

温度和体质量对军曹鱼生长及氮收支的影响

孙丽华^{1,2*}, 陈浩如^{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)

摘要: 为调查军曹鱼生长和氮收支与温度和体质量的关系, 采用鱼类生物能量学的原理和方法, 开展了不同温度(21、27 和 33 °C)和体质量(10、20、50 和 100 g)对军曹鱼生长和氮收支的影响研究, 并建立了生长—温度/体质量关系及不同温度和体质量条件下的氮收支方程。结果显示:(1) 温度和体质量对军曹鱼生长影响显著, 且两者之间存在交互作用。军曹鱼在实验的最高水温(33 °C)及最小体质量(10 g)时生长最快, 在实验的最低水温(21 °C)及最大体质量(100 g)时生长最慢。(2) 实验的体质量范围内, 军曹鱼特定生长率均随水温升高呈显著增长趋势; 在实验的温度范围内, 军曹鱼特定生长率随体质量增加呈减速下降趋势, 两者间的关系采用幂函数定量描述。多元回归分析表明, 模型 $\text{LnSGR} = a + b\text{LnW} + cT + dT^2 + eT\text{LnW}$ 能较好地拟合军曹鱼特定生长率、温度及体质量间的关系。(3) 军曹鱼摄食氮、排粪氮、排泄氮和生长氮受温度和体质量影响显著, 随温度升高而增加, 随体质量增加趋于减少。(4) 不同温度和体质量组军曹鱼氮收支方程存在差异, 且温度对氮收支方程的影响大于体质量。对同一体质量组, 水温 27 和 33 °C 时生长氮占食物氮的比例明显高于水温 21 °C 时, 而水温 27 和 33 °C 时代谢氮占食物氮的比例则明显低于水温 21 °C 时; 对同一温度组, 军曹鱼氮收支方程变幅较小。(5) 在所有氮收支方程中, 摄食氮用于排泄的比例大于 68%。研究表明, 在实验的温度和体质量范围内, 环境温度偏低不利于军曹鱼生长; 排泄是军曹鱼氮支出的最主要途径; 水温 27 ~ 33 °C 时军曹鱼氮收支方程相对恒定。

关键词: 军曹鱼; 温度; 体质量; 生长; 氮收支

中图分类号: Q 178.1; S 965

文献标志码: A

军曹鱼 (*Rachycentron canadum*) 广泛分布于热带和亚热带海域, 尤其是美国南部大西洋沿海和墨西哥湾北部海域最为常见, 是该地区游钓渔业的主要鱼类, 具有较高的经济价值。我国南海海域也可捕获到其仔鱼和成鱼。但近年来, 许多国家加大捕捞强度, 使军曹鱼近年来已出现资源量下降, 资源恢复压力倍增。

鉴于军曹鱼较高的经济价值, 又因其生长速度快、抗病力强, 适宜规模化网箱养殖, 我国南方沿海地区于上世纪 90 年代末从台湾地区引进苗种尝试该鱼的人工养殖, 并通过不断探索, 很快实

现了该鱼的全人工繁育。近年来, 军曹鱼已发展成为我国南方海水网箱养殖中最具产业化养殖的种类之一, 其养殖模式从传统的浅海网箱养殖向深水网箱规模化养殖发展。

事实上, 军曹鱼正发展成为一种世界范围的养殖鱼种, 而不同领域的学者亦开始致力于该鱼生物学、生理学、生态学、营养学、能量学等各方面的研究, 研究报道也越来越多^[1-5]。但到目前为止, 有关温度和体质量对军曹鱼生长和氮收支影响的研究则鲜有报道。而关于养殖过程中鱼体不同发育阶段的生长状况以及何种环境条件下鱼体

收稿日期:2013-02-28 修回日期:2013-05-30

资助项目:国家青年自然科学基金项目(41006093)

通信作者:孙丽华, E-mail:waa-to@163.com

具有最大日生长量等信息对实际水产养殖生产来说非常有用,但另一方面,鱼体通过排粪和排泄途径的氮废物输出亦会对养殖水域环境造成污染,而关于鱼体各生长阶段废物输出量的评估,以及何种环境条件下既能保证鱼体快速生长又能有效减少鱼体氮废物输出等信息,对养殖水域环境保护来说非常重要。

温度和体质量对鱼类生长和氮排泄影响显著。随体质量增加,鱼类生长速率通常趋于缓慢,但其绝对摄食量会相应增加,相应地,氮输出也会加大。一定温度范围内,随温度上升,鱼类摄食和生长均呈增长趋势,而摄食增加亦会引起氮输出量增加,尤其在高温环境中,过量投饵以及大量废物输出,将导致养殖海区的污染加剧。因此,了解不同温度条件下不同体质量鱼体的生长及氮收支,对水产养殖以及环境保护都具有重要的科学意义。本实验探讨了军曹鱼生长和氮收支与非生物因子——温度以及生物因子——体质量的关系,研究结果不仅为鱼类生理生态学研究提供基础资料,还为军曹鱼人工养殖的实际生产应用等提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 实验材料

