

# 摄食水平对中华鳖(*Trionyx sinensis*)幼鳖生长和能量收支的影响\*

雷思佳 叶世洲 胡先勤\*\*

(深圳职业技术学院生物应用工程系 深圳 518055)

\*(深圳海洋世界有限公司 深圳 518083)

\*\* (深圳职业技术学院生物应用工程系 深圳 518055; 华中农业大学水产学院 武汉 430070)

**提要** 于2001年10月—2002年3月在深圳职业技术学院海洋生物技术实验室进行摄食—生长实验(实验周期为56天)。实验在水温30℃的条件下进行,设饥饿、1%、2%和饱食4个摄食水平,研究了中华鳖(*Trionyx sinensis*)幼鳖(296.60—396.09g)的生长和能量收支。结果表明,中华鳖幼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( $SGR_d$ )与摄食率( $RI$ )的关系式为: $SGR_d = -0.3621 + 0.8809RI - 0.1352RI^2$  ( $r^2 = 0.896$ ,  $n = 26$ ,  $P < 0.01$ );除湿重的转化效率外,干物质、蛋白质和能量的转化效率在2%组均达到最大,分别为27.47%、31.48%和25.01%;摄食水平对中华鳖氨氮排泄率和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( $P < 0.01$ ),总氮排泄率、氨态氮排泄率和尿素氮排泄率均随摄食水平的增加而升高,从饥饿组到饱食组的变动范围分别是4.71%—38.70%、3.50%—24.64%和1.21%—6.48%,而氨氮占总氮比例的变化规律与上述指的标略有不同,饥饿组的比例略高于1%组,摄食组的比例随摄食水平的增加而增加,该比例的变动范围是71.92%—83.20%,回归分析表明,幼鳖的总氮排泄率[ $\mu\text{mol}/(\text{g}\cdot\text{d})$ ]( $G-N$ )、氨氮排泄率[ $\mu\text{mol}/(\text{g}\cdot\text{d})$ ]( $\text{NH}_3-N$ )及尿素氮排泄率[ $\mu\text{mol}/(\text{g}\cdot\text{d})$ ]( $U-N$ )与其蛋白质摄入量(%体重/d)( $PL$ )的直线方程可表述如下: $G-N = -0.2499 + 52.5132PL$  ( $n = 20$ ,  $r^2 = 0.8660$ )、 $\text{NH}_3-N = 2.6770 + 5.0427PL$  ( $n = 20$ ,  $r^2 = 0.8633$ )、 $U-N = 4.7831 + 19.5836PL$  ( $n = 20$ ,  $r^2 = 0.5761$ );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( $P < 0.01$ )。最大摄食水平组的能量收支式为: $100C = 19.74F + 4.65U + 54.15R + 21.46G$ 。

**关键词** 摄食水平, 中华鳖幼鳖, 生长, 能量收支

**中图分类号** S965.117、Q595.483

中华鳖(*Trionyx sinensis*)是我国名贵的水产珍品,其肉味鲜美、营养丰富、滋补力强,深受人们的喜爱,但由于病害影响其商品价值和食用价值,中华鳖的健康养殖研究势在必行。开展生态因子对中华鳖生长和能量收支影响的研究,可有助于人们了解养殖生态系统中中华鳖的物质循环和能量流动,为该动物的健康养殖提供理论依据。有关中华鳖能量学方面的研究报道较少,且多是有关

温度、光照等对中华鳖能量转化和利用的研究(牛翠娟等,1994;谭洪新等,1999;张廷军等,1996;周显青等,1998,1999),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幼鳖的生长、氮排泄以及能量收支的影响,以期为龟鳖类能量学研究提供基础资料。

与鱼类能量学研究相比,中华鳖能量收支的

\* 国家自然科学基金重大项目,39430150号;广东省教育厅第二批千、百、十人才培养计划项目;深圳市科技局项目资助,00009824号。雷思佳,博士,副教授, E-mail: leisjia@yahoo.com, leisjia@263.net

研究具有一定的难度:一方面龟鳖类属于两栖爬行类动物,直接测定代谢能有一定困难,通常采用差减法;另一方面,其排泄能也不能套用鱼类能量收支的方法而通过氮收支非常间接估计(测定鱼类能量收支是假设鱼类的氮排泄物全部是氨氮),因为中华鳖的氮排泄物中包含氨态氮和尿素氮,而且二者占总氮的比例随摄食率、饵料类型、饥饿时间、体重、温度及鳖的生长阶段等发生变化。因此,欲建立中华鳖的能量收支方程,关键问题是测得排泄能,作者通过摄食率-氮排泄率的关系模型推算中华鳖的排泄能,对中华鳖的能量收支进行了研究。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

中华鳖(*Trionyx sinensis*)稚鳖(初始体重见表3)购自深圳市南山区水产技术推广站。在实验室中驯化一个月,投喂中华鳖幼鳖配合饲料,将温度以 $1-2^{\circ}\text{C}/\text{d}$ 的速度逐渐升至实验温度( $30^{\circ}\text{C}$ ),并在实验条件下饲养1周后开始实验,驯化及实验期间每2天换水1次,水中溶氧保持在 $5\text{mg}/\text{L}$ 以上,pH值为 $7.7-8.0$ 。实验用配合饲料为深圳新光饲料有限公司提供的中华鳖幼鳖饲料,该配合饲料的蛋白质(%干重)、脂肪(%干重)和比能值( $\text{kJ}/\text{g}$ )含量分别为 $45.62\%$ 、 $4.70\%$ 和 $17.59$ 。在饲料中加入 $0.5\%$ 的 $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 作为指示剂混匀后使用。

### 1.2 实验设备

实验在 $37.5\text{L}$ 玻璃水族箱( $50\text{cm} \times 25\text{cm} \times 30\text{cm}$ )中进行。实验室的光照周期用日光灯控制,光照为每天 $12\text{h}$ ,光强范围为 $200-1500\text{lx}$ 。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机控制在 $30^{\circ}\text{C}$ ,水温用上海产WMZK-01型控温仪及玻璃钢水槽( $150\text{cm} \times 65\text{cm} \times 45\text{cm}$ )水浴控温。

### 1.3 实验方法与设计

实验在温度为 $30^{\circ}\text{C}$ 的条件下,设饥饿、 $1\%$ 、 $2\%$ 和饱食4个摄食水平,其中饥饿组和饱食组设6个水族箱、其他设7个水族箱,每箱放鳖1只。实验开始时,先将鳖饥饿2天,然后称重(精确到 $0.001\text{g}$ )。同时取5尾体重相近的鳖作为对照组,箱中设木制饵料台,饵料台高出水面 $1\text{cm}$ ,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 $2\text{h}$ 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,用于测定消化率和粪便含能量的粪便系为刚排出的新鲜粪便,经烘干称重。

实验周期为56天,实验结束时亦将鳖饥饿2天,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(每只鳖及其粪便均单独测定,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(崔奕波,1989),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 $= 6.25 \times$ 氮含量。生长实验开始后采用Chaney等(1962)的方法连续三周测定实验组和对照组水中氨氮和尿素氮含量,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,计算中华鳖幼鳖的氮排泄量。

### 1.4 计算

特定生长率 $\text{SGR} = 100 \times (\ln S_t - \ln S_0) / t$ ,式中: $S_t$ 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( $E$ ); $S_0$ 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 $K = 100 \times$ 生长量/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)(符号意义以下同)。

摄食能( $C$ )= 摄入食物总量 $\times$ 干物质含量 $\times$ 能量含量;

排粪能( $F$ )=  $[(100 - D) \times C_{\text{干}} / 100] \times$ 粪便能量含量,其中 $D$ 为消化率, $C_{\text{干}}$ 为摄入的配合饲料干重;

排泄能( $U$ )= 氨态氮排泄量 $\times 24.83 +$ 尿素氮排泄量 $\times 23.03$ 计算,24.83为每克氨氮的比能值( $\text{kJ}/\text{g}$ ),23.03为尿素氮的比能值( $\text{kJ}/\text{g}$ );

生长能( $G$ )= 实验鱼结束时的体重 $\times$ 干物质含量- 实验鱼开始时的体重 $\times$ 对照组干物质含量 $\times$ 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 $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 为指示剂测定消化率( $D\%$ )。

消化率( $D\%$ ) =  $\left[ 1 - \frac{\text{饲料中 } \text{Gr}_2\text{O}_3 \text{ 含量} / \text{粪便中营养物质或能量 含量}}{\text{粪便中 } \text{Gr}_2\text{O}_3 \text{ 含量} / \text{食物中营养物质或能量 含量}} \right] \times 100$

氨态氮和尿素氮的排泄量是根据蛋白质摄入量与氮排泄率的回归方程计算得出的, 该回归方程是由连续三周测定的摄食率和氮排泄率数据通过回归分析而得出的。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 摄食水平对中华鳖幼鳖消化率的影响

结果见表 1, 方差分析表明摄食水平对中华鳖幼鳖的消化率无显著的影响( $P > 0.05$ ), 对蛋白质消化率影响显著( $P < 0.01$ ), 蛋白质消化率随摄食水平的增加而下降。

2.2 摄食水平对中华鳖幼鳖氮排泄的影响

结果见表 2, 方差分析表明, 摄食水平对中华鳖幼鳖的总氮排泄率、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、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摄食状态下也随摄食率的增加而增加, 在饱食组达最高, 为 83.20%, 饥饿组约略高于 1% 组。

回归分析表明, 中华鳖幼鳖氮排泄率与蛋白质摄入率的关系可用直线方程表示如下:

$G-N = -0.2499 + 52.5132PL$   
( $n = 20, r^2 = 0.8660, P < 0.01$ )

$NH_3-N = 2.6770 + 5.0427PL$   
( $n = 20, r^2 = 0.8633, P < 0.01$ )  
 $U-N = 4.7831 + 19.5836PL$   
( $n = 20, r^2 = 0.5761, P < 0.01$ )

式中,  $G-N$ 、 $NH_3-N$  和  $U-N$  分别表示总氮排泄率 [ $\mu\text{mol}/(\text{g} \cdot \text{d})$ ]、氨氮排泄率 [ $\mu\text{mol}/(\text{g} \cdot \text{d})$ ] 和尿素氮排泄率 [ $\mu\text{mol}/(\text{g} \cdot \text{d})$ ],  $PL$  表示蛋白质摄入量 ( $\%$  体重/ $\text{d}$ )。

2.3 摄食水平对中华鳖幼鳖特定生长率和转化效率的影响

结果见表 3 和表 4, 方差分析表明, 摄食水平对中华鳖幼鳖特定生长率有显著影响( $P < 0.05$ )。由表 3 可以看出, 幼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最大。

回归分析表明, 中华鳖幼鳖特定生长率与摄食水平( $RI$ ) 存在显著的相关关系( $P < 0.01$ ), 回归方程式如下:

$SGR_w = -0.1460 + 0.7517\ln(RI + 1)$   
( $r^2 = 0.890, n = 25, P < 0.01$ )  
 $SGR_w = -0.3570 + 0.3237(RI + 1)$   
( $r^2 = 0.848, n = 26, P < 0.01$ )  
 $SGR_w = -0.1224 + 0.5183RI - 0.0564RI^2$   
( $r^2 = 0.885, n = 26, P < 0.01$ )  
 $SGR_{dr} = -0.3181 + 0.9948\ln(RI + 1)$

表 1 摄食水平对中华鳖幼鳖消化率的影响(平均值±标准误)

Tab 1 Effect of ration level on digestibility in juvenile *T. sinensis* (mean±S.E.)

| 设计摄食率(%)  | 1%                      | 2%                       | 饱 食                      | 显著性 $P$              |
|-----------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------|
| 摄食率(%)    | 1.14±0.0009             | 1.92±0.14                | 3.58±0.44                | $4.8 \times 10^{-9}$ |
| 消化率(%)    | 75.90±1.13              | 76.22±0.96               | 71.47±1.94               | 0.059                |
| 蛋白质消化率(%) | 85.49±6.61 <sup>b</sup> | 81.22±9.51 <sup>ab</sup> | 78.05±24.45 <sup>a</sup> | 0.005                |

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(下同)。

表 2 摄食水平对中华鳖幼鳖氮排泄率的影响(平均值±标准误)

Tab 2 Effect of ration level on nitrogenous excretion rate in juvenile *T. sinensis* (mean±S.E.)

| 摄食水平(%)                                             | 0                        | 1                       | 2                       | 饱食组                     | 显著性 $P$                |
|-----------------------------------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| 总氮排泄率 [ $\mu\text{mol}/(\text{g} \cdot \text{d})$ ] | 4.71±1.05 <sup>a</sup>   | 12.11±0.79 <sup>b</sup> | 20.69±1.51 <sup>c</sup> | 38.70±7.49 <sup>d</sup> | $6.9 \times 10^{-8}$   |
| 氨氮排泄率 [ $\mu\text{mol}/(\text{g} \cdot \text{d})$ ] | 3.50±1.16 <sup>a</sup>   | 9.44±0.18 <sup>b</sup>  | 15.29±0.19 <sup>c</sup> | 24.64±1.04 <sup>d</sup> | $2.25 \times 10^{-15}$ |
| 尿氮排泄率 [ $\mu\text{mol}/(\text{g} \cdot \text{d})$ ] | 1.21±0.05 <sup>a</sup>   | 3.40±0.09 <sup>b</sup>  | 4.39±0.17 <sup>c</sup>  | 6.48±0.56 <sup>d</sup>  | $2.17 \times 10^{-15}$ |
| 总排泄率 [ $\text{J}/(\text{g} \cdot \text{d})$ ]       | 3.15±0.02                | 8.68±0.03               | 12.52±0.05              | 19.35±0.15              | $3.6 \times 10^{-8}$   |
| $NH_3-N$ /总氮排泄率(%)                                  | 74.25±86.05 <sup>a</sup> | 71.92±1.64 <sup>a</sup> | 78.74±0.77 <sup>b</sup> | 83.20±0.67 <sup>c</sup> | 0.0008                 |

表 3 摄食水平对中华鳖幼鳖特定生长率的影响(平均值±标准误)  
Tab. 3 Effect of ration level on specific growth rate in juvenile *T. sinensis* (mean±S.E.)

| 设计摄食水平                    | 饥饿组                      | 1%                         | 2%                        | 饱食组                       | 显著性 <i>P</i> |
|---------------------------|--------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------|
| 实际摄食率                     | 0 <sup>a</sup>           | 1.01±0.02 <sup>b</sup>     | 1.80±0.05 <sup>c</sup>    | 3.23±0.19 <sup>e</sup>    | 0.0001       |
| 样本数                       | 6                        | 7                          | 7                         | 6                         |              |
| <i>W</i> <sub>0</sub> (g) | 290.33±13.06             | 289.81±18.53               | 289.56±18.12              | 312.69±18.20              | 0.784        |
| <i>W</i> <sub>t</sub> (g) | 267.46±9.05 <sup>a</sup> | 360.11±21.51 <sup>ab</sup> | 425.53±37.98 <sup>b</sup> | 539.05±64.44 <sup>c</sup> | 0.0000       |
| <i>SGR<sub>w</sub></i>    | -0.14±0.07 <sup>a</sup>  | 0.39±0.04 <sup>b</sup>     | 0.61±0.21 <sup>c</sup>    | 0.93±0.24 <sup>d</sup>    | 0.0000       |
| <i>SGR<sub>d</sub></i>    | -0.34±0.03 <sup>a</sup>  | 0.37±0.01 <sup>b</sup>     | 0.77±0.25 <sup>c</sup>    | 1.07±0.29 <sup>d</sup>    | 0.0000       |
| <i>SGR<sub>p</sub></i>    | -0.37±0.07 <sup>a</sup>  | 0.35±0.10 <sup>b</sup>     | 0.73±0.20 <sup>c</sup>    | 1.02±0.30 <sup>d</sup>    | 0.0000       |
| <i>SGR<sub>e</sub></i>    | -0.15±0.20 <sup>a</sup>  | -0.33±0.27 <sup>a</sup>    | 0.64±0.32 <sup>b</sup>    | 0.90±0.33 <sup>b</sup>    | 0.0000       |

注: *SGR<sub>w</sub>* + *SGR<sub>d</sub>*、*SGR<sub>p</sub>* 和 *SGR<sub>e</sub>* 分别表示湿重、干物质、蛋白质和能量的特定生长率。

表 4 摄食水平对中华鳖幼鳖转化效率的影响(平均值±标准误)  
Tab. 4 Effect of ration level on conversion efficiencies in juvenile *T. sinensis* (mean±S.E.)

| 设计摄食水平                    | 1%                       | 2%                       | 饱食组                     | 显著性 <i>P</i> |
|---------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------|
| 实际摄食率                     | 1.01±0.02 <sup>b</sup>   | 1.80±0.05 <sup>c</sup>   | 3.23±0.19 <sup>e</sup>  | 0.0001       |
| <i>K<sub>w</sub></i> (%)  | 38.62±1.55 <sup>b</sup>  | 33.37±3.88 <sup>ab</sup> | 28.18±2.17 <sup>a</sup> | 0.0235       |
| <i>K<sub>dr</sub></i> (%) | 20.58±2.91               | 27.47±4.38               | 23.63±7.45              | 0.614        |
| <i>K<sub>p</sub></i> (%)  | 24.21±3.07               | 31.78±4.76               | 27.55±9.05              | 0.645        |
| <i>K<sub>e</sub></i> (%)  | -16.52±5.14 <sup>a</sup> | 25.01±5.84 <sup>b</sup>  | 21.46±7.94 <sup>b</sup> | 0.0001       |

注: *K<sub>w</sub>*、*K<sub>d</sub>*、*K<sub>p</sub>* 和 *K<sub>e</sub>* 分别表示湿重、干物质、蛋白质和能量的转化效率。

(*r*<sup>2</sup> = 0.870, *n* = 26, *P* < 0.01)

*SGR<sub>dr</sub>* = -0.5631 + 0.4147(*RI* + 1)

(*r*<sup>2</sup> = 0.778, *n* = 26, *P* < 0.01)

*SGR<sub>dr</sub>* = -0.3621 + 0.8809*RI* - 0.1352*RI*<sup>2</sup>

(*r*<sup>2</sup> = 0.896, *n* = 26, *P* < 0.01)

*SGR<sub>p</sub>* = -0.3328 + 0.9706 ln(*RI* + 1)

(*r*<sup>2</sup> = 0.871, *n* = 26, *P* < 0.01)

*SGR<sub>p</sub>* = -0.5662 + 0.4023(*RI* + 1)

(*r*<sup>2</sup> = 0.770, *n* = 26, *P* < 0.01)

*SGR<sub>p</sub>* = -0.3817 + 0.8777*RI* - 0.1379*RI*<sup>2</sup>

(*r*<sup>2</sup> = 0.899, *n* = 26, *P* < 0.01)

*SGR<sub>e</sub>* = -0.3948 + 0.8160 ln(*RI* + 1)

(*r*<sup>2</sup> = 0.515, *n* = 26, *P* < 0.01)

*SGR<sub>e</sub>* = -0.7052 + 0.3839(*RI* + 1)

(*r*<sup>2</sup> = 0.586, *n* = 26, *P* < 0.01)

*SGR<sub>e</sub>* = -0.3197 + 0.3804*RI* + 0.001*RI*<sup>2</sup>

(*r*<sup>2</sup> = 0.586, *n* = 26, *P* < 0.01)

中华鳖幼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), 其中对数方程的可靠性系数(*r*<sup>2</sup>) 仅仅在湿重的 *SGR*-摄食率关系式中略微高于二次方程(二者相差 0.005),

二次方程的可靠性系数均为最高, 直线方程均最低, 因此, 选择二次方程表述二者的关系较为可靠。

维持摄食率(Maintenance Ration) 是动物用于维持基础代谢的摄食率, 即当特定生长率为零时的摄食率, 利用上述所选二次方程可以得出中华鳖幼鳖的维持摄食率分别为 0.25% (湿重)、0.44% (干重)、0.47%(蛋白质) 和 0.84%(能量)。

从表 4 可以看出, 除湿重的转化效率外, 2%组其他各项的转化效率均为最大值, 而且 Duncan 多重比较结果表明, 2%组湿重的转化效率与最大值无显著差异(*P* > 0.05)。

2.4 摄食水平对中华鳖幼鳖能量收支的影响

结果见表 5, 方差分析表明, 摄食水平对中华鳖幼鳖能量收支有显著影响(*P* < 0.05), 排粪能占摄入能的比例随摄食水平的增加而增加, 在饱食组达到最大值; 排泄能占摄入能的比例在 1%组最低, 饱食组的最高, 变化范围是 4.56% — 4.65%; 生长能占摄入能的比例在摄食率为 2%时最高, 1%组最低并出现负生长; 代谢能占摄入能的比例 1%组最高、而 2%组最低, Duncan 多重比较结果表明 *R* 值与饱食组的无显著差异(*P* > 0.05)。

表 5 摄食水平对中华鳖幼鳖能量收支的影响(平均值±标准误)  
Tab. 5 Effect of ration level on energy budget in juvenile *T. sinensis* (mean±S. E.)

| 摄食率                              | 1%                       | 2%                       | 饱食组                       | 显著性 <i>P</i> |
|----------------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------|
| $C[J/(\text{d} \cdot \text{g})]$ | 89.39±2.08 <sup>a</sup>  | 154.20±2.35 <sup>b</sup> | 270.19±16.00 <sup>c</sup> | 0.0001       |
| $F/C$                            | 15.43±0.57 <sup>a</sup>  | 16.56±0.74 <sup>a</sup>  | 19.74±1.51 <sup>b</sup>   | 0.025        |
| $U/C$                            | 4.56±0.01 <sup>a</sup>   | 4.63±0.01 <sup>b</sup>   | 4.65±0.001 <sup>c</sup>   | 0.0001       |
| $G/C$                            | -16.52±5.14 <sup>a</sup> | 25.01±5.84 <sup>b</sup>  | 21.46±7.94 <sup>b</sup>   | 0.0001       |
| $R/C$                            | 96.53±5.33 <sup>b</sup>  | 53.80±2.16 <sup>a</sup>  | 54.15±2.67 <sup>a</sup>   | 0.0001       |
| $A/C$                            | 80.01±0.57 <sup>b</sup>  | 78.81±0.74 <sup>a</sup>  | 75.61±1.51 <sup>a</sup>   | 0.022        |
| $G/A$                            | -20.65±6.29 <sup>a</sup> | 31.73±2.85 <sup>b</sup>  | 28.38±2.98 <sup>b</sup>   | 0.0004       |
| $R/A$                            | 121±7.03 <sup>b</sup>    | 68.27±2.85 <sup>a</sup>  | 71.61±2.98 <sup>a</sup>   | 0.0004       |

注: 同化能  $A = C - F - U$ , 同化效率(%) =  $100 \times A / C$ 。

Duncan 多重比较结果表明, 2% 组与饱食组之间的同化率无显著差异 ( $P > 0.05$ ), 它们的同化率均显著低与 1% 组 ( $P < 0.05$ ); 2% 组生长能占同化能的比例最高, 但与饱食组的差异不显著 ( $P > 0.05$ ), 1% 组的最低为负值 (-20.65%); 代谢能占同化能的比例, 1% 组最高而 2% 组最低。中华鳖幼鳖在最大摄食水平时的能量收支方程为:

$$100C = 19.74F + 4.65U + 54.15R + 21.46G$$

或 
$$100A = 28.38G + 71.61R$$

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(周显青等, 1998, 1999; 谭洪新等, 1999), 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, 相关研究多见于鱼类的报道。鱼类的摄食率-生长的关系模型有多种表示方法, 多数作者倾向于使用指数模型 (Brett *et al.*, 1979; Jobling, 1994), 有的使用对数模型:  $SGR = a + b \ln(RL + c)$  (Allen *et al.*, 1982; Singh *et al.*, 1985; Cui *et al.*, 1988), 当然用直线方程表示摄食率-生长模型的也较为普遍 (Niimi *et al.*, 1974; Smith *et al.*, 1988; Matloy *et al.*, 1994; Cui *et al.*, 1994, 1996; 朱晓鸣等, 2000; Erich *et al.*, 2003)。

研究表明, 摄食-生长模型与鱼类的生长阶段、摄食强度、饵料类型以及不同鱼种有关 (Cui *et al.*, 1994, 1996; Malloy *et al.*, 1994), 在摄食率较高时, 饲料中能量含量的高低会影响鱼类对饲料的转化效率, 由此影响其摄食-生长模型。同样摄食水平对鱼体生化成分的影响也会使其摄食-生长模型发生变化。Malloy 等 (1994) 对夏鲮 (*Parr-*

*lichthys 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, 其干物质蛋白质含量高达 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。朱晓鸣等 (2000) 对异育银鲫的研究结果表明, 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, 这种变化说明鱼体干物质和能量含量受到摄食水平的影响而引起的。

本研究结果表明, 中华鳖幼鳖以湿重、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, 但以二次方程的可靠性系数最高 (湿重的略微低于指数方程)。本实验所使用的是中华鳖幼鳖配合饲料, 其能量含量较高, 由此引起高摄食水平时的转化效率降低, 这与夏鲮 (Malloy *et al.*, 1994) 的情况类似。此外, 摄食水平对鳖体的生化成分影响显著 (雷思佳等, 2003), 这也影响了中华鳖的摄食-生长模型, 即用指数方程表述湿重的生长-摄食率模型略优于二次方程, 而干物质、蛋白质和能量的生长-摄食率模型用二次曲线表示可靠性更高, 与朱晓鸣等 (2000) 的研究结论相似。

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, 上述情况不同均将导致转化效率的研究结果差异较大, 多数研究表明转化效率在中间摄食水平最大 (Brett *et al.*, 1979; 崔奕波, 1989; Jobling, 1994)。本

研究中除湿重的转化效率外,中华鳖幼鳖的转化效率在之间摄食水平(2%)最大,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(Welch, 1968),中华鳖幼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23.63%、27.55%和21.46%,高于大多数鱼类。

### 3.2 氮排泄与能量收支

关于中华鳖氮排泄和能量收支的研究报道不多,谭洪新等(1999)报道了温度对中华鳖幼鳖(体重80.50—110.71g)能量收支及转化效率的影响,水温从25—35℃其最大摄食率分别为0.49%、1.19%、1.32%和1.13%,其氮排泄率[kJ/(kg·d)]分别是4.43、15.79、11.61、19.25,氨态氮排泄率占总氮排泄率的比例为35.72%—50.79%;本研究表明,中华鳖幼鳖(体重296.60—396.09g)的氮排泄率从饥饿组到饱食组(3.32%)的变动范围在3.15—19.35kJ/(kg·d),与上述结果接近;而氨态氮排泄率占总氮排泄率的比例为74.25%—83.20%,高于谭洪新等(1999)的研究结果。当然,即使在摄食率接近的情况下,两实验结果也会存在一定的差异,这种差异可能是由鳖的体重、养殖水温、饲料配方和投喂频度等方面因素引起的。

据谭洪新等(1999)报道,在水温31℃时,中华鳖幼鳖的能量收支方程为:  $100C = 5.66F + 5.89U + 32.49R + 55.96G$ , 本研究结果与上述结果相比,除排泄能占摄入能的比例二者接近外,其他各个部分的差距都很大,尤其是粪便能的比例。分析原因,可能有实验对象的体重、饵料配方、投喂次数、摄食率、实验方法等多种因素不同所致。本实验中的粪便能部分采用消化率推算法进行间接估算,而测定消化率及粪便含能量所使用的粪便均为刚排出的新鲜粪便,这样就减少了由于粪便溶失与收集等引起的误差。

Brett 等(1979)总结前人数据结果,得出鱼类平均能量收支方程:

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幼鳖在最适水温条件下(最大摄食率),用于生长的能量界于植食性鱼类和肉食性鱼类之间。

此外,有些研究者往往只列出最大摄食水平下的能量收支模型并与其他研究结果进行比较,而没考虑到有些因素如摄食水平对中华鳖的能量收支的显著影响;再以投喂次数为例,如将日投喂

1次的最大摄食水平的能量收支模式与投喂2次以上最大摄食水平的模型进行比较,也会对比较结论的真实性产生较大的影响,因此,应在相近的实验方法和条件下进行比较。

本研究表明,中华鳖幼鳖的氮排泄率随摄食水平的增加呈线形增加,而其能量利用效率在中间摄食水平(2%)时最高,因此,在养殖过程中应该注意适当调整投饵率,尽量使投饵率低于其饱食水平,以达到提高养殖效率并保持良好的水质的目的;利用摄食率-氮排泄的回归方程可以对养殖水体进行有效地调控。

### 参 考 文 献

- 牛翠娟,张廷军,孙儒泳,1994. 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,30(4): 536—539 [Niu C J, Zhang T J, Sun R Y, 1994. Energetic metabolism of juvenile soft-shelled turtle (*Trionyx sinensis*) (I)——respiratory in water and the relationship with temperature and body weight. Journal of Beijing Normal University, 30(4): 536—539]
- 朱晓鸣,解绶启,崔奕波,2000. 摄食水平对异育银鲫生长及能量收支的影响. 海洋与湖沼,31(5): 471—479 [Zhu X M, Xie S Q, Cui Y B, 2000. Effect of ration level on growth and energy budget of the Gibel carp, *Carassius auratus gibelio*. Oceanologia et Limnologia Sinica, 31(5): 471—479]
- 张廷军,牛翠娟,孙儒泳,1996. 中华鳖幼体呼吸代谢的初步研究. 动物学研究,17(2): 147—151 [Zhang T J, Niu C J, Sun R Y, 1996. Preliminary study of respiration metabolism in the soft-shelled turtle (*Trionyx sinensis*). Zoological Research, 17(2): 147—151]
- 周显青,牛翠娟,李庆芬等,1998. 光照强度对中华鳖稚鳖摄食和生长的影响. 动物学报,44(2): 157—161 [Zhou X Q, Niu C J, Li Q F, 1998. Effect of light intensity on daily food consumption and specific growth rate of the juvenile soft-shelled turtle, *Trionyx sinensis*. Acta Zoologica Sinica, 44(2): 157—161]
- 周显青,牛翠娟,李庆芬,1999. 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,19(3): 383—387 [Zhou X Q, Niu C J, Li Q F, 1999. Effect of photoperiod on food consumption, growth and energy conversion of juvenile soft-shelled turtle *Trionyx sinensis*. Acta Zoologica Sinica, 19(3): 383—387]
- 崔奕波,1989. 鱼类生物能量学的理论与方法. 水生生物学报,13(4): 369—383 [Cui Y B, 1989. Bioenergetics of fish: Theory and methods. Acta Hydrobiologica Sinica, 13(4): 369—383]

- 雷思佳, 叶世洲, 胡先勤, 2003. 饵料类型、摄食水平和体重对中华鳖生化成分和比能值的影响. 华中农业大学学报, 22(3): 251—256 [Lei S J, Ye S Z, Hu X Q, 2003. Effect of body weight and ration level on the body composition and energy content of *Trionyx sinensis*. Journal of Huazhong Agricultural University, 22(3): 251—256]
- 谭洪新, 施正峰, 朱学宝, 1999. 中华鳖幼鳖摄食能量收支及利用效率. 水产学报, 23(增刊): 57—63 [Tan H X, Shi Z F, Zhu X B, 1999. Energy budget and utilization efficiency of juvenile *Trionyx sinensis*. Journal of Fisheries of China, 23(suppl.): 57—63]
- Allen J R M, Wootton R J, 1982. The effect of ration and temperature on the growth of three-spined stickleback, *Gasterosteus aculeatus* L. J Fish Biol, 20: 409—422
- Brett J R, Groves T D D, 1979. Physiological Energetics. In: Hoar W S, Randall D J, Brett J R ed. Fish Physiology. Vol. 8. New York: Academic Press, 279—352
- Chaney A L, Marbach E P, 1962. Modified reagents for determination of urea and ammonia. Clin Chem, 8: 130—132
- Cui Y, Wootton R J, 1988. Bioenergetics of growth of a cyprinid, *Phoxinus phoxinus*: the effect of ration, temperature and body size on food consumption, faecal production and nitrogenous excretion. J Fish Biol, 33: 431—443
- Cui Y, Chen S, Wang S, 1994. Effect of ration size on the growth and energy budget of the grass carp, *Ctenopharyngodon idella* V. Aquaculture, 123: 95—107
- Cui Y, Hung S S O, Zhu X, 1996. Effect of ration and body weight size in the energy budget of juvenile white sturgeon. J Fish Biol, 49: 863—876
- Erich H Van Ham, Marc H G Bemtssen, Albert K Imsland *et al*, 2003. The influence of temperature and ration on growth, feed conversion, body composition and nutrient retention of juvenile turbot *Scophthalmus maximus*. Aquaculture, 217: 547—558
- Jobling M, 1994. Fish Bioenergetics. London: Chapman & Hall, 309
- Malloy K D, Targett T E, 1994. Effect of ration limitation and low temperature on growth, biochemical condition, and survival of juvenile summer flounder from two Atlantic coast nurseries. Trans Amer Fish Soc, 123: 182—193
- Nimi A J, Beamish F W H, 1974. Bioenergetics and growth of largemouth bass *Micropterus salmoides* in relation to body weight and temperature. Canadian Journal of Zoology, 42: 447—456
- Singh R P, Srivastava A K, 1985. Effect of different ration levels on the growth and the gross conversion efficiency in asilurid catfish, *Heteropneustes fossilis* (Block). Bull Inst Zool, Academia Sinica, 24: 69—74
- Smith R L, Paul A J, Paul J M, 1988. Aspects of energetics of adult walleye pollock, *Theragra chalcogramma* (Pallas), from Alaska. J Fish Biology, 33: 445—454
- Welch H E, 1968. Relationships between assimilation efficiencies and growth efficiencies for aquatic censures. Ecology, 49: 755—759

## EFFECT OF RATION LEVEL ON ENERGY BUDGET IN JUVENILE SOFT-SHELLED TURTLE, *TRIONYX SINENSIS*

LEI Si-Jia, YE Shi-Zhou, HU Xian-Qin<sup>~</sup>

(Department of Biological Applied Engineering, Shenzhen Polytechnic, Shenzhen, 518055)

<sup>~</sup>(Shenzhen Ocean World Co. Ltd., Shenzhen, 518083)

<sup>~~</sup>(Department of Biological Applied Engineering, Shenzhen Polytechnic, Shenzhen, 518055;

Fisheries College, Huazhong Agriculture University, Wuhan, 430070)

**Abstract** In order to investigate the effect of ration on growth and energy budget in juvenile soft-shelled turtle (*Trionyx sinensis*), a growth trial was conducted at 30 °C for a period of 56d. Initial body weights of the juvenile were 296.60—396.09g. The turtles were fed with commercial diet, produced by Shenzhen Xinguang artificial diet company, at four rations ranging from starvation level to *ad libitum* twice daily. ANOVA showed that the specific growth rate (*SGR*) of wet weight (*SGR<sub>w</sub>*), dry matter (*SGR<sub>d</sub>*), protein (*SGR<sub>p</sub>*) and energy (*SGR<sub>e</sub>*) were affected significantly ( $P < 0.01$ ) by ration level. Regression analysis showed that the *SGR* increased quadratically with increasing rations. The relationship between specific growth rate and ration level (*RL*) could be expressed as

$$SGR_w = -0.1224 + 0.5183RL - 0.0564RL^2 \quad (r^2 = 0.885, n = 26, P < 0.01)$$

$$SGR_{dr} = -0.3621 + 0.8809Rl - 0.1352Rl^2 \quad (r^2 = 0.896, n = 26, P < 0.01)$$

$$SGR_p = -0.3817 + 0.8777Rl - 0.1379Rl^2 \quad (r^2 = 0.899, n = 26, P < 0.01)$$

$$SGR_e = -0.3197 + 0.3804Rl + 0.001Rl^2 \quad (r^2 = 0.586, n = 26, P < 0.01)$$

Conversion efficiency for dry matter, protein and energy was highest at 2% ration group which were 27.47%, 31.48% and 25.01% respectively.

ANOVA shows that the effect of ration level on ammonia, urea nitrogenous excretion and the proportion of ammonia excretion rate to total nitrogen excretion was significant ( $P < 0.01$ ). Ammonia, urea and total nitrogenous excretion rate increased along with increasing ration, the ranges were 3.50%—24.64%, 1.21%—6.48% and 4.71%—38.70% from starvation to *ad libitum* respectively. The range for the proportion of ammonia excretion to total nitrogen excretion was 71.92%—83.20%. Regression analysis showed also the relationship between nitrogen excretion [ $\mu\text{mol}/(\text{g} \cdot \text{d})$ ] and protein intake rate ( $PL$ ) (% body weight per day) could be expressed as

$$G-N = -0.2499 + 52.5132PL \quad (n = 20, r^2 = 0.8660, P < 0.01)$$

$$NH_3-N = 2.6770 + 5.0427PL \quad (n = 20, r^2 = 0.8633, P < 0.01)$$

$$U-N = 4.7831 + 19.5836PL \quad (n = 20, r^2 = 0.5761, P < 0.01)$$

G-N,  $NH_3-N$  and U-N indicate general nitrogen, ammonia and urea excretion rate. The proportions of energy intake allocated to various components of the energy budget were significantly affected by rations ( $P < 0.01$ ). The proportion of food energy lost in fecal and nitrogenous excretion increased with increasing rations, the ranges were 15.43%—19.74% and 4.56%—4.65% respectively, from starvation to maximum ration. The proportion of metabolic energy to food energy was highest at a 1% ration level which was 96.53%, while growth was highest when the ration was 2% which was 25.01%. The energy budget equation for the maximum ration group could be expressed as

$$100C = 19.74F + 4.65U + 54.15R + 21.46G$$

This research shows that the nitrogenous excretion rate had a linear increase with increasing ration, while conversion efficiency of energy was highest at the middle ration level (2%). Thus, for culture of the soft-shelled turtle, the ration should be adjusted to the middle level to retain high conversion efficiency and optimum water quality. The equation expressing the relationship between ration and nitrogenous excretion rate could be used in water quality control for the soft-shelled turtle culture.

**Key words** Ration level, Juvenile *Trionyx sinensis*, Growth, Energy budget