

体重对斜带石斑鱼能量收支的影响

彭树锋¹ 王云新^{1,2} 叶富良¹ 张海发²

(1. 广东海洋大学水产学院, 湛江 524025; 2. 广东省大亚湾水产试验中心, 惠州 516081)

EFFECTS OF BODYWEIGHT ON ENERGY BUDGET OF EPINEPHELUS COIOIDES

PENG Shu-Feng¹, WANG Yun-Xin^{1,2}, YE Fu-Liang¹ and ZHANG Hai-Fa²

(1. Fisheries College, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524025; 2. Guangdong Daya Bay Fisheries Development Center, Huizhou 516081)

关键词: 能量收支; 体重; 斜带石斑鱼

Key words: Energy budget; Body weight; *Epinephelus coioides*

中图分类号: Q175 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2008)06-0934-07

鱼类能量学是研究能量在鱼体内转换的学科,其核心问题之一是能量收支各组分之间的定量关系及其各种因子(如温度^[1-5]、盐度^[6]、体重^[7-11]、性别^[12]、摄食水平^[13-18]、饵料种类^[19,20]等)的影响作用。欧美等发达国家对鱼类能量学研究起步较早,迄今已经初步建立了多种鱼类的能量收支模式^[21,22];国内在该领域较系统的研究起始于 90 年代初^[23-25],主要局限于淡水鱼类,近年来又对海水鱼类进行了大量研究^[26]。

斜带石斑鱼(*Epinephelus coioides*)俗称青斑,为暖水性中下层鱼类,是广东省海水网箱养殖的主要品种之一。斜带石斑鱼分布于西太平洋的硫球群岛、澳大利亚以及贝劳和菲济群岛的东部,常栖息于大陆沿岸和大岛屿,但在河口和离岸 100m 深的水域中也可发现^[27]。通过本研究将有助于揭示海洋暖水性中下层鱼类的能量学特征。

1 材料与方法

1.1 材料来源与驯养 实验用斜带石斑鱼,采自广东省大亚湾水产试验中心。实验用斜带石斑鱼经淡水浸泡 10min 后,置于室内容积 0.5t 桶内驯养,待摄食和生长趋于正常后,开始实验。驯化时间为 30d。实验于 2006 年 10—11 月在广东省大亚湾水产试验中心进行。

1.2 实验装置和方法 实验采用室内流水模拟测定法。实验水槽内流水速率的调节,以槽内水体中 DO、NH₄-N、pH 值

和盐度等化学指标与自然海水无显著差别为准,一般流速 > 6m³/d;实验海水经沉淀和砂滤处理。实验利用自然海水温度的相对稳定性,在自然水温下进行;实验温度为 20—24℃;实验中采用自然光照周期。盐度 30‰—33‰,pH 7.9—8.2,DO > 6mg/L,氨氮 < 2mg/L,亚硝酸氮 < 0.02mg/L。每日换水量相当于养殖水体的 12 倍。养殖期间 24h 连续充气。每天 9:00 和 17:00 投喂海马牌鲷人工配合饲料,至鱼不再抢食时停止投喂,记录投饵量,投饵后立即清除残饵。每天 7:00 和 15:00 收集粪便,于 70℃ 低温烘干。采用 4 组不同体重的斜带石斑鱼进行比较实验,其均值分别为 (32.4 ± 4.3) g、(110.1 ± 14.4) g、(204.4 ± 16.7) g 和 (320.7 ± 19.2) g。实验在 0.5m³ 的圆柱形水槽中进行;每个体重实验组中设 4 个平行组,每组中实验个体数 2—5 尾,实验周期为 15d。斜带石斑鱼及饵料生物的生化组成中,比能值是采用能量计直接测定,总氮是以凯氏定氮法测得,脂肪采用索氏抽提法测得,灰份由马福炉灰化测得。

1.3 结果计算 能量收支分配模式采用 Warren 和 Davis 提出的能量在鱼体内转换的基本模型^[28]: $C = F + U + R + G$,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。摄食能 (C) = 摄食量 × 饲料能量含量;排粪能 (F) = 排粪量干重 × 粪便能量含量;排泄能根据氮收支式^[29]计算: $U = (C_N - F_N - G_N) \times 24.8$,式中 C_N 为从食物中获取的氮; F_N 为粪便中损失的氮; G_N 为鱼体中积累的氮; 24.8 为每克氮

收稿日期: 2007-03-22; 修订日期: 2008-01-12

基金项目: 广东省科技计划项目 (2005B20301027) 资助

作者简介: 彭树锋 (1980—), 男, 河北沧州人; 硕士研究生; 研究方向为水产经济动物生物学及种苗工程。E-mail: pengshufeng777@163.com

通讯作者: 王云新 (1958—), 男, 广东龙川人; 高级工程师; Tel: 0752-5577234; E-mail: hzgdfdc@pub.huizhou.gd.cn

氮的能值 (kJ)。这里假定氮是唯一的氮排泄物。生长能 (G) = 终末体重 × 终末能量含量 - 初始体重 × 初始能量含量; 代谢能根据能量收支式计算: $R = C - F - U - G$; 同化能 $A = C - F - U$ 。

