

# 草鱼的生理能量收支

周洪琪 潘兆龙 覃志彪 李世钦

(上海水产大学水产养殖系, 200090)

**提 要:** 本课题研究体重为15~20g的草鱼在水温20℃、摄取配合饲料时的能量收支,收支式为 $100C=32.26F+1.04U+51.54R+15.16G$ 。说明本试验饲料的营养物质配比较好,脂肪和糖有节约蛋白质的效果。并且还能进一步改进饲料的质量,提高鱼对饲料的消化吸收,这将是提高生长能比例的有效措施。

**关键词** 草鱼, 能量收支

鱼类个体的能量转换,即鱼类摄取的饲料能如何在体内转换和分配,以及环境因子对此的影响,这在鱼类营养学的研究中是颇受重视的一个领域。各国学者对鱼类的能量收支比较关注,然而大多数的研究是以肉食性鱼类为试验对象,至于草食性鱼类,由于近年草鱼已被引进到50多个国家,不仅作为食用鱼类,还用于控制水草的生长,所以有关草鱼的研究报导比较多。Fisher[1970,1972]第一个研究草鱼的能量收支。Stanley[1974]研究了草鱼成鱼在摄取伊洛藻 *Egeria densa* 时的能量、氮与磷的平衡。Carter 和 Brafield [1991]报导了体重为8~15g草鱼分别摄取高蛋白、高脂肪、高碳水化合物的配合饲料和干浮萍时的能量收支。Cui 和 Liu[1992]研究了体重约为4g的草鱼分别摄取活的颤蚓、新鲜浮萍时的能量收支。本研究选择体重15~20g的草鱼为试验鱼,研究其在20℃水温时摄取的配合饲料中的能量在体内的分配,以阐明饲料效果的生理学基础。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验鱼和驯养

试验鱼为健壮、无伤病的1龄草鱼,体重为15~20g,从川沙县孙桥养殖场运回之后,暂养在控温、循环水族箱中,逐渐调节水温到试验温度20℃。每天7:30投配合饲料1次,日投饵量为体重的2.25%,投饵前排污,每天换水量约为箱内水量的1/3。驯养2周。

### 1.2 能量收支各组分的测定

根据 Warren 和 Davis [1967]提出的下列鱼类生物能量收支式,测定各组分:

$$C=F+U+R+G$$

C为摄入的饲料能,F为粪能,U为排泄能,R为总的代谢能(包括标准代谢、食物特殊动力作用以及活动代谢能量),G为生长能。

#### 1.2.1 摄入的饲料能(C)

试验用的配合饲料(表1)烘干称重,用自动氧弹热量计(岛津 CA-B型)测定燃烧热。摄入的饲料能=摄入饲料的干重×饲料的燃烧热。

表1 配合饲料的主要成份(%)

Table 1 Main composition of the tested diet (%)

水分	蛋白质	脂肪	糖
3.92	29.78	4.41	38.50

### 1.2.2 粪能(F)

粪能的测定设2个平行组,每组10尾鱼置于恒温(20℃)、充气的水族箱中(60cm×30cm×30cm)适应1周,方法与试验鱼的驯养相同。试验前将鱼饥饿2d,试验当天7:30投饵,日投饵量为体重的2.25%,注意观察鱼的排粪,及时用吸管吸出鱼粪,直至深夜24:00,次日7:30用筛绢(40μm)过滤全部试验用水,以收集剩余的散碎鱼粪。将收集到的鱼粪烘干称重,用自动氧弹热量计测定其燃烧热。试验鱼的粪能=鱼粪干重×粪的燃烧热。每组重复试验3次。

