

摄食水平对中华鳖稚鳖生长、氮排泄和能量收支的影响

雷思佳¹ 叶世洲² 胡先勤¹

(1. 深圳职业技术学院生物应用工程系, 深圳 518055; 2. 深圳海洋世界有限公司, 深圳 518083;)

摘要: 在 30℃ 水温下进行摄食-生长实验(实验周期为 56d), 设饥饿、1%、2%、4% 和饱食 5 个摄食水平, 研究了中华鳖稚鳖(39.54—44.22g)的生长和能量收支。结果表明, 中华鳖稚鳖的特定生长率随摄食水平的增加, 其湿重、干物质、蛋白质和能量的特定生长率均呈二次曲线增加, 其中干物质的特定生长率(SGR_{dr})与摄食率(RI)的关系式为: $SGR_{dr} = -1.8799 + 1.0795RI - 0.0832RI^2$ ($r = 0.906$, $n = 25$, $P < 0.01$); 除干物质转化效率外, 湿重、蛋白质和能量的转化效率在 2% 组均达到最大, 分别为 36.31%、21.47% 和 28.10%; 除能量转化效率外, 4% 组湿重、干物质和蛋白质的转化效率与最大值均无显著差异; 摄食水平对中华鳖稚鳖总氮排泄率、氨氮排泄率、尿素氮排泄率以及氨氮占总氮排泄率的比例均有显著影响($P < 0.01$), 除氨氮占总氮比例外其他指标均随摄食水平的增加而增加, 氨氮比例在饥饿组最高为 55.83%, 由饥饿到饱食其变化范围是 44.50%—55.83%; 总氮排泄率、氨态氮排泄率和尿素氮排泄率的变动范围分别是 19.81%—65.87%、9.44%—36.31% 和 8.24%—29.56%, 回归分析表明, 幼鳖的总氮排泄率($\mu\text{mol/g} \cdot \text{d}$) (G-N)、氨氮排泄率($\mu\text{mol/g} \cdot \text{d}$) ($\text{NH}_3\text{-N}$) 及尿素氮排泄率($\mu\text{mol/g} \cdot \text{d}$) (U-N) 与其蛋白质摄入率(PL) (% 体重 $\cdot \text{d}^{-1}$) 的直线方程可表述如下: $G-N = 3.6592 + 49.1775PL$ ($n = 20$, $r^2 = 0.8716$)、 $\text{NH}_3\text{-N} = -1.1239 + 29.5939PL$ ($n = 20$, $r^2 = 0.8964$)、 $U-N = 4.7831 + 19.5836PL$ ($n = 20$, $r^2 = 0.6574$)。方差分析表明, 摄食水平对能量支出各个组分占摄入能的比例均有显著影响($P < 0.01$)。饱食组的能量收支式为: $100C = 6.84F + 2.64U + 72.12R + 17.76G$ 。

关键词: 摄食水平; 中华鳖稚鳖; 生长; 能量收支

中图分类号: S965.117; Q595.483 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2005)01-0043-07

中华鳖(*Pelodiscus sinensis*)是名贵水产珍品,其肉味鲜美,营养丰富,滋补力强,深受人们的喜爱。但是,病害的影响使其商品价值和食用价值受到很大影响;因此进行中华鳖健康养殖的研究势在必行。

开展生态因子对中华鳖生长和能量收支影响的研究,可帮助了解中华鳖养殖生态系统中的物质循环和能量流动,为中华鳖健康养殖模式的建立提供理论依据。有关中华鳖能量学方面的研究已有一些报道^[1-11],周显青等^[7-8]报道了光照度和光周期对中华鳖稚鳖摄食、生长和能量转换的影响,牛翠娟等^[2]和张廷军等^[5]对中华鳖幼鳖进行了呼吸代谢的初步研究,谭洪新等^[3]报道了温度对中华鳖幼鳖摄食能量收支及利用效率的影响,杜卫国等^[10,11]研究了孵化温度对中华鳖胚胎物质和能量利用,并对中华鳖孵化过程中物质和能量动态进行了研究;但关于摄食水平对中华鳖生长和能量收支影响的研究未

见报道。本项研究主要探讨摄食水平对中华鳖稚鳖生长、氮排泄以及能量收支的影响,以期能为龟鳖类能量学研究提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 设备 实验在 37.5L 玻璃水族箱(50cm×25cm×30cm)中进行。光照周期用日光灯控制,光照为每天 12h。实验用水为曝气的自来水,每天早晚用温度计测定温度 2 次,实验室的室温用空调控制在 30℃,水温用上海产 WMZK-01 型控温仪及玻璃钢水槽(150cm×65cm×45cm)水浴控温。

1.2 材料 中华鳖稚鳖(初始体重见表 3)购自深圳市南山区水产技术推广站,为当年稚鳖。实验室驯化一个月,投喂中华鳖稚鳖配合饲料,将温度以 1—2℃/d 的速度逐渐升至实验温度(30℃),并在实验条件下饲养 1 周后开始实验,驯化及实验期间每

