精子在银鲫雌核发育子代中的生物学效应. 水生生物学集刊, 8: 1—16
- Allen J R M, Wootton R J, 1982. The effect of ration and temperature on the growth of three-spined stickleback, *Gasterosteus aculeatus* L. J Fish Biol, 20: 409—422
- Beamish F W H, 1972. Ration size and digestion in largemouth bass, *Micropterus salmoides* Lacepede. Can. J Zool, 50: 153—164
- Brett J R, Groves T D D, 1979. Physiological Energetics. In: Hoar W S, Randall D L, Brett J R ed. Fish Physiology, Vol. VIII. New York: Academic Press, 279—352
- Chaney A L, Marbach E P, 1962. Modified reagents for determination of urea and ammonia. Clin Chem, 8: 130—132
- Cortes E, Gruber S H, 1994. Effect of ration size on growth and gross conversion efficiency of young lemon sharks, *Negaprion brevirostris*. J Fish Biol, 44: 331—341
- Cui Y, Liu J, 1990. Comparison of energy budget among six teleosts III. Growth rate and energy budget. Comp

Biochem Physiol, 97A: 381—384

Cui Y, Wootton R J, 1988a. Pattern of energy allocation in the minnow, *Phoxinus phoxinus* (L.) (Pisces: Cyprinidae). *Funct Ecol*, 2: 57—62

Cui Y, Wootton R J, 1988b. Bioenergetics of growth of a cyprinid, *Phoxinus phoxinus*: the effect of ration, temperature and body size on food consumption, fecal production and nitrogenous excretion, *J Fish Biol*, 33: 431—443

Cui Y, Chen S, Wang S, 1994. Effect of ration size on the growth and energy budget of the grass carp. *Ctenopharyngodon idella* Val. *Aquaculture*, 123: 95—107

Davies P M C, 1963. Food input and energy extraction efficiency in *Carassius auratus*. *Nature*, 198: 707

Elliott J M, 1976a. Energy losses in the waste of products of brown trout (*Salmo trutta* L.). *J Anim Ecol*, 45: 561—580

Elliott J M, 1976b. The energetics of feeding, metabolism and growth of brown trout (*Salmo trutta* L.). *J Anim Ecol*, 45: 923—948

From J, Rasmussen G, 1984. A growth model, gastric evacuation, and body composition in rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson, 1836. *Dana*, 3: 61—139

Henken A M, Kleingeld D W, Tijssen 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 gariepinus* (Burchell, 1822). *Aquaculture*, 51: 1—11

Jobling M, 1994. *Fish Bioenergetics*. London: Chapman and Hall, 309

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

Klaoudatos S, Apostolopoulos J, 1986. Food intake, growth, maintenance and food conversion in the gilthead sea bream (*Sparus auratus*). *Aquaculture*, 51: 217—224

Meyer-Burgdorff K-H, Osman M F, Gunther K D, 1989. Energy metabolism in *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture*, 79: 283—291

NRC (National Research Council), 1977. *Nutritional Requirements of Warm Water Fishes*. Washington D. C.: National Academy of Sciences, 78

Niimi A J, Beamish F W H, 1974. Bioenergetics and growth of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) in relation to body weight and temperature. *Can J Zool*, 52: 447—456

Rafail S Z, 1968. A statistical analysis of ration and growth relationship of plaice (*Pleuronectes platessa*). *J Fish Res Bd Can*, 25: 717—732

Ricker W E, 1979. Growth Rates and Models. In: Hoar W S, Randall D J, Brett J R ed. *Fish Physiology*. Vol. VIII. New York: Academic Press, 678—743

Singh R P, Srivastava A K, 1985. Effect of different ration levels on the growth and the gross conversion efficiency in a silurid catfish, *Heteropneustes fossilis* (Block). *Bull Inst Zool, Academia Sinica*, 24: 69—74

Solomon D J, Brafield A E, 1972. The energetics of feeding metabolism and growth of perch (*Perca fluviatilis*). *J Anim Ecol*, 41: 699—718

Sullivan K M, 1982. Energetics of the Sablefish, *Anoplopoma fimbria*, Under Laboratory Conditions. In: Cailliet G M, Simenstal S A ed. *Gutshop' 81- Fish Food Habit Studies*. Seattle: Washington Sea Grant Publ. 106—174

Xie S, Cui Y, Yang Y *et al*, 1977. Energy budget of Nile tilapia in relation to ration size. *Aquaculture*, 154: 57—68

Xie X, 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

Yoshida H, Sakurai Y, 1984. Relationship between food consumption and growth of adult walleye pollock *Theragra chalcogramma* in captivity. *Bull Jpn Soc Sci Fish*, 50: 763—769



## EFFECT OF RATION LEVEL ON GROWTH AND ENERGY BUDGET OF THE GIBEL CARP, *CARASSIUS AURATUS GIBELIO*

ZHU Xiao-ming, XIE Shou-qi, CUI Yi-bo

(State Key Laboratory of Freshwater Ecology and Biotechnology, Institute of  
Hydrobiology, The Chinese Academy of Sciences, Wuhan, 430072)

**Abstract** A growth experiment was carried out at 6 ration levels (starvation, 2%, 4%, 6%, 8% and satiation) to investigate effects of ration size on the growth and energy budget of the gibel carp (weighing  $1.26 \pm 0.05\text{g}$ ) at  $30^\circ\text{C}$ . Fish were fed with a diet containing 37.88% crude protein. Food consumption, faecal production, nitrogen excretion and growth were determined directly, and metabolism was calculated by the difference of energy budget. Fish body contents of dry matter and energy, apparent digestibility coefficient increased with ration level. Specific growth rate in wet weight increased linearly, while that in dry matter and energy increased curvilinearly with ration. Conversion efficiency initially increased with ration, but remained unchanged at high rations. The proportions of food energy lost in nitrogen excretion and channelled into metabolism were not significantly affected by ration. At satiation, the energy budget was:  $100C = 12.32F + 3.21U + 63.74R + 20.72G$ , where  $C$ ,  $F$ ,  $U$ ,  $R$ ,  $G$  represent food consumption, faecal production, nitrogen excretion, metabolism and growth, respectively.

**Key words** Ration level *Carassius auratus gibelio* Growth Energy budget

**Subject classification number** S965.117