

日粮水平对黑鲷幼鱼粪便失能的影响^{*}

李 军^{**} 马道远^{**} 沈庞幼^{***} 肖志忠^{**} 徐世宏^{**}

(^{**} 中国科学院海洋研究所)

(^{***} 宁波市水产研究所)

食物的消化率是指被消化道吸收而进入体内的营养物或能量占摄入食物所含营养物或能量的百分比(Brett *et al.*, 1979),在有关鱼类能量学的文献报道中,消化率、吸收率、同化率等常用来描述同一个概念。通过测定鱼体排出粪便的量可以对食物的消化率进行估计,但粪便除包含有未被消化吸收的食物外,还包含有消化液及肠道上皮等代谢物,这两部分物质难以分离。因此,在研究中,通常对这些少量的非粪便排出物不加区别,这样测得的结果称为表观消化率(Jobling, 1983a),由于粪便中的物质会流失于水中,从而给鱼类消化率的测定带来许多实际困难。目前测定鱼类消化率的方法很多,除虹吸法外,还有后肠取粪便法(Henken *et al.*, 1985), Cr_2O_3 指示物法(Henken *et al.*, 1985),以及其它一些指示物法(Buddington, 1980; Bowen, 1981; Atkinson *et al.*, 1984; De Silva *et al.*, 1974),Braaten(1979);Cho 等(1982)和 Jobing 等(1983a)对消化率的研究方法进行了综述和比较。由于鱼类对动物性饵料消化率一般较高,测定上的误差对能量收支的影响不是很大。许多生态因子对消化率产生影响,在实验室研究中,人们着重探讨了体重、水温、日粮水平及食物的性质等对消化率的影响(Solomon *et al.*, 1972; Elliott, 1976; Windell *et al.*, 1978; Henken *et al.*, 1985; Cui *et al.*, 1988; Jobling, 1993)。

1994 年 8 月—11 月,作者在对黑鲷(*Sparus macrocephalus* B.)幼鱼进行能量学研究中,探讨了日粮水平对其粪便失能的影响,建立了不同水温、日粮水平及体重条件下黑鲷幼鱼粪便能的预测模型。通过研究,不仅阐明了黑鲷幼鱼的消化吸收效率随日粮水平等因子的变化规律,同时对黑鲷的养殖生产及其养殖环境的保护也具有指导意义。

一、材料和方法

在常温下以黑鲷幼鱼(初始体重为 4.17—69.05g)为实验材料,进行摄食-生长实验 4 次,实验的平均水温分别是 $26.8 \pm 1.4^\circ\text{C}$, $24.4 \pm 1.8^\circ\text{C}$, $20.1 \pm 2.4^\circ\text{C}$ 和 $14.8 \pm 3.1^\circ\text{C}$,每

^{*} 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 3333 号。本课题为国家自然科学基金资助项目,37370542 号;武汉水生生物研究所淡水生态与生物技术国家重点实验室资助项目。承蒙杨纪明研究员、崔奕波研究员悉心指导,在此一并致谢。

收稿日期:1997 年 12 月 22 日。

次实验分 4 个日粮水平(停食—饱食),每个日粮水平下包括 6 个实验水族缸,每缸有 2—6 尾鱼,每次实验进行 20d。

摄食生长实验是在圆形玻璃钢水族缸中进行的,实验水体 80L,新鲜沙滤海水,盐度为 32,pH 值为 8.0。实验期间静水、充气,每次投饵前 30min 置换 2/3 水族缸的水。

实验开始和结束时,均先停食 24h,排尽体内粪便,用拧干的湿沙布裹住鱼体,以吸除鱼体表面水分,鱼体重量用精度为 0.01g 的扭力天平称量。实验期间每日 9:00 和 16:00 各投喂 1 次,饵料为冷冻玉筋鱼(*Ammodytes personatus*),去头,均切成碎块,用滤纸吸去表面水分,用精度为 0.01g 的扭力天平称取定量饵料,饱食日粮组的每次投喂量为实验摄入量的 1.5—2 倍,限定日粮组的投喂量约为饱食水平的 30%和 70%,实验结束后,以实际摄饵量计算平均日粮水平。