摄食率 FR (% / d)、特定生长率 SGR (% / d)、吸收率 FAE (%)、饲料转化效率 FCE (%) 的计算方式参照文献 [18, 30]。湿重摄食率 $FR_w = 100 \times \text{摄食量} / [(\text{初始体重} + \text{终末体重}) / 2] \times \text{实验天数}$; 干重摄食率 $FR_d = 100 \times \text{摄食量} \times \text{饲料干重比} / [(\text{初始体重} + \text{终末体重}) / 2] \times \text{实验天数}$; 蛋白质摄食率 $FR_p = 100 \times \text{摄食量} \times \text{饲料蛋白质含量} / [(\text{初始体重} + \text{终末体重}) / 2] \times \text{实验天数}$; 能量摄食率 $FR_e = 100 \times \text{摄食量} \times \text{饲料能量含量} / [(\text{初始体重} + \text{终末体重}) / 2] \times \text{实验天数}$; 湿重特定生长率 $SGR_w = 100 \times [\ln(\text{终末体重}) - \ln(\text{初始体重})] / \text{实验天数}$; 干重特定生长率 $SGR_d = 100 \times [\ln(\text{终末体重} \times \text{终末干重比}) - \ln(\text{初始体重} \times \text{初始干重比})] / \text{实验天数}$; 蛋白质特定生长率 $SGR_p = 100 \times [\ln(\text{终末体重} \times \text{终末蛋白质含量}) - \ln(\text{初始体重} \times \text{初始蛋白质含量})] / \text{实验天数}$; 能量特定生长率 $SGR_e = 100 \times [\ln(\text{终末体重} \times \text{终末能量含$

量) $- \ln(\text{初始体重} \times \text{初始能量含量})] / \text{实验天数}$; 干重吸收率 $FAEd = 100 \times (\text{摄食量} \times \text{饲料干重比} - \text{排粪量干重}) / \text{摄食量} \times \text{饲料干重比}$; 蛋白质吸收率 $FAEp = 100 \times (\text{摄食量} \times \text{饲料蛋白质含量} - \text{排粪量干重} \times \text{粪便蛋白质含量}) / \text{摄食量} \times \text{饲料蛋白质含量}$; 能量吸收率 $FAEe = 100 \times (\text{摄食量} \times \text{饲料能量含量} - \text{排粪量干重} \times \text{粪便能量含量}) / \text{摄食量} \times \text{饲料能量含量}$; 饲料湿重转化效率 $FCE_w = 100 \times (\text{终末体重} - \text{初始体重}) / \text{摄食量}$; 饲料干重转化效率 $FCE_d = 100 \times (\text{终末体重} \times \text{终末干重比} - \text{初始体重} \times \text{初始干重比}) / \text{摄食量} \times \text{饲料干重比}$; 饲料蛋白质转化效率 $FCE_p = 100 \times (\text{终末体重} \times \text{终末蛋白质含量} - \text{初始体重} \times \text{初始蛋白质含量}) / \text{摄食量} \times \text{饲料蛋白质含量}$; 饲料能量转化效率 $FCE_e = 100 \times (\text{终末体重} \times \text{终末能量含量} - \text{初始体重} \times \text{初始蛋白质含量}) / \text{摄食量} \times \text{饲料能量含量}$ 。SPSS14.0 统计分析软件进行数据分析。

2 结 果

2.1 生化组成的测定

斜带石斑鱼、斜带石斑鱼粪便和饲料的生化组成见表 1。

表 1 斜带石斑鱼、斜带石斑鱼粪便和饲料的生化组成
Tab. 1 Biochemical composition of *Epinephelus coioides* feces and feed

	水分 (%)	蛋白 (% D.W.)	脂肪 (% D.W.)	灰分 (% D.W.)	比能值 (kJ/g D.W.)
生物体 *	70.61	54.86	24.79	15.19	24.93
粪便	/	28.67	1.39	34.37	9.24
饵料	2.38	56.39	14.75	9.75	21.27

* 为斜带石斑鱼全鱼; D.W., 干重; W.W., 湿重
* The whole body of *Epinephelus coioides*; D.W., Dry weight; W.W., Wet weight

2.2 摄食、生长及其体重的影响

由表 2 可以看出,斜带石斑鱼体重增长量 ($W = FBW - BW$) 和吸收率 (FAE) 随体重的增大而增大; 摄食率 (FR)、特定生长率 (SGR) 和饲料转化效率 (FCE) 随随体

重的增大而减小。摄食率 (FR)、特定生长率 (SGR)、吸收率 (FAE)、饲料转化效率 (FCE) 和体重的关系均可用线性方程定量描述: (FR 、 SGR 、 FAE 、 FCE) = $a + b \ln W$, 回归系数列于表 3。

表 2 不同体重下斜带石斑鱼的生长及饲料利用率
Tab. 2 Growth performance of *Epinephelus coioides* in different weight

	(32.4 ±4.3) g	(110.1 ±14.4) g	(204.4 ±16.7) g	(320.7 ±19.2) g
BW (g)	32.4 ±4.3 ^a	110.1 ±14.4 ^b	204.4 ±16.7 ^c	320.7 ±19.2 ^d
FBW (g)	39.1 ±4.1 ^a	123.5 ±14.7 ^b	221.8 ±17.2 ^c	346.3 ±19.2 ^d
FR _w (% / d)	10.15 ±0.35 ^a	7.04 ±0.18 ^b	5.75 ±0.23 ^c	5.52 ±0.82 ^c
FR _d (% / d)	9.91 ±0.35 ^a	6.88 ±0.17 ^b	5.62 ±0.23 ^c	5.39 ±0.80 ^c
FR _p (% / d)	5.59 ±0.20 ^a	3.88 ±0.10 ^b	3.17 ±0.13 ^c	3.04 ±0.45 ^c
FR _e (% / d)	210.76 ±7.33 ^a	146.21 ±3.73 ^b	119.46 ±4.87 ^c	114.63 ±17.18 ^c
SGR _w (% / d)	1.27 ±0.08 ^a	0.76 ±0.02 ^b	0.55 ±0.03 ^c	0.52 ±0.08 ^c
SGR _d (% / d)	1.16 ±0.19 ^a	0.92 ±0.15 ^{ab}	0.69 ±0.16 ^{bc}	0.48 ±0.19 ^c
SGR _p (% / d)	1.13 ±0.26 ^a	0.85 ±0.11 ^b	0.77 ±0.16 ^{bc}	0.54 ±0.12 ^c
SGR _e (% / d)	1.20 ±0.12 ^a	0.84 ±0.17 ^b	0.61 ±0.12 ^c	0.48 ±0.10 ^c
FAEd (%)	92.86 ±0.26 ^a	94.55 ±0.25 ^b	95.95 ±0.21 ^c	96.29 ±0.17 ^c
FAEp (%)	95.26 ±0.05 ^a	96.78 ±0.05 ^b	98.29 ±0.15 ^c	98.68 ±0.06 ^d

续表

	(32.4 ±4.3) g	(110.1 ±14.4) g	(204.4 ±16.7) g	(320.7 ±19.2) g
FAEe (%)	96.27 ±0.16 ^a	97.36 ±0.12 ^b	98.44 ±0.12 ^c	98.73 ±0.08 ^d
FCEw (%)	123.48 ±3.33 ^a	108.69 ±1.08 ^b	94.57 ±2.69 ^c	92.99 ±1.80 ^c
FCEd (%)	34.76 ±0.29 ^a	31.04 ±0.42 ^b	27.66 ±1.02 ^c	26.91 ±0.31 ^c
FCEp (%)	34.75 ±0.31 ^a	31.02 ±0.44 ^b	27.62 ±1.14 ^c	26.61 ±0.33 ^d
FCEe (%)	42.85 ±0.89 ^a	37.85 ±1.09 ^b	34.24 ±2.26 ^c	33.10 ±0.48 ^c

注:平均值后上标字母不同者表示有显著差异 ($p < 0.05$); *BW*, 初始体重; *FBW*, 终末体重
Note: Means with different superscriptions are significantly different ($p < 0.05$); *BW*, Initial body weight (g); *FBW*, Final body weight (g)

表 3 斜带石斑鱼的摄食率 (FR)、特定生长率 (SGR)、吸收率 (FAE) 和饲料转化效率 (FCE)与体重 (W)
回归关系 (FR、SGR、FAE、FCE = a + bLnW)的回归系数

Tab. 3 Coefficients regression models(*FR*, *SGR*, *FAE*, *FCE* = a + bLn*W*) relating rate of *FR*, *SGR*, *FAE*, *FCE* to *W* for *Epinephelus coioides*

	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>n</i>	<i>R</i> ²	<i>p</i>
<i>FR</i> _w	17.275	- 2.1087	16	0.9698	<0.05
<i>FR</i> _d	16.864	- 2.0585	16	0.9698	<0.05
<i>FR</i> _p	9.5094	- 1.1608	16	0.9698	<0.05
<i>FR</i> _e	358.58	- 43.763	16	0.97	<0.05
<i>SGR</i> _w	2.4231	- 0.3428	16	0.9684	<0.05
<i>SGR</i> _d	2.2065	- 0.2898	16	0.9576	<0.05
<i>SGR</i> _p	1.9728	- 0.2392	16	0.9512	<0.05
<i>SGR</i> _e	2.2972	- 0.3151	16	0.9982	<0.05
<i>FAE</i> _d	87.413	1.5562	16	0.985	<0.05
<i>FAE</i> _p	89.766	1.5539	16	0.9774	<0.05
<i>FAE</i> _e	92.339	1.1123	16	0.9792	<0.05
<i>FCE</i> _w	172.81	- 14.092	16	0.9711	<0.05
<i>FCE</i> _d	47.306	- 3.5735	16	0.9804	<0.05
<i>FCE</i> _p	47.676	- 3.6694	16	0.9834	<0.05
<i>FCE</i> _e	58.144	- 4.3875	16	0.9914	<0.05

2.3 排粪、氮收支及排泄能和总代谢能的估算

2.3.1 排粪率、排泄率与摄食率的关系

由图 1和图 2可以看出,斜带石斑鱼的排粪率和排泄率随摄食率的增加而增加,其排粪率 (*Fe*, kJ/kg · d)与摄食率

(*Fre*, kJ/kg · d)及排泄率 (*Ue*, kJ/kg · d)与摄食率 (*Fre*, kJ/kg · d)的关系可分别用下述线性方程表达:

$$Fe = 0.0639Fre - 5.6822 (N = 16, R^2 = 0.9641)$$
$$Ue = 0.0495Fre + 2.8415 (N = 16, R^2 = 0.9832)$$

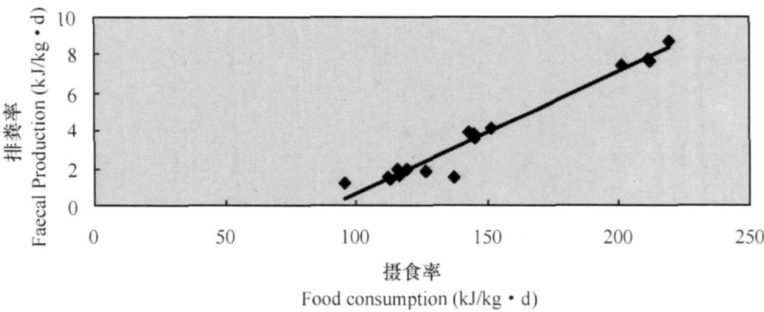


图 1 斜带石斑鱼排粪率与摄食率的关系

Fig. 1 Relationship between daily faecal production and daily food consumption of *Epinephelus coioides*

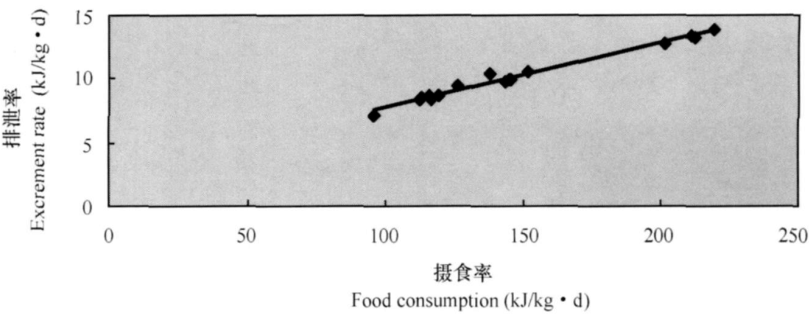


图 2 斜带石斑鱼排泄率与摄食率的关系

Fig.2 Relationship between excrement rate and daily food consumption of *Epinephelus coioides*

2.3.2 氮收支及排泄能估算

通过对斜带石斑鱼从食物中摄取氮、鱼体中积累氮和粪便中损失氮的定量检测,按 Cui, *et al.*^[29]的氮收支式估算了其在不同体重下的排泄氮 (U_N)和排泄能 (U) (表 4)。从表

4可以看出,斜带石斑鱼排泄氮和排泄能随体重增大而减小,二者之间的关系可分别用线性方程 $U_N = - 0.0853\text{Ln}(W) + 0.8206$ ($N = 16, R^2 = 0.8673$)和 $U = - 2.116\text{Ln}(W) + 20.352$ ($N = 16, R^2 = 0.8673$)定量描述。

表 4 不同体重时的斜带石斑鱼氮收支量及排泄能估算结果

Tab.4 Effect of *Epinephelus coioides*' weight on nitrogen budget and excrement energy

体重 Weight(g)	C_N (g/kg · d)	G_N (g/kg · d)	F_N (g/kg · d)	U_N (g/kg · d)	U (kJ/kg · d)
32.4 ±4.3	0.894 ±0.031 ^a	0.318 ±0.012 ^a	0.043 ±0.001 ^a	0.534 ±0.018 ^a	13.23 ±0.44 ^a
110.1 ±14.4	0.620 ±0.016 ^b	0.197 ±0.003 ^b	0.020 ±0.001 ^b	0.403 ±0.013 ^b	10.00 ±0.32 ^b
204.4 ±16.7	0.507 ±0.021 ^c	0.144 ±0.005 ^c	0.009 ±0.001 ^c	0.355 ±0.020 ^c	8.80 ±0.48 ^c
320.7 ±19.2	0.486 ±0.073 ^c	0.133 ±0.019 ^c	0.006 ±0.001 ^d	0.347 ±0.053 ^c	8.62 ±1.32 ^c

2.3.3 总代谢能的估算

在摄食能、生长能、排粪能和排泄能已知前提下,总代谢能可按 Warren^[28]的鱼体内能量转换基本模型求得 (表

5)。斜带石斑鱼的总代谢能随体重的增大呈减小趋势,二者之间的关系可以用线性方程 $R = - 15.056\text{Ln}(W) + 150.24$ ($N = 16, R^2 = 0.8522$)定量描述。

表 5 不同体重时斜带石斑鱼的总代谢能估算结果

Tab.5 Total metabolic energy of *Epinephelus coioides* and their Changes with weight (kJ/kg · d)

体重 Weight(g)	C	G	F	U	R
32.4 ±4.3	210.76 ±7.33 ^a	90.32 ±4.27 ^a	7.87 ±0.54 ^a	13.23 ±0.44 ^a	99.34 ±3.01 ^a
110.1 ±14.4	146.21 ±3.73 ^b	55.31 ±0.37 ^b	3.86 ±0.21 ^b	10.00 ±0.32 ^b	77.05 ±3.49 ^b
204.4 ±16.7	119.46 ±4.87 ^c	40.88 ±2.69 ^c	1.87 ±0.13 ^c	8.80 ±0.48 ^c	67.91 ±4.22 ^c
320.7 ±19.2	114.63 ±17.18 ^c	37.95 ±5.76 ^c	1.45 ±0.15 ^c	8.62 ±1.32 ^c	66.61 ±10.00 ^c

2.4 体重对斜带石斑鱼能量收支模式的影响

依据摄食能、生长能、排粪能、排泄能和总代谢能的定量测定或估算结果及能量收支式 $C = F + U + R + G$, $A = R + G$ 可得到不同体重斜带石斑鱼的能量收支式 (表 6)。从表 6

中的能量分配模式可以看出,斜带石斑鱼的能量收支分配率随体重不同有较显著差异;代谢能分配率和排泄能分配率随体重增大而增加;而生长能分配率和排粪能分配率的变化趋势却恰恰相反。

表 6 体重对斜带石斑鱼能量收支模式的影响

Tab.6 Effects of body weight on energy budget of *Epinephelus coioides*

体重 Weight(g)	$C = F + U + R + G$	$A = R + G$
32.4 ±4.3	100C = 3.73F + 6.28U + 47.15R + 42.85G	100A = 52.39R + 47.61G
110.1 ±14.4	100C = 2.64F + 6.84U + 52.68R + 37.85G	100A = 58.19R + 41.81G
204.4 ±16.7g	100C = 1.57F + 7.36U + 56.83R + 34.24G	100A = 62.40R + 37.60G
320.7 ±19.2	100C = 1.28F + 7.51U + 58.11R + 33.10G	100A = 63.71R + 36.29G

3 讨论

实验结果表明,斜带石斑鱼的摄食率 (FR) 随着鱼体重增加而减小。这一结论已在多种鱼类中得以证实^[31]。曾经有人用相似于静止代谢的“体表面积法则”来解释这一现象,而 Cui, *et al.*^[32]认为,对于最大耗氧量来说,内源性控制比消化道表面积所起的作用更为重要;谢小军^[33]认为,所以会出现这种现象是由于较小的鱼代谢强度较高,能量消耗的强度大,其食欲相对较旺盛的原因。鱼类的特定生长率 (SGR) 一般随体重增加而减小^[34],本实验也得到同样的结果,大个体的生长比小个体的慢。崔奕波^[35]研究的结果发现随着体重的增加并没有造成食物能分配于能量收支各组分比例的变化,而造成特定生长率下降的主要原因可能有两方面:一方面是鱼体代谢值随体重增加而上升;另一方面是摄食率的下降。本文认为摄食率的下降是造成特定生长率随体重增加而减小的主要原因。不同食性的鱼类吸收率 (FAE) 差异较大。肉食性鱼类的吸收率较高,一般为 68%—99%^[36],草食性鱼类,由于食物中含有大量不能消化的成分,其吸收率较低,一般在 22%—87%^[37]。本研究中,斜带石斑鱼为肉食性鱼类,其能量吸收率为 96.27%—98.73%,接近肉食性鱼类吸收效率的上限,且吸收率随体重的增大而增大。一般来说,随着鱼类体重的增长,用于维持耗能的比例增加,饵料系数会逐渐增大^[38],饲料转化效率 (FCE) 会逐渐降低,本文也证实了这一结论。

本研究表明,斜带石斑鱼排粪率与摄食率,排泄率与摄食率的关系均为线性,这与许多鱼类的研究结果相似^[8,32,39]。斜带石斑鱼的废物能量损失 ($F+U$) 在 8.79%—10.01% 之间,低于 Elliott^[33] 报道的鳟 (*Salmo trutta*) (25%—30%), Cui and Wootton^[8] 报道的鲈 (*Phoxinus phoxinus*) (11.0%), Cui Y and Liu^[32] 报道的麦穗鱼、鲤、鲫等 6 种鱼类 (10.5%—16.7%)。与朱晓鸣等^[12] 以人工配合饲料喂养的稀有鮗鲫估算的废物能量损失相近 (10%左右)。一般认为,无论是排粪还是氮排泄,都与鱼的种类和食物类型有关。

氮排泄物是蛋白质的代谢终产物,而鱼类的代谢受到诸如鱼类种类、溶氧、体重、温度以及饲料质量等多种因素的影响。因此,在诸多条件都不相同的各个实验中,鱼类的排泄氮占摄食氮的比例差别很大,从 13.3% 到 84.8% 不等,但多数都在 60%—85%^[40—43]。本实验中,排泄氮占摄食氮的比例为 59.73%—71.40%,与上述大多数研究的结果相近。有研究表明,排泄量与摄食量成正比,而体重对排泄量影响相对较小^[7,8,44]。代谢是影响生长能分配的主要因素是海洋鱼类生物能量学的一个重要特征,较有代表性的实验鱼种是鲈和黑鲷。虽然鲈的摄食量较大,但因代谢消耗的能量太多,故其用于生长的能量相对较低;黑鲷的摄食量较低,但它的生长能却比较高,这是因为在摄食能中用于代谢消耗的能量比较少,而能够有更多的能量用于生长^[26]。本研究的结果,表明斜带石斑鱼的代谢能占摄食能的比例为

47.15%—58.11%。与黑鲷和矛尾魮虎鱼相似,斜带石斑鱼从食物中摄取的能量较少用于活动代谢,属于低消耗,高生长型鱼类。

从能量收支模式可知,随体重增大斜带石斑鱼用于生长的能量占摄食能的比例逐渐减小,而排泄能和代谢能的比例却逐渐增加;因此,养殖鱼类成品的体重规格不宜过大,否则不但会增大养殖成本,同时还将增大鱼类养殖自身污染对环境的压力。

参考文献:

- [1] Sun Y, Zhang B, Guo XW, *et al.* Effects of temperature on energy budget of *Sparus macrocephalus* [J]. *Acta Ecol Sin*, 2001, 21(2): 186—190 [孙耀, 张波, 郭学武, 等. 温度对黑鲷 (*Sparus macrocephalus*) 能量收支的影响. 生态学报, 2001, 21(2): 186—190]
- [2] Sun Y, Zheng B, Zhang B, *et al.* Effect of temperature on energy budget of a seafish species, *Sebastes fuscus* [J]. *Acta Ocea Sin* (suppl 2), 2003, 25: 196—201 [孙耀, 郑冰, 张波, 等. 温度对黑鲷能量收支的影响. 海洋学报 (增刊 2), 2003, 25: 196—201]
- [3] Lei S J, Li D S. Effect of temperature on energy budget of Taiwanese red tilapia hybrid (*Oreochromis niloticus* × *O. mossambicus*) [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000, 11(4): 618—620 [雷思佳, 李德尚. 温度对台湾红罗非鱼能量收支的影响. 应用生态学报, 2000, 11(4): 618—620]
- [4] Sun Y, Zhang B, Guo XW, *et al.* Effect of temperature on energy budget of *Pagrosomus major* [J]. *Mar Fish Res*, 1999, 20(2): 54—59 [孙耀, 张波, 郭学武, 等. 温度对真鲷 (*Pagrosomus major*) 能量收支的影响. 海洋水产研究, 1999, 20(2): 54—59]
- [5] Sun L, Chen H, Huang L, *et al.* Effect of temperature on growth and energy budget of juvenile cobia (*Rachycentron canadum*) [J]. *Aquaculture*, 2006, 261: 872—878
- [6] Lei S J, Ye S Z, Li D S, *et al.* Effect of salinity on the energy budget of the Taiwanese red Tilapia hybrids [J]. *J of Huazhong Agricultural University*, 1999, 18(3): 256—259 [雷思佳, 叶世洲, 李德尚, 等. 盐度对台湾红罗非鱼能量收支的影响. 华中农业大学学报, 1999, 18(3): 256—259]
- [7] Sun Y, Zhang B, Guo XW, *et al.* Effect of body weight on energy budget of *Sabastes fuscus* [J]. *Mar Fish Res*, 1999, 20(2): 66—70 [孙耀, 张波, 郭学武, 等. 体重对黑鲷能量收支的影响. 海洋水产研究, 1999, 20(2): 66—70]
- [8] Cui Y, Wootton R J. Bioenergetics of growth of a cyprinid, *Phoxinus phoxinus* (L.): the effect of ration, temperature and body size on food consumption, fecal production and nitrogenous excretion [J]. *Journal of Fish Biology*, 1988, 33: 431—443
- [9] Cui Y, Hung S S O, Zhu X. Effect of ration and body size in the energy budget of juvenile white sturgeon [J]. *Journal of Fish Biology*, 1996, 49: 863—876
- [10] Niimi A J, Beamish F W H. Bioenergetics and growth of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) in relation to body weight

