

温度、日粮水平和体重对黑鲷幼鱼 排泄能的影响^{*}

李 军 薛玉平 徐长安

(中国科学院海洋研究所) (青岛教育学院) (福建省水产厅)

动物代谢的主要能源物质为脂肪、碳水化合物和蛋白质,前两者在体内可以完全氧化而生成二氧化碳和水,而蛋白质的代谢终产物是氨、尿素和其它含氮化合物,它们是含能物质。鱼类蛋白质的含氮代谢物质主要通过鳃排出,少量通过尿液排出(Beamish *et al.*, 1984),这种排泄物的能量损失也称为非粪便失能。

鱼类非粪便失能的测定方法主要是直接测定鱼的氨及尿素排泄量,然后通过氨及尿素的含能量来计算;另一种方法是通过氮收支方程来间接估计排泄物的能量损失(Gerking, 1955; Savitz, 1971; Savitz *et al.*, 1977; Lwata, 1970; Porter *et al.*, 1987), Braaten(1979), Bower 等(1980), Cameron 等(1983), Brafield(1985)和 Knights(1985)对鱼类排泄量的各种测定方法进行了介绍和综述。本研究是应用氮收支方法来间接估算黑鲷的排泄能损失。这对于探讨鱼类对蛋白质的利用效率及代谢产物对养殖水环境的影响都具有一定的指导意义。

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 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,用拧干的沙布裹住鱼体,以吸除鱼

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 3337 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。

体表面水分,鱼体的重量用精度为 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的饵料,饱食日粮组的每次投喂量为实际摄食量的 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,按上述方法留取于样备测。

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。

氮摄取、粪便氮及氮生长利用 Pekin-Elmen 240 型元素分析仪测定相应样品得出,根据氮收支方程 $C_N = F_N + U_N + G_N$ (C_N :氮摄取, F_N :粪便氮, U_N :氮排泄, G_N :氮生长) 得出氮排泄 $U_N = C_N - F_N - G_N$ 。设氮排泄产物中氨氮占 80%,尿素氮占 20%,根据如下参数:氨为 24.85J/mgN,尿素为 23.05J/mgN,便能计算出黑鲷幼鱼的排泄能值。

二、结 果

在同一温度下,按不同日粮水平对排泄物中的氮含量及其占摄入氮的百分比和能量含量进行统计计算(表 1)。在各个温度组中,排泄氮(mg/g·d)和排泄物含能量(J/g·d)

表 1 不同日粮水平下黑鲷幼鱼的能量及氮排泄

平均水温 (℃)	起始体重 (g)	样品数 (个)	摄食量氮		排泄量(占摄食量百分比,%)	
			[mg/(g·d)]	能量[J/(g·d)]	氮[mg/(g·d)]	能量[J/(g·d)]
26.8	7.71±0.91	6	7.52±0.24	510.18±10.99	50.20±2.16a	4.65±0.51x
	6.42±1.60	6	6.45±1.24	396.22±78.63	56.17±3.48b	6.15±0.090y
	6.72±1.50	6	3.24±0.21	196.25±12.98	70.94±2.89c	7.74±0.78z
24.4	24.04±4.58	6	7.09±0.77	541.00±41.87	59.80±4.01a	6.65±0.95x
	21.23±4.86	6	3.80±0.59	272.21±42.87	50.79±1.83b	4.37±0.66y
	19.39±5.49	6	2.60±0.56	179.81±38.67	50.58±0.02c	6.13±0.55z
20.1	39.73±11.50	6	5.27±1.26	429.13±55.68	60.81±1.72a	6.75±0.43x
	36.25±7.46	6	4.05±0.31	281.78±21.70	55.76±0.98b	5.96±0.25y
	40.39±5.49	6	2.32±0.10	153.37±4.18	60.34±2.39c	6.69±0.65z
14.8	49.03±9.79	6	2.99±0.51	235.45±40.82	78.70±1.21a	7.28±1.01x
	58.58±8.81	6	2.43±0.16	180.87±12.23	80.62±1.05b	8.59±0.26y
	52.14±11.11	6	1.47±0.11	105.20±9.40	96.59±5.62c	10.24±1.39z