在预备实验时,观察到黑鲷在摄食后 5—6h 即开始有粪便排出,因此,在实验中,收取粪便一般安排在投饵后 6—7h,每次换水之前,再收集 1 次,粪使用虹吸法吸出,经 200 目筛绢滤出移入样品瓶中,于 65℃恒温箱中烘干。

每次实验开始前,抽取 8 尾鱼作为鱼体比能值和化学组成测定的对照鱼,对照鱼和实验结束后的实验鱼在称重后立即杀死,切成碎块,在 65℃恒温箱中烘干。在每次实验期间留 20g 左右的饵料鱼,按上述方法留取干样备测。

实验鱼、饵料及粪便的能量含量采用 Phillipson 氧弹测热仪测定,利用 Pekin-Elmen 240 型元素分析仪测定样品中的含氮量,然后乘以 6.25,得出蛋白质含量,采用索氏提取法,以乙醚为抽提液,测定样品的脂肪含量。

计算表观消化率的公式为:

$$DE=100(\text{食物含能量}-\text{粪便含能量})/\text{食物含能量} \quad (1)$$

二、结 果

1. 黑鲷粪便的比能值及化学组成

黑鲷所排出粪便的化学组成和比能值变化较大,按日粮水平分组进行统计分析(表 1),比能值随日粮水平变化不呈现一致的变化趋势,粪便的蛋白质含量,在 26.8℃时,随日粮水平的下降而下降。在 20.1℃和 14.8℃随日粮水平的下降而增加。脂肪含量,除 20.1℃外,均随日粮水平的下降而增大。

表 1 黑鲷幼鱼粪便的含能量及化学组成(平均值±标准误)

平均水温 (℃)	样品数 (个)	日粮水平 (%, B. W/d)	能量含量 (kJ/g)	蛋白质含量 (%)	脂肪含量 (%)
26.8	3	7.71	2.37±0.05	12.55±0.02	0.94±0.12
	3	6.77	3.14±0.48	8.88±0.67	1.85±0.56
	3	3.39	2.07±0.03	7.01±0.14	4.09±0.49
24.4	3	7.58	7.38±0.21	16.90±0.07	0.89±0.11
	3	4.07	5.41±0.23	22.00±0.90	3.28±0.09
	3	2.78	6.73±0.13	13.88±1.61	5.28±0.32
20.1	3	5.64	5.82±0.30	13.01±0.47	3.15±0.80
	3	4.32	4.86±0.13	14.87±0.67	4.93±0.42
	3	2.48	4.63±0.42	15.13±0.80	3.39±0.53
14.8	3	3.18	8.77±0.29	20.74±0.61	1.98±0.13
	3	2.60	8.36±0.11	22.66±0.86	4.19±0.55
	3	1.57	8.01±0.27	22.86±0.51	5.24±0.06

2. 消化率

在温度相同的情况下,按日粮水平分组统计了黑鲟的平均表观消化率(%C)(表 2)。在各个温度组内,表观消化率随日粮水平的下降而降低,从图 1 中也可以看出,在各温度组中表观消化率与日粮水平呈线性正相关。在饱食状态下,在 26.8℃,24.4℃和 20.1℃时表观消化率无显著变化($P>0.05$),这表明在适宜温度范围内,表观消化率不随体重增加和温度下降(26.8—20.1℃)而变化,但上述消化率与 14.8℃时的消化率差异显著。