实验在中国科学院大亚湾海洋生物综合实验站进行。实验用军曹鱼采集自室外育苗池同一批人工繁育的苗种,选择健康活泼的个体放置于实验室内 的水泥池中(容积 $2\text{ m} \times 1\text{ m} \times 1\text{ m}$,盛水 1.6 m^3),水温 $28 \sim 30\text{ }^\circ\text{C}$,流水式驯养 7 d ,然后将大小均匀、摄食正常的鱼苗从水泥池中转移至实验用透明塑料水箱中(容积 $60\text{ cm} \times 45\text{ cm} \times 40\text{ cm}$,盛水 90 L),逐渐将温度调至实验所需温度,并在这一温度下继续驯养 7 d 。不同温度的海水来自 3 个配备加热或冷却系统的水泥池(容积 $2\text{ m} \times 1\text{ m} \times 1\text{ m}$,盛水 1.2 m^3),新鲜过滤充气一定温度的海水以 0.15 L/min 的速度泵入实验水箱,同时将等量的海水泵出实验水箱。日投饵 2 次(上午 $08:00$ 和下午 $17:00$),每次至饱食。实验饵料为市场购买的鳗鱼配合饲料,主要组成为 8.98% 水分、 45.39% 粗蛋白、 12.53% 粗脂肪和 11.83% 灰分,能量含量为 17.44 kJ/g 。

1.2 实验设计

实验设计为 3 个温度组 $\times 4$ 个体质量组的双

因子交叉试验,温度梯度为 21 、 27 和 $33\text{ }^\circ\text{C}$,体质量梯度为 10 、 20 、 50 和 100 g (鱼初始体质量),每个水平各设 3 个平行, 10 、 20 、 50 和 100 g 体质量组每个水箱分别放鱼 4 、 2 、 1 和 1 尾。此外,另取 $10 \sim 15$ 尾鱼作为对照,用于测定初始试验鱼的干重比例、氮含量和能量含量。

实验开始及结束时,先将鱼饥饿 36 h ,以排空体内粪便,再吸干鱼体表水分后称量鱼的体质量。实验期间,日投饵 2 次($08:00$ 和 $17:00$),饵料过量, 0.5 h 后用虹吸法收集剩余饵料,同时另取一份饵料放入空白水箱中,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。每天收集粪便 $3 \sim 4$ 次。除投饵和收集残饵时停气外,其他时间均连续充气,保持水体溶解氧 $> 6\text{ mg/L}$ 。盐度为 $31.1 \sim 33.7$,自然光照。

实验周期 21 d ,鱼苗存活率 100% 。实验结束后,将鱼处死,在 $70\text{ }^\circ\text{C}$ 下烘干,经研磨均匀后储存于 $-20\text{ }^\circ\text{C}$ 超低温冰箱中,供分析用。

1.3 数据处理与统计分析

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,能量含量的测定采用美国 1341EE 型氧弹量热计。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。

对于实验鱼摄食量、特定增长率、食物转化效率和氮收支的计算以及数据的统计分析,参考孙丽华等^[7]的方法。摄食量(C_i)计算公式为: $C_i = W_i - w_i$,其中 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);鱼体湿重特定增长率(SGR_w)计算公式为: $SGR_w = 100 \times (\ln FBW - \ln IBW)/t$,其中 FBW 为实验结束时鱼苗体质量(g), IBW 为初始鱼苗体质量(g), t 为试验周期(d),而干重特定增长率(SGR_d)、蛋白质特定增长率(SGR_p)及能量特定增长率(SGR_e)亦以同样方法计算;食物湿重转化效率(FCE_w)计算公式为: $FCE_w = 100 \times (\Delta BW/C)$,其中 ΔBW 为实验期间鱼苗体质量增长(g), C 为实验期间总摄食量(g),而食物干重转换效率(FCE_d)、食物蛋白质转换效率(FCE_p)及食物能量转换效率(FCE_e)亦以同样方法计算。鱼类的氮收支方程为: $C_N = F_N + U_N + G_N$,其中 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, 排泄氮通过差减法计算 ($U_N = C_N - F_N - G_N$)。实验数据使用 Excel (2003) 和 SPSS (11.0) 软件进行计算、作图和统计分析。

2 结果

2.1 温度和体质量对军曹鱼生长的影响

方差分析表明, 特定生长率受温度和体质量影响显著 ($P < 0.05$) (表 1)。在每个体质量组, 军曹鱼特定生长率均随温度增加呈显著增长趋

势。在每个温度组, 军曹鱼特定生长率均随体质量增长呈显著下降趋势, 两者间的关系可用幂函数 $SGR = aW^b$ 定量描述 (表 2), b 为体质量指数。由表 2 可知, 体质量指数 b 随温度略有变化。在实验水温 (21 ~ 33 °C) 以及体质量 (10 ~ 100 g) 范围内, 军曹鱼特定生长率仅在最高水温以及最小体质量时有最大值, 在最低水温以及最大体质量时有最小值。回归分析表明, 温度和体质量对军曹鱼特定生长率有交互影响 (表 3)。