注:同一温度组内不同日粮水平下检验表明,数值旁标有不同字母的均值在 0.05 水平上差异显著。

均随日粮水平的提高而增大。在饱食状态下,单位体重氮排泄和排泄能在 24.4℃ 时最大,

然后随温度下降而减小,停食状态下的排泄率基本呈随温度下降而减小的趋势。排泄氮占摄入氮的百分比(在饱食状态下)为 50.20—78.70,此百分比随日粮水平的降低未呈现一致的变化。以排泄量(U ;kJ/d)为因变量,摄入食物量(C ;kJ/d)为自变量,应用方程

$$U=a+bC \quad (1)$$

进行回归运算,发现二者之间呈现显著的直线正相关(表 2,图 1)。

表 2 黑鲷排泄率与摄食量的关系

平均水温 ($^{\circ}\text{C}$)	起始体重(g) 平均值 $\pm$ 标准误		样品数 (个)	$U=a+bC$			
				$a\pm$ 标准误	$b\pm$ 标准误	r	p
26.8	7.09	1.50	22	0.0641 ± 0.0107	0.0366 ± 0.0032	0.9313	<0.0001
24.4	22.00	6.46	24	0.569 ± 0.0398	0.0572 ± 0.0045	0.9379	<0.0001
20.1	39.51	11.17	24	0.1452 ± 0.0419	0.0558 ± 0.0036	0.9580	<0.0001
14.8	52.70	11.56	24	0.2905 ± 0.0360	0.0543 ± 0.0038	0.9498	<0.0001

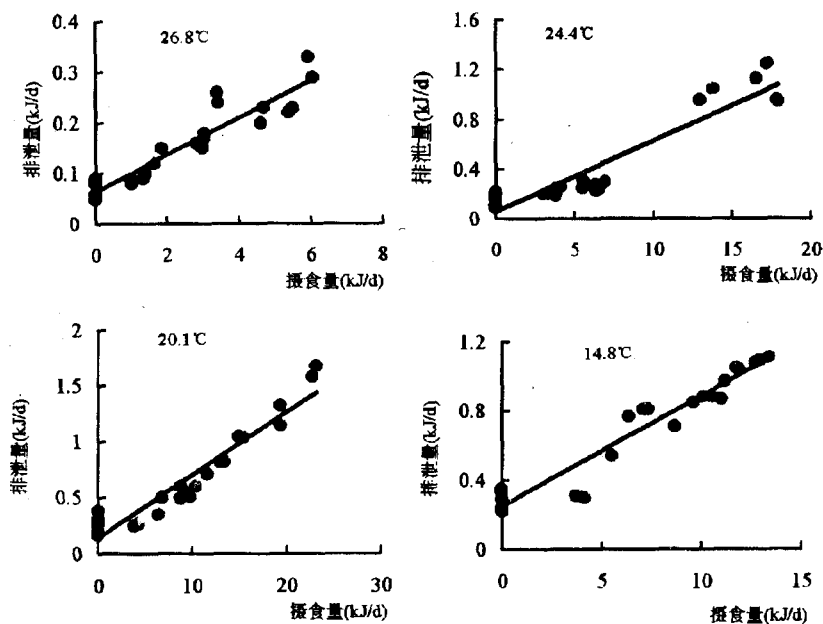


图 1 黑鲷的排泄能(U ;kJ/d)与摄食量(C ;kJ/d)的关系

在 24.4 $^{\circ}\text{C}$ 、20.1 $^{\circ}\text{C}$ 和 14.8 $^{\circ}\text{C}$ 条件下,对停食状态下的排泄量(U_0 ;kJ/d)和体重(W ;g)进行回归运算,根据公式:

$$\ln U_0 = a + b \ln W \quad (2)$$

得出其相关关系(表 3), b 值的变幅为 0.5612—0.7739,这说明,单位体重排泄量随体重增长而呈下降趋势。经检验,不同温度组之间 b 值差异显著($P<0.05$)。

表 3 停食状态下黑鲷的排泄率与体重的关系

平均水温 (℃)	起始体重(g) 平均值±标准误		样品数 (个)	$\ln U_0 = a + b \ln W$			
				$a \pm$ 标准误	$b \pm$ 标准误	r	p
24.4	23.35	8.88	6	-3.9880±0.4123	0.7168±0.1368	0.9343	<0.0001
20.1	41.73	12.32	6	-4.1797±0.3966	0.7739±0.1083	0.9630	<0.0001
14.8	51.04	13.64	6	-3.4291±0.2043	0.5612±0.0528	0.9828	<0.0001

以摄食量(C :kJ/d)、体重(W :g)和温度(T :℃)及其可能的交互项作为自变量,对排泄能(U :kJ/d)进行逐步回归,结果得出

$$U = 0.0098 + 0.0539C + 0.0087W - 0.0003WT \quad (3)$$

$$(N=94, r^2=0.9322, F:427.462, P<0.0001)$$

T 值表明摄食量与排泄量的关系较密切,其次是体重。

三、讨 论

与哺乳动物利用大量的碳水化合物和脂肪有所不同,鱼类通常是利用较多的蛋白质作为能源,同时将含氮代谢产物排出体外的能力较强。鱼类的代谢产物主要是 $\text{NH}_3\text{-N}$, 其次是尿素,另外还有少量的肌酸、氨基酸等(Brafield, 1985), 其中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 是硬骨鱼类的主要代谢产物,在淡水鱼中, $\text{NH}_3\text{-N}$ 占总排泄氮的 80%—90%(Brett *et al.*, 1975), 海水鱼类约占排泄总氮的 71%—90%(Wood, 1958; Jobling 1981; Tatrai, 1981; Fivelstad *et al.*, 1990; Kikuchi *et al.*, 1992, 1996; Cockcroft *et al.*, 1989)。本研究设定 Urea-N 占排泄总氮的 80%, 以此估算 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 Urea-N 的量,并根据 Elliott 等(1975)提出的以氨和尿素的形式排泄出 1mg 氮损失的能量分别为 24.85J 和 23.05J 来计算排泄能。由于排泄能在能量收支方程中所占的比重最小,由此产生的误差不会太大。

饥饿鱼的排泄率受营养史影响很大,鱼开始饥饿后,氮排泄率逐渐下降,一般要 1 周左右才能达到稳定水平(崔奕波, 1989)。同时,短期实验结果不能准确地反应鱼类的排泄率水平。

饥饿鱼的排泄率与体重的关系较为密切,可用幂函数来表达二者的相关关系,体重指数一般在 0.53—0.94 之间(Cui *et al.*, 1988; Elliott, 1976b)。黑鲷在饥饿状态下的排泄能在 24.4℃、20.1℃和 14.8℃时与体重亦呈双对数直线关系,体重指数变幅为 0.56—0.77,这表明单位体重排泄能随体重的增长而减小。一般情况下,排泄率随温度的增长而呈指数增长,可表示为 $\ln U_0 = a + bT$, 温度对排泄率的影响似乎与其对其它生物过程的影响相似(Jobling, 1981)。但在有些鱼中,排泄率在某一温度范围内与温度变化无关。在本研究中未发现黑鲷饥饿时排泄率随温度而有规律的变化。

影响摄食鱼排泄率的因子主要有摄食量、食物的组成、体重和温度等。黑鲷在摄食状态下,其排泄率与摄食量呈线性正相关,这与其它鱼类的研究结果一致(Elliott, 1976b; Savitz *et al.*, 1977; Beamish, 1984; Cui, *et al.*, 1988)。食物的生化组成对摄食鱼的排泄率有显著影响,其相关因子如食物的蛋白质含量、蛋白质:能量比率以及氨基酸组成等是非常重要的,当鱼类摄食富含蛋白质食物,或氨基酸组成无助于蛋白质合成和生长时,排泄