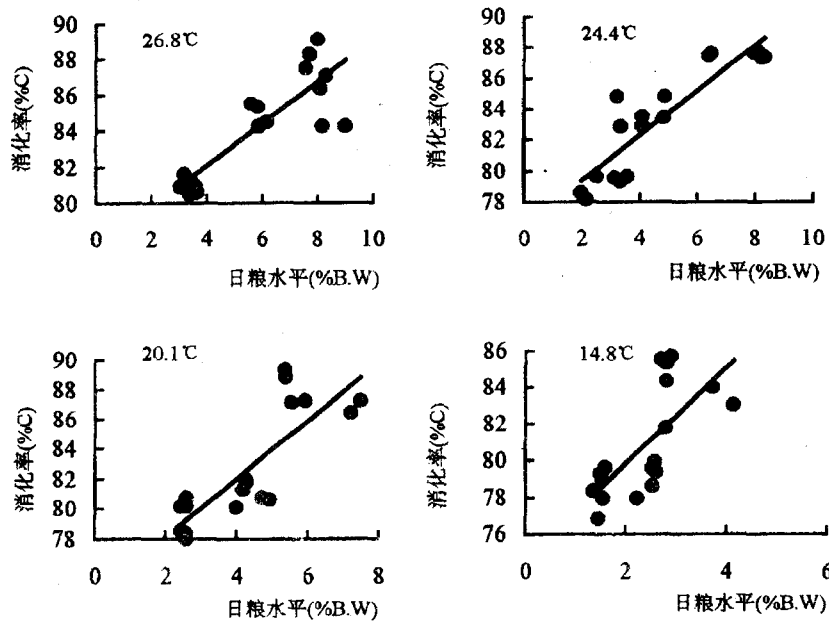


图 1 不同温度下黑鲟的消化率与日粮水平的关系

表 2 不同日粮水平下黑鲟幼鱼的粪便产量及消化率(平均值±标准误)

平均水温 (℃)	起始体重 (g)	日粮水平 (%, B. W/d)	样本数 (个)	消化率 (%C)
26.8	7.71±0.91	7.90±0.26	6	87.77±0.90a
	6.42±1.60	6.77±1.30	6	87.67±0.53a
	6.72±1.50	3.39±0.22	6	80.94±0.37ab
24.4	24.04±4.58	7.59±1.35	6	87.50±1.13a
	21.23±4.86	4.07±0.64	6	83.72±0.82bc
	19.39±5.49	2.78±0.61	6	79.15±1.58bd
20.1	39.73±11.50	5.64±1.35	6	87.69±1.00a
	36.25±7.46	4.32±0.32	6	81.08±1.36cd
	40.32±11.95	2.48±0.10	6	79.35±1.05ce
14.8	49.03±9.79	3.19±0.55	6	84.67±0.95ac
	58.58±8.81	2.60±0.18	6	79.55±1.20ad
	52.14±11.11	1.57±0.12	6	78.49±0.92ae

注:数值旁字母表示每一摄食水平下 LSD 检验结果,标有相同字母的均值在 0.05 水平上无显著差异。

3. 黑鲟粪便的能量损失

在不同温度下,黑鲟排出粪便的含能量(F :KJ/d)与摄入食物的含能量(C :KJ/d)之

间存在着显著的直线关系(表 3),表明粪便量随摄入食物量的增加而增加。

表 3 黑鲷粪便产量与摄食率的关系

平均水温 (℃)	起始体重(g)		样本数 (个)	$F=a+bC$			
	mean	SE		$a \pm SE$	$b \pm SE$	r	P
26.8	7.09	1.50	22	0.61 ± 0.02	0.12 ± 0.01	0.98	<0.001
24.4	22.00	6.46	24	0.11 ± 0.04	0.12 ± 0.01	0.98	<0.001
20.1	39.51	11.17	24	0.33 ± 0.12	0.12 ± 0.01	0.92	<0.001
14.8	52.70	11.56	24	0.15 ± 0.09	0.16 ± 0.01	0.96	<0.001

