

# 从能量代谢水平评价鱼用饲料的研究

李祖军

王道尊 龚希章

(湖南省安乡县水产养殖总场, 415600)

(上海水产大学, 200090)

**摘要** 本研究用同一蛋白质和能量水平、不同脂肪和糖含量的饲料投喂试验青鱼, 分别测定其在一天中氮氮、尿氮排泄量及耗氧量、 $\text{CO}_2$ 排出量, 计算出用作能量消耗的蛋白质、脂肪和糖量。结果表明: 当饲料中脂肪含量为0%时, 用作能量消耗的蛋白质为10.38毫克/克·日, 当脂肪含量为12%时, 用作能量消耗的蛋白质为5.78毫克/克·日, 脂肪含量过低或过高(0或12%), 均能引起饲料中用作能量消耗的蛋白质质量的增加, 从而导致氮排泄量的升高, 分别为1.68毫克氮/克·日和0.93毫克氮/克·日, 当脂肪含量为7%时, 用作能量消耗的蛋白质部分最少, 只有1.95毫克/克·日, 氮的排泄量最低, 只有0.31毫克氮/克·日。因此, 饲料中适宜的能量、蛋白质、糖和脂肪含量, 对蛋白质能起到较好的节约效果。

**关键词** 青鱼, 饲料, 能量代谢, 非蛋白质呼吸商

鱼类和其它动物一样, 必须从外界获得一定的能量以维持生命活动的需要。饲料中主要能源蛋白质、脂肪和糖, 在动物体内通过生物氧化过程释放出能量。对鱼类来说, 摄取饲料后用作能量消耗的蛋白质部分越少, 在体内积累的蛋白质就越多, 生长就越快, 饲料的营养价值也就越高。

目前, 国内外对鱼类能量代谢方面研究较多, Forster 和 Goldstein[1969] 对鱼类 N 的排泄已作了深入的研究; Gerking[1955]、Iwata[1970] 认为, N 的排泄与饲料营养成分的组成有一种定量的关系; 关于鱼类的耗氧量、 $\text{CO}_2$  排出量以及能量代谢等方面的研究, 陈宁生等[1955]、叶奕佐[1959]、Dabrowski[1984] 和 Brett[1975] 作了大量的工作。但是根据氮的排泄量、耗氧量和  $\text{CO}_2$  的排出量等能量代谢水平, 计算出饲料用作能量的蛋白质、脂肪和糖的消耗量, 以此评价鱼用饲料营养价值的高低等方面的研究, 尚未见报道。本试验主要是以青鱼为对象, 投喂蛋白质和能量处于同一水平(均为最适水平)、脂肪和糖含量不同的饲料后, 从能量代谢的角度, 对饲料营养价值进行评价的研究, 为研究青鱼的配合饲料提供理论依据。

## 1 材料与方方法

### 1.1 试验鱼

青鱼, 取自江苏省昆山县水产养殖场。试验鱼经严格挑选, 体质健壮, 规格齐全, 平均体重为  $10 \pm 2$  克, 20 尾为一组, 共分为五组, 饲养在单体循环水族箱内, 水温控制在  $26-27^\circ\text{C}$ , 溶氧保持在 5 毫克/升以上, 按投饲率 2% 投喂试验鱼, 经一周的驯养后, 开始试验。

## 1.2 试验饲料

以酪蛋白和明胶作蛋白源,用马面鲀鱼油作脂肪源,糊精作糖源,配制成同一蛋白和能量水平(均为青鱼最适需要量)、脂肪和糖含量(为青鱼最适需要量范围)[王道尊, 1984]不同的四种饲料,另外,第五组饲料为无蛋白饲料,其饲料配方见表1。

## 1.3 测定项目

呼吸商(Respiratory quotient)的测定。

呼吸商的测定装置如图1。待鱼在水族箱中摄食正常后,进行测定。上午7:30按体重2%投食,9:00随机取4条鱼放在3号瓶(代谢瓶)中,调节流速为4-5升/小时,代谢瓶(3号瓶)在水浴中,温度控制在26-27℃,11:00开始,每隔一小时取一次样,分别测定进水口和出水口的CO<sub>2</sub>和溶解氧的含量,测量完毕后,称量鱼体重。