### 1.2.3 排泄能(U)

5个容量都为1 l的代谢瓶放在20℃恒温水族箱中同时试验,其中一瓶作空白对照,其余每瓶放2尾鱼。试验前7:30投饵,投饵量为体重的2.25%。试验开始由充气泵将空气送入各代谢瓶,并调节注入各代谢瓶的空气速率,使其相同,试验持续3 h左右,期间连续充气,以保证试验鱼得到足够的氧气,维持正常的新陈代谢。用脲酶 Berthelet 法测定试验开始及3 h后代谢瓶内水样的氨氮和尿素氮,计算排氮率。按氨氮的能值为24.83J/mgN、尿素氮的能值为23.03J/mgN 分别计算排泄的氨能和尿素能,二者之和为试验鱼的排泄能。

### 1.2.4 生长能(G)

生长试验设2个平行组,每组8尾鱼置于20℃的循环水族箱,每日7:30投饵,日投饵量为体重的2.25%,试验持续23 d,试验开始及结束时将鱼饥饿1 d 称重,然后烘干再称重,用自动氧弹热量计测定鱼的燃烧热,试验前鱼的燃烧热选用个体大小与试验鱼相同的鱼作测定,鱼体能量=鱼的干重×鱼的燃烧热。生长能=试验后鱼体能量-试验前鱼体能量。

## 2 结果

### 2.1 摄入能(C)与粪能(F)

表2表明试验鱼在20℃、日摄入量为体重2.25%时的摄入能与粪能。当鱼的摄入能为382.94KJ/kg.d 时粪能为123.54KJ/kg.d,粪能占摄入能的32.26%。因为可消化能为摄入能与粪能之差,所以可消化能为259.40KJ/kg.d,占摄入能的67.74%。

表2 草鱼的摄入能与粪能(20℃,体重17.01±2.71g)

Table 2 Consumed energy and fecal energy of grass carp (at 20℃; body weight 17.01±2.71g)

摄入饲料量 (g/kg.d)	摄入能 (KJ/kg.d)	排粪干重 (g/kg.d)	粪能 (KJ/kg.d)	粪能/摄入能 (%)
22.65±0.40	382.94±6.80	8.52±0.28	123.54±4.61	32.26

## 2.2 排泄能(U)

表3表明试验鱼摄食后排泄的氨能和尿素能的昼夜变化。结果指出草鱼的排泄以氨为主,但是排泄的氨能和尿素能的昼夜变化是相似的。摄食后7h 排泄达高峰,氨能为202.36 J/kg·h,尿素能为41.91 J/kg·h,摄食后的14 h 以内,排泄的能量都维持在较高的水平,14h 以后才逐渐减少,摄食后24h 基本上恢复至摄食前水平。根据试验鱼排泄的昼夜变化,氨形式的排泄能为3.22KJ/kg·d,尿素形式的排泄能为0.75KJ/kg·d,总的排泄能为3.97KJ/kg·d,占摄入能的1.04%。根据试验鱼的排氮量计算作为能源而被分解的蛋白质质量,约占摄入蛋白质的15%。

表3 草鱼排泄的氨能与尿素能的昼夜变化(20℃,体重18.33±1.00g)

Table 3 Diurnal variation of excreted ammonia energy and urea energy of grass carp (at 20℃; body weight 18.33±1.00g)

试验时间	氨能 (J/kg·h)	尿素能 (J/kg·h)
9,00-12,00	188.96±14.65	32.93±9.21
12,00-15,00	202.36±11.92	41.91±4.61
15,00-19,00	158.42±10.18	40.30±5.30
19,00-22,00	149.72±10.18	40.53±4.15
22,00- 2,00	110.00±26.82	28.79±8.75
2,00- 5,00	83.43± 9.19	16.58±2.53
6,00- 9,00	46.43± 6.46	15.66±4.84

## 2.3 生长能(G)

表4表明试验鱼在23 d 的试验期间摄入的饲料总量为81.42克,总的摄入能为1376.74 KJ,鱼的增重为29.85 g,生长能为208.71 KJ,生长能占摄入能的15.16%。

表4 草鱼的生长能(20℃)

Table 4 Growth energy of grass carp (at 20℃)