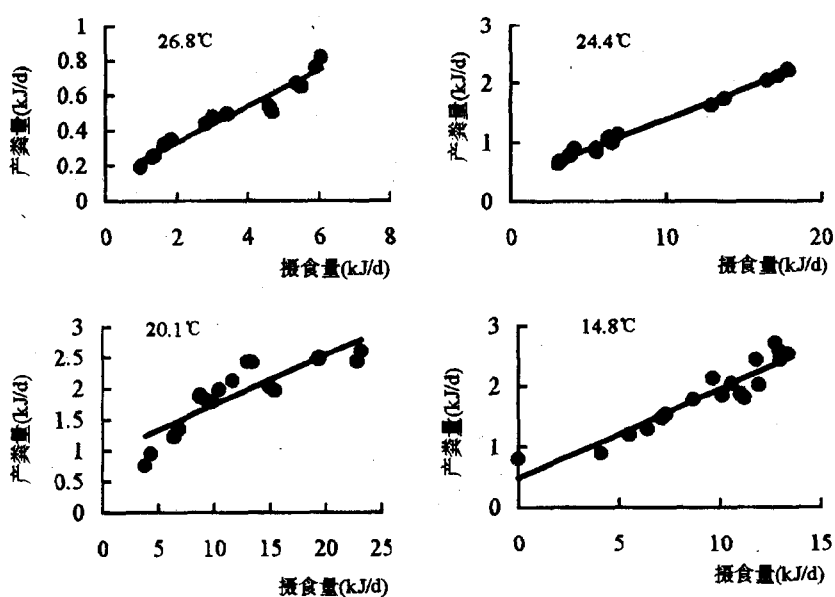


图 2 不同温度下产粪量(F :kJ/d)与摄食量(C :kJ/d)的关系

经检验,不同温度组的 F - C 直线差异显著($P < 0.05$),以平均体重(W :g)、温度(T :℃)和食物量(C :kJ/d)的对数($\ln W, \ln T, \ln C$),以及它们间可能的交互项为自变量,对粪便产量(F :kJ/d)的对数进行逐步回归,结果为:

$$\ln F = 2.3616 + 3.0823 \ln C - 0.4318 \ln C \ln W + 0.1209 \ln C \ln W \ln T - 0.7393 \ln C \ln T + 0.1348 \ln W \ln T \quad (2)$$

$$(N=94, R^2=0.9805, F:714,650, P<0.0001)$$

统计检验表明方程的复相关系数和各偏回归系数都达到极显著水平。

三、讨 论

通过虹吸法将水中的粪便直接收集是非常简便的,但是,如果粪便在水中停留时间过长,则会导致粪便中的易溶物质流失,造成对粪便量的过低估计。目前,已设计出多种收集系统以保证粪便尽可能少与水接触,Blackburn(1968)收集 24h 的新鲜粪便样品表明有

16.8%从溶解中损失掉了,并且指出同一条鱼不同的粪便样品的能量含量差别亦很大,Beamish(1972)报道粪便中18%的蛋白氮含量溶解于水中,Elliott(1976)指出,可溶性有机物只占粪便能量的1%—4%,这依赖于日粮水平。

肉食性鱼类消化率的变幅为69%—98%(Gerking, 1955; Pandian, 1967; Birkett, 1969; Beamish, 1972; Staples *et al.*, 1976; Jobling, 1986; Solomon *et al.*, 1972; Elliott, 1976; Cui *et al.*, 1988; Du Preez *et al.*, 1988; 谢小军, 1993)。Winberg(1956)提出粪便含能量为摄入能量的15%的理论值,Elliott(1976)认为此值过低,应为15%—25%左右,并提出,以80%作为鱼的消化率平均值,以便于对食物能量被消化吸收部分进行间接估计,黑鲷的消化率在饱食状态下为86.91%,总平均值为82.88%(表2)

虽然多数学者认为体重、日粮水平及温度对消化率无显著影响(Pandian *et al.*, 1985),但有些研究表明日粮水平(Solomon *et al.*, 1972; Elliott, 1976)、体重(Pandian, 1967; Lassuy, 1984)和温度(Elliott, 1976; Targett, 1979)对消化率都会产生影响,但对于不同鱼种,这些因子的作用不尽相同,体重与个体消化率的关系不很明确,Kelso(1972)报道 *Stizostedion vitreum* 的消化率随体重的增加而下降,而 *Tilapia mozzambica* 的消化率则在体重较大时较高,多数作者发现体重对消化率没有产生影响(Pandian, 1967; Wallace, 1973; Elliott, 1976; Staples *et al.*, 1976; Vivekanadan, 1977; Lassuy, 1984; Cui *et al.*, 1988; Du Preez *et al.*, 1988; Cockcroft *et al.*, 1989)。

温度对消化率的影响随鱼种不同而不尽相同,多数鱼类的消化率随温度升高而增大(Brocksen *et al.*, 1974; Elliott, 1976; 谢小军, 1993),Cui等(1988)报道的 *Phoxinus phoxinus* 的消化率随温度的升高而下降,而Cockcroft等(1989)的报道表明温度对消化率无显著影响。在本研究中,饱食状态下,水温由26.8℃下降至20.1℃时,消化率几乎无变化(变幅:87.50%—87.77%,表2),而由20.1℃下降至14.8℃时,消化率则由87.69%降至84.67%。计算26.8℃、24.4℃和20.1℃下的黑鲷饱食状态下的消化率的平均值为 87.65 ± 0.79 。作者认为在适宜生长温度范围内,在饱食状态下的消化率与温度,体重无关。