表1 五种试验饲料的组成

Tab. 1 Composition of the five sorts of testing feeds

项目	1	2	3	4	5
酪蛋白	35	35	35	35	0
明胶	5	5	5	5	0
鱼油	0	2	7	12	7
糊精	37.5	33	21.75	10.5	35
CMC	3	3	3	3	3
维生素	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
无机盐	2	2	2	2	2
微晶纤维素	17.5	20	26.25	32.5	53
胆碱	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
能量	322.5	322.5	322.5	321.90	192.50
C/P	8.06	8.06	8.05	8.05	0

注:能量值的计算[华盛顿大学水产学院主编, 1980]。  
单位:千卡/100克饲料。

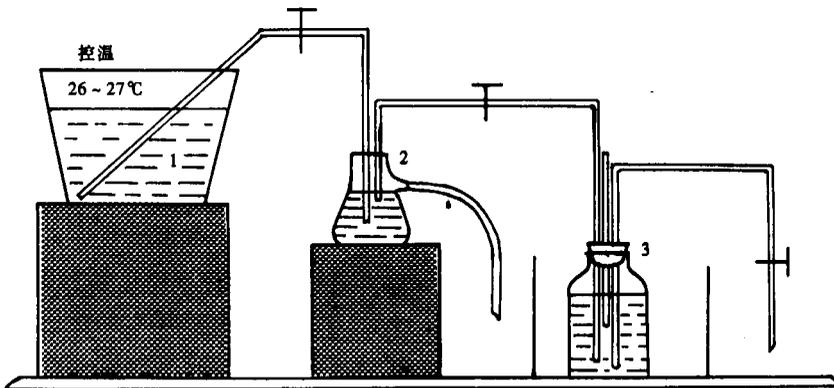


图1 呼吸商测定装置

Fig. 1 Schematic diagram of measuring respiratory quotient

1 贮水槽; 2 空白瓶; 3 代谢瓶。

溶解氧采用 Winkler 法测定,CO<sub>2</sub>采用酚酞作指示剂,用 NaOH 测定到终点。

$$R. Q(\text{呼吸商}) = \frac{CO_2}{\text{耗氧量}} = \frac{\text{单位体重 } CO_2 \text{ 排出量(mg)}/44}{\text{单位体重 } O_2 \text{ 的消耗量(mg)}/32}$$

CO<sub>2</sub>排出量及 N 排泄量的测定装置如图2。

充气泵(8)充气到5N的NaOH溶液(1)中,以除去空气中的CO<sub>2</sub>,剩余的气体进入到代谢瓶(2)、(3)和空白瓶(4)中,(2)(3)(4)排出的气体通过盛有50毫升0.25N的NaOH溶液的吸收瓶(5)(6)(7)中吸收。在整个试验过程中,应避免空气的进入。(2)(3)两组平行的代谢瓶,(2)