收稿日期: 2003-09-01; 修订日期: 2003-12-23

基金项目: 国家自然科学基金重大项目(39430150); 广东省教育厅人才培养计划项目; 深圳市科技局项目(00009824)资助

作者简介: 雷思佳(1964—),女,湖南省津市人,博士,副教授,研究方向:水生动物生理生态

e-mail: leisijia@yahoo.com 或 leisijia@szpt.oa.net

2d 换水 1 次, 水中溶氧保持在 5mg/L 以上, pH 值为 7.7—8.0。配合饲料为深圳新光饲料有限公司提供的中华鳖稚鳖饲料, 在饲料中加入 0.5%的 Cr₂O₃ 作为指示剂混匀后使用。中华鳖稚鳖配合饲料的蛋白质(干重)、脂肪(干重)和比能值(kJ/g)含量分别为 46.06%、4.95%和 15.53kJ/g。

1.3 方法与设计 实验在温度为 30℃的条件下, 设饥饿、1%、2%、4% 和饱食 5 个摄食水平, 每一组设 5 个水族箱, 每箱放鳖 1 只。实验开始时, 先将鳖饥饿 2d, 然后称重(精确到 0.001g)。同时取 5 尾体重相近的鳖作为对照组, 用木制小凳做饵料台, 饵料台高出水面 1cm, 每天称取一定量的配合饲料(按饲料与水 1:1.1 的比例制成长条形饲料)于 10:00 和 17:00 点分两次投喂, 投饵 2h 后将剩饵吸出, 烘干称重, 在空白对照水族箱中, 测定配合饲料的溶失率, 以校正剩饵的重量, 用虹吸法每天收集粪便, 用于测定消化率和含能量的粪便为刚排出的新鲜粪便, 烘干称重。

实验周期为 56d, 结束时先将鳖饥饿 2d, 然后称重, 烘干, 磨碎。测定实验鳖、对照鳖及其粪便的氮含量及能量含量(每只鳖及其粪便单独测定, 平行测定 2 次取平均数, 相对偏差超过 3%则重测, 下同)、饲料的氮含量、能量含量和脂肪含量。氮含量用凯氏定氮法测定, 脂肪含量用氯仿-甲醇抽提法测定^[1], 能量含量用上海地质仪器厂产 XRY-1 型弹式热量计测定。蛋白质含量=6.25×氮含量。生长实验开始后连续三周测定实验组 and 对照组水中氨氮(耐氏试剂法)和尿素氮(尿酶水解法)含量, 测定换水前后水中的氨氮和尿素氮浓度, 同时测量各鱼缸中水的体积, 计算中华鳖稚鳖的氮排泄量。在实验过程中从养鳖用水中未检测到尿酸含量(水栖鳖的氮排泄通常没有尿酸排泄), 因此用尿素氮与氨态氮

之和代表总氮。

1.4 计算 特定生长率 $SGR = 100\% \times (\ln St - \ln S_0) / t$, 式中: St 为实验结束时鳖体的湿重(W)、干重(Dr)、蛋白质含量(P)或能量含量(E); S₀ 为实验开始时的湿重、干重、蛋白质含量或能量含量; t 为实验天数。转化效率 $K(\%) = 100\% \times \text{生长量} / \text{摄食量}$ 。能量收支式为 $C = F + U + R + G$, 式中: C 为从食物中摄取的能量(食物能); F 为粪便中损失的能量(粪能); U 为氮排泄物中损失的能量(排泄能); R 为代谢能; G 为储存于鳖体内的能量(生长能)(以上符号意义, 全文同)。摄食能(C) = 摄入食物总量 × 干物质含量 × 能量含量; 排粪能(F) = [(100-D) × C_干/100] × 粪便能量含量, 其中 D 为表观消化率, C_干 为摄入的配合饲料干重; 排泄能用公式: $U = \text{氨态氮排泄量} \times 24.83 + \text{尿素氮排泄量} \times 23.03$ 计算, 24.83 为每克氨氮的比能值(kJ/g), 23.03 为尿素氮的比能值(kJ/g); 生长能(G) = [实验鱼结束时的体重 × 干物质含量 - 实验鱼开始时的体重 × 对照组干物质含量] × 能量含量; 代谢能根据能量收支式计算: $R = C - F - U - G$; 同化能 $A = C - F - U$; 同化效率 $(A\%) = 100\% \times (A/C)$ 。采用 Cr₂O₃ 为指示剂测定表观消化率(D%)。

表观消化率(D%) =

$$\left[1 - \frac{\text{饲料中 Cr}_2\text{O}_3 \text{ 含量} / \text{粪便中营养物质或能量含量}}{\text{粪便中 Cr}_2\text{O}_3 \text{ 含量} / \text{食物中营养物质或能量含量}} \right] \times 100\%$$

