

摄食水平和饵料种类对军曹鱼幼鱼生长及氮收支的影响

孙丽华^{1,3}, 陈浩如^{1,3}, 黄洪辉^{1,2}, 黄良民^{1,3}

(1. 中国科学院南海海洋研究所, 广东 广州 510301; 2. 农业部渔业生态环境重点实验室, 广东省渔业生态环境重点实验室, 广东 广州 510301; 3. 中国科学院大亚湾海洋生物综合实验站, 广东 深圳 518121)

摘要: 研究了不同饵料种类(小沙丁鱼肉—NSF, 鳗鱼配合饲料—CEFF, 海水鱼配合饲料—CMFF)和摄食水平(从饥饿至饱食)对军曹鱼 *Rachycentron canadum* 幼鱼(平均初始体重约 28g)生长和氮收支的影响, 并建立了不同饵料种类时的生长—摄食关系和氮排泄—摄食关系。结果表明, 投喂 3 种不同饵料的军曹鱼幼鱼湿重、干重和氮特定生长率均随摄食水平的增加呈显著增长趋势, 其中, 投喂 NSF 和 CEFF 组的特定生长率与摄食水平之间表现为减速增长曲线, 投喂 CMFF 组的表现则为直线; 饱食时, 投喂 NSF 和 CEFF 组的特定生长率接近而明显高于投喂 CMFF 组。投喂 NSF 和 CEFF 组的食物转化效率随摄食水平的增加而增长或呈先增长后下降的趋势, 在饱食或次饱食(约为饱食量的 70%)摄食水平组有最大值, 而投喂 CMFF 组的食物转化效率随摄食水平的增加而持续增长, 在饱食摄食水平时有最大值; 除食物湿重转化效率外, 投喂 NSF 组的食物转化效率最高, 其次为投喂 CEFF 组, 而两者均明显高于投喂 CMFF 组。3 个饵料组的军曹鱼幼鱼摄食氮、排粪氮、生长氮和排泄氮均随摄食水平的增加呈显著增长趋势; 投喂 NSF 和 CEFF 组的摄食氮、生长氮和排泄氮明显高于投喂 CMFF 组, 而投喂 CMFF 组的排粪氮最高, 其次为投喂 CEFF 组, 且两者明显高于投喂 NSF 组。军曹鱼幼鱼投喂 NSF、CEFF 和 CMFF 时饱食和次饱食摄食水平的氮收支方程分别为: $100C_N = 1.1(0.9)F_N + 27.0(29.3)G_N + 71.9(69.8)U_N$ 、 $100C_N = 5.2(4.3)F_N + 27.0(28.7)G_N + 67.8(67.0)U_N$ 和 $100C_N = 9.9(8.4)F_N + 21.6(10.1)G_N + 68.5(81.5)U_N$ (氮收支方程括号中的为次饱食数据); 3 个饵料组军曹鱼幼鱼饱食和次饱食时摄食氮中用于排粪的比例较小且变化不大, 投喂 NSF 和 CEFF 组次饱食时摄食氮中用于生长的比例较饱食时略大而用于排泄的比例较饱食时略小, 但投喂 CMFF 组饱食时摄食氮中用于生长的比例明显高于而用于排泄的比例明显低于次饱食摄食水平时。因此, 军曹鱼幼鱼的氮排泄和氮收支方程受摄食水平和饵料种类双重因素的影响, 但不管投喂何种饵料, 摄食氮增大是导致鱼类氮排泄增加的主要原因。综合考虑生长、食物转化效率、氮排泄和氮收支方程各因素, 军曹鱼由幼鱼优先选择投喂的饵料为 NSF, 其次为 CEFF, 在本实验的生长阶段, 两者的适宜投喂水平以占饱食量的 70%—100%为佳。

关键词: 军曹鱼 *Rachycentron canadum* 幼鱼; 摄食水平; 饵料种类; 生长; 氮收支

中图分类号: Q959.483; Q494 文献标识码: A 文章编号: 1009-5470(2010)04-0094-08

Effects of ration level and feed type on growth and nitrogen budget of young cobia (*Rachycentron canadum*)

SUN Li-hua^{1,3}, CHEN Hao-ru^{1,3}, HUANG Hong-hui^{1,2}, HUANG Liang-min^{1,3}

(1. South China Sea Institute of Oceanology, CAS, Guangzhou 510301, China; 2. Key and Open Laboratory of Fishery Ecology and Environment, Ministry of Agriculture; Key Laboratory of Fishery Ecology and Environment, Guangdong Province, Guangzhou 510301, China; 3. Marine Biology Research Station at Daya Bay, CAS, Shenzhen 518121, China)

Abstract: Growth and nitrogen budget of young cobia (initial body weight 28g or so) at different ration levels (from starvation to satiation) for different feed types (i.e. NSF—natural sardine fish, CEFF—commercial eel formulated feed and CMFF—commercial marine-fish formulated feed) were studied, and the relationships between growth as well as nitrogenous

收稿日期: 2008-04-28; 修订日期: 2008-09-22。刘学东编辑

基金项目: 广东省科技厅“十五”重大科技专项资助项目(2001A305020201); 农业部渔业生态环境重点实验室开放基金资助; 广东省渔业生态环境重点实验室开放基金资助(2006-5); 中国科学院南海海洋研究所青年人才领域前沿项目资助(SQ200706)

作者简介: 孙丽华(1976—), 女, 湖南省邵阳市人, 博士, 近年主要从事海水鱼类生理生态学研究。E-mail: waa-to@163.com

excretion and ration were established in this paper. The results showed that as ration increased specific growth rate (SGR) of young cobia increased with a decelerating pattern for NSF and CEFF and with a linear pattern for CMFF. Among three feed type groups young cobia had a similar SGR between NSF and CEFF, but the SGR for NSF and CEFF was much higher than that for CMFF. As ration increased feed conversion efficiency (FCE) of young cobia increased or first increased then decreased and maximized at satiation or sub-satiation ration for NSF and CEFF, and increased along and maximized at satiation ration for CMFF. Among three feed type groups feed conversion efficiency in dry weight and nitrogen for NSF was highest, second for CEFF and both were much higher than that for CMFF. Food nitrogen (C_N), faeces nitrogen (F_N), growth nitrogen (G_N) and excretion nitrogen (U_N) all increased with increased ration for three feed types. C_N , G_N and U_N for NSF and CEFF were much more than those for CMFF, but F_N for CMFF was the most, second for CEFF and both were much more than that for NSF. The nitrogen budgets at satiation and sub-satiation ration for NSF, CEFF and CMFF were $100C_N = 1.1(0.9)F_N + 27.0(29.3)G_N + 71.9(69.8)U_N$, $100C_N = 5.2(4.3)F_N + 27.0(28.7)G_N + 67.8(67.0)U_N$ and $100C_N = 9.9(8.4)F_N + 21.6(10.1)G_N + 68.5(81.5)U_N$ (the data in bracket expressed those at sub-satiation ration), respectively. Both the proportions of feed nitrogen lost in faeces and the variations of the proportions for three feed types were small. For NSF and CEFF at sub-satiation ration the proportion of feed nitrogen stored as growth was a little more than and the proportion of feed nitrogen lost in nitrogen was a little less than those at satiation ration, but for CMFF at satiation ration the proportion of feed nitrogen stored as growth was much more than and the proportion of feed nitrogen lost in nitrogen was much less than those at sub-satiation ration. So, nitrogenous excretion and nitrogen budget of young cobia were affected obviously by both ration level and feed type, and increased feed nitrogen was the major reason for the increased excretion nitrogen no matter what feed was used. Based on the specific growth rate, feed conversion efficiency, nitrogenous excretion and nitrogen budget it could be concluded that NSF was proposed as the preference for the diet choice in cobia artificial breeding and CEFF secondly. Ration level with the range 70%–100% of satiation ration was thought suitable for cobia artificial breeding at this growth stage when fish fed on NSF and CEFF and only satiation ration on CMFF.

Key words: young cobia (*Rachycentron canadum*); ration level; feed type; growth; nitrogen budget

军曹鱼 *Rachycentron canadum*, 俗名海鲷, 是我国南方海水网箱普遍养殖的重要经济鱼类之一。近年来, 对该鱼的生物学^[1-3]、营养学^[4]、种苗人工繁育^[5-6]和生物能量学^[7-9]等方面进行了不少研究。但有关饵料种类和摄食水平与军曹鱼生长和氮收支关系的研究则鲜有报道。

饵料种类和摄食水平是影响鱼类生长的重要因素之一。不同种类饵料的蛋白质组成和含量均有明显的差异, 它对鱼类食物转化效率、排泄和氮收支等均影响显著^[10-12]。在鱼类养殖过程中, 选择合适的饵料及其合理的投喂方法, 既能满足鱼快速生长的需要, 又避免了饵料浪费和养殖水体的自身污染, 是养殖生产中需要解决的关键技术问题之一。因此, 研究不同种类饵料及其投喂水平对鱼类生长和氮收支的影响, 对于军曹鱼幼鱼优质饵料的筛选、人工配合饵料的开发以及饵料的投喂管理具有指导意义。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验于 2005 年 7 月至 2005 年 8 月在中国科学院大亚湾海洋生物综合实验站进行。实验材料为该站课题组人工繁殖培育的军曹鱼幼鱼。军曹鱼幼鱼

的试验饵料种类及化学组成和能量含量如表 1 所示。其中, 实验用小沙丁鱼从市场购买, 每条鱼去头去尾去骨头后切成适合鱼苗摄食的块状, 存储于冰箱中; 实验用商业鳗鱼配合饲料采用佛山市顺德区全兴水产饲料有限公司生产的顶旺牌鳗鱼配合饲料, 使用时加入一定比例的水调制成适合鱼摄食的颗粒状进行投喂; 实验用商业海水鱼配合饲料采用佛山

表 1 3 种饵料的化学组成(%)和能量含量(kJ·g⁻¹)
Tab. 1 Chemical composition (%) and energy content (kJ·g⁻¹) of three diets

饵料种类	小沙丁鱼肉 (NSF)	商业鳗鱼配 合饲料 (CEFF)	商业海水鱼 配合饲料 (CMFF)
湿饵料			
水分含量	80.24	8.92	8.89
蛋白质含量	13.93	44.44	33.36
脂肪含量	2.64	11.21	12.38
灰分含量	2.78	12.31	7.91
能量含量	4.08	16.64	17.77
干饵料			
蛋白质含量	70.50	48.79	36.62
脂肪含量	13.36	12.31	13.59
灰分含量	14.07	13.52	8.68
能量含量	20.63	18.27	19.50

市某饲料厂生产的海水鱼配合饲料(浮性), 粒径 8—9mm, 使用前将其置入海水中浸泡一下(约几秒钟)后马上捞起, 放置半小时左右待饵料完全软化后将其切割成适合鱼摄食的颗粒大小投喂。

1.2 实验方法

1.2.1 实验鱼的驯养

从室外育苗池捕获同一批人工繁育的军曹鱼苗, 挑选 150 尾健康活泼的个体放置于实验室内 3 个水泥池中(容积 2m×1m×1m, 盛水 1.6m³), 每池放鱼 50 尾, 流水式驯养 2 个星期。

随后从水泥池中挑选大小均匀、摄食正常的鱼苗随机放入实验用透明塑料水箱中(容积 60cm×45cm×40cm, 盛水 90L)继续驯养一周。每个水箱的鱼苗采用 Russell 等^[13]描述的方法进行标记。驯养过程每天更换 100% 的新鲜砂滤海水, 并进行预试验以初步确定军曹鱼幼鱼摄食不同饵料时各自的最大摄食水平, 为不同饵料条件下摄食水平的设计提供依据。

整个驯养期间, 日投饵 2 次(上午 08:00 和下午 18:00), 采用 3 种试验饵料混合在一起投喂。除投饵时停气外, 其他时间均连续充气, 保持溶解氧 >6mg·L⁻¹。每天监测水质参数, 驯养过程水温为 26.2—28.8℃, 盐度为 30.3‰—33.4‰, 自然光照。

1.2.2 生长试验

试验设计如表 2 所示, 为便于不同饵料组之间的比较, 摄食水平分别表示为每日投饵湿重和干重占鱼初始体重的百分比。每个饵料组各设 4 个摄食水平, 分别为饥饿组(3 个饵料组共用一个饥饿水平组)、次饥饿组(约占饱食摄食水平的 30%)、次饱食组(约占饱食摄食水平的 70%)以及饱食组, 每个摄食水平各设 4 个平行, 每个平行放鱼 2 尾。此外, 另取 20 尾鱼作为对照, 用于测定初始试验鱼的干重比例和含氮量。

实验鱼驯养结束后, 停食 36h, 吸干鱼体表水分后称重, 测得军曹鱼幼鱼初始平均体重约为 28g。

试验期间, 每天按照试验设计的摄食水平投饵 2 次(上午 08:00 和下午 17:00), 饱食组投喂过量饵料, 0.5h 后用虹吸法收集剩余饵料并于 70℃ 下烘干称重, 同时另取一份饵料放入空白水箱中, 0.5h 后取出烘干称重, 计算饵料回收率, 以校正剩余饵料量, 日投饵量和残饵量的差值即为每天实际摄食量。每天虹吸法收集粪便 2 次, 于 70℃ 下烘干称重, 存储于 -20℃ 超低温冰箱中, 供以后分析用。每天更换 100% 的新鲜砂滤海水。试验过程除投饵和收集残饵、粪便时停气外, 其他时间均连续充气, 保持水体溶解氧 >6mg·L⁻¹。每天监测水质参数。整个试验期间, 水温为 27.2—29.6℃, 盐度为 31.4‰—33.6‰, 自然光照。

军曹鱼属摄食量大且生长快速的鱼类, 饥饿组的鱼在实验进行到第 13d 时由于挨不过饥饿开始出现死亡, 而饱食组鱼苗体重增长为原来的 2 倍左右, 因此本研究将军曹鱼的实验周期定为 15d, 实验结束时, 饥饿组试验鱼苗成活率为 75%, 其它摄食水平组实验鱼苗存活率为 100%。

试验结束后将鱼苗饥饿 36h, 吸干体表水分后称重, 并于 70℃ 下烘干取得鱼的干物质含量, 磨匀后储存于 -20℃ 超低温冰箱中, 供以后分析用。

1.2.3 化学分析

鱼体、粪便及饲料样品氮含量的测定采用瑞士 BÜCHI K-370/K-437 型凯氏定氮仪。每一样品至少测定 2 个平行样, 当相对偏差不超过 2% 时, 取平均值作为测定结果。

1.2.4 计算公式

摄食量(C_i)计算公式:

$$C_i = W_i - w_i$$

公式中 C_i 为摄食量(g·d⁻¹), W_i 为每日投饵量(g·d⁻¹), w_i 为每日残饵量(g·d⁻¹)。

鱼体湿重特定生长率(SGR_w)的计算公式:

$$SGR_w = 100 \times (\ln FBW - \ln IBW) / t$$

式中, FBW 为实验结束时鱼苗体重(g), IBW 为初始

表 2 试验设计

Tab. 2 Experimental design for young cobia

摄食水平组	摄食水平(RL _w)			摄食水平(RL _d)		
	NSF	CEFF	CMFF	NSF	CEFF	CMFF
	表示成每日投饵湿重占鱼初始体重的百分比/(%·d ⁻¹)			表示成每日投饵干重占鱼初始体重的百分比/(%·d ⁻¹)		
1	饥饿(0)	饥饿(0)	饥饿(0)	饥饿(0)	饥饿(0)	饥饿(0)
2	10.0	3.0	2.0	2.0	2.7	1.8
3	22.5	7.0	4.5	4.4	6.4	4.1
4	饱食(32.2)	饱食(10.0)	饱食(6.6)	饱食(6.4)	饱食(9.1)	饱食(6.0)

鱼苗体重(g), t 为试验周期(d)。干重特定生长率(SGR_d)及氮特定生长率(SGR_N)亦以同样方法计算。

食物湿重转化效率(FCE_w)的计算公式:

$$FCE_w = 100 \times (BW/C)$$

式中, BW 为实验期间鱼苗体重增长(g), C 为实验期间总摄食量(g)。食物干重转换效率(FCE_d)及食物氮转换效率(FCE_N)亦以同样方法计算。

鱼类的氮收支方程^[4, 14]为:

$$C_N = F_N + U_N + G_N$$

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, U_N 为排泄物中损失的氮。由此, 评估氮排泄的方法为通过差减法计算, 即 $U_N = C_N - F_N - G_N$ 。

1.2.5 数据处理

实验数据使用 Excel(2000)和 SPSS(10.0)软件进行计算、作图和统计分析, 所有数据均表示成: 平均值 \pm 标准差(mean \pm S.D.)。

2 实验结果

2.1 不同饵料种类和摄食水平下军曹鱼幼鱼的生长和食物转化效率

投喂 NSF 的军曹鱼幼鱼湿重(SGR_w)、干重(SGR_d)和氮(SGR_N)特定生长率分别为 $-3.30 \sim 4.95\% \cdot d^{-1}$ 、 $-3.85 \sim 5.46\% \cdot d^{-1}$ 和 $-3.72 \sim 5.32\% \cdot d^{-1}$, 投喂商业鳗鱼配合饲料的分别为 $-3.30 \sim 4.84\% \cdot d^{-1}$ 、 $-3.85 \sim$

$5.14\% \cdot d^{-1}$ 和 $-3.72 \sim 4.84\% \cdot d^{-1}$, 投喂商业海水鱼配合饲料的分别为 $-3.30 \sim 1.98\% \cdot d^{-1}$ 、 $-3.85 \sim 1.87\% \cdot d^{-1}$ 和 $-3.72 \sim 2.34\% \cdot d^{-1}$ (表 3)。比较可知, 3 个饵料组中, 投喂 NSF 和 CEFF 组各摄食水平时的特定生长率明显高于投喂 CMFF 组。对于每个饵料组, 军曹鱼幼鱼湿重、干重和氮特定生长率均随摄食水平的增加而显著增长, 其中, 投喂 NSF 和 CEFF 组军曹鱼幼鱼特定生长率随摄食水平增加呈减速增长趋势, 其相关关系可用对数函数定量; 而投喂 CMFF 组军曹鱼幼鱼特定生长率与摄食水平之间表现为线性相关(表 4)。

投喂 NSF 的军曹鱼幼鱼食物湿重(FCE_w)、干重(FCE_d)和氮(FCE_N)转化效率分别为 $25.74\% \sim 32.87\%$ 、 $28.45\% \sim 30.24\%$ 和 $24.34\% \sim 38.37\%$, 投喂 CEFF 的分别为 $17.44\% \sim 22.06\%$ 、 $22.55\% \sim 28.72\%$ 和 $21.11\% \sim 30.02\%$, 投喂 CMFF 的分别为 $-24.57\% \sim 10.68\%$ 、 $-41.78\% \sim 21.53\%$ 和 $-28.66\% \sim 14.92\%$ (表 3)。比较可知, 3 个饵料组中, 投喂 NSF 和 CEFF 组各摄食水平时的食物转化效率均明显高于投喂 CMFF 组。随摄食水平的增加, 投喂 NSF 和 CEFF 组的食物转化效率均呈增长趋势, 最大值出现在饱食或次饱食摄食水平; 投喂 CMFF 组的食物转化效率随摄食水平的增加显著增长, 仅在饱食摄食水平时有最大值。

表 3 不同饵料种类和摄食水平($\% \cdot d^{-1}$)下军曹鱼幼鱼湿重、干重、蛋白质特定生长率($\% \cdot d^{-1}$)和食物湿重、干重、蛋白质转换效率($\%$)

Tab. 3 Specific growth rate in wet weight (SGR_w , $\% \cdot d^{-1}$), dry weight (SGR_d , $\% \cdot d^{-1}$), nitrogen (SGR_N , $\% \cdot d^{-1}$) and feed conversion efficiency in wet weight (FCE_w , $\%$), dry weight (FCE_d , $\%$), nitrogen (FCE_N , $\%$) of young cobia at different ration levels ($\% \cdot d^{-1}$) for three feed types

饵料种类	摄食水平组	结束鱼体重 (g/尾 ⁻¹)	特定生长率			食物转化效率		
			湿重	干重	蛋白质	湿重	干重	蛋白质
NSF	1	18.99 \pm 5.35	-3.30 \pm 0.47 ^a	-3.85 \pm 0.36 ^a	-3.72 \pm 0.35 ^a			
	2	39.62 \pm 2.31	1.97 \pm 0.20 ^{bZ}	1.74 \pm 0.21 ^{bY}	2.01 \pm 0.31 ^{bZ}	22.90 \pm 2.61 ^{bY}	25.74 \pm 3.60 ^{aZ}	28.45 \pm 5.22 ^{bY}
	3	51.58 \pm 1.18	3.89 \pm 0.29 ^{cY}	3.89 \pm 0.21 ^{cY}	4.08 \pm 0.25 ^{cY}	23.49 \pm 2.32 ^{bX}	31.10 \pm 2.32 ^{bZ}	30.24 \pm 2.40 ^{bY}
	4	57.55 \pm 7.86	4.95 \pm 0.44 ^{dY}	5.46 \pm 0.34 ^{dY}	5.32 \pm 0.22 ^{cY}	22.15 \pm 1.76 ^{aX}	32.87 \pm 1.38 ^{bZ}	29.52 \pm 1.04 ^{aZ}
CEFF	1	18.99 \pm 5.35	-3.30 \pm 0.47 ^a	-3.85 \pm 0.36 ^a	-3.72 \pm 0.35 ^a			
	2	35.73 \pm 0.98	1.58 \pm 0.14 ^{bY}	1.44 \pm 0.15 ^{bY}	1.58 \pm 0.15 ^{bY}	68.70 \pm 6.69 ^{aZ}	17.44 \pm 2.09 ^{aY}	22.55 \pm 2.44 ^{aY}
	3	51.26 \pm 4.78	3.98 \pm 0.39 ^{cY}	4.00 \pm 0.35 ^{cY}	3.90 \pm 0.29 ^{cY}	77.99 \pm 10.14 ^{bY}	22.06 \pm 2.55 ^{bY}	28.72 \pm 2.76 ^{bY}
	4	58.28 \pm 3.97	4.84 \pm 0.23 ^{dY}	5.14 \pm 0.37 ^{dY}	4.84 \pm 0.28 ^{dY}	71.32 \pm 0.98 ^{aY}	21.84 \pm 1.14 ^{bY}	27.01 \pm 0.70 ^{bY}
CMFF	1	18.99 \pm 5.35	-3.30 \pm 0.47 ^a	-3.85 \pm 0.36 ^a	-3.72 \pm 0.35 ^a			
	2	22.80 \pm 1.23	-1.93 \pm 0.23 ^{bX}	-2.32 \pm 0.19 ^{bX}	-1.91 \pm 0.15 ^{bX}	-76.26 \pm 8.42 ^{aX}	-24.57 \pm 1.93 ^{aX}	-41.78 \pm 2.82 ^{aX}
	3	34.17 \pm 1.54	0.51 \pm 0.02 ^{cX}	0.32 \pm 0.09 ^{cX}	0.85 \pm 0.04 ^{cX}	24.97 \pm 0.57 ^{bX}	5.45 \pm 0.60 ^{bX}	10.10 \pm 0.47 ^{bX}
	4	40.03 \pm 0.75	1.98 \pm 0.28 ^{dX}	1.87 \pm 0.41 ^{dX}	2.34 \pm 0.38 ^{dX}	39.87 \pm 2.38 ^{cX}	10.68 \pm 1.39 ^{cX}	21.53 \pm 2.10 ^{cX}

注: 同个饵料组同列数据后面不同字母(a、b、c)表示不同摄食水平组特定生长率和食物转化效率在 0.05 水平上差异显著; 同个摄食水平组同列数据后面不同字母(X、Y、Z)表示不同饵料组特定生长率和食物转化效率在 0.05 水平上差异显著。

表 4 不同饵料种类军曹鱼幼鱼生长(SGR, %·d⁻¹)和排泄氮(U_N , mg·g⁻¹·d⁻¹)与摄食水平(RL, %·d⁻¹)关系Tab. 4 Relationships between specific growth rate (SGR, %·d⁻¹) as well as excretion nitrogen (U_N , mg·g⁻¹·d⁻¹) and ration level (RL, %·d⁻¹) of young cobia for three feed types

饵料种类	SGR	<i>n</i>	回归方程	R^2	<i>P</i>	回归方程	R^2	<i>P</i>
NSF	SGR _w	16	SGR _w =2.580ln(RL _w +1)-3.417	0.981	<0.01	SGR _w =4.980ln(RL _d +1)-3.200	0.986	<0.01
	SGR _d	16	SGR _d =2.859ln(RL _w +1)-4.043	0.977	<0.01	SGR _d =5.551ln(RL _d +1)-3.833	0.993	<0.01
	SGR _N	16	SGR _N =2.815ln(RL _w +1)-3.855	0.986	<0.01	SGR _N =5.439ln(RL _d +1)-3.622	0.992	<0.01
	U_N	16	ln U_N =0.060RL _w -0.096	0.967	<0.01	ln U_N =0.374RL _d -0.879	0.972	<0.01
CEFF	SGR _w	16	SGR _w =4.045ln(RL _w +1)-3.377	0.988	<0.01	SGR _w =4.221ln(RL _d +1)-3.364	0.988	<0.01
	SGR _d	16	SGR _d =4.429ln(RL _w +1)-3.958	0.990	<0.01	SGR _d =4.621ln(RL _d +1)-3.943	0.991	<0.01
	SGR _N	16	SGR _N =4.250ln(RL _w +1)-3.762	0.993	<0.01	SGR _N =4.434ln(RL _d +1)-3.747	0.993	<0.01
	U_N	16	ln U_N =0.186RL _w -0.084	0.978	<0.01	ln U_N =0.258RL _d -0.924	0.989	<0.01
CMFF	SGR _w	16	SGR _w =1.045RL _w -3.540	0.963	<0.01	SGR _w =1.147RL _d -3.539	0.963	<0.01
	SGR _d	16	SGR _d =1.130RL _w -4.067	0.973	<0.01	SGR _d =1.240RL _d -4.067	0.973	<0.01
	SGR _N	16	SGR _N =1.133RL _w -3.963	0.977	<0.01	SGR _N =1.243RL _d -3.963	0.977	<0.01
	U_N	16	ln U_N =0.393ln(RL _w +1)-0.023	0.958	<0.01	U_N =0.117RL _d +0.408	0.970	<0.01

2.2 不同饵料种类和摄食水平下军曹鱼幼鱼的摄食氮、排泄氮、排粪氮、生长氮和氮收支方程

不同饵料种类和摄食水平下军曹鱼幼鱼的摄食氮、排粪氮、生长氮、排泄氮和氮收支方程如表 5 所示。投喂 NSF 的军曹鱼幼鱼摄食氮、排粪氮、生长氮和排泄氮变化范围分别为 0.000—4.786 mg·g⁻¹·d⁻¹, 0.000—0.055mg·g⁻¹·d⁻¹, -0.964—1.409 mg·g⁻¹·d⁻¹ 和 0.964—3.323mg·g⁻¹·d⁻¹, 投喂 CEFF 的分别为 0.000—4.623mg·g⁻¹·d⁻¹, 0.000—0.242 mg·g⁻¹·d⁻¹, -0.964—1.250mg·g⁻¹·d⁻¹ 和 0.964—3.131

mg·g⁻¹·d⁻¹, 投喂 CMFF 的分别为 0.000—2.925 mg·g⁻¹·d⁻¹, 0.000—0.290mg·g⁻¹·d⁻¹, -0.930—0.635 mg·g⁻¹·d⁻¹ 和 0.930—2.000mg·g⁻¹·d⁻¹。比较可知, 投喂 NSF 和 CEFF 的军曹鱼幼鱼摄食氮、生长氮和排泄氮明显高于而排粪氮明显低于投喂 CMFF 的军曹鱼幼鱼。随摄食水平增加, 3 种鱼的摄食氮、排粪氮、生长氮和排泄氮均呈增长趋势; 回归分析表明, 投喂 NSF 和 CEFF 的军曹鱼幼鱼排泄氮与摄食水平的关系采用指数函数定量描述, 而投喂 CMFF 的采用幂函数定量描述(表 4)。

表 5 不同饵料种类和摄食水平(%·d⁻¹)下军曹鱼幼鱼的摄食氮、排粪氮、生长氮、排泄氮(mg·g⁻¹·d⁻¹)和氮收支方程Tab. 5 Food nitrogen (C_N , mg·g⁻¹·d⁻¹), faeces nitrogen (F_N , mg·g⁻¹·d⁻¹), growth nitrogen (G_N , mg·g⁻¹·d⁻¹), excretion nitrogen (U_N , mg·g⁻¹·d⁻¹) and nitrogen budget of young cobia at different ration levels (%·d⁻¹) for three feed types

饵料种类	摄食水平组	摄食氮	排粪氮	生长氮	排泄氮	氮收支方程 $C_N = F_N + G_N + U_N$
NSF	1	0.000 ± 0.000	0.000 ± 0.000	-0.964 ± 0.094	0.964 ± 0.094 ^{aX}	
	2	1.908 ± 0.043	0.013 ± 0.004	0.541 ± 0.092	1.347 ± 0.114 ^{bY}	100 C_N = 0.7 F_N + 27.5 G_N + 71.8 U_N
	3	3.592 ± 0.100	0.033 ± 0.005	1.064 ± 0.051	2.496 ± 0.138 ^{cZ}	100 C_N = 0.9 F_N + 29.3 G_N + 69.8 U_N
	4	4.786 ± 0.165	0.055 ± 0.008	1.409 ± 0.062	3.323 ± 0.129 ^{dY}	100 C_N = 1.1 F_N + 27.0 G_N + 71.9 U_N
CEFF	1	0.000 ± 0.000	0.000 ± 0.000	-0.964 ± 0.094	0.964 ± 0.094 ^{aX}	
	2	1.881 ± 0.021	0.069 ± 0.013	0.425 ± 0.572	1.387 ± 0.045 ^{bY}	100 C_N = 3.7 F_N + 22.6 G_N + 73.7 U_N
	3	3.535 ± 0.135	0.151 ± 0.020	1.013 ± 0.061	2.370 ± 0.180 ^{cY}	100 C_N = 4.3 F_N + 28.7 G_N + 67.0 U_N
	4	4.623 ± 0.178	0.242 ± 0.051	1.250 ± 0.072	3.131 ± 0.075 ^{dY}	100 C_N = 5.2 F_N + 27.0 G_N + 67.8 U_N
CMFF	1	0.000 ± 0.000	0.000 ± 0.000	-0.964 ± 0.094	0.964 ± 0.094 ^{aX}	
	2	1.206 ± 0.020	0.066 ± 0.002	-0.503 ± 0.043	1.644 ± 0.061 ^{bX}	100 C_N = 5.4 F_N - 41.7 G_N + 136.3 U_N
	3	2.363 ± 0.005	0.186 ± 0.022	0.226 ± 0.011	1.950 ± 0.019 ^{cX}	100 C_N = 8.4 F_N + 10.1 G_N + 81.5 U_N
	4	2.925 ± 0.234	0.290 ± 0.037	0.635 ± 0.106	2.000 ± 0.130 ^{cX}	100 C_N = 9.9 F_N + 21.6 G_N + 68.5 U_N

注: 同个饵料组同列数据后面不同字母(a、b、c)表示不同摄食水平组排泄氮在 0.05 水平上差异显著; 同个摄食水平组同列数据后面不同字母(X、Y、Z)表示不同饵料组排泄氮在 0.05 水平上差异显著。

不同饵料种类和摄食水平下军曹鱼幼鱼的氮收支方程如表 5 所示。投喂 NSF 和 CEFF 组的摄食氮中用于生长的比例均在次饱食摄食水平时有最大值, 但饱食时的比例与次饱食时的相近; 而投喂 CMFF 组的则在饱食摄食水平时有最大值。对每种饵料而言, 从食物中摄取的氮小部分用于生长(<30%), 大部分随排粪和排泄过程排出体外, 其中排泄是氮支出的最主要途径(>67%), 排粪损失的氮所占比例则很少(<10%)。比较可知, 氮收支方程中, 投喂 NSF 组的摄食氮中存储于身体的比例最大, 投喂 CEFF 的次之, 但与之接近, 投喂 CMFF 的最小, 且明显低于投喂 NSF 和 CEFF 组; 投喂 CMFF 组摄食氮中损失于粪便的比例最大, 其次为投喂 CEFF 组, 投喂 NSF 组的最小; 饱食时 3 个饵料组摄食氮中损失于排泄的比例接近, 但随着摄食水平的减少, 投喂 CMFF 组的排泄氮比例明显高于投喂 NSF 和 CEFF 组。

3 讨论和结果

3.1 饵料种类和摄食水平对军曹鱼幼鱼特定生长率和食物转化效率的影响

军曹鱼人工养殖过程中, 通常采用冰鲜杂鱼、鳊鱼配合饲料和海水鱼配合饲料这 3 种饵料。因此, 本文选用上述 3 种饲料作为实验饵料。

现有的文献表明, 鱼类生长—摄食关系通常表现为两种类型: 一种为减速增长曲线, 可采用多种函数定量描述, 但无统一模型可以套用^[15-18]; 另一种为直线^[19-20]。饵料种类的变化不仅会影响鱼类的特定生长率和食物转化效率, 且有可能对鱼类的生长—摄食关系产生影响。本文中, 投喂 NSF 和 CEFF 的军曹鱼幼鱼生长—摄食关系表现为减速增长曲线, 采用对数函数定量描述, 此时食物转化效率随摄食水平的增加而增长或呈先升后降的变化趋势, 在饱食或次饱食摄食水平有最大值; 投喂 CMFF 的军曹鱼幼鱼生长—摄食关系表现为直线, 采用一次函数定量描述, 此时食物转化效率随摄食水平的增加持续增长, 仅在饱食摄食水平时有最大值。3 个饵料组中, 投喂 NSF 和 CEFF 组各摄食水平时的特定生长率和食物转化效率均明显高于投喂 CMFF 组。由此可见, 军曹鱼幼鱼的生长和食物转化效率以及生长—摄食关系和食物转化效率—摄食关系均是饵料种类依赖性的, 这与 Cui 等^[10] 对草鱼 *Ctenopharyngodon idellus* Val. 的研究结果相一致。

3.2 饵料种类和摄食水平对军曹鱼幼鱼氮收支的影响

氮是蛋白质作为身体能量来源时发生降解或在氨基酸用于合成能量存储物时发生脱氨反应的产物, 主要受摄食水平、食物中蛋白质含量等因素影响。通常, 鱼类氮排泄随摄食水平的增加呈显著增长趋势, 两者的关系多表现为直线^[21-24], 但亦有表现为曲线的报道^[24-26], 其数学模型常采用幂函数或指数函数定量描述。本文中, 投喂 3 种饵料的军曹鱼幼鱼氮排泄与摄食水平之间均表现为曲线增长趋势, 其中投喂 NSF 和 CEFF 的采用指数函数定量描述, 而投喂 CMFF 的采用幂函数定量描述。由此可见, 当鱼投喂不同种类饵料, 氮排泄与摄食水平的关系亦有可能发生改变。

摄食水平和饵料种类对鱼类氮收支有明显的影响。实验结果表明, 投喂 NSF 组各摄食水平的氮收支方程相近, 变化较小; 投喂 CEFF 组饱食和次饱食的氮收支方程相近, 但用于生长的比例明显高于而用于排泄的比例明显低于 $3\% \cdot d^{-1}$ 摄食水平; 投喂 CMFF 组各摄食水平的氮收支方程均有较大差异, 饱时摄食水平用于生长的比例明显高于而用于排泄的比例明显低于其他摄食水平。

本实验中, 3 种饵料的蛋白质含量均不相同, 以饵料干重计时, NSF 的蛋白质含量最高, 达 70.5%; CEFF 的其次, 为 48.8%; CMFF 的最少, 仅为 36.6%。比较可知, 氮收支方程中, 投喂 NSF 和 CEFF 组的摄食氮、生长氮、排泄氮相近, 但明显高于投喂 CMFF 组; 投喂 CMFF 组的排粪氮最高, 其次为 CEFF 组, 但两者的排粪氮均明显高于投喂 NSF 组。回归分析表明, 排泄氮和生长氮分别与摄食氮之间表现为显著的线性正相关: $U_N = 0.458C_N + 0.868 (R^2 = 0.917, n = 40, P < 0.01)$ 和 $G_N = 0.522C_N - 0.905 (R^2 = 0.940, n = 40, P < 0.01)$, 而排粪氮和摄食氮之间相关性不明显。由此可见, 摄入的氮增加, 用于生长和排泄的比例亦随之增加, 但用于排粪的比例却不总是与之相关联, 因为食物的口感、大小以及成分等均影响着鱼的消化吸收。

在摄入氮的分配中, 3 个饵料组的军曹鱼幼鱼 70% 以上从食物中摄取的氮随排粪和排泄过程排出体外, 而排粪氮占摄食氮的比例不到 10%, 故排泄是氮支出的最主要途径, 这与真鲷 *Pagrosomus major*^[27]、黑鲷 *Sparus macrocephalus*^[28]、黑鲷 *Sebastes schlegelii*^[29]、尼罗罗非鱼 *Tilapia nilotica*^[30]、建鲤 *Cyprinus carpio* var. jian 和异育银鲫 *Carassius au-*

ratus gibelio^[12]等多种海水或淡水鱼的研究结果相一致。氮排泄物是硬骨鱼体内蛋白质代谢的最终产物,其主要成分为氨氮和尿素氮,而氨氮通常占排泄物总氮的80%—98%^[31]。因此,随着我国南方军曹鱼规模化人工育苗和集约化网箱养殖的发展,应注意关注网箱养殖的氮排泄对周围水环境无机氮营养盐污染的影响。

3.3 军曹鱼幼鱼的适宜饵料种类的选择和适宜投饵水平的确定

综合军曹鱼幼鱼不同饵料种类和摄食水平条件

下的生长、食物转化效率和氮收支各因素,建议军曹鱼人工养殖生产中饵料种类优先选择沙丁鱼肉,其次为鳗鱼配合饲料,海水鱼配合饲料作为补充。采用沙丁鱼肉和商业鳗鱼配合饲料投喂时,投喂量以占鱼饱食量的70%—100%为佳;而采用商业海水鱼配合饲料投喂时,投喂量以鱼饱食为佳。

鱼类生长—摄食关系和氮收支方程亦受实验方法^[32]、个体大小^[19, 33]、温度^[34-35]等多种因素的影响。因此,有必要开展进一步的研究,深入探索环境因子与军曹鱼生长及氮收支的关系。

参考文献

- [1] FRANKS J S, GARBER N M AND WARREN J R. Stomach contents of juvenile Cobia, *Rachycentron canadum*, from the northern Gulf of Mexico[J]. Fishery Bulletin, 1996, 94(2): 374-380.
- [2] BROWN-PETERSON N J, OVERSTREET R M, LOTZ J M. Reproductive biology of cobia, *Rachycentron canadum*, from coastal waters of the southern United States[J]. Fishery Bulletin, 2001, 99: 15-28.
- [3] 孙丽华, 陈浩如, 黄良民, 等. 军曹鱼人工育苗饵料投喂技术的初步研究[J]. 热带海洋学报, 2006, 25(2): 24-29.
- [4] CHOU R L, SU M S, CHEN H Y. Optimal dietary protein and lipid levels for juvenile cobia (*Rachycentron canadum*) [J]. Aquaculture, 2001, 193: 81-89.
- [5] JOAN HOLT G, FAULK C K, SCHWARZ M H. A review of the larviculture of cobia *Rachycentron canadum*, a warm water marine fish[J]. Aquaculture, 2007, 268: 181-187.
- [6] 陈浩如, 孙丽华, 王肇鼎, 等. 军曹鱼生物学特性及苗种规模化繁育技术[J]. 海洋科学, 2006, 30(2): 5-9.
- [7] SUN L H, CHEN H R, HUANG L M, et al. Growth and energy budget of juvenile cobia (*Rachycentron candum*) relative to ration[J]. Aquaculture, 2006, 257: 214-220.
- [8] SUN L H, CHEN H R, HUANG L M, et al. Growth, faecal production, nitrogenous excretion and energy budget of juvenile cobia (*Rachycentron candum*) relative to feed type and ration level[J]. Aquaculture, 2006, 259: 211-221.
- [9] SUN L H, CHEN H R, HUANG L M. Effect of temperature on growth and energy budget of juvenile cobia (*Rachycentron candum*) [J]. Aquaculture, 2006, 261: 872-878.
- [10] CUI Y B, LIU X F, WANG S M, et al. Growth and energy budget in young grass carp, *Ctenopharyngodon idella* Val., fed plant and animal diets[J]. Journal of Fish Biology, 1992, 41: 231-238.
- [11] CUI Y, CHEN S, WANG S. Effect of ration size on the grown and energy budget of the grass carp, *Ctenopharyngodon idella* Val[J]. Aquaculture, 1994, 123: 95-107.
- [12] 杨严鸥, 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[J]. 水生生物学报, 2003, 27(6): 572-578.
- [13] RUSSELL N R, FISH J D, WOOTTON R J. Feeding and growth of juvenile sea bass: the effect of ration and temperature on growth rate and efficiency[J]. Journal of Fish Biology, 1996, 49: 206-220.
- [14] CHO C Y. The role of nutritional energetics research in formulating cost-effective diets for fish, with particular reference to salmonids[C]//ALLAN G L, DALL W. Proceedings, Aquaculture Nutrition Workshop, Salamander Bay, Australia: NSW Fisheries, Salamander Bay, 1992: 9-16.
- [15] WAYNE A, WURTSBAUGH, JOSEPH J C J R. Growth and activity of juvenile mosquitofish: temperature and ration effects[J]. Transactions of the American Fisheries Society, 1983, 112: 653-660.
- [16] ALLEN J R M, WOOTTON R J. The effect of ration and temperature on the growth of the three-spined stickleback, *Gasterosteus aculeatus* L[J]. Journal of Fish Biology, 1982, 20: 409-422.
- [17] CORTES E, GRUBER S H. Effect of ration size on growth and gross conversion efficiency of young lemon sharks, *Negaprion brevirostris*[J]. Journal of Fish Biology, 1994, 44: 331-341.
- [18] RAFAIL S Z. A statistical analysis of ration and growth relationship of plaice (*Pleuronectes platessa*) [J]. Journal of the Fisheries Research Board of Canada, 1968, 25: 717-732.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] CUI Y, WOOTTON R J. Bioenergetics of growth of a cypri-

- nid, *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.
- [22] SAVITZ J, ALBANESE E, EVINGE M J. Effect of ration level on nitrogen excretion, nitrogen retention and efficiency of nitrogen utilization for growth in largemouth bass (*Micropterus salmoides*) [J]. *J Fish Biol*, 1977, 11(2): 185–192.
- [23] BEAMISH F W H, THOMAS E. Effect of dietary protein and lipid on nitrogen losses in rainbow trout, *Salmo gairdneri*[J]. *Aquaculture*, 1984, 41: 359–371.
- [24] CUI Y, LIU J. Comparison of energy budget among six teleosts— . Food consumption, faecal production and nitrogenous excretion[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 1990, 96A: 163–171.
- [25] 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.
- [26] MORTENSEN E. Population and energy dynamics of trout *Salmo trutta* in a small Danish stream[J]. *Journal of Animal Ecology*, 1985, 54: 869–882.
- [27] 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[J]. *海洋水产研究*, 1999, 20(2): 60–65.
- [28] 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[J]. *海洋水产研究*, 2002, 23(1): 5–10.
- [29] 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[J]. *海洋水产研究*, 2001, 22(2): 32–37.
- [30] 白志毅, 何学军, 李思发. 尼罗罗非鱼幼鱼氮收支与饲料组成关系[J]. *上海水产大学学报*, 2003, 12(4): 298–302.
- [31] JOBLING M. *Fish Bioenergetics*[J]. London: Chapman and Hall, 1994.
- [32] 唐启升, 孙耀, 张波. 7 种海洋鱼类的生物能量学模式[J]. *水产学报*, 2003, 27(5): 443–449.
- [33] 王瑁, 丘书院. 花尾胡椒鲷幼鱼内、外源性氮和总氮排泄率的研究[J]. *热带海洋学报*, 2001, 20(3): 87–92.
- [34] 周洪琪, 潘兆龙, 李世钦, 等. 摄食和温度对草鱼氮排泄影响的初步研究[J]. *上海水产大学学报*, 1999, 8(4): 293–297.
- [35] MALLOY K D, TARGETT T E. Effect of ration limitation and low temperature on growth, biochemical condition, and survival of juvenile summer flounder from two Atlantic coast nurseries[J]. *Transactions of the American Fisheries Society*, 1994, 123: 182–193.