

文章编号:1000-0615(2007)04-0456-07

## 间歇性饥饿对日本沼虾生长和几种消化酶的影响

李志华<sup>1</sup>, 谢松<sup>2</sup>, 王军霞<sup>2</sup>, 陈大庆<sup>1</sup>

(1. 中国水产科学研究院长江水产研究所, 湖北 荆州 434000;

2. 河北大学生命科学学院, 河北 保定 071002)

**摘要:**在(25.0±1)℃范围条件下,对日本沼虾进行了不同时间的饥饿处理后再投饵的恢复生长实验。对照组连续饱食投喂18d,处理组分别饥饿2、4、8d,再分别饱食投喂16、14、10d。实验结果显示:在恢复生长时期,处理组的特殊生长率、摄食率、食物转化率明显高于对照组,胃蛋白酶、胰蛋白酶、脂肪酶的活性变化趋势相同,均随着先饥饿再饱食的顺序先下降再上升,但脂肪酶比蛋白酶变化趋势明显;而淀粉酶的变化趋势与之相反是先上升后下降。实验结果表明,日本沼虾继饥饿后再恢复喂食出现完全或部分补偿生长效应不仅由于增加食欲,提高摄食水平,同时改善了食物转化率。因此,补偿生长是这两种生理因素共同作用的结果。

**关键词:**日本沼虾;饥饿;补偿生长;消化酶

中图分类号:Q 556; S 917 文献标识码:A

## Effects of intermittent starvation on growth and some digestive enzymes in the shrimp *Macrobrachium nipponense*

LI Zhi-hua<sup>1</sup>, XIE Song<sup>2</sup>, WANG Jun-xia<sup>2</sup>, CHEN Da-qing<sup>1</sup>

(1. Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Jingzhou 434000, China;

2. College of Life Science, Hebei University, Baoding 071002, China)

**Abstract:** The recovery growth experiment in the shrimp *Macrobrachium nipponense* was conducted following different periods of starvation. The experiment lasted for 18 days for each test group. Group C, S2, S4 and S8 were deprived of food for 0 (control), 2, 4 and 8 days, respectively. Then each group was refed at ad libitum ration level for its rest experimental time. Upon realimentation after periods of starvation, specific growth rate, feeding rate and food conversion efficiency in terms of wet weight in each previously starved group were higher than those in group C. The change of pepsin, trypsin and lipase activity in *Macrobrachium nipponense* was same during starvation and after recovery growth, decreases significantly and then increases, but the trend of lipase was more evident. While the activity of amylase increases a little and then decreases significantly. The results indicated that there was completely-or-partially-compensatory effect on the recovery growth in the *Macrobrachium nipponense* following starvation, and that the compensatory effect mainly resulted from significant increase of the

收稿日期:2006-08-08

资助项目:国家自然科学基金重大项目和面上项目(30490234, 30371105);世界自然基金资助项目(162);河北省教育厅资助项目(2002273)

作者简介:李志华(1979-),男,河北辛集人,硕士,主要从事水生生物资源保护研究。Tel:0716-8126892; E-mail: lizhuhua426@yahoo.com.cn

通讯作者:陈大庆, E-mail: chdq@yfi.ac.cn

feeding level and food conversion efficiency in the recovery growth. So, the compensatory growth in the shrimp *Macrobrachium nipponense* is the result of the two physiological factors working together.

**Key words:** *Macrobrachium nipponense*; starvation; compensatory growth; digestive enzyme

动物继饥饿或营养不足一段时间后恢复喂食,在恢复生长阶段中出现的高于正常生长速度的快速生长现象称之为补偿生长(compensatory growth)<sup>[1-2]</sup>。补偿生长研究以前多集中在畜禽类及其他一些哺乳类上<sup>[3-4]</sup>,在虾蟹类,仅 Bostworth 和 Wolters<sup>[5]</sup>报道过克氏原螯虾(*Procambarus clarkii*)的补偿生长现象,以及吴立新等<sup>[6]</sup>对中国对虾(*Penaeus chinensis*)继饥饿后有补偿生长效应的报道,但均未涉及消化系统的变化。