表 1 不同温度和体质量条件下军曹鱼湿重、干重、蛋白质和能量特定生长率

Tab. 1 Specific growth rate in wet weight, dry weight, protein and energy of cobia at different temperatures and size treatments

温度/°C temperature	初始鱼 体质量/g initial weight	结束鱼 体质量/g final weight	特定生长率/(%/d) specific growth rate			
			湿重 wet weight	干重 dry weight	蛋白质 protein	能量 energy
33	10.40 ± 0.87	37.62 ± 0.80	6.13 ± 0.47 ^{cZ}	6.43 ± 0.57 ^{cZ}	6.50 ± 0.61 ^{cZ}	6.62 ± 0.50 ^{cZ}
	21.25 ± 1.05	67.07 ± 5.68	5.47 ± 0.48 ^{cZ}	5.72 ± 0.39 ^{cZ}	5.91 ± 0.37 ^{cZ}	6.12 ± 0.43 ^{cZ}
	49.66 ± 3.10	116.04 ± 5.17	4.04 ± 0.34 ^{bZ}	4.24 ± 0.37 ^{bZ}	4.38 ± 0.35 ^{bZ}	4.90 ± 0.35 ^{bZ}
	102.63 ± 7.33	206.71 ± 15.88	3.33 ± 0.08 ^{aZ}	3.47 ± 0.15 ^{aZ}	3.35 ± 0.12 ^{aZ}	3.80 ± 0.05 ^{aZ}
27	10.60 ± 1.12	29.87 ± 4.57	4.91 ± 0.49 ^{cY}	5.07 ± 0.56 ^{cY}	5.16 ± 0.60 ^{cY}	5.14 ± 0.56 ^{cY}
	21.88 ± 1.31	53.36 ± 5.16	4.23 ± 0.24 ^{cY}	4.31 ± 0.25 ^{cY}	4.50 ± 0.27 ^{cY}	4.50 ± 0.37 ^{cY}
	49.86 ± 1.53	95.94 ± 9.53	3.10 ± 0.34 ^{bY}	3.12 ± 0.37 ^{bY}	3.24 ± 0.30 ^{bY}	3.71 ± 0.34 ^{bY}
	101.08 ± 6.72	170.26 ± 7.72	2.49 ± 0.23 ^{aY}	2.57 ± 0.22 ^{aY}	2.46 ± 0.26 ^{aY}	2.95 ± 0.10 ^{aY}
21	10.03 ± 0.57	14.97 ± 0.78	1.91 ± 0.22 ^{cX}	2.07 ± 0.21 ^{cX}	2.22 ± 0.23 ^{cX}	2.11 ± 0.15 ^{cX}
	20.98 ± 0.72	28.93 ± 1.52	1.53 ± 0.23 ^{cX}	1.54 ± 0.23 ^{cX}	1.83 ± 0.31 ^{cX}	1.73 ± 0.05 ^{cX}
	49.10 ± 1.24	63.39 ± 3.22	1.21 ± 0.14 ^{bX}	1.22 ± 0.11 ^{bX}	1.31 ± 0.18 ^{bX}	1.48 ± 0.16 ^{bX}
	101.55 ± 9.47	122.92 ± 9.71	0.91 ± 0.07 ^{aX}	0.95 ± 0.05 ^{aX}	0.87 ± 0.07 ^{aX}	1.11 ± 0.03 ^{aX}

注: 同个温度组同列数据后面不同字母 (abc) 表示不同体质量组特定生长率和食物转化效率在 0.05 水平上差异显著; 同个体质量组同列数据后面不同字母 (XYZ) 表示不同温度组特定生长率在 0.05 水平上差异显著

Notes: Letters after each value indicate results of pair-wise comparisons. Different upper case letters (abc) indicate significant differences ($P < 0.05$) between fish size groups within each water temperature; different lower case letters (XYZ) indicate significant differences ($P < 0.05$) between water temperatures within each fish size group

表 2 军曹鱼特定生长率与体质量的关系式

Tab. 2 Relationships between specific growth rate and body weight for cobia

温度/°C temperature	n	SGR—W 关系式 relationship between SGR and W
33	12	$SGR_w = 12.11W^{-0.278}$, $R^2 = 0.941$, $P < 0.01$
	12	$SGR_d = 12.79W^{-0.281}$, $R^2 = 0.942$, $P < 0.01$
	12	$SGR_p = 13.78W^{-0.299}$, $R^2 = 0.938$, $P < 0.01$
	12	$SGR_e = 12.32W^{-0.246}$, $R^2 = 0.920$, $P < 0.01$
27	12	$SGR_w = 10.42W^{-0.308}$, $R^2 = 0.904$, $P < 0.01$
	12	$SGR_d = 10.65W^{-0.309}$, $R^2 = 0.895$, $P < 0.01$
	12	$SGR_p = 11.81W^{-0.334}$, $R^2 = 0.898$, $P < 0.01$
	12	$SGR_e = 9.199W^{-0.240}$, $R^2 = 0.866$, $P < 0.01$
21	12	$SGR_w = 3.947W^{-0.313}$, $R^2 = 0.889$, $P < 0.01$
	12	$SGR_d = 4.321W^{-0.329}$, $R^2 = 0.905$, $P < 0.01$
	12	$SGR_p = 5.839W^{-0.400}$, $R^2 = 0.902$, $P < 0.01$
	12	$SGR_e = 3.934W^{-0.266}$, $R^2 = 0.924$, $P < 0.01$

表 3 军曹鱼特定生长率和温度以及体质量的关系式
 Tab. 3 The combined relationships relating specific growth rate to temperature and body weight for cobia

<i>n</i>	SGR 与 <i>T</i> 及 <i>W</i> 关系式 relationship between SGR and <i>T</i> as well as <i>W</i>
36	$\text{LnSGR}_w = -7.588 - 0.376\text{Ln}W + 0.640T - 0.010T^2 + 0.003T\text{Ln}W, R^2 = 0.981, P < 0.01$
36	$\text{LnSGR}_d = -7.131 - 0.414\text{Ln}W + 0.612T - 0.010T^2 + 0.004T\text{Ln}W, R^2 = 0.981, P < 0.01$
36	$\text{LnSGR}_p = -6.103 - 0.570\text{Ln}W + 0.566T - 0.009T^2 + 0.008T\text{Ln}W, R^2 = 0.975, P < 0.01$
36	$\text{LnSGR}_e = -7.110 - 0.292\text{Ln}W + 0.598T - 0.009T^2 + 0.002T\text{Ln}W, R^2 = 0.984, P < 0.01$

2.2 温度和体质量对军曹鱼摄食氮、排泄氮、排粪氮、生长氮及氮收支的影响

方差分析显示,温度和体质量对军曹鱼氮排泄影响显著($P < 0.05$) (表 4)。在每个体质量组,水温 27 和 33 °C 时摄食氮、排粪氮、生长氮和排泄氮均明显高于水温 21 °C 时;在每个温度组,摄食氮、排粪氮、生长氮和排泄氮均随体质量增长呈明显下降趋势。回归分析表明,在实验的温度和体质量范围内,排粪氮、生长氮与排泄氮随摄食氮的增加均呈线性增长趋势,摄食氮与排粪氮、生长氮和排泄氮之间的这种线性增长关系不受温度和体质量的影响(图 1)。

军曹鱼氮收支方程受温度和体质量,尤其是

温度的影响明显(表 4)。不同温度和体质量组的氮收支方程中,从食物中摄取的氮用于生长的比例为 11.2% ~ 24.1%,大部分的摄食氮随排粪和排泄过程排出体外;而在排粪和排泄氮中,通过排粪输出的氮的比例较小且变化不大(4.5% ~ 7.4%),用于排泄的比例则高达 68.9% ~ 84.3%,即氮排泄是食物氮损失的最大途径。对每个体质量组,水温 27 和 33 °C 时摄食氮中用于生长的比例明显高于 21 °C 时,而水温 27 和 33 °C 时摄食氮中用于排泄的比例明显低于 21 °C 时;但对每个温度组,不同体质量军曹鱼氮收支方程相对恒定,变化不大。

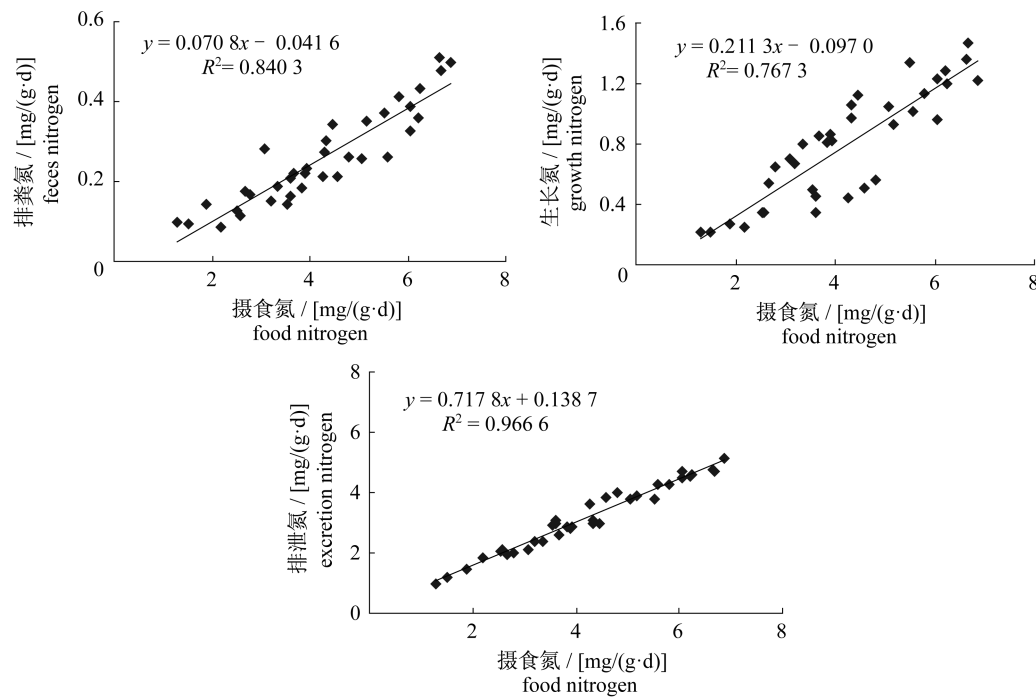


图 1 军曹鱼排粪氮、生长氮、排泄氮与摄食氮的关系

Fig. 1 Relationships between food nitrogen and feces, growth, excretion nitrogen

表 4 不同温度和体质量条件下军曹鱼摄食氮、排粪氮、生长氮、排泄氮和氮收支方程
 Tab. 4 Food nitrogen, feces nitrogen, growth nitrogen, excretion nitrogen and nitrogen budget of cobia at different temperature and size treatments

温度/℃ temperature	初始体质量/g initial weight	摄食氮/ [mg/(g·d)] food nitrogen	排粪氮/ [mg/(g·d)] feces nitrogen	生长氮/ [mg/(g·d)] growth nitrogen	排泄氮/ [mg/(g·d)] excretion nitrogen	氮收支方程 nitrogen budget $C_N = F_N + G_N + U_N$
33	10.40 ± 0.87	6.728 ± 0.122	0.496 ± 0.015	1.352 ± 0.129	4.880 ± 0.239 ^{bY}	$100C_N = 7.4F_N + 20.1G_N + 72.5U_N$
	21.25 ± 1.05	5.923 ± 0.368	0.353 ± 0.023	1.291 ± 0.054	4.279 ± 0.425 ^{bY}	$100C_N = 5.9F_N + 21.8G_N + 72.3U_N$
	49.66 ± 3.10	4.371 ± 0.085	0.308 ± 0.035	1.054 ± 0.078	3.010 ± 0.049 ^{bY}	$100C_N = 7.0F_N + 24.1G_N + 68.9U_N$
	102.63 ± 7.33	3.642 ± 0.275	0.209 ± 0.020	0.838 ± 0.036	2.594 ± 0.221 ^{aY}	$100C_N = 5.7F_N + 23.0G_N + 71.3U_N$
27	10.60 ± 1.12	6.033 ± 0.221	0.411 ± 0.023	1.102 ± 0.126	4.520 ± 0.239 ^{bY}	$100C_N = 6.8F_N + 18.3G_N + 74.9U_N$
	21.88 ± 1.31	5.268 ± 0.270	0.290 ± 0.054	1.000 ± 0.058	3.978 ± 0.281 ^{bY}	$100C_N = 5.5F_N + 19.0G_N + 75.5U_N$
	49.86 ± 1.53	3.616 ± 0.472	0.233 ± 0.049	0.781 ± 0.065	2.602 ± 0.449 ^{aY}	$100C_N = 6.4F_N + 21.6G_N + 72.0U_N$
	101.08 ± 6.72	2.886 ± 0.281	0.165 ± 0.012	0.623 ± 0.068	2.099 ± 0.241 ^{aY}	$100C_N = 5.7F_N + 21.6G_N + 72.7U_N$
21	10.03 ± 0.57	4.331 ± 0.630	0.228 ± 0.030	0.510 ± 0.053	3.593 ± 0.563 ^{bX}	$100C_N = 5.3F_N + 11.8G_N + 82.9U_N$
	20.98 ± 0.72	3.807 ± 0.408	0.172 ± 0.037	0.428 ± 0.074	3.207 ± 0.371 ^{bX}	$100C_N = 4.5F_N + 11.2G_N + 84.3U_N$
	49.10 ± 1.24	2.362 ± 0.386	0.128 ± 0.014	0.323 ± 0.044	1.876 ± 0.354 ^{aX}	$100C_N = 5.4F_N + 13.7G_N + 80.9U_N$
	101.55 ± 9.47	1.664 ± 0.473	0.093 ± 0.006	0.226 ± 0.018	1.345 ± 0.460 ^{aX}	$100C_N = 5.6F_N + 13.6G_N + 80.8U_N$

注:同一温度组同列数据后面不同字母(ab)表示不同体质量组特定生长率和食物转化效率在 0.05 水平上差异显著;同一体质量组同列数据后面不同字母(XY)表示不同温度组特定生长率在 0.05 水平上差异显著

Notes: Letters after each value indicate results of pair-wise comparisons. Different upper case letters (ab) indicate significant differences ($P < 0.05$) between fish size groups within each water temperature; different lower case letters (XY) indicate significant differences ($P < 0.05$) between water temperatures within each fish size group

3 讨论

本研究中,温度和体质量均对军曹鱼生长影响显著,且两者之间具有交互作用。当食物不受限制时,鱼类生长率一般随温度升高而增加,但当水温超过某一最适水温时,鱼类生长速率随温度升高呈下降趋势^[6]。但由于不同研究中选择的温度范围存在差异,鱼类生长—温度关系也有可能表现为持续增长模式^[7-11]。本研究的实验水温范围(21~33℃)内,军曹鱼特定生长率均随水温升高呈显著增长趋势。

一般而言,鱼类生长与体质量之间的关系常采用幂函数($SGR = aW^b$)定量描述^[6]。在该模型中,b被定义为体质量指数,当b值大于0时特定生长率随体质量增加而增加,当b值小于0时则相反。b值变化范围可以从-1.0到0.7,Jobling^[12]在文献总结的基础上,指出b值通常为-0.4。本文中,幂函数和对数函数均能较好地拟合军曹鱼幼鱼生长与体质量间的关系。在 $SGR = aW^b$ 关系式中,军曹鱼体质量指数b均为负值,说明个体较大的军曹鱼较之个体较小者生长速度趋缓。在实验的水温范围内, $SGR = aW^b$ 方程中体质量指数b值变幅较小(范围为-0.24~-0.40,平

均值为-0.30),故该值能较真实地反映此温度范围内军曹鱼幼鱼的自身生长特性。研究表明,虹鳟鱼的体质量指数b随温度变化较大,在水温15℃时接近0.4,但在水温7℃时为-0.74~-0.01^[13];中国黑鱼的体质量指数b随温度变化而变化,倾向于随水温上升而减小^[14],说明鱼类体质量指数b可具有温度依赖性。另外,对大西洋比目鱼的研究^[15-16]表明,当鱼体质量介于10g~5kg时,体质量指数b为-0.46,但当鱼体质量介于2~12kg时,体质量指数b接近-1.0,说明鱼类体质量指数b可具有体质量依赖性。基于众多文献中报道的不同鱼类体质量指数b的数值变动较大,以及鱼类体质量指数b有可能受温度、体质量等因素的影响而发生变化,因此,在将-0.4作为体质量指数b的普遍值予以应用时,应谨慎处之。对军曹鱼而言,在本实验的温度范围内,体质量指数b相对稳定,但在此温度以及体质量范围之外,军曹鱼体质量指数b是否具有温度和体质量依赖性,有待于进一步的实验验证。

文献中,用于描述特定生长率和温度以及体质量的关系式有: $SGR = a + bLnT + cLnW$ ^[17]、 $LnSGR = a + bT + cLnW$ (或 $SGR = aW^b e^{cT}$)^[18]、 $LnSGR = a + bLnW + cT + dT^2 + eT \times LnW$ ^[19]、

$SGR = a + bLnW + c(LnW)^2 + dT + eT^2 + f(T \times LnW)^{[20]}$ 、 $SGR = a + bW + cT + dT^2 + eW^2 + f(T \times W)^{[7]}$ 、 $SGR = cW^b(T - T_{LIM}) / (T_M - T_{LIM})^{[21]}$ 等。本文中,方程 $LnSGR = a + bLnW + cT + dT^2 + e(T \times LnW)$ 可对军曹鱼特定生长率与温度和体质量的关系进行较好的描述。

鱼消耗的食物蛋白中有一部分未能被消化吸收,会以粪便的形式损失掉,这就构成了排粪氮。鱼体中当脂质和碳水化合物用作有氧代谢的呼吸底物时,它们完全氧化成二氧化碳和水,但当蛋白质用于能量来源,或是从食物蛋白质中吸收的氨基酸用于合成能量存储物质如脂质和肝糖原时,均会发生脱氨反应,而这些被释放的氨基群都必须被排除体外,这就构成了排泄氮。食物蛋白中经鱼消化吸收但未被损失掉的部分则被用于组织合成而被存储下来,这就构成了生长氮。由物质收支平衡的原理可知,摄食氮(C_N)应该等于排粪氮(F_N)、排泄氮(U_N)和生长氮(G_N)之和,即 $C_N = F_N + U_N + G_N$,这就构成了氮收支方程。研究表明,氮排泄是鱼类代谢活动的重要指标,鱼类代谢受到诸如鱼种、体质量、温度、摄食水平以及饵料种类与组成等多种因素的影响^[9],因此鱼类氮的摄入、排出或积累过程亦可能受到这些因素的影响。通常,当食物不受限制时,一定温度范围内,水温增加不仅会导致鱼类日摄食量加大^[6],同时会促进食物在鱼体胃肠道的排空率^[25],还会通过提高鱼体内生物酶活性加速其催化的脱氨反应^[6]。由此可见,水温增加会导致鱼类日摄食量、排粪量以及排泄量的增加,而摄食氮、排粪氮和排泄氮亦随之增加。研究表明^[6,23],当食物不受限制时,随着鱼体质量增长,日摄食量、排粪量以及排泄量都会相应增加,但以单位体质量计时,日摄食量、排粪量以及排泄量则随鱼体质量增加呈下降趋势。本研究中,在饵料一定且饱食条件下,军曹鱼摄食氮、排粪氮、排泄氮和生长氮随水温和鱼体质量变化明显,以单位体质量计时,亦表现为随温度升高而增加,随体质量增长而减少。