(3)(4)都放在水浴中,保持瓶内水温在26—27℃,溶解氧保持在7.0毫克/升左右。

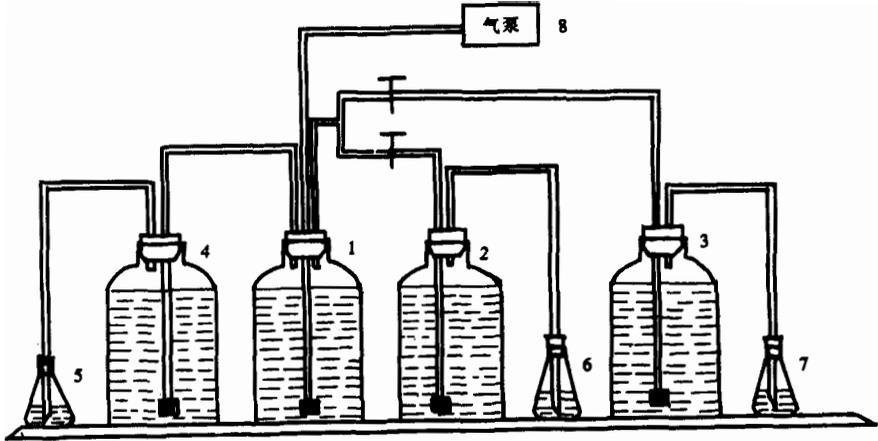


图2 CO<sub>2</sub>、NH<sub>3</sub>-N、尿氮测定装置图

Fig. 2 Schematic diagram of measuring CO<sub>2</sub> ammonia-N and urine-N

1 NaOH 溶液瓶, 2, 3 代谢瓶, 4 空白瓶, 5, 6, 7 呼吸瓶, 8 气泵。

将代谢瓶(2)(3)和空白瓶(4)注入等量的试验水(5升左右),充气数分钟后,9:00在水族箱中随机取摄食后的鱼4尾,分别放入代谢瓶(2)(3)中,每瓶2尾,体质和体重均相近,充气,待鱼稳定一小时后,测定其初始CO<sub>2</sub>、总碱度、氨氮和尿氮,取样完毕后,密封代谢瓶、空白瓶及其它装置,此时吸收瓶开始收集气体,并检查装置是否漏气,24小时后,再测定终末CO<sub>2</sub>、总碱度、氨氮和尿氮及吸收瓶中CO<sub>2</sub>的含量。

CO<sub>2</sub>日排出量的测定方法:游离的CO<sub>2</sub>以酚酞作指示剂,用NaOH溶液测定,水体中的HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>分别采用酚酞和甲基橙作指示剂,用标准盐酸滴定,吸收的CO<sub>2</sub>也用盐酸滴定。

$$\text{CO}_2\text{的排出量} = C_1 + C_2' + C_3' - C_2 - C_3 - \Delta C'$$

式中, C<sub>1</sub>: 吸收瓶中游离的CO<sub>2</sub>的量;

C<sub>2</sub>: 终末时代谢中游离的CO<sub>2</sub>的量;

C<sub>3</sub>': 终末时代谢瓶中HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>的量;

C<sub>2</sub>: 初始时代谢瓶中游离的CO<sub>2</sub>的量;

C<sub>3</sub>: 初始时代谢瓶中HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>的量;

ΔC': 空白瓶中CO<sub>2</sub>的变化量。

氨氮和尿氮的测定:采用萘氏法分别测定代谢瓶中初始和终末氨氮的含量。

$$\text{氨氮的排泄量} = A_2 - A_1$$

式中, A<sub>2</sub>: 终末时代谢瓶中氨氮的含量; A<sub>1</sub>: 初始时代谢瓶中氨氮的含量。

尿氮的测定:尿素在脲酶的作用,能分解生成氨,取水样25ml,加入1ml脲酶(上海生物制品研究所生产),在37℃的水浴加热15分钟,使其尿氮彻底转化为氨氮,然后移到比色管中,用萘氏法测定。

$$\text{尿氮的排泄量} = T_2 - A_2 - (T_0 - A_0)$$

式中, T<sub>2</sub>: 终末时氨氮的排泄总量;

A<sub>2</sub>: 终末时氨氮排泄量;

$T_0$ : 初时总氮量;

$A_0$ : 初始氮氮的含量。

用作能量代谢的蛋白质、脂肪和糖的计算: 由图1装置测出的呼吸商和由图2装置测定出的  $CO_2$  和氮的排泄量, 依周衍椒等[1978]求出非蛋白质呼吸商, 以1克氮表示一定量蛋白质的氧化, 它需5.92升氮和排出4.75升  $CO_2$  非蛋白质呼吸商的计算如下式:

$$\text{非蛋白质呼吸商} = \frac{\text{实测 } CO_2 \text{ 量} - A}{\text{测定耗氧量} - B} = \frac{QCO_2 - A}{\frac{R \cdot Q}{R \cdot Q} - B}$$

式中, A: 由蛋白质分解而排出的  $CO_2$ ; B: 由蛋白质分解而消耗的  $O_2$ 。

根据非蛋白质呼吸商查 Iuntz 和 Sekumberg (Lusk 修改后又由 Moclendon 修改) 的计算表[周衍椒等, 1978]可知, 消耗1升氧时, 相当于多少脂肪和糖分解:

蛋白质消耗量 = 6.25 × 排氮量;