日本沼虾(*Macrobrachium nipponense*)又名“青虾”,属我国和日本特产的淡水虾类,是我国淡水渔业资源的重要组成部分。本研究以日本沼虾为材料,以期揭示其补偿生长特点,以及在此过程中一些消化酶的变化规律,为日本沼虾养殖中新的高效投饵技术的形成提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验虾的来源与驯养

实验所用的日本沼虾购自白洋淀,为健康活泼个体。实验开始前 1 周,先将虾暂养于玻璃水族箱(50 cm × 50 cm × 25 cm,实际水量 40 L)内进行驯养,每箱放养 20 尾。放养 8 尾。驯养期间每

日过量投喂人工饵料 2 次(8:00 和 16:00),残饵于下次投喂前收集,粪便及时用吸管取出。水族箱为循环水系统,并配以充气泵连续充气,以保证水中溶氧充足。水温控制在(25.0 ± 1) °C 范围(室温由空调控制)。

### 1.2 养殖实验

驯化结束后选取个体相近(平均体长 3.5 ~ 4.1 cm,体重 0.52 ~ 0.64 g)的虾 480 尾,随机分为 4 组,分别饥饿处理 0(对照)、2、4、8 d,每组 20 尾。每个饥饿组又设 5 个重复组,每个重复组 20 尾虾。对照组 C 持续饱食投喂 18 d;处理组 S2、S4 和 S8 分别先饥饿 2、4 和 8 d 后再恢复饱足喂食 16、14 和 10 d。各处理组在饥饿阶段用带孔(直径为 0.5 cm)的半透明塑料板将水族箱分隔成 20 室,每室放入 1 尾虾以防止个体间互相残食,饥饿结束时拆除塑料隔板。分别测定饥饿处理开始前、结束后和恢复生长结束时每尾虾的体重。投喂阶段各实验组每天过量投喂 2 次,每次投饵后至下一次投饵前收集残饵,残饵经烘干后称重。每日的耗饵量由投饵量与残饵量之差求得。在实验过程中,每两天取样一次,每个实验组取虾 12 尾,取出后将虾立即用液氮迅速冷冻后,置于 -83 °C 冰柜储存备用。

表 1 试验用的日本沼虾人工饵料基本配方  
Tab.1 Basic ingredients of the experimental diets

饵料成分 ingredients	鱼粉 fishmeal	豆粉 bean powder	豆油 bean oil	面粉 flour	玉米面 corn powder	混和无机盐 blending of mineral	复合维生素 multiple vitamin
百分含量(%) percent	30	24	6	11	11	16	2

注:(1)混合无机盐(每百克饵料中含有的种类及克数):ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O,0.0817 g; CaCO<sub>3</sub>,3.28 g; NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>,2.96 g; KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>,6.752 g; CaCl<sub>2</sub>,1.332 g; MgSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O,1.6 g; KCl,0.448 g; AlCl<sub>3</sub>,0.192 g; MnSO<sub>4</sub>,0.0229 g; CuCl<sub>2</sub>,0.0082 g; CoCl<sub>2</sub>,0.0282 g; KI,0.0093 g; 柠檬酸铁,0.00098 g。(2)复合维生素(每百克饵料中含有的种类及克数):V<sub>B1</sub>,12 mg; V<sub>B2</sub>,20 mg; V<sub>B6</sub>,6 mg; V<sub>B12</sub>,0.5 mg; V<sub>A</sub>,1000IU; V<sub>E</sub>,100 mg; 叶酸,1.5 mg; 生物素,1 mg; 氯化胆碱,800 mg; 对氨基苯甲酸,40 mg

### 1.3 养殖实验过程中一些生长指标计算

实验期间虾的特殊生长率(specific growth rate, SGR)、摄食率(feeding rate, FR)和食物转化率(food conversion efficiency, FCE)的计算公式:

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

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

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

其中, W<sub>1</sub> 和 W<sub>2</sub> 分别为 t<sub>1</sub> 和 t<sub>2</sub> 时实验虾的湿重

(g),  $C$  为摄食饵料的湿重(g),  $t$  为实验时间(d)。

#### 1.4 消化酶测定<sup>[7-11]</sup>

**取样** 在冰浴条件下,取日本沼虾肝胰腺,称重后取 5 倍体积的 Tris-HCl 缓冲液(pH 7.4)进行超声波冰浴匀浆(工作时间 3 s,间隔 2 s,次数 10 次)匀浆液于冰箱中(4 ℃)放置 4 h,然后用冷冻离心机在 0 ℃以下的 10 000 r·min<sup>-1</sup>离心 15 min,取上清液待用。

**胃蛋白酶的测定** 在试管中加入 0.5% 干酪素 2 mL, 0.04 mol·L<sup>-1</sup> EDTA-Na<sub>2</sub> 0.1 mL, 0.2 mol·L<sup>-1</sup> 柠檬酸钠缓冲液(pH 3.0) 0.4 mL, 酶液 0.4 mL, 双蒸水 0.6 mL, 使总体积达 3.5 mL, 混匀后,置于 37 ℃水浴中反应 15 min, 然后加入 30% 三氯醋酸 1 mL 终止反应, 3600 r·min<sup>-1</sup>离心 15 min, 取上清液与 Folin-酚试剂反应后于 721 分光光度计 680 nm 比色, 与标准曲线对照, 测出酪氨酸生成量, 以每分钟水解干酪素所产生的 1 μg 酪氨酸作为 1 个活力单位(μg·min<sup>-1</sup>)。

**胰蛋白酶的测定** 与胃蛋白酶测定基本一致, 只是所用缓冲液改为 0.05 mol·L<sup>-1</sup> 硼砂-氢氧化钠缓冲液 pH 9.8。

**淀粉酶的测定** 取 20 g·L<sup>-1</sup> 的淀粉溶液 5 mL, pH 4.6 醋酸醋酸钠缓冲液 2 mL, 双蒸水 3.5 mL, 预热 5 min, 加入酶液 0.5 mL, 37 ℃水浴中反应 30 min, 加入 3,5-二硝基水杨酸 1 mL, 立即在沸水中水浴 5 min, 540 nm 比色, 测定反应液中还原糖的生成量, 对照用双蒸水代替酶液, 其他与上

相同, 淀粉酶活性单位, 以每分钟生成 1 μg 还原糖为一个单位。

**脂肪酶的测定** 取 100 mL 三角瓶, 加入 5 mL 0.025 mol·L<sup>-1</sup> 磷酸缓冲液和 4 mL 聚乙烯醇橄榄油乳化液, 置于 37 ℃水浴中, 保温 5 min, 然后加入 1 mL 酶液, 从加入酶液开始精确计时, 继续保温 15 min, 取出, 立即加入 95% 乙醇 15 mL, 混匀, 以停止酶作用。再加入 1% 酚酞溶液 3 滴, 用 0.05 mol·L<sup>-1</sup> 氢氧化钠标准溶液滴定脂肪酸含量, 在 37 ℃条件下, 每分钟催化产生 1 μmol 脂肪酸作为 1 个酶活力单位(μmol·min<sup>-1</sup>)。

## 2 实验结果

### 2.1 日本沼虾饥饿后的补偿生长

从表 2 中可以看出随着饥饿时间的延长虾的体重下降比较明显, 饥饿 2、4 和 8 d 的体重损失率分别为 2.90%、9.36% 和 13.08%。但恢复投饵后, 随着恢复生长实验结束, 虾的体重又有不同程度的增加, 其中对照组体重增加最多, 增重率为 9.57%, 饥饿 2、4 d 的虾体重增加率分别为 9.35% 和 8.92%, 基本达到了对照组的体重增加量, 经方差分析, 这两组与对照组差异不显著 ( $P > 0.05$ ), 可以认为实现的完全补偿生长, 而饥饿 8 d 的虾恢复生长后体重虽然也有增加, 但增加率仅为 4.83%, 经方差分析, 与对照组差异显著 ( $P < 0.05$ ), 故认为其出现了部分补偿生长效应。从表 3 可以看出, 饥饿处理各组恢复生长后其生长率、摄食率和食物转化率都高于对照组。

表 2 日本沼虾在饥饿过程中及恢复生长后的体重变化

Tab.2 The change of weight in *Macrobrachium nipponense* during starvation and after recovery growth

饥饿处理时间 (d) time of starvation	饥饿处理前体重 (g) weight before starvation	饥饿处理后体重 (g) weight after starvation	饥饿后体重损失率 (%) weight's losing rate after starvation	恢复生长后体重 (g) weight after recovery growth	恢复生长后体重增加率 (%) weight's increased rate after recovery growth
0(C)	0.5858 ± 0.0391	0.5858 ± 0.0391 <sup>a</sup>	0	0.6418 ± 0.0209 <sup>a</sup>	9.57
2	0.5787 ± 0.0289	0.5619 ± 0.0158 <sup>b</sup>	2.90	0.6328 ± 0.0187 <sup>a</sup>	9.35
4	0.5996 ± 0.0327	0.5435 ± 0.0283 <sup>c</sup>	9.36	0.6531 ± 0.0249 <sup>a</sup>	8.92
8	0.5963 ± 0.0394	0.5183 ± 0.0170 <sup>d</sup>	13.08	0.6251 ± 0.0351 <sup>b</sup>	4.83

注: 同一列数据右上方不同字母表示差异显著 ( $t$  检验,  $P < 0.05$ )

Notes: Values with different superscripts in the same line are significantly different ( $t$ -test,  $P < 0.05$ )

### 2.2 部分消化酶的变化

从图 1~图 3 可以看出对照组的消化酶酶活

力虽然稍有波动, 但有缓慢下降的趋势。饥饿组的虾随着饥饿时间延长胃蛋白酶、胰蛋白酶和

脂肪酶的比活力均有下降,饥饿 8 d 的虾胃蛋白酶比活力由 5.5759 降至 5.0585;类胰蛋白酶的比活力由 6.7311 降至 6.0248。相对于蛋白酶来说,脂肪酶变化趋势更为明显,其中饥饿 8 d 的虾其脂肪酶的比活力由 8.3738 降至 7.1892。但随着恢复投饵后这 3 种酶活性又有升高,饥饿 2、4 d 的处理组在恢复 4 d 左右即可恢复至对照组水

平,而饥饿 8 d 的处理组要恢复 8 d 才到对照组水平。图 4 则显示出淀粉酶活性变化趋势与蛋白酶和脂肪酶相反,随着饥饿时间延长,淀粉酶活性有升高的趋势,饥饿 8 d 的虾淀粉酶活性由 5.1713 升至 5.9224。但随着恢复投饵,其比活力又逐渐下降。实验结束时,各饥饿组虾的酶活力均与对照组无明显差异( $P > 0.05$ )。

表 3 日本沼虾在恢复生长过程中的生长率、摄食率和食物转化率  
Tab.3 The specific growth rate, feeding rate and food conversion efficiency in *Macrobrachium nipponense* during recovery growth

饥饿处理时间(d) time of starvation	特殊生长率(%) specific growth rate	摄食率(%) feeding rate	食物转化率(%) food conversion efficiency
0	0.5267 ± 0.0098 <sup>a</sup>	18.1411 ± 1.1536 <sup>a</sup>	6.0189 ± 0.0431 <sup>a</sup>
2	0.5381 ± 0.0061 <sup>b</sup>	19.8063 ± 0.9753 <sup>b</sup>	6.3187 ± 0.0652 <sup>b</sup>
4	0.5425 ± 0.0083 <sup>b</sup>	20.8142 ± 1.5461 <sup>b</sup>	6.3510 ± 0.0381 <sup>c</sup>
8	0.5509 ± 0.0021 <sup>c</sup>	22.0825 ± 1.3364 <sup>c</sup>	6.3612 ± 0.0258 <sup>c</sup>

注:同一列数据右上方不同字母表示差异显著( $t$  检验,  $P < 0.05$ )