试验前鱼的 总体重 (g)	试验结束鱼的 总体重 (g)	增重 (g)	生长能 (KJ)	摄入饲料量 (g)	摄入能 (KJ)	生长能/摄入能 (%)
157.43±2.41	187.28±9.22	29.85±6.81	208.71±13.39	81.42±1.30	1376.74±22.01	15.16

## 2.4 试验鱼的能量收支式

根据鱼类生物能量学的模式,试验鱼总的代谢能占摄入能的51.54%,能量收支式为100(C)=32.26(F)+1.04(U)+51.54(R)+15.16(G)

### 3 讨论

1. 本试验鱼的粪能来源除了饲料中不能被消化了的成分之外,还来自于消化液、消化道脱落的上皮细胞以及肠内细菌等,因此实际上的粪能占摄入能的比例会稍低于32.26%,实际可消化能占摄入能的比例会稍高于67.76%。

根据报导,肉食性鱼类的可消化能约占摄入能的80%[Brett 和 Groves, 1979]。草鱼摄取植物性饲料如伊洛藻时的可消化能占摄入能的60%[Stanley, 1974]、摄取生菜时约为25% [Fisher, 1973],摄取新鲜浮萍时约为65% [Cui 和 Liu, 1992]、摄取由于浮萍组成的饲料时为56.7%~73.2% [Carter 和 Brafield, 1991]草鱼摄取动物性饲料如活颤蚓的可消化能占摄入能的92% [Cui 和 Liu, 1992]或40% [Fisher 和 Lyakhnovich, 1973]。本试验草鱼在摄取配合饲料时的可消化能占摄入能的67.76%。草鱼在分别摄取高蛋白、高脂肪、高糖配合饲料时约为90%、81%和85% [Carter 和 Brafield, 1991]。由此可见鱼的种类虽然可以影响鱼对饲料的消化吸收,然而饲料的组成对鱼的消化吸收影响却更为重要。草鱼对配合饲料的利用可以比对新鲜植物性饲料的利用更好,因此开发配合饲料饲养草鱼前景广阔。此外,若能对本试验饲料的饲料源作适当的调整,那末鱼对饲料的消化吸收就可能进一步提高。

2. 蛋白质分解代谢中不能被利用的部分以氨和尿素的形式排泄到体外,氮排泄物的来源除了外源性的饲料蛋白之外,还有内源性的组织蛋白,本试验测定的氨氮和尿素氮来自于这两部分,因此根据测定数据计算的排泄能以及被分解的饲料蛋白质比例稍有偏高。

本试验排泄能的结果与 Fisher (1972)、Brett 和 Groves (1979)的报导相似,但明显高于 Cui 和 Lui (1992)的结果,Cui 和 Lui 报导草鱼分别摄取新鲜浮萍、活颤蚓时的排泄能占摄入能的5%和9%,这主要是由于饲料组成和试验温度不同所造成的差异,Carter 和 Brafield (1991)的试验结果曾指出饲料成分对排泄能有影响。蛋白质是鱼类生长和能量的重要物质来源,排泄能的多少反映了饲料蛋白质作为能源而被消耗的量,本试验排泄能较低,说明饲料蛋白质用于生长的比例相应提高,这可能是由于本试验饲料中营养物质的配比较好,饲料中的脂肪和糖有节约蛋白质的效果。

3. 研究鱼类总的代谢能有二种方法,一是直接测定,二是根据能量收支式间接计算,用直接测定法虽然可以测定鱼的标准代谢、食物特殊动力作用以及不同游泳速度时的活动代谢能,然而在鱼类饲养过程中鱼的游泳速度是变化的,所以运动时的代谢能量难以精确测得,因此本实验采用了间接算法既简单合理,也比较切实可行。