实验数据采用 SPSS 软件进行方差分析和回归分析。

2 结果

2.1 摄食水平对中华鳖稚鳖消化率的影响

结果列于表 1, 方差分析表明摄食水平对中华

表 1 摄食水平对稚鳖表观消化率的影响(平均数±标准误)
Tab.1 Effect of ration level on apparent digestibility in juvenile *P. sinensis*

项目 Item	平均数±标准误 (mean±S. E.)				显著性 Significant
摄食水平(%)	1	2	4	饱食组	1.4×10 ⁻¹⁵
Ration level(%)				Satiation	
表观消化率(%)	66.72±2.96	72.56±4.31	73.55±1.60	65.68±2.35	0.1091
Apparent digestibility(%)					
蛋白质表观消化率(%)	80.83±1.73 ^a	80.40±0.85 ^b	83.09±2.14 ^b	71.74±2.76 ^a	0.0073
Apparent digestibility of protein(%)					

注: 每一数字后的字母上标为 Duncan 多重比较结果; 同行数据中有相同字母的平均数表示在 0.05 水平上无显著差异。Letters after each value in the same row indicate results of Duncan's multiple comparisons. Same superscript letters indicate no significant difference(P>0.05) between ration levels (same as below).

鳖稚鳖的表观消化率无显著的影响($P > 0.05$), 对蛋白质表观消化率有显著性水平($P < 0.01$), 但二者的变化规律相同, 即它们都有先随摄食水平的增加而增加, 当摄食水平增加到 4% 时达到最大, 继续增加至饱食状态后消化率反而下降。

2.2 摄食水平对中华鳖稚鳖氮排泄的影响

对中华鳖稚鳖的摄食率和氮排泄率进行连续三周的测定, 经回归分析得出氮排泄率与蛋白质摄入率的关系可用直线方程表示如下:

$$G-N = 3.6592 + 49.1775PL \quad (n = 20, r^2 = 0.8716)$$
$$NH_3-N = -1.1239 + 29.5939PL \quad (n = 20, r^2 = 0.8964)$$
$$U-N = 4.7831 + 19.5836PL \quad (n = 20, r^2 = 0.6574)$$

式中 G-N、NH₃-N 和 U-N 分别表示总氮排泄率($\mu\text{mol/g}\cdot\text{d}$)、氨氮排泄率($\mu\text{mol/g}\cdot\text{d}$)和尿素氮排泄率($\mu\text{mol/g}\cdot\text{d}$), PL 表示蛋白质摄入率(% 体重/d)。

利用上述回归方程计算得出氨态氮和尿素氮的排泄量, 结果列于表 2, 方差分析表明, 摄食水平对中华鳖稚鳖总氮排泄率、氨态氮排泄率、尿素氮排泄率以及氨态氮占总氮排泄率的比例均有极显著影响($P < 0.01$), 总氮排泄率、氨态氮排泄率以及尿素氮排泄率均随摄食水平的增加而增加, 氨态氮排泄率占总氮排泄率的比例在饥饿组时最高, 为 55.83%, 摄食水平从 1% 增加到饱食时, 该比例由 44.50% 增加到 55.09%, 接近饥饿组的比例。

表 2 摄食水平对中华鳖稚鳖氮排泄率的影响(平均数±标准误)
Tab 2 Effect of ration level on nitrogen excretion rate in juvenile *P. sinensis*

摄食水平(%) Ration level(%)	0	1	2	4	饱食组 Satiation	显著性 Significant
总氮排泄率($\mu\text{mol/g}\cdot\text{d}$) General-N excretion rate	18.81±1.20 ^a	21.21±0.30 ^a	30.93±1.43 ^b	46.48±3.46 ^c	65.87±2.32 ^d	6.9×10 ⁻⁸
氨氮排泄率($\mu\text{mol/g}\cdot\text{d}$) Ammonia-N excretion rate	10.57±1.16 ^a	9.44±0.18 ^a	15.29±0.19 ^b	24.64±1.04 ^c	36.31±1.19 ^d	2.25×10 ⁻¹⁵
尿氮排泄率($\mu\text{mol/g}\cdot\text{d}$) Urea-N excretion rate	8.24±0.75 ^a	11.77±0.12 ^b	15.64±0.32 ^c	21.83±0.69 ^d	29.56±0.92 ^e	2.17×10 ⁻¹⁵
总排泄率($\text{J/g}\cdot\text{d}$) General-N excretion($\text{J/g}\cdot\text{d}$)	15.85±0.35 ^a	20.25±0.13 ^b	28.07±0.26 ^c	40.56±0.88 ^d	56.17±1.11 ^e	5.7×10 ⁻⁸
氨氮/总氮排泄率(%) Ammonia/General-N(%)	55.83±4.05 ^c	44.50±0.35 ^{ab}	49.41±2.27 ^{bc}	52.99±2.72 ^c	55.09±0.18 ^e	0.0008