Notes: Values with different superscripts in the same line are significantly difference ( $t$ -test,  $P < 0.05$ )

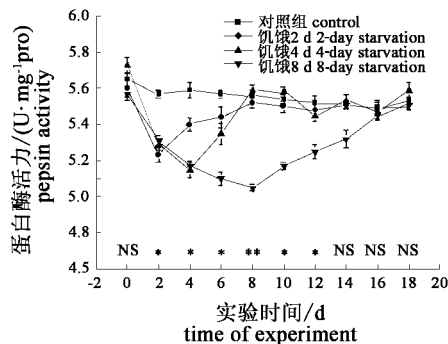


图 1 日本沼虾在饥饿过程中及恢复生长后的胃蛋白酶变化

Fig.1 The change of pepsin activity in *Macrobrachium nipponense* during starvation and after recovery growth  
NS,  $P > 0.05$ ; \*,  $P < 0.05$ ; \*\*,  $P < 0.01$

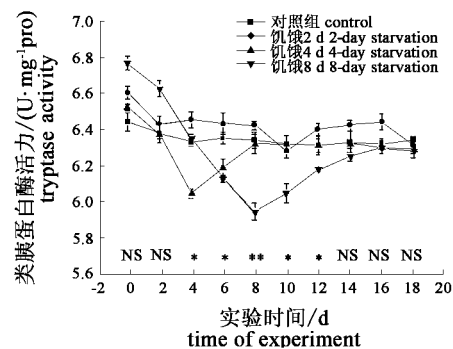


图 2 日本沼虾在饥饿过程中及恢复生长后的类胰蛋白酶变化

Fig.2 The change of trypsin activity in *Macrobrachium nipponense* during starvation and after recovery growth  
NS,  $P > 0.05$ ; \*,  $P < 0.05$ ; \*\*,  $P < 0.01$

### 3 讨论

#### 3.1 日本沼虾补偿生长及其机制

有关水产动物补偿生长的研究主要集中在鱼类。从补偿量的角度可将其分为 4 类:1) 超补偿生长 (over compensatory growth)、完全补偿生长 (complete compensatory growth)、部分补偿生长 (partially compensatory growth)、不能补偿生长 (none compensatory growth)。有关甲壳动物补偿

生长方面的资料甚少,其中 Paul 等<sup>[12]</sup>研究表明,受试的两种蟹 (*Chionoecetes baird*; *Cancer magister*) 分别饥饿 30、60 和 90 d 后在恢复生长阶段均没有补偿生长能力;Bostworth 和 Wolters<sup>[5]</sup>则揭示了克氏原螯虾 (*Procambarus clarkii*) 继饥饿 15 和 30 d 后恢复生长时均具有补偿生长效应,而且饥饿 30 d 的个体在恢复喂食时生长速度快于饥饿 15 d 的个体。本实验中,恢复生长后各饥饿处理组的湿重摄食率及湿重生长率高于对照组。从实验期间

各组体重变化看,处理组 S2、S4 的终末湿重赶上了对照组,表明该处理组出现完全补偿生长效应;对于处理组 S8 而言,其终末湿重仍显著低于对照组,故认为该组可能具部分补偿生长效应。

现在对于水产动物补偿生长的生理机制还不清楚,但主要有 3 种观点:①饥饿或限食使动物的代谢水平降低,当恢复正常进食时,较低的代谢水平能持续一段时间,这种代谢支出的降低使动物在恢复生长阶段摄入同样的净能用于生长的比例增大,从而提高了食物转化率<sup>[3,6,13]</sup>;②饥饿或限食后恢复正常喂食时,动物体内将立刻进行高速的合成作用,代谢水平迅速升高,不可能通过降低

代谢水平来明显改善食物转化率。补偿生长是动物在恢复生长阶段的一段时间内通过增加摄食实现的<sup>[4,14-16]</sup>;③动物在恢复喂食阶段不仅增加食欲,提高摄食水平,同时改善了食物转化率。因此,补偿生长是这两种生理因素共同作用的结果<sup>[17-18]</sup>。

本实验结果表明,饥饿处理各组恢复生长后其湿重摄食率和湿重食物转化率都高于对照组。这说明日本沼虾继饥饿后的恢复生长中出现的补偿生长效应主要是通过提高摄食水平同时提高食物转化率来实现的。

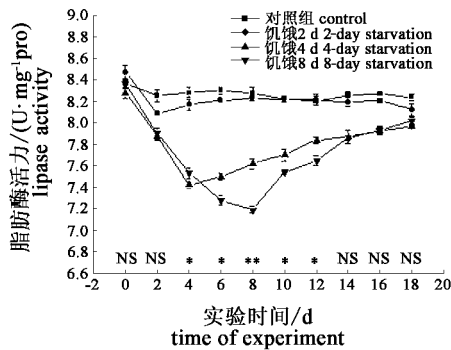


图3 日本沼虾在饥饿过程中及恢复生长后的脂肪酶变化

Fig.3 The change of lipase activity in

*M. nipponense* during starvation and after recovery growth

NS,  $P > 0.05$ ; \*,  $P < 0.05$ ; \*\*,  $P < 0.01$

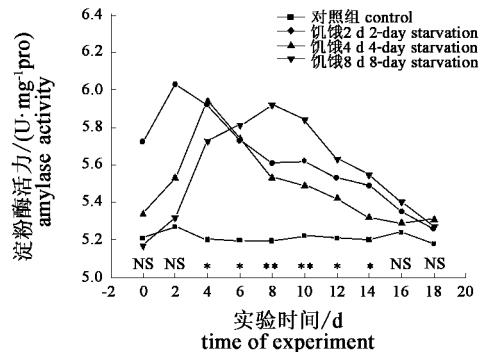


图4 日本沼虾在饥饿过程中及恢复生长后的淀粉酶变化

Fig.4 The change of amylase activity in

*M. nipponense* during starvation and after recovery growth

NS,  $P > 0.05$ ; \*,  $P < 0.05$ ; \*\*,  $P < 0.01$

### 3.2 补偿生长过程中消化酶的变化

水产动物饥饿时代谢发生适应性变化,可以通过调节身体各种消化酶的活性,以达到积极利用体内的存储物质,得以维持生命的目的。鲤饥饿期间,肝胰脏磷酸糖异构酶、葡萄糖-6-磷酸脱氢酶的活性显著降低,而葡萄糖-6-磷酸酶、谷丙转氨酶和谷草转氨酶的活性相似于或高于饥饿前的水平。钱国英等<sup>[19]</sup>研究发现,鳊鱼饥饿时通过调节身体各种消化酶的活性,得以维持生命的目的。现在对于饥饿引起水产动物蛋白酶活力下降的原因,主要有 3 点:首先,在饥饿状态下,水产动物整个消化道没有受到食物蠕动的机械刺激,因而消化酶的分泌量明显下降;其次,食物能通过嗅觉、视觉等感觉器官影响中枢神经系统对

消化腺的分泌,在不投饵的情况下,水产动物的嗅觉、视觉等感觉器官的刺激作用不复存在;第三,由饥饿引起的机体消化器官的实质性变化,必将导致这些器官的蛋白酶分泌量降低。而且,在恢复投饵时,由这种器官实质性变化引的蛋白酶活力下降的恢复会显得迟缓<sup>[20]</sup>。本实验随着饥饿和恢复生长过程胃蛋白酶和类胰蛋白酶的在饥饿过程中稍有下降,随着恢复生长这两种酶的比活力又逐渐恢复到对照组水平。但对于蛋白酶活性变化的机制尚不清楚,需要进一步探讨。

董云伟等<sup>[21]</sup>研究表明淀粉酶比活性不高,说明罗氏沼虾淀粉酶对淀粉的适应性不强,因此罗氏沼虾对淀粉的消化能力不强。Maugle 等<sup>[22]</sup>发现在日本对虾 (*Penaeus japonicus*) 食物中添加淀

粉后。淀粉酶的总活性较高,并且提高了对虾的生长率。王燕妮<sup>[23]</sup>等研究鲤补偿生长对淀粉酶的影响发现在饥饿过程中淀粉酶活性提高。本实验中,日本沼虾的淀粉酶在蛋白质和脂肪缺乏时活性提高,表明随着饥饿程度加大,虾为了更好的吸收利用残留的食物,以适应恶劣的环境,导致淀粉酶活性提高,而在重新获得食物后,淀粉酶活性便随之下降。

#### 4 小结

本实验结果表明,日本沼虾在饥饿后能表现出补偿生长效应,其中饥饿 2、4 d 处理组能表现出完全补偿生长,而饥饿 8 d 的处理组表现出的是部分补偿生长。日本沼虾在恢复喂食阶段不仅增加食欲,提高摄食水平,同时改善了食物转化率。因此,补偿生长是这两种生理因素共同作用的结果。胃蛋白酶和类胰蛋白酶的在饥饿过程中稍有下降,随着恢复生长这两种酶的比活力又逐渐恢复到对照组水平。而脂肪酶变化趋势与蛋白酶相同,只不过趋势要更明显。但是淀粉酶的比活力变化趋势与之相反,它是在饥饿过程比活力升高,而随着恢复生长其比活力又下降至对照组水平。这就表明,日本沼虾是一种杂食性动物,在饥饿过程中可以通过调节身体各种消化酶的活性,以达到积极利用体内存储物质,维持生命的目的。

#### 参考文献:

- [1] Wilson P N, Obsourn D F. Compensatory growth after under nutrition in mammals and birds [J]. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 1960, 35:324 - 363.
- [2] Jobing M, Meloy O H, Santos J D, et al. The compensatory growth response of the Atlantic cod: effects of nutritional history [J]. *Aquaculture International*, 1994,2:75 - 90.
- [3] Plavnik I, Hurwitz S. The performance of broiler chicks during and following a severe food restriction at an early age [J]. *Poultry Science*, 1985, 64: 348 - 355.
- [4] Hayward R S, Noltie D B, Wang N. Use of compensatory growth to double hybrid sunfish growth rates [J]. *Trans Amer Fish Soc*, 1997, 126: 316 - 322.
- [5] Bostworth B G, Wolters W R. Compensatory growth in juvenile red swamp crawfish, *Procambarus clarkia* [C]//Romaine R P, ed. *Eighth International Symposium on Astacology*, Batonrouge, La USA, Louisiana State Univ, Printing Office, 1995. 648 - 656.
- [6] 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.
- [7] 于书坤,张树荣. 虾类及甲壳动物消化酶研究的现状[J]. *海洋科学*, 1986,10(2):60 - 63.
- [8] 北京大学生物系生物化学教研室. *生物化学实验指导*[M]. 北京:人民教育出版社,1980:71 - 72.
- [9] 汤 鸿,李少菁,王桂忠,等. 锯缘青蟹幼体消化酶活力的实验研究[J]. *厦门大学学报*,1995,34(1): 88 - 93.
- [10] 刘玉梅,朱谨钊,吴厚余,等. 中国对虾幼体及仔虾消化酶活力及氨基酸组成的研究[J]. *海洋与湖沼*,1991, 22(6):571 - 575.
- [11] 董云伟,牛翠娟. 豆粕代替鱼粉对罗氏沼虾生长和消化酶活性的影响[J]. *北京师范大学学报*, 2000, 36(2):260
- [12] Paul J M, Paul A J, Kimker A. Compensatory feeding capacity of 2 brachyurancrabs, tanner and dungeness, after starvation periods like those encountered in pots [J]. *Alaska Fish Res Bull*, 1994, 1:184 - 187.
- [13] Gaylord T G, Gatlin D M. Dietary protein and energy modifications to maximize compensatory growth of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) [J]. *Aquaculture*, 2001, 194: 337 - 348.
- [14] Hayward R S, Wang N, Noltie D B. Group holding impedes compensatory growth of hybrid sunfish [J]. *Aquaculture*, 2000, 183: 299 - 305.
- [15] Wang Y, Cui Y, Yang Y, et al. Compensatory growth in hybrid tilapia, *Oreochromis mossambicus*, *O. niloticus*, reared in seawater [J]. *Aquaculture*, 2000, 189:101 - 108.
- [16] Xie S, Zhu X, Cui Y, et al. Compensatory growth in the gibel carp following feed deprivation: temporal patterns in growth, nutrient deposition, feed intake and body composition[J]. *J Fish Biology*, 2001, 58, 999 - 1009.

- [17] Russell N R, Wootton R T. Appetite and growth compensation European minnows (*Phoxinus phoxinus*) following short periods of food restriction [J]. *Environmental Biology of Fishes*, 1992, 34:277 - 285.
- [18] Skilbrei O T. Compensatory sea growth of male Atlantic salmon, *Salmo salar* L., which previously mature as parr [J]. *J Fish Biology*, 1990, 37:425 - 438.
- [19] 钱国英. 不同驯食方式对鳊鱼胃肠道消化酶活性的影响[J]. *浙江农业大学学报*, 1998, 24(2):207 - 210.
- [20] 钱云霞. 饥饿对养殖鲈蛋白酶活力的影响[J]. *水产科学*, 2002, 21(3): 6 - 7.
- [21] 董云伟, 牛翠娟, 杜丽. 饲料蛋白水平对罗氏沼虾生长和消化酶活性的影响[J]. *北京师范大学学报*, 2001, 37(2):96 - 99.
- [22] Maugle P D, Deshimaru O, Katayama T. Effect of short necked clam diets on shrimp growth and digestive enzyme activities[J]. *Bull Jan Soc Sci Fish*, 1982, 48(12):1759.
- [23] 王燕妮, 张志蓉, 郑曙明. 鲤鱼的补偿生长及饥饿对淀粉酶的影响[J]. *水利渔业*, 2001, 21(5):6 - 7.

### 《上海水产大学学报(1992 - 2006 年)》光盘介绍

《上海水产大学学报》是由上海水产大学主办、以水产科学技术为主的综合性学术刊物。主要反映水产各学科科研成果, 促进学术与教学研究的交流与繁荣。主要刊载渔业资源、水产养殖与增殖、水产捕捞、水产品保鲜与综合利用、渔业水域环境保护、渔船、渔业机械与仪器、渔业经济与技术管理以及水产基础研究等方面的论文、调查报告、研究简报、综述与评述、简讯等。

《上海水产大学学报》每年与日本、韩国、菲律宾、英国、加拿大等国的有关机构和图书馆建立期刊交流关系, 并通过中国国际图书贸易总公司对国外发行。除书本式发行外, 《上海水产大学学报》还加入了《中国科技期刊(光盘版)》的发行和万方数据资源系统数字化期刊群, 通过因特网加强了与国内外读者、作者的交流, 扩大了刊物学术影响力。

《上海水产大学学报》为全国水产渔业类核心期刊、全国高校优秀自然科学学报, 被美国《化学文摘》(CA)、《水科学和渔业文摘》(ASFA)、俄罗斯《文摘杂志》(AJ) 等十余种国内外检索刊物、数据库列为收录源。据 2006 年中国科技信息研究所信息分析中心最新提供的期刊检索报告的结果, 《上海水产大学学报》的影响因子和被引频次分别在全国水产类期刊中排名第 4 位和第 4 位。

为了便于广大作者及读者的保存和查阅, 编辑部将《上海水产大学学报》自 1992 年创刊至 2006 年底已出版的所有杂志编辑成具有分类、关键词、作者、出版时间等检索途径和打印功能的全文数据库光盘, 定价为 50 元(含邮费), 如需要购买, 请与编辑部联系。另外, 对已购买过旧版光盘的读者, 编辑部将提供免费升级服务, 请读者主动与编辑部张美琼老师联系。

联系地址: 上海市军工路 334 号, 上海水产大学 48 信箱, 邮编: 200090

电话: 021 - 65678640, E-mail: jfc@shfu.edu.cn