脂肪消耗量 = F × 非蛋白质耗氧量;

糖的消耗量 = C × 非蛋白耗氧量。

F、C 为消耗1升氧时相当于脂肪和糖分解的量。

## 2 结果与讨论

试验鱼经驯养后, 摄食正常, 在稳定一段时间后, 从各组随机取2尾鱼放入代谢瓶中, 2小时后开始定时测定耗氧率和  $CO_2$  排出量, 其测定结果如表2。

表2 不同配方饲料投喂后其耗氧率和  $CO_2$  的排出量的变化(毫克/克体重·小时)

Tab. 2 Variation of oxygen consumption and  $CO_2$  excretion of black carp fed with feed of different component (mg/g·h)

喂食后时刻 (小时)	1		2		3		4		5	
	耗氧率	$CO_2$ 排出率								
2-3	0.207	0.210	0.082	0.085	0.182	0.159	0.191	0.140	—	—
3-4	0.220	0.333	0.223	0.170	0.159	0.101	0.243	0.342	0.135	0.158
4-5	0.272	0.372	0.223	0.339	0.205	0.168	0.243	0.332	0.192	0.208
5-6	0.349	0.534	0.246	0.339	0.182	0.293	0.243	0.192	0.203	0.212
6-7	0.349	0.286	0.253	0.170	0.228	0.335	0.277	0.319	0.226	0.183
7-8	0.349	0.391	0.299	0.339	0.205	0.393	0.312	0.294	0.181	0.195
8-9	0.246	0.238	0.277	0.170	0.182	0.117	0.416	0.383	0.214	0.233
9-10	0.207	0.133	0.277	0.339	0.182	0.184	0.347	0.460	0.226	0.250
10-11	0.246	0.476	0.253	0.339	0.251	0.210	0.312	0.383	0.214	0.183
11-12	0.233	0.172	0.230	0.254	—	—	0.347	0.447	0.226	0.258
12-13	0.272	0.276	0.345	0.254	0.251	0.176	0.347	0.409	0.237	0.253
13-14	0.207	0.267	0.253	0.339	0.239	0.243	0.243	0.345	—	—
平均	0.263	0.307	0.247	0.260	0.197	0.215	0.293	0.342	0.205	0.214
R·Q	0.849		0.765		0.795		0.847		0.76	

注: 试验条件, 流速4.6-5.0升/小时, 水温26-27℃, 注入水溶氧7.0-7.6mg/L, 流出水溶氧3.5-6.5mg/L, 注入水  $CO_2$  1.2-2.9mg/L, 流出水  $CO_2$  4.34-7.95mg/L, 注入水 pH 8.1-8.3, 流出水 pH 7.7-7.9。

从表2中可看出,在蛋白质和能量处于同一水平(最适需要量)、无脂肪饲料的第一组,试验鱼的耗氧量为0.263毫克/克·小时,CO<sub>2</sub>排出量为0.307毫克/克·小时,饲料中脂肪含量为2%的第二组耗氧量为0.247毫克/克·小时,CO<sub>2</sub>排出量为0.260毫克/克·小时,脂肪含量为12%的第四组的耗氧量为0.293毫克/克·小时,CO<sub>2</sub>排出量为0.342毫克/克·小时,而饲料中脂肪含量为7%的第三组,耗氧量为0.197毫克/克·小时,排出量为0.215毫克/克·小时。这一试验结果表明,当饲料能量、饲料蛋白质和糖含量适当时,饲料中脂肪含量过高或过低都能提高代谢强度,引起耗氧量和CO<sub>2</sub>排出量的增加。

摄取不同饲料的试验鱼的CO<sub>2</sub>排出量、氮氮和尿氮的排泄量如表3。

表3 投喂不同配方的饲料后CO<sub>2</sub>、氮氮和尿氮的日排泄量

Tab. 3 Daily excretion rate of CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>-N and Urea-N of black carp fed with feed of different component