2.3 摄食水平对中华鳖稚鳖特定生长率和转化效率的影响

结果列于表 3 和表 4, 方差分析表明, 摄食水平对中华鳖稚鳖特定生长率和转化效率均有显著影响($P < 0.05$)。由表 3 可以看出, 稚鳖的特定生长率随摄食水平的增加而增加, 饱食组的特定生长率为最大。Duncan 多重比较结果表明, 除能量的特定生长率外, 4% 组湿重特定生长率、干物质特定生长率和蛋白质特定生长率与饱食组的无显著差异($P > 0.05$), 即 4% 组的特定生长率也达到最高水平。

回归分析表明, 中华鳖稚鳖特定生长率(SGR)与摄食水平(Rl)存在显著的相关关系, 回归方程式如下:

$$SGR_w = -1.2428 + 0.5015(Rl + 1) \quad (r^2 = 0.7552, n = 25)$$
$$SGR_w = -1.0473 + 0.7134Rl - 0.0512Rl^2 \quad (r^2 =$$

$$0.8314, n = 25)$$
$$SGR_w = -0.3836 + 0.9501Ln(Rl + 1) \quad (r^2 = 0.7993, n = 25)$$
$$SGR_{dr} = -1.2695 + 0.8416(Rl + 1) \quad (r^2 = 0.7631, n = 25)$$
$$SGR_{dr} = -1.8779 + 1.0795Rl - 0.0832Rl^2 \quad (r^2 = 0.9064, n = 25)$$
$$SGR_{dr} = -0.8484 + 1.3218Ln(Rl + 1) \quad (r^2 = 0.87932, n = 25)$$
$$SGR_p = -0.747 + 9.9524(Rl + 1) \quad (r^2 = 0.8123, n = 25)$$
$$SGR_p = -1.9143 + 1.1460Rl - 0.0943Rl^2 \quad (r^2 = 0.9122, n = 25)$$
$$SGR_p = -1.194 + 0.805Ln(Rl + 1) \quad (r^2 = 0.8684, n = 25)$$
$$SGR_e = -1.7503 + 1.0533(Rl + 1) \quad (r^2 =$$

0.7383, n= 25)

$$\text{SGRe} = -2.5872 + 1.4014\text{Rl} - 0.1105\text{Rl}^2 \quad (r^2 = 0.8675, n = 25)$$

0.8844, n= 25)

$$\text{SGRe} = -1.2484 + 1.6732\text{Ln}(\text{Rl} + 1) \quad (r^2 =$$

表 3 摄食水平对中华鳖稚鳖特定生长率的影响(平均数±标准误)
Tab 3 Effect of ration level on specific growth rate in juvenile *P. sinensis*

摄食水平	饥饿组				饱食组	显著性
Ration level	Starvation	1%	2%	4%	Satiation	Significant
样本数 Number	5	5	5	5	5	
W ₀ (g)	39.97±4.43	40.45±2.96	39.54±4.19	44.22±2.05	42.96±7.16	0.9301
W _t (g)	33.98±3.78 ^a	48.30±3.84 ^a	63.43±7.83 ^{ab}	98.11±8.79 ^b	101.79±28.81 ^b	0.0081
SGR _w	-0.29±0.02 ^a	0.26±0.02 ^b	0.93±0.01 ^c	1.38±0.16 ^{cd}	1.41±0.19 ^d	0.0001
SGR _{dr}	-0.80±0.04 ^a	0.25±0.06 ^b	1.00±0.07 ^c	1.52±0.15 ^d	1.62±0.21 ^d	0.0001
SGR _p	-1.15±0.05 ^a	0.08±0.06 ^b	0.88±0.09 ^c	1.30±0.25 ^{cd}	1.59±0.19 ^d	0.0001
SGR _e	-1.25±0.13 ^a	0.19±0.84 ^b	1.38±0.09 ^c	1.46±0.27 ^c	1.89±0.21 ^c	0.0001

注:表中SGR为特定生长率,SGR_w、SGR_{dr}、SGR_p和SGR_e分别表示湿重、干物质、蛋白质和能量的特定生长率。SGR is specific growth rate. The specific growth rate of wet matter, dry matter, protein and energy are expressed as SGR_w, SGR_d, SGR_p and SGR_e, respectively.

表 4 摄食水平对中华鳖稚鳖转化效率的影响(平均数±标准误)
Tab 4 Effect of ration level on conversion efficiencies in juvenile *P. sinensis*

设计摄食水平				饱食组	显著性
Designed ration	1%	2%	4%	Satiation	Significant
实际摄食率(%)	1.64±0.02 ^b	2.54±0.08 ^c	4.19±0.24 ^d	5.96±0.18 ^e	0.0001
Real ration(%)					
FCE FCE _w	16.24±3.71 ^a	36.31±3.03 ^b	29.53±5.63 ^b	25.82±3.18 ^{ab}	0.0235
(%) FCE _{dr}	1.15±0.87 ^a	11.51±1.07 ^b	17.40±1.86 ^c	21.73±3.18 ^c	2.92×10 ⁻⁶
FCE _p	5.40±2.12 ^a	21.47±2.43 ^b	20.85±3.73 ^b	15.50±2.85 ^{ab}	0.0161
FCE _e	4.89±6.45 ^a	28.10±5.80 ^c	16.05±7.19 ^b	17.76±6.08 ^b	6.83×10 ⁻⁴

注:表中K为转化效率,K_w、K_{dr}、K_p和K_e分别表示湿重、干物质、蛋白质和能量的转化效率。FCE is food conversion efficiency. The conversion efficiency of wet matter, dry matter, protein and energy are expressed as FCE_w, FCE_d, FCE_p and FCE_e, respectively.

中华鳖稚鳖的特定生长率与摄食水平的关系可以用上述三种形式表示($P < 0.01$),其中以二次方程的可靠性系数最高,直线方程的最低,因此,选择二次方程表述二者的关系。

维持摄食率(Maintenance ration)是动物用于维持基本生理活动的最低摄食率,即当特定生长率为零时的摄食率,利用二次方程得出中华鳖稚鳖的维持摄食率分别为1.67%(湿重)、2.07%(干重)、2.00%(蛋白质)和2.24%(能量)。

除干物质的转化效率外,2%组其他各项的转化效率均为最大值,Duncan多重比较结果表明,除能量转化效率外,各项转化效率的最大值与4%组无显著差异($P > 0.05$);1%组的转化效率均为最低值。

2.4 摄食水平对中华鳖稚鳖能量收支的影响

结果列于表5,方差分析表明,摄食水平对中华鳖稚鳖能量收支有显著影响($P < 0.01$),排粪能占摄入能的比例在饱食组最高,其他各组的数值无显著差异($P > 0.05$);排泄能占摄入能的比例在1%组最高,饱食组的最低,变化范围是2.84%—4.08%;生长能占摄入能的比例在摄食率为2%时最高,1%组最低,4%组和饱食组无显著差异;代谢能占摄入能的比例在1%组最高,2%组最低,4%组和饱食组之间无显著差异($P > 0.05$)。

Duncan多重比较结果表明,4%组与饱食组之间的同化率有显著差异,即4%组的同化率高于饱食组($P < 0.05$),其他各组之间无显著差异($P > 0.05$);2%组生长能占同化能的比例最高,1%组的

最低,4%组与饱食组之间无显著差异($P > 0.05$);
代谢能占同化能的比例,1%组最高,2%组最低。中 或
华鳖稚鳖在最大摄食水平时的能量收支方程为:
 $100C = 6.84F + 2.64U + 72.76R + 17.76G$
 $100A = 19.62G + 80.38R$

表 5 摄食水平对中华鳖稚鳖能量收支的影响(平均数±标准误)
Tab 5 Effect of ration level on energy budget in juvenile *P. sinensis*

摄食率				饱食组	显著性
Ration level	1%	2%	4%	Satiation	Significant
摄入量(J/d·g)	119.60±30.36 ^a	185.84±5.66 ^a	291.28±7.76 ^b	411.22±5.37 ^c	2.67×10^{-12}
Energy intake					
F/C	4.81±0.47 ^{ab}	5.00±0.60 ^{ab}	4.20±0.29 ^a	6.84±1.28 ^b	2.93×10^{-6}
U/C	4.08±0.01 ^d	3.36±0.14 ^c	2.84±0.03 ^b	2.64±0.001 ^a	2.59×10^{-9}
G/C	4.89±6.45 ^a	28.10±5.80 ^c	16.05±7.19 ^b	17.76±6.08 ^b	6.83×10^{-4}
R/C	86.22±6.07 ^c	63.54±5.29 ^a	76.91±6.50 ^b	72.12±6.94 ^b	3.34×10^{-4}
同化效率	91.11±0.65 ^{ab}	91.64±0.83 ^{ab}	92.96±2.02 ^b	90.52±2.09 ^a	0.1147
Assimilated efficiency					
占同化能 A 的比例 The ratio to assimilated energy					
G/A	5.37±7.03 ^a	30.66±6.14 ^c	17.27±7.51 ^b	19.62±6.75 ^b	0.0004
R/A	94.63±7.03 ^c	69.34±6.14 ^a	82.71±7.52 ^b	80.38±6.75 ^b	0.0004

注: 同化能 A= G-F-U, 同化效率(%) = 100× A/C. Assimilated energy(A) = G-F-U, Assimilated efficiency(%) = 100× A/C.

3 讨论

3.1 生长和转化效率

关于中华鳖生长和能量转化的研究有一些报道^[3,6,7],他们研究了温度和光照强度等对中华鳖生长的影响,但关于摄食水平对中华鳖生长影响的研究报道较少,而对鱼类生长影响的研究报道相对较多,鱼类的摄食率-生长关系模型有多种表示方法,多数作者倾向于使用曲线模型,也有许多作者使用对数模型: $SGR = a + b \ln(RI + c)$,当然用直线方程表示摄食率-生长模型的也较为普遍^[12,13]。

研究表明,饵料类型、摄食水平、温度等都会对摄食-生长模型产生影响。朱晓鸣等的研究表明,异育银鲫的湿重特定生长率与摄食水平呈线性关系,干重和能量特定生长率与摄食水平呈对数关系,其生长-摄食关系不同是因为鱼体干物质和能量含量受到摄食水平的影响而发生了变化。饵料类型对鱼类摄食-生长模型的影响是通过影响其对饲料转化效率而发生作用的,在高摄食率时这种影响尤为明显,草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)和鲟(*Acipenser transmontanus*)的生长-摄食关系也出现了上述情况。Malloy等^[18]对夏鲟(*Paralichthys dentatus*)个体生长与摄食关系的研究结果表明,在低温(10℃)时两者关系为线性,在高温时则为曲线关系(温度范围10—16℃)。该实验饵料为冰冻糠虾肉,蛋白质含量高达67.9%,较高的蛋白质和能量含量导致高摄食水平时饵料利用率降低,低温时摄食量较少,表现不明显;当温度升高时,摄食量增加,高摄食水平时饵料利用率明显降低,生长-摄食出现曲线关系。本研究结果表明,中华鳖稚鳖以湿重、干重、蛋白质和能量的特定生长率与摄食率之间的关系均可以用直线、二次方程和指数方程表示($P < 0.01$),但以二次方程表示可靠性系数最高。由于所使用的是中华鳖稚鳖配合饲料,其能量含量较高,高摄食水平使转化效率降低。在摄食水平为2%时,除干物质的转化效率外,其他所有的转化效率均达到最高值。这可以部分地解释为什么用二次曲线表达中华鳖稚鳖摄食-生长关系可靠性最高,这与夏鲟的情况有类似之处。

转化效率的高低与动物的种类、发育阶段、饵料类型、投喂方式、水温等关系密切。因此,对于转化效率的研究结果因上述情况的不同结果差异较大,多数研究表明转化效率在中间摄食水平最大^[1,12]。本研究表明,除干物质饲料转化效率外,中华鳖稚鳖的转化效率先随摄食水平的增加而后降低,呈∩型变化,在2%组(摄食率相当于最大摄食水平的

43%)达到最大,这与大多数鱼类的情况相似。多数鱼类的转化效率在 10%—25% 之间,中华鳖稚鳖在最大摄食水平时干物质、蛋白质和能量的转化效率分别为 21.73%、15.50% 和 17.76%,与大多数鱼类的情况接近。

3.2 能量收支

目前有关中华鳖能量收支的研究报道很少,谭洪新等报道了温度对中华鳖幼鳖能量收支的影响,研究结果显示在水温 31℃ 时,中华鳖幼鳖(体重 94.47—98.11g)的最高摄食率为 1.32%;在水温 25—35℃ 时中华鳖幼鳖代谢能占摄入能的比例为 32.49%—52.41%,水温 31℃ 时该比例最低。

本研究结果显示,中华鳖稚鳖在水温 30℃ 时,当摄食率为 2.54%,能量摄入量为 185.84(kJ/kg·d)时,其能量收支模型为: $100C = 5.00F + 3.36U + 63.54R + 28.10G$,与谭洪新的研究结果相比,中华鳖稚鳖代谢能占摄入能的比例比幼鳖的几乎高出 1 倍,用于生长的能量比幼鳖低 1 倍。结果相差悬殊的原因是多方面的,实验对象的养殖方法、养殖对象的个体差异、结果计算方法等都会对结果产生很大的影响。氮排泄的测定和计算方法与谭洪新的方法接近,而排粪能、代谢能、摄入能的测定和计算方法以及实验周期均不相同,必然会引起结果相差悬殊。在谭洪新的实验中,日投饵次数为 1 次,即下午 16:00 投喂至晚上 22:00 移去残饵,在 6h 中由于鳖的摄食等活动,很难避免饵料落入水中,而在计算摄食量时未考虑饵料的溶失问题,这样很可能使摄入能估计过高,此外,幼鳖代谢能是通过 48h 耗氧率测定取平均值再利用氧卡系数换算而得,在 48h 耗氧率测定过程中幼鳖未进食,由此测出的结果势必偏低。本实验为日投喂 2 次,2h 之后移去残饵,同时考虑了饵料的溶失问题,摄入能的误差比较小;在 30℃ 是中华鳖稚鳖的最大摄食率为 6%,与幼鳖^[3] 在 31℃ 时的最大摄食率(1.32%) 差距悬殊;如果用饱食组的模型进行比较,除 F/C 值接近外,其他项目均相差 2 倍左右。当然,中华鳖幼鳖的快速生长期在幼鳖期,这也可以作为其代谢能所占比例较低而生长能所占比例偏高的一种理由。

Brett 等总结前人数据结果,得出平均能量收支方程:

肉食性鱼类: $100C = 27(F + U) + 44R + 29G$

植食性鱼类: $100C = 42(F + U) + 37R + 20G$

与鱼类相比,投喂配合饲料的中华鳖稚鳖在最适水温条件下,最大摄食水平时用于生长的能量接

近植食性鱼类。

参考文献:

- [1] Cui Y B. Bioenergetics of fish: Theory and methods. [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1989, **13**(4): 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**(4): 369—383]
- [2] Niu C J, Zhang T J, Sun R Y. Energetic metabolism of juvenile soft-shelled turtle(*Trionyx sinensis*) (I)—respiratory in water and the relationship with temperature and body weight [J]. *Journal of Beijing normal university*, 1994, **30**(4): 536—539[牛翠娟, 张廷军, 孙儒泳. 中华鳖幼鳖的能量代谢(I)—水中呼吸及其与温度、体重的关系. 北京师范大学学报, 1994, **30**(4): 536—539]
- [3] Tan H X, Shi Z F, Zhu X B. Energy budget and utilization efficiency of juvenile *Trionyx sinensis* [J]. *Journal of Fisheries of China*, **23**(suppl.): 1999, 57—63[谭洪新, 施正峰, 朱学宝. 中华鳖幼鳖摄食能量收支及利用效率. 水产学报, 1999, **23**(增刊): 57—63]
- [4] Xian W W, Zhu X H. Effect of ration size on the growth and energy budget of the Mullet liza *Haematochala (T. & S)* [J]. *Oceanologia et limnologia Sinica*, 2001, **32**(6): 612—620[线薇薇, 朱鑫华. 摄食水平对梭鱼的生长和能量收支的影响. 海洋与湖沼, 2001, **32**(6): 612—620]
- [5] Zhang T J, Niu C J, Sun R Y. Preliminary study of respiration metabolism in the soft-shelled turtle(*Trionyx sinensis*) [J]. *Zoological Research*, 1996, **17**(2): 147—151[张廷军, 朱翠娟, 孙儒泳. 中华鳖幼体呼吸代谢的初步研究. 动物学研究, 1996, **17**(2): 147—151]
- [6] Zhou X Q, Niu C J, Li Q F. Effect of light intensity on daily food consumption and specific growth rate of the juvenile soft-shelled turtle, *Trionyx sinensis* [J]. *Acta Zoologica Sinica*, 1998, **44**(2): 157—161[周显青, 牛翠娟, 李庆芬等. 光照强度对中华鳖稚鳖摄食和生长的影响. 动物学报, 1998, **44**(2): 157—161]
- [7] Zhou X Q, Niu C J, Li Q F. The effects of light intensity on energy conversion of the juvenile soft-shelled turtle *Trionyx sinensis* [J]. *Journal of Beijing Normal University*, 1998, **34**(2): 248—251[周显青, 牛翠娟, 李庆芬等. 光照度对中华鳖稚鳖能量转换的影响. 北京师范大学学报, 1998, **34**(2): 248—251]
- [8] Zhou X Q, Niu C J, Li Q F. Effect of photoperiod on food consumption, growth and energy conversion of juvenile soft-shelled turtle *Trionyx sinensis*. *Acta Zoologica Sinica*, 1999, **19**(3): 383—387[周显青, 牛翠娟, 李庆芬. 光周期对中华鳖稚鳖摄食、生长和能量转换的影响. 生态学报, 1999, **19**(3): 383—387]
- [9] Zhu X M, Xie Sh Q, Cui Y B. Effect of ration level on 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及能量收支的影响. 海洋与湖沼, 2000, **31**(5): 471—479]
- [10] Du W G, Ji X, Xu W Q. Dynamics of material and energy during incubation in the soft-shelled turtle(*Pelodiscus sinensis*) [J]. *Acta Zoologica Sinica*, 2001, **47**(4): 371—375[杜卫国, 计翔, 徐韦华卿. 中华鳖卵孵化过程中物质和能量的动态. 动物学报, 2001, **47**(4): 371—375]
- [11] Du W G, Ji X. Influence of incubation on temperature on embryonic

- use of material and energy in the Chinese soft-shelled turtle(*Pelodiscus sinensis*) [J]. *Acta Zoologica Sinica*, 2001, **47**(5): 512—517[杜卫国, 计翔. 孵化温度对中华鳖胚胎物质和能量利用的影响. 动物学报, 2001, **47**(5): 512—517]
- [12] Shao Q J, Zhang L H, Liu J X, *et al.* Effect of dietary Vc supplementation on growth and tissue Vc content in Juvenile soft shell turtle *Trionyx sinensis*[J]. *Acta Hydrobiol. Sinica*, 2004, **28**(3): 269—274[邵庆均, 张莉红, 刘建新, 等. 饲料中 Vc 水平对中华鳖幼鳖生长及其组织中含量的影响. 水生生物学报, 2004, **28**(3): 269—274]
- [13] Zhou Z G, Xie S Q, Cui Y B, *et al.* Effects of feeding frequency on fish growth and feed conversion efficiency: A review[J]. *Acta Hydrobiol. Sinica*, 2002, **26**(增刊): 150—156[周志刚, 解绶后, 崔奕波, 等. 投喂频率对鱼类生长及饲料转化效率的影响. 水生生物学报, 2002, **26**(增刊): 150—156]

EFFECT OF RATION LEVEL ON GROWTH, NITROGENOUS EXCRETION AND ENERGY BUDGET IN JUVENILE SOFT-SHELLED TURTLE, *PELODISCUS SINENSIS*

LEI Si-Jia¹, YE Shi-Zhou² and HU Xian-Qin¹

(1. Department of Bioengineering, Shenzhen Polytechnic, Shenzhen 518055; 2. Shenzhen Ocean World Ltd. Co., Shenzhen 518083)

Abstract: The 56-day growth trial was conducted at 30 °C to investigate the effect of ration level on growth, nitrogenous excretion and energy budget in juvenile soft-shelled turtle(*Pelodiscus sinensis*). Juvenile turtles(28.66—53.37g) were fed commercial diet (Shenzhen Xinguang Feed company) at five different levels ranging from starvation to *ad libitum* twice daily. The results showed that specific growth rate(SGR) of wet weight(SGRw), dry matter(SGRdr), protein(SGRp) and energy(SGRE) was affected significantly($P < 0.01$) by ration level. Regression analysis showed that the SGR increased quadratically with increasing ration. The relationship between specific growth rate and ration level(RI) could be expressed as the equation below:

$$\begin{aligned} \text{SGRw} &= -1.0473 + 0.7134\text{RI} - 0.0512\text{RI}^2 & (r^2 = 0.8314, n = 25, P < 0.01) \\ \text{SGRdr} &= -1.8779 + 1.0795\text{RI} - 0.0832\text{RI}^2 & (r^2 = 0.9064, n = 25, P < 0.01) \\ \text{SGRp} &= -1.9134 + 1.1460\text{RI} - 0.0943\text{RI}^2 & (r^2 = 0.9122, n = 25, P < 0.01) \\ \text{SGRe} &= -2.5872 + 1.4014\text{RI} + 0.1105\text{RI}^2 & (r^2 = 0.8844, n = 25, P < 0.01) \end{aligned}$$

Feed efficiency in wet weight, protein and energy was highest at 2% ration, which were 36.31%, 21.47% and 28.10% respectively. The effects of ration level on ammonia, urea nitrogenous excretion and the proportion of ammonia excretion to total nitrogen excretion were significant ($P < 0.01$). The urea and total nitrogenous excretion rate increased with increasing ration, and ranged 8.24—29.56(μmol/g·d) and 18.81%—65.87%(μmol/g·d) from starvation to *ad libitum*, respectively. Ammonia excretion rate and the proportion of ammonia excretion to total nitrogen excretion at starvation were higher than that of 1% and ranged 9.44—36.31(μmol/g·d) and 44.50%—55.09%, respectively. Regression analysis showed that the relationship between nitrogen excretion(μmol/g·d) and protein intake rate(PL)(% body weight per day) could be expressed as:

$$\begin{aligned} \text{G-N} &= 3.6592 + 49.1775\text{PL} & (n = 20, r^2 = 0.8716) \\ \text{NH}_3\text{-N} &= -1.1239 + 29.5939\text{PL} & (n = 20, r^2 = 0.8964) \\ \text{U-N} &= 4.7831 + 19.5836\text{PL} & (n = 20, r^2 = 0.6574) \end{aligned}$$

where the G-N, NH₃-N and U-N indicate general nitrogen, ammonia and urea excretion rate respectively. The proportions of energy intake allocated to various components of the energy budget were significantly affected by ration($P < 0.01$). The proportion of metabolic energy to food energy was highest at 1% ration level which was 86.22% and lowest at 2% which was 63.54%. the proportion of growth changes was highest at 2% ration level which was 28.10%. The energy budget equation for the starvation group could be expressed as:

$$100\text{C} = 6.84\text{F} + 2.64\text{U} + 72.12\text{R} + 17.76\text{G}$$

where C, F, U, R and G is

The results showed that the nitrogenous excretion rate increased with increasing ration linearly, while conversion efficiency of energy was highest at lower ration level(2%). In conclusion, the best ration level for juvenile soft-shelled turtle culture is 4% because the turtle has higher specific growth rate, conversion efficiency and relatively lower nitrogen excretion rate.

Key words: Energy budget; Growth; Ration; Juvenile *Pelodiscus sinensis*