有关摄食率对消化率的影响,迄今也无一致结论,日粮水平对于消化率的作用存在着正效应(Cui *et al.*, 1988)、负效应(Solomon *et al.*, 1972; Elliott, 1976; Henken *et al.*, 1985)和无明显影响(Gerking, 1955; Kelso, 1972; Hogendoorn, 1983)三种现象,由表2所列结果可见,黑鲷的消化率随日粮水平的降低而减小。粪便量(kJ/d)与摄食量(kJ/d)之间的回归运算结果表明,二者呈显著的正相关(表2),粪便产量模式(公式2),也支持这一结论。

参 考 文 献

- 谢小军、孙儒泳,1993,南方鲇的排粪量及消化率同日粮水平、体重和温度的关系,海洋与湖沼,24(6):627—632。
Atkinson, J. L., *et al.*, 1984, Evaluation of acid-insoluble ash as an indicator of feed digestibility in rainbow trout (*Salmo gairdneri*), *Can. J. Fish Aquat. Sci.*, 41:1384—1386。
Beamish, F. W. H., 1972, Ration size and digestion in largemouth bass, *Micropterus salmoides* L., *Can. J. Zool.*, 50: 153—164。
Birkett, L., 1969, The nitrogen balance in plaice, Sole and perch, *J. exp. Biol.*, 50:375—386。
Blackburn B., 1968, Sinking rates and dissolution of midwater fish fecal matter. *Mar. Biol.*, 65:135—142。
Bowen N., S. H., 1981, Digestion and assimilation of periphytic detrital aggregate by *Tilapia mossambicus*, *Trans. Am.*

- Fish Soc.*, 110:239—245.
- Braaten, B. R., 1979, Bioenergetics; a review on methodology, In: *Finfish nutrition and fish food technology* (Haliver & Tiews eds.) Heenemann, Berlin, 2:461—504.
- Brett, J. R. and T. D. D. Groves, 1979, Physiological energetics. In: *Fish Physiology* (Hoar, Randal & Bratt eds.), Academic Press, New York, 8:279—352.
- Brocksen, R. W. and J. P. Bagge, 1974, Preliminary investigation on the influence of temperature on food assimilation by rainbow trout, *Salmo gairdneri* R., *J. Fish Biol.*, 6:93—97.
- Buddington, R. K., 1980, Hydrolysis-resistant organic matters a reference for measurement of fish digestive efficiency, *Tran. Am. Fish. Soc.*, 109:653—656.
- Cho, C. Y. et al., 1982, Bioenergetics of salmonid fishes; energy intake expenditure and productivity, *Comp. Biochem. Physiol.*, 73:25—41.
- Cockcroft, et al., 1989, Nitrogen and energy loss via nonfaecal and faecal excretion in the marine teleost, *Lithognathus lithognathus*, *Mar. Biol.*, 101:419—425.
- Cui, Y. and R. L. Woottou, 1988, Bioenergetics of growth of a cyprinid, *phoxinus phoxinus*; the effect of ration, temperature and body size on food, faecal production and nitrogenous excretion, *J. Fish Biol.*, 33:431—443.
- De Silva, S. S. and F. Balbontin, 1974, Laboratory studies on food intake, growth and food conversion of young herring, *Clupea harengus* (L.), *J. Fish Biol.*, 23:675—684.
- Du Preez, Z. Z. and A. C. Cockcroft, 1988, Nonfecal and faecal losses of *pomadasys commersonni* feeding on the surf clam, *Donax srra*, *Comp. Biochem. Physiol.*, 90A:63—70.
- Elliott, J. M., 1976, Energy Losses in the waste products of brown trout (*salmo trutta*), *J. Anim. Ecol.*, 45:561—580.
- Gerking, S. D., 1955, Endogenous nitrogen excretion of bluegill sunfish, *Physiol. Zool.*, 28:283—298.
- Henken, M. C., et al., 1985, The effect of feeding level on apparent digestibility of dietary dry matter, crude protein and gross energy in the fish, *Aquat. Sci.*, 45:1191—1196.
- Hogendoorn, H., 1983, Growth and production of African catfish, *Clarias lazera* ■. Bioenergetic relations of body weight and feeding level. *Aquaculture*, 35:1—17.
- Jobling, M., 1983a, Growth studies with fish—overcoming the problem of size variation, *J. Fish Biol.*, 22:153—157.
- Jobling, M., 1983b, Towards and explanation of specific dynamic action (SDA), *J. Fish Biol.*, 23:549—555.
- Jobling, M., 1986, Mythical models of gastric emptying and implication for food consumption studies, *Cutshop. Environ. Biol. Fish.*, 16:35—50.
- Jobling, M., 1993, Bioenergetics; feed intake and energy partitioning. In: *Fish Ecophysiology* (Rankin, J. C. & Jensen, F. B. eds.) Chapman & Hall.
- 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.*, 29:1181—1192.
- Lassuy, D. R., 1984, Diet, intestinal morphology, and nitrogen assimilation efficiency in the damselfish, *Stegastes lividus* in Guam, *Envir. Biol. Fish.*, 10:183—193.
- Li, J. et al. 1997, Effect of ration, temperature and body weight on growth of black porgy, *Sparus macrocephalus* B., *Chin. J. Oceanol. Limnol.*, 15(4):289—295.
- Pandian, T. J., 1967, Intake, digestion, absorption and conversion of food in the fishes *Megalops cyprinoid* and *Ophiocephalus striatus*, *Mar. Biol.*, 1:16—32.
- Pandian, T. J. and M. P. Marian, 1985, Nitrogen contents of food as an index of absorption efficiency in fishes, *Mar. Biol.*, 85:301—311.
- Solomon, D. J. and A. E. Brafield 1972, The energetics of feeding, Metabolism and growth of perch (*Perca fluviatilis*), *J. Anim. Ecol.*, 41:699—718.
- Staples D. J. and M. Nomara, 1976, Influence of body size and food ration on the energy budget of rainbow trout, *Salmo gairdneri*, *R. J. Fish Biol.*, 9:29—43.
- Targett, T. E., 1979, The effect of temperature and body size on digestive efficiency in *Fundulus heteroclitus* (L.) J.