组别	1	2	3	4	5
鱼体重(克)/尾数	20.24/2	20.15/2	17.72/2	17.82/2	29.32/2
平均体重	10.12	10.08	8.86	8.91	14.66
CO <sub>2</sub> 的排出量(毫克/克体重·日)	21.95	34.89	12.21	12.99	12.41
尿氮排泄量(毫克/克体重·日)	0.75	0.46	0.15	0.43	0.25
氨氮排泄量(毫克/克体重·日)	0.91	0.71	0.16	0.50	0.21
尿氮占总氮的百分比(%)	45.30	39.40	47.80	46.10	54.40
非蛋白呼吸商	0.99	0.75	0.75	0.95	0.74

由表3可见,当饲料的能量一定时(322千卡/100克),蛋白质含量在40%的情况下,随着脂肪含量的增高,氮排泄量减少,饲料脂肪含量为7%(第三组)时氮排泄量最低,尿氮和氨氮的排泄量分别为0.15毫克/克·日、0.16毫克/克·日。饲料中脂肪含量超过最适量7%后,氨氮的排泄量又有呈增加的趋势,脂肪含量为12%时尿氮和氨氮的排泄量分别为0.43毫克/克·日、0.50毫克/克·日。Gerking[1955]、荻野[1980]等认为氮的排泄量与饲料组成有一定关系,所以不同营养成分的配合饲料对鱼类耗氧率、氮的排泄率有很大影响,本试验也证实了这一点(见表4)。

从营养生理角度来看,鱼类从食物中摄取的蛋白质、脂肪和糖经过消化吸收后,一部分用作能量消耗,一部用作生长,从总量平衡上来说,在摄入量一定的条件下,蛋白质用作能量消耗的部分越少,用作自身积累的部分就越多,则该饲料各营养成分的配比就越合理,饲料营养价值越高。五种不同配合饲料被摄取后用作能量的蛋白质、脂肪和糖的量见表5。

科学合理的配合饲料具有较高的消化率,营养成分和能量也能满足鱼类需要,因此可以通过提高饲料利用率来减少氮的损失,从表5可知,当饲料中无脂肪和饲料中脂肪含量为12%时,单位体重用作为能量消耗的蛋白质部分较多,分别为10.38毫克/克·日、5.78毫克/克·日。当脂肪

表4 青鱼在摄食后24小时内的排氮量及耗氧量

Tab. 4 N excretion and oxygen consumption of black carp within 24 hours after feeding

组别	氮排泄量 (毫克氮/克·日)	耗氧率 (毫克氧/克·日)
1	1.66	18.77
2	1.17	33.18
3	0.31	11.13
4	0.93	11.15
5	0.45	11.87

含量为7%时,用作能量消耗的蛋白质部分较少,只有1.95毫克/克·日。王道尊等[1987],提出青鱼饲料中脂肪含量低于3%或高于9%时,鱼体消瘦,生长不良,增重率下降,这是由于饲料中脂肪含量过高或过低,导致用作能量消耗的蛋白质部分增加,出现负氮平衡的结果。投喂第五组无蛋白饲料,用作能量消耗的蛋白质为2.83毫克/克·日,这部分蛋白质主要靠分解体蛋白,属于内因性蛋白氮。所以饲料配方一定要有科学性,只有营养完全的饲料才可以提高蛋白质在体内的积累,促进鱼的生长,提高饲料报酬。从表5还可看出,青鱼虽属肉食性鱼类,但它对糖仍有一定的利用能力,所以在配合饲料中添加适量的脂肪和糖可以节约蛋白质。

综上所述,测定鱼类的能量代谢水平,可以评价鱼用饲料的营养价值。当鱼摄食配方合理(如第3组)的饲料后,用于做为能量代谢消耗的蛋白质部分比较低,消化吸收率高,能够较好地利用饲料蛋白质,有利于体蛋白的积累,促进鱼类生长。若摄取配方不合理的饲料(如第1、2、4、5组),某种营养成分过高或过低,部分饲料蛋白质将被用作能量而消耗,饲料效率就低,影响鱼类生长。

所以测定鱼类的能量代谢水平,可考虑作为评价鱼用饲料质量的方法之一。

### 参 考 文 献

- [1] 王道尊等,1987.饲料中脂肪含量对青鱼种生长的影响.水产学报,11(1):23-28.
- [2] 王道尊等,1984.饲料中蛋白质和糖的含量对青鱼鱼种生长的影响.水产学报,8(1):9-17.
- [3] 叶奕佐,1959.鱼苗鱼种耗氧率、需氧量、窒息点及呼吸系数的初步报告.动物学报,11(2):117-135.
- [4] 华盛顿大学水产学院(主编),1980.鱼饲料技术,26-31.联合国 FAO (罗马).
- [5] 陈宁生等,1955.草鱼、白鲢和花鲢的耗氧率.动物学报,7(1):43-58.
- [6] 周衍椒等,1978.生理学,79-282.人民卫生出版社(京).
- [7] 獲野珍吉,1980.魚類の栄養と飼料,61-80.恒星社厚生閣版(東京).
- [8] Beanish, F. W. H. and E. Thomas, 1984. Effect of dietary protein and lipid on nitrogen losses in rainbow trout, *salmo gairdneri*. *Aquaculture*, 41:359-371.
- [9] Brett, J. R. and C. Azala, 1975. Daily Pattern of nitrogen excretion and oxygen consumption of scokeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) under controlled conditions. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 32:2479-2486.
- [10] Dabrowski, K. and S. kandkik J., 1984. Rearing of Coregonic (*coregonus schinzi palea* cuv. et al.) larvae using dry and live food. I. oxygen consumption and nitrogen excretion. *Aquaculture*, 41:333-344.
- [11] Forster. R. p and L. Goldetein, 1969. Formation of excretory products. *Fish physiology* Vol. 1 (Ed by W. s. hoar & D. J. Randall) 313-350, Academic Press New York.
- [12] Gerking, S. D., 1955. Endogenous nitrogen excretion of blue gill sunfish (*Lepomis macrochirus*). *Physiol. Zool.*, 28:283-289.

表5 青鱼摄取不同饲料后用作能量的蛋白质、脂肪和糖的量

Tab. 5 Consumption of protein, lipid and carbohydrate used for energy

utilization of black carp fed with different feeds

组 别		1	2	3	4	5
单 位 消 耗 重 量 (毫 克/克)	蛋白质	10.38	7.34	1.95	5.78	2.83
	脂肪	0.06	7.05	2.57	0.21	2.53
	糖	3.92	2.81	1.03	2.76	0.75
占 百 分 量 数 的 (%)	蛋白质	72.30	42.69	35.15	69.30	46.30
	脂肪	0.42	40.96	46.33	2.50	41.40
	糖	27.30	16.35	18.51	28.20	12.30
占 的 总 百 分 量 数 (%)	蛋白质	75.20	31.90	25.40	70.80	34.30
	脂肪	0.82	57.80	63.30	4.90	57.90
	糖	24.00	10.30	11.30	24.30	7.72

## THE STUDY ON EVALUATING THE FISH FEED IN THE LEVEL OF ENERGY METABOLISM

Li Zhu-jun

(Aquaculture Farm of An Xian County  
of Hunan Province, 415600)

Wang Dao-zun and Gong Xi-zhang

(Shanghai Fisheries University, 200090)

**ABSTRACT** The quantities of ammonia-N, Urine-N excretion, oxygen consumption and CO<sub>2</sub> production are measured for two-year fingerling of black carp (*Mylopharyngodon piceus*), whose average body weight is 10±2g. There are five groups, each group is fed with the different sorts of feeds containing same levels of energy and protein but different level of fat and carbohydrate. The amount of protein, fat and carbohydrate used for energy consumption was calculated. The result shows that the amount of protein, fat and carbohydrate used for energy is closely related to the nutrition composition of feed. Protein could be spared by adding proper amount of carbohydrate and fat. When the content of dietary fat is 0 and 12%, the amount of protein used for energy consumption is 10.38mg/g·day and 5.78mg/g·day. While nitrogen excretion is 1.66mg N/g·day and 0.93mgN/g·day respectively. However the protein is only 1.95mg/g·day, excreted nitrogen is 0.31mgN/g·day when the content of dietary fat is 7%. The experiment shows that the appropriate content of dietary fat and carbohydrate may decrease the consumption of protein used for energy.

**KEYWORDS** black carp, *Mylopharyngodon piceus*, diet, energy metabolism, non-protein respiratory quotient