- and temperature [J]. *Canadian Journal of Zoology*, 1974, **52**: 447—456
- [11] Xie X J, Sun R Y. The faecal production and digestibility of the south catfish (*Silurus meridionalis* Chen), in relation to ration level, body weight and temperature [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1993, **24**(6): 627—633
- [12] Zhu X M, Xie S Q, Cui Y B, *et al*. Effect of ration level on growth and energy budget of male and female rare minnow *Gobiorcypris rarus* [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2001, **32**(3): 240—247 [朱晓鸣, 解绶启, 崔奕波, 等. 摄食水平和性别对稀有鮡鲫生长和能量收支的影响. 海洋与湖沼, 2001, **32**(3): 240—247]
- [13] Xian W W, Zhu X H. Effect of ration on energy budget of juvenile bastard halibut *Paralichthys olivaceus* (T. & S.) [J]. *J of Ocean University of Qingdao*, 2001, **31**(5): 695—700 [线薇薇, 朱鑫华. 摄食水平对褐牙鲆幼鱼能量收支的影响. 青岛海洋大学学报, 2001, **31**(5): 695—700]
- [14] Xian W W, Zhu X H. Effect of ration size on the growth and energy budget of the mullet *Liza haematocheila* (T. ESS.) [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2001, **32**(6): 615—619 [线薇薇, 朱鑫华. 摄食水平对梭鱼生长和能量收支的影响. 海洋与湖沼, 2001, **32**(6): 615—619]
- [15] Zhu X M, Xie S Q, Cui Y B. Effect of ration size on the growth and energy budget of the Gibel carp, *Carassius auratus gibelio* [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2000, **31**(5): 471—479 [朱晓鸣, 解绶启, 崔奕波. 摄食水平对异育银鲫生长和能量收支的影响. 海洋与湖沼, 2000, **31**(5): 471—479]
- [16] Sun Y, Zhang B, Tang Q S. Effects of ration level and food Fish strain on energy budget of *Sabastodes fuscescens* [J]. *Marine Fisheries Research*, 2001, **22**(2): 32—37 [孙耀, 张波, 唐启升. 摄食水平和饵料种类对黑鲷能量收支的影响. 海洋水产研究, 2001, **22**(2): 32—37]
- [17] Sun L, Chen H, Huang L, *et al*. Growth, faecal production, nitrogenous excretion and energy budget of juvenile cobia (*Rachycentron canadum*) relative to feed type and ration level [J]. *Aquaculture*, 2006, **259**: 211—221
- [18] Sun L, Chen H, Huang L, *et al*. Growth and energy budget of juvenile cobia (*Rachycentron canadum*) relative to ration [J]. *Aquaculture*, 2006, **257**: 214—220
- [19] Sun Y, Zheng B, Zhang B, *et al*. Effects of ration level and food species on energy budget of *Sparus macrocephalus* [J]. *Marine Fisheries Research*, 2002, **23**(1): 5—10 [孙耀, 郑冰, 张波, 等. 日粮水平和饵料种类对黑鲷能量收支的影响. 海洋水产研究, 2002, **23**(1): 5—10]
- [20] Sun Y, Zhang B, Guo X W, *et al*. Effects of ration level and food species on energy budget of *Pagrosomus major* [J]. *Marine Fisheries Research*, 1999, **20**(2): 60—65 [孙耀, 张波, 郭学武, 等. 日粮水平和饵料种类对真鲷能量收支的影响. 海洋水产研究, 1999, **20**(2): 60—65]
- [21] Cui Y B. Bioenergetics of fishes: theory and methods [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1989, **13**: 369—383 [崔奕波. 鱼类生物能量学的理论与方法. 水生生物学报, 1989, **13**: 369—383]
- [22] Brandt S B, Hartman K J. Innovative approaches with bioenergetics methods: future application to fish ecology and management [J]. *Fish Biol*, 1993, **34**: 47—64
- [23] Cui Y B, Chen S L, Wang S M. Effect of temperature on the energy budget of the grass carp, *Ctenopharyngodon idellus* Val [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1995, **26**(2): 169—174 [崔奕波, 陈少莲, 王少梅. 温度对草鱼能量收支的影响. 海洋与湖沼, 1995, **26**(2): 169—174]
- [24] Cui Y B, Chen S L, Wang S M. Effect of weight on the energy budget of juvenile grass carp, *Ctenopharyngodon idellus* Val [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1995, **20**(suppl): 172—177 [崔奕波, 陈少莲, 王少梅. 体重对草鱼幼鱼生长及能量收支的影响. 水生生物学报, 1995, **20**(增刊): 172—177]
- [25] Xie X. Pattern of energy allocation in the southern catfish, *Silurus meridionalis* [J]. *Fish Biol*, 1993, **42**(2): 197—207
- [26] Tang Q S, Sun Y, Zhang B. Bioenergetics models for seven species of marine fish [J]. *J Fish China*, 2003, **27**(5): 443—449 [唐启升, 孙耀, 张波. 7种海洋鱼类的生物能量学模式. 水产学报, 2003, **27**(5): 443—449]
- [27] Wang Y X, Huang G G, Liufu Y Z, *et al*. Experiment on artificial seeding rearing for *Epinephelus coioides* [J]. *Fishery Modernization*, 2003, **6**: 14—15 [王云新, 黄国光, 刘付永忠, 等. 斜带石斑鱼人工育苗试验. 渔业现代化, 2003, **6**: 14—15]
- [28] Warren C E, Davis G E. Laboratory studies on the feeding, bioenergetics and growth of fish [A]. Gerking S D. The Biological Basis of Fresh water Fish Production [M]. Oxford: Blackwell Scientific Publication. 1967, 175—214
- [29] Cui Y B, Chen S L, Wang S M. Growth and energy budget of young grass carp, *Ctenopharyngodon idella* Val., fed plant and animal diets [J]. *J Fish Biol*, 1992, **41**: 231—238
- [30] Zhou M, Cui Y B, Zhu X M, *et al*. Effect of replacement of fish meal by soybean meal and potato protein concentrate in the diet for gibel carp on growth and energy budget [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2002, **26**(4): 370—377 [周萌, 崔奕波, 朱晓鸣, 等. 豆粕和土豆蛋白替代饲料中鱼粉对异育银鲫生长及能量收支的影响. 水生生物学报, 2002, **26**(4): 370—377]
- [31] Liu Y, Sun Y. Comparing the food consumption, growth and conversion efficiencies of sandlance (*Ammodyte personatus* Girard) between two weight groups [J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2005, (1): 73—78 [刘勇, 孙耀. 不同大小玉筋鱼摄食、生长和生态转换效率的比较. 海洋湖沼通报, 2005, (1): 73—78]
- [32] Cui Y B, Liu J K. Comparison of energy budget among six teleosts—I Food consumption, faecal production and nitrogenous excretion [J]. *Comp Biochem Physiol*, 1990, **96**(A): 163—171
- [33] Xie X J, Sun R Y. Maximum ration level in the southern catfish (*Silurus meridionalis* Chen) in relation to body weight and temperature [J]. *Acta Ecol Sin*, 1992, **12**(3): 225—231 [谢小军, 孙儒泳. 南方鲶的最大摄食率及其与体重和温度的关系.