- exp. mar. Biol. Ecol.*, 38:179—186.
- Vivekanadan E. ,1977, Surface activity and food utilization in the obligatory airbreath in fish *Ophiocephalus striatus* as a function of body Weight, *Hydrobiologia*, 55:99—112.
- Wallace, J. C. ,1973, Observation on the relationship between the food consumption and metabolic rate of *Blennius pholis* L. *Comp. Biochem. Physiol.* , 45A:293—306.
- Winberg, G. G. ,1956, Rate of metabolism and food requirements of fishes, *Fish. Res. Bd can. Transl. Series.* , 194, 1960.
- Windell, J. T. , et al. ,1978, Effect of fish size, temperature, and amount fed on nutrient digestibility of a pellet diet by rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *Trans. Am. Fish. Soc.* , 107:613—616.

EFFECT OF RATION LEVELS ON ENERGY LOSSES IN FAECES OF YOUNG BLACK PORGY, *SPARUS MACROCEPHALUS**

Li Jun** , Ma Daoyuan** , Shen Pangyou*** , Xiao Zhizhong** , Xu Shihong**

(** Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences)

(*** Ningbo Fisheries Institute)

ABSTRACT

Feeding-growth experiments on young black porgy (*Sparus macrocephalus* B. , 4.17—69.05g, initial weight) were carried out at four ration levels from starvation to satiation and four temperatures ranging from 14.8 to 26.8°C. Faeces collected with siphon were measured with oxygen bomb calorimeter. The fecal production increased with ration level and energy losses in faeces per unit food intake decreased with increasing food consumption. Digestibility correlated positively to ration level. The prediction model of energy losses in faeces involving the water temperature, food consumption and body weight, is given below as:

$$\ln F = 2.36 + 3.08 \ln C - 0.43 \ln C \ln W + 0.12 \ln C \ln W \ln T - 0.74 \ln C \ln T + 0.13 \ln W \ln T$$

($R^2 = 0.98$, $P < 0.0001$)

* Contribution No. 3333 from the Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences.