

文章编号:1000-0615(2004)01-0047-07

## 饥饿对南美白对虾生化组成及补偿生长的影响

林小涛<sup>1</sup>, 周小壮<sup>1</sup>, 于赫男<sup>1</sup>, 林继辉<sup>2</sup>, 许忠能<sup>1</sup>

(1. 暨南大学水生生物研究所, 广东 广州 510632;

2. 湛江海洋大学水产学院, 广东 湛江 524100)

**摘要:**对南美白对虾(初始湿重  $1.427 \pm 0.018\text{g}$ ) 在  $29.5 \pm 1.5^\circ\text{C}$  条件下进行不同饥饿时间处理后再投喂的实验。实验设对照组 C 以及饥饿处理组  $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$ 、 $S_4$ 、 $S_5$  和  $S_6$  共 7 组, 分别饥 0d(对照组)、1d、2d、3d、4d、5d 和 6d 后再投喂。实验共进行 20d。在饥饿 1-6d 的过程中, 南美白对虾体重、脂肪含量、碳水化合物含量和能值下降, 而水分、灰分含量增加, 但蛋白质含量没有明显改变。实验结束时,  $S_1$ 、 $S_2$  和  $S_3$  组体重与 C 组没有显著差异 ( $P > 0.05$ ), 虾体的生化组成也均接近或达到了 C 组水平, 而  $S_4$ 、 $S_5$  和  $S_6$  组体重则显著低于对照组 ( $P < 0.05$ ), 且虾体的生化组成与 C 组还有一定的差异。在恢复生长过程中, 各饥饿处理组的生长率、食物转化率, 以及  $S_4$ 、 $S_5$  和  $S_6$  三组的摄食率均显著高于 C 组 ( $P < 0.05$ )。研究结果表明, 南美白对虾继饥饿后具有补偿生长效应, 这主要是由于恢复摄食后摄食率和食物转化率提高共同作用的结果。

**关键词:**南美白对虾; 饥饿; 生化组成; 补偿生长

**中图分类号:** Q591.8

**文献标识码:** A

## The effects of starvation on biochemical composition and compensatory growth in *Penaeus vannamei*

LIN Xiao-tao<sup>1</sup>, ZHOU Xiao-zhuang<sup>1</sup>, YU He-nan<sup>1</sup>, LIN Ji-hui<sup>2</sup>, XU Zhong-neng<sup>1</sup>

(1. Institute of Hydrobiology, Jinan University, Guangzhou 510632, China;

2. Fisheries college, Zhanjiang Ocean University, Zhanjiang 524100, China)

**Abstract:** The recovery growth of *Penaeus vannamei* (initial wet weight of  $1.427 \pm 0.018\text{g}$ ), which suffered starvation for different periods at  $29.5 \pm 1.5^\circ\text{C}$  was studied. The shrimps were divided into 7 groups, groups C,  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ ,  $S_4$ ,  $S_5$  and  $S_6$  which were deprived of food for 0 (control), 1, 2, 3, 4, 5 and 6 days, respectively. The experiment lasted for 20 days. In body of the *Penaeus vannamei* starved for 1 to 6 days, weight and contents of energy, lipid and carbohydrate decreased, but contents of water and ash increased significantly, contents of protein did not obviously change. Owing to the significant decreasing of dry weight, the amount of protein in each *Penaeus vannamei* apparently declined. At the end of the experiment, the mean body weight and the contents of biochemical compositions of groups  $S_1$ ,  $S_2$  and  $S_3$  were similar to those of the control group, while the body weight and the contents of biochemical compositions of other groups were still significantly lower than those of the control group. During the recovery growth, the growth rate and food conversion efficiency of all the starvation groups were significantly higher than those in the control group, so was the feeding rate of  $S_4$ ,  $S_5$  and

收稿日期: 2003-05-16

资助项目: 广东省自然科学基金项目(000719)和广东省教育厅“千百十工程”优秀人才培养基金项目(Q02061)

作者简介: 林小涛(1957-), 男, 广东海丰人, 教授, 博士生导师, 从事水生动物生理生态学和养殖生态学研究。Tel: 020-85228310,

E-mail: tlxxt@jnu.edu.cn

$S_6$ . The results indicated that there was compensatory effect in the *Penaeus vannamei* following starvation and that the compensatory growth resulted from significant increase of the feeding level and food conversion efficiency which were more obvious during the initial stage in the recovery growth.

