

文章编号:1000-0615(2009)03-0470-09

摄食水平对几种重要海水养殖鱼类生长和氮收支的影响

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

(1. 中国科学院南海海洋研究所, 广东 广州 510301;

2. 中国科学院大亚湾海洋生物综合实验站, 广东 深圳 518121;

3. 农业部渔业生态环境重点开放实验室, 广东省渔业生态环境重点实验室, 广东 广州 510301)

摘要:采用生物能量学方法研究了不同摄食水平(从饥饿至饱食)时军曹鱼幼鱼(平均初始体重 10.0 g)、青石斑鱼幼鱼(平均初始体重 5.5 g)和卵形鲳鲹幼鱼(平均初始体重 7.7 g)的生长和氮收支,建立了生长和氮排泄与摄食水平的回归方程。结果表明,军曹鱼幼鱼特定生长率随摄食水平的增加呈显著增长趋势,在9%和饱食两个摄食水平之间无显著性差异,而青石斑鱼和卵形鲳鲹幼鱼的特定生长率随摄食水平增加呈线性增长趋势;饱食时,青石斑鱼和卵形鲳鲹幼鱼的生长速率接近而明显低于军曹鱼幼鱼的。军曹鱼幼鱼食物转化效率随摄食水平的增加呈先增长后下降的趋势,在9%/d摄食水平组有最大值,而青石斑鱼和卵形鲳鲹幼鱼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;饱食时,军曹鱼和青石斑鱼幼鱼的食物转化效率接近而明显高于卵形鲳鲹幼鱼的。3种海水鱼摄食氮、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;比较可知,军曹鱼幼鱼的摄食氮和排泄氮均最大,而青石斑鱼幼鱼的最小。军曹鱼、青石斑鱼和卵形鲳鲹幼鱼饱食和次饱食摄食水平时的氮收支方程分别为 $100 C_N = 7.7(6.0) F_N + 22.6(31.3) G_N + 69.7(62.68) U_N$ 、 $100 C_N = 2.7(2.8) F_N + 20.9(8.4) G_N + 76.4(88.8) U_N$ 和 $100 C_N = 1.8(1.4) F_N + 12.8(9.3) G_N + 85.4(89.3) U_N$ (氮收支方程括号中的为次饱食数据);3种海水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,军曹鱼次饱食时摄食氮中用于生长的比例较饱食时的大而用于排泄的比例较饱食时的小,青石斑鱼和卵形鲳鲹幼鱼的则相反。因此,鱼类的氮排泄率和氮收支方程存在种间差异,而当食物中氮含量较为接近时,摄食量增大是导致鱼类氮排泄增加的主要原因之一。综合考虑生长、食物转化效率、氮排泄和氮收支方程各因素,可得出在实验的生长阶段,3种海水养殖鱼中,军曹鱼幼鱼的最佳摄食水平为次饱食摄食水平(9%/d或为饱食摄食水平的70%),而青石斑鱼和卵形鲳鲹幼鱼的最佳摄食水平为饱食摄食水平。

关键词:军曹鱼;青石斑鱼;卵形鲳鲹;生长;氮收支;摄食水平

中图分类号:Q 959.4; S 963

文献标识码:A

军曹鱼 (*Rachycentron canadum*)、青石斑鱼 (*Epinephelus awoara*) 和卵形鲳鲹 (*Trachinotus ovatus*) 均为热带亚热带海区分布的暖水性海洋经济鱼类^[1-3]。由于其肉质细嫩鲜美,经济价值高,近年来已成为我国南方海水网箱集约化养殖的重

要鱼类。但我国沿岸天然苗种匮乏,目前养殖生产所需苗种主要依靠人工繁育。

人工育苗过程,尤其是使用人工配合饵料阶段,建立鱼苗适宜的投喂水平,既满足鱼苗正常摄食和生长的需求,又要避免过量投料而造成浪费

收稿日期:2008-05-04 修回日期:2009-02-12

资助项目:国家基金重点项目资助(40531006);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和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)

通讯作者:孙丽华,E-mail:waa-to@163.com

及污染养殖水体,是育苗过程需要解决的关键技术问题之一。因此,建立军曹鱼、青石斑鱼和卵形鲳鲹幼鱼的生长—摄食关系和氮收支方程,开展相关的生物能量学研究,对其人工育苗具有重要的指导意义。

有关军曹鱼、青石斑鱼和卵形鲳鲹的研究已有不少报导^[1-13],但关于3种海水鱼生长—摄食关系以及不同摄食水平条件下氮收支的研究鲜有报导。本文研究了不同摄食水平下军曹鱼、青石斑鱼和卵形鲳鲹幼鱼的生长和氮收支,并对其进行了比较分析,其结果不仅可以揭示3种海水鱼的生物能量学特征,也为规模化人工育苗过程中饵料投喂管理和水质管理提供科学依据。

1 材料与amp;方法

1.1 实验材料

实验于2004年9月至2005年9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、青石斑鱼

和卵形鲳鲹幼鱼。

军曹鱼和青石斑鱼的试验饵料为鳗鱼配合饲料(顶旺牌,佛山市顺德区全兴水产饲料有限公司),主要原料为进口鱼粉、 α -淀粉、酵母粉、硫酸亚铁、硫酸锌、硫酸铜、硫酸锰、亚硒酸钠、维生素A、维生素D₃、维生素E、维生素K₃、稳定维生素C、维生素B₁、维生素B₂、维生素B₆、维生素B₁₂、烟酸、叶酸、肌醇;卵形鲳鲹的试验饵料为金鲳1号膨化配合饲料(海马牌,福州海马饲料有限公司),主要原料为进口优质鱼粉、酵母粉、豆粕、鱼油、卵磷脂、小肽、有机螯合矿物质、稳定型维生素以及酶、益生菌、消化整肠剂等生物制剂。两种饲料的化学组成和能量含量湿重如表1所示。

1.2 实验方法

实验鱼的驯养 3种鱼的实验分批进行。从室外育苗池中挑选同批繁殖的鱼苗转移至室内水泥池(容积2 m×1 m×1 m,盛水1.6 m³)中流水式驯养2周,以适应实验室环境。

表1 两种饲料的化学组成和能量含量

Tab.1 Chemical composition and energy content of two diets

饵料种类 feed type	水分含量(%) moisture content	蛋白质含量(%) protein content	脂肪含量(%) lipid content	灰分含量(%) ash content	能量含量(%) energy content
鳗鱼粉配合饲料 commercial eel formulated feed	8.48	44.63	10.42	12.24	16.71
金鲳1号膨化配合饲料 no.1 expanded formulated feed for pampano	6.74	45.23	9.12	11.39	17.66

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(容积60 cm×45 cm×40 cm,盛水90 L)中继续驯养7 d。每个水箱的鱼苗采用Russell等^[14]描述的方法进行标记。军曹鱼幼鱼每天更换100%新鲜海水,青石斑鱼和卵形鲳鲹幼鱼每4~5 d更换100%新鲜海水。

驯养期间,军曹鱼幼鱼日投饵2次(上午08:00和傍晚17:00),青石斑鱼幼鱼日投饵1次(早晨09:00),卵形鲳鲹幼鱼日投饵2次(上午08:00和傍晚17:00),均至鱼饱食。驯养过程连

续充气,保持溶解氧>6 mg/L。每天监测水质状况,军曹鱼幼鱼驯养水温和盐度分别为27.5~30.1℃和31.2~34.0、青石斑鱼幼鱼的分别为25.7~29.1℃和29.4~33.2、卵形鲳鲹幼鱼的分别为27.8~29.4℃和30.1~33.6,自然光照。

驯养结束将实验鱼停食2 d后称重,测得军曹鱼、青石斑鱼和卵形鲳鲹幼鱼初始平均体重分别为10.0、5.5和7.7 g。

生长试验 试验设计如表2所示。此外,每种鱼另外取20~30尾鱼作为对照,用于测定初始试验鱼的干重比例和含氮量。

表 2 不同鱼种试验的设计
Tab. 2 Experimental design for different fish species

实验鱼种 fish species	军曹鱼幼鱼 young cobia	青石斑鱼幼鱼 young yellow grouper	卵形鲳鲹幼鱼 young ovate pampano
	饥饿 (0) starvation (0)	饥饿 (0) starvation (0)	饥饿 (0) starvation (0)
摄食水平 (%/d) ration	3 6 9	0.5 1 2	1 2 4
	饱食 satiation	饱食 satiation	饱食 satiation
平行组 replicates	5	5	4
每个平行放鱼尾数 fish number in per replicate	4	6	8

注: % 为每日投饵量占试验鱼初始体重的比例

Notes: % was expressed as a ratio of feed consumption to fish initial body weight per day

试验期间,每天按照试验设计的摄食水平进行投饵,军曹鱼和卵形鲳鲹幼鱼日投饵 2 次(上午 08:00 和下午 17:00),青石斑鱼幼鱼日投饵 1 次(上午 09:00),饱食组投喂过量饵料,0.5 h 后用虹吸法收集剩余饵料并于 65 °C 下烘干称重,同时另取一份饵料放入空白水箱中,0.5 h 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 65 °C 下烘干称重。军曹鱼幼鱼每天更换 100% 新鲜海水,青石斑鱼和卵形鲳鲹幼鱼每 4 ~ 5 d 更换 100% 新鲜海水。试验过程均连续充气,保持水体溶解氧 > 6 mg/L,自然光照,军曹鱼幼鱼的实验水温 and 盐度分别为 27.2 ~ 29.6 °C 和 31.4 ~ 33.6,青石斑鱼幼鱼的分别为 25.2 ~ 28.4 °C 和 30.2 ~ 33.6,卵形鲳鲹幼鱼的分别为 27.2 ~ 30.6 °C 和 29.8 ~ 34.4。

军曹鱼属摄食量大且生长快速的鱼类,饥饿组鱼苗在实验进行到第 13 天时由于饥饿开始出现死亡,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 15 d,实验结束时,除饥饿组外,其它摄食水平组实验鱼苗存活率为 100%。青石斑鱼和卵形鲳鲹的实验周期均为 21 d,实验结束时,饱食组鱼苗平均生长量分别为其初始体重的 29% 和 28%,实验鱼苗存活率分别为 92% 和 90%。

试验结束后将鱼苗饥饿 2 d 称重,并于 65 °C 下烘干取得干物质含量,磨匀后储存于 -20 °C 超低温冰箱,供以后分析用。

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 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。

计算公式 摄食量(C_i) $C_i = W_i - w_i$

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

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。

食物湿重转换效率(FCE_w)的计算公式:

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

式中, ΔBW 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^[15-17]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。此时,氮排泄通过差减法计算,即 $U_N = C_N - F_N - G_N$ 。

数据处理 实验数据使用 Excell 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 ± 标准差(mean ± SD)。

2 结果

2.1 不同摄食水平下 3 种鱼的生长及食物转化效率

不同摄食水平下军曹鱼、青石斑鱼和卵形鲳鲹幼鱼的特定生长率和食物转化效率如表 3 所示。军曹鱼、青石斑鱼和卵形鲳鲹幼鱼不同摄食水平下的湿重、干重、氮特定生长率变化范围分别为 $-3.59 \sim 5.08$ 、 $-5.35 \sim 5.93$ 、 $-5.97 \sim 6.29$ 、 $-0.82 \sim 1.24$ 、 $-1.03 \sim 1.43$ 、 $-1.13 \sim 1.46$ %/d 和 $-3.08 \sim 1.13$ 、 $-3.22 \sim 1.70$ 、 $-4.27 \sim 1.32$ %/d。随摄食水平增加,3 种海水鱼的湿重、干重、氮特定生长率均显著增长 ($P < 0.05$)。方差分析显示,军曹鱼幼鱼特定生长率在 9% 和饱食两个摄食水平之间无显著性差异 ($P > 0.05$),而青石斑鱼和卵形鲳鲹幼鱼的特定生长率各摄食水平之间均差异显著 ($P < 0.05$)。回归分析表明,军曹鱼幼鱼的特定生长率与摄食水平之间表现为减速增长趋势,采用对数函数定量描

述,而青石斑鱼和卵形鲳鲹幼鱼的特定生长率与摄食水平之间表现为线性增长趋势,采用一次函数定量描述。

军曹鱼、青石斑鱼和卵形鲳鲹幼鱼不同摄食水平下的食物湿重、干重、氮转化效率变化范围分别为 $41.04\% \sim 71.09\%$ 、 $14.73\% \sim 20.79\%$ 、 $22.60\% \sim 31.27\%$ 、 $-58.85\% \sim 46.54\%$ 、 $-20.20\% \sim 15.59\%$ 、 $-24.71\% \sim 20.78\%$ 和 $-206.09\% \sim 22.64\%$ 、 $-59.21\% \sim 10.13\%$ 、 $-89.42\% \sim 10.20\%$,其中,军曹鱼幼鱼的食物湿重、干重和氮转换效率随摄食水平的增加呈先升后降的变化趋势,在 9% 摄食水平时有最大值,而青石斑鱼和卵形鲳鲹幼鱼的则随摄食水平的增加持续增长,在饱食摄食水平时有最大值。

比较可知,饱食时青石斑鱼和卵形鲳鲹幼鱼生长速率相近,但明显低于军曹鱼幼鱼;军曹鱼和青石斑鱼幼鱼食物转化效率相近,但明显高于卵形鲳鲹幼鱼。

表 3 不同摄食水平下军曹鱼、青石斑鱼和卵形鲳鲹幼鱼的湿重、干重、氮特定生长率和食物湿重、干重和氮转化效率

Tab.3 Specific growth rate in wet weight (SGR_w , %/d), dry weight (SGR_d , %/d), nitrogen (SGR_N , %/d) and feed conversion rate in wet weight (FCE_w , %), dry weight (FCE_d , %), nitrogen (FCE_N , %) of young cobia, yellow grouper and ovate pampano at different rations

鱼种 fish species	摄食水平 ration	特定生长率 (%/d) specific growth rate			食物转化效率 (%) feed conversion efficiency		
		SGR_w	SGR_d	SGR_N	FCE_w	FCE_d	FCE_N
军曹鱼 <i>Rachycentron canadum</i>	饥饿 starvation	-3.59 ± 0.28^a	-5.35 ± 0.51^a	-5.97 ± 0.69^a			
	3	1.14 ± 0.33^b	1.68 ± 0.35^b	2.53 ± 0.26^b	41.04 ± 12.65^a	14.73 ± 4.02^a	31.08 ± 4.04^b
	6	2.87 ± 0.58^c	3.81 ± 0.59^c	4.30 ± 0.67^c	57.43 ± 14.07^{bc}	18.60 ± 3.62^{ab}	29.13 ± 5.83^b
	9	4.74 ± 0.39^d	5.67 ± 0.44^d	6.15 ± 0.47^d	71.09 ± 7.69^c	20.79 ± 2.20^b	31.27 ± 3.40^b
青石斑鱼 <i>Epinephelus auroara</i>	饱食 satiation	5.08 ± 1.16^d	5.93 ± 1.31^d	6.29 ± 1.34^d	54.53 ± 9.17^{ab}	15.45 ± 2.40^a	22.60 ± 3.67^a
	饥饿 starvation	-0.82 ± 0.14^a	-1.03 ± 0.26^a	-1.13 ± 0.22^a			
	0.5	-0.35 ± 0.16^b	-0.40 ± 0.18^b	-0.38 ± 0.21^b	-58.85 ± 13.62^a	-20.20 ± 8.64^a	-24.71 ± 13.24^a
	1	0.07 ± 0.03^c	0.05 ± 0.14^c	0.10 ± 0.13^c	7.50 ± 1.03^b	1.43 ± 3.84^b	3.60 ± 4.64^b
卵形鲳鲹 <i>Trachinotus ovatus</i>	2	0.41 ± 0.12^d	0.46 ± 0.17^d	0.46 ± 0.12^d	23.79 ± 1.16^c	6.34 ± 2.48^c	8.24 ± 2.29^c
	饱食 satiation	1.24 ± 0.24^e	1.43 ± 0.26^e	1.46 ± 0.27^e	46.54 ± 6.23^d	15.59 ± 2.64^d	20.78 ± 3.88^d
	饥饿 starvation	-3.08 ± 0.28^a	-3.22 ± 0.58^a	-4.27 ± 0.70^a			
	1	-2.37 ± 0.21^b	-2.37 ± 0.34^b	-2.75 ± 0.46^b	-206.09 ± 15.75^a	-59.21 ± 7.35^a	-89.42 ± 12.67^a
	2	-1.59 ± 0.26^c	-1.51 ± 0.45^c	-1.57 ± 0.39^c	-72.08 ± 10.69^b	-19.70 ± 5.34^b	-27.32 ± 6.17^b
	4	0.23 ± 0.08^d	0.63 ± 0.37^d	0.48 ± 0.38^d	5.93 ± 2.00^c	4.71 ± 2.90^c	4.78 ± 3.91^c
	饱食 satiation	1.13 ± 0.38^c	1.70 ± 0.41^c	1.32 ± 0.47^c	22.64 ± 7.58^d	10.13 ± 2.07^c	10.20 ± 3.21^c

注:同种鱼同列数据后面不同字母表示在 0.05 水平上差异显著

Notes: Values (mean \pm SD) in the same row with different letters are significantly different ($P < 0.05$) for each fish species

2.2 不同摄食水平下3种鱼的氮收支

不同摄食水平下军曹鱼幼鱼的摄食氮、排粪氮、生长氮和排泄氮变化范围分别为 0.000 ~ 6.388 mg/(g·d)、0.000 ~ 0.496 mg/(g·d)、-1.128 ~ 1.455 mg/(g·d) 和 1.128 ~ 4.437 mg/(g·d), 青石斑鱼幼鱼的分别为 0.000 ~ 1.776 mg/(g·d)、0.000 ~ 0.048 mg/(g·d)、-0.374 ~ 0.512 mg/(g·d) 和 0.374 ~ 1.215 mg/(g·d), 卵形鲳鲹幼鱼的分别为 0.000 ~

3.866 mg/(g·d)、0.000 ~ 0.070 mg/(g·d)、-0.930 ~ 0.498 mg/(g·d) 和 0.930 ~ 3.298 mg/(g·d) (表4)。随摄食水平增加,3种海鱼幼鱼的氮排泄率均呈显著增长趋势($P < 0.05$);回归分析表明,军曹鱼幼鱼的氮排泄率与摄食水平之间表现为曲线增长趋势,采用指数函数定量描述,而青石斑鱼和卵形鲳鲹幼鱼的氮排泄率与摄食水平之间表现为线性增长趋势,采用一次函数定量描述(表5)。

表4 不同摄食水平(%/d)下军曹鱼、青石斑鱼和卵形鲳鲹幼鱼的摄食氮、排粪氮、生长氮、排泄氮[mg/(g·d)]和氮收支方程($C_N = F_N + G_N + U_N$)

Tab.4 Food nitrogen [C_N , mg/(g·d)], faeces nitrogen [F_N , mg/(g·d)], growth nitrogen [G_N , mg/(g·d)], excretion nitrogen [U_N , mg/(g·d)] and nitrogen budget ($C_N = F_N + G_N + U_N$) at different rations (%/d) for young cobia, yellow grouper and ovate pampango

鱼种 fish species	摄食水平 ration	摄食氮 food nitrogen	排粪氮 faeces nitrogen	生长氮 growth nitrogen	排泄氮 excretion nitrogen	氮收支方程 nitrogen budget
军曹鱼 <i>Rachycentron canadum</i>	饥饿 starvation	0.000 ± 0.000	0.000 ± 0.000	-1.128 ± 0.097	1.128 ± 0.097 ^a	
	3	1.951 ± 0.092	0.071 ± 0.016	0.608 ± 0.072	1.272 ± 0.125 ^a	$100C_N = 3.66F_N + 31.22G_N + 65.11U_N$
	6	3.540 ± 0.142	0.148 ± 0.037	1.029 ± 0.172	2.364 ± 0.274 ^b	$100C_N = 4.17F_N + 29.20G_N + 66.63U_N$
	9	4.627 ± 0.140	0.278 ± 0.026	1.446 ± 0.121	2.904 ± 0.231 ^c	$100C_N = 6.00F_N + 31.31G_N + 62.68U_N$
	饱食 satiation	6.388 ± 0.579	0.496 ± 0.102	1.455 ± 0.323	4.437 ± 0.322 ^d	$100C_N = 7.72F_N + 22.62G_N + 69.66U_N$
青石斑鱼 <i>Epinephelus awoar</i>	饥饿 starvation	0.000 ± 0.000	0.000 ± 0.000	-0.374 ± 0.069	0.374 ± 0.069 ^a	
	0.5	0.370 ± 0.006	0.016 ± 0.003	-0.126 ± 0.070	0.479 ± 0.078 ^b	$100C_N = 4.40F_N - 24.07G_N + 119.68U_N$
	1	0.709 ± 0.002	0.027 ± 0.003	0.039 ± 0.046	0.643 ± 0.049 ^c	$100C_N = 3.83F_N + 3.92G_N + 92.25U_N$
	2	1.367 ± 0.018	0.038 ± 0.004	0.161 ± 0.042	1.168 ± 0.053 ^d	$100C_N = 2.81F_N + 8.41G_N + 88.79U_N$
	饱食 satiation	1.776 ± 0.305	0.048 ± 0.007	0.512 ± 0.021	1.215 ± 0.267 ^e	$100C_N = 2.72F_N + 20.89G_N + 76.39U_N$
卵形鲳鲹 <i>Trachinotus ovatus</i>	饥饿 starvation	0.000 ± 0.000	0.000 ± 0.000	-0.930 ± 0.148	0.930 ± 0.148 ^a	
	1	0.727 ± 0.000	0.012 ± 0.004	-0.583 ± 0.108	1.297 ± 0.105 ^b	$100C_N = 1.69F_N - 80.13G_N + 178.44U_N$
	2	1.456 ± 0.002	0.021 ± 0.003	-0.285 ± 0.102	1.719 ± 0.102 ^c	$100C_N = 1.45F_N - 19.55G_N + 118.10U_N$
	4	2.909 ± 0.003	0.041 ± 0.005	0.271 ± 0.110	2.597 ± 0.109 ^d	$100C_N = 1.42F_N + 9.32G_N + 89.26U_N$
	饱食 satiation	3.866 ± 0.273	0.070 ± 0.016	0.498 ± 0.138	3.298 ± 0.134 ^e	$100C_N = 1.80F_N + 12.75G_N + 85.44U_N$

注:同种鱼同列数据后面不同字母表示在0.05水平上差异显著

Notes: Values (mean ± SD) in the same row with different letters are significantly different ($P < 0.05$) for each fish species

不同摄食水平下军曹鱼、青石斑鱼和卵形鲳鲹幼鱼的氮收支方程如表4所示。军曹鱼幼鱼摄食氮中用于生长的比例在9%/d摄食水平时有最大值,而青石斑鱼和卵形鲳鲹幼鱼的则在饱食摄食水平时有最大值。对每种鱼而言,从食物中摄取的氮小部分用于生长(<32%),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(>60%),排粪损失的氮所占比例则很少(<8%)。

比较可知,军曹鱼幼鱼的摄食氮、排粪氮、生长氮和排泄氮均为最大,而青石斑鱼幼鱼的摄食氮、排粪氮和排泄氮最小;饱食时军曹鱼和卵形鲳鲹幼鱼摄食氮中用于生长的比例接近,但明显高于卵形鲳鲹幼鱼。

表5 军曹鱼、青石斑鱼和卵形鲳鲹幼鱼生长($SGR, \%/d$)和氮排泄 [$U_N, mg/(g \cdot d)$]与摄食水平($RL, \%/d$)关系

Tab.5 Relationships between specific growth rate ($SGR, \%/d$) as well as nitrogen excretion [$U_N, mg/(g \cdot d)$] and ration level ($RL, \%/d$) for young cobia, yellow grouper and ovate pampano

鱼种 fish species	项目 items	回归方程 regression equation	n	R^2	P
军曹鱼 <i>Rachycentron canadum</i>	SGR_w	$SGR_w = 3.8759 \ln(RL + 1) - 3.7164$	25	0.9560	<0.01
	SGR_d	$SGR_d = 5.1068 \ln(RL + 1) - 5.2477$	25	0.9707	<0.01
	SGR_N	$SGR_N = 5.5611 \ln(RL + 1) - 5.6094$	25	0.9631	<0.01
青石斑鱼 <i>Epinephelus awoar</i>	U_N	$\ln U_N = 0.1620RL - 0.1638$	25	0.9326	<0.01
	SGR_w	$SGR_w = 0.7384RL - 0.7636$	25	0.9191	<0.01
	SGR_d	$SGR_d = 0.8710RL - 0.9281$	25	0.9013	<0.01
卵形鲳鲹 <i>Trachinotus ovatus</i>	SGR_N	$SGR_N = 0.9037RL - 0.9662$	25	0.8973	<0.01
	U_N	$U_N = 0.2182RL + 0.2191$	25	0.9411	<0.01
	SGR_w	$SGR_w = 0.8386RL - 3.2592$	20	0.9694	<0.01
	SGR_d	$SGR_d = 1.0157RL - 3.4411$	20	0.9547	<0.01
	SGR_N	$SGR_N = 1.1327RL - 4.1301$	20	0.9593	<0.01
	U_N	$U_N = 0.4759RL + 0.8038$	20	0.9731	<0.01

3 讨论

3.1 军曹鱼、青石斑鱼和卵形鲳鲹幼鱼特定生长率和食物转化效率的比较及摄食水平的影响

鱼的生长存在种间差异。比较军曹鱼、青石斑鱼和卵形鲳鲹幼鱼的特定生长率可知,军曹鱼幼鱼生长最快,青石斑鱼和卵形鲳鲹幼鱼生长速率相近,但与军曹鱼幼鱼的快速生长相比,则明显趋于缓慢。军曹鱼幼鱼摄食量大,且食物转化效率相对高,故表现出较快的生长速率;青石斑鱼幼鱼虽然食物转化效率较高,但其摄食少,故表现出较慢的生长速率;卵形鲳鲹幼鱼虽然摄食量增大,但其食物转化效率低,故仍表现出较慢的生长速率。

摄食是影响生长的重要因素之一。研究表明,鱼类生长—摄食关系多表现为减速增长曲线,其数学公式的拟合却没有统一的模型可以套用,常用以拟合的数学模型有幂函数 $\ln(SGR + d) = a + b \ln(RL + c)$ ^[18],对数函数 $SGR = a + b \ln(RL + c)$ ^[19], von Betalanffy 函数 $SGR = a(1 + e^{-k(RL-c)})$ ^[20], $SGR = a + b(RL - RL_m)^{1/2}$ ^[21],等;亦有不少报道^[22-25]指出鱼类生长—摄食关系表现为直线。在本实验处理下,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呈先上升后下降的趋势,即最大特定生长率与最大食物转化效率并不在同一摄食水平下获得,这与海鲈

(*Dicentrarchus labrax*) 稚鱼^[17]、三刺棘鱼(*Gasterosteus aculeatus* L.)^[19]、真鲷(*Pagrosomus major*)^[26]、黑鲷(*Sparus macrocephalus*)^[27]、黑鲷(*Sebastes schlegeli*)^[28]等多种海水鱼类的研究结果相一致;而青石斑鱼和卵形鲳鲹幼鱼生长—摄食关系表现为线性相关,此时鱼类转换效率一般随摄食水平的增加而持续增长,即特定生长率和食物转化效率最大值均在最高摄食水平时获得,这与梭鱼^[24]、褐牙鲈^[25]等海水鱼类的研究结果相一致。

3.2 军曹鱼、青石斑鱼和卵形鲳鲹幼鱼氮收支的比较及摄食水平的影响

摄食水平对鱼类氮排泄率影响明显。通常,鱼类氮排泄率随摄食水平的增加呈线性增长趋势^[29-32],但亦有报道^[32-34]指出氮排泄率和摄食水平之间表现为曲线关系,常采用幂函数或指数函数定量描述。本文中,军曹鱼幼鱼氮排泄率与摄食水平之间表现为曲线增长趋势,采用指数函数定量描述,这与南方鲷^[33]的研究结果相近;而青石斑鱼和卵形鲳鲹幼鱼的氮排泄率与摄食水平之间表现为线性增长趋势,这与大嘴鲈^[30-31]、真鲷^[29]、梭鱼^[24]、褐牙鲈^[25]等多种鱼类的研究结果相一致。

在食物中氮含量相近的情况下,军曹鱼幼鱼的摄食氮和排泄氮明显多于青石斑鱼和卵形鲳鲹幼鱼,而青石斑鱼幼鱼的摄食氮和排泄氮最少。氮收支方程中,军曹鱼幼鱼对食物中氮的吸收最好,其次为青石斑鱼幼鱼,而卵形鲳鲹的最差。比

较每种鱼不同摄食水平下的氮收支方程可知,军曹鱼幼鱼在9%/d摄食水平而青石斑鱼和卵形鲳鲹幼鱼则是在饱食摄食水平时身体对食物中氮的利用率最高。因此,鱼类的氮排泄和氮收支方程,不仅存在种间的差异,而且亦受摄食水平的影响。

在摄入氮的分配中,军曹鱼、青石斑鱼和卵形鲳鲹幼鱼的生长氮占摄食氮的比例小于32%,从食物中摄取的氮多数随排粪和排泄过程排出体外,而排粪氮占摄食氮的比例较小且变化不大,排泄是氮支出的最主要途径,占摄入氮的比例超过60%,这与真鲷^[26]、黑鲷^[27]、黑鲟^[28]等多种海水鱼类的研究结果相一致。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%^[35]。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、青石斑鱼和卵形鲳鲹幼鱼的最佳投饵水平

人工育苗过程中,如何调整投饵水平,使养殖鱼既能获得较高特定生长率和食物转化效率,又可减少鱼体氮排泄和水体污染,是育苗生产中需要解决的关键问题之一。综合3种海水鱼生长、食物转化效率和氮收支各因素,可初步得出在本实验的生长阶段,军曹鱼幼鱼的最佳投饵水平应为次饱食摄食水平(即为9%/d摄食水平),约占最大摄食水平(12.87%/d)的70%,而青石斑鱼和卵形鲳鲹幼鱼的最佳投喂水平应为饱食摄食水平。

但鱼类的生长—摄食关系和氮收支方程并不是一成不变的,对某些种类而言,生长—摄食关系和氮收支方程亦受实验方法^[36]、饵料种类和组成^[37]、个体大小^[23]、温度^[38]等多种因素的影响。因此,对军曹鱼、青石斑鱼和卵形鲳鲹幼鱼而言,有必要开展进一步研究,以定量这些因素的影响,并据此对鱼类的适宜投饵水平进行相应的调整。

参考文献:

[1] Briggs J C. Fishes of worldwide (circumtropical) distribution[J]. Copeia, 1960, 3: 171-180.
[2] 薄治礼,周婉霞,辛俭,等. 青石斑鱼 *Epinephelus*

awoara 仔、稚、幼鱼日龄和形态、生长发育的研究[J]. 浙江水产学院学报, 1993, 12(3): 165-173.
[3] Chervinski J, Zorn M. Note on occurrence and the food of juvenile kachlan (*Trachinotus ovatus*, Linnaeus) (Pisces: Carangidae) from the Mediterranean[J]. Aquaculture, 1977, 10: 179-185.
[4] Franks J S, Garber N M, Warren J R. Stomach contents of juvenile Cobia, *Rachycentron canadum*, from the northern Gulf of Mexico[J]. Fishery Bulletin, 1996, 94(2): 374-380.
[5] 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.
[6] Sun L H, Chen H R, Huang L M, et al. Growth and energy budget of juvenile cobia (*Rachycentron canadum*) relative to ration[J]. Aquaculture, 2006, 257: 214-220.
[7] Sun L H, Chen H R, Huang L M, 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.
[8] Sun L H, Chen H R, Huang L M. Effect of temperature on growth and energy budget of juvenile cobia (*Rachycentron canadum*) [J]. Aquaculture, 2006, 261: 872-878.
[9] 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, 2006, 25(2): 24-29.
[10] Sun L H, Chen H R, Huang L M. Growth, faecal production, nitrogenous excretion and energy budget of juvenile yellow grouper (*Epinephelus awoara*) relative to ration level [J]. Aquaculture, 2007, 264: 228-235.
[11] 覃映雪,池信才,苏永全,等. 网箱养殖青石斑鱼的溃疡病病原[J]. 水产学报, 2004, 28(3): 297-302.
[12] Chervinski J, Zorn M. Pampano, *Trachinotus ovatus* L. (Pisces: Carangidae) and its adaptability to various saline conditions [J]. Aquaculture, 1973, 2: 241-244.
[13] 周永灿,张本,陈雪芬,等. 嗜麦芽假单胞菌脂多糖的制备及其在卵形鲳鲹中的免疫效应[J]. 水产学报, 2002, 26(2): 143-148.
[14] 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.
- [15] 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, Ed. Proceedings Aquaculture Nutrition Workshop, Salamander Bay. NSW Fisheries, Salamander Bay, Australia, 1992: 9 - 16.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] Wurtsbaugh W A, Cech J J Jr. Growth and activity of juvenile mosquitofish; temperature and ration effects [J]. Transactions of the American Fisheries Society, 1983, 112: 653 - 660.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] 线薇薇, 朱鑫华. 摄食水平对梭鱼的生长和能量收支的影响 [J]. 海洋与湖沼, 2001, 32 (6): 612 - 620.
- [25] 线薇薇, 朱鑫华. 摄食水平对褐牙鲈 (*Paralichthys olivaceus*) 幼鱼生长影响的初步研究 [J]. 青岛海洋大学学报, 2000, 30 (3): 453 - 458.
- [26] 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.
- [27] 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.
- [28] 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.
- [29] 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.
- [30] 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]. Journal of Fish Biology, 1977, 11 (2): 185 - 192.
- [31] 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.
- [32] Cui Y, Liu J. Comparison of energy budget among six teleosts- I. food consumption, faecal production and nitrogenous excretion [J]. Comparative Biochemistry and Physiology, 1990, 96A: 163 - 171.
- [33] 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.
- [34] Mortensen E. Population and energy dynamics of trout *Salmo trutta* in a small Danish stream [J]. Journal of Animal Ecology, 1985, 54: 869 - 882.
- [35] Jobling M (Editors). Fish Bioenergetics [M]. London: Chapman and Hall, 1994.
- [36] 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.
- [37] 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.
- [38] 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.

Effects of ration on growth and nitrogen budgets of several important marine-cultured fishes

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

(1. South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China;

2. Marine Biology Research Station at Daya Bay, Chinese Academy of Sciences, Shenzhen 518121, China;

3. Key and Open Laboratory of Fishery Ecology and Environment, Ministry of Agriculture, Key Laboratory of Fishery Ecology and Environment, Guangdong Province, Guangzhou 510301, China)

Abstract: Growth and nitrogen budgets of young cobia (average initial body weight 10.0 g), yellow grouper (average initial body weight 5.5 g) and ovate pampano (average initial body weight 7.7 g) at different rations (from starvation to satiation) were studied, and the relationships between growth as well as nitrogenous 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 and there was no significant difference of *SGR* between satiation and sub-satiation (9% per day) ration, but *SGR* of young yellow grouper and ovate pampano increased with a linear pattern. Among three fish species *SGR* of young yellow grouper and ovate pampano were similar but much slower than that of young cobia. As ration increased, feed conversion efficiency (*FCE*) of young cobia first increased, peaked at 9% per day ration and then decreased, but *FCE* of young yellow grouper and ovate pampano increased along and peaked at satiation ration. Among three fish species, *FCE* of young cobia and yellow grouper at satiation ration were similar, but much higher than that of young ovate pampano. Food nitrogen (C_N), faeces nitrogen (F_N), growth nitrogen (G_N) and excretion nitrogen (U_N) all increased with increased ration for three fish species. C_N and U_N were highest for young cobia and lowest for young yellow grouper. The nitrogen budgets of young cobia, yellow grouper and ovate pampano at satiation and sub-satiation ration were $100C_N = 7.7(6.0)F_N + 22.6(31.31)G_N + 69.7(62.68)U_N$, $100C_N = 2.7(2.8)F_N + 20.9(8.4)G_N + 76.4(88.8)U_N$ and $100C_N = 1.8(1.4)F_N + 12.8(9.3)G_N + 85.4(89.3)U_N$ (the data in bracket indicated those at sub-satiation ration), respectively. Both the proportions of food nitrogen lost in faeces and the variations of the proportions for three fish species were small. For young cobia at sub-satiation ration (9% per day) the proportion of food nitrogen stored as growth was more than, and the proportion of food nitrogen lost in nitrogen was less than those at satiation ration, but contrary for young yellow grouper and ovate pampano. So among three fish species, nitrogenous excretion and nitrogen budget had an inter-specific difference and increased food consumption was one of the major reasons for increased excretion nitrogen when diets contained approximate nitrogen content. Based on the specific growth rate, feed conversion efficiency, nitrogenous excretion and nitrogen budget, it could be concluded that the suitable feeding level was sub-satiation ration (9% per day) or about 70% of satiation ration for young cobia and satiation ration for young yellow grouper and ovate pampano at this growth stage.

Key words: *Rachycentron canadum*; *Epinephelus awoa*; *Trachinotus ovatus*; growth; nitrogen budget; ration