4. 本试验草鱼生长能占摄入能的15.16%,Brett 和 Groves (1979)对肉食性鱼类提出的比例为(29±6)%,Cui 和 Lui (1990)根据14种鱼类在最大摄食量时的能量收支所计算的比例为(32.8±0.79)%,Carter 和 Brafield (1991)提出草鱼分别摄取高蛋白、高脂肪、高糖配合饲料时的比例为26.4%、21.5%和22.7%,Cui 和 Liu (1992)提出草鱼摄取新鲜浮萍时的比例为9%、摄取活颤蚓时为22%,由此可见草鱼用于生长的饲料能比例较其它鱼类低些。对于摄食的鱼类来说,能量收支式中各组分对生长均有影响,以本实验情况看如果暂不考虑环境条件的影响,草鱼生长能占摄入能的比例居于上述其他研究数据中间,可谓不高,在本试验条件下,鱼类损耗在排泄中的能量也不高,损耗在代谢活动中的能量(R)与多数报导相符,因此只有提高鱼对饲料的消化吸收,降低粪便能,是提高生长能的重要因素。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] Brett, J. R. & T. D. D. Groves, 1979. Physiological energetics. In *Fish Physiology*, Vol. 8 (Hoar, W. S. , Randall, D. J. & Brett, J. R. eds), 279-352. New York; Academic Press.
- [ 2 ] Carter, C. G. & A. E. Brafield, 1991. The bioenergetics of grass carp, *Ctenopharyngodon idella* (Val.) energy allocation at different planes of nutrition. *J. Fish Biol.* , 39(6), 873-887.
- [ 3 ] Cui, Y. & J. Liu, 1990. Comparison of energy budgets among six teleosts ——3. Growth rate and energy budget. *Comp. Biochem. Physiol.* , 97A: 381-384.
- [ 4 ] Cui, Y. *et al.* , 1992. Growth and energy budget in young grass carp, *Ctenopharyngodon idella* Val. , fed plant and animal diets. *J. Fish Biol.* , 41(2), 231-238.
- [ 5 ] Fisher, Z. , 1970. The elements of energy balance in grass carp, *Ctenopharyngodon idella* (Val.) Part 1. *Pol. Arch. Hydrobiol.* , 17 :421-434.
- [ 6 ] ——, 1972. The elements of energy balance in grass carp, *Ctenopharyngodon idella* Val. Part 2. Fish fed with animal food. *Pol. Arch. Hydrobiol.* , 19:65-82.
- [ 7 ] Fisher, Z. & V. P. Lyakhovich, 1973. Biology and bioenergetics of grass carp, *Ctenopharyngodon idella* Val. . *Pol. Arch. Hydrobiol.* , 20: 521-557.
- [ 8 ] Stanley, J. G. , 1974. Energy balance of white amur fed *Egeria*. *Hyacinth Control J.* , 12: 62-66.
- [ 9 ] ——, 1974a. Nitrogen and phosphorus balance of grass carp, *Ctenopharyngodon idella* , fed elodea, *Egeria densa*. *Trans. Am. Fish. Soc.* , 103(3), 587-592.
- [10] Warren, C. E. & G. E. Davis, 1967. Laboratory studies on the feeding bioenergetics and growth of fishes. In *The biological basis of freshwater fish production* (Gerking, S. D. ed. ), 175-214. Blackwell, Oxford.

## THE PHYSIOLOGICAL ENERGY BUDGET OF GRASS CARP (*CTENOPHARYNGODON IDELLUS*)

Zhou Hong - qi, Pan Zhao - long, Qin Zhi - biao and Li Shi - qin

(Department of Aquaculture, SFU, 200090)

**ABSTRACT** Energy budget of grass carp of body weight from 15g to 20g at 20°C was investigated. The fish were fed formuläting diet. Consumed (C) , fecal (F), excretory (U) and growth (G) energies were measured. The energy lost in metabolism(R) was calculated. Energy balanced equation was worked out to  $100C = 32.26F + 1.04U + 51.54R + 15.16G$ . It is the efficient way to increase the proportion of growth energy that digestibility of the fish is improved.

**KEYWORDS** grass carp, energy budget