率会较高(Cho *et al.*, 1985);鱼类摄食含有 40%左右蛋白质的食物时,约有 30%—50%的摄取氮可能作为排泄产物损失掉(Brett *et al.*, 1979; Jobling, 1981; Ramnarine *et al.*, 1987)。由于本实验所用饵料(玉筋鱼)蛋白质含量较高(56%左右),加之冰冻饵料的营养失衡,黑鲷的排泄 N 可占摄取氮的 56%—78%(饱食状态下)。

在黑鲷的排泄能与摄食量、体重、温度的相关方程中(公式 3),对其影响最大、关系最密切的是摄食量,其次是体重,温度作用最小。多数研究者认为温度是影响排泄率,特别是氨排泄率的重要因子(Savitz, 1971; Elliott, 1976a; Brett *et al.*, 1979; Paulson, 1980; Tatrai, 1981; Brett *et al.*, 1975; Cui, *et al.*, 1988)。Lithognathus Lithognathus 的氨排泄率的温度依赖性表现在摄食鱼的 Q_{10} 值为 2.0(15—25℃)(Cockcroft *et al.*, 1989), Brett 等(1975)认为温度对尿素排泄率无显著影响。在 Cockcroft 等(1989)的研究结果中表明,体重对摄食鱼的氨排泄率具有显著的影响,在公式 $U = aW^b$ 中(此处 U 为氨排泄率),体重指数为 0.589—0.635,其它类似结果的体重指数变幅为 0.47—0.99(Gerking, 1955, Savitz, 1971; Paulson, 1980)。并且认为 b 值不受温度和摄食的影响,崔奕波(1989)认为,真鲷(*Phoxinus phoxinus*)的排泄率受体重的影响较小,由于有关这方面的报道较少,迄今尚无一致结论。

参 考 文 献

- 崔奕波, 1989, 鱼类生物能量学的理论和方法, 水生生物学报, **13**(4): 369—381。
- Beamish, F. W. H. and Thomas, E., 1984, Effect of dietary protein and lipid on nitrogen losses in rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *Aquaculture*, **41**: 359—371.
- Bower, C. E. and T. Holm-Hansen, 1980, A salicylate-hypochlorite method for determining ammonia in Seawater, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **37**: 794—809.
- Braaten, B. R., 1979, Bioenergetics: a review on methodology. In: *Finfish nutrition and fish food technology* (Haliver & Tiews eds) **2**: 461—504.
- Brafield, A. E., 1985, Laboratory studies of on energy budgets. In: *Fish energetics: new perspectives* (Tytler, P. and Calow, P. eds) Johns Hopkins Univ. press, 257—281.
- Brett, J. R. and T. D. D. Groves, 1979, Physiological energetics. In: *Fish physiology* (Hoar, Raudal & Brett eds), Academic press, New York, **8**: 279—352.
- Brett, J. R. and C. A. Zala 1975, Daily pattern of nitrogen excretion and oxygen consumption of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) under controlled conditions, *J. Fish. Res. Bd. Can.*, **32**: 2479—2486.
- Cameron, J. N. and N. Heisler, 1983, Studies of ammonia in the rainbow trout: Physicochemical parameters, Acid-basic behaviour and respiratory clearance, *J. Exp. Biol.*, **105**: 107—125.
- Cho, C. Y. and S. J. Kaushik, 1985, Effects of protein intake on metabolizable and net energy values of fish diets In: *Nutrition and feeding in fish* (Cowey, C. B., Mackie, A. M. & Bell, J. G., eds), Academic press, London, 95—117.
- Cockcroft, A. C. and H. H. Du preez, 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. J. Wootton, 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.
- Elliott, J. M. 1976a, Energy losses in the waste products of brown trout (*salmo trutta*)., *J. Anim. Ecol.*, **45**: 561—580.
- Elliott, J. M., 1976b, The energetics of feeding metabolism and growth of brown trout (*salmo trutta*) in relation to body weight water temperature and ration size, *J. Anim. Ecol.*, **45**: 923—948.
- Elliott J. M. J. and W. Davison, 1975, Energy equivalents of oxygen consumption in animal energetics, *Oecologia*, 19—195—204.

- Fivelstad, S. et al., 1990, Metabolic production rates from Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and Arctic char (*Salvelinus alpinus* L.) reared in single pass Land-based brackish water and sea-water systems, *Aqua. Eng.*, **9**: 1—21.
- Gerking S. D., 1955, Endogenous nitrogen excretion of bluegill sunfish, *physiol. Zool.*, **28**: 283—298.
- Iwata, K., 1970, Relationship between food and growth in young crucian carps, *Carassius auratus*, as determined by the nitrogen balance, *Jap. J. Limnol.*, **30**: 129—151.
- Jobling, M., 1981, The influence of feeding on the metabolic of fish; a short review, *J. Fish Biol.*, **18**: 385—400.
- Kikuchi, K. et al., 1992, Nitrogenous excretion of juvenile and young Japanese flounder, *Nippon suisan Gakkaishi*, **58**: 2329—2333.
- Kikuchi, K. et al., 1996, Nitrogenous excretion of marine teleosts, red sea bream, puffer fish, and scorpaenid fish, *Suisanzoshoku*, **44**: 471—477.
- Knights, B., 1985, Energetics and fish farming, In: *Fish Energetics: New Perspectives*. (Tytler, P. & Calon, P., eds) Croom Helm, London, 309—349.
- Paulson, L. J., 1980, Models of ammonia excretion for brook trout (*Salvelinus fontinalis*) and rainbow trout (*Salmo gairdneri*), *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **37**: 1421—1425.
- Porter, C. B. et al., 1987, Ammonia excretion and total budget for gilthead seabream (*Sparus aurata*) and its effect on water quality conditions, *Aquaculture*, **66**: 287—297.
- Ramnarine, I. W. et al., 1987, The influence of ration size and feeding frequency on ammonia excretion by juvenile Atlantic cod, *Gadus morhua* L., *J. Fish Biol.*, **31**: 545—559.
- Savitz, J., 1971, Nitrogen excretion and protein consumption of the bluegill sunfish (*Lepomis macrochirus*), *J. Fish. Res. Bd. Can.*, **28**: 449—451.
- Savitz, J., et al., 1977, Effect of ration level on nitrogen excretion nitrogen retention and efficiency of nitrogen utilization for growth in largemouth bass (*Micropterus salmoides*), *J. Fish Biol.*, **11**: 185—192.
- Tatrai, I., 1981, Diurnal pattern of the ammonia and urea excretion of feeding and starved bream, *Abramis brama* L., *Comp. Biochem. physiol.*, **70A**: 211—215.
- Wood, J. D., 1958, Nitrogen excretion in some marine teleosts, *Can. J. Biochem. Physiol.*, **36**: 1237—1242.

EFFECT OF TEMPERATURE, RATION LEVEL, AND BODY WEIGHT ON EXCRETION IN YOUNG BLACK PORGY, *SPARUS MACROCEPHALUS**

Li Jun

(Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences)

Xue Yuping

(Qingdao Education College)

Xu Changan

(Fisheries Department of Fujian Province)

ABSTRACT

Feeding-growth experiments on young black porgy (*Sparus macrocephalus* B.,

* Contribution No. 3337 from the Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences.

4.17—69.05g initial weight) were carried out at four ration levels from starvation to satiation and four temperatures ranging from 14.8°C to 26.8°C. Nitrogen excretion was calculated from the nitrogen budget ($C_N = F_N + U_N + G_N$). At starvation, the energy losses in excretion correlated to body weight in multiple function and the coefficient b ranged from 0.56—0.77. In feeding fish, the relationships between excretion and food consumption were positive linear functions. Stepwise regression yielded the prediction model for energy excretion as:

$$U = 0.0098 + 0.0539C + 0.0087W - 0.0003WT \quad (r^2 = 0.9322, P < 0.0001)$$