研究表明,温度和体质量是影响鱼类内源氮排泄的最重要因子,但对于外源氮排泄,食物种类和组成以及摄食水平则影响更甚^[6]。图1显示,军曹鱼排粪氮、生长氮和排泄氮与摄食氮之间均表现为显著的线性正相关,不依赖于温度和体质量变化,说明在实验的温度和体质量范围内,军曹

鱼排粪氮、生长氮和排泄氮的增加主要来自于摄食氮的增加,温度和体质量的直接影响较小。

本实验中,不同温度和体质量组军曹鱼氮收支存在明显差异,且温度对氮收支的影响大于体质量。水温27和35℃时摄食氮中用于生长的比例明显高于水温21℃时,而排泄氮占摄食氮的比例则相反。在实验的温度和体质量范围内,生长氮占摄食氮的比例少于25%,排粪氮占摄食氮的比例不足8%,而排泄氮占摄食氮的比例超过68%。由此可见,军曹鱼从食物中摄取的氮中,绝大部分通过排泄途径损失掉,这与我们以前的研究结果^[23]相一致,同时也与青石斑鱼^[24]、卵形鲳鲹^[24]、真鲷^[25]、黑鲷^[25]、黑鲟^[25]、矛尾鰕鲂鱼^[25]等多种海水鱼类的研究结果相一致。此外,在温度27~33℃及体质量10~100g范围内,摄食不受限制时,军曹鱼氮收支方程保持相对恒定,几乎不受温度和体质量变化的影响。这一现象是否普遍存在于其它鱼类中,有待于进一步研究探索。

由于水温升高会导致鱼类氮排泄率增加,因此在军曹鱼人工育苗过程中,应加强高温时育苗水体水质的管理和调节,当水温持续偏高时,应注意加强换水工作或加大水交换量,尽量避免有限的育苗水体中养殖鱼苗发生氨中毒现象。而在海水网箱养殖区,应对网箱养殖氮排泄有可能造成的周围水环境无机氮营养盐的污染引起足够的重视,尤其在南方海域夏季水温较高时,这种污染可能更为严重。

参考文献:

- [1] Chou R L, Su M S, Chen H Y. Optimal dietary protein and lipid levels for juvenile cobia (*Rachycentron canadum*) [J]. *Aquaculture*, 2001, 193(1-2):81-89.
- [2] 陈刚,张健东,吴灶和. 军曹鱼幼鱼耗氧率与窒息点的研究[J]. *水产养殖*, 2005(1):1-4.
- [3] 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(1-4):181-187.
- [4] 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.
- [5] 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(1 - 4): 211 - 221.
- [6] Jobling M. Fish bioenergetics [M]. London: Chapman and Hall, 1994.
- [7] Imsland A K, Sunde L M, Folkvord A, *et al.* The interaction of temperature and fish size on growth of juvenile turbot [J]. Journal of Fish Biology, 1996, 49(5): 926 - 940.
- [8] 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(2): 206 - 220.
- [9] Ruyet J P, Mahe K, Bayon L, *et al.* Effects of temperature on growth and metabolism in a Mediterranean population of European sea bass, *Dicentrarchus labrax* [J]. Aquaculture, 2004, 237(1 - 4): 269 - 280.
- [10] Wurtsbaugh W A, Cech J R J J. Growth and activity of juvenile mosquitofish; temperature and ration effects [J]. Transactions of the American Fishery Society, 1983, 112(5): 653 - 660.
- [11] 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(4): 409 - 422.
- [12] Jobling M. Growth studies with fish—overcoming the problems of size variation [J]. Journal of Fish Biology, 1983, 22(2): 153 - 157.
- [13] Wangila B C C, Dick T A. Influence of genotype and temperature on the relationship between specific growth rate and size of rainbow trout [J]. Transactions of the American Fishery Society, 1996, 117(6): 560 - 564.
- [14] Liu J, Cui Y. Food consumption and growth of two piscivorous fishes, the mandarin fish and the Chinese snakehead [J]. Journal of Fish Biology, 1998, 53(5): 1071 - 1083.
- [15] Björnsson B. The growth pattern and sexual maturation of the Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) reared in large tanks for 3 years [J]. Aquaculture, 1995, 138(1 - 4): 281 - 290.
- [16] Björnsson B, Tryggvadóttir S V. Effect of size on optimal temperature for growth and growth efficiency of immature Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) [J]. Aquaculture, 1996, 142(1 - 4): 33 - 42.
- [17] Xie X J, Sun R Y. The bioenergetics of the south catfish (*Silurus meridionalis* Chen); growth rate as a function of ration level and temperature [J]. Journal of Fish Biology, 1992, 40(5): 719 - 730.
- [18] Buckel J A, Steinberg N D, Conover D O. Effects of temperature, salinity, and fish size on growth and consumption of juvenile bluefish [J]. Journal of Fish Biology, 1995, 47(4): 696 - 706.
- [19] Liu J, Cui Y. Food consumption and growth of two piscivorous fishes, the mandarin fish and the Chinese snakehead [J]. Journal of Fish Biology, 1998, 53(5): 1071 - 1083.
- [20] Imsland A K, Sunde L M, Folkvord A, *et al.* The interaction of temperature and fish size on growth of juvenile turbot [J]. Journal of Fish Biology, 1996, 49(5): 926 - 940.
- [21] Elliott J M, Hurley M A, Fryer R J. A new, improved growth model for brown trout, *Salmo trutta* [J]. Functional Ecology, 1995, 9(2): 290 - 298.
- [22] Handeland S O, Imsland A K, Stefansson S O. The effect of temperature and fish size on growth, feed intake, food conversion efficiency and stomach evacuation rate of Atlantic salmon post-smolts [J]. Aquaculture, 2008, 283(1 - 4): 36 - 42.
- [23] 孙丽华, 陈浩如, 黄洪辉, 等. 摄食水平和饵料种类对军曹鱼幼鱼生长及氮收支的影响 [J]. 热带海洋学报, 2010, 29(4): 94 - 101.
- [24] 孙丽华, 陈浩如, 黄洪辉, 等. 摄食水平对几种重要海水养殖鱼类生长和氮收支的影响 [J]. 水产学报, 2009, 33(3): 470 - 478.
- [25] 唐启升, 孙耀, 张波, 等. 4 种渤海黄海底层经济鱼类的能量收支及其比较 [J]. 海洋水产研究, 1999, 20(2): 48 - 53.

Effects of water temperature and fish size on growth and nitrogen budget of cobia (*Rachycentron canadum*)

SUN Lihua^{1,2*}, CHEN Haoru^{1,2}

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

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

Abstract: In order to investigate the relationships among growth, nitrogen budget, water temperature and fish size of cobia, by using the principles and methods of fish bioenergetics, a laboratory experiment was carried out to study the effects of water temperature (21, 27 and 33 °C) and fish size (about 10, 20, 50 and 100 g) on growth and nitrogen budget, and furthermore, the growth models in relation to water temperature and fish size and the nitrogen budgets at different temperature and size treatments were established in this paper. The results showed that: (1) Growth of cobia was affected significantly by water temperature and fish size as well as their interaction. The fastest growth rate occurred for cobia with initial body weight about 10 g at 33 °C and the lowest growth rate occurred for cobia with initial body weight about 100 g at 21 °C within the experimental temperature and size ranges. (2) In a given size group for cobia, SGR increased with temperature. At a given temperature, SGR decreased with fish size, and the relationships between SGR and W could be described as power functions for cobia. By using multiple regression analysis, the model, $\text{LnSGR} = a + b\text{Ln}W + cT + dT^2 + eT\text{Ln}W$, provided a good fit to the data of specific growth rate (SGR), water temperature (T) and fish size (W). (3) Within the experimental water temperature and body size weight ranges, food nitrogen, feces nitrogen, excretion nitrogen and growth nitrogen of cobia were influenced significantly by water temperature and fish size, and increased with temperature but decreased with fish size. (4) Nitrogen budgets differed as water temperature and fish size changed, and were more sensitive to water temperature than to fish size. In a given size group the proportion of food nitrogen allocated to growth at 27 and 33 °C was much higher than that at 21 °C, but contrary to the proportion of food nitrogen lost in excretion. At a given temperature the variation of nitrogen budgets among different size groups was small. (5) More than 68% of food nitrogen was lost in excretion. So it could be concluded that relatively low water temperature made an obviously depressed impact on cobia growth, and nitrogen excretion was the main way of nitrogen expenditure from food for cobia, and nitrogen budgets of cobia were relatively constant at 27 – 33 °C within the experimental temperature and size ranges.

Key words: *Rachycentron canadum*; water temperature; fish size; growth; nitrogen budget

Corresponding author: SUN Lihua. E-mail: waa-to@163.com