**Key words:** *Penaeus vannamei*; starvation; biochemical composition; compensatory growth

在自然界,动物常因食物种类或丰度的空间分布、季节更替和环境剧变等原因而遭受饥饿的胁迫。有些动物在饥饿一段时间后再恢复摄食时,其生长速度将超过一直正常摄食的个体,这种现象称为补偿生长(compensatory growth)<sup>[1,2]</sup>。目前,有关水产动物补偿生长的研究多见于鱼类方面的报道<sup>[3-6]</sup>。在虾类,仅有对克氏原螯虾(*Procambarus clarkii*)和中国对虾(*Penaeus chinensis*)补偿生长现象的少数研究<sup>[7,8]</sup>,但关于饥饿对虾体生化组成的影响及相关的补偿生长机制尚未有详尽的资料。

本研究以我国重要的海水养殖种类南美白对虾(*Penaeus vannamei*)为实验对象,研究饥饿对其体重和身体生化组成的影响,及其在恢复生长过程中的生长率、摄食率、吸收率和食物转化率的变化,以探讨其补偿生长的机制。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验虾的来源及暂养

实验于2002年6月至7月在湛江市东海岛荣达虾苗场进行。实验所用南美白对虾取自苗场内的水泥养殖池塘,均为同一母体来源的健康个体。实验开始前将虾移入室内塑料水族箱(50cm×30cm×30cm),选取体重相近的虾(1.427±0.018g)暂养5d,此间每箱放养8尾,每天8:00和18:00投喂过量对虾配合饲料(蛋白质43%、脂肪7%、碳水化合物38%、能值19.3kJ·g<sup>-1</sup>),投喂后1h吸出残饵及粪便。实验用海水为苗场蓄水池中经沉淀、砂滤处理后的海水,盐度为28,pH7.6。水温29.5±1.5℃,日换水量1/2,连续充气,溶解氧保持在5.5mg·L<sup>-1</sup>以上。

### 1.2 实验方法

实验设对照组C及饥饿处理组S<sub>1</sub>、S<sub>2</sub>、S<sub>3</sub>、S<sub>4</sub>、S<sub>5</sub>、S<sub>6</sub>,共7组。对照组用10个水族箱,饥饿实验组每组用4个水族箱,每箱放8尾虾。这些水族箱中,对照组共有6个,每饥饿组各有1个是用来测定饥饿结束时虾体的生化组成的。实验共进行

20d,期间对照组C连续投喂20d,S<sub>1</sub>、S<sub>2</sub>、S<sub>3</sub>、S<sub>4</sub>、S<sub>5</sub>和S<sub>6</sub>组分别饥饿1d、2d、3d、4d、5d和6d后再恢复投喂至实验结束。为防止饥饿时对虾相互残杀,各饥饿组在饥饿期间每个水族箱中放入8个周围穿有许多小孔的塑料杯(孔径0.5cm,杯直径为10cm),每杯置1尾虾,饥饿结束后将杯移走。除用于生化测定的虾外,实验第1至第7天,每天用天平称虾体重一次(精确度为0.1mg),第8天至实验结束每两天称重一次。称重时采用筛绢网将虾捞起,用纱布吸干体表水,然后将虾置于一带盖的塑料小杯中用天平称重,称完后迅速将虾放回水中。各实验组在投喂阶段每天定时过量投喂2次,每次投喂1h后收集残饵,2h后收集粪便,每次收集完后再排出的少量粪便,在下次投喂后一并收集。残饵和粪便均采用小管虹吸,收集至自制的过滤器上,然后烘干称重。由于饵料和粪便泡浸水中都会有溶失,事先通过实验测定其溶失率,然后对排粪量和残饵量进行校正。实验期间饲养条件与暂养时相同。

在实验开始、饥饿结束及实验结束时从相应的饥饿组和对照组中各取1箱8尾虾于70℃下烘干后置于干燥器中冷却,称重,进行生化组成分析。为消除个体误差,测定前将同组8尾虾研磨成粉状后混合,密封置入-20℃冰箱保存。蛋白质测定采用凯氏定氮法,灰分测定采用马福炉焚烧法(550℃),脂肪测定采用乙醚抽提法,能量利用德国产IKA C4000型氧弹式热量计测定,碳水化合物含量通过减量法而得。同一组的样品重复测定两次,若相对偏差大于2%,则再次测定,取相对偏差小于2%的两个测定值的平均数作为测定结果。

### 1.3 数据处理

生长率( $SGR$ )、摄食率( $FR$ )、吸收率( $AE$ )和食物转化率( $FCE$ )分别按以下公式计算<sup>[2,8]</sup>:

$$SGR(\% \cdot d^{-1}) = 100 \times (\ln W_2 - \ln W_1) / t$$

$$FR(\% \cdot d^{-1}) = 100 \times C / [t \times (W_1 + W_2) / 2]$$

$$AE(\%) = 100 \times (C - E) / C$$

$$FCE(\%) = 100 \times (W_2 - W_1) / C$$

上式中,  $t$  为两次测定的时间间隔;  $W_1$  和  $W_2$  分别为  $t_1$  和  $t_2$  时实验虾的体重(g)或能值(kJ);  $C$  为摄入的饲料量(g)或能值(kJ);  $E$  为粪便的重量(g)或能值(kJ)。

## 2 结果

### 2.1 体重变化

饥饿结束时各饥饿组的体重显著下降 ( $P <$

0.05), 而且随着饥饿时间的延长, 体重减少率增大, 且干体重减少率大于湿体重减少率, 如  $S_6$  组的湿体重减少率为 10.55%, 而干体重减少率达到 28.98%; 实验结束时  $S_1$ 、 $S_2$  和  $S_3$  组的体重与对照组没有显著差异 ( $P > 0.05$ ), 但  $S_4$ 、 $S_5$  和  $S_6$  组的体重仍显著低于对照组 ( $P < 0.05$ ) (表 1)。

表 1 南美白对虾在实验期间的体重(平均值  $\pm$  标准误差)变化

Tab.1 The change of body weight (Mean  $\pm$  S.E) in *Penaeus vannamei* during experiment

饥饿时间 (d) time of starvation	饥饿前体重(g) initial weight		饥饿后体重(g) weight after starvation		体重减少率(%) rate of weight decrease		恢复后体重(g) final weight	
	1	2	1	2	1	2	1	2
0	1.418 $\pm$ 0.041	0.340 $\pm$ 0.023	1.418 $\pm$ 0.041	0.340 $\pm$ 0.023	—	—	2.263 $\pm$ 0.039	0.554 $\pm$ 0.033
1	1.428 $\pm$ 0.055	0.345 $\pm$ 0.025	1.391* $\pm$ 0.053	0.317* $\pm$ 0.033	2.62	8.12	2.183 $\pm$ 0.073	0.531 $\pm$ 0.034
2	1.442 $\pm$ 0.035	0.352 $\pm$ 0.024	1.383* $\pm$ 0.035	0.305* $\pm$ 0.023	4.04	13.35*	2.170 $\pm$ 0.076	0.532 $\pm$ 0.026
3	1.408 $\pm$ 0.054	0.338 $\pm$ 0.018	1.286* $\pm$ 0.050	0.266* $\pm$ 0.025	8.78*	21.3*	2.088 $\pm$ 0.082	0.511 $\pm$ 0.026
4	1.395 $\pm$ 0.058	0.336 $\pm$ 0.018	1.278* $\pm$ 0.034	0.260* $\pm$ 0.019	8.36*	22.62*	2.007* $\pm$ 0.063	0.483* $\pm$ 0.013
5	1.434 $\pm$ 0.052	0.350 $\pm$ 0.014	1.303* $\pm$ 0.044	0.259* $\pm$ 0.016	9.13*	26.00*	1.989* $\pm$ 0.070	0.483* $\pm$ 0.017
6	1.462 $\pm$ 0.054	0.352 $\pm$ 0.018	1.307* $\pm$ 0.045	0.250* $\pm$ 0.014	10.55*	28.98*	1.969* $\pm$ 0.062	0.480* $\pm$ 0.022

注: \* 表示与对照组有显著性差异 ( $P < 0.05$ )。1. 湿重; 2. 干重

Notes: \* indicate significant difference with the control group ( $P < 0.05$ ). 1. wet weight; 2. dry weight

### 2.2 生化组成变化

由于对照组分别在各饥饿组饥饿结束时都采了样, 所以对照组与饥饿组相对应的样品有 6 个, 但 6 个样品的各项指标都没有显著性差异, 所以图 1 中对照组相对于饥饿结束时的各项指标均取 6 个样品的平均值。饥饿结束时, 虾体水分含量随饥饿时间的延长而升高(图 1-a),  $S_1$  组由饥饿前的 75.82% 升至 77.20%, 而  $S_6$  组由 75.92% 升至 80.90%;  $S_1$  组的灰分含量在饥饿前后基本不变, 其它各组随着饥饿时间的延长而上升, 特别是  $S_6$  组由饥饿前的 14.03% 升至 17.83% (图 1-b);  $S_1$  组的脂肪含量与对照组相近,  $S_2$  组的脂肪含量由饥饿前的 8.82% 下降至 7.70%, 而  $S_4$ 、 $S_5$  和  $S_6$  组的脂肪含量下降至 6.30% ~ 6.38% 之间(图 1-c); 能值随饥饿时间的延长而下降,  $S_1$  组由饥饿前  $19.85\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$  降至  $19.56\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ , 而  $S_6$  组由  $19.72\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$  降至  $18.09\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$  (图 1-f); 碳水化合物含量随饥饿时间的延长略有下降, 但蛋白质含量没有明显改变(图 1-d 和图 1-e)。尽管各

组恢复摄食和生长的持续时间不同, 但在实验结束时, 各饥饿处理组南美白对虾的水分、灰分、脂肪和能值的含量均接近或恢复到对照组水平。各实验组的蛋白质含量在实验结束时都较之实验开始时有明显的升高, 但各组升高的幅度有随饥饿时间的延长而减少的趋势。碳水化合物含量的变化趋势则与蛋白质相反。

### 2.3 摄食和恢复生长

对各实验组恢复生长过程中总的 SGR、FCE、FR 和 AE 相应数据(表 2)分别进行单因素分差分析, 结果表明: 除  $S_1$  组外, 其它各饥饿处理组的干重指标和能量指标的生长率、转化率均显著高于对照组 ( $P < 0.05$ );  $S_1$ 、 $S_2$  和  $S_3$  组的干重指标和能量指标的摄食率与对照组无显著差异 ( $P > 0.05$ ), 但  $S_4$ 、 $S_5$  和  $S_6$  组的摄食率显著高于对照组 ( $P < 0.05$ ); 各饥饿处理组的干重吸收率与对照组无显著差异 ( $P > 0.05$ )。由于试验虾较小, 粪便的量不足以测定能量值, 故食物吸收率仅以干重为指标。

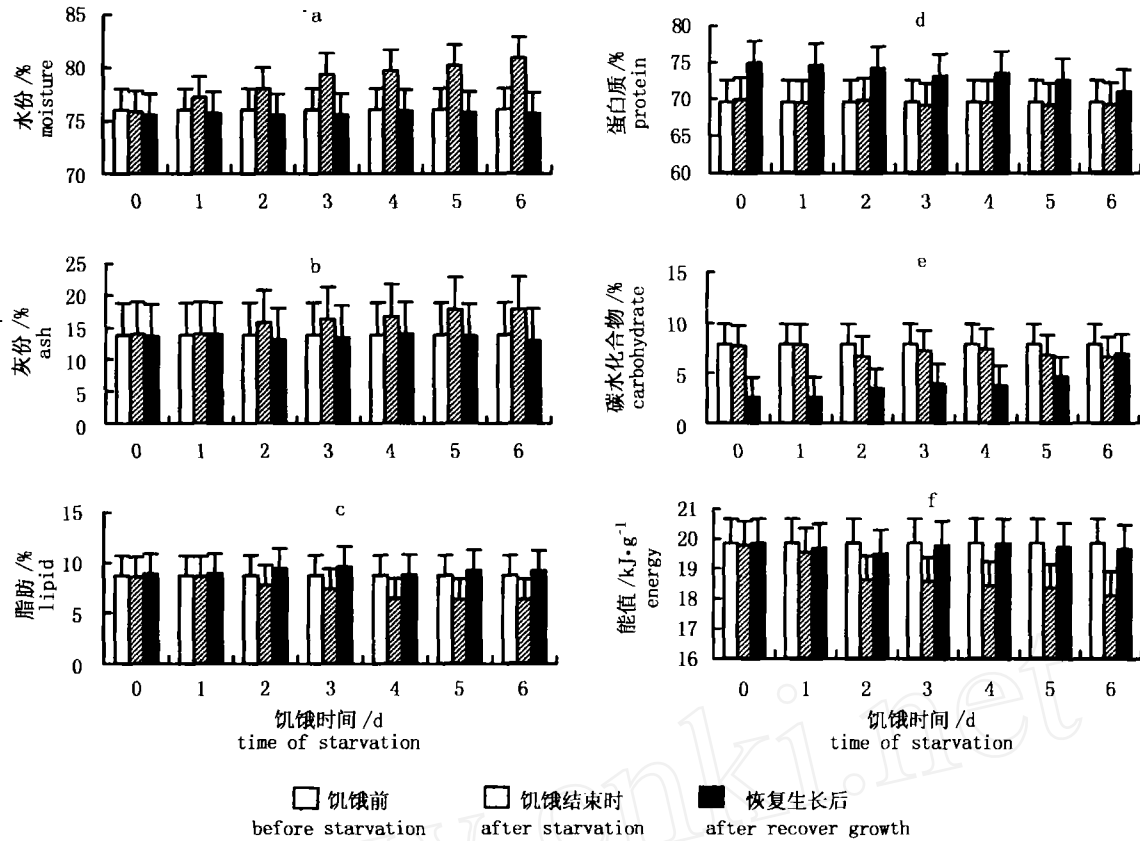


图1 实验期间南美白对虾的生化组成变化(b~f为干重百分比)  
 Fig.1 The change of biological and chemical composition in *Penaeus vannamei* during experiment.( b to f are dry weight percent)

表2 南美白对虾在恢复生长过程中的生长率、摄食率、吸收率和食物转化率  
 Tab.2 The specific growth rate, feeding rate, absorption efficiency, and food conversion efficiency in *Penaeus vannamei* during recovery growth

饥饿时间(d) time of starvation		0	1	2	3	4	5	6
生长率 SGR(%·d <sup>-1</sup> )	1	2.437	2.717	3.075*	3.856**	3.891**	4.116**	4.678**
	2	2.434	2.752	3.329*	4.227**	4.353**	4.647**	5.271**
摄食率 FR(%·d <sup>-1</sup> )	1	14.216	13.297	14.504	15.235	16.227*	17.393*	18.974**
	2	13.683	12.937	14.451	15.032	16.021*	17.275*	18.956**
吸收率 AE(%)	1	76.463	75.896	76.419	74.991	76.222	75.473	75.375
	2	—	—	—	—	—	—	—
食物转化率 FCE(%)	1	17.049	20.047*	20.624*	24.443**	23.236**	23.168**	23.780**
	2	17.698	20.861*	22.324*	26.969**	26.131**	25.828**	26.584**

注: \* P<0.05; \*\* P<0.01; 1. 干重指标; 2. 能量指标 Notes: 1. in terms of dry weight ; 2. in terms of energy

2.4 恢复生长过程中摄食和生长的变化

为观察恢复生长过程中摄食率和生长率的变化,每隔2天测定湿重指标的SGR、FCE、FR和AE(图2a~d)。各实验组的生长率和食物转化率呈波动变化,难以比较;各饥饿处理组的摄食率和吸收率在恢复摄食初期高于对照组,后期逐渐下降到对照组的水平。除饥饿6d组外,饥饿1~5d

各组在恢复生长初期的摄食率随着饥饿时间的延长而增大。饥饿1~3d各组的高摄食率持续时间较短,只维持了4d左右,而饥饿4~6d各组则维持到第8d。各饥饿组在恢复摄食初期的吸收率随着饥饿时间的延长而增大,但都只维持了2d就回落到与对照组相近的水平。

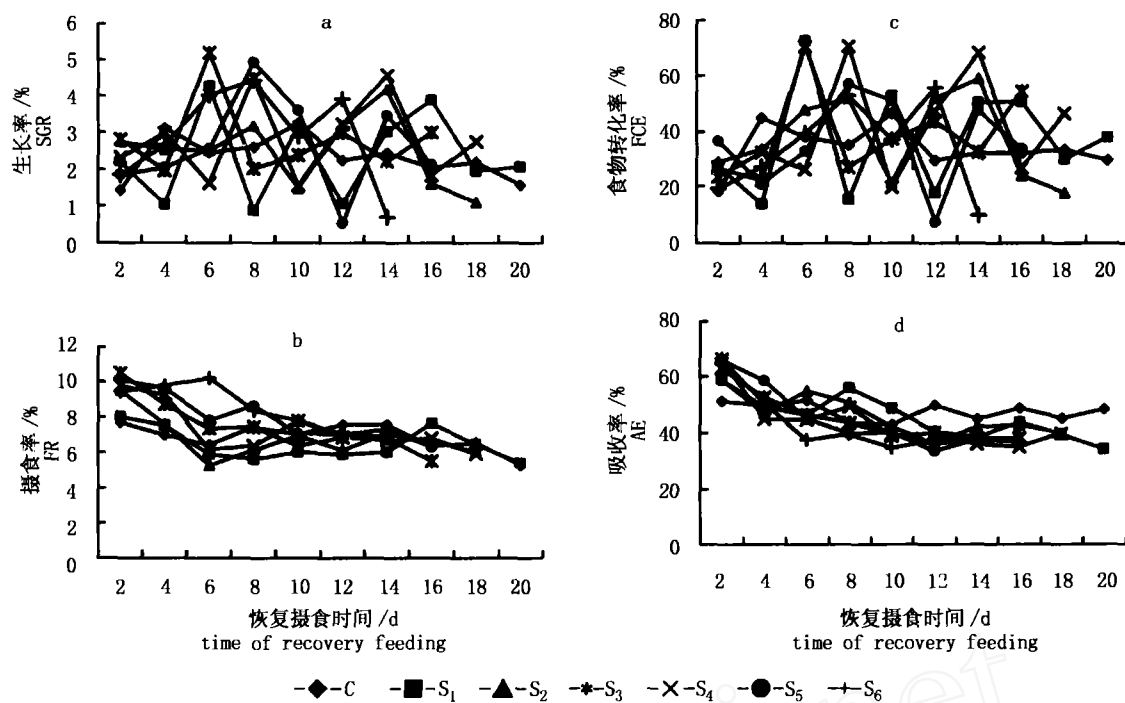


图2 生长率、摄食率、食物转化率及吸收率的变化

Fig.2 The change of specific growth rate, feeding rate, food conversion efficiency and absorption efficiency

### 3 讨论

#### 3.1 饥饿对南美白对虾生化组成的影响

在饥饿过程中,动物体靠消耗自身贮存的能量以维持生命活动。对身体贮存能量物质的利用,不同的动物情况不一,有的主要消耗脂肪和糖元<sup>[6, 9, 10]</sup>,也有少数种类主要消耗蛋白质<sup>[11]</sup>。本实验的结果显示,在饥饿 1-6d 的过程中南美白对虾的干重显著下降,与此同时,脂肪和碳水化合物含量均有下降,而蛋白质含量没有明显变化。这说明在饥饿过程中南美白对虾的各种生化成份的比例发生了改变,且虾体当中的脂肪、蛋白质和碳水化合物的绝对量均有所减少,亦即这 3 种能量物质均有部分被利用,至于哪一种为最主要的供能物质,则需通过进一步的实验确定。

由图 1 可以看出,与对照组相比,饥饿 1d 的南美白对虾的能值以及脂肪、蛋白质、碳水化合物和灰分含量的变化并不明显,但饥饿 2d 以上的脂肪含量和能值明显下降,灰分含量上升,说明该体重下的南美白对虾受饥饿的胁迫由第二天开始变得强烈。

饥饿期间虾体生化组成的变化会影响到恢复

摄食后能量物质的存储和利用。如脂肪,饥饿时间越长,含量越低的,在恢复摄食后更能迅速的累积,以最短的恢复生长时间在实验结束时使其含量达到与对照组和其他饥饿组相似的水平。从正常摄食的对照组来看,蛋白质含量会随着生长而增加,碳水化合物含量会下降。由于蛋白质含量在饥饿期间没有明显的变化,恢复摄食后其增长速率在各饥饿组之间似乎也没有明显差异。因此,饥饿时间越短,即恢复生长时间越长的,实验结束时其蛋白质含量就越高。虽然碳水化合物在饥饿期间含量有所下降,但由于在恢复生长过程中蛋白质含量增加幅度较大,因此各饥饿组的碳水化合物含量仍呈下降的趋势,且各组的下降幅度与蛋白质含量的增加相对应,即饥饿时间越短,恢复生长时间越长的,其下降幅度也越大。

#### 3.2 南美白对虾的补偿生长

根据补偿生长量的大小可将鱼类的补偿生长分为 4 类:超补偿生长、完全补偿生长、部分(有限)补偿生长和不能补偿生长<sup>[12]</sup>。从目前的情况来看,补偿生长的有无及补偿生长的程度主要由恢复生长期间的生长率和恢复生长后的动物体重与在相同时间内持续饱喂的对照组进行比较而判

定<sup>[13]</sup>。吴立新等以中国对虾(初始湿重约 1.5g)的干重和湿重的变化作为判断指标认为饥饿 4d 的对虾具有完全补偿生长效应,饥饿 8d 和 12d 的个体可能具有部分补偿生长效应<sup>[8]</sup>。在本实验中,除 S<sub>1</sub> 组外,其余各饥饿处理组在恢复生长后总的干重生长率和能量生长率明显高于对照组(表 2),说明南美白对虾继饥饿后具有补偿生长效应。由于实验结束时 S<sub>1</sub>、S<sub>2</sub> 和 S<sub>3</sub> 组的平均个体体重与对照组无显著性差异,而 S<sub>4</sub>、S<sub>5</sub>、S<sub>6</sub> 组仍显著低于对照组(表 1),因此,如果以体重作为判断补偿生长程度的指标,可以认为前三组出现了完全补偿生长效应,后三组只是出现了部分补偿生长效应。如果以实验结束时虾体的各种生化组成作为判断指标,S<sub>1</sub>、S<sub>2</sub>、S<sub>3</sub> 3 组的水分、脂肪、灰分、能值、蛋白质和碳水化合物含量都接近或达到了对照组水平(图 1),因此可以认为这 3 组同样达到了完全补偿生长。S<sub>4</sub>、S<sub>5</sub>、S<sub>6</sub> 3 组的水分、脂肪、灰分和能值含量也接近或达到了对照组的水平,但是由于蛋白质和碳水化合物的含量与对照组存在明显的差异,因此以生化组成作为指标也同样可以认为这 3 组只是出现了部分补偿生长。如果延长恢复生长时间,S<sub>4</sub>、S<sub>5</sub> 和 S<sub>6</sub> 组的体重和各种生化组成是否能全部恢复到对照组的水平,即是否都能达到完全补偿生长,还需要进一步的研究确定。鉴于南美白对虾在饥饿和恢复生长的过程中,伴随着体重的改变,其身体的生化组成也会发生变化,作者认为以生化组成作为其中一个指标比单纯考察体重更能客观地反映虾体生理上的质量的变化,从而更能准确地反映南美白对虾对饥饿胁迫的反应和补偿生长的实质。

### 3.3 南美白对虾补偿生长的机制

关于动物补偿生长的生理机制目前尚无定论。一种观点认为,动物在恢复摄食后仍继续保持饥饿时的较低代谢水平,从而把更多的能量用于生长,即通过提高食物转化率来实现补偿生长<sup>[6, 14]</sup>;另一种观点认为,补偿生长主要是通过增大摄食量而实现的<sup>[8, 15]</sup>;也有观点认为补偿生长是以上两种因素共同作用的结果<sup>[16]</sup>。

在本实验中,甲壳类动物周期性蜕皮的特性决定了恢复生长期间南美白对虾的湿重生长率及相关的食物转化率呈波动变化(图 2-a)。各饥饿组在恢复生长初期湿重摄食率高于对照组(图 2-b),但以后逐步回落。而从恢复生长期间总的

干重和能量摄食率来看,S<sub>1</sub>、S<sub>2</sub> 和 S<sub>3</sub> 组与对照组没有明显差异(表 2)。这主要是由于这 3 组的恢复生长时间较长,后期较低的摄食率将初期的高摄食率掩盖了的缘故。各饥饿组在恢复生长初期的湿重指标的吸收率明显高于对照组,但只维持了 2d 便恢复到与对照组相近的水平(图 2-d)。这说明南美白对虾在饥饿后消化吸收能力增强,但是随着恢复生长时间的延长其消化吸收能力又下降并恢复到原来的水平。由表 2 得知,在恢复生长过程中,各饥饿处理组总的干重指标和能量指标的食物转化率均显著高于对照组( $P < 0.05$ ),其中,S<sub>3</sub>、S<sub>4</sub>、S<sub>5</sub> 和 S<sub>6</sub> 组甚至达到极显著水平( $P < 0.01$ ),但在图 2-c 中,各饥饿处理组的湿重指标的食物转化率与对照组并无明显的区别。这是因为,食物转化率是指一定时间内生长量与摄食量之比值,在恢复生长过程中,食物的性质及营养价值是不变的,但体重的增长却因体成分,特别是水分含量的变化而在湿重和干重指标上有很大的差别。因此,即使体成分组成发生较大变化,而在湿重上不一定能反映出来,造成湿重指标的食物转化率没有明显变化的假象。综上所述,作者认为南美白对虾的补偿生长主要是通过恢复生长过程中摄食率和食物转化率的提高共同作用的结果。

本实验着重于探讨南美白对虾是否具有补偿生长及其补偿生长的生理机制,因此初步设计了总时间相同而饥饿时间及恢复生长时间不同的实验,具体对饥饿组和对照组的各项生理生态指标作了比较,而对各饥饿组之间没有进行详细的比较,但从实验数据上也可看出大体的变化趋势。对不同饥饿时间南美白对虾的补偿生长维持时间、补偿生长的程度及其机制有待进一步的研究。