- 生态学报, 1992, 12(3): 225—231]
- [34] Jobling M. Growth studies with fish-overcoming the problem of size variation [J]. *J Fish Biol*, 1983, 22: 153—157
- [35] Cui Y B, Xie S Q. Mechanism of bio-energetics in control of fish growth variances [J]. *Bulletin of the Chinese Academy of Sciences*, 1998, (6): 453—455 [崔奕波, 解绥启. 鱼类生长变异的生物能量学机制. 中国科学院院刊, 1998, (6): 453—455]
- [36] Jobling M. Bioenergetics: feed intake and energy partitioning In: Rankin J C, Jensen F B (Eds.), *Fish Ecophysiology* [M]. London: Chapman and Hall 1993, 1—44
- [37] Cui Y B, Chen S, Wang S. Effect of ration size on the growth and energy budget of the grass carp, *Ctenopharygodon idella* V. [J]. *Aquaculture*, 1994, 123: 95—107
- [38] Ye F L, Zhang J D. *Fish Ecology* [M]. Guangzhou: Guangdong Education Publishing 2002, 64—69 [叶富良, 张健东. 鱼类生态学. 广州: 广东教育出版社. 2002, 64—69]
- [39] Wang J W. Food consumption, faecal production and nitrogenous excretion of gobiocypris rarus [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2000, 24(1): 82—85 [王剑伟. 稀有鮡鲫的摄食率排泄率和排粪率. 水生生物学报, 2000, 24(1): 82—85]
- [40] Yang Y O, Cui Y B, Xiong B X, et al. Comparative studie on nitrogen budget and energy budget of Jian carp (*Cyprinus carpio* var Jian) and Gilbel carp (*Carassius auratus gibelio*) fed diets with different qualities [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2003, 27(6): 572—579 [杨严欧, 崔奕波, 熊邦喜, 等. 建鲤和异育银鲫摄食不同质量饲料时的氮收支和能量收支比较. 水生生物学报, 2003, 27(6): 572—579]
- [41] Beamish FWH, Thomas E. Effects of dietary protein and lipid on nitrogen losses in rainbow trout [J]. *Aquaculture*, 1984, 41: 449—451
- [42] Li J, Xu S H, Xue Y P. Effect of ration levels on nitrogen budget in juvenile black porgy (*Sparus macrocephalus*) [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1998, 29(4): 368—373 [李军, 徐世宏, 薛玉平. 日粮水平对黑鲷幼鱼氮收支的影响. 海洋与湖沼, 1998, 29(4): 368—373]
- [43] Sun Y, Zhang B, Guo X W, et al. Effect of food Fish strain on energy budget of *Pneumatophorus japonicus* [J]. *Marine Fisheries Research*, 1999, 20(2): 96—100 [孙耀, 张波, 郭学武, 等. 鲈鱼能量收支及其饵料种类的影响. 海洋水产研究, 1999, 20(2): 96—100]
- [44] Elliott J M. Energy losses in the waste of products of brown trout (*Salmo trutta* L.) [J]. *J Anim Ecol*, 1976, (45): 561—580