### 参考文献:

- [1] Wang Y, Cui Y B, et al. Compensatory growth in hybrid tilapia, *Oreochromis mossambicus* × *O. niloticus*, reared in seawater[J]. *Aquac*, 2000, 189:101-108.
- [2] Cui Y B. Bioenergetics of fishes: theory and methods[J]. *Acta Hydrobiol Sin*, 1989, 13(4):369-383. [崔奕波. 鱼类生物量学的理论与方法[J]. *水生生物学报*, 1989, 13(4):369-383.]
- [3] Gibson T G, Delbert M G. III. Dietary protein and energy modifications to maximize compensatory growth of channel catfish (*Ictalurus punctatus*)[J]. *Aquac*, 2001, 194:337-348.
- [4] Robert S H, Wang N, Douglas B. Group holding impedes

- compensatory growth of hybrid sunfish[J]. *Aquac*, 2000, 133: 299 - 305.
- [5] Zhang B; Sun Y, Tang Q S. The effects of starvation on growth and biochemical composition in *Pagrosomus major* [J]. *J Fish China*, 2000, 24 (3): 206 - 210. [张波, 孙耀, 唐启升. 饥饿对真鲷生长及生化组成的影响[J]. *水产学报*, 2000, 24 (3): 206 - 210.]
- [6] Jiang Z Q, Jia Z M, Han Y B. The compensatory growth and its mechanism of red drum, *Sciaenops ocellatus*, after food deprivation[J]. *J Fish China*, 2002, 26(1): 67 - 72. [姜志强, 贾泽梅, 韩延波. 美国红鱼继饥饿后的补偿生长及其机制[J]. *水产学报*, 2002, 26(1): 67 - 72.]
- [7] Bostworth B G and Wolters W R. Compensatory growth in juvenile red swamp crawfish, *Procambarus clarkii*. In: Romaine R P, ed. Eighth International Symposium on Astacology Baton rouge, LA - USA. Louisiana state univ, Printing office 1995, 648 - 656.
- [8] Wu L X, Dong S L, Tian X L. The compensatory growth in the Chinese shrimp (*Penaeus chinensis*) following starvation[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21 (3): 452 - 457. [吴立新, 董双林, 田相利. 中国对虾继饥饿后的补偿生长研究[J]. *生态学报*, 2001, 21 (3): 452 - 457.]
- [9] Barclay M C, Dall W, Smith D M, et al. Changes in lipid and protein during starvation and the moulting cycle in the tiger prawn, *Penaeus esculentus* (Haswell) [J]. *Fish Res Bd Can*, 1983, 30: 1 - 5.
- [10] Kim M K, Lovell R T. Effect of restricted feeding regimens on compensatory weight gain and body tissue changes in channel catfish *Ictalurus punctatus* in ponds[J]. *Aquac*, 1995, 135: 285 - 293.
- [11] Maddock D M, Burton M P M. Some effects of starvation on the lipid and skeletal muscle layers of the winter flounder, *Pleuronectes americanus* [J]. *Can J Zool*, 1994, 72: 1672 - 1679.
- [12] Xie X J, Deng L, Zhang B. Advances and studies on ecophysiological effects of starvation on fish [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1998, 22 (2): 181 - 189. [谢小军, 邓利, 张波. 饥饿对鱼类生理生态学影响的研究进展[J]. *水生生物学报*, 1998, 22 (2): 181 - 189.]
- [13] Wang Y. Bioenergetics of hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*) reared in seawater, in relation to compensatory growth[J]. *Oceanol et Limnol Sin*, 2001, 32(3): 233 - 239. [王岩. 海水养殖罗非鱼补偿生长的生物能量学机制[J]. *海洋与湖沼*, 2001, 32(3): 233 - 239.]
- [14] Reimers E, Kjørrefferd A G, Stavostrand S M. Compensatory growth and reduced maturation in second sea winter formed Atlantic salmon following starvation in February and March[J]. *Fish Biol*, 1993, 43: 805 - 810.
- [15] Deng L, Zhang B, Xie X J. The recovery growth in the southern catfish (*Silurus meridionalis*) following starvation[J]. *Acta Hydrobiol Sin*, 1999, 23 (2): 167 - 172. [邓利, 张波, 谢小军. 南方鲇继饥饿后的恢复生长[J]. *水生生物学报*, 1999, 23(2): 167 - 172.]
- [16] Luquet P, Oteme Z J, Cisse A. Evidence for compensatory growth and its utility in the culture of *Heterobranchus longifilis* [J]. *Aquat Living Resour*, 1995, 8: 389 - 394.